

การศึกษาการสังเคราะห์และสมบัติของสารเชิงซ้อน
ระหว่างพอลิเมอร์บางชนิดกับเบต้า - ไซโคลเดกซ์ทริน

STUDIES ON THE FORMATIONS AND PROPERTIES OF
INCLUSION COMPLEXES BETWEEN SOME POLYMERS
AND β -CYCLODEXTRIN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีหอดิเวจร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-824-554-5

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการสังเคราะห์และสมบัติของสารเชิงซ้อน
ระหว่างพอลิเมอร์บางชนิดกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

STUDIES ON THE FORMATIONS AND PROPERTIES OF
INCLUSION COMPLEXES BETWEEN SOME POLYMERS
AND β -CYCLODEXTRIN



มนจิรา เชยคำแหง
MONJIRA CHOEYKOMHAENG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 49598
วัน, เดือน, ปี 25 ก.พ. 2547

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2546
ISBN 974-324-554-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDIES ON THE FORMATIONS AND PROPERTIES OF
INCLUSION COMPLEXES BETWEEN SOME POLYMERS
AND β -CYCLODEXTRIN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2003
ISBN 974-324-554-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาการสังเคราะห์และสมบัติของสารเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์บางชนิดกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน |
| นักศึกษา | นางสาวমনจิรา เขยคำแหง |
| รหัสประจำตัว | 43065607 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | เทคโนโลยีพอลิเมอร์ |
| พ.ศ. | 2546 |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิเมอร์บางชนิดได้แก่ พอลิสไตรีน พอลิเมทิลเมทาไครเลต และพอลิเมอร์ A แล้วทำการตรวจสอบเอกลักษณ์และศึกษาสมบัติของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี ยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรสโคปี ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี และเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลซิส ตลอดจนศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ เวลา และเทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์

ผลงานวิจัยแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิสไตรีนและพอลิเมทิลเมทาไครเลต ในรูปของแข็ง สีขาว สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์มีความสามารถในการละลายแตกต่างจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน และพอลิเมอร์ สมบัติทางความร้อนของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ได้แก่ จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัว ต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินที่อยู่ในรูปสารเชิงซ้อนมีความสมมาตรของโครงสร้างต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน นอกจากนี้ปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่สังเคราะห์ได้ไม่ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลที่ต่างกันของพอลิเมอร์ เวลาในการปั่นกววน และปริมาณที่ต่างกันของมอนอเมอร์

ส่วนที่สองเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์ A ในรูปสารละลาย เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรสโคปี พบการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์เป็นแบบบาโทโครมิกชิฟท์ และแถบของสเปกตรัมของสารเชิงซ้อนกว้างขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ C=O ที่กิ่งพอลิเมอร์ A กับไฮโดรเจนอะตอมภายในช่องว่างของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลที่ต่างกันของพอลิเมอร์ A และเทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์ต่างกันไม่มีผลต่อการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาของ ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดร.ภัชณี เจริญยิ่ง ผ.ศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย ซึ่งกรุณาสละเวลาเพื่อทดสอบสาร ตัวอย่างและให้คำแนะนำที่มีค่ายิ่ง และอาจารย์ท่านอื่นที่ไม่สามารถกล่าวชื่อนามได้หมด นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ ดร.ธนิดา ปะบุญเรือง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่กรุณาสละเวลาที่มีค่าเพื่อช่วยเหลือให้คำแนะนำที่มีคุณประโยชน์อย่างมากมายแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ของผู้วิจัย ที่คอยเป็นกำลังใจ เป็นกำลังสนับสนุน และเป็นทุกสิ่งทุกอย่างของผู้วิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษา ซึ่งให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษา กำลังใจ และอื่นๆ อีกมากมาย ตลอดจนพี่ๆ เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกคน ที่มีส่วนร่วมให้ผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

มนจิรา เขยคำแหง

สารบัญ

| | หน้า |
|--|----------|
| บทคัดย่อ..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VIII |
| สารบัญรูป..... | IX |
| คำย่อและคำอธิบายสัญลักษณ์..... | XI |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของงานวิจัยและแรงจูงใจในการทำวิจัย..... | 1 |
| 1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ผลงานวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 ชูปราโมเลกุลาร์..... | 3 |
| 2.2 ไฮโคเลเด็กซ์ตรินส์..... | 4 |
| 2.2.1 โครงสร้างไฮโคเลเด็กซ์ตรินส์..... | 5 |
| 2.2.2 สมบัติของไฮโคเลเด็กซ์ตรินส์..... | 6 |
| 2.2.3 การประยุกต์ใช้งานของไฮโคเลเด็กซ์ตรินส์..... | 7 |
| 2.3 ชูปราโมเลกุลาร์จากไฮโคเลเด็กซ์ตรินส์..... | 7 |
| 2.3.1 เส้นใยเบื้องต้นสำหรับสารสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไฮโคเลเด็กซ์ตรินส์..... | 7 |
| 2.3.2 เทคนิคการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไฮโคเลเด็กซ์ตรินส์..... | 8 |
| 2.3.3 เทคนิคการวิเคราะห์สารเชิงซ้อนไฮโคเลเด็กซ์ตรินส์..... | 9 |
| 2.4 พอลิสดไตรีน..... | 14 |
| 2.5 พอลิเมทิลเมทาโครเลต..... | 16 |
| 2.6 พอลิเมอร์ร่วม..... | 17 |
| 2.6.1 ปฏิกริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วม..... | 17 |
| 2.6.2 พอลิเมอร์ร่วมประเภทต่างๆ เมื่อพิจารณาจากค่า reactivity ratio..... | 18 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | หน้า |
|--|-----------|
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 19 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... | 22 |
| 3.1 สารเคมี..... | 22 |
| 3.2 เครื่องมือ..... | 22 |
| 3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... | 24 |
| 3.3.1 การเตรียมสารก่อนการทดลอง..... | 24 |
| 3.3.1.1 การเตรียมสไตรีนมอนอเมอร์ และเมทิลเมทาไครเลตมอนอเมอร์..... | 24 |
| 3.3.1.2 การเตรียมมาลิกแอนไฮไดรด์..... | 24 |
| 3.3.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 24 |
| 3.3.2.1 ทดสอบการละลาย..... | 24 |
| 3.3.2.2 หาอุณหภูมิการสลายตัว..... | 24 |
| 3.3.2.3 หาจุดหลอมเหลว..... | 24 |
| 3.3.2.4 อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี..... | 24 |
| 3.3.2.5 ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี..... | 24 |
| 3.3.3 การเตรียมพอลิเมอร์และการตรวจสอบเอกลักษณ์..... | 24 |
| 3.3.3.1 พอลิเมทิลเมทาไครเลต..... | 24 |
| 3.3.3.2 พอลิเมอร์ A..... | 25 |
| 3.3.4 ศึกษาผลของเวลา และปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สาร เชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์..... | 27 |
| 3.3.4.1 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์..... | 27 |
| 3.3.4.2 ศึกษาผลของปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน ไซโคลเด็กซ์ทรินส์..... | 27 |
| 3.3.5 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับ พอลิสไตรีน..... | 27 |
| 3.3.6 ศึกษาผลของเวลา และปริมาณเมทิลเมทาไครเลตมอนอเมอร์ที่ใช้ในการ สังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์..... | 28 |
| 3.3.6.1 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์..... | 28 |
| 3.3.6.2 ศึกษาผลของปริมาณเมทิลเมทาไครเลตมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์..... | 28 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--|-----------|
| 3.3.7 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับ พอลิเมทิลเมทาไครเลต..... | 29 |
| 3.3.8 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับ พอลิเมอร์ A..... | 29 |
| 3.3.8.1 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน..... | 29 |
| 3.3.8.2 ศึกษาผลของเทคนิคที่ใช้สังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตริน..... | 29 |
| 3.3.9 การวิเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์..... | 30 |
| 3.3.9.1 ทดสอบการละลาย..... | 30 |
| 3.3.9.2 หาอุณหภูมิการละลายตัว..... | 30 |
| 3.3.9.3 หาจุดหลอมเหลว..... | 30 |
| 3.3.9.4 อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี..... | 30 |
| 3.3.9.5 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี..... | 30 |
| 3.3.9.6 ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี..... | 30 |
| บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... | 32 |
| 4.1 เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน..... | 32 |
| 4.2 พอลิเมทิลเมทาไครเลต พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ และพอลิเมอร์ A..... | 33 |
| 4.2.1 พอลิเมทิลเมทาไครเลต..... | 33 |
| 4.2.2 พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์..... | 34 |
| 4.2.3 พอลิเมอร์ A..... | 35 |
| 4.3 ผลของเวลาการบ่มกวน และปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน ไซโคลเด็กซ์ตรินส์..... | 37 |
| 4.4 สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิสไตรีน..... | 38 |
| 4.5 ผลของเวลาการบ่มกวน และปริมาณเมทิลเมทาไครเลตมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตริน..... | 45 |
| 4.6 สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิเมทิลเมทาไครเลต..... | 46 |
| 4.7 สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิเมอร์ A..... | 53 |
| 4.5.1 สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน..... | 53 |
| 4.5.2 ผลของเทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์..... | 58 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง..... | 60 |
| 5.1 สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิสไตรีนและพอลิเมทิลเมทาไครเลต..... | 60 |
| 5.1.1 สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 60 |
| 5.1.2 สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาไครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 61 |
| 5.2 สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิเมอร์ A..... | 61 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 62 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 63 |
| ภาคผนวก ก การคำนวณอัตราส่วนโครงสร้างพอลิเมอร์ A..... | 66 |
| ภาคผนวก ข ข้อมูลปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์..... | 69 |
| ภาคผนวก ค อินฟราเรดสเปกตรัม..... | 72 |
| ภาคผนวก ง นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัม..... | 80 |
| ภาคผนวก จ ไดอะแกรมจากเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์..... | 86 |
| ภาคผนวก ฉ ไดอะแกรมจากเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์..... | 95 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 109 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|---|
| 3.1 | น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของพอลิสไตรีนมาตรฐาน.....23 |
| 3.2 | ปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์.....27 |
| 3.3 | ปริมาณเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ ..28 |
| 4.1 | ปริมาณผลิตภัณฑ์ น้ำหนักโมเลกุล การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมทิลเมทาโครเลต.33 |
| 4.2 | ปริมาณผลิตภัณฑ์ น้ำหนักโมเลกุล การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน- มาลีนิกแอนไฮไดรด์.....35 |
| 4.3 | ปริมาณผลิตภัณฑ์ของพอลิเมอร์ A.....36 |
| 4.4 | เปรียบเทียบความสามารถในการละลายของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน พอลิสไตรีนน้ำหนักโมเลกุล ต่างๆ และ PS-CD-IC.....40 |
| 4.5 | จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัวของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน พอลิสไตรีนน้ำหนัก โมเลกุลต่างๆ PS-CD-IC และสารบดผสมของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิสไตรีนน้ำหนัก โมเลกุลต่างๆ.....41 |
| 4.6 | เปรียบเทียบความสามารถในการละลายของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน พอลิเมทิลเมทาโครเลต น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ และ PMMA-CD-IC.....48 |
| 4.7 | จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัวของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน พอลิเมทิลเมทาโครเลต น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ PMMA-CD-IC และสารบดผสมของเบต้า ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิเมทิล เมทาโครเลตน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ.....49 |
| 4.8 | ความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุดของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน พอลิเมอร์ A2 และA2-CD-IC.....53 |
| 4.9 | ความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุดของพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลีนิกแอนไฮไดรด์2 และสารผสม ระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลีนิกแอนไฮไดรด์2.....56 |
| 4.10 | ความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุดของ A-CD-IC.....58 |
| 4.11 | ความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุดของ A2-CD-IC ที่เกิดจากเทคนิค และเวลาต่างๆ.....59 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 โครงสร้างคาทีแนน โรแทคแซน และโรแทคแซนเทียม..... | 3 |
| 2.2 โครงสร้างพอลิคาทีแนน พอลิโรแทคแซน และพอลิโรแทคแซนเทียม..... | 4 |
| 2.3 โครงสร้างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 5 |
| 2.4 รูปทรงและการจัดเรียงอะตอมในโมเลกุลไซโคลเด็กซ์ทรินส์..... | 5 |
| 2.5 ภาพร่างโครงสร้างไซโคลเด็กซ์ทรินส์..... | 6 |
| 2.6 ขนาดและปริมาตรช่องว่างโดยประมาณของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 8 |
| 2.7 ดิฟแฟรกโตแกรม ของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และสารเชิงซ้อนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 10 |
| 2.8 ¹ H NMR สเปกตรัมของสารเชิงซ้อนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 11 |
| 2.9 ¹ H NMR สเปกตรัมสารเชิงซ้อนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินของพอลิไพรีนไกลคอลล..... | 12 |
| 2.10 TGA ไดอะแกรมของ a) อัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ทริน b) สารผสมระหว่างอัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ทริน กับไนลอน 6 และ c) สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 13 |
| 2.11 โครมาโตแกรมของ a) สารเชิงซ้อนเบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน b) ไตรบลิคโคพอลิเมอร์ และ c) เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 14 |
| 2.12 โครงสร้างพอลิสไตรีน..... | 15 |
| 2.13 โครงสร้างเมทิลเมทาโครเลต..... | 16 |
| 3.1 ชุดปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ A..... | 26 |
| 4.1 เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 32 |
| 4.2 ตำแหน่งคาร์บอนในโครงสร้างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 32 |
| 4.3 พอลิเมทิลเมทาโครเลต..... | 33 |
| 4.4 พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์..... | 34 |
| 4.5 โครงสร้างพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์..... | 34 |
| 4.6 พอลิเมอร์ A..... | 35 |
| 4.7 โครงสร้างของพอลิเมอร์ A..... | 36 |
| 4.8 ปริมาณ Styrene-CD-IC ที่เวลาการบั่นกวนต่างๆ..... | 37 |
| 4.9 ปริมาณ Styrene-CD-IC ที่สัดส่วนโดยโมลของสไตรีนมอนอเมอร์ต่างๆ..... | 37 |
| 4.10 สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน1-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน..... | 38 |
| 4.11 FT-IR สเปกโตรแกรมของ a) เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และ b) PS2-CD-IC..... | 39 |

เอกสาร 4.12 ตำแหน่งคาร์บอนในโครงสร้างพอลิสไตรีน สิกเนลของคาร์บอนนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.13 NMR สเปกตรัมของ a) ^{13}C CP/MAS spectra ของ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน b) ^{13}C CP/MAS spectra ของ PS1-CD-IC และ c) ^{13}C MAS spectra ของ PS1-CD-IC..... | 43 |
| 4.14 แบบจำลองโครงสร้างสารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน..... | 44 |
| 4.15 ปริมาณ PS-CD-IC ที่สังเคราะห์จากพอลิสไตรีนน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ..... | 45 |
| 4.16 ปริมาณ MMA-CD-IC ที่เวลาการปั่นกวนต่างๆ..... | 45 |
| 4.17 ปริมาณ MMA-CD-IC ที่สัดส่วนโดยโมลของเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ต่างๆ..... | 46 |
| 4.18 สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต1-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน..... | 46 |
| 4.19 FT-IR สเปกโตรแกรมของ a) เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน b) PMMA1-CD-IC..... | 47 |
| 4.20 ตำแหน่งคาร์บอนในโครงสร้างพอลิเมทิลเมทาโครเลต..... | 50 |
| 4.21 NMR สเปกตรัมของ a) ^{13}C CP/MAS spectra ของ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน b) ^{13}C CP/MAS spectra ของ PMMA1-CD-IC และ c) ^{13}C MAS spectra ของ PMMA1-CD-IC..... | 51 |
| 4.22 แบบจำลองโครงสร้างสารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน..... | 52 |
| 4.23 ปริมาณ PMMA-CD-IC ที่สังเคราะห์จากพอลิเมทิลเมทาโครเลตน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ..... | 53 |
| 4.24 ยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรแกรมของ a) เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน b) A2 และ c) A2-CD-IC..... | 54 |
| 4.25 ^1H NMR สเปกตรัมของ A2-CD-IC..... | 55 |
| 4.26 แบบจำลองโครงสร้างสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน..... | 57 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและคำอธิบายสัญลักษณ์

| | |
|----------------------------|--|
| β -CD | เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน |
| PMMA | พอลิเมทิลเมทาไครเลต |
| PS | พอลิสไตรีน |
| PS-CD-IC | สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน |
| PMMA-CD-IC | สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาไครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน |
| A-CD-IC | สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน |
| ν | เลขคลื่น |
| λ_{\max} | ความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุด |
| vs | very strong |
| s | strong |
| br | broad |
| r | reactivity ratio |
| δ | chemical shift |
| nm | นาโนเมตร |
| ^1H NMR | ^1H Nuclear Magnetic Resonance |
| ^{13}C MAS NMR | ^{13}C Magic Angle Spinning Nuclear Magnetic Resonance |
| ^{13}C CP/MAS NMR | ^{13}C Cross Polarization/Magic Angle Spinning Nuclear Magnetic Resonance |
| FT-IR | Fourier Transform Infrared Spectroscopy |
| TGA | Thermalgravimetric Analysis |
| DSC | Differential Scanning Calorimetry |
| ppm | part per million |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัยและแรงจูงใจในการทำวิจัย

การพัฒนาทางเคมีของไซโคลเด็กซ์ตรินส์ประกอบด้วยสามยุค โดยยุคแรก (ค.ศ. 1891 ถึง 1935) เป็นยุคที่เริ่มค้นพบไซโคลเด็กซ์ตรินส์ แต่ยังไม่ทราบโครงสร้าง สมบัติ และไม่มี การนำไปประยุกต์ใช้งาน ยุคที่สอง (ค.ศ. 1936 ถึง 1970) ทราบโครงสร้าง และสมบัติของไซโคลเด็กซ์ตรินส์ ทั้งหมด และในยุคสุดท้ายยุคที่สาม (ค.ศ. 1970 จนถึงปัจจุบัน) มีการทำวิจัยเพื่อมุ่งทำการผลิตไซโคลเด็กซ์ตรินส์ และผลิตภัณฑ์จากไซโคลเด็กซ์ตรินส์ในเชิงอุตสาหกรรม อาจเรียกยุคนี้อีกอย่างหนึ่งว่า ยุคแห่งการวิจัยเพื่อการประยุกต์ใช้งาน [1]

การประยุกต์ใช้งานนอกจากจะใช้ไซโคลเด็กซ์ตรินส์แล้ว อนุพันธ์ของไซโคลเด็กซ์ตรินส์ก็ได้รับความสนใจเช่นกัน เนื่องจากอนุพันธ์ต่างชนิดกันก็จะให้สมบัติต่างกัน ทำให้นำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น การประยุกต์ใช้งานจะใช้ในรูปไซโคลเด็กซ์ตรินส์ และอนุพันธ์ไซโคลเด็กซ์ตรินส์อิสระ หรือในรูปสารเชิงซ้อนกับสารชนิดอื่น โดยเฉพาะสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ได้มีการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมน้ำหอม เป็นต้น ส่วนในสาขาพอลิเมอร์ได้มีการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์กับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ และกับสารเติมแต่งต่างๆ ในกระบวนการผลิตพลาสติก เช่น สารเชิงซ้อนระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับสารยับยั้งการติดไฟ (flame retardance) เพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการติดไฟสำหรับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (poly(ethylene terephthalate), PET) [2]

ในงานวิจัยนี้จะทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิเมอร์บางชนิดได้แก่ พอลิสไตรีน พอลิเมทิลเมทาไครเลต และพอลิเมอร์ A (รูปที่ 4.7) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกอิกแอนไฮไดรด์ เนื่องจากสไตรีนมอนอเมอร์และเมทิลเมทาไครเลตมอนอเมอร์สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินได้ [3,4] จึงคาดว่าพอลิสไตรีนและพอลิเมทิลเมทาไครเลตสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินได้ ในขณะที่พอลิเมอร์ A มีโครงสร้างกิ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิลิก ซึ่งคาดว่าสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินได้ สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่สังเคราะห์ขึ้นจะทำการตรวจสอบเอกลักษณ์ และศึกษาสมบัติของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ดังกล่าว ตลอดจนศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์และสมบัติของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ เวลา และเทคนิคที่ใช้สังเคราะห์ โดยสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่ได้จากพอลิสไตรีน พอลิเมทิลเมทาไครเลต และพอลิเมอร์ A เป็นสารที่มีความเป็นขั้วมากกว่าพอลิเมอร์ตั้งต้น ทำให้สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากพอลิเมอร์ทั้งสามชนิดนี้ อาจนำไปใช้เพื่อเป็นสารช่วยผสมสำหรับการทำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีนหรือพอลิเมทิลเมทาไครเลตกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีความเป็นขี้ผึ้งมากกว่า หรือประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. สังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากเบต้า-ไซโคลเดรินกับพอลิสไตรีน พอลิเมทิลเมทาไครเลต และพอลิเมอร์ A
2. ศึกษาสมบัติ และเอกลักษณ์ของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่สังเคราะห์ได้
3. ศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ว่ามีผลอย่างไรต่อการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์
4. ศึกษาผลของเวลาและเทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์ว่ามีผลอย่างไรต่อการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิสไตรีน พอลิเมทิลเมทาไครเลต และพอลิเมอร์ A และทราบสมบัติบางประการของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่สังเคราะห์ได้
2. ทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ โดยพอลิเมอร์ที่ใช้มีน้ำหนักโมเลกุล เวลา และเทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์ต่างกัน
3. สมบัติสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่ทำการศึกษได้แก่ ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายต่างๆ จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัว และใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี และยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรสโคปี ในการตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่สังเคราะห์ได้

1.4 ผลงานวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิสไตรีน พอลิเมทิลเมทาไครเลต และพอลิเมอร์ A
2. ทราบสมบัติ และเอกลักษณ์ของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่สังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

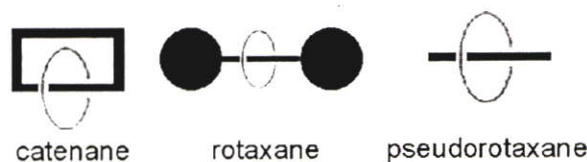
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซูปราโมเลกุลาร์ (Supramolecular)

ซูปราโมเลกุลาร์คือ สารเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยโมเลกุลตั้งแต่สองโมเลกุลขึ้นไปเกิดอันตรกิริยากัน โดยไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ สารเชิงซ้อนประเภท host-guest complexes คือ ตัวอย่างที่สำคัญของโครงสร้างชนิดนี้ โดยโมเลกุลของ host มีโครงสร้างเป็นวงแหวน มีช่องว่างขนาดใหญ่พอที่โมเลกุลของ guest (หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของโมเลกุล) สามารถสอดทะลุ และบรรจุอยู่ในช่องว่างของวงแหวน แล้วไม่เกิดการเลื่อนหลุด แรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่ผลักดันทำให้เกิดซูปราโมเลกุลาร์ เช่น ไดโพล-ไดโพล แวน เดอร์วาลส์ และพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของ host กับ guest [5] ตัวอย่างของซูปราโมเลกุลาร์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายได้แก่ คาทีแนน (catenane) โรแทคแซน (rotaxane) โรแทคแซนเทียม (pseudorotaxane) และพอลิเมอร์ของทั้งสามชนิดนี้

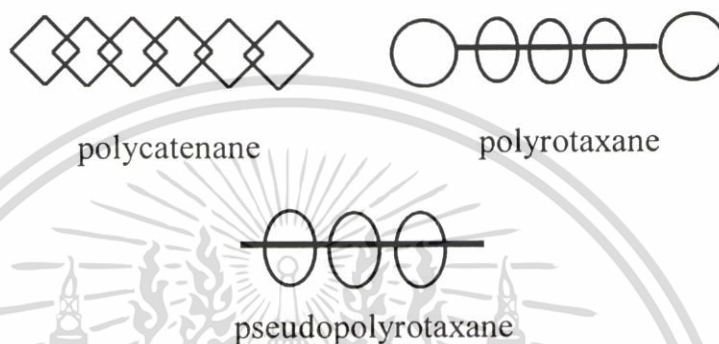
คَاتีแนนส์ (catenanes) มีรากศัพท์มาจากภาษาละตินคำว่า catena ซึ่งหมายถึงโซ่ โดยคَاتีแนนส์คือ โมเลกุลซึ่งประกอบด้วยวงแหวนสองหรือมากกว่าสอดคล้องกันอยู่โดยวงแหวนไม่สามารถแยกออกจากกันได้ถ้าไม่แตกพันธะโควาเลนต์ โรแทคแซนส์ (rotaxanes) มีรากศัพท์มาจาก rota ซึ่งหมายถึงวงล้อ และ axis ซึ่งหมายถึง แกน โดยโรแทคแซนส์ประกอบด้วยส่วนที่มีรูปร่างคล้ายดัมป์เบลคือ มีโมเลกุลสายโซ่ตรงและมีหมู่กีดขวางขนาดใหญ่อยู่ที่ปลาย และมีโมเลกุลวงแหวนขนาดใหญ่ล้อมรอบโมเลกุลสายโซ่ตรง หมู่กีดขวางขนาดใหญ่ที่ปลายทำหน้าที่ป้องกันการเลื่อนหลุดของโมเลกุลวงแหวนขนาดใหญ่ออกจากโมเลกุลสายโซ่ตรง ส่วนในกรณีที่ไม่ใช่หมู่กีดขวางที่ปลายหรือหมู่กีดขวางมีขนาดไม่ใหญ่พอที่จะป้องกันการเลื่อนหลุดของโมเลกุลวงแหวนขนาดใหญ่ เราเรียกสารเชิงซ้อนชนิดนี้ว่า โรแทคแซนเทียม (pseudorotaxane) ดังนั้นคَاتีแนน (catenane) จึงประกอบด้วยสองโมเลกุลวงแหวนขนาดใหญ่ถักประสานกัน โรแทคแซน (rotaxane) ประกอบด้วยหนึ่งโมเลกุลที่มีรูปร่างคล้ายดัมป์เบลสอดร้อยด้วยโมเลกุลวงแหวนขนาดใหญ่หนึ่งโมเลกุล และโรแทคแซนเทียม (pseudorotaxane) ประกอบด้วยหนึ่งโมเลกุลวงแหวนขนาดใหญ่กับโมเลกุลสายโซ่ตรงสอดคล้องผ่านกลางโมเลกุลวงแหวน [6] โครงสร้างต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างคَاتีแนน โรแทคแซน และโรแทคแซนเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิคาทีน (polycatenane) มีโครงสร้างประกอบด้วยโมเลกุลวงแหวนขนาดใหญ่สอดคล้องกันเป็นสายโซ่ยาว พอลิโรแทคแซน (polyrotaxane) มีโครงสร้างคล้ายโรแทคแซนเพียงแต่มีโมเลกุลสายโซ่ตรงที่ยาวและสอดคล้องผ่านโมเลกุลวงแหวนขนาดใหญ่หลายวง พอลิโรแทคแซนเทียม (pseudopolyrotaxane) โครงสร้างเหมือนพอลิโรแทคแซนเพียงแต่ไม่มีหมู่ออกซิเจน [7] พอลิเมอร์ทั้งสามแสดงดังรูปที่ 2.2

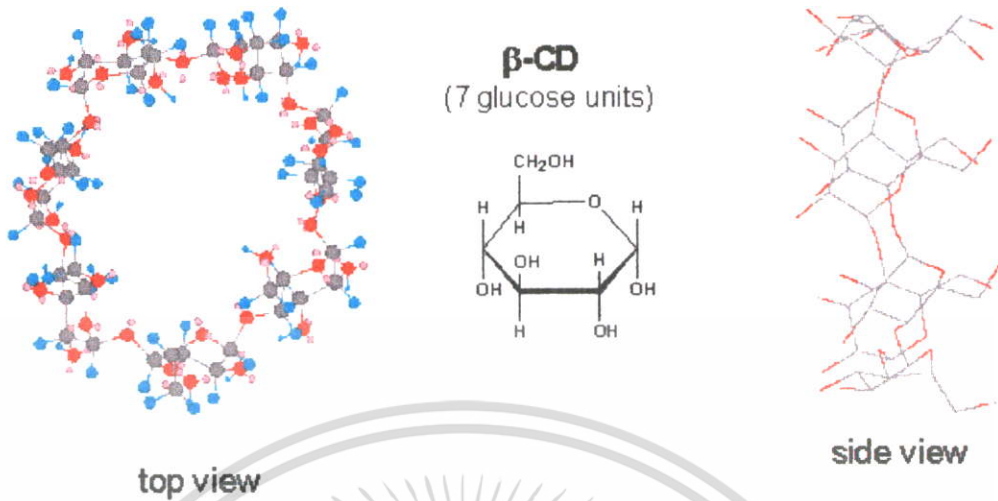


รูปที่ 2.2 โครงสร้างพอลิคาทีน พอลิโรแทคแซน และพอลิโรแทคแซนเทียม

2.2 ไซโคลเด็กซ์ตรินส์ (Cyclodextrins)

ไซโคลโอลิโกอะไมโลส (cyclooligoamylose) ไซโคลมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ (cyclomaltooligosaccharides) หรือไซโคลเด็กซ์ตรินส์ (cyclodextrins, CDs) คือ อะไมโลสโอลิโกเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน ค้นพบครั้งแรกโดย Villiers ในปี ค.ศ. 1891 [8] ตั้งแต่นั้นวงแหวนคาร์โบไฮเดรตชนิดนี้ก็ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงปัจจุบัน

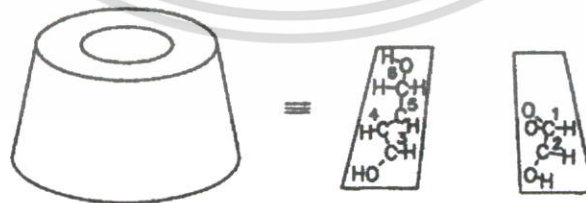
ไซโคลเด็กซ์ตรินส์สามชนิดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายเป็นสารที่มีความเป็นผลึก และไม่ดูดความชื้น มีหน่วยของกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นรูปร่างคล้ายโดนัท หรือห่วงยาง คือ อัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ตริน (α -cyclodextrin, α -CD) เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน (β -cyclodextrin, β -CD) และแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ตริน (γ -cyclodextrin, γ -CD) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคสจำนวน 6 7 และ 8 หน่วย ตามลำดับ [1] โครงสร้างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินส์แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน[9]

2.2.1 โครงสร้างของไซโคลเด็กซ์ทรินส์

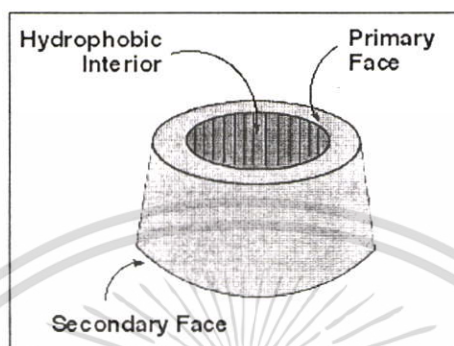
โครงสร้างของไซโคลเด็กซ์ทรินส์ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นวงแหวน ด้วยพันธะแบบอัลฟา-(1 \rightarrow 4)ไกลโคซิดิก (α -(1 \rightarrow 4) glycosidic bond) วงแหวนไซโคลเด็กซ์ทรินส์มีรูปทรงแบบทรงกระบอกกรวย โดยหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิและทุติยภูมิจะอยู่คนละด้านของวงแหวนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ พันธะไกลโคซิดิกออกซิเจน (glycosidic oxygen bridges) และไฮโดรเจนอะตอมที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 5 จะอยู่ด้านในช่องว่างของวงแหวน ส่วนไฮโดรเจนอะตอมที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 2 และ 4 จะอยู่ด้านนอกของวงแหวน แสดงดังรูปที่ 2.4 ความแข็งแรงของโครงสร้างเกิดจากหมู่ไฮดรอกซีที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองของกลูโคสโมเลกุลหนึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซีที่คาร์บอนตำแหน่งที่สามของกลูโคสโมเลกุลที่อยู่ติดกัน [1]



รูปที่ 2.4 รูปทรง และการจัดเรียงอะตอมในโมเลกุลไซโคลเด็กซ์ทรินส์[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านที่มีไฮดรอกซีหมู่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องว่างมากกว่าด้านที่มีไฮดรอกซีปฐมภูมิ นอกจากนั้นผิวด้านนอกของไซโคลเด็กซ์ทรินส์แสดงสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic region) ส่วนผิวด้านในของช่องว่างแสดงสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic region) แสดงดังรูปที่ 2.5 [1]



รูปที่ 2.5 ภาพร่างโครงสร้างไซโคลเด็กซ์ทรินส์ [10]

2.2.2 สมบัติของไซโคลเด็กซ์ทรินส์

ไซโคลเด็กซ์ทรินส์โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว มีความเป็นผลึก และไม่ดูดความชื้น แต่จะมีน้ำอยู่ในองค์ประกอบ เช่น เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเมื่อทำการอบแห้งเพื่อให้ได้ในโครงสร้างระเหยไป น้ำหนักจะลดลง 10 ถึง 13 เปอร์เซ็นต์

ไซโคลเด็กซ์ทรินส์ละลายได้ในน้ำ โดยเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินสามารถละลายได้ 1.85 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิห้อง ความสามารถในการละลายของไซโคลเด็กซ์ทรินส์ขึ้นกับอุณหภูมิ เช่น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส การละลายของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินจะเพิ่มเป็นสามเท่าของอุณหภูมิห้อง นอกจากละลายในน้ำแล้วไซโคลเด็กซ์ทรินส์ยังละลายได้ในไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethylsulphoxide) ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์ (dimethylformamide) และตัวทำละลายอื่นๆที่ใช้ร่วมกับน้ำ เช่น เมทานอล (methanol) เอทานอล (ethanol) ไอโซโพรพานอล (isopropanol) อะซีโตนไนไตรล์ (acetonitrile) และเตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran)

ไซโคลเด็กซ์ทรินส์แต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัวแตกต่างกันไป สมบัติทางความร้อนของไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่ได้ขึ้นกับปริมาณน้ำในองค์ประกอบ โครงสร้างผลึก อัตราการให้ความร้อน และองค์ประกอบของบรรยากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีจุดหลอมเหลวประมาณ 290 ถึง 300 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสลายตัวน้อยกว่า 310 องศาเซลเซียส (อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที)

ไซโคลเด็กซ์ตรินส์มีพิษต่ำมากต่อร่างกาย และสามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ แม้การย่อยสลายนั้นจะใช้เวลานาน เพราะไซโคลเด็กซ์ตรินส์ไม่มีหมู่ปลายที่ว่องไวต่อการย่อยสลาย อัลฟา-อะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยแบ่งได้โดยไม่จำเป็นต้องมีหมู่ปลายที่ว่องไวต่อการย่อยสลาย สามารถย่อยไซโคลเด็กซ์ตรินส์ได้แต่ก็ใช้ระยะเวลา [1]

2.2.3 การประยุกต์ใช้งานของไซโคลเด็กซ์ตรินส์

การประยุกต์ใช้งานของไซโคลเด็กซ์ตรินส์เป็นที่ยอมรับกันว่ามีความสำคัญมาหลายปี โดยสะท้อนให้เห็นจากจำนวนสิทธิบัตรที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่น ในกระบวนการผลิตแคปซูล ไซโคลเด็กซ์ตรินส์จะทำให้สารที่มีความไวต่อการกระตุ้นมีเสถียรภาพมากขึ้น ไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่เกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์มีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการใช้เป็นเฟสคงที่ (stationary phase) ในคอลัมน์โครมาโตกราฟี สารที่ละลายน้ำได้น้อยบางชนิดจะสามารถละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อเกิดสารเชิงซ้อนกับไซโคลเด็กซ์ตรินส์ นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอม ยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืชต่างๆ ตัวเร่งปฏิกิริยา และเครื่องปรุงรส [11]

2.3 ซุปราโมเลกุลาร์จากไซโคลเด็กซ์ตรินส์

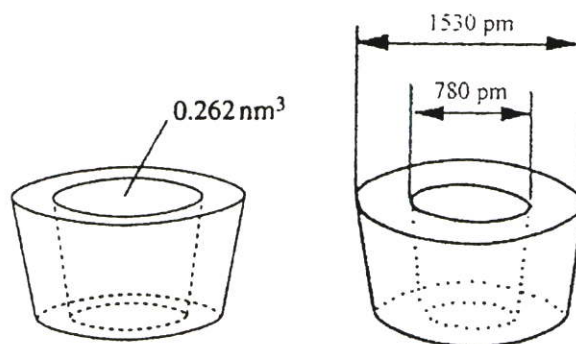
เนื่องจากด้านนอกของโมเลกุลไซโคลเด็กซ์ตรินส์แสดงสมบัติชอบน้ำ ดังนั้นไซโคลเด็กซ์ตรินส์สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับ guest โมเลกุล โดยไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ โดยในกรณีที่โมเลกุลของ guest (หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของโมเลกุล) บรรจุอยู่ในช่องว่างของไซโคลเด็กซ์ตรินส์ เราจะเรียกสารเชิงซ้อนนี้ว่า สารประกอบเชิงซ้อน (inclusion complex) หรือสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ (cyclodextrin complexes)

2.3.1 เงื่อนไขเบื้องต้นสำหรับการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

1. ความเข้ากันได้ทางรูปทรงเรขาคณิต

เงื่อนไขแรกที่ใช้พิจารณาและมีความสำคัญที่สุดสำหรับการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์คือ ขนาดโมเลกุลของ guest ต้องพอดีกับช่องว่างของไซโคลเด็กซ์ตรินส์ ซึ่งรูปทรงทางเรขาคณิตของ guest และไซโคลเด็กซ์ตรินส์เป็นตัวกำหนด ตัวอย่างเช่น เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องว่างคือ 780 pm (รูปที่ 2.6) ดังนั้น guest โมเลกุลที่น่าจะเกิดสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน์ได้นั้น ควรมีขนาดโมเลกุลน้อยกว่า 780 pm เล็กน้อย แต่ไม่ควรน้อยกว่ามาก เพราะอาจเกิดการเลื่อนหลุดหลังจากเกิดสารเชิงซ้อนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน์แล้ว ในทางตรงกันข้ามถ้าขนาดโมเลกุลของ guest ใหญ่กว่า 780 pm ก็จะไม่สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ขนาดและปริมาตรช่องว่างโดยประมาณของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน [1]

2. ความมีขั้วของ guest และไซโคลเด็กซ์ทรินส์

ความมีขั้วของ guest และไซโคลเด็กซ์ทรินส์เป็นเงื่อนไขรองจากความเข้ากันได้ทางรูปทรงเรขาคณิต เนื่องจากการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์มักจะทำในตัวกลางที่เป็นน้ำ ดังนั้นโดยมาก guest ที่มีความชอบน้ำมากกว่า ละลายน้ำได้ดีกว่า และมีน้ำในองค์ประกอบมากกว่าไซโคลเด็กซ์ทรินส์ จะไม่เกิดสารเชิงซ้อนกับไซโคลเด็กซ์ทรินส์ แต่อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาขนาดรูปทรงทางเรขาคณิตของ guest โมเลกุลก่อนว่ามีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงไร โมเลกุลของ guest ที่น่าจะเกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ได้นั้น ควรจะมีความชอบน้ำน้อยกว่า หรือมีขั้วน้อยกว่าไซโคลเด็กซ์ทรินส์นั่นเอง

3. ผลของตัวกลางที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์มักจะทำในตัวกลางที่เป็นน้ำ ดังนั้นสารอื่นที่เติมลงไปไม่ว่าจะเป็นสารตัวเติมต่างๆ เช่น สารลดแรงตึงผิว กรด เบส หรือตัวทำละลายร่วม เช่น แอลกอฮอล์ คีโตน จะมีผลต่อการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ โดยอาจจะไปช่วยหรืออาจไปรบกวนกระบวนการเกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ [1]

2.3.2 เทคนิคการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์

เทคนิคการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์มีหลายวิธี ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและง่ายต่อการสังเคราะห์

1. การสังเคราะห์ในรูปสารละลาย (Complexation in Solution)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในกรณีที่ guest และไซโคลเด็กซ์ทรินส์ละลายในตัวทำละลายเดียวกัน ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นน้ำ โดยเติม guest ลงในสารละลายไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่มีการปั่นกววนตลอดเวลา อาจทำที่อุณหภูมิห้องหรือให้ความร้อน ปริมาณ guest ที่ใช้ในการสังเคราะห์จะมีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าไซโคลเด็กซ์ตรินส์หลายเท่า สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่เกิดขึ้นอาจตกตะกอนลงมาทันที หรือตกตะกอนลงมาก็ต่อเมื่อทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ หรือต้องระเหยตัวทำละลายออกไปบางส่วน

2. วิธีหยด (Dropwise Method)

เทคนิคนี้ใช้ในกรณีที่ guest และไซโคลเด็กซ์ตรินส์ละลายในตัวทำละลายต่างชนิดกัน โดยมากไซโคลเด็กซ์ตรินส์จะละลายในน้ำ ส่วน guest ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่น เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และเบนซีน เริ่มต้นโดยเตรียมสารละลาย guest ในตัวทำละลายดังกล่าว แล้วหยดลงในสารละลายอิมตัวของไซโคลเด็กซ์ตรินส์ ทำการปั่นกวนตลอดเวลาสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์จะเกิดขึ้นระหว่างชั้นของตัวทำละลายทั้งสอง หรืออาจตกตะกอนออกมา

3. การเตรียมโดยวิธีหลอมเหลว (Complex Preparation by Melting)

ทำได้โดยผสม guest ที่หลอมเหลวกับผงไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่บดละเอียด ส่วนใหญ่มักจะใช้ guest ในปริมาณที่มากเกินพอ หลังจากเกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์แล้ว จะทำการล้าง guest ที่มากเกินพอออก

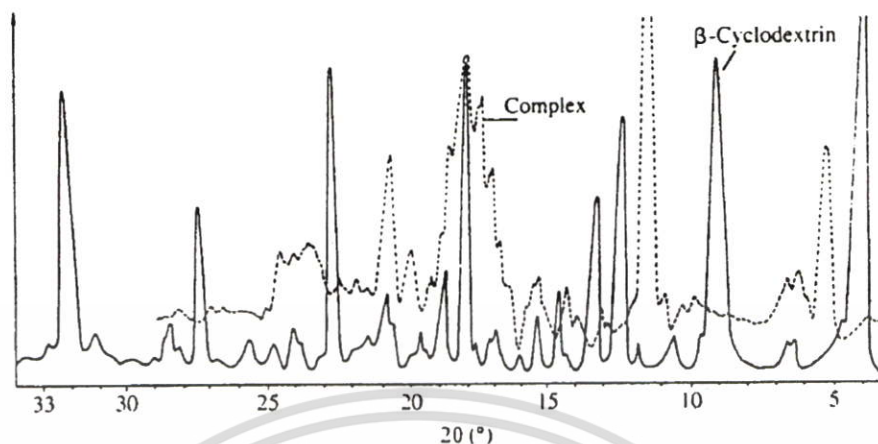
4. การสังเคราะห์โดยการคลุกเคล้า (Complexation by Kneading)

เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างมากในอุตสาหกรรม โดยการคลุกเคล้า guest กับไซโคลเด็กซ์ตรินส์ และน้ำซึ่งมีลักษณะคล้ายโคลน ทำการปั่นกวนในอุปกรณ์ผสม ความหนืดของสารผสมจะเพิ่มขึ้นจนมีลักษณะคล้ายแป้งเปียก หลังจากนั้นทำให้แห้ง และทำการปั่นเป็นแป้ง ขั้นตอนสุดท้ายทำการล้าง guest และไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่ไม่เกิดสารเชิงซ้อนออก [1]

2.3.3 เทคนิคการวิเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

1. การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Powder Diffraction) ดิฟแฟรคโตแกรมของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์จะแตกต่างจากดิฟแฟรคโตแกรมของสารผสมระหว่างไซโคลเด็กซ์ตรินส์กับ guest โดยมีพีก (peak) เอกลักษณะบางพีกหายไป หรือมีพีกใหม่เกิดขึ้น รูปที่ 2.7 แสดงดิฟแฟรคโตแกรมเปรียบเทียบระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินที่เกิดจาก เอ็น,เอ็น-ไดเอทิลโทลูเอไมด์ (*N,N*-diethyltoluamide) และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างผลึกของสารเชิงซ้อนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินแตกต่างจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน

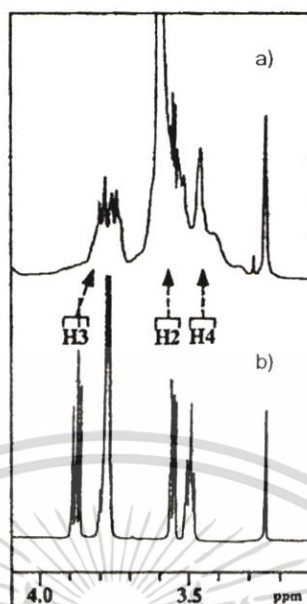
2. อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy) ใช้วิเคราะห์ในกรณีที่โมเลกุลของ guest มีหมู่คาร์บอนิลในโครงสร้าง หมุดดังกล่าวจะให้สัญญาณขึ้นที่ประมาณ $1680-1700 \text{ cm}^{-1}$ เมื่อ guest เกิดสารเชิงซ้อนกับไซโคลเด็กซ์ตรินส์จะเกิดการเลื่อนตำแหน่งของสัญญาณดังกล่าว



รูปที่ 2.7 ดิฟแฟรคโตแกรมของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน และสารเชิงซ้อนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน [1]

3. อัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-Visible Spectroscopy) การดูดกลืนสูงสุดจะเปลี่ยนตำแหน่งเมื่อเกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินคือ เกิดการเลื่อนตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุด (λ_{max}) ซึ่งเป็นผลมาจากการบดบังบางส่วนของอิเล็กตรอนและโครโมฟอร์ (chromophores) ภายในช่องว่างของไซโคลเด็กซ์ตรินส์ อาจเห็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ก็แสดงให้เห็นถึงอันตรกิริยาระหว่างไซโคลเด็กซ์ตรินส์และ guest ในรูปสารละลาย การเปลี่ยนแปลงโดยมากจะเกิดแบบบาโทโครมิกชิฟต์ (bathochromic shifts) คือ การดูดกลืนสเปกตรัมเปลี่ยนตำแหน่งไปที่ความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น พารา-ไนโตรฟีโนเรต แอนไอออน (p-nitrophenolate anion) ดูดกลืนรังสียูวีสูงสุดที่ความยาวคลื่น 398 นาโนเมตร เมื่อเกิดสารเชิงซ้อนกับอัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ตริน (10^{-2} โมลต่อลิตร) การดูดกลืนสูงสุดจะเปลี่ยนตำแหน่งไปที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร [11]

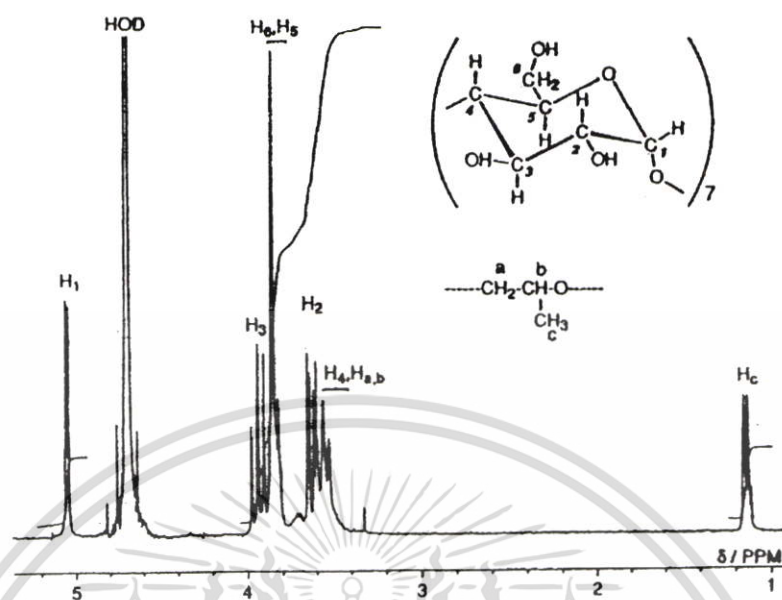
4. นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy) สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์บางชนิดจะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล guest กับโมเลกุลไซโคลเด็กซ์ตรินส์ ซึ่งทำให้ค่า chemical shift เลื่อนไป (ในบางกรณีเลื่อนไปอย่างมีนัยสำคัญ) ในขณะที่ถ้าโมเลกุลทั้งสองไม่สามารถเกิดสารเชิงซ้อนได้ ค่า chemical shift จะไม่เลื่อนไปหรือเลื่อนไปน้อยมาก ตัวอย่างเช่น ค่า chemical shift ของโปรตอนตำแหน่งที่สามของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินที่ประกอบเป็นสารเชิงซ้อนกับไตรบลิคโคพอลิเมอร์ของพอลิเอทีลีนไกลคอล-พอลิโพรพิลีนไกลคอล จะเลื่อนตำแหน่งไป 0.09 ppm เมื่อเทียบกับค่า chemical shift ของไฮโดรเจนตำแหน่งที่สามของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินอิสระ ส่วนค่า chemical shift ของโปรตอนตำแหน่งที่สองและสี่ของสารเชิงซ้อนดังกล่าวมีการเลื่อนตำแหน่งน้อยมาก แสดงดังรูปที่ 2.8 [12]



รูปที่ 2.8 ^1H NMR สเปกตรัมของ a) สารเชิงซ้อนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน และ b) เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน

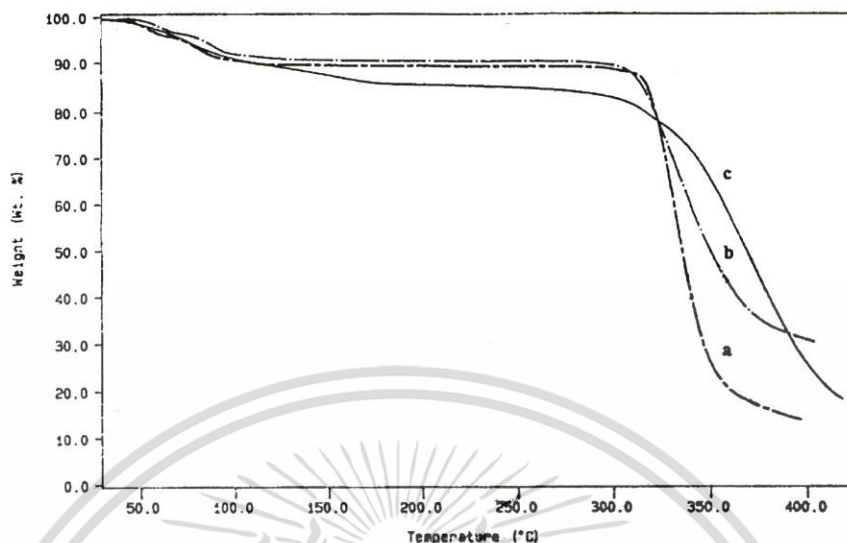
เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปีนอกจากบอกว่าเกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์แล้ว ยังบอกถึงอัตราส่วนไซโคลเด็กซ์ตรินต่อ guest โมเลกุลในโครงสร้างสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ด้วย ตัวอย่างเช่น สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิไพร์พิดีนไกลคอล มีอัตราส่วนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินต่อมอนอเมอร์เท่ากับ 1 ต่อ 2 แสดงดังรูปที่ 2.9 [13]

5. ความสามารถในการละลาย (Solubility) ความสามารถในการละลายของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์โดยปกติจะมีความแตกต่างจากโมเลกุล guest และโมเลกุลไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนนั้นๆ เช่น แกมมา-ไซโคลเด็กซ์ตรินและพอลิไอโซบิวทิลีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถละลายได้ในน้ำ แต่สารเชิงซ้อนที่เกิดจากสารตั้งต้นสองชนิดนี้จะละลายน้ำได้น้อยมาก แต่ละลายได้ดีในไดเมทิลซัลฟอกไซด์และไดเมทิลฟอร์มาไมด์ [14]



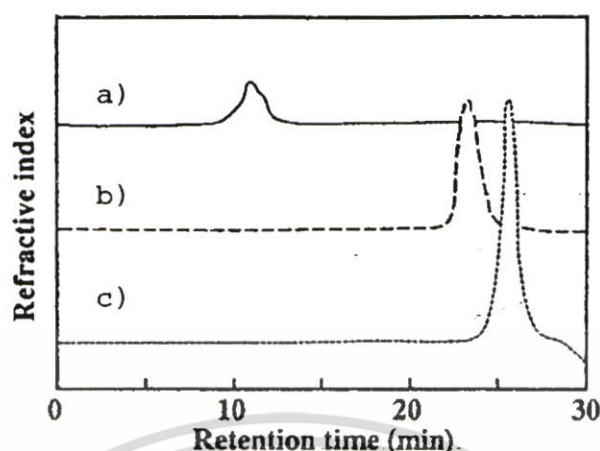
รูปที่ 2.9 ^1H NMR สเปกตรัมของสารเชิงซ้อนระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิโพรพิลีนไกลคอล [13]

6. สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) จุดหลอมเหลว อุณหภูมิการสลายตัวของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ จะแตกต่างจากไซโคลเด็กซ์ตรินส์ และสารผสมระหว่างไซโคลเด็กซ์ตรินส์กับ guest ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิการสลายตัวของอัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ตริน และสารผสมระหว่างอัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับไนลอน 6 เท่ากับ 313 องศาเซลเซียส แต่สารประกอบเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ของสารดังกล่าวมีอุณหภูมิการสลายตัวมากกว่าคือ 328 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 2.10 [15]



รูปที่ 2.10 TGA ไดอะแกรมของ a) อัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ตริน b) สารผสมระหว่างอัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับไนลอน 6 และ c) สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตริน [15]

7. เจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี (Gel Permeation Chromatography) สามารถใช้เพื่อแยกความแตกต่างระหว่างสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์กับสารผสมระหว่าง guest โมเลกุลกับโมเลกุลไซโคลเด็กซ์ตรินส์ได้ โดยถ้ามีสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์เกิดขึ้น เวลาที่ใช้ในการผ่านคอลัมน์ของสารเชิงซ้อนจะแตกต่างกับเวลาที่ใช้ในการผ่านคอลัมน์ของ guest โมเลกุลและโมเลกุลไซโคลเด็กซ์ตรินส์ รูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับไตรบลิคโคพอลิเมอร์พอลิเอทิลีนไกลคอล-พอลิโพรพิลีนไกลคอล เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการผ่านคอลัมน์สั้นกว่า และไม่ตรงกับทั้งเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินและไตรบลิคโคพอลิเมอร์ (น้ำหนักโมเลกุลของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินเท่ากับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์บวกกับผลคูณของน้ำหนักโมเลกุลเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับจำนวนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินในโครงสร้าง) [12]



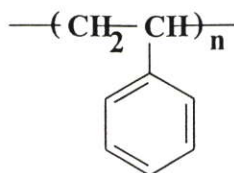
รูปที่ 2.11 โครมาโตแกรมของ a) สารเชิงซ้อนไตรบล็อกโคพอลิเมอร์-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน b) ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ และ c) เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน [12]

2.4 พอลิสไตรีน (polystyrene, PS)

พอลิสไตรีนมีการเตรียมขึ้นเป็นเวลานานแล้ว ในทศวรรษที่ 1930 ได้พบว่าพอลิเมอร์ชนิดนี้มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี จึงได้เริ่มผลิตในเชิงการค้า ทุกวันนี้พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญที่สุดพอลิเมอร์หนึ่งในบรรดาพอลิเมอร์สามชนิดที่ใช้เป็นพลาสติก (พอลิเมอร์อีกสองชนิดคือ พอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์)

พอลิสไตรีนมีความหนาแน่น 1.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงแบบอะแทคติก (atactic) และเป็นอสัณฐาน (amorphous) หรือไม่มีความเป็นผลึกเลย พอลิสไตรีนที่มีโครงสร้างแบบไอโซแทคติก (isotactic) สามารถเตรียมได้โดยใช้ตัวเร่งซีเกลอร์-เนตตา (Ziegler-Natta) หรือ เอ็น-บิวทิลลิเทียม (n-butyllithium) แต่สมบัติไม่แตกต่างจากแบบอะแทคติกมากนัก จึงไม่มีการผลิตพอลิสไตรีนแบบไอโซแทคติกในเชิงการค้า

พอลิสไตรีนเกิดจากการพอลิเมอไรส์ไตรีนมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัวคล้ายกลิ่นกระเทียม มีจุดเดือด 145 องศาเซลเซียส โดยสามารถเตรียมได้หลายวิธี รวมทั้งแบบสารละลายและอิมัลชัน แต่วิธีที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมได้แก่ แบบแขวนลอยหรือแบบบัลค์ โครงสร้างพอลิสไตรีนแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างพอลิสไตรีน

พอลิสไตรีนที่ยังไม่ได้ผ่านการผสมสารอื่นลงไปมีสมบัติแข็ง ไม่ยืดหยุ่นและเปราะ มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ค่อนข้างต่ำ (80 องศาเซลเซียส) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ของพอลิเมอร์นี้ไม่สามารถผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรคโดยใช้ไอน้ำ พอลิเมอร์นี้มีสมบัติโปร่งใส เนื่องจากพอลิสไตรีนเป็นไฮโดรคาร์บอน จึงดูดความชื้นได้ต่ำ และสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก

พอลิสไตรีนสามารถละลายในตัวทำละลายได้หลายชนิดได้แก่ ในตัวทำละลายจำพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เช่น เบนซีนและโทลูอีน ในตัวทำละลายจำพวกคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ คลอโรฟอร์ม ไตรคลอโรเอทิลีน คลอโรเบนซีน และไดคลอโรเบนซีน ในตัวทำละลายจำพวกคีโตน เช่น เมทิลเอทิลคีโตน และตัวทำละลายจำพวกเอสเทอร์ เช่น เอทิลอะซิเตท แต่พอลิสไตรีนจะไม่ละลายในแอลกอฮอล์ และไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว เช่น เฮกเซนและเฮปเทน เป็นต้น

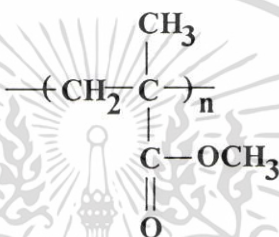
เนื่องจากพอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์จำพวกไฮโดรคาร์บอน จึงมีสมบัติเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป พอลิเมอร์นี้สามารถทนทานต่อกรดแก่และเบสแก่ทั่วไปเป็นอย่างดี สามารถทนต่อกรดเฮไลด์ ตัวออกซิไดซ์และตัวรีดิวซ์ทั่วไป อย่างไรก็ตามสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์นี้จะเสื่อมลง ถ้าให้พอลิเมอร์นี้สัมผัสกับแสงแดดที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ เช่น อาจเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเกิดรอยแตกได้

สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งที่ทำให้พอลิเมอร์นี้ได้รับความสนใจในเชิงการค้าคือ ง่ายต่อการนำไปแปรรูป โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการแปรรูปแบบฉีดขึ้นรูป (injection molding) ดังนั้นพอลิสไตรีนหลังผ่านกระบวนการเติมสาร เช่น พลาสติไซเซอร์ แอนติออกซิแดนต์ สเตบิลไลเซอร์ที่เหมาะสมแล้ว สามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์มากมาย เช่น เป็นองค์ประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้ามปากกา ลูกคลื่น ไม้บรรทัด ภาชนะและขวดบรรจุอาหาร ใช้อ้อยของ ทำของเด็กเล่น และทำโฟม เป็นต้น [16]

2.5 พอลิเมทิลเมทาไครเลต [poly(methyl methacrylate), PMMA]

พอลิเมทิลเมทาไครเลต เป็นพลาสติกโปร่งใส ไม่มีสี มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงกว่า ทนต่อแรงอัดและดินฟ้าอากาศดีกว่าพอลิสไตรีน พอลิเมออร์นี้จึงมีความสำคัญและมีประโยชน์มากต่อการนำไปใช้งาน อุตสาหกรรมเริ่มผลิตพอลิเมออร์นี้ในเชิงการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1934

พอลิเมทิลเมทาไครเลตเกิดจากการพอลิเมอไรซ์เมทิลเมทาไครเลตมอนอเมอร์ ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวไม่มีสี มีจุดเดือด 100.5 องศาเซลเซียส สามารถเตรียมโดยผ่านกลไกแบบฟรีเรดิคัล มีหลายวิธี เช่น แบบบัลค์ แบบสารละลาย แบบแขวนลอย และแบบอิมัลชัน แต่วิธีที่ใช้กันมากที่สุดได้แก่ แบบบัลค์ โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โครงสร้างพอลิเมทิลเมทาไครเลต

พอลิเมทิลเมทาไครเลตที่เตรียมโดยกลไกแบบฟรีเรดิคัลทั่วไปมีโครงสร้างเชิงเส้นตรง และเป็นพอลิเมออร์อสัญฐาน มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว 105 องศาเซลเซียส และจุดหลอมตัวสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส สมบัติพิเศษประการหนึ่งของพอลิเมออร์นี้คือ ไม่มีสี และใสเหมือนแก้ว นอกจากนี้ยังแข็งแกร่งกว่า และทนทานต่อดินฟ้าอากาศได้ดีกว่าพอลิสไตรีน แต่ทนทานต่อการสึกหรอได้ไม่ดีเท่าแก้ว

พอลิเมออร์นี้ละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิดได้แก่ อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเช่น เบนซีน และโทลูอีน คลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน เช่น คลอโรฟอร์ม และเอทิลีนคลอไรด์ และสารจำพวกเอสเทอร์ เช่น เอทิลอะซิเตท ในขณะที่สารอินทรีย์บางชนิด เช่น แอลกอฮอล์ และเอมีน ถึงแม้จะไม่ละลายพอลิเมออร์นี้ แต่สามารถทำให้พอลิเมออร์เกิดรอยแตกได้ นอกจากนี้พอลิเมทิลเมทาไครเลตยังสามารถเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification) และทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) ไฮโดรฟลูออริก (HF) และกรดออกซิไดซ์ที่เข้มข้น เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO₄)

สมบัติเชิงกล และความคงทนต่อความร้อนก็ดีเช่นกัน ส่วนสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าดีปานกลาง เพราะพอลิเมออร์นี้ประกอบด้วยหมู่ -CO-OCH₃ ซึ่งเป็นหมู่ที่มีสภาพขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในชั้นแผ่ขยายสายโซ่จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้ 4 แบบ โดยสมการที่ 2.1 และ 2.4 แสดงถึงการเกิดโฮโมพอลิเมอร์ ส่วนสมการ 2.2 และ 2.3 แสดงถึงการเกิดพอลิเมอร์ร่วม



k_{11} หมายถึง ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกริยาที่ $M_1\bullet$ ทำปฏิกริยากับ M_1

k_{12} หมายถึง ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกริยาที่ $M_1\bullet$ ทำปฏิกริยากับ M_2

ตัวแรกหมายถึงชนิดของอนุมูลอิสระ ส่วนตัวเลขหลังแทนชนิดของมอนอเมอร์ ในทำนองเดียวกัน k_{21} และ k_{22} ก็อธิบายเช่นเดียวกัน

2.6.2 พอลิเมอร์ร่วมประเภทต่างๆ เมื่อพิจารณาจากค่า reactivity ratio

พอลิเมอร์ร่วมที่สังเคราะห์ได้นั้นจะเป็นชนิดใดขึ้นอยู่กับค่า reactivity ratio (r) โดย reactivity ratio คือ อัตราของค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกริยาที่มอนอเมอร์ชนิดหนึ่งทำปฏิกริยากับมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันหารด้วยค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกริยาที่มอนอเมอร์นั้นทำปฏิกริยากับมอนอเมอร์ต่างชนิด

โดย r_1 คือ k_{11}/k_{12} r_2 คือ k_{22}/k_{21}

เมื่อ r_1 มากกว่า 1 หมายความว่า $M_1\bullet$ ทำปฏิกริยากับ M_1 ได้เร็วกว่า $M_1\bullet$ ทำปฏิกริยากับ M_2 และถ้า r_1 น้อยกว่า 1 หมายความว่า $M_1\bullet$ ทำปฏิกริยากับ M_2 ได้เร็วกว่า M_1

1. กรณี $r_1=r_2=0$ และ $k_{11}=k_{22}$ หรือ $r_1r_2=0$ นั่นคือ มอนอเมอร์จะเข้าไปอยู่ในพอลิเมอร์ร่วมอย่างละเท่าๆ กัน และเนื่องจาก $k_{11}=k_{22}$ แสดงว่า มอนอเมอร์ไม่รวมกับตัวเองแต่ชอบรวมกับมอนอเมอร์ต่างชนิด ผลผลิตจะได้พอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ

2. กรณี r_1 มีค่าแน่นอน ส่วน $r_2=k_{22}/k_{21}=0$ ดังนั้น $r_1r_2=0$ กรณีนี้มอนอเมอร์ M_2 ไม่ชอบทำปฏิกริยากับ $M_2\bullet$ แต่ชอบทำปฏิกริยากับ $M_1\bullet$ และ $M_1\bullet$ ชอบทำกับปฏิกริยากับ M_1 ด้วย ถ้า r_1 มีค่ามากๆ เช่น 10 พอลิเมอร์ร่วมที่เกิดขึ้นจะเป็นสายโซ่ของ M_1 ต่อกันยาวๆ และจะมี M_2 คั่นอยู่บ้างในบางส่วนของสายโซ่ ในทางตรงข้าม ถ้า r_1 มีค่าน้อยเช่น 0.05 จะได้พอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ

3. กรณี $r_1=1/r_2$ หรือ $r_1r_2=1$ กรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อ $M_1\bullet$ และ $M_2\bullet$ ชอบทำปฏิกริยากับมอนอเมอร์ M_1 มากกว่า M_2 ลักษณะนี้เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบอุดมคติ (ideal copolymerization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กรณี $r_1=r_2=1$ หมายความว่ามอนอเมอร์ทั้งสองชนิดมีความไวเท่ากัน กรณีนี้ $k_{kk}/k_{12}=k_{22}/k_{21}=1$ โอกาสที่มอนอเมอร์ทั้งสองชนิดจะรวมกับชนิดอื่น หรือรวมกับตัวเองมีค่าเท่ากัน พอลิเมอร์ที่ขึ้นจึงเป็นแบบกระจายอย่างสมบูรณ์ (completely random) เพราะสัดส่วนในพอลิเมอร์รวมเท่ากัน และอัตราเร็วปฏิกิริยาเท่ากันด้วย

5. กรณี r_1 และ r_2 มีค่าใกล้เคียงกัน และ $r_1 r_2=1$ พอลิเมอร์มีแนวโน้มเกิดแบบกระจาย

6. กรณี $r_1>1$ และ $r_2>1$ นั่นคือมอนอเมอร์ M_1 ชอบทำปฏิกิริยากับ $M_1\bullet$ และมอนอเมอร์ M_2 ชอบทำปฏิกิริยากับ $M_2\bullet$ จึงเกิดโฮโมพอลิเมอร์สองสายโซ่ ไม่เกิดพอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์สองชนิดนั้น [17]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค.ศ. 1990 ถึง 1996 Akira Harada และคณะ [13, 18] ได้ศึกษาการสังเคราะห์และวิเคราะห์ลักษณะเชิงซ้อนระหว่างไซโคลเด็กซ์ทรินส์กับพอลิไพโรฟิซีนไกลคอล โดยทำการสังเคราะห์ได้โดยเติมพอลิไพโรฟิซีนไกลคอลลงในสารละลายไซโคลเด็กซ์ทรินส์อิ่มตัวในน้ำ ที่อุณหภูมิห้อง ปั่นกวนด้วยเสียง (sonication) จนสารละลายขุ่น และสารเชิงซ้อนตกตะกอนออกมา กรองล้างตะกอนด้วยน้ำและเตรสไฮโดรฟูเรน อบให้แห้ง พบว่าเบต้า-และแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิไพโรฟิซีนไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ให้สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่มีความเป็นผลึกในปริมาณมาก แต่อัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ทรินไม่เกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิไพโรฟิซีนไกลคอลทุกน้ำหนักโมเลกุล เนื่องจากสายโซ่ของพอลิไพโรฟิซีนไกลคอลสามารถสอดทะลุผ่านช่องว่างของเบต้า-และแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทรินส์ (เส้นผ่านศูนย์กลางช่องว่างเท่ากับ 7.0 และ 8.5 อังสตรอม ตามลำดับ) แต่ไม่สามารถสอดทะลุผ่านช่องว่างของอัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ทริน (เส้นผ่านศูนย์กลางช่องว่างเท่ากับ 4.5 อังสตรอม) เพราะหมู่เมทิลของพอลิไพโรฟิซีนกีดขวางอยู่นั่นเอง

เบต้า-และแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทรินไม่เกิดสารเชิงซ้อนกับพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น พอลิฟีนไกลคอล ไดพอลิฟีนไกลคอล และไตรพอลิฟีนไกลคอล ปริมาณสารเชิงซ้อนเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิไพโรฟิซีนไกลคอลเพิ่มขึ้น แต่จะมีความมากที่สุดที่น้ำหนักโมเลกุลของพอลิไพโรฟิซีนไกลคอลเท่ากับ 1000 เมื่อน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 1000 ปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่ได้จะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ยังเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพอลิไพโรฟิซีนไกลคอลที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น

สามารถวิเคราะห์ลักษณะสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ได้โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และการวิเคราะห์ด้วยความร้อน สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่ได้มีอัตราส่วน มอนอเมอร์ต่อไซโคลเด็กซ์ทรินเป็น 2 ต่อ 1 สามารถละลายได้ในน้ำร้อน มีความเป็นผลึก อุณหภูมิการละลายตัวมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดที่เพิ่ม แก้ไข หรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

320 องศาเซลเซียส โดยเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินหลอมและสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 310 องศาเซลเซียส

นอกจากพอลิโพรพิลีนไกลคอลแล้ว Akira Harada และคณะ ได้สังเคราะห์สารเชิงซ้อนของไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากพอลิไอโซบิวทิลีน [14, 19] พบว่าเบต้า-และแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิไอโซบิวทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ให้สารที่มีความเป็นผลึกในปริมาณมาก แต่อัลฟา-ไซโคลเด็กซ์ทรินไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับพอลิไอโซบิวทิลีนทุกน้ำหนักโมเลกุล แกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทรินไม่เกิดสารเชิงซ้อนกับพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น 2,2-ไดเมทิลบิวเทน และ 2,2,4-ไตรเมทิลเพนเทน แต่เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดสารเชิงซ้อนกับสารดังกล่าว ปริมาณสารเชิงซ้อนที่เกิดจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิไอโซบิวทิลีนเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่ปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์เพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิไอโซบิวทิลีนเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ลักษณะสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์สามารถทำได้โดยวิธีการเดียวกันกับกรณีของพอลิโพรพิลีนไกลคอล โดยสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่ได้มีอัตราส่วนมอนอเมอร์ต่อไซโคลเด็กซ์ทรินเป็น 3 ต่อ 1 มีความเป็นผลึก ไม่ละลายในน้ำ และน้ำร้อน

ในปี ค.ศ. 1999 Lei Huang และคณะ [15] ทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากอัลฟา-และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับไนลอน 6 (น้ำหนักโมเลกุลโดยจำนวนเท่ากับ 12 กิโลกรัมต่อโมล) โดยให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียสขณะทำการสังเคราะห์ ใช้เทคนิคฟิสิกส์เพอร์เนเซียสแกนนิ่งคาลอริเมตรี เทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี ยืนยันว่าเกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ โดยสายโซ่ของไนลอน 6 บรรจุอยู่ในช่องว่างของไซโคลเด็กซ์ทรินส์ สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่ได้มีความเป็นผลึก และมีอุณหภูมิการสลายตัวมากกว่าไซโคลเด็กซ์ทรินส์ (ไนลอน 6 เพิ่มความเสถียรภาพให้กับไซโคลเด็กซ์ทรินส์)

นอกจากพอลิเมอร์ทั้งสามที่กล่าวมาแล้ว ไซโคลเด็กซ์ทรินส์ยังเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์อื่น เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล [20-22] พอลิเมทิลไวโนลอีเทอร์ [23] โอลิโกเอทิลีน [24] และพอลิเอสเทอร์สายโซ่ตรง [25] เป็นต้น

สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินนอกจากจะอยู่ในสถานะของแข็งดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังสามารถอยู่ในสถานะของเหลวได้เช่น ในปี ค.ศ. 2000 Yannis Dotsikas และคณะ [26] ได้ทำศึกษาอันตรกิริยาระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับ 6-*p*-toluidinyl naphthalene-2-sulphonate (TNS) โดยสารทั้งสองเกิดสารเชิงซ้อนกันในรูปแบบสารละลาย โดยน้ำเป็นตัวทำละลาย ใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรสโคปี และยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรสโคปีในการวิเคราะห์ และต่อมาในปี ค.ศ.

2001 Masanori Hoshiyama และคณะ [27] ทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เด็กซ์ตรินกับ 7-hydroxy-4-methylcoumarin โดยเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินที่อยู่ในสถานะของเหลวได้แก่ อัลตราไวโอเลตสเปกโทรสโคปี, circular dichroism (CD), ฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรสโคปี และ โปรตอน-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี

และในปี ค.ศ. 2001 เช่นเดียวกัน Palaniswami Ravi และคณะ [3] ได้นำสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์มาประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์สเตอริโอเรกูลาร์พอลิสไตรีน (stereoregular polystyrene) โดยทำการพอลิเมอไรซ์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินระหว่างสไตรีนมอนอเมอร์กับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน หรือเรียกว่า inclusion polymerization ได้พอลิสไตรีนที่มีสมบัติฟิสิกส์-เคมีคอล (physico-chemical properties) เช่น ความแข็งแรงดึง การทนต่อขีดถู และการทนแรงกระแทก มีค่าสูงกว่าพอลิสไตรีนทั่วไป แต่สมบัติบางประการ เช่น water vapor transmission rate (WVTR) และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตเทนซ์ (percentage transmittance) มีค่าต่ำกว่าค่าที่ควบคุม และผลจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของไมโครคริสตัลไลน์ (microcrystalline)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (β -cyclodextrin, Fluka)
2. สไตรีนมอนอเมอร์ (styrene, Fluka)
3. พอลิสไตรีนมาตรฐาน A300 A2500 F1 และ F4 น้ำหนักโมเลกุลโดยน้ำหนัก 453 2500 9490 และ 37200 กรัมต่อโมล ตามลำดับ (TSK standard Polystyrene, TOSOH)
4. คลอโรฟอร์ม (chloroform, Analytical Reagent A.R, Lab-Scan)
5. ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (dimethylformamide, DMF, Analytical Reagent A.R, Lab-Scan)
6. เตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran, THF, Analytical Reagent A.R and HPLC grade, Lab-Scan)
7. ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethylsulphoxide, DMSO, Carlo Erba)
8. โทลูอีน (toluene, Carlo Erba)
9. เมทิลเมทาคริลเลตมอนอเมอร์ (methyl methacrylate, MMA, Fluka)
10. เมทานอล (methanol, Zen Point)
11. เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide, Merck)
12. มาลลิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride, Fluka)
13. กรด 11-อะมิโนอันเดคาโนอิก (11-aminoundecanoic acid, Fluka)
14. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH, Fluka)
15. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (12 M hydrochloric acid, conc. HCl, Merck)
16. โซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรด์ (sodium sulfate anhydrous, Fluka)

3.2 เครื่องมือ

1. เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonik, NEY)
2. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR, Model; IFS28, Bruker)
3. เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer, NMR, Model; ADVANCE DPX300, Bruker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาลิเซอร์ (Thermogravimetric Analyzer, TGA, Model; Pyris 1 TGA, Perkin Elmer, คลาดเคลื่อน ± 10 องศาเซลเซียส)
5. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC, Model; Diamond DSC, Perkin Elmer, คลาดเคลื่อน ± 1 องศาเซลเซียส)
6. เครื่องเหวี่ยง (Centrifuge, Model; D-78532 Tuttingen, Hettich)
7. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter, Model; 225, Denver Instrument)
8. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, Model; Jasco 7800, Jasco)
9. เครื่องเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี (Gel permeation chromatography, GPC)
Gel permeation chromatography, Model; BGS-20, Bruck-Chrom
Refractive Index Detector, Model; 1100 series, CEDIL
Column, Water Styragel (HR2) 7.8×300 mm., Millipore
Mobile Phase, Tetrahydrofuran (HPLC Grade)
อัตราการไหล 0.3 มิลลิลิตรต่อนาที เวลา 45 นาที
พอลิสไตรีนมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 3.1 ละลายในเตตระไฮโดรฟูแรนเข้มข้น 0.5
เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของพอลิสไตรีนมาตรฐาน

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล โดยจำนวน (Mn) | น้ำหนักโมเลกุล โดยน้ำหนัก (Mw) | การกระจายน้ำหนัก โมเลกุล (MWD) |
|-------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| A300 | 387 | 453 | 1.17 |
| A2500 | 2400 | 2500 | 1.05 |
| F1 | 9300 | 9490 | 1.02 |
| F4 | 36900 | 37200 | 1.01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมสาร

3.3.1.1 การเตรียมสไตรีนมอนอเมอร์ และเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ นำมอนอเมอร์มาทำการสกัดด้วยขี้ผึ้ง ด้วยไซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ล้างด้วยน้ำกลั่น ดูดความชื้นด้วยไซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส และเก็บไว้ในตู้เย็น

3.3.1.2 การเตรียมมาลิลิกแอนไฮไดรด์ ทำการตกผลึกใหม่ในเมทานอล อบให้แห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง

3.3.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

3.3.2.1 ทดสอบการละลาย ในตัวทำละลายดังนี้ น้ำ คลอโรฟอร์ม ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ เตตระไฮโดรฟูแรน เมทานอล และโทลูอีน

3.3.2.2 หาอุณหภูมิการละลายตัว โดยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ ใส่เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินประมาณ 50 มิลลิกรัมลงในจานแพลทินัม ให้ความร้อนจาก 50 ถึง 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.3.2.3 หาจุดหลอมเหลว โดยเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ใส่เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินประมาณ 5 ถึง 10 มิลลิกรัม ลงในจานอลูมิเนียม ให้ความร้อนจาก 50 ถึง 350 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.3.2.4 อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ บดสารเชิงซ้อนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินผสมกับโพแตสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วทำการอัดให้เป็นแผ่นบาง สแกนจากความถี่ 400 ถึง 4000 cm^{-1}

3.3.2.5 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี โดยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์ ทดสอบเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในรูปของแข็ง (Solid State NMR Spectroscopy) โดยเทคนิคครอสโพลาไรเซชัน/แมจิกแองเกิลสปินนิง (Cross Polarization/Magic Angle Spinning NMR, CP/MAS NMR)

3.3.2.6 ยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรสโคปี หาความยาวคลื่นสูงสุดที่ดูดกลืน (λ_{max}) โดยละลายเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในน้ำ สแกนตั้งแต่ความยาวคลื่น 200 ถึง 500 นาโนเมตร

3.3.3 การเตรียมพอลิเมอร์และการตรวจสอบเอกลักษณ์

3.3.3.1 พอลิเมทิลเมทาโครเลต

เทสารละลายผสมของเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ (15 กรัม, 0.15 โมล) กับเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ในโทลูอีนปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมขนาด 100 มิลลิลิตร ใส่อากาศที่มีออกซิเจนออกด้วยการพ่นก๊าซไนโตรเจน ปิดปากขวดแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และขอแจ้งให้ทราบล่วงหน้า หากต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส ด้วยอ่างน้ำร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ตกตะกอนในเมทานอล กรองตะกอนที่ได้ และอบให้แห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์

เพื่อให้ได้พอลิเมทิลเมทาโครเลตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กัน จึงใช้ปริมาณเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็น 1 2 4 และ 8 กรัม ตามลำดับ (พอลิเมทิลเมทาโครเลตที่สังเคราะห์ได้แทนด้วย PMMA4 PMMA3 PMMA2 และ PMMA1 ตามลำดับ)

น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมทิลเมทาโครเลตที่สังเคราะห์ด้วยเครื่องเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี โดยเตรียมสารละลายพอลิเมทิลเมทาโครเลตในเตตระไฮโดรฟูแรน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้อัตราการไหล 0.3 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 45 นาที

3.3.3.2 พอลิเมอร์ A

แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1) การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลีอิกแอนไฮไดรด์ (poly(styrene-co-maleic anhydride), PSMA) [28]

เทสารละลายผลผสมของสไตรีนมอนอเมอร์ (5.2076 กรัม, 0.05 โมล) มาลีอิกแอนไฮไดรด์ (4.4530 กรัม, 0.05 โมล) และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมขนาด 100 มิลลิลิตร ใส่อากาศที่มีออกซิเจนออกด้วยการพ่นก๊าซไนโตรเจน ปิดปากขวดแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างน้ำร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ตกตะกอนในเมทานอล กรองตะกอนที่ได้ และอบให้แห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์

เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลีอิกแอนไฮไดรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กัน จึงใช้ปริมาณเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็น 1 2 4 และ 8 กรัม ตามลำดับ (พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลีอิกแอนไฮไดรด์ที่สังเคราะห์ได้แทนด้วย PSMA4 PSMA3 PSMA2 และ PSMA1 ตามลำดับ)

น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลีอิกแอนไฮไดรด์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี โดยเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลีอิกแอนไฮไดรด์ในเตตระไฮโดรฟูแรน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้อัตราการไหล 0.3 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 45 นาที

พิสูจน์เอกลักษณ์พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลีอิกแอนไฮไดรด์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี โดยใช้ DMSO เป็นตัวทำละลาย และเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี โดยบดพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลีอิกแอนไฮไดรด์ผสมกับโพแตสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วทำการอัดให้เป็นแผ่นบาง สแกนจากความถี่ 400 ถึง 4000 cm^{-1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ดัดแปลงพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ด้วยกรด 11-อะมิโนอันเดคาโนอิก (พอลิเมอร์ A)

ละลายพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ (4.4042 กรัม, 0.2 โมล) ในเตตระไฮโดรฟูแรนปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในขวดก้นกลมขนาด 100 มิลลิลิตร และละลายกรด 11-อะมิโนอันเดคาโนอิก (2.0131 กรัม, 0.01 โมล) ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักปริมาตร 25 มิลลิลิตร บรรจุในกรวยหยด ตั้งชุดปฏิกิริยาดังรูปที่ 3.1 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พร้อมการปั่นกวน หยดสารละลายกรด 11-อะมิโนอันเดคาโนอิกลงในสารพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ โดยใช้เวลาในการหยด 2 ชั่วโมง ทำการปั่นกวนต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

รูปที่ 3.1 ชุดปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ A

นำสารละลายที่ได้ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร หยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นลงในสารละลายพร้อมการปั่นกวนจนสารละลายเป็นกลาง (pH=7) วัดโดยเครื่องวัดพีเอช ได้ตะกอนสีขาวตกออกมา แยกและล้างตะกอนด้วยน้ำโดยใช้เครื่องเหวี่ยง ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที อบตะกอนที่ได้ในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็น 24 ชั่วโมง

พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ A ได้จากการสังเคราะห์ในข้อหนึ่ง ดังนั้นจะได้พอลิเมอร์ A สีน้ำหนักรวม

พิสูจน์เอกลักษณ์พอลิเมอร์ A ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี โดยใช้ CD_3OD เป็นตัวทำละลาย และเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี โดยบดพอลิเมอร์ A ผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วทำการอัดให้เป็นแผ่นบาง สแกนจาก

3.3.4 ศึกษาผลของเวลา และปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

3.3.4.1 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

หยดสไตรีนมอนอเมอร์ (0.2850 กรัม, 2.74 มิลลิโมล) ลงในสารละลายอิมิตัวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน (0.1850 กรัม, 1.37 มิลลิโมล) ในน้ำ 10 มิลลิลิตร พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 2 3 และ 4 ชั่วโมง ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ล้างสารตัวอย่างที่ได้ด้วยน้ำและคลอโรฟอร์ม อบให้แห้งโดยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์

3.3.4.2 ศึกษาผลของปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

หยดสไตรีนมอนอเมอร์ (ปริมาณดังตารางที่ 3.2) ลงในสารละลายอิมิตัวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน (0.1850 กรัม, 1.37 มิลลิโมล) ในน้ำ 10 มิลลิลิตร พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ล้างสารตัวอย่างที่ได้ด้วยน้ำและคลอโรฟอร์ม อบให้แห้งโดยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

| อัตราส่วนโดยโมล | น้ำหนัก (กรัม) |
|-----------------|----------------|
| 0.5 | 0.1427 |
| 0.6 | 0.2141 |
| 0.67 | 0.2850 |
| 0.7 | 0.3365 |
| 0.8 | 0.5709 |
| 0.9 | 1.2846 |

3.3.5 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิสไตรีน (สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน)

หยดสารละลายพอลิสไตรีน (0.2850 กรัม, 2.74 มิลลิโมล) ในคลอโรฟอร์ม 3 มิลลิลิตร ลงในสารละลายอิมิตัวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน (0.1850 กรัม, 1.37 มิลลิโมล) ในน้ำ 10 มิลลิลิตร พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ล้างสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ได้ด้วยน้ำและคลอโรฟอร์ม อบให้แห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์

น้ำหนักโมเลกุลโดยน้ำหนักของพอลิสไตรีนที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ได้แก่ 453 2500 9490 และ 37200 กรัมต่อโมล (พอลิสไตรีนแทนด้วย PS1 PS2 PS3 และ PS4 ตามลำดับ)

3.3.6 ศึกษาผลของเวลา และปริมาณเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

3.3.6.1 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

หยดเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ (0.2741 กรัม, 2.74 มิลลิโมล) ลงในสารละลายอิมัลชันตัวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน (0.1850 กรัม, 1.37 มิลลิโมล) ในน้ำ 10 มิลลิลิตร พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 2 3 และ 4 ชั่วโมง ทั้งไว้ 24 ชั่วโมง ล้างสารตัวอย่างที่ได้ด้วยน้ำและคลอโรฟอร์ม อบให้แห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์

3.3.6.2 ศึกษาผลของปริมาณเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

หยดเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ (ปริมาณดังตารางที่ 3.3) ลงในสารละลายอิมัลชันตัวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน (0.1850 กรัม, 1.37 มิลลิโมล) ในน้ำ 10 มิลลิลิตร พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทั้งไว้ 24 ชั่วโมง ล้างสารตัวอย่างที่ได้ด้วยน้ำและคลอโรฟอร์ม อบให้แห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.3 ปริมาณเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

| อัตราส่วนโดยโมล | น้ำหนัก (กรัม) |
|-----------------|----------------|
| 0.5 | 0.1372 |
| 0.6 | 0.2008 |
| 0.67 | 0.2741 |
| 0.7 | 0.3243 |
| 0.8 | 0.5488 |
| 0.9 | 1.2348 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิเมทิลเมทาไครเลต (สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาไครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน)

หยดสารละลายพอลิเมทิลเมทาไครเลต (0.2741 กรัม, 2.74 มิลลิโมล) ในคลอโรฟอร์ม 3 มิลลิลิตร ลงในสารละลายอิมิตัวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (0.1850 กรัม, 1.37 มิลลิโมล) ในน้ำ 10 มิลลิลิตร พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ล้างสารตัวอย่างที่ได้ด้วยน้ำและคลอโรฟอร์ม อบให้แห้งในตู้สุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์

พอลิเมทิลเมทาไครเลตที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ได้จากการสังเคราะห์ในข้อ 3.3.3.1

3.3.8 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิเมอร์ A

3.3.8.1 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

ผสมสารละลายพอลิเมอร์ A (0.2972 กรัม, 1.37 มิลลิโมล) ในเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร กับสารละลายอิมิตัวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (0.1850 กรัม, 0.14 มิลลิโมล) ในน้ำ 10 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง พอลิเมอร์ A ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ได้จากการสังเคราะห์ใน

ข้อ 3.3.3.2

3.3.8.2 ศึกษาผลของเทคนิคที่ใช้สังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์

1) วิธีหยด หยดสารละลายอิมิตัวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (0.1850 กรัม, 0.14 มิลลิโมล) ในน้ำ 10 มิลลิลิตร ลงในสารละลายพอลิเมอร์ A (0.2972 กรัม, 1.37 มิลลิโมล) ในเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร กับทำการปั่นกวนด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หาความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ขณะทำการปั่นกวนที่เวลา 0 10 20 30 40 50 60 90 และ 120 นาที และทำการวัดหลังการปั่นกวนที่เวลา 1 2 4 8 24 และ 76 ชั่วโมง

2) เทคนิคผสม เทสารละลายอิมิตัวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (0.1850 กรัม, 0.14 มิลลิโมล) ในน้ำ 10 มิลลิลิตร ลงในสารละลายพอลิเมอร์ A (0.2972 กรัม, 1.37 มิลลิโมล) ในเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร กับทำการปั่นกวนด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หาความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ขณะทำการปั่นกวนที่เวลา 0 10 20 30 40 50 60 90 และ 120 นาที และทำการวัดหลังการปั่นกวนที่เวลา 1 2 4 8 24 และ 76 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เทพสมไม้ปั่นกวน เทสารละลายอิมิตัวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (0.1850 กรัม, 0.14 มิลลิโมล) ในน้ำ 10 มิลลิลิตร ลงในสารละลายพอลิเมอร์ A (0.2972 กรัม, 1.37 มิลลิโมล) ในเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร หาความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่เวลา 0 10 20 30 40 50 60 90 120 นาที 3 4 6 10 26 และ 78 ชั่วโมง

3.3.9 การวิเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์

3.3.9.1 ทดสอบการละลาย ของพอลิเมอร์และสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ ในตัวทำละลายดังนี้ น้ำ เมทานอล คลอโรฟอร์ม ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ไดเมทิลซัลโฟไซด์ เตตระไฮโดรฟูแรน และโทลูอีน

3.3.9.2 หาอุณหภูมิการสลายตัว ของพอลิเมอร์และสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ โดยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ ใส่สารตัวอย่างประมาณ 50 มิลลิกรัมลงในจานแพลททินัม ให้ความร้อนจาก 50 ถึง 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.3.9.3 หาจุดหลอมเหลว ของพอลิเมอร์และสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ โดยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ใส่สารตัวอย่างประมาณ 5 ถึง 10 มิลลิกรัม ลงในจานอลูมิเนียม ให้ความร้อนจาก 50 ถึง 350 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.3.9.4 อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พอลิสไตรีนและพอลิเมทิลเมทาไครเลตหล่อเป็นฟิล์มโดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลาย และนำสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์บดผสมกับโพแตสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วทำการอัดให้เป็นแผ่นบาง

3.3.9.5 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี ทดสอบสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่สังเคราะห์จากพอลิสไตรีน และพอลิเมทิลเมทาไครเลตในรูปของแข็ง (Solid State NMR Spectroscopy) โดยเทคนิคครอสโพลาไรเซชัน/เมจิกแองเกิลสปินนิง (Cross Polarization/Magic Angle Spinning NMR, CP/MAS NMR) และเทคนิคเมจิกแองเกิลสปินนิง (Magic Angle Spinning NMR, MAS NMR) ส่วนสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่สังเคราะห์จากพอลิเมอร์ A ทดสอบในรูปสารละลาย โดยละลายสารผสมระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (0.0185 กรัม) กับพอลิเมอร์ A (0.0297 กรัม) ในสารละลายผสมระหว่าง CD_3OD กับ D_2O อัตราส่วน 15 ต่อ 1 โดยปริมาตร

3.3.9.6 ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี หาความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุด (λ_{max}) ของพอลิเมอร์ A โดยละลายในสารละลายผสมระหว่าง CH_3OH กับ H_2O อัตราส่วน 15 ต่อ 1 โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตร และสารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ทรินส์ที่สังเคราะห์จากพอลิเมอร์ A (อยู่ในรูปสารละลายอยู่แล้ว) โดยสแกนตั้งแต่ความยาวคลื่น 200 ถึง 500 นาโนเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

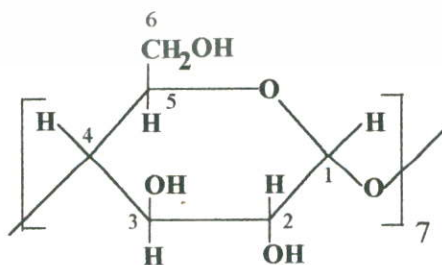
4.1 เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว มีความเป็นผลึก แสดงดังรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยกลูโคส 7 หน่วย เชื่อมต่อกันเป็นวง มีสูตรอย่างง่ายคือ $C_{42}H_{70}O_{35}$ มีน้ำอยู่ในองค์ประกอบ 10 ถึง 13 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.1 เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินละลายในน้ำ ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ มีจุดหลอมเหลว 302 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก จ รูปที่ 1) อุณหภูมิการสลายตัว 302 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ฉ รูปที่ 1) FT-IR (KBr, cm^{-1}): 3384 (vs, ν_{O-H}), 2927 (s, ν_{C-H}), 1157, 1079, 1029 (vs, ν_{C-O}) (ภาคผนวก ค รูปที่ 1) ^{13}C CP/MAS NMR (δ , ppm): 103 (C-1), 81 (C-4), 60 (C-6), 73 (C-2,3,5) (ภาคผนวก ง รูปที่ 1) ตำแหน่งคาร์บอนแสดงดังรูปที่ 4.2) UV-Visible (H_2O , λ_{max} , nm) 293 (รูปที่ 4.24)



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งคาร์บอนในโครงสร้างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 พอลิเมทิลเมทาไครเลต พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ และ พอลิเมอร์ A

4.2.1 พอลิเมทิลเมทาไครเลต

พอลิเมทิลเมทาไครเลตที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะแข็ง ใส แต่เปราะ แสดงดังรูปที่ 4.3 ละลายในคลอโรฟอร์ม เตตระไฮโดรฟูแรน และโทลูอีน มีอุณหภูมิการสลายตัวประมาณ 250 (อุณหภูมิการสลายตัวของสายโซ่กิ่ง, CH_3OOC) และ 350 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิการสลายตัวของสายโซ่หลัก) (ภาคผนวก ข รูปที่ 14 ถึง 17) FT-IR (film, cm^{-1}): 2951 (s, $\nu_{\text{C-H}}$), 1719 (vs, $\nu_{\text{C=O}}$), 1149, 1201 (vs, $\nu_{\text{C-O}}$) (ภาคผนวก ค รูปที่ 2)



รูปที่ 4.3 พอลิเมทิลเมทาไครเลต

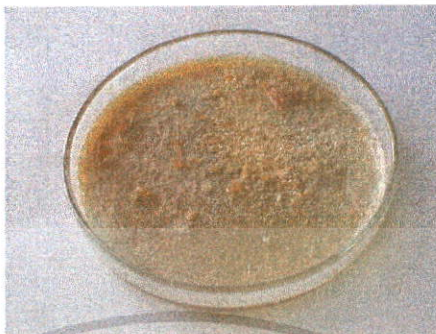
จากการสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาไครเลต ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมทิลเมทาไครเลต

| สาร | ปริมาณผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์) | น้ำหนักโมเลกุล โดยจำนวน (Mn) | น้ำหนักโมเลกุล โดยน้ำหนัก (Mw) | การกระจายน้ำหนัก โมเลกุล (MWD) |
|-------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| PMMA1 | 6 | 10210 | 18960 | 1.86 |
| PMMA2 | 26 | 11750 | 17010 | 1.45 |
| PMMA3 | 27 | 14740 | 21940 | 1.49 |
| PMMA4 | 92 | 18270 | 25370 | 1.39 |

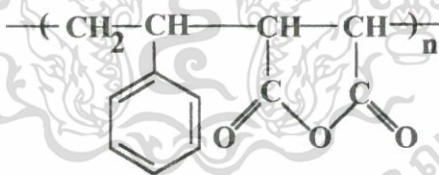
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์



รูปที่ 4.4 พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์

พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ [28] โดยค่า reactivity ratio (r_1 (มาลิกแอนไฮไดรด์) = 0.05 และ r_2 (สไตรีน) = 0.05 มีลักษณะเป็นของแข็ง สีไม่เปรอะ สีส้มน้ำตาล แสดงดังรูปที่ 4.4 ละลายในเมทานอล, เตตระไฮโดรฟูแรน, ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และไดเมทิลซัลโฟไซด์ FT-IR (KBr, cm^{-1}): 3055, 3027 (s, $\nu_{\text{C-H}}$, aromatic), 2930 (s, $\nu_{\text{C-H}}$, aliphatic), 1717, 1645 (vs, $\nu_{\text{C=O}}$), 1601 (s, $\nu_{\text{C=C}}$, aromatic) (ภาคผนวก ค รูปที่ 3)



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์

จากการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์
ร่วมสไตรีน-มาลิกอนไฮโดรด์

| สาร | ปริมาณผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์) | น้ำหนักโมเลกุล โดยจำนวน (Mn) | น้ำหนักโมเลกุล โดยน้ำหนัก (Mw) | การกระจายน้ำหนัก โมเลกุล (MWD) |
|-------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| PSMA1 | 82 | 1800 | 2370 | 1.31 |
| PSMA2 | 80 | 2200 | 2880 | 1.30 |
| PSMA3 | 90 | 3000 | 3940 | 1.32 |
| PSMA4 | 88 | 4150 | 5490 | 1.32 |

4.2.3 พอลิเมอร์ A

พอลิเมอร์ A ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว แสดงดังรูปที่ 4.6 ละลายใน
เมทานอล $^1\text{H NMR}$ (CD_3OD , ppm): 6.95-7.40 (br, aromatic), 2.95 (br, $-\text{CH}_2-\text{NH}$), 2.28
(br, $-\text{CH}_2-\text{COOH}$), 1.39 (br, $-(\text{CH}_2)_8-$) (ภาคผนวก ง รูปที่ 2 ถึง 5)



รูปที่ 4.6 พอลิเมอร์ A

ปริมาณพอลิเมอร์ A ที่สังเคราะห์จากพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกอนไฮโดรด์ น้ำหนัก
โมเลกุลต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์ของพอลิเมอร์ A

| สาร | ปริมาณผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์) |
|--------------|----------------------------------|
| พอลิเมอร์ A1 | 59 |
| พอลิเมอร์ A2 | 55 |
| พอลิเมอร์ A3 | 40 |
| พอลิเมอร์ A4 | 33 |

จากการสังเคราะห์พอลิเมอร์ A กรด 11-อะมิโนอินเดคาโนอิกจะต่อกับหมู่คาร์บอนิลของหน่วยมาลลิกแอนไฮไดรต์ในพอลิเมอร์รวมสไตรีน-มาลลิกแอนไฮไดรต์ โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 4.7



โดย M ประกอบด้วย $(M_1)_{y-z}$ หรือ $(M_2)_z$

M_1 คือ มาลลิกแอนไฮไดรต์

M_2 คือ มาลลิกแอนไฮไดรต์ที่ทำปฏิกิริยากับกรด 11-อะมิโนอินเดคาโนอิก

S คือ สไตรีน

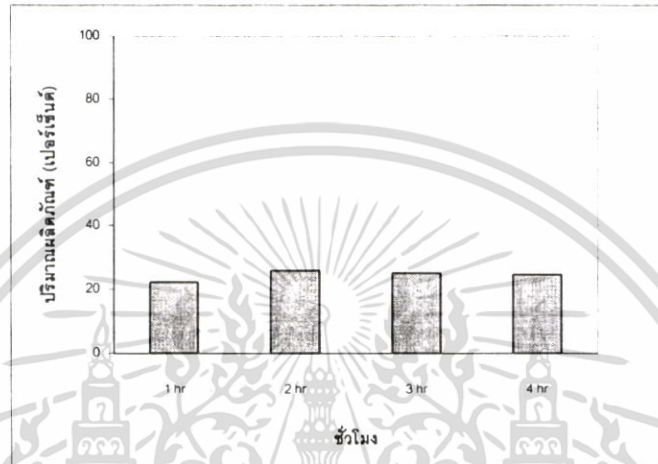
รูปที่ 4.7 โครงสร้างของพอลิเมอร์ A

จากโครงสร้างพอลิเมอร์ A ค่า X, Y, Z และ Y-Z โดยประมาณมีค่าดังนี้ 0.5, 0.5, 0.12-0.17 และ 0.33-0.38 โดยคำนวณจาก $^1\text{H NMR}$ ของพอลิเมอร์ A ทั้ง 4 ตัว (ภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

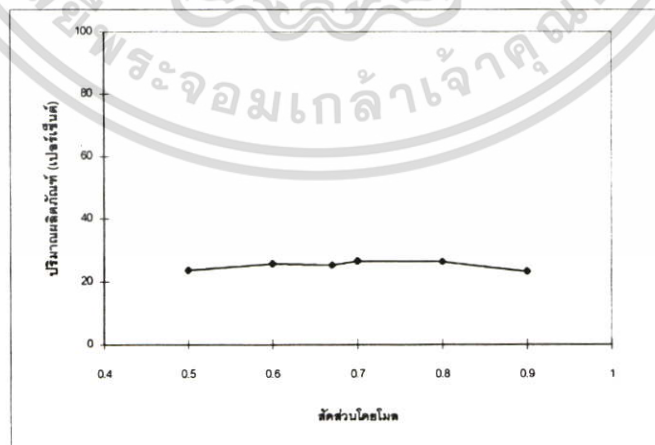
4.3 ผลของเวลาการบั่นทอน และปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ทรินส์

สารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ทรินส์ที่สังเคราะห์จากสไตรีนมอนอเมอร์ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว พบว่าเมื่อทำการสังเคราะห์โดยใช้เวลาในการบั่นทอน 1 2 3 และ 4 ชั่วโมง ปริมาณสารเชิงซ้อนที่ได้ไม่แตกต่างกัน อยู่ระหว่าง 22 ถึง 26 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ปริมาณ Styrene-CD-IC ที่เวลาการบั่นทอนต่างๆ

เมื่อทำการสังเคราะห์โดยเปลี่ยนสัดส่วนโดยโมลของสไตรีนมอนอเมอร์ที่ใช้สังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ทรินส์พบว่า ปริมาณสารเชิงซ้อนค่อนข้างคงที่ระหว่าง 23 ถึง 26 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แม้จะเพิ่มปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ปริมาณ Styrene-CD-IC ที่สัดส่วนโดยโมลของสไตรีนมอนอเมอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

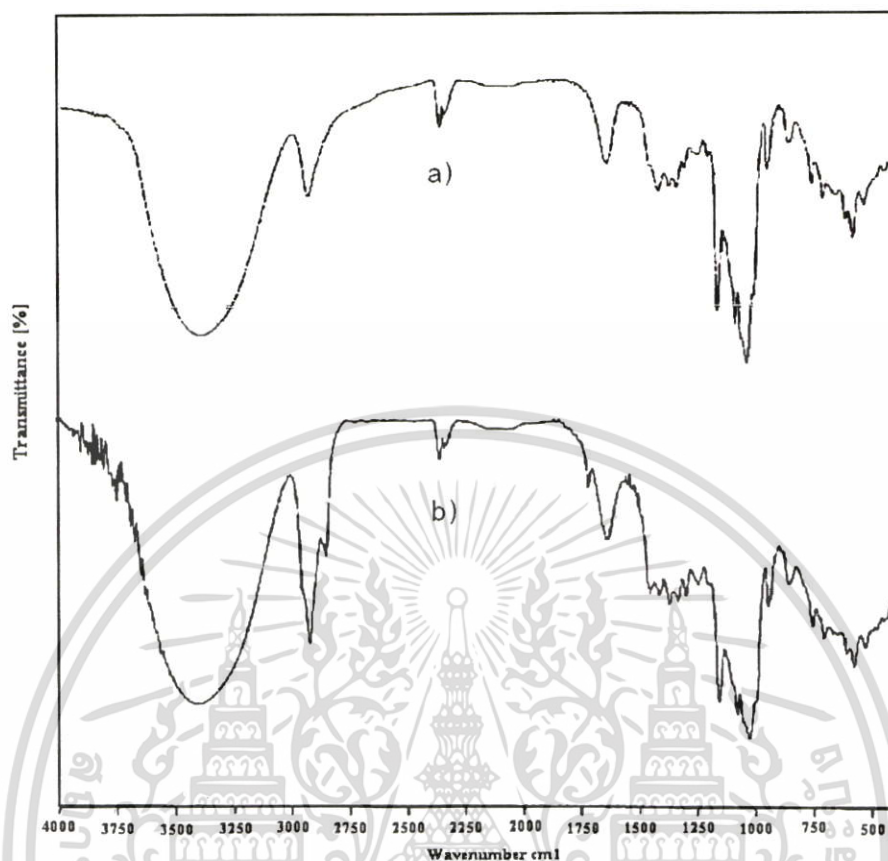
4.4 สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิสไตรีน (Polystyrene- β -Cyclodextrin-Complex, PS-CD-IC)

สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว แสดงดังรูปที่ 4.10 เมื่อทำการวิเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์จากพอลิสไตรีน 1 (PS1) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี แสดงผลดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน 1-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน 1-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน นอกจากมีพิกเหมือนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินแล้ว ยังมีพิกที่ 2965 และ 2854 cm^{-1} เพิ่มขึ้นมา ซึ่งเป็นพิกการยืดของ C-H (ในโครงสร้าง CH_2) ที่อยู่ในโครงสร้างของพอลิสไตรีน แสดงให้เห็นว่ามีพอลิสไตรีน 1 ปนอยู่กับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน โดยสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่สังเคราะห์จากพอลิสไตรีนอีกสามน้ำหนักโมเลกุลก็ให้ผลเช่นเดียวกัน (ภาคผนวก ค รูปที่ 6 ถึง 9)



รูปที่ 4.11 FT-IR สเปกโตรแกรมของ a) เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน และ b) PS1-CD-IC

จากเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีข้างต้นสามารถตั้งสมมุติฐานได้ 2 กรณีคือ พอลิสไตรีนผสมอยู่กับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน หรือพอลิสไตรีนเกิดสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน จึงจำเป็นต้องใช้การทดสอบวิธีและเทคนิคอื่นประกอบ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสารทั้งสองสามารถเกิดสารเชิงซ้อนซึ่งกันและกัน และเมื่อนำสารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินทั้งสี่ตัวที่สังเคราะห์จากพอลิสไตรีนสี่น้ำหนักโมเลกุลมาทดสอบการละลายให้ผลดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความสามารถในการละลายของ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน พอลิสไตรีน น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ และ PS-CD-IC

| สาร | ตัวทำละลาย | | | | | |
|-----------|------------------|-----|-------------------|-----|------|---------|
| | H ₂ O | DMF | CHCl ₃ | THF | DMSO | Toluene |
| β-CD | ✓ | ✓ | - | - | ✓ | - |
| PS1 | - | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ |
| PS1-CD-IC | ขุ่น | - | - | - | ✓ | ✓ |
| PS2 | - | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ |
| PS2-CD-IC | - | ✓ | - | - | ✓ | ขุ่น |
| PS3 | - | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ |
| PS3-CD-IC | - | ✓ | - | - | ✓ | ขุ่น |
| PS4 | - | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ |
| PS4-CD-IC | - | ✓ | - | - | ✓ | - |

หมายเหตุ ✓ แทน ละลาย
- แทน ไม่ละลาย

เมื่อทำการทดสอบสมบัติการละลายพบว่า เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินละลายในน้ำ ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ ส่วนพอลิสไตรีนละลายในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ คลอโรฟอร์ม เตตระไฮโดรฟูแรน และโทลูอีน แต่สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินละลายในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ จากการละลายที่ต่างกัน สนับสนุนสมมุติฐานว่าพอลิสไตรีนเกิดสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเพิ่มความมีขั้วให้พอลิสไตรีน

สมบัติทางความร้อนได้แก่ จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัว ที่ทดสอบด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (ความคลาดเคลื่อน ± 1 องศาเซลเซียส) และเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (ความคลาดเคลื่อน ± 10 องศาเซลเซียส) ของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน พอลิสไตรีน สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน และบดผสมของพอลิสไตรีนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน แสดงดังตารางที่ 4.5 (ภาคผนวก จ รูปที่ 2 ถึง 8, ภาคผนวก ฉ รูปที่ 2 ถึง 13)

ตารางที่ 4.5 จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัวของ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน พอลิสไตรีน น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ PS-CD-IC และสารผสมของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิสไตรีนน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ

| สาร | จุดหลอมเหลว ¹ (องศาเซลเซียส) | อุณหภูมิการสลายตัว ² (องศาเซลเซียส) |
|-----------|--|---|
| β-CD | 302 | 302 |
| PS1 | - | 80 ³ |
| PS1-CD-IC | 291 | 284 |
| บดผสม | - | 85 ⁴ , 291 |
| PS2 | - | 387 |
| PS2-CD-IC | 287 | 287 |
| บดผสม | 300 | 289, 378 |
| PS3 | - | 367 |
| PS3-CD-IC | 270 | 283 |
| บดผสม | 311 | 296, 380 |
| PS4 | - | 368 |
| PS4-CD-IC | 271 | 284 |
| บดผสม | 311 | 296, 384 |

- หมายเหตุ - แทน ไม่สามารถหาได้
- 1 ผลจากการทดสอบด้วยเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์
 - 2 ผลจากการทดสอบด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์
 - 3,4 อุณหภูมิเริ่มสลายตัว

จากการทดสอบพบว่า สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินทุกตัว มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินประมาณ 11 ถึง 22 องศาเซลเซียส แต่สารบดผสมของพอลิสไตรีนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าและมีค่าใกล้เคียงกับไซโคลเด็กซ์ทริน (ไม่พบจุดหลอมเหลวของพอลิสไตรีนเพราะมีฐานวิทยาเป็นแบบอสัญฐาน)

นอกจากนี้ สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินทุกตัวมีอุณหภูมิการสลายตัวเดียวและต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ประมาณ 15 ถึง 19 องศาเซลเซียส แต่สารบดผสมของพอลิ

สไตรีนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินพบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัวของอนุกรม โดยค่าแรกมีค่าใกล้เคียงกับไซโคลเด็กซ์ตริน ส่วนค่าที่สองมีค่าใกล้เคียงกับพอลิสไตรีน

จากการลดลงของจุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเมื่อเกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิสไตรีน แสดงให้เห็นว่า พอลิสไตรีนทำให้เสถียรภาพทางความร้อนของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินลดลง หรือสารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินส์มีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน

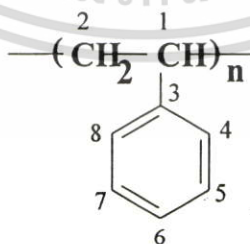
เทคนิคสุดท้ายที่ใช้ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินคือ นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี ชนิดของแข็ง โดยสเปกโตรแกรมแสดงดังรูปที่ 4.13 ให้ผลดังนี้

สเปกตรัมของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน จากรูปที่ 4.13 a) ^{13}C CP/MAS NMR (δ , ppm): 103 (C-1), 81 (C-4), 60 (C-6), 73 (C-2, C-3, C-5) (ภาคผนวก ง รูปที่ 1, ตำแหน่งคาร์บอนของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินแสดงดังรูปที่ 4.2)

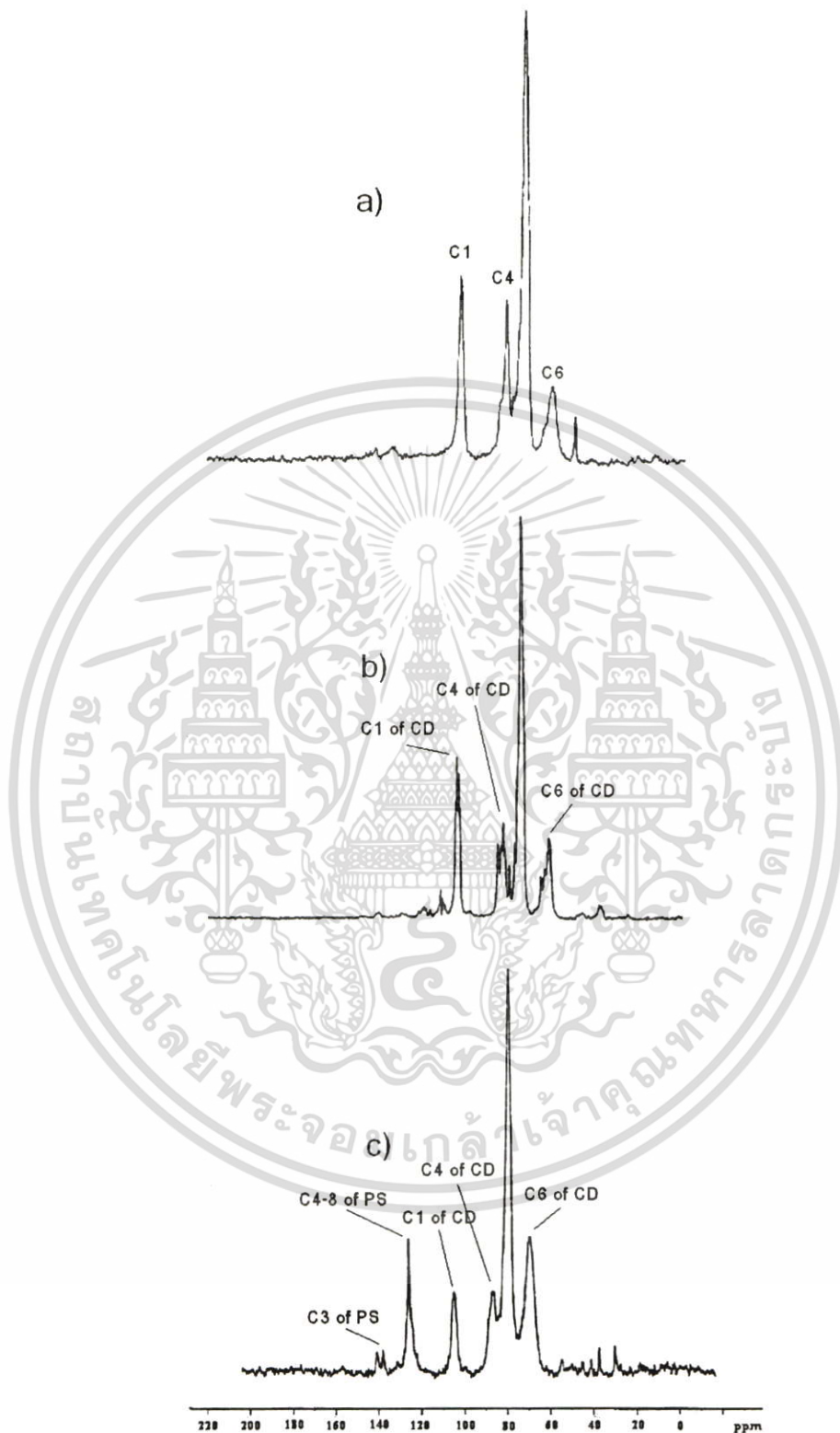
สเปกตรัมของสารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน จากรูปที่ 4.13 b) ^{13}C CP/MAS NMR (δ , ppm): 103 (C-1 of β -CD), 81 (C-4 of β -CD), 60 (C-6 of β -CD), 73 (C-2, C-3, C-5 of β -CD) (ภาคผนวก ง รูปที่ 7, ตำแหน่งคาร์บอนของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินแสดงดังรูปที่ 4.2)

สเปกตรัมของสารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน จากรูปที่ 4.13 c) ^{13}C MAS NMR (δ , ppm): 103 (C-1 of β -CD), 81 (C-4 of β -CD), 61 (C-6 of β -CD), 146 (C-3 of PS1), 128 (C-4, C-5, C-7, C-8 of PS1), 103 (C-6 of PS1), 23 (C-1 of PS1), 14 (C-2 of PS1) (ภาคผนวก ง รูปที่ 6, ตำแหน่งคาร์บอนของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินแสดงดังรูปที่ 4.2 และตำแหน่งคาร์บอนของพอลิสไตรีนแสดงดังรูปที่ 4.12)

สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินที่เกิดจากพอลิสไตรีนอีก 3 น้ำหนักโมเลกุลก็ให้ผลเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.12 ตำแหน่งคาร์บอนในโครงสร้างพอลิสไตรีน



รูปที่ 4.13 NMR สเปกตรัมของ a) ^{13}C CP/MAS NMR ของ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน b) ^{13}C

CP/MAS NMR ของ PS1-CD-IC และ c) ^{13}C MAS NMR ของ PS1-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

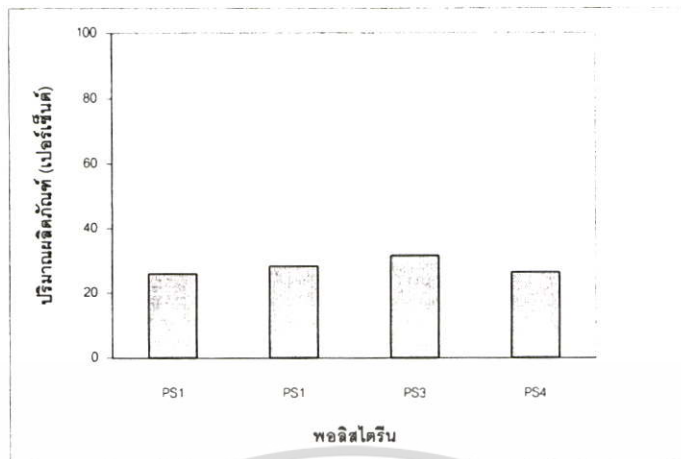
^{13}C MAS NMR สเปกตรัม แสดงให้เห็นว่ามีเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินอยู่ในสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตริน แต่ไม่พบพีกของพอลิสไตรีนใน ^{13}C CP/MAS NMR สเปกตรัม เนื่องจากพอลิสไตรีนที่อยู่ในรูปสารเชิงซ้อนอาจเคลื่อนไหวได้ง่าย (mobile) หรือมีปริมาณน้อย หรือ contact pulse ที่ใช้ไม่ทำให้เกิดคลอสโพลาร์ไรซ์ของพอลิสไตรีน นอกจากนี้พีกของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินมีการแยก (split) ของพีก โดยเฉพาะพีกที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 4 ซึ่งเป็นคาร์บอนที่ตำแหน่งพันธะไกลโคซิดิก แสดงให้เห็นว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินที่อยู่ในรูปสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินมีสมมาตรของโครงสร้างลดลง (symmetric conformation) ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของจุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัว

จากการทดสอบด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี สมบัติการละลาย จุดหลอมเหลว อุณหภูมิการสลายตัว และสุดท้ายผลจากเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี สรุปได้ว่า เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิสไตรีน และสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่ได้มีสภาพขั้วมากกว่าพอลิสไตรีน โดยเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเกิดสารเชิงซ้อนที่บริเวณกิ่งของพอลิสไตรีน (วงแหวนเบนซีน) [3] เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินไม่จำเป็นต้องเกิดสารเชิงซ้อนกับทุกวงแหวนเบนซีน แบบจำลองโครงสร้างของสารเชิงซ้อนแสดงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งให้ความแข็งแรงของสารเชิงซ้อนต่ำ เมื่อเทียบกับกรณีไซโคลเด็กซ์ตรินคล้องในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์



รูปที่ 4.14 แบบจำลองโครงสร้างสารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน

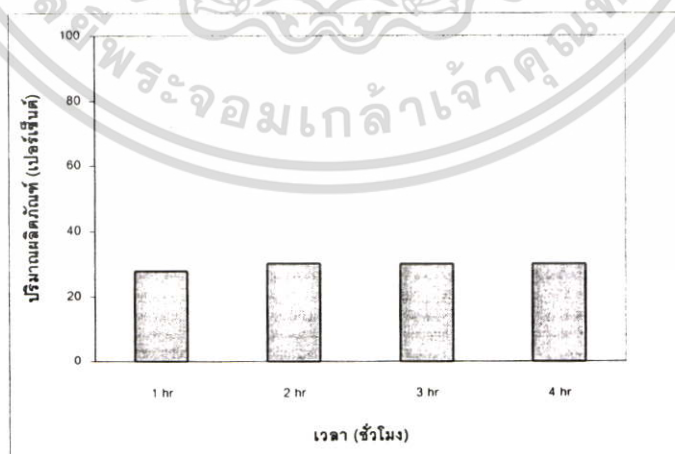
ปริมาณสารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน ที่สังเคราะห์จากพอลิสไตรีนน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.15 พบว่า น้ำหนักโมเลกุลที่ต่างกันของพอลิสไตรีนไม่มีผลมากนักต่อปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ โดยปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์อยู่ระหว่าง 26 ถึง 31 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.15 ปริมาณ PS-CD-IC ที่สังเคราะห์จากพอลิสไตรีนน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ

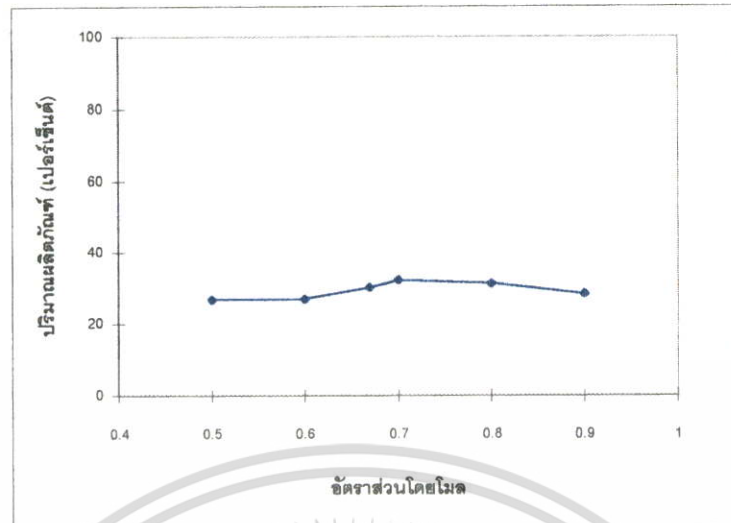
4.5 ผลของเวลาการปั่นกวน และปริมาณเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ต่อปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

สารเชิงซ้อนเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว พบว่าเมื่อทำการสังเคราะห์โดยใช้เวลาในการปั่นกวน และปริมาณเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ต่างกัน ปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินที่สังเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยกรณีเวลาที่ใช้ในการปั่นกวน 1 2 3 และ 4 ชั่วโมง ปริมาณสารเชิงซ้อนอยู่ระหว่าง 28 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และกรณีปริมาณเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ต่างกัน ปริมาณสารเชิงซ้อนอยู่ระหว่าง 27 ถึง 32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 ปริมาณ MMA-CD-IC ที่เวลาในการปั่นกวนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ปริมาณMMA-CD-IC ที่สกัดส่วนโดยโมลของเมทิลเมทาโครเลตต่างๆ

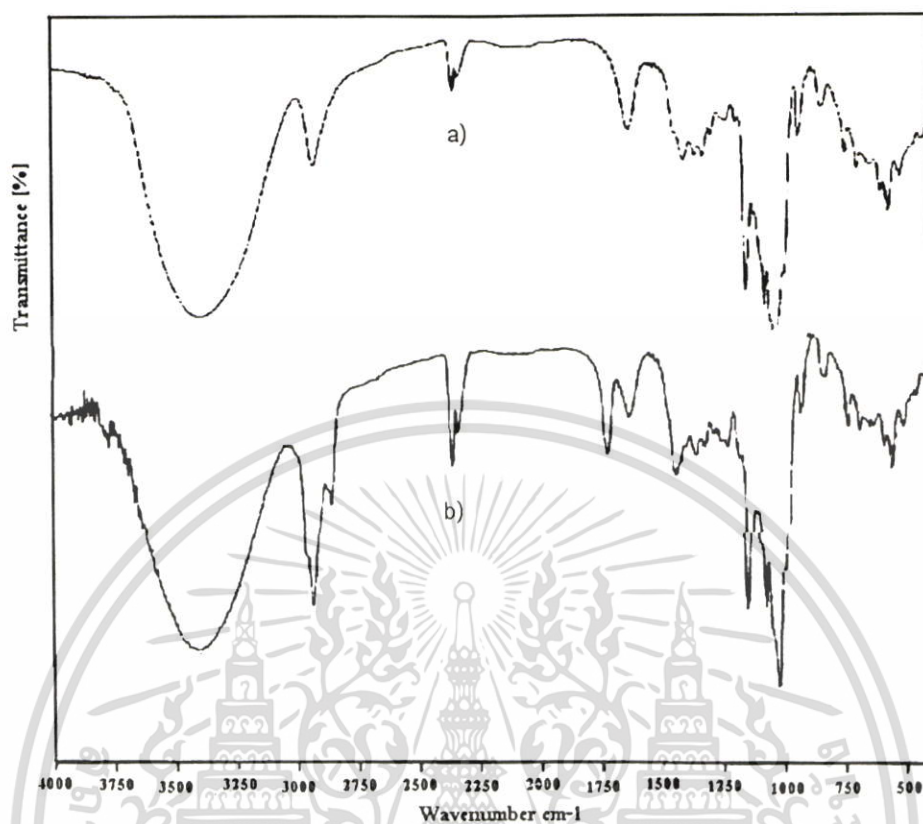
4.6 สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิเมทิลเมทาโครเลต (Poly(methyl methacrylate)- β -Cyclodextrin-Complex, PMMA-CD-IC)

สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว ดังรูปที่ 4.18 เมื่อทำการวิเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์จากพอลิเมทิลเมทาโครเลต1 (PMMA1) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี แสดงผลดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต1-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 FT-IR สเปกโตรแกรมของ a) เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน และ b) PMMA-CD-IC

สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาไครเลต1-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน นอกจากมีพิกเหมือนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินแล้ว ยังมีพิกที่ 2960, 2857 cm^{-1} เป็นการยืดของ C-H (ในโครงสร้าง CH_2) และพิก 1731 cm^{-1} เป็นการยืดของ C=O เพิ่มขึ้นมา ซึ่งเป็นพิกเอกลักษณ์ของโครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาไครเลต แสดงให้เห็นว่ามีพอลิเมทิลเมทาไครเลต 1 ปนอยู่กับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน โดยสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่สังเคราะห์จากพอลิเมทิลเมทาไครเลตอีกสามน้ำหนักโมเลกุลก็ให้ผลเช่นเดียวกัน (ภาคผนวก ค รูปที่ 10 ถึง 13)

จากเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีข้างต้น สามารถตั้งสมมุติฐานได้ 2 กรณีคือ พอลิเมทิลเมทาไครเลตผสมอยู่กับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน หรือพอลิเมทิลเมทาไครเลตเกิดสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน ซึ่งต้องใช้วิธีและเทคนิคอื่นที่ใช้ประกอบเพื่อเป็นการยืนยันว่าสารทั้งสองสามารถเกิดสารเชิงซ้อนซึ่งกันและกัน และเมื่อนำสารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาไครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินทั้งสี่ตัวที่สังเคราะห์จากพอลิเมทิลเมทาไครเลตน้ำหนักโมเลกุลมาทดสอบการละลายให้ผลดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความสามารถในการละลายของ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน พอลิเมทิลเมทาไครเลตน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ และ PMMA-CD-IC

| สาร | ตัวทำละลาย | | | | | |
|-------------|------------------|-----|-------------------|------|------|---------|
| | H ₂ O | DMF | CHCl ₃ | THF | DMSO | toluene |
| β-CD | ✓ | ✓ | - | - | ✓ | - |
| PMMA1 | - | - | ✓ | ✓ | - | ✓ |
| PMMA1-CD-IC | - | ✓ | ขุ่น | ขุ่น | ✓ | ขุ่น |
| PMMA2 | - | - | ✓ | ✓ | - | ✓ |
| PMMA2-CD-IC | - | ✓ | - | - | ✓ | - |
| PMMA3 | - | - | ✓ | ✓ | - | ✓ |
| PMMA3-CD-IC | - | ✓ | - | - | ✓ | - |
| PMMA4 | - | - | ✓ | ✓ | - | ✓ |
| PMMA4-CD-IC | - | ✓ | - | - | ✓ | - |

หมายเหตุ ✓ แทน ละลาย
- แทน ไม่ละลาย

เมื่อทำการทดสอบสมบัติการละลายพบว่า เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินละลายในน้ำ ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ ส่วนพอลิเมทิลเมทาไครเลตละลายในคลอโรฟอร์ม เตตระไฮโดรฟูแรน และโทลูอีน แต่สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาไครเลต-เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินละลายในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ จากการละลายที่ต่างกัน สนับสนุนสมมุติฐานว่าพอลิเมทิลเมทาไครเลตเกิดสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเพิ่มความมีขั้วให้กับพอลิเมทิลเมทาไครเลต

สมบัติทางความร้อนได้แก่ จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัว ที่ทดสอบด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนิงแคลอริมิเตอร์ (ความคลาดเคลื่อน ± 1 องศาเซลเซียส) และเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาลาเซอร์ (ความคลาดเคลื่อน ± 10 องศาเซลเซียส) ของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน พอลิเมทิลเมทาไครเลต สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาไครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และบดผสมของพอลิเมทิลเมทาไครเลตกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัวของ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน พอลิเมทิลเมทาไครเลตน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ PMMA-CD-IC และสารผสมของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิเมทิลเมทาไครเลตน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ

| สาร | จุดหลอมเหลว ¹ (องศาเซลเซียส) | อุณหภูมิการสลายตัว ² (องศาเซลเซียส) |
|-------------|--|---|
| β-CD | 302 | 302 |
| PMMA1 | - | 249, 352 |
| PMMA1-CD-IC | 277 | 271 |
| บดผสม | 296 | 250, 295, 356 |
| PMMA2 | - | 252, 353 |
| PMMA2-CD-IC | 282 | 270 |
| บดผสม | 304 | 247, 285, 346 |
| PMMA3 | - | 248, 349 |
| PMMA3-CD-IC | 277 | 280 |
| บดผสม | 294 | 250, 288, 351 |
| PMMA4 | - | 250, 347 |
| PMMA4-CD-IC | 274 | 273 |
| บดผสม | 298 | 251, 302, 359 |

หมายเหตุ - แทน ไม่สามารถหาได้

- 1 ผลจากการทดสอบด้วยเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์
- 2 ผลจากการทดสอบด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาลิเซอร์

จากการทดสอบพบว่า สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาไครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินทุกตัวมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินประมาณ 20 ถึง 28 องศาเซลเซียส แต่สารบดผสมของพอลิเมทิลเมทาไครเลตกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า และมีค่าใกล้เคียงกับไซโคลเด็กซ์ทริน (ไม่พบจุดหลอมเหลวของพอลิเมทิลเมทาไครเลตเพราะมีสัณฐานวิทยาเป็นแบบอสัณฐาน)

นอกจากนี้ สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาไครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินทุกตัวมีอุณหภูมิการสลายตัวเดียว และต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ประมาณ 22 ถึง 32 องศาเซลเซียส แต่สารบดผสมของพอลิเมทิลเมทาไครเลตกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินพบว่า มีอุณหภูมิการสลายตัวสาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การแจ้งขึ้นเพื่อการค้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ โดยค่าที่สองมีค่าใกล้เคียงกับไซโคลเด็กซ์ตริน ส่วนค่าแรกและค่าที่สามมีค่าใกล้เคียงกับ พอลิเมทิลเมทาโครเลต (ค่าแรกคือการสลายของสายโซ่กิ่ง ส่วนค่าที่สองเป็นการสลายตัวของสายโซ่หลัก)

จากการลดลงของจุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเมื่อเกิด สารเชิงซ้อนกับพอลิเมทิลเมทาโครเลต แสดงให้เห็นว่า พอลิเมทิลเมทาโครเลตทำให้เสถียรภาพทาง ความร้อนของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินลดลง หรือสารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินมีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน (เช่นเดียวกับสารเชิงซ้อนพอลิ สไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน)

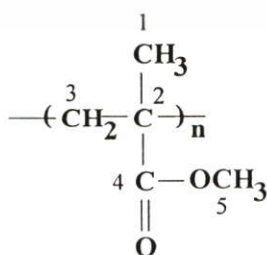
เทคนิคสุดท้ายที่ใช้ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินคือ นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปีชนิดของแข็ง โดยสเปกโตรแกรมแสดงดังรูปที่ 4.21 ให้ผลดังนี้

สเปกตรัมของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน จากรูปที่ 4.21 a) ^{13}C CP/MAS NMR (δ , ppm): 103 (C-1), 81 (C-4), 60 (C-6), 73 (C-2, C-3, C-5) (ภาคผนวก ง รูปที่ 1, ตำแหน่งคาร์บอนของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินแสดงดังรูปที่ 4.2)

สเปกตรัมของสารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต1-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน จากรูปที่ 4.21 b) ^{13}C CP/MAS NMR (δ , ppm): 102 (C-1 of β -CD), 82 (C-4 of β -CD), 60 (C-6 of β -CD), 73 (C-2, C-3, C-5 of β -CD), 117 (C-4 of PMMA), 52 (C-5 of PMMA), 16 (C2 of PMMA) (ภาคผนวก ง รูปที่ 9, ตำแหน่งคาร์บอนของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินแสดงดังรูปที่ 4.2 และตำแหน่งคาร์บอนของพอลิเมทิลเมทาโครเลตแสดงดังรูปที่ 4.20)

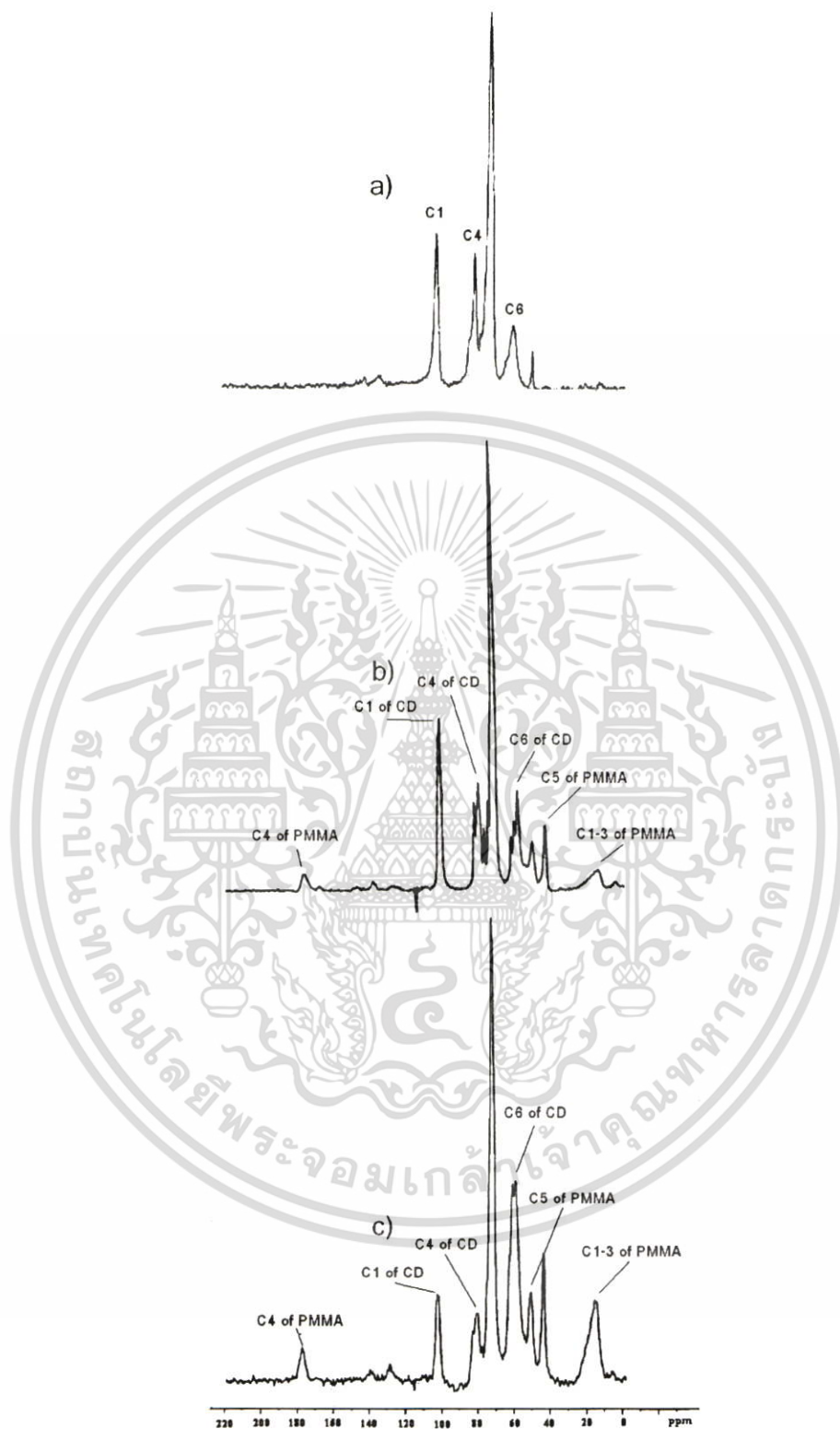
สเปกตรัมของสารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต1-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน จากรูปที่ 4.21 c) ^{13}C MAS NMR (δ , ppm): 102 (C-1 of β -CD), 82 (C-4 of β -CD), 60 (C-6 of β -CD), 73 (C-2, C-3, C-5 of β -CD), 117 (C-4 of PMMA), 52 (C-5 of PMMA), 17 (C2 of PMMA) (ภาคผนวก ง รูปที่ 8)

สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินที่เกิดจากพอลิเมทิลเมทาโครเลตอีก 3 น้ำหนักโมเลกุลก็ให้ผลเช่นเดียวกัน



รูปที่4.20 ตำแหน่งคาร์บอนในโครงสร้างพอลิเมทิลเมทาโครเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



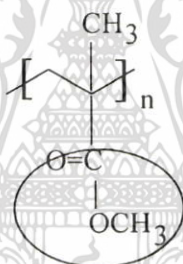
รูปที่ 4.21 NMR สเปกตรัมของ a) ^{13}C CP/MAS spectra ของ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน

b) ^{13}C CP/MAS spectra ของ PMMA1-CD-IC และ c) ^{13}C MAS spectra ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

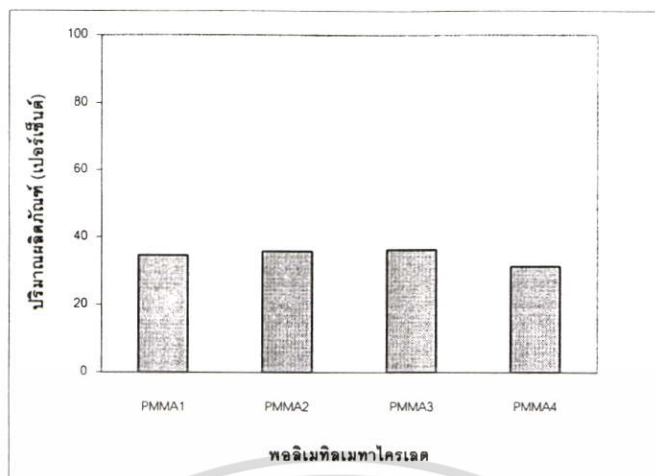
^{13}C MAS NMR และ ^{13}C CP/MAS NMR สเปกตรัม แสดงให้เห็นว่ามีเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และพอลิสไตรีนอยู่ในสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทริน นอกจากนี้จาก ^{13}C CP/MAS NMR สเปกตรัม พิกของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีการแยก (split) ของพิก โดยเฉพาะพิกของคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 4 ซึ่งเป็นคาร์บอนที่ตำแหน่งพันธะไกลโคซิดิก แสดงให้เห็นว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่อยู่ในรูปสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินมีสมมาตรของโครงสร้าง (symmetric conformation) ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของจุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัว

จากการทดสอบด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี การละลายจุดหลอมเหลว อุณหภูมิการสลายตัว และเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี สรุปได้ว่า เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิเมทิลเมทาโครเลต โดยเกิดที่บริเวณกิ่ง [4] เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินไม่จำเป็นต้องเกิดสารเชิงซ้อนกับทุกกิ่งของพอลิเมทิลเมทาโครเลต และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเพิ่มความมีขั้วให้กับพอลิเมทิลเมทาโครเลต โครงสร้างจำลองแสดงดังรูปที่ 4.22 และพันธะระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิเมทิลเมทาโครเลตมีความแข็งแรงกว่าพันธะระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิสไตรีน



รูปที่ 22 แบบจำลองโครงสร้างสารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

ปริมาณสารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ที่สังเคราะห์จากพอลิเมทิลเมทาโครเลตน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.23 พบว่าน้ำหนักโมเลกุลที่ต่างกันของพอลิเมทิลเมทาโครเลตไม่มีผลต่อปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทริน (31 ถึง 36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)



รูปที่ 4.23 ปริมาณ PMMA-CD-IC ที่สังเคราะห์จากพอลิเมทิลเมทาโครเลตน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ

4.7 สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิเมอร์ A (A- β -Cyclodextrin-Complex, A-CD-IC)

4.7.1 สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน

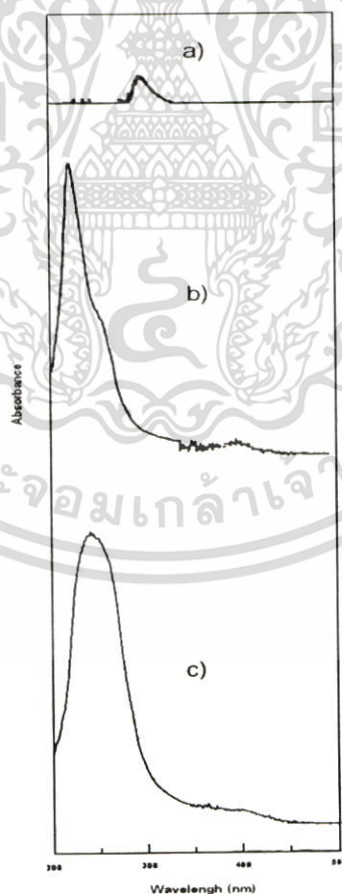
เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-Visible Spectroscopy) และนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี (NMR Spectroscopy) ใช้ในการตรวจสอบการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิเมอร์ A เนื่องจากสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน อยู่ในรูปสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ อัตราส่วน 15 ต่อ 1 มีลักษณะใส ไม่มีสี ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี โดยการทำยูวี-วิสิเบิล สแกน ของสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A2-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน ให้ผลดังรูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุด (λ_{max}) ของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน พอลิเมอร์ A2 และ A2-CD-IC

| สาร | λ_{max} (nm) |
|-----------------------|----------------------|
| เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน | 293 |
| A2 | 225 |
| A2-CD-IC | 243 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

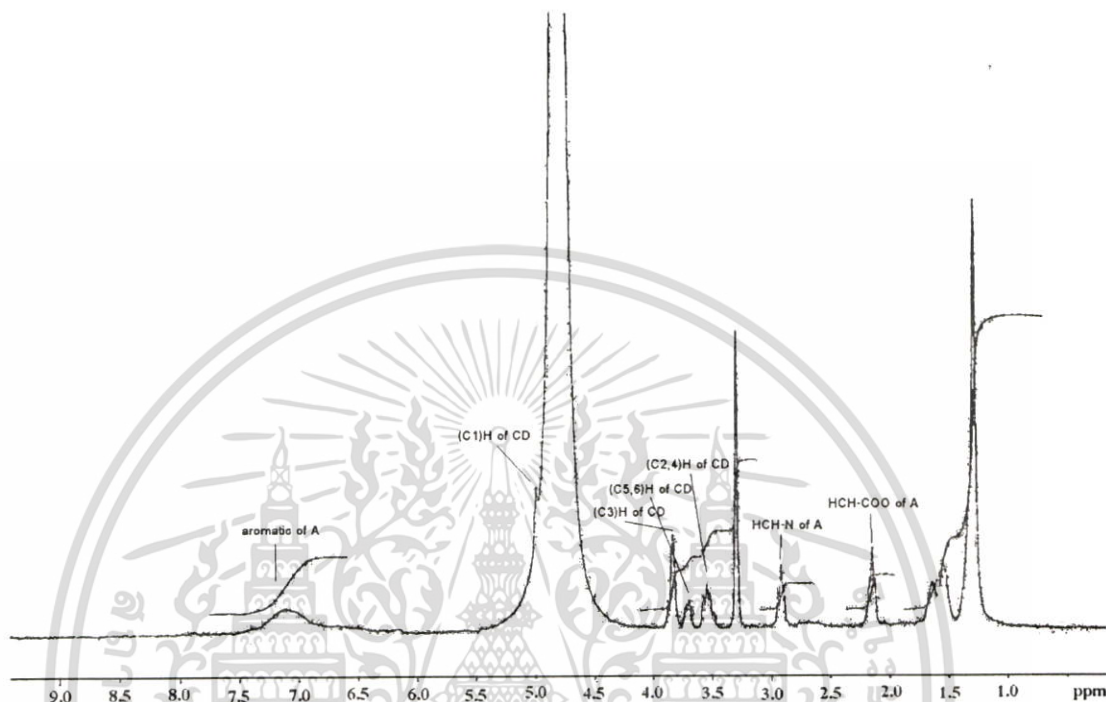
พอลิเมอร์ A (A2) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครโมฟอร์ (chromophore) เป็นหมู่คาร์บอนิล (C=O) และวงแหวนเบนซีนในสายโซ่ ซึ่งเป็นหมู่ที่ไม่อิ่มตัว สามารถดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลได้ ส่วนเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินสามารถดูดกลืนแสงได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากในโครงสร้างไม่มีหมู่ที่มีความไม่อิ่มตัวอยู่ แต่เมื่อสารทั้งสองชนิดเกิดสารเชิงซ้อนกันพบว่า สเปกตรัมการดูดกลืนเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดบาโทโครมิคชิฟท์ (Bathochromic Shift หรือ red shift) สเปกตรัมการดูดกลืนสูงสุดเปลี่ยนตำแหน่งไปทางความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น (λ_{max} เพิ่ม) คือ เกิดการเลื่อนตำแหน่งของความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุด (λ_{max}) จาก 225 นาโนเมตร (พอลิเมอร์ A2 รูปที่ 4.16 b, ซึ่งเป็นการดูดกลืนของหมู่เบนซีนในโครงสร้างพอลิเมอร์ A เป็นการเปลี่ยนระดับพลังงานของออร์บิทัลที่อยู่สถานะพื้น (ground state orbital) แบบ pi molecular orbital (π -bonding, π) เป็นสถานะกระตุ้น (excited state orbital or antibonding orbital) แบบ pi star antibonding, π^*) [29] เป็น 243 นาโนเมตร (สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A2-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน รูปที่ 4.16 c) นอกจากนี้แถบของสเปกตรัมของสารเชิงซ้อนจะกว้างขึ้น



รูปที่ 4.24 ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรแกรมของ a) เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน b) A2 และ c) A2-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดสอบด้วยเทคนิคโปรตอน-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี โดยละลายสารผสมระหว่างเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิเมอร์ A ในสารละลายผสมระหว่าง CD_3OD กับ D_2O อัตราส่วน 15 ต่อ 1 โดยปริมาตร ให้ผลดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 1H NMR สเปกตรัมของ A2-CD-IC

สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A2-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ให้ผลดังนี้ 1H NMR (CD_3OD : D_2O , ppm): 6.9-7.3 (br, aromatic of A), 2.9 (br, $-CH_2-NH$ of A), 2.2 (br, $-CH_2-COOH$ of A), 5.0 (s, CH (C-1) of β -CD), 3.8 (s, CH (C-3) of β -CD) (ภาคผนวก ง รูปที่ 10, ตำแหน่งคาร์บอนอะตอมของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินแสดงดังรูปที่ 4.2, โครงสร้างพอลิเมอร์ A แสดงดังรูปที่ 4.7)

จากการทดสอบการละลายพบว่า เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินไม่สามารถละลายในสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ อัตราส่วน 15 ต่อ 1 [1] แต่เมื่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์ A2 ทำให้เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินสามารถละลายได้ในสารละลายผสมดังกล่าว โดยแสดงผลให้เห็นใน 1H NMR สเปกตรัม ในสถานะสารละลายว่ามีเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินผสมอยู่กับพอลิเมอร์ A2 ด้วย อาจกล่าวได้ว่าเวลาที่เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์ A2 เป็นการเพิ่มสมบัติการละลายของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A2-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่เกิดขึ้น ยังไม่สามารถระบุได้ว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดอันตรกิริยาที่ส่วนใดในโครงสร้างของพอลิเมอร์ A2 ดังนั้นจึงทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ 2 (ยังไม่ตัดแปลงพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ด้วยกรด 11-อะมิโนอันเดคาโนอิก) กับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน โดยใช้วิธีการสังเคราะห์เหมือนการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A2-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และทำยววิวิธีเบิลสแกน ให้ผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุด (λ_{max}) ของพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ 2 และสารผสมระหว่างพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์กับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

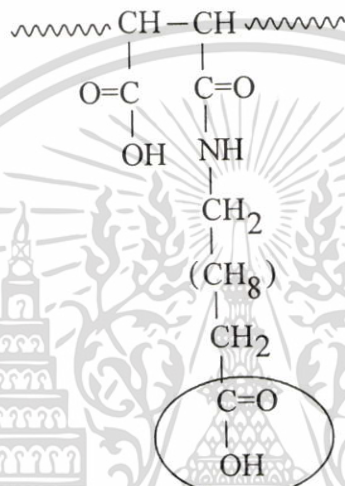
| สาร | λ_{max} (nm) |
|--------------------|----------------------|
| PSMA2 | 246 |
| PSMA2+ β -CD | 244 |

จากผลการทำยววิวิธีเบิลสแกน พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากของความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุด (เลื่อนตำแหน่งไป 2 นาโนเมตร) อาจถือว่าไม่เกิดการเลื่อนตำแหน่ง และการเลื่อนตำแหน่งนั้นยังเป็นการเลื่อนตำแหน่งไปที่ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุดลดลงด้วย ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินไม่เกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ 2 แต่เมื่อทำการตัดแปลงพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ 2 ด้วยกรด 11-อะมิโนอันเดคาโนอิก (พอลิเมอร์ A2) แล้วทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเห็นการเปลี่ยนตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุดชัดเจน (เลื่อนตำแหน่งไป 18 นาโนเมตร) และเกิดการเลื่อนตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุดเป็นแบบบาโทโครมิคชิฟท์ จึงสรุปว่าตำแหน่งที่เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์ A2 คือ ตำแหน่งที่กรด 11-อะมิโนอันเดคาโนอิกต่อกับมาลิกแอนไฮไดรด์

การเลื่อนตำแหน่งของความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุดของพอลิเมอร์ A จากความยาวคลื่นน้อย (ความถี่มาก มีพลังงานมาก) ไปเป็นความยาวคลื่นมาก (ความถี่น้อย มีพลังงานน้อย) เมื่อเกิดสารเชิงซ้อน แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ A2 ใช้พลังงานในการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state) มากกว่าพอลิเมอร์ A2 เมื่ออยู่ในรูปสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน โดยการดูดกลืนของสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A2-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน เป็นการเปลี่ยนระดับพลังงานของอเล็กตรอนในออร์บิทัลที่อยู่สถานะพื้นแบบ non-atomic orbital (π -bonding, non-bonding, n) เป็นสถานะกระตุ้นแบบ pi star antibonding, π^* [29] ซึ่งเกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นใช้ไปจะเห็นผิดในการนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมู่ $C=O$ เกิดพันธะไฮโดรเจนกับไฮโดรเจนอะตอมที่อยู่ภายในช่องว่างของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ทำให้ระดับพลังงาน n-bonding สูงขึ้น พลังงานที่ใช้ดูดกลืนเพื่อเปลี่ยนสภาวะลดลง ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุดเพื่อเปลี่ยนระดับพลังงานเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันแรงของพันธะไฮโดรเจนก็มีไม่ค่าสม่ำเสมอหรือคงที่ตลอดทุกหน่วยที่เกิดสารเชิงซ้อน ดังนั้นแถบสเปกตรัมของสารเชิงซ้อนจึงกว้างขึ้น แบบจำลองโครงสร้างสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน แสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 แบบจำลองโครงสร้างสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

พอลิเมอร์ A สีส้ม ที่สังเคราะห์จากพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ สีส้มน้ำหนักโมเลกุล เมื่อเกิดสารเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน แล้ววิเคราะห์ ยูวี-วิสิเบิล สแกน ให้ผลดังตารางที่ 4.10

สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการเลื่อนตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุดของพอลิเมอร์ A (18 ถึง 22 นาโนเมตร) นอกจากนี้พอลิเมอร์ A สีส้มน้ำหนักโมเลกุลเกิดการเลื่อนตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุดในทิศทางเดียวกัน (บาโทโครมิคชิฟท์) ทั้งมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าน้ำหนักโมเลกุลที่ต่างกันของพอลิเมอร์ A ไม่มีผลต่อการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

ตารางที่ 4.10 ความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุด (λ_{\max}) ของ A-CD-IC

| สาร | λ_{\max} (nm) |
|----------|-----------------------|
| A1 | 220 |
| A1-CD-IC | 242 |
| A2 | 225 |
| A2-CD-IC | 243 |
| A3 | 222 |
| A3-CD-IC | 242 |
| A4 | 221 |
| A4-CD-IC | 242 |

4.7.2 ผลของเทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์

ผลของการวิเคราะห์ ยูวี-วิสิเบิล สแกน เพื่อศึกษาการดำเนินไปของการเกิดของสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A2-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน ที่เวลาต่างๆ และเทคนิคการสังเคราะห์ต่างกัน สามวิธี ให้ผลดังตารางที่ 4.11

พบว่า ไม่ว่าจะทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนพอลิเมอร์ A-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน ด้วยเทคนิคใดก็ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินเช่นเดียวกัน โดยสังเกตการเปลี่ยนตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุด (จาก 225 นาโนเมตรเป็น 243 นาโนเมตร) นอกจากนี้ช่วงเวลาในการเกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินสั้นมาก แต่เวลาที่ทำให้สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินคงตัว (ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนสูงสุดคงที่) นานมากกว่า 8 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.11 ความยาวคลื่นดูดกลืนสูงสุด (λ_{max}) ของ A2-CD-IC ที่เกิดจากเทคนิค และเวลา
ต่างๆ

| เวลา | λ_{max} (nm) | | |
|---------------------------|----------------------|-----------|----------------|
| | วิธีหยด | เทคนิคผสม | ผสมไม่ปั่นกววน |
| ช่วงการปั่นกววน (นาที) | | | |
| 0 | 241 | 239 | 236 |
| 10 | 243 | 241 | 241 |
| 20 | 241 | 242 | 239 |
| 30 | 244 | 240 | 238 |
| 40 | 246 | 240 | 239 |
| 50 | 245 | 242 | 239 |
| 60 | 245 | 247 | 240 |
| 90 | 243 | 245 | 239 |
| 120 | 241 | 251 | 238 |
| หลังการปั่นกววน (ชั่วโมง) | | | |
| 1 | 242 | 241 | 241 |
| 2 | 243 | 240 | 240 |
| 4 | 242 | 242 | 240 |
| 8 | 242 | 242 | 241 |
| 24 | 243 | 243 | 242 |
| 72 | 243 | 243 | 243 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิเมอร์ 3 ชนิด ได้แก่ พอลิสไตรีน พอลิเมทิลเมทาไครเลต และพอลิเมอร์ A โดยสามารถแบ่งการสรุปผลการทดลองได้เป็นสองส่วนดังนี้ ส่วนแรกคือพอลิเมอร์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และมีการนำมาใช้งานมายาวนาน ได้แก่ พอลิสไตรีน และพอลิเมทิลเมทาไครเลต สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ของพอลิเมอร์ทั้งสอง อยู่ในสถานะของแข็ง ส่วนที่สองคือพอลิเมอร์ A ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ และสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ของพอลิเมอร์ดังกล่าวอยู่ในสถานะสารละลาย

5.1 สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิสไตรีนและพอลิเมทิลเมทาไครเลต

5.1.1 สารเชิงซ้อนพอลิสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (PS-CD-IC)

สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว ผลจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีพบว่าสารดังกล่าวนอกจากจะมีพีกเอกลักษณ์ของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินแล้วยังพบพีกการยืดของ C-H ของ CH_2 ที่อยู่ในโครงสร้างของพอลิสไตรีน นอกจากนี้สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์มีสมบัติการละลายแตกต่างจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และพอลิสไตรีน โดยสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ละลายในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินละลายในน้ำ ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ ส่วนพอลิสไตรีนละลายในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ คลอโรฟอร์ม เดตระไฮโดรฟูแรน และโทลูอีน โดยเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเพิ่มความมีขั้วให้พอลิสไตรีน สมบัติทางความร้อนของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ ได้แก่ จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัว มีค่าต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (จุดหลอมเหลวต่ำกว่า 11 ถึง 12 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่า 15 ถึง 19 องศาเซลเซียส) อาจสรุปได้ว่าสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์ที่เกิดขึ้นมีความเสถียรทางความร้อนต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินซึ่งสอดคล้องกับความไม่สมมาตรของโครงสร้างของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเมื่ออยู่ในรูปสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์กับพอลิสไตรีน จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปีชนิดของแข็ง (^{13}C CP/MAS NMR)

นอกจากนี้น้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันของพอลิสไตรีนไม่มีผลต่อปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์มากนัก (16 ถึง 31 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เวลา และปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกันที่ใช้ในการสังเคราะห์ก็ไม่ค่อยมีผลต่อปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่ได้ (22 ถึง 26 และ 23 ถึง 26 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ)

5.1.2 สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน (PMMA-CD-IC)

สรุปผลการทดลองคล้ายกับกรณีสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์จากพอลิสไตรีน คือ สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว ผลจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีพบว่า สารดังกล่าวนอกจากจะมีฟังก์ชันของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินแล้ว ยังพบฟังก์ชันการยืดของ C-H ของ CH_2 และฟังก์ชันการยืดของ C=O ที่อยู่ในโครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาโครเลต นอกจากนี้สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์มีสมบัติการละลายแตกต่างจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินและพอลิเมทิลเมทาโครเลต โดยสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ละลายในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินละลายในน้ำ ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ ส่วนพอลิเมทิลเมทาโครเลตละลายในคลอโรฟอร์ม เตตระไฮโดรฟูแรน และโทลูอีน เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเพิ่มความมีขั้วให้เมทิลเมทาโครเลต สมบัติทางความร้อนของสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ได้แก่ จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการสลายตัว มีค่าต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน (จุดหลอมเหลวต่ำกว่า 20 ถึง 28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่า 22 ถึง 32 องศาเซลเซียส) อาจสรุปได้ว่าสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่เกิดขึ้นมีความเสถียรทางความร้อนต่ำกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน ซึ่งสอดคล้องกับความไม่สมมาตรของโครงร่างของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเมื่ออยู่ในรูปสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์กับพอลิเมทิลเมทาโครเลต จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี ชนิดของแข็ง (^{13}C CP/MAS NMR)

นอกจากนี้น้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันของพอลิเมทิลเมทาโครเลตไม่มีผลต่อปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์มากนัก (31 ถึง 36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เวลา และปริมาณของเมทิลเมทาโครเลตมอนอเมอร์ที่ต่างกันที่ใช้ในการสังเคราะห์ก็ไม่ค่อยมีผลต่อปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่ได้ (28 ถึง 30 และ 27 ถึง 32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ)

5.2 สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์จากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินกับพอลิเมอร์ A (A-CD-IC)

สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่สังเคราะห์ได้อยู่ในรูปสารละลายผสมของเมทานอลกับน้ำ อัตราส่วน 15 ต่อ 1 จากเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ในรูปสารละลาย (^1H NMR) แสดงให้เห็นว่ามีพอลิเมอร์ A และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินละลายอยู่ในสารละลายผสม แต่เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเองไม่ละลายในสารละลายผสมดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่าการเกิดเป็นสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์กับพอลิเมอร์ A เป็นการเพิ่มความสามารถในการละลายของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน

เอกสารนี้ออกจากนี้สารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ตรินส์ที่สังเคราะห์ได้เกิดการเลื่อนตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดกลืนสูงสุดเป็นแบบบาทโทโครมิกซีพท์ จากพอลิเมอร์ A ดูดกลืนที่ 225 นาโนเมตร เมื่อพอลิเมอร์ A เกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ตรินส์กับเบต้าไซโคลเดกซ์ตรินจะดูดกลืนที่ 243 นาโนเมตร (สารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ตรินส์จากพอลิเมอร์ A2) นอกจากนี้แถบของสเปกตรัมของสารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ตรินส์จะกว้างขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเกิดการลดระดับพลังงานจาก n-bonding เป็น π^* antibonding เนื่องจากเกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ C=O ของพอลิเมอร์ A กับไฮโดรเจนอะตอมภายในช่องว่างไซโคลเดกซ์ตริน และความแรงของพันธะไม่สม่ำเสมอ

น้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันของพอลิเมอร์ A ไม่มีผลต่อการเกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ตรินส์ และเทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่แตกต่างกันก็สามารถทำให้เกิดสารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ตรินส์ได้เช่นเดียวกัน โดยพิจารณาจากการเลื่อนตำแหน่งของการดูดกลืนสูงสุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษางานวิจัยนี้ต่อไปเรื่องที่น่าสนใจในการศึกษาคือ

1. ศึกษาเวลาในการปั่นกววน และปริมาณของ guest ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ตรินส์ โดยเปลี่ยนจากมอนอเมอร์ของสไตรีน และเมทิลเมทาไครเลต เป็นพอลิเมอร์ของสารทั้งสอง
2. ศึกษาสมบัติความเป็นผลึกของสารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ตรินส์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์
3. ศึกษาถึงปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการสังเคราะห์ และสารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ตรินส์ที่ได้ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส
4. นำสารเชิงซ้อนที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานจริง
5. ทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ตรินส์จากเบต้าไซโคลเดกซ์ตรินกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น
6. ทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ตรินส์จากไซโคลเดกซ์ตรินส์และอนุพันธ์ไซโคลเดกซ์ตรินชนิดอื่นกับพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Atwood J. L., Davis J. E. D., Macnicol D. D, Vogtle F., Szejtli J. and Osa T. "Comprehensive Supramolecular Chemistry", Cyclodextrin, vol 3, Pergamon Press, New York, 1996.
- [2] Huang L., Gerber M., Lu J. and Tonelli A. E. "Formation of a flame retardant-cyclodextrin inclusion compound and its application as a flame retardant for poly(ethylene terephthalate).", Polymer Degradation and Stability, vol 71, 2001. pp. 279-299
- [3] Ravi P., Divakar S. and Siddaramaiah S. R. "Physicochemical Properties of Polystyrene Prepared by Inclusion Polymerization," Journal of Polymer Materials, vol 18, 2001. pp. 127-133
- [4] Haddleton D. M. and Ohno K. "Well-Defined Oligosaccharide-Terminated Polymers from Living Radical polymerization.", Biomacromolecules, vol 1, 2000. pp. 152-156
- [5] Wenz G. "Cyclodextrins as Building Blocks for Supramolecular Structures and Functional Units.", Angew. Chem. Int. Ed. Engl., vol 33, 1994. pp. 803-822
- [6] Amabilino D. B. and Stoddart J. F. "Interlacked and Intwined Structures and Superstructure.", Chem. Rev., vol 95, pp. 2725-2828
- [7] <http://www.chm.bris.as.uk/polymer/people/sim/sjmp3.htm>
- [8] Szejtli j. "Cyclodextrin and their Inclusion Complexes.", Akademiai Kiado Budapest, 1982
- [9] http://msc.phys.rug.nl/msc_funcpol/csp.htm
- [10] <http://www.chem.ucla.edu/dept/Faculty/stoddard/research/cyclodextrins.htm>
- [11] Saenger W. "Cyclodextrin Inclusion Compounds in Research and Industry.", Angew. Chem. Int. Ed. Engl., vol 19, 1980. pp. 344-362
- [12] Fujita H., Oaya T. and Yui N. "Thermally Induced Localization of Cyclodextrins in a Polyrotaxane Consisting of β -Cyclodextrins and Poly(ethylene glycol)-Poly(propylene glycol) Triblock Copolymer.", Macromolecules, vol 32, 1999. pp. 2534-2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Harada A., Okada M., Li j. and Kamachi M. "Preparation and Characterization of Inclusion Complexes of Poly(propylene glycol) with Cyclodextrins.", *Macromolecules*, vol 28, 1995. pp. 8406-8411
- [14] Harada A., Suzuki S., Okada M. and Kamachi M. "Preparation and Characterization of Inclusion Complexes of Polyisobutylene with Cyclodextrins.", *Macromolecules*, vol 29, 1996. pp. 5611-5614
- [15] Huang L., Allen E. and Tonelli A. E. "Inclusion compounds formed between cyclodextrin and nylon 6.", *Polymer*, vol 40, 1999. pp. 3211-3221
- [16] ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์. 2527
- [17] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์. เคมีพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: 2541
- [18] Harada A. and Kamachi M. "Complex Formation Between Cyclodextrin and Poly (propylene glycol).", *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1990. pp.1322-1323
- [19] Harada A., Li J., Suzuki S. and Kamachi M. "Complex Formation between Polyisobutylene and Cyclodextrins: Inversion of Chain-Length selectivity between β -Cyclodextrin and γ -Cyclodextrin.", *Macromolecules*, vol 26, 1993. pp. 5267-5268
- [20] Harada A., Li J. and Kamachi M. "Preparation and Properties of Inclusion Complexes of Poly(ethylene glycol) with α -Cyclodextrin.", *Macromolecules*, vol 26, 1993. pp. 5698-5703
- [21] Harada A., Li J. and Kamachi M. "Formation of Inclusion complexes of Monodisperse Oligo(ethylene glycol)s with α -Cyclodextrin.", *Macromolecules*, vol 27, 1994. pp. 4538-4543
- [22] Pozuelo J., Mendicuti F. and Mattice W. L. "Inclusion Complexes of Chain Molecules with Cycloamylose. 2. Molecular Dynamics Simulations of Polyrotaxanes Formed by Poly(ethylene glycol) and α -Cyclodextrin.", *Macromolecules*, vol 30, 1997. pp.3685-3690
- [23] Harada A., Li J. and Kamachi M. "Complex Formation between Poly(methyl vinyl ether) and γ -Cyclodextrin.", *Chemistry Letters*, 1993. pp. 237-240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [24] Li j., Harada A. and Kamachi M. "Formation of Inclusion Complexes of Oligoethylene and Its Derivatives with α -Cyclodextrin.", Bull. Chem. Soc. Jpn., vol 67, 1994. pp. 2808-2818
- [25] Harada A., Nishiyama T., Kawaguchi Y., Okada M. and Kamachi M. "Preparation and Characterization of Inclusion Complexes of Aliphatic Polyesters with Cyclodextrin.", Macromolecules, vol 30, 1997. pp. 7115-7118
- [26] Dotsikas Y., Kontopanou E., Allagiannis C. and Loukas Y. L. "Interaction of 6-p-toluidinyl naphthalene-2-solphonate with β -Cyclodextrin.", Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, vol 23, 2000. pp. 997-1003
- [27] Hoshlyama M., Kubo K., Igarashi Y. and Sakurai T. "Complexation and proton dissociation behavior of 7-hydroxy-4-methycoumarin and related compounds in the presence of β -Cyclodextrin.", Journal of Photochemistry and Photobiology A Chemistry, vol 138, 2001. pp. 227-233
- [28] Baruah S. D. and Laskar N. C. "Styrene –Maleic Anhydride Copolymer: Synthesis, Characterization, and Thermal Properties.", Journal of Applied polymer Science, vol 60, 1996. pp. 649-656
- [29] แม้น อมรสิทธิ์, อมร เพชรตม. Principles and Techniques of Instrumental analysis. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์. พ.ศ.2534

ภาคผนวก ก

การคำนวณอัตราส่วนโครงสร้าง
พอลิเมอร์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนโปรตอนในโครงสร้างพอลิเมอร์ A มีดังนี้

วงแหวนเบนซีน/สายโซ่หลัก+สายโซ่กิ่ง/ $\text{CH}_2\text{-NH/CH}_2\text{-COOH}$

$$5\text{HX} / 3\text{HX} + 2\text{HY} + 16\text{HZ} / 2\text{HZ} / 2\text{HZ}$$

$$X = Y \quad 5\text{H} / 3\text{H} + 2\text{H} + (16\text{HZ}/\text{X}) / (2\text{HZ}/\text{X}) / (2\text{HZ}/\text{X})$$

$$5\text{H} / 5\text{H} + (16\text{HZ}/\text{X}) / (2\text{HZ}/\text{X}) / (2\text{HZ}/\text{X})$$

จากอินทิเกรตได้พีควงแหวนเบนซีนคือ 0.855

$$5\text{H} = 0.855$$

$$\text{H} = 0.1684$$

สามารถหาอัตราส่วน Z/X ได้จาก

- อินทิเกรตได้พีค $\text{CH}_2\text{-NH}$ คือ 0.056

$$2\text{HZ}/\text{X} = 0.056$$

$$(2 \times 0.1684) (\text{Z}/\text{X}) = 0.056$$

$$\text{Z}/\text{X} = 0.1663$$

- อินทิเกรตได้พีคสายโซ่หลัก+สายโซ่กิ่ง คือ 1.293

$$5\text{H} + (16\text{HZ}/\text{X}) = 1.293$$

$$(5 \times 0.1684) + [(16 \times 0.1684)(\text{Z}/\text{X})] = 1.293$$

$$\text{Z}/\text{X} = 0.1674$$

ดังนั้น $\text{Z}/\text{X} = 0.17$ กรณี $X = Y$ แสดงให้เห็นว่าทุกหนึ่งหน่วย (repeating unit) จะพบโครงสร้างมาลิกแอนไฮไดรด์ที่ทำปฏิกิริยากับกรด 11-อะมิโนอินเดคานอิก อยู่ประมาณ 0.17 หน่วย หรือประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ในโครงสร้างพอลิเมอร์ A

ภาคผนวก ข

ข้อมูลปริมาณสารเชิงซ้อนไซโคลเด็กซ์ทรินส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารเชิงซ้อนพอลิไสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน

ตารางที่ 1 ปริมาณสารเชิงซ้อนพอลิไสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินที่สังเคราะห์จากพอลิไสไตรีน น้ำหนักโมเลกุลต่างกัน

| สาร | ปริมาณผลิตภัณฑ์ (กรัม) | | | ปริมาณเฉลี่ย (กรัม) | เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ (% yield) |
|-----|---------------------------|--------|--------|------------------------|-----------------------------------|
| | 0.0820 | 0.0877 | 0.0867 | | |
| PS1 | 0.0820 | 0.0877 | 0.0867 | 0.0855 | 26.07 |
| PS2 | 0.0912 | 0.0961 | 0.0910 | 0.0928 | 28.30 |
| PS3 | 0.1064 | 0.1116 | 0.0935 | 0.1038 | 31.68 |
| PS4 | 0.0862 | 0.0890 | 0.0856 | 0.0863 | 26.52 |

ตารางที่ 2 ปริมาณสารเชิงซ้อนพอลิไสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินที่ใช้เวลาสังเคราะห์ต่างๆ

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณผลิตภัณฑ์ (กรัม) | | | ปริมาณเฉลี่ย (กรัม) | เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ (% yield) |
|-------------------|---------------------------|--------|--------|------------------------|-----------------------------------|
| | 0.0762 | 0.0716 | 0.0719 | | |
| 1 | 0.0762 | 0.0716 | 0.0719 | 0.0732 | 22.31 |
| 2 | 0.0846 | 0.0816 | 0.0896 | 0.0853 | 26.01 |
| 3 | 0.0838 | 0.0798 | 0.0841 | 0.0826 | 25.19 |
| 4 | 0.0832 | 0.0811 | 0.0785 | 0.0810 | 24.69 |

ตารางที่ 3 ปริมาณสารเชิงซ้อนพอลิไสไตรีน-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินที่สังเคราะห์จากสไตรีนสัดส่วนโดยโมลต่างกัน

| สัดส่วนโดย โมล | ปริมาณผลิตภัณฑ์ (กรัม) | | | ปริมาณเฉลี่ย (กรัม) | เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ (% yield) |
|-------------------|---------------------------|--------|--------|------------------------|-----------------------------------|
| | 0.0748 | 0.0789 | 0.0795 | | |
| 0.5 | 0.0748 | 0.0789 | 0.0795 | 0.0777 | 23.71 |
| 0.6 | 0.0875 | 0.0852 | 0.0795 | 0.0841 | 25.65 |
| 0.67 | 0.0846 | 0.0798 | 0.0841 | 0.0828 | 25.27 |
| 0.7 | 0.0851 | 0.0867 | 0.0881 | 0.0866 | 26.43 |
| 0.8 | 0.0867 | 0.0859 | 0.0862 | 0.0862 | 26.32 |
| 0.9 | 0.0743 | 0.0757 | 0.0792 | 0.0764 | 23.31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

ตารางที่ 4 ปริมาณสารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์จากพอลิเมทิลเมทาโครเลตน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน

| สาร | ปริมาณผลิตภัณฑ์ (กรัม) | | | ปริมาณเฉลี่ย (กรัม) | เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ (% yield) |
|-------|---------------------------|--------|--------|------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | |
| PMMA1 | 0.1111 | 0.1107 | 0.1130 | 0.1116 | 34.66 |
| PMMA2 | 0.1162 | 0.1155 | 0.1144 | 0.1154 | 35.83 |
| PMMA3 | 0.1167 | 0.1180 | 0.1155 | 0.1167 | 36.25 |
| PMMA4 | 0.0974 | 0.0982 | 0.0980 | 0.0979 | 30.39 |

ตารางที่ 5 ปริมาณสารเชิงซ้อนพอลิเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่ใช้เวลาสังเคราะห์ต่างๆ

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณผลิตภัณฑ์ (กรัม) | | | ปริมาณเฉลี่ย (กรัม) | เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ (% yield) |
|-------------------|---------------------------|--------|--------|------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | |
| 1 | 0.0894 | 0.0904 | 0.0899 | 0.0899 | 27.92 |
| 2 | 0.0984 | 0.0976 | 0.0954 | 0.0971 | 30.17 |
| 3 | 0.0985 | 0.0986 | 0.0921 | 0.0964 | 29.94 |
| 4 | 0.0945 | 0.0963 | 0.0989 | 0.0966 | 29.99 |

ตารางที่ 6 ปริมาณสารเชิงซ้อนเมทิลเมทาโครเลต-เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์จากเมทิลเมทาโครเลตสัดส่วนโดยโมลต่างกัน

| สัดส่วนโดย โมล | ปริมาณผลิตภัณฑ์ (กรัม) | | | ปริมาณเฉลี่ย (กรัม) | เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ (% yield) |
|-------------------|---------------------------|--------|--------|------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | |
| 0.5 | 0.0867 | 0.0859 | 0.0862 | 0.0862 | 26.79 |
| 0.6 | 0.0895 | 0.0826 | 0.0875 | 0.0865 | 26.87 |
| 0.67 | 0.0984 | 0.976 | 0.0954 | 0.0971 | 30.17 |
| 0.7 | 0.1001 | 0.0999 | 0.1110 | 0.1037 | 32.19 |
| 0.8 | 0.1002 | 0.0999 | 0.1023 | 0.1008 | 31.30 |
| 0.9 | 0.0896 | 0.0951 | 0.0885 | 0.0911 | 28.28 |

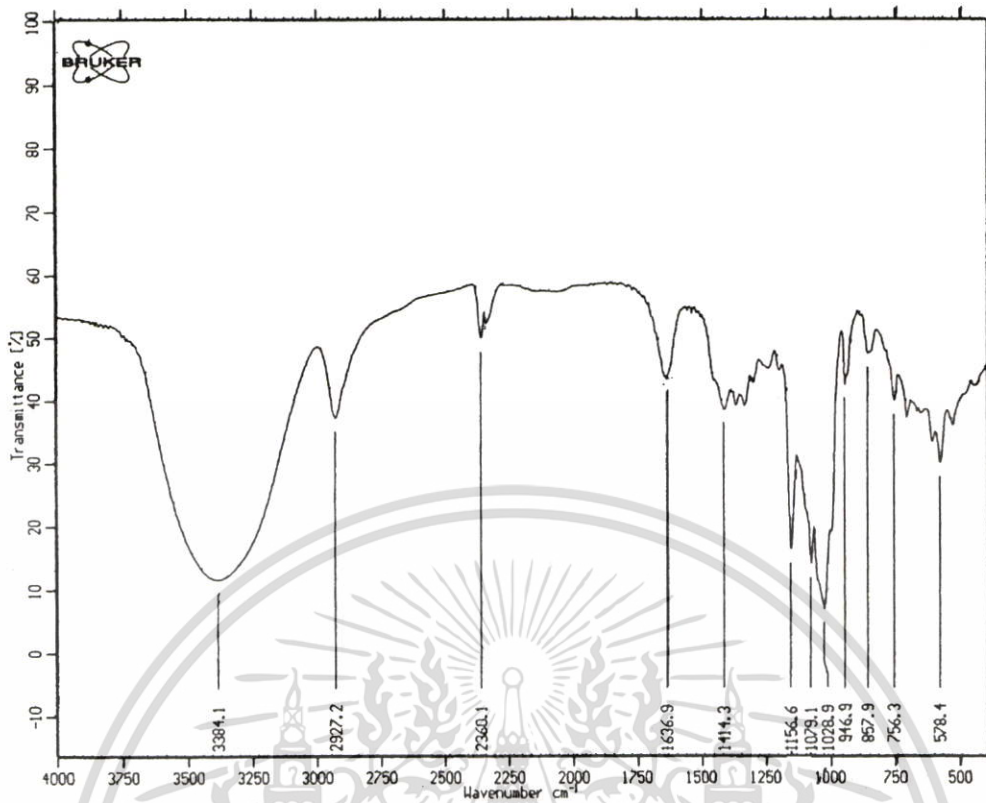
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

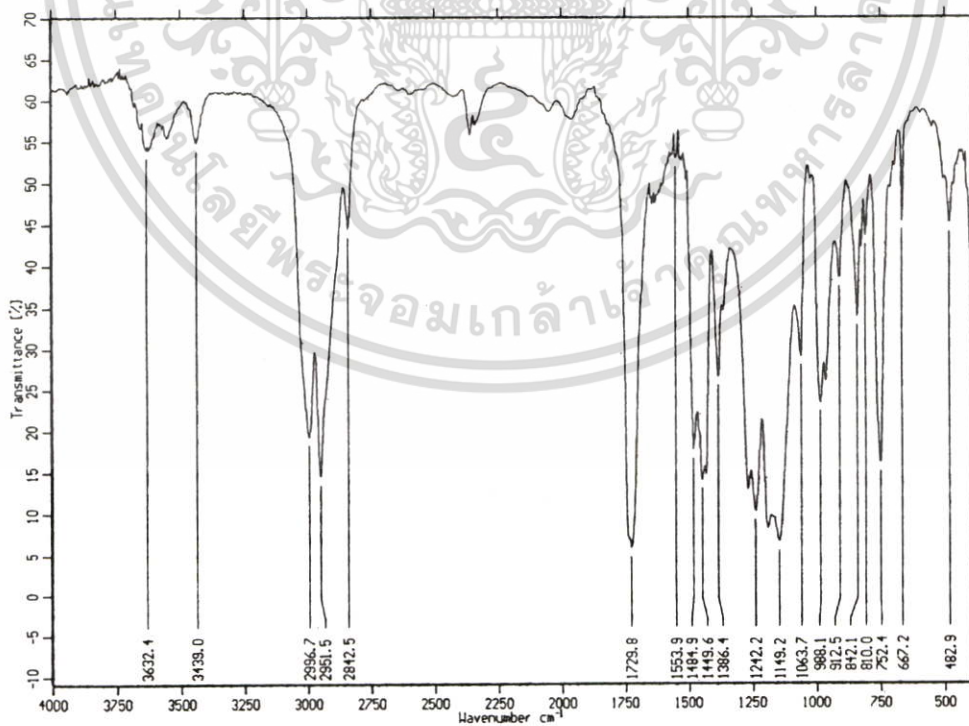
อินฟราเรดสเปกตรา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

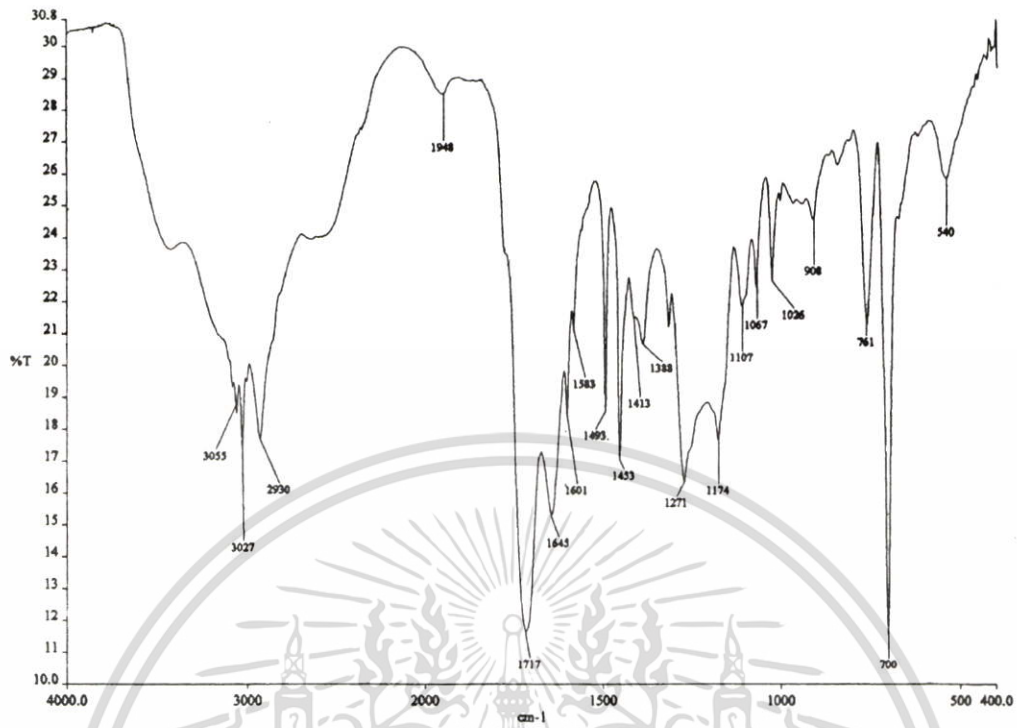


รูปที่ 1 FT-IR สเปกโตรแกรมของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

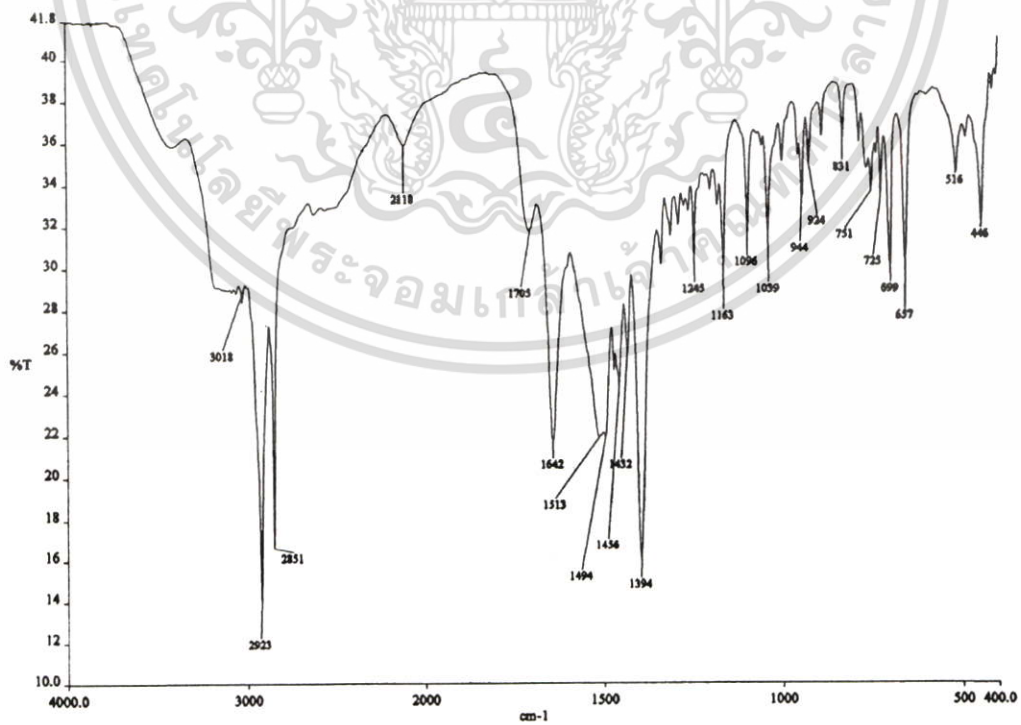


รูปที่ 2 FT-IR สเปกโตรแกรมของพอลิเมทิลเมทาไครเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

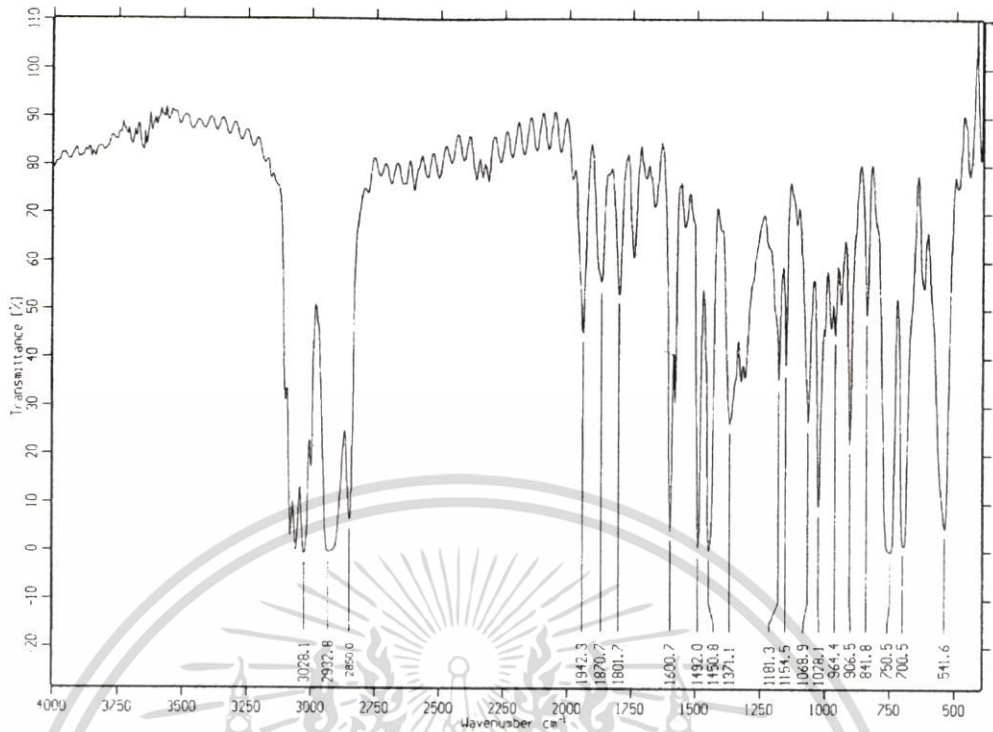


รูปที่ 3 FT-IR สเปกโตรแกรมของพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-มาลิกแอนไฮไดรด์

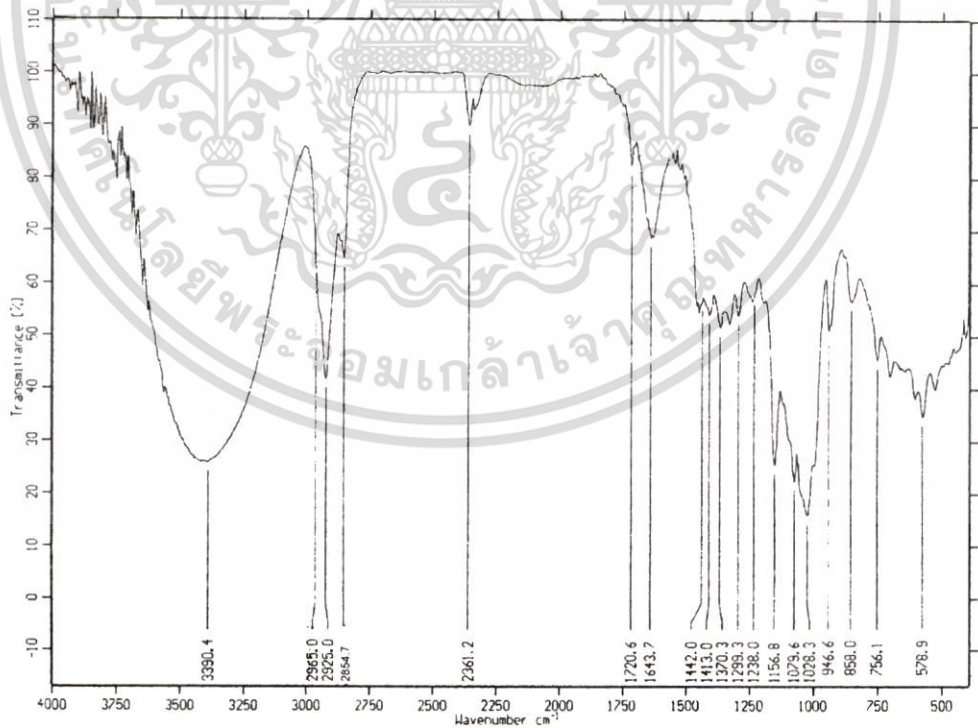


รูปที่ 4 FT-IR สเปกโตรแกรมของพอลิเมอร์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

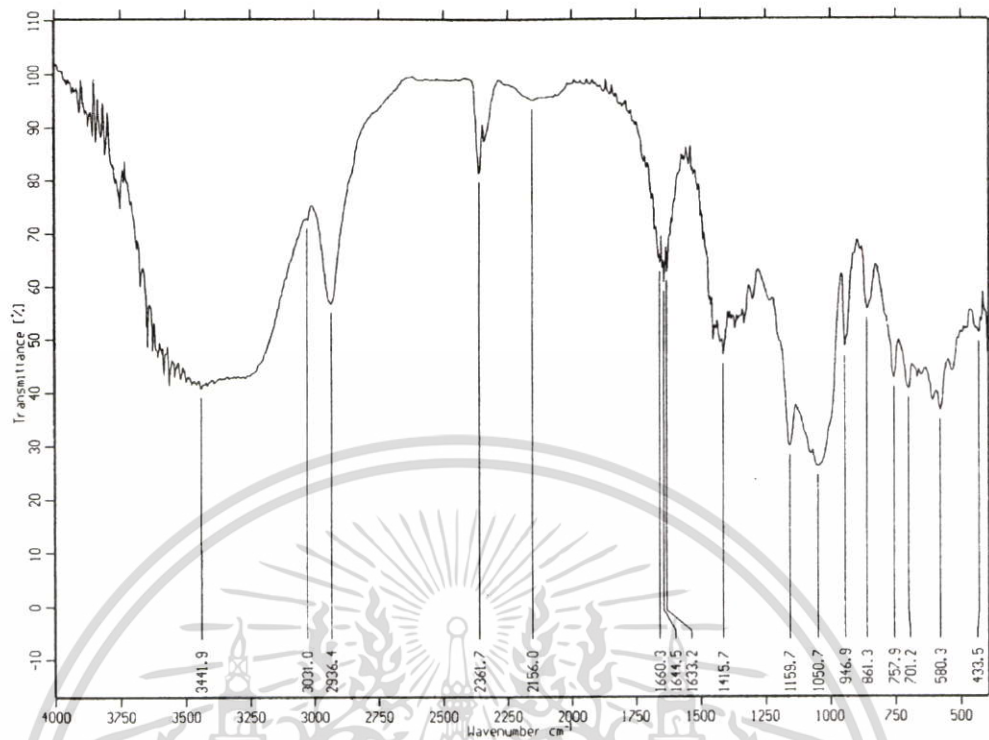


รูปที่ 5 FT-IR สเปกโตรแกรมของพอลิเอทิลีน

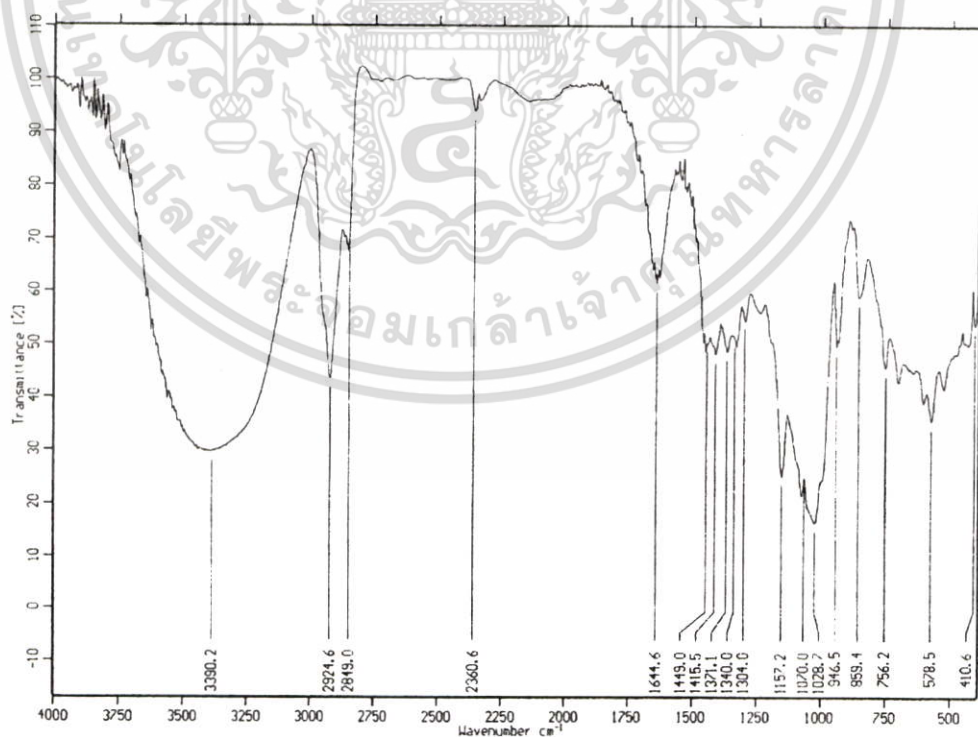


รูปที่ 6 FT-IR สเปกโตรแกรมของ PS1-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

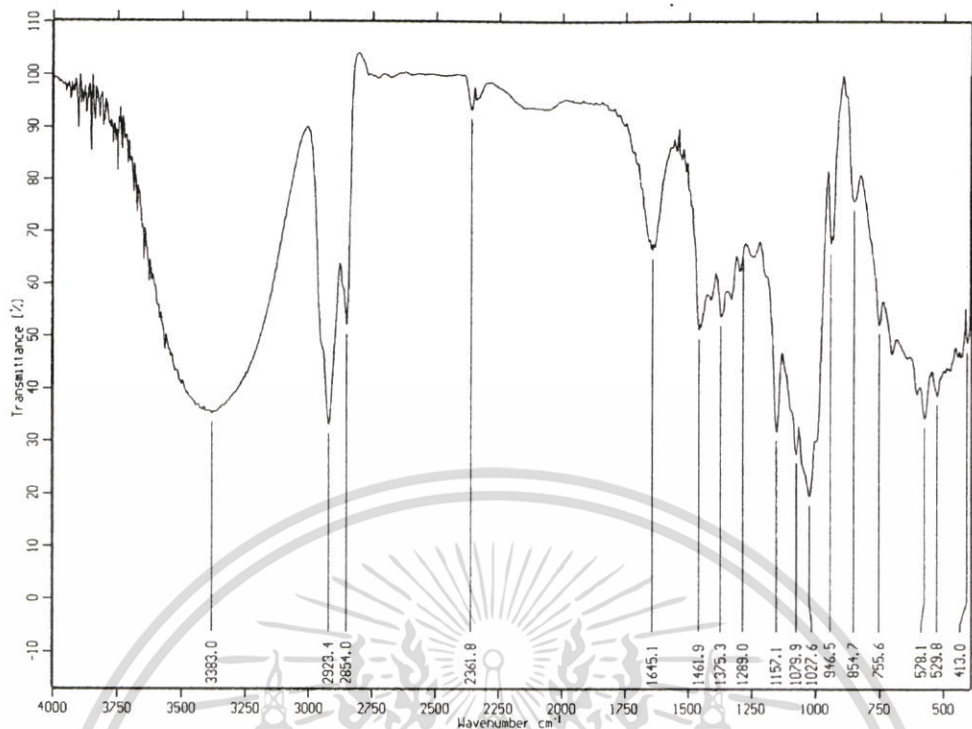


รูปที่ 7 FT-IR สเปกโตรแกรมของ PS2-CD-IC

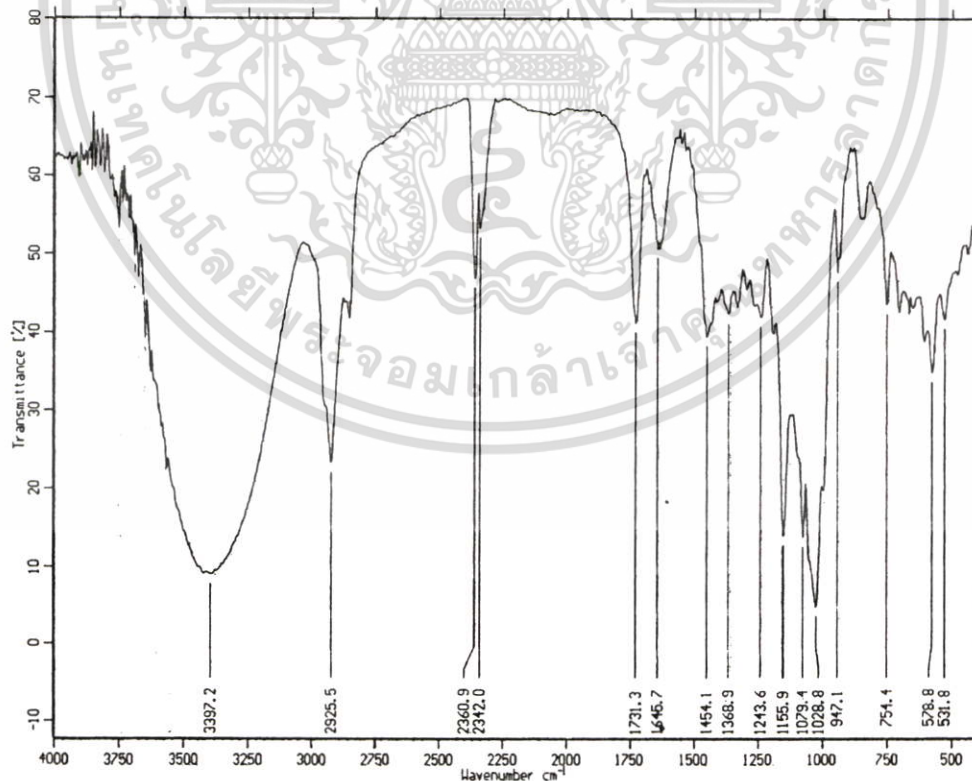


รูปที่ 8 FT-IR สเปกโตรแกรมของ PS3-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

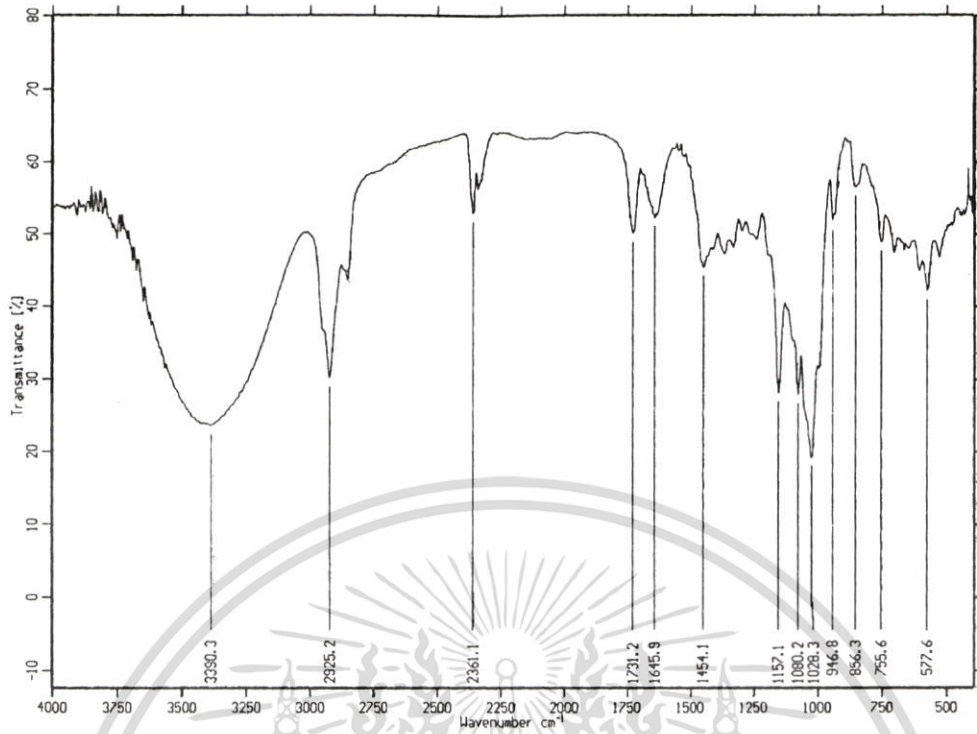


รูปที่ 9 FT-IR สเปกโตรแกรมของ PS4-CD-IC

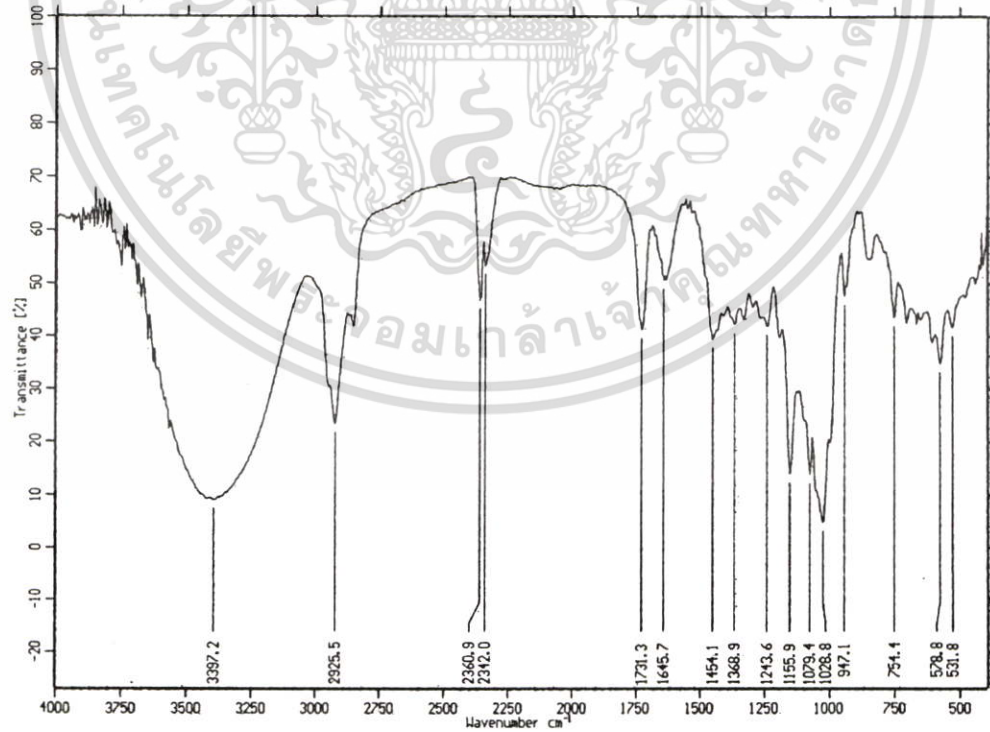


รูปที่ 10 FT-IR สเปกโตรแกรมของ PMMA1-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

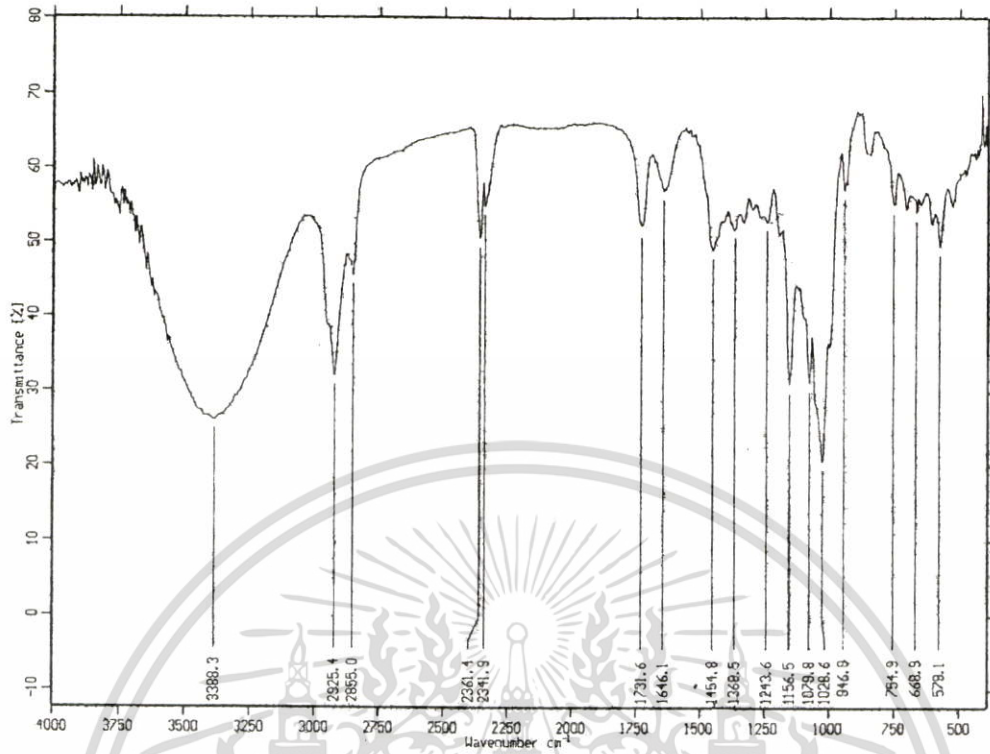


รูปที่ 11 FT-IR สเปกโตรแกรมของ PMMA2-CD-IC



รูปที่ 12 FT-IR สเปกโตรแกรมของ PMMA3-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 FT-IR สเปกโตรแกรมของ PMMA4-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรา

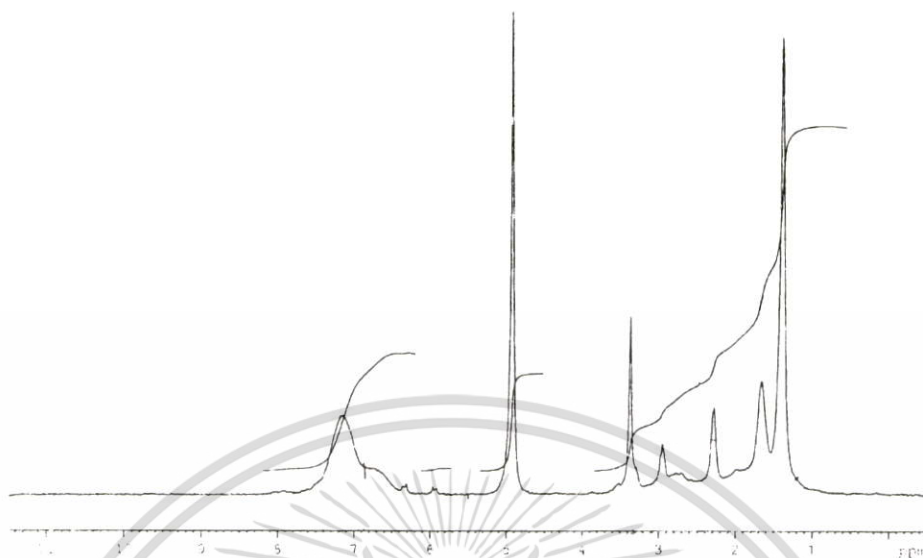


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

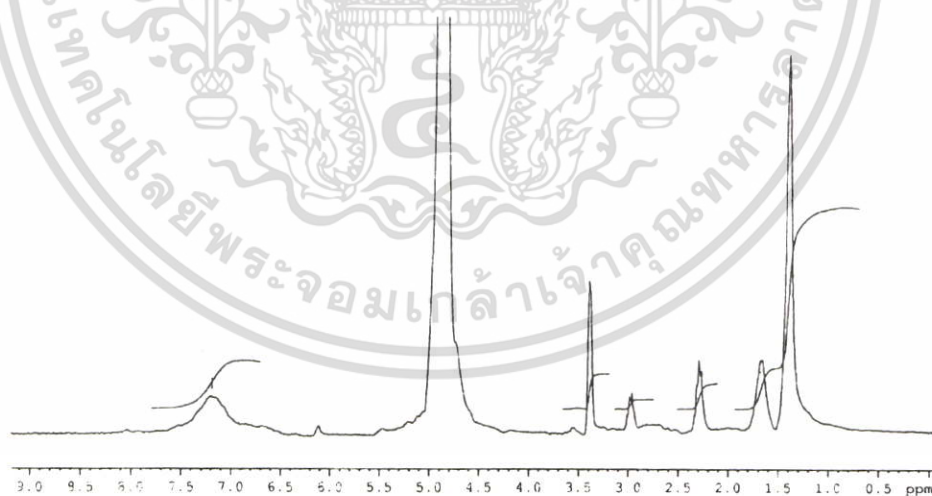


รูปที่ 2 ^1H NMR สเปกตรัมของพอลิเมอร์ A1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

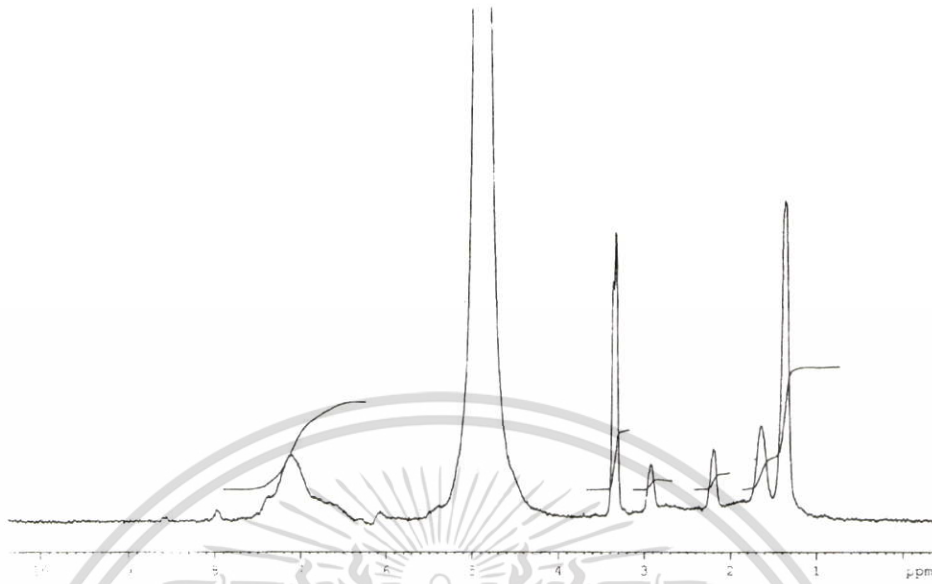


รูปที่ 3 ^1H NMR สเปกตรัมของพอลิเมอร์ A2

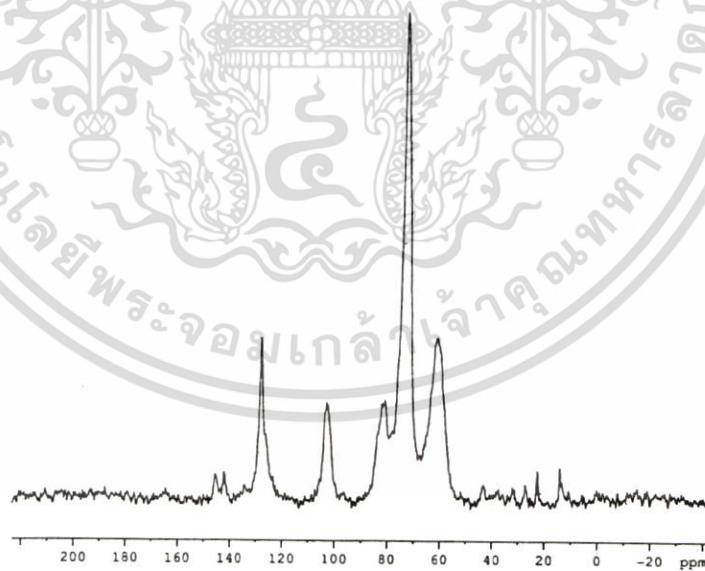


รูปที่ 4 ^1H NMR สเปกตรัมของพอลิเมอร์ A3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

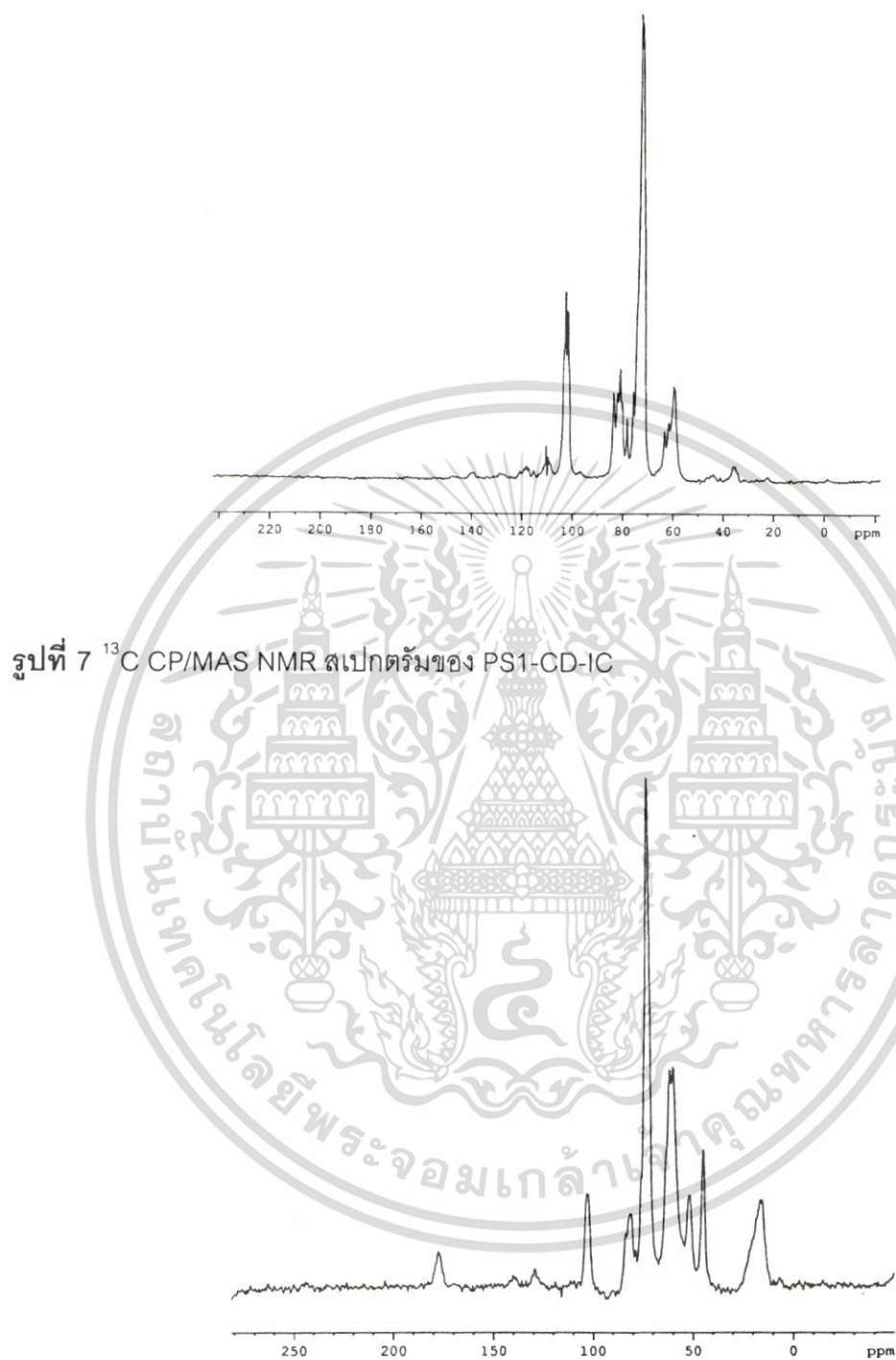


รูปที่ 5 ^1H NMR สเปกตรัมของพอลิเมอร์ A4



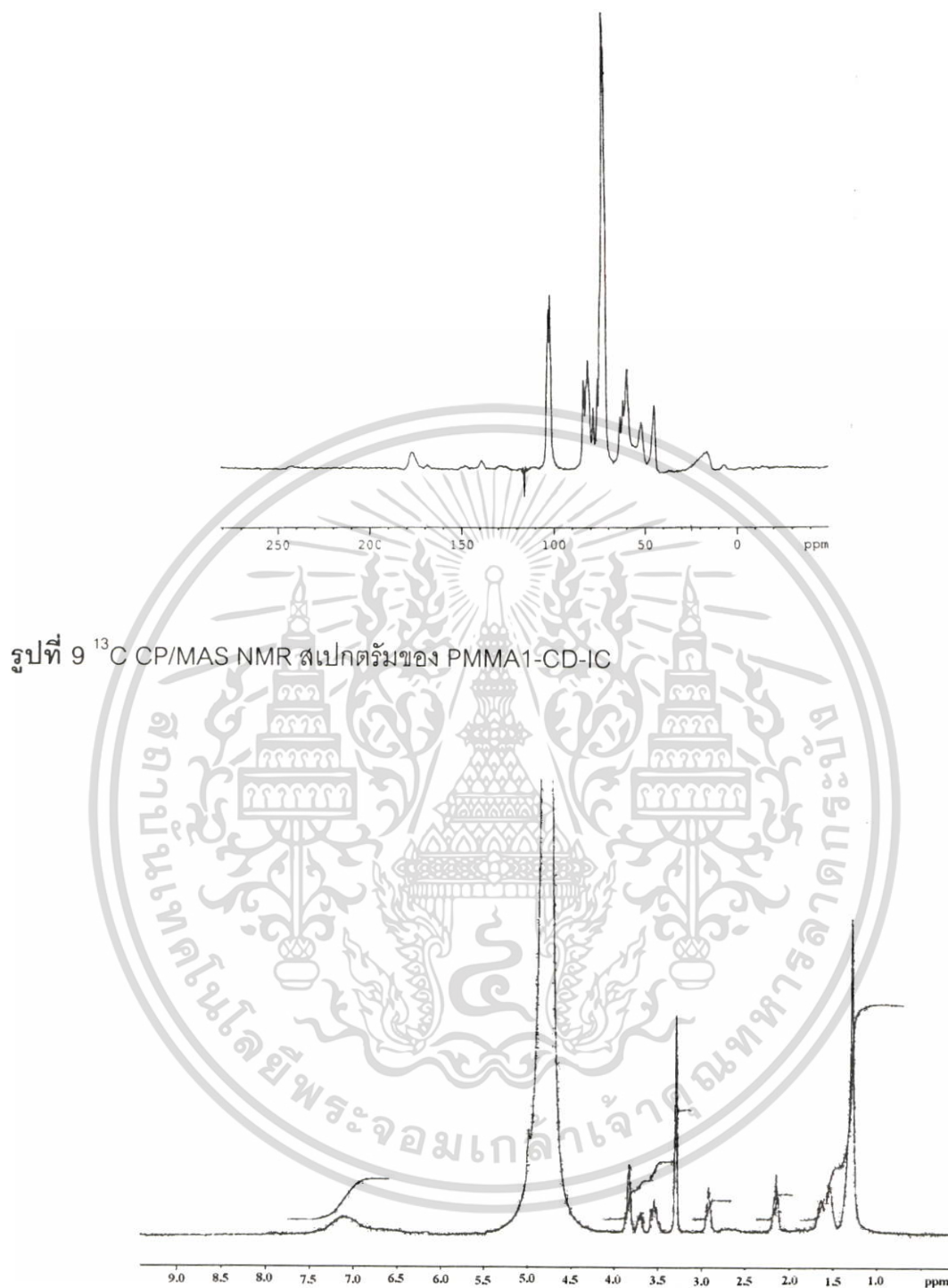
รูปที่ 6 ^{13}C MAS NMR สเปกตรัมของ PS1-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 ^{13}C MAS NMR สเปกตรัมของ PMMA1-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 ^{13}C CP/MAS NMR สเปกตรัมของ PMMA1-CD-IC

รูปที่ 10 ^1H NMR สเปกตรัมของพอลิเมอร์ A2-CD-IC

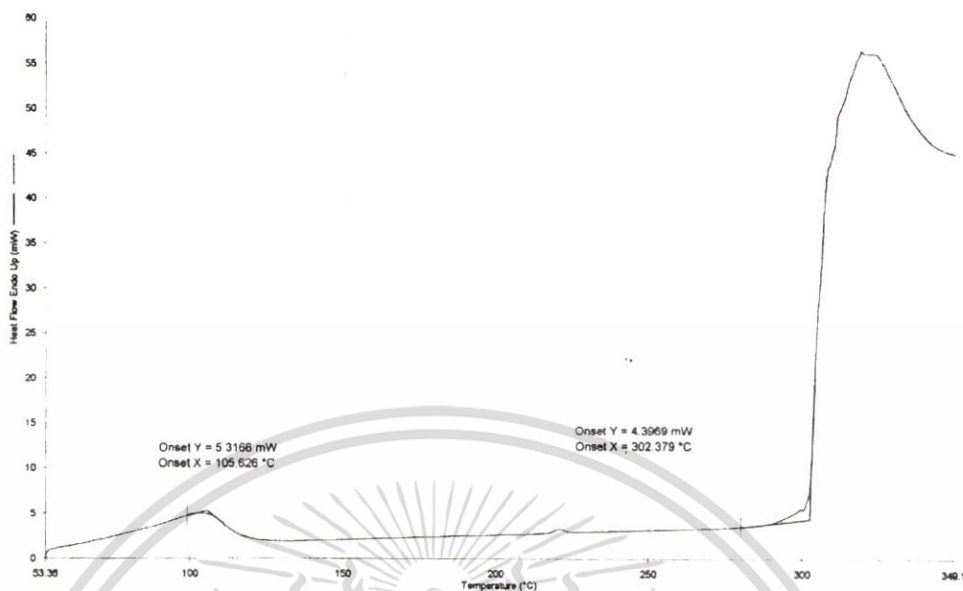
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

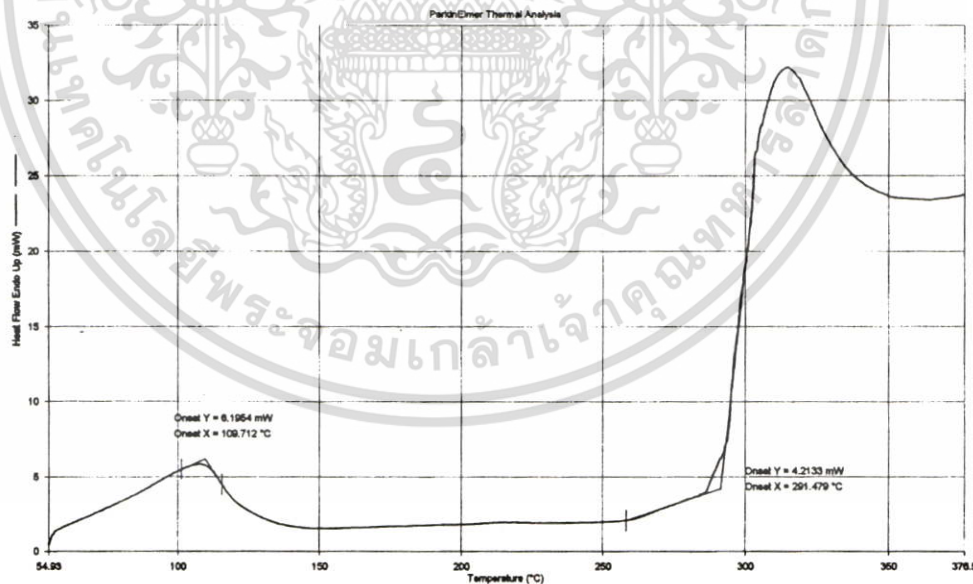
ไดอะแกรมจากเครื่องดีฟเฟอเรนเชียล
สแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

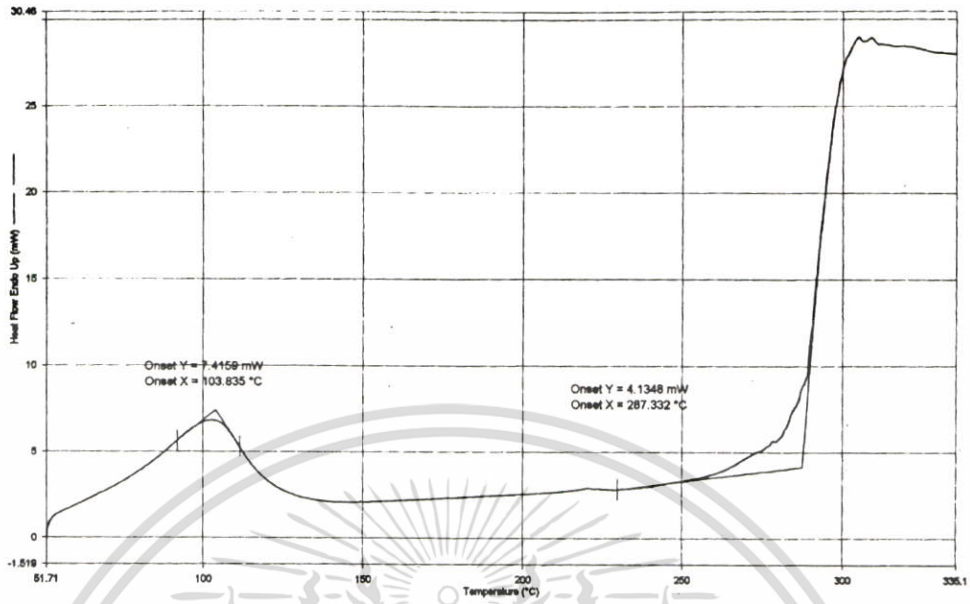


รูปที่ 1 DSC ไดอะแกรมของเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน

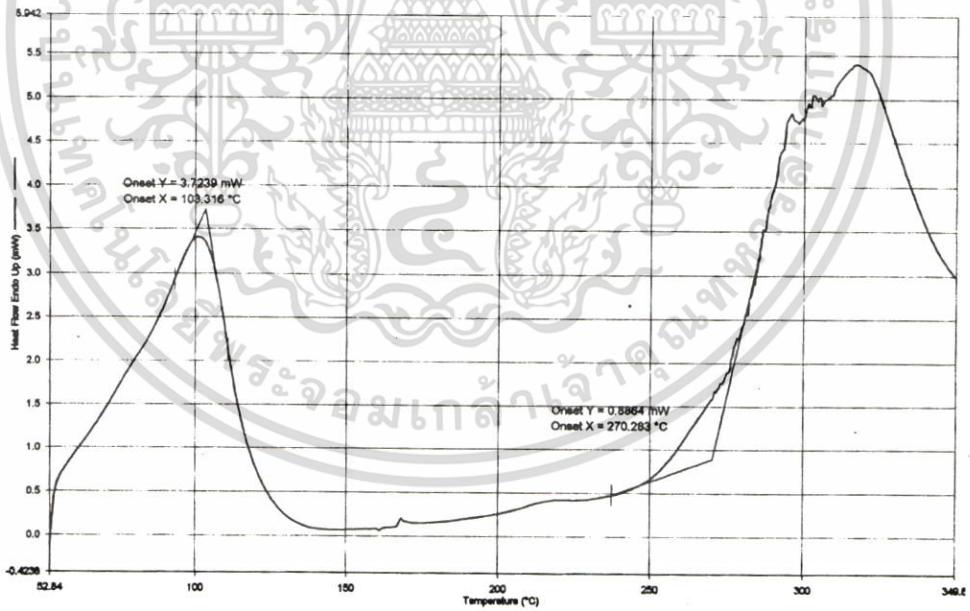


รูปที่ 2 DSC ไดอะแกรมของ PS1-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

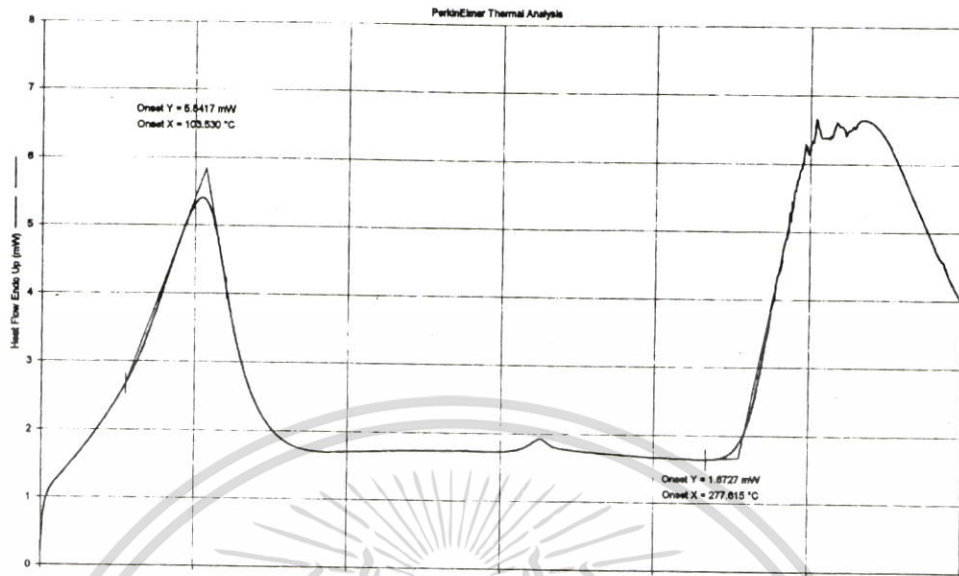


รูปที่ 3 DSC ไดอะแกรมของ PS2-CD-IC

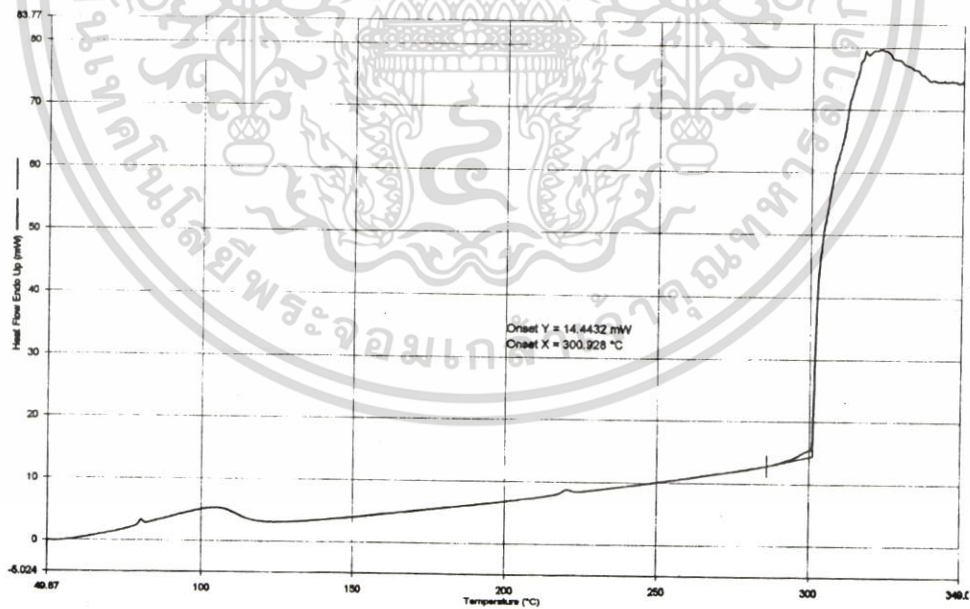


รูปที่ 4 DSC ไดอะแกรมของ PS3-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

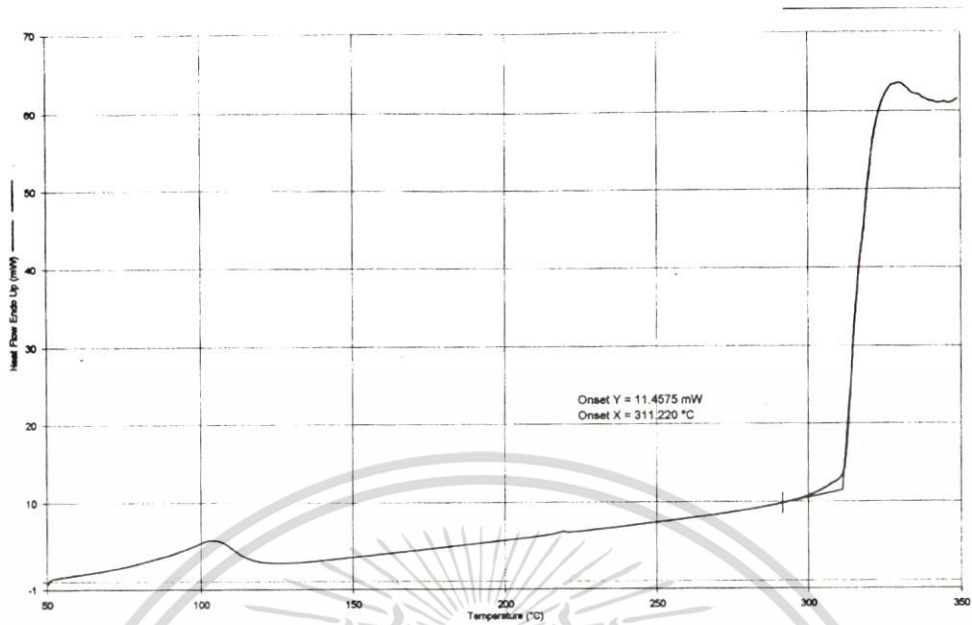


รูปที่ 5 DSC ไดอะแกรมของ PS4-CD-IC

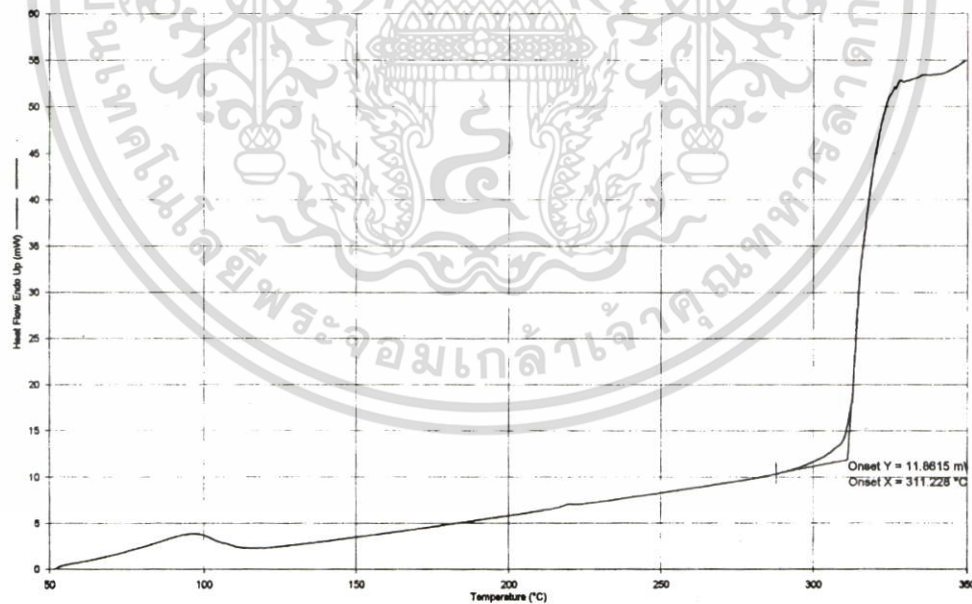


รูปที่ 6 DSC ไดอะแกรมของบดผสม PS2 และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

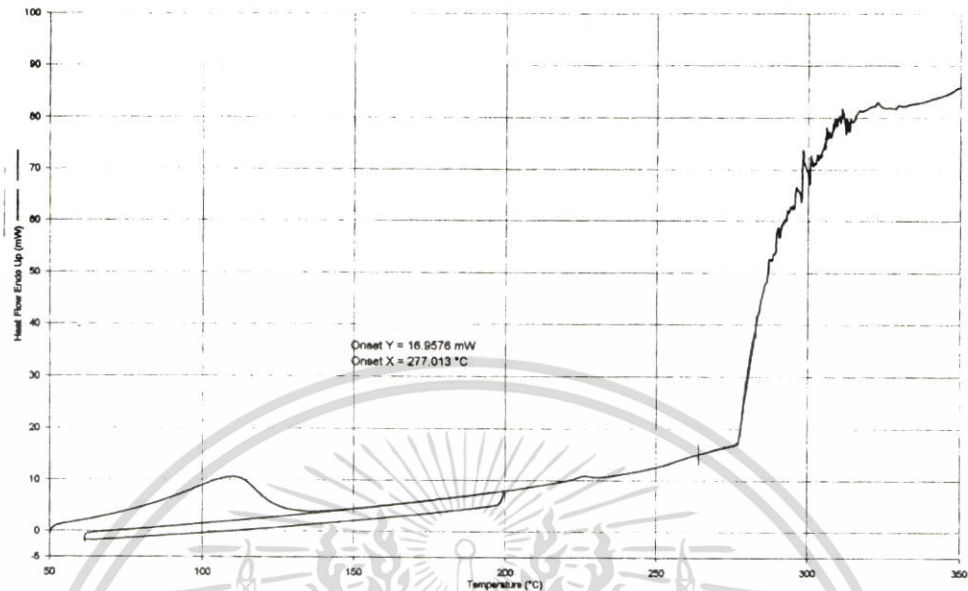


รูปที่ 7 DSC ไดอะแกรมของบดผสม PS3 และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ตริน

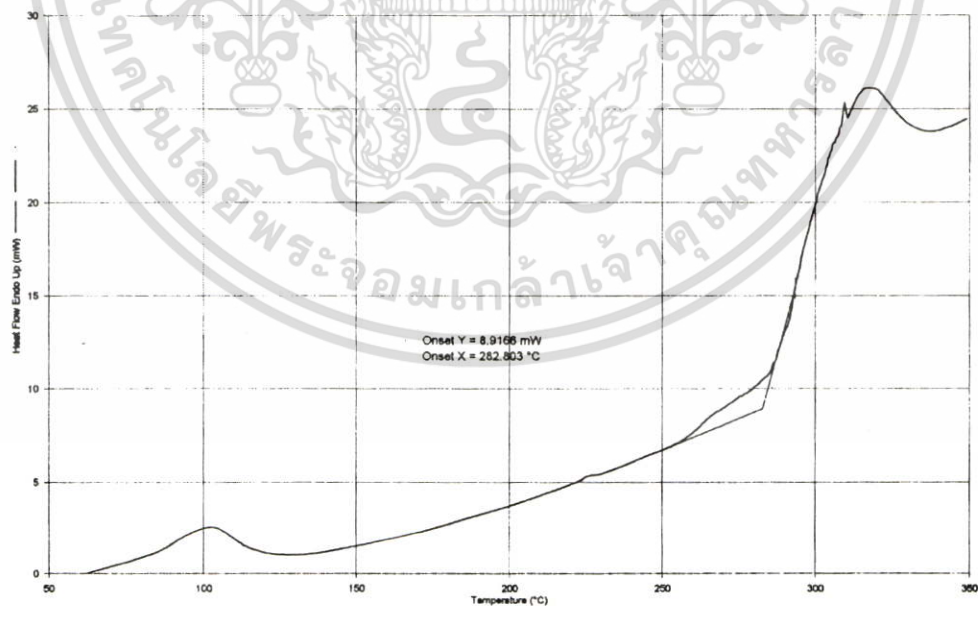


รูปที่ 8 DSC ไดอะแกรมของบดผสม PS4 และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

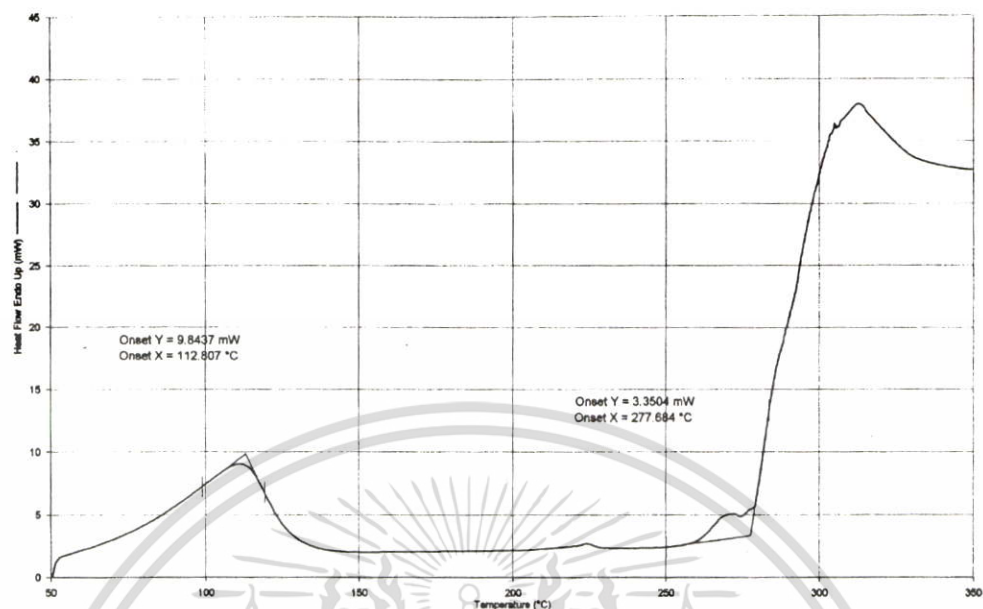


รูปที่ 9 DSC ไดอะแกรมของ PMMA1-CD-IC

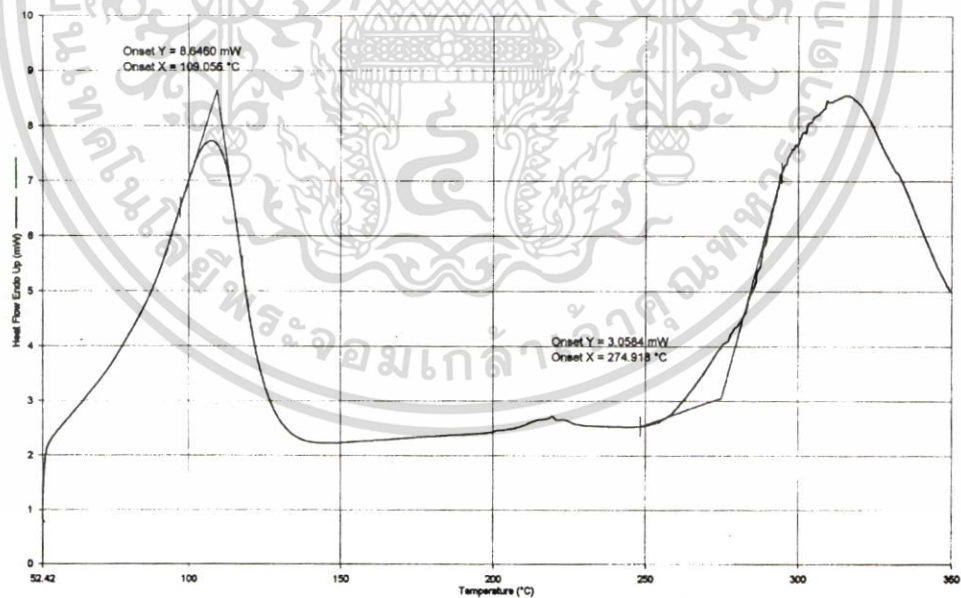


รูปที่ 10 DSC ไดอะแกรมของ PMMA2-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

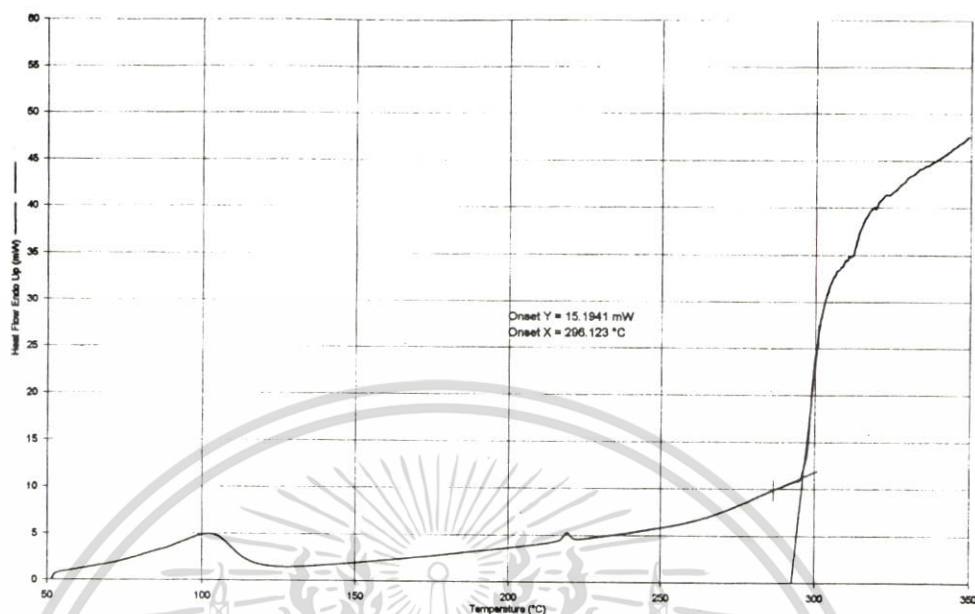


รูปที่ 11 DSC ไดอะแกรมของ PMMA3-CD-IC

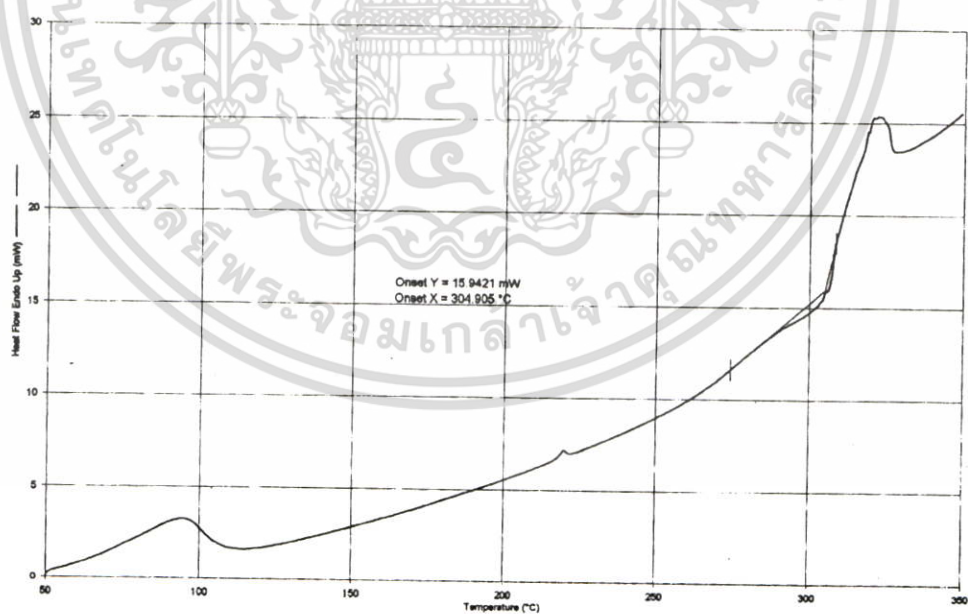


รูปที่ 12 DSC ไดอะแกรมของ PMMA4-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

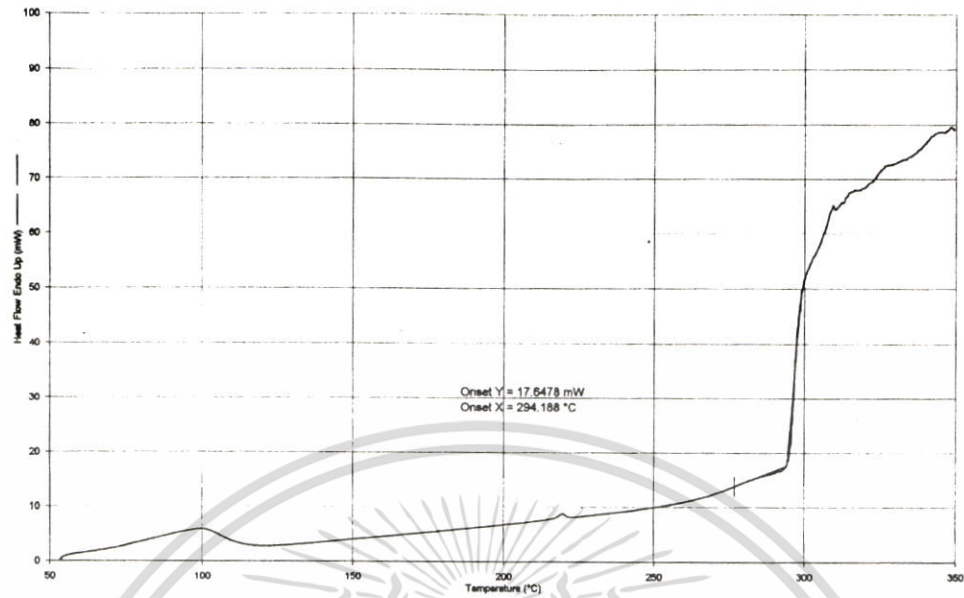


รูปที่ 13 DSC ไดอะแกรมของบดผสม PMMA1 และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

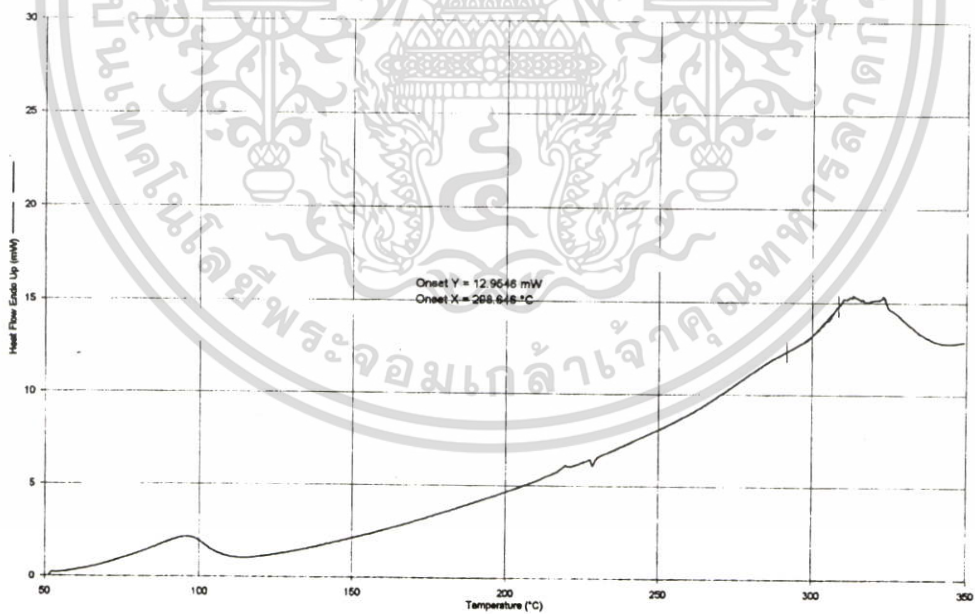


รูปที่ 14 DSC ไดอะแกรมของบดผสม PMMA2 และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 DSC ไดอะแกรมของบดผสม PMMA3 และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน



รูปที่ 16 DSC ไดอะแกรมของบดผสม PMMA4 และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน

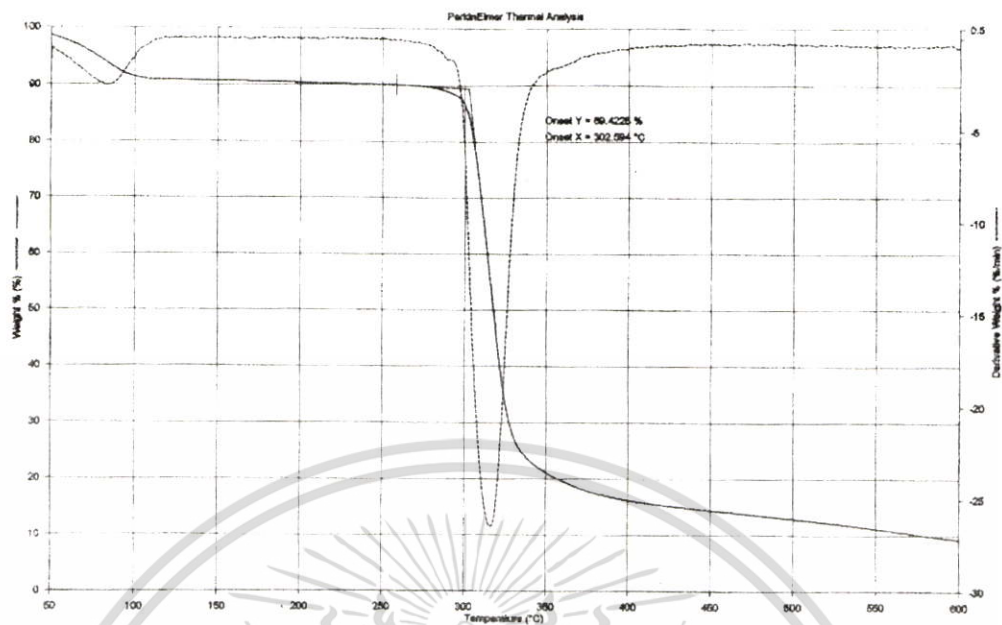
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

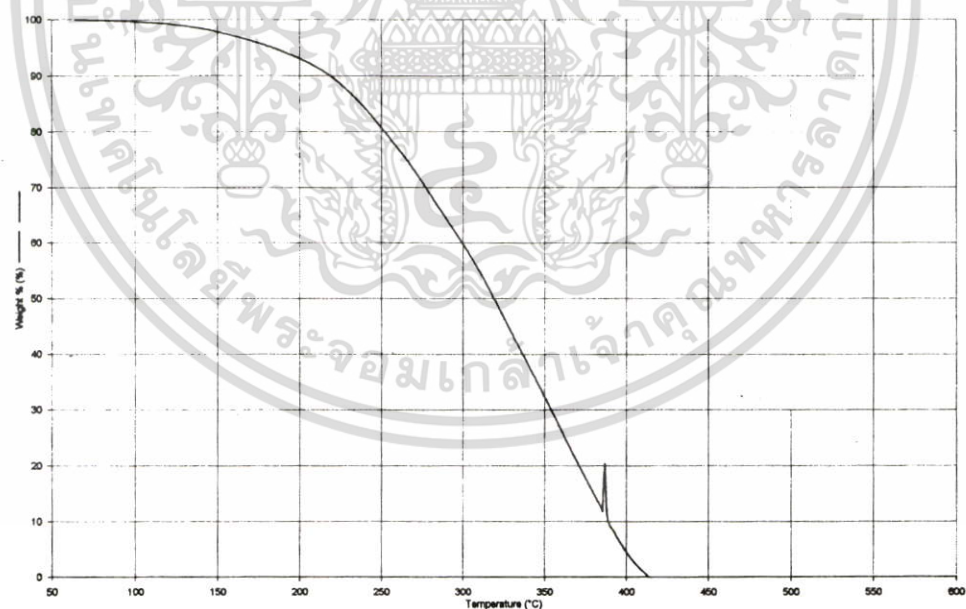
ไดอะแกรมจากเครื่องเทอร์โม
กราฟิเมตริกอนาไลเซอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

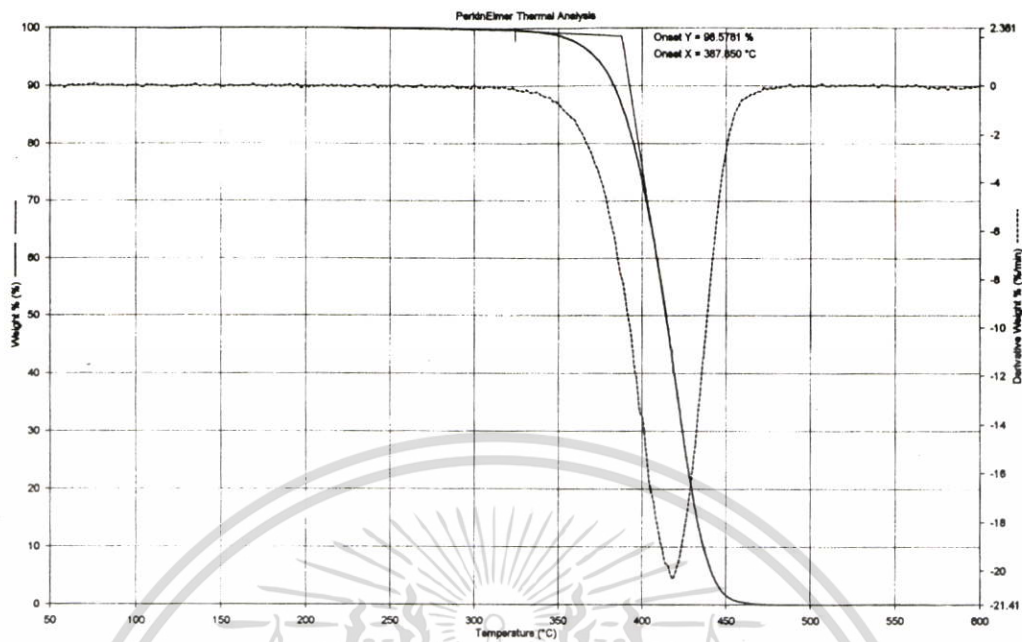


รูปที่ 1 TGA ไดอะแกรมของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

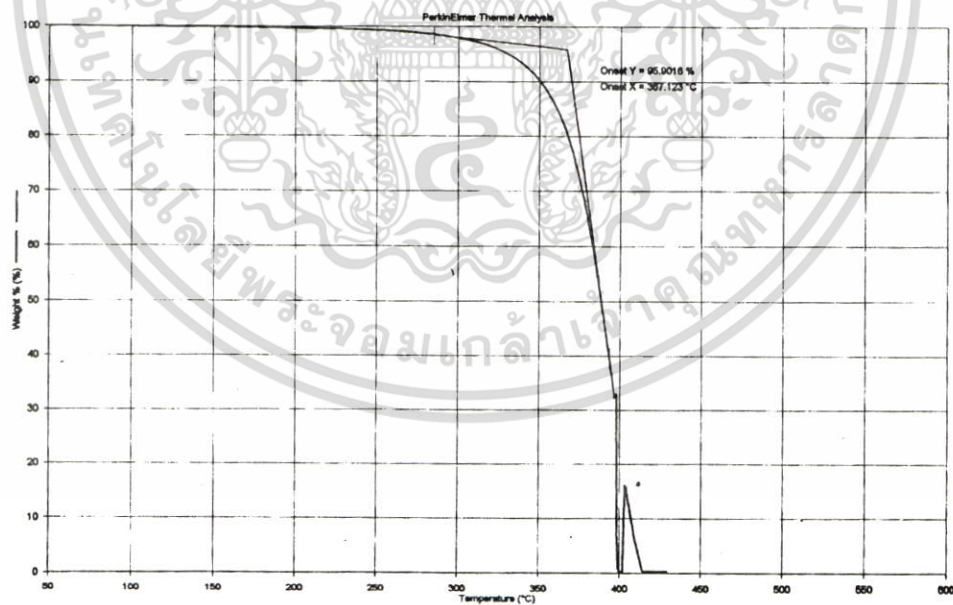


รูปที่ 2 TGA ไดอะแกรมของ PS1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

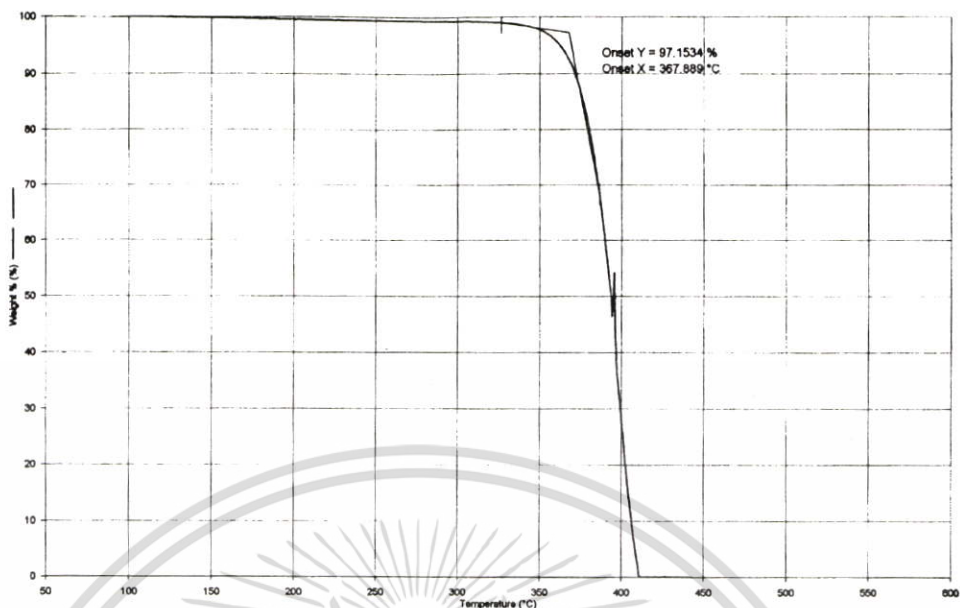


รูปที่ 3 TGA ไดอะแกรมของ PS2

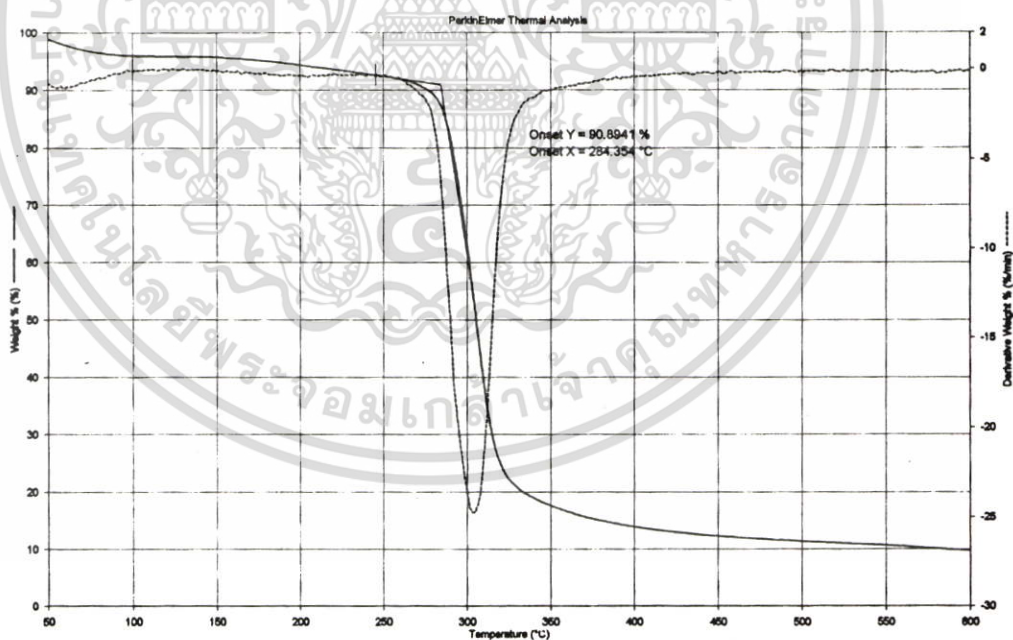


รูปที่ 4 TGA ไดอะแกรมของ PS3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

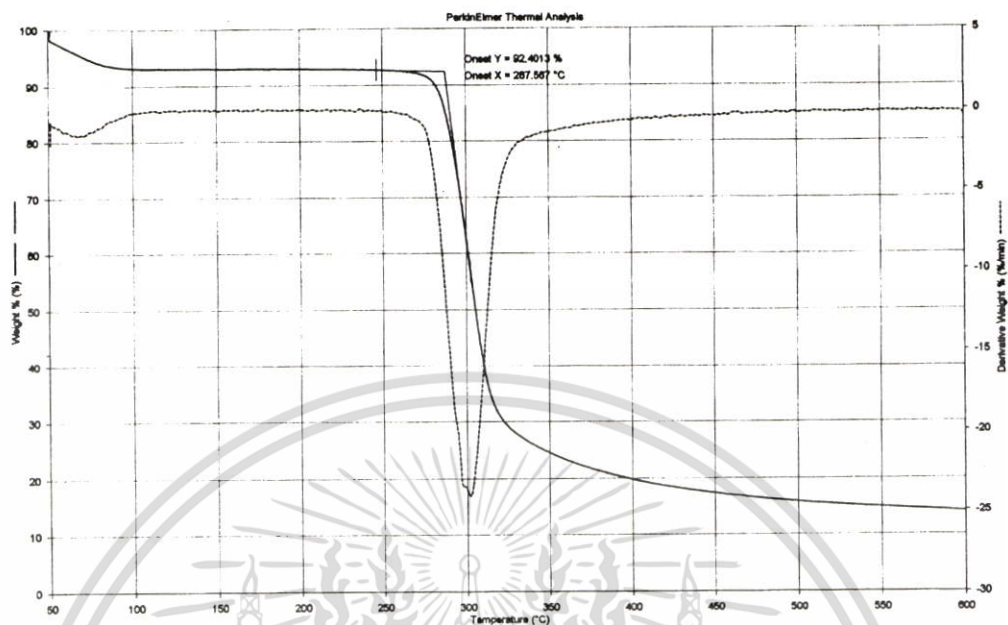


รูปที่ 5 TGA ไดอะแกรมของ PS4

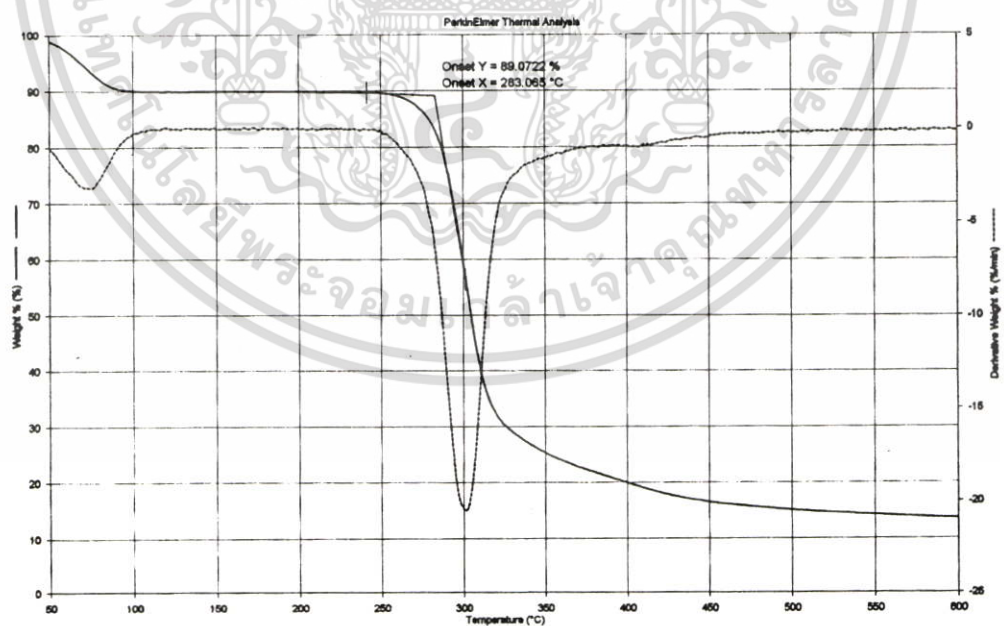


รูปที่ 6 TGA ไดอะแกรมของ PS1-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

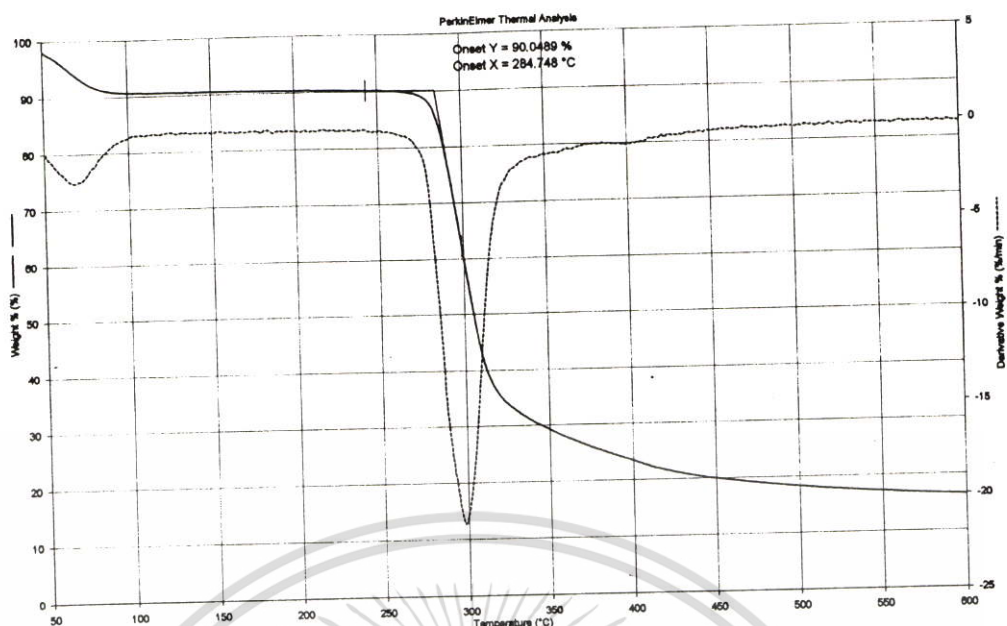


รูปที่ 7 TGA ไดอะแกรมของ PS2-CD-IC

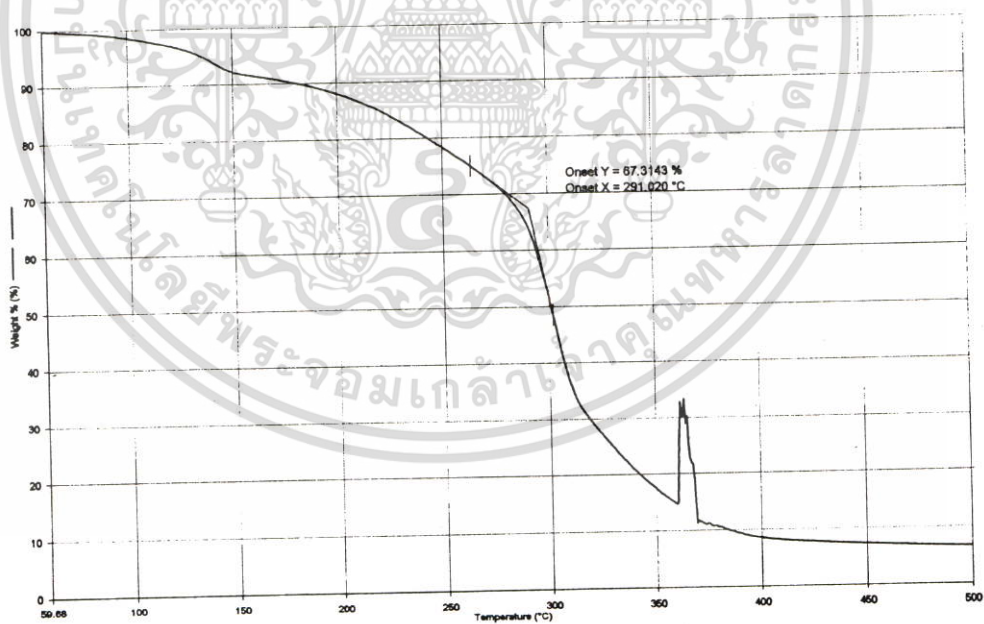


รูปที่ 8 TGA ไดอะแกรมของ PS3-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

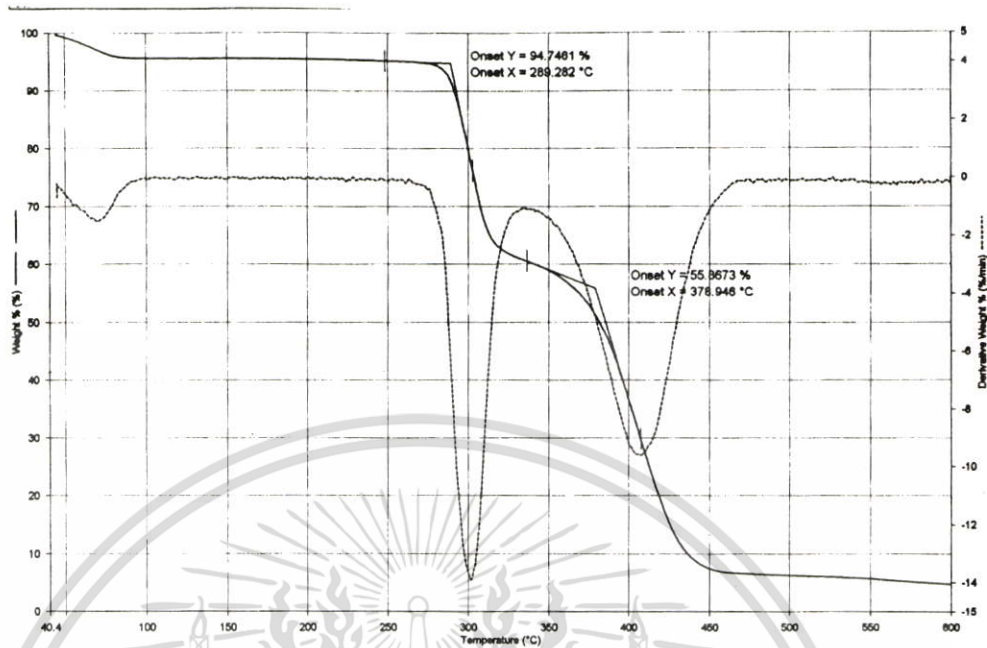


รูปที่ 9 TGA ไดอะแกรมของ PS4-CD-IC

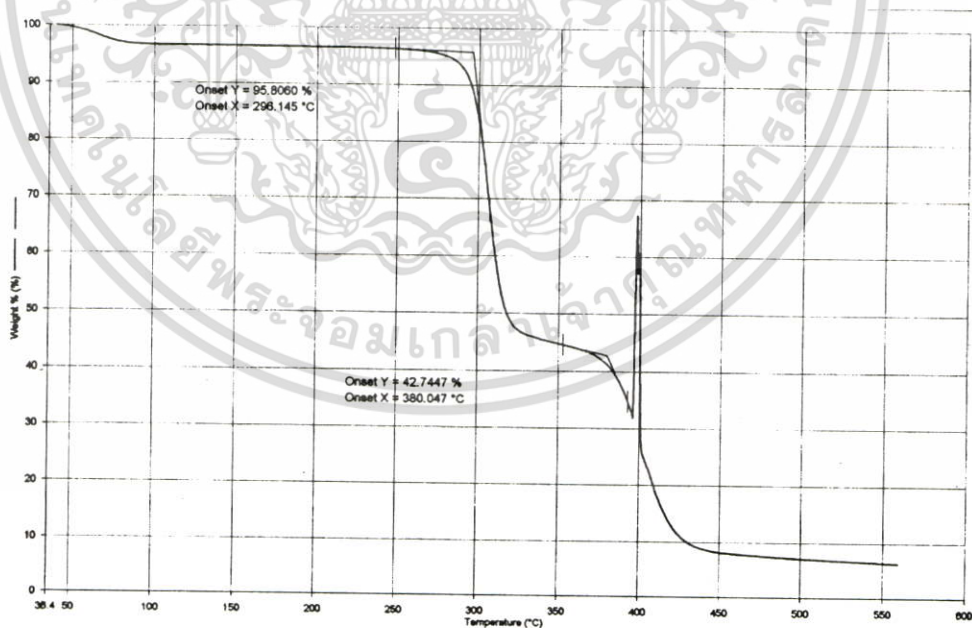


รูปที่ 10 TGA ไดอะแกรมของบดผสม PS1 และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

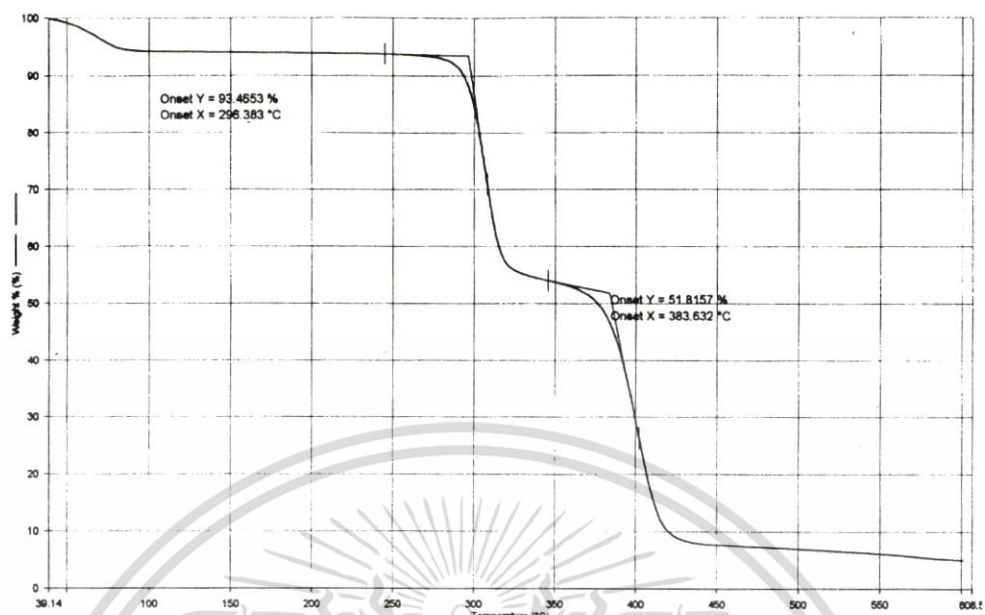


รูปที่ 11 TGA ไดอะแกรมของบดผสม PS2 และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

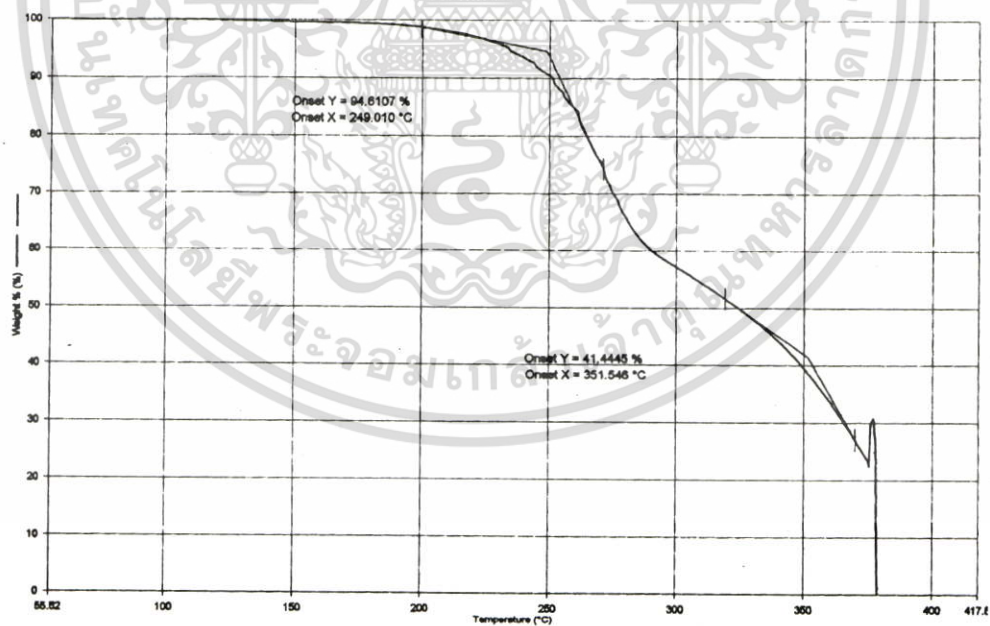


รูปที่ 12 TGA ไดอะแกรมของบดผสม PS3 และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

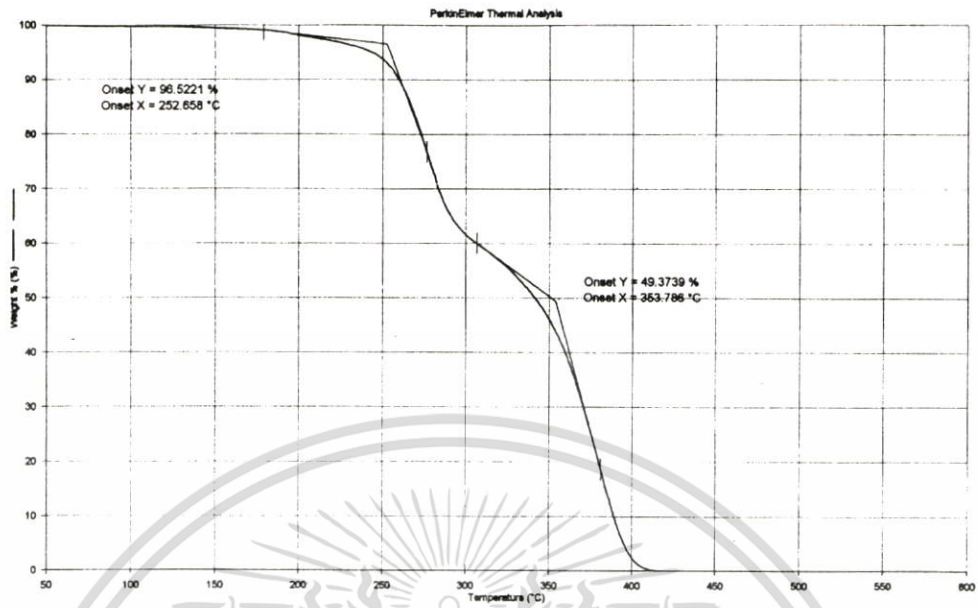


รูปที่ 13 TGA ไดอะแกรมของบดผสม PS4 และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

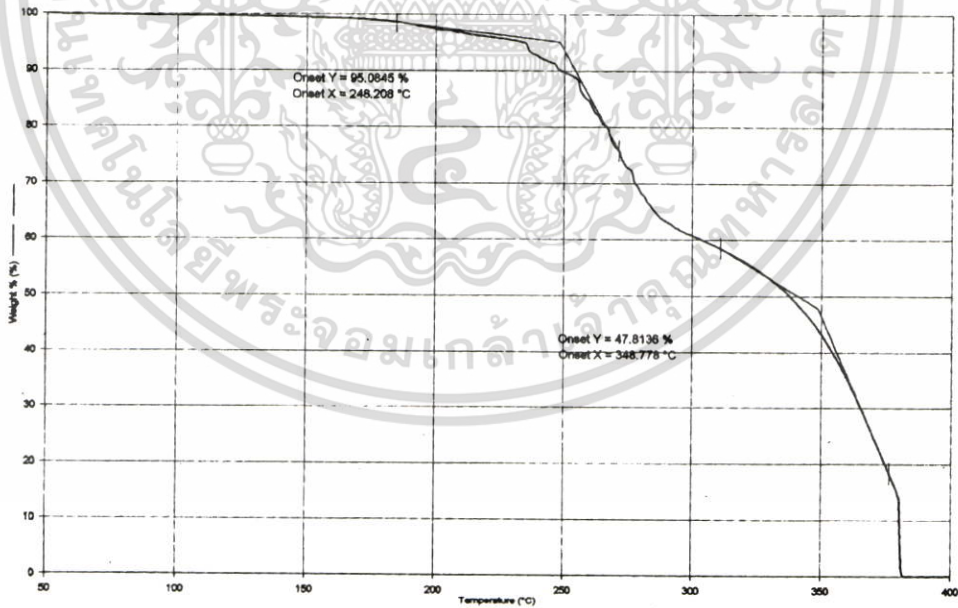


รูปที่ 14 TGA ไดอะแกรมของ PMMA1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

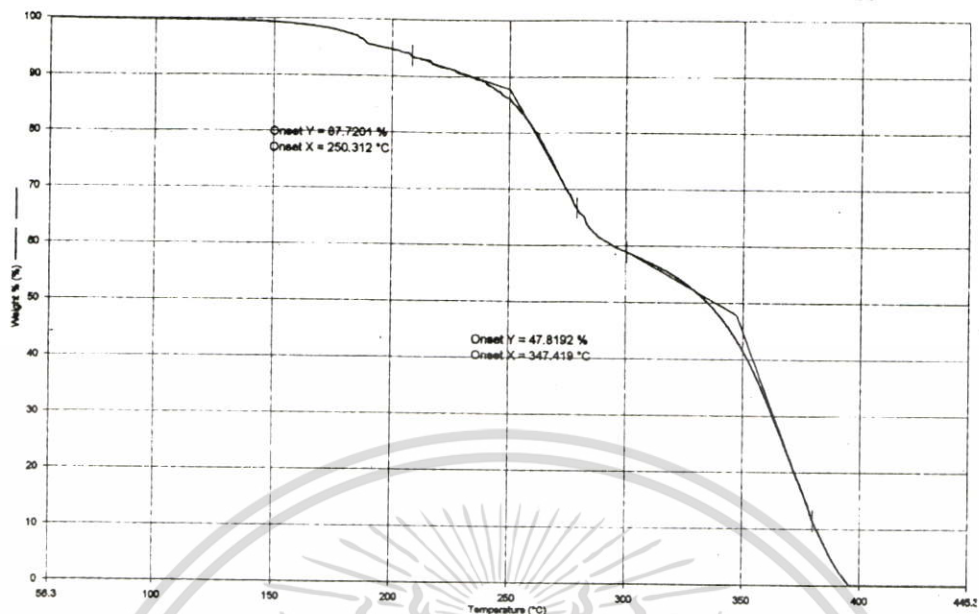


รูปที่ 15 TGA ไดอะแกรมของ PMMA2

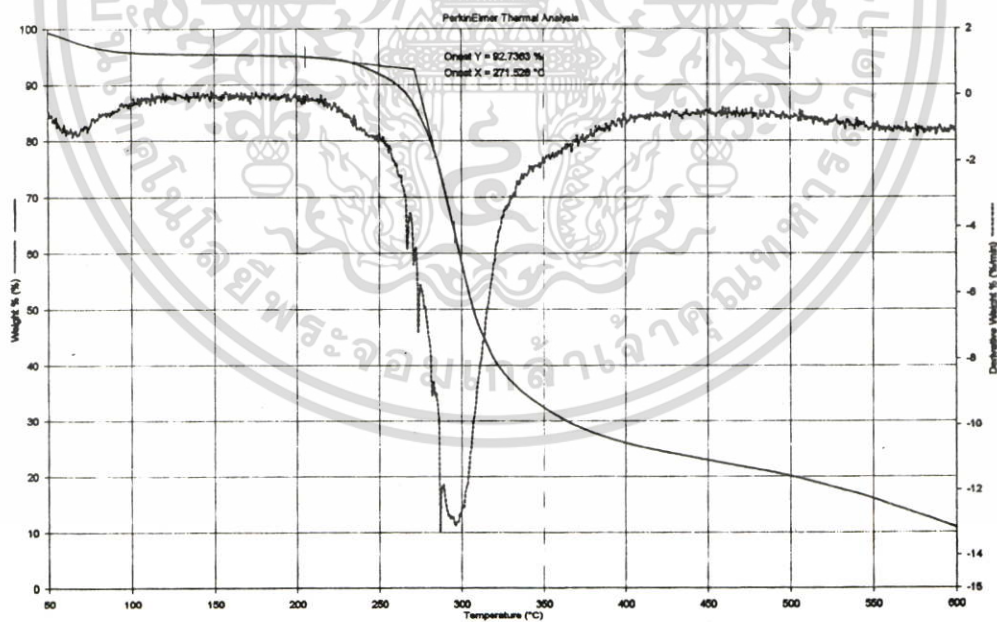


รูปที่ 16 TGA ไดอะแกรมของ PMMA3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

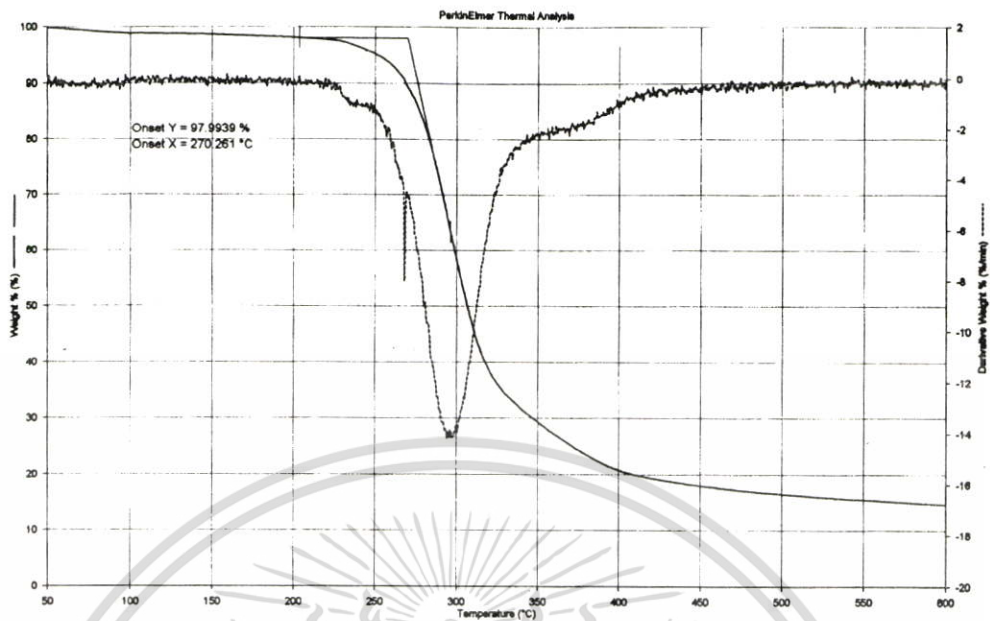


รูปที่ 17 TGA ไดอะแกรมของ PMMA4

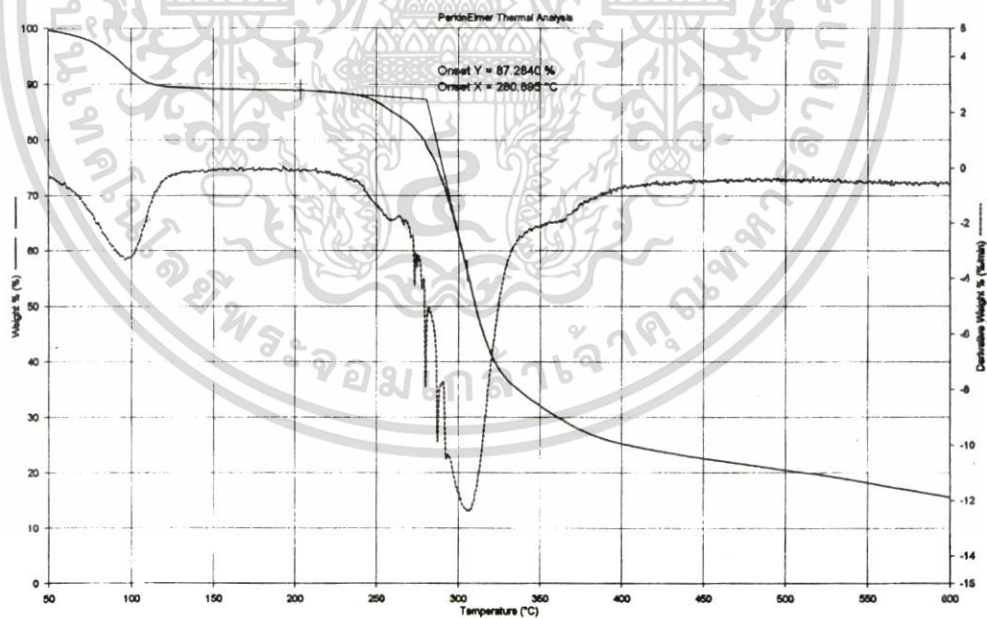


รูปที่ 18 TGA ไดอะแกรมของ PMMA1-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

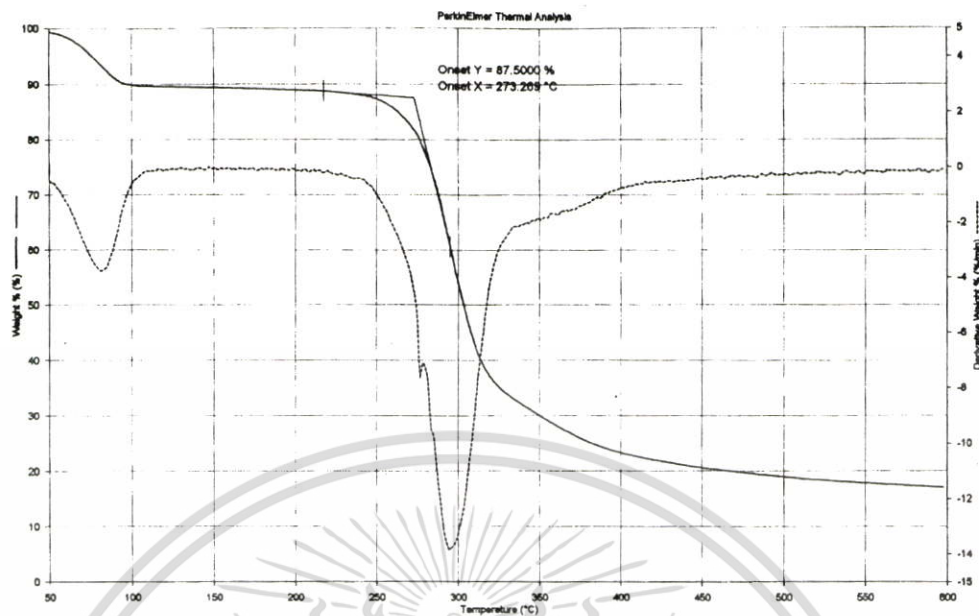


รูปที่ 19 TGA ไดอะแกรมของ PMMA2-CD-IC

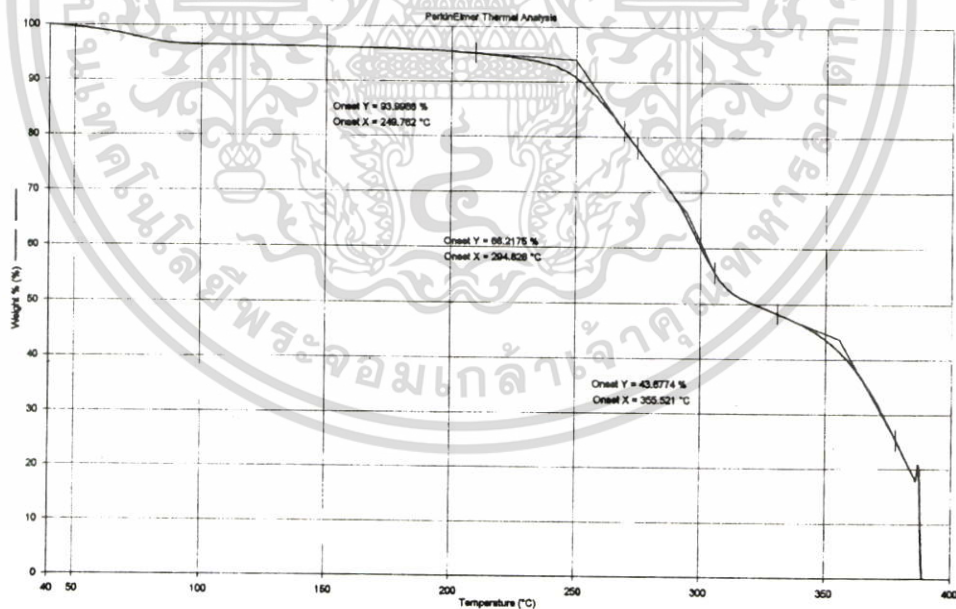


รูปที่ 20 TGA ไดอะแกรมของ PMMA3-CD-IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

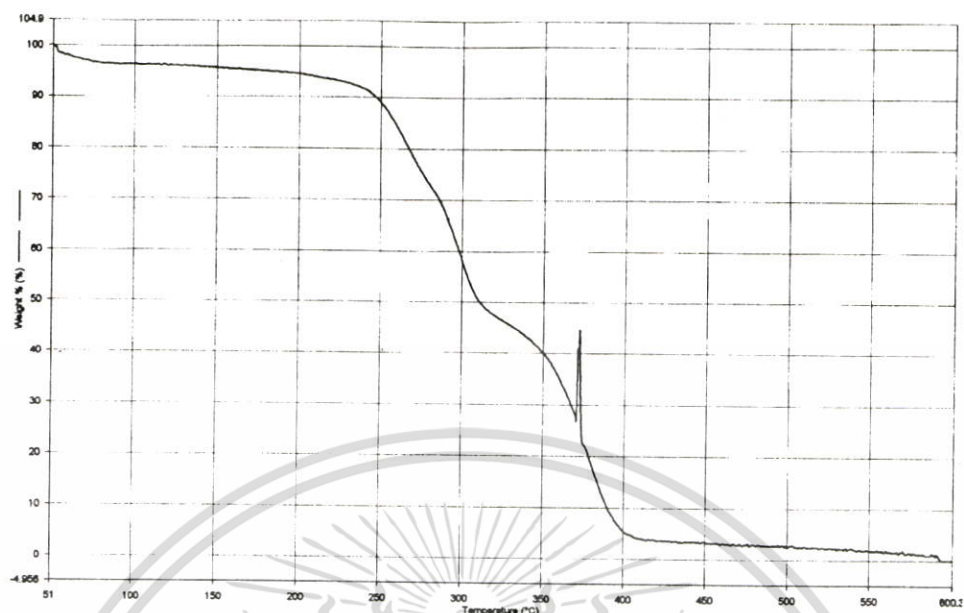


รูปที่ 21 TGA ไดอะแกรมของ PMMA4-CD-IC

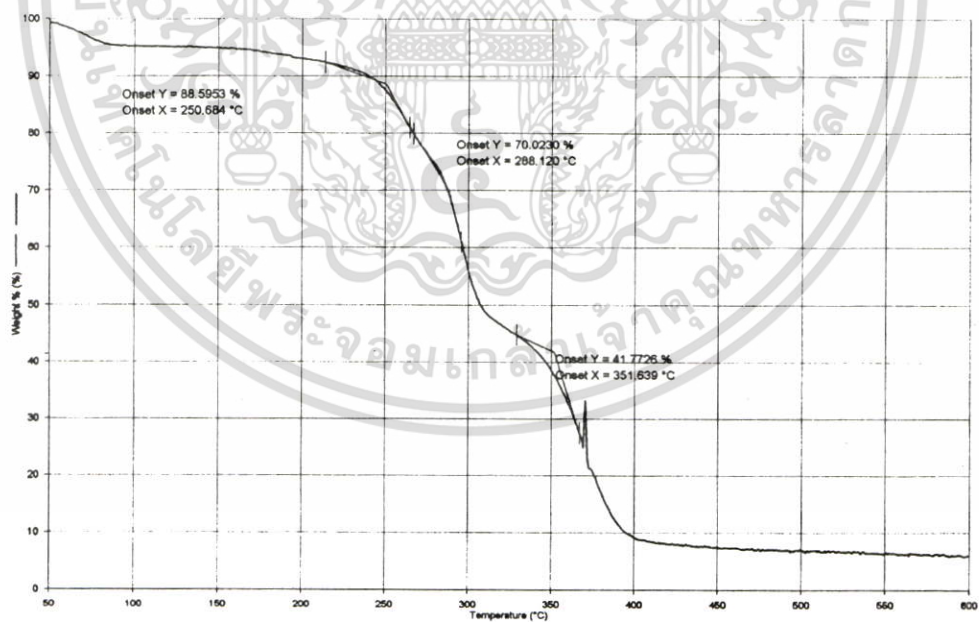


รูปที่ 22 TGA ไดอะแกรมของบดผสม PMMA1 และเบต้า-ไคโคลเด็กซ์ทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

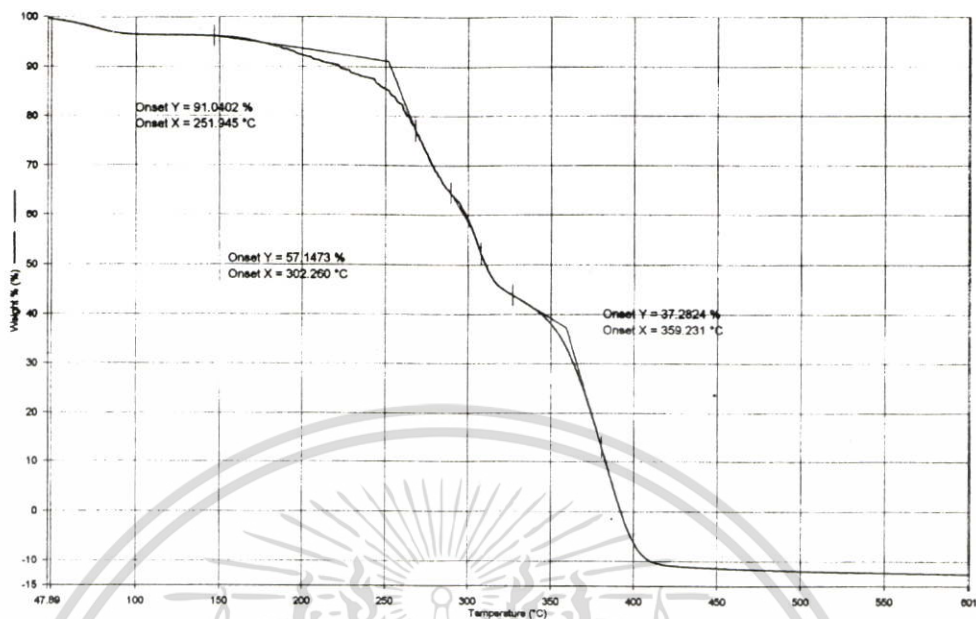


รูปที่ 23 TGA ไดอะแกรมของบดผสม PMMA2 และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ตริน



รูปที่ 24 TGA ไดอะแกรมของบดผสม PMMA3 และเบต้า-ไซโคลเดกซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25 TGA ไดอะแกรมของบดผสม PMMA4 และเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวมนจิรา เซยคำแหง เกิดเมื่อวันที่ 12 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดชัยนาท ภูมิลำเนาเดิมอยู่จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาปิโตรเคมี และวัสดุ พอลิเมอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้