สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม
ระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน

นางสาวพรเพ็ญ ศิริดำรง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3635-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF UNSATURATED POLYESTER RESIN/ STYRENE GRAFTED NATURAL RUBBER BLENDS

Miss Pornpen Siridamrong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Applied Polymer and Textile Technology
Department of Materials Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2003
ISBN 974-17-3635-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน

โดย นางสาว พรเพ็ญ ศิริดำรง

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์

คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

....กรรมการ

(อาจารย์ รัจนา ศิริสุข)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรเพ็ญ ศิริดำรง: สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน. (MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF UNSATURATED POLYESTER RESIN/STYRENE GRAFTED NATURAL RUBBER BLENDS) อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์, 85 หน้า. ISBN 974-17-3635-5

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวกับยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีนสามารถเตรียมได้จากการผสมองค์ประกอบทั้งสองเข้าด้วยกัน แล้วขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องด้วยการหล่อแบบ โดยใช้เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์เป็นสารริเริ่ม และโคบอลต์ออกโทเอตเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้ได้มีการศึกษาอิทธิพลของชนิดของน้ำยางธรรมชาติ ปริมาณของพอลิสไตรีนที่กราฟต์บนยางธรรมชาติ ตลอดจนถึงอัตราส่วนของกราฟต์โคพอลิเมอร์กับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว พบว่า เมื่อปริมาณของพอลิสไตรีนที่กราฟต์บนน้ำยางธรรมชาติทั้งชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดโปรตีนต่ำเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วน 95/5 90/10 80/20 และ 70/30 ความทนแรงกระแทกและความทนแรงดัดโค้งมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อปริมาณน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นตามปริมาณ 5 10 20 30 และ 40 กรัม สมบัติเชิงกลทั้งสองลดลงเช่นเดียวกัน เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า การกระจายตัวของน้ำยางธรรมชาติที่กราฟต์ด้วยพอลิสไตรีน ในเมทริกซ์ของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวดีกว่าของน้ำยางธรรมชาติที่ไม่กราฟต์ แต่เมื่อปริมาณน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น จะทำให้เกิดช่องว่างในผลิตภัณฑ์มากขึ้น จึงส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมทั้งหมดมีค่าความทนแรงกระแทกและความทนแรงดัดโค้งต่ำกว่าพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนิสิต..
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........................
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม......................

4472341323 : MAJOR APPIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORD : UNSATURATED POLYESTER RESIN/POLYMER BLENDS/ STYRENE GRAFTED NATURAL RUBBER

PORNPEN SIRIDAMRONG : MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF UNSATURATED POLYESTER RESIN/STYRENE GRAFTED NATURAL RUBBER BLENDS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.SAOWAROJ CHUAYJULJIT, THESIS COADVISOR:ASST.PROF. VIMOLVAN PIMPAN, Ph.D.,85 pp.

ISBN 974-17-3635-5.

Polymer blends between unsaturated polyester resin and styrene grafted natural rubber latex were prepared by mixing these two components, Methy ethyl ketone peroxide as an initiator and co-octoate as an accelerator. The mixtures were then cast at room temperature. The influences of the type of natural rubber latex, the amount of PS grafted on NR and the ratio between grafted copolymer and unsaturated polyester resin on mechanical properties and morphology of polymer blends were studied. It was found that as the amount of PS grafted on NR increased from 95/5, 90/10, 80/20 to 70/30, impact strength and flexural strength of polymer blends decreased. Furthermore, it was also observed that as the amount of PS grafted NR in polymer blend increased from 5, 10, 20, 30 to 40 g, both mechanical properties decreased. SEM studied revealed that the dispersion of polystyrene grafted natural rubber latex was better than that of ungrafted natural rubber latex. However, an increase in the amount of graft copolymer in polymer blends produced more voids in the products; consequently, reducing both impact strength and flexural strength of the polymer blends to be less than those of pure unsaturated polyester resin.

Department of Materials Science	Student's signature……………………..
Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology	Advisor's signature……………………..
Academic year 2003	Co-Advisor's signature………………..…

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์โดยท่านผู้ทรงคุณวุฒิเหล่านี้คือ รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดียิ่งตลอดการทำงานวิจัยชิ้นนี้ รวมถึงแนะแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ รศ.ไพพรรณ สันติสุข ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ประณัฐ โพธิยะราช และอาจารย์ รัจนา ศิริสุข คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยา ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีสำหรับการทำวิจัย ดังรายนามต่อไปนี้

1. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์สารเคมีและสถานที่ทำการทดลอง

2. บริษัท สยามเคมีคอนอินดัสตรี้ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ผู้ให้การสนับสนุนและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณบริษัท เอส เอฟ ซีนีมาซิตี้จำกัด พี่ๆสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และน้องๆ นิสิตภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านสำหรับน้ำใจ กำลังใจ ความช่วยเหลือและความปรารถนาดีที่มีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและส่วนรวมแล้ว ผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งหมดแก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พรเพ็ญ ศิริดำรง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฌ

สารบัญภาพ .... ญ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วารสารปริทรรศน์ 3

 2.1 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว 3

 2.2 ยางธรรมชาติ 8

 2.3 กราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของยางธรรมชาติ 13

 2.4 พอลิเมอร์ผสม 17

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 26

 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 26

 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 27

 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ 27

 3.4 การดำเนินงานวิจัย 27

 3.5 การตรวจสอบน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน 31

 3.6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม 32

 3.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน 32

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 35

 4.1 ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงโดยใช้เอมไซม์ 35

 4.2 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากสไตรีนมอนอเมอร์เป็นพอลิสไตรีน (%Conversion).36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 เปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิการกราฟต์ของน้ำยางธรรมชาติ ชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดโปรตีนต่ำ(%Grafting Efficiency) 37
4.4 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน ของ พอลิสไตรีน ในกราฟต์โคพอลิเมอร์ 37
4.4.1 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของน้ำยางธรรมชาติชนิด แอมโมเนียสูง (ก) และน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ (ข) 38
4.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของกราฟต์โคพอลิเมอร์ 39
4.5 ลักษณะที่ปรากฏของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวและพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์สไตรีนมอนอเมอร์ 42
4.6 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน 43
4.6.3 สัณฐานวิทยาพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว 43
4.6.2 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง 44
4.6.3 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ 46
4.7 ความทนแรงกระแทก(Impact Strength) 47
4.8 ความทนแรงดัดโค้ง(Flexural Strength) 50
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 53

รายการอ้างอิง 55
ภาคผนวก 58
ภาคผนวก ก 59
ภาคผนวก ข 64
ภาคผนวก ค 65
ภาคผนวก ง 73
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ 9

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของเฟสที่เป็นยาง 10

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์หลัก และภาชนะป้อน 29

ตารางที่ 4.1 ภาวะที่ใช้ในการกำจัดโปรตีนออกจากน้ำยางธรรมชาติโดยการใช้เอนไซม์ 35

ตารางที่ 4.2 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ 36

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 สไตรีนมอนอเมอร์แทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว 3

รูปที่ 2.2 โครงสร้างร่างแหของพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวภายหลังการแข็งตัว 4

รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาขณะเรซินแข็งตัว 7

รูปที่ 2.4 น้ำยางธรรมชาติหลังจากนำไปผ่านกระบวนการอัลตราเซนติฟิวจ์ 10

รูปที่ 2.5 อนุภาคยางในน้ำยาง 11

รูปที่ 2.6 แผนภาพเฟสของพอลิเมอร์ผสมที่แสดง LCST 19

รูปที่ 2.7 แผนภาพเฟสของพอลิเมอร์ผสมที่แสดง UCST 19

รูปที่ 2.8 บล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อยู่ระหว่างเฟส A และ B 20

รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติและอัตราส่วนผสมในพอลิเมอร์ผสม 23

รูปที่ 2.10 ลักษณะต่างๆ ของดิสเพอร์สเฟสที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสม 24

รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 29

รูปที่ 3.2 Fourier transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) รุ่น Nicolet Impact 400 D 31

รูปที่ 3.3 Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่นPhilips XL 30CP 32

รูปที่ 3.4 Impact Tester รุ่น Gotech GT-7045 33

รูปที่ 3.5 การทดสอบความทนแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด (Three point bending) 33

รูปที่ 3.6 การทดสอบความทนแรงดัดโค้งแบบ 4 จุด (Four point bending) 34

รูปที่ 3.7 แรงเค้นในชิ้นทดสอบขณะทดสอบความทนต่อแรงดัดโค้ง 34

รูปที่ 3.8 Universal Tester รุ่น LLOYD 500 34

รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากสไตรีนมอนอเมอร์เป็นพอลิสไตรีนของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดโปรตีนต่ำ (%Conversion) 36

รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิการกราฟต์ของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดโปรตีนต่ำ (% Grafting Efficiency) 37

รูปที่ 4.2 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง (ก) และน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ(ข) 38

รูปที่ 4.3 เอฟทีไออาร์สเปกตัมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกับพอลิสไตรีน ที่อัตราส่วน 95/590/1080/20 และ70/30 39

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.4 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติชนิดโปรตีนสูงกับพอลิสไตรีน ที่อัตราส่วน 95/5,90/10,80/20 และ70/30 41
รูปที่ 4.5 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (ก) และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวน้ำยางธรรมชาติที่ไม่กราฟต์พอลิสไตรีน(ข) 42
รูปที่ 4.6 พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน ชนิดแอมโมเนียสูง(ก) และชนิดโปรตีนต่ำ(ข)..43
รูปที่ 4.7 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว(UPE) 43
รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน80/20 ภาพกำลังขยายด้านซ้าย300X และด้านขวา1000X 44
รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน UPE/NR220(90/10) กำลังขยาย2850 X 45
รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน80/20 ภาพกำลังขยายด้านซ้าย300X และด้านขวา1000X 46
รูปที่ 4.11 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน UPE/DP-NR110(95/5) กำลังขยาย3650 X 47
รูปที่ 4.12 ค่าความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 48
รูปที่ 4.13 ค่าความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน 47
รูปที่ 4.14 ค่าความทนแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน ณ ปริมาณน้ำยางและ สไตรีนที่ต่างๆกัน 50

รูปที่ 4.15 ค่าความทนแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซิน ชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน ณ ปริมาณน้ำยาง และสไตรีนที่ต่างๆกัน 50
รูปที่ 4.16 ความโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว /ยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 80/20 (%mole) 51
รูปที่ 4.17 ความทนแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซิน ชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน95/5 (%mole) 52

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester resin) เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตที่นิยมนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เพราะนอกจากมีสมบัติทางกายภาพ ทางไฟฟ้า และทางเคมีที่ดี ยังมีราคาค่อนข้างถูก และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ กระจกเทียม หินอ่อนเทียม อุปกรณ์ไฟฟ้า ถังส่วนประกอบเครื่องบิน รถยนต์ และอ่างอาบน้ำ เป็นต้น แต่จุดอ่อนที่สำคัญของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ ความเปราะ ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความทนแรงกระแทก (impact strength) ความทนแรงดัดโค้ง (flexural strength) ต่ำ และแตกหักเสียหายได้ง่าย ทำให้เกิดปัญหาต่อการนำไปใช้งานบางด้าน ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีผู้สนใจทำการทดลองปรับปรุงสมบัติความทนแรงกระแทกและความทนแรงดัดโค้งของเรซินด้วยการผสมกับพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่น เช่น ยางอีพีดีเอ็ม (EPDM rubber) พอลิอะคริเลต พอลิยูรีเทน และยางสังเคราะห์อื่นๆ เป็นต้น ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าพลาสติกที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยอนุภาคของยางสังเคราะห์นั้นมีสมบัติความทนแรงกระแทก ความทนแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้น และ ความเปราะลดลง [1]

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะปรับปรุงสมบัติความทนแรงกระแทก และความทนแรงดัดโค้งของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ด้วยการนำมาผสมกับยางธรรมชาติแทนการใช้ยางสังเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการผลิตยางธรรมชาติมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยผลิตยางธรรมชาติทั้งในรูปของน้ำยางข้น (concentrated latex) หรือยางดิบแห้งชนิดต่างๆ เช่น ยางแท่ง STR (Standard Thai Rubber) ยางแผ่นรมควัน (ribbed smoked sheet) และยาง แผ่นผึ่งแห้ง (air dried sheet) และยางเครพ (crepe) เป็นต้น [2] ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกกว่ายางสังเคราะห์มาก ซึ่งในการผสมน้ำยางข้นกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว จะพบปัญหาความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ทั้งสอง ทำให้เมื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์จะไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้านความทนแรงกระแทก และความทนแรงดัดโค้งตามต้องการ ดังนั้น เพื่อให้น้ำยางธรรมชาติกระจายตัวและเข้ารวมตัวกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวได้มากขึ้น จึงจำเป็นต้องดัดแปรโครงสร้างของยางธรรมชาติโดยการกราฟต์ด้วยสไตรีนเสียก่อน ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ในทางการค้าที่อยู่ในสภาพของเหลวนั้นจะมีสไตรีนมอนอเมอร์เป็นตัวทำละลาย ด้วยโดยโมเลกุลของสไตรีนจะแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของ พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว และเมื่อผสมน้ำยางที่ผ่านการกราฟต์ไตรีนเข้าไปใน

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ส่วนของสายโซ่สไตรีนบนโมเลกุลของยางจะเข้ารวมตัวกับสไตรีนมอนอเมอร์ที่แทรกอยู่ในพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งจะช่วยให้น้ำยางสามารถกระจายตัวได้ดีในพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้มีการปรับปรุงสมบัติด้านความทนแรงกระแทก และความทนแรงดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทดลองกราฟต์สไตรีนกับน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง (HA latex) และน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ เพื่อเปรียบเทียบผลของการเข้ารวมตัวกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว โดยพิจารณาจากผลการทดสอบสมบัติ ความทนแรงกระแทก และความทนแรงดัดโค้งของชิ้นงาน พร้อมทั้งตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)

วัตถุประสงค์

1.ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการกราฟต์ยางธรรมชาติด้วยสไตรีน โดยใช้น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง และน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ

2.ศึกษาสมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวกับยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนเพื่อนำไปผสมกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

2. สามารถปรับปรุงสมบัติความทนแรงกระแทก และความทนแรงดัดโค้งของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

3. เป็นแนวทางในการนำยางธรรมชาติไปใช้ให้เกิดประโยชน์ และประยุกต์สู่อุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

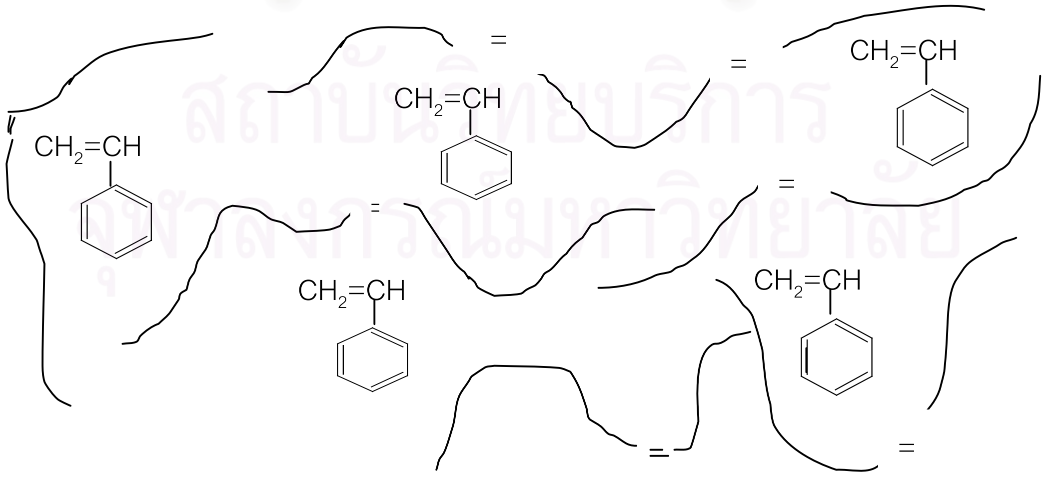
บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

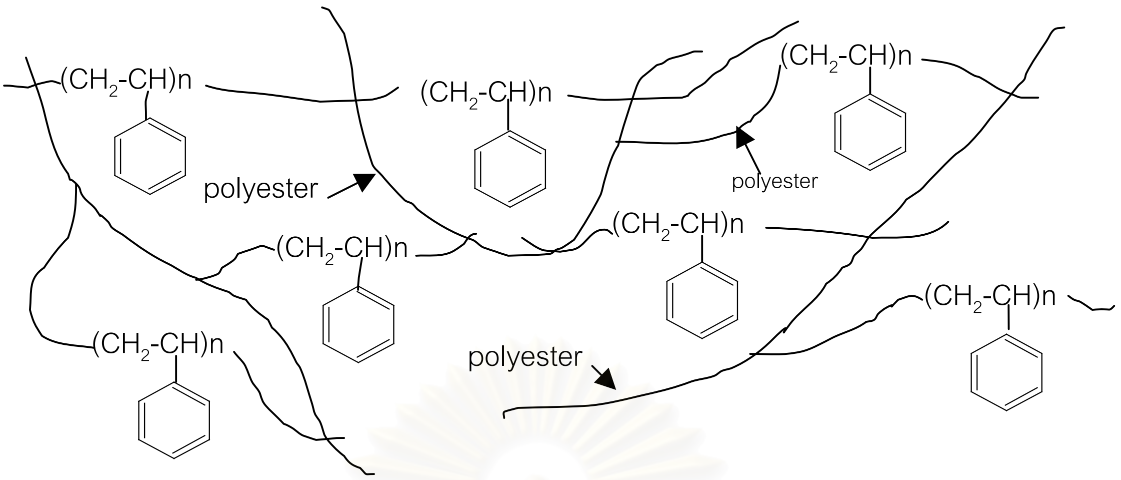
2.1 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin, UPE resin) [1]

โดยทั่วไปพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวมีลักษณะเป็นเรซินเหลวสีเหลืองอ่อน และมีดีกรีของพอลิเมอไรเซชัน (degree of polymerization) ที่ค่อนข้างต่ำประมาณ 8-10 (น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2,000) ภายหลังจากการผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา หรือได้รับการฉายแสงอัลตราไวโอเลต จะเกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนสภาพเป็นพลาสติกแข็ง ซึ่งไม่สามารถแปรสภาพเป็นพลาสติกเหลวหรือคืนรูปได้อีก จึงจัดเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซต และสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (condensation polymerization) ของสารประกอบไกลคอล (glycol) และกรดไดเบสิก (dibasic acid) ซึ่งไดเบสิกแอสิดที่ใช้โดยทั่วไปเป็นสารผสมของกรดอินทรีย์ที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว เมื่อปฏิกิริยาการสังเคราะห์สิ้นสุดลง พอลิเอสเทอร์ที่ได้สามารถละลายในตัวทำละลายไม่อิ่มตัว เช่น สไตรีนมอนอเมอร์ (styrene monomer) เพื่อให้คงอยู่ในสภาพของเหลว โดยโมเลกุลของสไตรีนจะแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.1 นอกจากนี้ พันธะที่ไม่อิ่มตัวของพอลิเอสเทอร์อาจทำปฏิกิริยากับพันธะที่ไม่อิ่มตัวของสไตรีนได้บางส่วน แต่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้เต็มที่เมื่อได้รับความร้อนหรือเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป ดังนั้น สไตรีนมอนอเมอร์จะทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวาง (crosslinking agent) อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 สไตรีนมอนอเมอร์แทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว



รูปที่ 2.2 โครงสร้างร่างแหของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวภายหลังการแข็งตัว

2.1.1 การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่

1. **ไกลคอล (Glycol)** การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจะใช้ไกลคอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ เป็นสารตั้งต้น และใช้แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ในการหยุดปฏิกิริยา สำหรับแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 2 หมู่ จะทำให้โมเลกุลของพอลิเอสเทอร์ที่ได้มีกิ่งหรือมีการเชื่อมขวาง ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลจะเพิ่มอย่างรวดเร็วจนยากที่จะควบคุม โดยไกลคอลที่นิยมใช้ คือ เอทิลีนไกลคอล (EG) โพรพิลีนไกลคอล (PG) ไดเอทิลีนไกลคอล (DEG) และไดโพรพิลีนไกลคอล (DPG) เป็นต้น ไกลคอลแต่ละชนิดมีผลต่อสมบัติของพอลิเอสเทอร์เรซินต่างกัน เช่น ความเหนียว ความหยุ่นตัว ความคงทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิ และความทนทานต่อสารเคมี เป็นต้น สำหรับ EG จะให้พอลิเมอร์ที่ขุ่น และเกิดผลึกได้ดี ส่วน PG จะให้พอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกเล็กน้อย และเรซินที่ได้สามารถละลายเข้ากับสไตรีนมอนอเมอร์ได้ดี

2. **กรดไม่อิ่มตัว (Unsaturated acid)** ที่นิยมใช้เตรียมพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว คือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride) และกรดฟูมาริก (fumaric acid) หากมีส่วนผสมของกรดไม่อิ่มตัวต่ำ จะทำให้เกิดการเชื่อมขวางโมเลกุลน้อย จึงมีความยืดหยุ่นมาก มอดุลัสต่ำ ว่องไวต่อความร้อนและสารละลายมากขึ้น การแข็งตัวหรือการบ่ม (cure) เกิดได้ช้ากว่า

3. **กรดอิ่มตัว (Saturated acid)** ที่นิยมใช้เตรียมพอลิเอสเทอร์เรซินทางการค้า คือ กรดฟทาลิก (phthalic acid) ซึ่งอยู่ในรูปฟทาลิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride) เนื่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากหาง่ายกว่าในรูปของกรด และใช้มากในการทำพอลิเอสเทอร์แข็ง เพื่อช่วยให้พอลิเอสเทอร์ที่ได้มีสมบัติดีขึ้น ไม่แข็งหรือเปราะเกินไป

4. **มอนอเมอร์ไม่อิ่มตัว** (Unsaturated monomer) ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวที่มีความหนืดสูงในช่วงก่อนการทำให้แข็งตัว ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนหรือภายหลังการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปแล้ว มอนอเมอร์จะถูกใช้เพื่อทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของพอลิเอสเทอร์ ทำให้มีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ทำให้เรซินแข็งตัว ถึงแม้ว่าพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวจะเกิดการเชื่อมขวางกันเองระหว่างสายโซ่โมเลกุลได้ แต่จะเกิดอย่างช้าๆ และได้ระดับของการเชื่อมขวางต่ำ ดังนั้น เพื่อให้ได้ผลิตผลที่มีระดับการเชื่อมขวางสูงและเร็วขึ้น จึงนิยมเติมสารซึ่งมีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาลงไป ได้แก่ สไตรีนมอนอเมอร์ หรือไวนิลมอนอเมอร์อื่นๆ ปกตินิยมใช้สไตรีนเนื่องจากราคาถูก เป็นตัวทำละลายที่ดี และทำปฏิกิริยากับพอลิเอสเทอร์ในขณะแข็งตัวได้ดี ส่วนสารอื่นๆ ที่นิยมใช้ก็มีบ้างเหมือนกัน เช่น เมทิลเมทาคริ-เลต

5. **ตัวยับยั้ง** (Inhibitor) เนื่องจากสารละลายพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูง ซึ่งเมื่อได้รับความร้อน แสง หรือปัจจัยอื่นๆ จะสามารถเกิดอนุมูลอิสระ และทำให้ได้โครงสร้างที่เป็นเจล ดังนั้น จึงต้องใช้สารยับยั้งปฏิกิริยาเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเรซิน และทำให้สามารถเก็บพอลิเอสเทอร์เรซินไว้ได้นาน ช่วยปรับเวลาการแข็งตัว และลดความร้อนที่เกิดขึ้นขณะพอลิเอสเทอร์เรซินแข็งตัวอีกด้วย ซึ่งสารยับยั้งปฏิกิริยาที่นิยมใช้เป็นสารประเภทควิโนน (quinone) คือ เบนโซควิโนน (benzoquinone) หรือไฮโดรควิโนน (hydroquinone) เป็นต้น

วัตถุดิบที่เป็นกรดส่วนใหญ่จะเป็นของแข็ง ส่วนไกลคอลเป็นของเหลว ให้เติมวัตถุดิบทั้งสองลงในถังปฏิกรณ์ (reactor) ที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 200-220 องศาเซลเซียส ขณะเกิดปฏิกิริยาจะมีน้ำเกิดขึ้น และภายในถังปฏิกรณ์จะมีแก๊สออกซิเจนไม่ได้ มิฉะนั้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เรซินที่ได้มีสีเข้ม ดังนั้น จึงมีการเติมแก๊สเฉื่อย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไนโตรเจนลงในถัง ซึ่งนอกจากจะเข้าไปแทนที่ออกซิเจนแล้ว ยังช่วยพาน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันออกจากถังอีกด้วย ทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น นอกจากนี้ อัตราการกวน และความเร็วของแก๊สเฉื่อยที่เข้าไป ยังมีส่วนช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ในขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินไปจะมีการวัดขนาดของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น เมื่อได้ขนาดตามต้องการก็จะหยุดปฏิกิริยาโดยเติมตัวหยุดปฏิกิริยา (terminator) และลดอุณหภูมิลง จะได้พอลิเอสเทอร์ที่มีลักษณะแข็งหรือเกือบแข็ง จาก

นั้นจะถูกถ่ายลงในถังซึ่งมีสไตรีนมอนอเมอร์ ในขณะละลายพอลิเอสเทอร์ด้วยสไตรีนต้องไม่ให้อุณหภูมิในถังเกิน 60 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันพอลิเอสเทอร์เรซินแข็งตัวก่อนที่จะนำไปแปรรูป

2.1.2 การแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวสามารถแข็งตัวได้หลายวิธี ดังนี้ คือ

1. โดยใช้สารริเริ่ม (initiator) และความร้อน
2. โดยใช้สารริเริ่ม และตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator) ที่อุณหภูมิห้อง
3. โดยแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet light)
4. โดยลำอิเล็กตรอน (electron beam)

วิธีที่ง่าย สะดวก และนิยมใช้กันมาก ได้แก่ การใช้สารริเริ่ม และตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดในขณะที่พอลิเอสเทอร์เรซินแข็งตัว คือ ปฏิกิริยาการเชื่อมขวางโมเลกุลระหว่างสไตรีนมอนอเมอร์และพอลิเอสเทอร์ โดยมีสารริเริ่ม และตัวเร่งปฏิกิริยาคอยกระตุ้น และเร่งให้เกิดปฏิกิริยา สำหรับสารริเริ่มเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิห้องจะไม่เกิดปฏิกิริยา ต้องอาศัยความร้อนช่วย โดยทั่วไปการแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์จะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

<u>ช่วงที่1</u> เป็นช่วงที่ได้เติมสารริเริ่ม และตัวเร่งปฏิกิริยาจนพอลิเอสเทอร์เรซินเริ่มแข็งตัวเป็นเจล และเวลาของการเกิดเจล เรียกว่า เจลไทม์ (gel time)

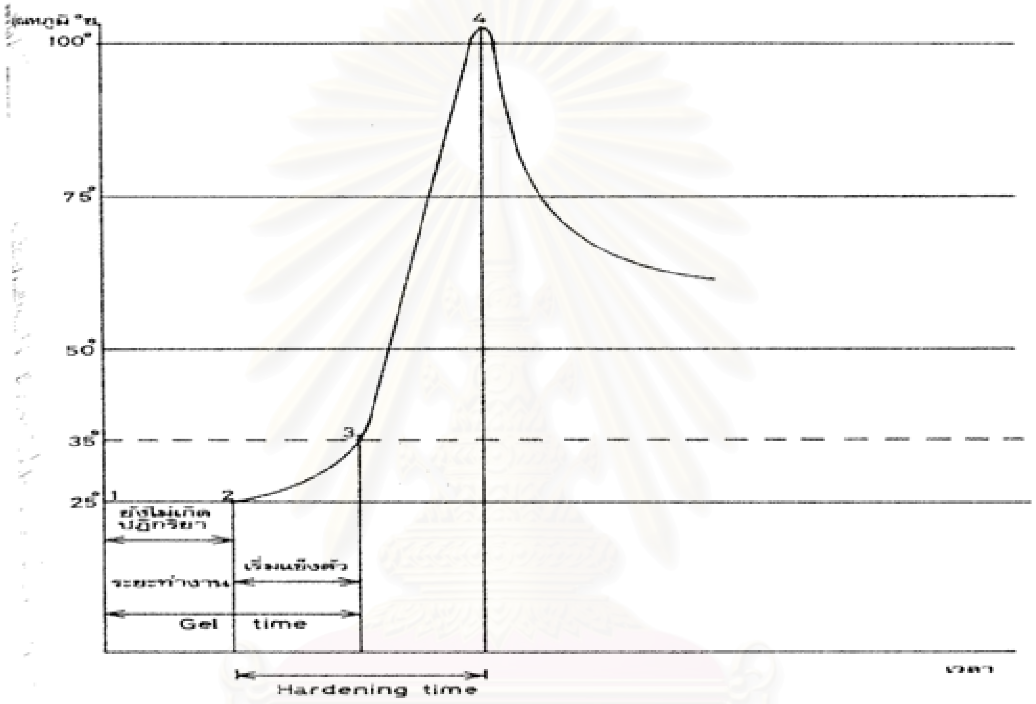
<u>ช่วงที่ 2</u> เป็นช่วงหลังจากที่เกิดเป็นเจลจนเรซินแข็งตัวเต็มที่ และเรียกเวลานี้ว่า เคียวไทม์ (cure time)

สารเคมีที่ใช้ทำให้พอลิเอสเทอร์เรซินแข็งตัว ได้แก่

1. **สารริเริ่ม** (Initiator) ช่วยให้พอลิเอสเทอร์แข็งตัวเร็วขึ้น ส่วนใหญ่เป็นสารเปอร์-ออกไซด์ ซึ่งที่นิยมใช้คือ เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (methyl ethyl ketone peroxide, MEKPO) และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide, BPO)

2. **ตัวเร่งปฏิกิริยา** (Accelerator) เป็นสารที่ช่วยเร่งให้สารริเริ่มปฏิกิริยาทำงานได้ดีที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่เป็นเกลือของโลหะ เช่น โคบอลต์ออกโตเอต (Co-octoate) โคบอลต์แนพทีเนต (Co-naphthenate) หรือสารประเภทเอมีน ได้แก่ ไดเอทิลอะนิลีน (di-ethyl aniline) ไดเมทิลอะนิลีน (dimethyl aniline) เป็นต้น ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเกลือของโลหะจะใช้กับสารริเริ่ม MEKPO แต่สำหรับเอมีนจะใช้กับ BPO

ปฏิกิริยาการแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์เรซินนี้จะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาภายหลังการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปแล้ว แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 ขณะที่ปฏิกิริยาการแข็งตัวดำเนินไป ความแข็งของพอลิเอสเทอร์เรซินจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิสูงสุดของปฏิกิริยา ซึ่งเรซินแข็งตัวได้ถึง 95% จากนั้นเรซินจะแข็งตัวต่อไปเรื่อยๆ และเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากแข็งตัวไม่เต็มที่ ในกระบวนการผลิตจึงมักจะนำผลิตภัณฑ์ไปทำ post cure เสียก่อน โดยการอบที่อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-6 ชั่วโมง



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาขณะเรซินแข็งตัว

องค์ประกอบที่มีผลต่อการแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์เรซิน คือ

1. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง เรซินจะแข็งตัวเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ
2. ปริมาณสารริเริ่ม และตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าปริมาณมากจะแข็งตัวได้เร็ว
3. ความชื้น หรือน้ำ ถ้าความชื้นสูง การแข็งตัวของเรซินจะช้า โดยปกติปริมาณที่มีอยู่ในพอลิเอสเทอร์เรซินต้องมีค่าไม่เกิน 0.05%
4. ปริมาณออกซิเจน เนื่องจากออกซิเจนเป็นสารยับยั้ง ดังนั้น ถ้ามีอยู่ในเรซินปริมาณมาก เช่น การกวนมากๆ จะทำให้การแข็งตัวช้าลง

ขณะที่พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวเกิดการแข็งตัวนั้น จะมีการหดตัว (shrinkage) โดยปริมาตรประมาณ 6-8%

2.1.3 สมบัติของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

พอลิเอสเทอร์เรซินเรซินชนิดไม่อิ่มตัว เป็นพลาสติกที่มีสมบัติเหมาะสมทั้งทางกายภาพ ทางไฟฟ้า และทางเคมี พอลิเอสเทอร์เรซินมีสมบัติใส แข็ง เป็นเงา และสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงดีกว่าพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) แต่เมื่อเทียบกับโลหะ ความเหนียว ยืดหยุ่น ความแข็งแรงของพอลิเอสเทอร์จะเทียบกับโลหะไม่ได้ แต่ในปัจจุบันเราสามารถเพิ่มความแข็งแรงของพลาสติกชนิดนี้ได้โดยการเสริมใยแก้ว (glass fiber) และเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเสริมแรงพอลิเอสเทอร์เรซินด้วยใยแก้วว่า ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กล๊าส หรือเอฟ.อาร์.พี. (Fiber-reinforced plastics, F.R.P.) ซึ่งมีสมบัติเบา เหนียวไม่เปราะ และแข็งแรง โดยเมื่อเทียบความแข็งแรงต่อน้ำหนักจะพบว่า ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กล๊าสมีความแข็งแรงมากกว่า

พอลิเอสเทอร์เรซินมีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีเยี่ยมสามารถใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีได้ และยังมีสมบัติทางเคมีที่ดีเยี่ยมเช่นกัน โดยมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และไม่เป็นสนิม

2.1.4 การใช้งาน

ด้วยสมบัติที่ดีหลายประการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้มีการนำพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวไปใช้งานอย่างกว้างขวาง โดย 3 ใน 4 ส่วน ของเทอร์โมเซตพลาสติกทั้งหมดจะเป็นพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งมีลักษณะการใช้งานที่สำคัญแบ่งเป็น 3 ด้าน ดังนี้

การหล่อ (Casting) เช่น ผลิตภัณฑ์พลาสติกหล่อชนิดต่างๆ ได้แก่ การหล่อกระจกเทียม หล่อพระ หล่อหินอ่อนเทียม หล่ออุปกรณ์ไฟฟ้า ทำกระดุม และอื่นๆ

การลามิเนตหรือการเคลือบ (Laminate) เช่น ผลิตภัณฑ์เคลือบรูปวิทยาศาสตร์ การเคลือบหน้าไม้อัด และอื่นๆ

การขึ้นรูปด้วยแม่แบบ (Molding) ส่วนใหญ่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กล๊าส เช่น การทำถังขนาดใหญ่ ส่วนประกอบของเครื่องบิน ตัวถังรถยนต์ ชั้นวางของ เรือ อ่างอาบน้ำ และอื่นๆ

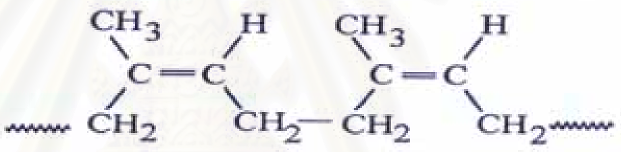
โดยทั่วไปแล้ว 80% ของพอลิเอสเทอร์เรซินทั้งหมดจะถูกใช้ทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กล๊าส ส่วนที่เหลือใช้งานด้านพลาสติกหล่อ และการลามิเนต

2.2 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) [3]

ยางธรรมชาติที่นำมาใช้ในการค้าจะได้จากต้นยางพารา ซึ่งมีชื่อเรียกทางพฤกษศาสตร์ว่า '*Heavea brasiliensis*' ซึ่งเดิมมีเฉพาะในทวีปอเมริกาใต้เท่านั้น ได้มีผู้นำมาปลูกในทวีปเอเชียและ

แอฟริกา ปรากฏว่าขึ้นได้งอกงามดีทางภาคใต้ และภาคตะวันออกของประเทศไทย เมื่อต้นยางโตเต็มที่ ชาวสวนเก็บน้ำยางด้วยการกรีดเปลือก (tapping) ของลำต้นให้น้ำยางซึมออกมา น้ำยางที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้ยางออกมาในลักษณะแตกต่างกัน คือ น้ำยางข้น (concentrated latex) หรือยางดิบแห้งชนิดต่างๆ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (ribbed smoked sheet) แผ่นผึ่งแห้ง (air dried sheet) ยางเครพ (crepe) ยางแท่งเอสทีอาร์ (STR, Standard Thai Rubber) และยางชนิดอื่นๆ จากนั้นจึงนำยางดิบเหล่านี้ไปป้อนให้กับโรงงานแปรรูปเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ เช่น ยางรถยนต์ ยางล้อเครื่องบิน ยางรัดของ ท่อยาง เบาะที่นอนฟองน้ำ รองเท้ายาง ถุงยางอนามัย และลูกโป่ง เป็นต้น ทั้งนี้เพราะยางมีสมบัติจำเพาะแตกต่างจากวัสดุอื่นๆ คือ มีความยืดหยุ่นดี มีเนื้อทึบสามารถกันน้ำและอากาศไม่ให้ผ่านได้โดยง่าย อีกทั้งไม่ย่อมให้กระแสไฟฟ้าผ่าน ดังนั้น ยางจึงวัสดุที่มีประโยชน์ และมีคุณค่า

ยางธรรมชาติมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นพอลิไอโซพรีน (polyisoprene) ซึ่งหน่วยย่อยๆ จะต่อกันในลักษณะของ *cis*-1,4-polyisoprene ดังนี้ [4]



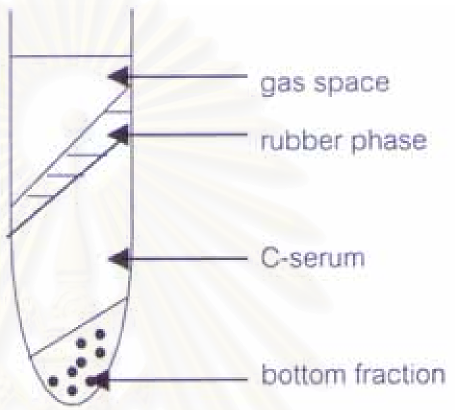
2.2.1 **น้ำยางธรรมชาติ** (Natural rubber latex) [5]

น้ำยางสดจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นหรือสีครีม อยู่ในสถานะสารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.5-7.0 ความหนืดและส่วนประกอบต่างๆ จะเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุของต้นยาง ฤดูกาลที่กรีดยาง และวิธีกรีดยาง เป็นต้น ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	33
สารพวกโปรตีน	1-1.5
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ....ในปริมาณที่รวมแล้วเป็น	100

ปริมาณเนื้อยางอาจแปรปรวนตั้งแต่ 25-45% ความแตกต่างระหว่าง TSC และ DRC จะประมาณ 3 % แต่ถ้าเป็นน้ำยางที่ปั่นให้ข้นแล้ว ความแตกต่างจะลดเหลือเพียงประมาณ 1.5% และเมื่อนำน้ำยางสดไปปั่นด้วยเครื่องอัลตราเซนติฟิวจ์ (ultracentrifuge) จะแยกได้เป็น 3 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งชั้นบนมีอนุภาคของยางเป็นองค์ประกอบหลัก ชั้นกลางเป็นสารละลายค่อนข้างใส เรียกว่า C-serum และชั้นล่างเป็นส่วนประกอบของอนุภาคลูทอยด์ (lutoid) ซึ่งเมื่อทำให้เมมเบรมของลูทอยด์แตกออกจะได้ B-serum



รูปที่ 2.4 น้ำยางธรรมชาติหลังจากนำไปผ่านกระบวนการอัลตราเซนติฟิวจ์

2.2.1.1 **เฟสที่เป็นยาง** (Rubber phase) [4]

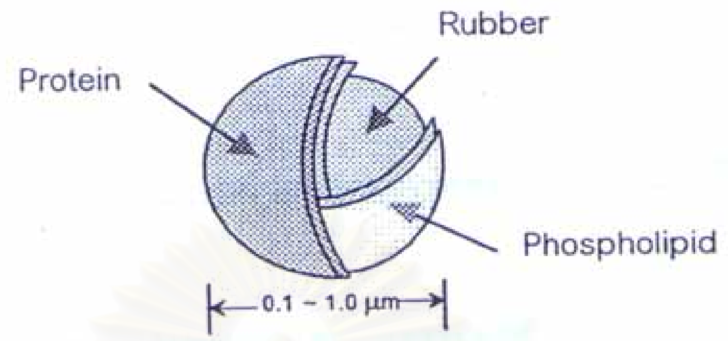
องค์ประกอบของเฟสที่เป็นยางแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของเฟสที่เป็นยาง

องค์ประกอบ	%
ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon)	86
สารประเภทโปรตีน (proteineous substances)	1
สารประเภทไขมัน (lipid substances)	3
น้ำ	10

ส่วนของยางมีโครงสร้างเกือบทั้งหมดเป็น *cis*-1,4-polyisoprene มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (10^6) และมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลกว้างอนุภาคยางมีการกระจายขนาดกว้างตั้งแต่ 0.02-3μm รูปร่างของอนุภาคส่วนมากเป็นทรงกลม (sphere) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และที่ผิวของอนุภาคยางมี

เมมเบรม (membrane) ประกอบด้วยโปรตีนและไขมันล้อมรอบ ทำให้อนุภาคของยางแขวนลอยอยู่ในน้ำได้อย่างเสถียร



รูปที่ 2.5 อนุภาคยางในน้ำยาง

2.2.1.2 **เฟสที่เป็นเซรุ่ม** (Serum phase)

เฟสที่เป็นเซรุ่ม หรือที่เรียกว่า C-serum ซึ่งเป็นสารละลายค่อนข้างใส จะมีความหนาแน่นน้อยกว่า 1.0 กรัม/มิลลิลิตร ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน เอมไซม์ และสารประกอบไนโตรเจน

2.2.1.3 **เฟสที่เป็นลูทอยด์** (Lutoid phase)

ลูทอยด์มีลักษณะเป็นทรงกลม ประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายน้ำได้ 20% และอีก 70% เป็นฮีวีน (hevein) และสารที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber substances) ซึ่งได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต (น้ำตาล) กรดไขมัน และเกลือต่างๆ เป็นต้น

2.2.2 โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ [6]

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในน้ำยางประกอบด้วยโปรตีน ส่วนหนึ่งของโปรตีนถูกดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคยาง ซึ่งชั้นที่ห่อหุ้มนี้จะมีความสำคัญต่อความคงตัวเป็นของเหลวของน้ำยาง เพราะชั้นโปรตีนซึ่งมีประจุลบจะป้องกันไม่ให้อนุภาคของยางมารวมตัวกัน โดยทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง และหากเกิดผลกระทบที่ทำให้ประจุไฟฟ้าลบลดลง อนุภาคยางจะรวมกันได้

2.2.2.1 โปรตีนในน้ำยางสด

น้ำยางสดประกอบด้วยอนุภาคของยางแขวนลอยกระจายอยู่ในของเหลวที่เป็นเซรุ่ม นอกจากนี้ ยังมีสารที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และสารอนินทรีย์อื่นๆ เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส เป็นต้น ในบรรดาสารที่ไม่ใช่ยางจะเป็นโปรตีน 1-1.8% ของน้ำยาง หรือเฉลี่ยประมาณ 1.4% คิดเป็น 30-50 มิลลิกรัม/กรัมยางแห้ง โปรตีนในน้ำยางมีทั้งชนิดละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำ พบทั้งในส่วนของเนื้อยาง (~ 27%) ส่วนของ C-Serum (~ 48%) ส่วนของ B-Serum (~ 25%) โดยโปรตีนส่วนใหญ่ที่อยู่ในส่วนของเนื้อยางจะอยู่ที่ผิวรอบๆ อนุภาคยาง ซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ แต่ก็ยังมีโปรตีนที่ละลายน้ำได้อยู่บ้าง ประมาณ 1 มิลลิกรัม/กรัมยางแห้ง เท่านั้น และส่วนใหญ่เป็นชนิดแอนไอออนิก (anionic) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 14.0 และ 24.0 kD ดังนั้น โปรตีนที่ละลายน้ำส่วนใหญ่มาจาก C-Serum และ B-Serum ซึ่งเป็นทั้งชนิดแอนไอออนิกและแคตไอออนิก (cationic) แต่ส่วนใหญ่เป็นชนิดแอนไอ-ออนิกที่มีน้ำหนักโมเลกุล 14.0–66.0 kD นอกจากนี้ ยังพบว่ามีโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 14.0 kD ปนอยู่ด้วย

2.2.2.2 โปรตีนในน้ำยางข้น

น้ำยางข้นเป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง โดยน้ำยางข้นที่ถูกผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ร้อยละ 95 เป็นน้ำยางข้นที่ได้จากวิธีการใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuging machine) และในระหว่างการหมุนเหวี่ยง คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนส่วนใหญ่จะถูกชะออกไป แต่ยังคงเหลือสารที่ไม่ใช่ยาง 1-2% โดยเฉพาะโปรตีนและสารเคมีอื่นๆ ที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีน นอกจากนี้ ยังมีสบู่จากกรดไขมัน เกลืออินทรีย์ และเกลืออนินทรีย์อื่นๆ ซึ่งโปรตีนในน้ำยางข้นนี้คาดว่าเป็นโปรตีนชนิดเดียวกับที่พบในน้ำยางสด โดยเฉพาะโปรตีนที่พบในส่วนเซรุ่ม เมื่อนำน้ำยางสดที่ตรวจพบปริมาณโปรตีนทั้งหมด 30-50 มิลลิกรัม/กรัมยางแห้ง ไปทำเป็นน้ำยางข้นโดยวิธีการหมุนเหวี่ยง จะมีโปรตีนเหลืออยู่ประมาณ 1% หรือ 16-20 มิลลิกรัม/กรัมยางแห้ง และหากนำน้ำยางข้นที่ผลิตใหม่ๆ มาทำเป็นแผ่นฟิล์ม จะพบโปรตีนที่สกัดออกมาได้เพียง 0.5-0.6 มิลลิกรัม/กรัมยางแห้ง เท่านั้น โดยโปรตีนยังกระจายอยู่ในส่วนของน้ำยาง และส่วนของเซรุ่ม

การแพ้ยางเป็นที่รู้จักในวงการแพทย์มากว่า 60 ปี โดยลักษณะการแพ้เป็นแบบผิวหนังอักเสบบริเวณที่สัมผัสกับยาง ซึ่งอาจเป็นถุงมือยาง รองเท้ายาง เป็นต้น จากการทดสอบภูมิแพ้ทางผิวหนังพบว่าเกิดจากการแพ้สารที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ยาง ได้แก่ สารเร่งวัลคาไนซ์ (accelerators) สารป้องกันการเสื่อม (antidegradants) ซึ่งการแพ้ลักษณะนี้ไม่เป็นอันตราย เมื่อหยุดสัมผัสผื่นก็จะหายไป

ในปี พ.ศ. 2522 ได้มีรายงานการแพ้โปรตีนในยางเป็นรายแรก โดย Nutter รายงานว่าคนไข้ที่มีอาการแพ้โปรตีนจากถุงมือยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติเป็นการแพ้แบบเฉียบพลัน ลักษณะเป็นผื่นลมพิษ และไม่มีการแพ้สารที่ใช้ในกระบวนการผลิตอย่างที่เคยทราบกัน อย่างไรก็ตาม การศึกษาและสำรวจในต่างประเทศยังไม่สามารถบอกได้ชัดเจนถึงอัตราการเกิด ทั้งนี้ขึ้นกับกลุ่มคนที่สำรวจ อาชีพ และเกณฑ์การวินิจฉัย แต่หากแยกกลุ่มโดยสรุป พบว่า

ประชากรทั่วไป มีอาการแพ้	1-2 %
บุคลากรทางการแพทย์ มีอาการแพ้	4-11%
ผู้ป่วยที่ต้องใช้สายสวนปัสสาวะบ่อยๆ มีอาการแพ้	40 %
บุคลากรที่ทำงานในโรงงานผลิตถุงมือยาง มีอาการแพ้	10 %

จากการศึกษาอย่างจริงจังในปี พ.ศ. 2532-2534 ได้มีรายงานทางวิชาการยืนยันว่าโปรตีนจากยางธรรมชาติเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 27 kDa 20 kDa และโปรตีนที่เรียกว่า Rubber Elongation Factor (REF) และในปี พ.ศ.2539 ได้มีเอกสารทางวิชาการที่ระบุว่าโปรฮีวีน (prohevein) ในยางธรรมชาติก็เป็นสาเหตุของการแพ้เช่นเดียวกัน

2.3 **กราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของยางธรรมชาติ** (Graft Copolymerization of NR) [7,8]

การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ต้องทำให้เกิดตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาขึ้นบนโมเลกุลของพอลิเมอร์ จึงจะสามารถเกิดการโคพอลิเมอไรซ์ได้ วิธีที่ใช้เตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ส่วนใหญ่ได้จากวิธีแรดิคัลพอลิเมอไรเซชัน (radical polymerization) ซึ่งจะเกิดกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันแบบเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) ขึ้นกับว่าพอลิเมอร์ที่ถูกกราฟต์สามารถละลายในมอนอเมอร์ที่มากราฟต์ได้หรือไม่

การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนยางให้เป็นเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (thermoplastic elastomer, TPE) ซึ่งวิธีสังเคราะห์มีหลายวิธี ดังนี้

- ด้วยกลไกการถ่ายโอน (Transfer mechanisms)
- การกราฟต์ผ่านตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวในยางธรรมชาติ (Graft copolymerization via the unsaturation in natural rubber)
- พอลิเมอไรเซชันแบบรีดอกซ์ (Redox polymerization)
- การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโฟโตเคมิคัล (Photochemical synthesis)
- เทคนิคการฉายรังสีพลังงานสูง (High energy irradiation techniques)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.1 การถ่ายโอนแรดิคัล

ในระหว่างการสังเคราะห์พอลิเมอร์อาจมีการถ่ายโอนแรดิคัลจากพอลิเมอร์ที่กำลังขยายขนาด (P_r^*) ให้กับสารริเริ่ม (initiator) มอนอเมอร์ สารถ่ายโอนสายโซ่ (chain transfer agent) ตัวทำละลาย พอลิเมอร์ หรือพอลิเมอร์ที่กำลังขยายขนาด ดังสมการที่ 2.1-2.6

$P_r^* + I \longrightarrow P_r + I^*$ (transfer to initiator) (2.1)

$P_r^* + M \longrightarrow P_r + M^*$ (transfer to monomer) (2.2)

$P_r^* + RSH \longrightarrow P_r + RS^*$ (transfer to chain transfer agent) (2.3)

$P_r^* + S \longrightarrow P_r + S^*$ (transfer to solvent) (2.4)

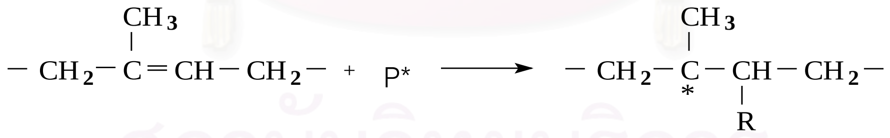
$P_r^* + P_s \longrightarrow P_r + P_s^*$ (transfer to dead polymer) (2.5)

$P_r^* + P_s^* \longrightarrow P_r + P_s^*$ (transfer to growing polymer) (2.6)

ในแต่ละกลไกจะมีการถ่ายโอนอะตอมของไฮโดรเจนไปยังสายโซ่ของพอลิเมอร์ที่กำลังขยายขนาด ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดบนพอลิเมอร์สิ้นสุดลง ซึ่งกลไกในสมการที่ 2.5 เป็นกลไกที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์

2.3.2 การกราฟต์ผ่านตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวในยางธรรมชาติ

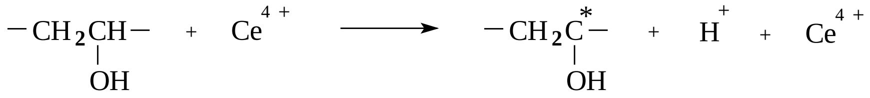
เป็นการเข้าทำปฏิกิริยาของสายโซ่พอลิเมอร์ที่กำลังขยายขนาด ที่ตำแหน่งไม่อิ่มตัวหรือพันธะคู่ของโมเลกุลในยางธรรมชาติ ดังแสดงในสมการที่ 2.7



(2.7)

2.3.3 พอลิเมอไรเซชันแบบรีดอกซ์

เป็นวิธีเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดกับพอลิเมอร์ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเซลลูโลส เป็นต้น ในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์โดยใช้ซีริกไอออน (ciric ion) หรือสารออกซิไดส์ (oxidising agents) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เกิดแรดิคัลอิสระบนพอลิเมอร์ วิธีนี้ไม่มีโฮโมพอลิเมอร์เกิดในระบบ เพราะมอนอเมอร์ไม่ว่องไวต่อซีริกไอออน นอกจากนี้ สารริเริ่มในปฏิกิริยารีดอกซ์จะมีข้อจำกัดกรณีที่พอลิเมอร์มีหมู่ฟังก์ชันอื่น ปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ แสดงไว้ในสมการที่ 2.8



(2.8)

2.3.4 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโฟโตเคมิคัล

สารอินทรีย์ซึ่งมีโครงสร้างที่เหมาะสมจะสามารถดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงที่มองเห็นได้ (visible light) และอัลตราไวโอเลต ทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state) ซึ่งเทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์กับสารโมเลกุลใหญ่ที่มีหมู่ที่ว่องไวต่อแสงได้ อย่างไรก็ตาม มีพอลิเมอร์เพียงไม่กี่ชนิดที่จะกระตุ้นด้วยแสงได้โดยตรง และถ้าพลังงานของโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นมากเกินไปอาจทำให้สายโซ่โมเลกุลขาดออก และถ้าในระบบมีมอนอเมอร์อยู่ด้วย จะมีผลทำให้เกิดโคพอลิเมอร์แบบบล็อก แต่ถ้าหมู่ด้านข้าง (side group) ถูกกระตุ้นจะทำให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์แทน

2.3.5 เทคนิคการฉายรังสีพลังงานสูง

เมื่อพอลิเมอร์ได้รับการฉายรังสีพลังงานสูงจะเกิดผลกระทบ 2 ประการ คือ (1) เกิดการสูญเสียหมู่ที่อยู่ด้านข้าง เช่น ไฮโดรเจนอะตอมจากสายโซ่พอลิเมอร์ และ (2) สายโซ่หลักขาดออก ซึ่งทั้ง 2 กรณีนี้ แรดิคัลของพอลิเมอร์อื่นสามารถรวมตัวกับพอลิเมอร์ที่ถูกฉายรังสีแล้วเกิดเป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์ และบล็อกโคพอลิเมอร์ได้ตามลำดับ เช่น *cis*-1,4-poly(isoprene-*g*-methyl methacrylate) สังเคราะห์โดยฉายรังสี Co^{60} ให้กับน้ำยางธรรมชาติที่ผสมเมทิลเมทาคริเลต ทำให้มีประสิทธิภาพของการกราฟต์ (grafting efficiency) สูง และในระบบจะปราศจากโฮโมพอลิเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลต

M.LL.MASPOCH และ A.B.MARTINEZ ได้ศึกษาสัณฐานวิทยาของน้ำยางธรรมชาติสังเคราะห์ที่ดัดแปรผสมกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว โดยใช้ น้ำยาง BFGoodrich Hycar จะพบว่าน้ำยาง BFGoodrich Hycar จะมีหมู่ไวนิลที่สามารถผสมเข้ากับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว โดยเป็นการเชื่อมติดกันระหว่างผิวของอนุภาคซึ่งเมื่อปริมาณของน้ำยางธรรมชาติมีมากขึ้น ความแข็ง(rigidity)จะลดลง [9]

Yuichi Fukushima และผู้รวมงาน ได้ศึกษาการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดเอาโปรตีนออกไป โดยการใช้น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำซึ่งเตรียมได้จากการบ่มน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงด้วย protiolytic enzyme แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง โดยพบว่าปริมาณไนโตรเจนลดลงเหลือน้อยกว่า 0.02% ซึ่งเขาพบว่าการลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติทำให้สามารถเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของน้ำยางธรรมชาติด้วยสไตรีน โดยใช้เทอร์เชียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และเตตระเอทิลีนเพนตะมีน (TBHPO-TEP) เป็นสารริเริ่ม

แบบรีดอกซ์ (redox initiator) โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าสัมประสิทธิ์การกราฟต์และน้ำหนักโมเลกุลที่ได้จากการกราฟต์ด้วยสไตรีนเพิ่มขึ้น [10]

ปรีชา สุนทรเรืองยศ ศึกษาการกราฟต์สไตรีนร่วมกับเมทิลเมทาคริเลตบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ ในกระบวนการแบบกะ (batch) และกึ่งกะ (semibatch) โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งได้แก่ ปริมาณสารริเริ่ม ปริมาณสารอิมัลซิฟาย อุณหภูมิ อัตราส่วนของสไตรีน/เมทิลเมทาคริเลต อัตราส่วนของมอนอเมอร์/ยางธรรมชาติ รูปแบบการเติมมอนอเมอร์ และเวลาการเกิดปฏิกิริยา โดยเขาพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการกราฟต์สไตรีนร่วมกับเมทิลเมทาคริเลต คือ ใช้สารริเริ่ม 1.5 ส่วนโดยน้ำหนัก สารอิมัลซิฟาย 1.5 ส่วนโดยน้ำหนัก และมอนอเมอร์ 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ต่อยางธรรมชาติ 100 ส่วนโดยน้ำหนัก เวลาที่ใช้เติมมอนอเมอร์ 2 ชั่วโมง และอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง [11]

เจริญ นาคะสรรค์ ศึกษาการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูงด้วยเมทิลเมทาคริเลต เพื่อศึกษาลักษณะของการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน และสมบัติการกราฟต์โคพอลิเมอร์เปรียบเทียบกับการใช้น้ำยางธรรมชาติที่ไม่ได้สกัดโปรตีนออก พบว่าการสกัดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เอนไซม์ opticlean ในระบบที่มีสารอิมัลซิฟาย สามารถลดปริมาณไนโตรเจนจากเดิม 0.9% เหลือ 0.07% และเปอร์เซนต์การเปลี่ยนเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์เป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลตในน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำยางข้นแอมโมเนียสูง และประสิทธิภาพของการกราฟต์ค่าต่ำลงเมื่อปริมาณของเมทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้น [12]

กิติกร จามรดุสิต ได้ศึกษาการกราฟต์เมทิลเมทาคริเลต และสไตรีนบนน้ำยางธรรมชาติในภาวะอิมัลชัน โดยใช้โปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นสารริเริ่ม เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ สไตรีนมอนอเมอร์ สารอิมัลซิฟาย และสารริเริ่ม และอุณหภูมิของปฏิกิริยา ที่มีผลต่อปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งเขาพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการกราฟต์ยางธรรมชาติ คือ ภาวะที่ใช้มอนอเมอร์ 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของสารอิมัลซิฟาย 1.5 ส่วนโดยน้ำหนัก และความเข้มข้นของสารริเริ่ม 1.5 ส่วนโดยน้ำหนักต่อยางธรรมชาติ 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง [13]

2.4 **พอลิเมอร์ผสม** (Polymer Blends) [14]

การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ต่างชนิดมาผสมกันเพื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ โดยไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นมา ซึ่งการทำพอลิเมอร์ผสมกำลังได้รับความสนใจ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ นับจากการนำยางมาปรับปรุงคุณภาพของพอลิสไตรีนเพื่อให้มีความเหนียว ไม่เปราะแตกง่าย ที่เรารู้จักกันดีในชื่อ 'HIPS' (high impact polystyrene) จนถึงปัจจุบันได้มีการค้นคว้าวิจัยทำพอลิเมอร์ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติที่ขาดหายไปของพอลิเมอร์บางชนิด เช่น การทนแรงกระแทก การติดไฟ และการทนความร้อน รวมไปถึงเพื่อให้ง่ายหรือสะดวกในการผลิตขึ้นรูป และที่สำคัญเพื่อลดต้นทุนการผลิต ทั้งยังสามารถขยายประเภทของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย โดยการเลือกประเภทและปริมาณของแต่ละพอลิเมอร์ให้เหมาะสม ซึ่งอาจหลีกเลี่ยงการใช้พลาสติกที่มีราคาแพง เช่น พลาสติกวิศวกรรม (engineering plastics) นอกจากนี้ยังมีการนำวัสดุรีไซเคิลมาทำพอลิเมอร์ผสมอีกด้วย จึงเป็นวิธีการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

อย่างไรก็ตาม ความสามารถเข้ากันได้ (compatibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมจะเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณา โดยเฉพาะการผลิตในทางการค้า ซึ่งมีพอลิเมอร์บางชนิดที่สามารถเข้ากันได้ แต่บางคู่ไม่สามารถเข้ากันได้เนื่องจากพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างสายโซ่ต่างกันไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระเช่นเดียวกับสารโมเลกุลเล็ก ซึ่งทำให้เกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ ยังมีเงื่อนไขทางพลังงาน (energy factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิด เข้ากันไม่ได้ นั่นคือ พลังงานที่ใช้ในการผสมผสานโมเลกุลหรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของสารพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ต่างกัน

2.4.1 **กลไกของการเข้ากันได้** (Compatibilization mechanisims)

พอลิเมอร์ผสมที่ได้ส่วนใหญ่จะมีสมบัติต่ำลงโดยเฉพาะสมบัติเชิงกล โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความเปราะ และไม่แข็งแรง เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัส (interfacial adhesion) ของดิสเพอร์สเฟสกับเมทริกซ์ต่ำ และมีความเค้นสะสม (stress concentration) เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ พอลิเมอร์ผสมที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์จะนิยมใช้สารช่วยผสม (compatibilizer) หรือทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม (in-situ chemical reaction) เพื่อปรับปรุงแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์เพื่อให้ได้สัณฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม โดยทั้งสัณฐานวิทยาและแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสจะมีความสำคัญมากในการช่วยถ่ายโอนแรงในระหว่างการใช้งาน ซึ่งสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นกับภาวะที่ได้รับในระหว่างกระบวนการผสม เช่น ชนิดของ

เครื่องผสม อัตราการผสม อุณหภูมิของการผสม นอกจากนี้ ยังขึ้นกับสมบัติการไหลของแต่ละองค์ประกอบในการผสม และแรงตึงผิวขององค์ประกอบในขณะหลอมเหลวอีกด้วย

2.4.2 **วิธีทำให้เข้ากันได้** (Method of compatibilization)

เทคนิคที่ใช้ในการผสมเพื่อให้พอลิเมอร์เข้ากันได้ และทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติตามความต้องการมีด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาจมีความเกี่ยวข้องกัน ดังนั้น การเลือกใช้จึงขึ้นกับผู้ผลิตเป็นหลักซึ่งจะพิจารณาจากต้นทุนเป็นสำคัญ เทคนิคเหล่านี้ คือ

1. ความเข้ากันทางอุณหพลศาสตร์
2. การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์
3. การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน หรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา
4. การเกิดกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันระหว่างการผสม

2.4.2.1 **ความเข้ากันทางอุณหพลศาสตร์** (Thermodynamic miscibility)

โดยหลักการจะขึ้นกับสมดุลระหว่างเอนทาลปี (enthalpy)และเอนโทรปี (entropy) ของการผสมที่มีต่อพลังงานอิสระของการผสม (free energy of mixing) โดยที่เอนโทรปีเป็นการวัดระดับความเป็นอิสระ (degree of freedom) หรือความไม่เป็นระเบียบของโมเลกุลเมื่อมีการผสมเกิดขึ้น โดยการผสมจะทำให้เอนโทรปีมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS) จึงมีค่าเป็นบวกเสมอ ($S_2 > S_1$) สำหรับโมเลกุลใหญ่ๆ การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีจะมีค่าเกือบเป็นศูนย์ ดังนั้น การเข้ากันได้จึงขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (ΔH) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการผสมจะแสดงไว้ในสมการที่ 2.11

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \tag{2.11}$$

โดยที่ ΔG = การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการผสม

ΔH = การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของการผสม

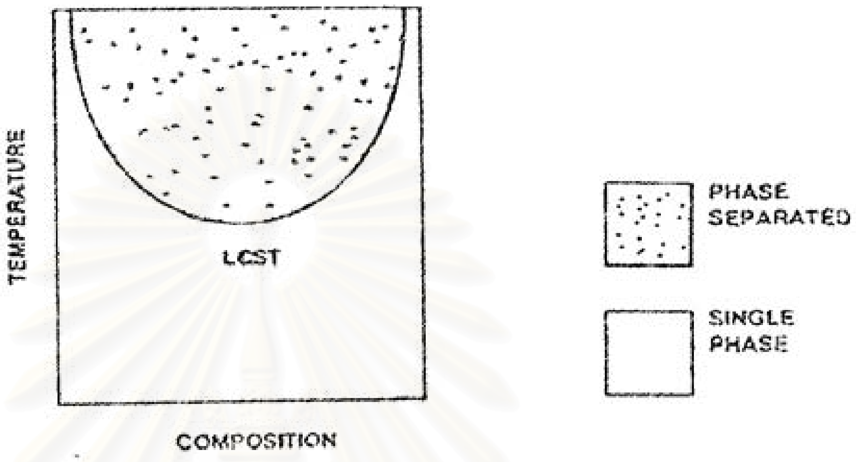
ΔS = การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการผสม

T = อุณหภูมิ (K)

โดยการผสมที่สามารถเข้ากันได้นั้น ΔG ต้องมีค่าเป็นลบ หรือ $\Delta H - T\Delta S < 0$ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

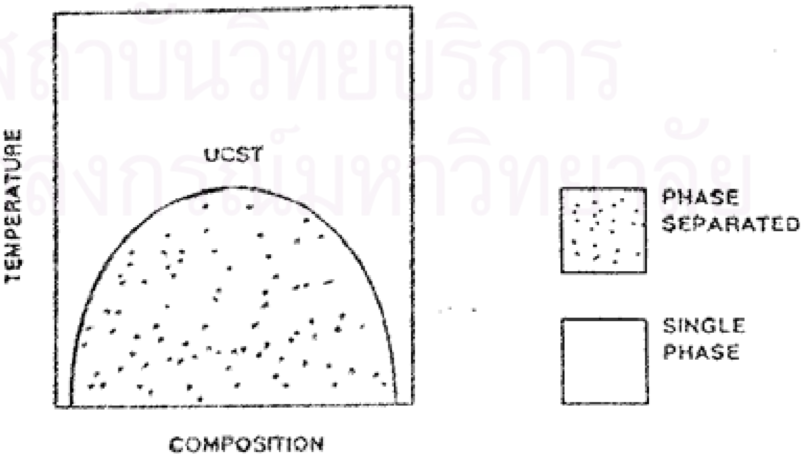
1. การผสมที่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic mixture) คือ ภายในระบบจะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน เช่น การที่โมเลกุล A กับโมเลกุล B ดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน

จากลักษณะดังกล่าวจะส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีมีค่าเป็นลบ ($\Delta H < 0$) นั่นคือ การผสมสามารถเข้ากันได้ และเมื่อสร้างเป็นแผนภาพเฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.6 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบ จะมีผลทำให้ของผสมมีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกเฟสขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลมีการสั่นเพิ่มมากขึ้น ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลลดลง และอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์เริ่มเกิดการแยกเฟส เรียกว่า lower critical solution temperature (LCST)



รูปที่ 2.6 แผนภาพเฟสของพอลิเมอร์ผสมที่แสดง LCST

2. การผสมที่เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic mixture) คือ ภายในระบบจะไม่มีแรงดึงดูดต่อกัน ซึ่งจะมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีมีค่าเป็นบวก ($\Delta H > 0$) ดังนั้น การผสมจะสามารถเข้ากันได้เมื่อ $T\Delta S$ มีค่ามากกว่า ΔH เพื่อให้ ΔG มีค่าเป็นลบ นั่นคือ การผสมที่เข้ากันได้จะสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิสูง หรือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบ รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นอุณหภูมิสูงสุดที่พอลิเมอร์ผสมเกิดการแยกเฟส ที่เรียกว่า upper critical solution temperature (UCST)

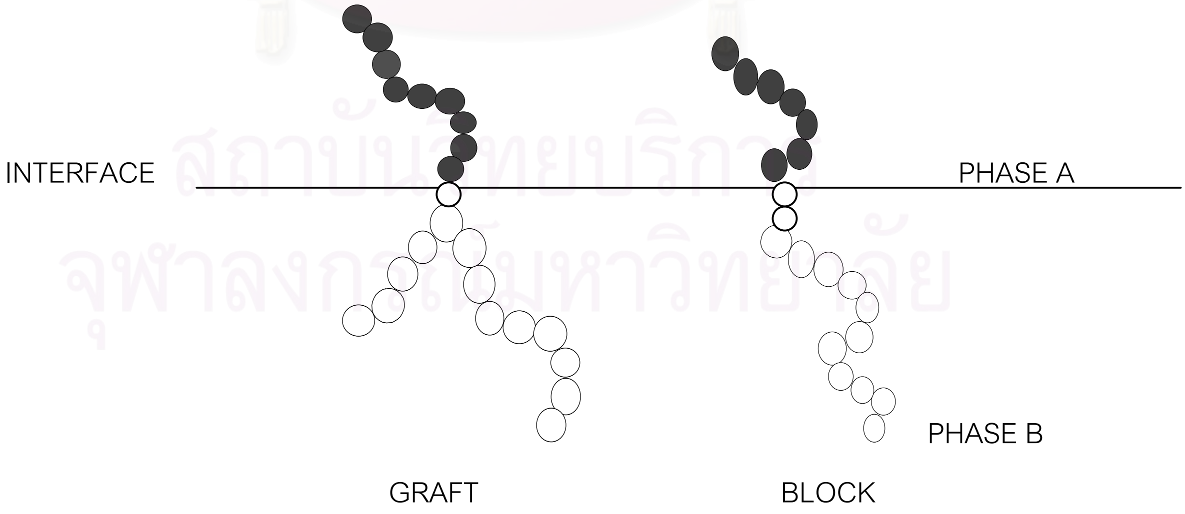


รูปที่ 2.7 แผนภาพเฟสของพอลิเมอร์ผสมที่แสดง UCST

ซึ่งเป็นหลักการที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตทางการค้า เช่น การผสมระหว่างพอลิฟีนิลีนออกไซด์ (polyphenylene oxide, PPO) กับพอลิสไตรีน ซึ่ง PPO จัดเป็นพอลิเมอร์สมรรถนะสูง (high performance polymer) ที่มีราคาแพงและขึ้นรูปยาก แต่มีสมบัติเด่นคือ มีค่า VST (Vicat Softening Temperature) สูงถึง 220 องศาเซลเซียส ซึ่งในงานหลายๆ ด้านไม่จำเป็นต้องใช้สมบัติการทนความร้อนสูงเช่นนี้ จึงมีการนำเอามาผสมกับพอลิสไตรีนเพื่อลดต้นทุนการผลิตและขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น โดยค่า VST ของพอลิสไตรีนจะประมาณ 100 องศาเซลเซียส สัดส่วนการผสมขึ้นกับคุณภาพที่ต้องการ เช่น ถ้าผสมด้วยอัตราส่วน 1 : 1 จะได้พอลิเมอร์ผสมที่มีค่า VST ประมาณ 155 องศาเซลเซียส เป็นต้น ซึ่งการผสมระหว่าง PPO กับพอลิสไตรีน นอกจากจะทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีสมบัติทนความร้อนดีกว่าพอลิสไตรีนแล้ว ยังมีความเหนียวแน่นคงทนดีกว่า HIPS ขณะเดียวกันก็ขึ้นรูปง่ายและราคาถูกกว่า

2.4.2.2 **การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์** (Addition of block or graft copolymer)

การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์จะได้รับความนิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยเฉพาะที่ประกอบด้วยบล็อกที่เหมือนกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ซึ่งโคพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีโครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลเหมาะสมที่จะอยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิด โดยพบว่าสายโซ่ของโคพอลิเมอร์ต้องยาวพอที่จะจับกับพอลิเมอร์ที่ผสม แต่ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงเกินไปเพราะจะแพร่ไปที่ผิวระหว่างเฟสได้ช้ากว่าโคพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งกลไกของการเป็นสารช่วยผสมแสดงไว้ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 บล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อยู่ระหว่างเฟส A และ B

โครงสร้างทางเคมี และน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์จะมีผลต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสมอย่างมาก จากการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารช่วยผสมโดยการทดสอบสมบัติความทนแรงดึง สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. บล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์
2. ไดบล็อกโคพอลิเมอร์จะมีประสิทธิภาพมากกว่าไตรบล็อกโคพอลิเมอร์
3. ไดบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกสั้นสลับยาวจะมีประสิทธิภาพมากกว่าไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวเท่ากัน

การผสมพอลิเมอร์ที่สามารถเข้ากันได้ บ่อยครั้งขึ้นกับความสามารถของสารช่วยผสม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสารช่วยผสมจะมีหน้าที่ดังต่อไปนี้ คือ

1. ลดแรงตึงผิวระหว่างผิวสัมผัสในภาวะหลอมเหลว ทำให้ดิสเพอร์สเฟสมีขนาดเล็กและกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์
2. ช่วยเพิ่มแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัส ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนแรงระหว่างเฟส
3. เพิ่มความคงขนาดของดิสเพอร์สเฟสภายใต้ภาวะการอบเหนียว (annealing)

2.4.2.3 **การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Addition of function/reative polymer)**

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม อาจได้จากการนำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปรให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันต้องสามารถเกิดปฏิกิริยา หรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไอออนิกกับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้ ซึ่งการดัดแปรพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันสามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์ หรือโดยผ่านเครื่องอัดรีด เช่น การกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์บนสายโซ่ของพอลิโอเลฟินส์ โดยหมู่คาร์บอซิลิกของมาเลอิกแอนไฮไดรด์จะมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของพอลิเอไมด์ได้ ทำให้พอลิโอเลฟินส์กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารช่วยผสมที่ได้รับความนิยมในทางการค้า และมีราคาไม่แพงมากนัก

2.4.2.4 **การเกิดกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันระหว่างการผสม** (*In-situ* grafting copolymerization)

การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันระหว่างการผสม หรือ 'reactive blending' เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากัน โดยแตกต่างจากวิธีอื่นๆ คือ องค์

ประกอบที่ทำการผสมจะถูกดัดแปรเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม ตัวอย่างเช่น การผสมพอลิคาร์บอเนตกับพอลิเอสเทอร์

กลไกการเกิดปฏิกิริยาในการผสมอาจมีได้ดังนี้

1. เกิดกราฟต์หรือบล็อกโคพอลิเมอร์ จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีในพอลิเมอร์ ซึ่งอาจกระตุ้นได้โดยการเติมสารริเริ่มในระหว่างการผสม

2. เกิดบล็อกโคพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาแลกเปลี่ยน (interchange reaction) ที่สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดกับพอลิเมอร์แบบควบแน่น

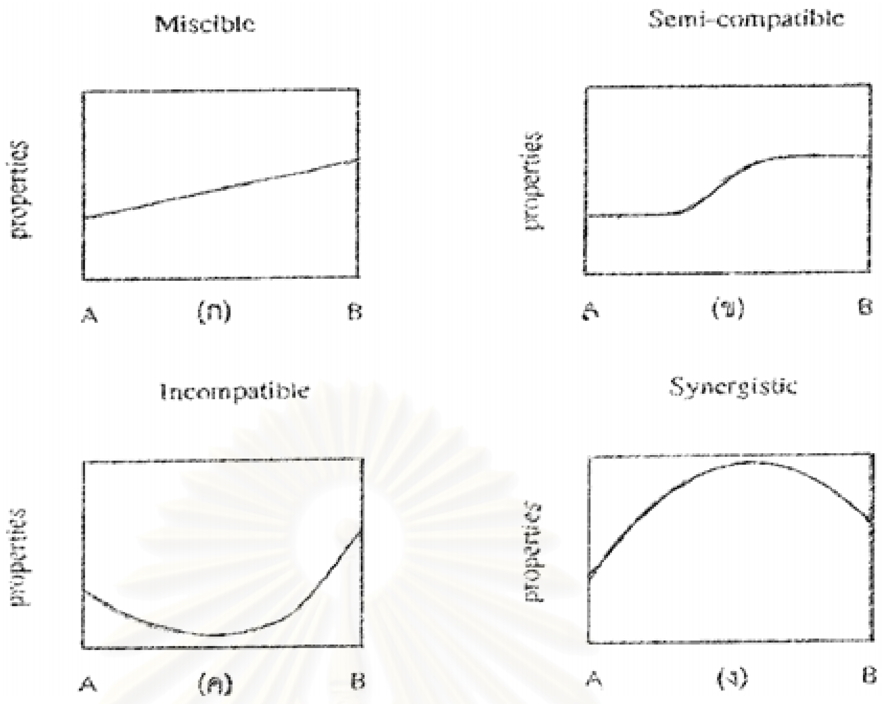
3. เกิดการขาดหรือรวมกันใหม่ของแต่ละโมเลกุล เพื่อที่จะสร้างบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดภายใต้ภาวะที่มีความเค้นเฉือนสูง

4. ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาโดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

2.4.3 **สมบัติของพอลิเมอร์ผสม** (Properties of polymer blends)

สมบัติของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นกับอัตราส่วนของแต่ละองค์ประกอบ รวมทั้งสมบัติของแต่ละองค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละองค์ประกอบ (ลักษณะคล้ายแก้ว หรือยาง หรือเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก) สถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการผสม และการจัดเรียงโมเลกุล

การผสมที่เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์จะแสดงลักษณะสัณฐานวิทยาเพียงเฟสเดียว ซึ่งเป็นการง่ายที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนผสม ดังแสดงในรูปที่ 2.9



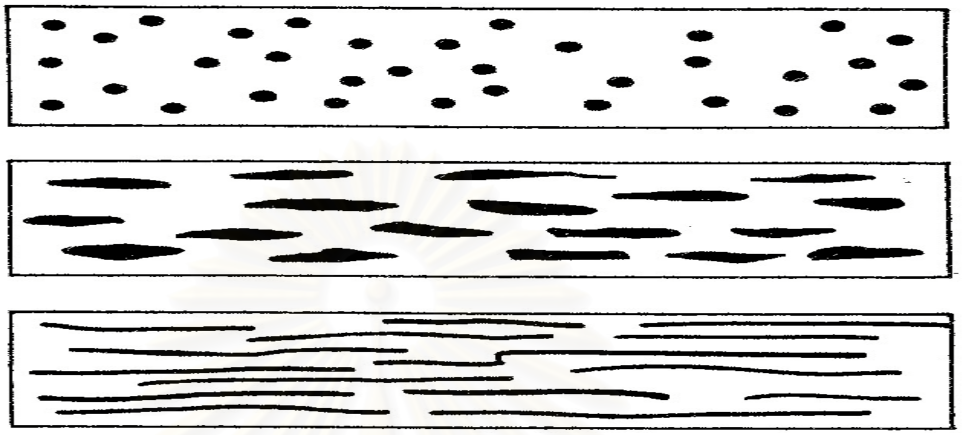
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติและอัตราส่วนผสมในพอลิเมอร์ผสม

จากรูปที่ 2.9 ในระบบการผสมที่สามารถเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ อัตราส่วนการผสมกับสมบัติของพอลิเมอร์ผสมจะมีความสัมพันธ์ในลักษณะเป็นฟังก์ชันเพิ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.9(ก) แต่ในการผสมส่วนใหญ่จะไม่ต้องการความเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ โดยให้มีความเข้ากันได้บางส่วน (semi-compatible) กล่าวคือ อนุภาคของดิสเพอร์สเฟสที่มีขนาดเล็กจะกระจายอยู่ในเมทริกซ์ โดยในระหว่างเฟสจะมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน และเมื่อนำไปพล็อตกราฟระหว่างสมบัติและอัตราส่วนการผสมจะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นรูปตัวเอส ดังแสดงในรูปที่ 2.9(ข) โดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนผสมมากกว่าจะมีแนวโน้มเป็นเฟสหลัก และควบคุมสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน ส่วนบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกราฟจะมีสาเหตุมาจากการกลับเฟสของของผสม

ในระบบที่มีความเข้ากันน้อยมากหรือไม่เข้ากันจะมีการแยกเฟสเกิดขึ้น โดยดิสเพอร์สเฟสจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กระจายอยู่ในเฟสหลัก และระหว่างเฟสจะมีแรงดึงดูดอย่างอ่อนๆ หรือไม่มีเลย จากลักษณะดังกล่าวสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะต่ำกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์ทำให้ไม่นิยมนำไปใช้งาน และจะได้กราฟระหว่างอัตราส่วนการผสมและสมบัติเป็นรูปตัวยู ดังแสดงในรูปที่ 2.9(ค) ส่วนระบบสุดท้ายจะพบเห็นได้น้อย โดยการผสมจะปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมได้มากกว่าระบบอื่นๆ กล่าวคือ สมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมากกว่า หรือเท่ากับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9(ง)

2.4.4 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม (Morphology of blends) [15]

การจัดเรียงตัวหรือสัณฐานวิทยาของแต่ละเฟสในพอลิเมอร์ผสมจะมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง สัณฐานวิทยาอาจมีลักษณะของดิสเพอร์สเฟสกระจายอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง โดยดิสเพอร์สเฟสจะมีลักษณะเป็นทรงกลม แผ่น หรือเส้นใย ดังในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะต่างๆ ของดิสเพอร์สเฟสที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสม

สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการผสม จะขึ้นกับอัตราส่วนของการผสม อัตราส่วนของความหนืดในแต่ละองค์ประกอบ แรงตึงผิว และภาวะของการผสม โดยองค์ประกอบที่มีเป็นจำนวนมากกว่าจะมีแนวโน้มเป็นเมทริกซ์หรือเป็นเฟสหลัก โดยขนาดของดิสเพอร์สเฟสจะถูกควบคุมจากการแตกตัวเป็นหยดของดิสเพอร์สเฟส (drop breakup) และการรวมกลุ่ม (coalescence) ของดิสเพอร์สเฟส โดยการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นกับชนิดของเครื่องผสม แรงตึงผิวระหว่างผิวสัมผัส และลักษณะการไหลของแต่ละองค์ประกอบ นอกจากนี้ รูปร่างของดิสเพอร์สเฟสยังสามารถควบคุมได้ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ตัวอย่างเช่น รูปร่างของดิสเพอร์สเฟสอาจถูกเปลี่ยนแปลงจากทรงกลมเป็นเส้นใยจากการไหลแบบยืดดึงที่บริเวณหัวดาย หรือจากทรงกลมเป็นแผ่นจากการยืดดึง 2 ทิศทาง ในกระบวนการเป่า เป็นต้น

ในการผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิด เข้าด้วยกันนั้น ส่วนใหญ่แล้วพอลิเมอร์ดังกล่าวจะไม่เข้ากันโดยจะแยกเป็น 2 เฟส ตามหลักของเทอร์โมไดนามิกซ์ ซึ่งสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมนั้นจะขึ้นกับอัตราส่วนการผสม สมบัติการไหลของแต่ละองค์ประกอบ และภาวะในการผสม กล่าวคือ เมื่อทำการผสมดิสเพอร์สเฟสในอัตราส่วนน้อย ดิสเพอร์สเฟสจะกระจายอยู่ในเฟสหลักโดยอาจมีรูปร่างเป็นทรงกลม เส้นใย หรือแผ่น ทั้งนี้ขึ้นกับภาวะของการขึ้นรูป และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมขึ้น ดิเพอร์สเฟสจะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอและมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากการรวมกลุ่มกันเองของดิสเพอร์สเฟส และถ้าเพิ่มอัตราส่วนผสมต่อไปดิสเพอร์สเฟสจะเกิดการกลับเฟส (phase inversion)

เปลี่ยนเป็นเฟสหลัก โดยก่อนถึงจุดนี้สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมจะเกิดการกลับเฟสทั้ง 2 เฟส เรียกการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ว่า co-continuous ตัวอย่างของการกลับเฟสนี้สามารถเห็นได้จากการสังเคราะห์ high impact polystyrene (HIPS) ซึ่งการกลับเฟสจะเกิดขึ้นโดยในช่วงแรกเฟสของยางจะเป็นเฟสหลัก แต่เมื่อสิ้นสุดการสังเคราะห์แล้วพอลิสไตรีนจะเป็นเฟสหลัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. Natural rubber latex	: บริษัท Thai rubber latex
2. Styrene monomer	: บริษัท Down Chemical.
3. Sodium dodecyl sulfate	: บริษัท Fluka
4. Sodium hydroxide	: บริษัท Merck
5. Light petroleum ether	: บริษัท Merck
6. Methyl ethyl ketone	: บริษัท Carlo erbr
7. Unsaturated polyester resin	: บริษัท Siam Chemical Industry
8. Acetone	: บริษัท Carlo erbr
9. Calcium chloride	: บริษัท Merck
10. Sodium sulfate anhydrous	: บริษัทCarlo erbr
11. Sufuric acid	: บริษัท Merck
12. Boric acid	: บริษัท Merck
13. Potassium hydroxide	: บริษัท Merck
14. Lauric acid	: บริษัท Merck
15. Selenium reagent	: บริษัท Merck
16. Alcalase 2.0T	: บริษัท NoVo
17. Methyl red	: บริษัท Merck
18. Methylene blue	: บริษัท Merck
19. Alcohol	: บริษัท Merck
20. Tetra ethylene pentamine	: บริษัท A.S.C. Xenon Limited Partnership
21. Tert-butyl hydroxide	: บริษัท Merck
22. Cobalt Octoate	: บริษัท Siam Chemical Industry
23. Methy ethyl ketone peroxide	: บริษัท Siam Chemical Industry

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดปฏิกรณ์ปฏิกิริยาแบบ 4 คอ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
2. ใบพัดกวนและแกนใบพัด
3. มอเตอร์ปั่นกวนชนิดปรับรอบ
4. ตู้อบแบบลมร้อน
5. เทอร์โมมิเตอร์ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส
6. เตาให้ความร้อน
7. เครื่องแก้วอื่นๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทดลอง
8. ชุดทดสอบหาปริมาณไนโตรเจนในน้ำยางธรรมชาติ โดยวิธี Kjeldahl

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. Scanning Electron Microscope (SEM)	: Philips XL 30CP
2. Infrared Spectrophotometer (FTIR)	: Nicolet Impact 400 D
3. Impact Tester	: Gotech GT-7045
4. Universal Tester	: LLOYD 500

3.4 การดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การทำให้สไตรีนมอนอเมอร์บริสุทธ์ [16]

การทำให้สไตรีนมอนอเมอร์บริสุทธิ์ต้องกำจัดตัวยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitor) ที่ผสมอยู่ในมอนอเมอร์ออกให้หมด โดยตัวยับยั้งทำหน้าที่ไม่ให้มอนอเมอร์เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ ซึ่งได้แก่ ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) โดยนำสไตรีนมอนอเมอร์ไปล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10% โดยใช้กรวยแยก จนกระทั่งสีชมพูที่เกิดขึ้นจางหายไป จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าด่างหมดไป ด้วยการทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส หลังจากนั้นแยกน้ำที่ล้างออก แยกสไตรีนมอนอเมอร์ออกแล้วใส่แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (anhydrous Na_2SO_4) ในอัตราส่วน 100 กรัม/ลิตรเพื่อดูดน้ำที่ค้างอยู่ออกไปโดยตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วกรองแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟตออก หลังจากนั้นนำมอนอเมอร์ที่ได้บรรจุลงขวดสีชา และเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส

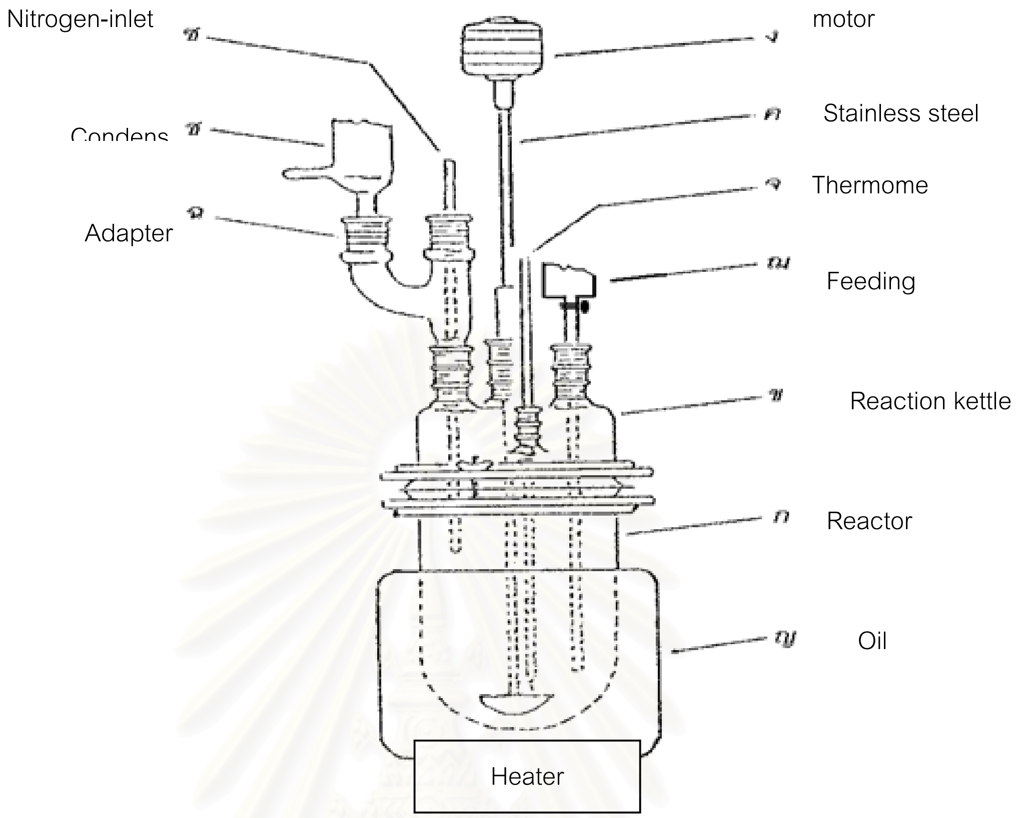
การทดสอบสไตรีนมอนอเมอร์หลังทำให้บริสุทธ์แล้วว่ามีพอลิเมอร์เกิดปะปนหรือไม่ โดยการหยดเมทานอลลงไปในสไตรีน 1 หยด ถ้าเกิดความขุ่นแสดงว่ามีพอลิเมอร์ปนอยู่

3.4.2 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ [17,18,19]

นำน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง 60 %DRC มาทำให้เจือจางโดยการเติมน้ำให้เป็น 25 %DRC หลังจากนั้นนำไปละเหยเอาแอมโมเนียออกโดยการกวนด้วยแท่งแม่เหล็กประมาณ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate, SDS) 1 %w/v ปั่นให้เข้ากัน แล้วตั้งไว้ 1 คืน หลังจากนั้นให้เติมเอนไซม์แอลคาเลส (alcalase) [26] ปริมาณ 0.04 %w/v แล้วนำไปปั่นด้วยความเร็ว 50 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปั่น 4, 8 และ 12 ชั่วโมง แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้น Alfa Laval รุ่น 410 ปั่นด้วยความเร็ว 8,000 รอบ/นาที เพื่อปรับสภาพน้ำยางโปรตีนต่ำที่ได้ให้มีความเข้มข้น 60%DRC แล้วปรับความเข้มข้นของแอมโมเนียโดยการเติมสารละลายแอมโมเนียลงไปจนมีปริมาณ 0.7% โดยน้ำหนัก แล้วนำน้ำยางที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน โดยใช้วิธี Kjeldahl ตามมาตรฐาน ASTM D 3533 [24] ด้วยชุดทดสอบของบริษัท Gerhardt โดยนำน้ำยางข้นที่ได้ 10 กรัม มาทำให้จับตัวเป็นยางแห้งด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 10 %w/v แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนแห้งสนิท แล้วชั่งยางแห้งที่ได้ 0.2–0.3 กรัม ใส่ในขวด Kjeldahl โดยเติม selenium reagent 0.6 กรัม (ตัวแคทตาลิสต์ในสารตัวอย่าง) และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มให้เดือดจนกระทั่งสารละลายใสหรือสีฟ้าใส และให้ความร้อนต่ออีก 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นจนกระทั่งควันของกรดหายไป แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40%w/v ปริมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นยี่ห้อ Gerhardt ซึ่งจะมีแก๊สไนโตรเจนออกมาพร้อมกับไอน้ำและถูกควบแน่นเป็นหยดลงสู่ขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก 50 มิลลิลิตร แล้วกลั่นจนกระทั่งได้ปริมาณสารในขวดรูปชมพู่โดยรวมประมาณ 200 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปไทเทรตด้วย กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.05 โมล นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน และเปอร์เซ็นต์โปรตีน

3.4.3 การกราฟต์พอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติ [20]

การกราฟต์พอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติด้วยกระบวนการแบบอิมัลชัน เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ซึ่งประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์หลัก (main reactor) ภาชนะป้อน (feeding tank) เครื่องกวน (mechanical stirrer) ระบบไนโตรเจน คอนเดนเซอร์ (condenser) และเตาให้ความร้อน ทำการทดลองโดยแปรปริมาณอัตราส่วนโดยมวลของน้ำยางธรรมชาติต่อสไตรีนมอนอเมอร์เป็น 95/5 90/10 80/20 และ 70/30 ซึ่งรายละเอียดของปริมาณสารเคมีที่ใช้ในแต่ละชุดของการทดลอง (เครื่องปฏิกรณ์หลัก และภาชนะป้อน) แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์หลัก และภาชนะป้อน

1. เครื่องปฏิกรณ์หลัก

สูตร	น้ำยางธรรมชาติ/สไตรีน %โมล	น้ำยางธรรมชาติ (60%DRC) (g)	Tetra ethylene pentamine (g)	น้ำ (ml)
1	95/5	155.10	1.0	50
2	90/10	146.95	1.0	50
3	80/20	130.61	1.0	50
4	70/30	114.28	1.0	50

2. ภาชนะป้อน

สูตร	น้ำยางธรรมชาติ/สไตรีน % โมล	สไตรีน (g)	Ter-butyl hydroperoxide (g)	Potassium laurate(g)	น้ำ (ml)
1	95/5	7.5	1.0	5.0	50
2	90/10	15	1.0	5.0	50
3	80/20	30	1.0	5.0	50
4	70/30	46	1.0	5.0	50

การทดลองเริ่มโดยเติมน้ำยางธรรมชาติ เตตระเอทิลีนเพนตะมีน (tetraethylene pentamine) และน้ำกลั่นในเครื่องปฏิกรณ์หลัก กวนด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ส่วนในภาชนะป้อนเติมสไตรีนที่กำจัดตัวยับยั้งปฏิกิริยาออกแล้ว เทอร์เชียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (*tert*-butyl hydropreoxide) และน้ำ กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที หยดของผสมจากภาชนะป้อนลงในเครื่องปฏิกรณ์หลัก โดยมีอัตราการไหล 2 มิลลิลิตร/นาที ซึ่งใช้เวลาหยดประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาต่อไปอีก 2 ชั่วโมง

3.4.4 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน[9]

นำพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว 100 กรัม ไปปั่นด้วยความเร็ว 300 รอบ/นาที แล้วเติมน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนปริมาณ 5, 10, 20, 30 และ 40 กรัม ลงไปผสมพร้อมกับกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมโคบอลต์ออกโทเอต (Co-octoate) 0.1 มิลลิลิตร และเมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (methy ethyl ketone peroxide, MEKPO) 1 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที นำไปเทลงในแม่แบบที่ทำจากยางซิลิโคน บ่มเป็นเวลา 18 ชั่วโมง และนำชิ้นงานที่แกะออกจากแม่แบบไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.5 การตรวจสอบน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน

3.5.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (% Conversion) [12]

หลังจากการผสมในภาชนะป้อนหมด เทลาเทกซ์จากปฏิกรณ์หลัก ใส่ถาดอลูมิเนียม นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 C° จนแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักที่ได้ นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์

3.5.2 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์(%Grafting efficiency)[12]

นำลาเทกซ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์มาจับตัวด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 10 %w/v นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้มารีดเป็นแผ่นบางแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง นำไปอบที่ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งแห้ง ชั่งยางแห้งประมาณ 3 กรัม แล้วนำไปสกัดยางที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออก โดยใช้ชุดสกัดแบบ Soxhlet ใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย สกัดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปสกัดพอลิสไตรีนที่ไม่กราฟต์กับโมเลกุลยางธรรมชาติ โดยใช้เมทิลเอทิลคีโตนเป็นตัวทำละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปอบที่ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้หลังการสกัด นำไปหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์

3.5.3 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีนในโมเลกุลของยางธรรมชาติ [21]

นำกราฟต์โคพอิเมอร์ที่ได้จากการหาค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการเกิดกราฟ์โคพอลิเมอร์ ทำไปยืดถึงให้เป็นฟิล์มบนแผ่นรองรับ แล้วนำไปวิเคราะห์ เครื่องอินฟราเรดสเปกโทโตรโฟ-โตมิเตอร์ (FTIR)

รูปที่ 3.2 Fourier transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) รุ่น Nicolet Impact 400 D

3.6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

3.6.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา (morphology) ของพอลิเมอร์ผสม

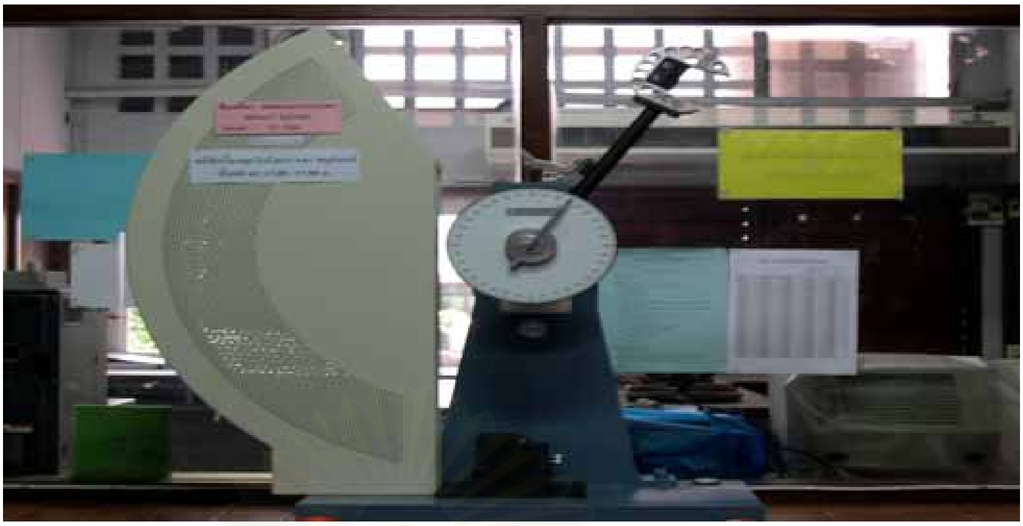
นำพอลิเมอร์ผสมพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีนที่ผ่านการทดสอบความทนแรงกระแทกนำไปเคลือบทองลงบนพื้นผิวแล้วทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

รูปที่3.3 Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่นPhilips XL 30CP

3.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน

3.7.1 การทดสอบความทนแรงกระแทก (Impact strength) [22]

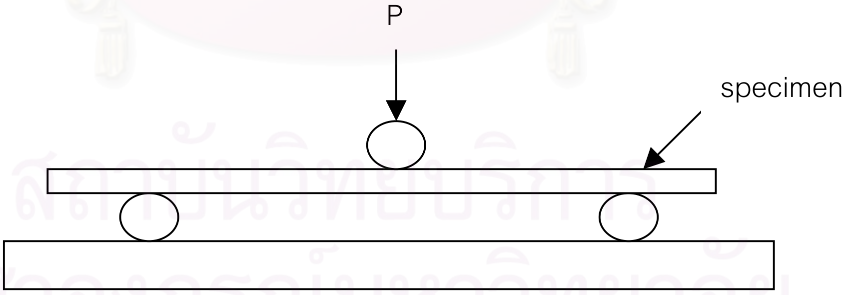
สมบัติความทนแรงกระแทกเป็นการวัดความสมารถในการดูดกลืนพลังงานของวัสดุภายใต้แรงกระแทก เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุที่ใช้กันมาก คือ แบบตุ้มน้ำหนักเหวี่ยงกระแทก ซึ่งอาจใช้การทดสอบแบบไอซอด (Izod) หรือแบบชาร์ปี (Charpy) การทดสอบแบบตุ้มน้ำหนักเหวี่ยงกระแทก แบบไอซอด (Izod) หรือแบบชาร์ปี(Charpy) นี้จะใช้ชิ้นทดสอบซึ่งมีลักษณะคล้ายกัน ต่างกันตรงการจัดวางชิ้นงานทดสอบ โดยชิ้นงานทดสอบแบบไอซอดจะมีการยึดชิ้นทดสอบที่ด้านหนึ่งของชิ้นทดสอบในแนวตั้ง โดยหันรอยบากเข้าหาทิศทางของการกระแทก สำหรับชิ้นงานทดสอบแบบชาร์ปี ชิ้นทดสอบจะถูกวางในแนวนอน โดยหันรอยบากเข้าหาทิศทางของการกระแทก



รูปที่3.4 Impact Tester รุ่น Gotech GT-7045

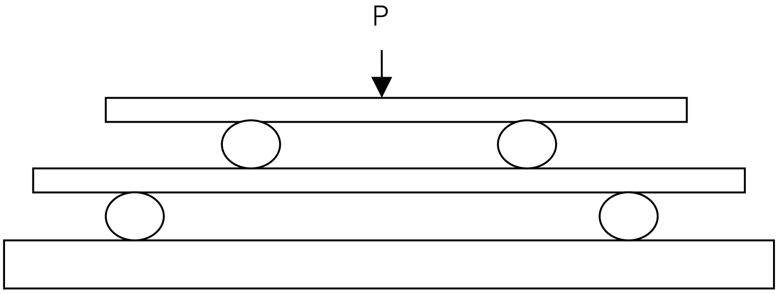
3.7.2 การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความทนแรงดัดโค้ง (Flexural Strength) [23]

สมบัติความทนแรงดัดโค้ง เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความทนแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการดัดโค้ง โดยแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การทดสอบความทนแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด (Three point bending) ดังรูปที่ 3.2 และการทดสอบความทนแรงดัดโค้งแบบ 4 จุด (Four point bending) ดังรูปที่ 3.3 ในการดัดโค้งชิ้นทดสอบนั้นชิ้นทดสอบจะได้รับทั้งแรงเค้นดึง (Tensile stress) และแรงเค้นกด (Compressive stress) ดังรูป 3.4

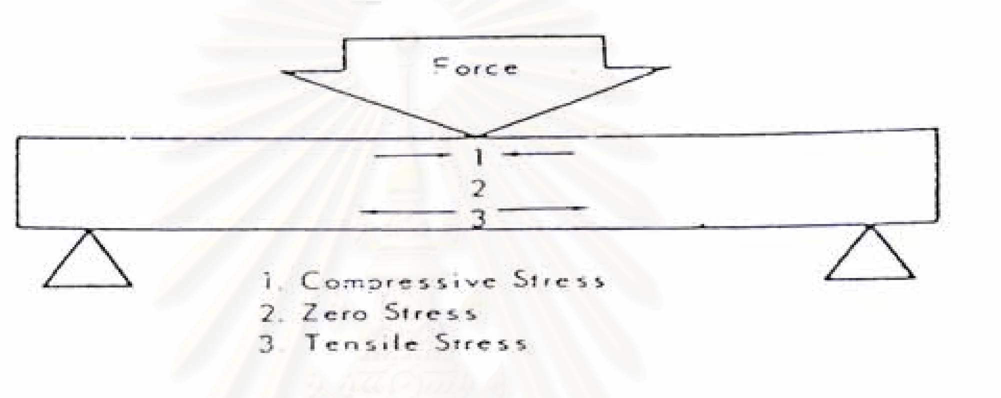


รูปที่ 3.5 การทดสอบความทนแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด (Three point bending)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 การทดสอบความทนแรงดัดโค้งแบบ 4 จุด (Four point bending)



รูปที่ 3.7 แรงเค้นในชิ้นทดสอบขณะทดสอบความทนต่อแรงดัดโค้ง

รูปที่3.8 Universal Tester รุ่น LLOYD 500

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงโดยใช้เอมไซม์

การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์จากน้ำยางธรรมชาติในงานวิจัยนี้ ได้ทดลองใช้น้ำยางธรรมชาติที่มีแอมโมเนียสูง 2 ชนิด คือ ไม่กำจัดโปรตีน และที่กำจัดโปรตีน ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่าน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ โดยน้ำยางธรรมชาติชนิดหลังนี้ สามารถเตรียมได้จากการนำน้ำยางธรรมชาติที่มีแอมโมเนียสูงมากำจัดโปรตีนออกโดยการใช้เอนไซม์ ในภาวะต่างๆกัน ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ภาวะที่ใช้ในการกำจัดโปรตีนออกจากน้ำยางธรรมชาติโดยการใช้เอนไซม์

ตัวอย่าง	ปริมาณเอนไซม์ (%w/v)	เวลาในการบ่ม (ชั่วโมง)	pH	ปริมาณไนโตรเจน (%w/w)	ปริมาณโปรตีน (%w/w)	ปริมาณสัดส่วนของโปรตีนที่ลดลง (%)
NR	-	-	11	0.2687	1.6794	-
DP-NR1	0.04	4	10	0.0241	0.1506	91.00
	0.04	8	9	0.0430	0.2881	82.84
	0.04	12	8	0.0706	0.4413	73.72

หมายเหตุ

NR = น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง

DP-NR (Deprotiesed natural rubber) = น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์ ที่ 0.04 % w/v เวลาที่เหมาะสมคือ 4 ชั่วโมง กล่าวคือ ที่เวลาการบ่ม 4 ชั่วโมง มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.0241 และปริมาณโปรตีนเท่ากับ 0.1506 ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณโปรตีนที่ลดลงเท่ากับ 91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณโปรตีนที่ลดลงมากกว่าเมื่อใช้เวลาการบ่มเป็น 8 และ 12 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากเอมไซม์อัลคาเลสจะทำการย่อยโปรตีนได้ดีที่ pH 10-11 แต่ในกระบวนการย่อยโปรตีนจะทำให้ pH ของระบบต่ำลง เมื่อใช้เวลานานขึ้น ดังนั้น สำหรับงานวิจัยนี้ ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโปรตีนออกจากน้ำยางธรรมชาติ คือ ที่ปริมาณเอนไซม์ ที่ 0.04 % w/v เวลาที่เหมาะสมคือ 4 ชั่วโมง

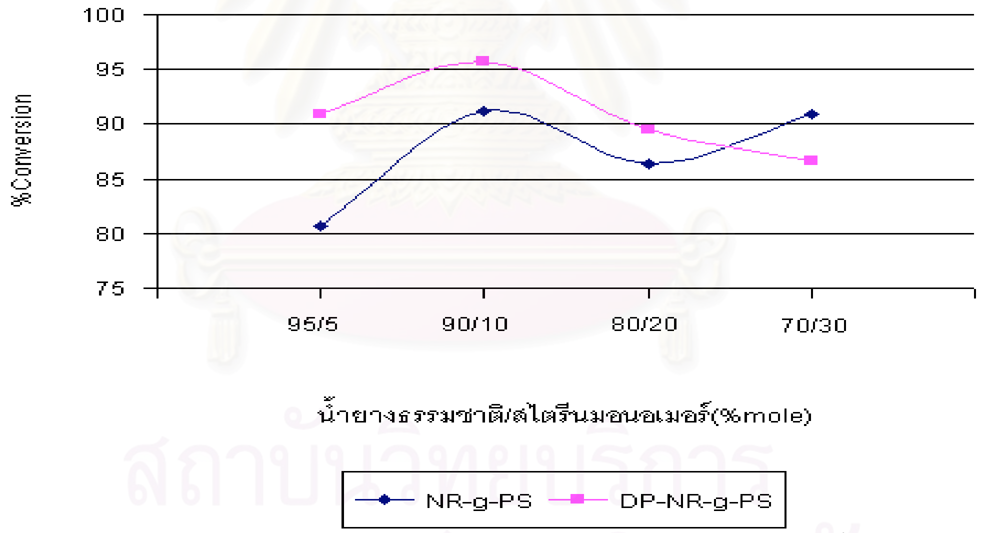
น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เตรียมได้จากการสกัดโปรตีนออกด้วยภาวะข้างต้น จะมีสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ

สมบัติทางกายภาพ	ผลทดสอบ	
	น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง	น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ
Total Solids Content, % by weight	61.78	61.89
Dry Rubber Content, % by weight	60.08	60.10
Non Rubber Solids, % by weight	1.70	1.79
Ammonia Content (on total weight) %	0.72	0.70
pH Value	10.44	10.49

4.2 **เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากสไตรีนมอนอเมอร์เป็นพอลิสไตรีน** (%Conversion)

เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากสไตรีนมอนอเมอร์เป็นพอลิสไตรีน (%Conversion) ในปฏิกิริยาที่ใช้อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง และน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำต่อสไตรีนมอนอเมอร์ โดยเปอร์เซ็นต์โมล เท่ากับ 95/5 90/10 80/20 และ 70/30 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่ใช้อัตราส่วน 90/10 จะให้เปอร์เซ็นต์สูงที่สุดในน้ำยางทั้งสองชนิด



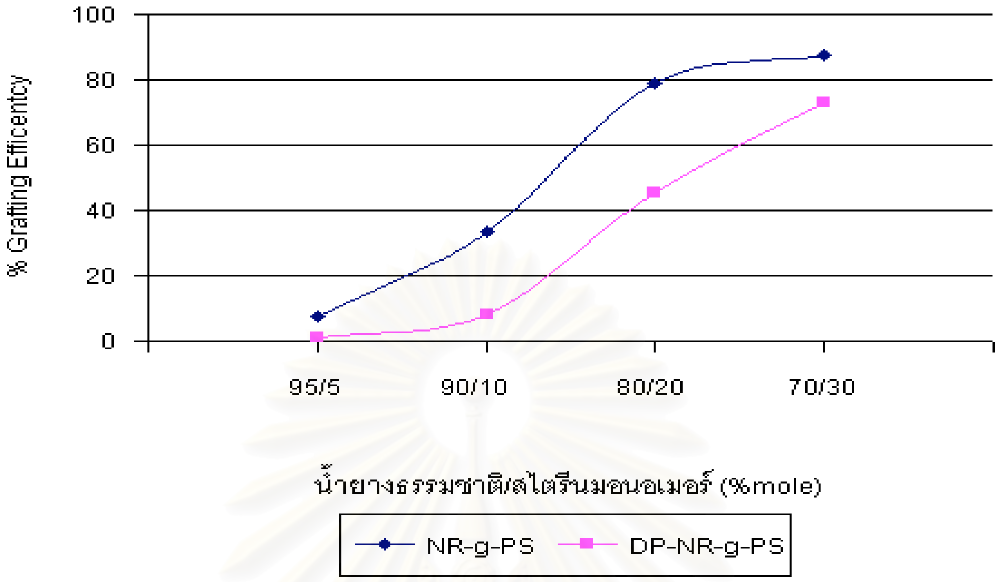
รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากสไตรีนมอนอเมอร์เป็นพอลิสไตรีนของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง และชนิดโปรตีนต่ำ (% Conversion)

<u>หมายเหตุ</u> NR-*g*-PS = น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน

DP-NR-*g*-PS = น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์ของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง และชนิดโปรตีนต่ำ (% Grafting Efficiency)



รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์ของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง และชนิดโปรตีนต่ำ (% Grafting Efficiency)

<u>หมายเหตุ</u> NR-*g*-PS = น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน

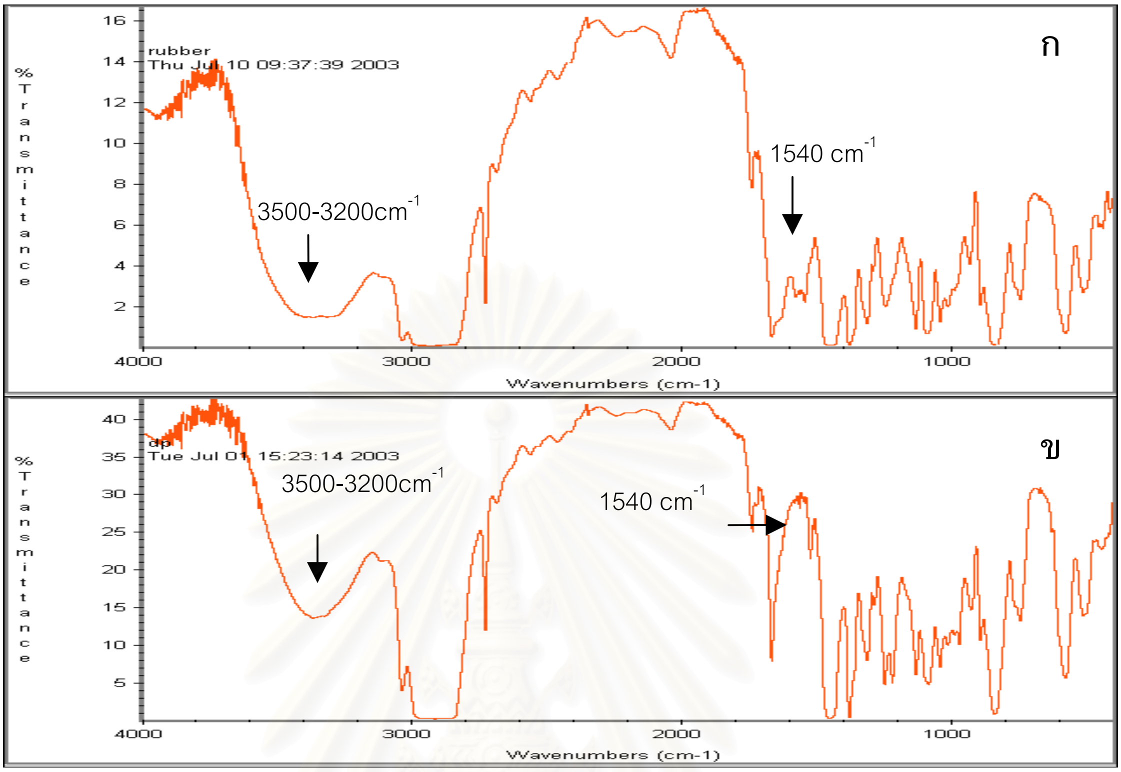
DP-NR-*g*-PS= น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน

ประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันในรูปที่ 4.1 มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง และน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำที่กราฟต์พอลิสไตรีน เมื่อน้ำยางธรรมชาติ/สไตรีนมอนอเมอร์ (%mole) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่า น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงมีแนวโน้มที่จะให้ประสิทธิภาพของการกราฟต์สูงกว่าการใช้น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการสกัดเอาโปรตีนออก ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำยางธรรมชาติสูญเสียเสถียรภาพและมารวมตัวกัน ทำให้พื้นที่ผิวโดยรวมที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์กับสไตรีนมอนอเมอร์ลดลง

4.4 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีนในกราฟต์โคพอลิเมอร์

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) เป็นวิธีวัดการดูดกลืนรังสี IR ที่รวดเร็วและให้ผลการวัดที่มี resolution สูงกว่า และมีอัตราส่วน signal-to-noise น้อยกว่าที่ได้จาก IR spectrophotometer โดยทั่วๆไป โดยแสดงค่าการดูดกลืนรังสี IR โดยโมเลกุลจะเกิดขึ้นต่อเมื่อความถี่ของรังสีนั้นเท่ากับความถี่ของการสั่นสะเทือนโดยธรรมชาติของโมเลกุล

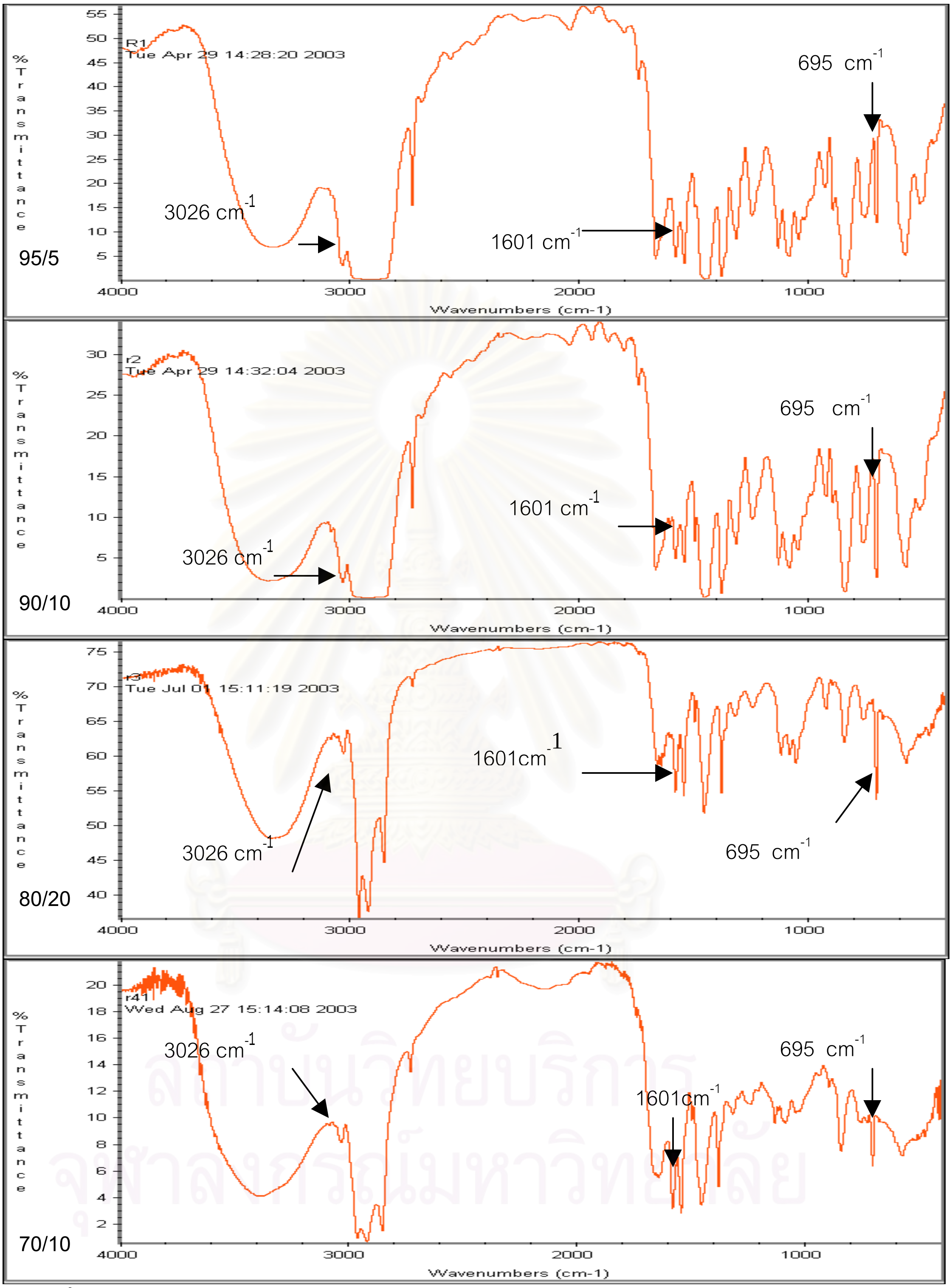
4.4.1 **การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง (ก) และน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ (ข)** [20]



รูปที่ 4.2 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง (ก) และน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ(ข)

จากรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบการดูดกลืนรังสีของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง (ก) และน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ (ข) ที่ได้จากการแสดงระหว่างความเข้มของการดูดกลืนคลื่นแสง (รายงานเป็น % Transmittance) และเทียบกับความถี่ (รายงานในหน่วย wavenumber (cm^{-1}) พบว่า น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง (ก) จะแสดงตำแหน่ง wavenumber ~ 3500-3200 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชัน N-H ของ stretching พันธะเปปไทด์ในโปรตีน และที่ตำแหน่ง wavenumber 1540 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน >N-C=O ได้อย่างชัดเจนมากกว่าน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำ (ข)

4.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของกราฟต์โคพอลิเมอร์

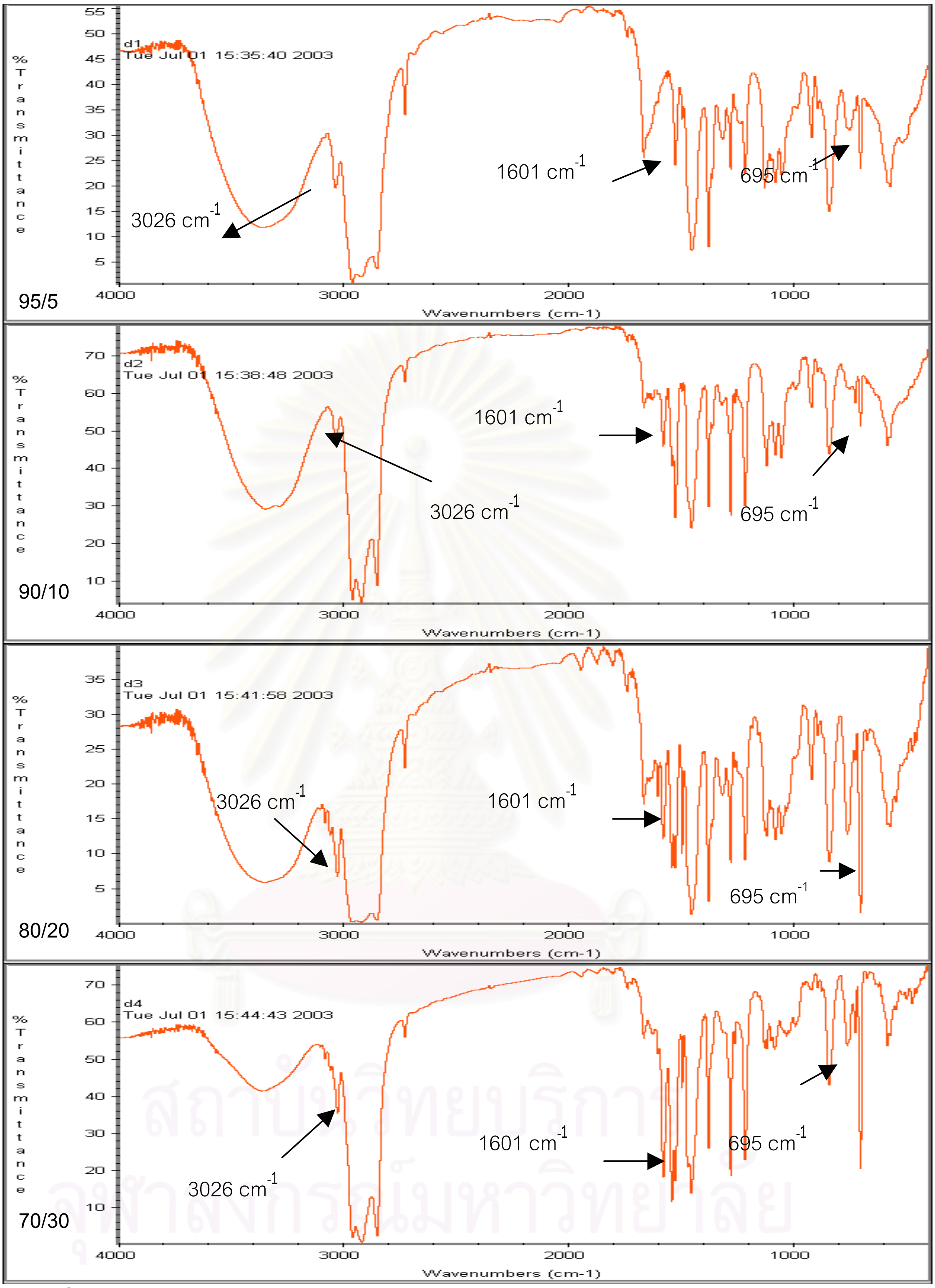


รูปที่ 4.3 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกับพอลิสไตรีน ที่อัตราส่วน 95/5 ,90/10,80/20และ70/30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบการดูดกลืนรังสีของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง (ก) ที่กราฟต์ด้วยพอลิสไตรีนที่ 95/5 90/10 80/20 และ 70/30 พบว่าสเปกตรัมจะแสดงพีกซึ่งเป็นลักษณะวงแหวนอะโรมาติกในพอลิสไตรีนได้แก่ ตำแหน่ง wavenumber 3026 cm^{-1} แสดงพันธะการงอของ C-H อะโรมาติก และที่ตำแหน่ง wavenumber 1601 cm^{-1} เป็นการยืดของพันธะ C=C และ ที่ตำแหน่ง wavenumber 695 cm^{-1} เป็น =CH อะโรมาติก ซึ่งเมื่อปริมาณของน้ำยางธรรมชาติ/สไตรีนมอนอเมอร์(%mole) เพิ่มมากขึ้น ที่ตำแหน่ง wave number 695 cm^{-1} ก็จะชัดเจนมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกับพอลิสไตรีน ที่อัตราส่วน 95/5,90/10,80/20และ70/30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

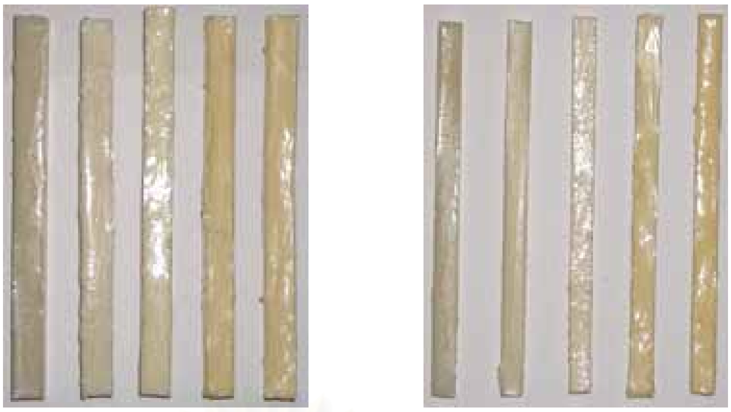
จากรูปที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบการดูดกลืนรังสีของน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำที่กราฟต์ด้วยพอลิสไตรีนที่ 95/5 90/10 80/20 และ 70/30 พบว่าสเปกตรัมจะแสดงพีกซึ่งเป็นลักษณะวงแหวนอะโรมาติกในพอลิสไตรีนได้แก่ ที่ตำแหน่ง wavenumber 3026 cm^{-1} แสดงพันธะการงอของ C-H อะโรมาติก ที่ตำแหน่ง wavenumber 1601 cm^{-1} เป็นการยืดของพันธะ C=C และที่ตำแหน่ง wavenumber 695 cm^{-1} เป็น =CH อะโรมาติก ซึ่งเมื่อปริมาณของน้ำยางธรรมชาติ/สไตรีนมอนอเมอร์(%mole)เพิ่มมากขึ้น ที่ตำแหน่ง wavenumber 695 cm^{-1} ก็จะชัดเจนมากขึ้น

4.5 ลักษณะที่ปรากฏของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวและพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน

ก ข

รูปที่ 4.5 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (ก) และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวน้ำยางธรรมชาติที่ไม่กราฟต์พอลิสไตรีน(ข)

จากรูปที่ 4.5 (ข) ซึ่งแสดงลักษณะของพอลิเมอร์ ผสมที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติที่ไม่กราฟต์พอลิสไตรีน จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าน้ำยางธรรมชาติที่ไม่กราฟต์พอลิสไตรีนไม่กระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว แต่รวมตัวอยู่เป็นก้อน แต่ในกรณีของพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้น้ำยางธรรมชาติซึ่งกราฟต์ด้วยพอลิสไตรีน พบว่ามีการกระจายตัวของน้ำยางธรรมชาติในเนื้อพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวได้ดี ดังรูปที่ 4.6

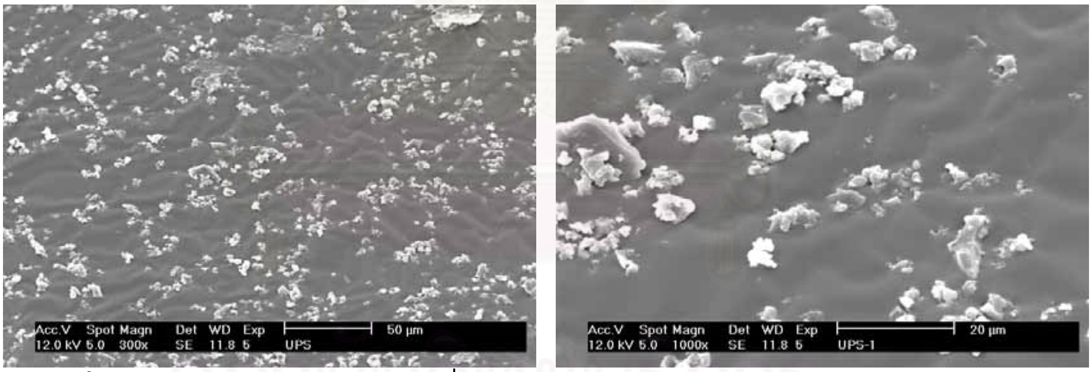


ก ข

รูปที่ 4.6 พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน ชนิดแอมโมเนียสูง (ก) และชนิดโปรตีนต่ำ (ข)

4.6 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง และน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน

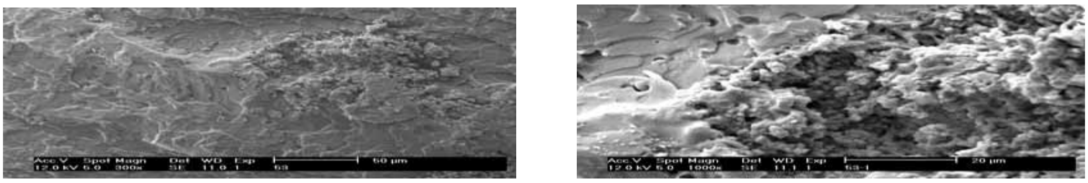
4.6.1 สัณฐานวิทยาของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว



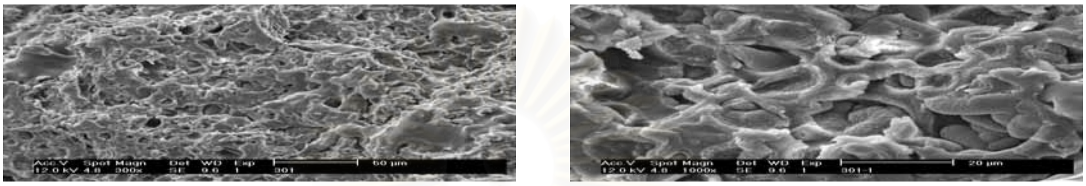
รูปที่ 4.7 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว(UPE) ภาพกำลังขยายด้านซ้าย300Xและด้านขวา 1000X

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

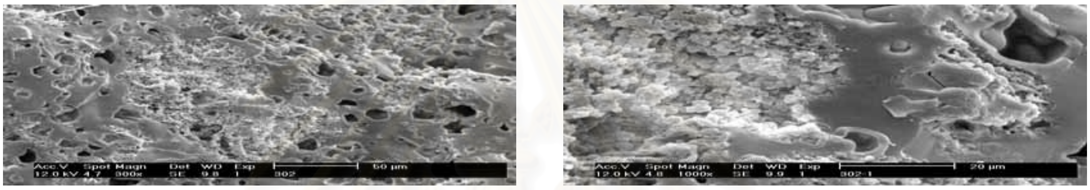
4.6.2 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน



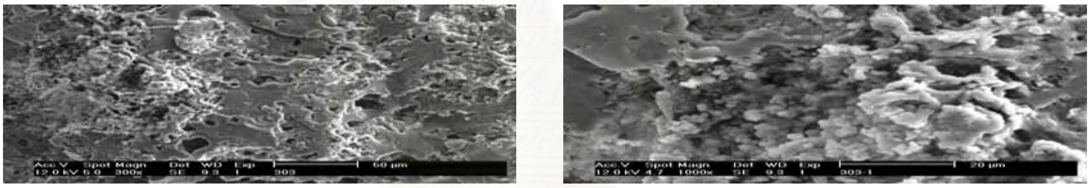
UPE/NR35



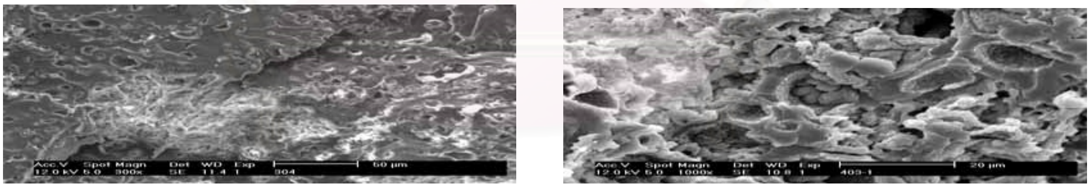
UPE/NR310



UPE/NR320



UPE/NR330



UPE/NR440

รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 80/20 ภาพกำลังขยายด้านซ้าย300Xและด้านขวา1000X

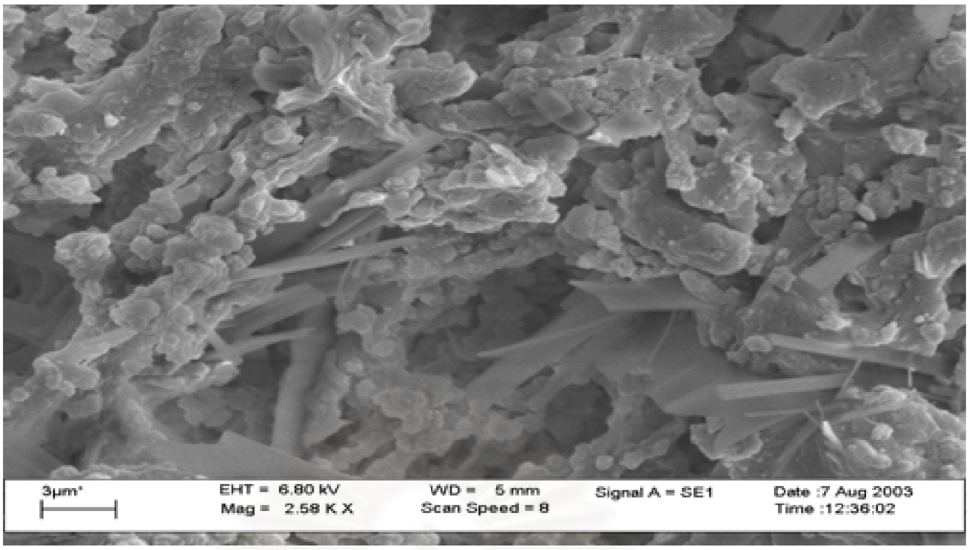
<u>หมายเหตุ</u>

UPE/NRxy0=พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์

โดย x คือ เลขที่ของสูตรที่ใช้ในการผสมน้ำยางธรรมชาติกับสไตรีนมอนอเมอร์ (%mole)

Y คือ น้ำหนักน้ำยางธรรมชาติที่กราฟต์พอลิสไตรีนที่ใส่ในพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

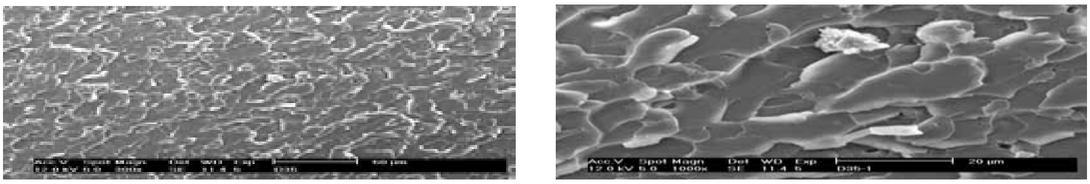


รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน UPE/NR220 (90/10) ที่กำลังขยาย 2850เท่า

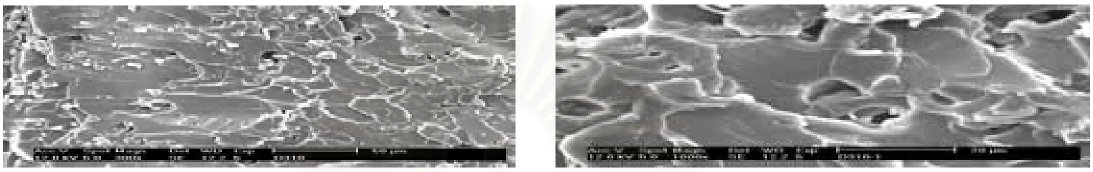
จากรูปที่ 4.8 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 80/20 เมื่อเพิ่มปริมาณของน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนมากขึ้น การกระจายตัวของน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนในเนื้อของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจะมากขึ้น และรูปที่ 4.9 พบยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนแทรกตัวอยู่ระหว่างเนื้อของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดเป็นช่องว่างขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวดังรูปที่ 4.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

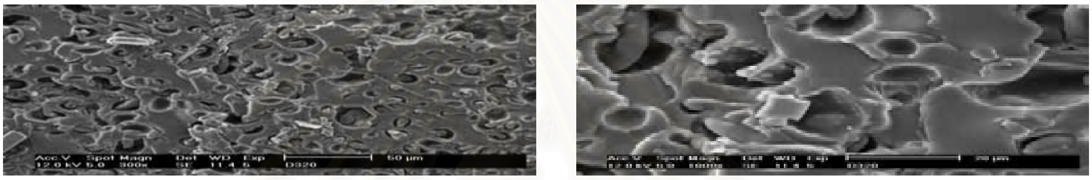
4.6.3 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน



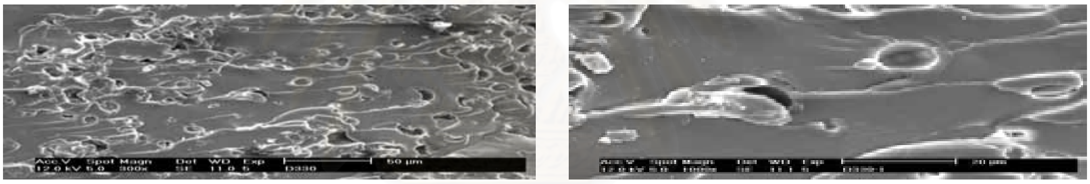
UPE/DP-NR35



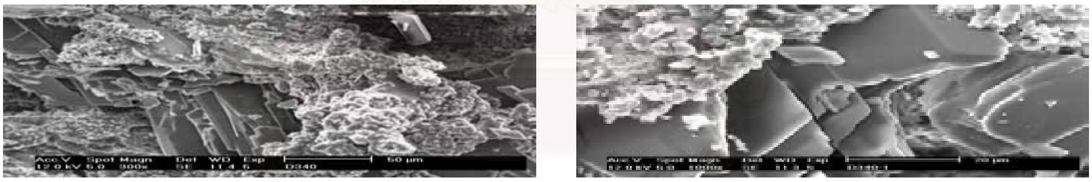
UPE/DP-NR310



UPE/DP-NR320



UPE/DP-NR330



UPE/DP-NR340

รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/
น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน80/20
ภาพกำลังขยายด้านซ้าย300Xและด้านขวา1000X

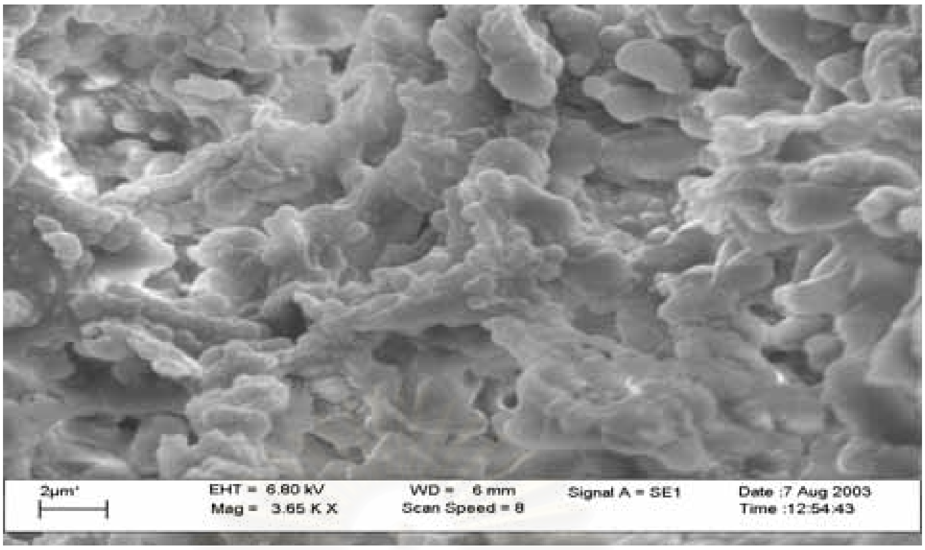
<u>หมายเหตุ</u>

UPE/DP-NRxy0=พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน

โดย x คือ เลขที่ของสูตรที่ใช้ในการผสมน้ำยางธรรมชาติกับสไตรีนมอนอเมอร์(%mole)

Y คือ น้ำหนักน้ำยางธรรมชาติที่กราฟต์พอลิสไตรีนที่ใส่ในพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



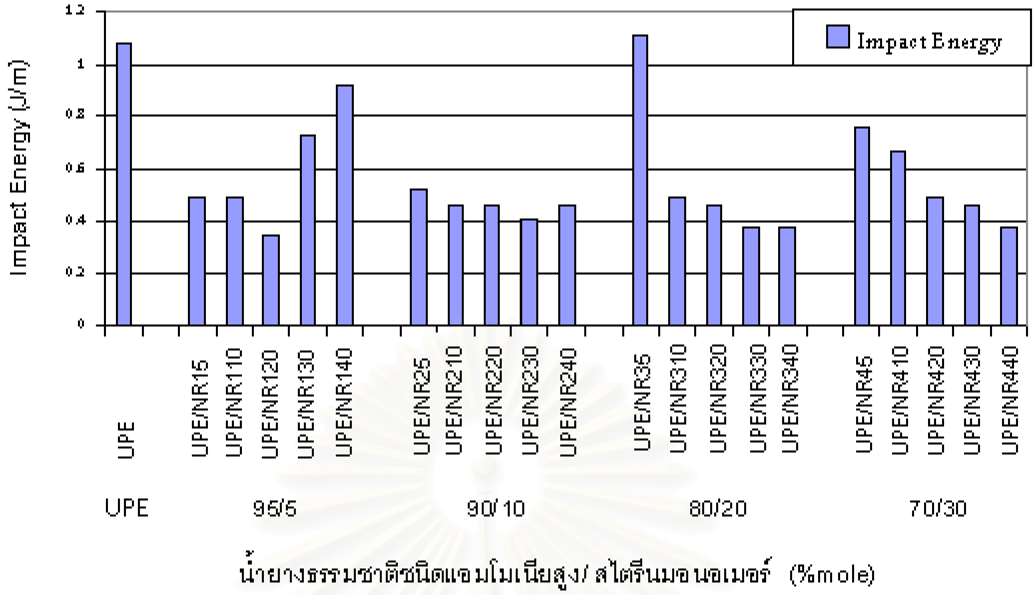
รูปที่ 4.11 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีนUPE/DP-NR110 (95/5) ที่กำลังขยาย3650 เท่า

จากรูปที่ 4.10 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน 80/20 เมื่อเพิ่มปริมาณของน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีนมากขึ้น การกระจายตัวของน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนในเนื้อของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจะมากขึ้น รูปที่ 4.11 พบว่ายางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว และมีช่องว่างที่เกิดขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวดังรูปที่ 4.7

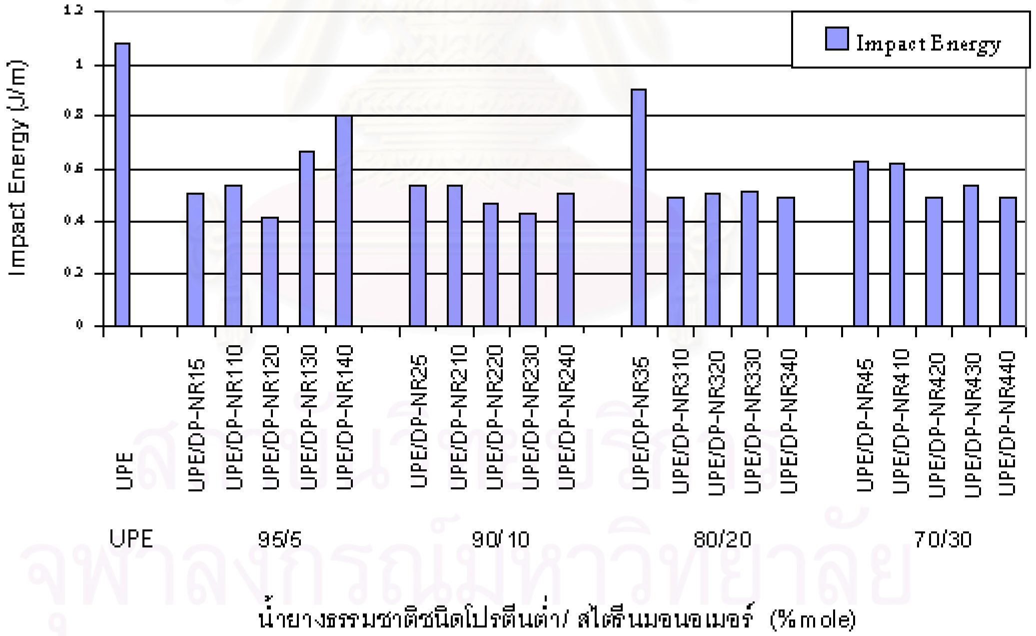
4.7 **ความทนแรงกระแทก** (Impact Strength)

การทดสอบความทนแรงกระแทกในงานวิจัย ใช้การทดสอบแบบชาร์ปี (charpy-type) ซึ่งเป็นการทดสอบที่แสดงถึงพลังงานที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานที่มีรอยบากเกิดการแตกหัก จากแรงตกกระทบ ผลของปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์กับน้ำยางธรรมชาติที่มีต่อความทนแรงกระแทกต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 ค่าความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน

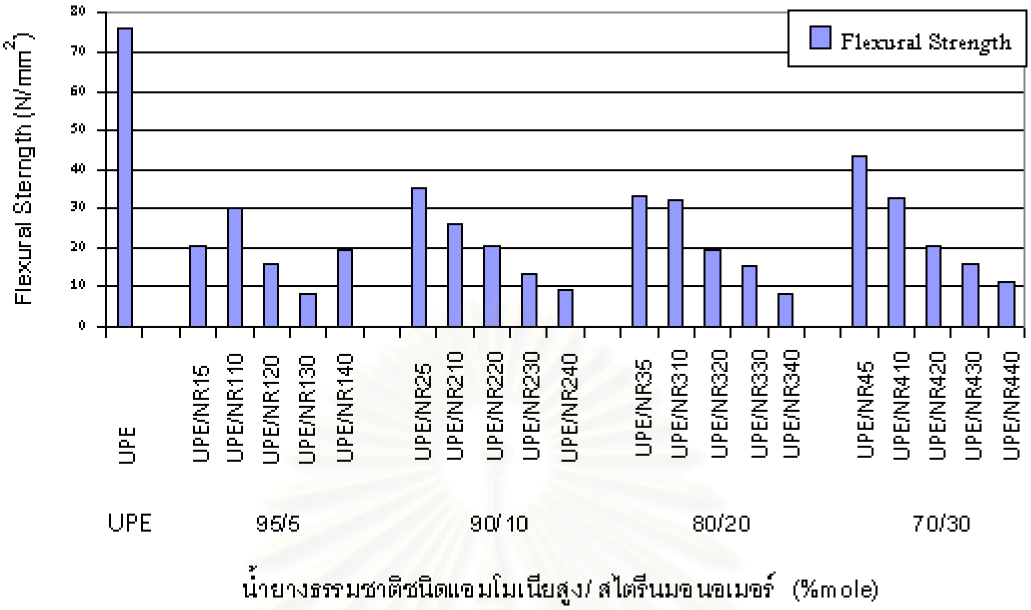


รูปที่ 4.13 ค่าความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน

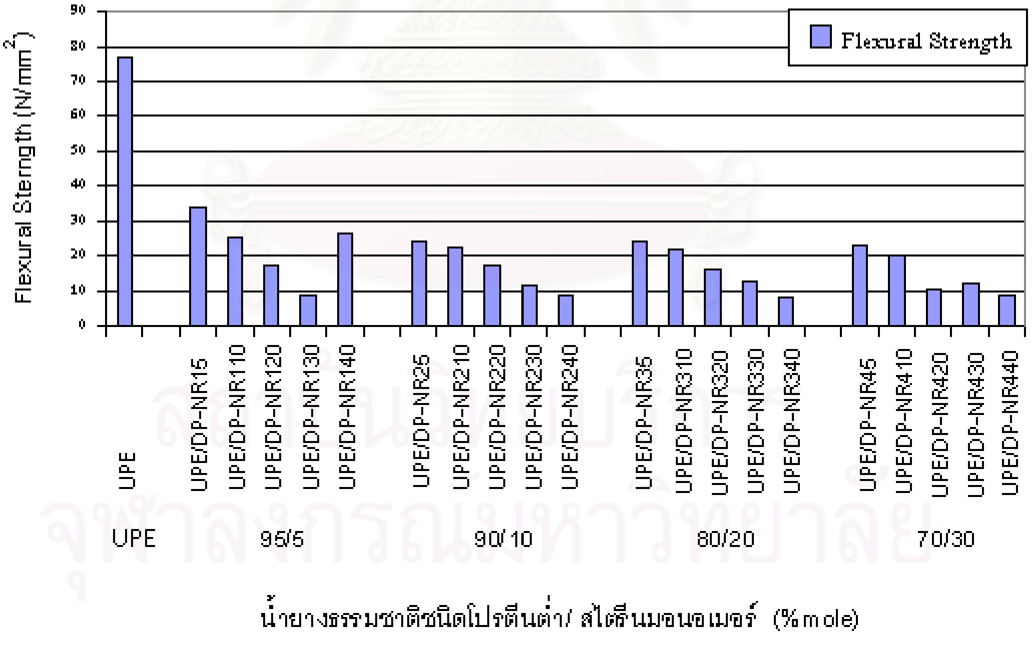
จากรูปที่ 4.12 ปริมาณน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงต่อสไตรีนมอนอเมอร์ 95/5 %mole จะพบว่า เมื่อน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีนปริมาณ 5 10 20 30

และ 40 กรัม ค่าความทนแรงกระแทกจะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณของพอลิสไตรีนในพอลิเมอร์ผสมมีค่าน้อย การกระจายตัวของ น้ำยางธรรมชาติในพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวไม่ดีนักจึงเกิดเป็นข้อบกพร่อง (defects) ของชิ้นทดสอบ บริเวณนั้นจึงแตกหักได้ง่าย และปริมาณน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงต่อสไตรีนมอนอเมอร์ 90/10 80/20 และ 70/30 %mole ค่าความทนแรงกระแทกจะลดต่ำลง เมื่อน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีนปริมาณ 5 10 20 30 และ 40 กรัม เป็นเพราะปริมาณของพอลิสไตรีนในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น การกระจายตัวของน้ำยางในพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวดีขึ้นก็จริง แต่ถ้าพิจารณาจากสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีนดังรูปที่ 4.7 4.8 และ4.10 พบว่า มีช่องว่างเกิดขึ้นภายในพอลิเมอร์ผสม จึงทำให้ค่าความทนแรงกระแทกมีค่าต่ำกว่าพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว จากรูปที่ 4.13 ในกรณีของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีนก็ให้ผลเช่นเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น ค่าความทนแรงกระแทกมีแนวโน้มลดต่ำลง อย่างไรก็ดี ปริมาณน้ำยางธรรมชาติและสไตรีนมอนอเมอร์ที่เหมาะสมที่สุด คือ สูตรที่ 80/20 และปริมาณน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลสไตรีนที่ใส่ลงในพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวเป็น 5 กรัม

4.8 **ความทนแรงดัดโค้ง** (Flexural Strength)



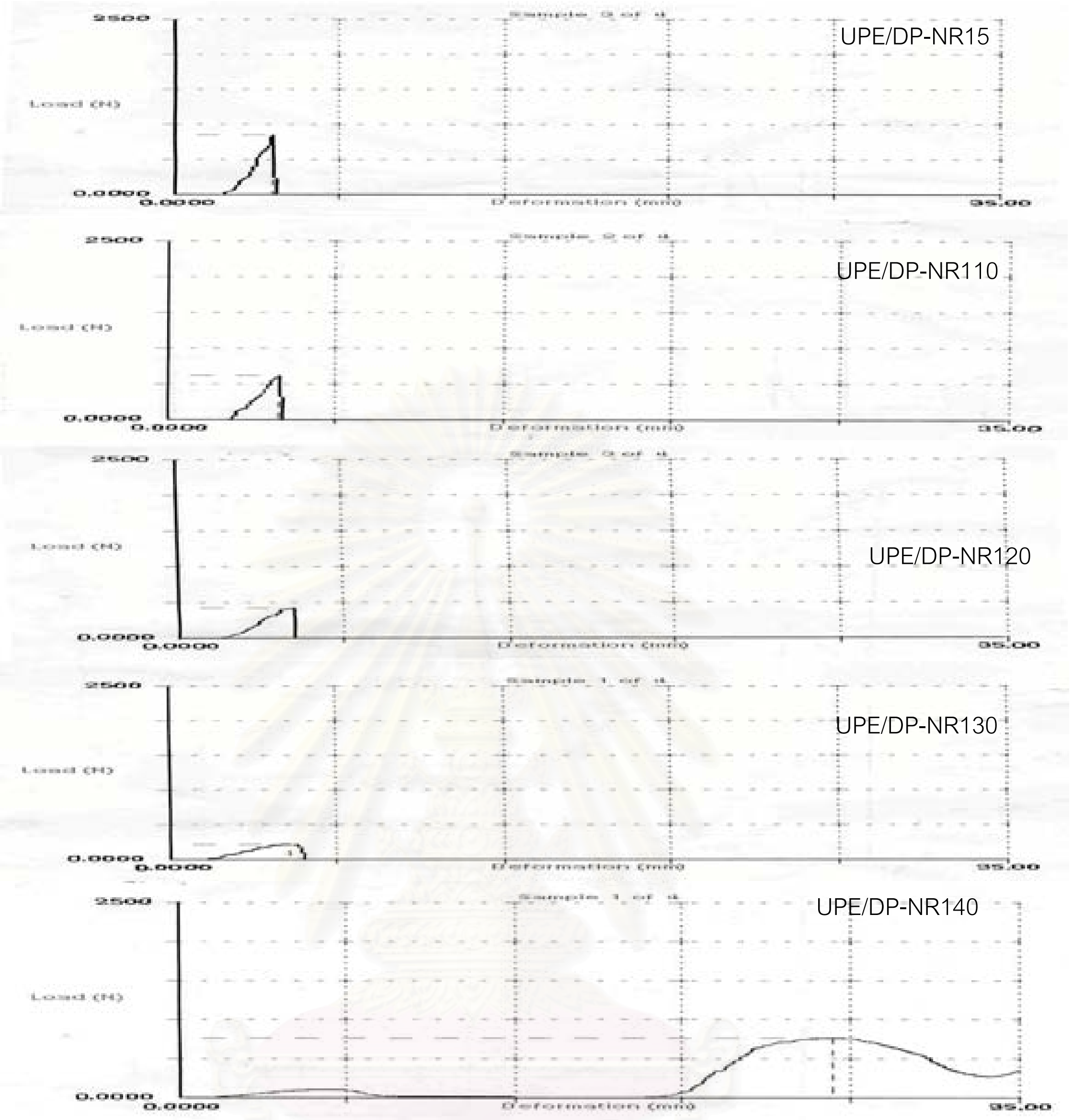
รูปที่ 4.14 ค่าความทนแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน ณปริมาณน้ำยางและ สไตรีนที่ต่างๆกัน



รูปที่ 4.15 ค่าความทนแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน ณ ปริมาณน้ำยาง และสไตรีนที่ต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.14 จะพบว่า เมื่อมีการเติมน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงต่อสไตรีนมอนอเมอร์ 95/5 90/10 80/20 และ70/30 %mole ลงไปในพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว(UPE) ค่าความทนแรงดัดโค้งมีแนวโน้มลดต่ำลง เมื่อปริมาณน้ำยางธรรมชาติต่อสไตรีนมอนอเมอร์เพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (UPE) พบว่า ค่าความทนแรงดัดโค้งจะมีค่าสูงมากกว่าพอลิเมอร์ผสม และในทำนองเดียวกันค่าความทนแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสมของน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำต่อสไตรีนมอนอเมอร์ก็มีแนวโน้มลดต่ำลงเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.15 แต่เมื่อมาพิจารณากราฟรูปที่ 4.17 ระหว่างการยืดของชิ้นงานต่อน้ำหนักที่กดลง (Load(N)) บนชิ้นงาน จะพบว่า ลักษณะของชิ้นทดสอบจะเปลี่ยนจากแข็งและเปราะไปเป็นอ่อนและเหนียว เมื่อปริมาณของน้ำยางธรรมชาติต่อสไตรีนมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น ในรูปที่ 4.16 จะพบว่า ผลิตภัณฑ์มีความโค้งงอตามแรงดัดโค้งเมื่อปริมาณของพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น

รูปที่ 4.16 ความโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 80/20 (%mole)



รูปที่ 4.17ความทนแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 95/5 (%mole)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีนเตรียมได้จากการนำน้ำยางธรรมชาติทั้งชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดโปรตีนต่ำมากราฟต์ด้วยสไตรีนมอนอเมอร์ในตัวกลางที่เป็นน้ำโดยใช้เตตระเอทิลีนเพน-ตะมีนและเทอร์เชียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เป็นสารริเริ่ม ทั้งนี้น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำสามารถเตรียมได้จากการนำน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงมากำจัดโปรตีนออกด้วยเอนไซม์อัลคาเลส ซึ่งภาวะที่เหมาะสมคือ 0.04 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโดยปริมาตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งสามารถลดปริมาณโปรตีนลงได้ 91 เปอร์เซ็นต์ จากผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ ที่อัตราส่วน 90/10 ของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดโปรตีนต่ำ จะให้เปอร์เซ็นต์ที่สูง ประสิทธิภาพการกราฟต์พอลิเมอไรเซชันของปฏิกิริยาที่ใช้น้ำยางธรรมชาติทั้งสองชนิดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากอินฟราเรดสเปกตรัม จะแสดงพีก ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของวงแหวน อะโรมาติกในพอลิสไตรีนที่ตำแหน่ง wavenumber1601cm^{-1} และที่ wavenumber695 cm^{-1}

เมื่อนำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้มาผสมกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว แล้วขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ ณ อุณหภูมิห้อง โดยใช้โคบอลต์ออกโทเอต และเมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์เป็นสารริเริ่มให้พอลิเอสเทอร์แข็งตัวเร็วขึ้น พบว่า สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน ทั้งในน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงและน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำที่กราฟต์พอลิสไตรีนที่อัตราส่วน 95/5 90/10 80/20และ 70/30เพิ่มมากขึ้น มีค่าความทนแรงกระแทกและความทนแรงดัดโค้งลดลง และเมื่อปริมาณน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ที่ 5 10 20 30และ40กรัม สมบัติเชิงกลลดลงเช่นเดียวกัน จากสัณฐานวิทยายังพบว่า การกระจายตัวของน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนในเมทริกซ์ของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวดีกว่าของน้ำยางธรรมชาติที่ไม่กราฟต์ แต่เมื่อปริมาณน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น จะพบว่ามีช่องว่างในผลิตภัณฑ์มากขึ้น จึงส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมทั้งหมดมีค่าความทนแรงกระแทกและแรงดัดโค้งต่ำกว่าพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากความทนแรงกระแทกและ ความทนแรงดัดโค้งของ พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน ลดต่ำลงนั้นอาจเนื่องน้ำยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนที่ผสมลงไปนั้น ไม่มีการวัลคาไนซ์ จึงทำให้ความยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงต่ำลงได้ ดังนั้นถ้ามีการปรับปรุงให้มีการทำ พรีวัลคาไนซ์ก่อนการผสม หลังจากผสมกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวเสร็จแล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 100 ^{o}C เพื่อให้น้ำยางธรรมชาติเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้น คิดว่าค่าความทนแรงกระแทกและค่าความทนแรงดัดโค้งน่าจะสูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. เอฟอาร์พี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร, 2538.
2. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. เทคโนโลยีของยาง. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : กรุงเทพมหานคร, 2539.
3. ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์. พอลิเมอร์คอลลอยด์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ รวยเจริญการพิมพ์: กรุงเทพมหานคร, 2545.
4. ลินดา ถิรภัทรพันธ์. พอลิเมอร์ผสมของยางธรรมชาติกราฟต์เมทิลเมทาคริเลตและพอลิเมทิลเมทาคริเลต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
5. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. อุตสาหกรรมยางดิบ. ศูนย์วิจัยยาง สุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี. 2513.
6. นุชนาฏ ณ ระนอง. ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ.สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร: กรุงเทพมหานคร, 2541.
7. Eirich, F. R. Science and Technology of Rubber. New YorK: Academic Press, 1978.
8. Cerese,R.J. Block and Graft Copolymer. London: John Wiley&Sons,1973
9. M.LL.Maspoch and A.B.Martinez. 1998. Toughening of Unsaturated Polyester With Pubber Particles Part I: Morphological Study. Polymer engineering and science, February, Vol. 38(2), 282-289.
10. Yuichi FuKushima et al. 1998. Synthesis of Graft Copolymers from Highly Deproteinsed Naturl Rubber. J.Rubb.Res.1(3) , 154-166 .
11. ปรีชา สุนทรเรืองยศ. การกราฟต์สไตรีนและเมทิลเมทาคริเลตบนยางธรรมชาติในกระบวนการอิมัลชันแบบกะและกึ่งกะ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
12. เจริญ นาคะสรรค์และคณะ. การเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางข้นแอมโมเนียสูงด้วยเมทาคริเลต. วารสารสงขลานครินทร์ วทท. 22 (4): 467-476. 2000.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

13. กิติกร จามรดุสิต. การกราฟต์เมทาคริเลตและสไตรีนบนน้ำยางธรรมชาติเพื่อเป็นสารเสริมความทนแรงกระแทกของพอลิไวนิลคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาปิโตรเคมีและทยาศาสตร์พอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

14. อุดมศักดิ์ พาลี. ผลของอัตราส่วนผสมต่อการดูดซึมน้ำสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนลอน 6 และพอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2544

15. DR.Paul.et.al., Encyclopedia of Polymer Science and Engineering . Vol.12 , 399-461.

16. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ 1. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร. 2544.

17. Jitladda,T.,and Yasuyuki,T.1997.Purification of Natural Rubber.J.nat.Rubb.,12(2), 112-119.

18. Jitladda Tangpakdee et al. 2002. Recovery of Deproteinsed Small Rubber Particles from Skim Natural Rubber Latex Effect of Some Inorganic Salts. J.Rubb.Res., 5(1),1-10.

19. วรรณพ วิเศษสงวน. สภาวะที่เหมาะสมในการขจัดโปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติโดยเอมไซม์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาชีวเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

20. อาซีซัน แกสมาน. การเตรียมยางผสมของยางธรรมชาติการฟต์ด้วยเมทิลเมทาตริเลตผสมพอลิไวนิลคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

21. ENG AIK-HWEE et al.1992. FTIR Studies oh Amino Groups in Purified Hevea Rubber. J.nat.Rubb.Res., 7(2),152-155.

22. An American National Standard. Standard Test Method for Determining the Pendulum Impact Resistance of notched Specmens of Plastics. Annual Book of ASTM Standards. [08.01] D256-93a (1993).

23. An American National Standard. Standard Test Method for Fiexural Properties of Unreinforced and Reinforce Plastics and Electrical Insulating Materials [Metric]. Annual Book of ASTM Standards. [08.01] D790M-93a (1993).

24. An American National Standard. Standard Standard Method of Testing Rubber Nitrogen content. Annual Book of ASTM Standards.[14.01] D3533-90(1993).

25. RRIM Test Methode for Standard Malaysian Rubber Sesearch Institute of Malaysia Kaulalumpur. SMR Bull No,7. Rubb Res. TNST. Malaysia.

26. WWW.novozymes.com.

27. H.Hasma. Protines of Natural rubber latex concentrate. J.nat.Rubb.,7(2), 102-112.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

1. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในน้ำยางธรรมชาติ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{\left[(V_1 - V_2) \times M \times 0.014\right] \times 100}{W}$$

โดย

V_1 = ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรต

V_2 = ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตกับน้ำกลั่นมาตรฐาน (blank)

M = โมลาริตีของกรดซัลฟิวริก

W = น้ำหนักเป็นกรัมของสารตัวอย่างที่ใช้

0.014 = มิลลิโมลของไนโตรเจน

2. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ(SMR Bulletin No.7)

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25$$

3. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์(% Conversion)

$$\%\ \text{Conversion} = \frac{(\text{น้ำหนักโฮโมพอลิเมอร์} + \text{น้ำหนักกราฟต์พอลิสไตรีน}) \times 100}{\text{สไตรีนมอนอเมอร์}}$$

4. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ (% Grafting Efficiency)

$$\%\ \text{Grafting Efficiency} = \frac{\text{น้ำหนักกราฟต์พอลิสไตรีน} \times 100}{\text{น้ำหนักโฮโมพอลิเมอร์} + \text{น้ำหนักกราฟต์พอลิสไตรีน}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ก.1ข้อมูลของการทดลองในการสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน

NR/Styrene (%mole)	NR (g)	Styrene monomer(g)	NR content(g)	%Conv	Sample (g)	Wt.A (g)	Wt.B (g)	%free NR	%free polystyrene	Grafted NR-St	%GE
NR95/5	93.42	7.49	56.90	80.66	3.67	1.34	0.21	36.52	5.60	57.35	7.46
NR90/10	88.31	15.23	64.50	91.20	2.71	0.63	0.24	23.83	9.20	69.18	33.78
NR80/20	78.50	30.05	18.01	86.30	2.93	1.69	0.15	60.22	5.53	38.41	78.67
NR70/30	68.65	45.05	-20.15	90.85	3.93	3.18	0.18	88.80	5.13	15.65	87.47
DP-NR95/5	93.24	7.15	78.91	90.94	2.99	0.43	0.20	14.33	6.75	78.98	1.07
DP-NR90/10	89.36	15.01	25.66	95.75	2.55	1.57	0.32	63.69	13.19	26.84	8.22
DP-NR80/20	78.73	30.03	34.16	89.42	2.14	1.02	0.33	44.57	14.62	46.39	45.56
DP-NR70/30	68.53	45.01	-14.86	86.70	2.83	2.20	0.27	83.39	10.53	13.63	73.01

หมายเหตุ wt.A คือ น้ำหนักยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์

wt.B คือ น้ำหนักยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดโดยใช้เมทิลเอทิลคีโตน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. สูตรการคำนวณหาค่าความทนแรงกระแทกเครื่อง Gotech GT-7045

<u>การหาค่าความฝืด</u>

$$E_1 = LF/2\ [\cos\alpha' - (\cos\alpha) + \cos\beta' - (\cos\beta)\ ]$$

โดย

E_1 คือ ค่าความฝืดของเครื่อง

L คือ ระยะของแขนเหวี่ยงมีค่าเท่ากับ 39.48 cm.

F คือ น้ำหนักของหัวค้อนมีค่าเท่ากับ 1.357 kg.

$\cos\alpha'$ คือ มุมตกกระทบตามเข็มนาฬิกา ในกรณีที่ไม่มีชิ้นงานมีค่าเท่า 146 $^{\circ}C$

$\cos\alpha$ คือ มุมที่ตั้งแขนเหวี่ยงก่อนตีมีค่าเท่า 150 $^{\circ}C$

$\cos\beta'$ คือ มุมตกกระทบทวนเข็มนาฬิกา ในกรณีที่ไม่มีชิ้นงานมีค่าเท่า 147 $^{\circ}C$

$\cos\beta$ คือ มุมตกกระทบตามเข็มนาฬิกา ในกรณีที่มีชิ้นงาน ซึ่งสามารถเทียบค่าจากตาราง

<u>การหาการต้านแรงอากาศ</u>

$$E_2 = LF[\cos\alpha' - \cos\theta]$$

โดย

E_2 คือ การต้านแรงอากาศ

$\cos\theta$ คือ มุมตกกระทบที่ได้จากการตีชิ้นงานแล้วตามเข็มนาฬิกา โดยทำการตีซ้ำในกรณีที่ไม่มีชิ้นงานมีค่าเท่ากับ147.5 $^{\circ}C$

<u>การหาค่าพลังงานกระแทก</u>

$$E'' = E' - (E_1 + E_2)$$

โดย

E_1 คือ ค่าความฝืดของเครื่อง

E_2 คือ การต้านแรงอากาศ

E' คือ พลังงานศักย์ (Potential Energy) ที่ได้จากมุมตกกระทบตามเข็มนาฬิกา ในกรณีที่มีชิ้นงาน ซึ่งสามารถเทียบค่าจากตาราง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน

Sample Description	No 1	No 2	No 3	cos Beta mean	STD	E1	E'	E2	E	E''
UPE	133	137	133	134.33	2.309	-2.755	8.9589	0.76	10.94	1.08
UPE/NR105	140	141	141	140.67	0.577	-0.756	4.9547	0.76	4.94	0.48
UPE/NR110	139	141	142	140.67	1.528	-0.756	4.9547	0.76	4.94	0.48
UPE/NR120	142	142	143	142.33	0.577	-0.271	3.9919	0.76	3.49	0.34
UPE/NR130	139	137	138	138.00	1.000	-1.568	6.58	0.76	7.37	0.72
UPE/NR140	138	134	136	136.00	2.000	-2.206	7.86	0.76	9.29	0.91
UPE/NR205	141	140	140	140.33	0.577	-0.855	5.1553	0.76	5.24	0.51
UPE/NR210	141	141	141	141.00	0.000	-0.657	4.76	0.76	4.64	0.45
UPE/NR220	141	141	141	141.00	0.000	-0.657	4.76	0.76	4.64	0.45
UPE/NR230	141	142	142	141.67	0.577	-0.463	4.3714	0.76	4.06	0.40
UPE/NR240	141	141	141	141.00	0.000	-0.657	4.76	0.76	4.64	0.45
UPE/NR305	135	132	135	134.00	1.732	-2.867	9.18	0.76	11.27	1.11
UPE/NR310	140	142	140	140.67	1.155	-0.756	4.9547	0.76	4.94	0.48
UPE/NR320	141	141	141	141.00	0.000	-0.657	4.76	0.76	4.64	0.45
UPE/NR330	142	142	142	142.00	0.000	-0.366	4.18	0.76	3.77	0.37
UPE/NR340	142	142	142	142.00	0.000	-0.366	4.18	0.76	3.77	0.37
UPE/NR405	138	137	138	137.67	0.577	-1.673	6.7879	0.76	7.69	0.75
UPE/NR410	139	140	137	138.67	1.528	-1.361	6.1646	0.76	6.75	0.66
UPE/NR420	140	141	141	140.67	0.577	-0.756	4.9547	0.76	4.94	0.48
UPE/NR430	141	142	140	141.00	1.000	-0.657	4.76	0.76	4.64	0.45
UPE/NR440	142	142	142	142.00	0.000	-0.366	4.18	0.76	3.77	0.37

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์สไตรีนมอนอเมอร์

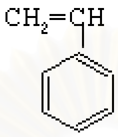
Sample				Cos Beta						
Description	No 1	No 2	No 3	mean	STD	E1	E'	E2	E	E’’
UPE	133	137	133	134.33	2.309	-2.755	8.9589	0.76	10.94	1.08
UPE/DP-NP15	140	140	140	140.00	0.000	-0.955	4.9547	0.76	5.14	0.50
UPE/DP-NR110	139	140	138	139.00	1.000	-1.258	4.9547	0.76	5.44	0.53
UPE/DP-NR120	140	140	140	140.00	0.000	-0.955	3.9919	0.76	4.17	0.41
UPE/DP-NR130	140	140	140	140.00	0.000	-0.955	6.58	0.76	6.76	0.66
UPE/UP-NR140	138	139	142	139.67	2.082	-1.055	7.86	0.76	8.14	0.80
UPE/DP-NR25	140	139	140	139.67	0.577	-1.055	5.1553	0.76	5.44	0.53
UPE/DP-NR210	141	139	135	138.33	3.055	-1.464	4.76	0.76	5.45	0.53
UPE/DP-NR220	140	141	141	140.67	0.577	-0.756	4.76	0.76	4.74	0.46
UPE/DP-NR230	141	142	139	140.67	1.528	-0.756	4.3714	0.76	4.35	0.43
UPE/DP-NR240	139	139	140	139.33	0.577	-1.156	4.76	0.76	5.14	0.50
UPE/DP-NR35	140	140	142	140.67	1.155	-0.756	9.18	0.76	9.16	0.90
UPE/DP-NR310	141	140	141	140.67	0.577	-0.756	4.9547	0.76	4.94	0.4
UPE/DP-NR320	139	140	139	139.33	0.577	-1.156	4.76	0.76	5.14	0.50
UPE/DP-NR330	137	138	137	137.33	0.577	-1.778	4.18	0.76	5.18	0.51
UPE/DP-NR340	138	138	138	138.00	0.000	-1.568	4.18	0.76	4.97	0.49
UPE/DP-NR45	142	142	142	142.00	0.000	-0.366	6.7879	0.76	6.38	0.63
UPE/DP-NR410	140	141	140	140.33	0.577	-0.855	6.1646	0.76	6.25	0.61
UPE/DP-NR420	141	140	141	140.67	0.577	-0.756	4.9547	0.76	4.94	0.48
UPE/DP-NR430	139	138	138	138.33	0.577	-1.464	4.76	0.76	5.45	0.53
UPE/DP-NR440	138	138	138	138.00	0.000	-1.568	4.18	0.76	4.97	0.49

ภาคผนวก ข

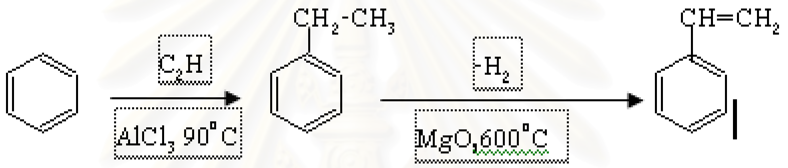
สมบัติทางเคมีและโครงสร้างเคมี

1.สไตรีน (Styrene)

สูตรโครงสร้าง



สไตรีนหรือไวนิวเบนซิน เตรียมได้จากเบนซินกับเอธิลีน ดังสมการ



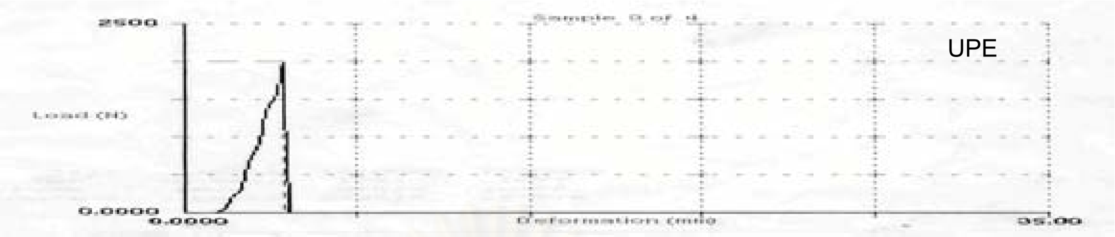
สไตรีนที่ได้จะได้ประมาณ 37.0% จะมีเบนซิน 61.0% และอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอนปนมาอีกประมาณ 2.0% แยกโดยการกลั่นลำดับส่วน สไตรีนมีจุดเดือด 145.2 $^{\circ}C$ ไม่มีสี แต่มีกลิ่นฉุน ตัวมันเองเป็นตัวทำละลายของพอลิสไตรีน และยางสังเคราะห์อื่นๆรวมทั้งพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวด้วย

<u>สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์</u>

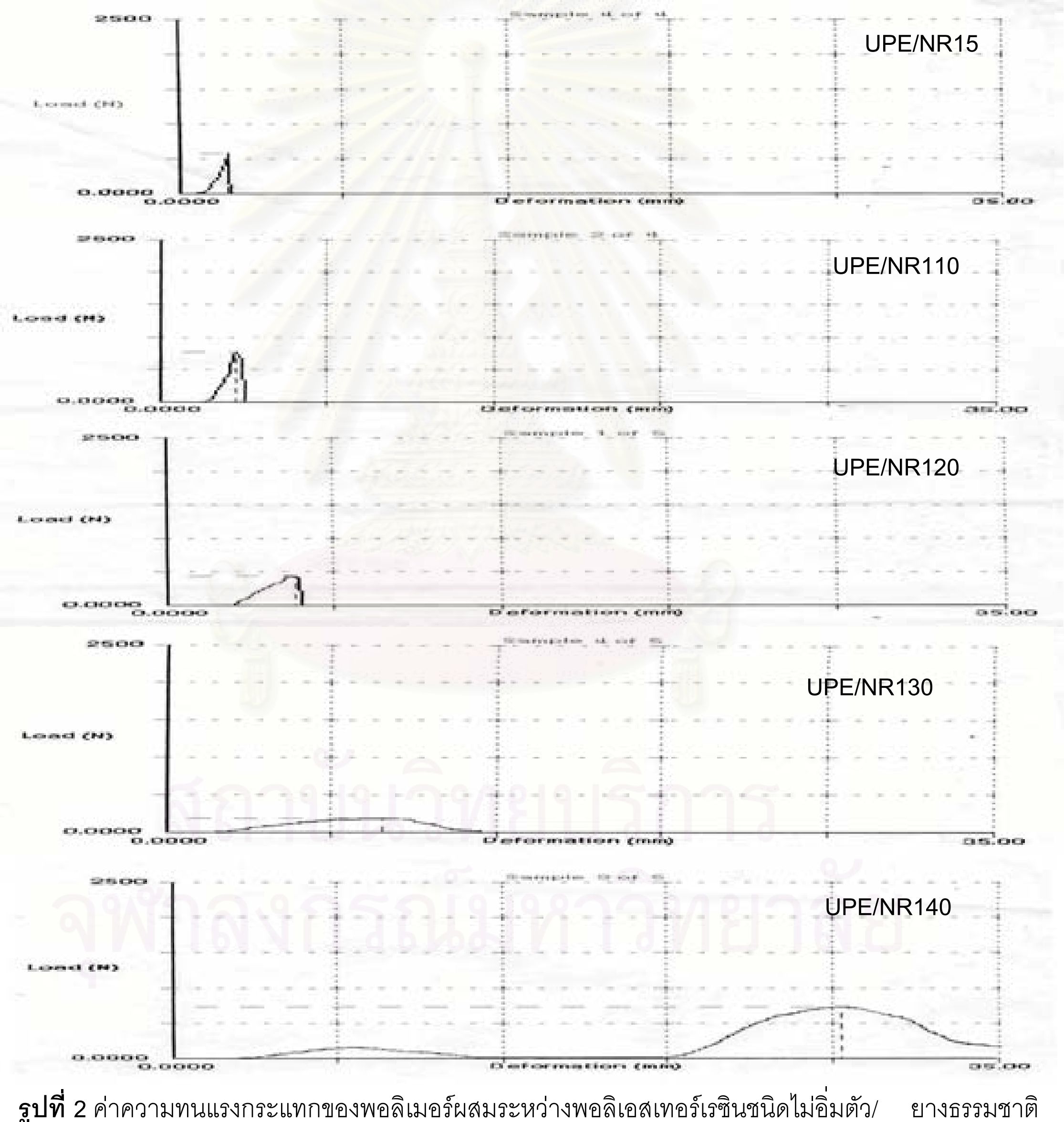
พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์สายตรง โครงสร้างเป็นแบบอะแทกติก จึงอยู่ในรูปของอสันฐาน มีลักษณะแข็งเปราะ เนเทอร์โมพลาสติกที่ใส ไม่ค่อยดูดความชื้น ไม่นำไฟฟ้า เฉื่อยกับสารเคมี ทนต่อกรดเฮไลด์ ด่าง ตัวออกซิไดซ์ และตัวรีดิวซ์พอลิสไตรีนถูกย่อยสลสายให้โมเลกุลเล็กลงได้ ถ้าถูกความร้อน ซึ่งปกติจะมี ประมาณ 50,000-200,000 ค่าความทนแรงดึงสูงถึง 8,000 psi แต่ทนความร้อนได้ต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิ T_g ประมาณ 80°C เท่านั้น ความหนาแน่น 1.05-1.07 g./cm^3 ละลายได้ในตัวทำละลายพวกอะโรเมติก ข้อด้อยของพอลิสไตรีน คือสมบัติเชิงกลไม่ค่อยดีเพราะว่าเปราะ แต่เวลาผลิตทำรูปร่างต่างๆได้ง่าย นิยมใช้ในงานขึ้นรูปโดยการฉีด

ภาคผนวก ค

ค่าความทนแรงกระแทก

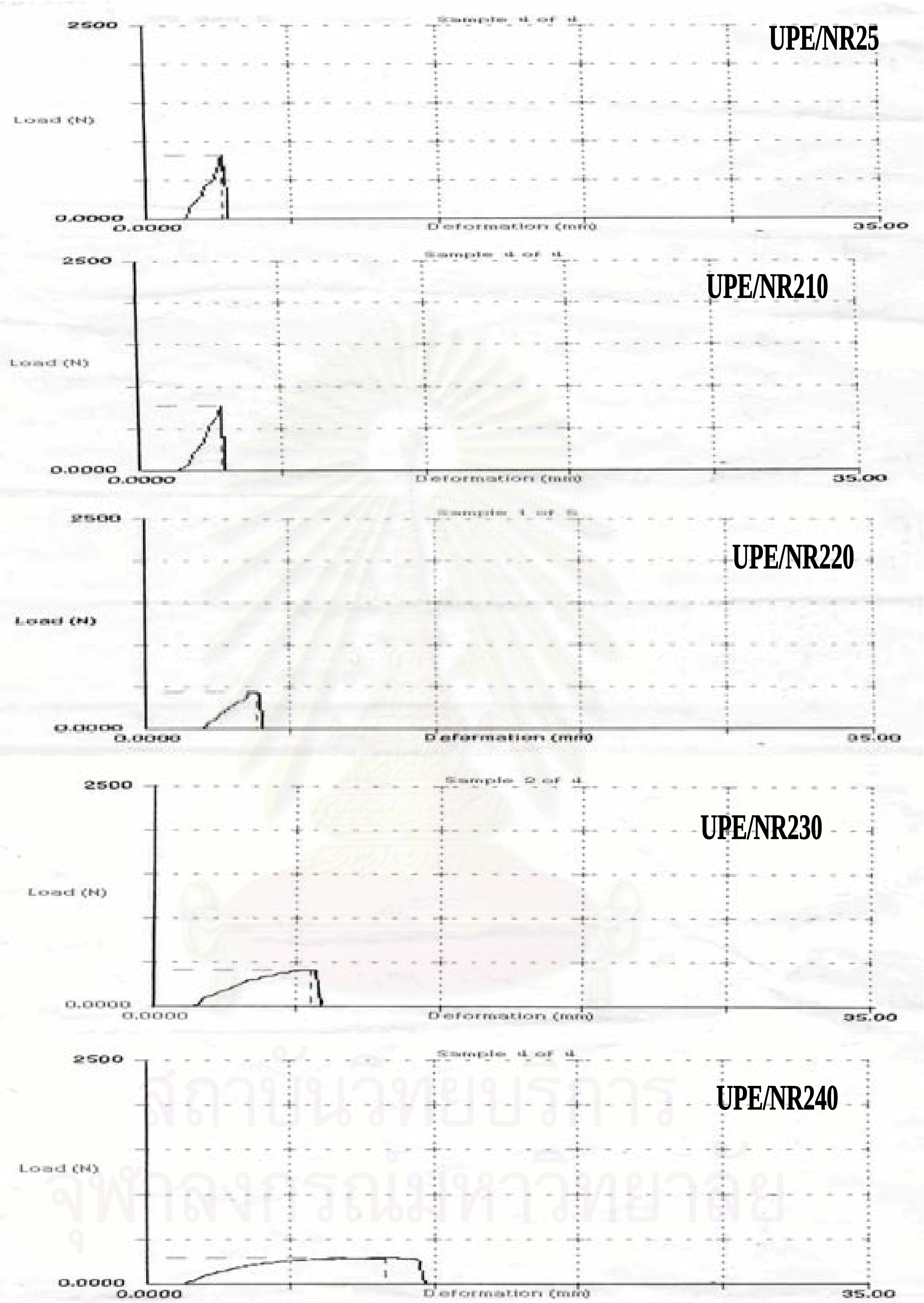


รูปที่ 1 ค่าความทนแรงกระแทกของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว



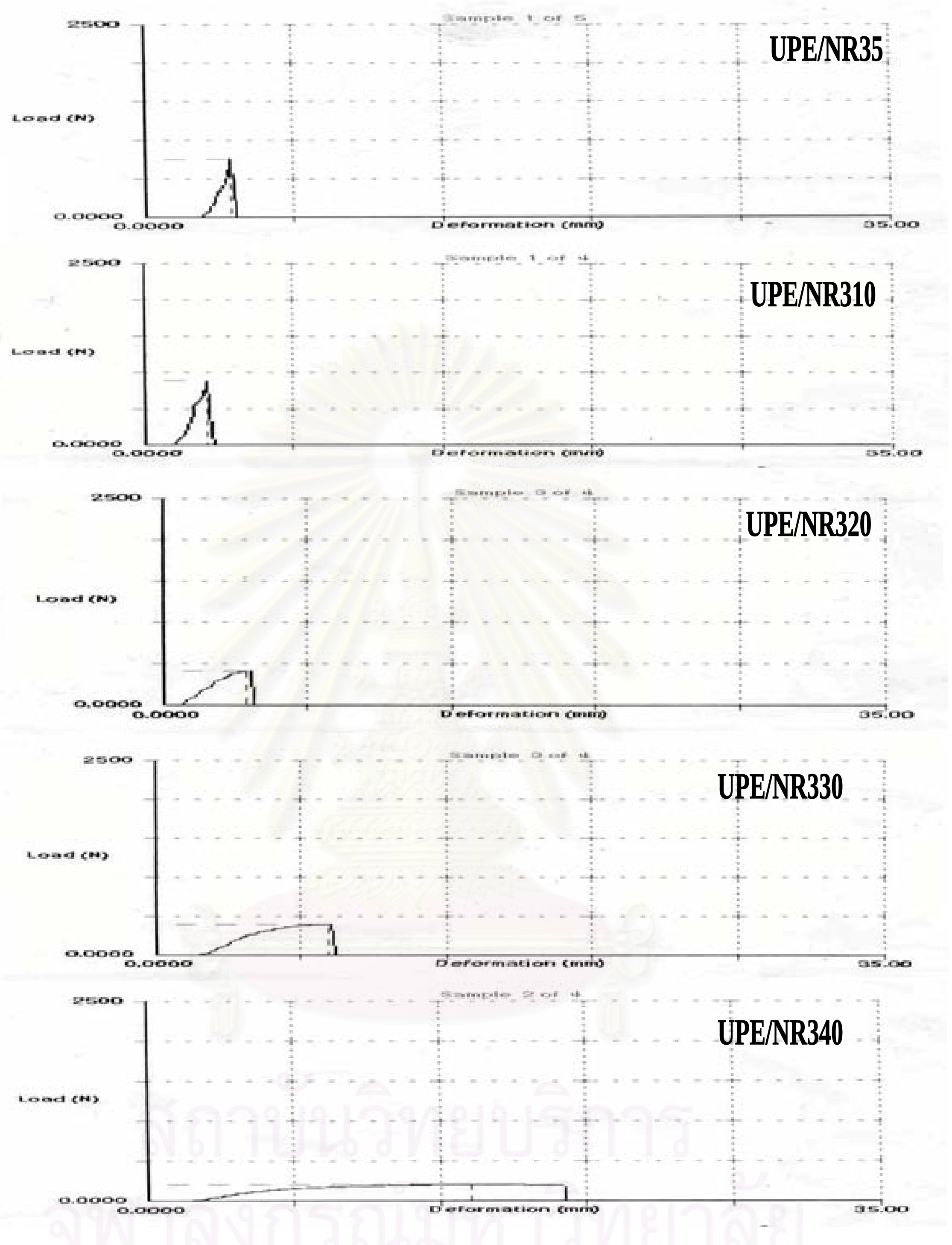
รูปที่ 2 ค่าความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ ยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน 95/5 (%mole)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



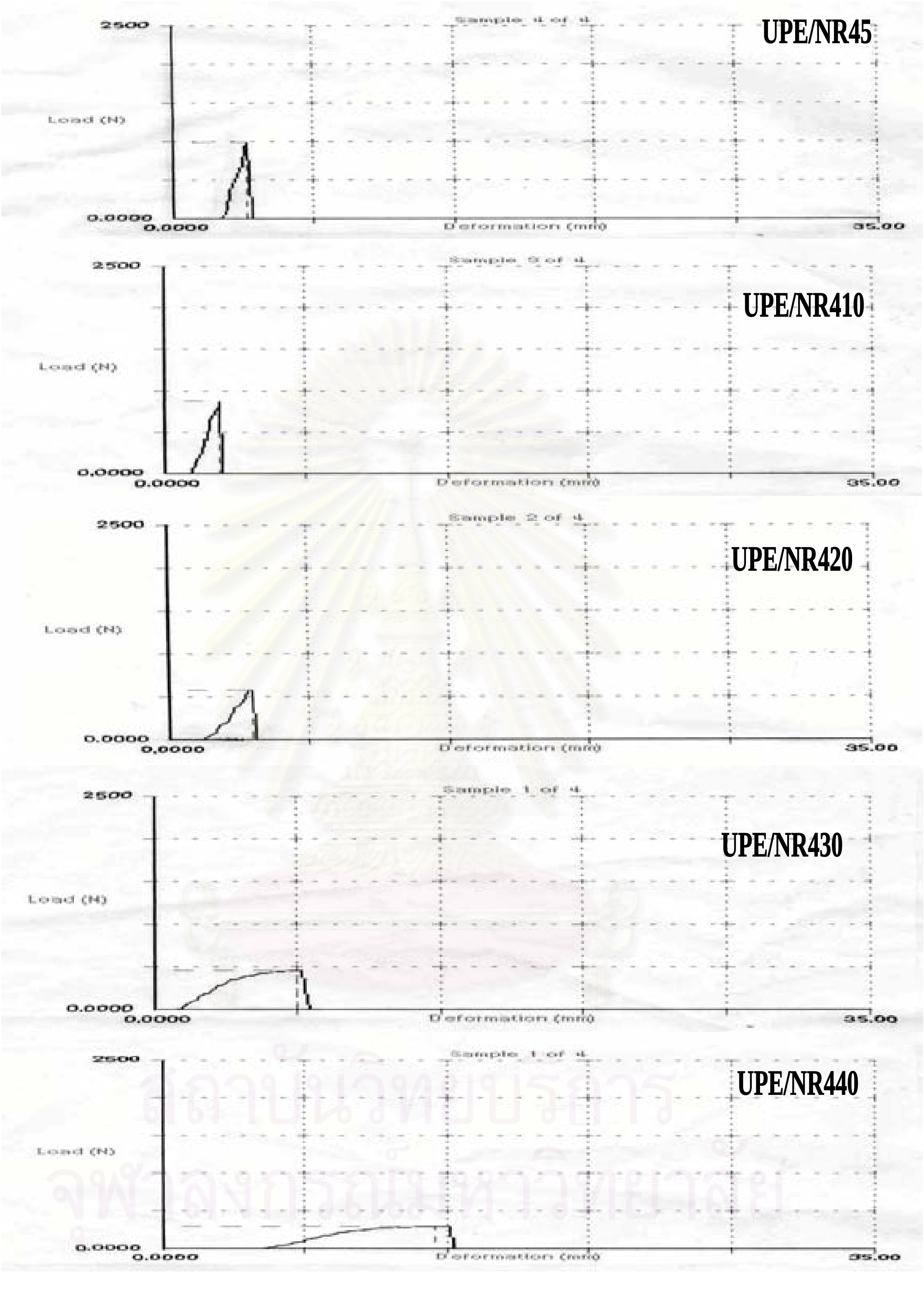
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน 90/10 (%mole)



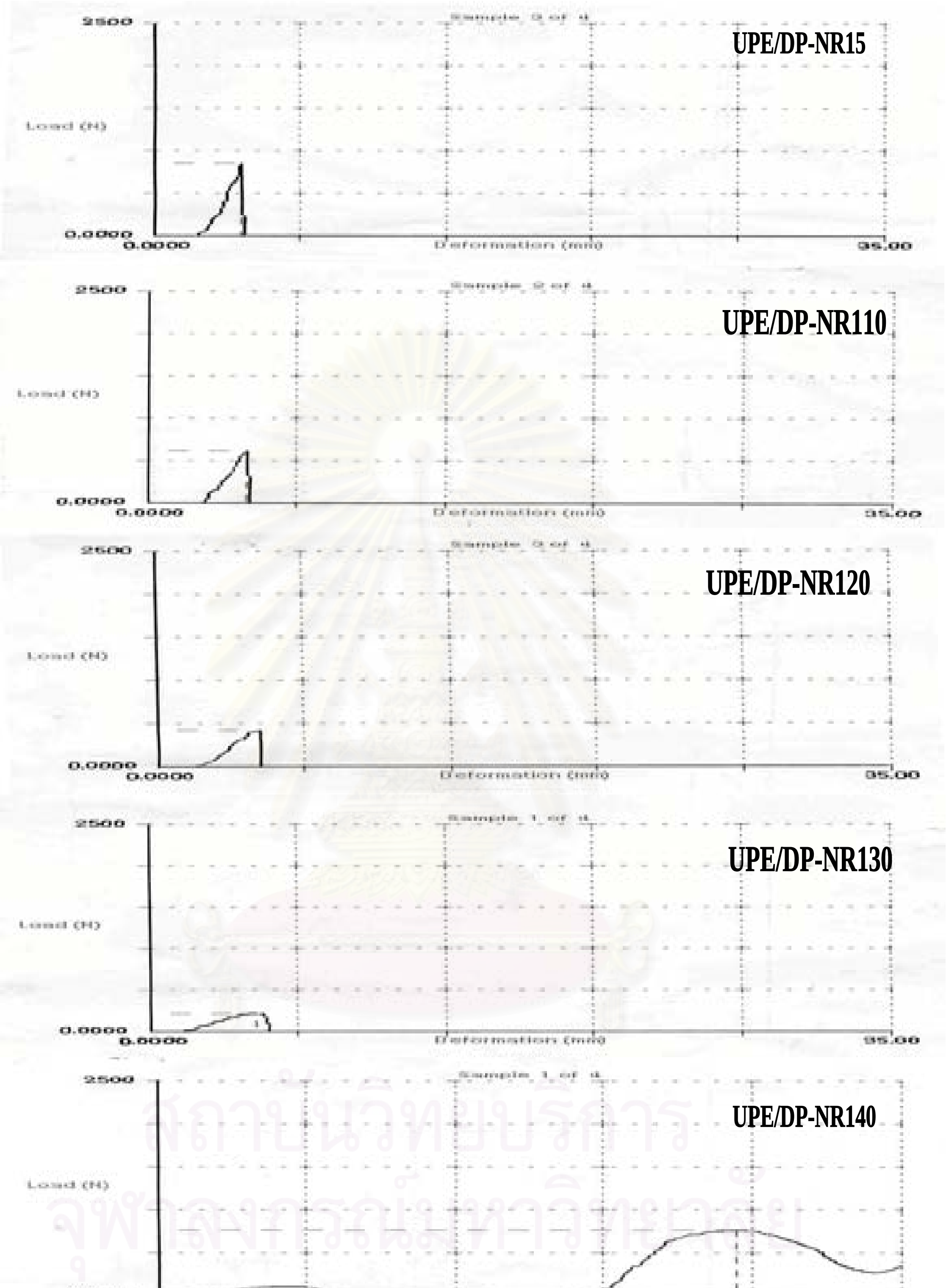
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 80/20 (%mole)

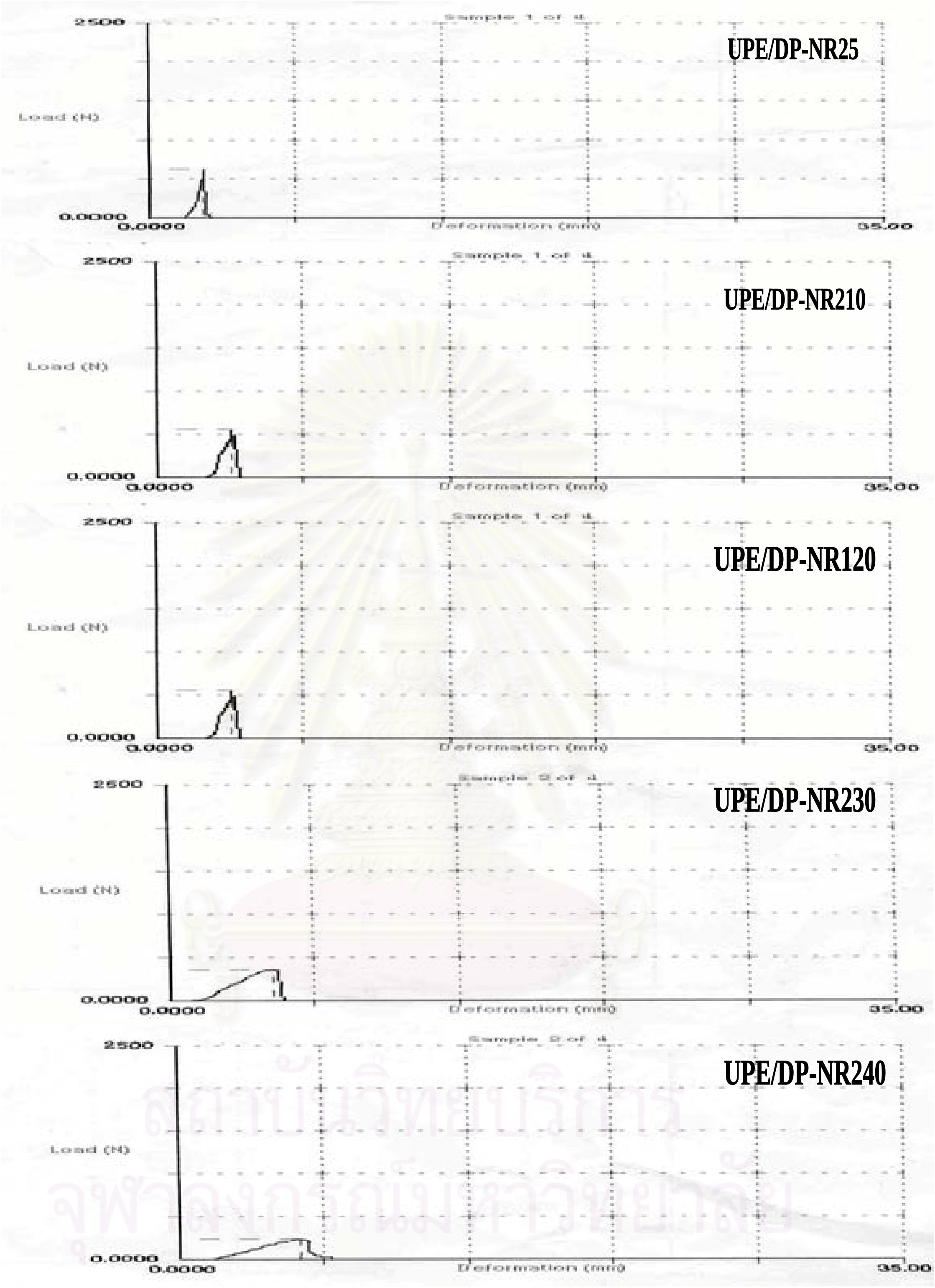


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

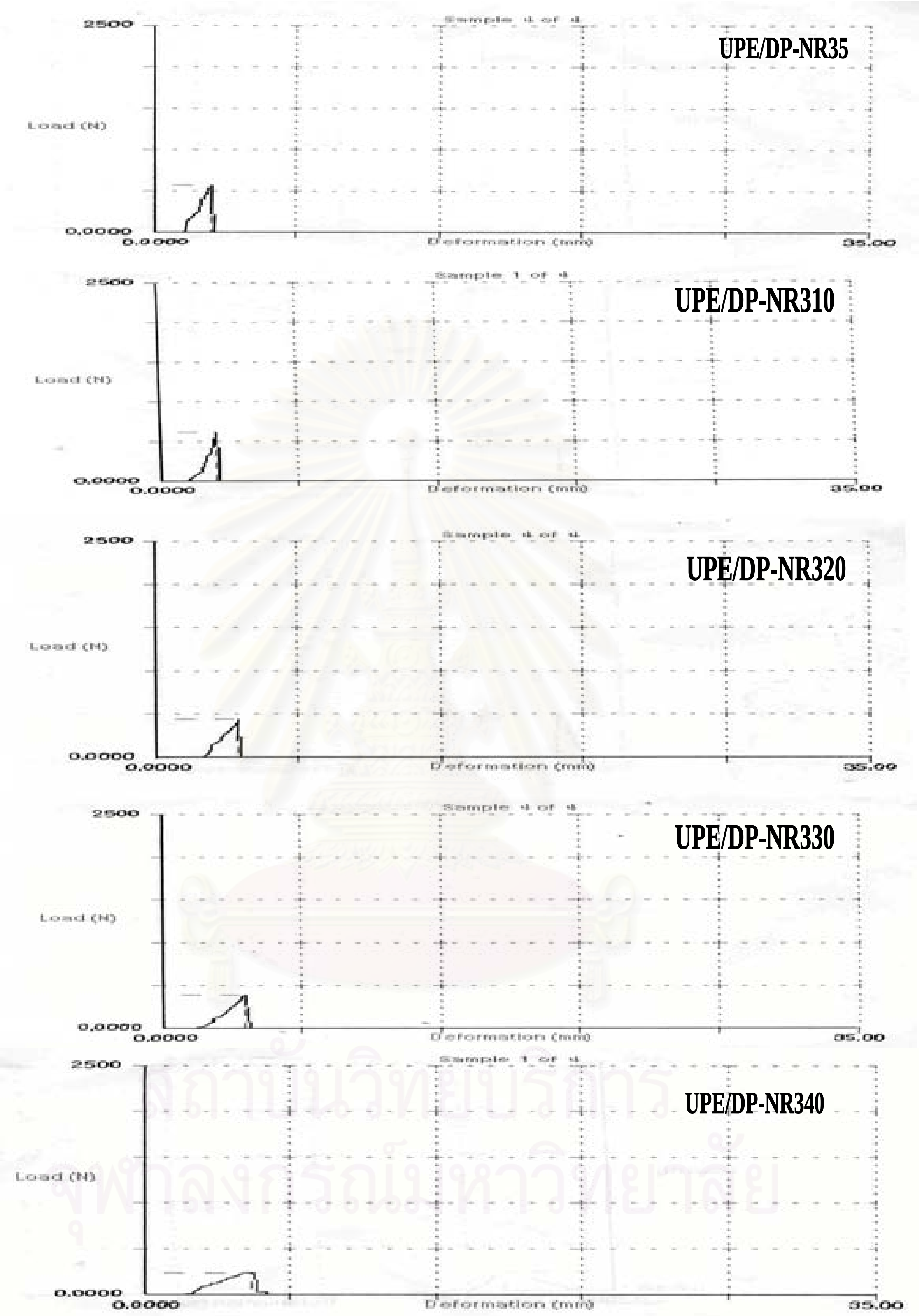
รูปที่ 5 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 70/30 (%mole)



รูปที่ 6 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน 95/5 (%mole)

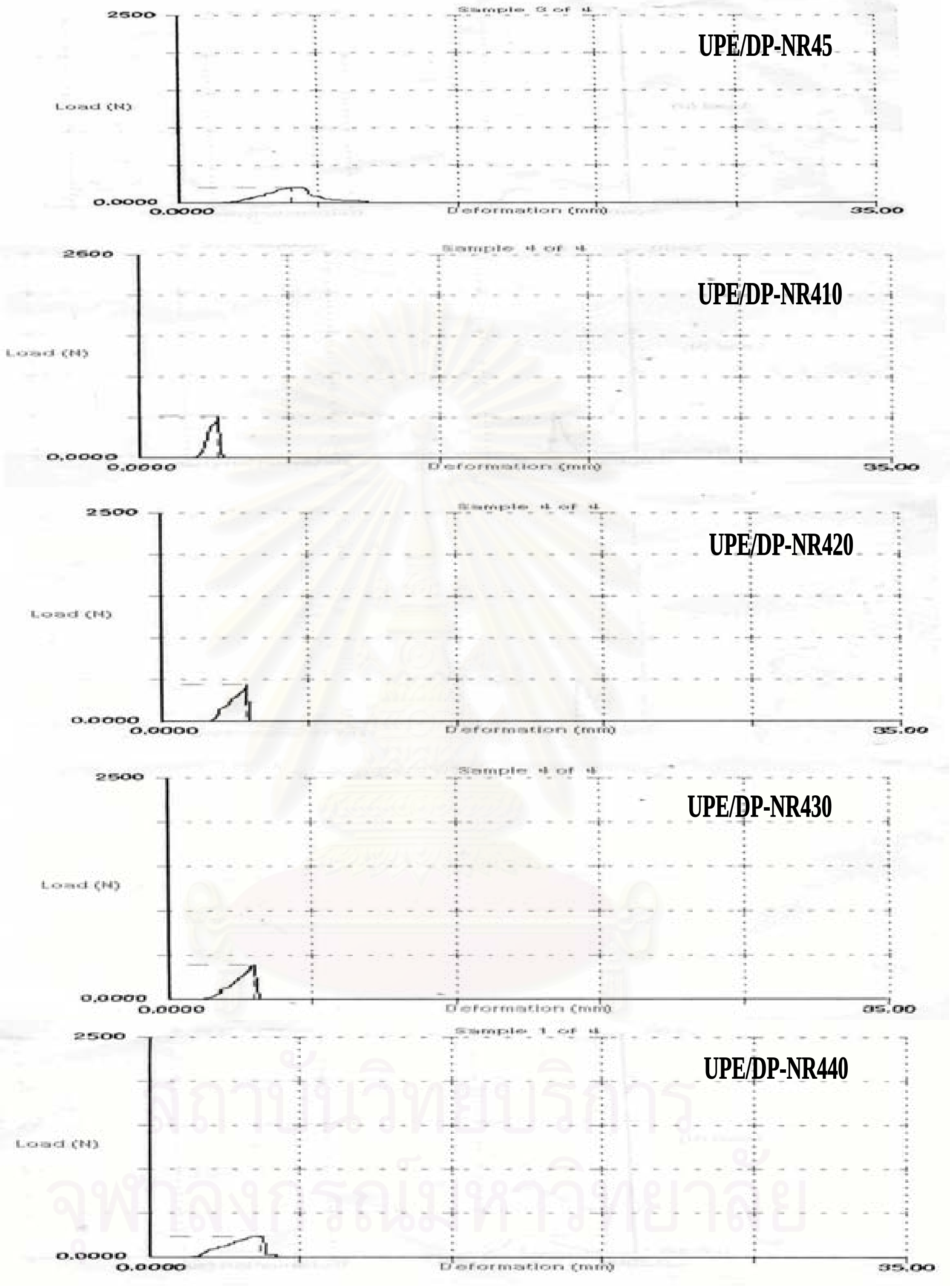


รูปที่ 7 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน 90/10 (%mole)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 8 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน 80/20 (%mole)

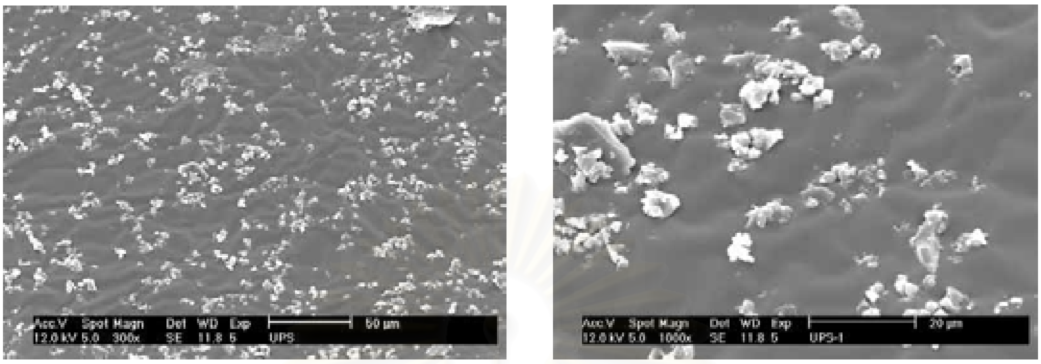


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 9 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน 70/30 (%mole)

ภาคผนวก ง

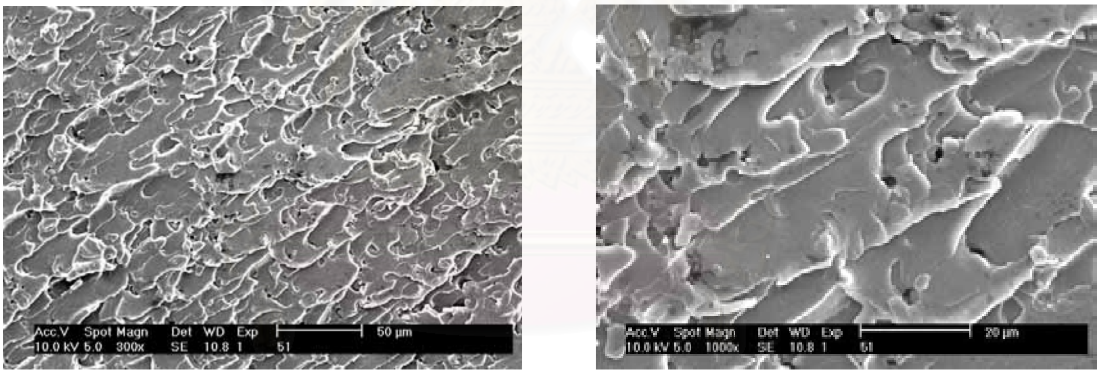
สัณฐานวิทยา



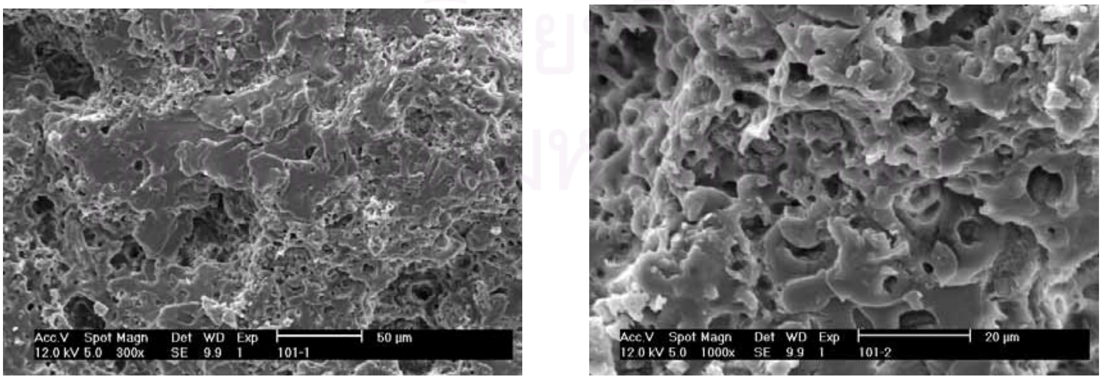
UPE

รูปที่ 10 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

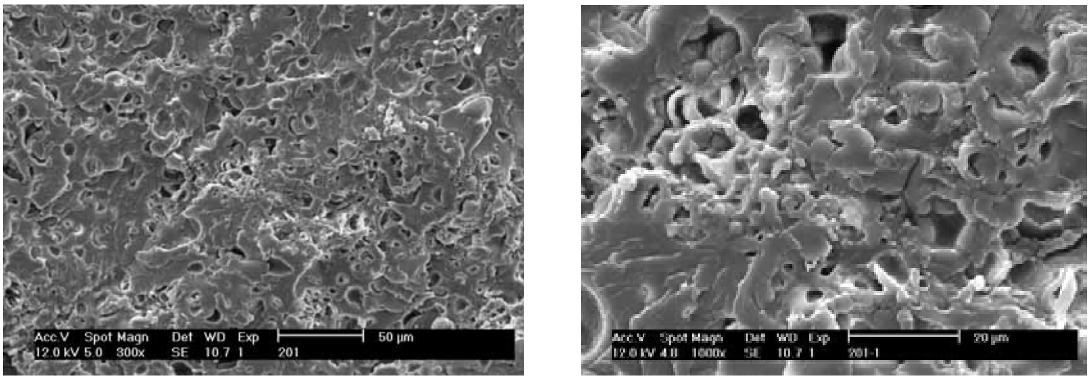
<u>สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน</u>



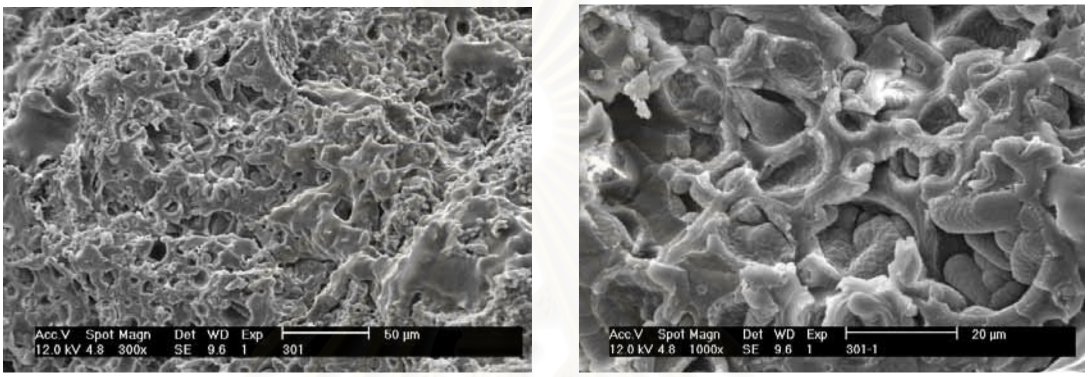
UPE/NR15



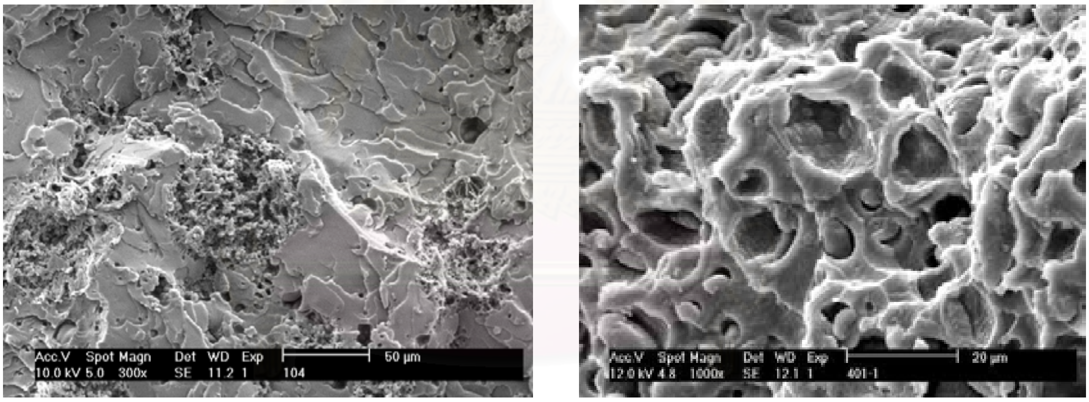
UPE/NR110



UPE/NR120



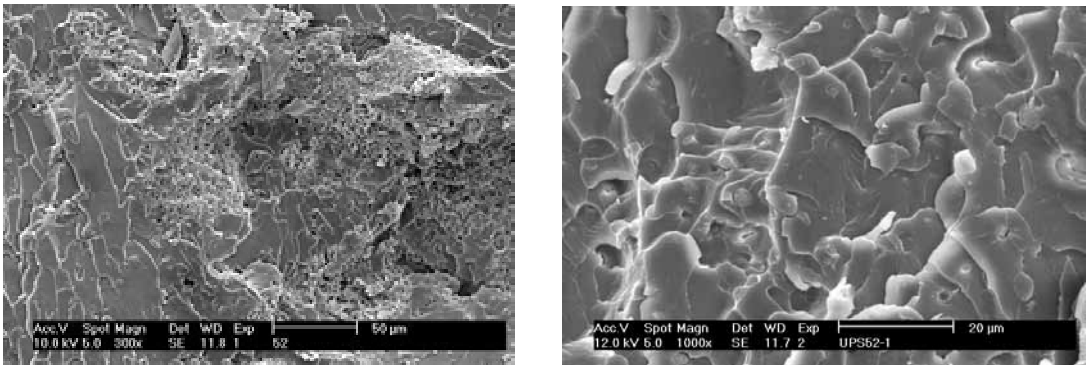
UPE/NR130



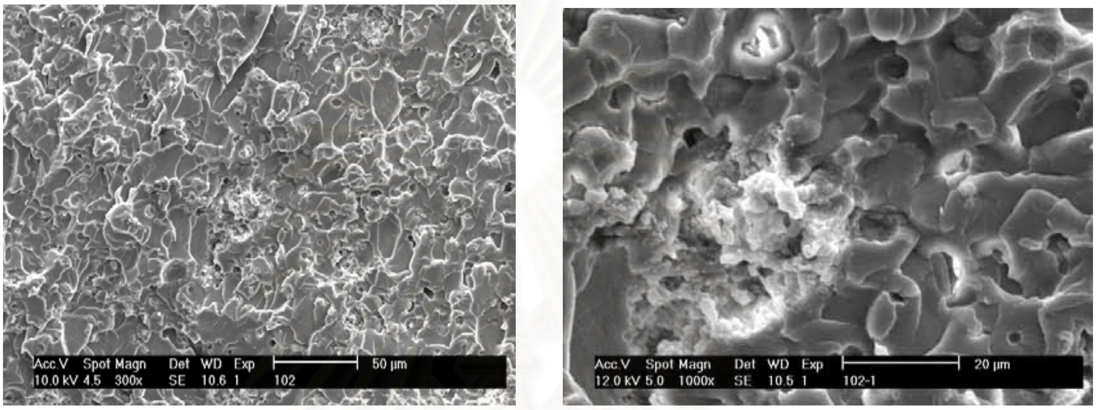
UPE/NR140

รูปที่ 11 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/
น้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 95/5

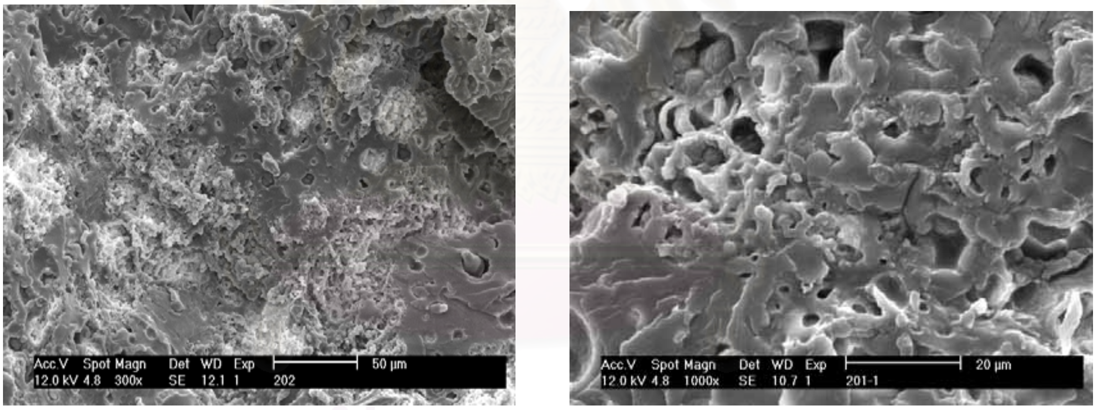
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



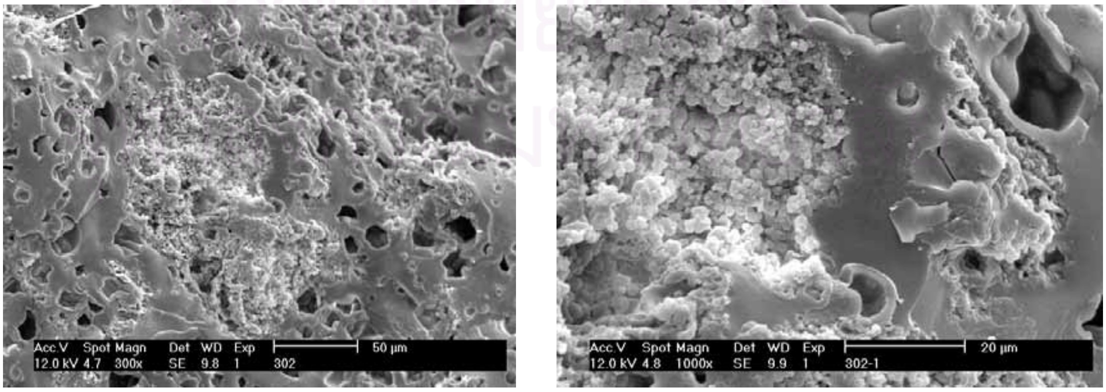
UPE/NR25



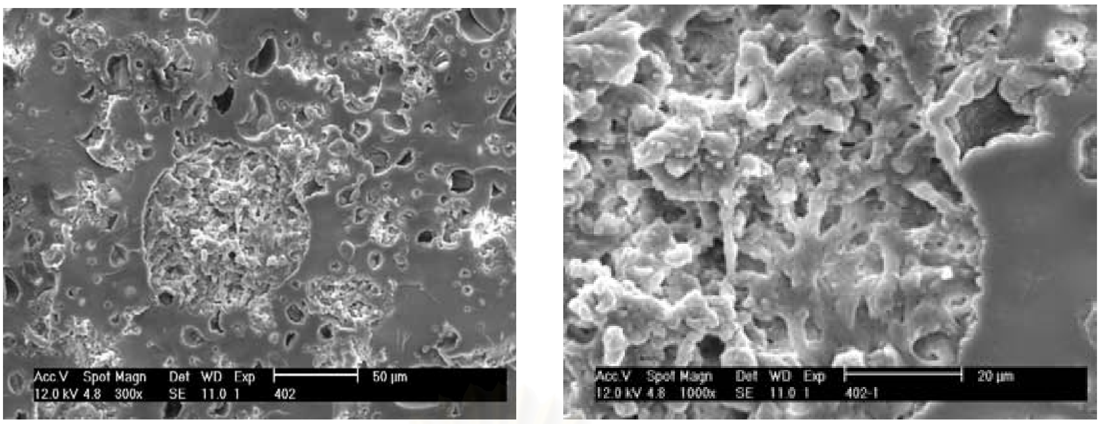
UPE/NR210



UPE/NR220

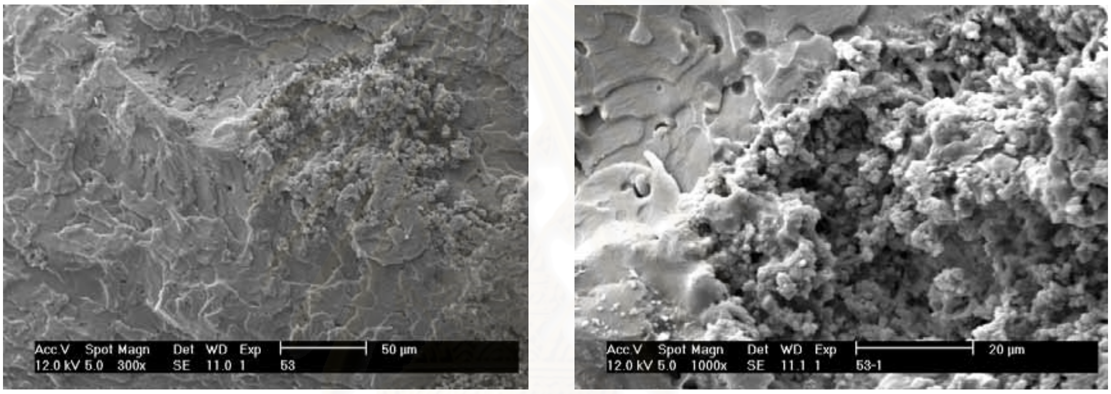


UPE/NR230

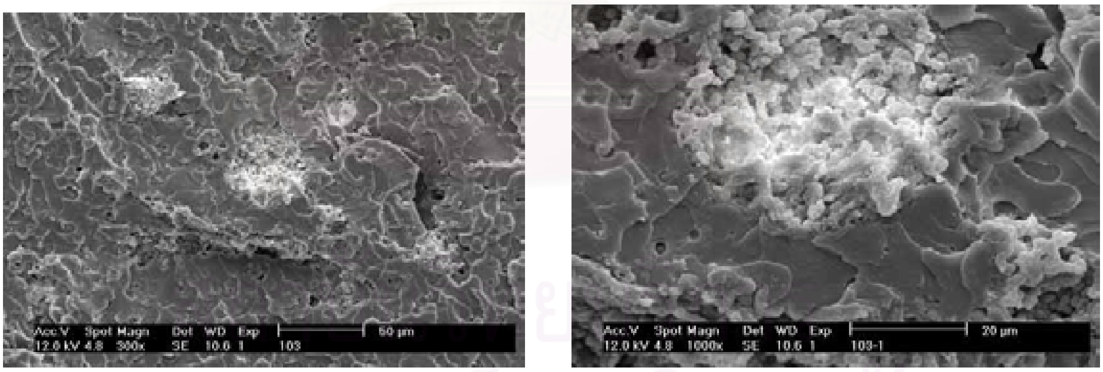


UPE/NR240

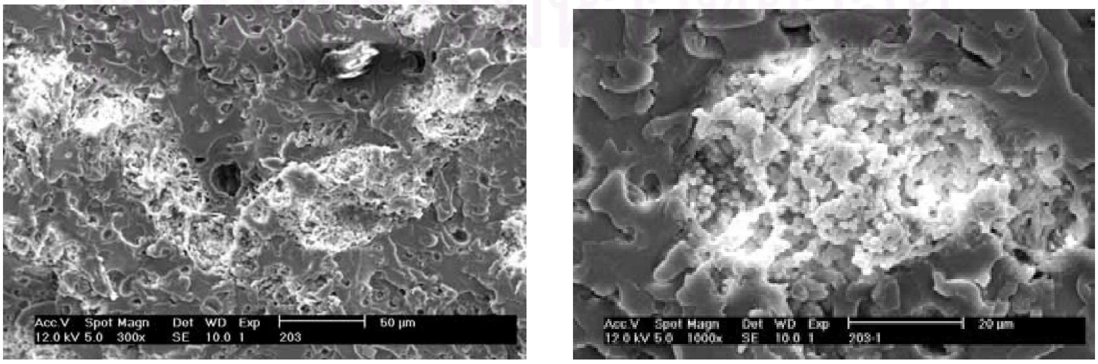
รูปที่ 12 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 90/10



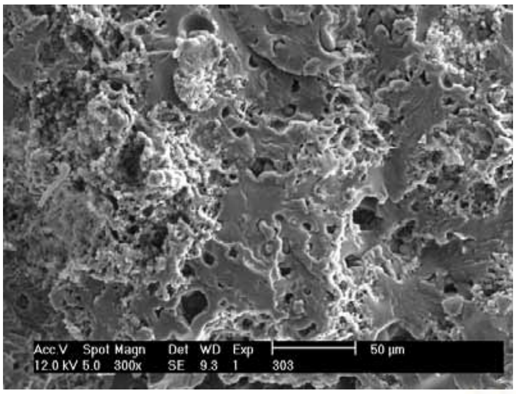
UPE/NR35

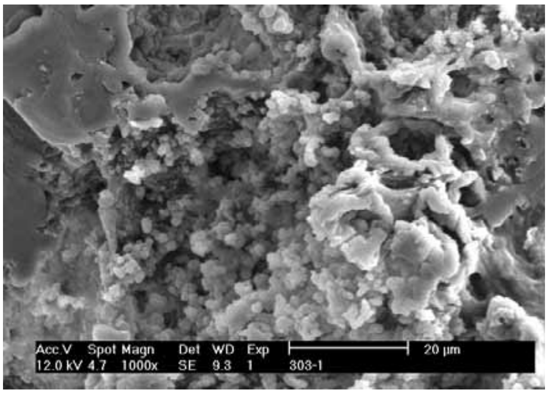


UPE/NR310

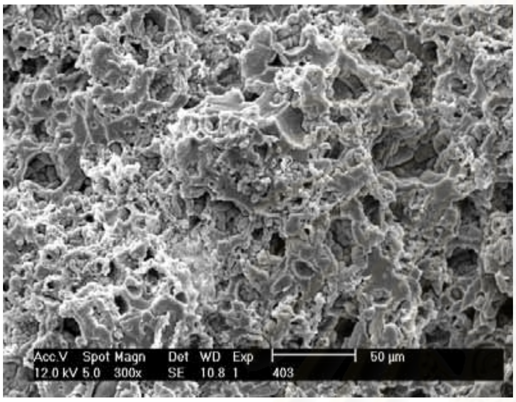


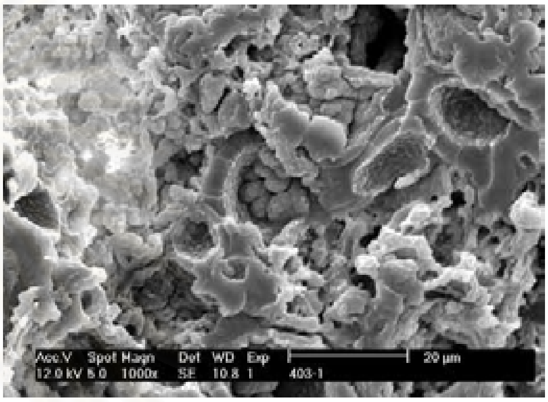
UPE/NR320





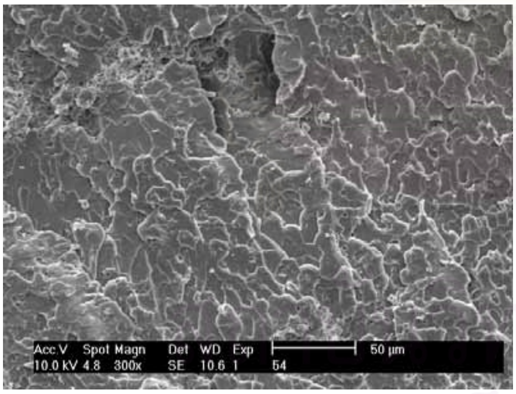
UPE/NR330

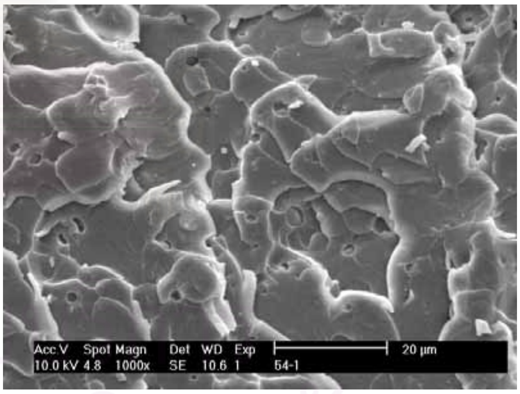




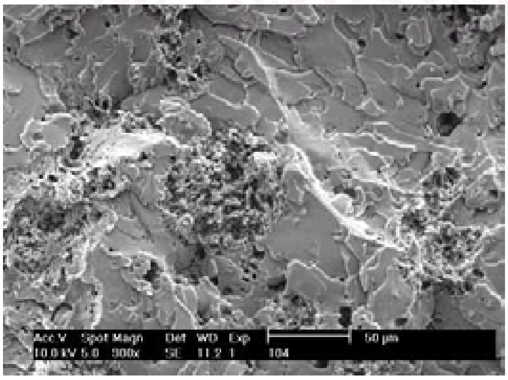
UPE/NR340

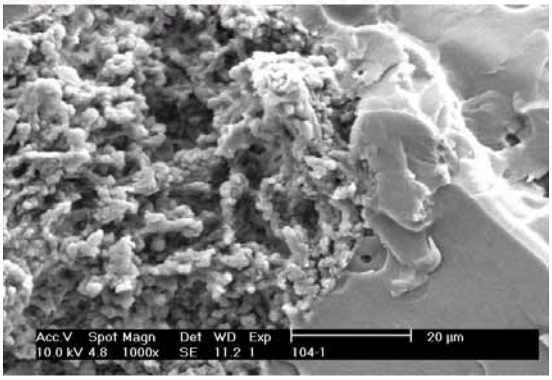
รูปที่ 13 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 80/20



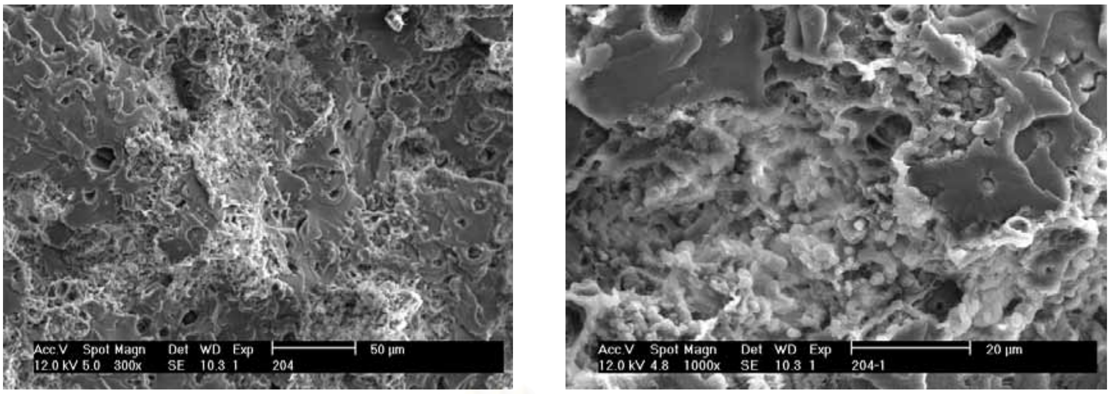


UPE/NR45

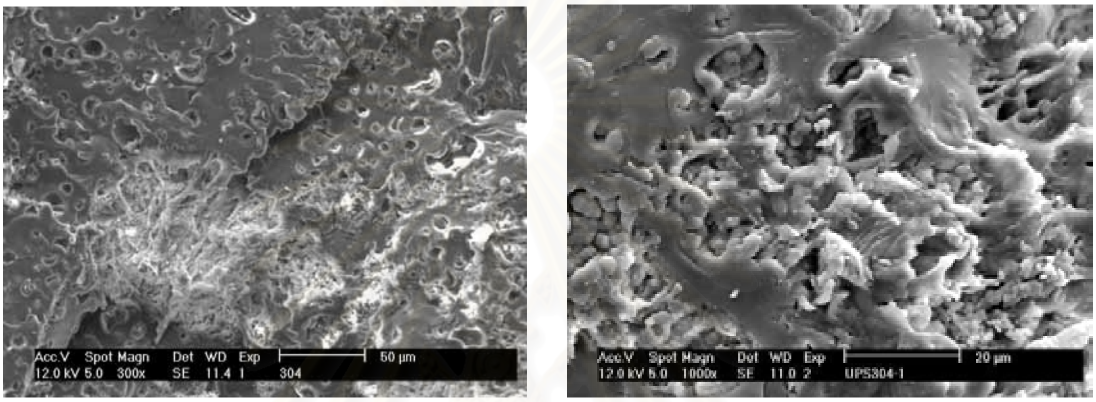




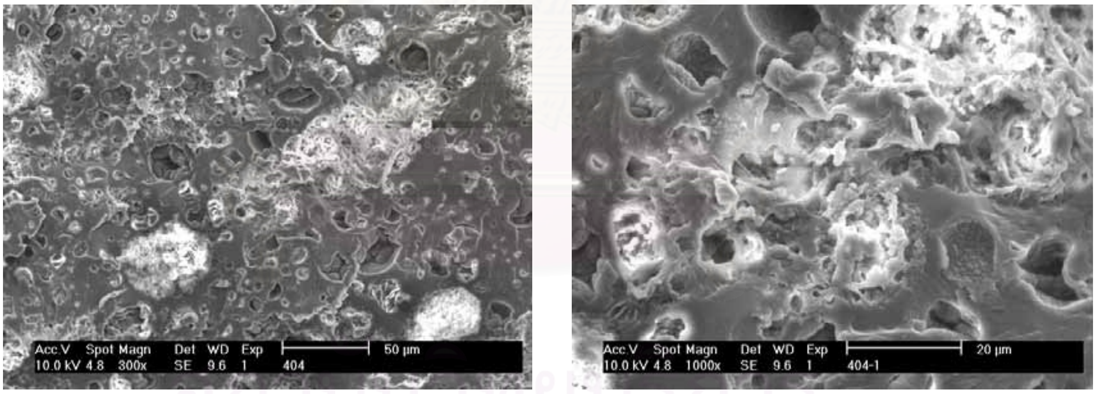
UPE/NR410



UPE/NR420



UPE/NR430

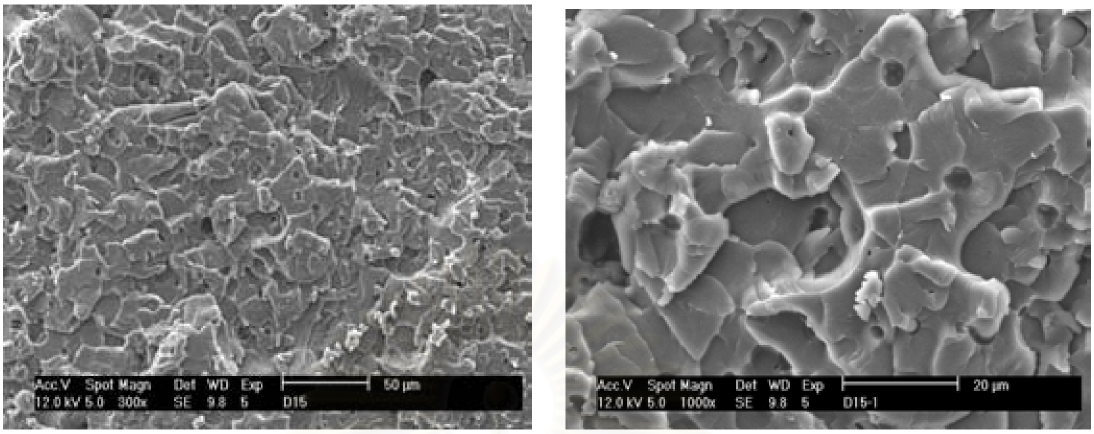


UPE/NR440

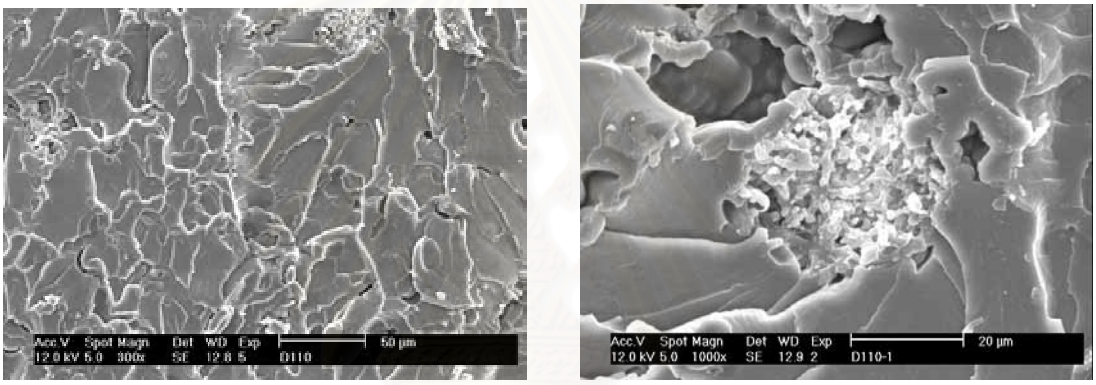
รูปที่14 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูงกราฟต์พอลิสไตรีน 70/30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

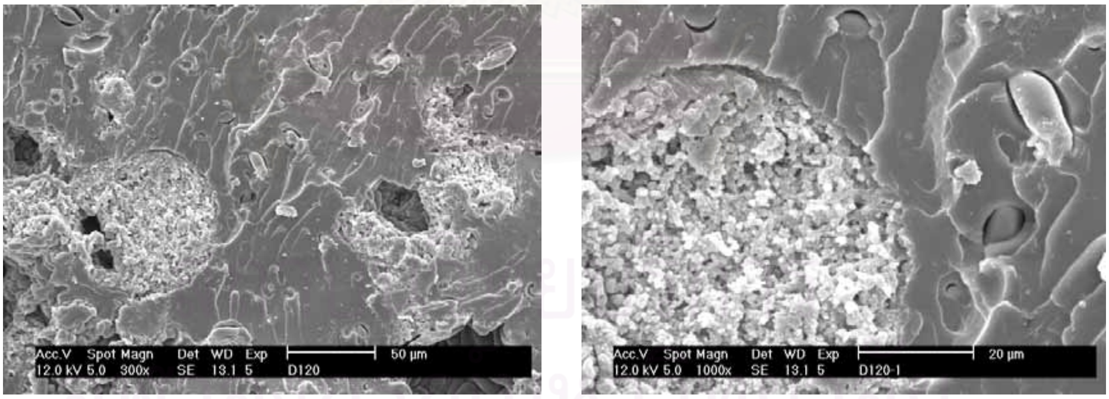
<u>สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/</u>
<u>น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน</u>



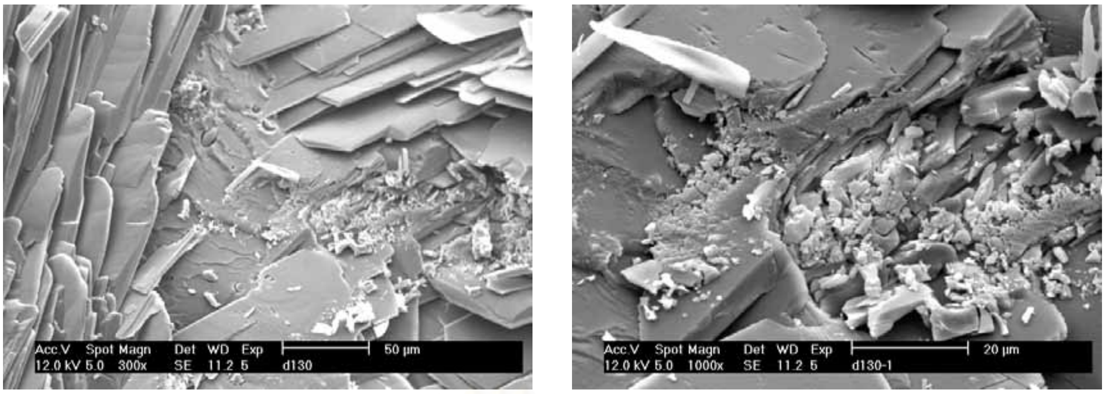
UPE/DP-NR15



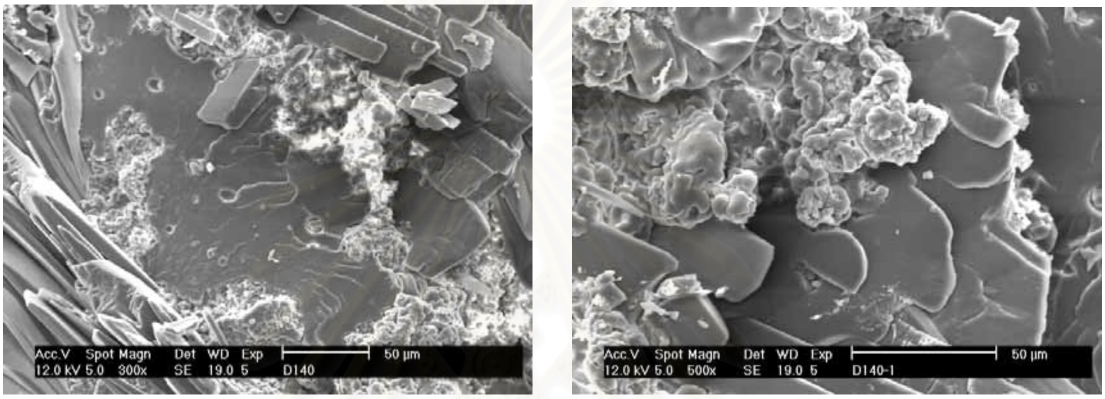
UPE/DP-NR110



UPE/DR-NR120

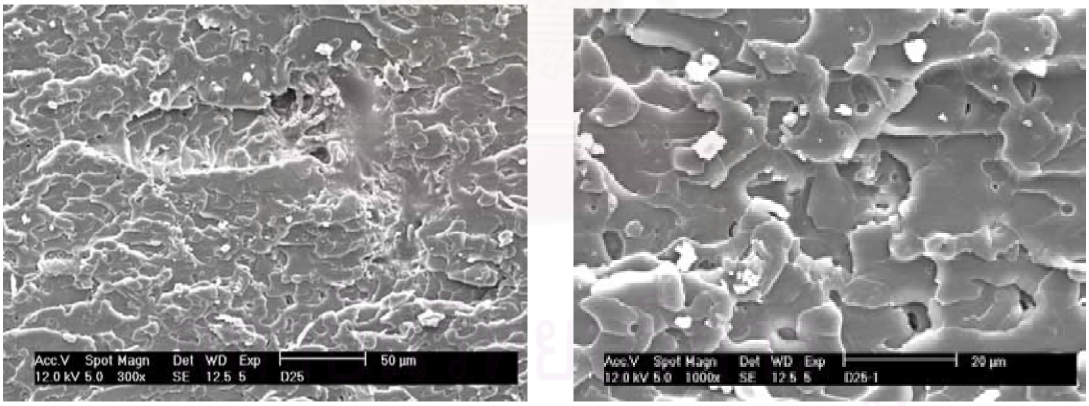


UPE/DP-NR130

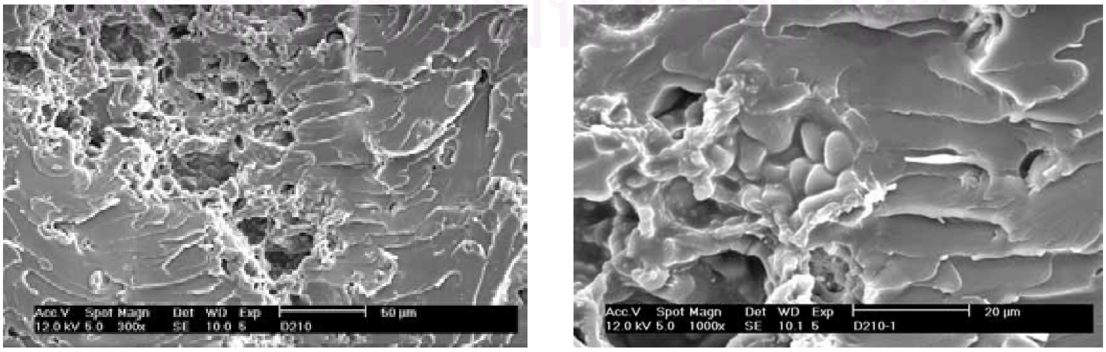


UPE/DP-NR140

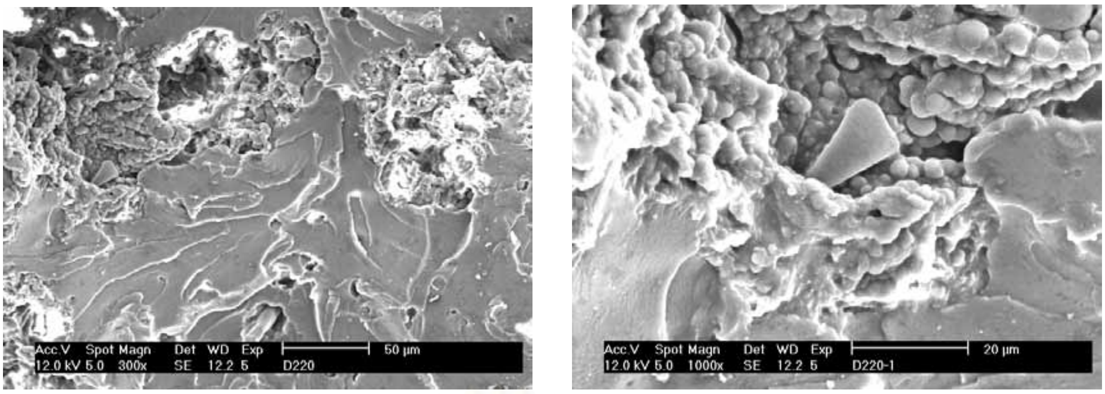
รูปที่ 15 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน95/5



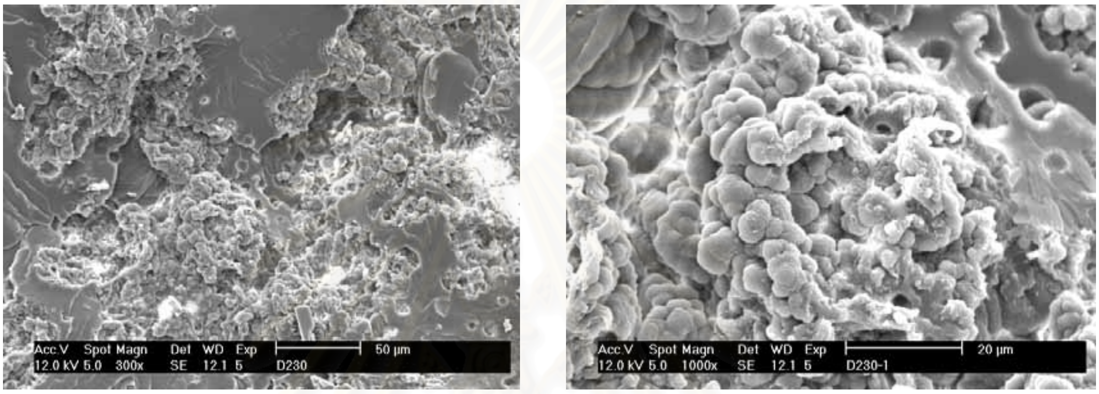
UPE/DP-NR25



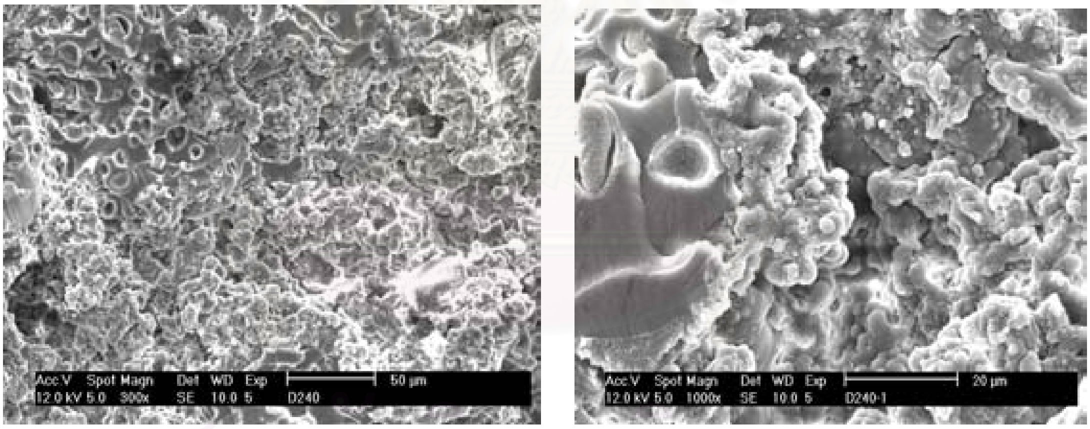
UPE/DP-NR210



UPE/DP-NR220



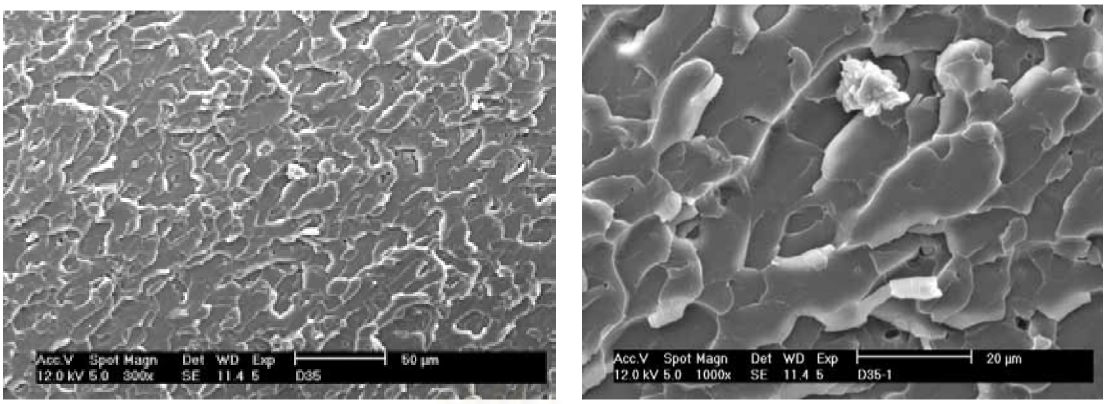
UPE/DP-NR230



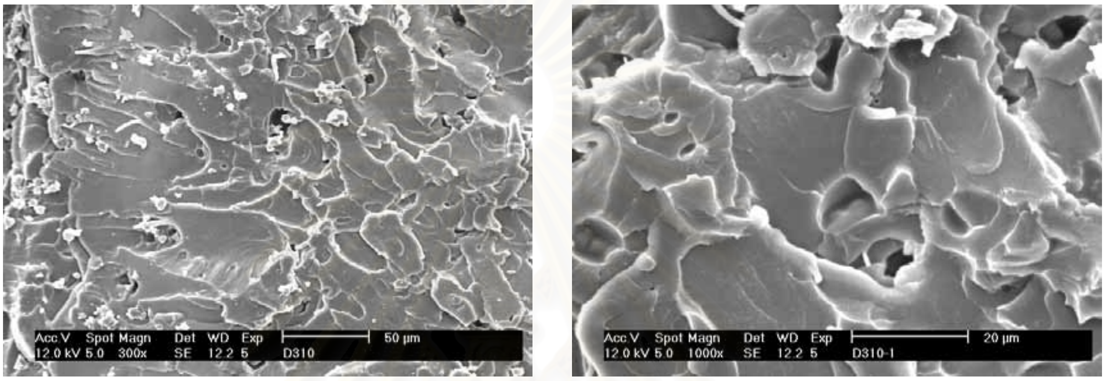
UPE/DP-NR240

รูปที่ 16 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว / น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน90/10

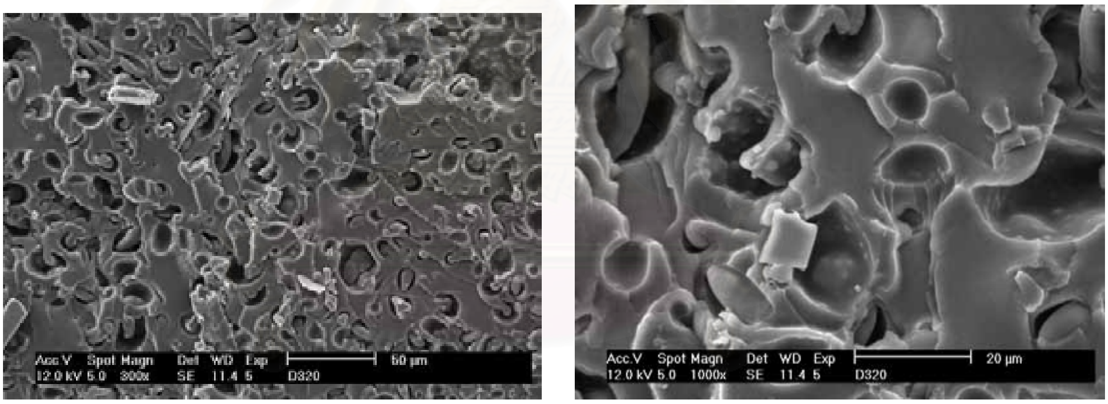
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



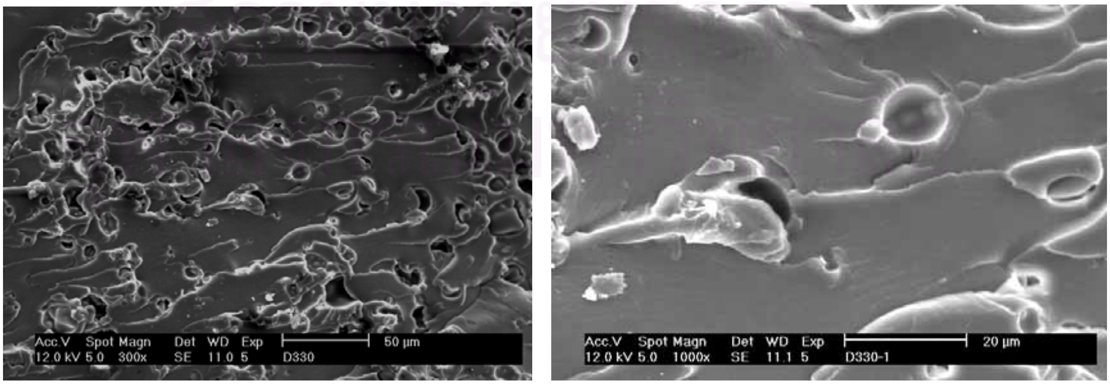
UPE/DP-NR35



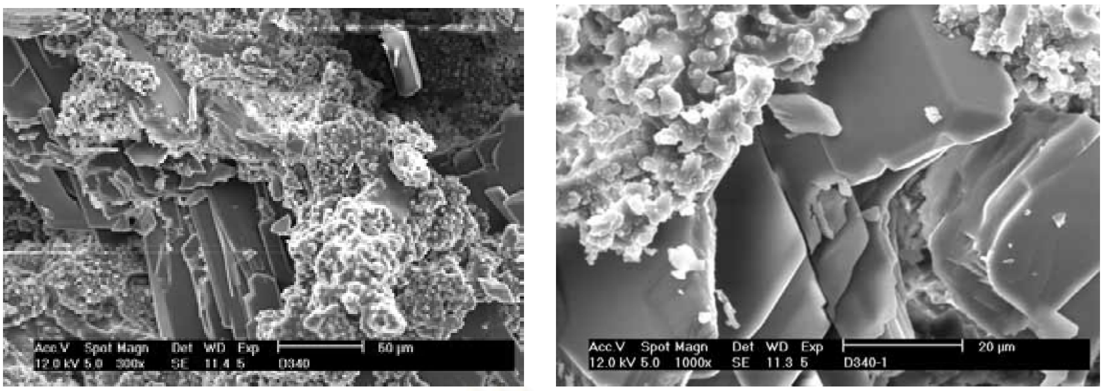
UPE/DP-NR310



UPE/DP-NR320

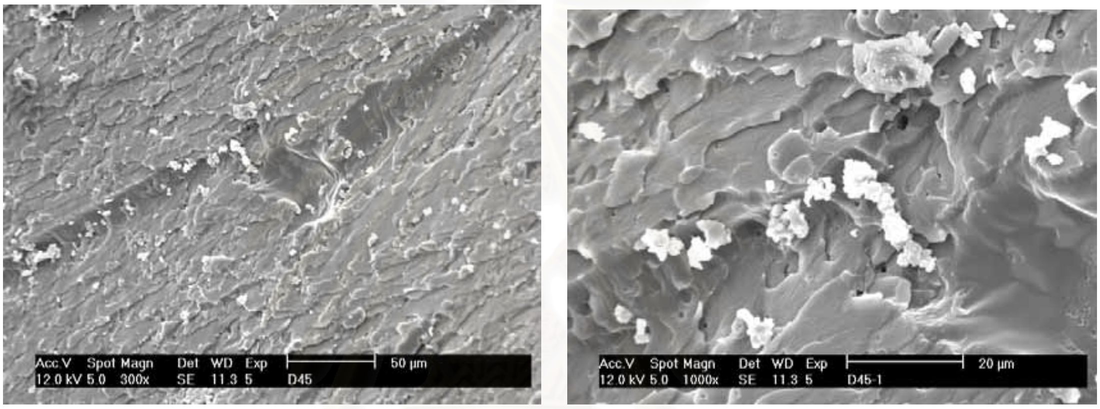


UPE/DP-NR330

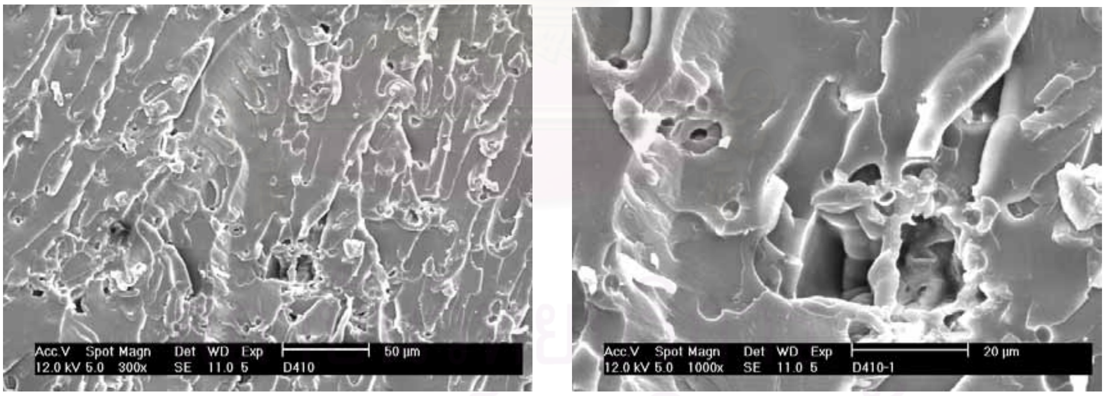


UPE/DP-NR340

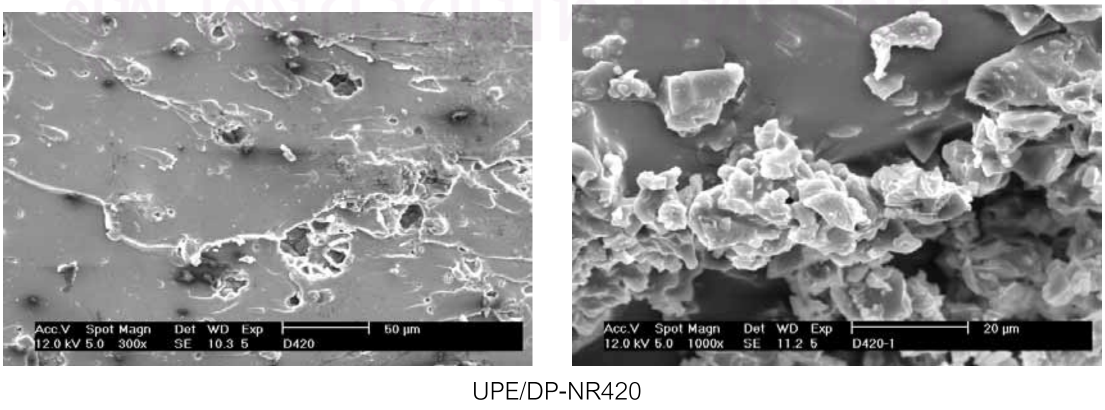
รูปที่ 17 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน80/20



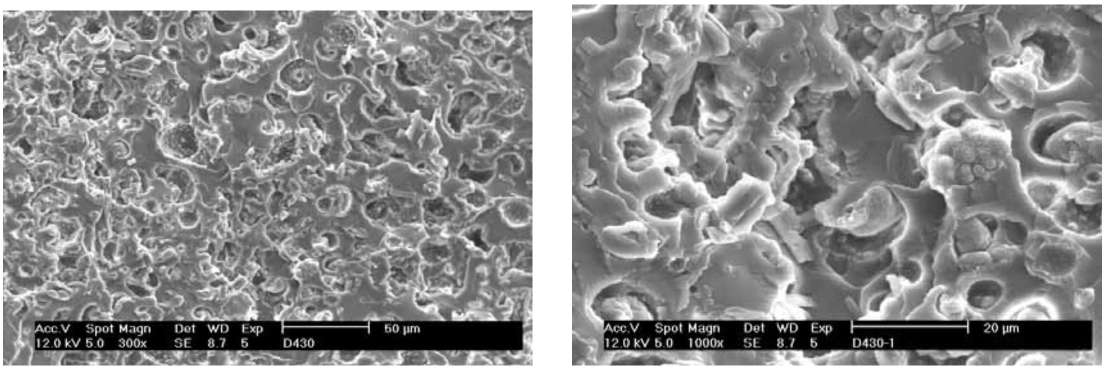
UPE/DP-NR45



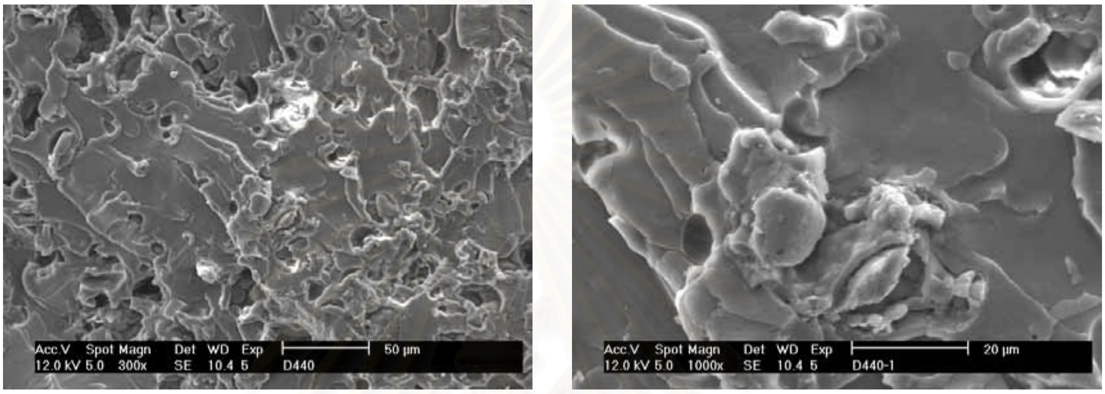
UPE/DP-NR410



UPE/DP-NR420



UPE/DP-NR430



UPE/DP-NR440

รูปที่ 18 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/น้ำยางธรรมชาติชนิดโปรตีนต่ำกราฟต์พอลิสไตรีน70/30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว พรเพ็ญ ศิริดำรง เกิดวันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2513 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อต้นปีการศึกษา 2544 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายปีการศึกษา 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย