

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสมโดยรังสีพลังงานสูง



ครินทร์ อินญาณยศ
อรรถวุฒิ คุ้มครอง
อมรพันธุ์ จันทรมังคละกุล

ร/พ.
ด 159 ก
เลขที่..... 2538
เลขที่..... 26202
วัน, เดือน, ปี 16 ต.ค. 2539

วท.ช. (เค)

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา เคมีอุตสาหกรรม
คณะ วิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Radiation -Induced Reaction for Improving the Interfacial
Adhesion of Polymer Blend**



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

1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------------------|---|-----------------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสมโดย รังสีพลังงานสูง | |
| นักศึกษา | นายกรินทร์ | อินญาณนยศ |
| | นายอมรพันธุ์ | จันทร์มังคละกุล |
| | นายอรรถวุฒิ | คุ้มครอง |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.มาลินี | ชัยศุกกิจสินธ์ |
| | ดร.ประเสริฐ | คุณคำชู |
| ภาควิชา | เคมี | |
| ปีการศึกษา | 2538 | |

บทคัดย่อ

แนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติพอลิเมอร์ผสมคือ การเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิวในระบบพอลิเมอร์ที่ทำการผสม การใช้รังสีพลังงานสูงก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติพอลิเมอร์ผสม เมื่อระบบพอลิเมอร์ได้รับรังสีพลังงานสูงจะเกิดอนุมูลอิสระทั่วทั้งระบบ ถ้าอนุมูลอิสระสามารถรวมตัวกันก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือ ปฏิกิริยาการสลายตัว ก็จะเป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิวในระบบพอลิเมอร์ที่สนใจได้ ระบบพอลิเมอร์ที่เลือกใช้ในการศึกษามี 2 ระบบ ระบบที่ 1 เป็นการผสมระหว่าง พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีนโดยใช้สารช่วยการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน 4 ชนิด ได้แก่ พอลิเมอร์ร่วมของ 27% พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีน พอลิเมอร์ร่วมของ 22% พอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีน พอลิเมอร์ร่วมของ 20% 1-บิวทีนกับพอลิพรอพิลีน และพอลิเมอร์ร่วมของ สไตรีน บิวทาไดอิน ที่มีการเติมไฮโดรเจนที่พันธะคู่ของบิวทาไดอิน ระบบที่ 2 เป็นการผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และพอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน บิวทาไดอิน สไตรีน ทำการผสมแบบการหลอมเหลวโดยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่ 190 องศาเซลเซียส ส่วนระบบที่ 2 ทำการผสมที่ 180,190 และ 220 องศาเซลเซียส โดยระบบแรกใช้ปริมาณสารช่วยการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันในอัตราส่วน 10 % ส่วนระบบที่ 2 ใช้ที่ 10,20 และ 30 % ตามลำดับ แล้วนำทั้งสองระบบไปฉายรังสีแกมมา ตามความเข้มที่กำหนดคือ 0,5,10,15 และ 20 กิโลเกรย์ จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติต่างๆทั้งทางความร้อนและเชิงกลพบว่าระบบส่วนใหญ่เกิดการสลายตัวภายใต้ความเข้มที่ใช้ในการทดลอง แต่เมื่อทำการทดลองที่ความเข้มสูง 200 กิโลเกรย์ พบว่าเกิดการเชื่อมโยงระหว่างภูมิภาค โดยพิจารณาได้จากปริมาณเจลที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Radiation -Induced Reaction for Improving the Interfacial Adhesion
of Polymer Blend

Name Mr.Karintorn Inyayanyos
 Mr.Amompan Chanmungkalakul
 Mr.Attawut Kumkrong

Special Project Advisor Asst.Prof.Dr.Malinee Chaisupakitsin
 Dr.Prasert Kunkamchoo

Department Chemistry

Academic Year 1995

ABSTRACT

The way to improve properties of polymer blend is improving interfacial adhesion of polymer blend . High energy radiation can be used in order to improve some properties of polyblend. When polymer blend system receive high energy radiation ,the system will produce free radicals. The quantity of free radical is depend on radiation dose. If the system can combine free radicals that are occurred by radiation before other reactions such as oxidation or degradation, it will enhance interfacial adhesion . There were 2 polymer systems that were selected to study, the first one was polyethylene polypropylene and compatibilizer that had 4 types : copolymer of 27% polypropylene and polyethylene , copolymer of 22% polypropylene and polyethylene ,copolymer of 20% 1-butene and polypropylene , and copolymer of styrene butadiene that was added hydrogen. The last one was polymer blend system of polystyrene polypropylene and compatibilizer (Styrene Butadiene Styrene triblock copolymer) .Method of blending was melt mix by two rolls mill at 190 °C for the first system and 180,190,and 220 °C for the second system . Compatibility ratio of PP/PE system was only 10% and PP/PS systems were 10,20, and 30% , respectively.Radiation dose that was used for polyblend systems were 0,5,10,15,and 20 kilogray.Thermal properties and Mechanical properties could be studied by Differential Scanning Calorimeter (DSC) and Tensile Testing Mechine , respedtively. In the result of this experiment, the polymer systems were not improved by radiation because dose of this experiment was not appropriate. The polymer systems ought to use in higher dose approximate 200 kGy.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ และดร. ประเสริฐ คุณคำชู อาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา เอาใจใส่ช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด ขอขอบคุณคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ อันได้แก่ ผศ.ดร. สุนิตย์ สุขสำราญ และ อ. จุฑารัตน์ สิริชัยสิทธิ์ ที่ได้กรุณาแก้ไขข้อผิดพลาดในรายงานฉบับนี้ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ Mr.Fumio Yoshii ที่ให้ความอนุเคราะห์สารช่วยในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน และขอบคุณ คุณสิริรัตน์ และ คุณอารักษ์ เจ้าหน้าที่สำนักงานพลังงานปรมาณู เพื่อสันติที่ให้ความช่วยเหลือในการฉายรังสีสารตัวอย่าง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง เจ้าหน้าที่ภาคเคมีทุกท่าน ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจและให้ความสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนมาจนกระทั่งโครงการพิเศษนี้สำเร็จสู่สว่างลงด้วยดี

นาย ครินทร์ อินญาญาณยศ

นาย อมรพันธุ์ จันทร์มังคละกุล

นาย อรรถวุฒิ คุ้มครอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญตาราง | ง |
| สารบัญภาพ | จ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 บทนำ | 1 |
| 1.2 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ | 3 |
| 1.3 วัตถุประสงค์, ขอบเขตการวิจัย, ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน | 4 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 5 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | |
| 2.1 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) | 6 |
| 2.2 รังสีและการประยุกต์ใช้งาน | 10 |
| บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน | |
| 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง | 18 |
| 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ | 19 |
| 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 20 |
| 3.4 วิธีการทดลอง | 21 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง | |
| 4.1 ระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน/พอลิสไตรีน/สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน | |
| - ผลสมบัติทางความร้อน | 30 |
| - ผลความหนาแน่น | 33 |
| - ผลการบวมตัวในตัวทำละลายไซลีน | 35 |
| - ผลปริมาณเจลที่เกิดขึ้น โดยการสกัดด้วยไซลีนร้อน | 36 |
| - ผลสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดึง | 38 |
| - ผลสภาพพื้นฐานวิทยาโดยกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป | 39 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | หน้า |
|--|------|
| 4.2 ระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีน/พอลิเมอร์ร่วม 4 ชนิด | |
| - ผลสมบัติทางความร้อน | 40 |
| - ผลความหนาแน่น | 44 |
| - ผลการบวมตัวในตัวทำละลายไซลีน | 45 |
| - ผลปริมาณเจลที่เกิดขึ้นโดยการสกัดด้วยไซลีนร้อน | 46 |
| - ผลสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดึง | 46 |
| - ผลสภาพสัณฐานวิทยาโดยกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป | 47 |
| 4.3 ระบบพอลิเมอร์ผสมที่ความเข้มรังสี 200 kGy | 49 |
| 4.4 วิจัยรณัผลการทดลอง | |
| - ระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน/พอลิสไตรีน/สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน | 51 |
| - ระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีน/พอลิเมอร์ร่วม 4 ชนิด | 53 |
| บทที่ 5 สรุปการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 สรุปการดำเนินการวิจัย | 57 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 59 |
| เอกสารอ้างอิง | 61 |
| ภาคผนวก | 63 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| - ตารางแสดงสมบัติทางความร้อนของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน /พอลิสไตรีน/สไตรีน-บิวทาไดอิน-สไตรีน | 30 |
| - ตารางแสดงความหนาแน่นของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน /พอลิสไตรีน/สไตรีน-บิวทาไดอิน-สไตรีน | 33 |
| - ตารางแสดงการบวมตัวในตัวทำละลายไซลีนของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิพรอพิลีน/พอลิสไตรีน/สไตรีน-บิวทาไดอิน-สไตรีน | 35 |
| - ตารางแสดงปริมาณเจลที่เกิดขึ้น โดยการสกัดด้วยไซลีนร้อนของระบบ พอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน/พอลิสไตรีน/สไตรีน-บิวทาไดอิน-สไตรีน | 36 |
| - ตารางแสดงสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดึงของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิพรอพิลีน/พอลิสไตรีน/สไตรีน-บิวทาไดอิน-สไตรีน | 38 |
| - ตารางแสดงสมบัติทางความร้อนของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน/ พอลิเอทิลีน/สารช่วยรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน | 40 |
| - ตารางแสดงความหนาแน่นของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิพรอพิลีน/ พอลิเอทิลีน/สารช่วยรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน | 44 |
| - ตารางแสดงการบวมตัวในตัวทำละลายไซลีนของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีน/สารช่วยรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน | 45 |
| - ตารางแสดงสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดึงของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีน/สารช่วยรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน | 46 |
| - ตารางแสดงการเกิดเจลของระบบพอลิเมอร์ผสมที่ 200 kGy โดยการสกัดด้วยไซลีนร้อน | 49 |
| - ตารางแสดงทางความร้อนของระบบพอลิเมอร์ผสมที่ 200 kGy | 50 |

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1 แสดงลำดับการตกผลึก 30 % SBS / PP / PS ก่อนการฉายรังสี ตั้งแต่อุณหภูมิ 160 - 100 °c | 39 |
| รูปที่ 2 แสดงลำดับการตกผลึก 30 % SBS / PP / PS หลังการฉายรังสี ตั้งแต่อุณหภูมิ 160 - 100 °c | 39 |
| รูปที่ 3 แสดงลำดับการตกผลึก 10 % EPR 3 / PP / PE ก่อนการฉายรังสี ตั้งแต่อุณหภูมิ 160 - 100 °c | 47 |
| รูปที่ 4 แสดงลำดับการตกผลึก 10 % EPR 3 / PP / PE หลังการฉายรังสี ตั้งแต่อุณหภูมิ 160 - 100 °c | 47 |
| รูปที่ 5 แสดงลำดับการตกผลึก 10 % EPR 4 / PP / PE หลังการฉายรังสี ตั้งแต่อุณหภูมิ 160 - 100 °c | 48 |



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสม(Polyblend)กันอย่างกว้างขวาง โดยจุดประสงค์ หลักก็เพื่อที่ความต้องการที่จะได้วัสดุพอลิเมอร์ที่มีสมบัติพิเศษที่เกิดจากการนำพอลิเมอร์มากกว่า 1 ชนิดมาผสมกันซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะขึ้นกับความสามารถในการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (miscibility) และสัณฐานวิทยา (morphology) ของระบบนั้นๆ

ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (incompatible blend) ก็คือการแยกวัฏภาคกันของพอลิเมอร์ที่ทำการผสมซึ่งพอลิเมอร์ต่างชนิดกันเมื่อนำมาผสมกันแรงยึดเหนี่ยว (interaction) และแรงยึดติดระหว่างผิว (interfacial adhesion) ระหว่างพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะมีน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบพอลิเมอร์เบลนด์ที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน(compatible blend) ดังนั้นการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่มีคุณภาพดี ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเรื่องนี้สำหรับพอลิเมอร์ผสมจึงได้มีการดำเนินการมาโดยลำดับ โดยเฉพาะการใช้สารที่สามารถทำให้พอลิเมอร์แต่ละชนิดละลายในตัวกลางที่ทำให้เกิดการเชื่อมระบบพอลิเมอร์เข้าด้วยกัน สารดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า Compatibilizer หรือ Solid-phase dispersant โดยส่วนใหญ่จะเป็นพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ของพอลิเมอร์แต่ละชนิด นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเชื่อมโยง (Chemical crosslink) จำพวกสารประกอบเปอร์ออกไซด์ เพื่อทำให้เกิดการเชื่อมโยงกัน ระหว่างโมเลกุลและยังมีการใช้รังสีพลังงานสูงเช่น รังสีแคโรมา รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีจากลำอิเล็กตรอน (electron beam) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้รังสีพลังงานสูงจะทำให้พอลิเมอร์เกิดอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้เกิดการเชื่อมโยงหรือการกราฟท์ (crosslink or grafting) ระหว่างพอลิเมอร์แต่ละชนิดหรือเกิดการสลายตัว (degradation) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

พอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกที่ใช้งานได้มากมายไม่ว่าจะเป็นบรรจุภัณฑ์หรืออุปกรณ์ต่างๆรวมถึงงานในด้านการแพทย์เช่นเข็มฉีดยา สายน้ำเกลือ เป็นต้นซึ่งเมื่อพิจารณาในด้านการแพทย์แล้วความสะอาดนับว่าเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก จึงมีการใช้รังสีพลังงานสูงในการฆ่าเชื้อโรค เมื่อพอลิพรอพิลีนได้รับพลังงานสูงโดยปรกติจะใช้ปริมาณรังสีที่ 25 KGy จะเกิดการสลายตัวทำให้สมบัติต่าง ๆ ต่ำลง ไปเป็นอันมากจึงได้มีการพิจารณาถึงการทำให้พอลิพรอพิลีนมีเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น โดยการนำพอลิสไตรีนมาทำการผสมในระบบพอลิเมอร์เบลนด์อันเนื่องมาจากวงเบนซีนของพอลิสไตรีนจะสามารถจับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเข้ามาในวงเบนซีนและเพื่อต้องการที่

จะให้ระบบพอลิเมอร์สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นจึงต้องอาศัย **Compatibilizer** ช่วยในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิว (interfacial adhesion) ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

ในหมู่ของพลาสติกที่ใช้งานทั่วไปจะพบว่าพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีนมีการใช้กันมากที่สุดดังนั้นผลที่ตามมาคือปัญหาในเรื่องขยะอันเกิดจากพลาสติกทั้งสองชนิด จึงได้มีแนวความคิดที่จะใช้ความรู้ในด้านการทำพอลิเมอร์ผสมมาใช้ในการจัดการกับปัญหาขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นและเนื่องจากพลาสติกทั้งสองชนิดไม่สามารถที่จะรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้จึงต้องมีการทดลองหาตัว **Compatibilizer** ที่เหมาะสมกับระบบที่สนใจ รวมทั้งได้มีการพัฒนานำรังสีพลังงานสูง (Gamma Ray) มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของพอลิเมอร์ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีรายงานผลการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาการส่งเสริมการเกิดพันธะเชื่อมโยงและการกราฟท์ (enhancement crosslinking and grafting reaction) ในบริเวณพื้นผิวของแต่ละวัสดุภาคในระบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (incompatible polymer blend) ที่จะใช้ในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของระบบพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นงานที่สำคัญของการวิจัยครั้งนี้คือ การศึกษาเสถียรภาพของสัณฐานวิทยา (stabilizing morphology) ของพอลิเมอร์ผสม และการเตรียมระบบพอลิเมอร์ที่มีสมบัติที่ดีโดยใช้รังสีพลังงานสูง

ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันนี้มีการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของระบบพอลิเมอร์ผสมกันอย่างกว้างขวาง โดยหลักใหญ่ๆคือการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิว (interfacial adhesion) ในระบบพอลิเมอร์ผสมที่สนใจไม่ว่าจะเป็นระบบที่รวมตัวหรือไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (miscible or immiscible polyblend) โดยอาจมีการใช้สารช่วยการรวมตัวเป็นเนื้อเดียว (compatibilizer) ที่ส่วนใหญ่จะเป็นพอลิเมอร์ร่วม (copolymer) ของแต่ละองค์ประกอบในระบบพอลิเมอร์ผสม นอกจากนี้ยังมีการใช้รังสีพลังงานสูง (high energy radiation) ในการช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสม แรงยึดติดที่เกิดขึ้นมาจากการรวมตัวของอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดขึ้นเมื่อพอลิเมอร์ได้รับพลังงานสูง ซึ่งเป็นแนวทางที่ยังไม่แพร่หลายมากนัก อันเนื่องมาจากเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีราคาแพงและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญด้านรังสีโดยตรง

พอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกที่มีการใช้กันมากในปัจจุบัน ปัญหาหยาบที่เกิดขึ้นจากพลาสติกทั้ง 2 ชนิดก็มีมากตามปริมาณการใช้งาน แนวทางหนึ่งที่ใช้ในการบรรเทาปัญหานี้คือ การที่จะใช้พลาสติกทั้ง 2 ให้คุ้มค่าโดยการนำมาผสมกันเกิดเป็นระบบพอลิเมอร์ใหม่ขึ้นซึ่งจะมีสมบัติของพลาสติกทั้งสองรวมกัน แต่ปัญหาคือ การรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันทำได้ยากเนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองมีโครงสร้างที่ต่างกัน จึงจำเป็นที่จะต้องใส่สารช่วยการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทดลองใช้รังสีในการปรับปรุงสมบัติแรงยึดติดระหว่างผิว

พอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกที่นิยมใช้ในการแพทย์ เช่น สายน้ำเกลือ เข็มฉีดยา ดังนั้นความสะอาดนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง การใช้รังสีในการฆ่าเชื้อโรคจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สมบัติต่างๆ ของพอลิพรอพิลีนเปลี่ยนไป ปริมาณรังสีที่ใช้ในการทำความสะอาดประมาณ 30 kGy พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับรังสี ถ้าสามารถผสมพอลิสไตรีนกับพอลิพรอพิลีนได้จะทำให้สามารถที่จะใช้ในด้านทางการแพทย์ดียิ่งขึ้น ปัญหาที่เช่นเดียวกับระบบแรกคือการไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน จึงต้องใช้สารช่วยการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน และรังสีพลังงานสูงมาปรับปรุงสมบัติเช่นกัน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงก่อให้เกิดการศึกษาวิจัยความเป็นไปได้ที่จะใช้รังสีพลังงานสูง ในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของระบบพอลิเมอร์ผสมทั้ง 2 ระบบ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำรังสีพลังงานสูงมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติเรื่องการยึดติดระหว่างผิว (interfacial adhesion)
2. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการฉายรังสีพลังงานสูง
3. ศึกษาสมบัติเชิงกลของระบบพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการฉายรังสีพลังงานสูง
4. ศึกษาผลของรังสีพลังงานสูงที่มีต่อระบบพอลิเมอร์ผสมทั้ง 2 ระบบ

ขอบเขตของการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้รังสีพลังงานสูงในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของระบบพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ ซึ่งระบบพอลิเมอร์ผสมที่ศึกษามี 2 ระบบ คือ พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และสารช่วยในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งจะทำการศึกษาผลของสารช่วยในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน 4 ชนิดต่อสมบัติต่างๆ ที่ศึกษา และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และสารช่วยในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งใช้พอลิเมอร์ร่วมของ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน (SBS) แล้วทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ที่สนใจ ทั้งกายภาพ ทางความร้อน และเชิงกล

ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

ในการวิจัยจะทำการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 2 ระบบ บนเครื่องผสมแบบลูกกลิ้ง โดยให้อัตราส่วนระหว่างคู่พอลิเมอร์หลักเป็น 1:1 เป็นเวลาทั้งหมด 7 นาที แล้วนำไปบด จากนั้นจะนำไปใส่ภาชนะที่จะทำการฉายรังสี ซึ่งอยู่ในสถานะที่ก๊าซไนโตรเจน ทำการฉายรังสีที่ความเข้มต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบผลกัน จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อน เชิงกล และกายภาพ แล้วนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบและทำการสรุปผลการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความสามารถในการที่ใช้รังสีพลังงานสูงปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของระบบพอลิเมอร์ผสม
2. ทราบถึงผลของรังสีที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม
3. ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปใช้งานตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้
4. ทราบถึงความสามารถในการทนรังสีของพอลิพรอทีนภายหลังจากการทำพอลิเมอร์ผสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาพอลิเมอร์ผสม (blend) อย่างกว้างขวาง เพราะสามารถทำให้เกิดระบบของพอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยการนำเอาข้อดีของพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ มาผสมรวมกันเพื่อให้ได้ระบบที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

ประวัติในการพัฒนาพอลิเมอร์ผสม (blend and alloy) เริ่มจากปี 1846 ได้มีการจดสิทธิบัตรฉบับแรกสำหรับการผสมระหว่าง ยางธรรมชาติ กับ gutta percha โดย T.Hancock , Engl.Pat. No. 11,147 จากนั้นได้มีการวิจัยพัฒนาพอลิเมอร์ผสมระบบใหม่ ๆ มาเป็นลำดับ จนกระทั่งปัจจุบัน ในแต่ละปีมีการจดสิทธิบัตรเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสมประมาณ 4,500 ฉบับทั่วโลก

ในทางด้านการค้ามีการผลิต และจดสิทธิบัตรของบริษัทต่าง ๆ ทั่วโลกโดย 10 บริษัทที่มีการจดสิทธิบัตรมากที่สุดมีดังนี้

| No. | Company | Number of PAB Patents Relative to Duponts |
|-----|----------------------|---|
| 1 | Dupont | 100 % |
| 2 | Asahi | 88 % |
| 3 | BASF | 82 % |
| 4 | Bayer | 66 % |
| 5 | Teijin | 65 % |
| 6 | General Electric Co. | 65 % |
| 7 | Monsato | 51 % |
| 8 | TCI | 44 % |
| 9 | Dow Chem. | 44 % |
| 10 | Union Carbide | 40 % |

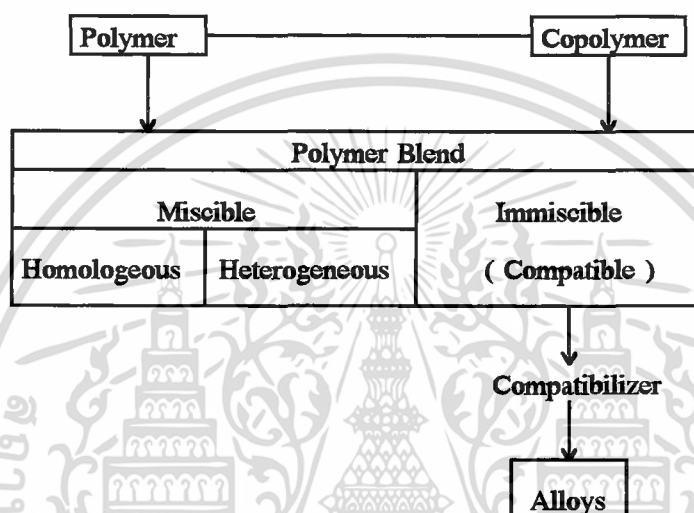
PAB : Polymer Alloys and Blends

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polymer Blend and Alloys

พอลิเมอร์ผสม (blend) คือ วัสดุพอลิเมอร์ที่มีสมบัติชนิดใหม่ เกิดจากการอยู่ร่วมกันของพอลิเมอร์ที่โครงสร้างแตกต่างกัน โดยไม่มีพันธะโควาเลนต์เกิดขึ้นระหว่างกัน พอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้สนิทเป็นเนื้อเดียวกันเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า “Polymer alloys” แต่บางชนิดก็ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ซึ่งจะปรากฏเป็นระบบที่มีหลายวัฏภาคให้เห็น

Polyblends และ Alloys เกิดจากการนำเอาพอลิเมอร์ หรือ พอลิเมอร์ร่วม มาผสมกัน ซึ่งสามารถสรุปเป็นแผนภาพง่าย ๆ ดังนี้



นิยามศัพท์

1. Polymer Blend (PB) หรือ Polyblends เป็นของผสมที่เกิดจากการผสมพอลิเมอร์หรือ พอลิเมอร์ร่วมอย่างน้อย 2 ชนิด
2. Polymer Alloy (PA) คือ พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ได้รับการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิว และ/หรือ สันฐานวิทยา
3. Compatibilization คือ กระบวนการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้

จุดประสงค์ของการผสมผสานพอลิเมอร์

1. เพิ่มสมบัติของ เรซินทางวิศวกรรม โดยการผสมด้วยพอลิเมอร์ที่มีราคาถูก เพื่อขยายขีดความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของพอลิเมอร์ที่มีราคาแพง
2. ปรับปรุงวัสดุให้มีสมบัติตามที่ต้องการ เช่น การทนแรงกระแทก ,การทนทานต่อสภาวะอากาศ และอุณหภูมิ เป็นต้น
3. ปรับองค์ประกอบของการผสมผสาน ตามความต้องการของลูกค้า เพื่อสร้างวัสดุที่มีเอกลักษณ์พิเศษ เหมาะที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์
4. เป็นการนำพลาสติกที่เหลือใช้ หรือ เศษพลาสติก กลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์

วิธีที่ใช้ในการผสมผสานพอลิเมอร์

1. การผสมเชิงกล (Mechanical blending)
2. ทำการละลายตัวทำละลายร่วม จากนั้นทำเป็น film , freeze หรือ Spray Drying
3. การผสมแบบลาเท็กซ์ (Latex Blending)
4. การผสมแบบผง(Fine Powder Mixing)
5. ใช้มอนอเมอร์เป็นตัวทำละลายสำหรับพอลิเมอร์อีกองค์ประกอบหนึ่ง จากนั้นทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

Polymer Alloy and Blend Compounder

| No. | Machine | Function |
|----------|----------------------------|-------------------------------|
| I | Contineous Mixers | |
| L1 | Twin screw extruder | Primary PAB compounder |
| L2 | Twin shaft intensive mixer | Primary PAB compounder\ |
| L3 | Disk extruder | Adaptable for PAB compounding |
| L4 | Single Screw extruder | Second choice |
| L5 | Single shaft mixer | Second choice |
| L6 | Motionless mixer | Add-on |
| L7 | PAPRA CTM-mixer | Add-on |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| I.8 | Dynamic melt mixer | Add-on |
| II Batch Mixers | | |
| II.1 | Roll mills | Laboratory or short runs |
| II.2 | Internal sigma blade mixer | Laboratory or short runs |
| II.3 | Kinetic energy mixer | Speciality or short runs |
| III Special Machine | | |
| III.1 | Plastificator Patfoort | Blending or recycling |
| III.2 | Reverser | Recycling |
| III.3 | Multistage system | Large volume , Primary |

การออกแบบ Polymer Blend

ขั้นตอนในการออกแบบพอลิเมอร์ผสม(Blend) สามารถสรุป ได้ดังนี้

- 1 . กำหนดสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีสำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ต้องการ
- 2 . พิจารณาจากข้อมูลสมบัติของเรซินต่างๆ เลือกเรซินที่คาดว่าจะให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสม ตามต้องการ
- 3 . ทำตารางเพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเรซินที่เลือกใช้
- 4 . เลือกเรซิน จากข้อ 3 ที่คาดว่าจะให้สมบัติที่เหมาะสมตามความต้องการ
- 5.เลือกเรซินอีกชนิดหนึ่งที่คาดว่าจะผสมเข้ากันหรือเลือกวิธี ในการผสมให้เข้ากัน (Compatible)
- 6 . ทำการประเมินราคาของสาร (Resin , Compatibilizer , Compounding) รวมไปถึงวิธีการเตรียม ถ้าราคาสูงเกินกว่าที่กำหนดให้กลับไปพิจารณาข้อ 4 อีกครั้ง
- 7 . กำหนดสัณฐานวิทยา ที่ต้องการสำหรับพอลิเมอร์ผสม
- 8.เลือกสมบัติของการไหลตัว(Rheology)ของพอลิเมอร์ผสม,ความเข้มข้นขององค์ประกอบ , ปริมาณสารช่วยในการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Compatibilizer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. กำหนดวิธีการในการรักษาสภาพสัณฐานวิทยา สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ เช่น ควบคุมอัตราการหล่อเย็น, การตกผลึก, การฉายรังสี

10 . เลือกวิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสัณฐานวิทยาที่ต้องการ แต่ถ้าไม่ได้ ต้องกลับไปพิจารณาข้อ 8 อีกครั้ง

กระบวนการฉายรังสี

ปัจจุบันการฉายรังสีเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น ประหยัดพลังงาน , เกิดมลภาวะต่ำ , และให้ผลดีคุ้มค่าการลงทุน จากเหตุผลดังกล่าวทำให้มีการพัฒนาเทคนิคและกระบวนการฉายรังสีมาเป็นลำดับ เพื่อใช้ในการปรับปรุงสมบัติของวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพอลิเมอร์ การได้รับรังสีจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้หลายรูปแบบ ซึ่งมีหลายปัจจัยเป็นตัวกำหนด เช่น ความเข้มของรังสีที่ใช้ , ปริมาณก๊าซออกซิเจนขณะทำการฉายรังสี , เสถียรภาพของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นระหว่างการฉายรังสี , โครงสร้างทางเคมี และสภาวะทางกายภาพของพอลิเมอร์ (เช่น ของแข็ง, ของเหลว) เป็นต้น ดังนั้นการได้มาซึ่งสมบัติที่ต้องการสำหรับวัสดุพอลิเมอร์ต้องอาศัยกระบวนการทดลอง (Trial & error) และการควบคุมเงื่อนไขในการฉายรังสีอย่างเหมาะสม

หน่วยของรังสี

สมัยก่อนหน่วยรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีคือ curie (Ci) = 3.7×10^{10} disintegration per second

ปัจจุบันใช้ SI unit คือ becquerel (Bq) = 1 disintegration per second สำหรับความเข้มของรังสีที่วัสดุดูดกลืนมีหน่วยเป็น electron volt per gram หรือในหน่วย rad (=0.01J/kg) ซึ่งในหน่วย SI ใช้คำว่า gray (Gy) = 1J/kg ปริมาณพันธะเคมีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจะสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่วัสดุดูดกลืนไว้ ปัจจุบันมีหน่วยเพิ่มขึ้นอีก 1 หน่วยคือ $\mu\text{mol/J} = 10\text{ G}$

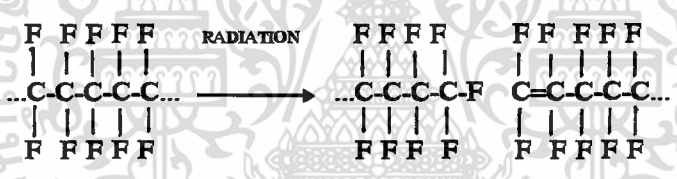
พอลิเมอร์กับการฉายรังสี

การถ่ายเทพลังงานจากแหล่งกำเนิดรังสีความเข้มสูงสู่วัสดุ จะก่อให้เกิดการสลายพันธะและอะตอมเกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างใหม่ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในสารที่มีพันธะโควาเลนต์ จะส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพของวัสดุนั้น โดยเฉพาะในวัสดุพอลิเมอร์ การฉายรังสีมีผลต่อพอลิเมอร์ 4 ประการ คือ

1. การทำลายโครงสร้างและการเสื่อมสภาพเนื่องจากการฉายรังสี
2. การปรับปรุงสมบัติโดยการฉายรังสี
3. การเกิดพอลิเมอร์เซชัน โดยการฉายรังสี
4. การเกิดกราฟท์โดยการฉายรังสี

การทำลายโครงสร้างและการเสื่อมสภาพโดยการฉายรังสี

การสลายพันธะโควาเลนต์ที่เกิดจากการฉายรังสี เรียกว่า “ scission ” ซึ่งการสลายพันธะ C-C อาจทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดต่ำลง ดังรูปที่ 1 แสดงผลกระทบของการฉายรังสีต่อ พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน ทำให้โมเลกุลเชิงเส้นขาดออกเป็นสายโซ่สั้น ๆ และความแข็งแรงของพลาสติกลดลง ผลที่ปรากฏเมื่อมีการสลายพันธะในวัสดุพอลิเมอร์ที่สามารถสังเกตเห็นได้ เช่น การแตกร้าว, การเปลี่ยนสี, ความอ่อนตัว, ความเปราะ เป็นต้น



รูปที่ 1 Degradation by irradiation.

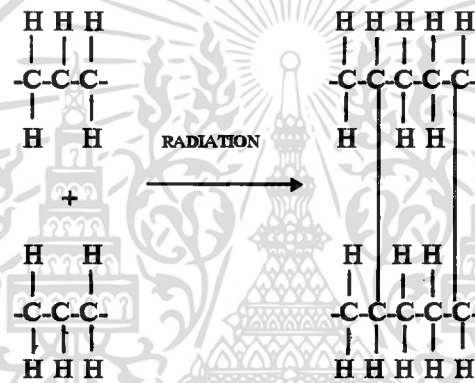
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์แต่ละชนิดมีความทนทานต่อรังสีแตกต่างกัน ดังตัวอย่างในตาราง

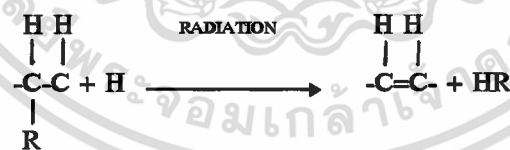
| Polymer | Radiation Resistance | Radiation Dose for significant Damage (Mrads) |
|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| ABS | Good | 100 |
| EP | Excellent | 100-10000 |
| FEP | Fair | 20 |
| PC | Good | 100 + |
| PCTFE | Fair | 10 - 20 |
| PE | Good | 100 |
| PFV , PETFE , PECTFE | Good | 100 |
| PI | Excellent | 100 - 10000 |
| PMMA | Fair | 5 |
| Polyesters (aromatic) | Good | 100 |
| Polyesters (unsaturated) | Good | 1000 |
| Polymethylpentene | Good | 30 - 50 |
| PP | Fair | 10 |
| PS | Excellent | 1000 |
| PSO | Excellent | 1000 |
| PTFE | Poor | 1 |
| PU | Excellent | 1000 + |
| PVC | Good | 50 - 100 |
| UF | Good | 500 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสลายพันธะ C-C อาจทำให้เกิดอนุมูลอิสระในโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งนำไปสู่การเชื่อมโยงโมเลกุล , การเกิดโซ่กิ่ง , การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน หรือเกิดก๊าซเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง จนกระทั่งโครงสร้างเดิมของพอลิเมอร์ถูกเปลี่ยนแปลงไป ดังอย่างในรูปที่ 2 (A) แสดงผลของการฉายรังสี ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน และการเชื่อมโยงโมเลกุล ของอนุมูลอิสระไฮโดรคาร์บอน , รูปที่ 2 (B) แสดงผลิตภัณฑ์ในสถานะก๊าซที่เกิดจากขบวนการฉายรังสี อนุมูลอิสระ (R) อาจจะเป็น H , F, หรือCl เป็นต้น การฉายรังสีอาจมีผลให้อะตอมหลุดออกจากวัสดุที่เป็นของแข็ง เป็นเหตุให้เกิดการแทนที่ที่ว่างด้วยอะตอมอื่น เกิดเป็นจุดบกพร่องในโครงสร้างโมเลกุลหลักของพอลิเมอร์ดังรูปที่ 3 ช่องว่างในที่เกิดขึ้นในโครงผลึก และการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ในโครงสร้างโมเลกุลเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล , ทางเคมี และทางไฟฟ้าในพอลิเมอร์ได้ทั้งสิ้น

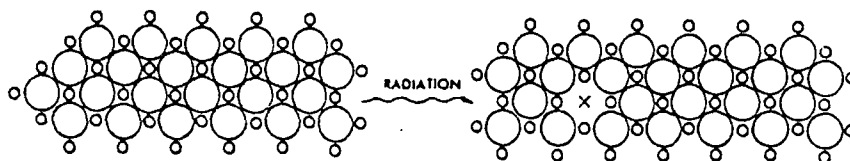


รูปที่ 2(A) Recombination leading to polymerization or crosslinking of hydrocarbon radicals.



รูปที่ 2(B) Gaseous product formed by rediation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 Linear structure of plastics with missing atom . The vacancy in the crystalline structure is a potential site for radical attachment .

การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยการฉายรังสี

ขณะที่พอลิเมอร์บางชนิดจะถูกทำลายด้วยรังสี แต่ก็มีพอลิเมอร์จำนวนหนึ่งที่มีการควบคุมเงื่อนไขการฉายรังสีจะทำให้เกิดผลดี เช่น เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล , การกราฟท์ และเกิดโซ่สาขา ในวัสดุเทอร์โมพลาสติกในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้เกิดสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ต้องการ

พอลิเอทิลีน เป็นตัวอย่างหนึ่งของพลาสติกซึ่งจะเกิดการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น เมื่อมีการควบคุมและจำกัดปริมาณการฉายรังสี เช่น การฉายรังสีทำให้พันธะที่มีอยู่เกิดการแตกสลาย และมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ เป็นโครงสร้างเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้อุณหภูมิการอ่อนตัว (softening temperature) เพิ่มขึ้น (การฉายรังสีปริมาณเกินพอ จะให้ผลตรงข้าม โดยจะขัดขวางการเชื่อมโยงในสายโซ่หลัก)

อิทธิพลของการฉายรังสีต่อพอลิเมอร์บางชนิดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2

| Product | Product Improvements and Process Advantages | Process |
|--|---|------------------------------|
| Wire and cable insulation , plastic insulation tubing , plastic packaging film | Shrinkability : impact strength : cut - through , heat , solvent , stress - cracking resistance ; low dielectric losses | Crosslinking , vulcanization |
| Foamed Polyethylene rubber | Compression and tensile strength , reduced elongation | Crosslinking , vulcanization |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--|---|-------------------------------------|
| Natural and synthetic rubber | High - temperature stability ; abrasion resistance : cold vulcanization : elimination of vulcanizing agents | Crosslinking , vulcanization |
| Adhesives : Pressure Sensitive Flock Laminate | Increase bonding chemical chipping , abrasion , weathering resistance , elimination of solvent | Curing , polymerization |
| Coatings , paints , and inks on : Woods Metals Plastics | 100 % convertibility of coating , high - speed cure flexibility in handling techniques : low energy consumption : room - temperature cure : no limitation on colors | Curing , polymerization |
| Wood and organic impregnates | Mar , scratch , abrasion , warping swelling weathering resistance , dimensional stability , surface uniformity upgrading of softwoods | Curing , polymerization |
| Cellulose | Enhanced chemical combination | Depolymerization |
| Textiles and textile fibers | Soil - release , crease , shrink weathering resistance , improved dyeability static dissipation : thermal stability | Grafting |
| Film and paper | Surface adhesion improved wettability | Grafting |
| Medical disposables | Cold sterilization of packages | Irridiation |

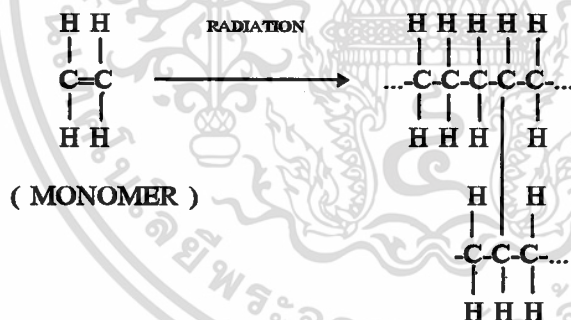
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------------------------------|--|--|
| Packages and containers | and supplies Reduction or elimination of residual monomer | Polymerization |
| Polymer | Controlled degradation or modification of melt index | Irridiation Depolymerization Crosslinking |

นอกจากนี้การประยุกต์ใช้รังสีแกมมาทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลในจำนวนที่หุ้มเส้น ลวด , อีลาสโตเมอร์ และชิ้นส่วนพลาสติกอื่น ๆ จะช่วยปรับปรุง stress-cracking , abrasion , chemical และ deformation resistance

การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยการฉายรังสี

ขณะที่เกิดการสลายพันธะโควาเลนต์โดยการฉายรังสี จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น ซึ่ง อนุมูลอิสระเหล่านี้จะรวมตัวกันใหม่โดยทันที เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ดังรูปที่ 4



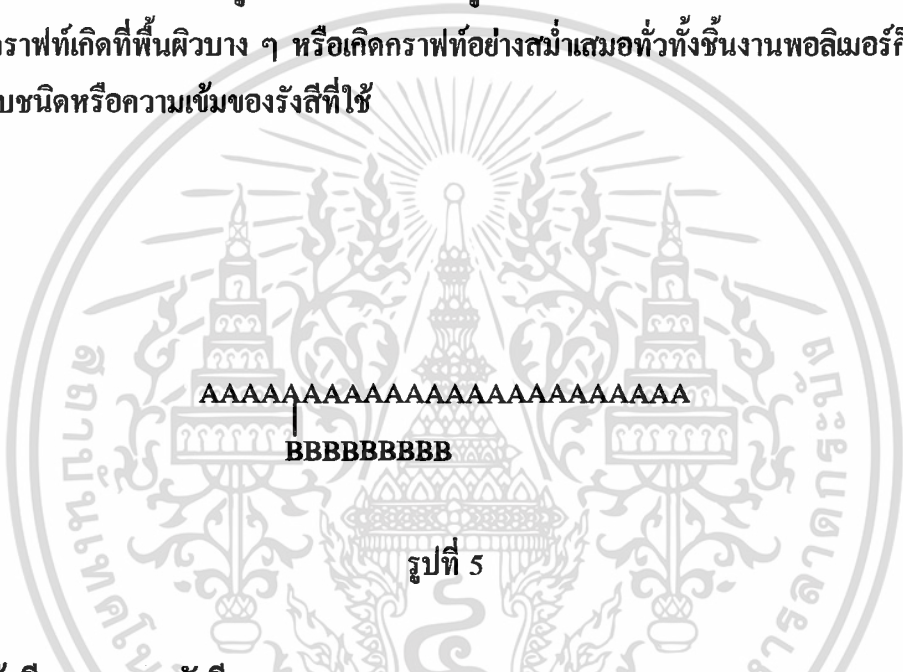
รูปที่ 4 Branching of polyethylene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการดังกล่าว ทำให้มีการนำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและการเชื่อมโยงโมเลกุล โดยการใช้รังสีเหินยวนำ ไปประยุกต์ใช้ในการทำให้วัสดุพอลิเมอร์ในงานเคลือบผิวและกาวแห้งเร็วขึ้น

การเกิดกราฟท์โดยการฉายรังสี

เมื่อทำให้มอนอเมอร์ชนิดหนึ่ง(A)เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน จากนั้นใช้รังสีเหินยวนำ ให้มอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่ง(B)เกิดพอลิเมอไรเซชันบนสายโซ่หลักจะทำให้เกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์ขึ้น ดังรูปที่ 5 แสดงการรวมกันของอนุมูลอิสระและเกิดโครงสร้างใหม่จากมอนอเมอร์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด (A และ B) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติรวม มีความเป็นไปได้ที่การเกิดกราฟท์จะทำให้สมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์สูงขึ้น ถ้ามีการเลือกมอนอเมอร์ที่เหมาะสม การฉายรังสีอาจทำให้ปฏิกิริยากราฟท์เกิดที่พื้นผิวบาง ๆ หรือเกิดกราฟท์อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงานพอลิเมอร์ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดหรือความเข้มของรังสีที่ใช้



รูปที่ 5

ข้อดีของการฉายรังสี

- มีหลายประการเมื่อเทียบกับข้อเสียคือทางด้านต้นทุนที่มีราคาแพง
- 1. ปฏิกิริยาขั้นริเริ่มเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าการใช้กระบวนการทางเคมี
- 2. รังสีสามารถทะลุทะลวงได้ดี ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ทั่วถึงและสม่ำเสมอในชิ้นงาน
- 3. มอนอเมอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน โดยปราศจากตัวเร่งทางเคมี และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อาจหลงเหลือเป็นสิ่งเจือปนในพอลิเมอร์
- 4. การใช้รังสีเหินยวนำการเกิดปฏิกิริยาจะถูกรบกวนเพียงเล็กน้อยจาก ขนาดวัตถุ , สารตัวเติม ,แอนติออกซิแดนท์ และสารเคมีอื่น ๆ ในเรซิน
- 5. ไม่ต้องทำการผสมหรือกักเก็บสารเคมีเพื่อใช้ในกระบวนการทางเคมี

บทที่ 8

การวิจัยและการดำเนินงาน

1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1.1. เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนของ TPI : บริษัท เลียคเซ็ง จำกัด
- 1.2. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำของ TPI : บริษัท เลียคเซ็ง จำกัด
- 1.3. พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-บิวทาไดอิน-สไตรีนของ SHELL
(CARIFLEX TR-1101)
- 1.4. เม็ดพลาสติกพอลิสไตรีนของ DOW CHEMICAL
(HY 931004)
- 1.5. ไซลีน : Merck
- 1.6. เมทานอล : Merck
- 1.7. สารช่วยในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน : Japan Atomic Energy Research Institute
 - 1.7.1 พอลิเมอร์ร่วมของพอลิพรอพิลีน (27 %) และพอลิเอทิลีน
(EP 941 P) : EPR 1
 - 1.7.2 พอลิเมอร์ร่วมของพอลิพรอพิลีน (22 %) และพอลิเอทิลีน
(EP 912 P) : EPR 2
 - 1.7.3 พอลิเมอร์ร่วมของพอลิพรอพิลีน และบิวทีน-1 (20%)
(EB 2041 P) : EPR 3
 - 1.7.4 Styrene-butadiene rubber added hydrogen
(Dynaron) : EPR 4

2. อุปกรณ์ที่ใช้

- 2.1 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง LRM -110 : Lab tech Co.,Ltd.
- 2.2 เครื่องอัดความร้อน LP 20 : Lab tech Co.,Ltd.
- 2.3 ตู้อบความร้อนแบบสูญญากาศ
- 2.4 เครื่องทดสอบแรงดึง 30 kN : LLOYD
- 2.5 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC : Shimadzu Co.,Ltd.
- 2.6 ชุดหาปริมาณพันธะเชื่อมโยง (Gel Extraction)
- 2.7 เครื่องฉายรังสีแกมมา (13 kGy/hr) : สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
- 2.8 กล้องโพลาริซไมโครสโคป : Nikon
- 2.9 เครื่องไม้ตัดพลาสติก
- 2.10 ชุดให้ความร้อนแก่เครื่องโพลาริซไมโครสโคป (Hot Stage)
- 2.11 เครื่องชั่งแบบแขวนและแบบดิจิทัล
- 2.12 เครื่องตัดชิ้นรูปชิ้นงาน Tensile Bar



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 3.1 ทำอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมของพอลิเมอร์ผสม
- 3.2 ปรับปรุงสมบัติของสารที่เตรียมได้โดยใช้รังสี
- 3.3 ทำการทดสอบสมบัติทางความร้อน และเชิงกลของสารที่เตรียมได้
- 3.4 สรุปผล และนำไปใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วิธีการทดลอง

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ

4.1 ระบบของพอลิเมอร์ผสม พอลิพรอพิลีน / พอลิสไตรีน / สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน ซึ่งมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

4.1.1 ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อทำการผสม โดยแต่ละระบบของพอลิเมอร์ผสมจะมีน้ำหนักสารโดยรวม 300 กรัม อัตราส่วนของ พอลิพรอพิลีน : พอลิสไตรีน เป็น 1:1 และปริมาณสารช่วยผสม สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน เป็น 10 , 20 และ 30 % โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงได้ดังตาราง

| % | PP/PS/SBS | | |
|----|-----------|--------|---------|
| | PP (g) | PS (g) | SBS (g) |
| 10 | 135 | 135 | 30 |
| 20 | 120 | 120 | 60 |
| 30 | 105 | 105 | 90 |

4.1.2 ทำการผสม

ทำการตั้งอุณหภูมิของเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิในการผสมเป็น 180 , 190 และ 220 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม จากนั้นเทเม็ดพลาสติกบนเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง ให้ความร้อนก่อนทำการผสมเป็นเวลา 3 นาที และใช้เวลาในการเดินเครื่องเพื่อผสมเป็นเวลา 4 นาที จึงนำออกจากเครื่องผสมและทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาเข้าเครื่องไมตัดเพื่อทำการย่อยพลาสติก 2-3 ครั้ง เพื่อให้เม็ดพลาสติกมีขนาดใกล้เคียงกัน

4.1.3 นำเม็ดพลาสติกที่ได้มาทำการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง DSC ก่อนทำการฉายรังสี โดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 20 °c /นาที และใช้อัตราการทำให้เย็นตัวที่ 20 °c /นาที

- อ่านค่า T_g , T_m และ T_c จากกราฟ
- คำนวณ ΔH_m และ ΔH_c โดยใช้โปรแกรมการคำนวณในเครื่อง DSC

- การคำนวณ

- ก่อนการผสม(Blend)

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

209

ΔH_2 = พื้นที่ใต้กราฟของ PP ก่อนทำการผสม

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

- หลังทำการผสม (Blend)

หาองค์ความเป็นผลึก ของพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดจาก $\Delta H_{\text{หลังblend}}$

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

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

ΔH_2

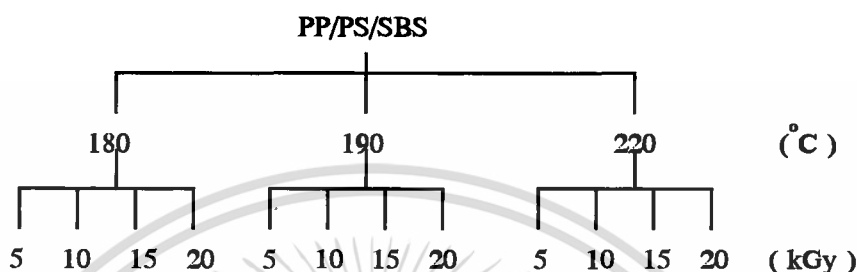
ΔH_4 = พื้นที่ใต้กราฟหลังการผสม

4.1.4 การเตรียมเม็ดพลาสติกเพื่อการฉายรังสี

ชั่งเม็ดพลาสติก 50 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการไล่ออกซิเจนภายในขวดออก โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนอัดใส่เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปิดปากขวดด้วยจุกยางแล้วพันทับด้วยแผ่นฟิล์มพาราฟินหลาย ๆ ชั้น

4.1.5 การฉายรังสี

นำพอลิเมอร์ผสมที่ทำการบรรจุในขวดรูปชมพู่และผ่านการเตรียมเรียบร้อยแล้วมาทำการฉายรังสีด้วยความเข้ม 5 , 10 , 15 และ 20 kGy ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการเปรียบเทียบผลจากปริมาณการฉายรังสีที่ความเข้มต่างกันต่อสมบัติของระบบพอลิเมอร์ผสม ขั้นตอนในการฉายรังสี สามารถสรุปได้ดังนี้



4.1.6 นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการฉายรังสีมาทำการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนหลังการฉายรังสี ด้วยเครื่อง DSC (ทำเช่นเดียวกับข้อ 4.1.3)

4.1.7 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดความร้อนและแม่แบบหนา 2 มิลลิเมตร

ซึ่งนำหนักเม็ดพลาสติกทั้งระบบที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสีและผ่านการฉายรังสีระบบละ 30 กรัม เทลงบนแม่แบบขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนด้วยเครื่องอัดความร้อน LP20 โดยใช้อุณหภูมิในการอัดร้อน 180 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อนก่อนอัด 3 นาที เวลาในการอัดขึ้นรูป 4 นาที และเวลาในการหล่อเย็น 4 นาที นำชิ้นงานที่ผ่านการอัดมาตัดขึ้นรูป Tensile bar ตาม ASTM D 638M

4.1.8 การทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (LLOYD) ขนาด 30 kN ตาม ASTM D 638M

ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของแต่ละระบบโดยใช้ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบระบบละ 4 ชิ้น สภาวะของเครื่องทดสอบเป็นดังนี้

| | | |
|----------------|---|------------------------|
| - Load cell | : | 3000 N |
| - Test speed 1 | : | 5 mm/min |
| - Grammage | : | 1.0 g / m ² |

- Cell class : 0.5
- Gauge length : 25 mm

นำผลที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

- การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{Tensile strength} &= \text{Force (N)/Area (mm}^2\text{)} \\ \% \text{ Elongation} &= (\Delta \text{ Length / Original length) x 100 \\ \text{Modulus} &= \text{Stress /Strain} \end{aligned}$$

4.1.9 การทดสอบความหนาแน่น ทำการทดสอบโดยชั่งน้ำหนักใน เมทานอล

ตัดเศษชิ้นงานที่เหลือจากการตัดชิ้นรูป Tensile bar เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม โดยแต่ละระบบใช้ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบระบบละ 2 ชิ้น ทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอนในอากาศ และ น้ำหนักที่แน่นอนเมื่อชั่งในเมทานอล นำค่าที่ได้มาทำการคำนวณ

- การคำนวณ

$$\rho = (\text{weight dry X } \rho \text{ methanol}) / (\text{weight dry} - \text{weight in methanol})$$

weight dry = น้ำหนักของชิ้นงานในอากาศ

weight in methanol = น้ำหนักของชิ้นงานใน methanol

หมายเหตุ : ρ methanol จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิดังสูตรต่อไปนี้

$$\rho \text{ methanol} = 0.001 T + 0.812$$

T = อุณหภูมิของ methanol

4.1.10 การหาเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล

ตัดเศษชิ้นงานที่เหลือจากแผ่นอัดความร้อนโดยแต่ละระบบใช้ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบระบบละ 1 ชิ้น ทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงในแผ่นตะแกรงทองเหลืองขนาด 1.5 X 2 นิ้ว แล้วพับขอบปิดชิ้นงานห่อเป็นรูปสี่เหลี่ยม ชั่งน้ำหนักห่อลวดที่มีสารตัวอย่างบรรจุอยู่ภายใน ใส่ห่อลวดลงในขวดก้นกลม เติมน้ำแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ปริมาณเล็กน้อย (ปลายช้อนตักสาร) เติมห่วงโซ่พอลิเมอร์ให้ท่วมชิ้นตัวอย่าง(ประมาณ 300 มิลลิลิตร) ทำการสกัดเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนตัวทำละลายทุก 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำออกจากขวดก้นกลม นำห่อลวดที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบสูญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

จากนั้นทำการสกัดซ้ำครั้งละ 72 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักสารที่เหลืออยู่คงที่ นำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้ไปทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล

4.1.11 การหาอัตราการบวมตัวในสารละลายไซลีน

ตัดเศษชิ้นงานที่เหลือจากการอัดความร้อน โดยทำการทดสอบทุกระบบ ระบบละ 1 ชิ้นตัวอย่าง ให้มีขนาดประมาณ 1 ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นงานที่แน่นอน แล้วใส่ในหลอดทดลองขนาดเล็ก ที่บรรจุตัวทำละลายไซลีน ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานเป็นระยะ ๆ จนน้ำหนักคงที่

- การคำนวณ

$$\% \text{ Swelling} = 100 \times \frac{\text{น้ำหนักพลาสติกหลังแช่} - \text{น้ำหนักพลาสติกเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักพลาสติกเริ่มต้น}}$$

4.2 ระบบของพอลิเมอร์ผสม พอลิพรอพิลีน / พอลิเอทิลีน / สารช่วยในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งได้แก่

- EP 941 P (EPR 1 : 27% PP/73% PE)
- EP 912 P (EPR 2 : 22% PP/78% PE)
- BB 2041 P (EPR 3 : 80% PP/20% 1-Butene)
- Dynaron (EPR 4 : Hydrogenated Styrene-Butadiene-Rubber)

ขั้นตอนในการทดลองเป็นดังนี้

4.2.1 ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อทำการผสม โดยแต่ละระบบของพอลิเมอร์ผสมจะมีน้ำหนักสารโดยรวม 300 กรัม อัตราส่วนของ พอลิพรอพิลีน : พอลิเอทิลีน เป็น 1:1 และปริมาณสารช่วยในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียว เป็น 10 % โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงได้ดังตาราง

| % | PP/PE/EPR | | |
|----|-----------|--------|---------|
| | PP (g) | PE (g) | EPR (g) |
| 10 | 135 | 135 | 30 |

4.2.2 ทำการผสม

ทำการตั้งอุณหภูมิของเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิในการผสมเป็น 190 องศาเซลเซียส เท่ากันทุกระบบ จากนั้นเทเม็ดพลาสติกบนเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง ให้ความร้อนก่อนทำการผสมเป็นเวลา 3 นาที และใช้เวลาในการเดินเครื่องเพื่อผสมเป็นเวลา 4 นาที จึงนำออกจากเครื่องผสมและทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาเข้าเครื่องไมตัดเพื่อทำการย่อยพลาสติก 2-3 ครั้ง เพื่อให้เม็ดพลาสติกมีขนาดใกล้เคียงกัน

4.2.3 นำเม็ดพลาสติกที่ได้มาทำการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง DSC ก่อนทำการฉายรังสี โดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 20 °C /นาที่ และใช้อัตราการทำให้เย็นตัวที่ 20 °C /นาที่

- อ่านค่า T_m และ T_g จากกราฟ
- คำนวณ ΔH_m และ ΔH_g โดยใช้โปรแกรมการคำนวณในเครื่อง DSC
- การคำนวณ

- ก่อนการผสม (Blend)

$$\text{Degree of crystallinity (PE)} = \frac{\Delta H_1}{286.4} \times 100$$

ΔH_1 = พื้นที่ใต้กราฟของ PE ก่อนทำการผสม

$$\Delta H_{100} \text{ PE} = 286.4 \text{ J/g}$$

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

ΔH_2 = พื้นที่ใต้กราฟของ PP ก่อนทำการผสม

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

- หลังทำการผสม (Blend)

หาองศาความเป็นผลึก ของพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดจาก $\Delta H_{\text{หลังblend}}$

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

$$\text{Degree of crystallinity (PE)} = \frac{\Delta H_3}{\Delta H_1} \times 100$$

ΔH_3 = พื้นที่ใต้กราฟหลังการผสม

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

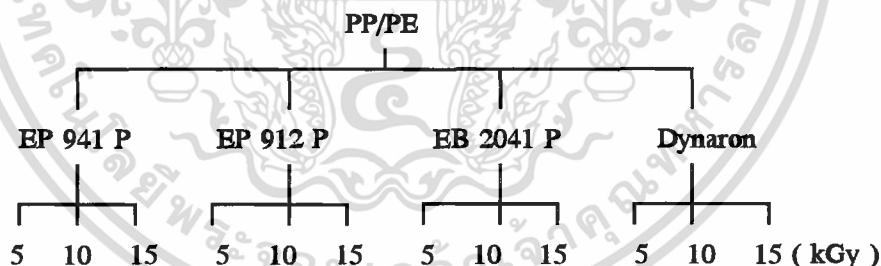
ΔH_4 = พื้นที่ใต้กราฟหลังการผสม

4.2.4 การเตรียมเม็ดพลาสติกเพื่อทำการฉายรังสี

ชั่งเม็ดพลาสติก 50 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการไล่ออกซิเจนภายในขวดออก โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนอัดไล่เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปิดปากขวดด้วยจุกยางแล้วพันทับด้วยแผ่นฟิล์มพาราฟินหลาย ๆ ชั้น

4.2.5 การฉายรังสี

นำพอลิเมอร์ผสมที่ทำการบรรจุในขวดรูปชมพู่และผ่านการเตรียมเรียบร้อยแล้วมาทำการฉายรังสีด้วยความเข้ม 5 , 10 , และ 15 kGy ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการเปรียบเทียบผลจากปริมาณการฉายรังสีที่ความเข้มต่าง ๆ กันต่อสมบัติของระบบพอลิเมอร์ผสม ขั้นตอนในการฉายรังสี สามารถสรุปได้ดังนี้



4.2.6 นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการฉายรังสีมาทำการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนหลังการฉายรังสี ด้วยเครื่อง DSC (ทำเช่นเดียวกับข้อ 4.1.3)

4.2.7 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดความร้อนและแม่แบบขนาด (หนา) 2 มิลลิเมตร

ซึ่งนำหนักเม็ดพลาสติกทั้งระบบที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสีและผ่านการฉายรังสีระบบละ 30 กรัม เทลงบนแม่แบบขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนด้วยเครื่องอัดความร้อน LP20 โดยใช้อุณหภูมิในการอัดร้อน 180 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อนก่อนอัด 3 นาที เวลาในการอัดขึ้นรูป 4 นาที และเวลาในการหล่อเย็น 4 นาที นำชิ้นงานที่ผ่านการอัดมาตัดขึ้นรูป Tensile bar ตาม ASTM D 638M

4.2.8 การทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (LLOYD) ขนาด 30 kN ตาม ASTM D 638M

ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของแต่ละระบบโดยใช้ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบระบบละ 4 ชิ้น สภาพของเครื่องทดสอบเป็นดังนี้

| | | |
|----------------|---|------------------------|
| - Load cell | : | 3000 N |
| - Test speed 1 | : | 5 mm/min |
| - Grammage | : | 1.0 g / m ² |
| - Cell class | : | 0.5 |
| - Gauge length | : | 25 mm |

นำผลที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

- การคำนวณ

$$\text{Tensile strength} = \text{Force (N) / Area (mm}^2\text{)}$$

$$\% \text{ Elongation} = (\Delta \text{ Length / Original length}) \times 100$$

$$\text{Modulus} = \text{Stress / Strain}$$

4.2.9 การทดสอบความหนาแน่น ทำการทดสอบโดยชั่งน้ำหนักใน เมทานอล

ตัดเศษชิ้นงานที่เหลือจากการตัดขึ้นรูป Tensile bar เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม โดยแต่ละระบบใช้ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบระบบละ 2 ชิ้น ทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอนในอากาศ และน้ำหนักที่แน่นอนเมื่อชั่งในเมทานอล นำค่าที่ได้มาทำการคำนวณ

- การคำนวณ

$$\rho = (\text{weight dry} \times \rho \text{ methanol}) / (\text{weight dry} - \text{weight in methanol})$$

weight dry = น้ำหนักของชิ้นงานในอากาศ

• weight in methanol = น้ำหนักของชิ้นงานใน methanol

หมายเหตุ : $\rho \text{ methanol}$ จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิดังสูตรต่อไปนี้

$$\rho \text{ methanol} = 0.001 T + 0.812$$

T = อุณหภูมิของ methanol

4.2.10 การหาเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล

ตัดเศษชิ้นงานที่เหลือจากแผ่นอัดความร้อน โดยแต่ละระบบใช้ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบระบบละ 1 ชิ้น ทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงในแผ่นตะแกรงทองเหลืองขนาด 1.5 X 2 นิ้ว แล้วพับขอบปิดชิ้นงานห่อเป็นรูปสี่เหลี่ยม ชั่งน้ำหนักห่อลวดที่มีสารตัวอย่างบรรจุอยู่ภายใน ใส่ห่อลวดลงในขวดก้นกลม เติมน้ำเกลือออกซิเจนที่ปริมาณเล็กน้อย (ปลายช้อนตักสาร) เติม ตัวทำละลายไซลีน ให้ท่วมชิ้นตัวอย่าง (ประมาณ 300 มิลลิลิตร) ทำการสกัดเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนตัวทำละลายทุก 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำออกจากขวดก้นกลม นำห่อลวดที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบสูญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นทำการสกัดซ้ำครั้งละ 72 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักสารที่เหลืออยู่คงที่ นำค่าของน้ำหนักที่ชั่งได้ไปทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเกิดเจล

4.2.11 การหาอัตราการบวมตัวในตัวทำละลายไซลีน

ตัดเศษชิ้นงานที่เหลือจากการอัดความร้อน โดยทำการทดสอบทุกระบบ ระบบละ 1 ชิ้นตัวอย่าง ให้มีขนาดประมาณ 1 ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นงานที่แน่นอน แล้วใส่ในหลอดทดลองขนาดเล็ก ที่บรรจุตัวทำละลาย ไซลีน ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานเป็นระยะ ๆ จนน้ำหนักคงที่

- การคำนวณ

$$\% \text{ Swelling} = 100 \times \frac{\text{น้ำหนักพลาสติกหลังแช่} - \text{น้ำหนักพลาสติกเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักพลาสติกเริ่มต้น}}$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ระบบหลัก คือ

1. ผลการทดลองของพอลิเมอร์ผสม พอลิพรอพิลีน / พอลิสไตรีน / สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน ที่ได้เป็นดังนี้

1.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter

(DSC)

ตารางแสดงผลการศึกษสมบัติทางความร้อนของระบบที่มี 10 % SBS อุณหภูมิการผสม 180 °c

| รังสี (kGy) | T _g | T _m | T _c | ΔH_m (J/g) | ΔH_c (J/g) | องศา การตก ผลึก T _m | องศาการ ตกผลึก T _c |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|---|-------------------------------------|
| 0 | 111.9 | 167.8 | 117 | 33.293 | 33.587 | 46.41 | 46.82 |
| 5 | 110.9 | 166.8 | 116.5 | 42.126 | 40.161 | 58.73 | 55.99 |
| 10 | 111.1 | 167.7 | 116.5 | 38.850 | 39.951 | 54.16 | 55.70 |
| 15 | 112.1 | 167.5 | 115.7 | 34.783 | 35.702 | 48.49 | 49.77 |
| 20 | 111.7 | 165.7 | 117.2 | 40.462 | 39.697 | 56.41 | 55.34 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบที่มี 10 % SBS อุณหภูมิการผสม 190 °c

| รังสี (kGy) | Tg | Tm | Tc | ΔH_m (J/g) | ΔH_c (J/g) | องศา การตก ผลึก Tm | องศาการ ตกผลึก Tc |
|----------------|-------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 0 | 111.0 | 168.2 | 116.9 | 34.549 | 37.082 | 48.16 | 51.70 |
| 5 | 108.7 | 166.3 | 116.4 | 42.694 | 37.331 | 59.52 | 52.04 |
| 10 | 110.0 | 168.1 | 117.2 | 35.318 | 35.969 | 49.24 | 50.14 |
| 15 | 110.1 | 167.4 | 117.2 | 36.245 | 35.915 | 50.53 | 50.07 |
| 20 | 109.4 | 166.2 | 116.3 | 35.602 | 36.252 | 49.63 | 50.54 |

ตารางแสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบที่มี 10 % SBS อุณหภูมิการผสม 220 °c

| รังสี (kGy) | Tg | Tm | Tc | ΔH_m (J/g) | ΔH_c (J/g) | องศา การตก ผลึก Tm | องศาการ ตกผลึก Tc |
|----------------|-------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 0 | 108.3 | 168.4 | 116.7 | 29.558 | 27.023 | 41.21 | 37.67 |
| 5 | 110.7 | 167.5 | 116.3 | 43.400 | 43.395 | 60.50 | 60.50 |
| 10 | 108.3 | 167.1 | 116.1 | 48.088 | 45.041 | 67.04 | 62.79 |
| 15 | 110.6 | 166.6 | 116.7 | 38.718 | 38.329 | 53.98 | 53.43 |
| 20 | 111.1 | 167.3 | 116.4 | 43.673 | 42.739 | 60.88 | 59.58 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบที่มี 20 % SBS อุณหภูมิการผสม 190 °c

| รังสี (kGy) | Tg | Tm | Tc | ΔH_m (J/g) | ΔH_c (J/g) | องศา การตก ผลึก Tm | องศาการ ตกผลึก Tc |
|----------------|-------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 0 | 110.0 | 167.7 | 116.2 | 31.761 | 29.223 | 44.28 | 40.75 |
| 5 | 109.7 | 165.6 | 116.1 | 34.774 | 33.502 | 48.48 | 46.70 |
| 10 | 110.4 | 165.9 | 116.3 | 32.851 | 33.054 | 45.80 | 46.08 |
| 15 | 111.4 | 166.6 | 116.0 | 28.210 | 30.139 | 39.33 | 42.02 |
| 20 | 111.0 | 166.3 | 116.0 | 33.297 | 33.691 | 46.42 | 46.97 |

ตารางแสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบที่มี 30 % SBS อุณหภูมิการผสม 190 °c

| รังสี (kGy) | Tg | Tm | Tc | ΔH_m (J/g) | ΔH_c (J/g) | องศา การตก ผลึก Tm | องศาการ ตกผลึก Tc |
|----------------|-------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 0 | 110.7 | 166.6 | 116.7 | 24.591 | 21.630 | 34.28 | 30.15 |
| 5 | 108.7 | 163.6 | 116.6 | 25.843 | 26.640 | 36.03 | 37.14 |
| 10 | 108.5 | 163.0 | 117.2 | 25.482 | 26.785 | 35.52 | 37.34 |
| 15 | 107.5 | 163.7 | 118.4 | 26.255 | 27.627 | 36.60 | 38.52 |
| 20 | 107.0 | 163.0 | 118.7 | 25.816 | 28.006 | 35.99 | 39.04 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การศึกษาความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสม

ตารางแสดงการศึกษาความหนาแน่นของระบบที่มี 10 % SBS อุณหภูมิผสม 180 °c

| รังสี (kGy) | ความหนาแน่น (g/cm ³) |
|-------------|-------------------------------------|
| 0 | 0.9516 |
| 5 | 0.9569 |
| 10 | 0.9510 |
| 15 | 0.9514 |
| 20 | 0.9586 |

ตารางแสดงการศึกษาความหนาแน่นของระบบที่มี 10 % SBS อุณหภูมิผสม 190 °c

| รังสี (kGy) | ความหนาแน่น (g/cm ³) |
|-------------|-------------------------------------|
| 0 | 0.9469 |
| 5 | 0.9491 |
| 10 | 0.9574 |
| 15 | 0.9529 |
| 20 | 0.9503 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการศึกษาความหนาแน่นของระบบที่มี 10 % SBS อุณหภูมิผสม 220 °c

| รังสี (kGy) | ความหนาแน่น (g/cm ³) |
|-------------|-------------------------------------|
| 0 | 0.9466 |
| 5 | 0.9513 |
| 10 | 0.9545 |
| 15 | 0.9578 |
| 20 | 0.9572 |

ตารางแสดงการศึกษาความหนาแน่นของระบบที่มี 20 % SBS อุณหภูมิผสม 190 °c

| รังสี (kGy) | ความหนาแน่น (g/cm ³) |
|-------------|-------------------------------------|
| 0 | 0.9445 |
| 5 | 0.9543 |
| 10 | 0.9731 |
| 15 | 0.9810 |
| 20 | 0.9614 |

ตารางแสดงการศึกษาความหนาแน่นของระบบที่มี 30 % SBS อุณหภูมิผสม 190 °c

| รังสี (kGy) | ความหนาแน่น (g/cm ³) |
|-------------|-------------------------------------|
| 0 | 0.9319 |
| 5 | 0.9778 |
| 10 | 0.9683 |
| 15 | 0.9729 |
| 20 | 1.0090 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การศึกษาการบวมตัวใน ตัวทำละลายไซลีน ของพอลิเมอร์ผสม
ตารางแสดงการบวมตัวของระบบที่มี SBS 10 % อุณหภูมิการผสม 180 °c

| รังสี (kGy) | % การบวมตัวที่ 48 ชั่วโมง |
|-------------|------------------------------|
| 0 | 9.57 |
| 5 | 16.35 |
| 10 | 17.77 |
| 15 | 36.38 |
| 20 | 30.48 |

ตารางแสดงการบวมตัวของระบบที่มี SBS 10 % อุณหภูมิการผสม 190 °c

| รังสี (kGy) | % การบวมตัวที่ 48 ชั่วโมง |
|-------------|------------------------------|
| 0 | 13.60 |
| 5 | 15.47 |
| 10 | 19.97 |
| 15 | 21.80 |
| 20 | 5.07 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการบวมตัวของระบบที่มี SBS 10 % อุณหภูมิการผสม 220 °c

| รังสี (kGy) | % การบวมตัวที่ 48 ชั่วโมง |
|-------------|------------------------------|
| 0 | 28.16 |
| 5 | 27.90 |
| 10 | 27.02 |
| 15 | 18.02 |
| 20 | 22.97 |

ตารางแสดงการบวมตัวของระบบที่มี SBS 20 % อุณหภูมิการผสม 190 °c

| รังสี (kGy) | % การบวมตัวที่ 48 ชั่วโมง |
|-------------|------------------------------|
| 0 | 28.23 |
| 5 | 59.90 |
| 10 | 63.43 |
| 15 | 83.46 |
| 20 | 62.52 |

1.4 การศึกษาปริมาณเจลที่เกิดขึ้นโดยการสกัดด้วยไซลีน

ตารางแสดงปริมาณเจลที่เกิดขึ้นจากการสกัดด้วยไซลีนของระบบที่มี 10 % SBS อุณหภูมิผสม 180 °c

| รังสี (kGy) | % การเกิดเจล |
|-------------|--------------|
| 0 | 0.00 |
| 5 | 4.50 |
| 10 | 0.32 |
| 15 | 2.05 |
| 20 | 0.98 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงปริมาณเจลที่เกิดขึ้นจากการสกัดด้วยไซลีนของระบบที่มี 10 % SBS อุณหภูมิผสม 190 °c

| รังสี (kGy) | % การเกิดเจล |
|-------------|--------------|
| 0 | 0 |
| 5 | 2.19 |
| 10 | 3.85 |
| 15 | 1.88 |
| 20 | 1.17 |

ตารางแสดงปริมาณเจลที่เกิดขึ้นจากการสกัดด้วยไซลีนของระบบที่มี 10 % SBS อุณหภูมิผสม 220 °c

| รังสี (kGy) | % การเกิดเจล |
|-------------|--------------|
| 0 | 0.40 |
| 5 | 0.30 |
| 10 | 0 |
| 15 | 1.78 |
| 20 | 2.27 |

ตารางแสดงปริมาณเจลที่เกิดขึ้นจากการสกัดด้วยไซลีนของระบบที่มี 20 % SBS อุณหภูมิผสม 190 °c

| รังสี (kGy) | % การเกิดเจล |
|-------------|--------------|
| 0 | 1.60 |
| 5 | 1.70 |
| 10 | 2.02 |
| 15 | 2.49 |
| 20 | 2.75 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

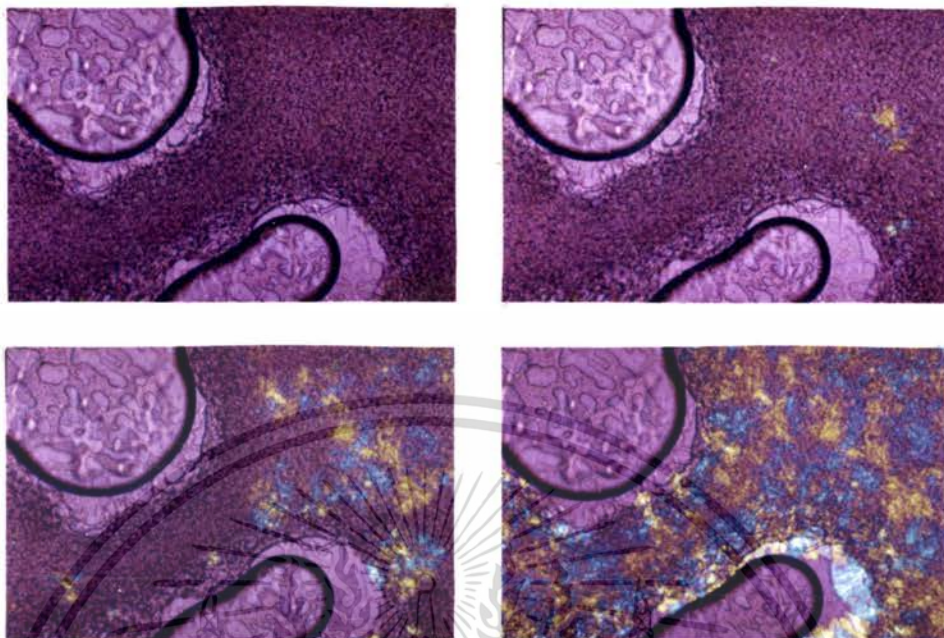
1.5 การศึกษาสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดึง
 ตารางแสดงผลความแข็งแรงดึงของระบบพอลิเมอร์ผสม (MPa)

| สารตัวอย่าง | 10% 180°c | 10% 190°c | 10% 220°c | 20% 190°c | 30% 190°c |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0 KGy | 33.42 | 37.19 | 28.35 | 18.93 | 22.49 |
| 5 KGy | 44.65 | 37.92 | 33.43 | 25.29 | 18.40 |
| 10 KGy | 31.10 | 42.66 | 33.04 | 19.89 | 26.03 |
| 15 KGy | 39.46 | 24.50 | 44.52 | 27.87 | 20.32 |
| 20 KGy | 47.71 | 35.68 | 16.06 | 18.14 | 23.85 |

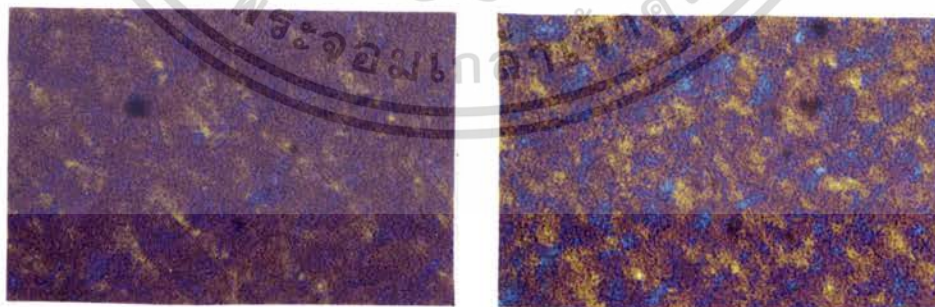


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 การศึกษาสภาพพื้นฐานวิทยาโดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป



รูปที่ 1 แสดงลำดับการตกผลึก 30 %SBS / PP / PS
ก่อนการฉายรังสีตั้งแต่อุณหภูมิ 160 - 100 °C



รูปที่ 2 แสดงลำดับการตกผลึก 30 %SBS / PP / PS
หลังการฉายรังสีตั้งแต่อุณหภูมิ 160 - 100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการทดลองของพอลิเมอร์ผสม พอลิพรอพิลีน / พอลิเอทิลีน / สารช่วยในการรวมตัว เป็นเนื้อเดียว ที่ได้เป็นดังนี้

2.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter

(DSC)

ตารางแสดงผลการศึกษสมบัติทางความร้อนของระบบที่มี 10 % EPR 1

| รังสี (kGy) | T _m (PE) | T _m (PP) | T _c (PE) | T _c (PP) |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 | 114.4 | 168.7 | 97.0 | 118.4 |
| 5 | 113.9 | 168.1 | 96.4 | 116.3 |
| 10 | 113.6 | 168.6 | 96.6 | 117.3 |
| 15 | 113.1 | 168.1 | 96.2 | 117.4 |

| รังสี (kGy) | ΔH_m (PE) (J/g) | ΔH_m (PP) (J/g) | องศาการตก ผลึก T _m (PE) | องศาการตก ผลึก T _m (PP) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 0 | 31.219 | 28.375 | 49.51 | 39.55 |
| 5 | 31.509 | 25.603 | 49.97 | 35.69 |
| 10 | 27.662 | 30.081 | 43.87 | 41.93 |
| 15 | 27.527 | 29.791 | 43.66 | 41.53 |

| รังสี (kGy) | ΔH_c (PE) (J/g) | ΔH_c (PP) (J/g) | องศาการตก ผลึก T _c (PE) | องศาการตก ผลึก T _c (PP) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 0 | 28.837 | 36.000 | 45.73 | 50.19 |
| 5 | 25.894 | 26.460 | 41.07 | 36.89 |
| 10 | 26.312 | 36.029 | 41.73 | 50.23 |
| 15 | 25.003 | 36.786 | 39.65 | 51.28 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบที่มี 10 % EPR 2

| รังสี (kGy) | T _m (PE) | T _m (PP) | T _c (PE) | T _c (PP) |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 | 113.5 | 168.5 | 97.2 | 118.9 |
| 5 | 115.1 | 169.7 | 96.8 | 118.7 |
| 10 | 114.2 | 167.9 | 96.4 | 118.4 |
| 15 | 115.6 | 168.8 | 96.5 | 117.8 |

| รังสี (kGy) | ΔH_m (PE) (J/g) | ΔH_m (PP) (J/g) | องศาการตก ผลึก T _m (PE) | องศาการตก ผลึก T _m (PP) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 0 | 27.933 | 27.744 | 44.30 | 38.67 |
| 5 | 31.478 | 29.541 | 49.92 | 41.18 |
| 10 | 24.557 | 24.809 | 38.95 | 34.58 |
| 15 | 29.295 | 25.670 | 46.46 | 35.78 |

| รังสี (kGy) | ΔH_c (PE) (J/g) | ΔH_c (PP) (J/g) | องศาการตก ผลึก T _c (PE) | องศาการตก ผลึก T _c (PP) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 0 | 21.739 | 34.981 | 34.48 | 48.77 |
| 5 | 26.957 | 37.219 | 42.75 | 51.89 |
| 10 | 23.383 | 32.707 | 37.08 | 45.60 |
| 15 | 26.490 | 32.896 | 42.01 | 45.86 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบที่มี 10 % EPR 3

| รังสี (kGy) | T _m (PE) | T _m (PP) | T _c (PE) | T _c (PP) |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 | 114.4 | 168.5 | 96.9 | 118.8 |
| 5 | 114.6 | 169.9 | 96.5 | 119.6 |
| 10 | 116.1 | 170.1 | 96.2 | 118.1 |
| 15 | 112.1 | 167.7 | 96.3 | 119.2 |

| รังสี (kGy) | ΔH_m (PE) (J/g) | ΔH_m (PP) (J/g) | องศาการตก ผลึก T _m (PE) | องศาการตก ผลึก T _m (PP) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 0 | 26.102 | 23.013 | 41.40 | 32.08 |
| 5 | 27.228 | 28.062 | 43.18 | 39.12 |
| 10 | 27.586 | 23.155 | 43.75 | 32.28 |
| 15 | 27.092 | 30.575 | 42.97 | 42.62 |

| รังสี (kGy) | ΔH_c (PE) (J/g) | ΔH_c (PP) (J/g) | องศาการตก ผลึก T _c (PE) | องศาการตก ผลึก T _c (PP) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 0 | 17.326 | 22.736 | 27.48 | 31.70 |
| 5 | 16.621 | 20.903 | 26.36 | 29.14 |
| 10 | 15.564 | 20.049 | 24.68 | 27.95 |
| 15 | 23.479 | 36.076 | 37.24 | 50.29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบที่มี 10 % EPR 4

| รังสี (kGy) | T _m (PE) | T _m (PP) | T _c (PE) | T _c (PP) |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 | 112.3 | 167.3 | 97.8 | 118.3 |
| 5 | 113.3 | 168.0 | 97.9 | 117.8 |
| 10 | 113.2 | 167.6 | 97.6 | 117.0 |
| 15 | 112.9 | 168.2 | 97.4 | 117.2 |

| รังสี (kGy) | ΔH_m (PE) (J/g) | ΔH_m (PP) (J/g) | องศาการตก ผลึก T _m (PE) | องศาการตก ผลึก T _m (PP) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 0 | 35.166 | 33.782 | 55.77 | 47.09 |
| 5 | 31.954 | 27.624 | 50.68 | 38.51 |
| 10 | 30.772 | 26.592 | 48.80 | 37.07 |
| 15 | 30.102 | 29.985 | 47.74 | 41.80 |

| รังสี (kGy) | ΔH_c (PE) (J/g) | ΔH_c (PP) (J/g) | องศาการตก ผลึก T _c (PE) | องศาการตก ผลึก T _c (PP) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 0 | 50.784 | 48.274 | 80.54 | 67.30 |
| 5 | 42.319 | 57.742 | 67.12 | 80.50 |
| 10 | 41.931 | 51.060 | 66.50 | 71.18 |
| 15 | 26.404 | 39.147 | 41.88 | 54.58 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การศึกษาความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสม

ตารางแสดงการศึกษาความหนาแน่นของระบบที่มี 10 % EPR 1

| รังสี (kGy) | ความหนาแน่น (g/cm^3) |
|-------------|---------------------------------|
| 0 | 0.8782 |
| 5 | 0.8748 |
| 10 | 0.8770 |
| 15 | 0.8674 |

ตารางแสดงการศึกษาความหนาแน่นของระบบที่มี 10 % EPR 2

| รังสี (kGy) | ความหนาแน่น (g/cm^3) |
|-------------|---------------------------------|
| 0 | 0.8866 |
| 5 | 0.8906 |
| 10 | 0.9069 |
| 15 | 0.8589 |

ตารางแสดงการศึกษาความหนาแน่นของระบบที่มี 10 % EPR 3

| รังสี (kGy) | ความหนาแน่น (g/cm^3) |
|-------------|---------------------------------|
| 0 | 0.8539 |
| 5 | 0.8555 |
| 10 | 0.8514 |
| 15 | 0.8795 |

ตารางแสดงการศึกษาความหนาแน่นของระบบที่มี 10 % EPR 4

| รังสี (kGy) | ความหนาแน่น (g/cm^3) |
|-------------|---------------------------------|
| 0 | 0.8665 |
| 5 | 0.8963 |
| 10 | 0.8998 |
| 15 | 0.8995 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การศึกษาการบวมตัวในตัวทำละลายไซลีน

ตารางแสดงการบวมตัวของ 10% EPR 1 190 °C

| รังสี (kGy) | % การบวมตัวที่ 51 ชั่วโมง |
|-------------|------------------------------|
| 0 | 34.39 |
| 5 | 38.49 |
| 10 | 33.53 |
| 15 | 40.92 |

ตารางแสดงการบวมตัวของ 10% EPR 2 190 °C

| รังสี (kGy) | % การบวมตัวที่ 51 ชั่วโมง |
|-------------|------------------------------|
| 0 | 34.00 |
| 5 | 36.13 |
| 10 | 38.46 |
| 15 | 37.96 |

ตารางแสดงการบวมตัวของ 10% EPR 3 190 °C

| รังสี (kGy) | % การบวมตัวที่ 51 ชั่วโมง |
|-------------|------------------------------|
| 0 | 32.86 |
| 5 | 31.72 |
| 10 | 34.00 |
| 15 | 31.83 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการบวมตัวของ 10% EPR 4 190 °C

| รังสี (kGy) | % การบวมตัวที่ 51 ชั่วโมง |
|-------------|------------------------------|
| 0 | 34.55 |
| 5 | 34.62 |
| 10 | 32.60 |
| 15 | 32.94 |

2.4 การศึกษาปริมาณเจลที่เกิดขึ้นโดยการสกัดด้วยไซลีน

จากการทดลองพบว่าระบบทั้งหมดไม่สามารถหาปริมาณการเกิดเจลในระบบพอลิเมอร์ผสม โดยการสกัดด้วยไซลีนได้ เนื่องจากเจลที่เกิดขึ้นคาดว่ามีความหนืดน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบ

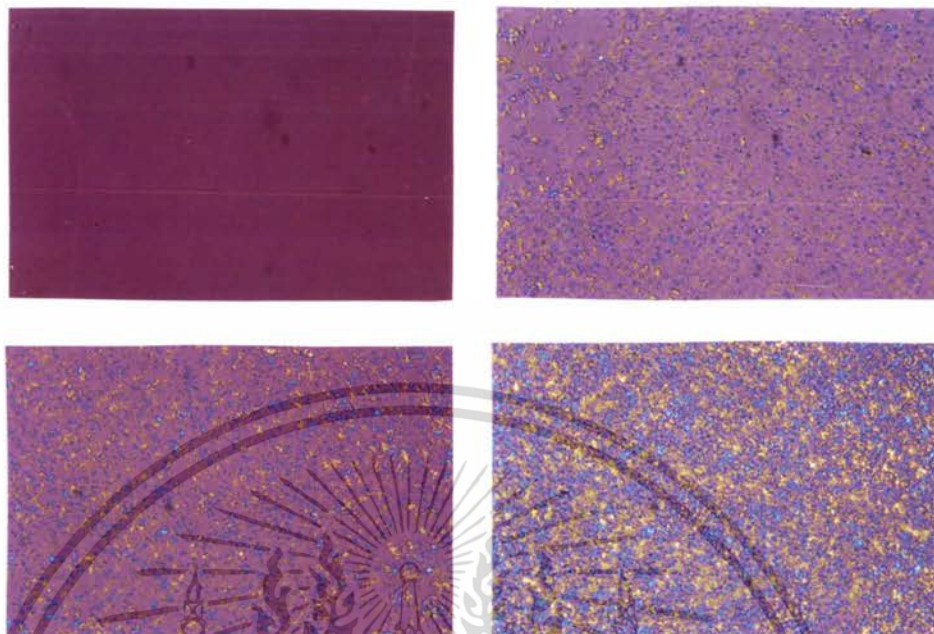
2.5 การศึกษาสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดึง

ตารางแสดงผลความแข็งแรงดึงของระบบพอลิเมอร์ผสม (MPa)

| สารตัวอย่าง | EPR 1 | EPR 2 | EPR 3 | EPR 4 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 0 Kgy | 24.12 | 15.98 | 23.94 | 44.68 |
| 5 KGy | 24.79 | 23.85 | 30.43 | 39.62 |
| 10 KGy | 21.20 | 26.88 | 25.19 | 36.17 |
| 15 KGy | 19.22 | 8.80 | 26.51 | 37.25 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การศึกษาสภาพพื้นฐานวิทยาโดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป

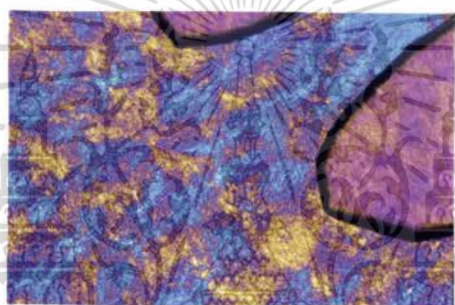
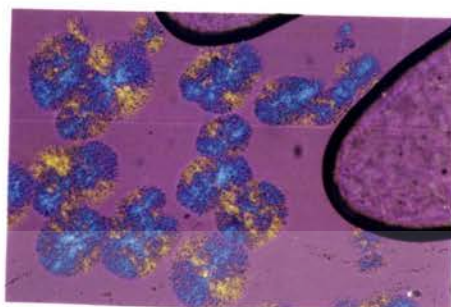


รูปที่ 3 แสดงลำดับการตกผลึก 10 %EPR3 / PP / PE ก่อนการฉายรังสีตั้งแต่อุณหภูมิ 160-100 °C



รูปที่ 4 แสดงลำดับการตกผลึก 10 %EPR3 / PP / PE หลังการฉายรังสีตั้งแต่อุณหภูมิ 160-100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 แสดงลำดับการตกผลึก 10 %EPR4 / PP / PE หลังการฉายรังสีตั้งแต่อุณหภูมิ 160-100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการทดลองของพอลิเมอร์ผสม ที่ความเข้มรังสี 200 kGy

CP-1 : EPR 2 (22 % Polypropylene / 78% polyethylene)

CP-2 : EPR 3 (20 % 1-butene / 80% polypropylene)

CPB-1: PP/PE/EPR 1

CPB-2: PP/PE/EPR 3

CPB-3: PP/PE/EPR 4

CPB-4: PP/PS/10%SBS

CPB-5: PP/PS/20%SBS

BL-1 : PP/PE

BL-2 : PP/PS

การศึกษาปริมาณเจลโดยการสกัดด้วยโซลีนร้อน ได้ผลเป็นดังนี้

ตารางแสดงปริมาณเจลที่เกิดขึ้นจากการสกัดด้วยโซลีนของระบบพอลิเมอร์ที่ความเข้มรังสี 200 kGy

| สารตัวอย่าง | % เจล |
|-------------|-------|
| LDPE | 44.76 |
| PP | 7.21 |
| BL-1 | 46.70 |
| BL-2 | 18.50 |
| CP-1 | 13.83 |
| CP-2 | 7.15 |
| CPB-1 | 42.40 |
| CPB-2 | 50.88 |
| CPB-3 | 51.64 |
| CPB-4 | 47.20 |
| CPB-5 | 63.65 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC

ตารางแสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของระบบพอลิเมอร์ที่ความเข้มรังสี 200 kGy

| สาร ตัวอย่าง | T _m (PE) | T _m (PP) | T _c (PE) | T _c (PP) |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| CPB-2 | 114.3 | 161.2 | 92.2 | 114.3 |
| CPB-5 | 112.5 | 160.1 | 93.4 | 114.2 |
| CPB-3 | - | 162.7 | - | 117.1 |

| สาร ตัวอย่าง | ΔH_m (PE) (J/g) | ΔH_m (PP) (J/g) | องศาการตก ผลึก T _m (PE) | องศาการตก ผลึก T _m (PP) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| CPB-2 | 22.21 | 17.24 | 35.22 | 24.03 |
| CPB-5 | 25.725 | 21.362 | 40.32 | 29.78 |
| CPB-3 | - | 28.48 | - | 39.70 |

| สาร ตัวอย่าง | ΔH_c (PE) (J/g) | ΔH_c (PP) (J/g) | องศาการตก ผลึก T _c (PE) | องศาการตก ผลึก T _c (PP) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| CPB-2 | 17.55 | 26.02 | 27.83 | 36.27 |
| CPB-5 | 21.68 | 31.17 | 34.38 | 43.45 |
| CPB-3 | - | 26.85 | - | 39.70 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผลการทดลอง

ก. ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน /พอลิสไตรีน /สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน

1. สมบัติทางความร้อนที่ได้จากเครื่อง DSC

จากผลของ DSC พบว่า อุณหภูมิในการหลอมเหลว ,อุณหภูมิในการตกผลึก และ อุณหภูมิสถานะก้ำกัวยกเว้น มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในทุกๆระบบที่ทำการทดลอง และส่วนใหญ่ ΔH_m ของพอลิพรอพิลีน จะมีค่าน้อยกว่า ΔH_c รวมทั้งองค์การตกผลึก T_m จะน้อยกว่าองค์การตกผลึกของ T_c เป็นการแสดงว่า พอลิพรอพิลีนเกิดการสลายตัวเป็นโซ่สั้น ๆ ทำให้เกิดการตกผลึกลำดับที่ 2 (Secondary Crystallization) แต่ในบางสภาวะการทดลองกลับพบว่า ΔH_m ของพอลิพรอพิลีน จะมีค่ามากกว่า ΔH_c รวมทั้งองค์การตกผลึก T_m จะมากกว่าองค์การตกผลึกของ T_c เป็นการแสดงว่า พอลิพรอพิลีนมีการรบกวนการตกผลึกที่น่าจะเกิดจากการเกิดการเชื่อมโยงระหว่าง พอลิพรอพิลีน และบิวทาไดอีน ในโครงสร้างของ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน

1.1 ผลของอุณหภูมิการผสมต่อสมบัติของระบบพอลิเมอร์ผสม

จากการทดลองพบว่า โอกาสที่พอลิเมอร์ผสมจะเกิดการสลายตัวจะเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิในการผสม คือ 180 ,190 และ 220 °c ตามลำดับ เพราะนอกจากระบบพอลิเมอร์ผสมจะได้รับความร้อนโดยตรงจากเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งแล้ว ยังมีแรงเฉือนที่เกิดจากเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง ซึ่งจะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาการสลายสายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีน

1.2 ผลของปริมาณ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน ที่ใช้ในระบบพอลิเมอร์ผสม

จากการทดลองพบว่า ถ้าใช้ความเข้มข้นของรังสีที่มีค่าต่ำ จะยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่า อัตราส่วนเท่าใดจึงจะเหมาะสม แต่มีแนวโน้มของเจลที่เกิดจะสูงขึ้นตามปริมาณ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน ที่เติมในพอลิเมอร์ผสม เมื่อทำการทดลองที่ความเข้มข้นรังสีสูงพบว่า ปริมาณ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน ที่เพิ่มขึ้น น่าจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างวัฏภาคมากขึ้น

จึงสามารถสรุปการเกิดพันธะเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ผสมในระบบนี้ได้ดังนี้

- ถ้า $\Delta H_c < \Delta H_m$ หมายความว่ามีการรบกวนการตกผลึกของพอลิพรอพิลีน อันเนื่องมาจาก พันธะเชื่อมโยงที่เกิดระหว่าง พอลิพรอพิลีน กับบิวทาไดอีน ในสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน

- ถ้า $\Delta H_c > \Delta H_m$ หมายความว่าระบบจะเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่าง พันธะคู่ของบิวทาไดอีน ในสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน ด้วยตัวเอง ซึ่งจะไม่ส่งผลต่อการตกผลึกของพอลิพรอพิลีน ทำให้เกิดการสลายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีน เมื่อได้รับรังสีพลังงานสูง

2. การศึกษาความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสม

ระบบส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มของความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับรังสีพลังงานสูงในความเข้มข้นเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากเมื่อระบบพอลิเมอร์ผสมได้รับพลังงานต่ำ พอลิพรอพิลีน จะเกิดการสลายสายโซ่โมเลกุลมากกว่าการเกิดพันธะเชื่อมโยง ดังนั้นความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น จะมาจากการตกผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์ที่สั้นลง

3. การศึกษาการบวมตัวในตัวทำละลายไซลีน

ระบบส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มที่อัตราการบวมตัวจะเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับรังสีพลังงานสูงในความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากเมื่อพอลิเมอร์ผสมได้รับรังสีที่มีความเข้มข้นต่ำ จะทำให้เกิดการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น และเมื่อระบบมีอัตราส่วนของ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน เพิ่มขึ้น อัตราการบวมตัวก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจาก สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน มีโครงสร้างโมเลกุลในส่วนที่ไม่เป็นผลึกมากจึงทำให้มีการดูดซับตัวทำละลายไซลีนเข้าไปในบริเวณนี้มาก

4. การศึกษาการหาปริมาณเจลที่เกิดขึ้น โดยการสกัดด้วยไซลีนร้อน

จากการทดลองพบว่ามีเกิดการเกิดเจลขึ้นปริมาณไม่มากนักในทุกระบบ ขึ้นอยู่กับโอกาสในการรวมตัวของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ถ้าการผสมมีการกระจายตัวของทุกองค์ประกอบอย่างสม่ำเสมอ โอกาสในการเกิดเจลก็จะมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน จะทำให้โอกาสในการเกิดเจลมากขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มพันธะคู่ในระบบพอลิเมอร์ผสม เจลที่เกิดขึ้นจะเกิดจากสาเหตุที่สำคัญสองประการดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

5. ผลของสมบัติเชิงกลในด้านความแข็งแรงดึง

จากการทดลองพบว่าปริมาณเจลที่เกิดขึ้นจะสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงดึงที่ได้จากการทดลองเป็นส่วนใหญ่ เช่น ที่ 10 % 180 °C 0 kGy ซึ่งไม่พบเจล มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 33.42 MPa ที่ 5 kGy มีปริมาณเจล 4.5 % ให้ค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 44.65 MPa และที่ 10 kGy มีปริมาณเจลเท่ากับ 0.32 % มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 31.10 MPa จะเห็นได้ว่า มีการสอดคล้องกันของพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นกับสมบัติเชิงกล

6. การศึกษาสภาพสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องโพลาริซ์ไมโครสโคป

จากภาพถ่ายจะพบว่า ผลึกของพอลิพรอพิลีนจะกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างของสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน มีการแยกตัวกันอยู่อย่างชัดเจน แสดงว่าระบบส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงสมบัติในการยึดติดระหว่างผิว

ข. ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีน /พอลิเมอร์ร่วม EPR ทั้ง 4 ชนิด

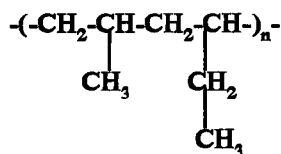
1. การศึกษาสมบัติทางความร้อนที่ได้จากเครื่อง DSC

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการหลอมเหลว , อุณหภูมิในการตกผลึก, อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เป็นการชี้ให้เห็นว่าระบบทั้ง 4 ระบบ ยังแยกกันอยู่อย่างเห็นได้ชัด มีบางส่วนของพอลิเมอร์ที่สามารถกระจายตัวเข้าไปในพอลิเมอร์ร่วมได้

พิจารณาที่ค่าเอนทัลปี พบว่า ΔH_m ของพอลิพรอพิลีน จะมีค่าน้อยกว่า ΔH_m ของพอลิเอทิลีนอันเนื่องมาจากพอลิเอทิลีนสามารถกระจายตัวเข้าไปในโครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมได้ดีกว่า เมื่อมาพิจารณาที่ ΔH_c ของพอลิพรอพิลีน จะมีค่ามากกว่า ΔH_c ของพอลิเอทิลีน เป็นเพราะพอลิพรอพิลีน แยกตัวออกจากพอลิเมอร์ร่วมทำให้มันสามารถตกผลึกได้ดีกว่า เพราะอุณหภูมิต่ำกว่า ถ้าองศาการตกผลึกของ T_c มากกว่าองศาการตกผลึกของ T_m เป็นการแสดงว่า มีการสลายโซ่ของโมเลกุลมากขึ้น จึงเกิดการตกผลึกลำดับที่ 2 (Secondary Crystallization)

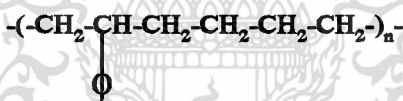
เมื่อพิจารณาความสามารถในการผสมกันของพอลิเมอร์ร่วมทั้ง 4 ชนิด จากแผนภาพทางความร้อนพบว่า ในระบบ EPR 1 และ EPR 2 ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเอทิลีน มากกว่า พรอพิลีน ทำให้พอลิเอทิลีนสามารถกระจายตัวเข้าไปในพอลิเมอร์ร่วมได้ดีกว่าเมื่อเปรียบ

เทียบของสาคารถกผลึกของพอลิเอทิลีนที่ T_m และ T_c พบว่า องสาคารถกผลึกของ PE ลดลง ในขณะที่องสาคารถกผลึกของ PP เพิ่มขึ้น เมื่อมาพิจารณาถึง EPR 3 ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมที่มีองค์ประกอบของพอลิพรอพิลีนถึง 80 % และ ที่เหลือคือ 1-บิวทีน 20 %



EPR 3

เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างแล้ว พบว่าใกล้เคียงกับพอลิพรอพิลีนมาก ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบของสาคารถกผลึกของพอลิพรอพิลีนที่ T_m และ T_c จะพบว่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ร่วมชนิดอื่น ซึ่งหมายถึงโอกาสที่พอลิพรอพิลีน จะสามารถกระจายตัวได้ดีขึ้นในพอลิเมอร์ร่วมชนิดนี้ และเมื่อเปรียบเทียบของสาคารถกผลึกของพอลิพรอพิลีนที่ T_m และ T_c จะพบว่าให้ค่าที่ลดลงทั้งสองตัวเป็นผลเนื่องมาจาก โครงสร้างที่สามารถผสมกันได้ดีทั้งพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน ทำให้รบกวนการตกผลึกของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ในส่วนของ EPR 4 ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมของ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน ที่ทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน เข้าไปที่พันธะคู่ในโครงสร้างกลายเป็น



EPR 4

จาก โครงสร้างจะเห็นว่า พอลิเมอร์ที่พอที่จะสามารถแทรกตัวเข้าไปได้คือพอลิเอทิลีน ก็จะเข้าไปในส่วนที่มีโครงสร้างคล้ายกับเอทิลีน แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในลักษณะเกาะเกี่ยวกันอยู่ (Entanglement) ดังนั้นการตกผลึกจะแยกออกจากกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะให้องสาคารถกผลึกที่สูงสุดและเมื่อเทียบกันระหว่างองสาคารถกผลึกที่ T_m กับ T_c จะพบว่าการตกผลึกนั้นเพิ่มขึ้น แสดงว่าเป็นการแยกกันอยู่อย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวโดยการ ใช้รังสีพลังงานสูงพบว่า จะเกิดการสลายสายโซ่โมเลกุลในส่วนที่เป็น พอลิพรอพิลีนและพรอพิลีนในส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ร่วมมากกว่าพอลิเอทิลีน ยกเว้น EPR 3 ซึ่งจะให้องสาคารถกผลึกของทั้งพอลิเอทิลีนและ

พอลิพรอพิลีนต่ำลงหมายถึง โอกาสในการที่จะผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่ใกล้เคียงกับพอลิพรอพิลีนมาก และเมื่อทำการทดลอง ที่ 200 kGy พบว่าระบบมีการเชื่อมโยงระหว่างวัฏภาคมากขึ้น โดยการเชื่อมโยงจะเกิดจากส่วนที่เป็น พอลิเอทิลีนมากกว่าพอลิพรอพิลีน โดยพิจารณาที่องศาการตกผลึกของพอลิเอทิลีนจะลดลงเมื่อเทียบกันระหว่างที่ T_m กับ T_c ไม่ว่าจะเป็พอลิเมอร์ร่วมชนิดใดก็ตาม

2. การศึกษาความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสม

ระบบส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มของความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับรังสีพลังงานสูงในความเข้มข้นเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากเมื่อระบบพอลิเมอร์ผสมได้รับพลังงานต่ำ พอลิพรอพิลีน จะเกิดการสลายสายโซ่โมเลกุลมากกว่าการเกิดพันธะเชื่อมโยง ดังนั้นความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น จะมาจากการตกผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์ที่สั้นลง

3. การศึกษาการบวมตัวในตัวทำละลายไซลีน

จากการทดลองพบว่าแนวโน้มในการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมในระบบต่าง ๆ ในตัวทำละลายไซลีน จะเพิ่มขึ้นหรือคงที่อันเป็นผลมาจากระบบส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงหรือเกิดการสลายโซ่โมเลกุลขึ้น

4. การศึกษาหาปริมาณเจลที่เกิดขึ้น โดยการสกัดด้วยไซลีนร้อน

จากการสกัดพบว่าไม่เกิดเจลในระบบพอลิเมอร์ผสมเลยหรืออาจจะเกิดในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อทำการสกัดจึงไม่พบว่ามีพอลิเมอร์ผสมหลงเหลืออยู่เลย จึงหมายความว่าระบบส่วนใหญ่จะเกิดการสลายตัวโดยสลายในส่วนของโซ่พอลิพรอพิลีน อันเนื่องมาจากพอลิพรอพิลีนเมื่อได้รับความเข้มข้นรังสีที่ต่ำ จะมีการสลายตัวมากกว่าการเกิดพันธะเชื่อมโยง และเพื่อทำการพิสูจน์สมมติฐานที่ตั้งขึ้นจึงได้ทำการทดลองฉายรังสีที่ความเข้ม 200 kGy พบว่ามีปริมาณเจลที่เหลือจากการสกัดประมาณ 50 % จึงเป็นการยืนยันได้ว่ามีการเกิดพันธะเชื่อมโยงขึ้นจริงและการเชื่อมโยงจะเกิดในส่วนที่เป็น พอลิเอทิลีนมากกว่าพอลิพรอพิลีน ซึ่งพิจารณาได้จากแผนภาพทางความร้อนจากเครื่อง DSC ค่า ΔH_c ของพอลิเอทิลีนมีค่าน้อยกว่า ΔH_m นั่นคือองศาการตกผลึกลดลงนั่นเอง

5. ผลของสมบัติเชิงกลในเรื่องความแข็งแรงดึง

จากการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงของระบบพอลิเมอร์ ผสมทั้ง 4 ชนิด พบว่าเมื่อไม่ได้ทำการฉายรังสีค่าความแข็งแรงดึงจะใกล้เคียงกัน โดยมี EPR 4 ที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด และเมื่อพิจารณาสารตัวอย่างเมื่อฉายรังสีแล้วพบว่าใน EPR 1, EPR 2 และ EPR 4 จะให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง ส่วน EPR 3 จะค่อนข้างคงที่ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในด้านอื่น ๆ ที่ว่าระบบส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงและเกิดการสลายโซ่โมเลกุลมากกว่า

6. การศึกษาสภาพพื้นฐานวิทยาโดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป

จากภาพถ่ายจะพบว่า ผลึกของพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนจะกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างของ พอลิเมอร์ร่วมแต่ละชนิด จะเห็นได้ว่าการแยกตัวกันอยู่อย่างชัดเจน แสดงว่าระบบส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงสมบัติในการยึดติดระหว่างผิว

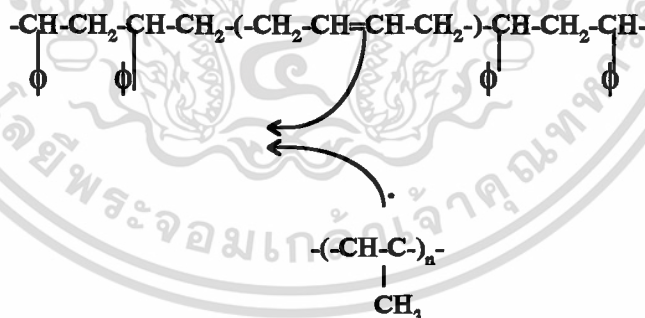


บทที่ 5

สรุปการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการดำเนินการวิจัย

5.1.1 ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน /พอลิสไตรีน /สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทั้งหมดแล้ว สามารถสรุปภาพโดยรวมของระบบพอลิเมอร์ผสมนี้ได้ดังนี้ คือ ระบบส่วนใหญ่ยังไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้จึงแยกกันอยู่อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจจะสังเกตได้ภาพถ่ายทางโพราไลซ์ไมโครสโคป และแผนภาพทางความร้อนของเครื่อง DSC โดยจะพบว่า อุณหภูมิในการหลอมเหลวของ พอลิพรอพิลีนไม่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิสไตรีนไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน และเมื่อได้ทำการปรับปรุงสมบัติการยึดติดระหว่างผิวโดยใช้รังสีพลังงานสูงก็ตาม พบว่าสามารถเกิดการเชื่อมโยงระหว่างวัฏภาคได้ประมาณ 1-4 % เท่านั้นซึ่งได้จากผลการสกัดด้วยตัวทำละลายไซลีนร้อน โดยการเชื่อมโยงจะเกิดจากการรวมตัวของอนุมูลอิสระบนพอลิพรอพิลีนกับพันธะคู่ของบิวทาไดอีนซึ่งง่ายต่อการสลายตัวให้อนุมูลอิสระเมื่อได้รับพลังงานเพียงเล็กน้อย โดยการเชื่อมโยงดังกล่าวจะเกิดได้ดังแผนภาพที่แสดงดังต่อไปนี้



และเพื่อทำการสรุปผลของความเข้มของรังสีพลังงานสูงที่มีผลต่อการเชื่อมโยงในลักษณะดังกล่าวจึงได้มีการทำการทดลองเพิ่มเติม โดยการนำพอลิเมอร์ผสมที่ใช้อัตราส่วนของพอลิเมอร์ร่วม สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน 20 % ในความเข้มที่ 200 KGy ปรากฏผลว่าได้ปริมาณเจลจากการสกัดด้วยไซลีนร้อนถึง 63.65 % และเมื่อพิจารณาแผนภาพทางความร้อนจากเครื่อง DSC พบว่า ΔH_m มากกว่า ΔH_c นั้นเป็นการแสดงว่าการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นเป็นการเชื่อมโยง

จาก พอลิพรอพิลีนจริงซึ่งทำให้องศาการตกผลึกที่อุณหภูมิในการตกผลึกลดต่ำลงเป็นการขัดขวางการตกผลึกของพอลิพรอพิลีนจากการเกิดพันธะเชื่อมโยงดังกล่าว

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการผสมพบว่าถ้าเพิ่มอุณหภูมิในการผสมสูงขึ้นจะเกิดการสลายของสายโซ่โมเลกุลในพอลิพรอพิลีนมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากการทำการทดลองเกี่ยวกับอัตราการบวมตัวในตัวทำละลายไซลีน โดยจะให้ค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการผสมสูงขึ้น พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมอร์ร่วมระบบนี้คือ 190°C และเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนของ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน ระหว่าง 10-30 % พบว่าการเชื่อมโยงมีแนวโน้มที่จะเกิดมากขึ้นตามอัตราส่วนของพอลิเมอร์ร่วมที่ใช้ เพราะเป็นการเพิ่มพันธะคู่ให้กับระบบพอลิเมอร์ผสมทำให้โอกาสในการเชื่อมโยงของอนุมูลอิสระในระบบพอลิเมอร์ผสมมีมากขึ้น แต่การวิจัยและดำเนินการในครั้งนี้อยู่ยังไม่สามารถสรุปอัตราส่วนที่เหมาะสมของ สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน ในระบบพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวได้ จะต้องทำการทดลองเพิ่มเติมในแต่ละอัตราส่วนที่ความเข้มสูงกว่า 200 kGy แล้วเปรียบเทียบผลของเจลที่เกิดขึ้น รวมทั้งผลการทดลองในด้านอื่น จึงจะสามารถทำการสรุปได้

5.1.2 ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน /พอลิเอทิลีน /พอลิเมอร์ร่วม EPR ทั้ง 4 ชนิด เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมดแล้วพบว่า EPR ทั้ง 4 ชนิด สามารถทำให้ พอลิเอทิลีนกระจายตัวเข้าไปอยู่ในโครงสร้างได้มากกว่า พอลิพรอพิลีน แต่ที่ให้ผลการผสมเข้ากันมากที่สุดคือ พอลิเมอร์ร่วมระหว่าง 80 % พอลิพรอพิลีน และ 20 % 1-บิวทีน ซึ่งให้ผลในการรวมตัวเนื้อเป็นเนื้อเดียวกันของทั้งสองส่วน โดยเฉพาะพอลิพรอพิลีนสามารถกระจายตัวเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของพอลิเมอร์ดังกล่าวได้ดีกว่าพอลิเมอร์ร่วมชนิดอื่น เนื่องจากผลทางด้านโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับพอลิพรอพิลีน แต่เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดังพบว่า กลับได้ค่าปานกลางเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ร่วมชนิดอื่น ตัวที่ให้ค่าสูงสุดเป็น EPR 4 คือ ยางสไตรีนบิวทาไดอีน

แต่เมื่อทำการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวแล้วพบว่าความเข้มรังสีที่ใช้ในการปรับปรุงนั้นต่ำเกินไป ทำให้เกิดการสลายตัวในส่วนของพอลิพรอพิลีน และพรอพิลีนที่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้างของ EPR 1 และ 2 ทำให้ระบบเกิดการแยกตัวกันอีกครั้ง ทำให้เมื่อทำการสกัดด้วยไซลีนร้อนจึงไม่สามารถพบเจลที่เกิดขึ้นได้เพราะมีปริมาณน้อยมาก และสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดังมีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มของรังสีที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้แน่ใจว่าความเข้มรังสีที่ใช้ในการทดลองต่ำเกินไปจริง จึงนำพอลิเมอร์ผสมทั้ง 4 ชนิดไปทำการฉายรังสีที่ความเข้ม 200 kGy พบว่าเกิดเจลขึ้นจริงโดยเจลที่เกิดขึ้นนั้น มีประมาณ 50 % ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเชื่อมโยงที่

เกิดขึ้นจากพอลิเอทิลีนเป็นหลัก พิจารณาจาก ΔH_c ของพอลิเอทิลีนน้อยกว่า ΔH_m ดังนั้นจะเห็นว่าสามารถปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวโดยใช้พอลิเมอร์รวมทั้ง 4 ชนิดได้จริง ซึ่งเจลที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวบอกระดับการเชื่อมโยงระหว่างวัฏภาคได้เป็นอย่างดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน /พอลิสไตรีน /สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน

- จะต้องมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนในการผสมให้เหมาะสม ซึ่งจากการทดลองนำที่จะลดปริมาณพอลิพรอพิลีนลง

- ควรทำการศึกษาอัตราส่วนของพอลิสไตรีนและสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีนว่าควรใช้อัตราส่วนเท่าใดจึงจะเหมาะสมที่จะทำให้สารทั้งสองชนิดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี จากนั้นจึงเพิ่มองค์ประกอบส่วนที่ 3 คือ พอลิพรอพิลีนลงไปและศึกษาผลของพอลิพรอพิลีนที่มีต่อระบบพอลิเมอร์ผสมทั้งหมด

- จะต้องมีการเพิ่มความเข้มของรังสีที่ใช้ในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวให้มากขึ้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่าต้องฉายรังสีที่มีความเข้มเกิน 200 kGy ขึ้นไป จึงจะสามารถเกิดการเชื่อมโยงระหว่างวัฏภาคของ บิวทาไดอีนบน สไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน กับพอลิพรอพิลีน

- ควรใช้เครื่องผสมระบบปิดเพื่อป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างผสม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างทำให้เกิดการสลายตัวของโซโม่เลกุล

- ควรนำเอาระบบที่ทำการปรับปรุงแล้ว ไปทำการศึกษาผลของรังสีที่มีต่อพอลิเมอร์ผสม เพื่อดูว่า พอลิสไตรีนเพิ่มความสามารถในการทนรังสีของระบบพอลิเมอร์ที่เตรียมได้

5.2.2 ระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน /พอลิเอทิลีน /พอลิเมอร์ร่วม EPR ทั้ง 4 ชนิด

- ควรทำการปรับอัตราส่วนของพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนให้เหมาะสมกับพอลิเมอร์ร่วมที่ใช้เป็นสารช่วยในรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน

- ควรทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิดเช่น เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ เพื่อลดการสัมผัสกับอากาศเป็นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการผสม ซึ่งจะทำให้เกิดการสลายโซโม่เลกุล

- ในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวควรใช้ความเข้มของรังสีมากกว่า 200 kGy
- ควรนำเอาขยะพลาสติกของพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนมาทำการผสมแล้วปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวโดยใช้ความเข้มรังสีสูงๆ พร้อมทั้งศึกษาผลของสารตัวเติมต่างๆ ที่เติมลงในพลาสติก ว่าส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลอย่างไร
- เพื่อความง่ายต่อการวิเคราะห์วิจัยควรจะเริ่มต้นศึกษาการเข้ากันของสารช่วยการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นคู่เสียก่อน โดยปรับอัตราส่วนให้เหมาะสมแล้วจึงพิจารณาองค์ประกอบที่ 3 ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. A.F. Azhar and A.M. Usmani , “ Polymer Degradation in Medical Applications” , Handbook of polymer Degradation , Merceel Dekker Inc., pp. 575 - 581 ,1992.
2. A. Ghijssels , N.Groesbeek , and C.W. Yip , “ Multiple Crystallization Behavior of Polypropylene / Thermoplastic Rubber Blends and Its Use in Assessing Blend Morphology” Polymer , Vol.23 , pp. 1913-1916 ,1992
3. A.Singh and J. Silverman , Radiation Processing of Polymer , Hanser , pp. 52-67 ,1992.
4. C. Sadrmoaghegh , G. Scott, and E. Setudeh, “Recycle of Mixed Plastics” , Polym.-Plas.Technol. Eng. , Vol.24 (2&3) ,pp. 149-185 , 1985.
5. 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.
6. L. Changhai , Y. Huili , and X. Jun , “Enhanced Interfacial Radiation - Induced Reaction for Improving the Interfacial Adhesion of Incompatible Polymer Blend PP/BR” , Proceedings of the 6th Japan - China Bilateral Symposium on Radiation Chemistry ,Vol.95-003 ,pp. 303-307 ,1992.
7. 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.
8. O.T. Ikkala , R.M. Holsti - Miettinen and J. Sappala , “Effects of Compatibilization on Fractionated Crystallization of PA 6 / PP Blends” , Journal of Applied Polymer Science , Vol.49 , pp. 1165-1174 , 1993.

9. X. Zhang , K. Takegoshi , and K. hikchi , “ Composition Depence of the Misibility and Phase Structure of Amorphous / Crystalline Polymer Blends. As Studies by High-Resolution solid-state ¹³ C NMR Spectroscopy ” , Macromolecules , Vol.25, pp. 2334 - 2336 , 1982.
10. ASTM Committee on Standard “ Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics “ , Philadelphia : American Society for Testing and Materials , 1993 .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table of Enthalpy for Melting and Crystallizing test 10% SBS 180 C

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 33.29 | 33.59 |
| 5 KGy | 42.13 | 40.16 |
| 10 KGy | 38.85 | 39.95 |
| 15 KGy | 34.78 | 35.70 |
| 20 KGy | 40.46 | 39.70 |

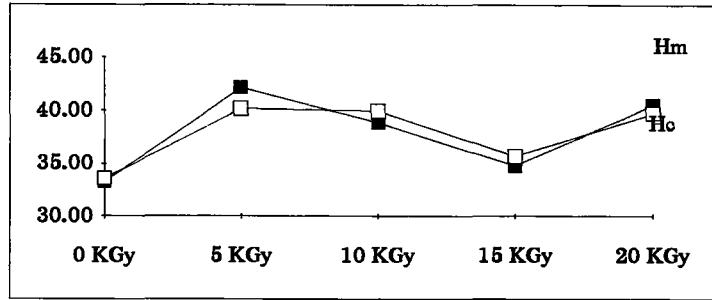


Table of Enthalpy for Melting and Crystallizing test 10% SBS 190 C

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 34.54 | 37.08 |
| 5 KGy | 42.69 | 37.33 |
| 10 KGy | 35.31 | 35.96 |
| 15 KGy | 36.24 | 35.91 |
| 20 KGy | 35.60 | 36.25 |

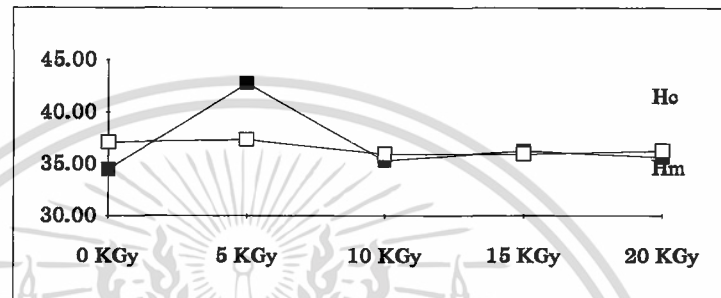


Table of Enthalpy for Melting and Crystallizing test 10% SBS 220 C

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 29.55 | 27.02 |
| 5 KGy | 43.40 | 43.39 |
| 10 KGy | 48.08 | 45.04 |
| 15 KGy | 38.71 | 38.32 |
| 20 KGy | 43.67 | 42.73 |

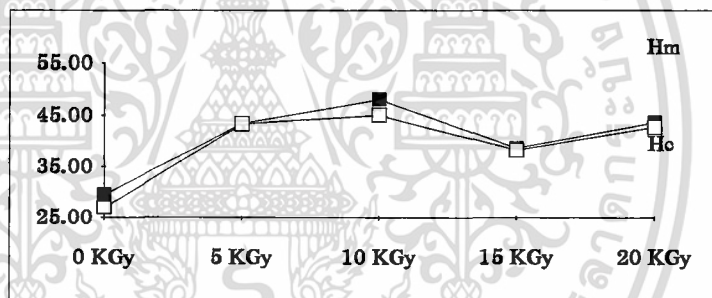


Table of Enthalpy for Melting and Crystallizing test 20% SBS 190 C

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 31.76 | 29.23 |
| 5 KGy | 34.77 | 33.50 |
| 10 KGy | 32.85 | 33.05 |
| 15 KGy | 28.21 | 30.13 |
| 20 KGy | 33.29 | 33.69 |

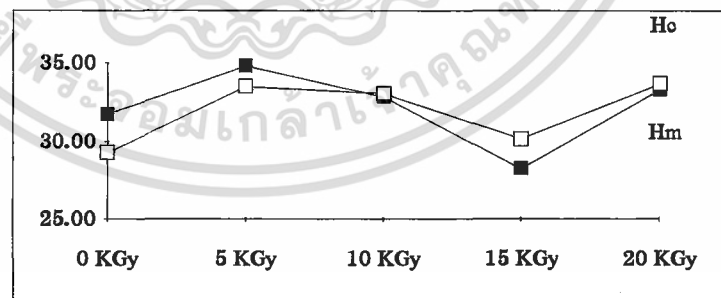


Table of Enthalpy for Melting and Crystallizing test 30% SBS 190 C

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 24.59 | 21.63 |
| 5 KGy | 25.84 | 26.64 |
| 10 KGy | 25.48 | 26.78 |
| 15 KGy | 26.25 | 27.62 |
| 20 KGy | 25.81 | 28.00 |

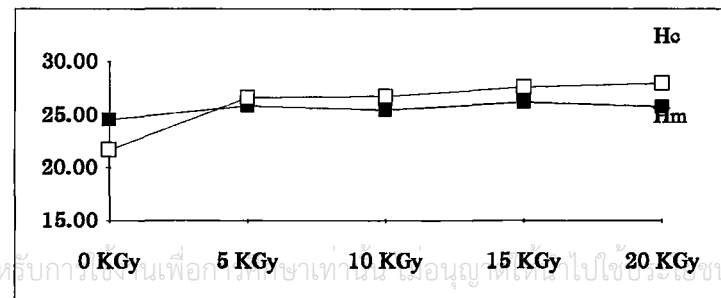


Table of Enthalpy of PP for Melting and Crystalizing test EPR 1

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 28.37 | 36.00 |
| 5 KGy | 25.60 | 26.46 |
| 10 KGy | 30.08 | 36.02 |
| 15 KGy | 29.79 | 36.78 |

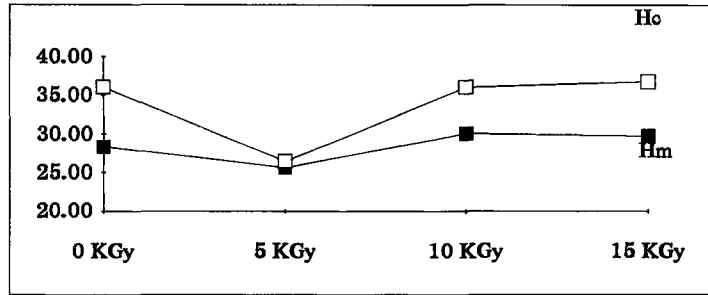


Table of Enthalpy of PE for Melting and Crystalizing test EPR 1

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 31.21 | 28.83 |
| 5 KGy | 31.50 | 25.89 |
| 10 KGy | 27.66 | 26.31 |
| 15 KGy | 27.52 | 25.00 |

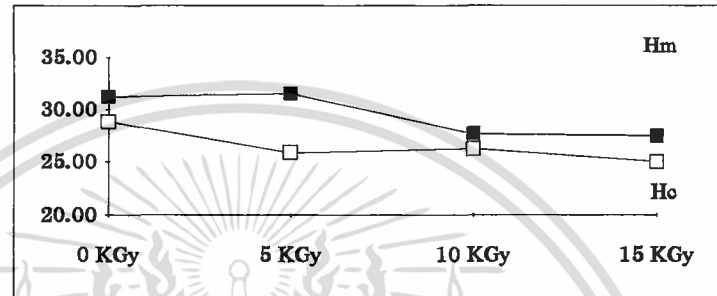


Table of Enthalpy of PP for Melting and Crystalizing test EPR 2

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 27.74 | 34.98 |
| 5 KGy | 29.54 | 37.21 |
| 10 KGy | 24.80 | 32.70 |
| 15 KGy | 25.67 | 32.89 |



Table of Enthalpy of PE for Melting and Crystalizing test EPR 2

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 27.93 | 21.73 |
| 5 KGy | 31.47 | 26.95 |
| 10 KGy | 24.55 | 23.38 |
| 15 KGy | 29.29 | 26.49 |

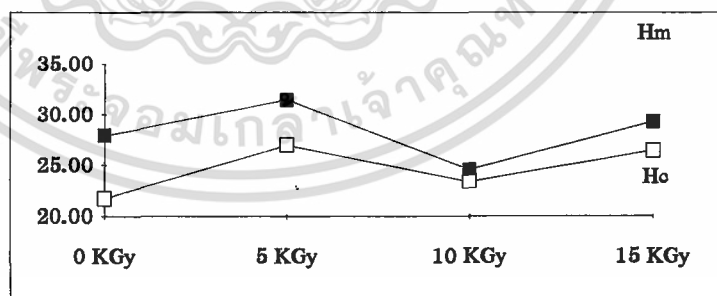
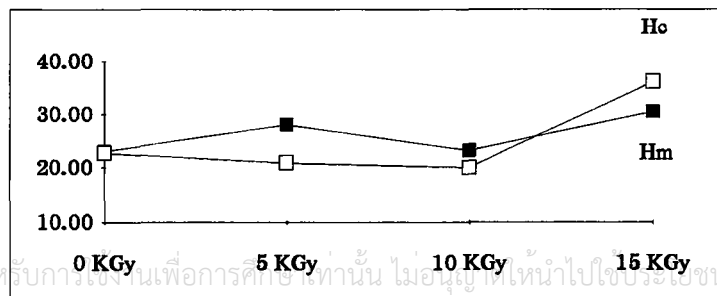


Table of Enthalpy of PP for Melting and Crystalizing test EPR 3

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 23.01 | 22.73 |
| 5 KGy | 28.06 | 20.90 |
| 10 KGy | 23.15 | 20.04 |
| 15 KGy | 30.57 | 36.07 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table of Enthalpy of PE for Melting and Crystalizing test EPR 3

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 26.10 | 17.32 |
| 5 KGy | 27.22 | 16.62 |
| 10 KGy | 27.58 | 15.56 |
| 15 KGy | 27.09 | 23.47 |

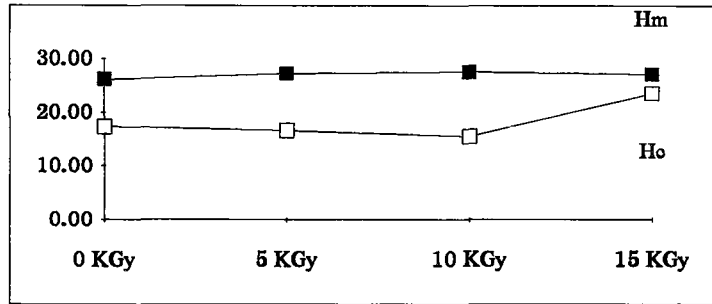


Table of Enthalpy of PP for Melting and Crystalizing test EPR 4

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 33.78 | 48.27 |
| 5 KGy | 27.62 | 57.74 |
| 10 KGy | 26.59 | 51.06 |
| 15 KGy | 29.98 | 39.14 |

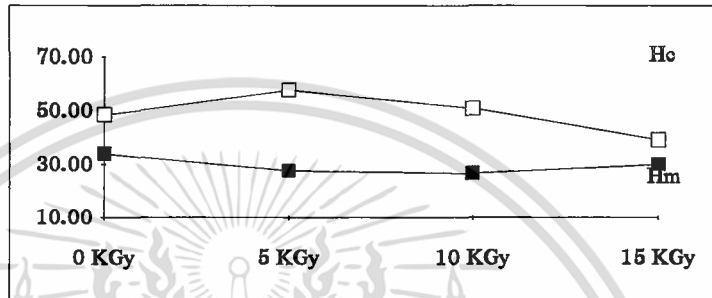
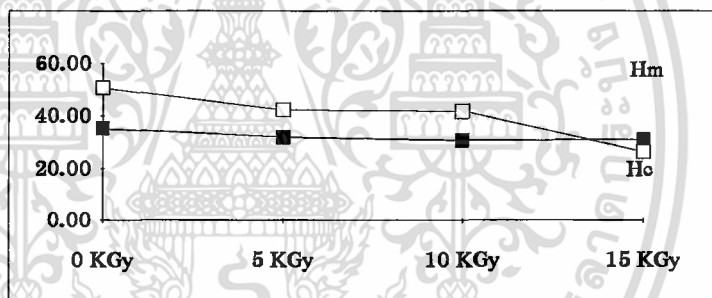


Table of Enthalpy of PE for Melting and Crystalizing test EPR 4

| Sample | Hm (J/g) | Ho (J/g) |
|--------|----------|----------|
| 0 KGy | 35.16 | 50.78 |
| 5 KGy | 31.95 | 42.31 |
| 10 KGy | 30.77 | 41.93 |
| 15 KGy | 31.10 | 26.40 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

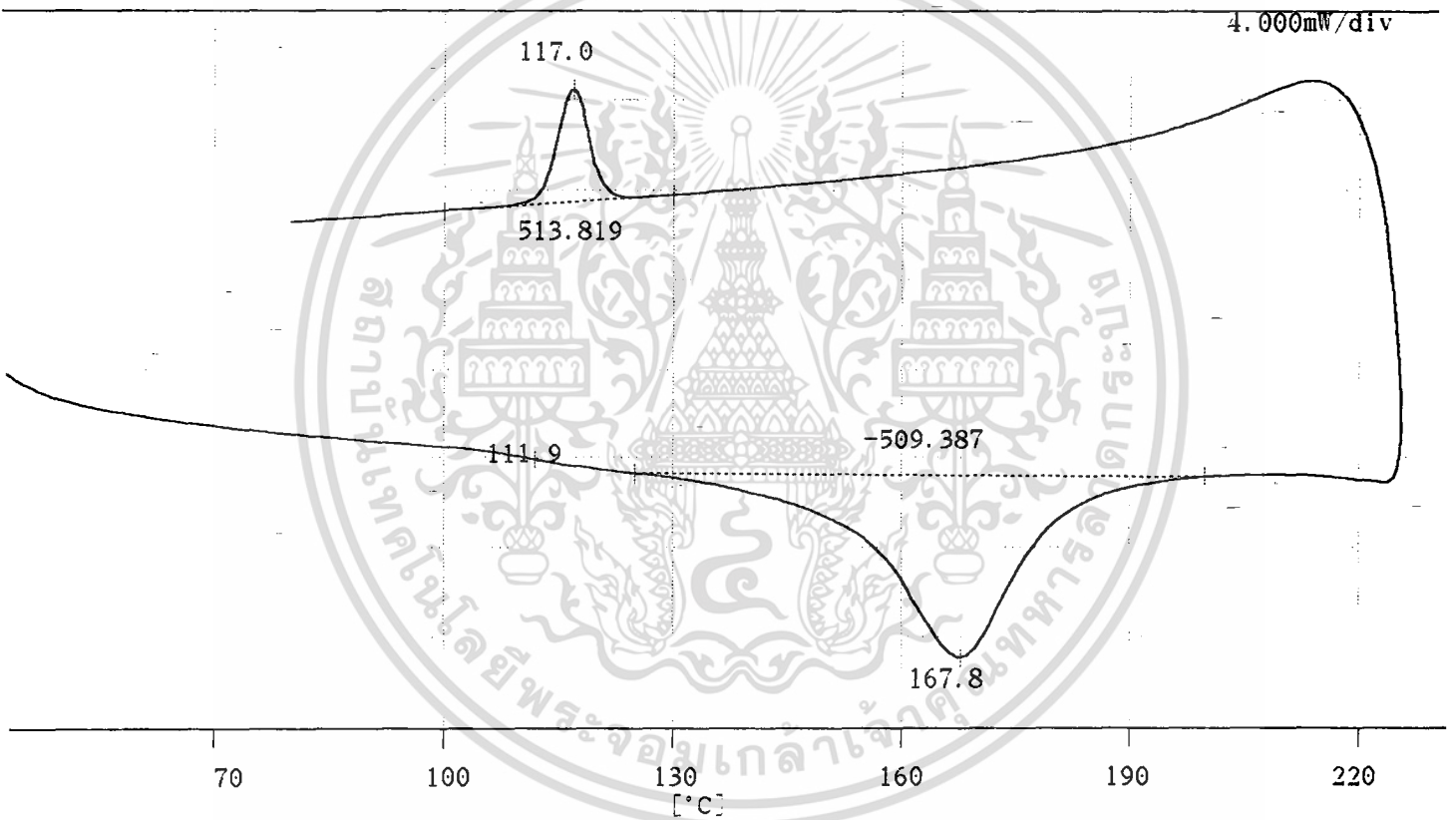
==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

90/11/28

FILE NAME <<BLSB01.000>>

DATE (y/m/d) : 90/11/28
 SAMPLE NAME : 10%SBS/180C/0KGY
 COMMENT : NON RADIATION
 SAMPLE Q'TITY: 15.3 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

| ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | |
|-------------------------|-------|---------|---------|----------|-----------|
| | dT/dt | T(hold) | τ(hold) | δT(add)x | n(repeat) |
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 111.9 | -10.0013 |
| 2 | 167.8 | -18.8032 |
| 3 | 117 | 6.5768 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 100 | 130 | 513.819 |
| 2 | 199.9 | 125 | -509.387 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

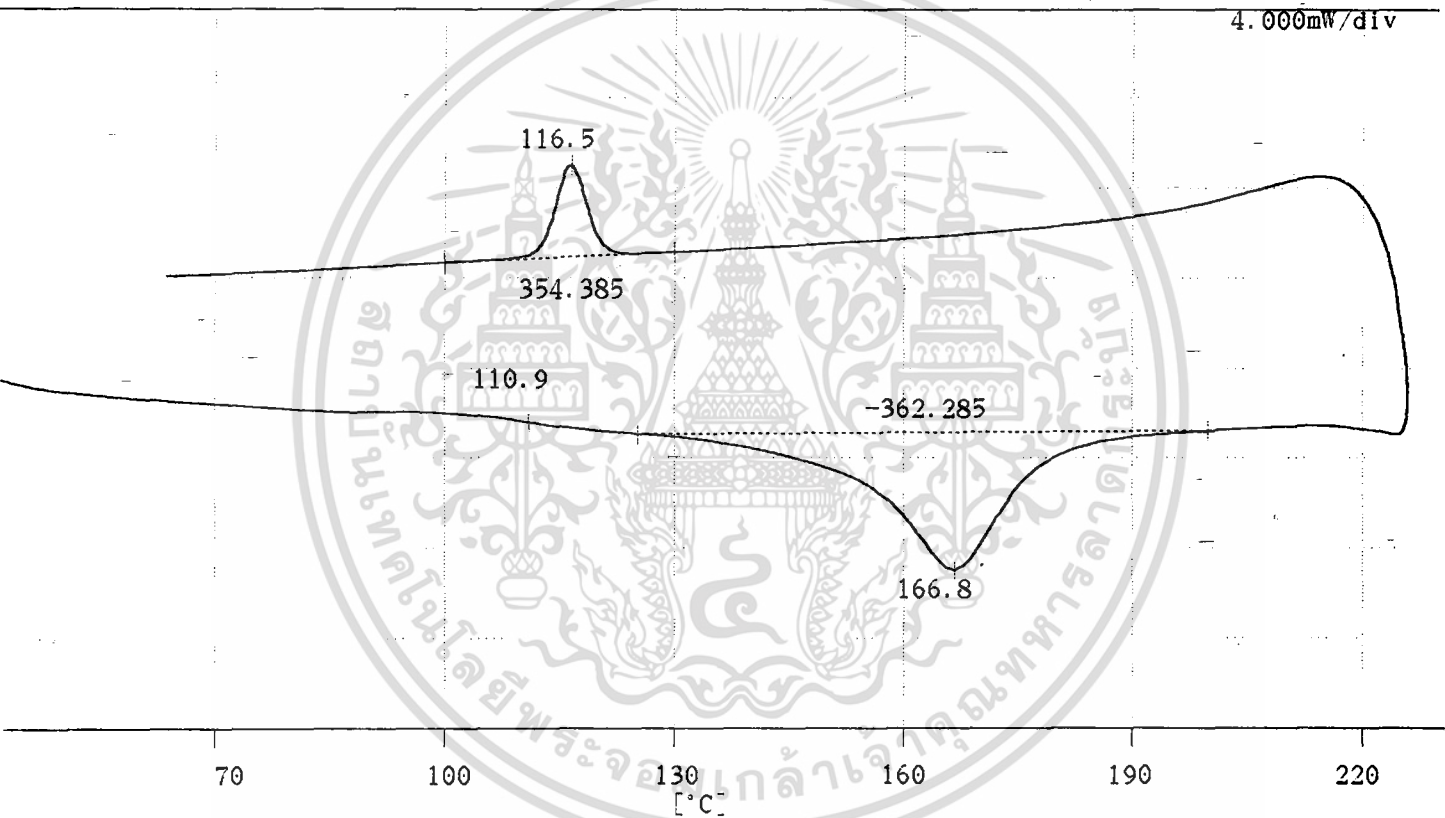
90/11/27

FILE NAME <<RASB01.000>>

DATE (y/m/d) : 00/00/00
 SAMPLE NAME : 10%SBS/PP/PS,180 C 5KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 8.6 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

| ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | | |
|-------------------------|-------|---------|---------------|-------------------|-----------|--|
| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add)x | n(repeat) | |
| 1: | 20 | 230 | 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 | |

4.000mW/div



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 110.9 | -4.1172 |
| 2 | 166.8 | -10.649 |
| 3 | 116.5 | 7.2971 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 125.1 | 199.9 | -362.285 |
| 2 | 130 | 100 | 354.385 |

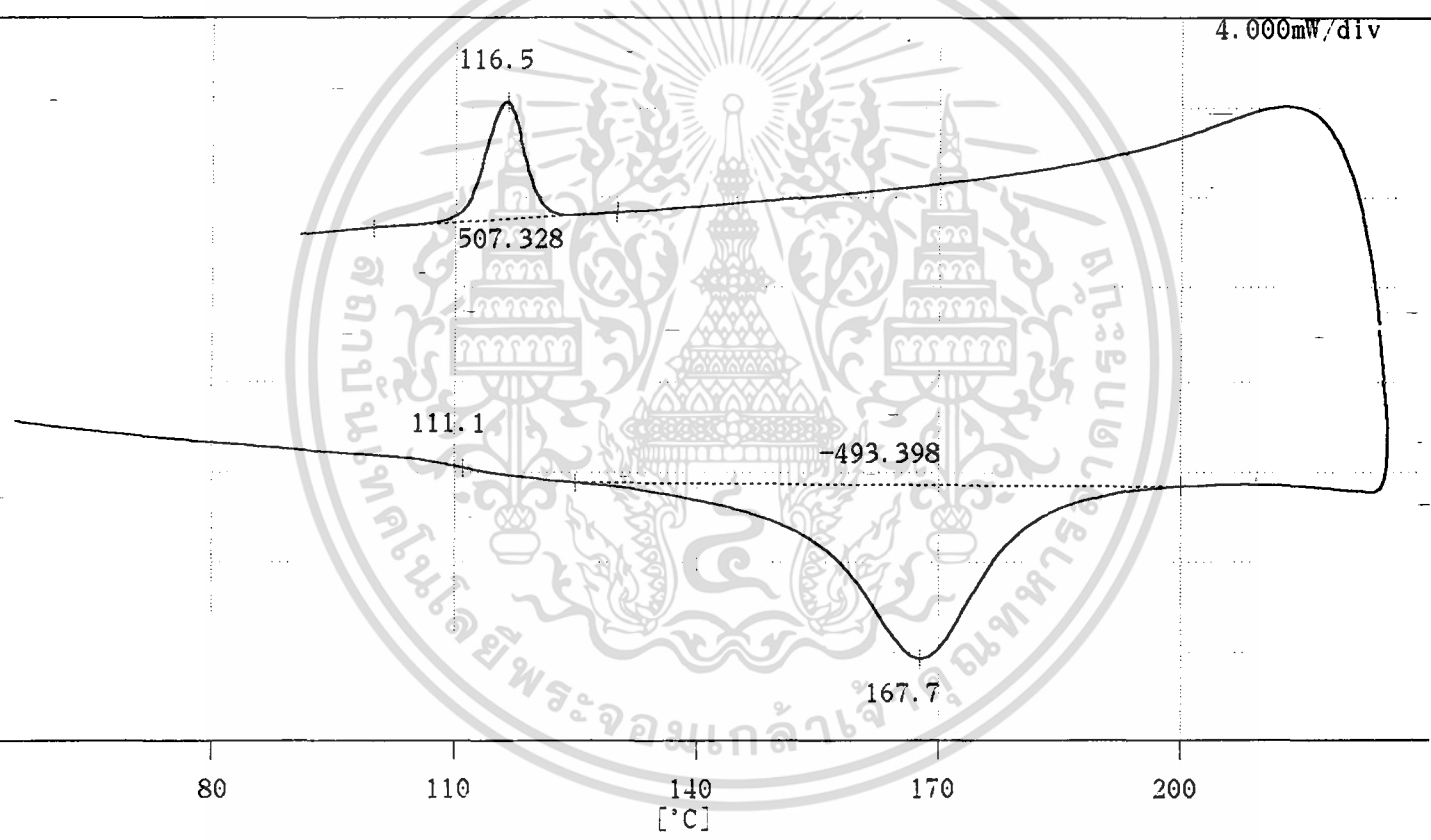
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 - ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

90/11/27

FILE NAME <<RASB02.000>>

| | | ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | |
|-----------------|---------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|--------------|---|
| | | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x n (repeat) | |
| DATE (y/m/d) : | 00/00/00 | 1: | 20 | 230 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLE NAME : | 10%SBS/PP/PS/180 C 10 KGY | 2: | -20 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| COMMENT : | RADIATION TEST | 3: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLE Q'TITY : | 12.7 mg | 4: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MODULE TYPE : | DSC | 5: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLING INT. : | 1 sec | | | | | | |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 111.1 | -4.1777 |
| 2 | 167.7 | -12.6694 |
| 3 | 116.5 | 11.8842 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 124.9 | 200.1 | -493.398 |
| 2 | 130 | 100 | 507.328 |

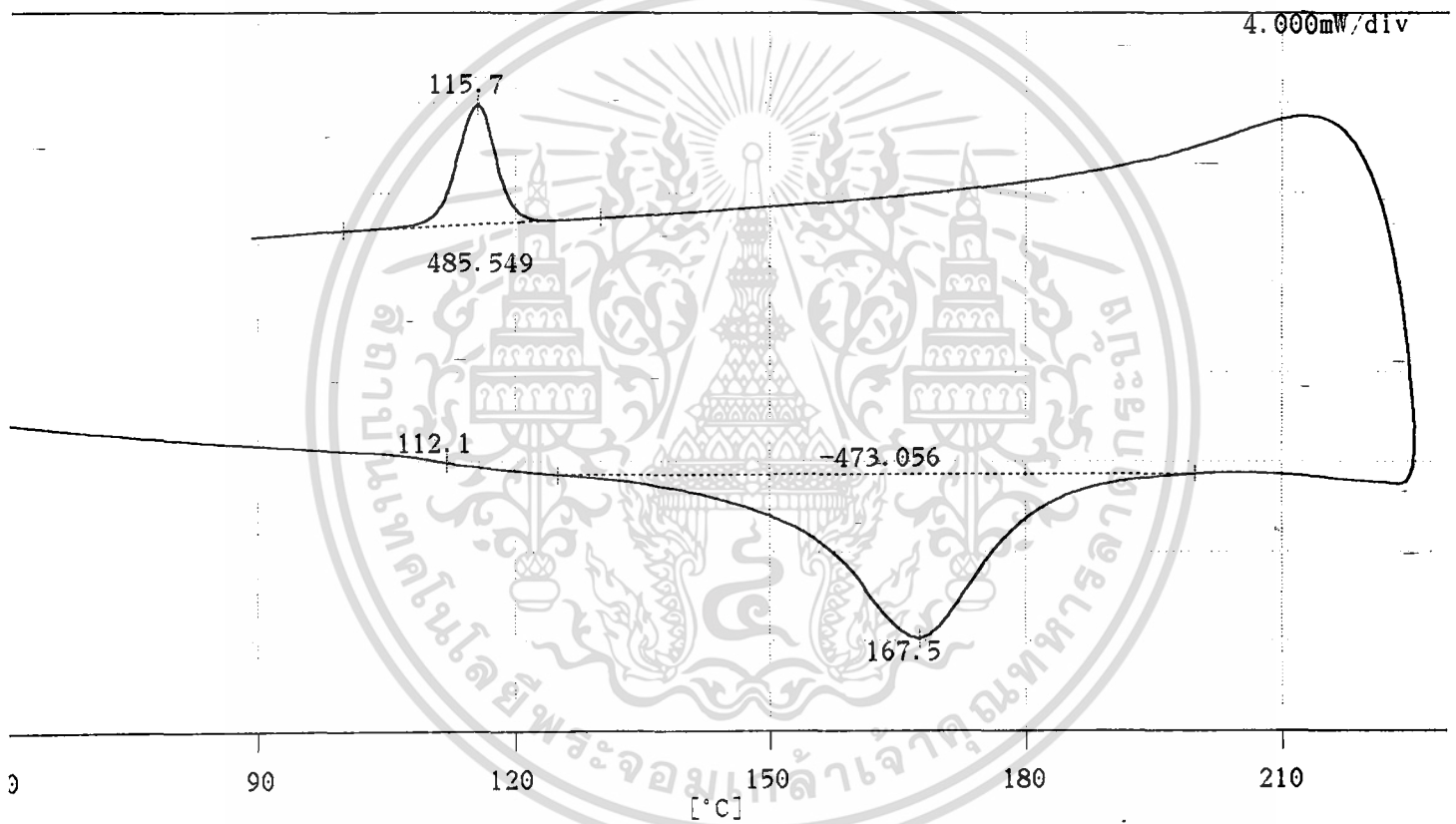
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

90/11/27

FILE NAME <<RASB03.000>>

| | ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | |
|---|-------------------------|---------|---------|---------|-------------|
| DATE (y/m/d) : 00/00/00 | dT/dt | T(hold) | τ(hold) | δT(add) | x n(repeat) |
| SAMPLE NAME : 10%SBS/PP/PS 180 C 15 KGY | 1: 20 | 230 | 0 | 0 | 0 |
| COMMENT : RADIATION TEST | 2: -20 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLE Q' TITY: 13.6 mg | 3: 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MODULE TYPE : DSC | 4: 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLING INT.: 1 sec | 5: 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |



| [TEMP.] | -----TEMP(°C)----- | Heat Flow(mW)----- |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 1 | 112.1 | -8.437 |
| 2 | 167.5 | -16.2809 |
| 3 | 115.7 | 7.5175 |

| [HEAT] | -----Ti(°C)----- | -----Tf(°C)----- | Heat(mJ)----- |
|----------|------------------|------------------|---------------|
| 1 | 125 | 199.9 | -473.056 |
| 2 | 130 | 100 | 485.549 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

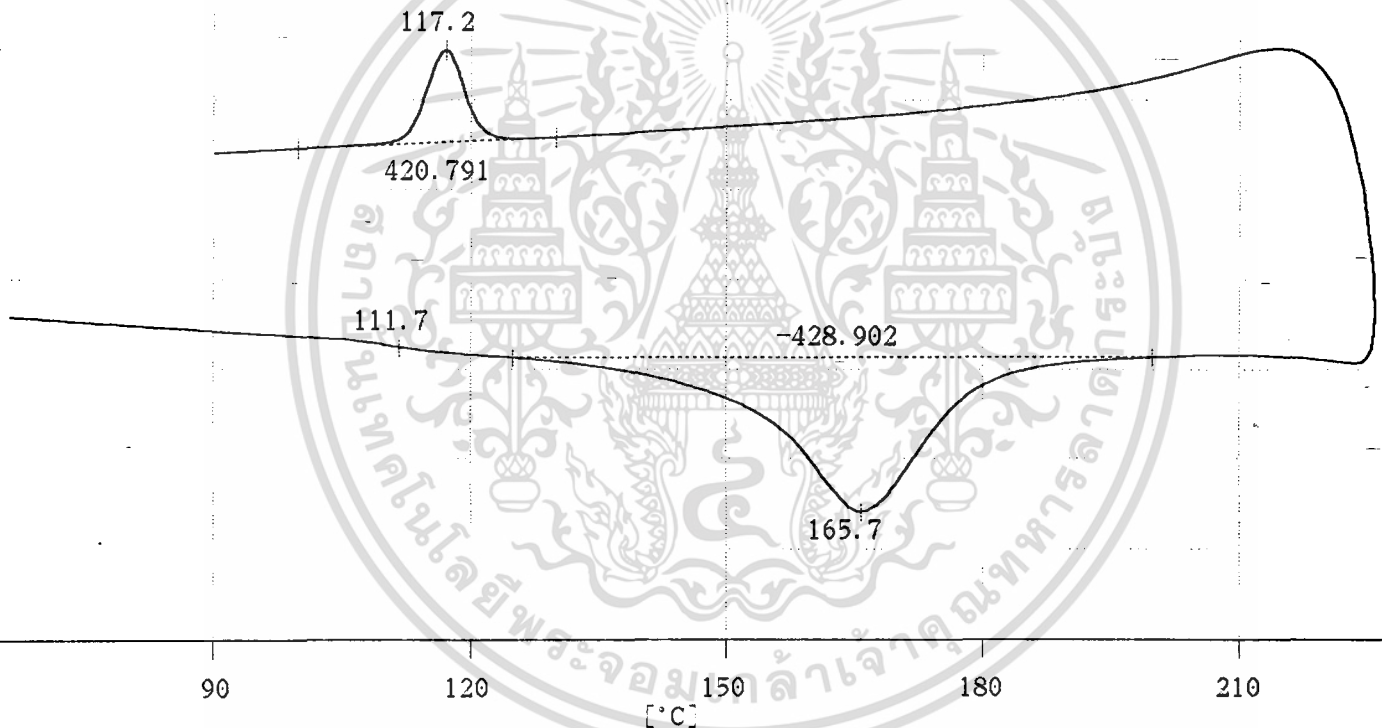
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

90/11/27

FILE NAME <<RASB04.000>>

| | |
|---|--|
| | ● TEMPERATURE PROGRAM ● |
| DATE (y/m/d) : 00/00/00 | dT/dt T (hold) τ (hold) δT (add) x n (repeat) |
| SAMPLE NAME : 10%SBS/PP/PS 180 C 20 KGY | 1: 20 230 0 0 0 |
| COMMENT : RADIATIONB TEST | 2: -20 40 0 0 0 |
| SAMPLE Q'TITY: 10.6 mg | 3: 0 0 0 0 0 |
| MODULE TYPE : DSC | 4: 0 0 0 0 0 |
| SAMPLING INT.: 1 sec | 5: 0 0 0 0 0 |

4.000mW/div



| | | |
|-----------|---------------------|---------------------|
| [TEMP.] | -----TEMP (°C)----- | Heat Flow (mW)----- |
| 1 | 111.7 | -7.4119 |
| 2 | 165.7 | -14.7912 |
| 3 | 117.2 | 5.7922 |

| | | | |
|----------|-------------------|--------------|----------------|
| [HEAT] | -----Ti (°C)----- | Tf (°C)----- | Heat (mJ)----- |
| 1 | 124.9 | 200 | -428.902 |
| 2 | 130 | 100 | 420.791 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

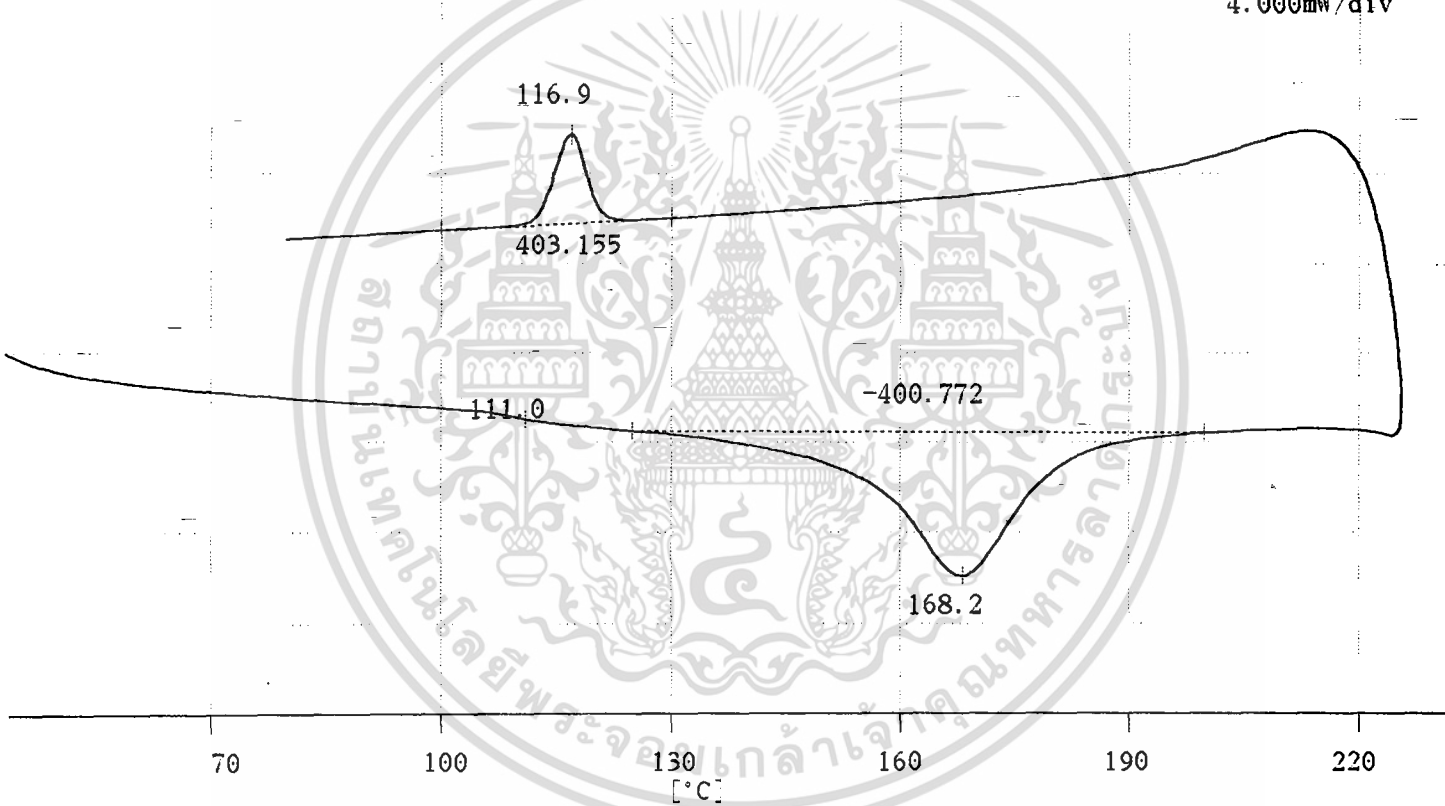
90/11/28

FILE NAME <<BLSB02.000>>

DATE (y/m/d) : 90/11/28
 SAMPLE NAME : 10%SBS/190C/0KGY
 COMMENT : NON RADIATION
 SAMPLE Q'TITY: 11.6 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

| ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | |
|-------------------------|-------|---------|---------|---------|-------------|
| | dT/dt | T(hold) | τ(hold) | δT(add) | x n(repeat) |
| 1: | 20 | 230 | 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 |

4.000mW/div



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 111 | -7.4711 |
| 2 | 168.2 | -14.4347 |
| 3 | 116.9 | 5.2009 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 100 | 130 | 403.155 |
| 2 | 124.9 | 199.9 | -400.772 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

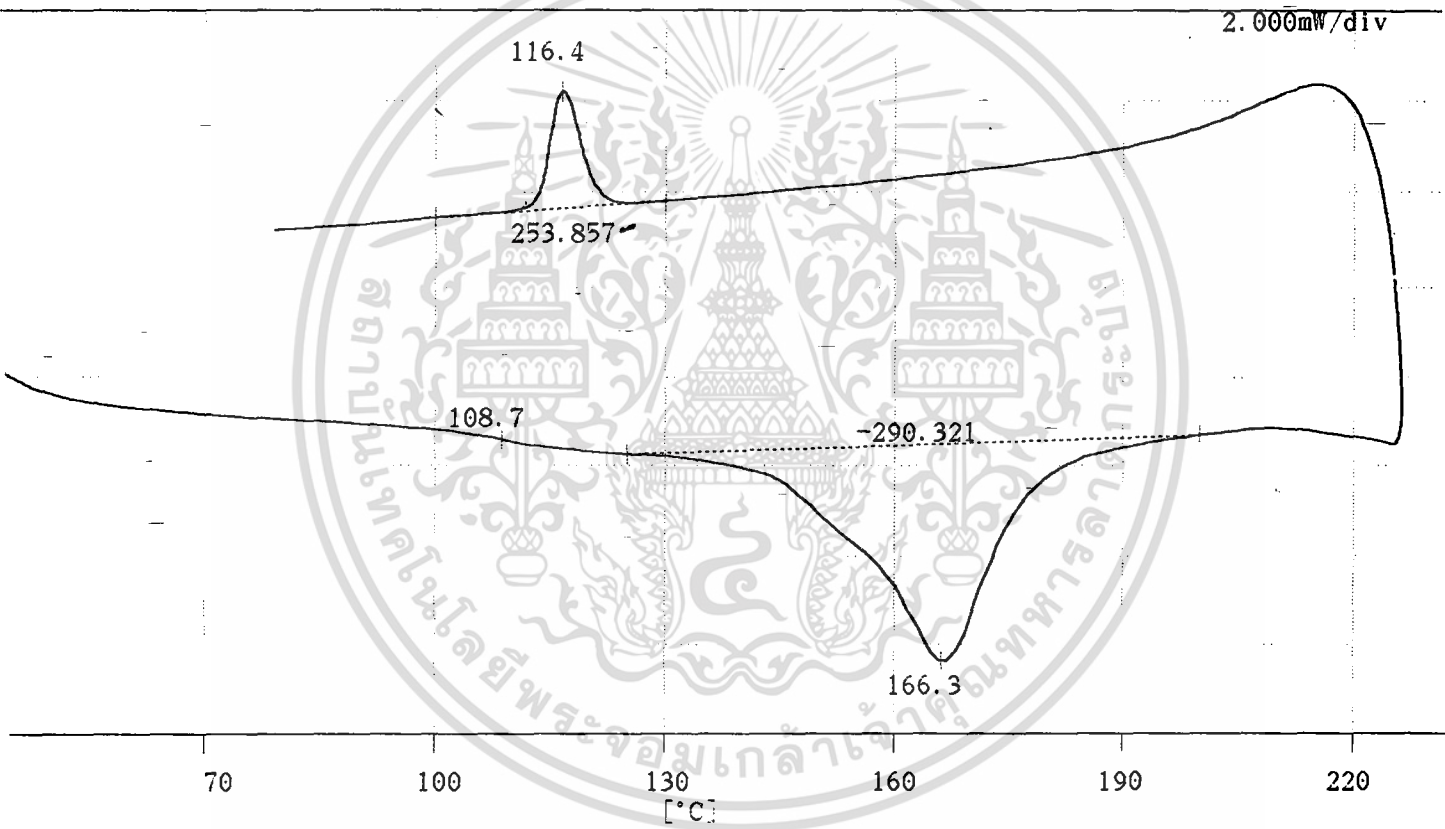
==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

95/11/24

FILE NAME <<RASB05.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/23
 SAMPLE NAME : 10%SBS 190C 5 KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 6.8 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

| ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | |
|-------------------------|-------|----------|---------------|------------------|--------------|
| | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x n (repeat) |
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 108.7 | -4.1755 |
| 2 | 166.3 | -9.1456 |
| 3 | 116.4 | 3.4184 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 125 | 200 | -290.321 |
| 2 | 130 | 100 | 253.857 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

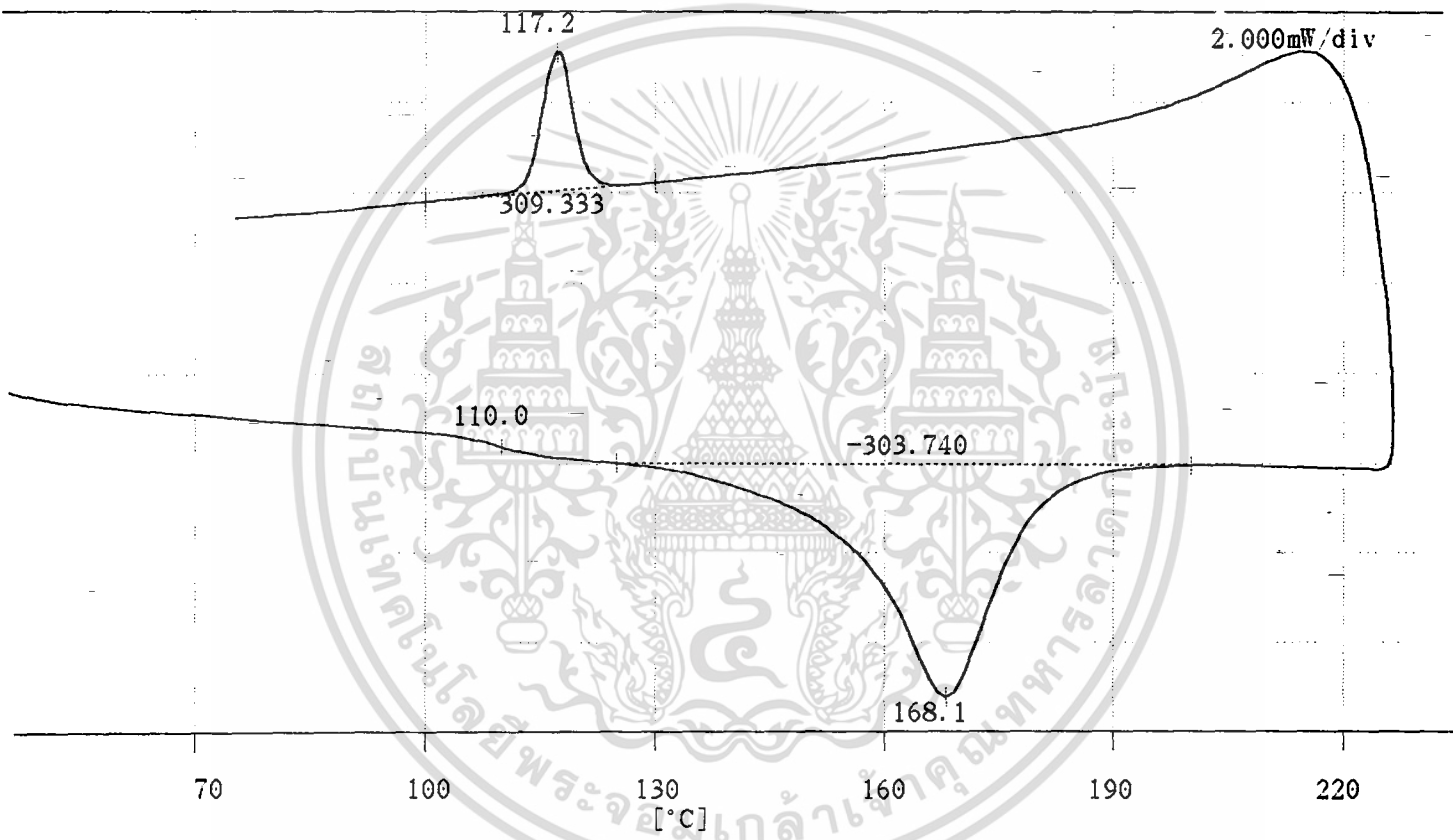
==== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

95/11/24

FILE NAME <<RASB06.000>> -

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| DATE (y/m/d) | SAMPLE NAME | COMMENT | SAMPLE Q'TITY | MODULE TYPE | SAMPLING INT.: | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n(repeat) |
|--------------|--------------------|----------------|---------------|-------------|----------------|--------|---------|---------------|------------------|---|-----------|
| 00/00/00 | 10%SBS 190C 10 KGY | RADIATION TEST | 8.6 mg | DSC | 1 sec | 1: 20 | 230 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 110 | -4.5735 |
| 2 | 168.1 | -10.1919 |
| 3 | 117.2 | 4.1667 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 124.9 | 200.1 | -303.74 |
| 2 | 130 | 100 | -309.333 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

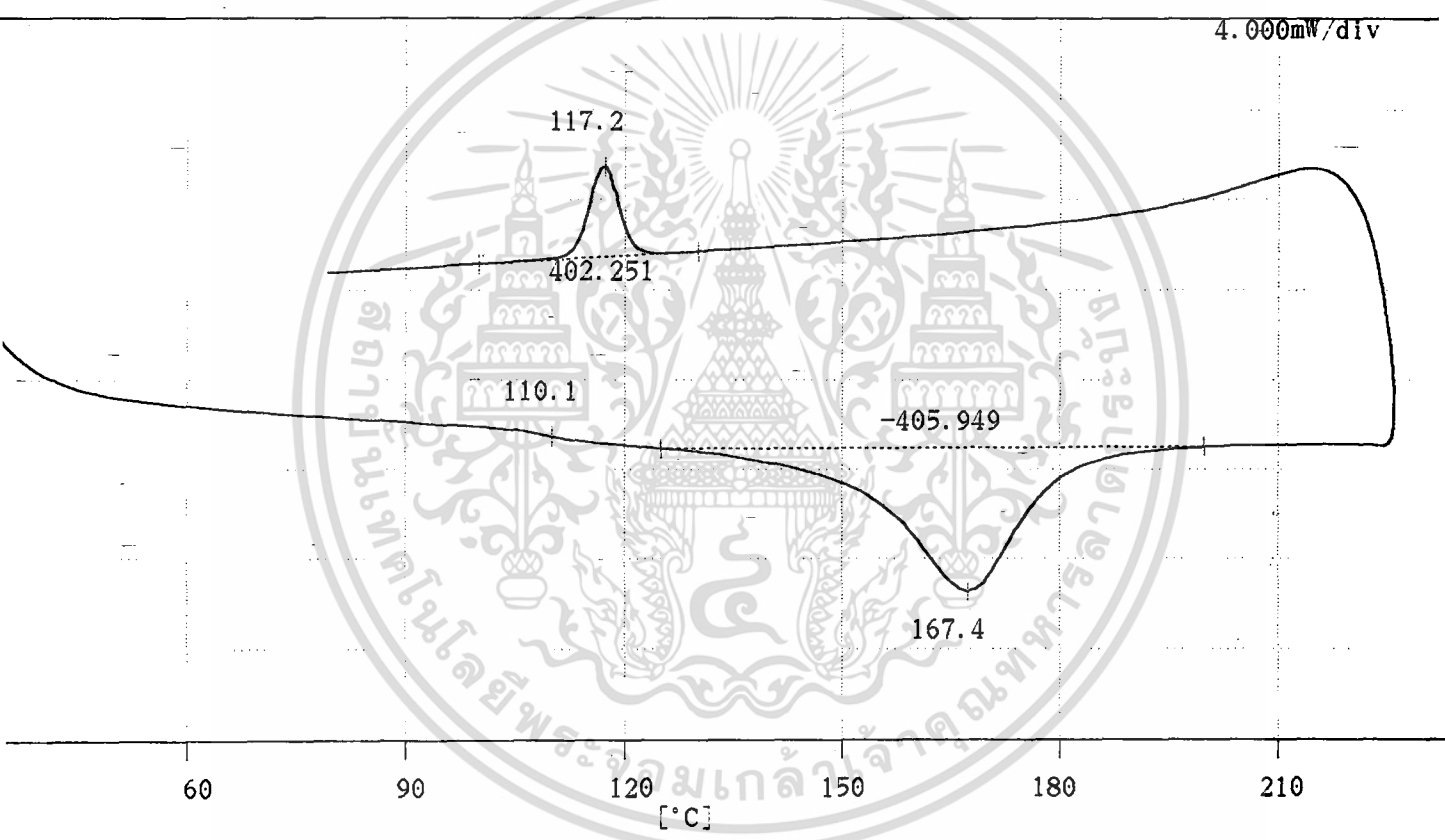
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

95/11/24

FILE NAME <<RASB07.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/24
 SAMPLE NAME : 10%SBS 190C 15 KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 11.2 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

| ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | |
|-------------------------|----------|---------------|------------------|---|------------|
| dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 110.1 | -6.6891 |
| 2 | 167.4 | -13.6715 |
| 3 | 117.2 | 5.3101 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 125 | 199.9 | -405.949 |
| 2 | 130 | 100 | 402.251 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

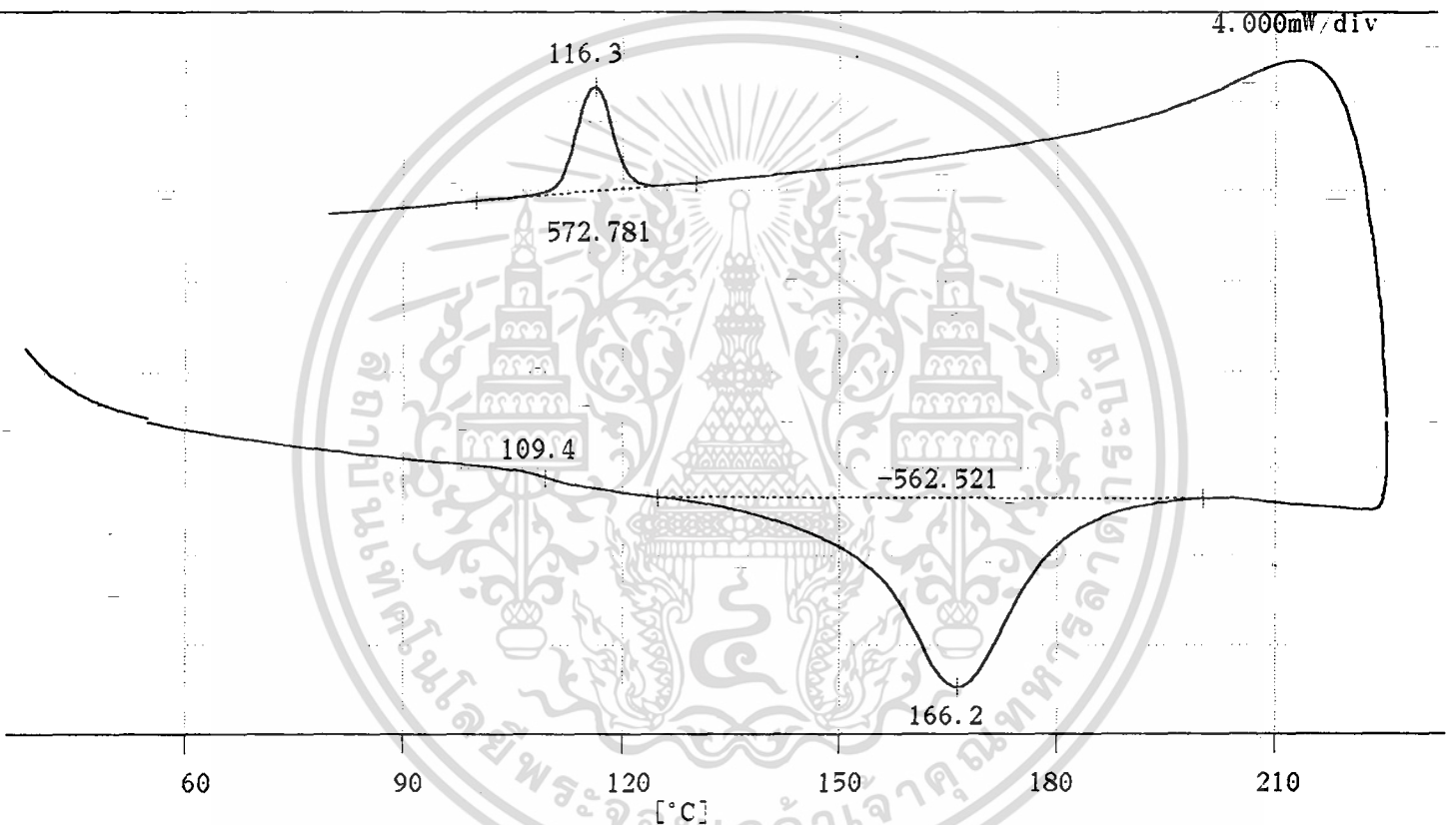
- 95/11/24

FILE NAME <<RASB08.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/24
 SAMPLE NAME : 10% SBS/190C/20KGY
 COMMENT : RADIATION
 SAMPLE Q'TITY: 15.8 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
|----|-------|----------|---------------|------------------|---|------------|
| 1: | 20 | 200 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 109.4 | -10.6054 |
| 2 | 166.2 | -20.0805 |
| 3 | 116.3 | 6.4549 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 124.9 | 200.2 | -562.521 |
| 2 | 130 | 100 | 572.781 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

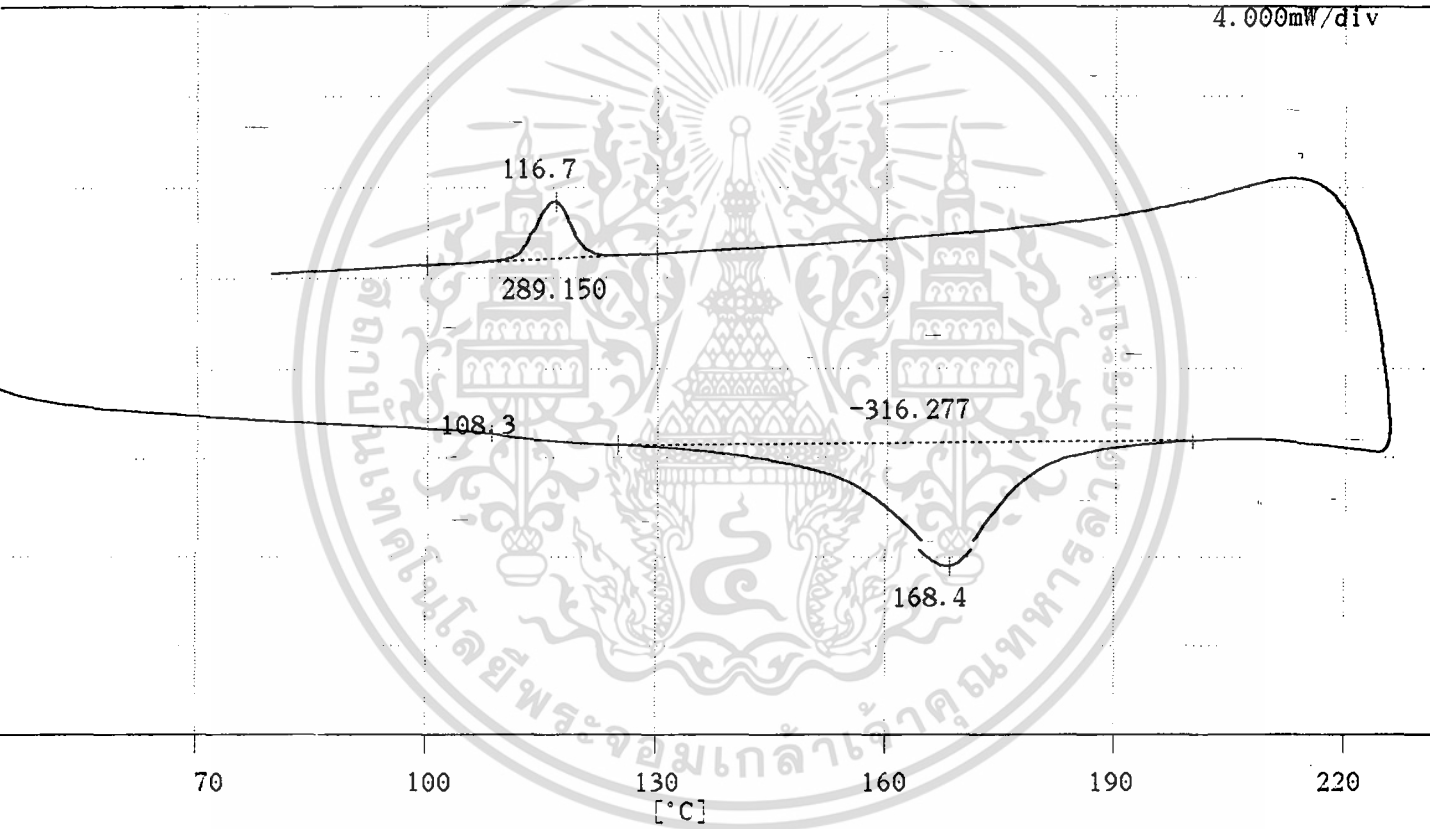
90/11/28

FILE NAME <<BLSB03.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| DATE (y/m/d) : | 90/11/28 | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
|-----------------|-----------------------|--------|----------|---------------|------------------|---|------------|
| SAMPLE NAME : | 10%SBS/PP/PS/220C/0KG | 1: 20 | 230 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COMMENT : | NON RADIATION | 2: -20 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLE Q'TITY : | 10.7 mg | 3: 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MODULE TYPE : | DSC | 4: 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLING INT. : | 1 sec | 5: 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

4.000mW/div



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 108.3 | -6.5498 |
| 2 | 168.4 | -12.0894 |
| 3 | 116.7 | -3.7136 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 100 | 130 | 289.15 |
| 2 | 200 | 124.9 | -316.277 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

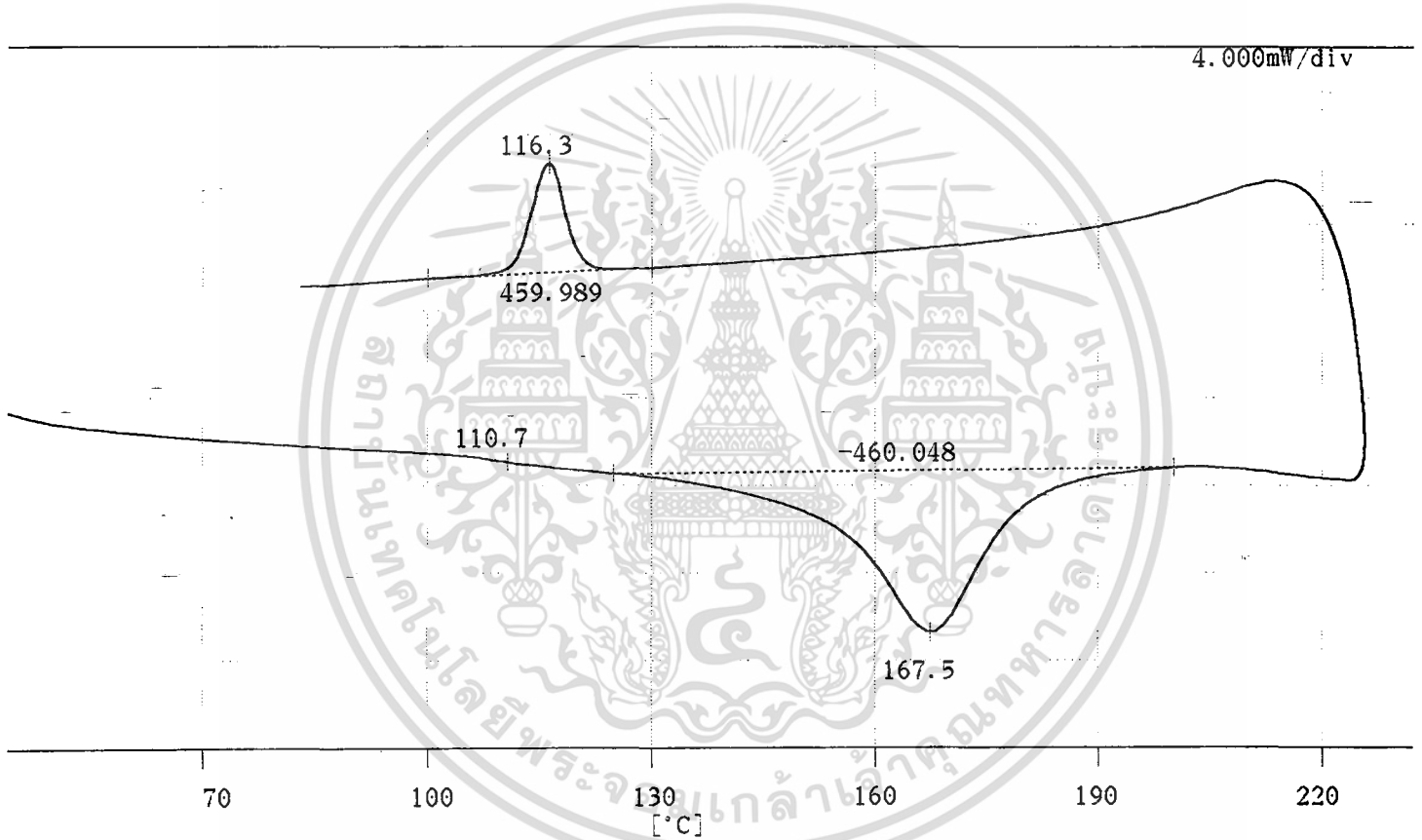
==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

FILE NAME <<RASB09.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| DATE (y/m/d) : | 00/00/00 | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
|----------------|--------------------------|-------|----------|---------------|------------------|---|------------|
| SAMPLE NAME : | 10%SBS/PP/PS 220 C 5 KGY | 1: | 20 | 230 | 0 | 0 | 0 |
| COMMENT : | RADIATION TEST | 2: | -20 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLE Q'TITY: | 10.6 mg | 3: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MODULE TYPE : | DSC | 4: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLING INT.: | 1 sec | 5: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

4.000mW/div



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 110.7 | -7.1969 |
| 2 | 167.5 | -14.9671 |
| 3 | 116.3 | 6.4048 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 124.9 | 200.1 | -460.048 |
| 2 | 130 | 100 | 459.989 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

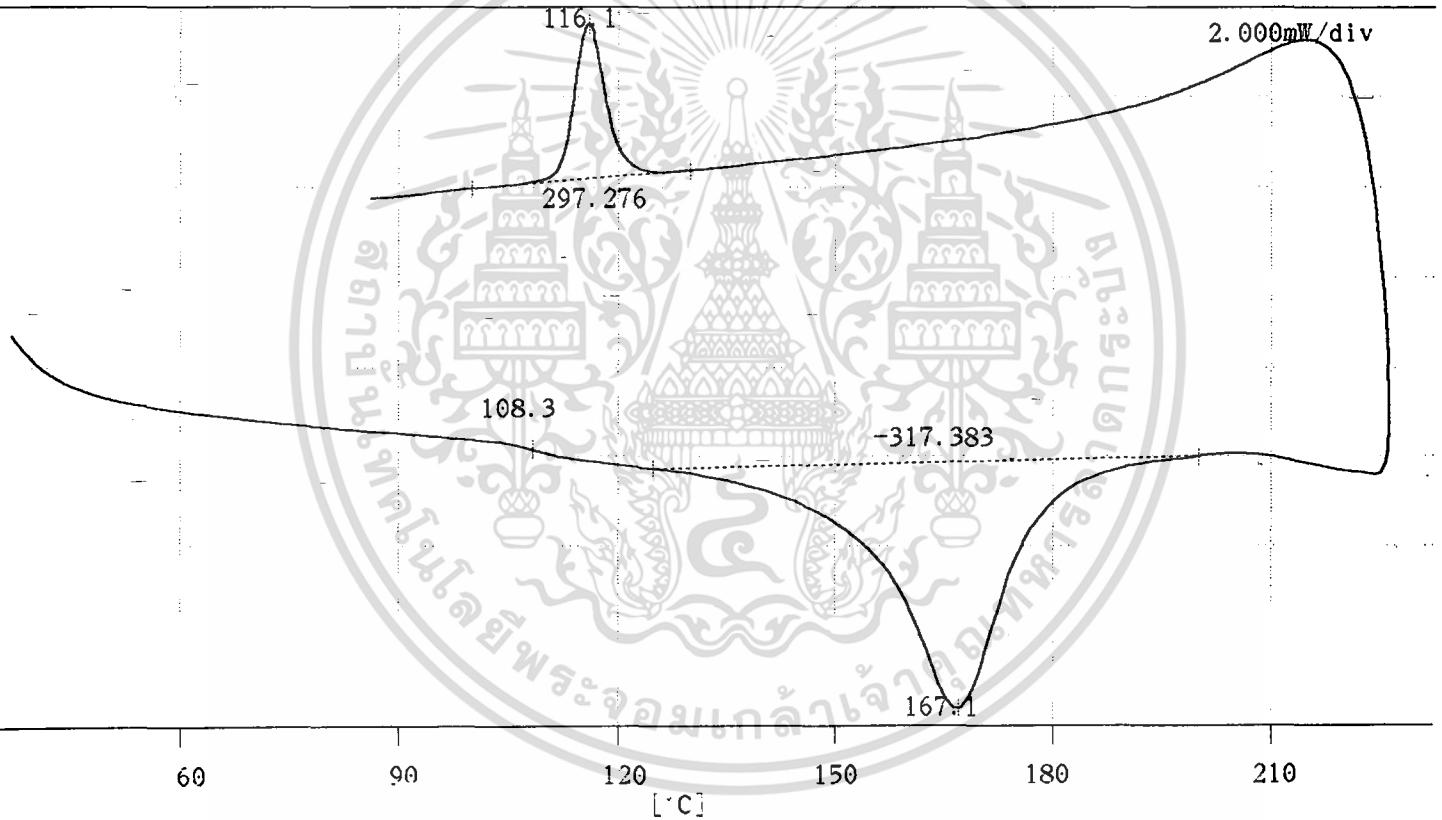
==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

FILE NAME <<RASB10.000>>

DATE (y/m/d) : 00/00/00
 SAMPLE NAME : 10%SBS/PP/PS 220 C 10 KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 6.6 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n(repeat) |
|----|-------|---------|---------------|------------------|---|-----------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 108.3 | -4.6652 |
| 2 | 167.1 | -10.4203 |
| 3 | 116.1 | 4.8232 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 124.9 | 200.1 | -317.383 |
| 2 | 130 | 100 | 297.276 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

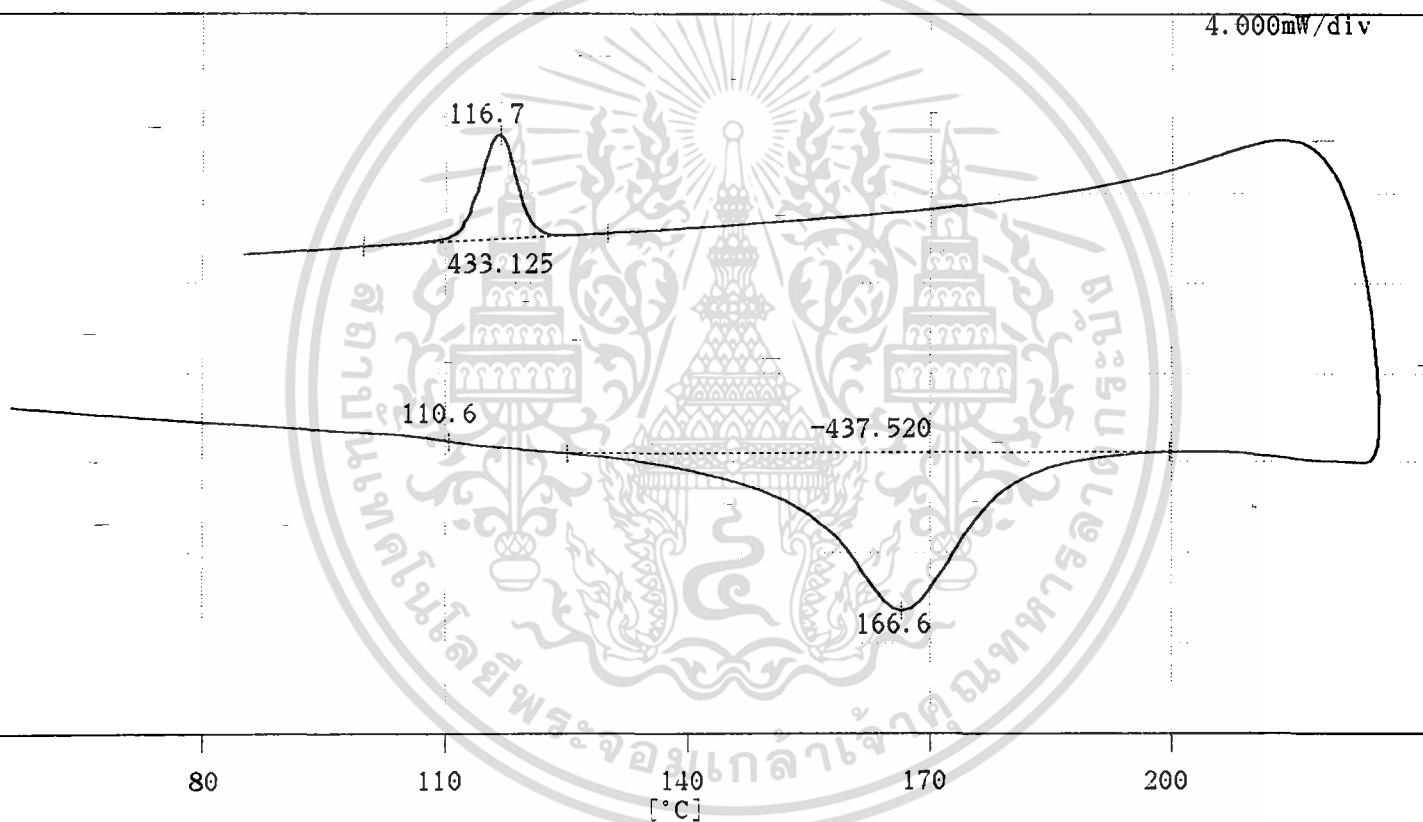
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

FILE NAME <<RASB11.000>>

DATE (y/m/d) : 00/00/00
 SAMPLE NAME : 10%SBS/PP/PS 220 C 15 KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 11.3 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n(repeat) |
|----|-------|---------|---------------|------------------|---|-----------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 110.6 | -7.2003 |
| 2 | 166.6 | -14.6839 |
| 3 | 116.7 | 6.4682 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 125 | 199.9 | -437.52 |
| 2 | 130 | 100 | 433.125 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

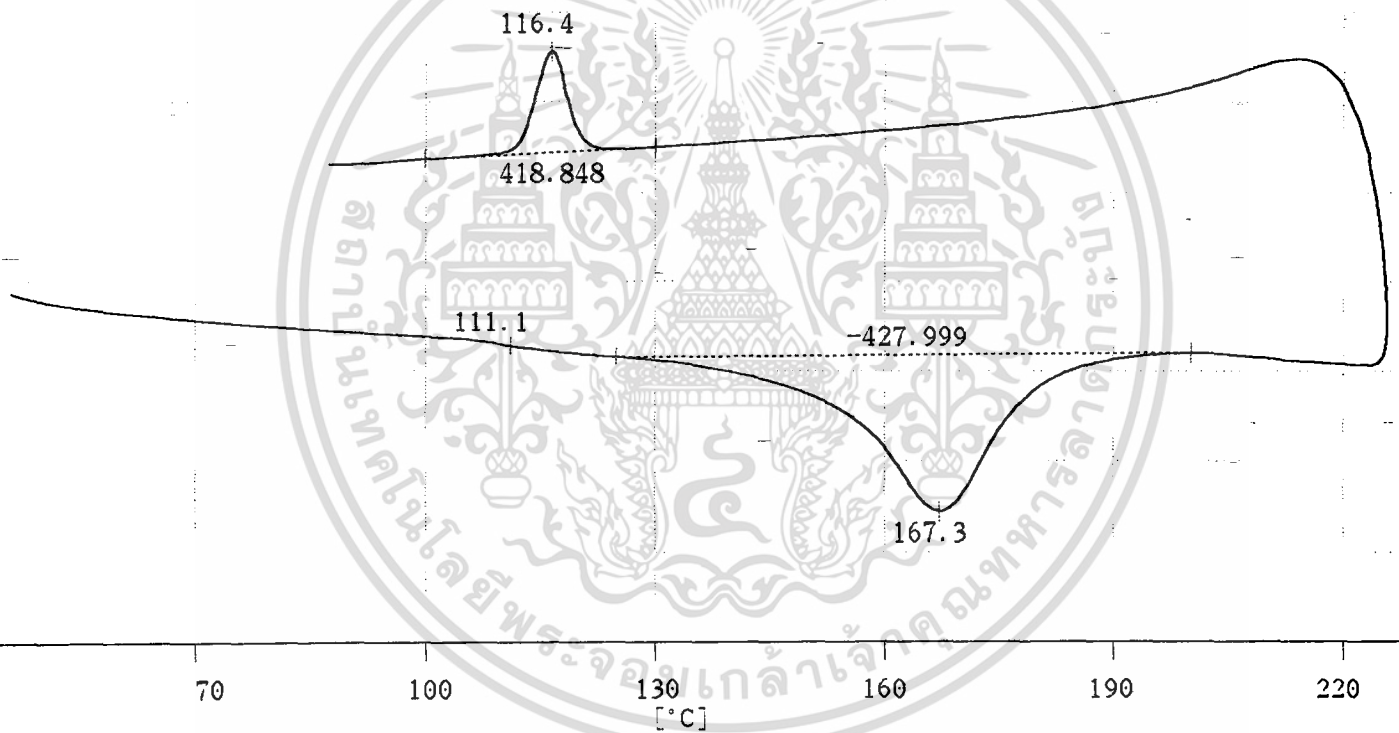
FILE NAME <<RASB12.000>>

DATE (y/m/d) : 00/00/00
 SAMPLE NAME : 10%SBS/PP/PS 220 C 20 KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE QTY : 9.8 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
|----|-------|----------|----------|----------|---|------------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |

4.000mW/div



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 111.1 | -7.2567 |
| 2 | 167.3 | -14.6118 |
| 3 | 116.4 | 5.9002 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 125 | 200.1 | -427.999 |
| 2 | 130 | 100 | 418.848 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

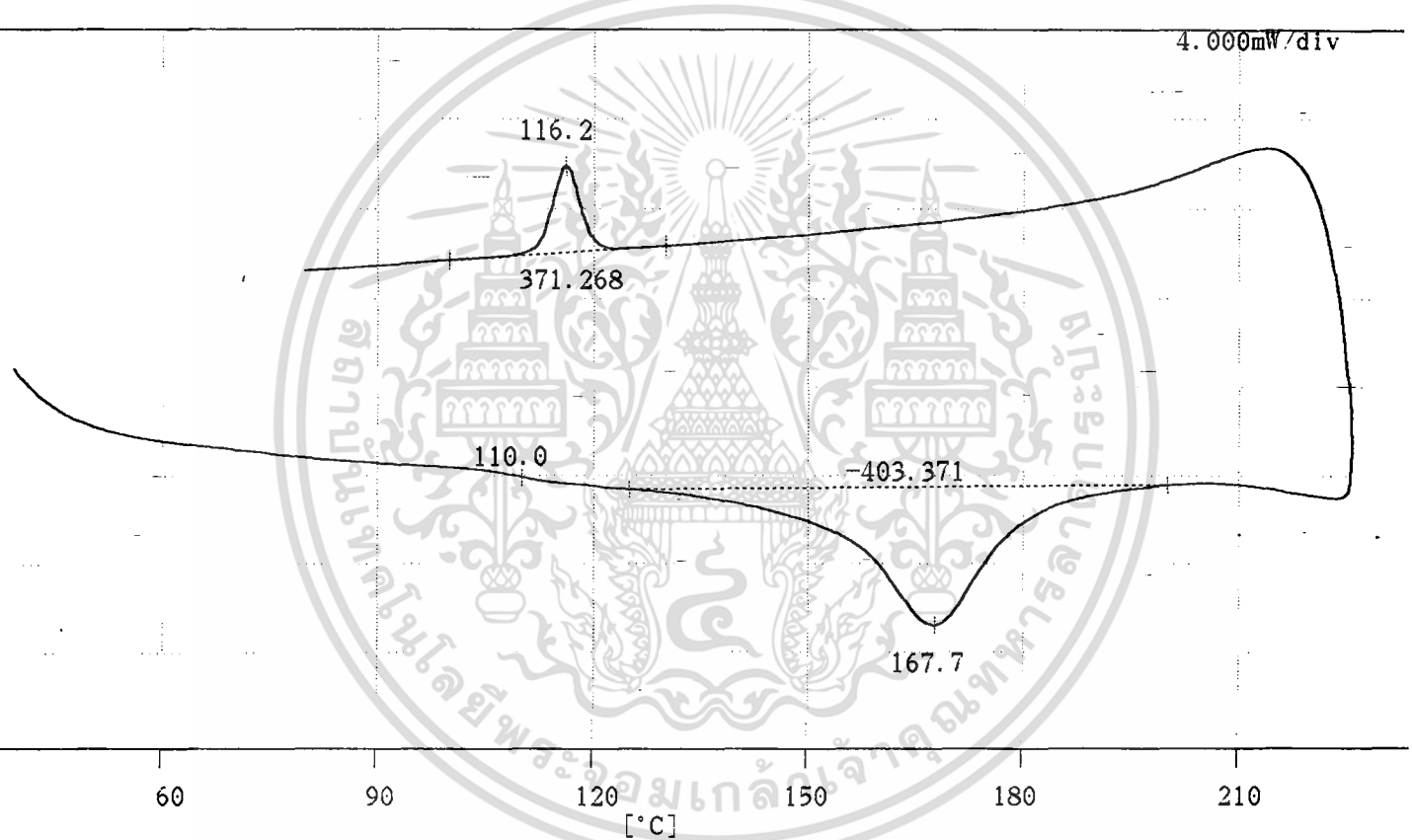
==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

90/11/28

FILE NAME <<BLSB04.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| DATE (y/m/d) | SAMPLE NAME | COMMENT | SAMPLE Q'TITY | MODULE TYPE | SAMPLING INT. | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
|--------------|------------------------|---------------|---------------|-------------|---------------|--------|----------|---------------|------------------|---|------------|
| 90/11/28 | 20%SBS/PP/PS/190C/0KGY | NON RADIATION | 12.7 mg | DSC | 1 sec | 1: 20 | 230 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 110 | -8.7338 |
| 2 | 116.2 | 5.2197 |
| 3 | 167.7 | -15.4976 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 125 | 200.1 | -403.371 |
| 2 | 130 | 100 | 371.268 |

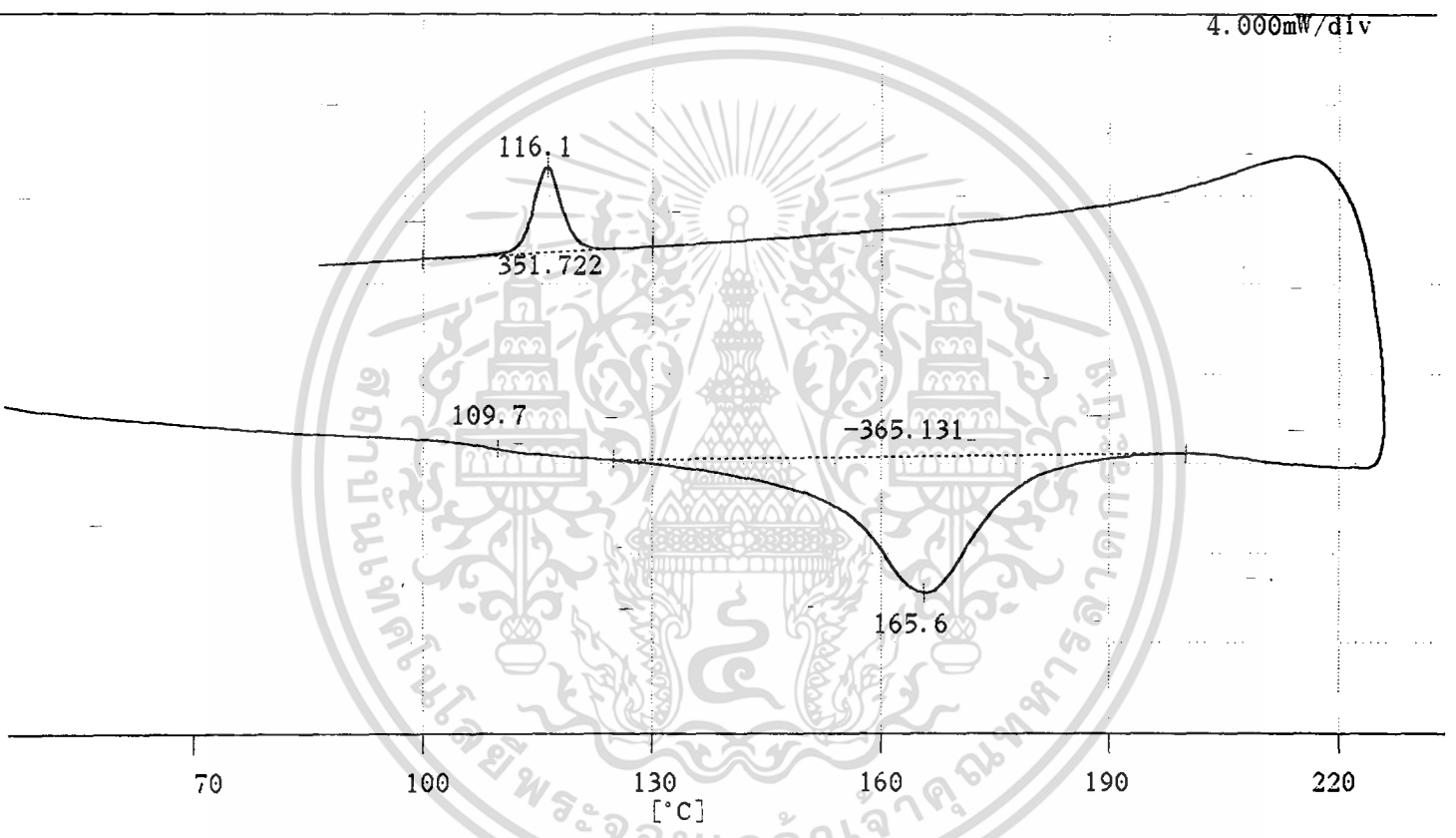
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

TITLE NAME <<RASB13.000>>

DATE (y/m/d) : 90/11/27
 SAMPLE NAME : 20%SBS 190C 5KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 10.5 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

| ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | |
|-------------------------|-------|----------|---------------|------------------|--------------|
| | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x n (repeat) |
| 1: | 20 | 200 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 109.7 | -7.3739 |
| 2 | 165.6 | -13.7585 |
| 3 | 116.1 | 5.2755 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 124.9 | 200.1 | -365.131 |
| 2 | 130 | 100 | 351.722 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

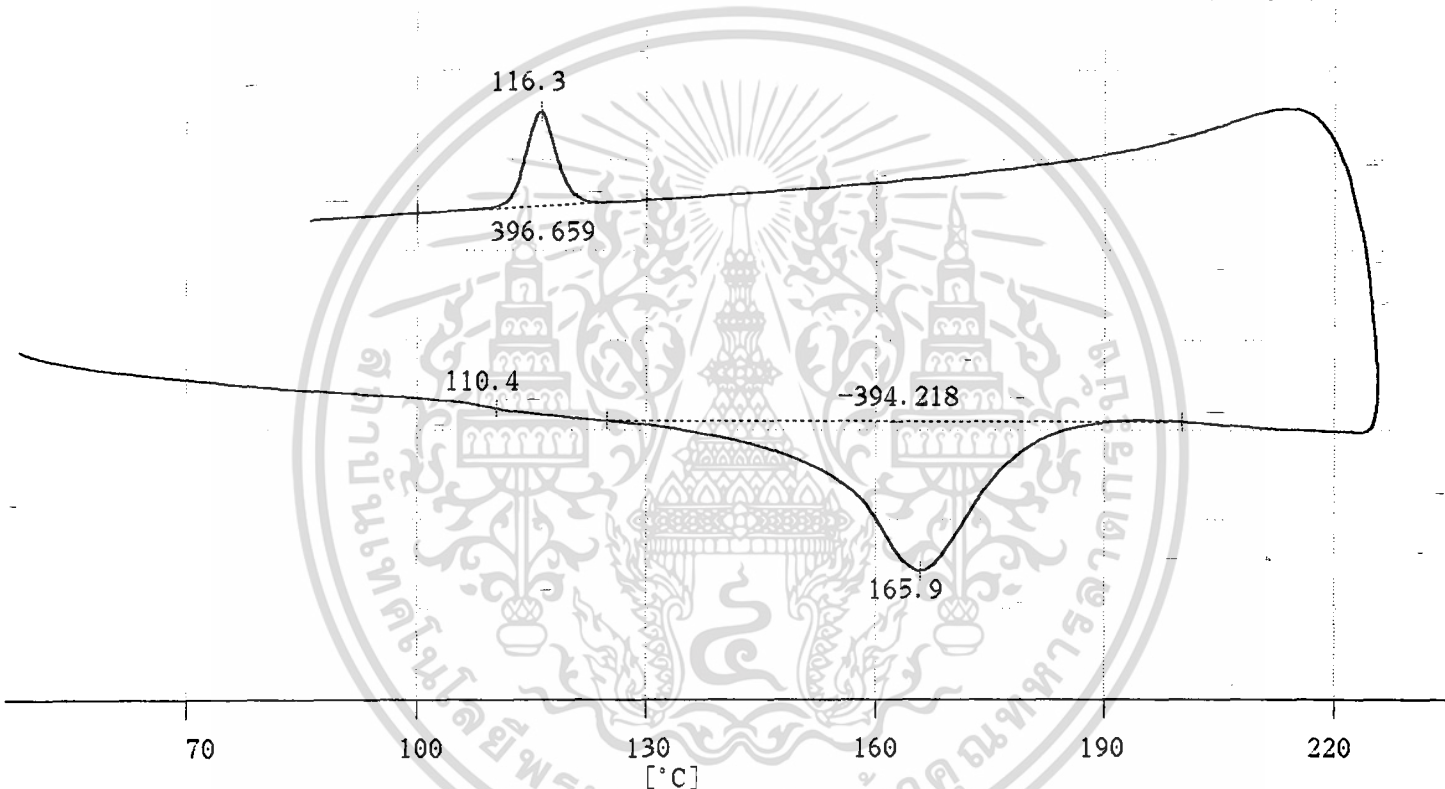
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

FILE NAME <<RASB14.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | | | | | | | | |
|----------------|-------------------|----|-------|---------|---------|---------|---|-----------|
| DATE (y/m/d) : | 90/11/28 | | dT/dt | T(hold) | τ(hold) | δT(add) | x | n(repeat) |
| SAMPLE NAME : | 20%SBS/190C/10KGY | 1: | 20 | 230 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| COMMENT : | RADIATION TEST | 2: | -20 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLE Q'TITY: | 12 mg | 3: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MODULE TYPE : | DSC | 4: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLING INT.: | 1 sec | 5: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

4.000mW/div



| [TEMP.] | -----TEMP(°C)----- | Heat Flow(mW) |
|-----------|--------------------|---------------|
| 1 | 110.4 | -7.6757 |
| 2 | 165.9 | -14.9846 |
| 3 | 116.3 | 5.5248 |

| [HEAT] | -----Ti(°C)----- | -----Tf(°C)----- | Heat(mJ) |
|----------|------------------|------------------|----------|
| 1 | 125 | 200.1 | -394.218 |
| 2 | 130 | 100 | 396.659 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

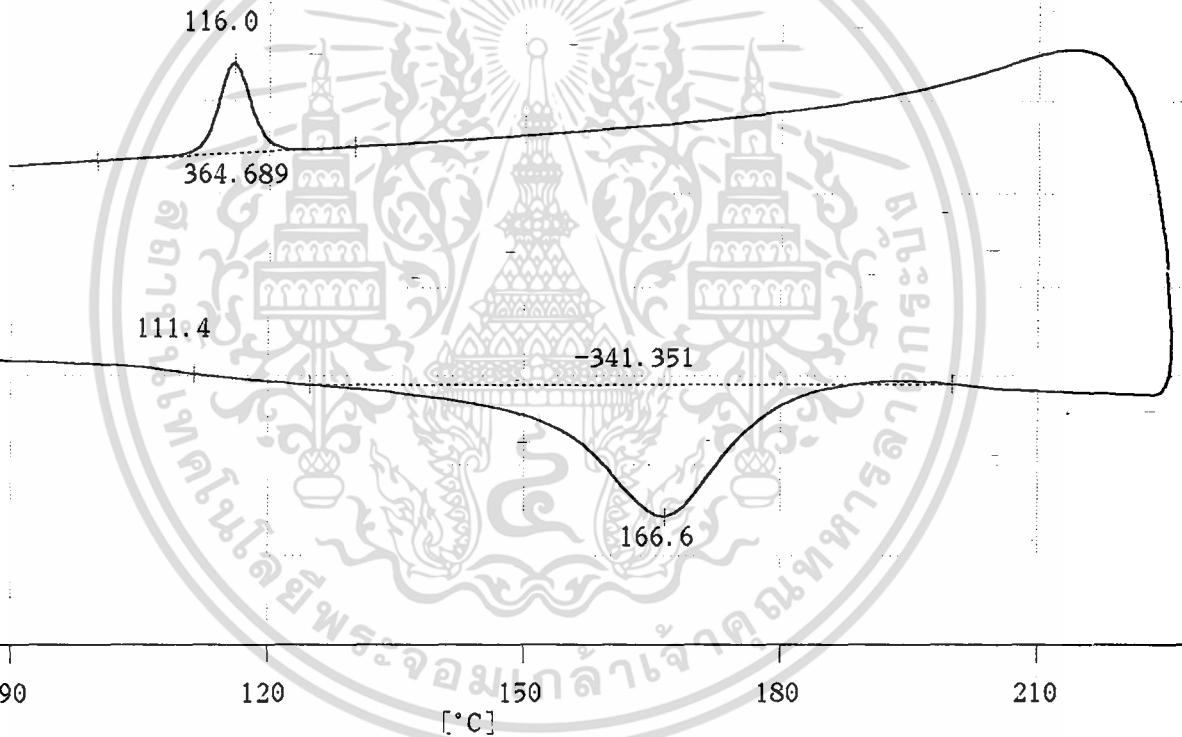
FILE NAME <<RASB15.000>>

DATE (y/m/d) : 90/11/28
 SAMPLE NAME : 20%SBS/190C/15KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 12.1 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n(repeat) |
|----|-------|---------|---------------|------------------|---|-----------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |

4.000mW/div



| [TEMP.] | TEMP(°C) | Heat Flow(mW) |
|-----------|----------|---------------|
| 1 | 111.4 | -8.3113 |
| 2 | 166.6 | -14.6627 |
| 3 | 116 | 5.2688 |

| [HEAT] | Ti(°C) | Tf(°C) | Heat(mJ) |
|----------|--------|--------|----------|
| 1 | 124.9 | 200.1 | -341.351 |
| 2 | 130 | 100 | 364.689 |

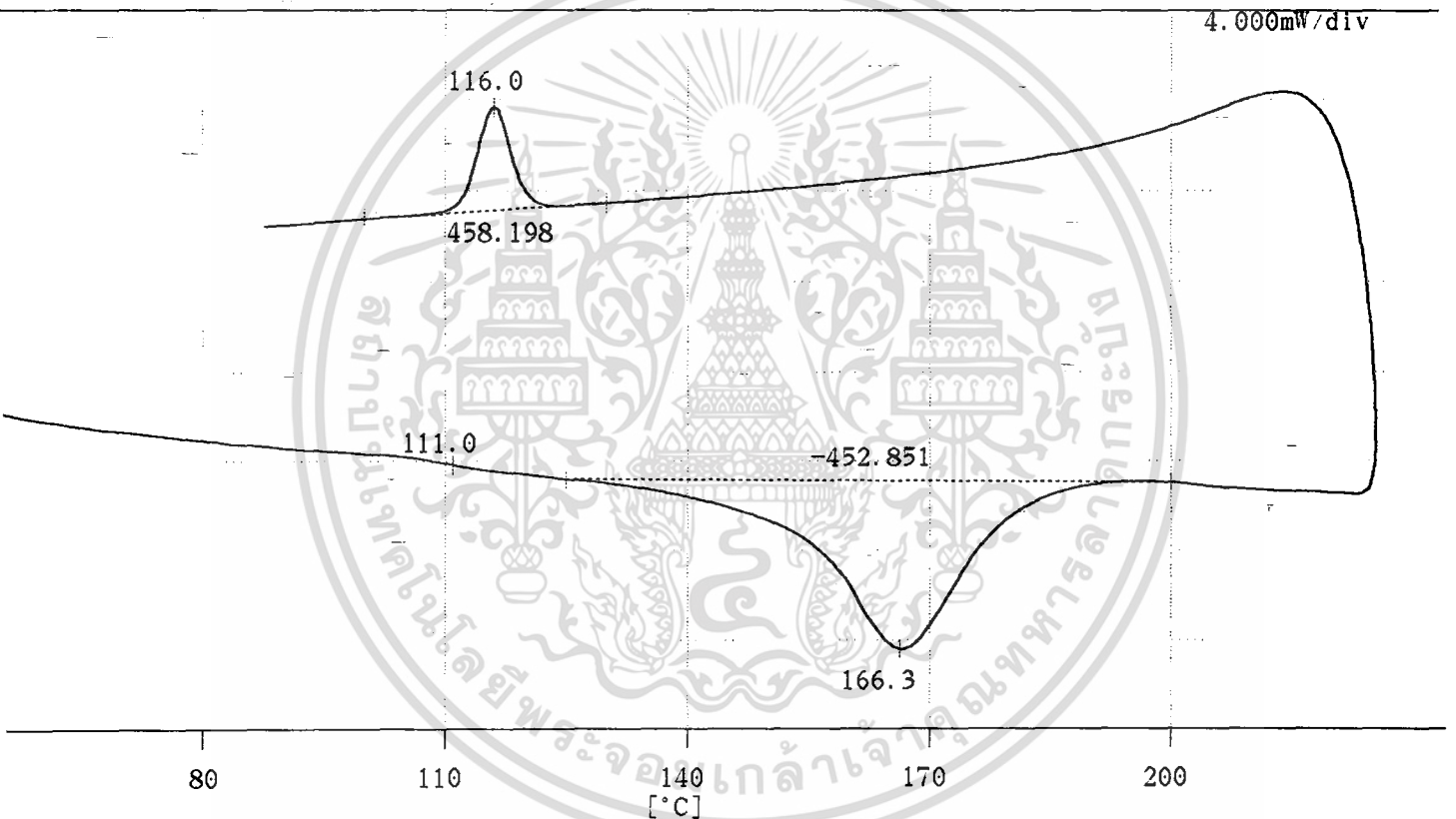
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

FILE NAME <<RASB16.000>>

DATE (y/m/d) : 90/11/28
 SAMPLE NAME : 20%SBS/190C/20KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 13.6 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

| ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | |
|-------------------------|----------|---------------|------------------|---|------------|
| dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 111 | -9.8103 |
| 2 | 166.3 | -18.0261 |
| 3 | 116 | 6.0368 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 124.9 | 200 | -452.851 |
| 2 | 130 | 100 | 458.198 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

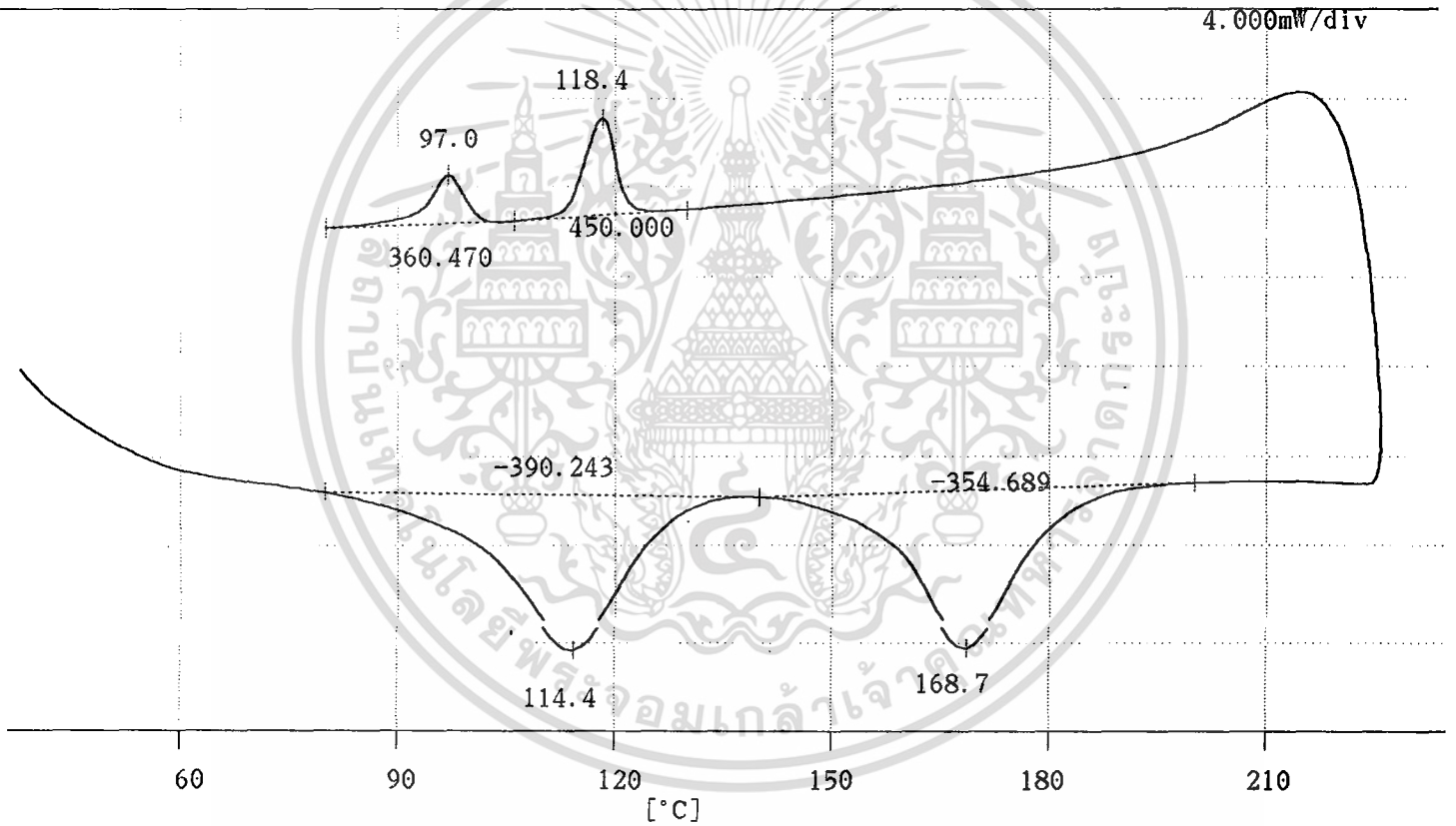
95/11/29

FILE NAME <<BLEP01.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/25
 SAMPLE NAME : 10%EPR1 190 C 0 KGY
 COMMENT : NO RADIATION
 SAMPLE Q'TITY: 12.5 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n(repeat) |
|----|-------|---------|---------------|------------------|---|-----------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 114.4 | -17.4286 |
| 2 | 168.7 | -17.3375 |
| 3 | 118.4 | 6.0004 |
| 4 | 97 | 3.3984 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80 | 106 | 360.47 |
| 2 | 106 | 130 | 450 |
| 3 | 200.1 | 140 | -354.689 |
| 4 | 140 | 80 | -390.243 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

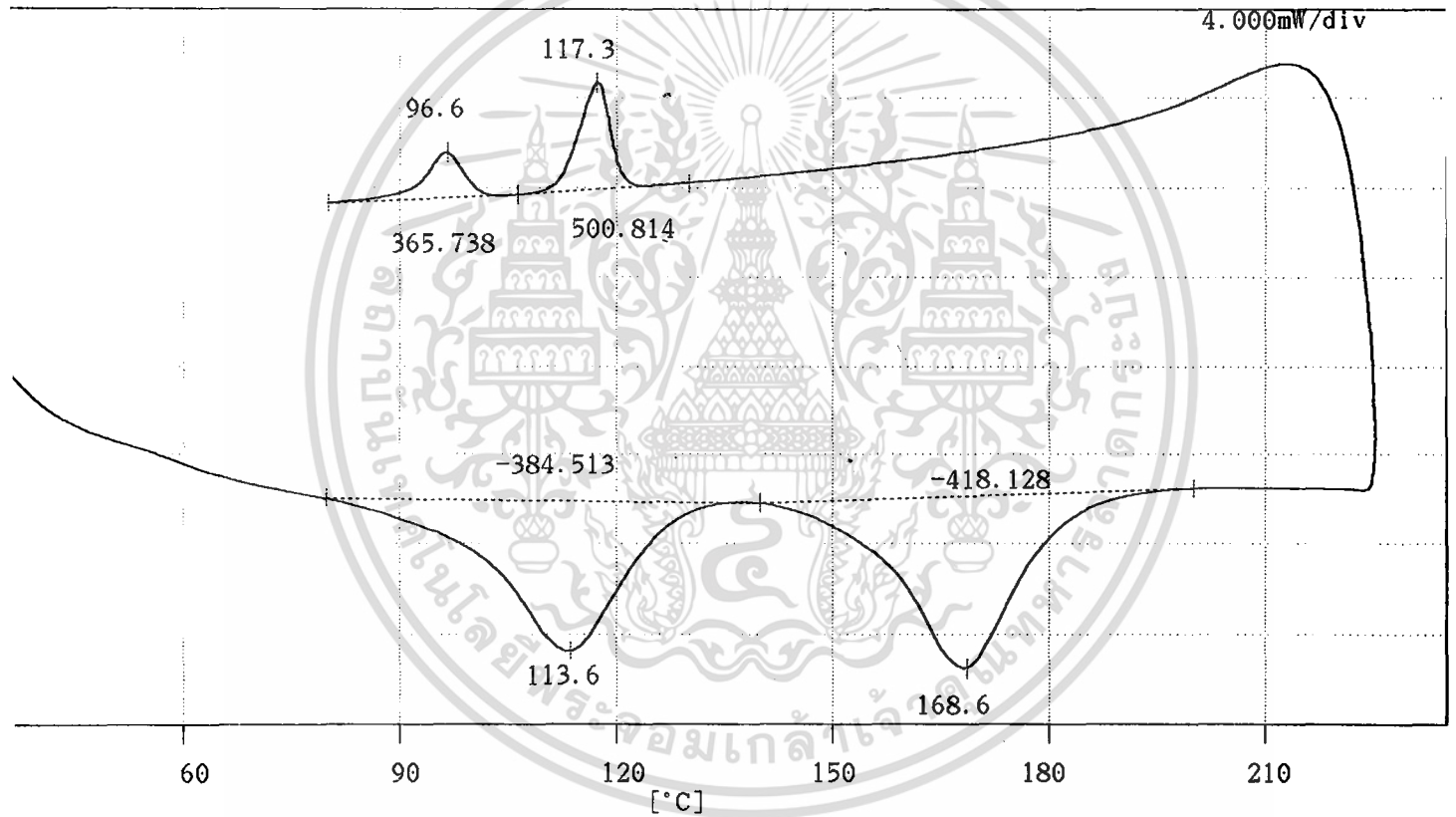
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

95/11/29

FILE NAME <<RAEP02.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| DATE (y/m/d) | 1: | 2: | 3: | 4: | 5: |
|----------------------------------|--------|----------|---------------|------------------|--------------|
| 95/11/24 | 20 | 230 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLE NAME : 10%EPR1/190C/10KGY | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x n (repeat) |
| COMMENT : RADIATION TEST | 2: -20 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLE Q'TITY: 13.9 mg | 3: 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MODULE TYPE : DSC | 4: 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAMPLING INT.: 1 sec | 5: 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 113.6 | -18.8555 |
| 2 | 168.6 | -19.6124 |
| 3 | 117.3 | 6.5645 |
| 4 | 96.6 | 3.4391 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80 | 106.4 | 365.738 |
| 2 | 106.4 | 130 | 500.814 |
| 3 | 200.1 | 140 | -418.128 |
| 4 | 140 | 79.9 | -384.513 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

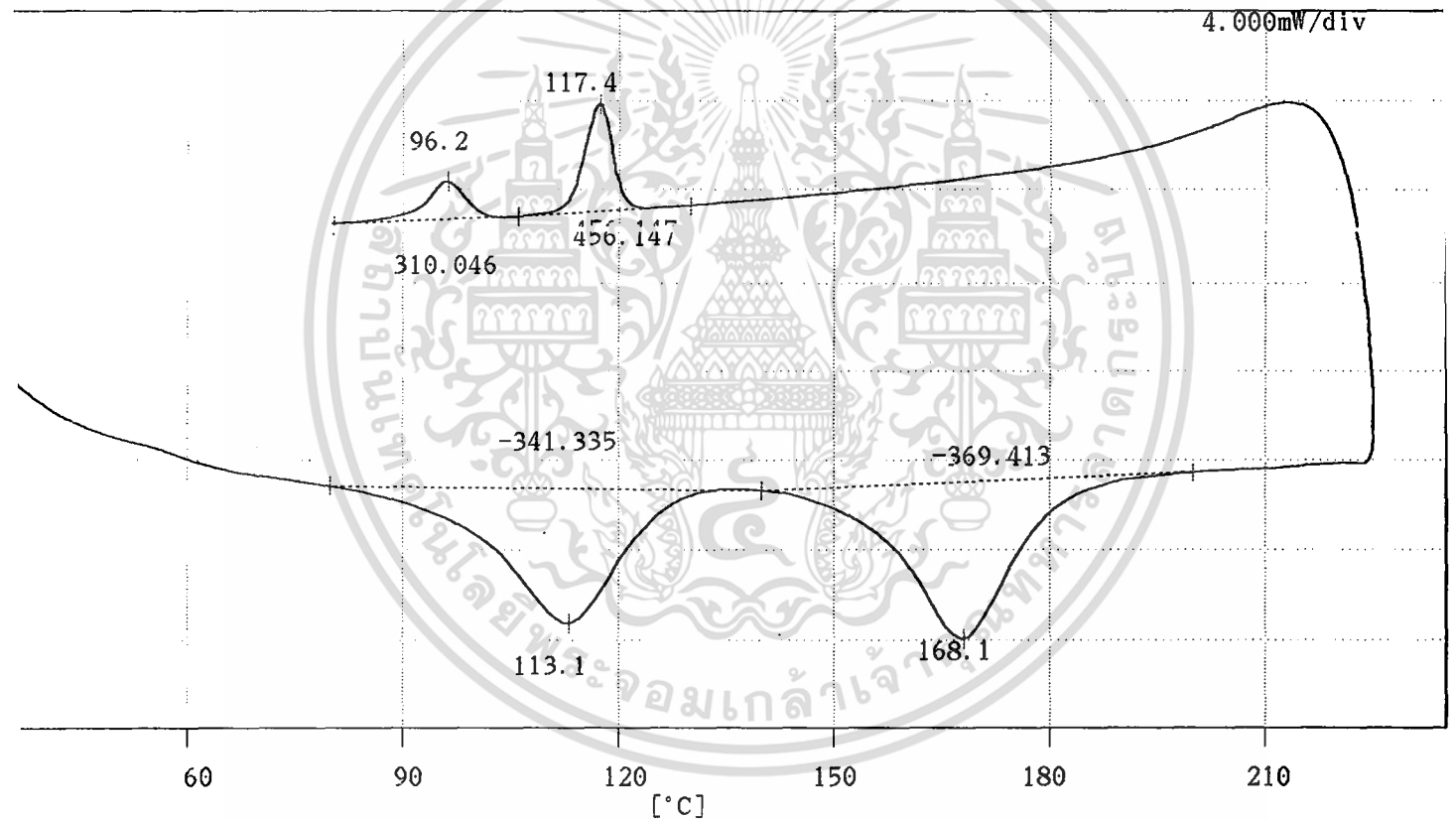
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

95/11/29

FILE NAME <<RAEP03.000>>

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| DATE (y/m/d) | SAMPLE NAME | COMMENT | SAMPLE Q'TITY | MODULE TYPE | SAMPLING INT. | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
|--------------|--------------------|----------------|---------------|-------------|---------------|--------|---------|---------------|------------------|---|------------|
| 95/11/25 | 10%EPR1/190C/15KGY | RADIATION TEST | 12.4 mg | DSC | 1 sec | 1: 20 | 230 | 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 |



| [TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 113.1 | -16.6306 |
| 2 | 168.1 | -17.3163 |
| 3 | 117.4 | 6.4609 |
| 4 | 96.2 | 2.9867 |

| [HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|----------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80.4 | 106 | 310.046 |
| 2 | 106 | 130 | 456.147 |
| 3 | 200 | 140 | -369.413 |
| 4 | 140 | 79.9 | -341.335 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

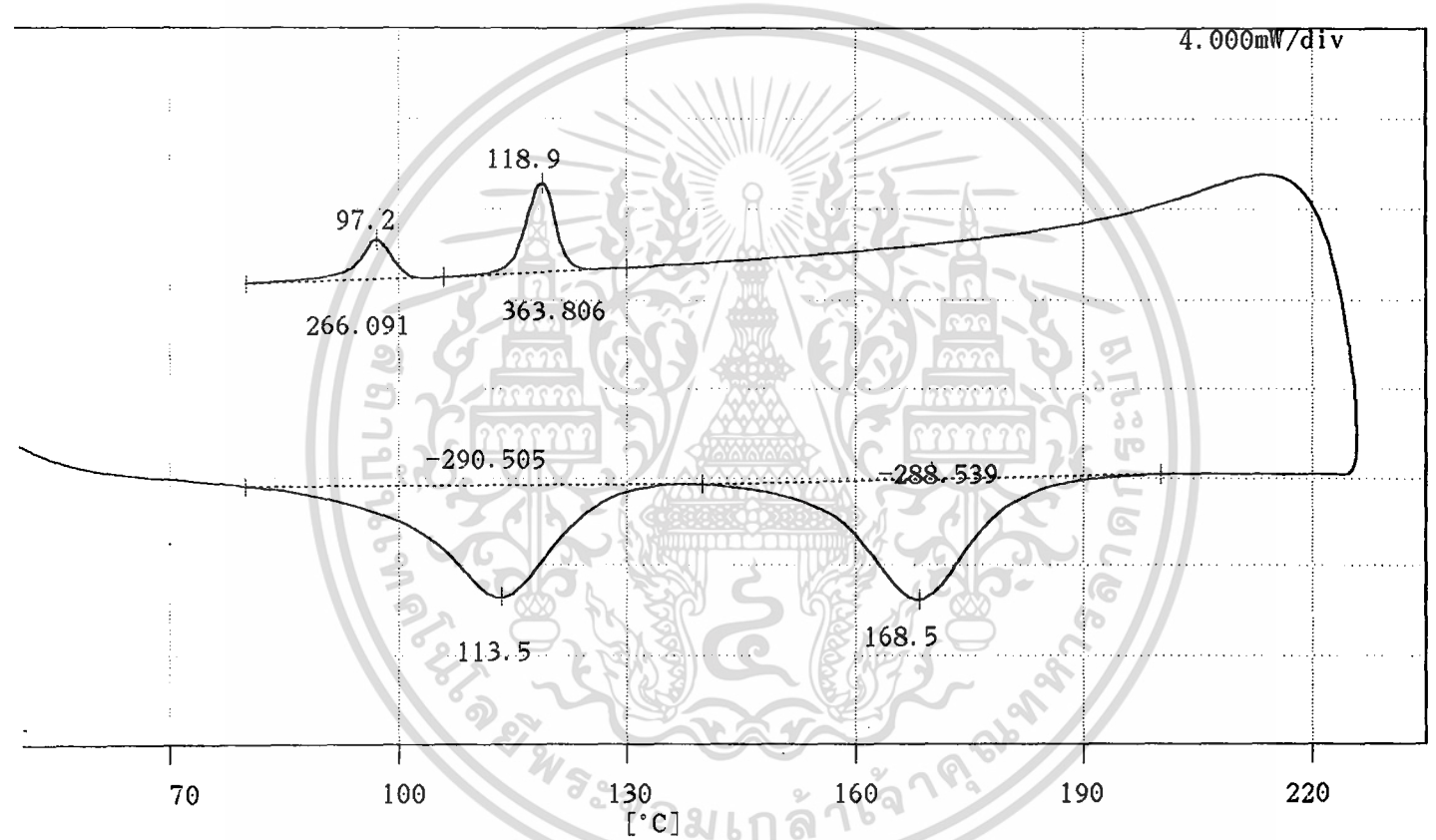
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

95/11/29

NAME <<BLEP02.000>>

DATE(y/m/d) : 95/11/25
 SAMPLE NAME : 10%EPR2/190C/OKGY
 COMMENT : NON RADIATION
 SAMPLE Q'TY: 10.4 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

| ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | |
|-------------------------|-------|---------|---------------|-------------------|-----------|
| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add)x | n(repeat) |
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | TEMP(°C) | Heat Flow(mW) |
|--------|----------|---------------|
| 1 | 113.5 | -13.3225 |
| 2 | 168.5 | -13.4205 |
| 3 | 118.9 | 5.2278 |
| 4 | 97.2 | 2.7703 |

| HEAT] | Ti(°C) | Tf(°C) | Heat(mJ) |
|--------|--------|--------|----------|
| 1 | 80 | 106 | 266.091 |
| 2 | 106 | 130 | 363.806 |
| 3 | 200.1 | 139.9 | -288.539 |
| 4 | 79.9 | 139.9 | -290.505 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

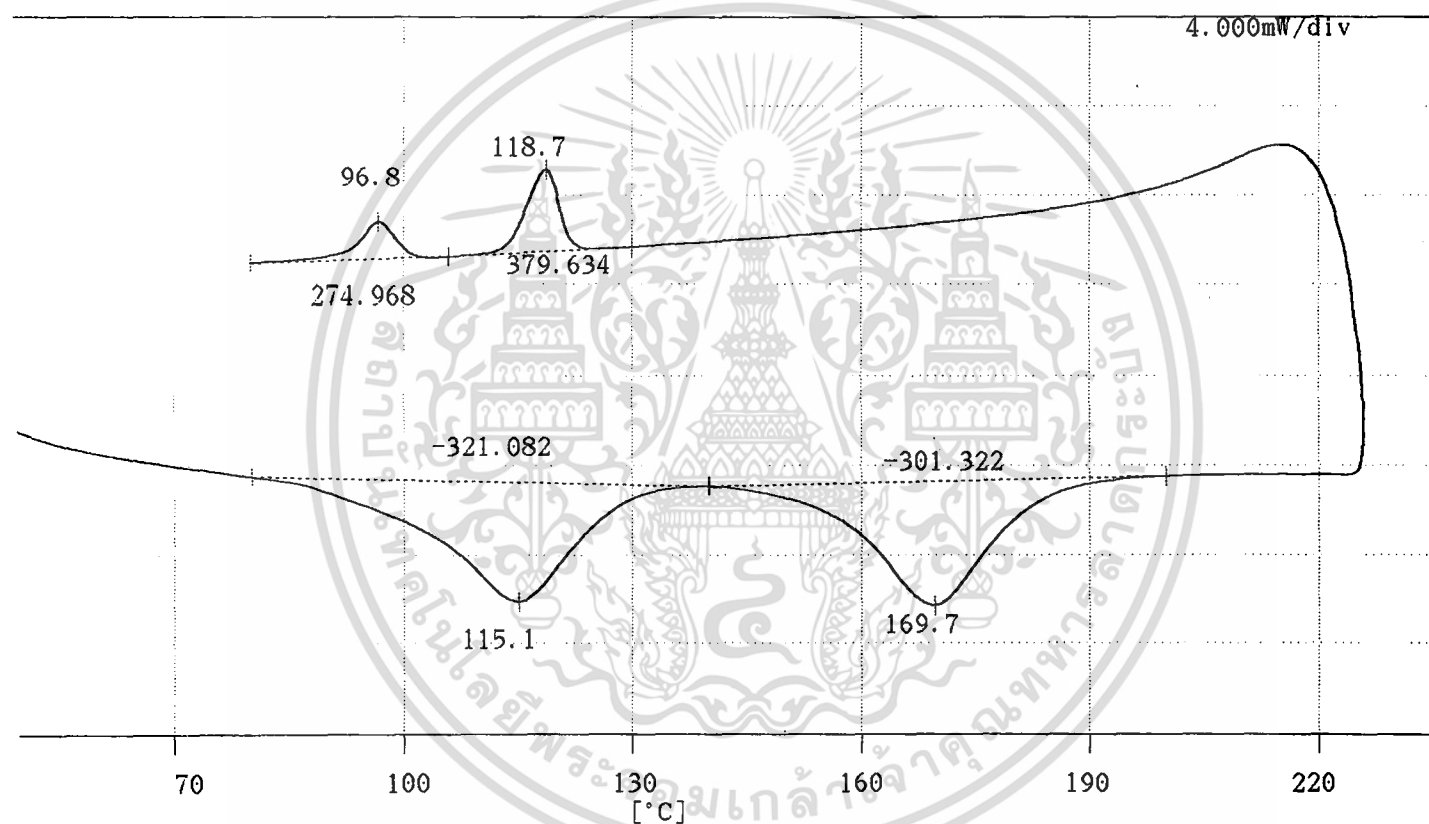
95/11/29

E NAME <<RAEP04.000>>

DATE(y/m/d) : 95/11/24
 SAMPLE NAME : 10%EPR2 190 C 5 KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 10.2 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n(repeat) |
|----|-------|---------|---------------|------------------|---|-----------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|---------|-----------|----------------|
| 1 | 115.1 | -14.1727 |
| 2 | 169.7 | -14.3713 |
| 3 | 118.7 | 5.0971 |
| 4 | 96.8 | 2.7376 |

| HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|--------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80 | 106 | 274.968 |
| 2 | 106 | 130 | 379.634 |
| 3 | 200 | 140.1 | -301.322 |
| 4 | 140.1 | 80.1 | -321.082 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

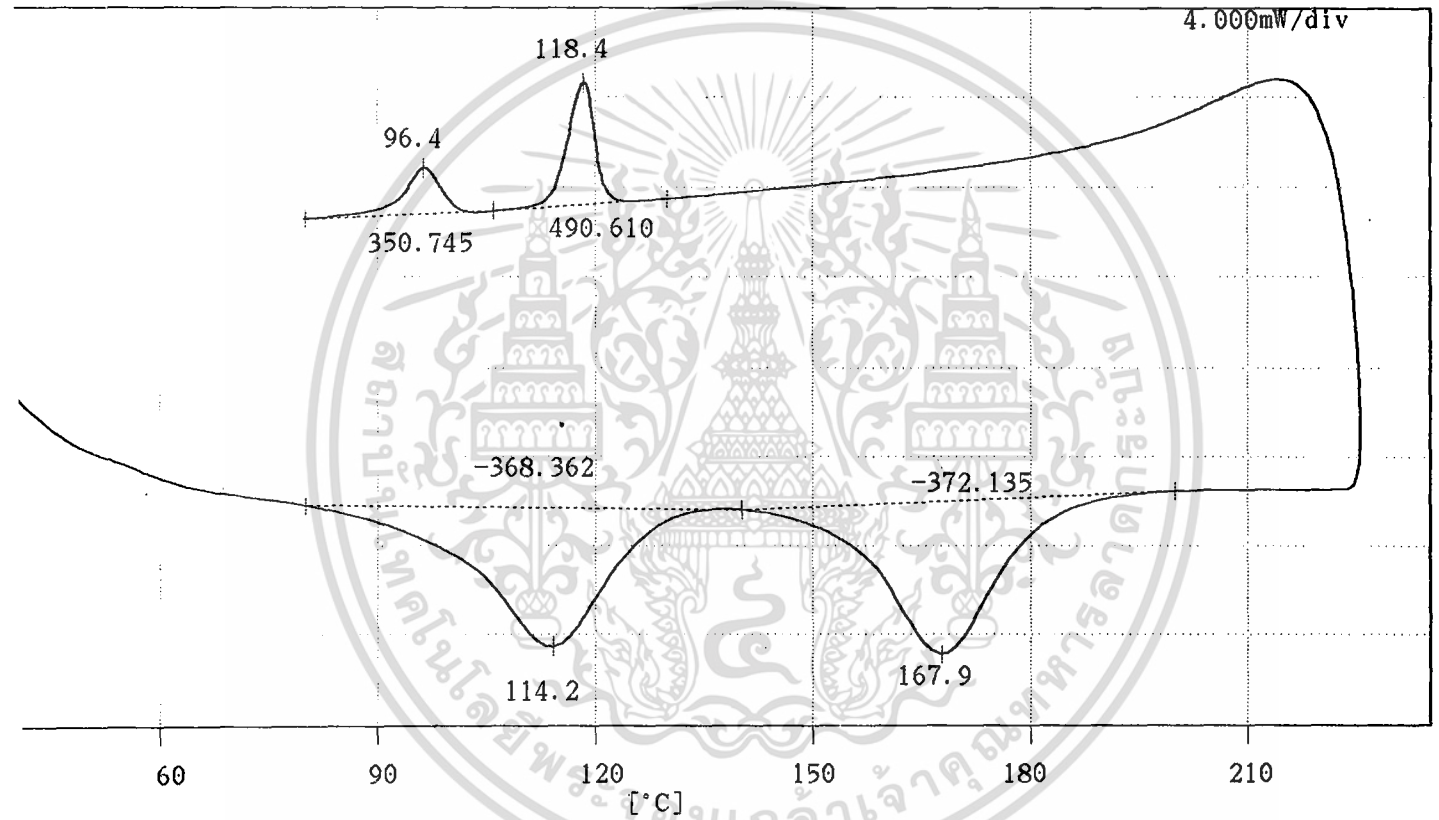
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

95/11/29

NAME <<RAEP05.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/24
 SAMPLE NAME : 10%EPR2/190C/10KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 15 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

| ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | |
|-------------------------|-------|---------|---------------|-------------------|-----------|
| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add)x | n(repeat) |
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|---------|-----------|----------------|
| 1 | 114.2 | -18.0818 |
| 2 | 167.9 | -18.4067 |
| 3 | 118.4 | 7.0966 |
| 4 | 96.4 | 3.3305 |

| HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|--------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80 | 106 | 350.745 |
| 2 | 106 | 130 | 490.61 |
| 3 | 199.9 | 140.2 | -372.135 |
| 4 | 140.2 | 80 | -368.362 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

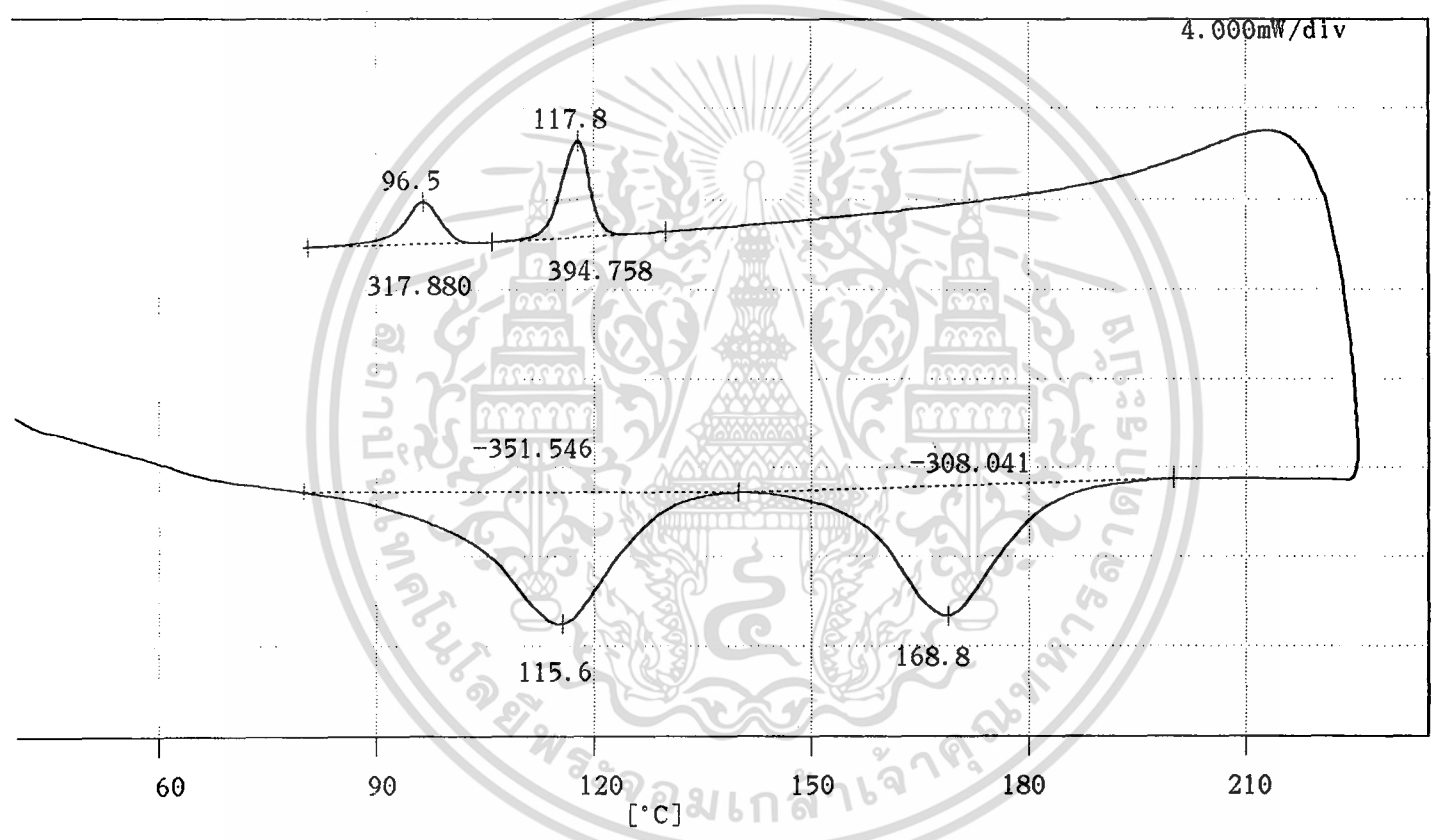
95/11/29

NAME <<RAEP06.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/25
 SAMPLE NAME : 10%EPR2/190C/15KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 12 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n(repeat) |
|----|-------|---------|---------------|------------------|---|-----------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|---------|-----------|----------------|
| 1 | 115.6 | -15.7334 |
| 2 | 168.8 | -15.3675 |
| 3 | 117.8 | 5.8239 |
| 4 | 96.5 | 3.1966 |

| HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|--------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80.5 | 106 | 317.88 |
| 2 | 106 | 130 | 394.758 |
| 3 | 200 | 140 | -308.041 |
| 4 | 140 | 79.9 | -351.546 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

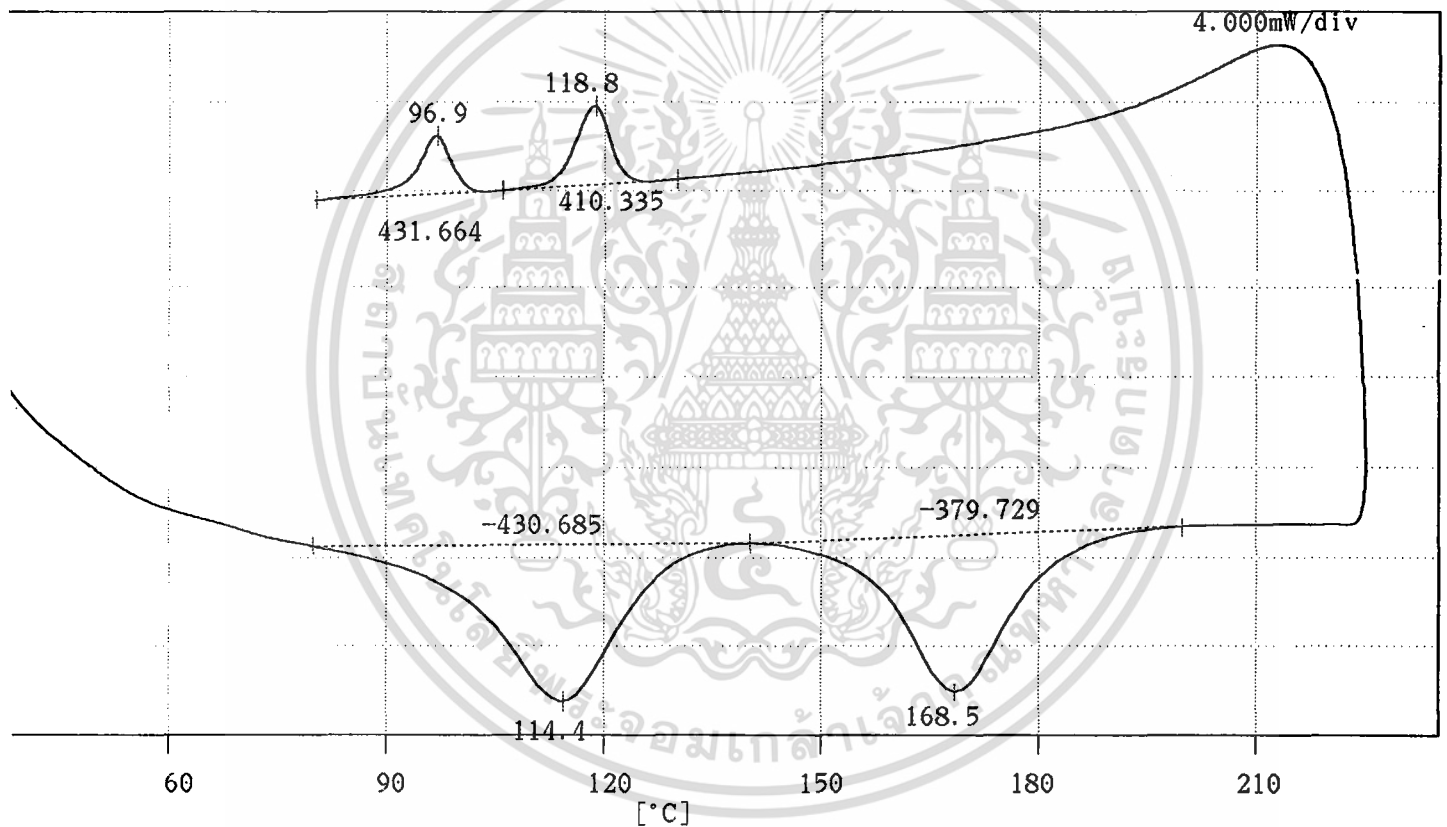
95/11/29

FILE NAME <<BLEP03.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/25
 SAMPLE NAME : 10%EPR3 190C 0 KGY
 COMMENT : NON RADIATION
 SAMPLE Q'TITY: 16.5 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T(hold) | τ(hold) | ΔT(add) | x | n(repeat) |
|----|-------|---------|---------|---------|---|-----------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | -----TEMP (°C)----- | Heat Flow (mW) |
|--------|---------------------|----------------|
| 1 | 114.4 | -20.7687 |
| 2 | 168.5 | -20.3048 |
| 3 | 118.8 | 5.5555 |
| 4 | 96.9 | 4.2345 |

| HEAT] | ----Ti (°C)---- | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|--------|-----------------|---------|-----------|
| 1 | 80.4 | 106 | 431.664 |
| 2 | 106 | 130 | 410.335 |
| 3 | 79.9 | 140.2 | -430.685 |
| 4 | 140.2 | 199.9 | -379.729 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

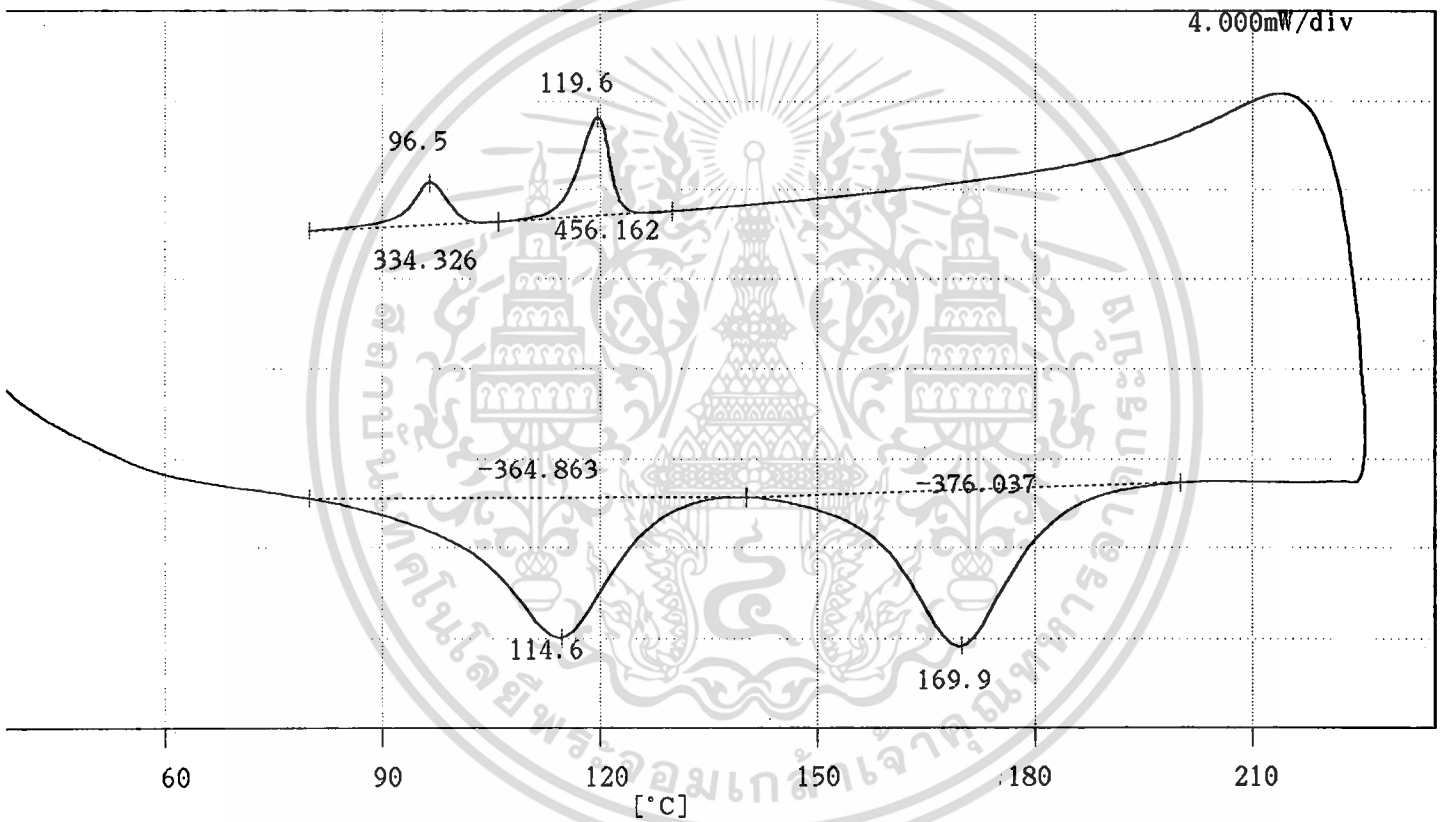
95/11/29

E NAME <<RAEP07.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/24
 SAMPLE NAME : 10%EPR3 190C 5 KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 13.4 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
|----|-------|----------|---------------|------------------|---|------------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|---------|-----------|----------------|
| 1 | 114.6 | -16.9998 |
| 2 | 169.9 | -17.3813 |
| 3 | 119.6 | 6.2107 |
| 4 | 96.5 | 3.2887 |

| HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|--------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80 | 106 | 334.326 |
| 2 | 106 | 130 | 456.162 |
| 3 | 200.1 | 140.2 | -376.037 |
| 4 | 140.2 | 80 | -364.863 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

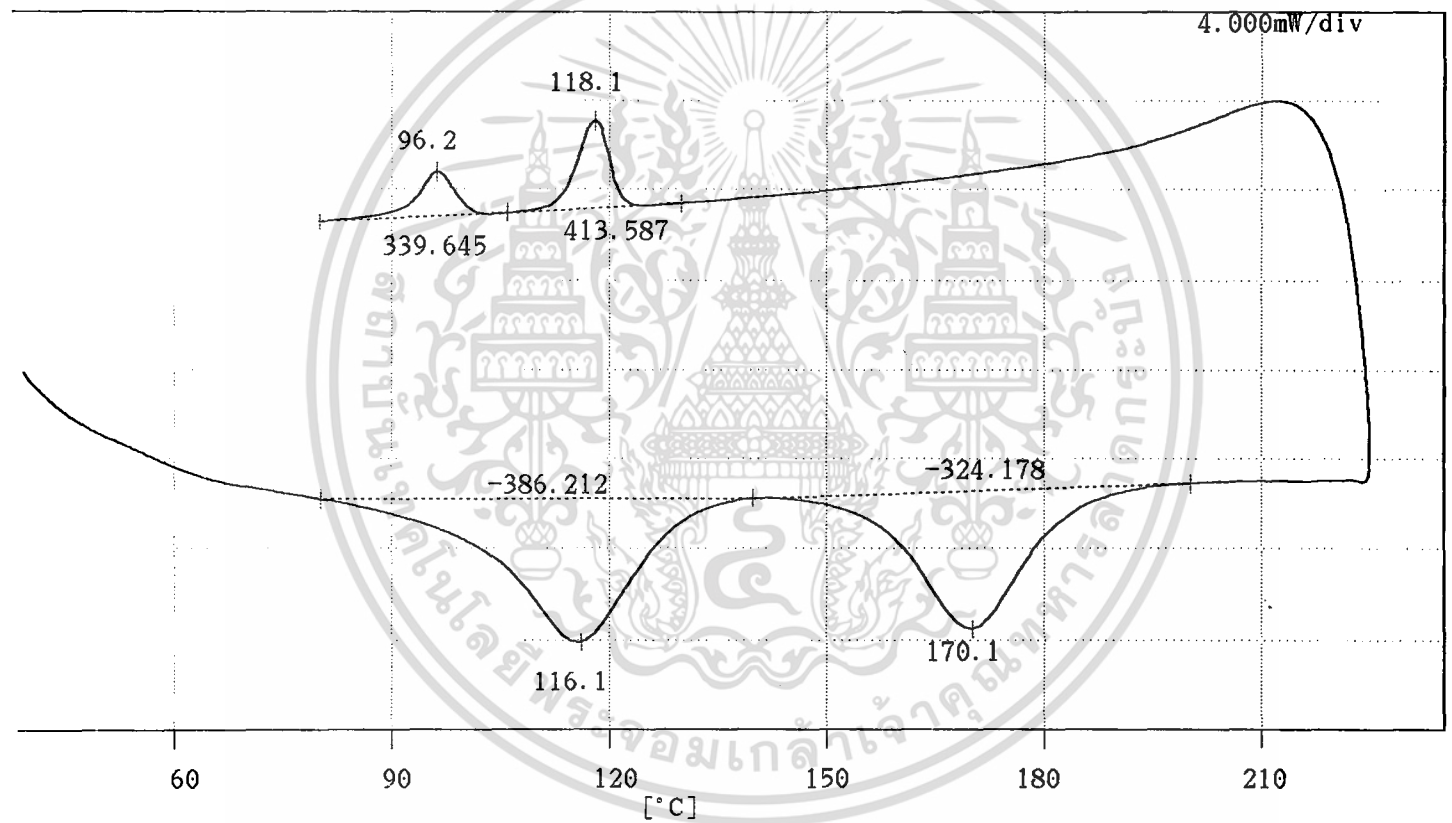
95/11/29

FILE NAME <<RAEP08.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/25
 SAMPLE NAME : 10%SBS/190C/10KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 14 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
|----|-------|----------|---------------|------------------|---|------------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|---------|-----------|----------------|
| 1 | 116.1 | -17.5731 |
| 2 | 170.1 | -16.9643 |
| 3 | 118.1 | 5.5724 |
| 4 | 96.2 | 3.2494 |

| HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|--------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80 | 106 | 339.645 |
| 2 | 106 | 130 | 413.587 |
| 3 | 80.2 | 139.9 | -386.212 |
| 4 | 139.9 | 200.2 | -324.178 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

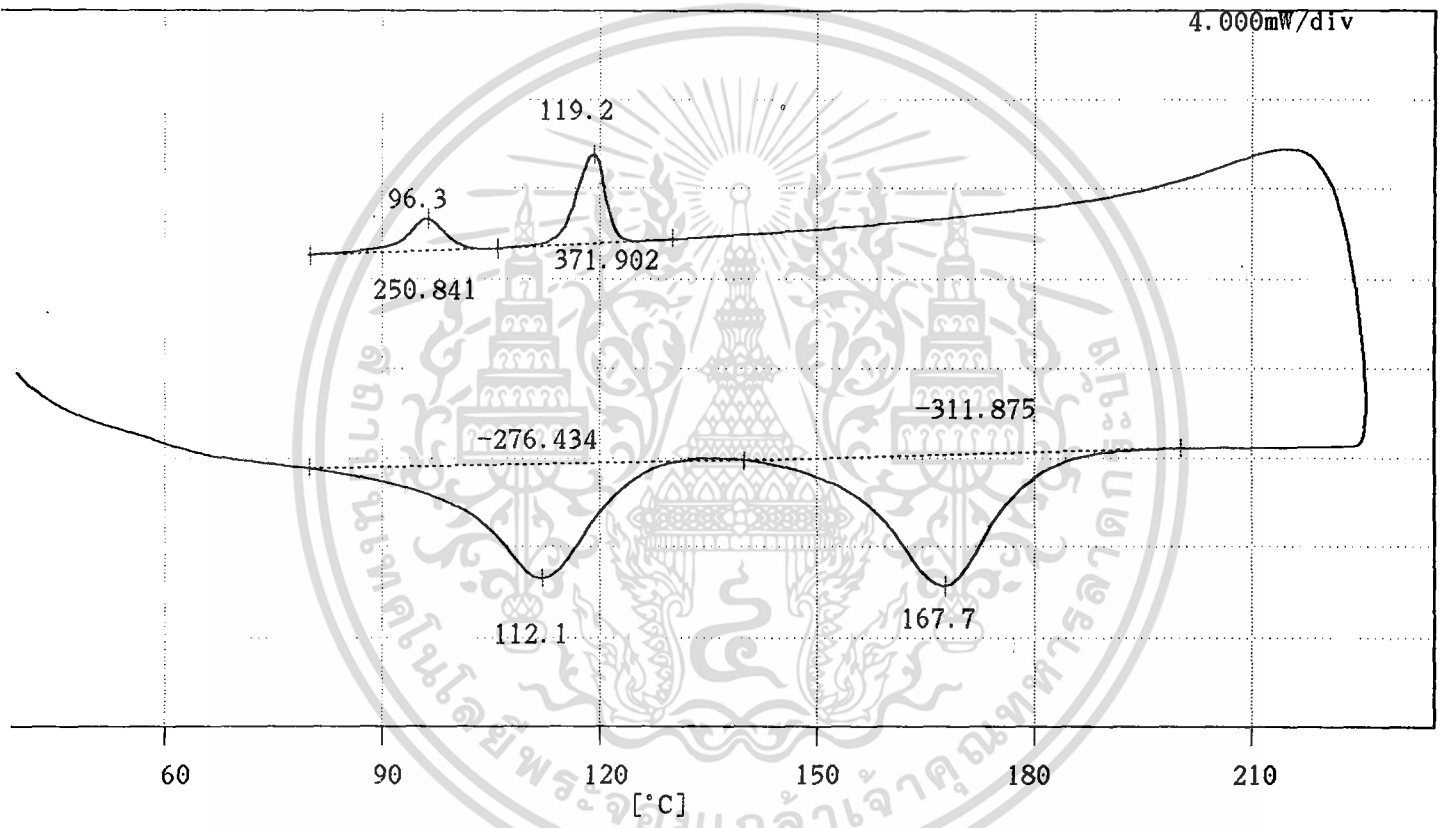
95/11/29

LE NAME <<RAEP09.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/25
 SAMPLE NAME : 10%EPR3/190C/15KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 10.2 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n (repeat) |
|----|-------|----------|----------|----------|---|------------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|---------|-----------|----------------|
| 1 | 112.1 | -13.5911 |
| 2 | 167.7 | -13.9461 |
| 3 | 119.2 | 5.3123 |
| 4 | 96.3 | 2.4373 |

| HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|--------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80 | 106 | 250.841 |
| 2 | 106 | 130 | 371.902 |
| 3 | 200.2 | 140 | -311.875 |
| 4 | 79.9 | 140 | -276.434 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

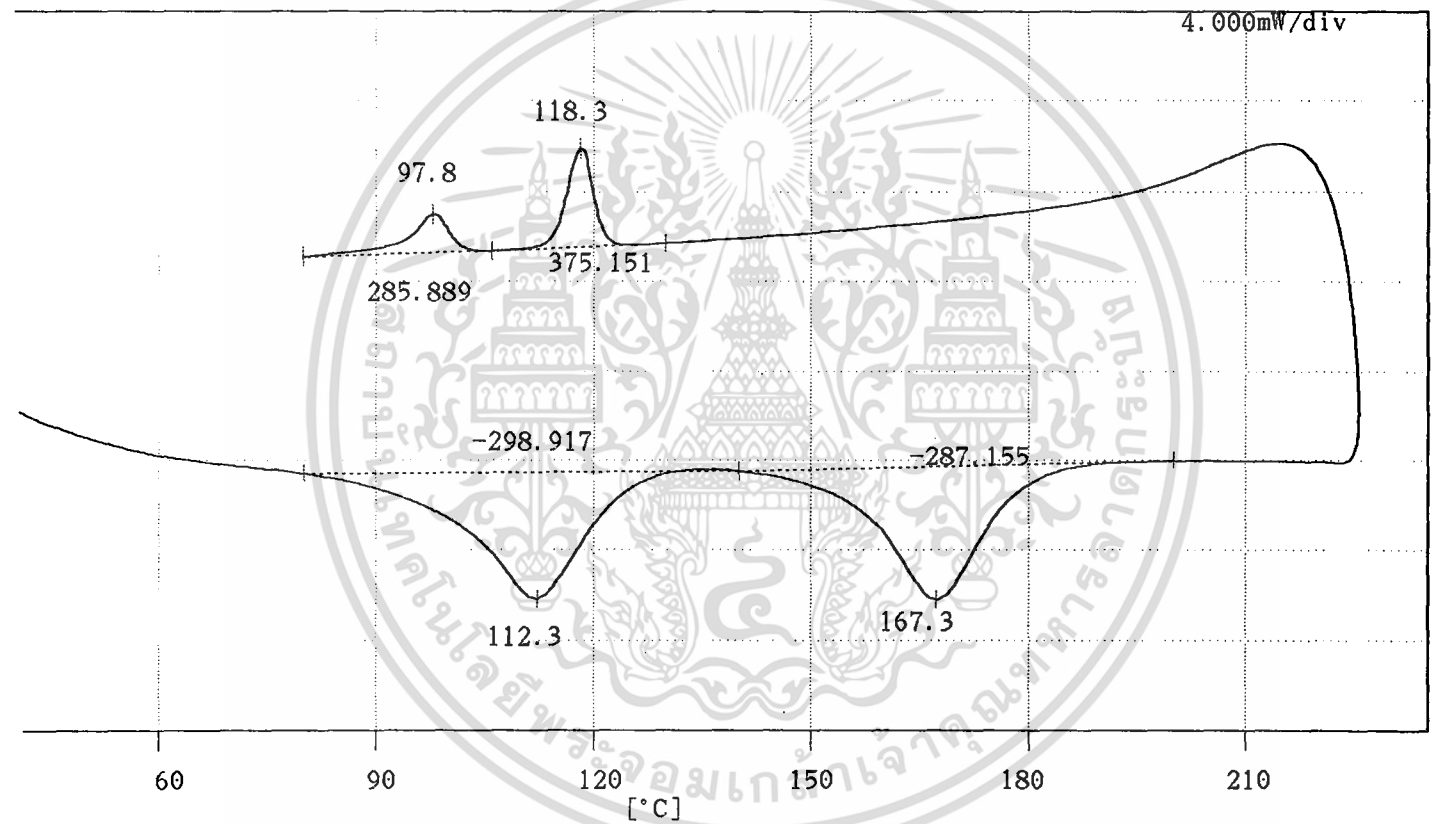
95/11/29

3 NAME <<BLEP04.000>>

DATE (y/m/d) : 00/00/00
 SAMPLE NAME : 10%EPR4/190C/OKGY
 COMMENT : NON RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 8.5 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add) | x | n(repeat) |
|----|-------|---------|---------------|------------------|---|-----------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|---------|-----------|----------------|
| 1 | 112.3 | -13.9942 |
| 2 | 167.3 | -14.0434 |
| 3 | 118.3 | 6.0441 |
| 4 | 97.8 | 3.1373 |

| HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|--------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80 | 106 | 285.889 |
| 2 | 106 | 130 | 375.151 |
| 3 | 200.1 | 140.1 | -287.155 |
| 4 | 140.1 | 80.1 | -298.917 |

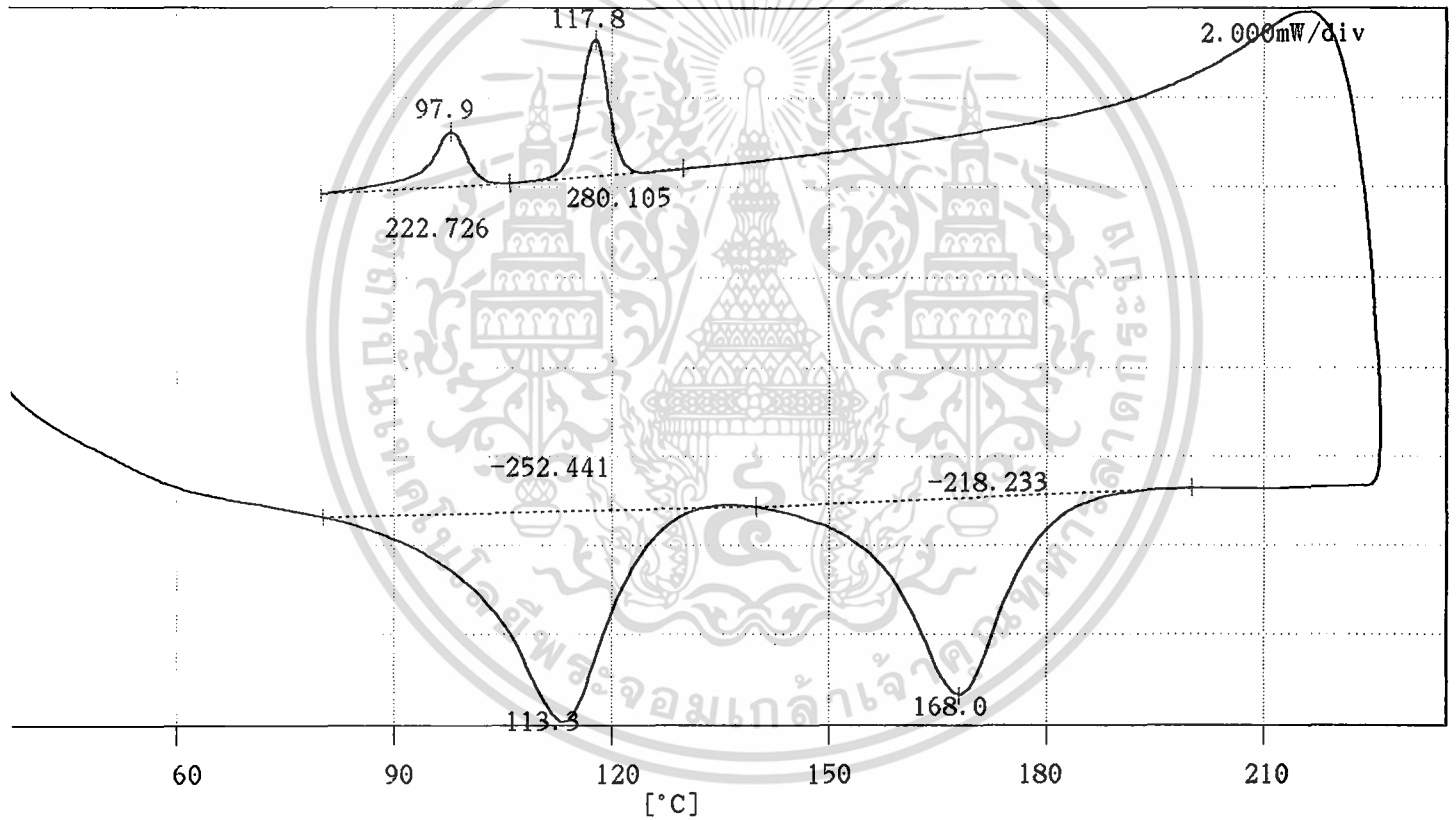
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

95/11/29

LE NAME <<RAEP10.000>>

| | |
|---------------------------------|--|
| | ● TEMPERATURE PROGRAM ● |
| DATE (y/m/d) : 95/11/24 | dT/dt T(hold) τ(hold) δT(add)x n(repeat) |
| SAMPLE NAME : 10%EPR4/190C/5KGY | 1: 20 230 0 0 0 |
| COMMENT : RADIATION TEST | 2: -20 40 0 0 0 |
| SAMPLE Q'TITY: 7.9 mg | 3: 0 0 0 0 0 |
| MODULE TYPE : DSC | 4: 0 0 0 0 0 |
| SAMPLING INT.: 1 sec | 5: 0 0 0 0 0 |



| | |
|-----------|--------------------------------------|
| [TEMP.] | -----TEMP(°C)-----Heat Flow(mW)----- |
| 1 | 113.3 -11.0436 |
| 2 | 168 -10.4241 |
| 3 | 117.8 4.1684 |
| 4 | 97.9 2.131 |

| | |
|----------|--------------------------------------|
| [HEAT] | ----Ti(°C)----Tf(°C)----Heat(mJ)---- |
| 1 | 80 106 222.726 |
| 2 | 130 106 280.105 |
| 3 | 200.2 139.9 -218.233 |
| 4 | 139.9 80.1 -252.441 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

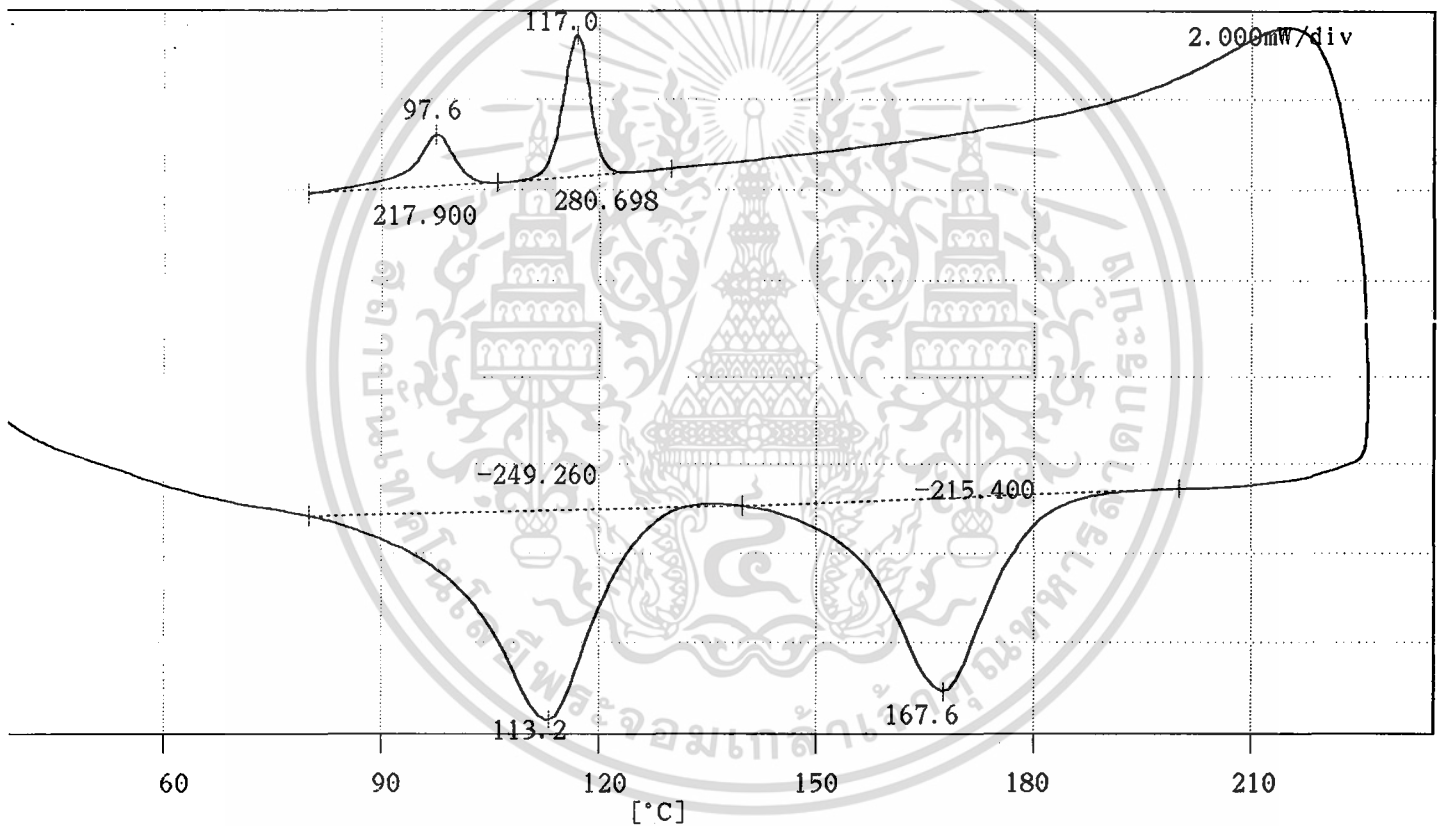
===== THERMAL ANALYSIS REPORT =====

95/11/29

FILE NAME <<RAEP11.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/25
 SAMPLE NAME : 10% EPR4/190C/10KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 8.1 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

| ● TEMPERATURE PROGRAM ● | | | | | |
|-------------------------|-------|---------|---------------|------------------|-------------|
| | dT/dt | T(hold) | τ (hold) | δT (add) | x n(repeat) |
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | -----TEMP(°C)----- | Heat Flow(mW) |
|--------|--------------------|---------------|
| 1 | 113.2 | -10.8321 |
| 2 | 167.6 | -10.2225 |
| 3 | 117 | 4.2911 |
| 4 | 97.6 | 2.0639 |

| HEAT] | -----Ti(°C)----- | Tf(°C) | Heat(mJ) |
|--------|------------------|--------|----------|
| 1 | 80 | 106 | 217.9 |
| 2 | 106 | 130 | 280.698 |
| 3 | 200.1 | 139.9 | -215.4 |
| 4 | 139.9 | 80.1 | -249.26 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

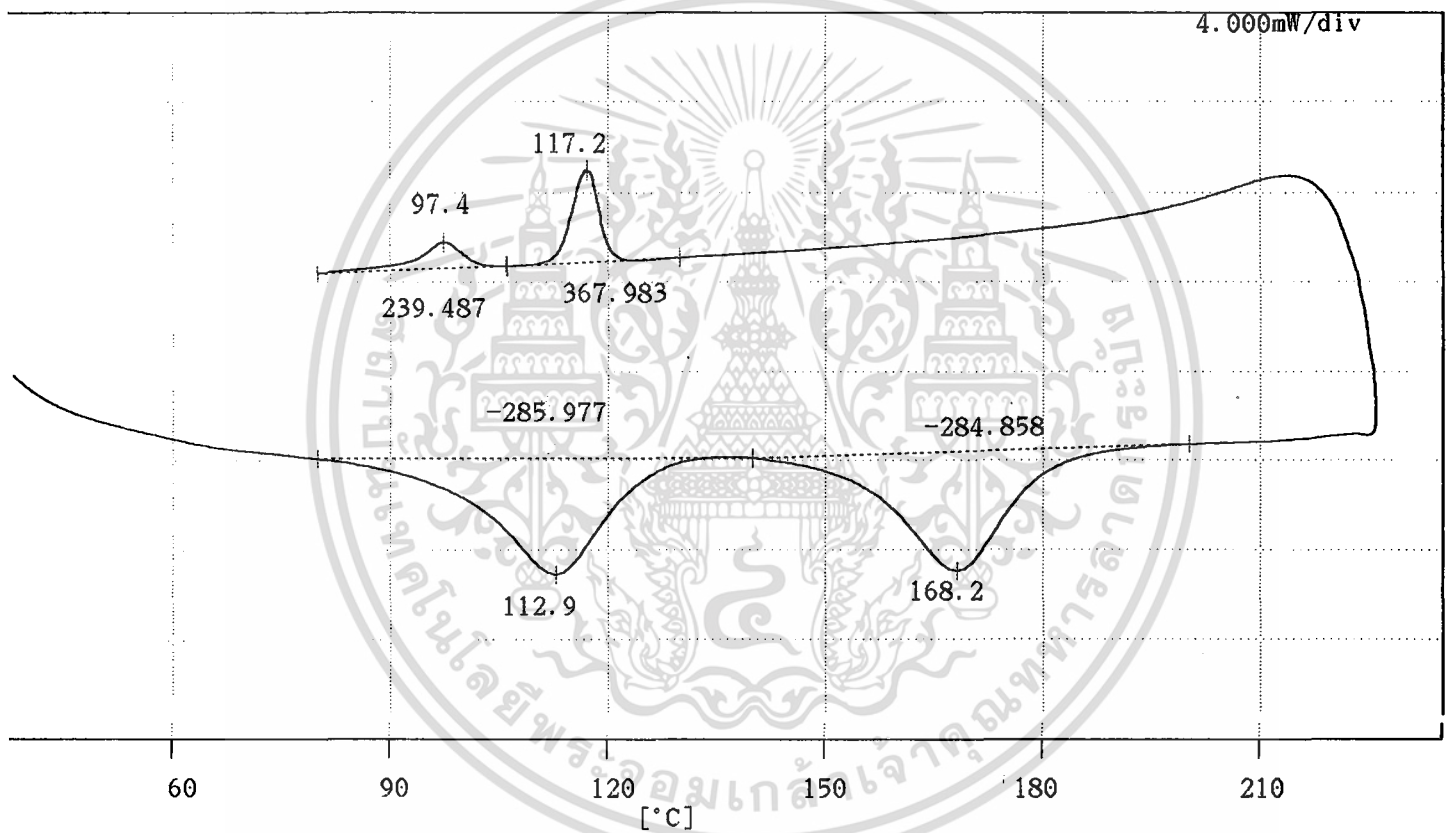
95/11/29

FILE NAME <<RAEP12.000>>

DATE (y/m/d) : 95/11/25
 SAMPLE NAME : 10%EPR4/190C/15KGY
 COMMENT : RADIATION TEST
 SAMPLE Q'TITY: 9.5 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

| | dT/dt | T (hold) | τ (hold) | ΔT (add) | x | n (repeat) |
|----|-------|----------|----------|----------|---|------------|
| 1: | 20 | 230 | 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 |



| TEMP.] | TEMP (°C) | Heat Flow (mW) |
|--------|-----------|----------------|
| 1 | 112.9 | -12.7377 |
| 2 | 168.2 | -12.5818 |
| 3 | 117.2 | 5.3752 |
| 4 | 97.4 | 2.1629 |

| HEAT] | Ti (°C) | Tf (°C) | Heat (mJ) |
|--------|---------|---------|-----------|
| 1 | 80 | 106 | 239.487 |
| 2 | 106 | 130 | 367.983 |
| 3 | 200.2 | 140 | -284.858 |
| 4 | 140 | 79.9 | -285.977 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

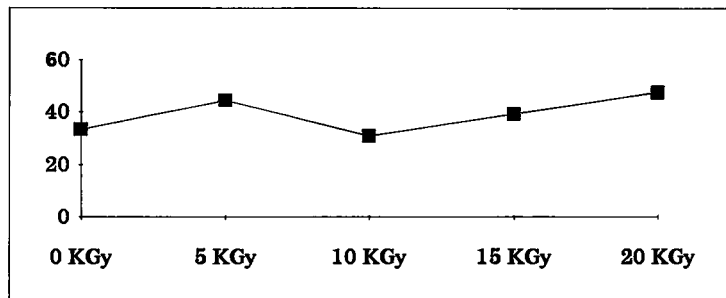


สมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

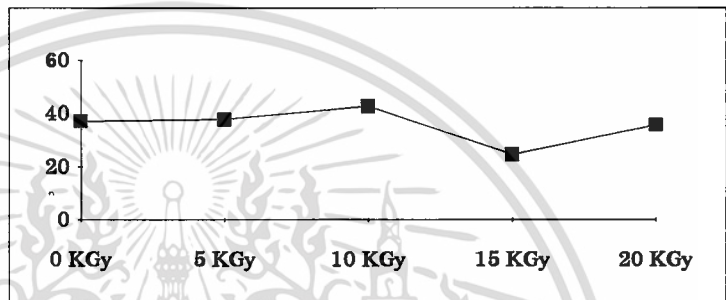
Tensile strength 10 % SBS 180 c (MPa)

| Sample | 10 % SBS |
|--------|----------|
| 0 KGy | 33.42 |
| 5 KGy | 44.65 |
| 10 KGy | 31.10 |
| 15 KGy | 39.46 |
| 20 KGy | 47.71 |



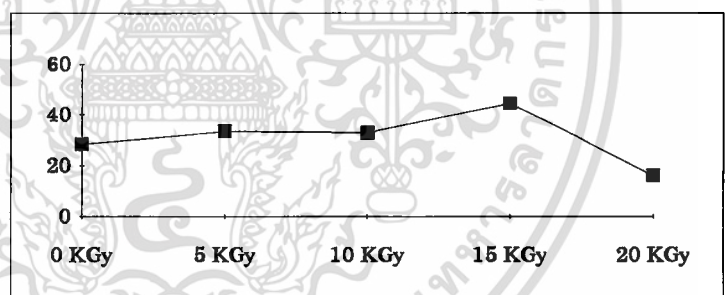
Tensile strength 10 % SBS 190 c (MPa)

| Sample | 10 % SBS |
|--------|----------|
| 0 KGy | 37.19 |
| 5 KGy | 37.92 |
| 10 KGy | 42.66 |
| 15 KGy | 24.5 |
| 20 KGy | 35.68 |



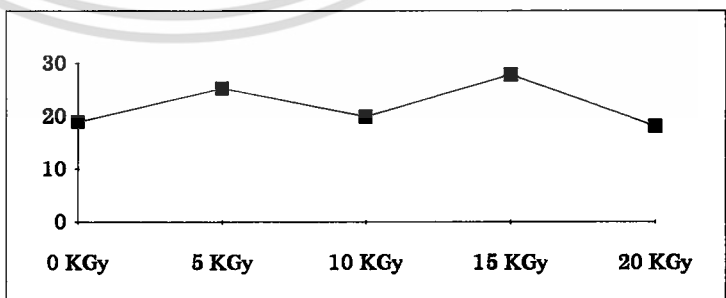
Tensile strength 10 % SBS 220 c (MPa)

| Sample | 10 % SBS |
|--------|----------|
| 0 KGy | 28.35 |
| 5 KGy | 33.43 |
| 10 KGy | 33.04 |
| 15 KGy | 44.52 |
| 20 KGy | 16.06 |



Tensile strength 20 % SBS 190 c (MPa)

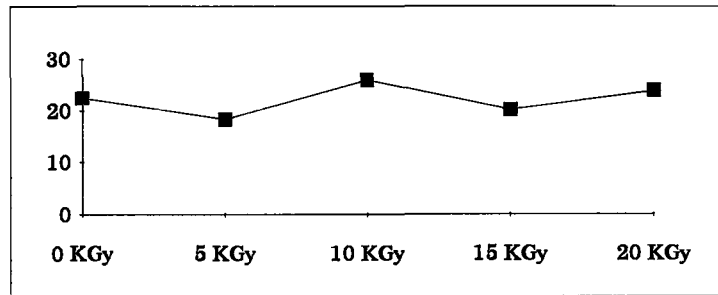
| Sample | 20 % SBS |
|--------|----------|
| 0 KGy | 18.93 |
| 5 KGy | 25.29 |
| 10 KGy | 19.89 |
| 15 KGy | 27.87 |
| 20 KGy | 18.14 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensile strength 30 % SBS 190 c (MPa)

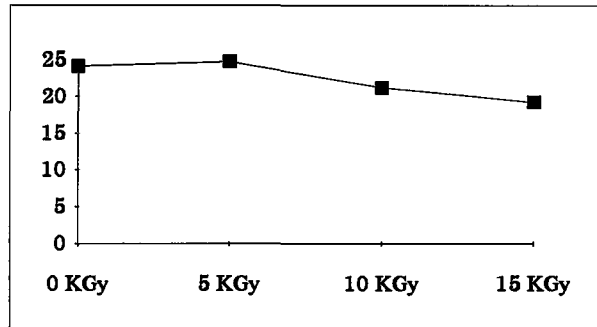
| Sample | 30 % SBS |
|--------|----------|
| 0 KGy | 22.49 |
| 5 KGy | 18.4 |
| 10 KGy | 26.03 |
| 15 KGy | 20.32 |
| 20 KGy | 23.85 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

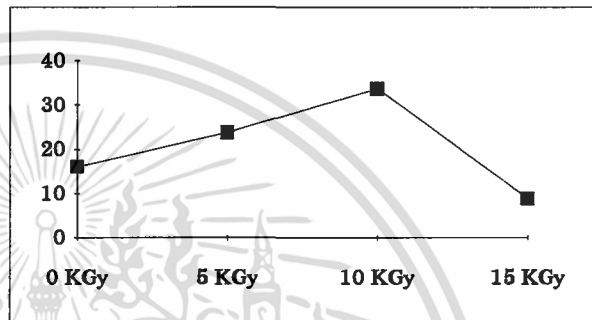
Tensile strength EPR 1 (MPa)

| Sample | EPR1 |
|--------|-------|
| 0 KGy | 24.12 |
| 5 KGy | 24.79 |
| 10 KGy | 21.2 |
| 15 KGy | 19.22 |



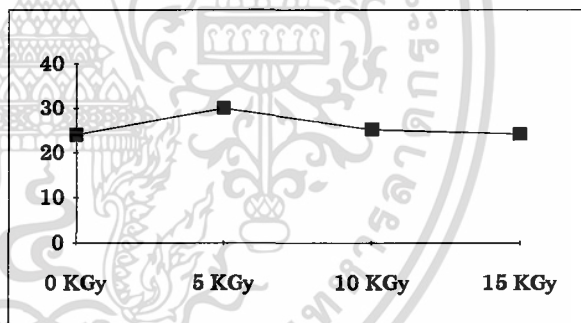
Tensile strength EPR 2 (MPa)

| Sample | EPR2 |
|--------|-------|
| 0 KGy | 15.98 |
| 5 KGy | 23.85 |
| 10 KGy | 33.88 |
| 15 KGy | 8.801 |



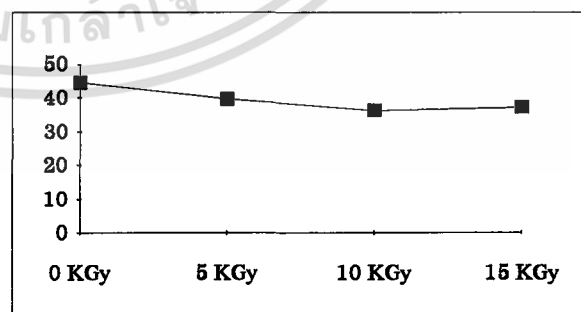
Tensile strength EPR 3 (MPa)

| Sample | EPR3 |
|--------|-------|
| 0 KGy | 23.94 |
| 5 KGy | 30.08 |
| 10 KGy | 25.19 |
| 15 KGy | 24.12 |



Tensile strength EPR 4 (MPa)

| Sample | EPR4 |
|--------|-------|
| 0 KGy | 44.68 |
| 5 KGy | 39.62 |
| 10 KGy | 36.17 |
| 15 KGy | 37.25 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

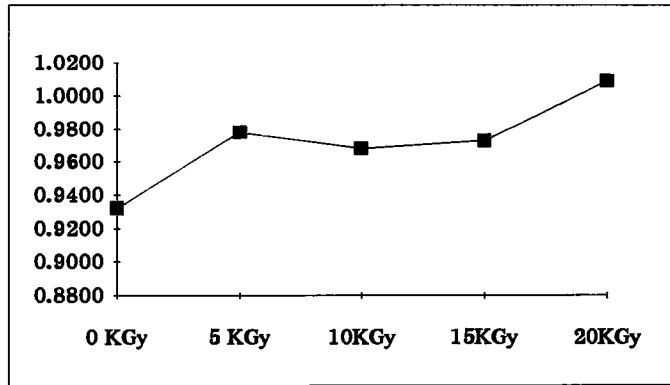


ผลความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

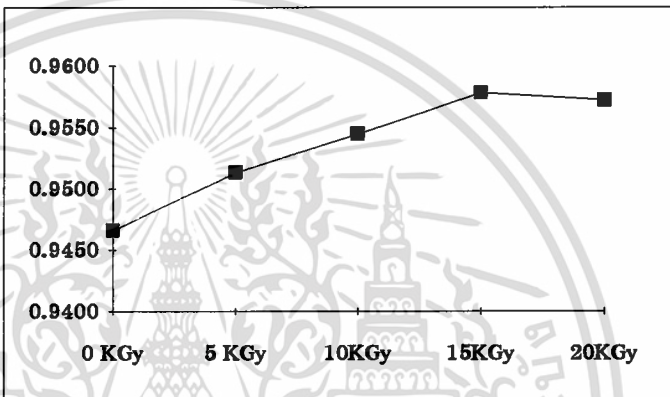
density of 30% SBS 190 c

| sample | density |
|--------|---------|
| 0 KGy | 0.9319 |
| 5 KGy | 0.9778 |
| 10KGy | 0.9678 |
| 15KGy | 0.9729 |
| 20KGy | 1.0090 |



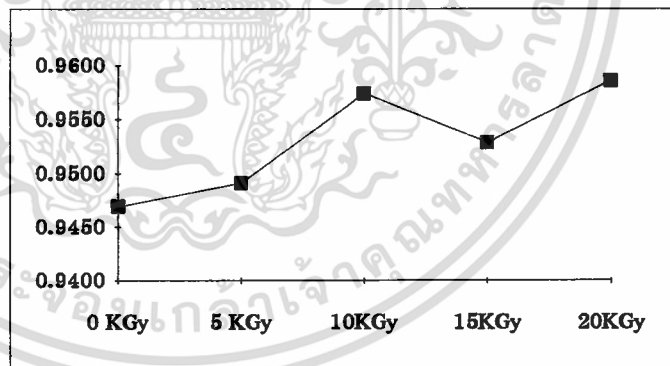
density of 10% SBS 220 c

| sample | density |
|--------|---------|
| 0 KGy | 0.9466 |
| 5 KGy | 0.9513 |
| 10KGy | 0.9545 |
| 15KGy | 0.9578 |
| 20KGy | 0.9572 |



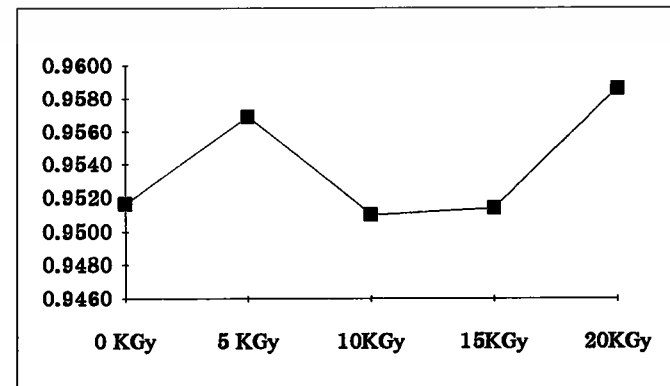
density of 10% SBS 190 c

| sample | density |
|--------|---------|
| 0 KGy | 0.9469 |
| 5 KGy | 0.9491 |
| 10KGy | 0.9574 |
| 15KGy | 0.9529 |
| 20KGy | 0.9586 |



density of 10% SBS 180 c

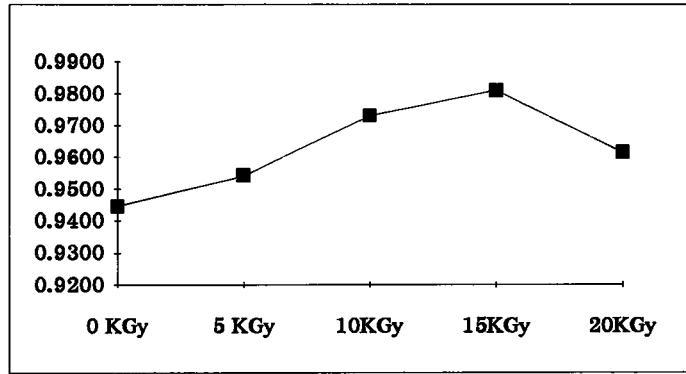
| sample | density |
|--------|---------|
| 0 KGy | 0.9516 |
| 5 KGy | 0.9569 |
| 10KGy | 0.9510 |
| 15KGy | 0.9514 |
| 20KGy | 0.9586 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

density of 20% SBS 190 c

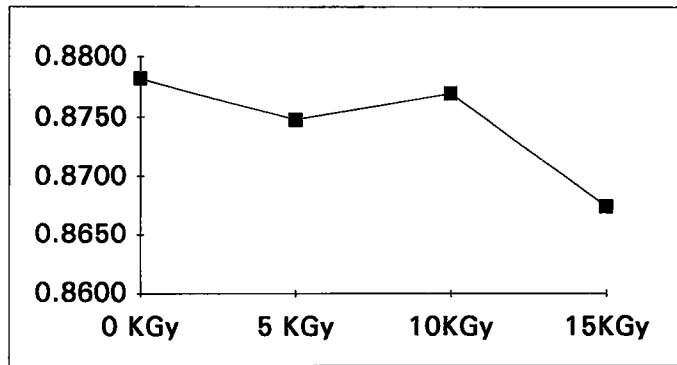
| sample | density |
|--------|---------|
| 0 KGy | 0.9445 |
| 5 KGy | 0.9543 |
| 10KGy | 0.9731 |
| 15KGy | 0.9810 |
| 20KGy | 0.9614 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

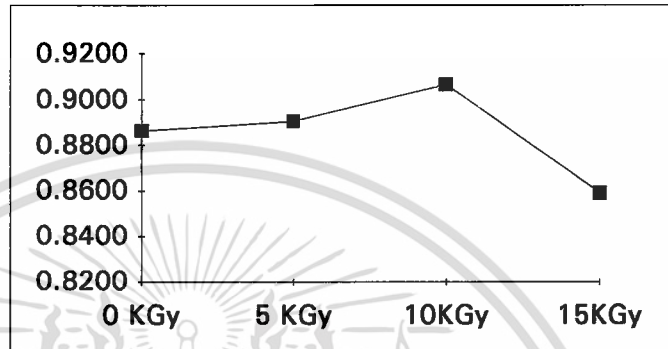
density of 10%EPR 1 190 c

| sample | density |
|--------|---------|
| 0 KGy | 0.8782 |
| 5 KGy | 0.8748 |
| 10KGy | 0.8770 |
| 15KGy | 0.8674 |



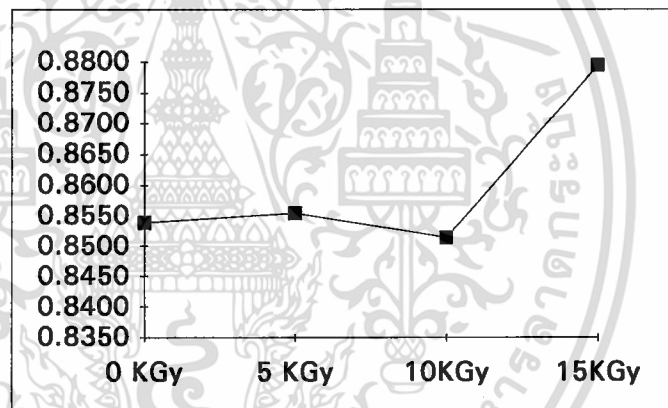
density of 10%EPR 2 190 c

| sample | density |
|--------|---------|
| 0 KGy | 0.8863 |
| 5 KGy | 0.8906 |
| 10KGy | 0.9069 |
| 15KGy | 0.8589 |



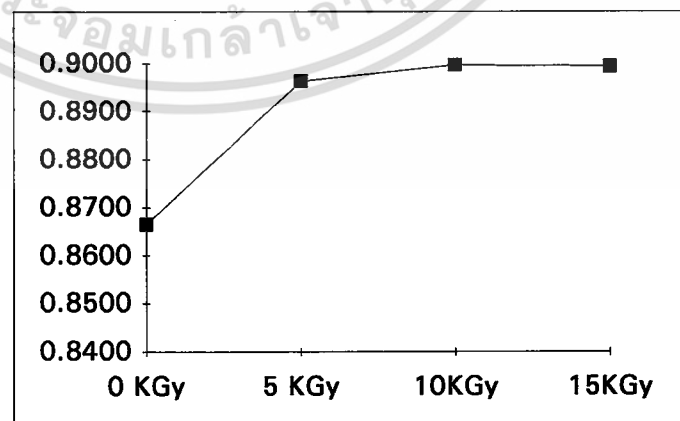
density of 10%EPR 3 190 c

| sample | density |
|--------|---------|
| 0 KGy | 0.8539 |
| 5 KGy | 0.8555 |
| 10KGy | 0.8514 |
| 15KGy | 0.8795 |



density of 10%EPR 4 190 c

| sample | density |
|--------|---------|
| 0 KGy | 0.8665 |
| 5 KGy | 0.8963 |
| 10KGy | 0.8998 |
| 15KGy | 0.8995 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อัตราการบวมตัวในตัวทำลายไซลิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table of swelling test 10% SBS 180 C

| sample | %W(48hrs) |
|--------|-----------|
| 0 KGy | 9.67 |
| 5 KGy | 16.36 |
| 10 KGy | 17.77 |
| 15 KGy | 36.38 |
| 20 KGy | 30.48 |

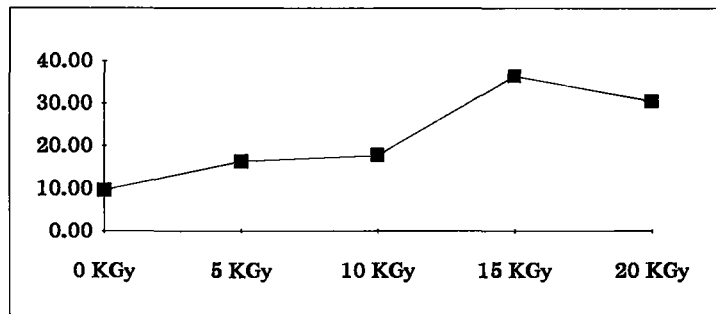


Table of swelling test 10% SBS 190 C

| sample | %W(48hrs) |
|--------|-----------|
| 0 KGy | 13.60 |
| 5 KGy | 16.47 |
| 10 KGy | 19.97 |
| 15 KGy | 21.80 |
| 20 KGy | 6.07 |

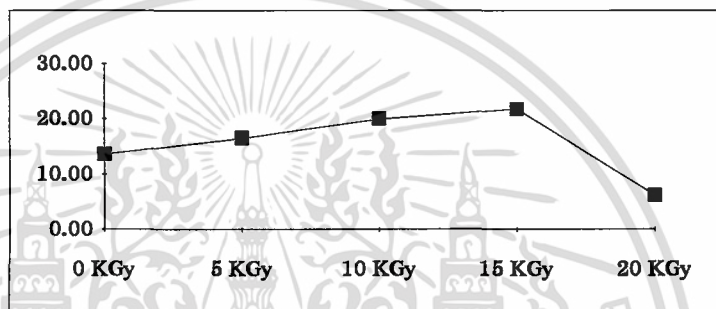


Table of swelling test 10% SBS 220 C

| sample | %W(48hrs) |
|--------|-----------|
| 0 KGy | 28.16 |
| 5 KGy | 27.90 |
| 10 KGy | 27.02 |
| 15 KGy | 18.02 |
| 20 KGy | 22.97 |

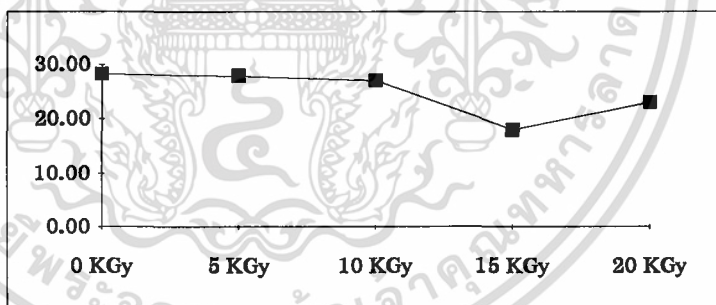
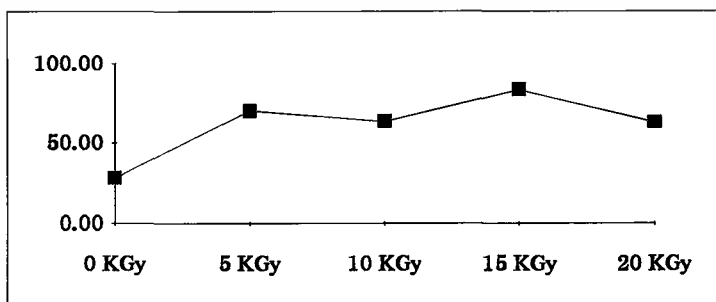


Table of swelling test 20% SBS 190 C

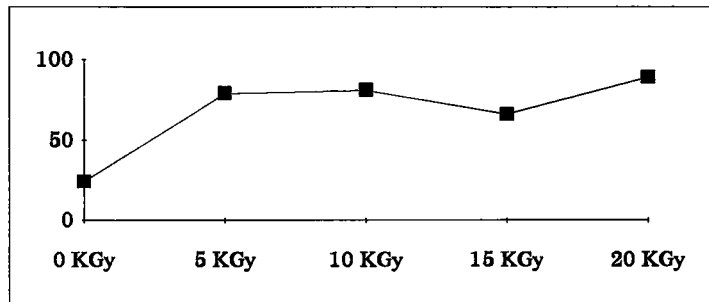
| sample | %W(48hrs) |
|--------|-----------|
| 0 KGy | 28.23 |
| 5 KGy | 69.90 |
| 10 KGy | 63.43 |
| 15 KGy | 83.46 |
| 20 KGy | 62.62 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table of swelling test 30% SBS 190 C

| sample | %W(48hrs) |
|--------|-----------|
| 0 KGy | 24.11 |
| 5 KGy | 78.78 |
| 10 KGy | 80.88 |
| 15 KGy | 66.07 |
| 20 KGy | 88.00 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table of swelling test 10% EPR 1 27% PP 190 C

| sample | %W(51 hrs) |
|--------|------------|
| 0 KGy | 34.39 |
| 5 KGy | 38.49 |
| 10 KGy | 33.53 |
| 15 KGy | 40.92 |

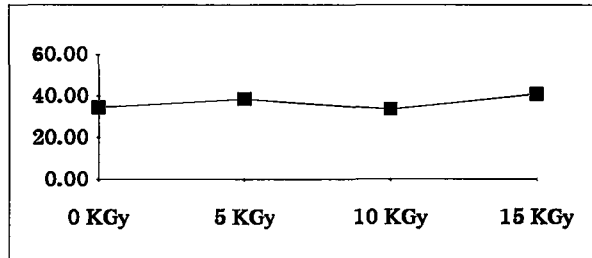


Table of swelling test 10% EPR 2 22% PP 190 C

| sample | %W(51 hrs) |
|--------|------------|
| 0 KGy | 34.00 |
| 5 KGy | 36.13 |
| 10 KGy | 38.46 |
| 15 KGy | 37.96 |

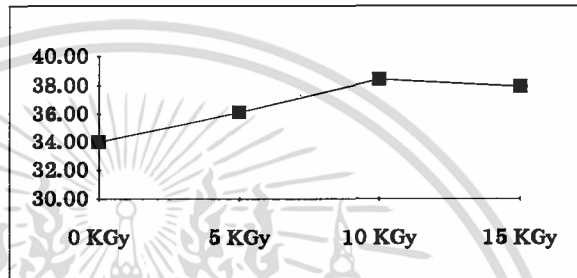


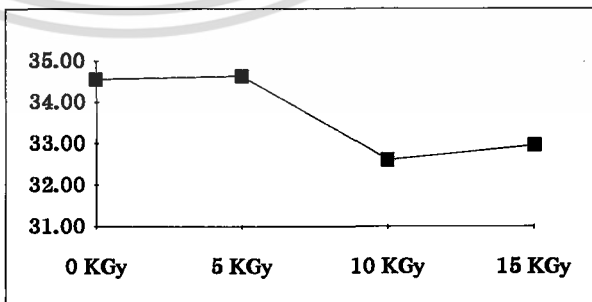
Table of swelling test 10% EPR 3 20% 1- Butene 80% PP190 C

| sample | %W(51 hrs) |
|--------|------------|
| 0 KGy | 32.86 |
| 5 KGy | 31.72 |
| 10 KGy | 34.00 |
| 15 KGy | 31.83 |



Table of swelling test 10% EPR 4 SBR added Hydrogen 190 C

| sample | %W(51 hrs) |
|--------|------------|
| 0 KGy | 34.55 |
| 5 KGy | 34.62 |
| 10 KGy | 32.60 |
| 15 KGy | 32.94 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้