

การใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) ในการปรับปรุง
แรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสม

นางสาวจิราพร เมฆบริสุทธิ 36054205
นายนรินทร์ สาระภิรมย์ 36054224
นางสาวศศิวิมล เรืองสา 36054247

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.พ.

ปีการศึกษา 2539

๙ 533 ก

2539

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 32035

วัน, เดือน, ปี- 8. ก.พ. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modified Mechanical Properties of Polyblend by Compatibilizer

Miss Jiraporn Mekborisut

Mr. Narin Sarapirom

Miss Sasiwimon Ruangsa

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Bachelor of Science**

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ : การใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) ในการปรับปรุง

แรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสม

นักศึกษา : นางสาวจิราพร เมฆบริสุทธิ์

นายนรินทร์ สาระภิมย์

นางสาวศศิวิมล เรืองสา

ภาควิชา : เคมี


สาขา : เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


หัวหน้าภาควิชาเคมี
(ผศ. นงนุช เกตราวุฒินันท์)

คณะกรรมการตรวจ-สอบโครงการพิเศษ


กรรมการ
(ดร. อธิพล แจ่มชัด)

กรรมการ
(อ. สุทิน แจ่มอุติรัตน์)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การใช้ Compatibilizer ในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสม	
นักศึกษา	นางสาวจิราพร	เมฆบริสุทธิ์
	นายนรินทร์	สาระภรณ์
	นางสาวศศิวิมล	เรืองสา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาลินี	ชัยศุภกิจสินธุ์
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2539	

บทคัดย่อ

แนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมก็คือ การเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิวของระบบพอลิเมอร์ที่ทำการผสม เพื่อช่วยให้พอลิเมอร์ผสมสามารถผสมเข้ากันได้ดีขึ้น ในโครงการพิเศษนี้ เป็นการใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) ในการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสม โดยมีวัตถุประสงค์ ในการปรับปรุงสมบัติการทนทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance) พอลิเมอร์หลักที่เลือกทำการศึกษาคือ พอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน และสารช่วยผสมที่ใช้คือ สไตรีน - บิวทาไดอีน - สไตรีน โดยจะแบ่งระบบพอลิเมอร์ผสมออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบพอลิเมอร์ผสม 2 องค์ประกอบ โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของพอลิเมอร์หลัก PP/PS เป็น 70/30 , 50/50 และ 30/70 และระบบพอลิเมอร์ผสม 3 องค์ประกอบ โดยการเพิ่ม SBS ในปริมาณ 10% , 20% และ 30% ลงไปในพอลิเมอร์ผสมแต่ละอัตราส่วนดังกล่าว ทำการผสมแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องผสมระบบปิด โดยให้อุณหภูมิแต่ละโซนของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอยู่เป็น 185 190 195 200°C ตามลำดับ จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมทั้งสองระบบไปทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ทั้งทางความร้อน และเชิงกล นอกจากนี้ ยังนำพอลิเมอร์ผสมไปทำการแอนนีส (Annealed) ที่อุณหภูมิ 50°C และ 100°C เพื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมก่อนและหลังการแอนนีส จากผลการทดสอบที่ได้ พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวโดยใช้สารช่วยผสมนั้น มีสมบัติการทนทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้น โดยส่งผลน้อยมากต่อค่า Tm และ Tc ของพอลิพรอพิลีน สำหรับระบบที่มีค่าการทนทานต่อแรงกระแทกสูงที่สุดคือ ระบบ 3 องค์ประกอบที่มีอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ผสมเป็น 30/70/30

Special Project Title : Modified Mechanical Properties of Polyblend by using compatibilizer

Name : Miss Jiraporn Mekborisut
Mr. Narin Sarapirom
Miss Sasiwimon Ruangsa

Special Project Advisor : Asst.Prof.Dr. Malinee Chaisupakitsin

Department : Chemistry

Academic Year : 1996

ABSTRACT

Binary blends between PP and PS immiscible polymer and ternary blends consisting of PP/PS/SBS were studied. The various combination of polymer in each system prepared in the Brabender mixer (twin screw extruder). The picture from Scanning Electron Microscope shows good compatibility of dispersed phase after mixing with SBS. Impact resistance of ternary blends increase with increasing the amount of SBS , on the other hands , tensile strength and elongation at break were decrease. DSC was used for determination heat of fusion and melting temperature of the Blends.

The results of these experiments indicate that the three component system of PP/PS/SBS at 30/70/30 ratios provides the highest impact resistance which is better than the conventional HIPS.

กิติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา เอาใจใส่ช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด ขอขอบคุณคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษอันได้แก่ ดร. อธิพิพล แจ่มชัด ดร. ตะวัน สุขน้อย และ อ. สุทิน แจ่มอุลิตรัตน์ ที่ได้กรุณาแก้ไขข้อผิดพลาดในรายงานฉบับนี้ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น ขอขอบคุณบริษัทเชลล์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สารช่วยในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง ตลอดจนเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และให้ความสนับสนุนในทุกๆ ด้าน ตลอดมา จนกระทั่งโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

นางสาวจิราพร เมฆบริสุทธี
นายนรินทร์ สาระภิมย์
นางสาวศศิวิมล เรืองสา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

กิตติกรรมประกาศ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 บทนำ 1

1.2 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ 2

1.3 วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย 3

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิเมอร์ผสม 5

2.2 สารช่วยในการผสม 12

2.3 การแอนนีส 18

บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 19

อุปกรณ์ที่ใช้ ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 วิธีการทดลอง 20

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางความร้อน 28

4.2 สมบัติเชิงกล 29

4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา 33

4.4 สมบัติการทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม 35

ที่ผ่านการแอนนีส

4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง 40

บทที่ 5 สรุปการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) กันอย่างกว้างขวาง โดยมีวัตถุประสงค์หลักก็เพื่อต้องการที่จะได้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติพิเศษ อันเกิดจากการนำพอลิเมอร์มากกว่าหนึ่งชนิดมาผสมกัน ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้ จะขึ้นกับความสามารถในการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (miscibility) และสัจฐานวิทยาของระบบผสมนั้นๆ

ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (incompatible blend) ก็คือการแยกตัวกันของพอลิเมอร์ที่ทำการผสม ซึ่งพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน เมื่อนำมาผสมกัน แรงยึดเหนี่ยว (interaction adhesion) ระหว่างพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะมีน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบพอลิเมอร์ผสมที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (compatible blend) ดังนั้นการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิว จึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่มีคุณภาพดี ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาในเรื่องดังกล่าวสำหรับพอลิเมอร์ผสม จึงได้มีการดำเนินการมาโดยลำดับ โดยเฉพาะการใช้สารที่สามารถทำให้พอลิเมอร์แต่ละชนิดละลายในตัวกลางที่ทำให้เกิดการเชื่อมระบบพอลิเมอร์เข้าด้วยกัน สารดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า Compatibilizer ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว จะเป็นพอลิเมอร์ร่วม (copolymer) ของพอลิเมอร์แต่ละชนิด สารช่วยผสม หรือ compatibilizer ที่ใส่เข้าไปในพอลิเมอร์ผสมแต่ละระบบ จะมีหน้าที่เพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิว (interfacial adhesion) ให้กับระบบนั้นๆ ซึ่งจะส่งผลให้สมบัติด้านอื่นๆ เช่นสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

พอลิเมอร์หลักที่เลือกทำการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ พอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ดังนั้น ผลที่ตามมาก็คือ ปัญหาขยะอันเกิดจากพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ จึงได้มีแนวความคิดที่จะใช้เทคนิคในด้านการผลิตพอลิเมอร์ผสม มาใช้ในการจัดการกับปัญหาขยะพลาสติกที่เกิดขึ้น และเนื่องจากพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ จึงได้มีการเลือกใช้สารช่วยผสม หรือ Compatibilizer ที่เหมาะสมกับระบบดังกล่าว ช่วยในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิว (interfacial adhesion) ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

วัตถุประสงค์หลักในการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของระบบพอลิเมอร์ผสมก็คือการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิว (interfacial adhesion) ของพอลิเมอร์สองชนิดที่นำมาผสมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรวมเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์หลักโดยใช้สารช่วยผสม(Compatibilizer) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพอลิเมอร์ร่วมของแต่ละองค์ประกอบในระบบพอลิเมอร์ผสม และมักจะมีสมบัติเป็นอีลาสโตเมอร์ เพื่อเป็นการเพิ่มสมบัติในด้านต่างๆ เช่น สมบัติในการต้านทานแรงกระแทก (impact resistance) เป็นต้น พอลิเมอร์หลักที่เลือกทำการศึกษา ได้แก่ พอลิพรอพิลีน และ พอลิสไตรีน เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน ทำให้เกิดปัญหาจากขยะพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ขึ้นเป็นจำนวนมากตามปริมาณการใช้งาน แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว ก็คือการนำขยะพลาสติกทั้งสองชนิดนี้มาทำการผสมกัน เกิดเป็นพอลิเมอร์ผสมระบบใหม่ขึ้น ซึ่งจะมีสมบัติของพลาสติกทั้งสองชนิดรวมกัน แต่การรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ทั้งสองนี้ จะเป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องใช้สารช่วยในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งในโครงการพิเศษครั้งนี้ เลือกใช้สไตรีน - บิวทาไดอิน - สไตรีน (SBS) จากโครงการพิเศษในหัวข้อเรื่อง “ การปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้รังสีพลังงานสูง ” ในปีการศึกษา 2538 ได้ทำการศึกษามาแล้วว่า ในระบบพอลิเมอร์ผสมที่มี 3 องค์ประกอบ ได้แก่ พอลิสไตรีน : พอลิพรอพิลีน : สไตรีน - บิวทาไดอิน - สไตรีน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์หลักเป็น 1 : 1 และปริมาณสารช่วยผสมสไตรีน - บิวทาไดอิน - สไตรีน (SBS) เป็น 10% , 20% และ 30% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นการศึกษาเพียงผลของปริมาณสารช่วยผสมที่มีต่อระบบพอลิเมอร์ผสมเท่านั้น ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ จึงได้ทำการศึกษาถึงผลของปริมาณพอลิเมอร์หลัก ที่มีต่อระบบพอลิเมอร์ผสมด้วย โดยจะทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม และเป็นการพัฒนาสมบัติในด้านต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และ พอลิสไตรีน
2. ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้สารช่วยในการผสม ในการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิว (interfacial adhesion) ของพอลิเมอร์ผสม
3. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างพอลิเมอร์ผสม และสารช่วยในการผสมที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงที่สุด
4. ศึกษาการผลิตพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากขยะพลาสติกจำพวก พอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนที่เตรียมได้ เมื่อผ่านการแอนนียลในระยะเวลาที่กำหนด

ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาดังความเป็นไปได้ ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้สารช่วยในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะใช้พอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน (SBS) เพื่อเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ ซึ่งระบบพอลิเมอร์ที่ทำการศึกษานั้นมี 2 ระบบ คือ ระบบที่มี 2 องค์ประกอบ ได้แก่ PP/PS ,PP/SBS และ PS/SBS และระบบที่มี 3 องค์ประกอบ ได้แก่ PP/PS/SBS ซึ่งจากระบบทั้งสองนี้จะทำการศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของแต่ละองค์ประกอบที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด นอกจากนี้ยังศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมแต่ละอัตราส่วนเมื่อผ่านการแอนนียล (annealing) อีกด้วย

ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

ในการวิจัย จะทำการผสมพอลิเมอร์ทั้งสองระบบในเครื่องผสมระบบปิด โดยใช้เครื่อง Brabender Plasticorder เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการผสม และทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ผสมแต่ละคู่ นำพอลิเมอร์ที่ได้ไปบด แล้วนำไปขึ้นรูป ให้มีลักษณะเป็นคัมเบลล์ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปด้วยการฉีด (injection moulding) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกายภาพ เปรียบเทียบกันระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน และนอกจากนี้ ยังมีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมเมื่อผ่านการแอนนีส (anneal) อีกด้วย โดยจะทำการแอนนีสพอลิเมอร์ผสมแต่ละอัตราส่วนที่เตรียมได้ ในเวลาที่กำหนด แล้วนำมาทดสอบสมบัติการต้านทานแรงกระแทก (Impact resistance) เพื่อเปรียบเทียบกับระหว่างก่อนและหลังการแอนนีส จากนั้นจึงทำการสรุปผลการวิจัย เพื่อการนำไปใช้งาน

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความสามารถในการใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) ในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของระบบพอลิเมอร์ผสม
2. ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ
3. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์หลัก และสารช่วยผสม ที่จะให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด
4. ทราบถึงสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปของพอลิเมอร์ผสม เมื่อผ่านการแอนนีสในระยะเวลาที่กำหนด

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ปัจจุบันพอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) ได้มีการวิจัยและพัฒนากันอย่างกว้างขวาง เพื่อให้เกิดพอลิเมอร์ผสมระบบใหม่ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยนำเอาข้อดีของพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ มาผสมรวมกันเพื่อให้ได้ระบบที่มีสมบัติตามต้องการ

ประวัติในการพัฒนาพอลิเมอร์ผสม (Polymer blend and alloy) เริ่มจากปี 1846 ซึ่งเป็นการผสมระหว่างยางธรรมชาติ (Natural rubber) กับ Gutta percha โดย Thomas Hancock เพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งานเป็นผ้าที่กันน้ำได้ (waterproofing cloth) จากนั้นได้มีการวิจัยพัฒนาพอลิเมอร์ผสมระบบใหม่ๆ มาเป็นลำดับ ในปี 1942 เริ่มมีการผลิตพอลิเมอร์ผสมในทางการค้าขึ้น โดยบริษัท Dow Chemical Co., ผลิตพอลิเมอร์ผสมที่มีชื่อทางการค้าว่า Styralloy-22 ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีน (PS) กับพอลิบิวทาไดอีน (PB) ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของการผลิตพอลิเมอร์ผสม เพื่อใช้ในทางการค้า

ตารางแสดงการพัฒนการผลิตพอลิเมอร์ผสม

Historical Brief on Development of Polymer Alloys and Blends

No.	Year	Event	Reference
1.	1846	First patenting of polymer blend: natural rubber with gutta-percha	T.Hancock, Engl. Pat. No. 11.147
2.	1929	copolymerization of butadiene with styrene rubber, Buna-S, GRS or SBR.. Commercial production started in 1934.	W. Bock and E. Tschunkur, U.S. Pat. No. 1,938,731 (1933) to I.G. Farben
3.	1944	R.F. Boyer polymerized styrene in the presence of soluble GRS what leaded to development of high impact PS (HIPS); Commercial production started in 1948.	(see above);J.L. Amos, O.R. McIntyre and J.L. McCurdy, U.S. Pat. No. 2,694,692 (1954) assigned to Dow Chem. Co.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	Year	Event	Reference
4.	1962	Commercial introduction of ethylene-propylene rubbers , (EPR) and ethylene-propylene-diene rubber(EPDM); the ingredients used frequently in PAB for impact improvement	W.F. Gresham and M. Hunt, U.S. Pat. No. 2,933,480, Apr. 10, 1960 to DuPont,
5.	1962	Blends of ABS with poly(α -methylstyrene-co-acrylonitrile), "High-heat ABS"	H. H. Irving, U.S. Pat. No. 3,010,936(1961) to Borg Warner.
6.	1965	Patenting of styrene-butadiene-styrene block copolymer	G. Holden and R. Milkovich, U.S. Pat. No.3,265733(1965) to Shell
7.	1969	Discovery of PP/EPDM blend by Coran and Patel commercialized by Monsanto under the trade name of Santoprene	A.Y. Coran and R. Patel, Rubber(1980); 54, 91 ,892 (1981); 56, Liams, Rubber Chem. Technol., 54, 116 (1981); 55, 1063(1982)
8.	1981	Borg Warner enters the market with new PPE copolyether/PS blend , Prevox.	Plast. Focus, March 2,1981, p 3
9.	1984	Borg Warner developed ABS/PA blend, Elemid, for automobile body panel	Plast Focus , Mars 11, 1985, P. 3
10.	1986	New blends for car interior , Pulse , PC/ABS type developed by Dow Chem. Co.	Plast Technolog., April 1986. p. 103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ในปี 1960 ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีน (PS) กับ พอลิ-2,6-ไดเมทิล-1,4-พีนีลอีเทอร์ (PPE) ซึ่งเกิดเป็นเรซินชนิดใหม่ขึ้น พบว่าการผสมระหว่าง PPE/PS นี้สามารถรวมตัวเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ (miscible) ดังนั้นสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมตัวดังกล่าว (อาทิเช่น modulus และ yield stress) จึงมีการพัฒนาขึ้นมาอย่างเหมาะสม ซึ่งพอลิเมอร์ผสมตัวนี้มีชื่อทางการค้าว่า Noryl

จากการศึกษาพบว่า พอลิเมอร์ผสมที่มีส่วนของพอลิสไตรีน (styrenic part) ร่วมอยู่ จะมีสมบัติบางประการที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้งาน อาทิเช่น ความเหนียว (toughening) การทนทานต่อการติดไฟ (flame resistance) และการทนทานต่อสารละลาย (solvent resistance) เป็นต้น

ตารางแสดงการปรับปรุงและพัฒนาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม

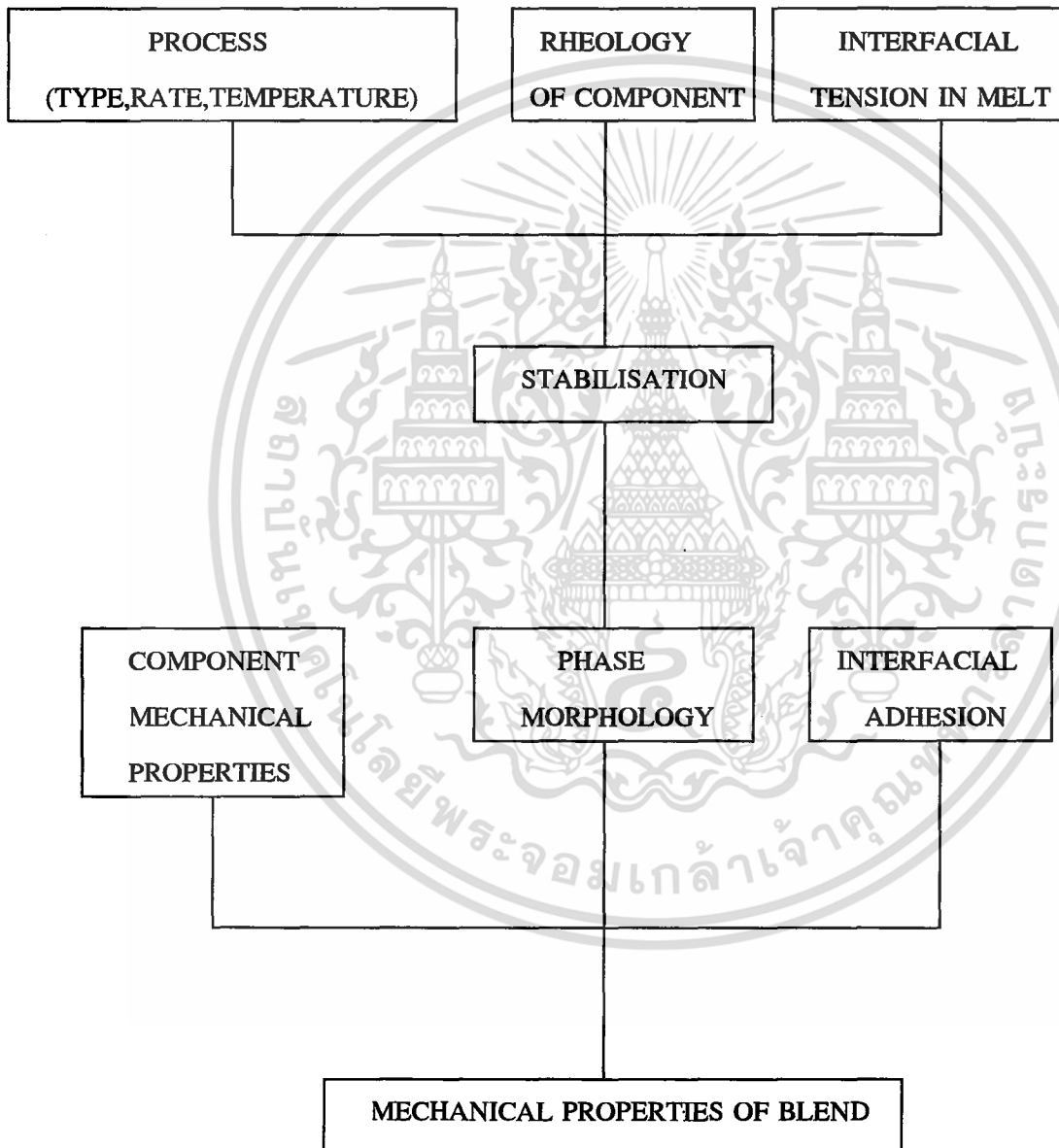
How to modify Properties by Blending

No	Property	Matrix Resin	Modifying Polymer
1	Impact strength	PVC,PP,PE,PC, PA,PPE,TPE	ABS,ASA,SBS,EPR, EPDM,PBR,SAN,SMAMB A,Polyolefin,HIPS
2	HDT , stiffness	PC,PA ABS,SAN	TPEs,PEI,PPE PC,CPE
3	Flame retardancy	ABS,Acrylics, PA,PC	PVC,CPE Aromatic-PA,PSO
4	Chemical/solvent resistance	PC,PA,PPE	TPEs,copolysiloxanes polyphates
5	Barrier properties	Polyolefins	PA,EVOH,PVCl ₂
6	Processability	PPE HTThermoplastics PET,PA,PC PVC PSO PO	Styrenics LCP,TPU PE,PBR,MBS,EVOH CPE,Acrylics PA PTFE,SI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

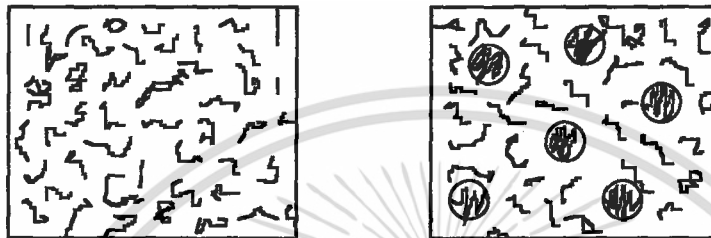
พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend)

พอลิเมอร์ผสม เป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มาผสมเข้าด้วยกัน โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดที่นำมาผสมกันนี้ อยู่ร่วมกันโดยไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างกัน ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นี้ จะแตกต่างไปจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่นำมาผสมกัน โดยปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติ (end - use properties) ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ แสดงได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป พอลิเมอร์ผสมจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ผสมที่สามารถรวมเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน (miscible blend) และพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (immiscible blend) ซึ่งจะปรากฏให้เห็นเป็นระบบที่มีหลายวัฏภาค



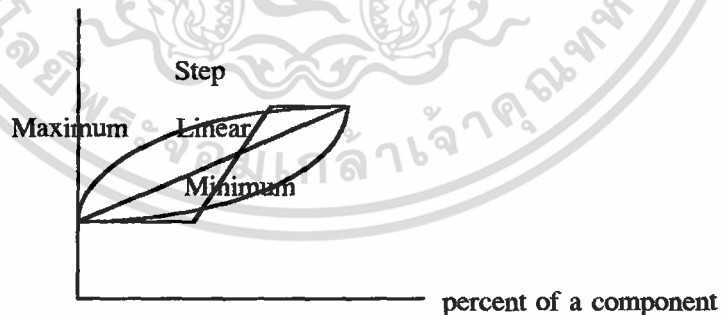
(a) Miscible

(b) Immiscible

รูปที่ 1 Possible morphologies of a blend of two polymers

พอลิเมอร์ผสมที่สามารถรวมเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันนั้น จะมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดรวมกัน ซึ่งอาจแสดงได้ดังนี้

mechanical properties



รูปที่ 2 Potential responses for the mechanical properties of a polymer blend

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของการผสมพอลิเมอร์

1. เพื่อปรับปรุงให้พอลิเมอร์มีสมบัติที่ดีขึ้น ในราคาที่เหมาะสม โดยสมบัติที่ต้องการปรับปรุง ได้แก่ สมบัติในการต้านทานแรงกระแทก (impact resistance) และการทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ (weather resistance) เป็นต้น
2. เป็นการขยายขีดความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของพอลิเมอร์ที่มีราคาแพง
3. เป็นการนำพลาสติกที่ใช้แล้ว หรือเศษพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ให้เป็นประโยชน์
4. เพื่อสร้างวัสดุที่มีเอกลักษณ์พิเศษ เหมาะสมที่จะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

Compatibility หมายถึงความสามารถในการเข้ากันได้ (miscibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน โดยสมบัติของพอลิเมอร์ผสมชนิดใหม่นี้ จะมาจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดรวมกัน ซึ่งจะทราบได้จากการศึกษา และการทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยา เป็นต้น

สาเหตุและปัญหาที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ได้แก่

1. พลังงานอิสระในการผสม (free energy of mixing) มีค่าเป็นบวก ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

Thermodynamic miscibility เป็นสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาในการผลิตพอลิเมอร์ผสม ซึ่งความเข้ากันได้ (miscibility) ของพอลิเมอร์ผสมนี้ โดยที่จะถูกกำหนดโดยสมมูลของเอนทัลปี (enthalpy) และเอนโทรปี (entropy) ซึ่งจะส่งผลต่อค่าพลังงานอิสระในการผสม (free energy of mixing) ในสารโมเลกุลเล็กๆ นั้น เอนโทรปีจะมีค่าสูงพอที่จะเกิด miscibility ได้ แต่สำหรับพอลิเมอร์ เอนโทรปีจะมีค่าต่ำจนเกือบเป็นศูนย์ จึงทำให้ miscibility ของพอลิเมอร์ผสม ถูกกำหนดโดยเอนทัลปีเพียงอย่างเดียว การเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระในการผสม เป็นดังนี้

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

G = พลังงานอิสระในการผสม (free energy of mixing)

H = เอนทัลปี (enthalpy)

S = เอนโทรปี (entropy)

T = อุณหภูมิ (Temperature)

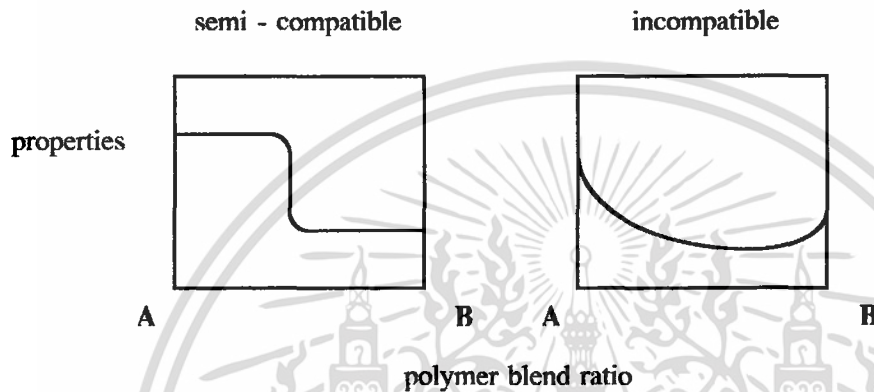
การที่พอลิเมอร์จะสามารถผสมเข้ากันได้ พลังงานอิสระในการผสมของระบบจะต้องตรงกับเงื่อนไขดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta G < 0$$

$$\partial^2 (\Delta G / \partial \phi^2)_{P,T} > 0$$

เมื่อ ϕ เป็นเศษส่วน โมล (molar fraction) ของพอลิเมอร์หนึ่งองค์ประกอบ เมื่อนำสมบัติและอัตราส่วน ระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองมาเขียนกราฟ จะได้กราฟในลักษณะรูปตัวเอส ในกรณีที่สามารถเข้ากันได้บ้าง และได้กราฟรูปตัวยู ในกรณีที่ไม่สามารถเข้ากันได้ ดังรูป



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของพอลิเมอร์ผสม กับอัตราส่วนขององค์ประกอบในพอลิเมอร์ผสม

2. ไม่สามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ที่ทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น แรงดึงดูดระหว่างขั้วและพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นทั่วทั้งโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่เฉพาะเจาะจงในสายโซ่พอลิเมอร์เท่านั้น
3. ส่วนผสมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงไป
4. ในการเขียนกราฟระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่ใช้ (ดังรูป) สมบัติที่ทดสอบ จะต้องได้จากแต่ละเฟสที่แยกจากกัน ซึ่งในบางครั้งพอลิเมอร์ผสมที่ได้มิได้แยกเฟสอย่างชัดเจน
5. พบว่าการผสมพอลิเมอร์ต่างชนิดกันอาจทำให้กระบวนการตกผลึกของพอลิเมอร์ (crystallization) เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ได้สมบัติบางอย่างที่ไม่ต้องการออกมา

พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้ นั้น (incompatible blend) จำเป็นจะต้องนำมาปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิว ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่แยกกันอยู่อย่างชัดเจน เพื่อให้มีสมบัติที่ดีขึ้น ลักษณะวิทยา (morphology) ของพอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. องค์การกระจายตัวของเฟสของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด
2. รูปร่างและขนาด (shape and dimension) ของอนุภาคเฟสที่กระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ จะขึ้นอยู่กับสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และลักษณะการไหลตัว (rheological characteristic) ของพอลิเมอร์หลักที่เป็นองค์ประกอบทั้ง 2 ชนิด รวมทั้งวิธีการผสม สภาพในการผสม และกระบวนการในการขึ้นรูปด้วย

โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ นั้น เรียกว่า “ heterogeneous ” ซึ่งจะมีลักษณะเป็น continuous phase ของพอลิเมอร์หลักชนิดหนึ่ง และมี disperse phase ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ภายใน ซึ่งจะแยกกันอยู่อย่างชัดเจน โดยมีลักษณะเป็น phase boundary จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า รูปร่างและขนาดของเฟสที่กระจายตัว และองค์การกระจายตัวนั้น จะขึ้นอยู่กับสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลัก ซึ่งสามารถปรับปรุงลักษณะทางสัณฐานวิทยาได้โดยใช้สารช่วยในการผสม (Compatibilizer)

สารช่วยในการผสม (compatibilizer)

compatibilizer ใช้ผสมลงในพอลิเมอร์เพื่อช่วยในการละลายและลดแรงตึงผิว(surface tension) ซึ่งกันและกัน ระหว่างเฟสที่แยกกันอยู่ของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด ทำให้ขนาดของอนุภาคเฟสที่กระจายตัวลดลง และเป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิว(interfacial adhesion) ของแต่ละเฟสด้วย ทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถรับและกระจายแรงได้มากขึ้น (improved stress transfer) นอกจากนี้ compatibilizer จะเพิ่มโครงสร้างที่เป็นเส้นตรงในพอลิเมอร์ผสม ทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดสามารถผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

compatibilizer ที่ใช้กันอยู่เป็นพอลิเมอร์ร่วม (copolymer) ที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด ทำให้สามารถละลายได้ในทั้งสองเฟส และทำตัวเป็นสะพานเชื่อมระหว่างเฟสทั้งสอง พอลิเมอร์ผสมที่ใช้ compatibilizer จะแสดงสมบัติที่ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช้ compatibilizer ซึ่งการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยวิธีนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าองค์การเข้ากันได้ (degree of homogeneity) ที่ได้จาก compatibilizer

จากตัวอย่างการศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ nylon 6, nylon6-6, nylon 6-3T และ PET โดยปรับเปลี่ยนปริมาณสารช่วยผสม (compatibilizer) ต่างๆกันไป แล้วทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สัณฐานวิทยา (morphology)โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile elongation at break) พบว่าปริมาณ compatibilizer ที่เติมลงไปมีผลต่อการกระจายตัวของเฟส ทำให้ขนาดของเฟสที่กระจายตัวอยู่(disperse phase)มีขนาดเล็กลงซึ่งจะส่งผลต่อการกระจายตัวที่ดีขึ้น และมีค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด(Tensile elongation at break)สูงขึ้นด้วย ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลของสารช่วยผสมที่มีต่อขนาดของเฟส และค่าการดึงยืด ณ จุดขาด

Comparison of maximum phase size(d_{max}) and average tensile elongation at break(ϵ_B) results for HDPE blends containing 15% by weight of various polymers and low level of proprietary compatibilizers

Compatibilizer level (pph)	Nylon 6		Nylon 6-6		Nulon 6-3T		PET	
	d_{max}	ϵ_B	d_{max}	ϵ_B	d_{max}	ϵ_B	d_{max}	ϵ_B
	(μ_m)	(%)	(μ_m)	(%)	(μ_m)	(%)	(μ_m)	(%)
0	60	20	100	15	15	220	65	10
0.1	5	40	13	15	6	600	15	320
2	5	130	2	65	10	740	20	>800
5	5	116	6	65	4	300	20	400

ภาพถ่าย SEM แสดงผลของสารช่วยผสมที่มีต่อระบบของ
พอลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE / nylon 6-6

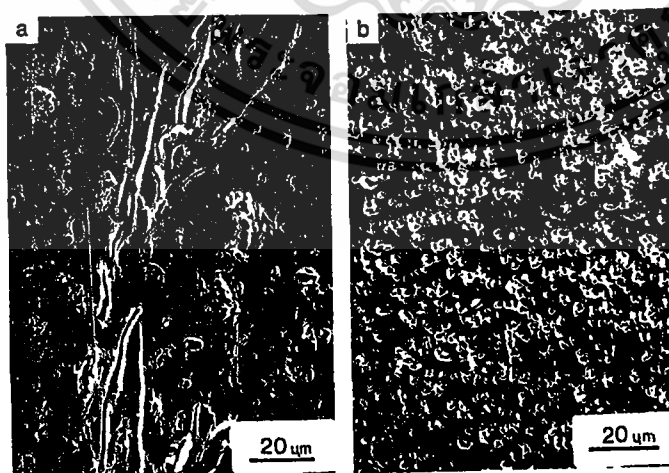


Figure 3.2 Scanning electron micrographs of HDPE/nylon 6-6 blends containing 15% by weight nylon 6-6, with and without addition of compatibiliser: (a) no compatibiliser; (b) 5 pph compatibiliser.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์ผสม

1. การผสมเชิงกล (Mechanical Blending)
2. ทำการละลายตัวทำละลายรวม จากนั้นทำเป็น film, freeze หรือ Spray Drying
3. การผสมแบบลาเท็กซ์ (Latex Blending)
4. การผสมแบบผง (Fine Power Mixing)
5. ใช้น้ำมันเป็นตัวทำละลายสำหรับพอลิเมอร์อีกองค์ประกอบหนึ่งจากนั้นทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

การออกแบบ Polymer Blend

ขั้นตอนในการออกแบบพอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กำหนดสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีสำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ต้องการ
2. พิจารณาจากข้อมูลสมบัติของเรซินต่างๆ เลือกเรซินที่คาดว่าจะให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมตามต้องการ
3. ทำตารางเพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเรซินที่เลือกไว้
4. เลือกเรซินจากข้อ 3 ที่คาดว่าจะให้สมบัติที่เหมาะสมตามความต้องการ
5. เลือกเรซินอีกชนิดหนึ่งที่คาดว่าจะผสมเข้ากันได้หรือเลือกวิธีในการผสมให้เข้ากัน (Compatibilizer)
6. ทำการประเมินราคาของสาร (Resin , Compatibilizer , Compounding)
7. กำหนดสัณฐานวิทยาที่ต้องการสำหรับพอลิเมอร์ผสม
8. เลือกสมบัติของการไหลตัว (Rheology) ของพอลิเมอร์ผสม , ความเข้มข้นขององค์ประกอบ , ปริมาณสารช่วยในการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (compatibilizer)
9. กำหนดวิธีการในการรักษาสภาพสัณฐานวิทยา สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้เช่น ควบคุมอัตราการหล่อเย็น , การตกผลึก
10. เลือกวิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสัณฐานวิทยาที่ต้องการแต่ถ้าไม่ได้ต้องกลับไปพิจารณาข้อ 8 อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน (poly(styrene-butadiene-styrene)) : SBS

SBS เป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ชนิดหนึ่งโดยเป็น linear block copolymer ชนิด triblock copolymer แบบ A-B-A ที่มีสูตรโครงสร้างเป็นดังนี้



โดย A เป็นส่วนของพอลิสไตรีน

B เป็นส่วนของพอลิบิวทาไดอีน

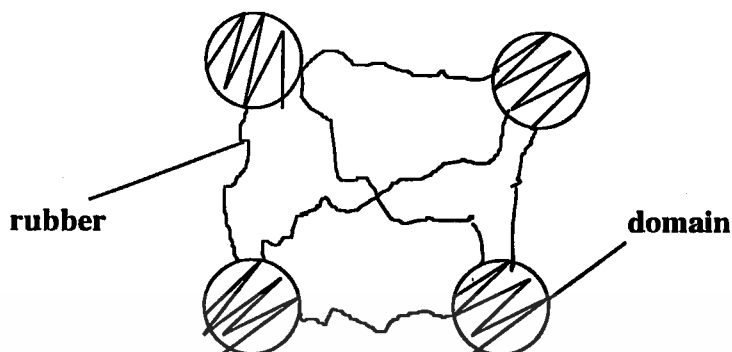
โดยปกติสารที่เป็น เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จะมีสมบัติดังนี้ คือ ไม่ต้องผ่านขบวนการวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ก็จะมีลักษณะยืดหยุ่นได้ดี และสามารถนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปได้ เศษพลาสติกที่เหลือจากการขึ้นรูป สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และสามารถละลายได้ในตัวทำละลาย และกลับมีสมบัติเหมือนเดิมเมื่อระเหยตัวทำละลายออกไป ซึ่งทำให้สมบัติต่างๆ เหล่านี้ เกิดขึ้นเนื่องจาก เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ มีส่วนประกอบที่เป็น พอลิเมอร์ ชนิดที่แตกต่างกัน นั่นคือ เป็น block copolymer ที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่เป็นเทอร์โมพลาสติก(พอลิสไตรีน) ในส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เป็นอีลาสโตเมอร์ หรือ ยาง (พอลิบิวทาไดอีน) โดย block copolymer จะมีลักษณะที่แตกต่างจาก random copolymer ซึ่ง มอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบทั้งสองชนิดจะต่อกันอยู่ในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ ดังโครงสร้างต่อไปนี้



ใน block copolymer เช่น SBS จะประกอบด้วยส่วนของพอลิเมอร์ 2 ส่วน คือ ส่วนของพอลิสไตรีน (polystyrene segment) และส่วนของพอลิบิวทาไดอีน (polybutadiene segment) ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้จะไม่สามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ เกิดเป็นระบบที่มี 2 วัฏภาคขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้ block copolymer นี้มีค่า Tg แตกต่างกัน 2 ค่า

ค่า Tg ที่แสดงลักษณะเป็น 2 ค่าของ SBS ที่เป็น block copolymer จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์สไตรีน บิวทาไดอีน(styrene-butadiene rubber, SBR) ที่เป็น random copolymer ซึ่งจะมีค่า Tg เพียงค่าเดียว แสดงว่า SBR เป็นระบบที่มีวัฏภาคเดียว

การจัดเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลของ SBS ดังแสดงในรูป จะเป็นระบบที่มี 2 วัฏภาค โดยสไตรีนจะกระจายตัวอยู่ในเฟสของบิวทาไดอีน ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิต่ำกว่า Tg ซึ่ง domain เหล่านี้จะมีความแข็ง (Hardness) และมีส่วนที่เป็น tie molecule ซึ่งเป็นสายโซ่ของพอลิบิวทาไดอีนที่เชื่อมต่อกัน โดยที่ domain อื่น ๆ เป็นโครงร่างแห (network) ซึ่งในส่วนสายโซ่พอลิบิวทาไดอีนนี้จะมีพันธะเชื่อมโยงทางกายภาพ (physical crosslink) เกิดขึ้นระหว่างกัน



รูปที่ 4 แสดง rigid glassy domain ในเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์

สมบัติทั่วไปของ SBS

SBS ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นของบริษัทเชลล์ ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า CARIFLEX TR-1101

สมบัติ (property)	วิธีทดสอบ (test method)	ค่าที่ได้ (value)	หน่วย (unit)
Styrene content	SM*(infrared)	31	% mass
Volatile matter	SMS* 2404	0.3	% mass
Ash	ISO 247-B	0.1	% mass
Total extractables	ASTM D1416	1.0	% mass
Solution viscosity**	SMS* 2406	4.0	Pa.s
Melt flow rate (200°c / 5 kg)	ISO 1138	< 1	g. / 10min
Density	ISO 2781	0.94	Mg. / m ³
Hardness(shore A,SOS)	ASTM D2240	72	-
Tensile strength	ISO 87	33	MPa.
Modulus 300%	ISO 37	2.9	Mpa.
Elongation at break	ISO 37	880	%

หมายเหตุ

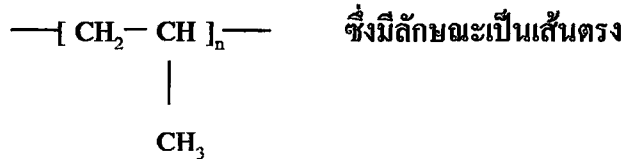
* เป็นลักษณะภายนอกของ SBS จะเป็นเม็ดขาว มีรูพรุนและมีความยืดหยุ่น โครงสร้างของ SBS นั้นว่องไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ SBS นี้ยังสามารถรวมตัวกันขยายขนาดขึ้นได้ โดยการเติมพอลิเมอร์อื่นๆ , สารตัวเติมหรือ extender oil ซึ่งจะทำให้สามารถแปรรูปได้ง่ายขึ้น และมีสมบัติที่ดียิ่งขึ้นด้วย

สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

เป็นเทอร์โมพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีสูตร โครงสร้างดังนี้



พอลิพรอพิลีนฟิล์มที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000-200,000 ความหนาแน่น 0.90 g / cm³ อุณหภูมิ หลอมเหลว(Tm) 164-170°C สมบัติการละลาย คือพอลิพรอพิลีนจะไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าอุณหภูมิเกินกว่า 80°C ขึ้นไปจะละลายในไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติก และ คลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน ถ้าหากทำการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะทำให้ PP มีความทนต่อแรงดึงลดลง ความสามารถในการยืดตัวลดลง ธรรมชาติความต้านทานการยืดหยุ่นลดลง แต่ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้น พอลิพรอพิลีนนี้มีค่าความร้อนจำเพาะต่ำกว่าพอลิเอทิลีน แต่สูงกว่าของพอลิสไตรีน

พอลิพรอพิลีนที่ใช้ในทางการค้า มักผสมด้วยสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอนดำ ไยแก้ว และแอนติออกซิแดนท์ เป็นต้น เพื่อให้สมบัติดีขึ้น เหมาะกับการใช้งาน สำหรับการประยุกต์ใช้งานนั้น ใช้ทำแผ่นฟิล์มสำหรับห่อ ถุงพลาสติก ถังน้ำ ท่อ ชิ้นส่วนตู้เย็น เป็นต้น

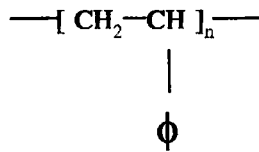
ในงานวิจัยครั้งนี้เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่ใช้เป็นของบริษัทเอ็ช เอ็ม ซีโพลีเมอร์จำกัด ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า PROFAX 6331 ซึ่งสมบัติต่างๆ ของเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนไฮโมพอลิเมอร์เป็นดังต่อไปนี้

TYPICAL RESING PROPERTIES	PRO-FAX 6331	ASTM METHOD
-Melt flow rate (g/10 min)	12	D 1238
-Density (g/cm)	0.903	D 792A-2
-Watch Izod impact strength at 73°C (23°C) , (ft-lbs/in , J/m)	0.5 (25)	D 256A
-Tensile strength at yield(psi , MPa)	5000(34)	D 638
-Elongation at yield (%)	10	D 638
-Flexural modulus (psi , MPa)	235,000(1,620)	D 790B
-Rockwell hardness (R Scale)	97	D 785A
-Deflection Temperature at 66 psi (455 kPa) (°F , °C)	205(96)	D 648
-Environmental stress-cracking (hrs)	>500, no failure	D 1693

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิสไตรีน (Polystyrene , PS)

มีสูตรโครงสร้างดังนี้



การเตรียมพอลิสไตรีนนั้น จะใช้การพอลิเมอไรเซชันแบบบิลด์ และแบบแขวนลอย ซึ่งจะได้พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์สายตรง โดยที่โครงสร้างจะเป็นแบบอะแทกติก (atactic) ให้อยู่ในรูปของอสัณฐาน (amorphous) มีลักษณะแข็ง เปราะ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใส ไม่ค่อยดูดความชื้น ไม่นำไฟฟ้า ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี ทนต่อกรดไฮโดรคลอริก ค้าง ตัวออกซิไดซ์ และตัวรีดิวซ์ พอลิสไตรีนถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงได้ ถ้าถูกความร้อน ซึ่งปกติจะมี M_v ประมาณ 50,000 - 200,000 ค่าความทนต่อแรงดึงสูงถึง 8000 psi แต่ทนความร้อนได้ต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิ T_g ประมาณ 80°C เท่านั้น ความหนาแน่น 1.05 - 1.07 g/cm^3 ละลายได้ในตัวทำละลายพวกอะโรเมติก ข้อเสียของพอลิสไตรีน คือ สมบัติเชิงกลไม่ค่อยดีนัก เนื่องจากเปราะ แต่ขึ้นรูปได้ง่าย นิยมใช้ในงานขึ้นรูปโดยการฉีด

การปรับปรุงสมบัติของพอลิสไตรีน ทำได้โดยเติมสารเติมแต่งบางอย่างลงไป ช่วยให้มีความเหนียวขึ้น นำไปใช้ทำถังพลาสติก ภาชนะใส่อาหารชนิดใส เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมนำไปทำเป็นโฟมสำหรับบรรจุสิ่งของป้องกันการกระแทก และการสิ้นเปลืองอีกด้วย

ในโครงการพิเศษนี้ เป็นการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสม โดยเลือกใช้ PP และ PS เป็นพอลิเมอร์หลัก เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ มีการใช้งานมากในปัจจุบัน

การแอนนิล (Annealing)

การแอนนิลเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับพอลิเมอร์ผสมอย่างช้าๆ ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีแอนนิลโดยการอบพอลิเมอร์ผสมในตู้อบสูญญากาศ ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบของพอลิเมอร์ผสมนี้ จะมีผลให้สายโซ่โมเลกุลจัดเรียงตัวกันได้เป็นระเบียบมากขึ้น ทำให้ปริมาณความเป็นผลึกสูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการแยกเฟสกัน (phase seperation) ระหว่างพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด ทำให้สมบัติต่างๆของระบบ เช่น สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance) ต่ำลง มีความเปราะมากขึ้น การแอนนิลนั้นจะต้องคำนึงถึงอุณหภูมิที่ใช้ โดยถ้าใช้อุณหภูมิในการแอนนิลสูง จะทำให้เกิดผลึกขึ้นมากเกินไป ซึ่งจะทำให้สมบัติต่างๆต่ำลงมากขึ้นด้วย

บทที่ 3

การวิจัยและดำเนินงาน

(1) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนของ HMC (6331) : บริษัทเสี่ยคเซ้ง จำกัด
2. เม็ดพลาสติกพอลิสไตรีนของ DOW CHEMICAL (HY 931004)
3. พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีนของ SHELL(CARIFLEX TR-1101)

(2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมระบบปิด Brabender (Plasticorder PL2100)
2. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Moulding)
3. เครื่องทดสอบแรงดึง 30 KN : LLOYD
4. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC : Shimadzu Co.,Ltd.
5. เครื่องไม้ตัดพลาสติก
6. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
7. เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Resistance) : YASUDA

8. ตู้อบความร้อนแบบสูญญากาศ

9. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล

(3) ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เตรียมพอลิเมอร์ผสม แต่ละระบบที่มีอัตราส่วนของพอลิเมอร์หลัก และสารช่วยในการผสมที่ปริมาณแตกต่างกัน ไปตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้
2. นำมาขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อน โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปโดยการฉีดขึ้นรูป(Injection Moulding)
3. ทำการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมแต่ละอัตราส่วน
4. นำพอลิเมอร์ผสมแต่ละอัตราส่วน ไปอบเพื่อเป็นการแอนนีสล(annealing)ตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนดไว้
5. ทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการแอนนีสลแล้ว นำมาเปรียบเทียบกับสมบัติก่อนทำการแอนนีสล
6. สรุปผล และนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบจะแบ่งพอลิเมอร์ผสมออกเป็นสองระบบ ดังนี้

(1) ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มี 2 องค์ประกอบ

ระบบแรก -- พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/PS

ระบบที่สอง -- พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/SBS และ PS/SBS

โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างองค์ประกอบทั้งสองให้มีค่าต่างๆ กัน ซึ่งมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อทำการผสม โดยปริมาณและอัตราส่วนของ PP , PS และสารช่วยผสม SBS เป็นไปตามตาราง

ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP / PS

อัตราส่วน ระหว่าง PP /PS	PP (g)	PS (g)
100 / 0	2000	--
70 / 30	1400	600
50 / 50	1000	1000
30 / 70	600	1400
0 / 100	--	2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP / SBS

% Compatibilizer	PP (g)	SBS (g)
10 %	2000	200
20 %	2000	400
30 %	2000	600

ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PS / SBS

% Compatibilizer	PS (g)	SBS (g)
10 %	2000	200
20 %	2000	400
30 %	2000	600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิด โดยใช้เครื่อง Brabender Plasticorder ซึ่งต่ออยู่กับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่ (twin screw extruder) สภาวะที่ใช้ในการผสมเป็นดังนี้

อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเป็น 185 190 195 200 องศาเซลเซียส

ความเร็วรอบในการผสม 10 รอบ / นาที

เมื่อพลาสติกออกจากเครื่องผสม ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาเข้าเครื่องโมดัด เพื่อย่อยให้พลาสติกมีขนาดเล็กลง และใกล้เคียงกัน

3. นำเม็ดพลาสติกที่ได้ มาทดสอบสมบัติเชิงความร้อน ของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน (heating rate) ที่ $20^{\circ}\text{C} / \text{min}$ และอัตราการเย็นตัว (cooling rate) ที่ $20^{\circ}\text{C} / \text{min}$ อ่านค่า T_g , T_m และ T_c จากกราฟที่ได้ และทำการคำนวณหา ΔH_m และ ΔH_c โดยใช้โปรแกรมการคำนวณในเครื่อง DSC

การคำนวณ

- ก่อนการผสม

$$\text{Degree of crystallinity (PP)} = \Delta H_2 / 209 * 100$$

$$\Delta H_2 = \text{พื้นที่ใต้กราฟของ PP ก่อน blend}$$

$$\Delta H_{100} \text{ PP} = 209 \text{ J / g}$$

- หลังการผสม

หาองศาความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดจาก $\Delta H_{\text{หลังblend}}$ เทียบกับ $\Delta H_{\text{ก่อนblend}}$

$$\text{Degree of crystallinity (PP)} = \Delta H_4 / \Delta H_2 * 100$$

$$\Delta H_4 = \text{พื้นที่ใต้กราฟหลัง blend}$$

4. ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อเตรียมวัสดุสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ได้แก่ สมบัติในการทนทานต่อแรงกระแทก (impact strength) และสมบัติการต้านทานแรงดึง (tensile strength) ซึ่งการขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติดังกล่าว นั้น จะใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (injection moulding) โดยใช้แม่พิมพ์รูปคัมเบลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การทดสอบสมบัติเชิงกล ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (LLOYD) ขนาด 30 KN ตาม ASTM D 638 M ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของแต่ละระบบ โดยใช้ชิ้นงาน ตัวอย่างในการทดสอบ ระบบละ 4 ชิ้น สภาพของเครื่องทดสอบเป็นดังนี้

Load cell	:	3000 N
Test speed	:	10 mm / min
Grammage	:	1.0 g / m²
Cell class	:	0.5
Guage length	:	75 mm

นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

100

Tensile strength : **Force (N) / Area (m²)**

% Elongation : **(Δ Length / Original length) ***

Modulus : **Stress / Strain**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ระบบของพอลิเมอร์ผสมที่มี 3 องค์ประกอบ

ได้แก่ PP/ PS / SBS โดยมีอัตราส่วนและปริมาณของทั้ง 3 องค์ประกอบดังตารางต่อไปนี้

% Compatibilizer	PP / PS	PP (g)	PS (g)	SBS (g)
10 %	100 / 0	2000	--	200
	70 / 30	1400	600	200
	50 / 50	1000	1000	200
	30 / 70	600	1400	200
	0 / 100	--	2000	200
20 %	100 / 0	2000	--	400
	70 / 30	1400	600	400
	50 / 50	1000	1000	400
	30 / 70	600	1400	400
	0 / 100	--	2000	400
30 %	100 / 0	2000	--	600
	70 / 30	1400	600	600
	50 / 50	1000	1000	600
	30 / 70	600	1400	600
	0 / 100	--	2000	600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อทำการผสม โดยปริมาณของพอลิเมอร์แต่ละตัว ให้เป็นไปตามตารางข้างต้น
2. ทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิด โดยใช้เครื่อง Brabender Plasticorder ซึ่งต่ออยู่กับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (twin screw extruder) สภาวะที่ใช้ในการผสมเป็นดังนี้

อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเป็น 185 190 195 200°C

ความเร็วรอบในการผสม 10 รอบ / นาที

เมื่อพลาสติกออกจากเครื่องผสม ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำเข้าเครื่องโมดัด เพื่อย่อยให้พลาสติกมีขนาดเล็กกลง และใกล้เคียงกัน

3. นำเม็ดพลาสติกที่ได้ มาทดสอบสมบัติเชิงความร้อน ของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน (heating rate) ที่ 20°C / min และอัตราการเย็นตัว

(cooling rate) ที่ 20°C / min อ่านค่า Tg , Tm และ Tc จากกราฟที่ได้ และทำการ

การคำนวณ

- ก่อนการผสม

$$\text{Degree of crystallinity (PP)} = \Delta H_2 / 209 * 100$$

$$\Delta H_2 = \text{พื้นที่ใต้กราฟของ PP ก่อน blend}$$

$$\Delta H_{100} \text{ PP} = 209 \text{ J / g}$$

- หลังการผสม

หาองศาความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดจาก $\Delta H_{\text{หลังblend}}$ เทียบ

กับ $\Delta H_{\text{ก่อนblend}}$

$$\text{Degree of crystallinity (PP)} = \Delta H_4 / \Delta H_2 * 100$$

$$\Delta H_4 = \text{พื้นที่ใต้กราฟหลัง blend}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อเตรียมวัสดุสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ได้แก่ สมบัติในการทนทานต่อแรงกระแทก (impact strength) และสมบัติการต้านทานแรงดึง (tensile strength) ซึ่งการขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติดังกล่าว นั้น จะใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (injection moulding) โดยใช้แม่พิมพ์รูปดัมเบลล์

5. การทดสอบสมบัติเชิงกล ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (LLOYD) ขนาด 30 KN ตาม ASTM D 638 M ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของแต่ละระบบ โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างในการทดสอบ ระบบละ 4 ชิ้น สภาพของเครื่องทดสอบเป็นดังนี้

Load cell	:	3000 N
Test speed	:	10 mm / min
Grammage	:	1.0 g / m ²
Cell class	:	0.5
Guage length	:	75 mm

นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

Tensile strength : Force (N) / Area (m²)

% Elongation : (Δ Length / Original length) *

100

Modulus : Stress / Strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance)

ทำการทดสอบพอลิเมอร์ผสมแต่ละระบบ ตาม ASTM D256 โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างในการทดสอบ ระบบละ 7 ชิ้น ขั้นตอนในการทดสอบเป็นดังนี้

1. วัดความหนา และความกว้างของแท่งตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบ โดยวัดตัวอย่างละ 3 จุด พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ย
2. ตรวจสอบค้อน Pendulum โดยทดลองเหวี่ยงขณะที่ไม่มีแท่งตัวอย่าง
3. ใส่ข้อมูลขนาดชิ้นงานของแท่งตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ
4. ยกค้อน Pendulum ขึ้น ให้เหวี่ยงลงมาตีชิ้นงาน แล้วรับตัวค้อนที่เหวี่ยงกลับมาให้ล็อกเข้าที่ตำแหน่งเดิม
5. อ่านค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของชิ้นงานที่วัดได้ ซึ่งมีหน่วยเป็น Kgf.cm/cm^2

(4) การแอนนีส (Annealing)

นำพอลิเมอร์ผสมแต่ละระบบที่ได้ มาทำการแอนนีส โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างระบบละ 7 ชิ้น นำเข้าตู้อบความร้อนสูญญากาศที่อุณหภูมิ 50°C และ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ มาทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance) เพื่อทำการเปรียบเทียบกับสมบัติก่อนและหลังการแอนนีส

(5) การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology)

ทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ของ Hitachi S-45000 , Field emission (resolution $1.5 \text{ nm} (15 \text{ kv})$, $4 \text{ nm} (1 \text{ kv})$)

เพื่อศึกษาการกระจายของเฟส และความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์หลักและสารช่วยผสม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

ผลการทดลองของพอลิเมอร์ผสมทั้ง 2 ระบบ ได้แก่ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มี 2 องค์ประกอบ และระบบพอลิเมอร์ผสมที่มี 3 องค์ประกอบ เป็นดังนี้

1. การศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

ตารางแสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบพอลิเมอร์ผสม 2 องค์ประกอบ

อัตราส่วนของ พอลิเมอร์ผสม PP/PS	T_m	T_c	ΔH_m (J/g)	ΔH_c (J/g)
70/30	174.5	117.0	46.21	51.05
50/50	172.7	115.7	35.00	41.70
30/70	167.7	114.9	12.97	12.24

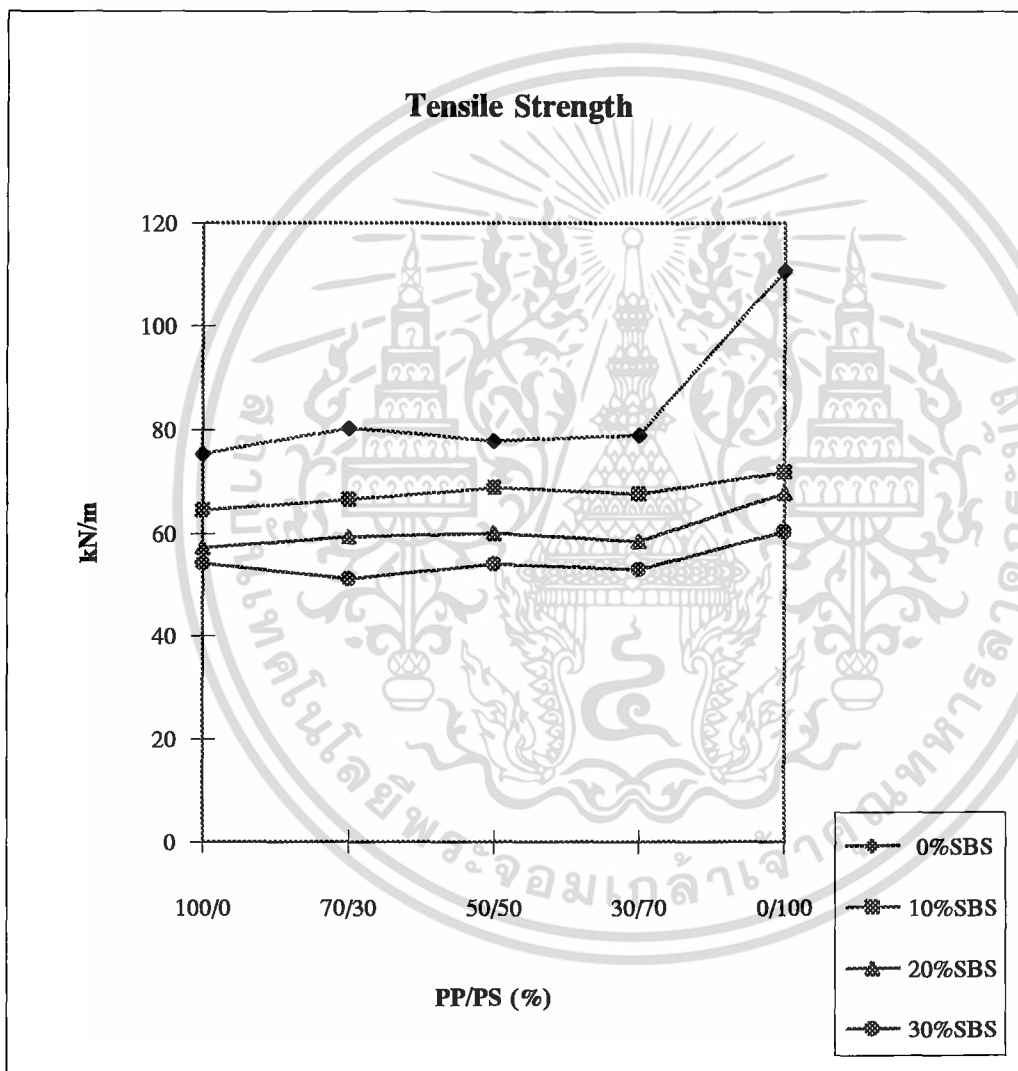
ตารางแสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบพอลิเมอร์ผสม 3 องค์ประกอบ

% Compatibilizer	อัตราส่วนของ พอลิเมอร์ผสม PP/PS	T_m	T_c	ΔH_m (J/g)	ΔH_c (J/g)
10%	70/30	167.7	117.1	21.09	25.57
	50/50	172.3	115.8	28.01	36.81
	30/70	170.5	114.2	24.51	24.42
20%	70/30	168.9	116.1	24.27	29.14
	50/50	172.6	115.5	36.50	43.45
	30/70	169.1	-	31.90	-
30%	70/30	171.7	116.1	25.70	30.71
	50/50	170.9	115.9	19.28	24.27
	30/70	168.1	112.5	20.88	2.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

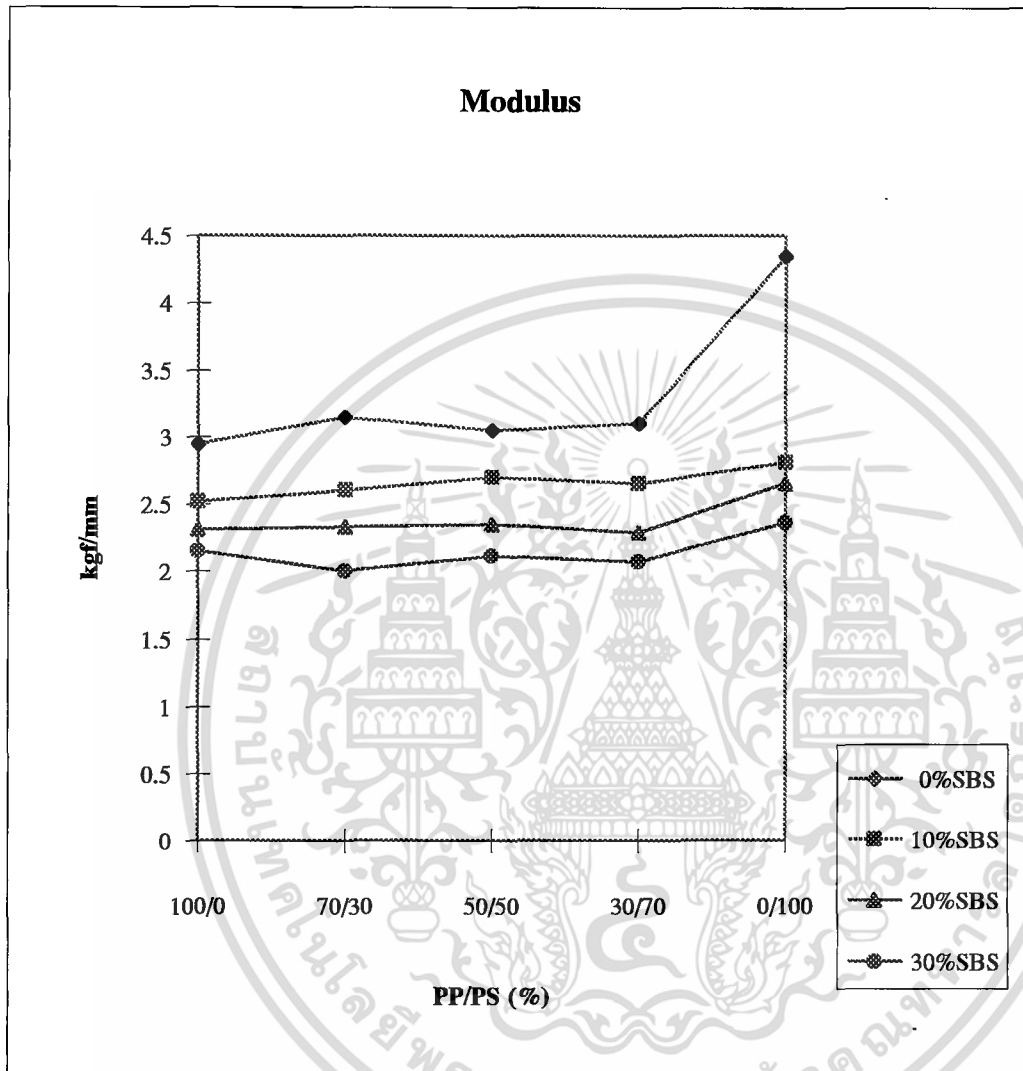
2. การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม อันได้แก่ Tensile strength , Modulus , % Elongation at break และ Impact resistance

กราฟแสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม



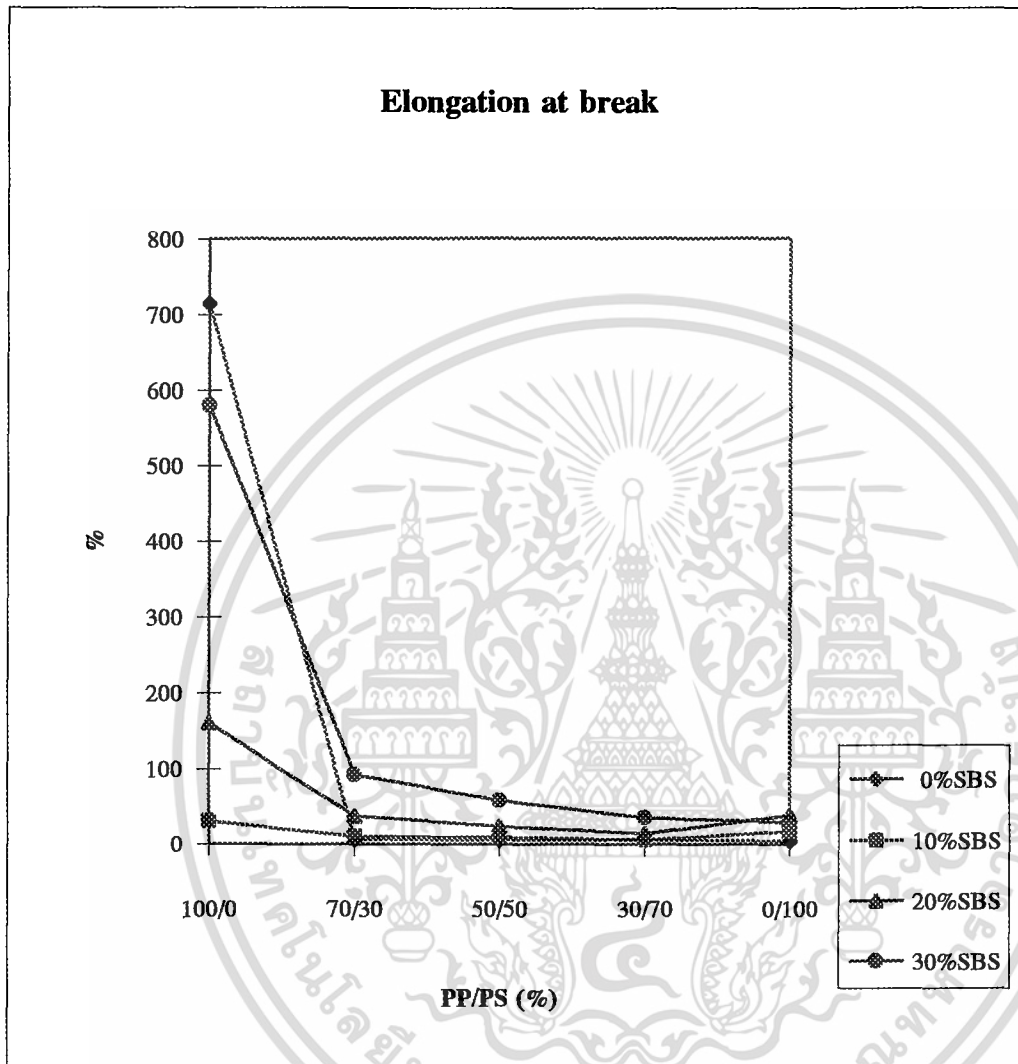
รูปที่ 1 แสดงค่า Tensile strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



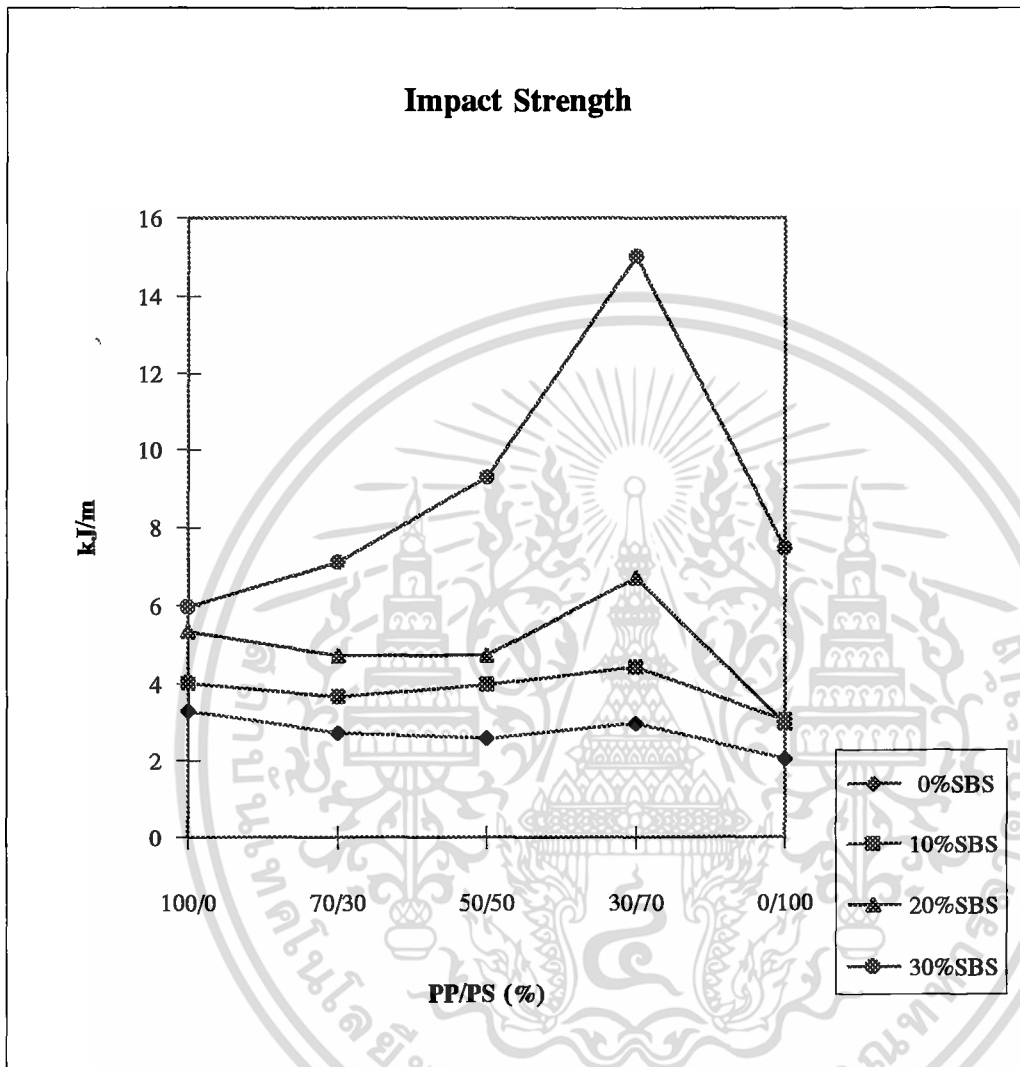
รูปที่ 2 แสดงค่า Modulus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงค่า % Elongation at break

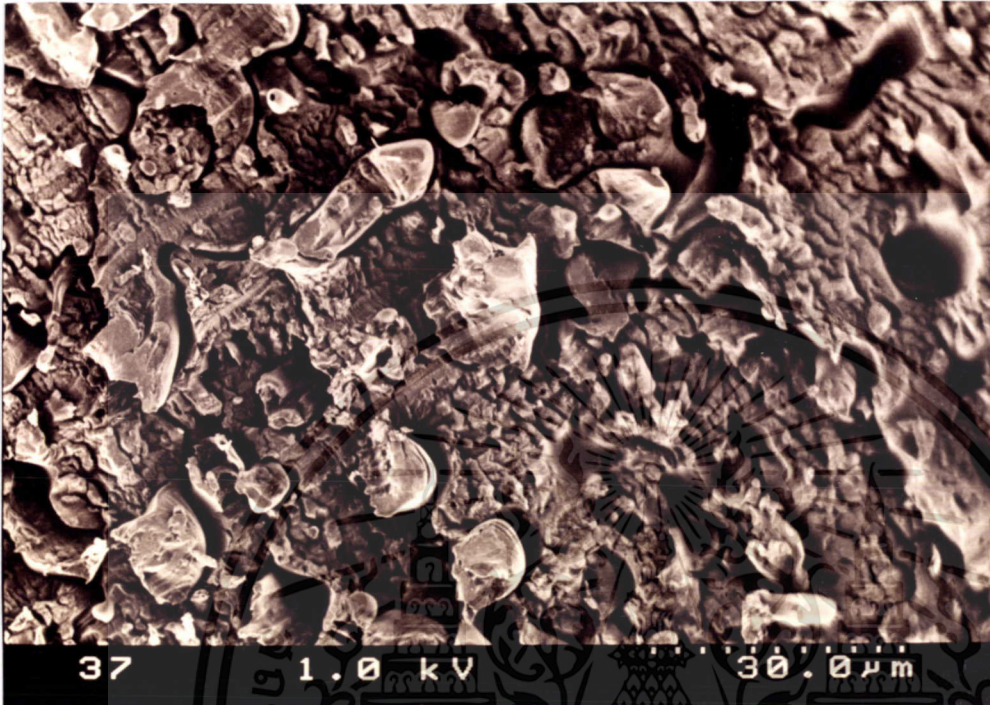
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



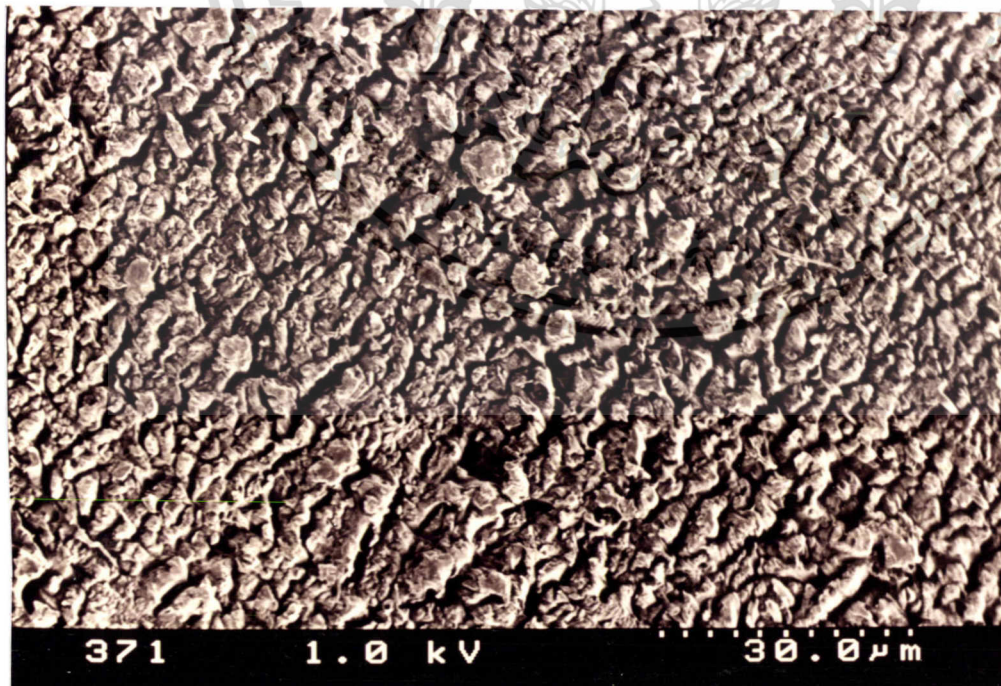
รูปที่ 4 แสดงค่า Impact resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

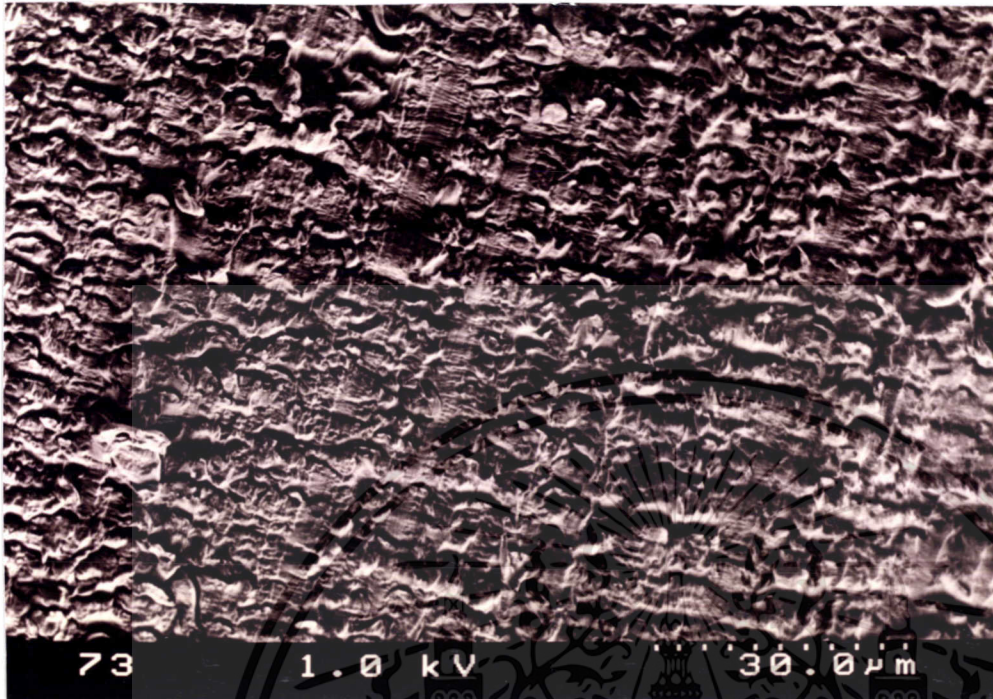
3. การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) ของระบบพอลิเมอร์ผสม โดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) แสดงผลได้ดังนี้



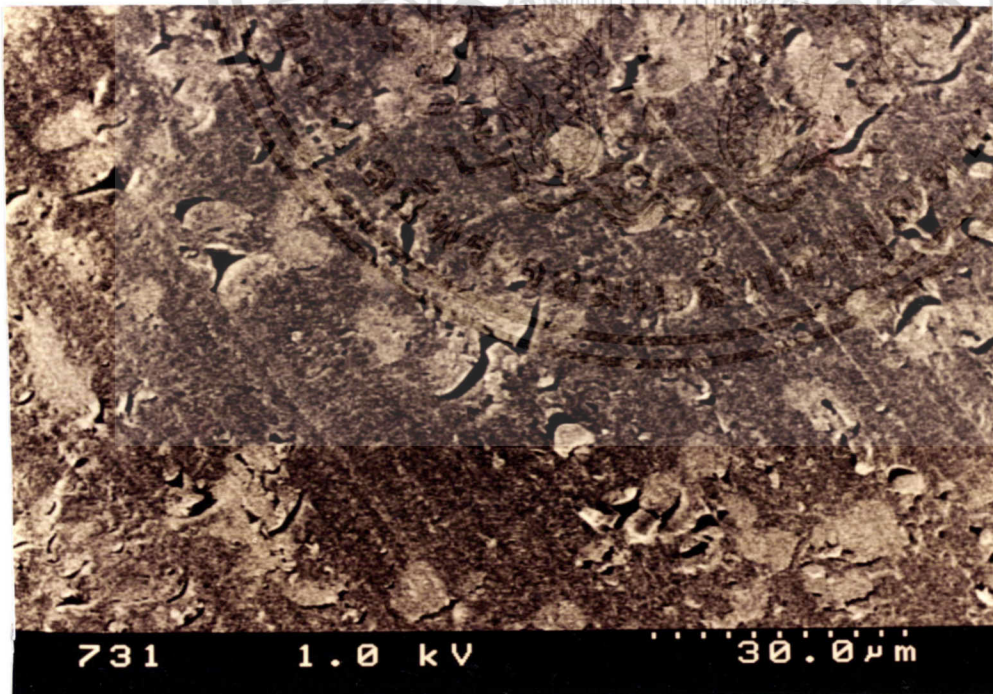
รูปที่ 1 : แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/PS ที่มีอัตราส่วน 30/70



รูปที่ 2 : สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/PS/SBS ที่มีอัตราส่วน 30/70/10% ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

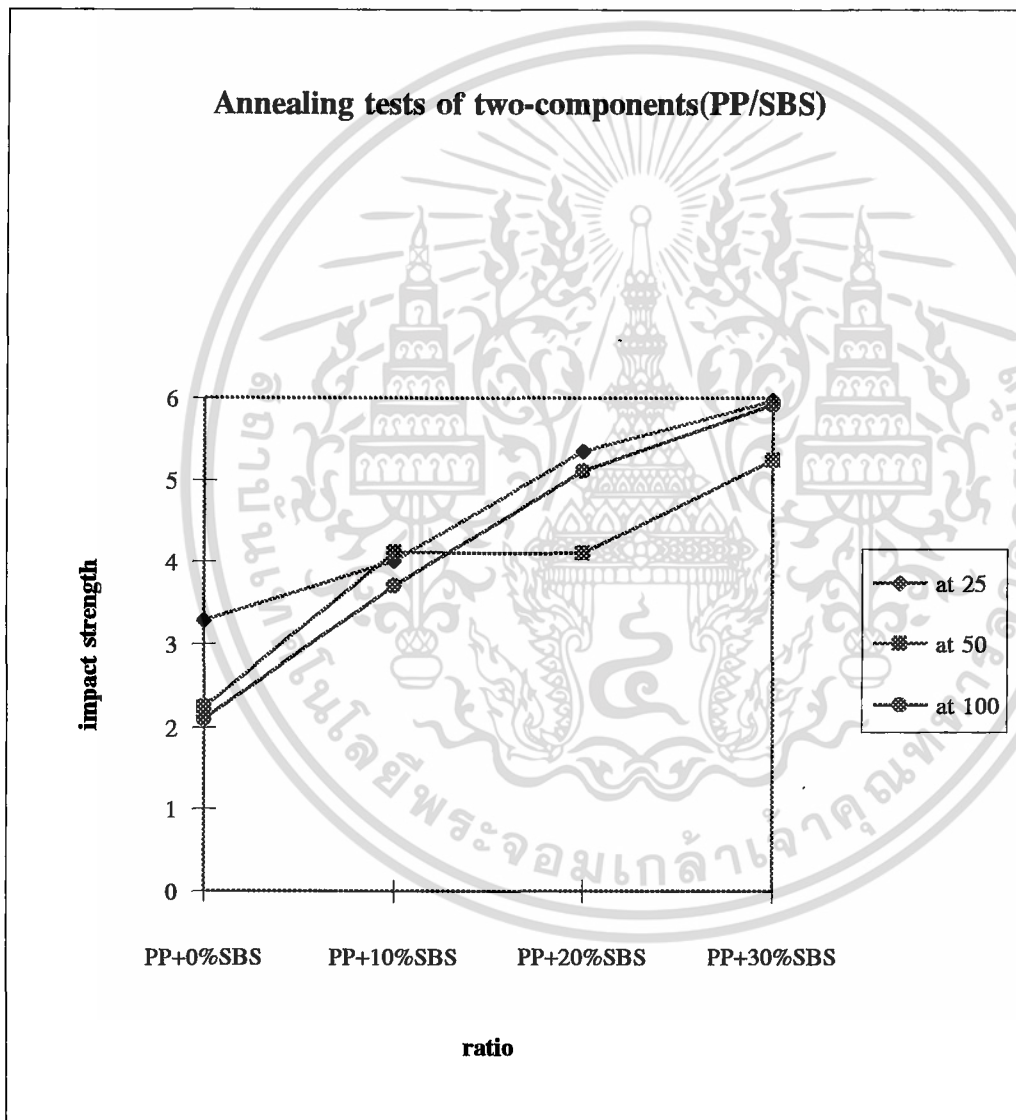


รูปที่ 3 : แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/PS ที่มีอัตราส่วน 70/30



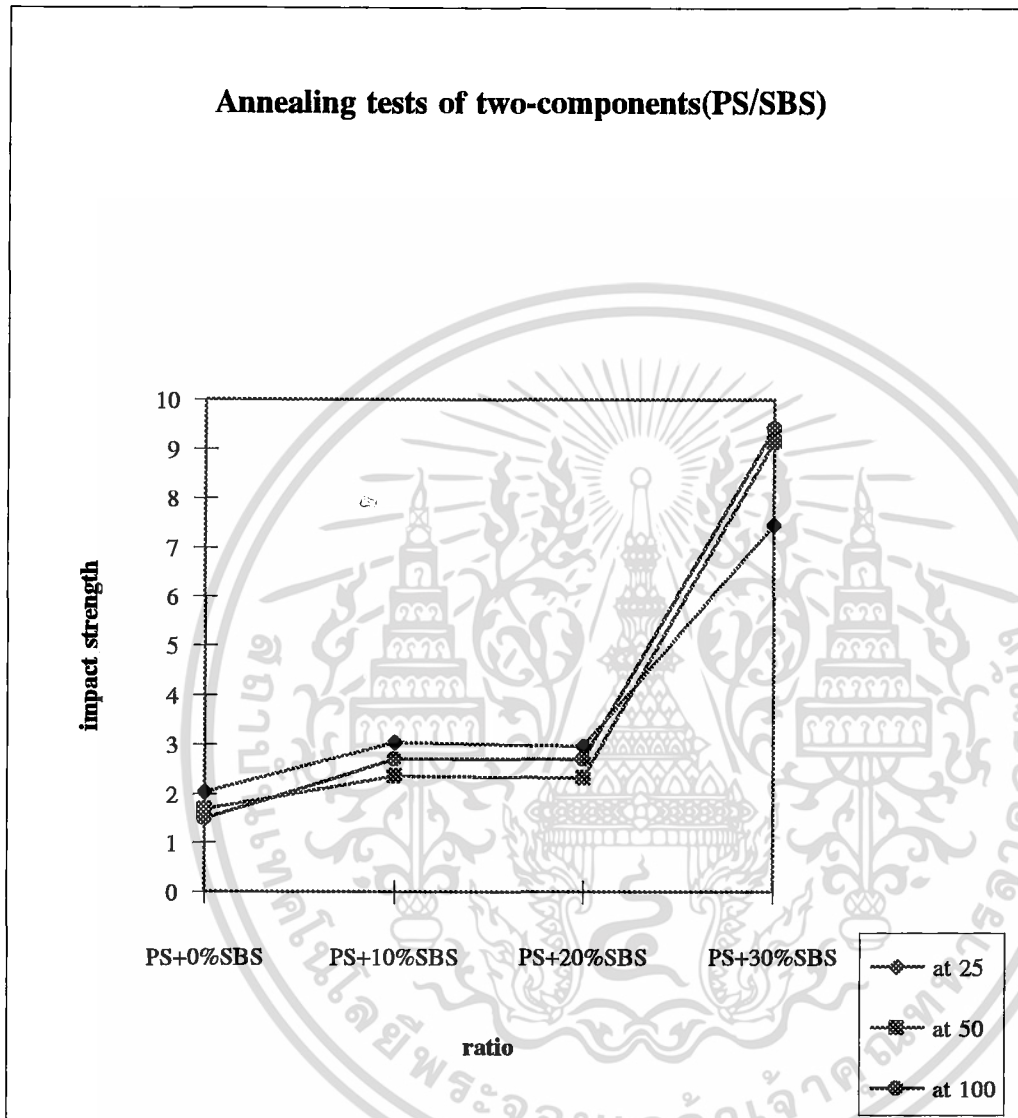
รูปที่ 4 : แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/PS/SBS ที่มีอัตราส่วน 70/30/10% โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทดสอบสมบัติการทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิต่างกัน
 กราฟแสดงสมบัติการทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม
 ที่ผ่านการแอนนีสที่อุณหภูมิต่างกัน
 ระบบสององค์ประกอบ



รูปที่ 5 ระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีนกับสไตรีน-บิวตะไดอิน-สไตรีน

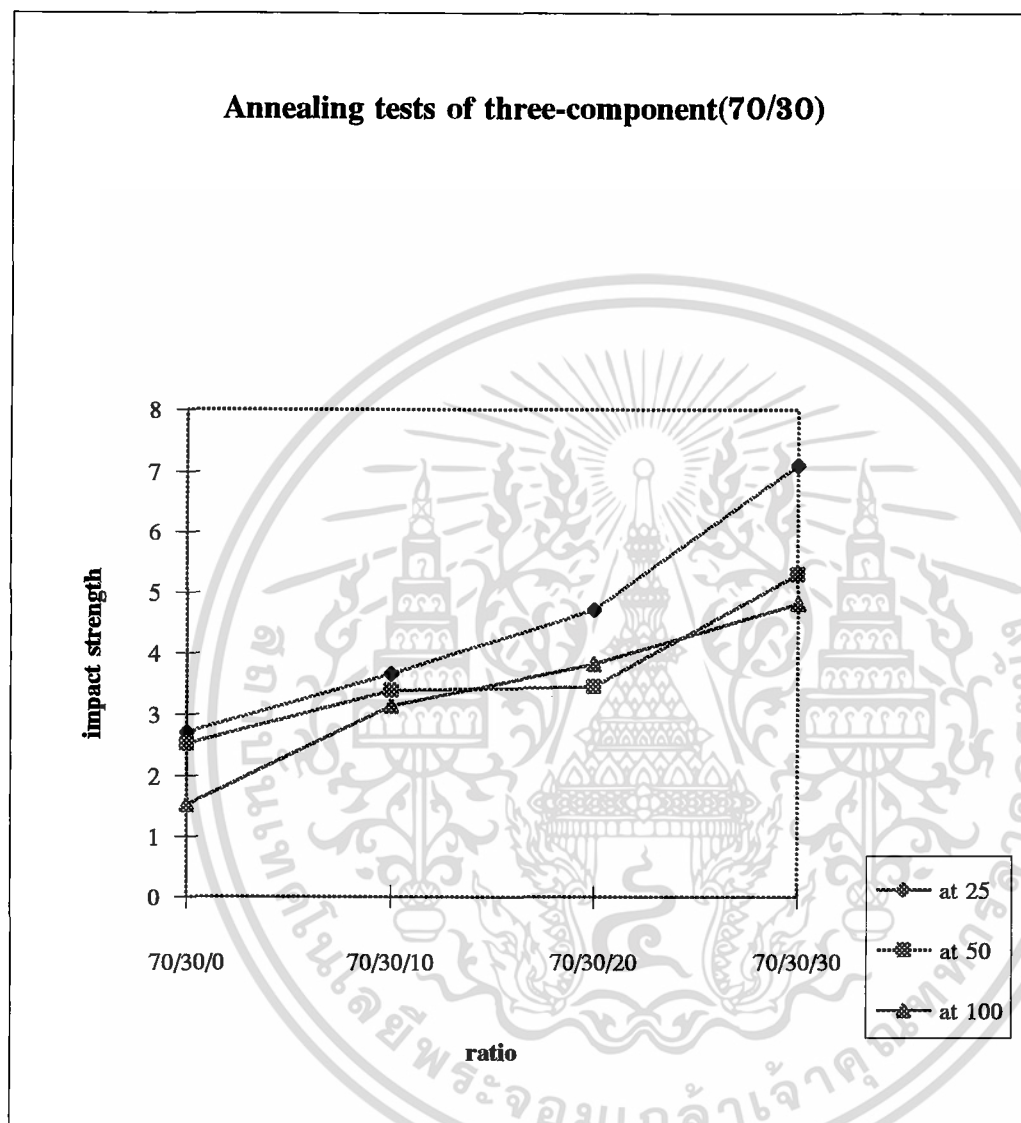
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 ระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิสไตรีนกับสไตรีน-บิวตะไดอิน- สไตรีน

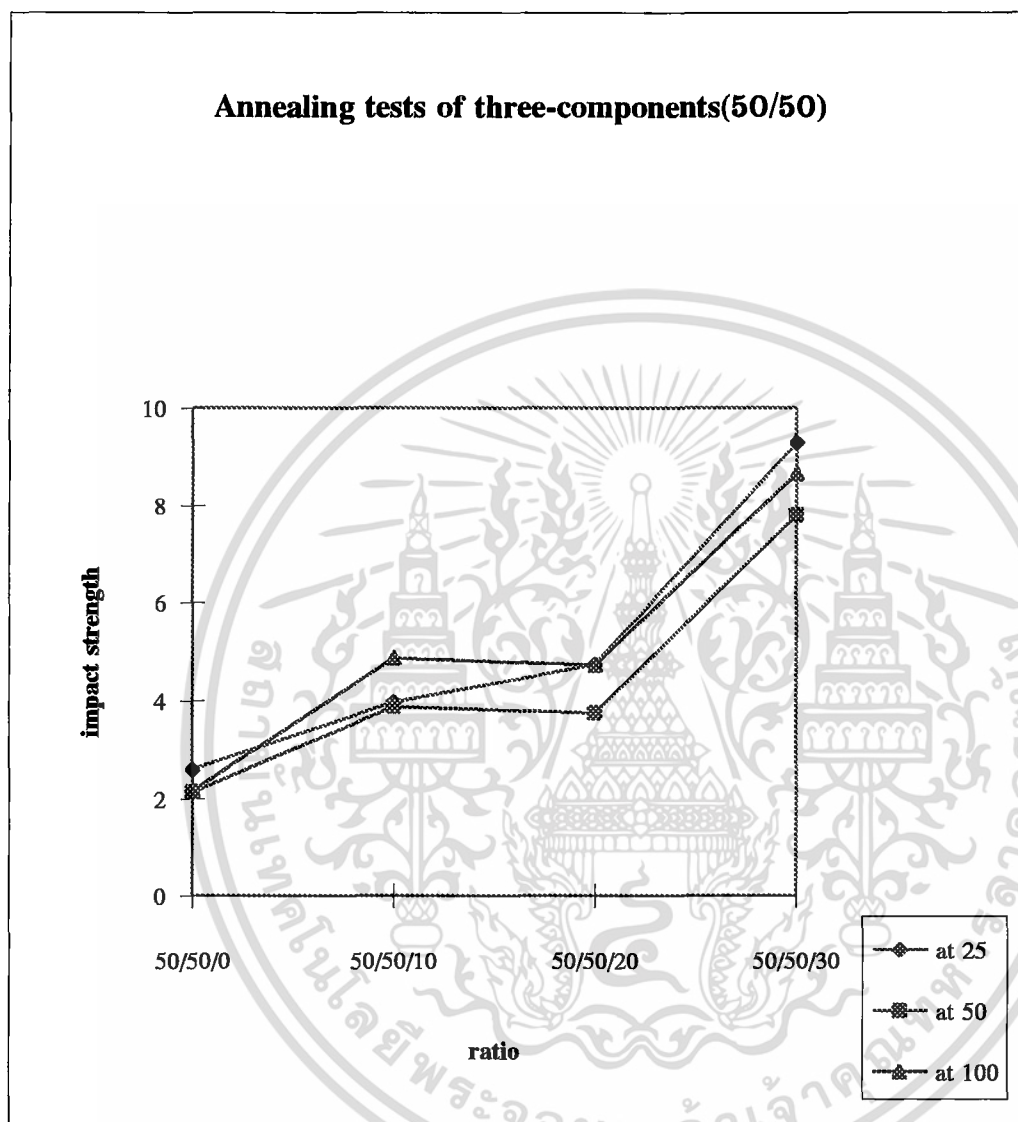
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสามองค์ประกอบ



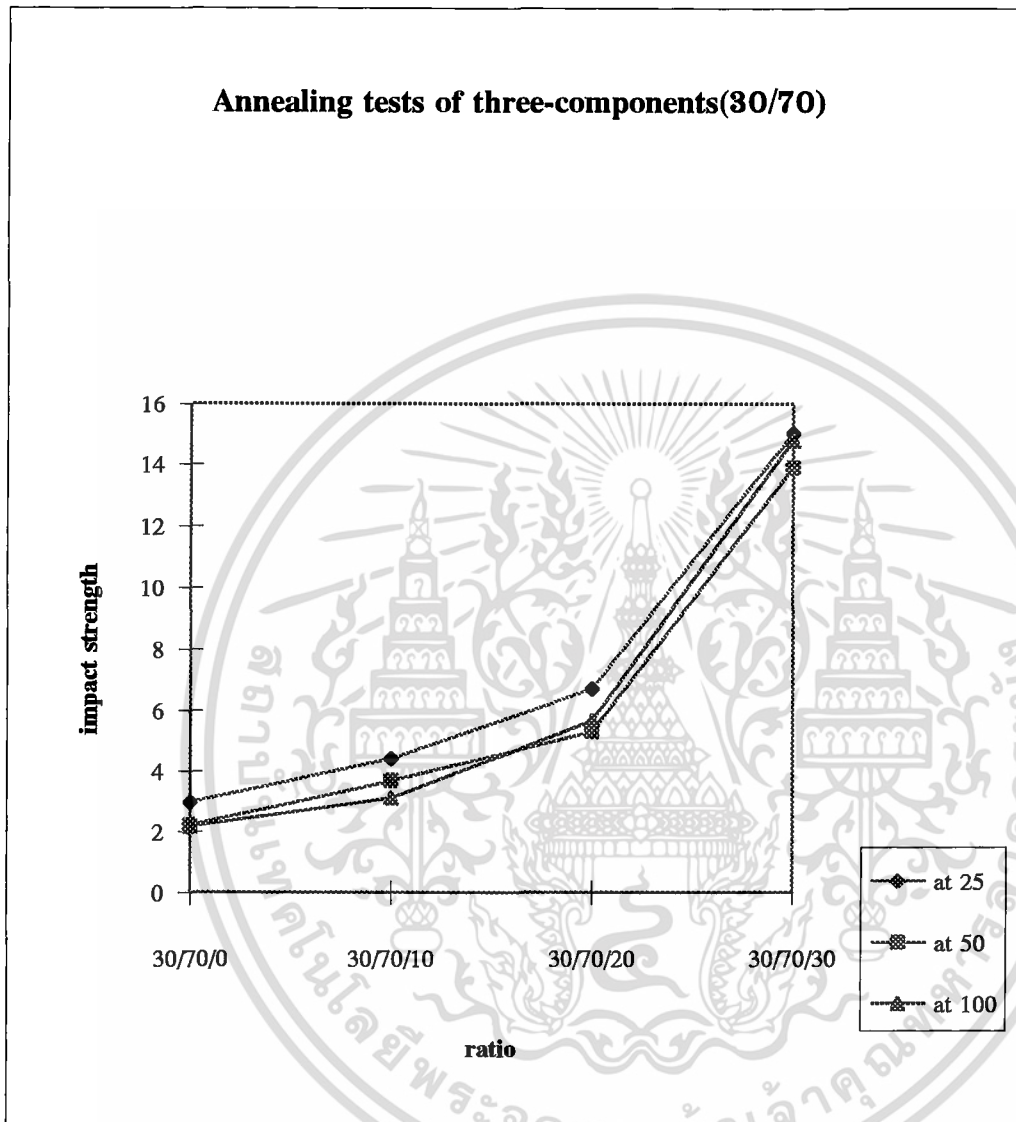
รูปที่ 4.3 ระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและ
สไตรีน-บิวตะไดอิน-สไตรีนในอัตราส่วน 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและ
สไตรีน-บิวตะไดอิน-สไตรีนในอัตราส่วน 50:50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและ
สไตรีน-บิวตะไดอิน-สไตรีนในอัตราส่วน 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผลการทดลอง

(1.) สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากเครื่อง DSC

1.1 ระบบพอลิเมอร์ผสม 8 องค์ประกอบ ที่มีอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์หลักเป็น 70/30

พิจารณาผลของสารช่วยผสม (compatibilizer) ที่มีต่อ DSC Thermogram ในหัวข้อต่างๆ อันได้แก่ Melting temperature (T_m) , Melting endotherm peak (ΔH_m) , Crystallization temperature (T_c) และ Crystallization exotherm peak (ΔH_c)

ก. Melting temperature (T_m)

จาก DSC Thermogram จะเห็นได้ว่า เมื่อเติม SBS เข้าไปในระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/PS พบว่าค่าอุณหภูมิในการหลอมเหลว (T_m) มีค่าต่ำลงเพียงเล็กน้อย ตามปริมาณ SBS ที่เพิ่มขึ้น ในทุกๆ อัตราส่วนผสม ซึ่งอาจถือได้ว่า SBS ที่เติมเข้าไปในั้น ไม่มีผลต่อ T_m ของพอลิเมอร์ผสม

ข. Melting endotherm peak (ΔH_m)

จาก DSC Thermogram พบว่า เมื่อเติม SBS เข้าไปในระบบพอลิเมอร์ผสมจะทำให้พื้นที่ใต้พีคของการหลอมเหลว (ΔH_m) ลดลง ตามปริมาณ SBS ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ผลึกที่เกิดขึ้นนั้น ไม่สมบูรณ์ lamella มีขนาดเล็กลง แสดงว่า SBS ที่ใส่เข้าไปในั้น ไปรบกวนการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม

ค. Crystallization temperature (T_c)

จาก DSC Thermogram จะพบว่า เมื่อเติม SBS เข้าไปในระบบพอลิเมอร์ผสม ค่าอุณหภูมิในการตกผลึกจะใกล้เคียงกันทุกๆ อัตราส่วน แสดงว่า SBS ที่เติมเข้าไปในั้น ไม่มีผลต่อค่า T_c ของพอลิเมอร์ผสม

ง. Crystallization exotherm peak (ΔH_c)

จาก DSC Thermogram จะพบว่า เมื่อเติม SBS เข้าไปในระบบของพอลิเมอร์ผสม จะทำให้พื้นที่ใต้พีคของการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสมลดลง ตามปริมาณ SBS ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า SBS ที่ใส่เข้าไปในั้น มีผลรบกวนการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม

1.2 ระบบพอลิเมอร์ผสม 8 องค์ประกอบ ที่มีอัตราส่วนของพอลิเมอร์หลักเป็น 50/50

ก. Melting temperature (T_m)

จาก DSC Thermogram จะเห็นได้ว่า เมื่อเติม SBS เข้าไปในระบบพอลิเมอร์ผสมในปริมาณ 10% , 20% และ 30% ค่าอุณหภูมิในการหลอมเหลว (T_m) มีค่าใกล้เคียงกันทุกๆ ปริมาณของ SBS และทุกๆ อัตราส่วนผสม ซึ่งอาจถือได้ว่า SBS ที่ใส่เข้าไปในั้น ไม่มีผลต่อ T_m ของพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. Melting endotherm peak (ΔH_m)

จาก DSC Thermogram จะพบว่า เมื่อเติม SBS เข้าไปในระบบพอลิเมอร์ผสม ในปริมาณ 10% และ 20% ทำให้พื้นที่ใต้พีคของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม (ΔH_m) เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ SBS ขึ้นเป็น 30% พบว่า พื้นที่ใต้พีคของการหลอมเหลว ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่า SBS ที่เติมเข้าไป มีผลรบกวนการตกผลึกของระบบพอลิเมอร์ผสม

ค. Crystallization temperature (T_c)

จาก DSC Thermogram จะพบว่า เมื่อเติม SBS เข้าไปในระบบพอลิเมอร์ผสม อุณหภูมิในการตกผลึก (T_c) จะมีค่าใกล้เคียงกันทุกๆ อัตราส่วน แสดงว่า SBS ที่เติมเข้าไบนั้น ไม่มีผลต่อค่า T_c ของพอลิเมอร์ผสม

ง. Crystallization exotherm peak (ΔH_c)

จาก DSC Thermogram จะพบว่า ผลที่ได้เหมือนกับ ΔH_m กล่าวคือ เมื่อเติม SBS เข้าไปในระบบปริมาตร 10% และ 20% จะทำให้พื้นที่ใต้พีคของการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม (ΔH_c) เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ SBS ขึ้นเป็น 30% พบว่า ΔH_c ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่า SBS ที่เติมเข้าไป มีผลรบกวนการตกผลึกของระบบพอลิเมอร์ผสม

1.3 ระบบพอลิเมอร์ผสม 3 องค์ประกอบ ที่มีอัตราส่วนของพอลิเมอร์หลักเป็น 30/70

ก. Melting temperature (T_m)

จาก DSC Thermogram ของพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของพอลิเมอร์หลัก 30/70 พบว่า เมื่อเติม SBS ลงไปในระบบของพอลิเมอร์ผสม ค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลว (T_m) มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งถือได้ว่า SBS ไม่มีผลต่อค่า T_m ของพอลิเมอร์ผสม

ข. Melting endotherm peak (ΔH_m)

จาก DSC Thermogram พบว่า พีคของการหลอมเหลว (ΔH_m) ของพอลิเมอร์ผสมจะมีลักษณะกว้าง (broad) มากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ เนื่องจากมี PS เป็นองค์ประกอบหลัก และ PS มีลักษณะอสัณฐาน (amorphous) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการตกผลึกของ PP พีคที่ได้จึงกว้าง และเมื่อเติม SBS เข้าไปในระบบพบว่า ΔH_m เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจาก SBS มีผลรบกวนการตกผลึกของ PP

ค. Crystallization temperature (T_c)

จาก DSC Thermogram พบว่า เมื่อเติม SBS เข้าไปในระบบของพอลิเมอร์ผสม อุณหภูมิในการตกผลึก (T_c) จะใกล้เคียงกันทุกๆ อัตราส่วน ยกเว้นเมื่อเติม SBS เข้าไป 20% จะไม่ปรากฏพีคของการตกผลึก ซึ่งถือได้ว่า SBS ไม่มีผลต่อค่า T_c ของพอลิเมอร์ผสม

ง. Crystallization exotherm peak (ΔH_c)

จาก DSC Thermogram พบว่าเมื่อเติม SBS ลงไปในปริมาณ 10% พื้นที่ใต้พีคของการตกผลึก (ΔH_c) จะมีค่าใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ผสม PP/PS ที่ไม่ได้เติม SBS แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ SBS เป็น 20% และ 30% จะไม่ปรากฏพีคของการตกผลึก เนื่องจาก อัตราส่วนของพอลิเมอร์หลัก 30/70 นี้ มี PS เป็นองค์ประกอบหลัก และลักษณะอสัณฐาน (amorphous) ของ PS จะส่งผลโดยตรงต่อการตกผลึกของ PP รวมทั้งการรบกวนการตกผลึกจาก SBS ที่เติมลงไปด้วย

(2.) สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

1. ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

จากกราฟ รูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบค่า Tensile strength แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ PS เพียง 2 องค์ประกอบ จะมีค่า Tensile strength ใกล้เคียงกันในทุกๆ อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม และเมื่อเติม SBS ลงไป จะพบว่า Tensile strength ลดลงตามปริมาณ SBS ที่เพิ่มขึ้น ส่วน PP และ PS ที่ไม่ได้ผสม SBS นั้น จะให้ค่า Tensile strength สูงกว่าเมื่อผสม SBS และพบว่า PS จะให้ค่า Tensile strength ที่สูงกว่า PP ภายใต้เงื่อนไขการทดลองนี้ สำหรับ PP ที่ผสม SBS นั้น จะให้ค่า Tensile strength ลดลงตามปริมาณ SBS ที่เพิ่มขึ้น 10% , 20% และ 30% ตามลำดับ ในกรณีของ PS เมื่อผสม 10% SBS พบว่าค่า Tensile strength ลดต่ำลงอย่างมาก และมีค่าใกล้เคียงกับ Tensile strength ที่ได้จาก PP ผสมกับ 10% SBS

2. ความแข็ง (Modulus)

จากกราฟ รูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบค่า Modulus แสดงให้เห็นว่า ให้ผลใกล้เคียงกับค่า Tensile strength กล่าวคือ พอลิเมอร์ผสมที่มีเพียง 2 องค์ประกอบ โดยไม่มี SBS ร่วมอยู่ด้วย จะให้ค่า Modulus สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่มี SBS เป็นองค์ประกอบ และเมื่อเพิ่มปริมาณ SBS ขึ้นเป็น 10% , 20% และ 30% จะมีผลให้ค่า Modulus ลดลงตามลำดับ ในทุกๆ อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม

จากกราฟแสดงค่า Tensile strength และ Modulus สังเกตได้ว่า จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของกราฟได้ชัดเจนเมื่อมีพอลิสไตรีน (PS) เป็นองค์ประกอบหลัก (0/100) เนื่องจากค่า Tensile strength และ Modulus เริ่มต้นของพอลิเมอร์อสัณฐาน (amorphous polymer) มีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์ที่เป็นผลึก (crystalline polymer) ดังนั้นเมื่อมีการเติม compatibilizer (SBS) ซึ่งมีผลให้พอลิเมอร์นั้นลดลง ค่า Tensile strength และ Modulus ลดลง จึงสามารถเห็นการลดลงของกราฟได้อย่างชัดเจน

นอกจากนี้ กราฟที่ได้ยังบอกให้ทราบว่า การลดลงของ Tensile strength และ Modulus ขึ้นอยู่กับปริมาณของ Compatibilizer แต่ไม่ขึ้นกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้

3. เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

จากกราฟ รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบค่า % Elongation at break แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมที่มีเพียง 2 องค์ประกอบ จะมีค่า % Elongation at break ต่ำกว่าเมื่อมี SBS ร่วมอยู่ด้วย ยกเว้นเมื่อมีพอลิพรอพิลีน (PP) เป็นองค์ประกอบหลัก (100/0) จะมีค่า % Elongation at break สูงที่สุด เนื่องจาก PP เป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline polymer) สามารถยืดตัวออกได้มาก แต่เมื่อเติม 10% SBS เข้าไปในระบบ ค่า % Elongation at break จะลดลงอย่างมาก เนื่องจาก SBS เข้าไปขัดขวางการยืดตัวของ PP ในขณะที่ถูกดึง ทำให้ค่า % Elongation at break ต่ำลง

แต่เมื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณ SBS ที่เติมลงไปพบว่า เมื่อปริมาณ SBS เพิ่มขึ้นจาก 10% เป็น 20% และ 30% จะมีค่า % Elongation at break เพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากส่วนบิวทาไดอิน (butadiene) ใน SBS ซึ่งเป็นส่วนที่ยืดตัวได้ เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณ SBS ที่ใช้ หรืออาจกล่าวได้ว่า ค่า % Elongation at break ในพอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline polymer) ขึ้นอยู่กับการขัดขวางการยืดตัวของโซ่พอลิเมอร์หลัก และปริมาณของบิวทาไดอิน ซึ่งเป็นส่วนที่ยืดตัวได้ใน SBS

ในกรณีของพอลิเมอร์ผสมที่มี PS เป็นองค์ประกอบหลักจากกราฟจะเห็นว่าค่า % Elongation at break เพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะเติม SBS ลงไปในปริมาณมากถึง 30% ก็ตาม เนื่องจาก PS ในอุณหภูมิขณะทำการทดลอง เป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน ไม่สามารถยืดตัวออกได้เหมือนในกรณีของ PP นอกจากนี้ SBS จะทำหน้าที่คล้ายเป็นตัว physical crosslink โดยจะไปรวมตัวกับ PS ทำให้ยืดตัวออกได้ยากขึ้น

4. ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance)

จากกราฟ รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบค่า Impact resistance แสดงให้เห็นว่า ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มี SBS ร่วมอยู่ด้วย จะมีค่า Impact resistance สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มี SBS อยู่ และปริมาณของ SBS ที่เพิ่มขึ้น จะมีผลอย่างมากต่อค่า Impact resistance กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณ SBS ขึ้นเป็น 10% , 20% และ 30% จะมีค่า Impact resistance เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะ 30% SBS จะให้ค่า Impact resistance สูงขึ้นมากที่สุด ในทุกๆ อัตราส่วนผสมซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจาก SBS มีส่วนที่เป็นยาง (butadiene) อยู่ และมีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ จึงสามารถรับและกระจายแรงได้ดี ทำให้ค่า Impact resistance ของพอลิเมอร์ผสมนี้สูงขึ้น

ถ้าพิจารณาในกรณีของอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่มีผลต่อค่า Impact resistance จะพบว่าอัตราส่วนผสมที่ให้ค่าสูงที่สุด คือ 30/70 เนื่องจาก อัตราส่วนดังกล่าวมี PS เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่ง SBS สามารถกระจายตัวใน PS ได้ดี โดยส่วนของสไตรีนใน SBS จะล้อมรอบ PS ไว้ และ SBS ยังขัดขวางการตกผลึกของ PP ทำให้มีส่วนที่เป็นอสัณฐานอยู่มาก ช่วยเสริมการรับแรงกระแทกได้ดียิ่งขึ้น สำหรับอัตราส่วนอื่นๆ จะให้ค่า Impact resistance ที่เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่า พอลิเมอร์ผสมที่มี Compatibilizer ร่วมอยู่ด้วย สามารถปรับปรุง Impact resistance ให้สูงขึ้นได้

สำหรับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/PS/SBS ที่มีอัตราส่วน 70/30/30 จะให้ค่า impact resistance ที่ต่ำกว่า 30/70/30 ซึ่งจะสามารถอธิบายได้ว่ากรณีที่ PP เป็นองค์ประกอบหลัก แม้ SBS จะรบกวนการแตกผลึก แต่ก็จะมีอิทธิพลน้อยกว่าความเป็นผลึกของ PP จึงทำให้ค่า impact resistance มีค่าต่ำกว่า

ถ้าทำการเปรียบเทียบค่า Impact resistance ของระบบพอลิเมอร์ผสม 3 องค์ประกอบที่เตรียมได้กับพอลิสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (High Impact Polystyrene : HIPS) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PS กับ SBS หรือ SBR พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ (30/70/10 , 30/70/20 , 30/70/30) จะให้ค่า Impact resistance สูงกว่า HIPS ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

(3.) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของระบบพอลิเมอร์ผสม ที่ได้จากเครื่อง SEM

พิจารณาความเข้ากันได้ ระหว่างพอลิเมอร์หลัก 2 ชนิด คือ PP และ PS จากการกระจายของเฟส จาก รูปที่ 1 จะเห็นว่า พอลิเมอร์ผสมที่มีเพียง 2 องค์ประกอบ โดยมีอัตราส่วนของพอลิเมอร์หลักเป็น 30/70 ซึ่งมี PS เป็น continuous phase และ PP เป็น disperse phase ยังไม่สามารถกระจายตัวเข้ากันได้ดีนัก แต่เมื่อเติม 10% SBS เข้าไป ดัง รูปที่ 2 พบว่า SBS มีผลทำให้ disperse phase มีขนาดเล็กลง สามารถกระจายตัวกันได้ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม ให้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

จาก รูปที่ 3 ในกรณีที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์หลักเป็น 70/30 ซึ่งจะมี PP เป็น continuous phase และ PS เป็น disperse phase พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับที่ได้กล่าวมาแล้ว กล่าวคือ เมื่อไม่มี SBS เป็นองค์ประกอบ PP และ PS ยังไม่สามารถกระจายตัวเข้ากันได้ดีนัก แต่เมื่อเติม 10% SBS เข้าไป จะมีการกระจายตัวกันได้ดีขึ้น โดยส่วนของสไตรีนใน SBS จะเข้าไปอยู่ร่วมกับ PS และ ส่วนของบิวทาไดอีน จะเข้าไปอยู่ร่วมกับ PP ซึ่งสังเกตได้จาก รูปที่ 4

(4.) สมบัติการต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการแอนนีส

1. ระบบพอลิเมอร์ผสม 2 องค์ประกอบ

จากกราฟ รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบสมบัติการต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance) ของพอลิเมอร์ผสมในระบบที่มี 2 องค์ประกอบคือ PP และ SBS ที่ผ่านการแอนนีสที่อุณหภูมิ 50°C และ 100°C แสดงให้เห็นว่า ในระบบที่มี PP เป็นองค์ประกอบเพียงอย่างเดียวนั้น ค่า Impact resistance มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการแอนนีสเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติม SBS ลงไปจะพบว่า ค่า Impact resistance มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของ SBS ที่เพิ่มขึ้น 10% , 20% และ 30% ตามลำดับ เนื่องมาจากเมื่อทำการแอนนีส จะทำให้สายโซ่โมเลกุลของ PP เกิดการเคลื่อนไหว สามารถจัดเรียงตัวได้ดีขึ้น ทำให้มีผลึกมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถรับแรงได้น้อยลง สังเกตได้จากค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impact resistance ที่ลดลง แต่เมื่อเติม SBS ลงไปจะทำให้มีส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) และ ส่วนของยางเพิ่มมากขึ้น ทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้น ซึ่งจะมีอิทธิพลมากกว่าความเป็นผลึกของ PP ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Impact resistance ของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น

จากกราฟ รูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบการต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมในระบบที่เป็น PS กับ SBS แสดงให้เห็นว่า ทั้งในระบบที่มี PS เป็นองค์ประกอบเพียงอย่างเดียว และในระบบที่มีทั้ง PS และ SBS เป็นองค์ประกอบ ค่า Impact resistance ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าจะผ่านการแอนนิลที่อุณหภูมิ 50°C หรือ 100°C ก็ตาม แต่เมื่อมีปริมาณของ SBS เพิ่มขึ้นพบว่า ค่า Impact resistance จะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของ SBS ที่เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงขึ้นมากโดยเฉพาะในระบบที่มีปริมาณ SBS เป็น 30% เนื่องจากโดยปกติ PS เป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (amorphous polymer) ดังนั้นการให้ความร้อนหรือการแอนนิลจึงไม่มีผลต่อการเพิ่มความเป็นผลึกของ PS ทำให้ค่า Impact resistance ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อเติม SBS ลงไป ก็จะยิ่งเป็นการเพิ่มส่วนที่เป็น amorphous และส่วนที่เป็นยาง ซึ่งจะทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้น สังเกตได้จากค่า Impact resistance ที่สูงขึ้น

2. ระบบ 3 องค์ประกอบ

จากกราฟ รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบการต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมในระบบที่มี 3 องค์ประกอบโดยที่มี PP เป็นองค์ประกอบหลัก และมีอัตราส่วนระหว่าง PP กับ PS เป็น 70 : 30 และมีปริมาณ SBS เป็น 10% , 20% และ 30% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อผ่านการแอนนิลที่อุณหภูมิ 50°C และ 100°C ค่า Impact resistance มีค่าลดลงในทุกอัตราส่วน นั่นคือเป็นผลมาจากการที่มี PP เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่ง PP จะมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแอนนิลเพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และจะสังเกตได้ว่าเมื่อมี SBS เป็นองค์ประกอบ ค่า Impact resistance มีค่าเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของ SBS ที่เพิ่มขึ้น นั่นคือ ส่วนของยางและ amorphous ที่เพิ่มขึ้นจะมีอิทธิพลมากกว่าความเป็นผลึกของ PP เช่นเดียวกับในระบบ 2 องค์ประกอบที่มี PP เป็นองค์ประกอบหลัก

จากกราฟ รูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบการต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมในระบบที่มี 3 องค์ประกอบโดยที่มีอัตราส่วนระหว่าง PP กับ PS เป็น 50 : 50 และมีปริมาณ SBS เป็น 10% , 20% และ 30% แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันกับ กราฟรูปที่ 7 ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน

จากกราฟ รูปที่ 9 แสดงผลการทดสอบการต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมในระบบที่มี 3 องค์ประกอบโดยที่มี PS เป็นองค์ประกอบหลัก และมีอัตราส่วนระหว่าง PP กับ PS เป็น 30 : 70 และมีปริมาณ SBS เป็น 10% , 20% และ 30% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันกับกราฟรูปที่ 6 นั่นคือ เมื่อมี PS เป็นองค์ประกอบหลัก การให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนหรือการแอนนีลจะไม่มีผลต่อความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมมากนัก ดังนั้นค่า Impact strength ที่ได้จึงใกล้เคียงกัน และผลของปริมาณ SBS ที่เติมลงไปก็เช่นเดียวกันคือจะมีอิทธิพลต่อค่า Impact strength มากกว่าความเป็นผลึกของ PP ที่เพิ่มขึ้น สังเกตได้จากค่า Impact strength ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะระบบที่มีปริมาณ SBS เป็น 30% ซึ่งจะให้ค่า Impact strength สูงขึ้นมากที่สุด



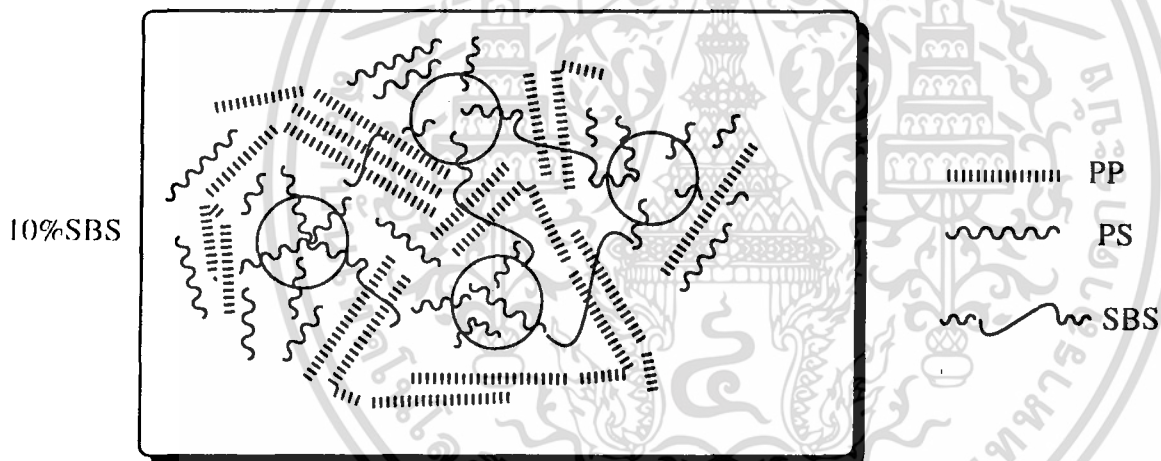
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

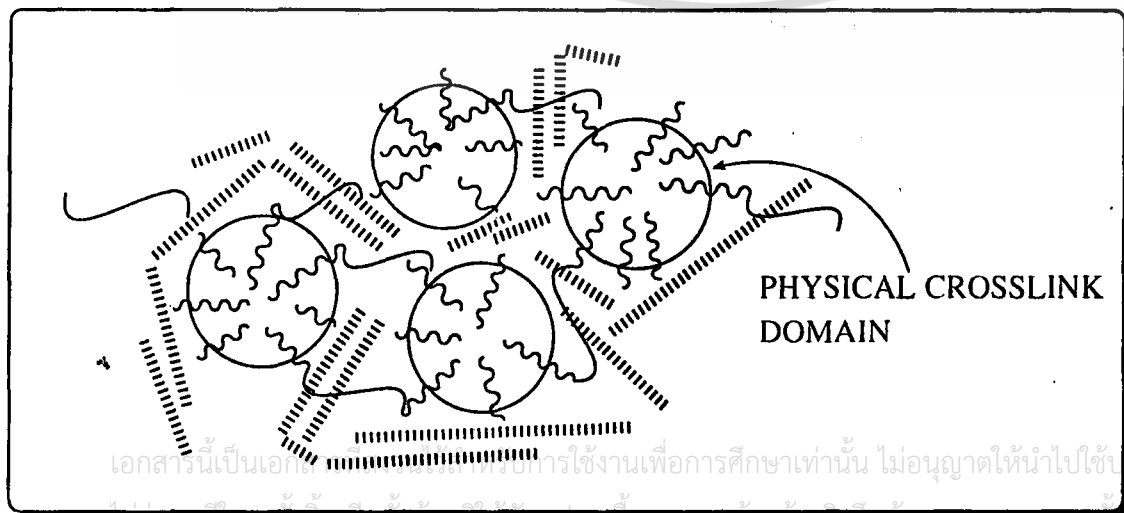
สรุปการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปการดำเนินการวิจัย

ระบบพอลิเมอร์ผสม 3 องค์ประกอบ ระหว่าง พอลิพรอพิลีน/พอลิสไตรีน/พอลิสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งหมดแล้ว สามารถสรุปภาพโดยรวมของระบบพอลิเมอร์ผสมได้ดังนี้คือระบบโดยส่วนใหญ่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้นเมื่อมี สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน เป็นองค์ประกอบ เนื่องจาก สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน เป็นสารช่วยในการรวมตัว ทำให้เกิดการกระจายระหว่างเฟสของพอลิเมอร์หลักทั้ง 2 ชนิดได้ดีขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากภาพถ่าย SEM หรืออาจแสดงได้เป็นแผนภาพดังนี้



30%SBS



จากแผนภาพข้างต้น จะเห็นว่าสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน จะทำหน้าที่คล้ายเป็นตัว physical crosslink ช่วยในการเชื่อมโยงระบบ และจาก DSC Thermogram พบว่า อุณหภูมิในการหลอมเหลวและอุณหภูมิในการตกผลึกของพอลิพรอพิลีนไม่เปลี่ยนแปลง

สำหรับสมบัติเชิงกลของระบบพอลิเมอร์ผสม 3 องค์ประกอบ โดยเฉพาะสมบัติการต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นมากเมื่อมี สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน เป็นองค์ประกอบโดยค่าการต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance) จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ SBS ที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาการทดสอบสมบัติการต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการแอนนีส พบว่าระบบโดยส่วนใหญ่ จะมีสมบัติการต้านทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้น แม้ว่าจะเพิ่มอุณหภูมิของการแอนนีส โดยในระบบจะเกิดการแข่งขันกันระหว่างอิทธิพลของความเป็นผลึกของ PP กับอิทธิพลของส่วนของยางหรือสถานะที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าอิทธิพลในส่วนที่เป็นยางจะมีผลต่อระบบพอลิเมอร์ผสมมากกว่า จึงส่งผลให้ค่า Impact resistance สูงขึ้น เมื่อมีปริมาณ SBS เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้นั้น สามารถนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นได้ โดยที่สมบัติการต้านทานต่อแรงกระแทกไม่เปลี่ยนแปลงไป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาสมบัติการไหล (rheology) ของระบบพอลิเมอร์ผสม โดยใช้ Capillary Rheometer ก่อนที่จะทำการขึ้นรูป และทดสอบสมบัติอื่นๆ
2. ควรปรับเปลี่ยนอัตราเร็วในการผสม และอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม พอลิเมอร์แต่ละระบบ
3. ควรนำระบบที่ทำการผสมแล้ว ไปทำการศึกษาสมบัติการต้านทานรังสีแกมมา เพื่อนำพอลิเมอร์ผสมนี้ไปใช้ประโยชน์ทางการผลิตอุปกรณ์การแพทย์
4. ควรทดลองทำการผลิตพอลิเมอร์ผสมจากของจริง เพื่อการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่และเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

1. A.F. Azhar and A.M. Usmani , “Degradation of Polymer Blends” , *Handbook of polymer Degradation* , Mercel Dekker Kmc. , pp. 575-581 , 1992.
2. A. Singh and J. Silverman , *Radiation Processing of Polymer* , Hanser , pp. 52-67 , 1992.
3. C. Sadrmoaghegh , G. Scott , and E. Setudeh , “Recycle of Mixed Plastics” , *Polym.Plast. Technol. Eng.* , **Vol.24(2&3)** , pp. 149-185 , 1985.
4. ASTM Committee and Standard , “Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic” Philadelphia : American Society for Testing and Materials , 1993.
5. Geoffrey Holden , Holden Polymer Consulting , “Styrenic thermoplastic elastomers” , *Rubber world* , **Vol.208** , pp.25-34 , 1993.
6. K. Fortelny , D. Michalkova and J. Mikesova , “Effect of the Mixing Conditions on the Phase Structure of PP/PS blends” , *Journal of Applied Polymer Science* , **Vol.59** , pp. 155-164 , 1996.
7. M. Trznadel , M. pluta and M. Kryszewski , “Oriented PP-PS Composites Obtained by Polymerization of Styrene Inside Oriented PP Matrices. I. Dispersion of PS and the Composites Orientation” , *Journal of Applied Polymer Science* , **Vol.49** , pp. 1405-1413 , 1993.
8. M.J. Folkes and P.S. Hope , “Compatibilisation and reactive blending” , *Polymer Blends and Alloys* , Blackie Academic & Professional , pp. 46-55 , 1993.
9. ASTM Committee and Standard , “Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials” , Philadelphia : American Society for Testing and Materials , 1988.
10. Leszek A. Utracki , “Introduction to Polymer Alloys and Blends” , *Polymer Alloys and Blends* , Uanser Publishers , pp. 1-27 , 1993.
11. J. G.M. Van Gisbergen , C.P.J.H. borgmans , M.C.M. Van der Sanden and P.J. Lenstra , “Impact Behaviour of Polystyrene / EPDM - rubber Blends : Influence of Electron Beam Irradiation” , *Polymer Communication* , **Vol.31** , pp. 162-164 , 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. L. Del Giudice , R.E. Cohen , G. Attalla , and F. Bertinotti , “Compatibilizing Effect of a Diblock Copolymer of Isotactic Polystyrene and Isotactic Polypropylene in Blends of the Corresponding Homopolymer” , *Journal of Applied Polymer Science* , **Vol.30** , pp. 4305-4398 , 1985.
13. O.T. Ikkala R.M. Holsti-Miettinen and J. Sappala , “Effects of Compatibiltzation on Fractionated Crystallization of PA 6 / PP Blends” , *Journal of Applied Polymer Science* , **Vol.49** , pp. 1165-1174 , 1993.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ 1 ระบบสององค์ประกอบ

components		Impact strength (kJ/m)	Tensile strength (kN/m)	Elongation at break (%)	Modulus (kgf/mm)
system	% SBS				
PP	0	3.29	75.33	714.65	2.95
PP	10	4.01	64.42	30.63	2.52
PP	20	5.35	57.17	160.01	2.31
PP	30	5.97	54.11	580.27	2.15
PS	0	2.03	110.62	4.28	4.34
PS	10	3.04	71.76	17.05	2.81
PS	20	2.96	67.65	38.28	2.65
PS	30	7.46	60.25	29.11	2.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ระบบสามองค์ประกอบ

components			Impact strength (kJ/m)	Tensile strength (kN/m)	Elongation at break (%)	Modulus (kgf/mm)
PP	PS	%SBS				
70	30	0	2.71	80.33	6.44	3.15
70	30	10	3.66	66.41	10.11	2.60
70	30	20	4.72	59.34	37.54	2.33
70	30	30	7.11	50.97	92.72	2.00
50	50	0	2.59	77.83	5.66	3.05
50	50	10	3.97	68.79	9.55	2.70
50	50	20	4.74	60.07	23.52	2.35
50	50	30	9.29	53.95	58.69	2.11
30	70	0	2.97	78.97	6.42	3.10
30	70	10	4.42	67.55	5.68	2.65
30	70	20	6.70	58.48	14.80	2.29
30	70	30	15.02	52.80	35.33	2.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางแสดงการทดสอบสมบัติการต้านทานต่อแรงกระแทก
ของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการเอนนีส**

ตารางที่ 3 ระบบสององค์ประกอบ

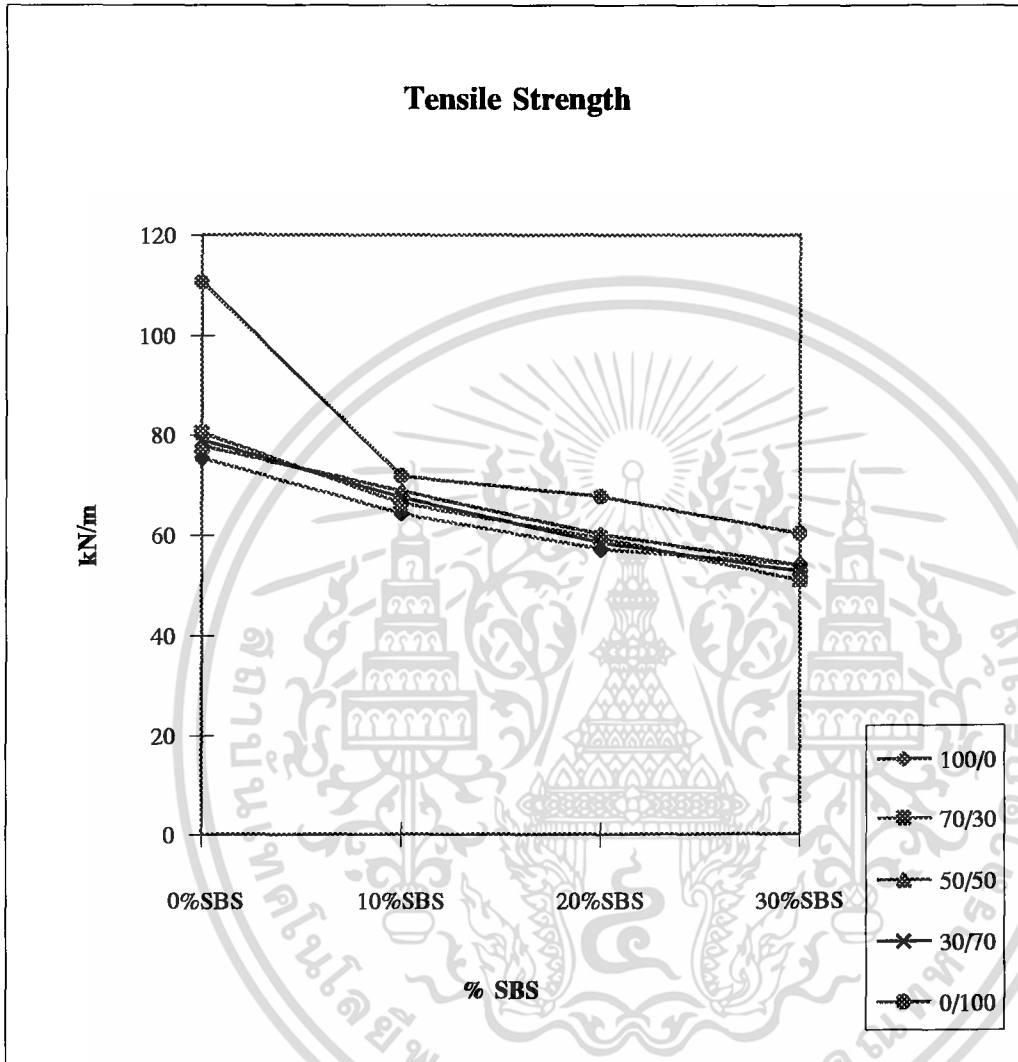
components		Impact strength (kJ/m)		
system	% SBS	at 25	at 50	at 100
PP	0	3.29	2.24	2.10
PP	10	4.01	4.11	3.71
PP	20	5.35	4.10	5.11
PP	30	5.97	5.24	5.92
PS	0	2.03	1.68	1.49
PS	10	3.04	2.36	2.70
PS	20	2.96	2.32	2.70
PS	30	7.46	9.14	9.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ระบบสามองค์ประกอบ

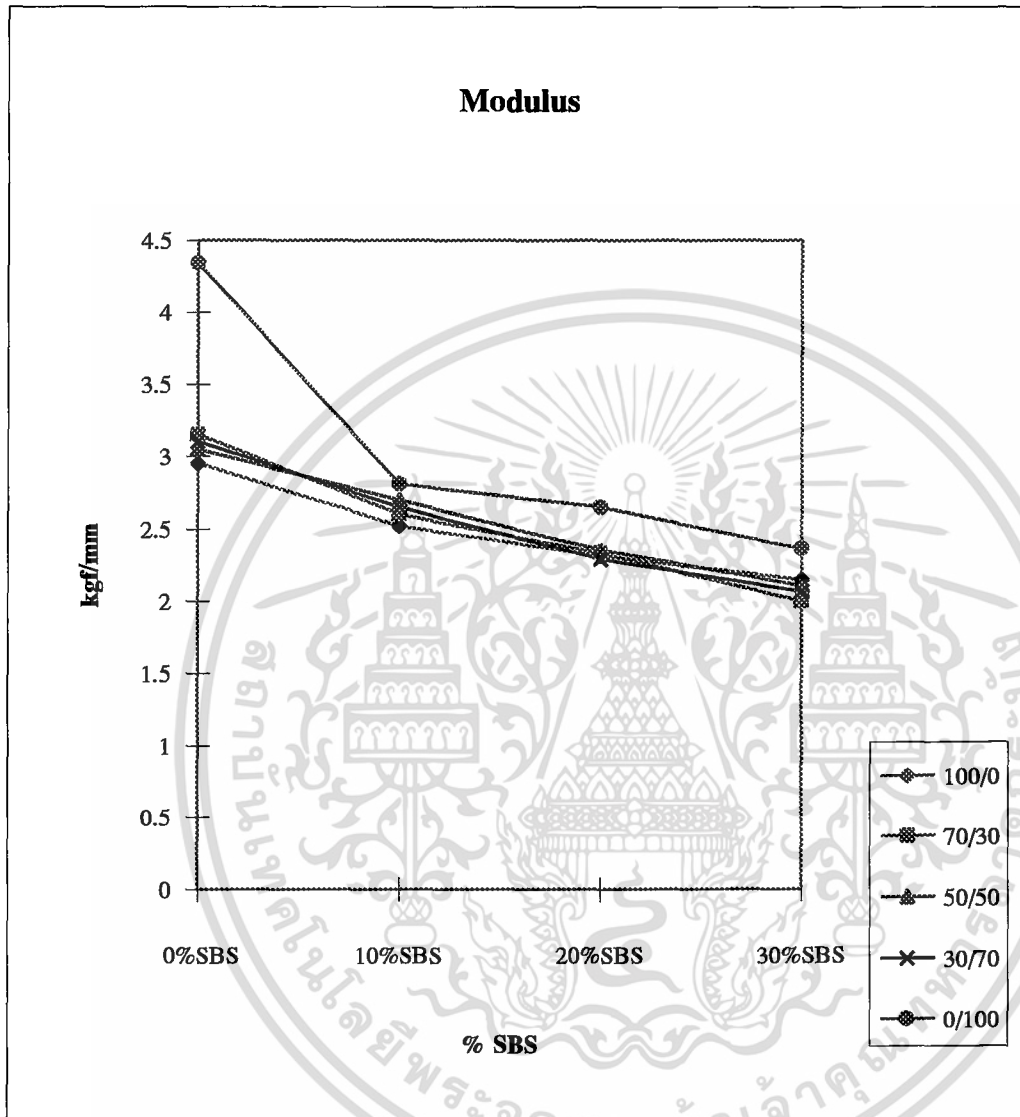
components			Impact strength (kJ/m)		
PP	PS	%SBS	at 25	at 50	at 100
70	30	0	2.71	2.52	1.53
70	30	10	3.66	3.39	3.14
70	30	20	4.72	3.45	3.82
70	30	30	7.11	5.29	4.81
50	50	0	2.59	2.13	2.15
50	50	10	3.97	3.87	4.87
50	50	20	4.74	3.74	4.73
50	50	30	9.29	7.80	8.66
30	70	0	2.97	2.21	2.16
30	70	10	4.42	3.70	3.12
30	70	20	6.70	5.31	5.66
30	70	30	15.02	13.88	14.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



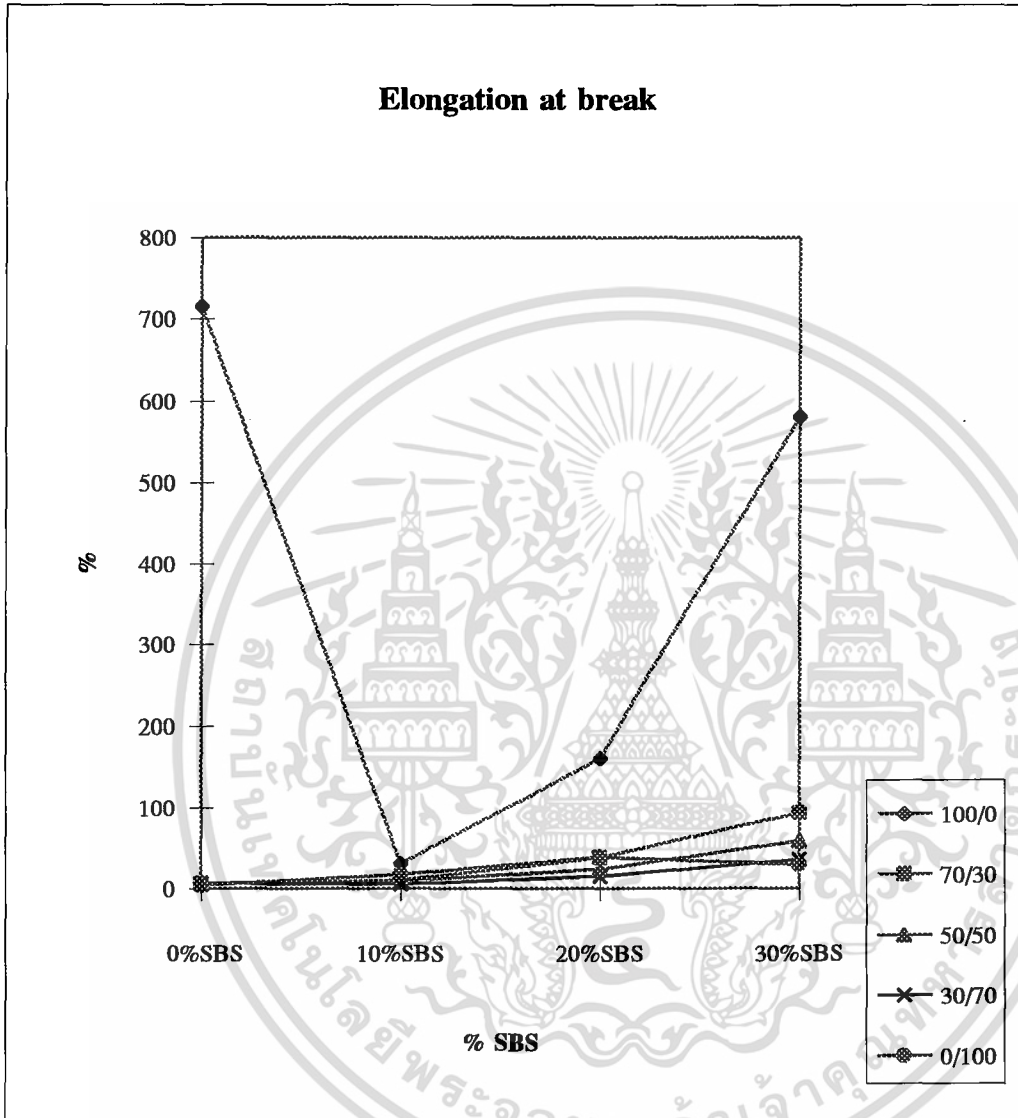
รูปที่ 1 แสดงค่า Tensile strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



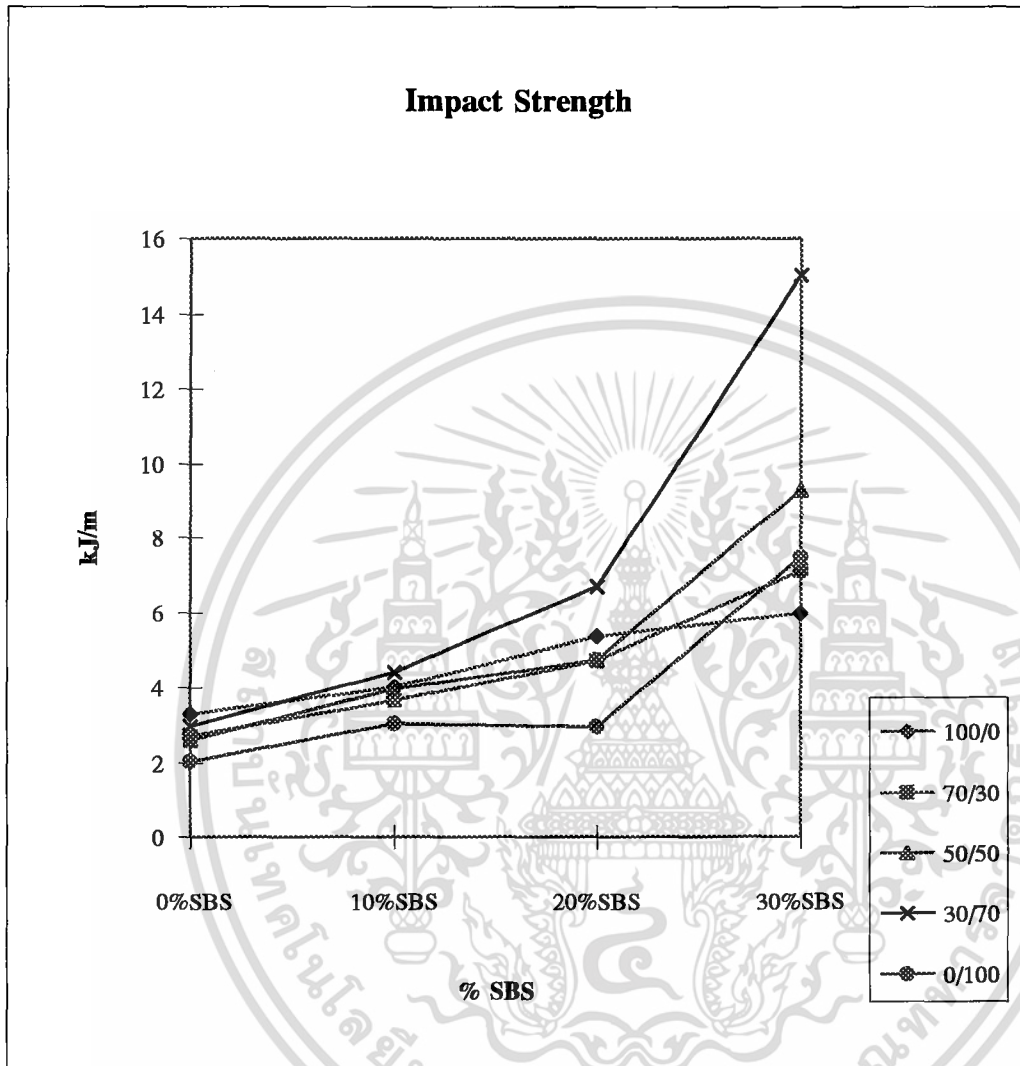
รูปที่ 2 แสดงค่า Modulus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงค่า % Elongation at break

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงค่า Impact resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The logo of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sun with rays, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sun is a decorative crown-like structure. The entire emblem is surrounded by a circular border containing the university's name in Thai script: "มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรม" (Mahavithayalai Rajabhat Buriram).

สมบัติทางความร้อน
DSC Thermogram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

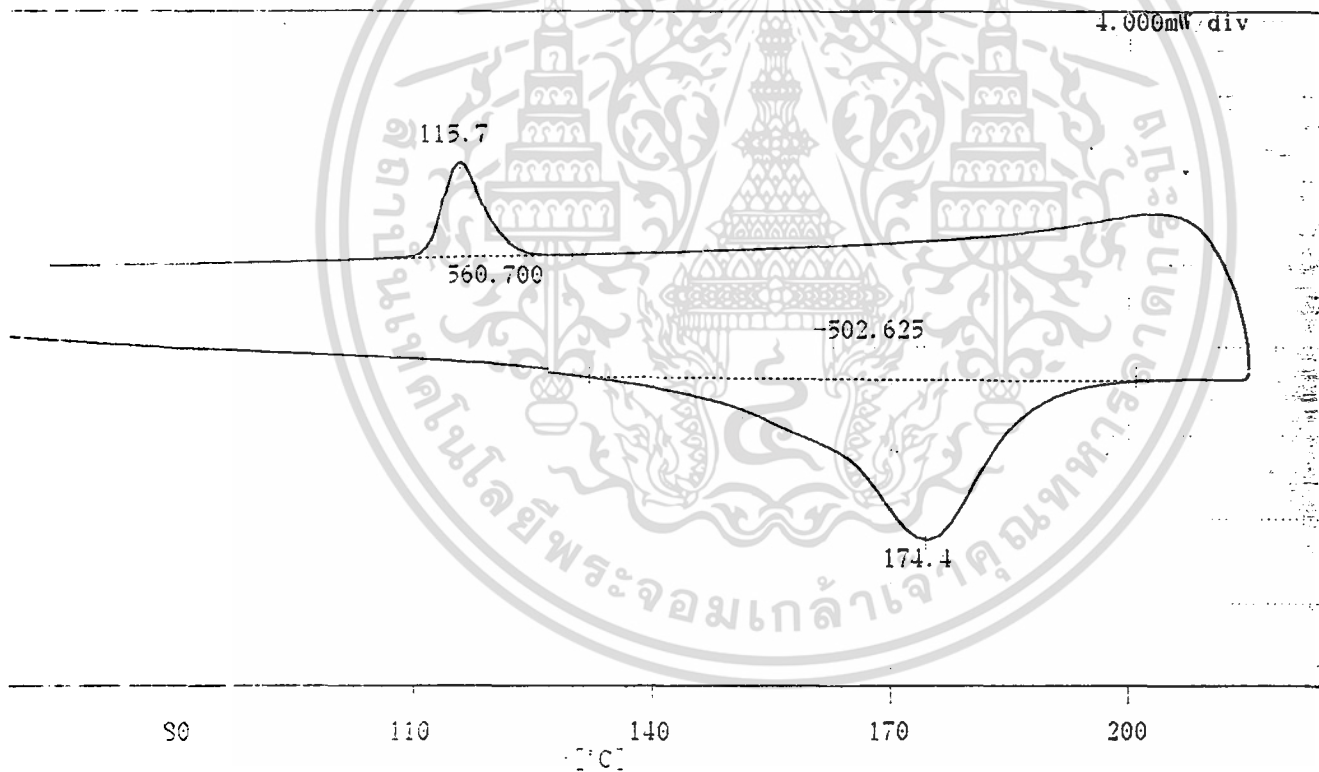
==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

NAME <PP FS1.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT/dt	T(hold)	τ(hold)	ΔT(add)	x	n(repeat)
1:	20	220	0	0	0	0
2:	-20	0	0	0	0	0
3:	0	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0	0

TEMP : 04 10 97
 SAMPLE NAME : PP 100%
 INSTRUMENT : SPEED 10.185 190 195 200
 SAMPLE QUANTITY : 0.5 mg
 DSC TYPE : DSC
 ANALYST : SP



TEMP	TEMP (C)	Heat Flow (mW)
1	115.7	-12.7245
2	174.4	5.0668

TEMP	T1 (C)	T2 (C)	Heat (mJ)
1	120.0	195.5	560.7
2	160.0	150	-502.625

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

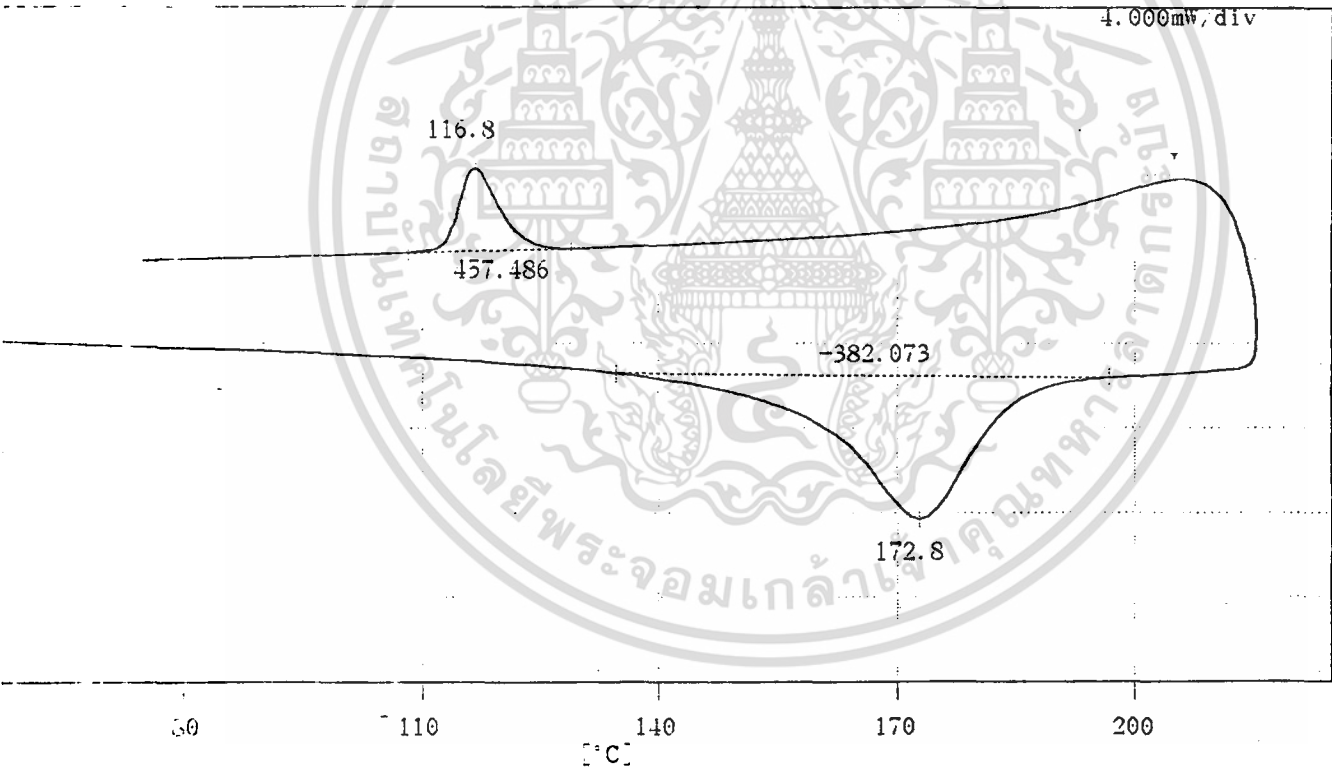
==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

PROGRAM (KPP 1.000)>>

DATE (mm dd) : 96 08 08
 SAMPLE NAME : PP-10% SBS
 EXPERIMENT : SPEED 10 . 185 190 195 200
 SAMPLE WEIGHT : 4.5 mg
 DSC CELL TYPE : DSC
 SAMPLING RATE : 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

dT/dt	T (hold)	τ (hold)	δT (add)	x	n (repeat)
1: 20	220	0	0	0	0
2: -20	0	0	0	0	0
3: 0	0	0	0	0	0
4: 0	0	0	0	0	0
5: 0	0	0	0	0	0



TEMP.]	-----TEMP (°C)-----	Heat Flow (mW)
1	172.8	-11.9802
2	116.8	4.6045

HEAT]	---T1 (°C)---	T2 (°C)	Heat (mJ)
1	129.2	108.3	457.486
2	126.8	134.7	-382.073

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEMP.]	-----TEMP (°C)-----	Heat Flow (mW)
---------	---------------------	----------------

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

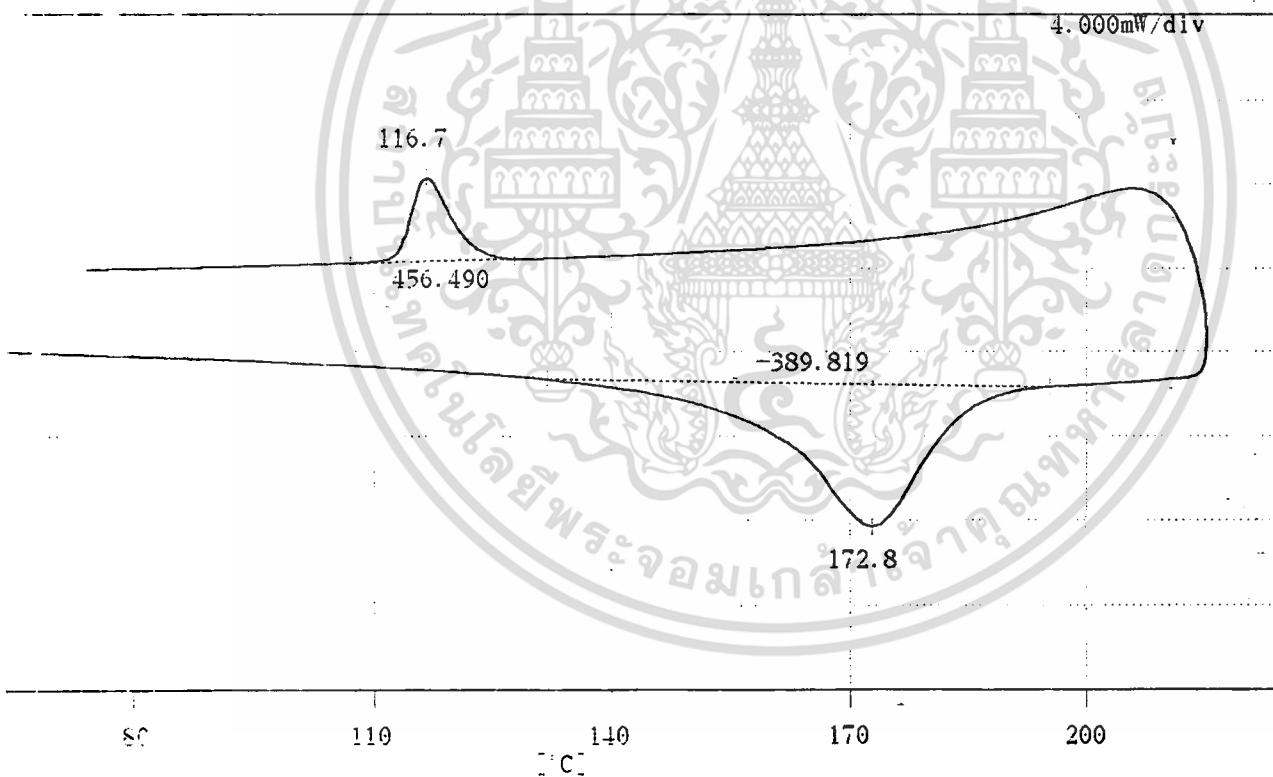
39/12/19

ME <<PP 2.000>>

y (m/d) : 96 08 08
 E NAME : PP- 20% SBS
 NT : SPEED 10 . 185 190 195 200
 E Q'TITY: 7.2 mg
 E TYPE : DSC
 ING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT/dt	T(hold)	τ (hold)	δT (add)	x	n(repeat)
1:	20	220	0	0	0	0
2:	-20	0	0	0	0	0
3:	0	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0	0



Point	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	172.8	-11.9802
2	116.7	4.6023

Point	Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
1	107.7	107	456.49
2	132	195.4	-389.819

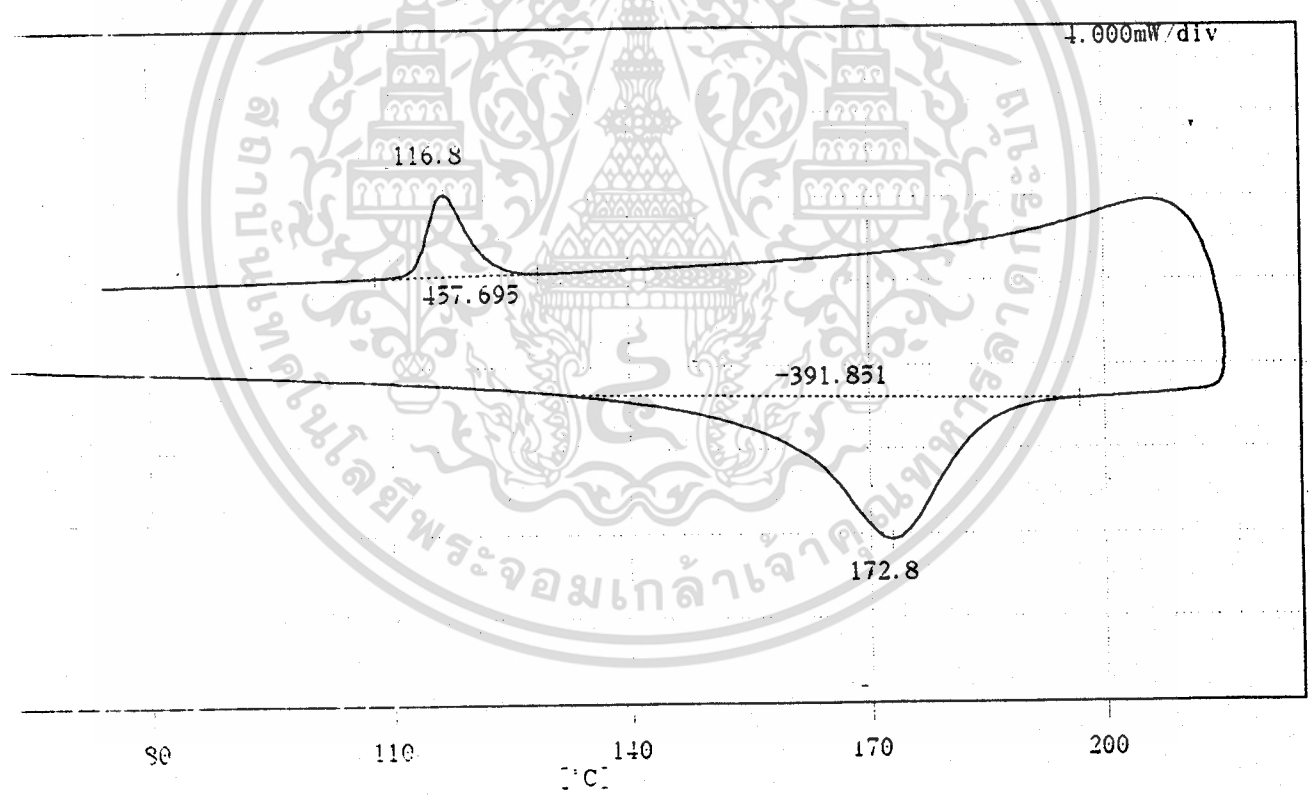
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

39/12/19

NAME <<PP 3.000>>

		● TEMPERATURE PROGRAM ●					
		dT	dt	T(hold)	τ (hold)	δT (add)	x n(repeat)
Method	: 96 DS US	1:	20	220	0	0	0
SAMPLE NAME	: PP-30%SBS	2:	-20	0	0	0	0
HEAT FLOW	: SPEED 10, 185 190 195 200	3:	0	0	0	0	0
SAMPLE QUANTITY	: 6 mg	4:	0	0	0	0	0
TEST TYPE	: DSC	5:	0	0	0	0	0
HEAT FLOW INT.	: 1 sec						



IMP.	TEMP (C)	Heat Flow (mW)
1	172.8	-11.9802
2	116.8	4.6045

HEAT	Ti (C)	Tf (C)	Heat (mJ)
1	128.8	108	457.695
2	196.8	132.3	-391.851

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

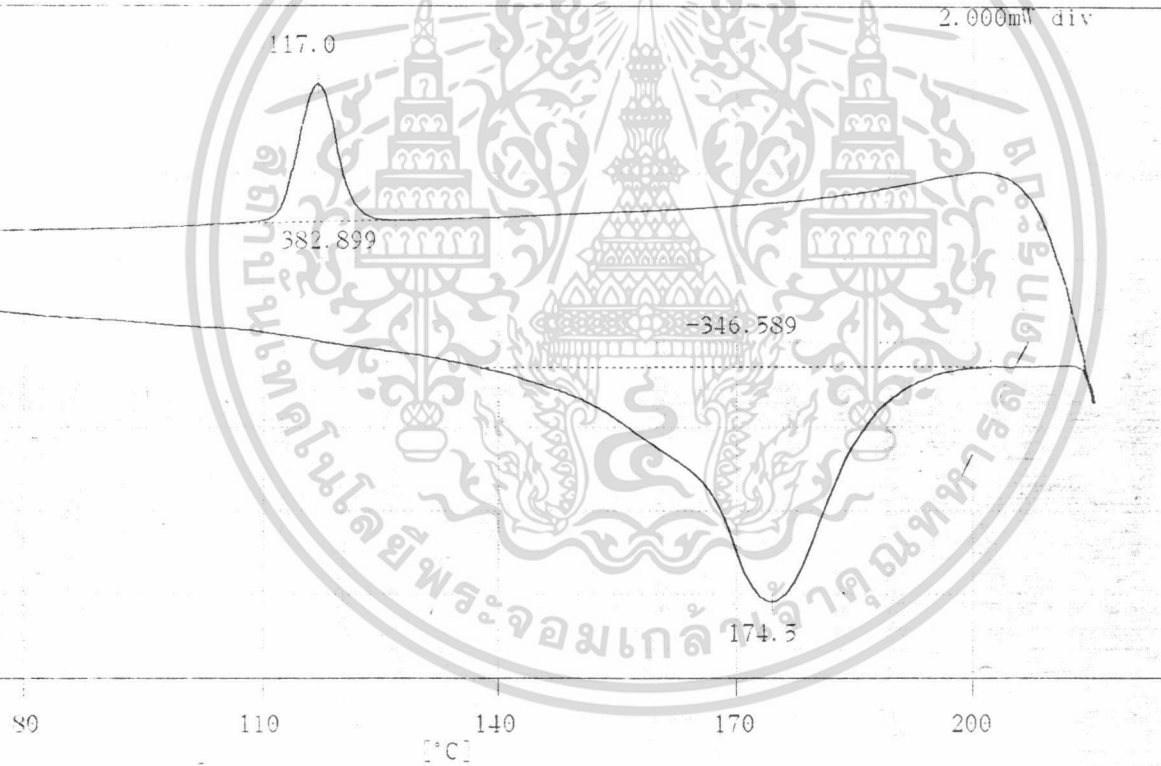
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

NAME <<PP PS2.000>>

DATE: 04 10 97
 NAME: PP 70-PS 30,
 RUN: SPEED 10 185 190 195 200
 FILE TYPE: 7.5 IS
 FILE TYPE: USC
 FILE INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT/dt	T(hold)	τ (hold)	δT (add)	x	n(repeat)
1:	20	220	0	0	0	0
2:	-20	0	0	0	0	0
3:	0	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0	0



EMP	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	174.5	-8.7145
2	117	3.6118

ENT	Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
1	117	105.7	382.899
2	202.9	137.8	-346.589

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

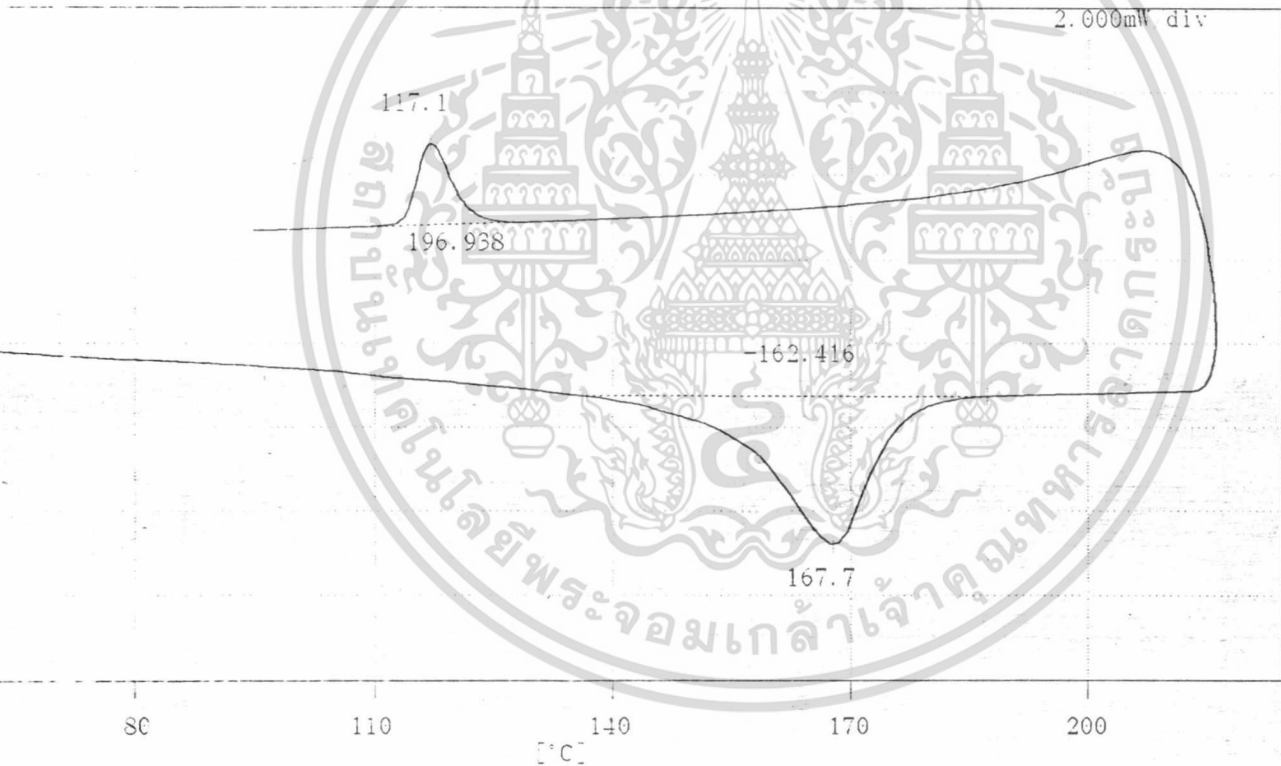
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

ME <<3COMP6.000>>

s(m d) : 00 00.00
 E NAME : PP70%-PS30%-SES10%
 WT : SPEED10 185 190 195 200
 E QTY: 7.7 mg
 E TYPE : DSC
 EFG INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT	dt	T(hold)	τ (hold)	δT (add)	x	n(repeat)
1:	20		220	0	0		0
2:	-20		40	0	0		0
3:	0		0	0	0		0
4:	0		0	0	0		0
5:	0		0	0	0		0



IMP.	TEMP(°C)	Heat Flow (mW)
1	167.7	-7.2311
2	117.1	2.3266

ΔT	Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
1	127.4	108.9	196.938
2	136	187.4	-162.416

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

===== **THERMAL ANALYSIS REPORT** =====

NAME <<PI PS9.000>>

START TIME : 00 00 00
 SAMPLE NAME : PP70%-PS30%-SBS20%
 METHOD : SPEED 10.185 190 195 200
 SAMPLE QUANTITY : 7.9 mg
 HEAT FLOW : DSC
 MODULUS : 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT/dt	T(hold)	τ(hold)	δT(add)	x	n(repeat)
1:	20	220	0	0	0	0
2:	-20	40	0	0	0	0
3:	0	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0	0



Event	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	168.9	-5.5557
2	116.1	2.0856

Event	Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
1	126.2	108.4	171.927
2	163.8	135.6	-143.224

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

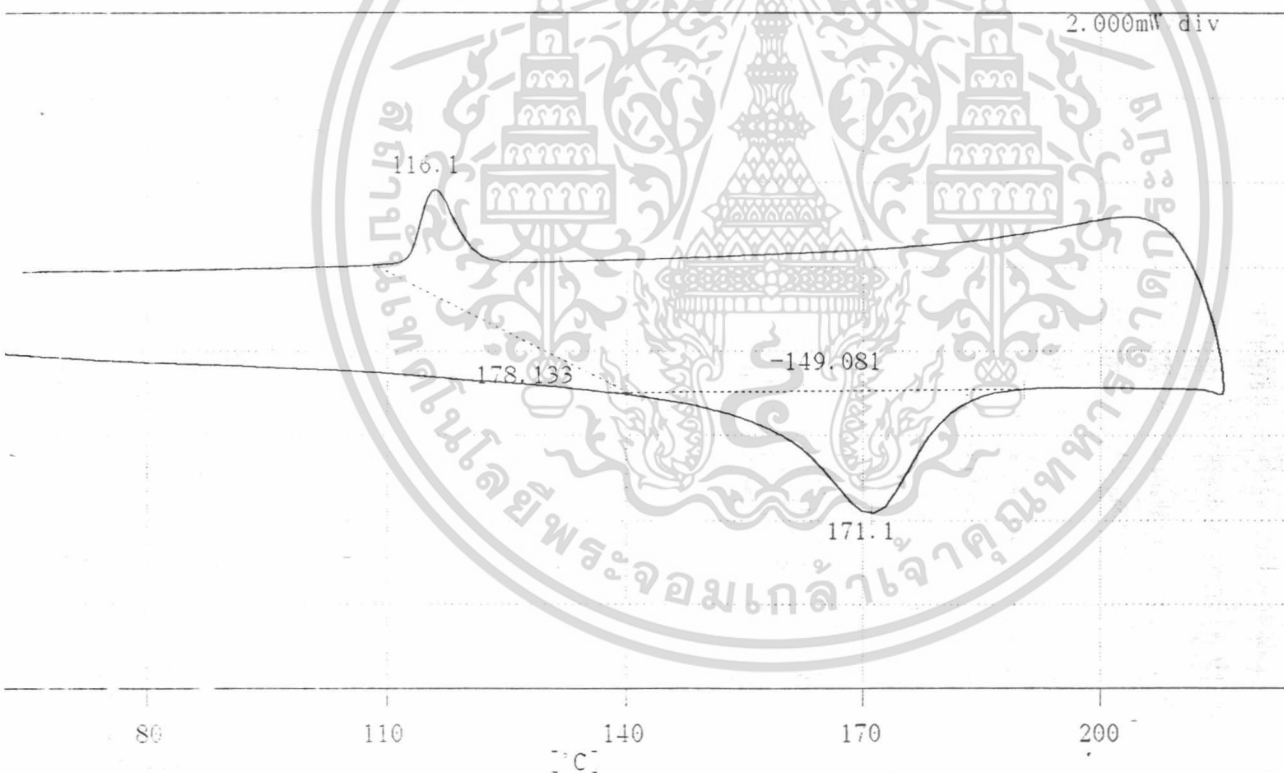
39/12/19

NAME <<3COMP4.000>>

Program : 00 00 00
 LE NAME : PP70%-PS30%-SBS30%
 SENT : SPEED10 185 190 195 200
 LE Q'TITY: 5.8 mg
 LE TYPE : DSC
 HEATING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT/dt	T (hold)	τ (hold)	ΔT (add)	x	n (repeat)
1:	20	220	0	0	0	0
2:	-20	40	0	0	0	0
3:	0	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0	0



MP	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	171.1	-5.6987
2	116.1	1.996

TAT	Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
1	125.4	108.3	178.133
2	190.3	138.1	-149.081

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

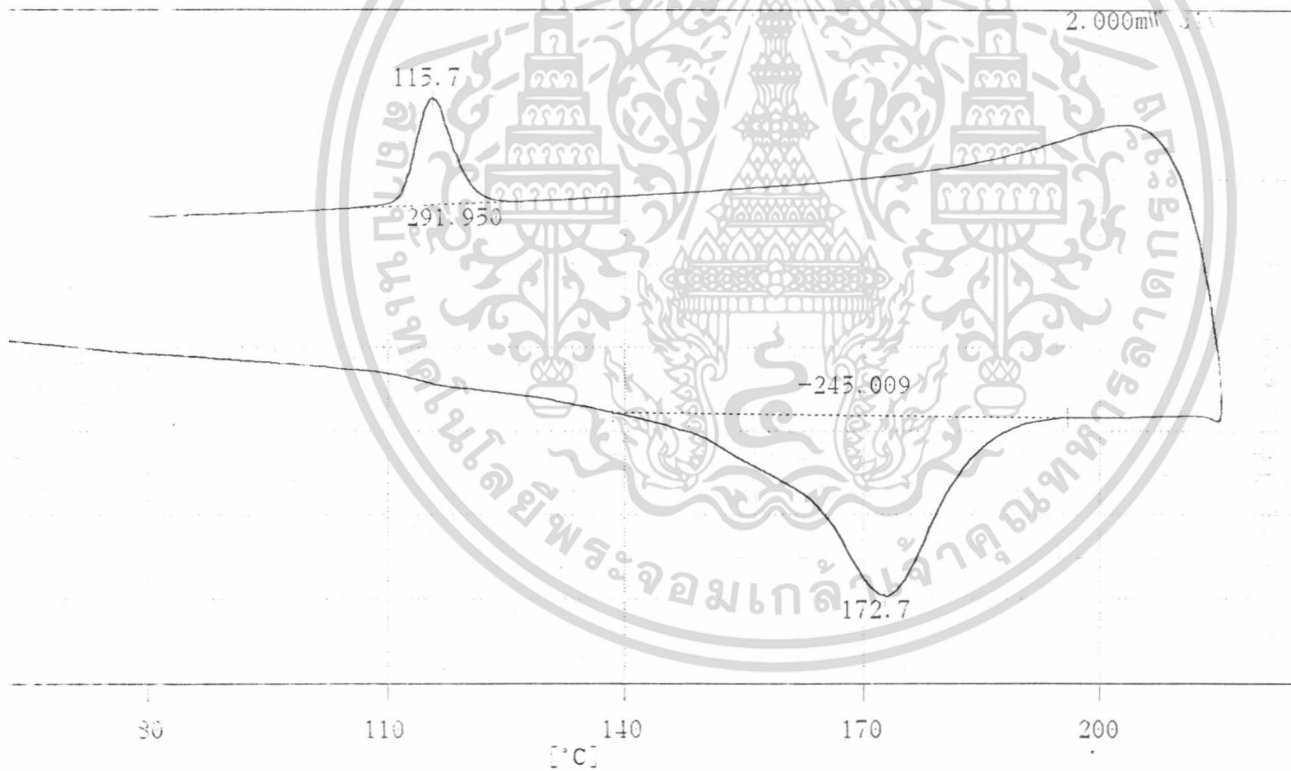
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

NAME <<PP PS3.000>>

Day (m/d) : 04/10/97
 FILE NAME : PP 50%-PS 50%
 WEIGHT : SPEED 10.185 190 195 200
 SAMPLE QUANTITY : 7 mg
 SAMPLE TYPE : DSC
 HEATING RATE : 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT/dt	T(hold)	τ (hold)	ΔT (add)	x	n(repeat)
1:	20	220	0	0	0	0
2:	-20	0	0	0	0	0
3:	0	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0	0



MP	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	172.7	-8.8283
2	115.7	3.0512

AT	Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
1	126.8	105.9	291.95
2	196	138.6	-245.009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

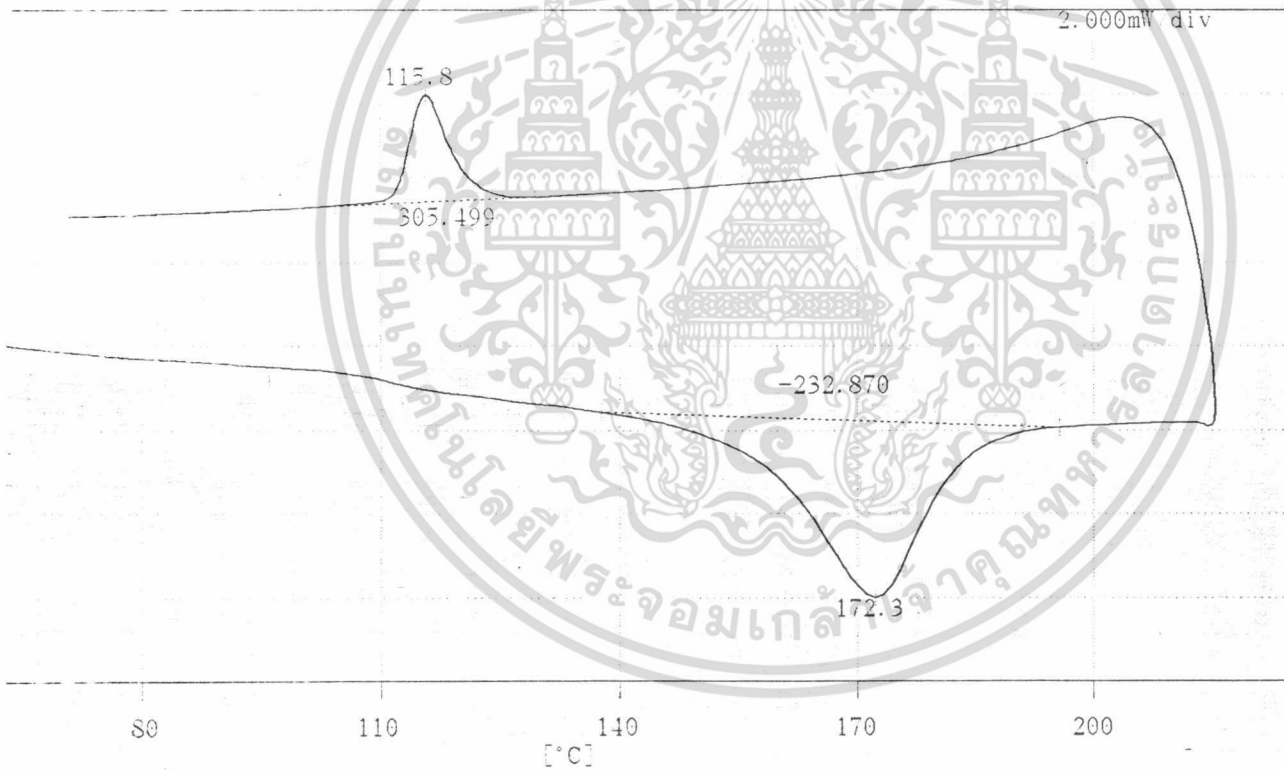
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

NAME <<PP PS6.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT	dt	T(hold)	τ (hold)	δT (add)	x	n(repeat)
1:	20		220	0	0		0
2:	-20		0	0	0		0
3:	0		0	0	0		0
4:	0		0	0	0		0
5:	0		0	0	0		0

DATE: 08 09 08
 NAME: PP50%-PS50%-SBS10%
 SPEED: 10 185 190 195 200
 QTY: 5.3 mg
 TYPE: DSC
 INT: 1 sec



POINT	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	172.3	-8.9096
2	115.8	3.0487

POINT	Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
1	129.5	164.4	305.499
2	195.7	137.8	-232.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

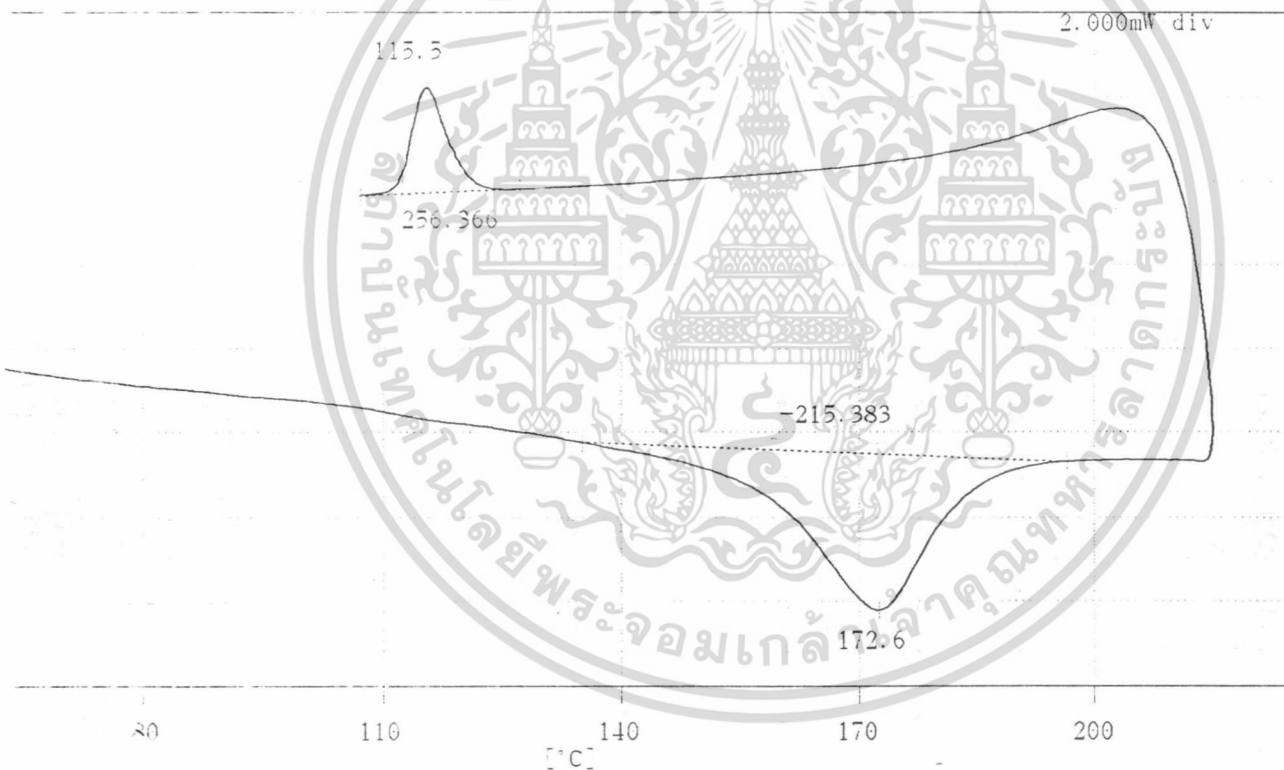
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

NAME <<COMP1.000>>

(yymmdd) : 00 00 00
 SAMPLE : PP50%-PS50%-SBS20%
 SPEED : 10,185 190 195 200
 WEIGHT : 5.9 mg
 TYPE : DSC
 INT. : 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT/dt	T(hold)	τ (hold)	δT (add)	x	n(repeat)
1:	20	220	0	0	0	0
2:	-20	40	0	0	0	0
3:	0	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0	0



MP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	172.6	-9.3502
2	115.5	3.0799

TAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
1	127.3	107.3	256.366
2	196.6	135.2	-215.383

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

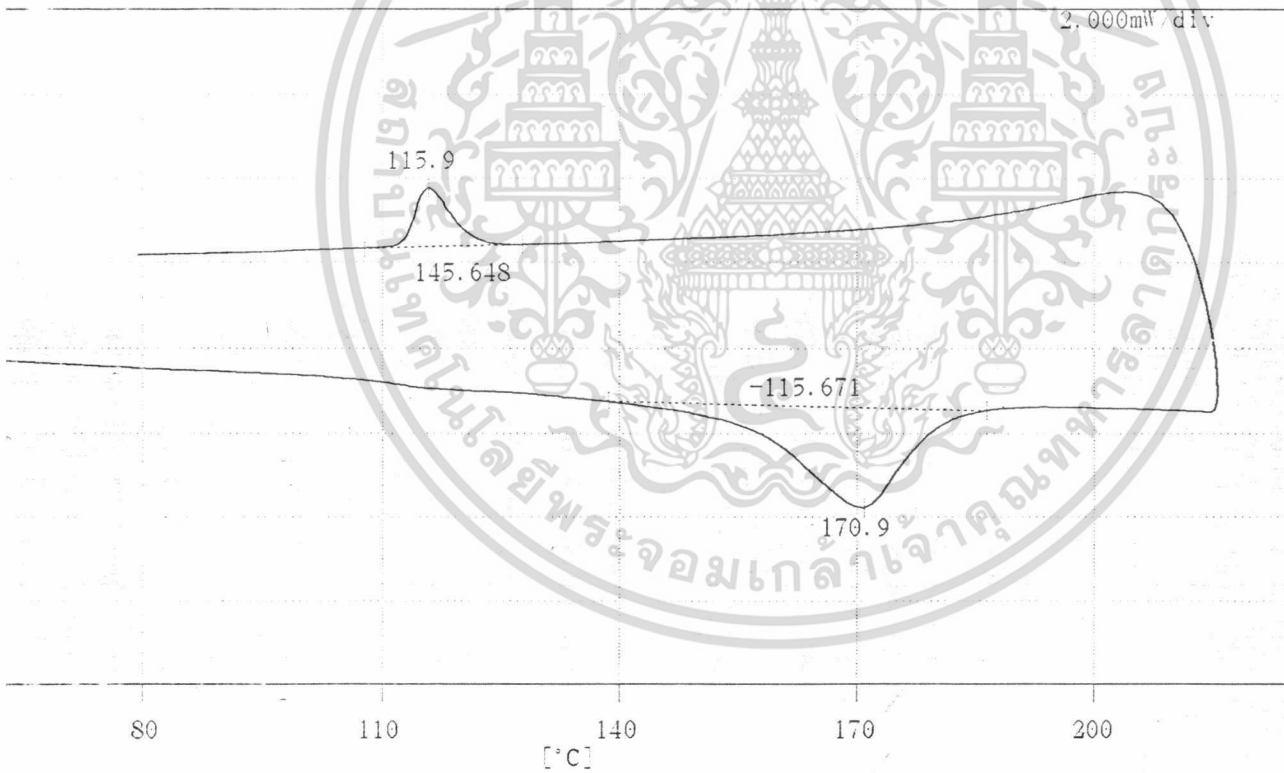
39/12/19

NAME <<3COMP3.000>>

(y m d) : 00 00/00
 FILE NAME : PP50%+PS50%-SBS30%
 EVENT : SPEED10 185 190 195 200
 SAMPLE QTY: 6 mg
 SAMPLE TYPE : DSC
 HEATING RATE: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT/dt	T(hold)	τ(hold)	δT(add)	x	n(repeat)
1:	20	220	0	0	0	0
2:	-20	40	0	0	0	0
3:	0	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0	0



MP. [TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	170.9	-5.825
2	115.9	1.7255

AT [Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
1	127.8	107.8	145.648
2	186.5	138.7	-115.671

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

NAME <<SCOMP5.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT	dt	T(hold)	τ (hold)	δT (add)	x	n(repeat)
1:	20		220	0	0	0	0
2:	-20		40	0	0	0	0
3:	0		0	0	0	0	0
4:	0		0	0	0	0	0
5:	0		0	0	0	0	0

Event d) : 00 00 00
 NAME : PE 30% - PS 70%
 METHOD : SPEED 10.157 190 195 200
 RATE (T) : 5.2 ms
 RATE (P) : 50
 RATE (D) : 1 sec



Event	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	167.7	-6.4697
2	114.9	1.4648

Event	T1 (°C)	T2 (°C)	Heat (mJ)
1	123.3	107.9	100.352
2	137.1	143.6	-106.335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

NAME <<PP-PSS.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

TEMP (m d)	DT	dt	T(hold)	τ(hold)	δT(add)	x	n(repeat)
PP30%+PS70%-SBS10%	1:	20	220	0	0	0	0
SPEED 10, 185, 190, 195, 200	2:	-20	40	0	0	0	0
SAMPLE WEIGHT: 6.2 mg	3:	0	0	0	0	0	0
MODULE TYPE: DSC	4:	0	0	0	0	0	0
AMPLING INT.: 1 sec	5:	0	0	0	0	0	0



TEMP.	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	170.5	-8.4038
2	114.2	2.2076

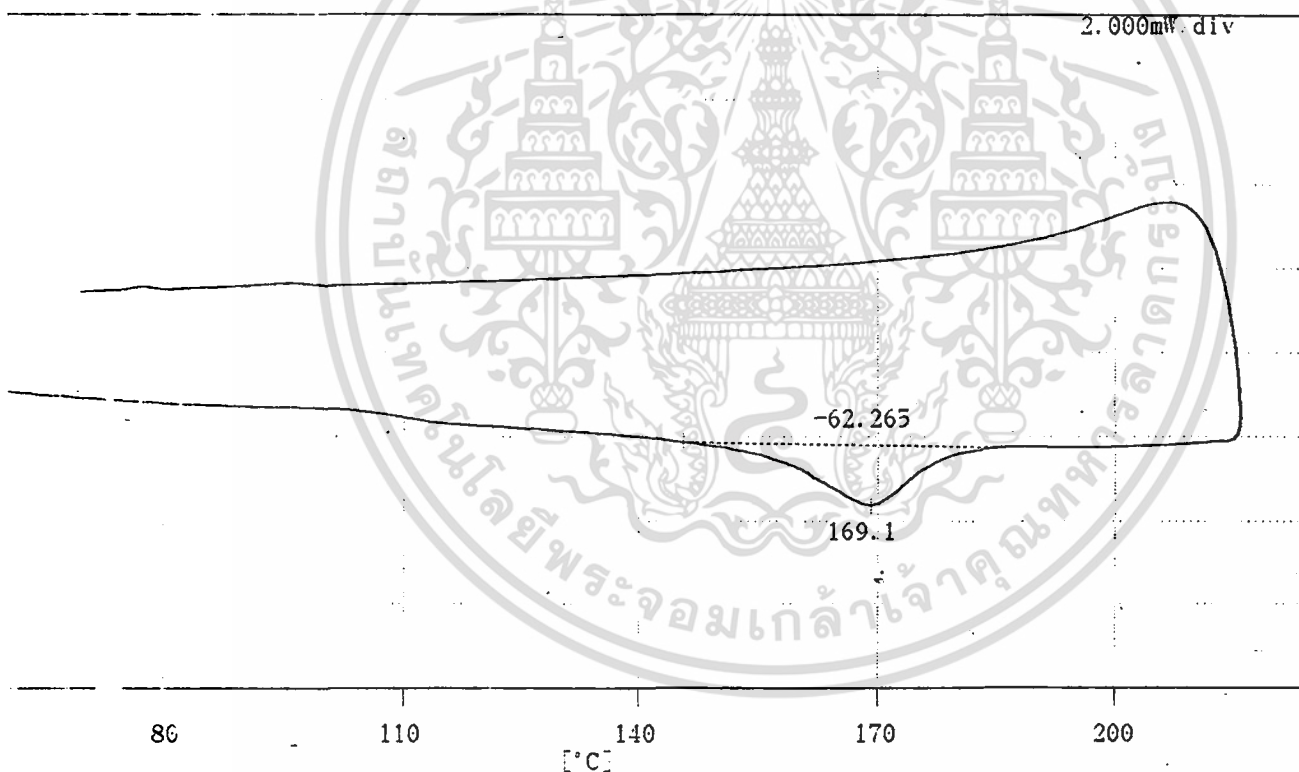
HEAT	T1 (°C)	T2 (°C)	Heat (mJ)
1	114.9	105.7	151.402
2	151.4	140.8	-151.966

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

NAME <<3COMP7.000>>

		● TEMPERATURE PROGRAM ●				
		dT/dt	T(hold)	τ (hold)	δT (add)	x n(repeat)
START	00 00 00	1:	20	220	0	0
FILE NAME	PP50%-PS70%-SBS20%	2:	-20	40	0	0
HEAT	SPEED10 1S5 190 195 200	3:	0	0	0	0
SAMPLE QUANTITY	5.3 mg	4:	0	0	0	0
SAMPLE TYPE	DSC	5:	0	0	0	0
HEATING INT.	1 sec					



EM	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	159.1	-4.9061

EM	TEMP (°C)	Heat (mJ)
1	155.9	-62.265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FILE:33COMP.000 MODULE TYPE:DSC SAMPLE NAME:PP30%-PS70%+SBS30% DATE:00/00/00 SAMP

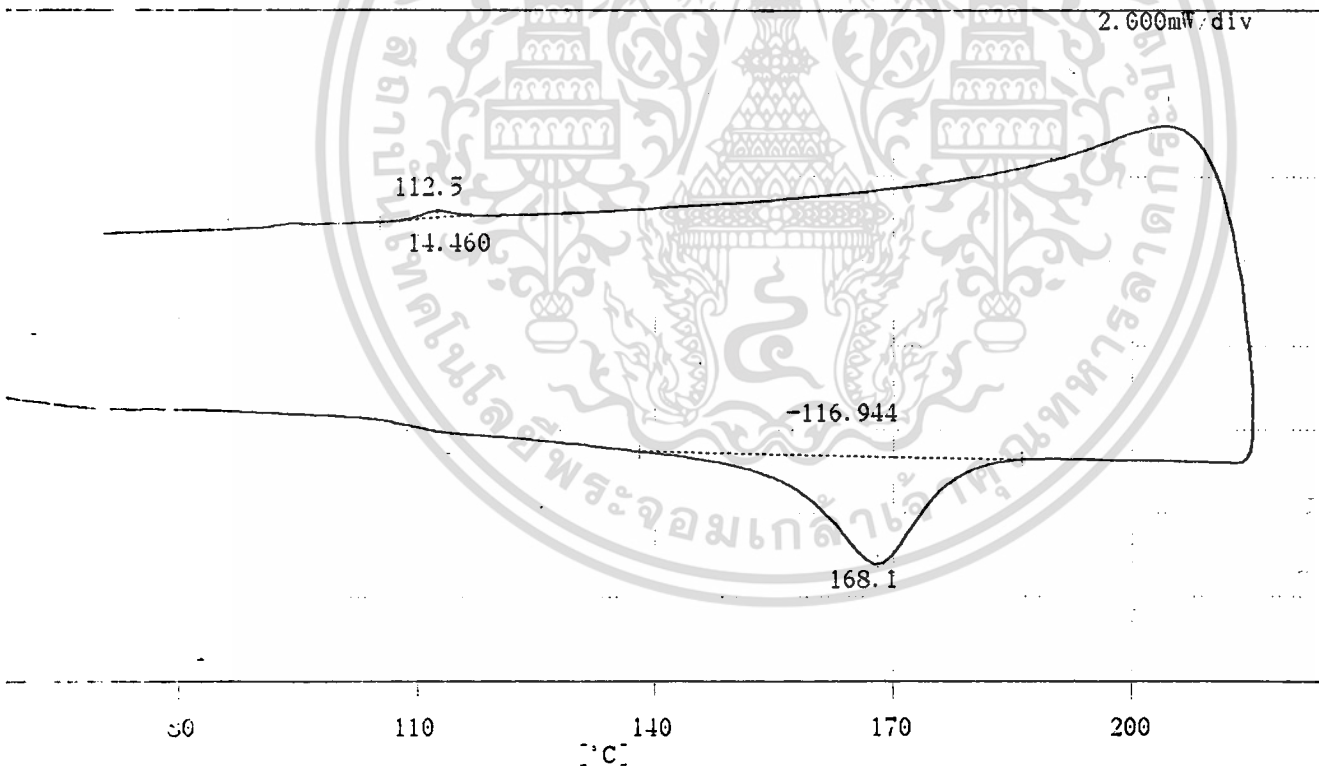
==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

NAME <<33COMP.000>>

DATE (m d) : 00 00 00
 SAMPLE NAME : PP30%-PS70%+SBS30%
 ELEMENT : SPEED 10.185 190 195 200
 SAMPLE QUANTITY : 5.6 mg
 DSC TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

dT/dt	T(hold)	τ (hold)	δT (add)	x	n(repeat)
1: 20	220	0	0	0	0
2: -20	50	0	0	0	0
3: 0	0	0	0	0	0
4: 0	0	0	0	0	0
5: 0	0	0	0	0	0



TEMP.	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	168.1	-7.5918
2	112.5	0.8101

TEMP [Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
1	112.5	105.1	14.46
2	168.1	168.1	-116.944

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

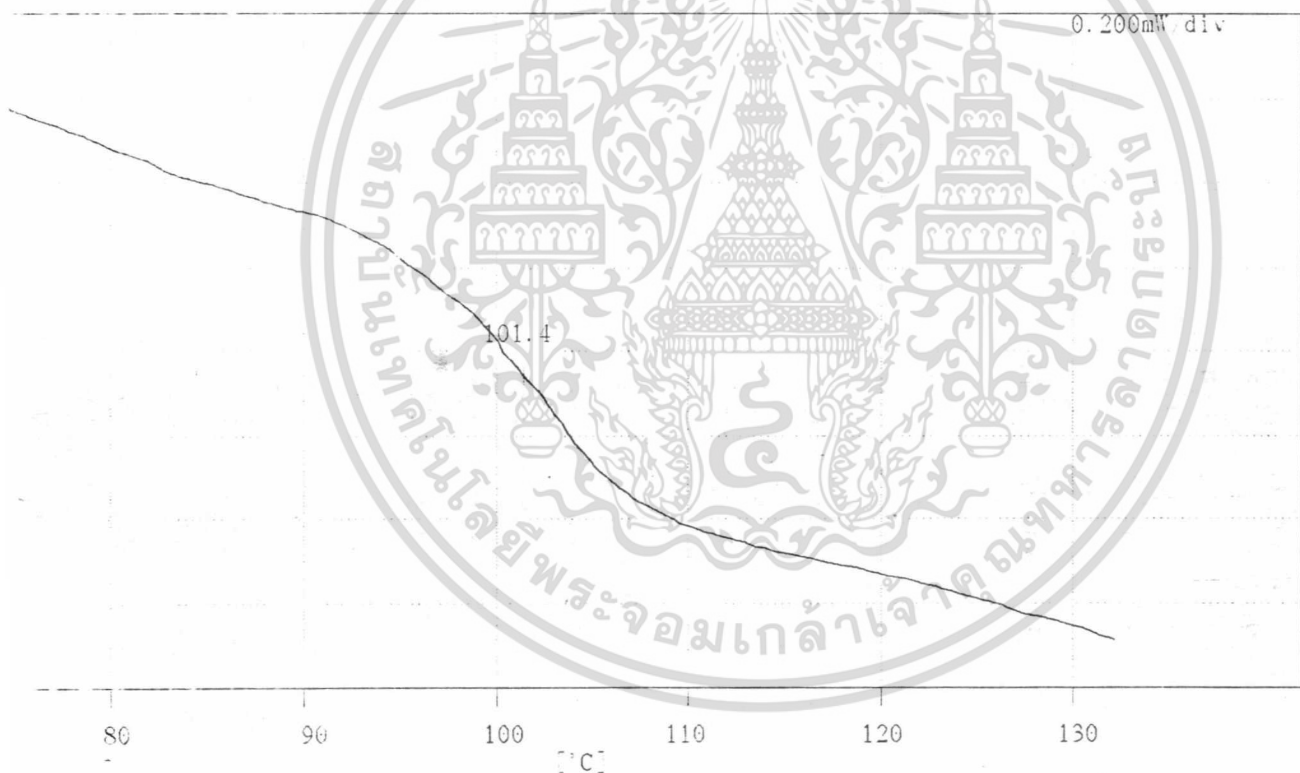
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

NAME <<PS5.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT	dt	T(hold)	τ (hold)	δT (add)	x	n(repeat)
1:	20		220	0	0		0
2:	-20		0	0	0		0
3:	0		0	0	0		0
4:	0		0	0	0		0
5:	0		0	0	0		0

EX(.id) : 96 09 06
 FILE NAME : PS100%
 METHOD : SPEED10 , 185 190 195 200
 PLF QUANTITY : 7.6 mg
 FILE TYPE : DSC
 PILING INTL : 1 sec



101.4
 101.4 °C -4.2543 mW

SHIMADZU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FILE:PS1.000 MODULE TYPE:DSC SAMPLE NAME:PS + 10%SBS DATE:40/01/08 SAMPLING: 1 se
 FILE:PS2.000 MODULE TYPE:DSC SAMPLE NAME:PS + 20% SBS DATE:40/01/08 SAMPLING: 1 s
 FILE:PS3.000 MODULE TYPE:DSC SAMPLE NAME:PS +30%SBS DATE:40/01/08 SAMPLING: 1 sec

==== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

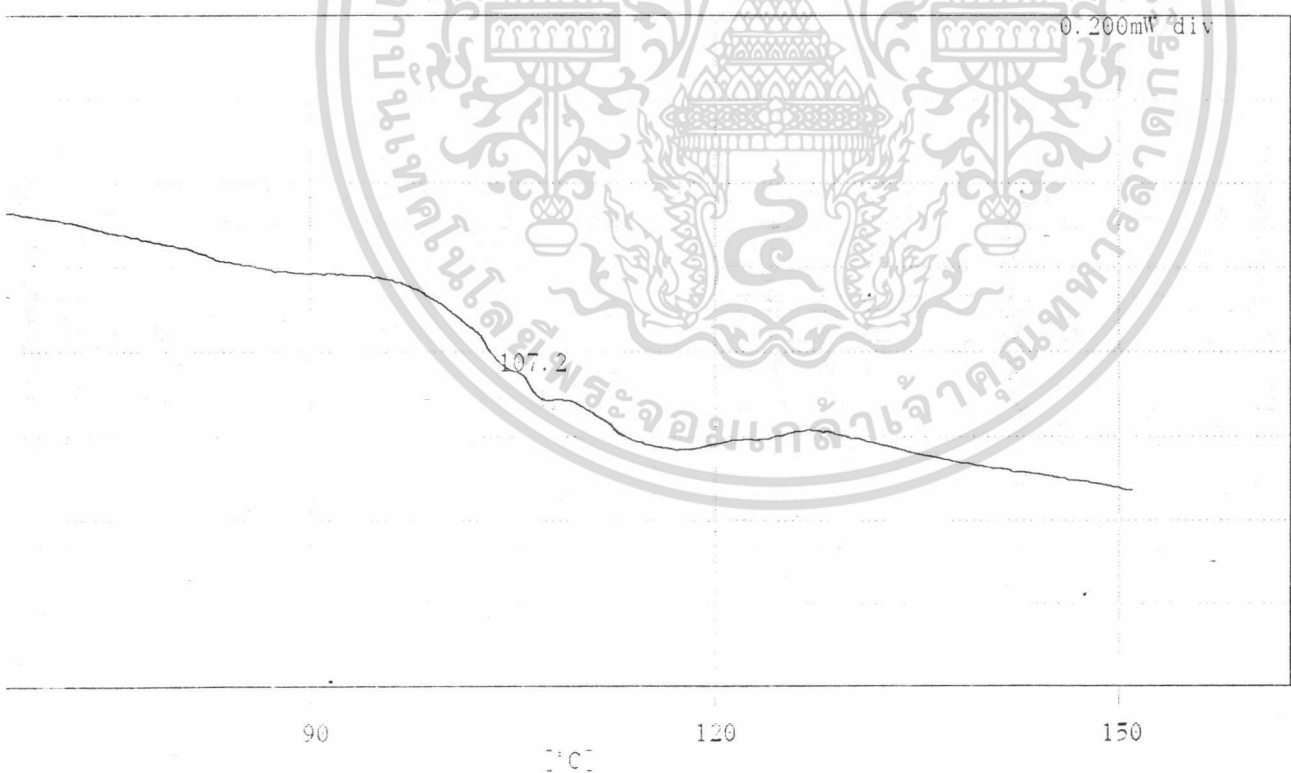
40 01 08

NAME <<PS1.000>>

(y/m/d) : 40 01 08
 FILE NAME : PS - 10%SBS
 METHOD : SPEED 10, 185 190 195 200
 SAMPLE QUANTITY : 5.3 mg
 FILE TYPE : DSC
 PRINTING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT/dt	T(hold)	t(hold)	ΔT(add)	x	n(repeat)
1:	20	220	0	0	0	0
2:	-20	40	0	0	0	0
3:	0	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0	0



MP. [1] -----TEMP (°C)---Heat Flow (mW)-----
 107.2 -2.2157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I C I
 223-02000-11
 01111A
 SHIMADZU

==== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

40.01.08

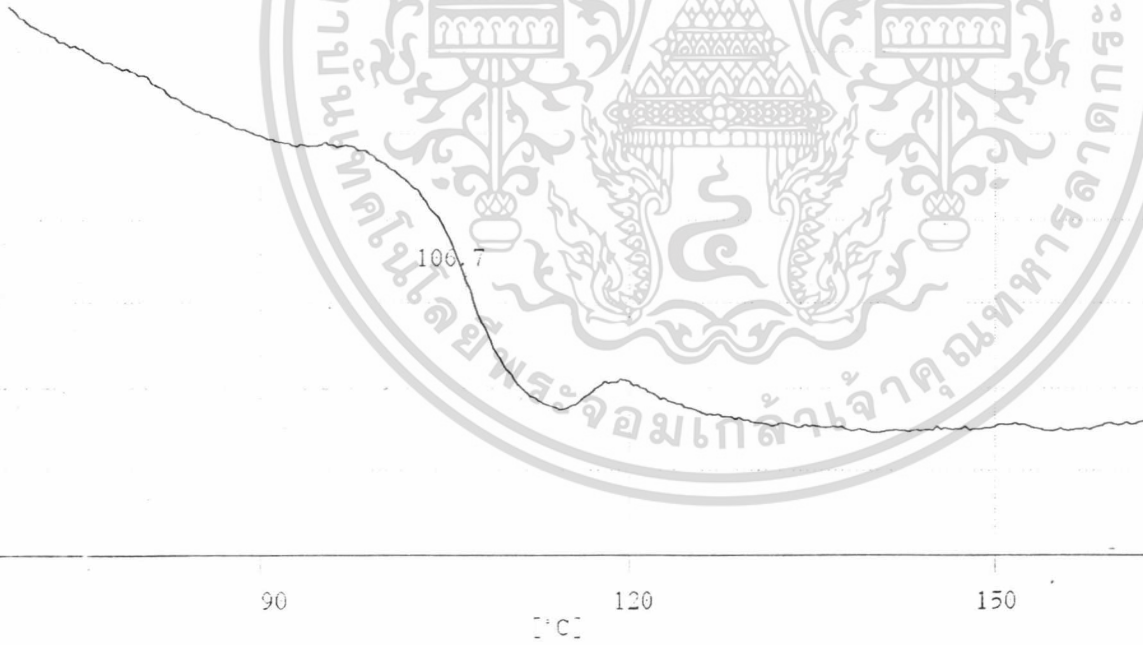
NAME <<PS2.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	ΔT	dt	T(hold)	τ(hold)	ΔT(add)	x	n(repeat)
1:	20		220	0	0		0
2:	>20		40	0	0		0
3:	0		0	0	0		0
4:	0		0	0	0		0
5:	0		0	0	0		0

TEST ID : 40.01.08
 SAMPLE NAME : PS - 20% SBS
 INSTRUMENT : SPEED 10, 185 190 195 200
 SAMPLE QUANTITY : 4.9 mg
 ANALYSIS TYPE : DSC
 SCANNING RATE : 1 sec

0.080mW/div



TEMP.] -----TEMP(°C)---Heat Flow(mW)-----
 1 106.7 -1.0137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

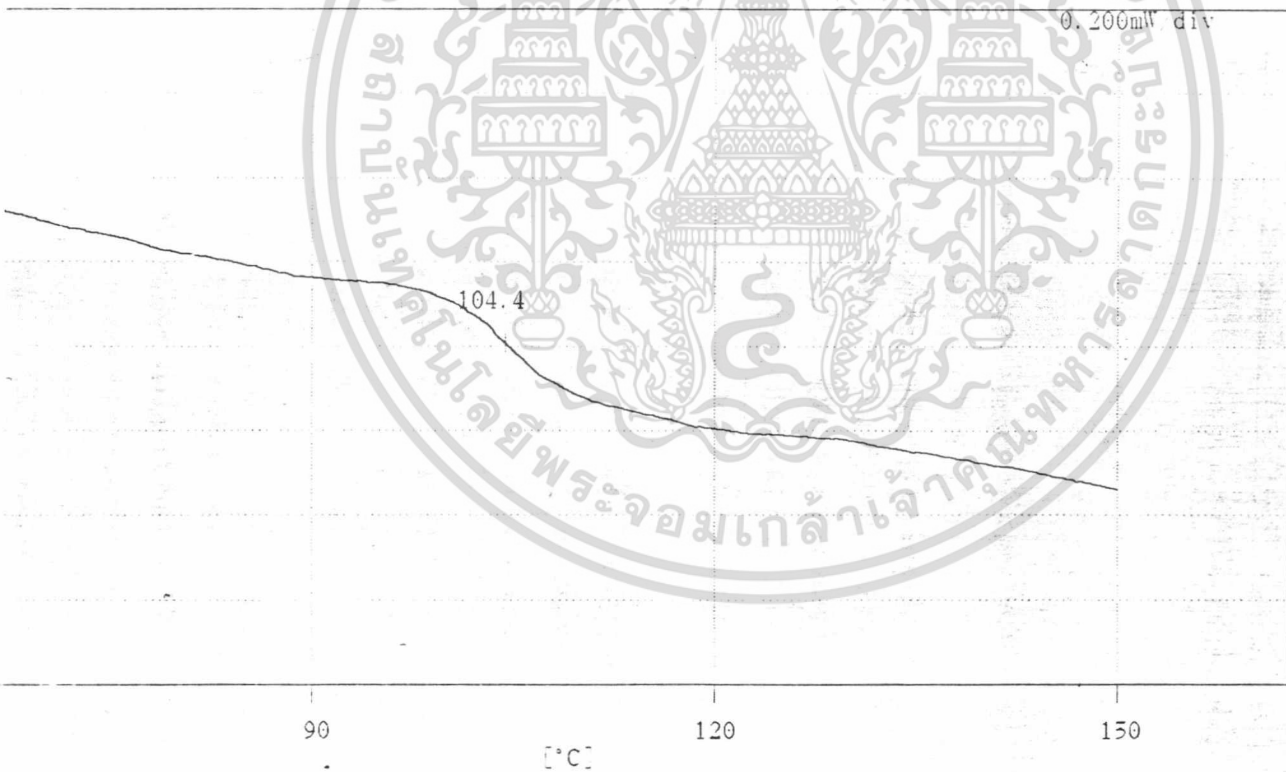
40/01/08

NAME <<PS3.000>>

(g,m/d) : 40 01 08
 LE NAME : PS -30 SCS
 EXT : SPEED 10. (75 150 1.7 1.9)
 LE Q'TITY: 4.3 mg
 LE TYPE : DSC
 LING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	Start T	End T (hold)	τ (hold)	ΔT (add)	x	n (repeat)
1	20	220	0	0	0	0
2	20	40	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0

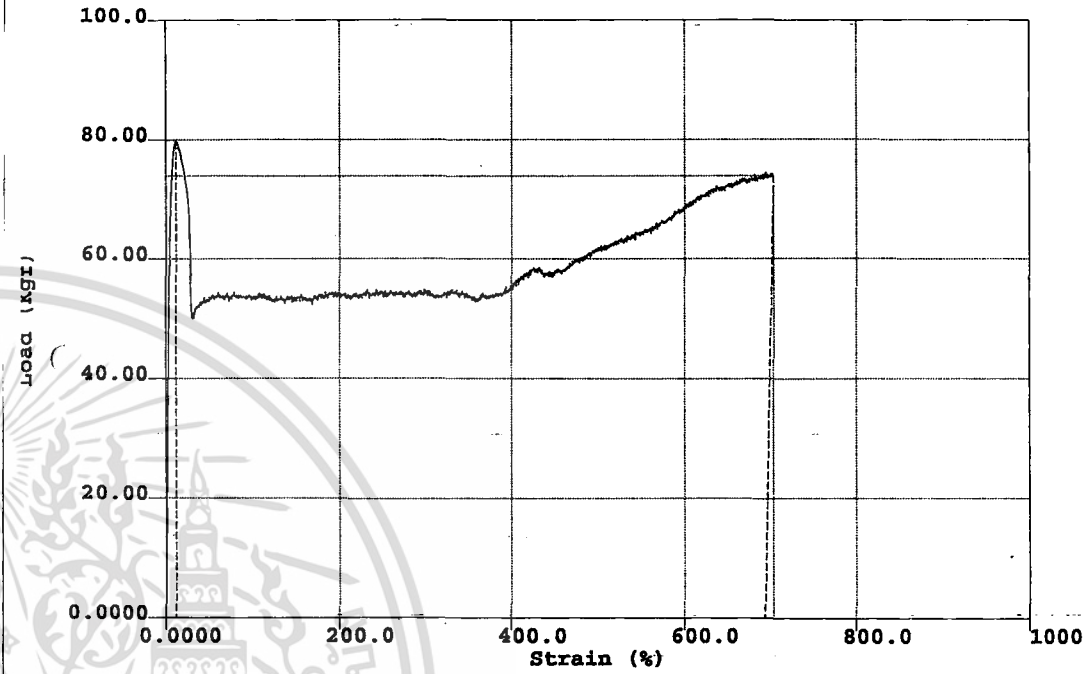
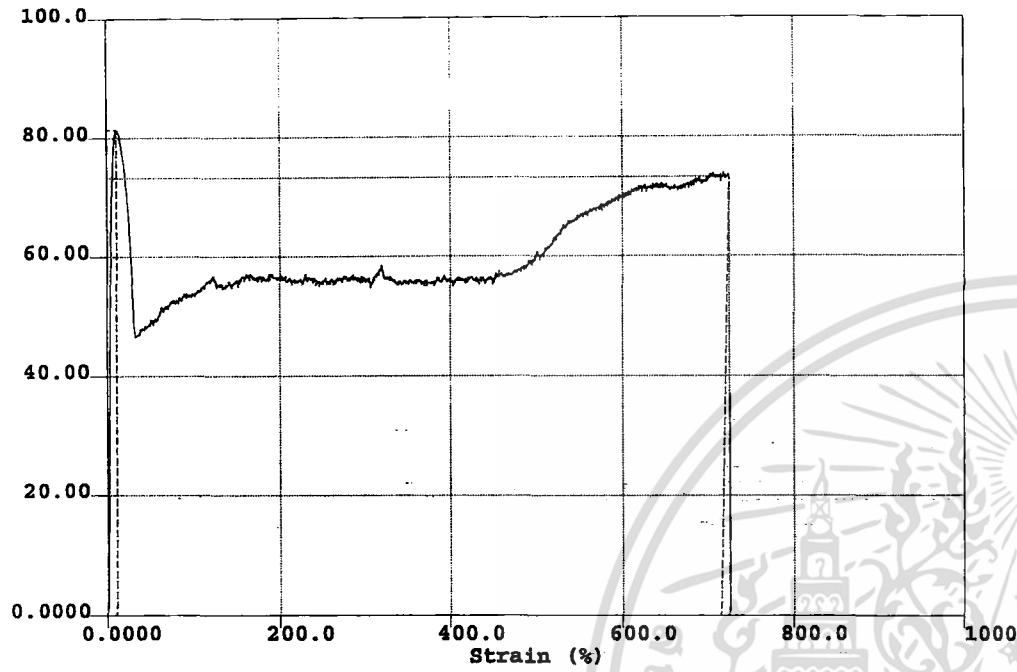


EMP.] -----TEMP (°C)-----Heat Flow (mW)-----
 1 104.4 -2.3272

223-02000-11
 911111A
 SHIMADZU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHIMADZU

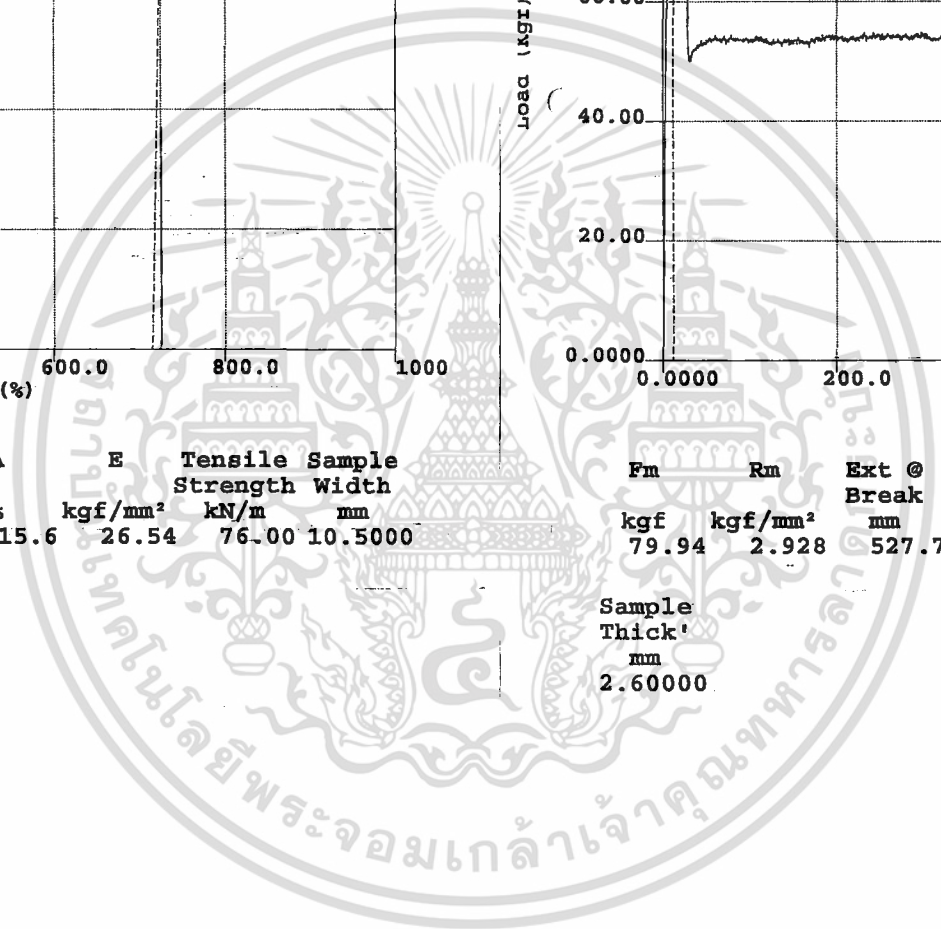


Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
81.38	2.981	544.3	725.7	715.6	26.54	76.00	10.5000

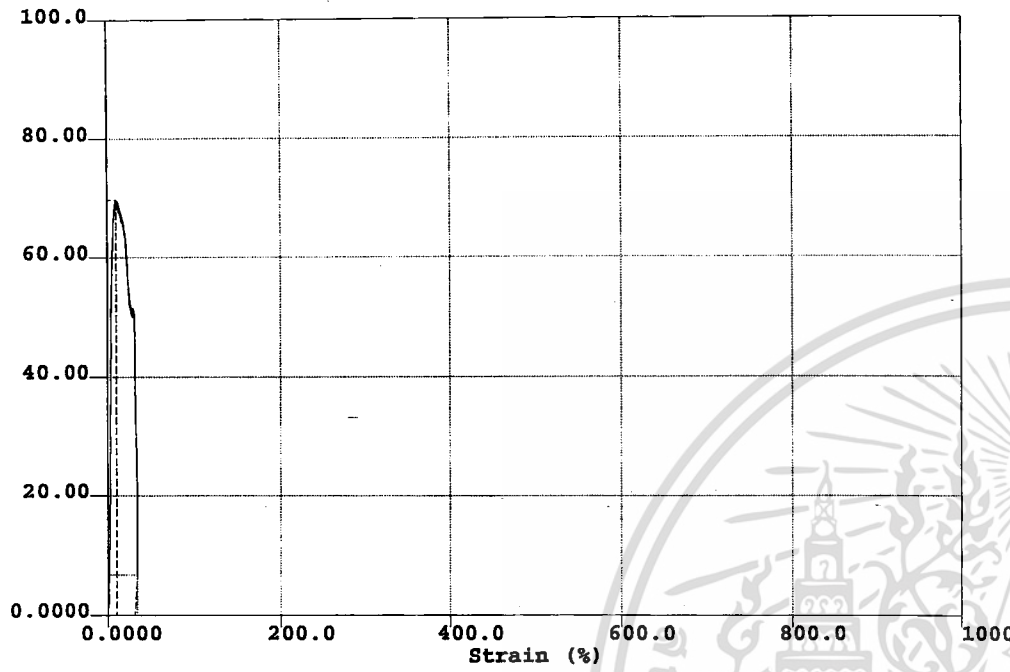
Sample Thick'
mm
2.60000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
79.94	2.928	527.7	703.6	694.2	28.67	74.67	10.5000

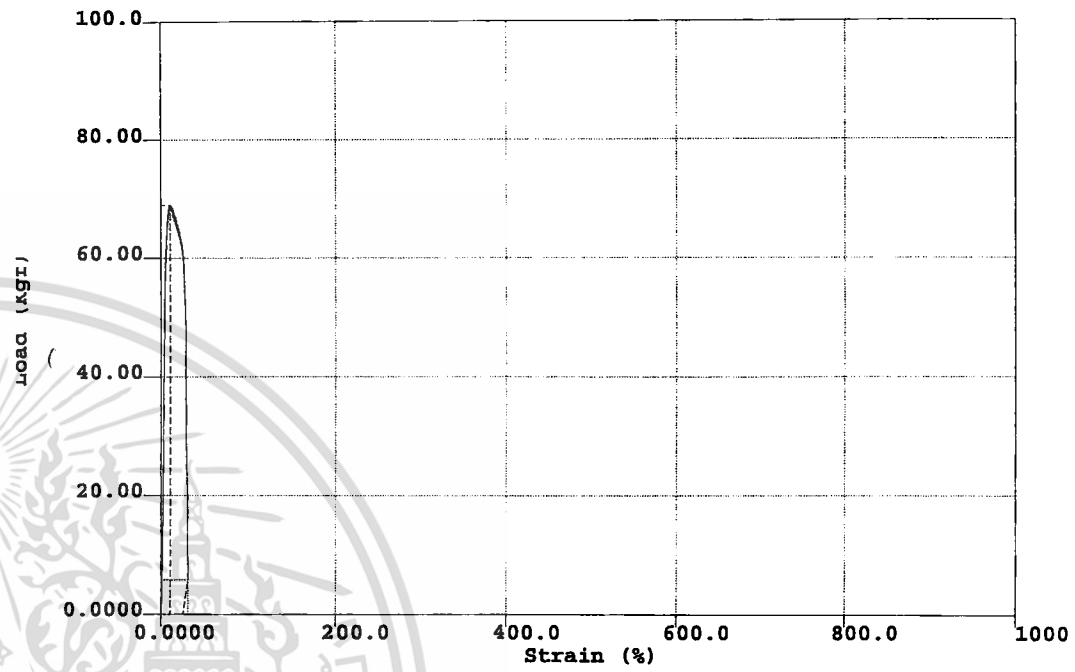
Sample Thick'
mm
2.60000



TENSILE



TENSILE

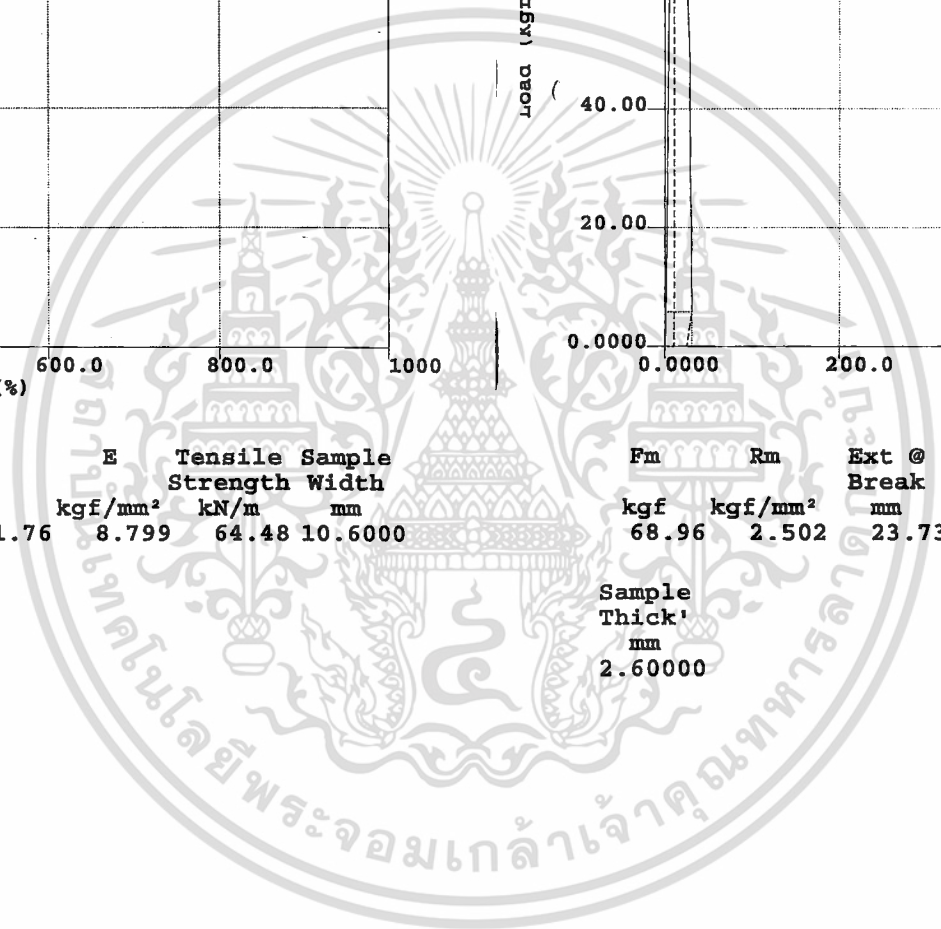


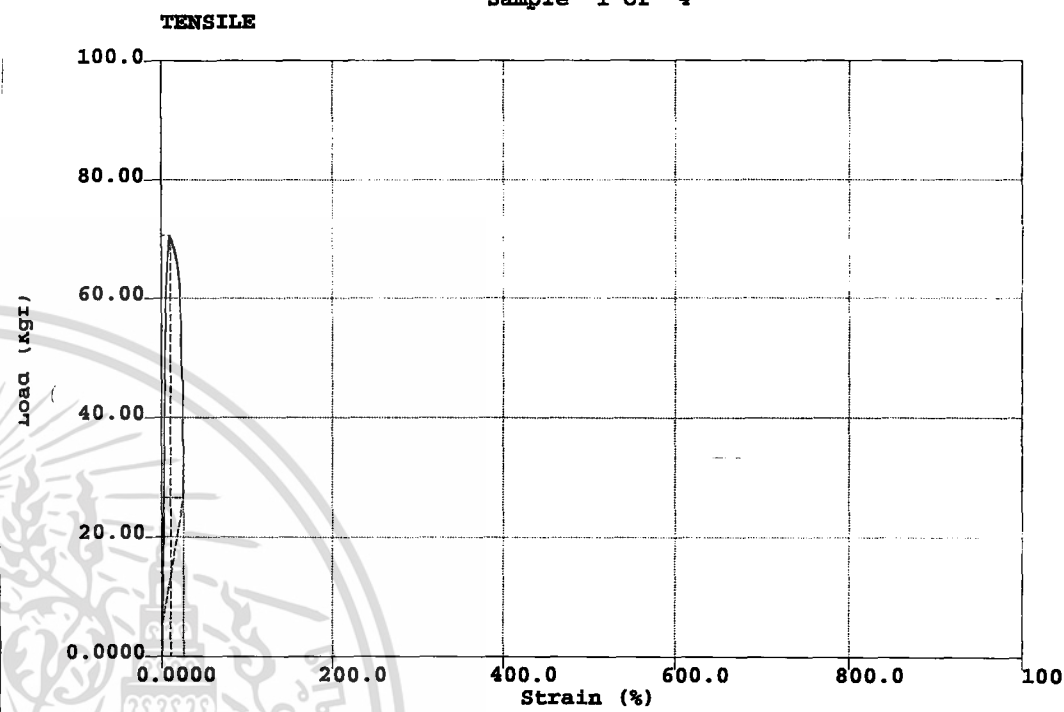
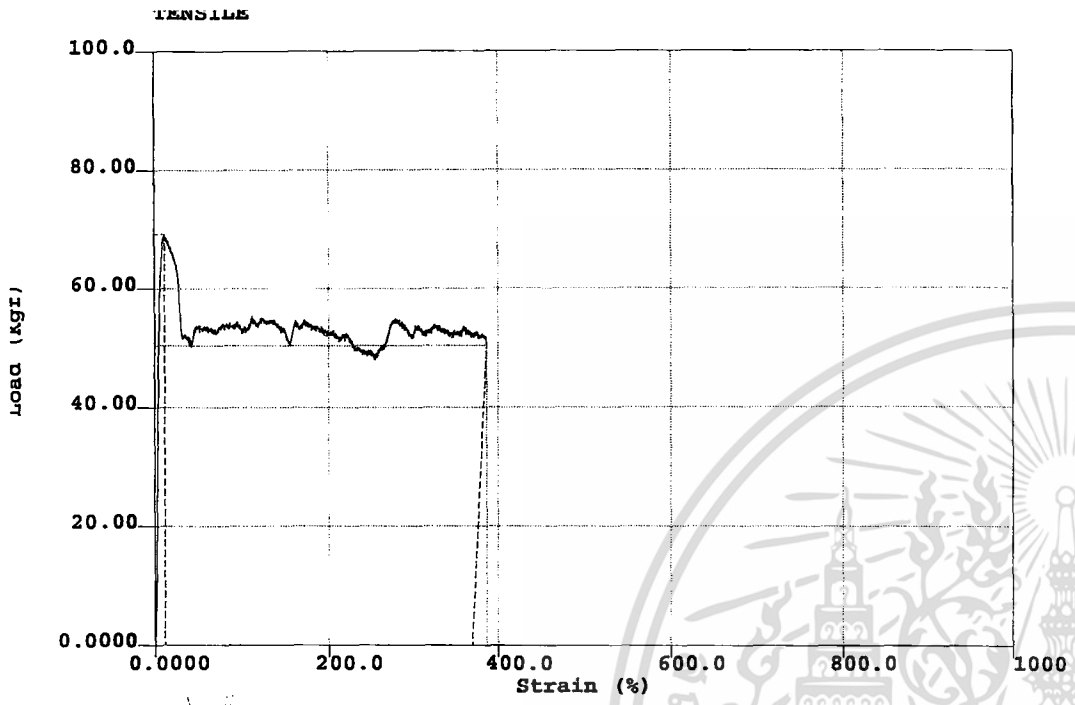
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
69.69	2.529	25.92	34.56	31.76	8.799	64.48	10.6000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
68.96	2.502	23.73	31.64	25.57	3.486	63.80	10.6000

Sample Thick'
mm
2.60000

Sample Thick'
mm
2.60000



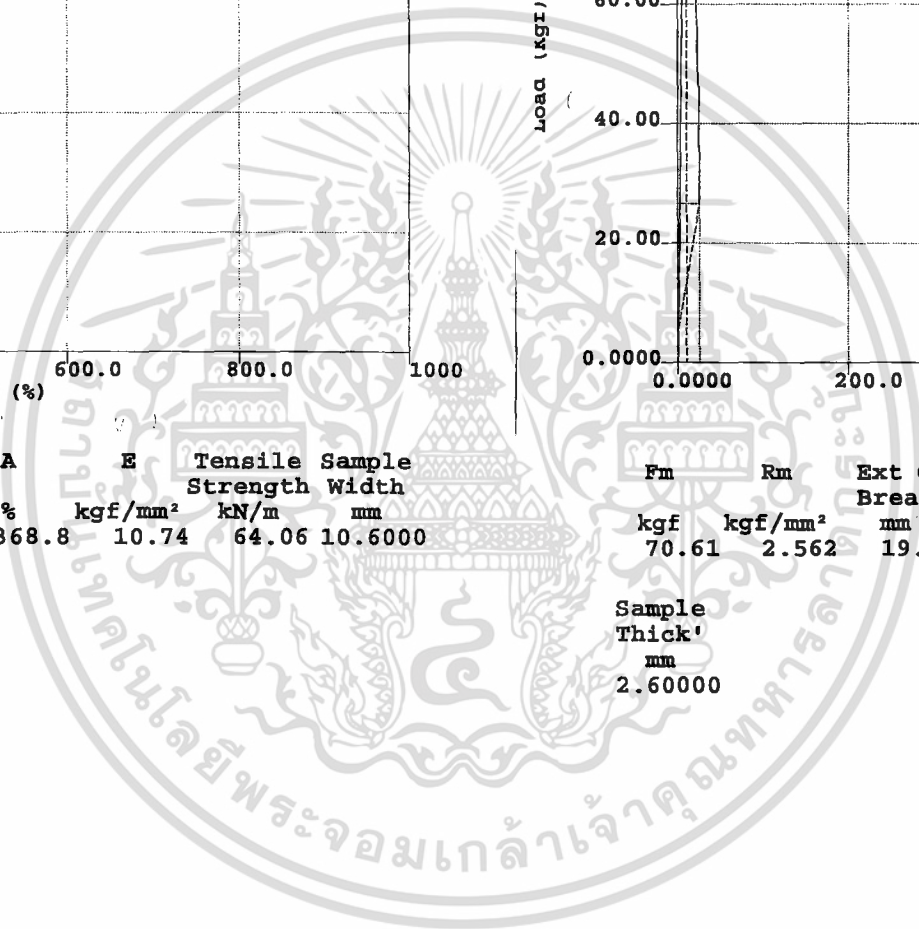


Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
69.25	2.513	289.4	385.9	368.8	10.74	64.06	10.6000

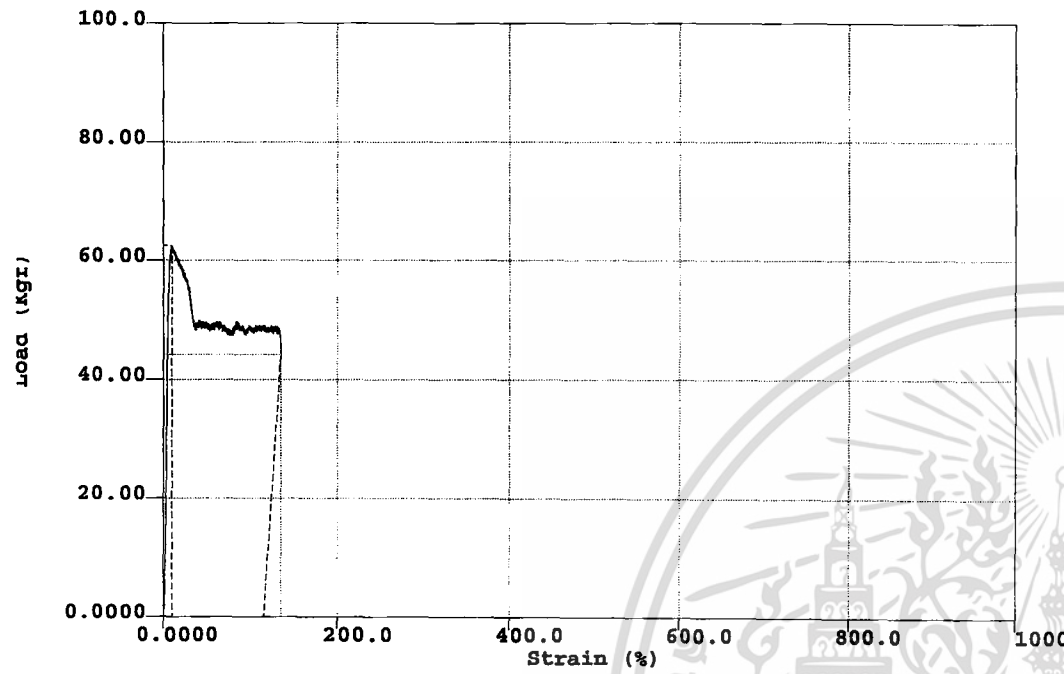
Sample Thick'
mm
2.60000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
70.61	2.562	19.26	25.68	-5.297	3.118	65.33	10.6000

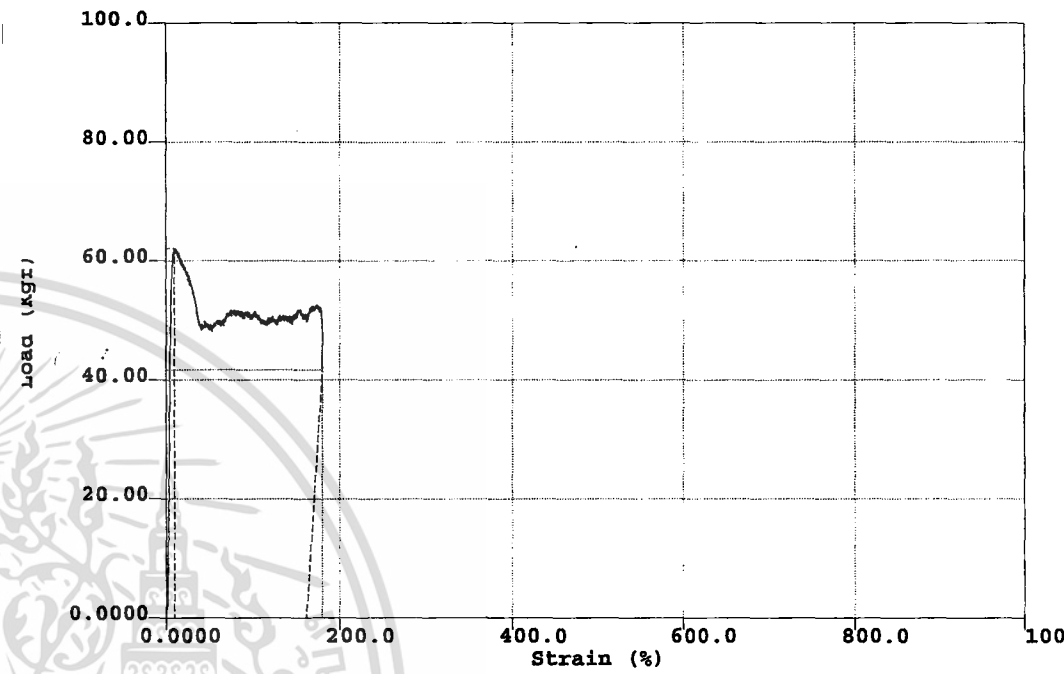
Sample Thick'
mm
2.60000



TENSILE



TENSILE

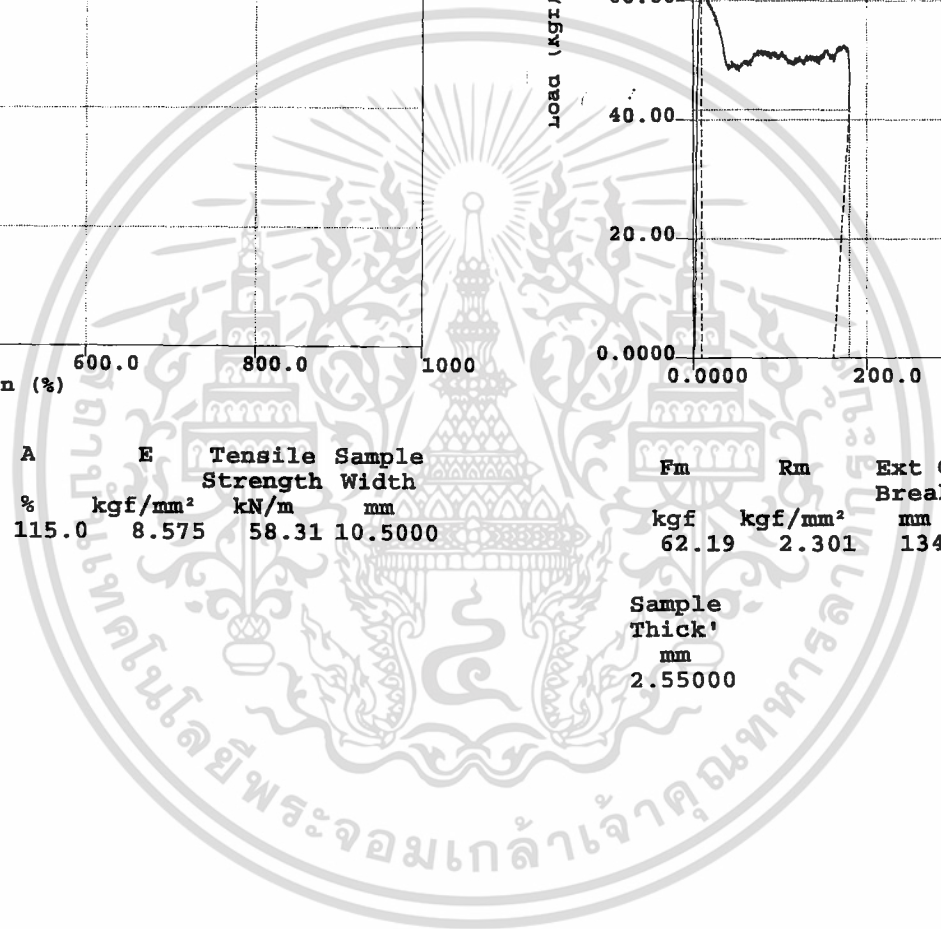


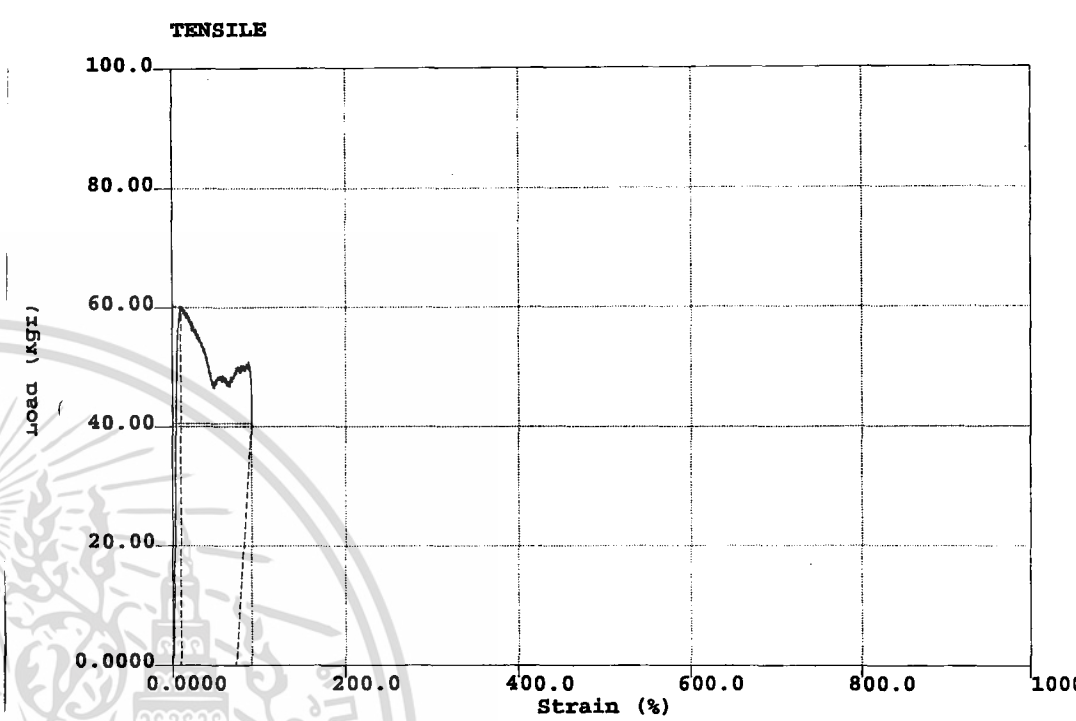
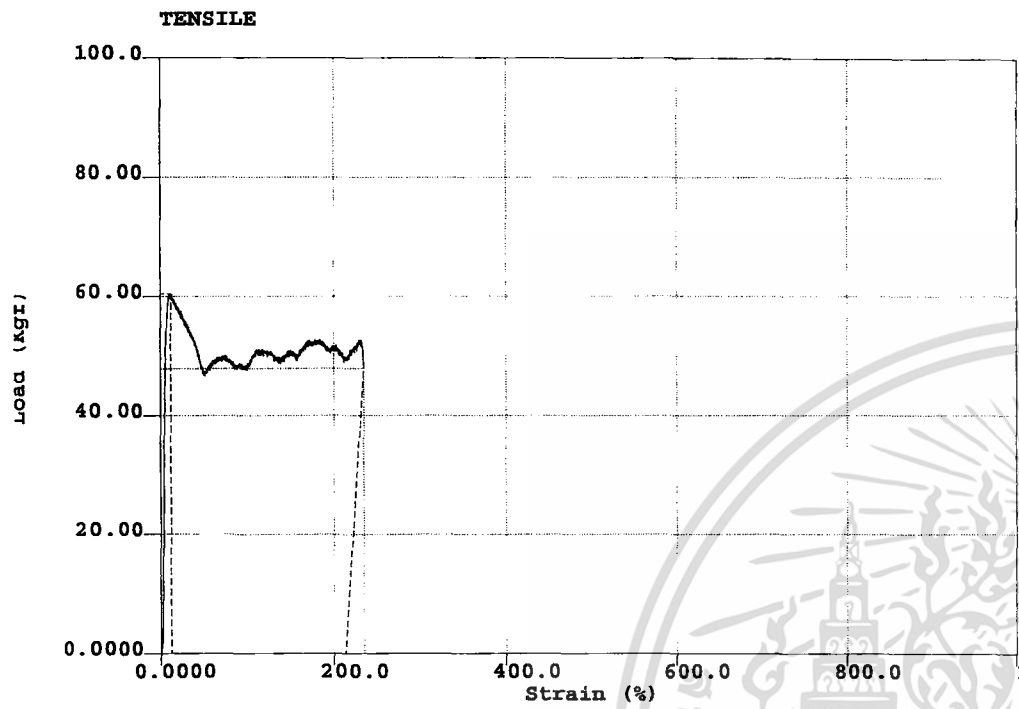
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
62.43	2.378	101.0	134.7	115.0	8.575	58.31	10.5000

Sample Thick'
mm
2.50000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
62.19	2.301	134.9	179.8	161.2	8.253	57.54	10.6000

Sample Thick'
mm
2.55000





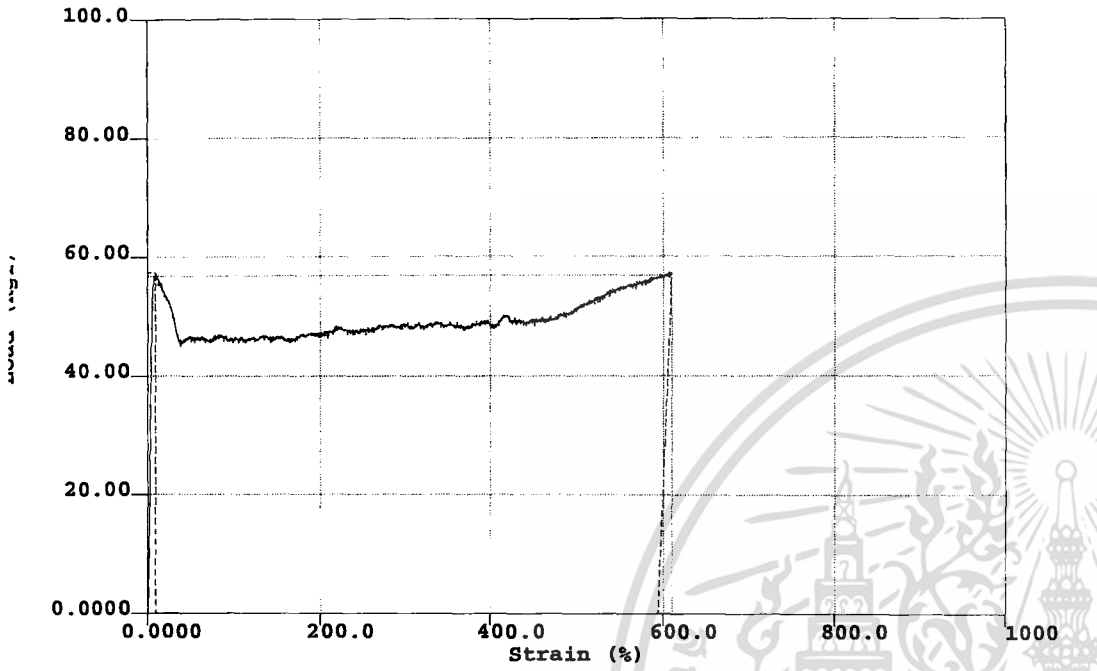
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
60.51	2.249	175.3	233.8	212.9	8.540	56.25	10.5500

Sample Thick'
mm
2.55000

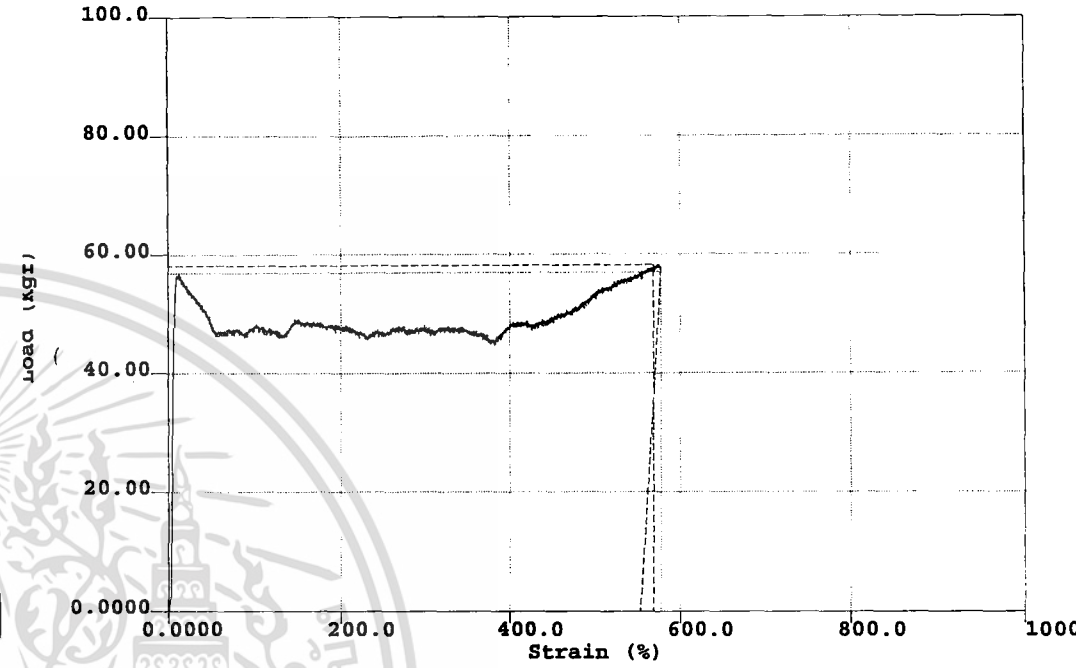
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
60.28	2.307	68.81	91.75	73.73	8.617	56.57	10.4500

Sample Thick'
mm
2.50000

TENSILE



TENSILE

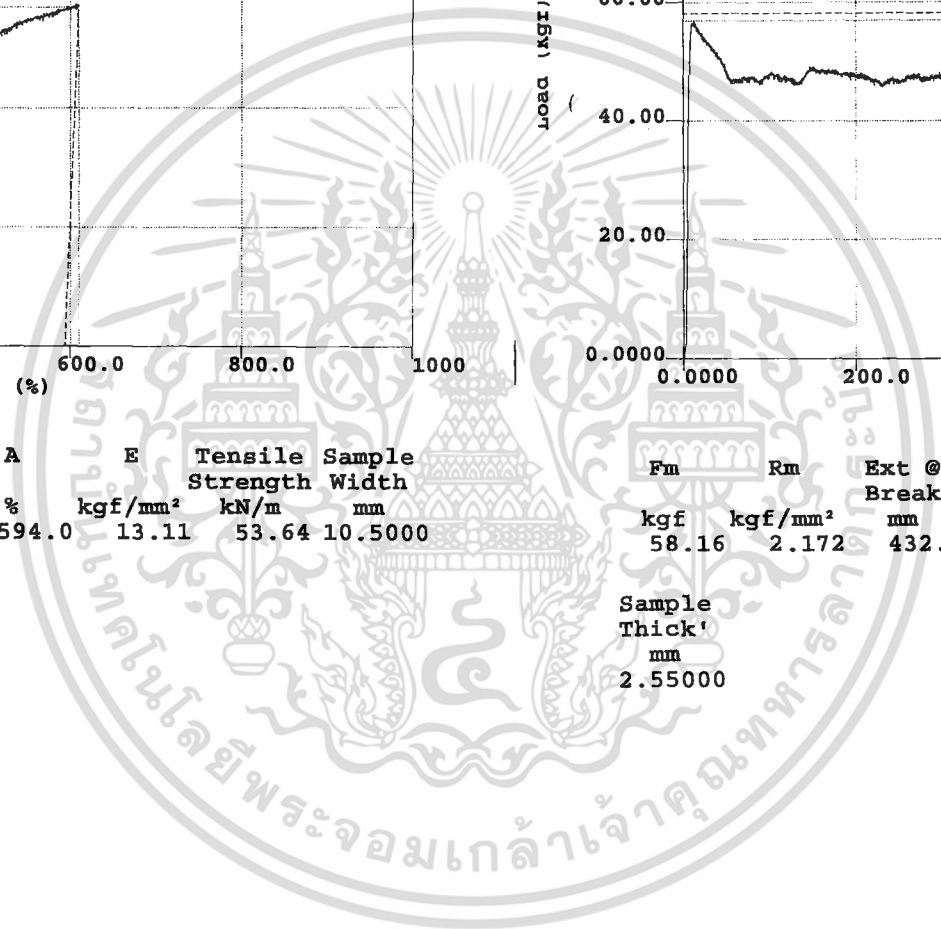


Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
57.43	2.188	457.9	610.5	594.0	13.11	53.64	10.5000

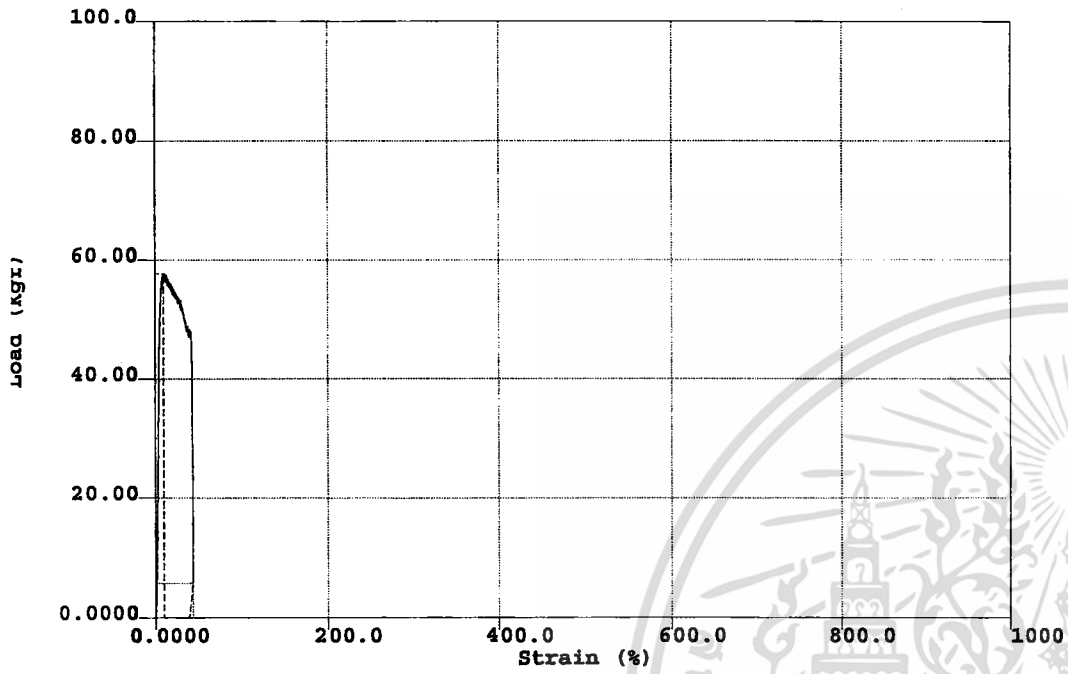
Sample Thick'
mm
2.50000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
58.16	2.172	432.8	577.1	552.5	8.652	54.32	10.5000

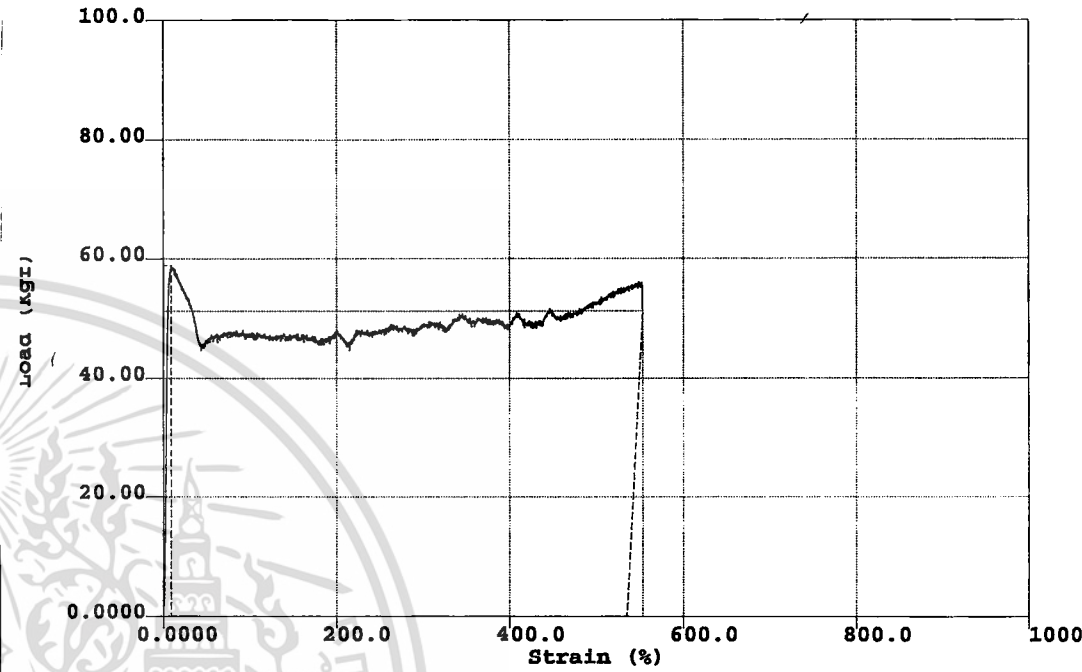
Sample Thick'
mm
2.55000



TENSILE



TENSILE



Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
57.75	2.106	32.77	43.70	39.62	5.206	53.69	10.5500

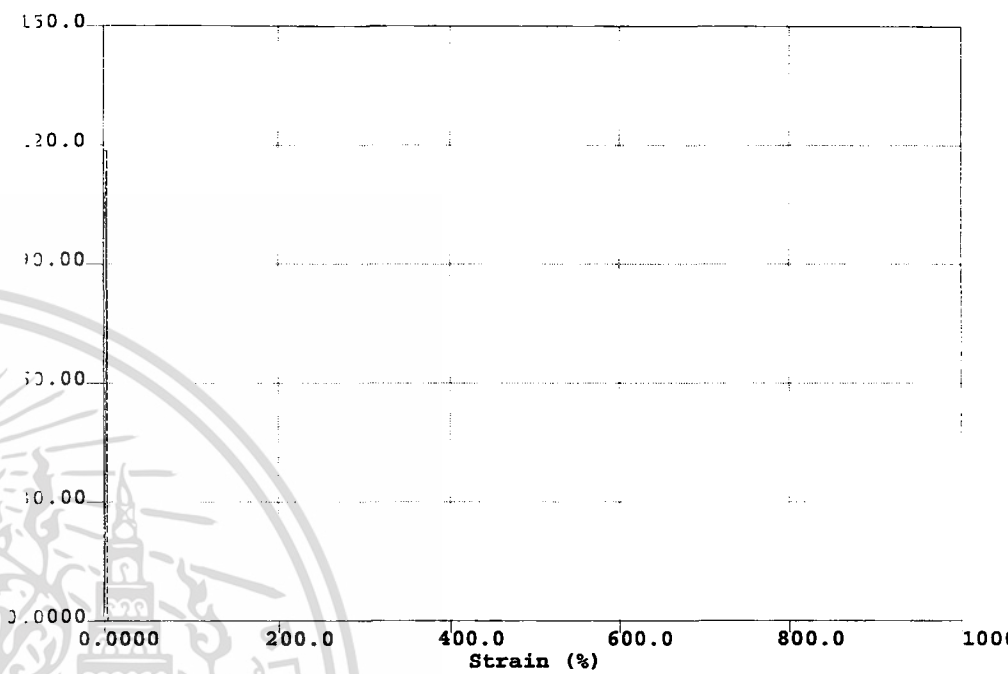
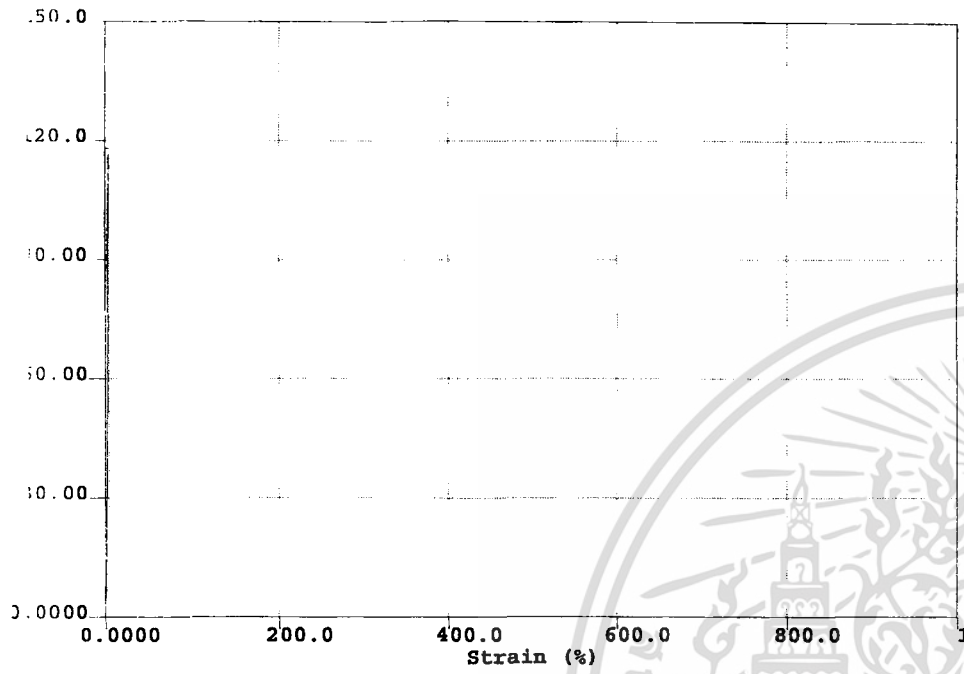
Sample Thick'
mm
2.60000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
58.96	2.149	414.9	553.2	534.3	9.937	54.81	10.5500

Sample Thick'
mm
2.60000

PS100

PP100

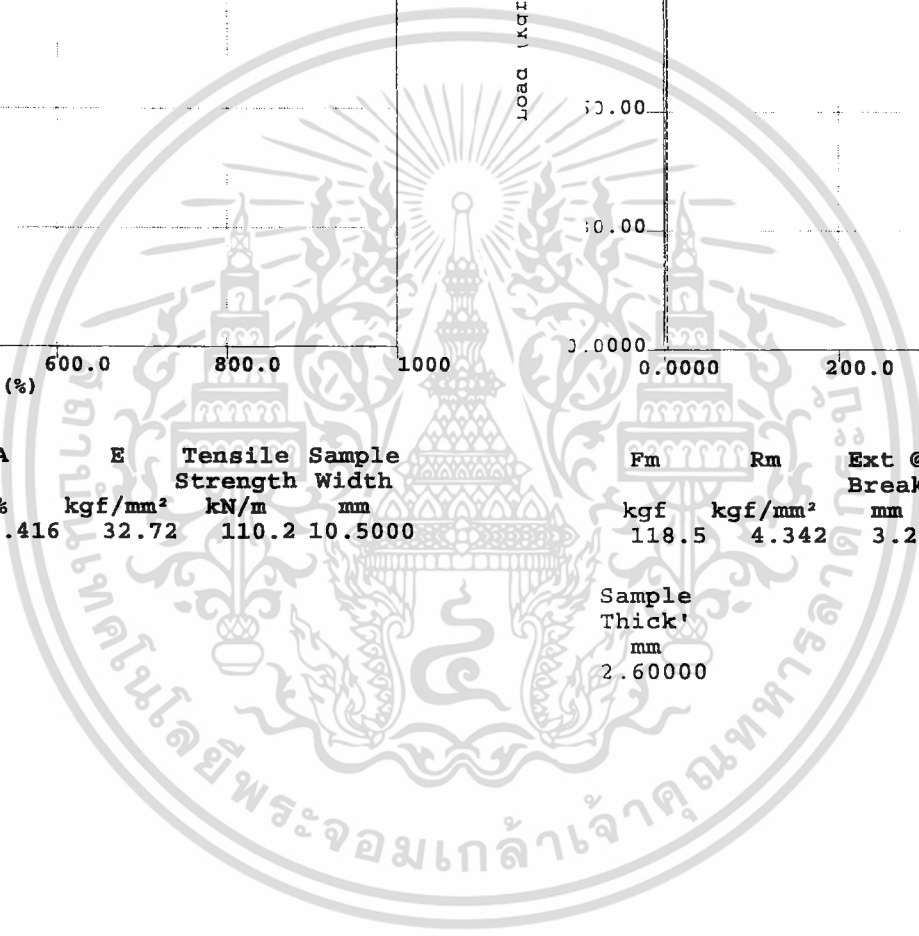


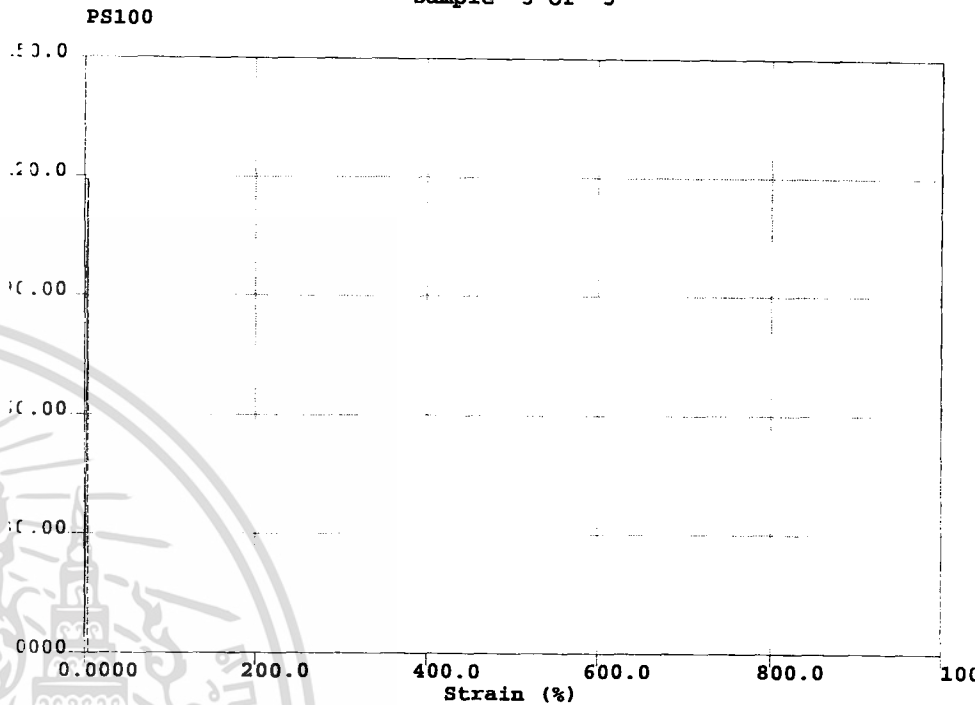
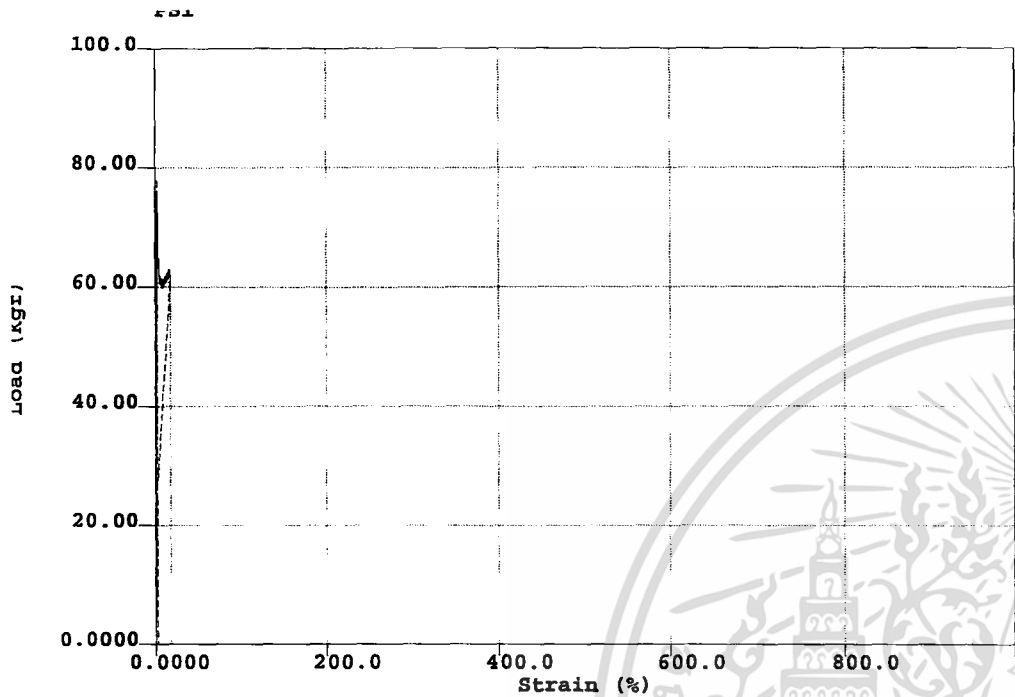
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
118.0	4.322	3.398	4.531	-8.416	32.72	110.2	10.5000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
118.5	4.342	3.210	4.280	-17.52	19.82	110.7	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000

Sample Thick'
mm
2.60000





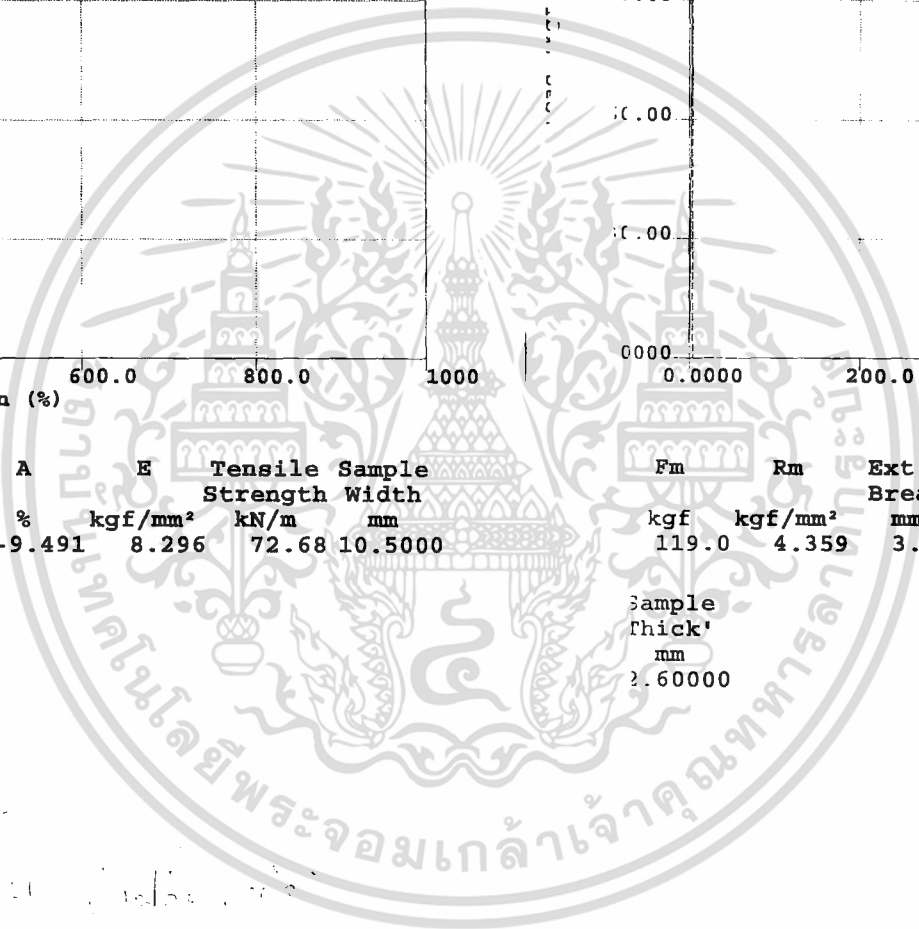
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
77.82	2.851	13.01	17.34	-9.491	8.296	72.68	10.5000

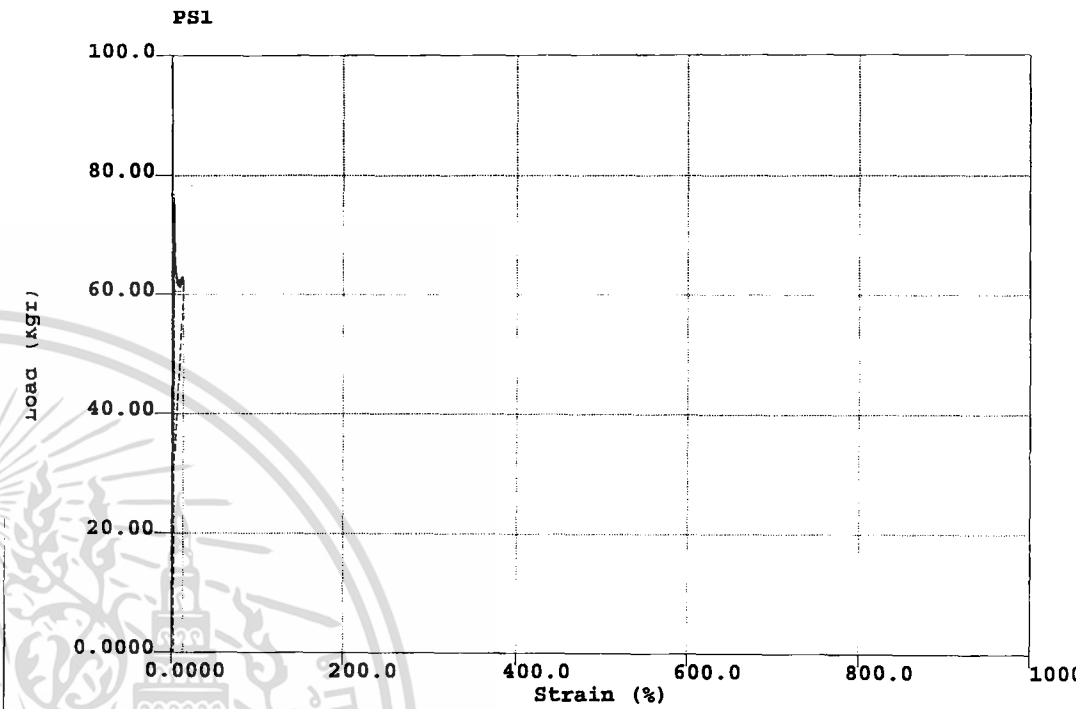
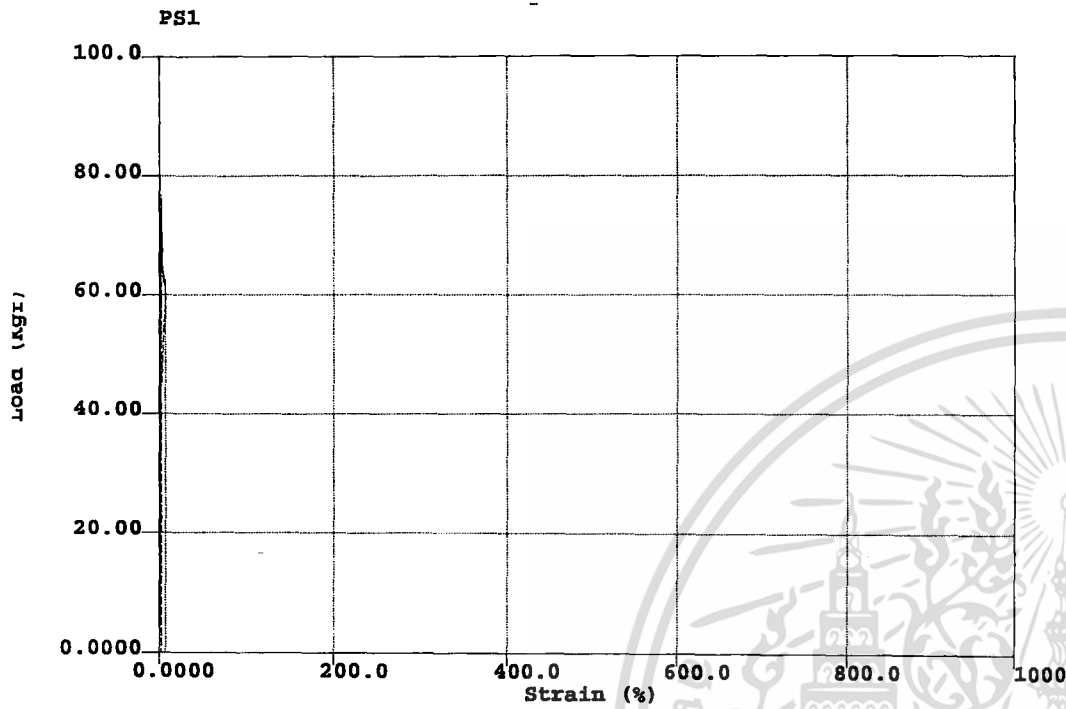
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
119.0	4.359	3.019	4.025	-9.320	32.28	111.1	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000

Sample Thick'
mm
2.60000

PS100 3.019
F81 13.01





Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
76.75	2.812	5.351	7.135	-11.80	11.62	71.69	10.5000

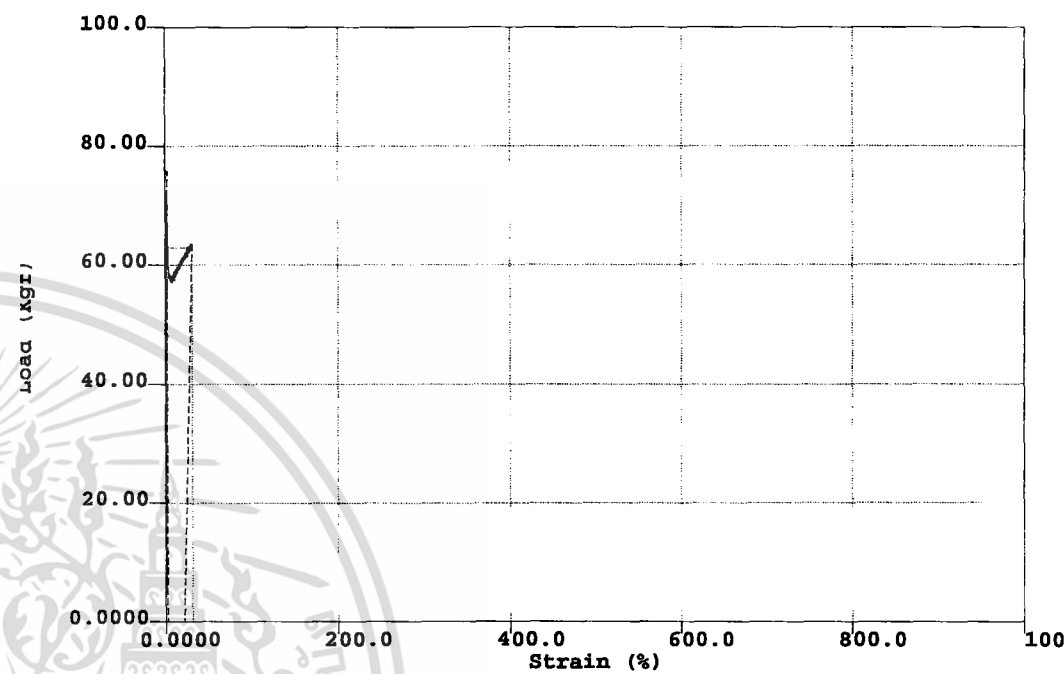
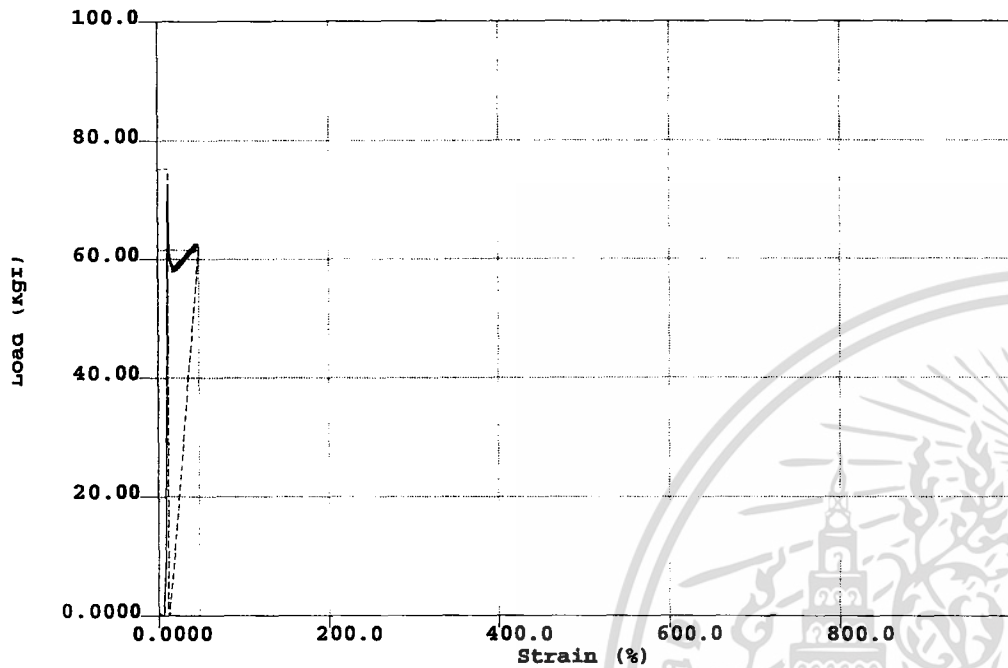
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
76.78	2.813	9.835	13.11	-8.809	10.12	71.71	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000

Sample Thick'
mm
2.60000

TENSILE

TENSILE

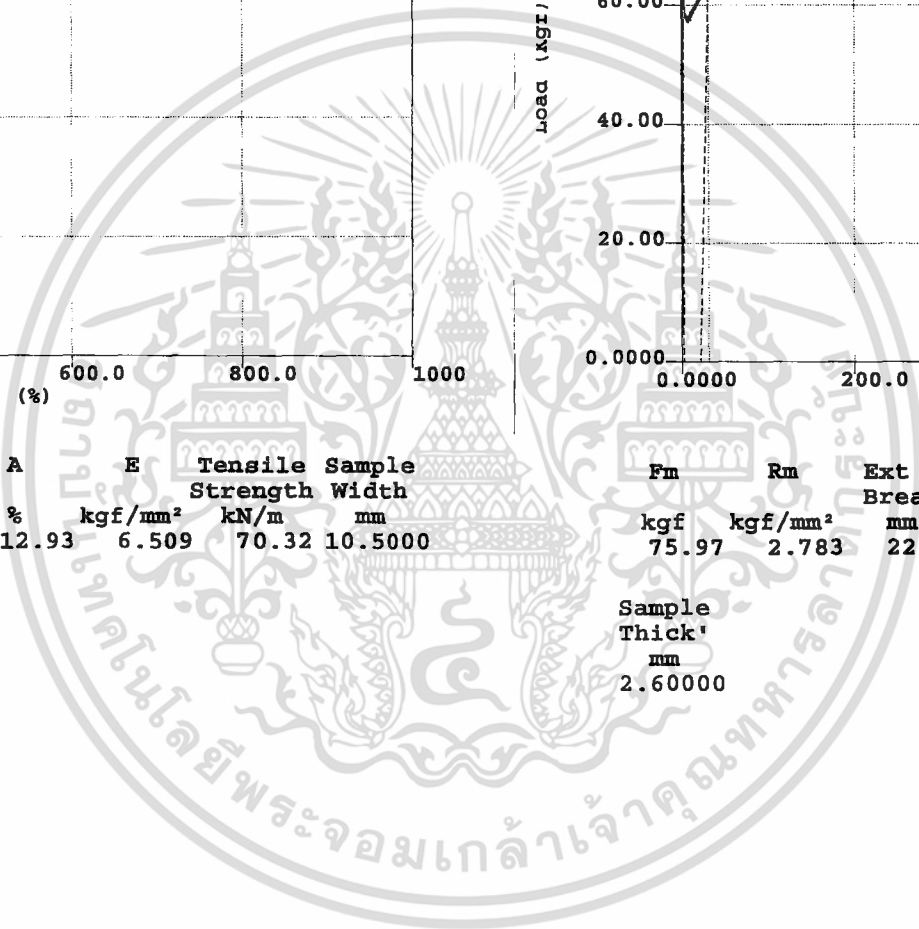


Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
75.30	2.758	35.66	47.55	12.93	6.509	70.32	10.5000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
75.97	2.783	22.98	30.63	21.17	24.36	70.95	10.5000

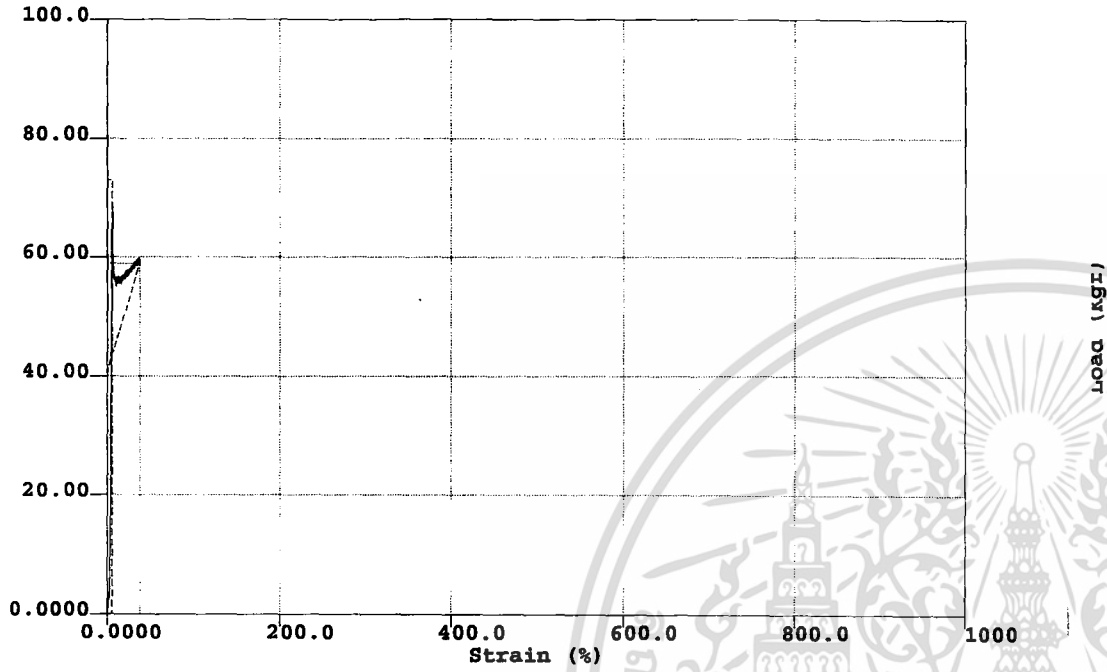
Sample Thick'
mm
2.60000

Sample Thick'
mm
2.60000

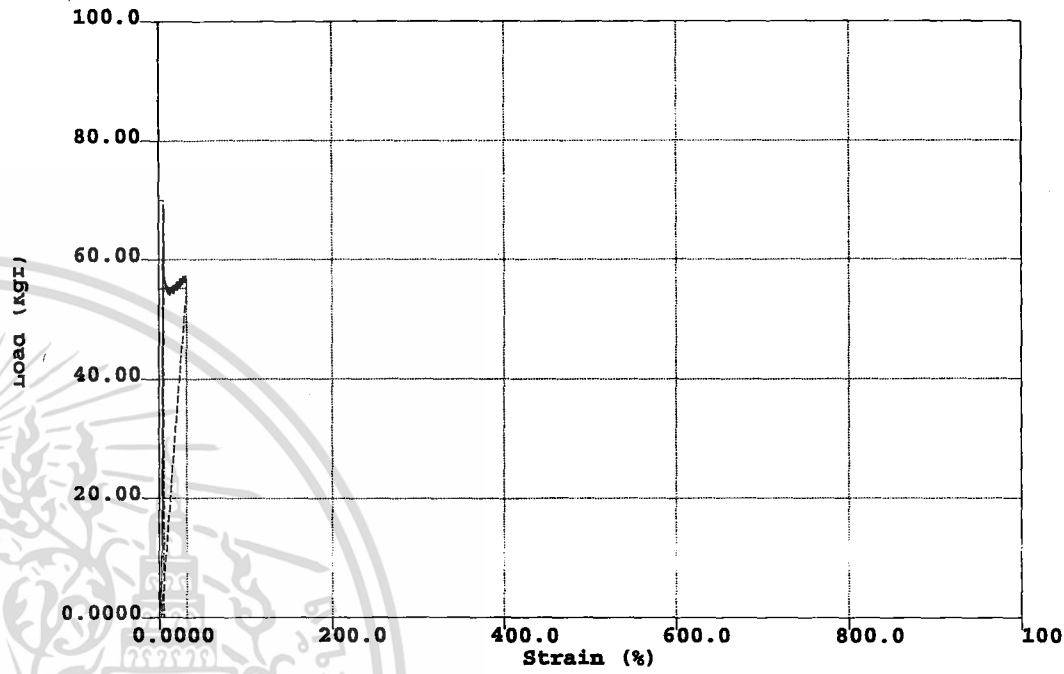


Sample 2 01 3

TENSILE



TENSILE

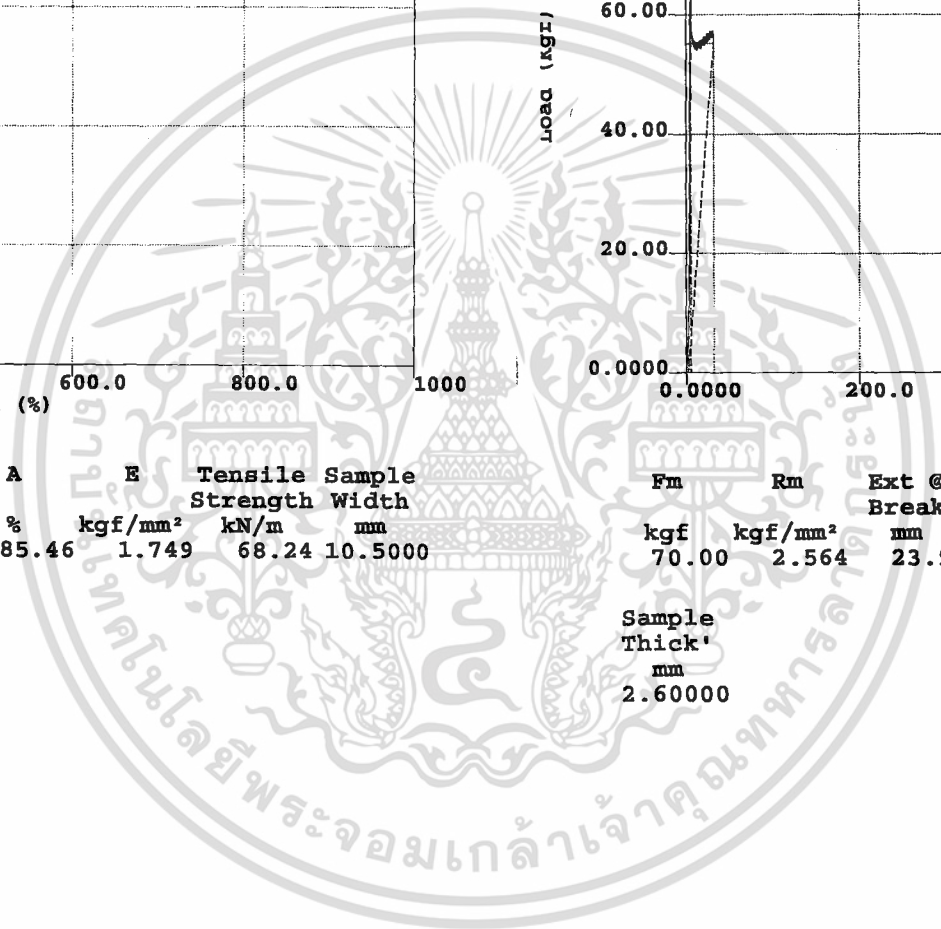


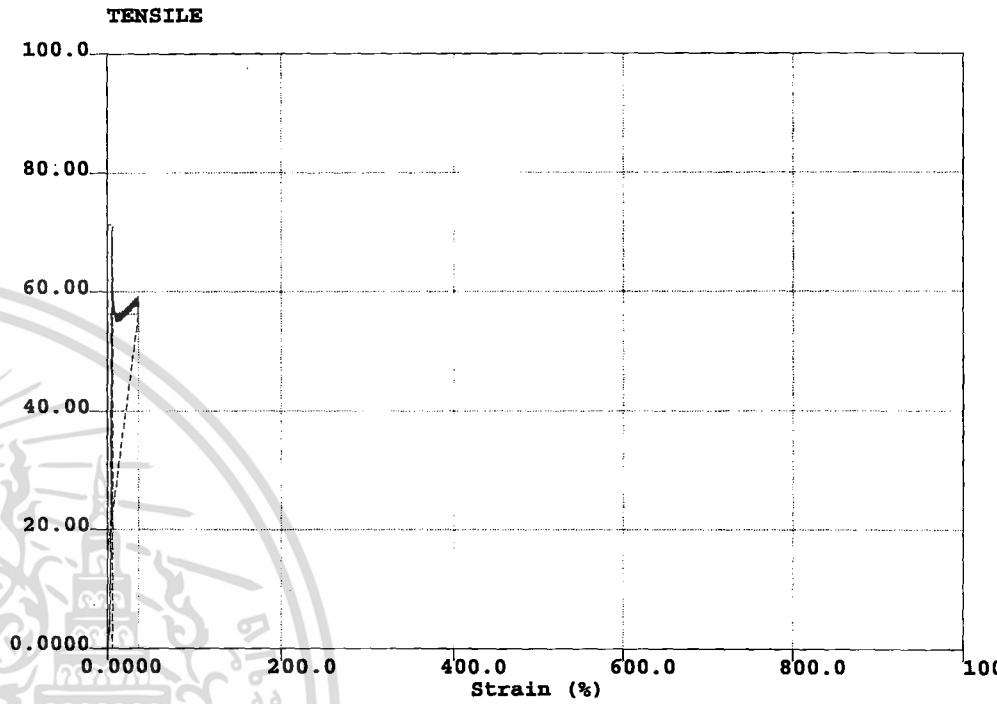
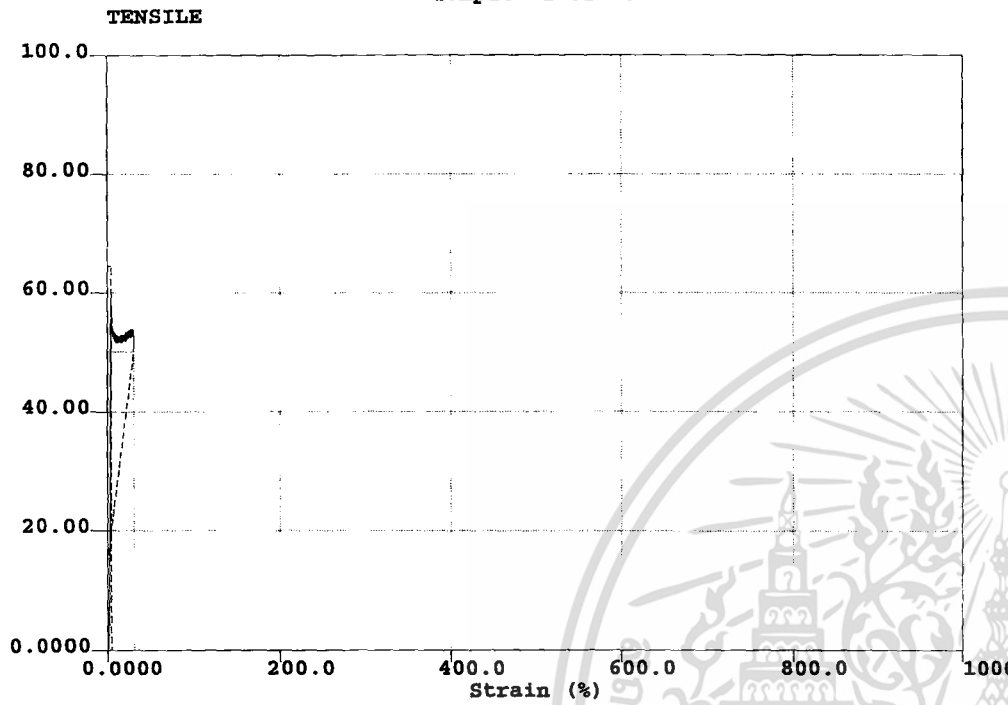
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
73.06	2.676	28.51	38.01	-85.46	1.749	68.24	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
70.00	2.564	23.92	31.89	2.245	6.817	65.38	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000



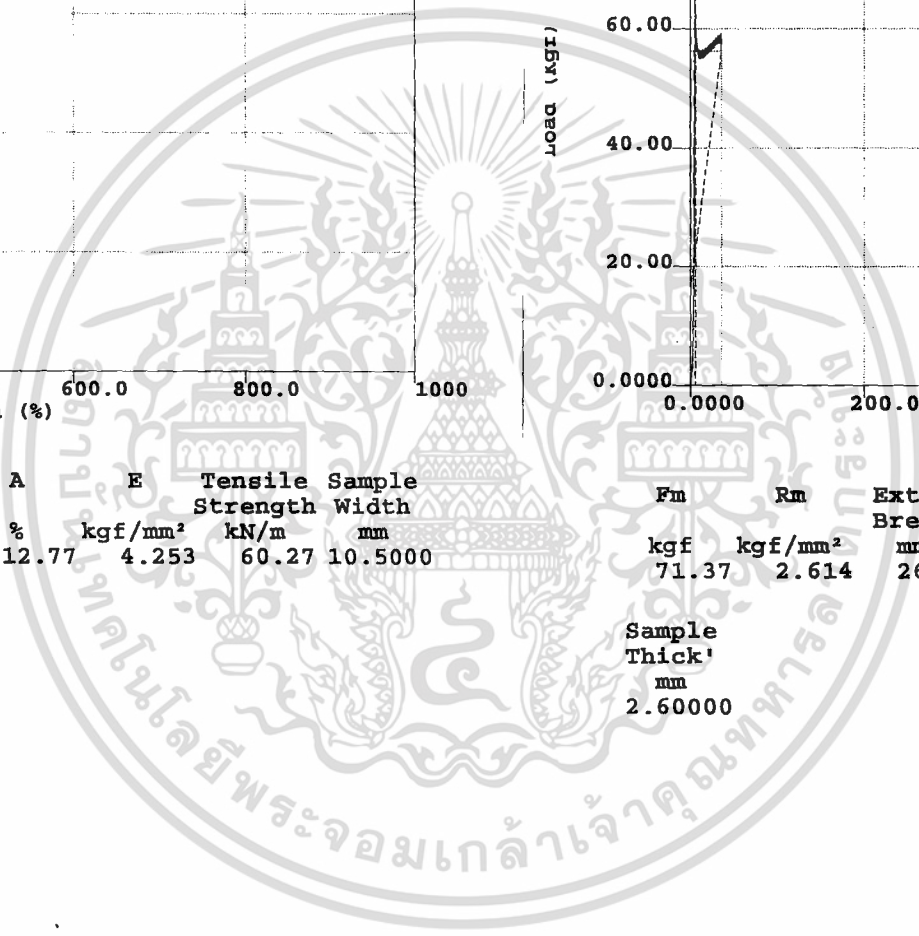


Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
64.53	2.364	22.83	30.44	-12.77	4.253	60.27	10.5000

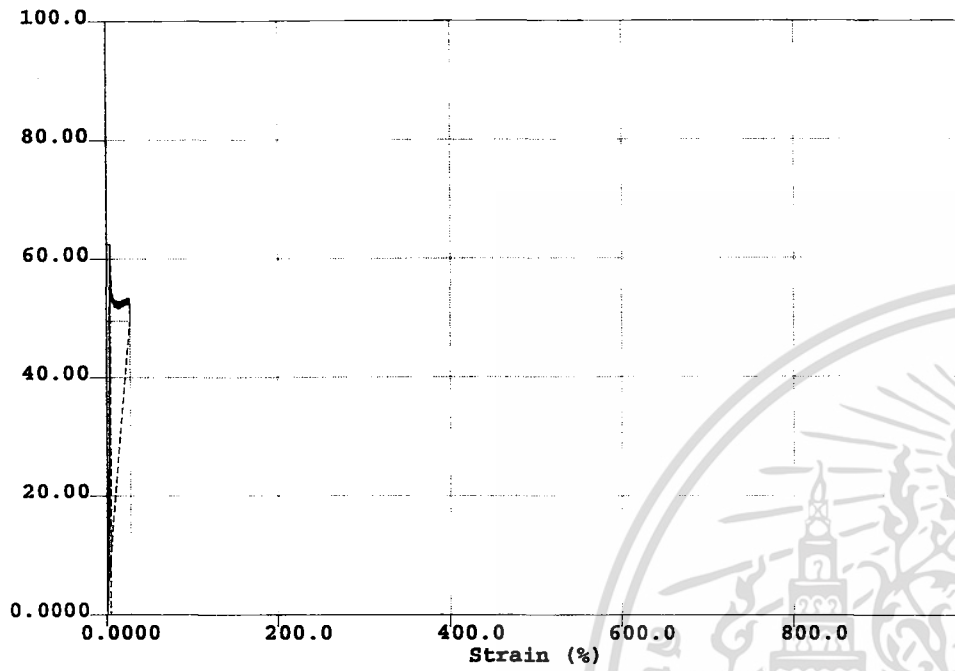
Sample Thick'
mm
2.60000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
71.37	2.614	26.74	35.66	-14.52	4.111	66.66	10.5000

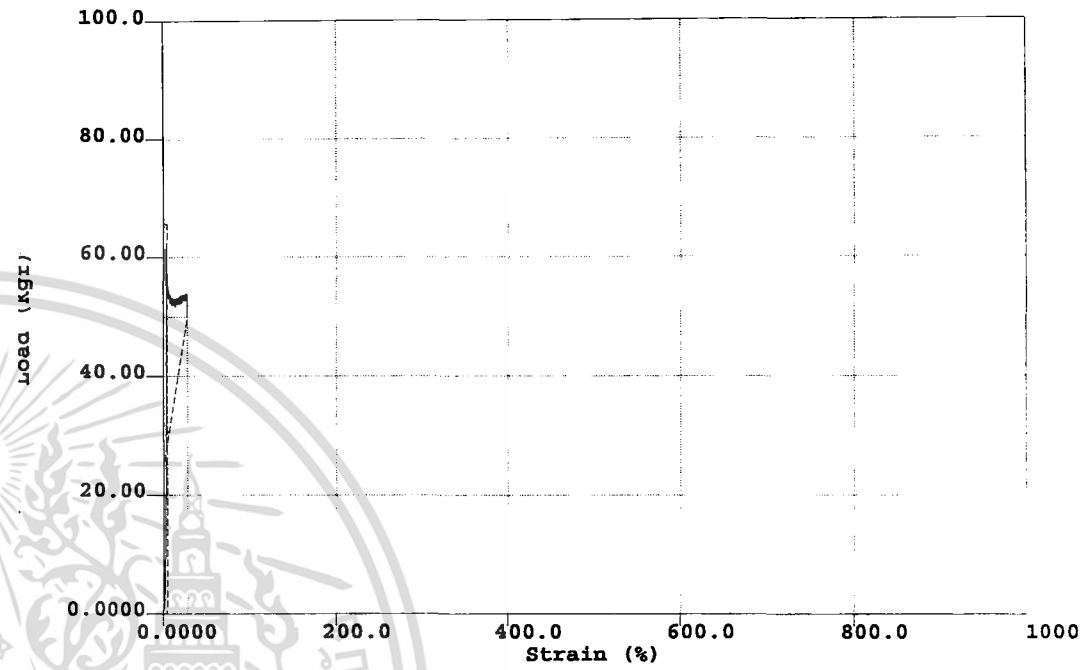
Sample Thick'
mm
2.60000



TENSILE



TENSILE



Load (kgf)

0.0000

20.00

40.00

60.00

80.00

100.00

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

1000

0.0000

200.0

400.0

600.0

800.0

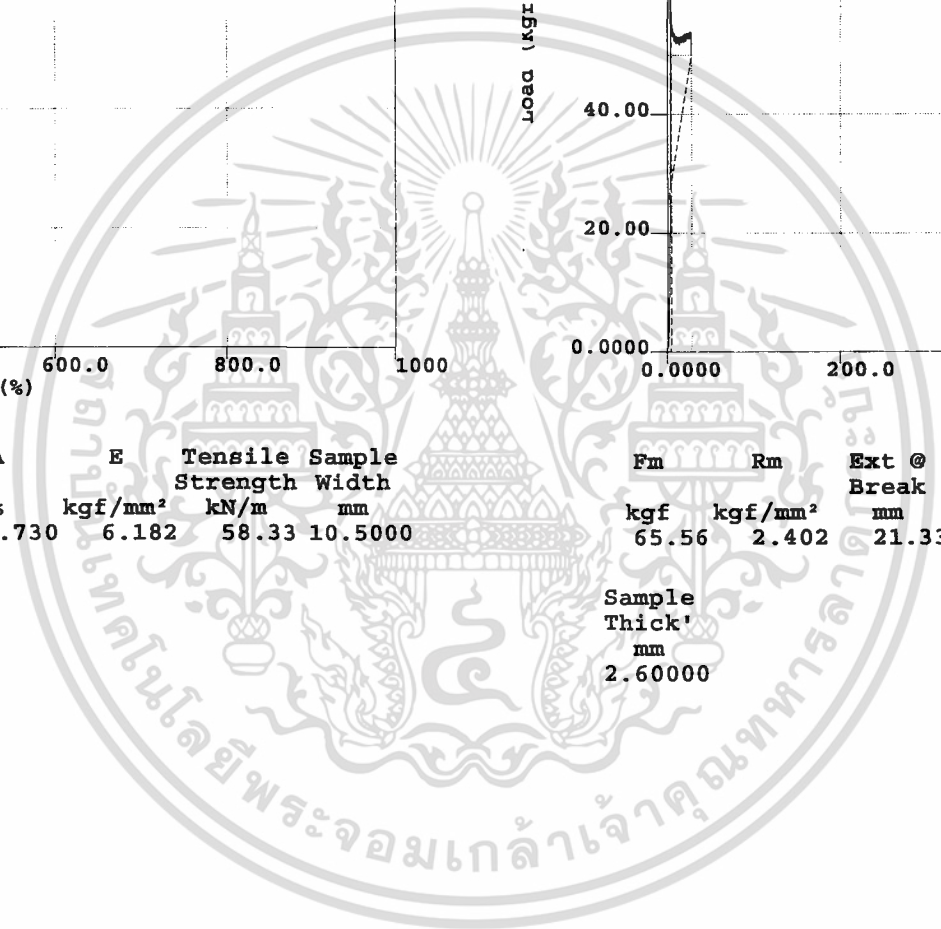
1000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
62.46	2.288	20.75	27.67	-1.730	6.182	58.33	10.5000

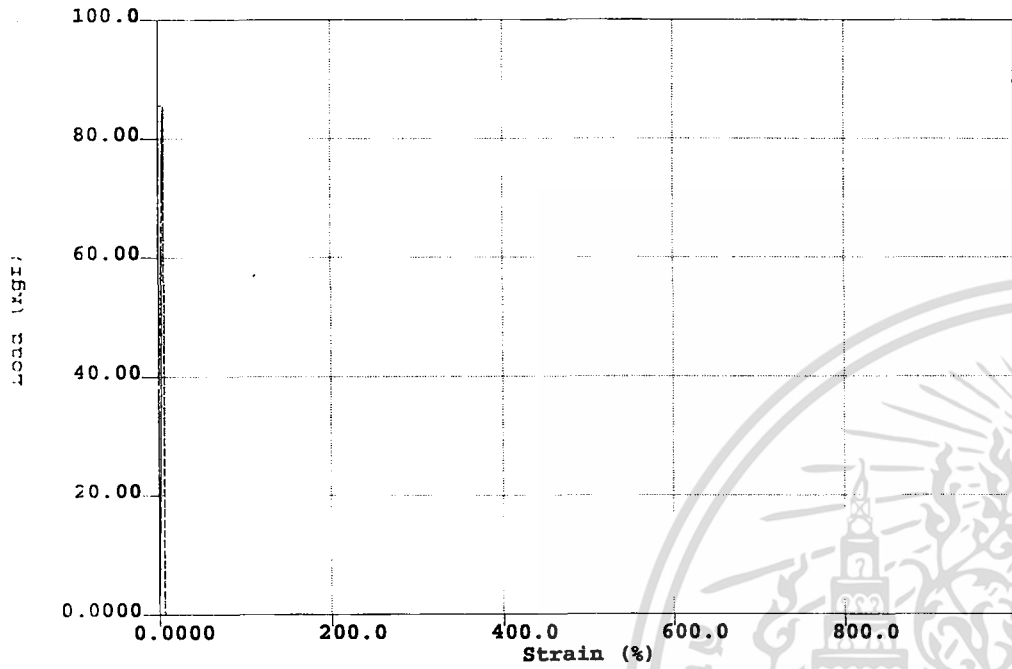
Sample Thick'
mm
2.60000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
65.56	2.402	21.33	28.43	-27.79	3.253	61.24	10.5000

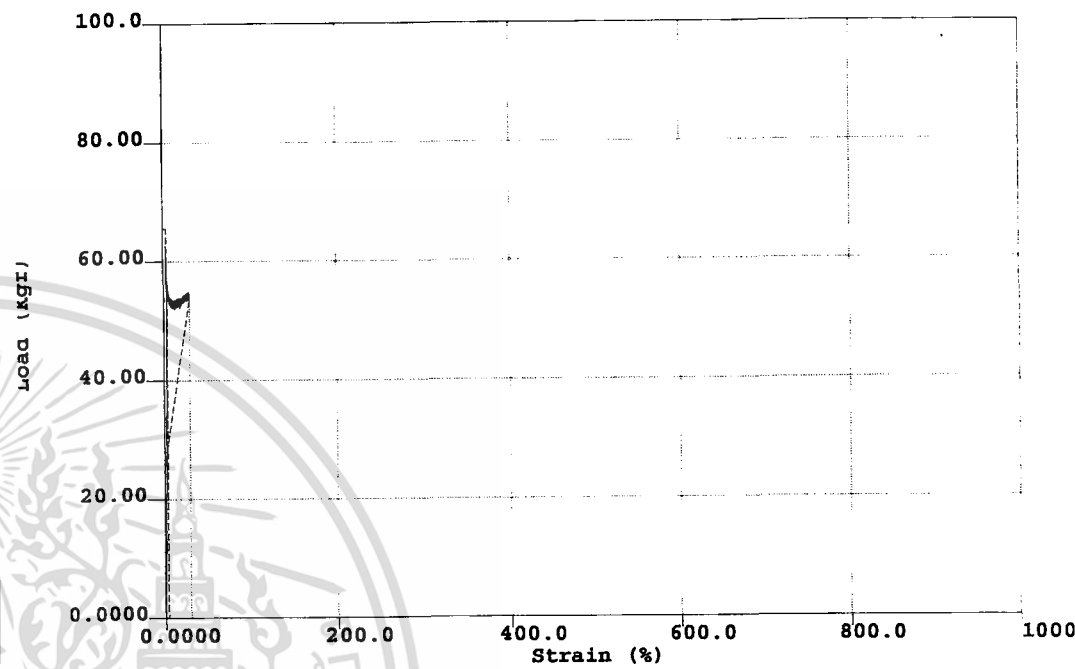
Sample Thick'
mm
2.60000



PP100



TENSILE



Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
85.56	3.134	4.820	6.427	-5.300	25.92	79.91	10.5000

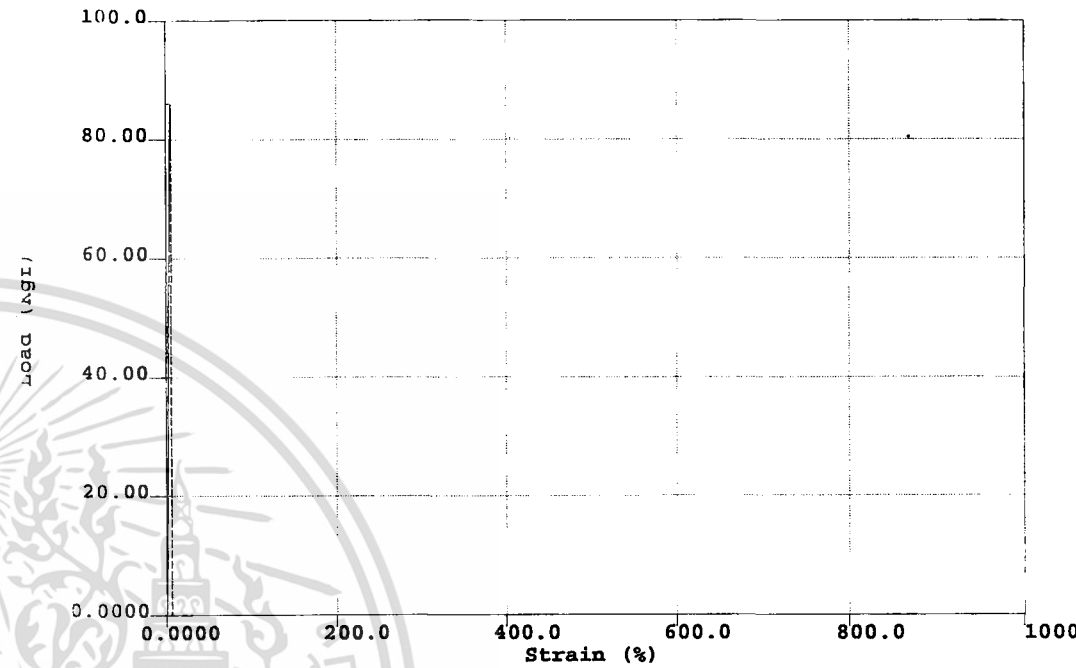
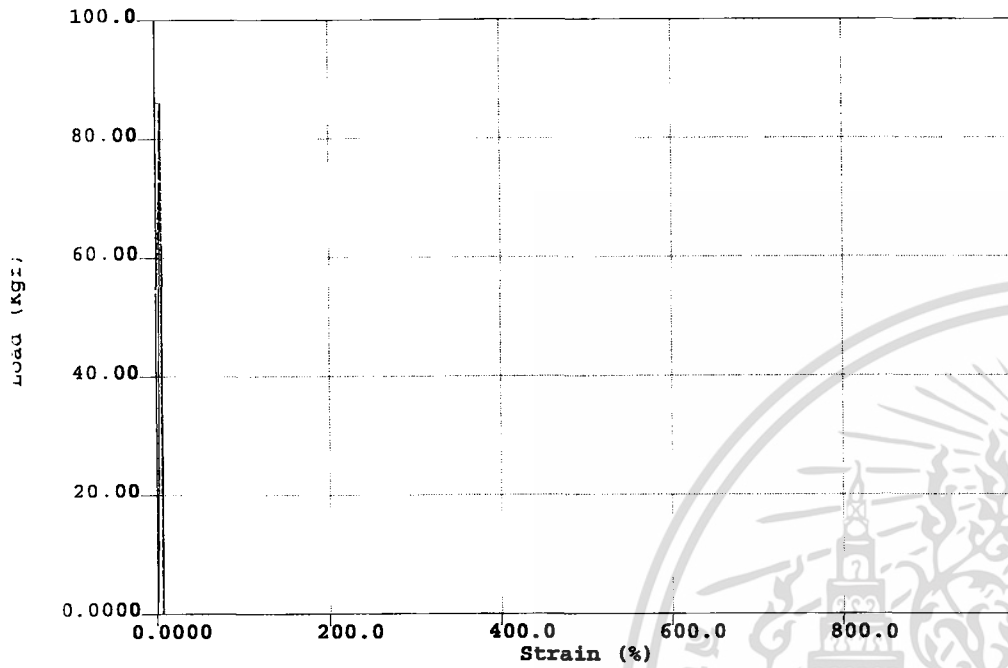
Sample Thick'
mm
2.60000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
65.50	2.399	22.42	29.89	-27.04	3.448	61.17	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000

2COMP73

PP100

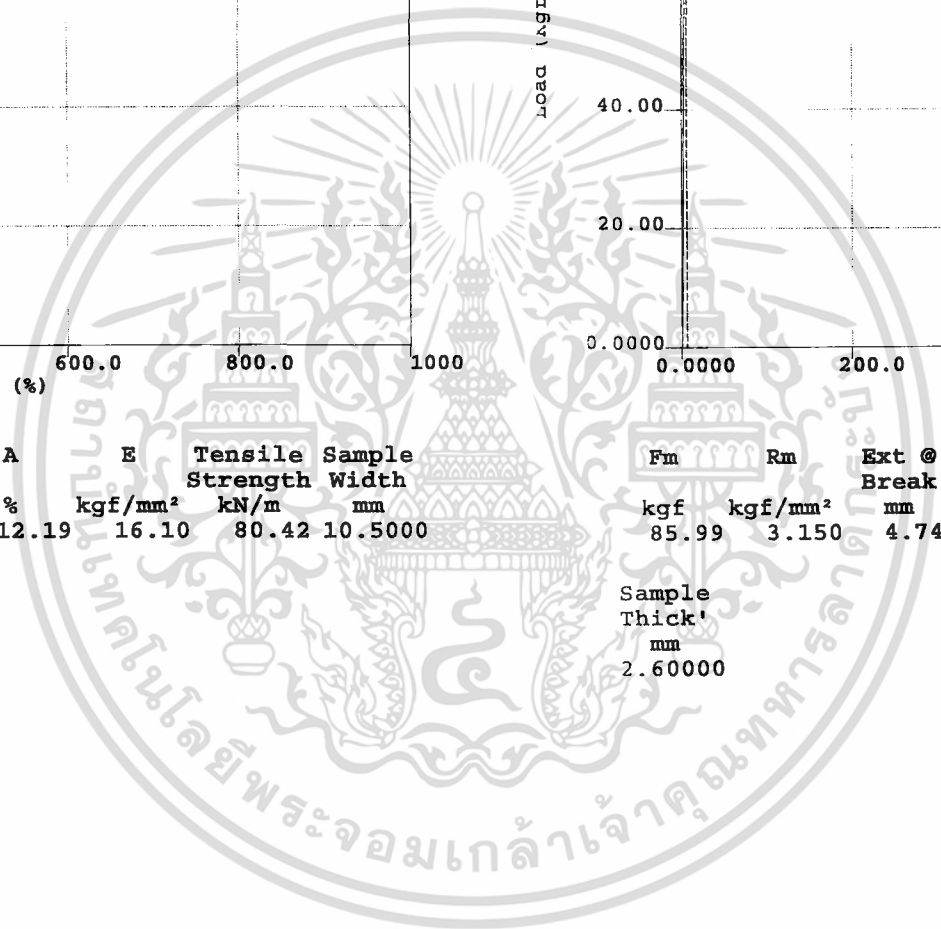


Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
86.10	3.154	5.053	6.737	-12.19	16.10	80.42	10.5000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
85.99	3.150	4.747	6.330	-6.151	22.60	80.32	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000

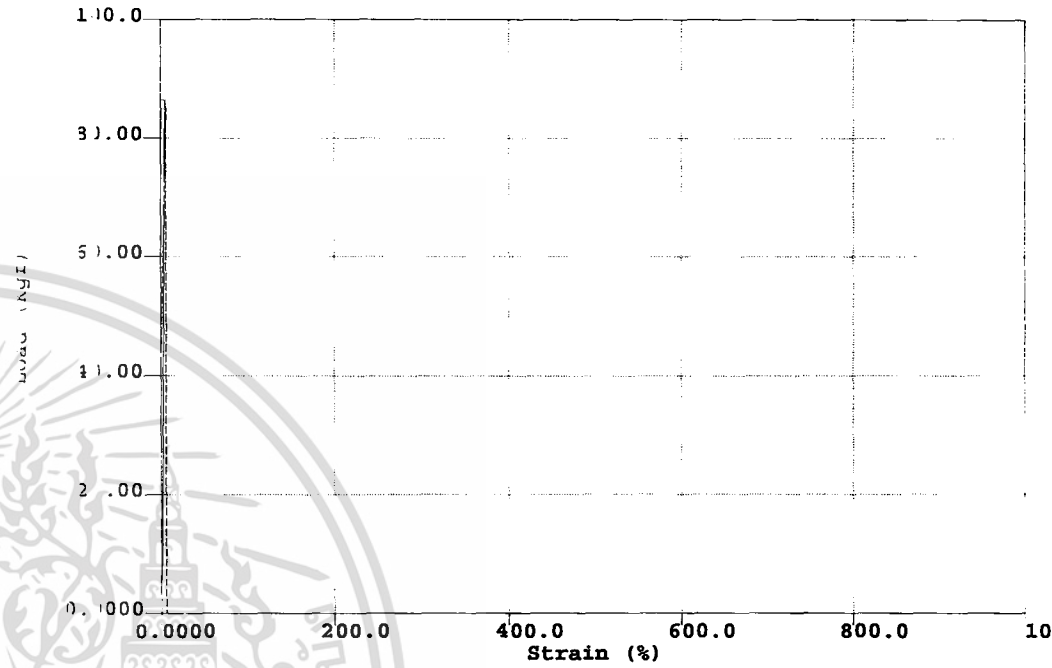
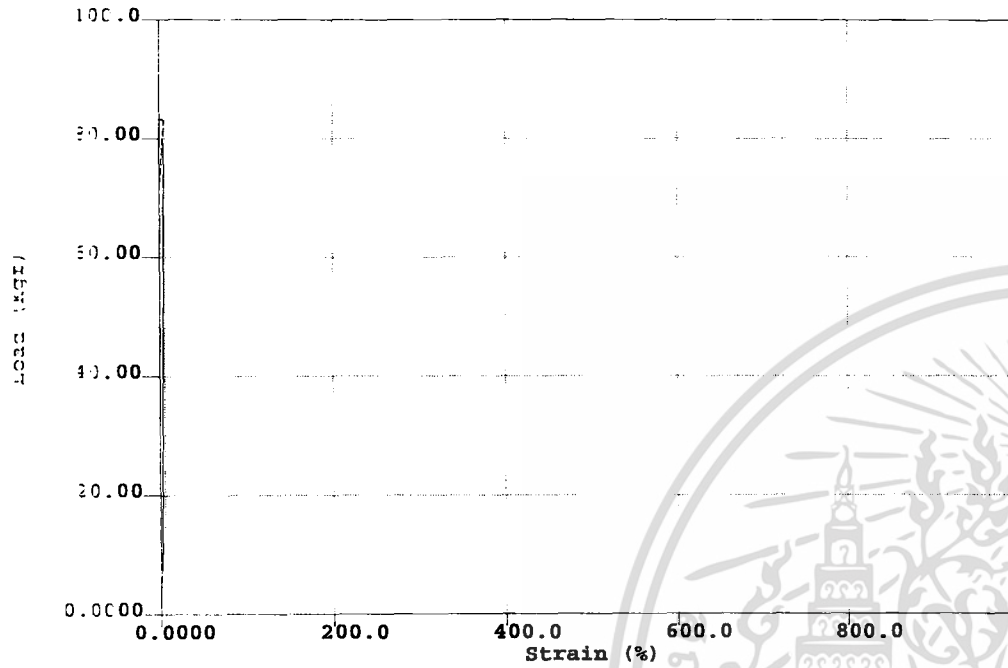
Sample Thick'
mm
2.60000



PP100

2COMP73

Sample 3 01 7

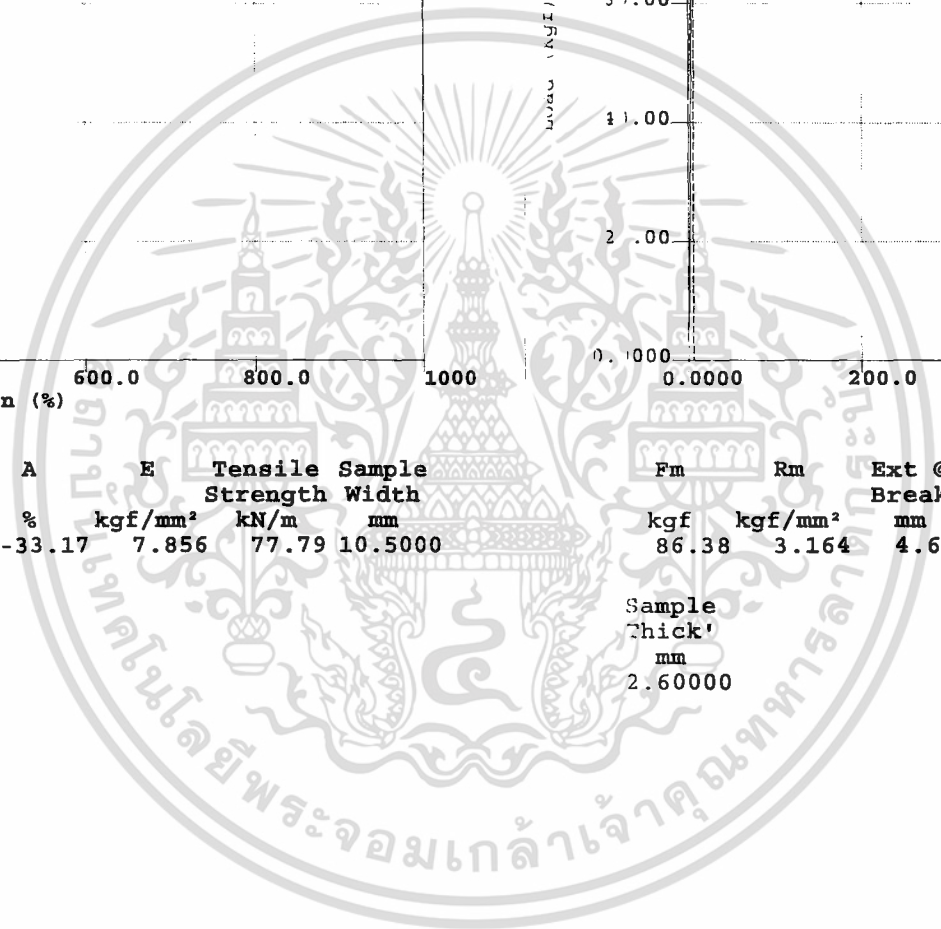


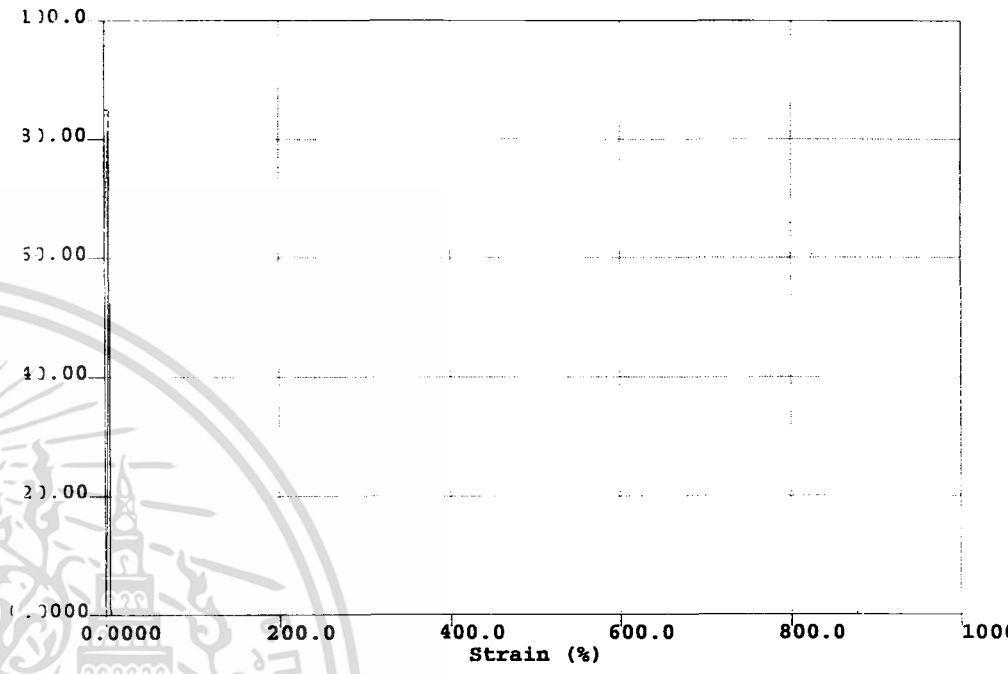
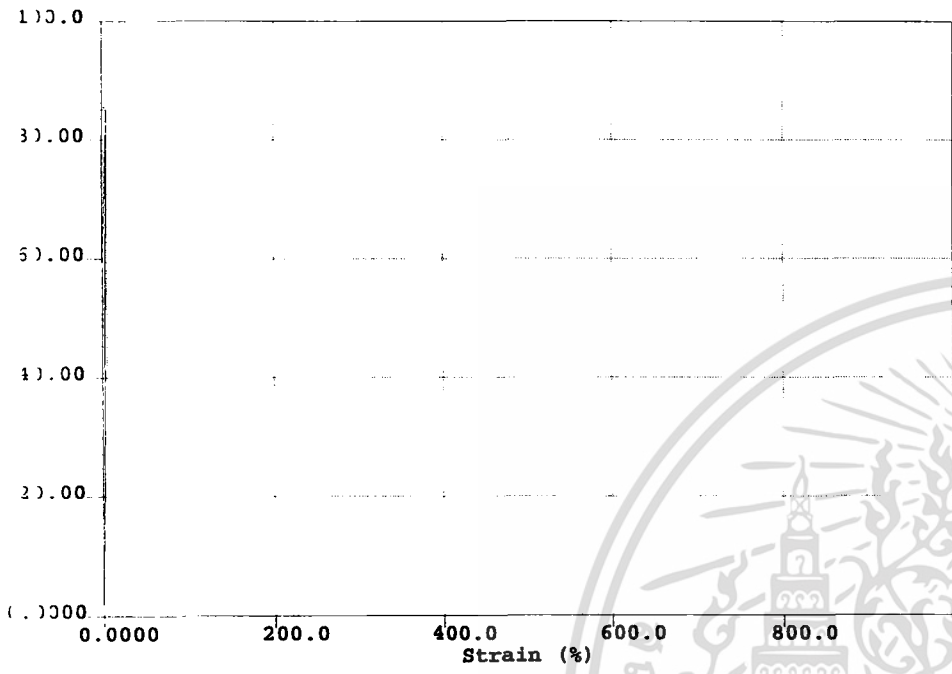
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
83.29	3.051	4.166	5.554	-33.17	7.856	77.79	10.5000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
86.38	3.164	4.698	6.264	-6.296	24.75	80.68	10.5000

Sample
Thick'
mm
2.60000

Sample
Thick'
mm
2.60000





Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
85.43	3.129	4.008	5.344	-11.53	18.47	79.79	10.5000

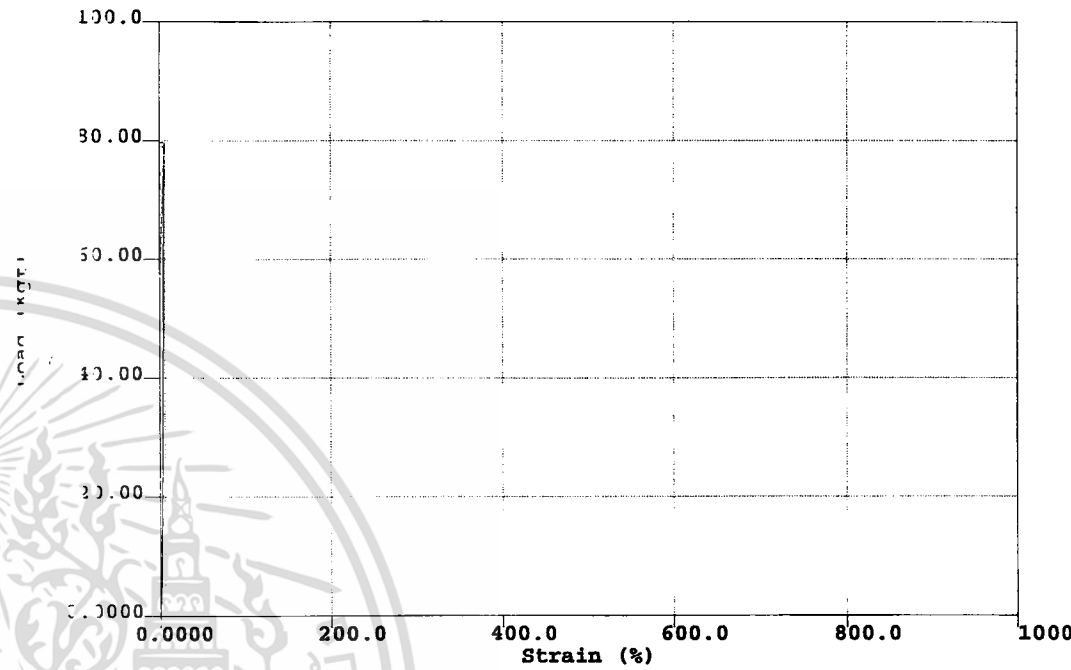
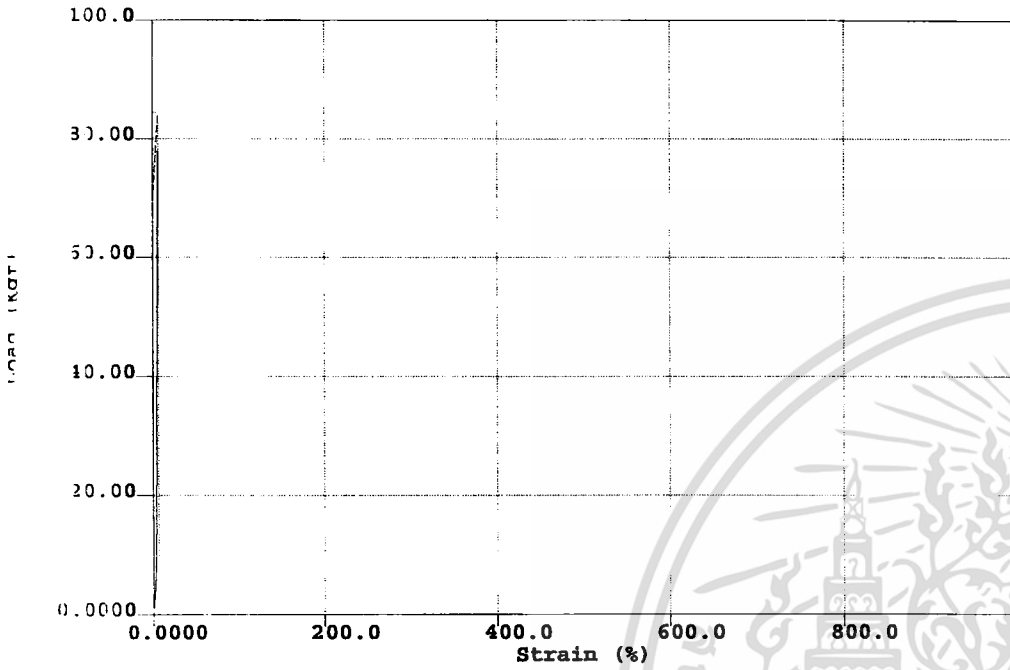
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
84.97	3.113	4.304	5.739	-18.19	12.88	79.36	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000

Sample Thick'
mm
2.60000

PP100

2COMP55

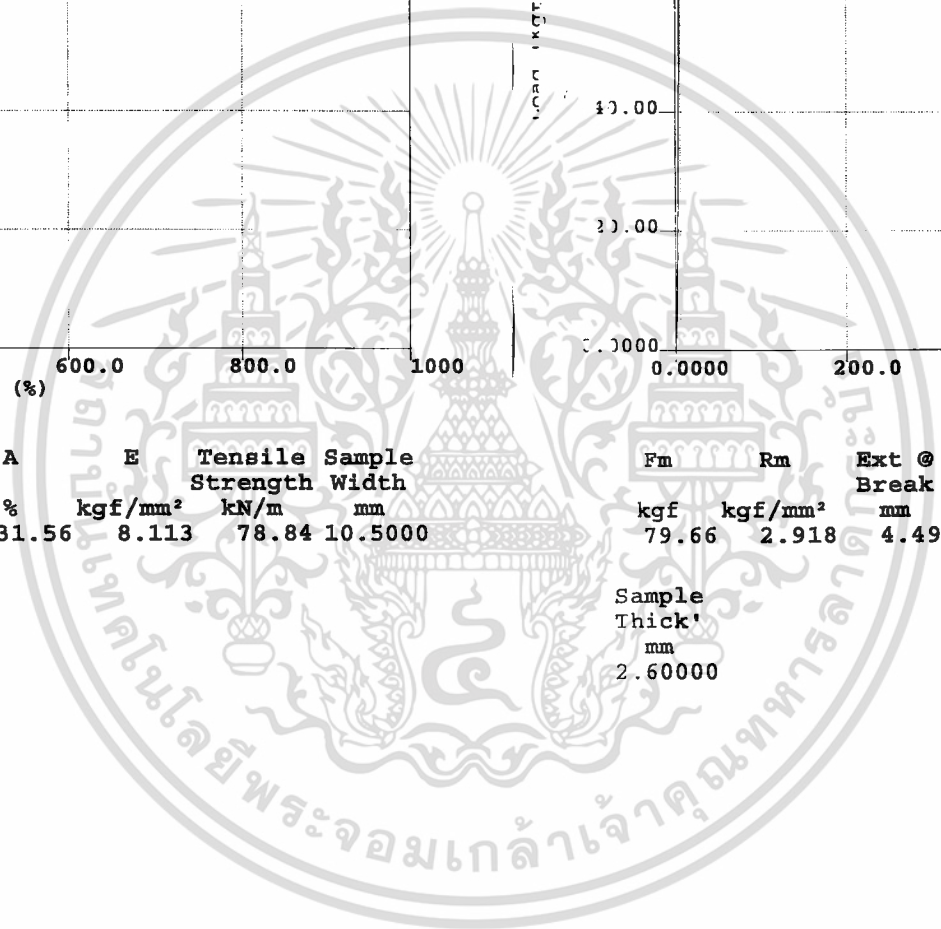


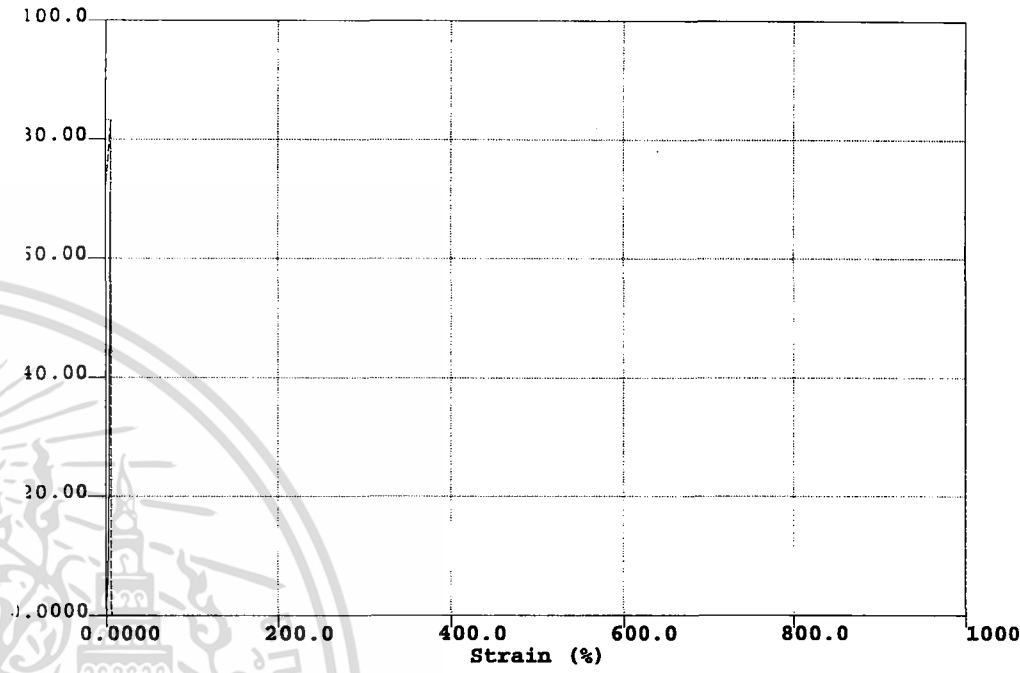
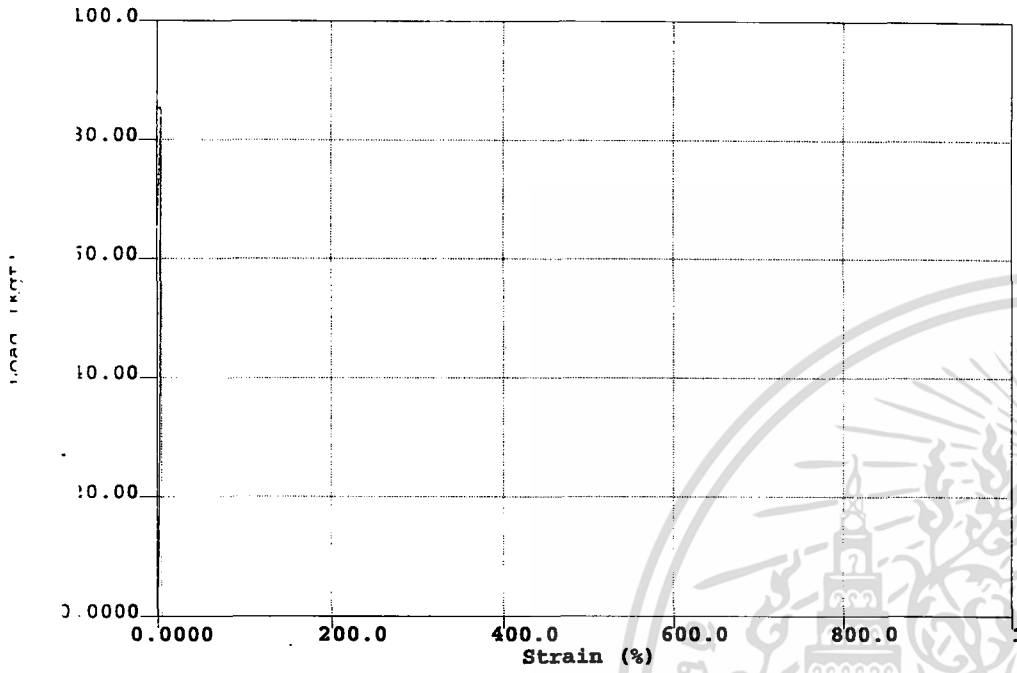
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
84.41	3.092	4.911	6.548	-31.56	8.113	78.84	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
79.66	2.918	4.499	5.999	-15.04	13.75	74.40	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000



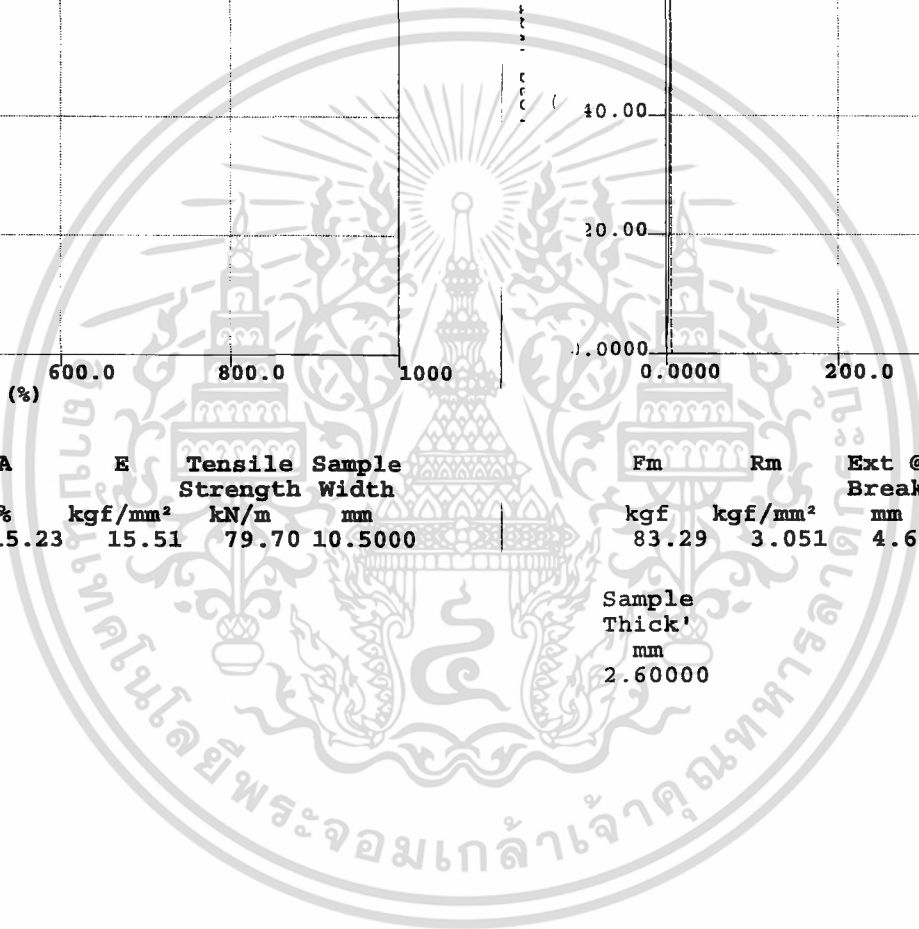


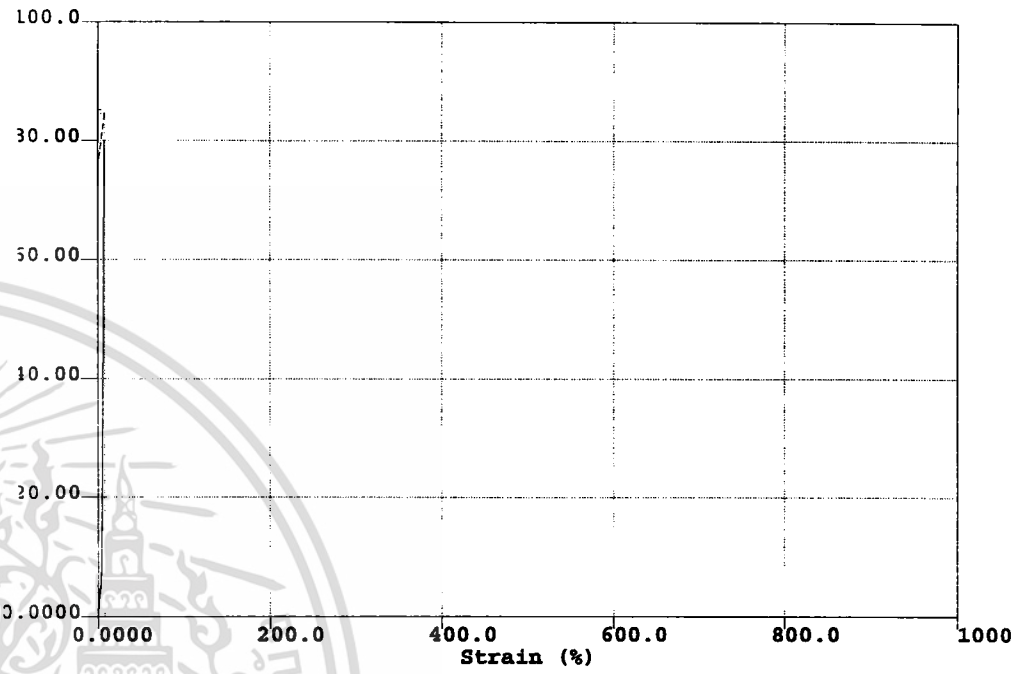
Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
85.33	3.126	3.657	4.876	-15.23	15.51	79.70	10.5000

Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
83.29	3.051	4.689	6.252	-39.24	6.707	77.79	10.5000

Sample Thick'
mm
2.60000

Sample Thick'
mm
2.60000





Fm	Rm	Ext @ Break	At	A	E	Tensile Strength	Sample Width
kgf	kgf/mm ²	mm	%	%	kgf/mm ²	kN/m	mm
85.18	3.120	5.991	7.988	-70.12	3.962	79.56	10.5000

Sample
Thick'
mm
2.60000

