

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การย่อยสลายผลิตภัณฑ์เพตด้วยกระบวนการไกลโคไลซิส

เมื่อนำผลิตภัณฑ์เพตในรูปแบบต่างๆ ที่ผ่านการบดละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 มาผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสด้วยโพรพิลีนไกลคอลในอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเพตต่อโพรพิลีนไกลคอลเท่ากับ 0.5:1.0 โดยมีซิงก์อะซิเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายคือไกลโคไลซ์ โพรดักส์ ที่มีลักษณะตามชนิดของผลิตภัณฑ์เพตที่นำมาย่อยสลาย ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ความแตกต่างนี้เป็นผลเนื่องมาจากการที่ผลิตภัณฑ์เพตที่นำมาย่อยสลายมีการเติมสารเติมแต่ง (additives) ที่แตกต่างกัน คาดว่าตะกอนที่พบในไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายผ้าพอลิเอสเตอร์น่าจะเป็นไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งใช้เป็นสารเติมแต่งสำคัญในการผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์เพื่อให้มีสมบัติทึบแสงไม่เงามัน (dull)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์เพตที่ผ่านการบดแล้ว (ก) ขวดเพต และ (ข) ผ้าพอลิเอสเตอร์

ตารางที่ 4.1 ผลการย่อยสลายผลิตภัณฑ์เพตในรูปแบบต่างๆ

ผลิตภัณฑ์เพต	ลักษณะของไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้
ขวดเพต	ของเหลวใส สีเขียว
ผ้าพอลิเอสเตอร์	ของเหลวใส สีเหลืองอมส้ม ตั้งทิ้งไว้ตกตะกอน



(ก)

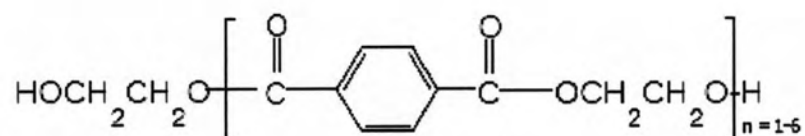


(ข)

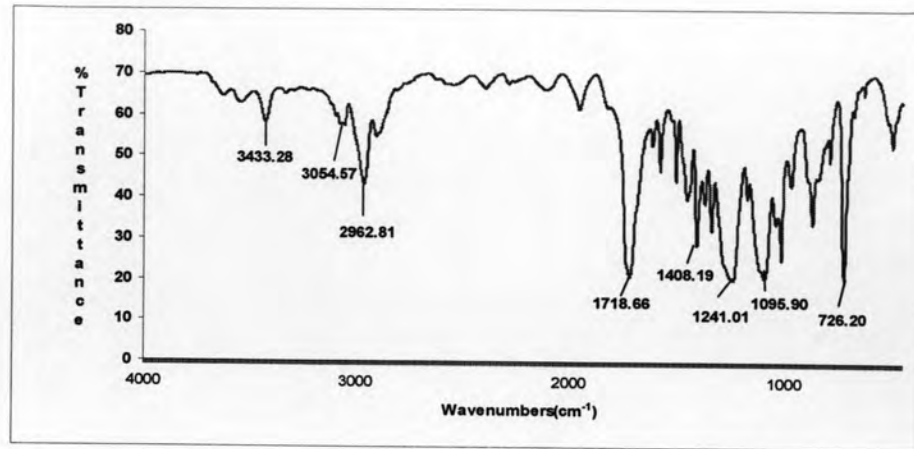
รูปที่ 4.2 ไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายผลิตภัณฑ์เพต (ก) ขวดเพต และ (ข) ผ้าพอลิเอสเตอร์

4.1.1 โครงสร้างทางเคมีของไกลโคไลซ์โพรดักส์

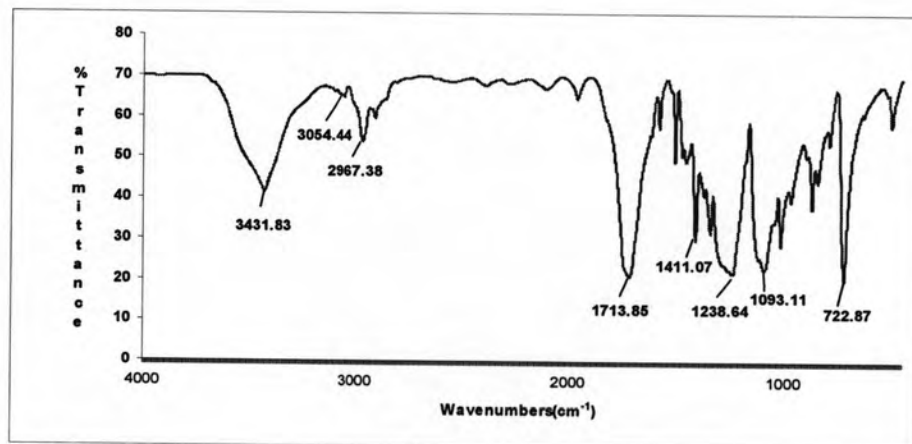
ในทางทฤษฎีโครงสร้างทางเคมีของไกลโคไลซ์โพรดักส์ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันและพันธะทางเคมีหลายชนิดดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งหมู่ฟังก์ชันและพันธะทางเคมีแต่ละชนิดจะแสดงแถบดูดกลืนพลังงานและพีคที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของไกลโคไลซ์โพรดักส์ด้วยเทคนิคฟูรีเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแสดงไว้ในรูปที่ 4.4



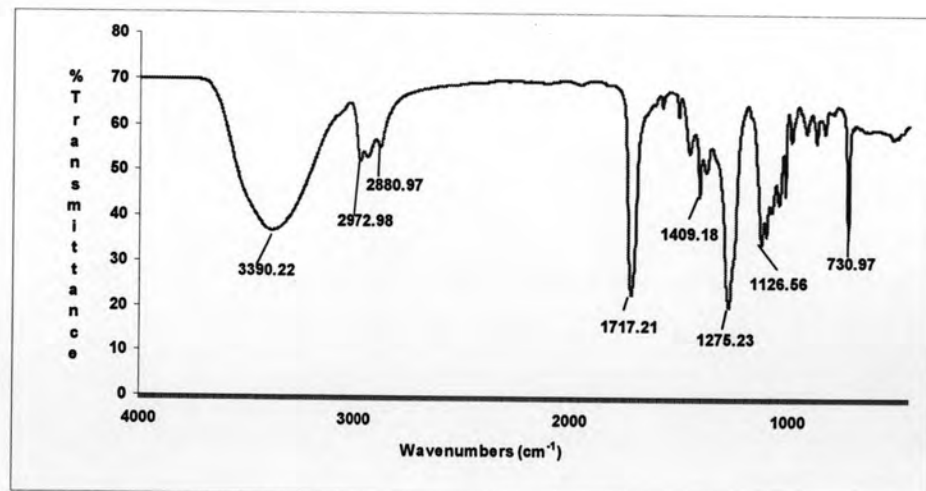
รูปที่ 4.3 โครงสร้างทางเคมีของไกลโคไลซ์โพรดักส์ในทางทฤษฎี



(ก)

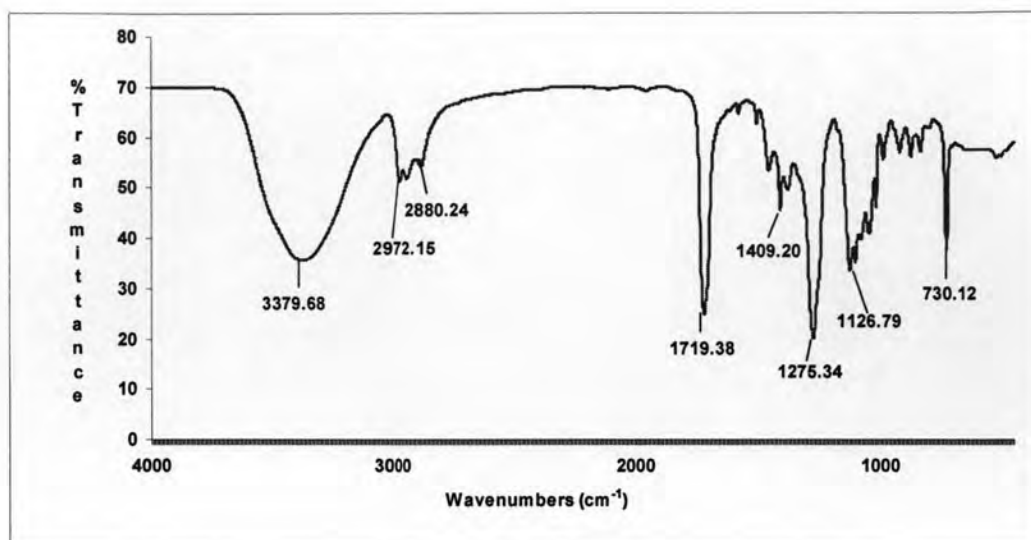


(ข)



(ค)

รูปที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมของ (ก) ขวดเพต (ข) ผ้าพอลิเอสเตอร์ (ค) ไกลโคไลซีโพรดักส์จากการย่อยสลายขวดเพตและ (ง) ไกลโคไลซีโพรดักส์จากการย่อยสลายผ้าพอลิเอสเตอร์



(ง)

รูปที่ 4.4 (ต่อ) FT-IR สเปกตรัมของ (ก) ขวดเพต (ข) ผ้าพอลิเอสเตอร์ (ค) ไกลโคไลซ์โพรดักส์จากการย่อยสลายขวดเพตและ (ง) ไกลโคไลซ์โพรดักส์จากการย่อยสลายผ้าพอลิเอสเตอร์

จากรูปที่ 4.4 ตำแหน่งของพีคสำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของไกลโคไลซ์โพรดักส์แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งของพีคสำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของไกลโคไลซ์โพรดักส์

ตำแหน่ง (ซม ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน
3200-3600	หมู่ไฮดรอกซิล, -OH
2800-3000	-CH ₂
1600-1800	หมู่คาร์บอนิล, C=O
1200-1400	-C-O-C
1000-1200	-C-OH
700-800	aromatic ester

จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า หมู่ฟังก์ชันที่พบในสเปกตรัมของไกลโคไลซ์โพรดักส์จะสัมพันธ์กับโครงสร้างทางเคมีของไกลโคไลซ์โพรดักส์ตามทฤษฎี เมื่อพิจารณารูปที่ 4.4 พบว่า ไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายผลิตภัณฑ์เพตแต่ละชนิดจะแสดงความกว้างของแถบดูดกลืนที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะที่ตำแหน่ง 3200-3600 ซม⁻¹ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่พบ

หมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นผลจากการย่อยสลายโมเลกุลด้วยกระบวนการไกลโคไลซิส โดยโมเลกุลของ เพตถูกตัดขาดเป็นสายโซ่สั้นๆ ที่มีหมู่ ไฮดรอกซิลอยู่ที่ส่วนปลายของโมเลกุล

4.1.2 น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์

การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์ ด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานพอลิสไตรีนที่ทราบ น้ำหนักโมเลกุลที่แน่นอน โดยมีเตตระไฮโดรฟิวแรน (THF) เป็นตัวทำละลาย ผลที่ได้ดังแสดง ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์

ผลิตภัณฑ์	Mn	Mw	PDI
ขวดเพต	260	328	1.3
ผ้าพอลิเอสเทอร์	262	337	1.3

ในทางทฤษฎีไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุดคือ BHET มีน้ำหนักโมเลกุล 254 กรัม/โมล ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 แสดงว่าผลิตภัณฑ์เพตถูกย่อยสลายกลายเป็นโมเลกุลเล็กๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าไกลโคไลซ์โพรดักส์จากขวดเพตและผ้าพอลิเอสเทอร์มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1.3 แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไกลโคไลซิสมีประสิทธิภาพดีในระดับหนึ่ง

ผลการวัดความหนืดของไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายผลิตภัณฑ์เพต และผ่านการปั่นแบบหมุนเหวี่ยงแล้ว พบว่าไกลโคไลซ์โพรดักส์จากขวดเพตและผ้าพอลิเอสเทอร์ มีค่าความหนืด 916 และ 1028 เซนติพอยส์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าไกลโคไลซ์โพรดักส์จากขวดเพตมีค่าความหนืดต่ำกว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์จากขวดเพตที่น้อยกว่าไกลโคไลซ์โพรดักส์จากผ้าพอลิเอสเทอร์

4.2 การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากไกลโคไลซ์โพรดักส์

เมื่อนำไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายผลิตภัณฑ์เพตมาทำปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชันกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

หรือยูพีอี ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวขุ่น และมีสีต่างกันตามชนิดของผลิตภัณฑ์เพศที่นำมาย่อยสลาย เมื่อนำมาละลายในสไตรีนมอนอเมอร์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดลดลง ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการสังเคราะห์ยูพีอีจากไกลโคไลซ์โพรดักส์

สูตร	ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้
ยูพีอีจากขวดเพศ	ของเหลวขุ่น สีเขียว
ยูพีอีจากผ้าพอลิเอสเตอร์	ของเหลวขุ่น สีส้มน้ำตาล ตั้งทิ้งไว้แล้วตกตะกอนสีขาว



(ก)

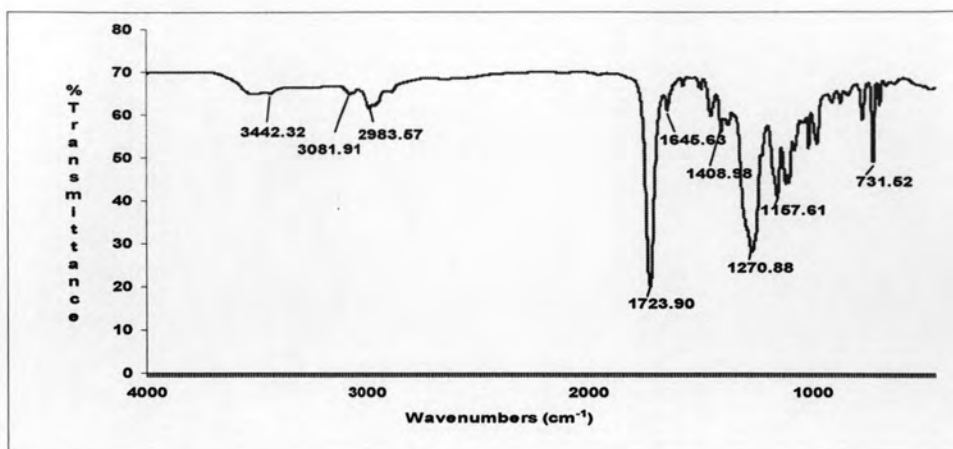


(ข)

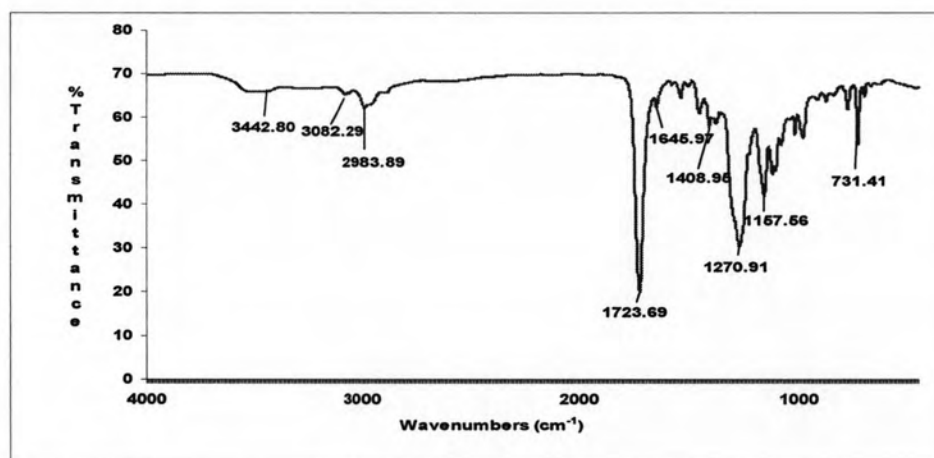
รูปที่ 4.5 พอลิเอสเตอร์เรซินจากไกลโคไลซ์โพรดักส์ (ก) จากขวดเพศ (ข) จากผ้าพอลิเอสเตอร์

4.2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอสเตอร์เรซิน

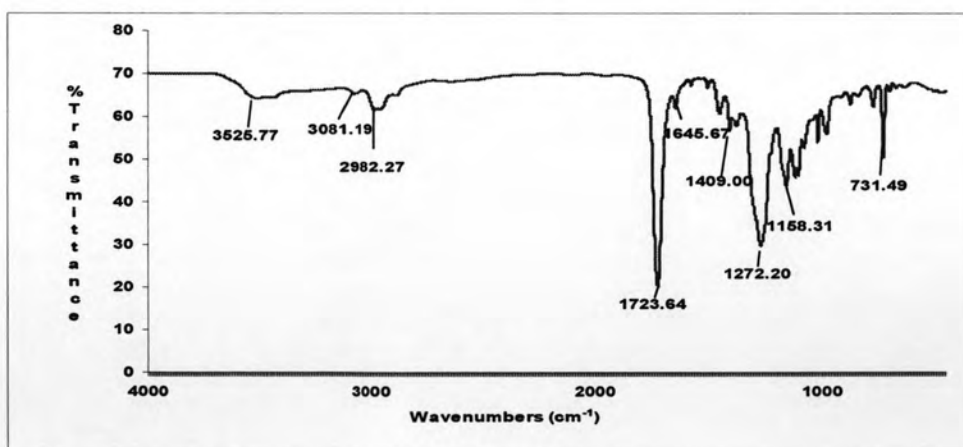
ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอสเตอร์เรซินที่สังเคราะห์จากไกลโคไลซ์โพรดักส์ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



(ก)

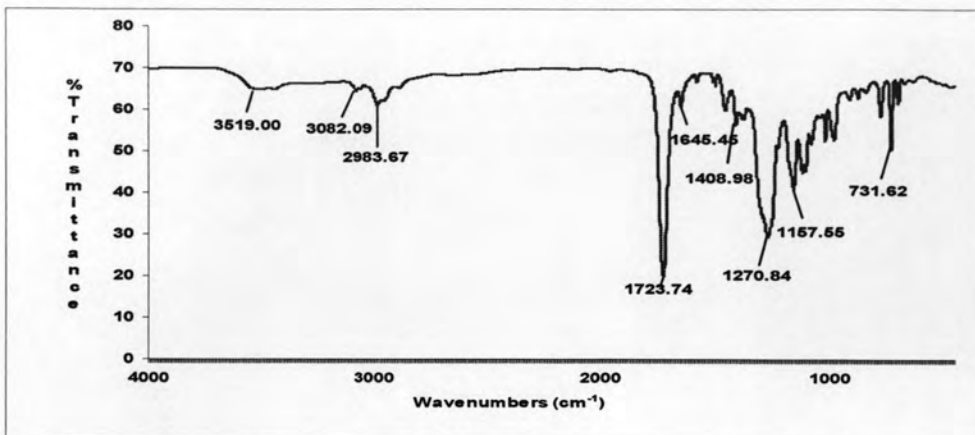


(ข)

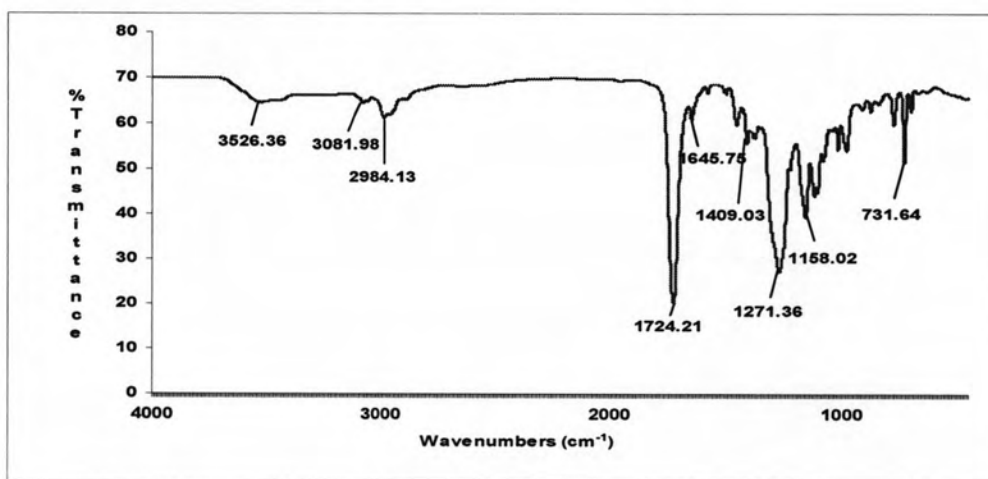


(ค)

รูปที่ 4.6 (ก)-(จ) FT-IR สเปกตรัมของพอลิเอสเทอร์เรซินที่สังเคราะห์จากไกลโคไลซิโพรดักส์ (ก) ขวดเพต/MA (ข) ขวดเพต/SA 0.125 (ค)ขวดเพต/AA 0.125 (ง) ผ้าพอลิเอสเทอร์/MA(จ) ผ้าพอลิเอสเทอร์/SA 0.125



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.6 (ต่อ) (ก)-(จ) FT-IR สเปกตรัมของพอลิเอสเทอร์เรซินที่สังเคราะห์จากไกลโคไลซีโพรดักส์ (ก) ขวดเพต/MA (ข) ขวดเพต/SA 0.125 (ค)ขวดเพต/AA 0.125 (ง) ผ้าพอลิเอสเทอร์/MA(จ) ผ้าพอลิเอสเทอร์/SA 0.125

จากรูปที่ 4.6 ตำแหน่งของพีคสำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของพอลิเอสเทอร์เรซิน แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตำแหน่งของพีคสำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของยูพีอี

ตำแหน่ง (ซม ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน
3400-3600	Free -OH (unreacted glycol)
2900-3000	Propylene glycol (characteristics)
1700-1800	C=O
1600-1700	C=C (free maleic double bond)
1200-1300	C-O
1000-1100	Reacted terephthalic acid

จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ตำแหน่งของการเกิดพีคสำคัญๆ นั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน แสดงว่าเรซินที่สังเคราะห์ได้จากไกลโคไลซ์โพรดักส์ต่างชนิดกัน จะมีองค์ประกอบใกล้เคียงกันแต่มีปริมาณต่างกัน โดยเฉพาะที่ตำแหน่ง 2900-3000 ซม⁻¹ และ 3400-3600 ซม⁻¹ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แสดงลักษณะเฉพาะของโพรพิลีนไกลคอล และหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ ตามลำดับ ณ ตำแหน่งนี้เรซินจะแสดงความกว้างของแถบดูดกลืนที่สูง และมี % transmittance ที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์อย่างมาก ซึ่งเป็นผลของหมู่ไฮดรอกซิล ที่ลดลงภายหลังจากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไกลโคไลซ์โพรดักส์กับ มาเลอิกแอนไฮไดรด์

4.2.2 ความหนืดของพอลิเอสเทอร์เรซิน

ผลการตรวจวัดความหนืดของพอลิเอสเทอร์เรซินที่สังเคราะห์จากไกลโคไลซ์โพรดักส์ แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความหนืดของพอลิเอสเทอร์เรซิน

สูตรที่	ความหนืด (เซนติพอยส์)
ขวดเพต/MA	469
ขวดเพต/SA 0.125	462
ขวดเพต/SA 0.250	460
ขวดเพต/SA 0.375	457
ขวดเพต/SA 0.500	450

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ความหนืดของพอลิเอสเตอร์เรซิน

สูตรที่	ความหนืด (เซนติพอยส์)
ขวดเพต/AA 0.125	466
ขวดเพต/AA 0.250	461
ขวดเพต/AA 0.375	448
ผ้าพอลิเอสเตอร์/MA	495
ผ้าพอลิเอสเตอร์/SA 0.125	483
ผ้าพอลิเอสเตอร์/SA 0.250	489
ผ้าพอลิเอสเตอร์/SA 0.375	481

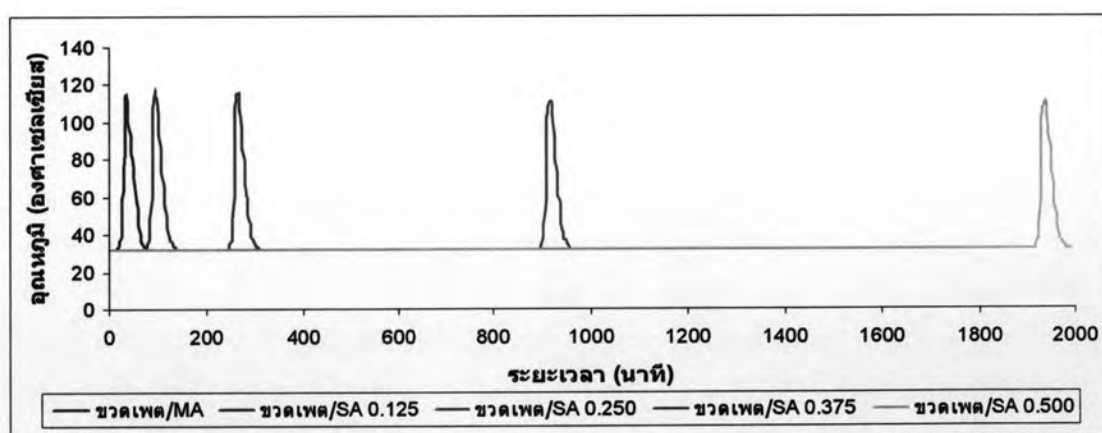
จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ความหนืดของพอลิเอสเตอร์เรซินที่สังเคราะห์ได้ในแต่ละสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 469-495 เซนติพอยส์โดยพอลิเอสเตอร์เรซินที่สังเคราะห์จากผ้าพอลิเอสเตอร์จะมีค่าความหนืดสูงกว่าเล็กน้อยเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไกลโคไลซ์ที่ใช้สังเคราะห์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าเล็กน้อย

4.2.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของพอลิเอสเตอร์เรซิน

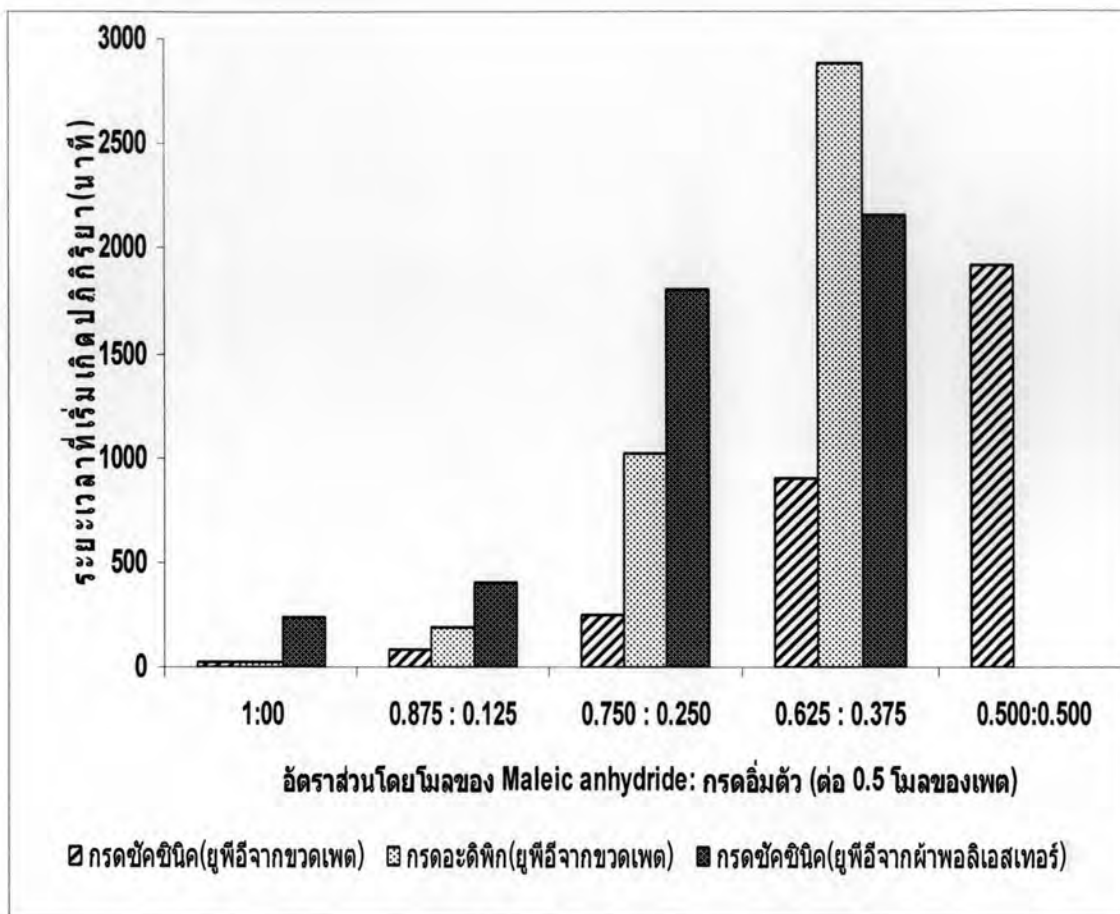
เมื่อผสมพอลิเอสเตอร์เรซินกับโคบอลต์ออกไซด์และเมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ แล้วจับเวลาพร้อมทั้งวัดอุณหภูมิจนกระทั่งเรซินแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และสามารถเขียนกราฟแสดงระยะเวลาที่เริ่มเกิดปฏิกิริยา ระยะเวลาการแข็งตัวและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 - 4.9 ตามลำดับ สำหรับพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวที่มีสัดส่วนของกรดซัคซินิกมากกว่า 0.5 โมลต่อโมลของเพต(ขวดเพต/SA 0.625) และกรดอะดิพิกมากกว่า 0.375 โมลต่อโมลของเพต(ขวดเพต/AA 0.500) ไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากไม่เกิดการแข็งตัว

ตารางที่ 4.7 ระยะเวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์เรซิน

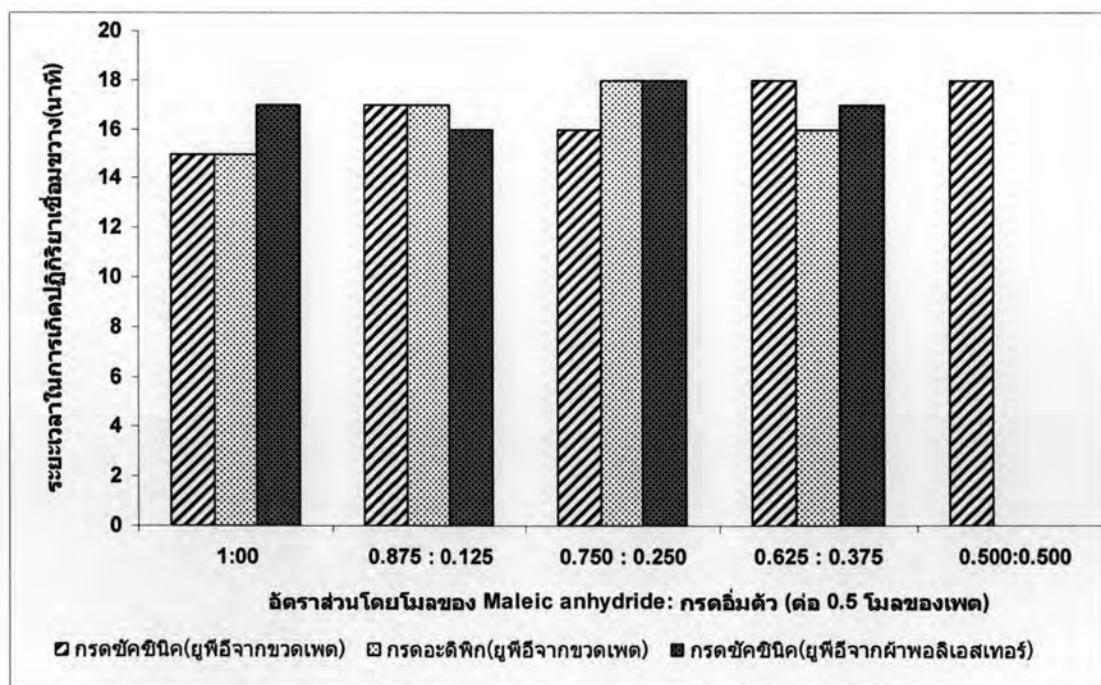
พอลิเอสเทอร์เรซิน	ระยะเวลาที่เริ่มเกิดปฏิกิริยา (นาที)	ระยะเวลาในการแข็งตัว (นาที)	ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (Δt) (นาที)
ขวดเพต/MA	20	35	15
ขวดเพต/SA 0.125	80	96	16
ขวดเพต/SA 0.250	250	266	16
ขวดเพต/SA 0.375	900	918	18
ขวดเพต/SA 0.5	1920	1938	18
ขวดเพต/AA 0.125	195	212	17
ขวดเพต/AA 0.250	1020	1038	18
ขวดเพต/AA 0.375	2880	2896	16
ผ้าพอลิเอสเทอร์/MA	240	257	17
ผ้าพอลิเอสเทอร์/SA 0.125	400	416	16
ผ้าพอลิเอสเทอร์/SA 0.250	1800	1818	18
ผ้าพอลิเอสเทอร์/SA 0.375	2160	2177	17



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและอุณหภูมิของพอลิเอสเทอร์เรซิน



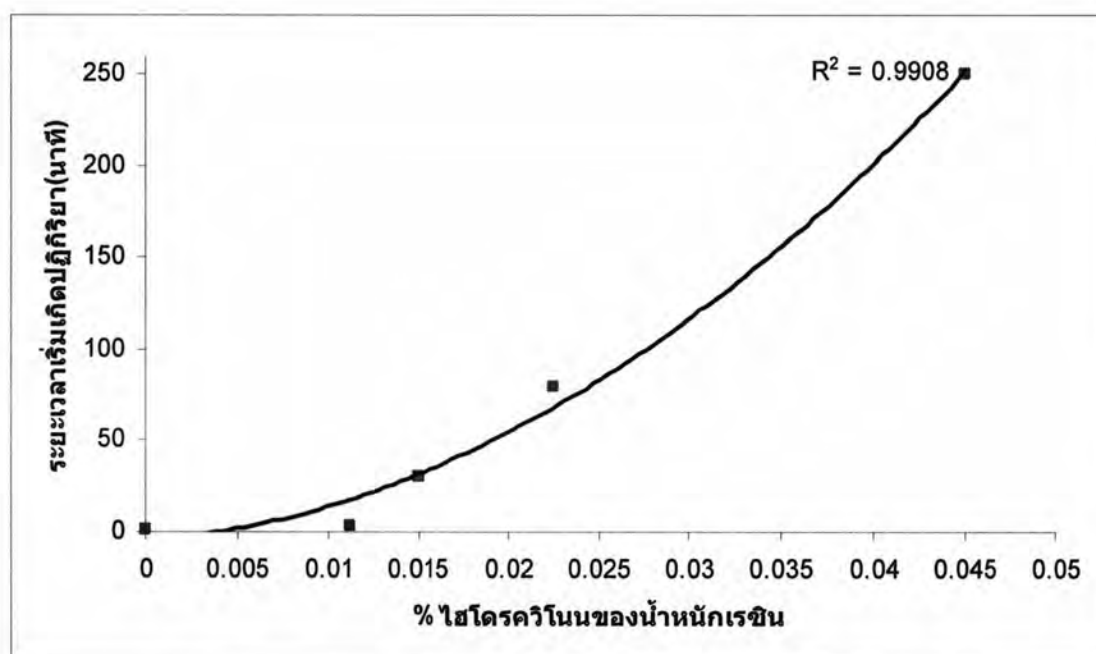
รูปที่ 4.8 ระยะเวลาที่เริ่มเกิดปฏิกิริยาของพอลิเอสเตอร์เรซิน



รูปที่ 4.9 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของพอลิเอสเตอร์เรซิน

จากตาราง 4.7 และรูป 4.6-4.9 พบว่า เมื่อปริมาณกรดอิมตัวมากขึ้นไม่มีผลต่อระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวาง แต่จะทำให้ระยะเวลาเริ่มเกิดปฏิกิริยาและระยะเวลาในการแข็งตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณกรดอิมตัวมากขึ้นจะทำให้ปริมาณพันธะคู่ในพอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิมตัวลดลง ส่งผลให้ปริมาณการเชื่อมขวางของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์ลดลง ดังนั้นวิธีการที่จะปรับปรุงระยะเวลาเริ่มเกิดปฏิกิริยาให้เหมาะสมจึงน่าจะทำการลดปริมาณไฮโดรควิโนนซึ่งเป็นสารยับยั้ง เนื่องจากการใส่ไฮโดรควิโนนปริมาณเท่ากันในทุกสูตรจะทำให้ไฮโดรควิโนนทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้นในพอลิเอสเตอร์เรซินที่มีพันธะคู่น้อยกว่า

เพื่อพิสูจน์สมมติฐานดังกล่าว จึงได้ทำการทดลองโดยใช้ไฮโดรควิโนนที่เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักของเรซินแตกต่างกัน ทำให้ได้ผลของระยะเวลาเริ่มเกิดปฏิกิริยา ดังแสดงในรูป 4.10 ซึ่งมีผลตรงตามการวิเคราะห์ข้างต้น

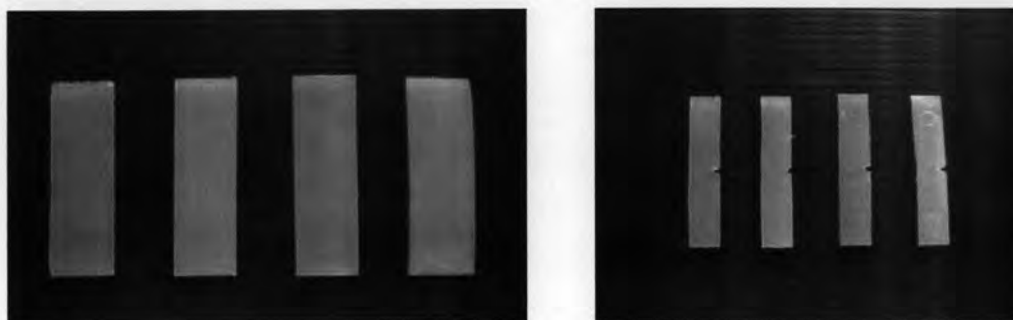


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรควิโนนและระยะเวลาเริ่มต้นปฏิกิริยา

4.3 การขึ้นรูปพอลิเอสเตอร์เรซิน

เมื่อนำพอลิเอสเตอร์เรซินทั้งที่ได้จากการสังเคราะห์มาทำให้แข็งตัว โดยใช้เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาและโคบอลต์ออกโตเอตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณอย่างละ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเรซิน จะได้ผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน

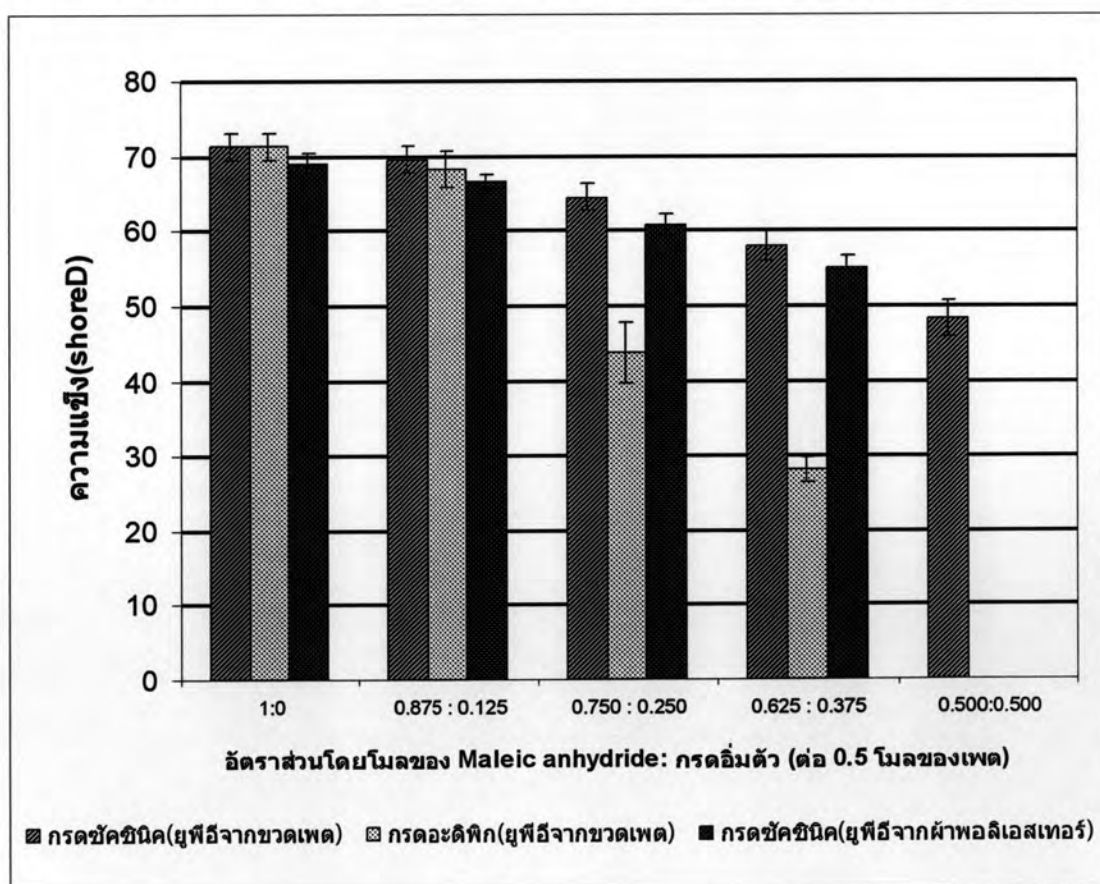
โดยผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์จากขวดเพดจะมีสีม่วงอ่อน ซึ่งเป็นผลมาจากสีของโคบอลต์ ออกไซด์ซึ่งเป็นสีม่วงเข้ม ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ลักษณะของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์

4.3.1 ความแข็ง

ผลการทดสอบความแข็งของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์ที่ได้จากการผสมกรดไม่อิ่มตัวและกรดอิ่มตัวที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน ด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ชนิด Shore D ดังแสดงในรูปที่ 4.12

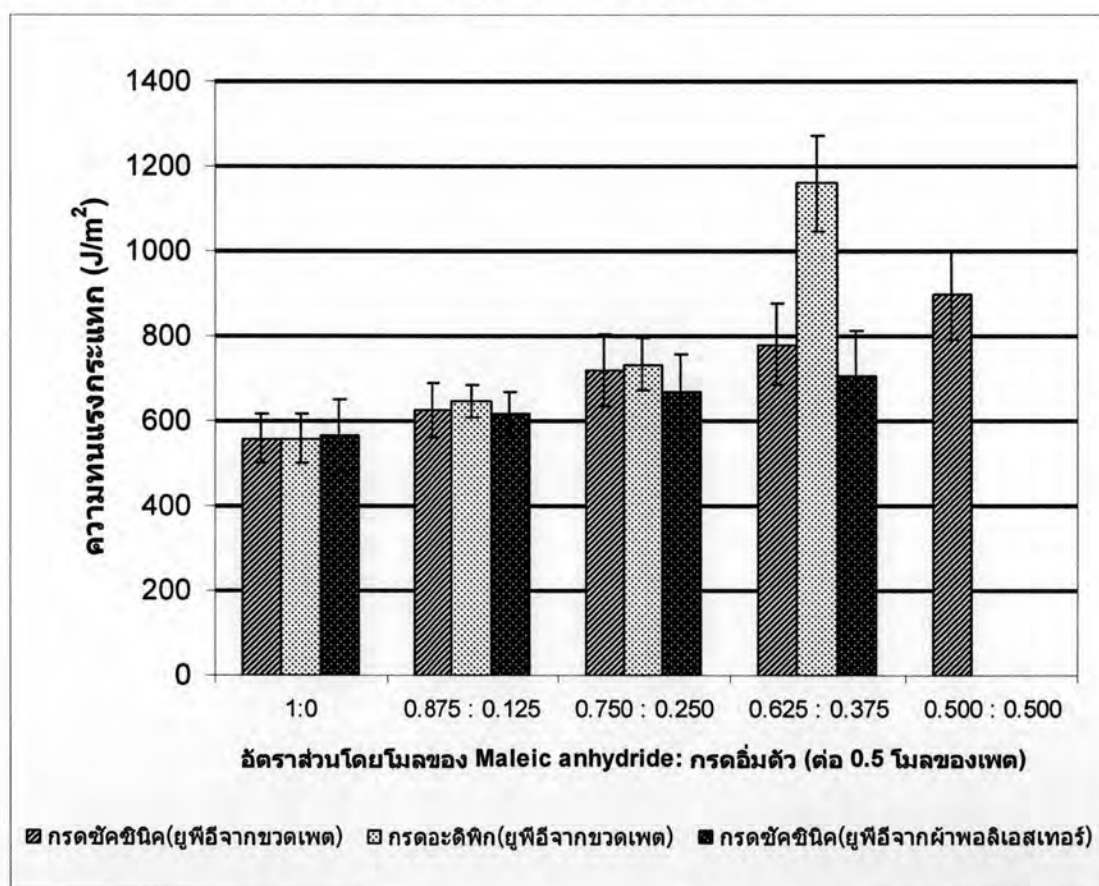


รูปที่ 4.12 ความแข็งของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนกรดอิมตัวจะทำให้ผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์ที่ได้มีค่าความแข็งแรงลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากจำนวนการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์สังเคราะห์ลดลงและค่าความแข็งแรงของพอลิเอสเทอร์ที่ปรับปรุงด้วยกรดอะดิพิกจะลดลงมากกว่าผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์ที่ปรับปรุงด้วยด้วยกรดซัคซินิก เนื่องจากกรดอะดิพิกซึ่งมีสายโซ่โมเลกุลยาวกว่าส่งผลให้ระยะห่างจุดเชื่อมขวางมากขึ้น และผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์จากขวดและผ้าพอลิเอสเทอร์มีค่าความแข็งแรงลดลงใกล้เคียงกัน

4.3.2 ความทนแรงกระแทก

ผลการทดสอบความทนแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์ที่ได้จากการผสมกรดไมอิมตัวและกรดอิมตัวที่สัดส่วนต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.13



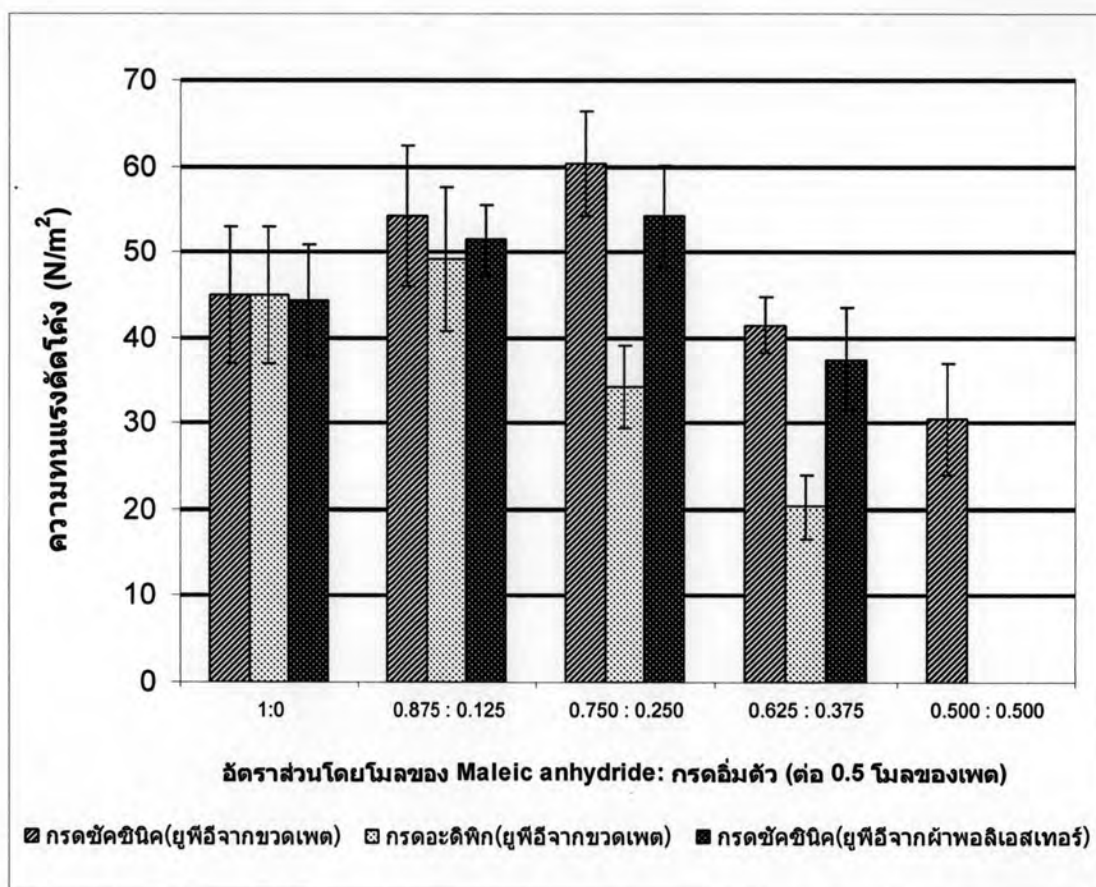
รูปที่ 4.13 ความทนแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณกรดอิมตัวมากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์ที่ได้มีค่าความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในกรดซัคซินิก และเพิ่มขึ้นอย่างมากใน

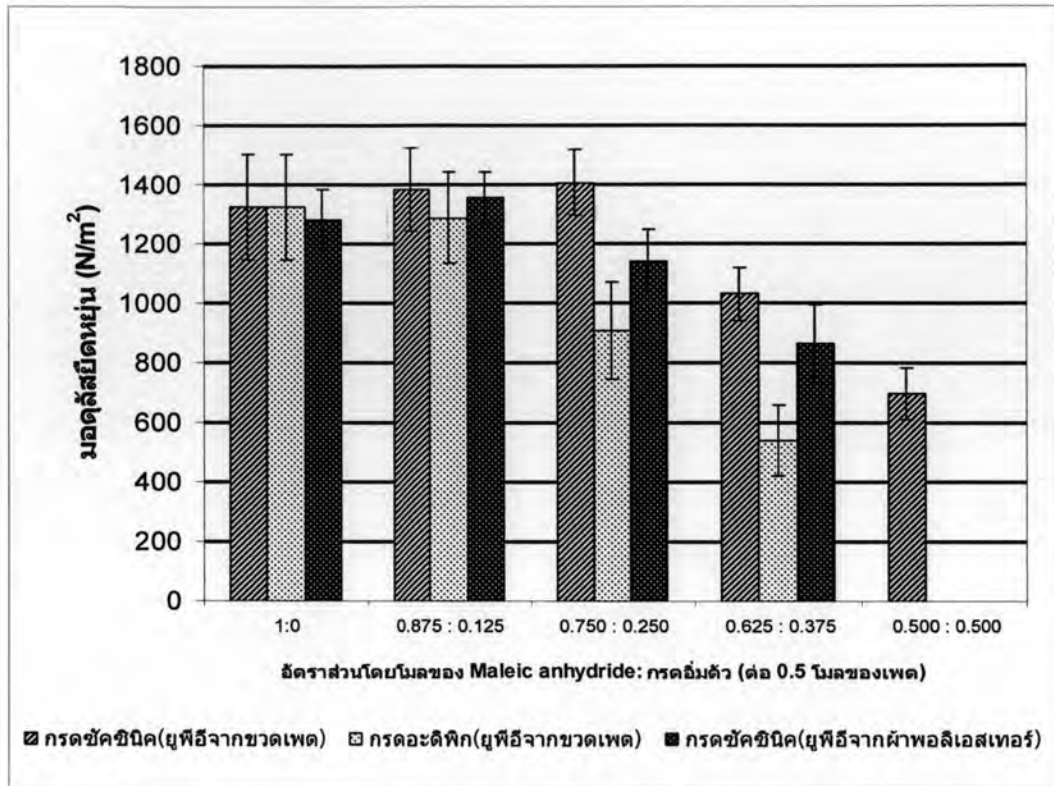
กรดอะดีพิก เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของกรดอิมตัวในยูพีอี ซึ่งไม่มีการเชื่อมขวางนี้ จะทำหน้าที่กระจายแรงกระแทกที่ได้รับ ทำให้ชิ้นงานมีความเปราะน้อยลงและทนแรงกระแทกมากขึ้น

4.3.3 สมบัติด้านแรงดัดโค้ง

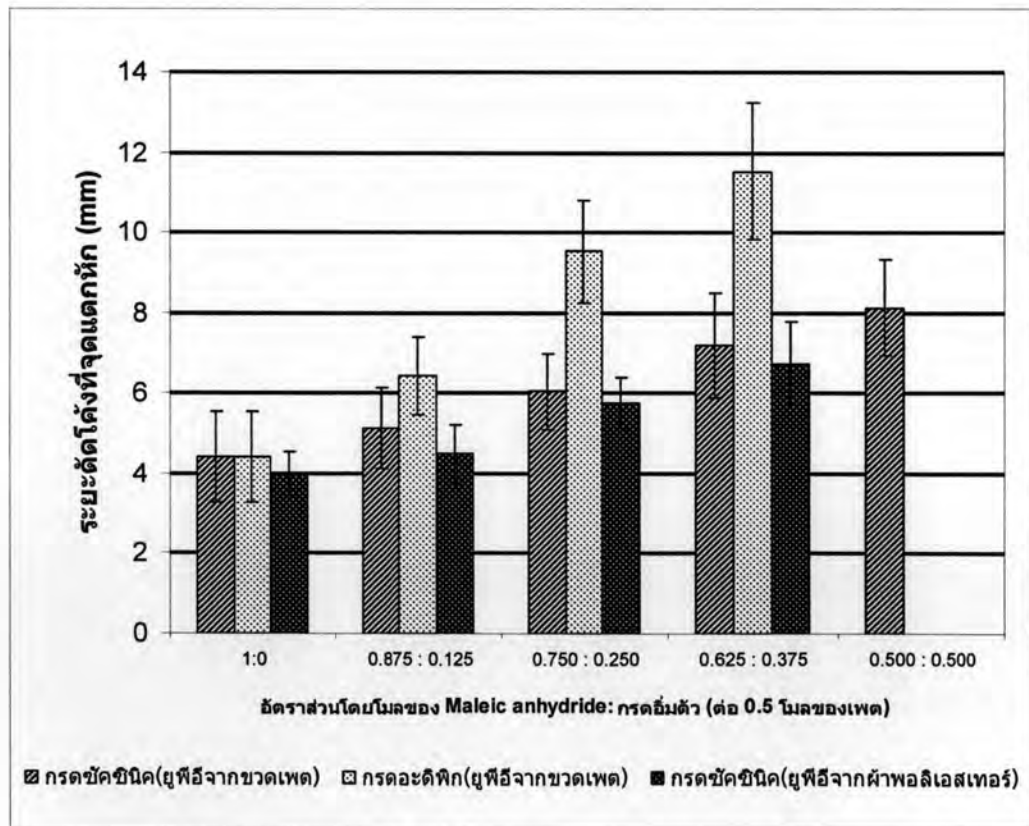
ผลการทดสอบความต้านแรงดัดโค้งของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์ที่ได้จากการผสมกรดอิมตัวและกรดอิมตัวที่สัดส่วนต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 – 4.16



รูปที่ 4.14 ความทนแรงดัดโค้งของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์



รูปที่ 4.15 มอดุลัสดัดโค้งของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์

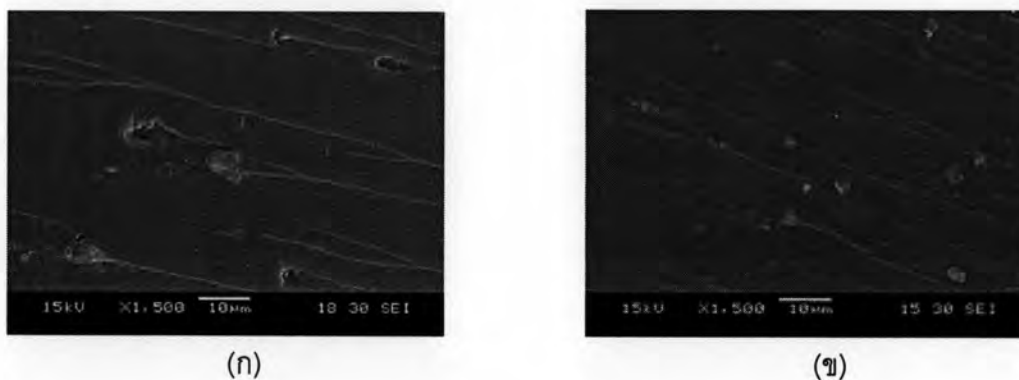


รูปที่ 4.16 ระยะดัดโค้งที่จุดแตกหักของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์

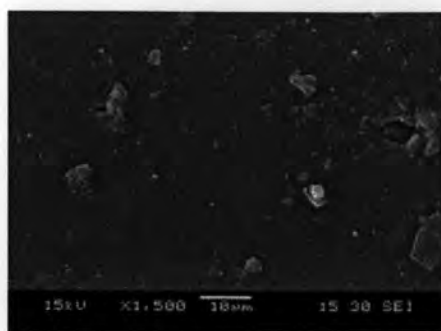
ความทนแรงดัดโค้งเป็นสมบัติเชิงกลของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึงในด้านหนึ่งและได้รับแรงกดอัดในอีกด้านหนึ่ง รูปที่ 4.14 - 4.16 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนกรดอิมิตัวจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความทนแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นเมื่อถึงปริมาณหนึ่งและจะมีค่าลดลง เนื่องจากกรดอิมิตัวจะทำให้ผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์สังเคราะห์มีระยะห่างระหว่างตำแหน่งพันธะคู่ซึ่งเป็นจุดเชื่อมขวางยาวกว่าจะไปเพิ่มความสามารถในการยึดดึงของชิ้นงาน ซึ่งแสดงให้เห็นจากการเพิ่มขึ้นของระยะดัดโค้งที่จุดแตกหัก และความทนแรงดัดโค้งและมอดุลัสดัดโค้งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กรดอิมิตัวที่อัตราส่วนโดยโมลไม่เกิน 0.25 ในขณะที่เดียวกันจะส่งผลให้ความหนาแน่นของจุดเชื่อมขวางลดลงจึงทำให้ความสามารถในการรับแรงกดอัดลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กรดอิมิตัวในสัดส่วนที่มากขึ้นมีความทนแรงดัดโค้งและมอดุลัสดัดโค้งลดลง

4.3.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

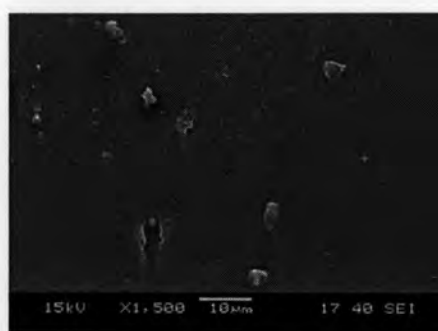
ผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาที่พื้นผิวบริเวณที่เกิดการแตกหักของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์ในแต่ละสูตรด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แสดงไว้ในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างสัณฐานวิทยาของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์ (ก) ขวดเพต/MA (ข) ขวดเพต/SA 0.125 (ค)ขวดเพต/AA 0.125 (ง) ผ้าพอลิเอสเตอร์/MA(จ) ผ้าพอลิเอสเตอร์/SA 0.125



(ค)



(ง)



(จ)

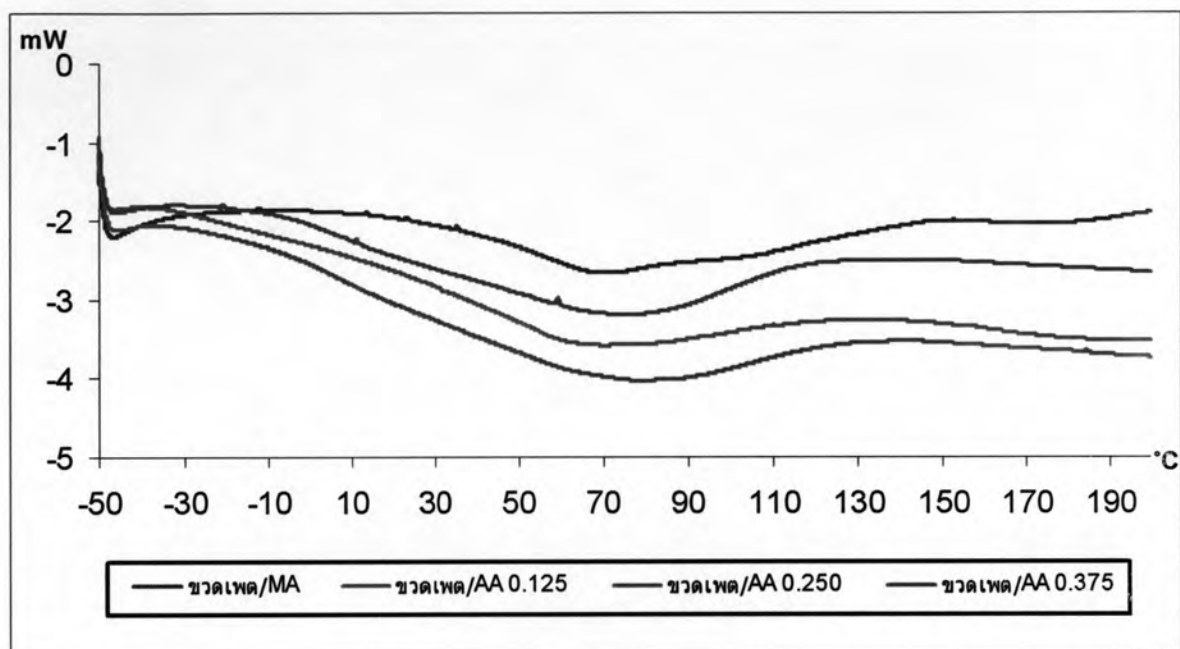
รูปที่ 4.17 (ต่อ) ตัวอย่างสัณฐานวิทยาของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์ (ก) ขวดเพต/MA (ข) ขวดเพต/SA 0.125 (ค)ขวดเพต/AA 0.125 (ง) ผ้าพอลิเอสเทอร์/MA(จ) ผ้าพอลิเอสเทอร์/SA 0.125

จากรูปที่ 4.17 พบว่าสัณฐานวิทยาของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์เพตรีไซเคิลมีสิ่งเจือปนที่มีลักษณะเป็นแผ่นเกล็ดขนาดไม่สม่ำเสมอกระจายตัวอยู่ทั่วพื้นผิวของพอลิเอสเทอร์และลักษณะของพื้นผิวที่เกิดการแตกหักค่อนข้างเรียบ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์มีลักษณะการแตกหักเป็นแบบเปราะ (brittle)

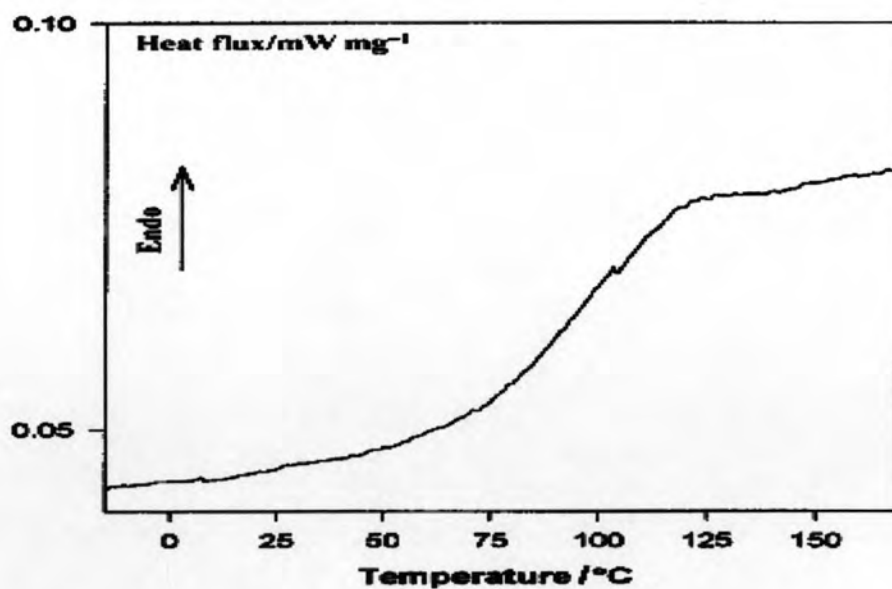
4.3.5 สมบัติทางความร้อนจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริเมทรี

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริเมทรี เพื่อหาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์ ดังตัวอย่างของ DSC เทอร์โมแกรม แสดงไว้ในรูปที่ 4.18 เมื่อพิจารณาจากเทอร์โมแกรมจะพบว่า บริเวณที่คาดว่าน่าจะมี T_g มีลักษณะเป็นช่วงกว้าง ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเทอร์โมเซต [26] ดังแสดงในรูปที่ 4.19

อย่างไรก็ตามช่วงการเปลี่ยนแปลงที่พบนี้อยู่ระหว่าง 30 – 80 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าช่วง T_g ของพอลิเอสเทอร์เรซินที่เชื่อมขวางแล้วโดยทั่วไป ซึ่งอยู่ระหว่าง 50 -100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.18 ตัวอย่าง DSC เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์



รูปที่ 4.19 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเอสเทอร์เรซินที่เชื่อมขวางอย่างสมบูรณ์[26]

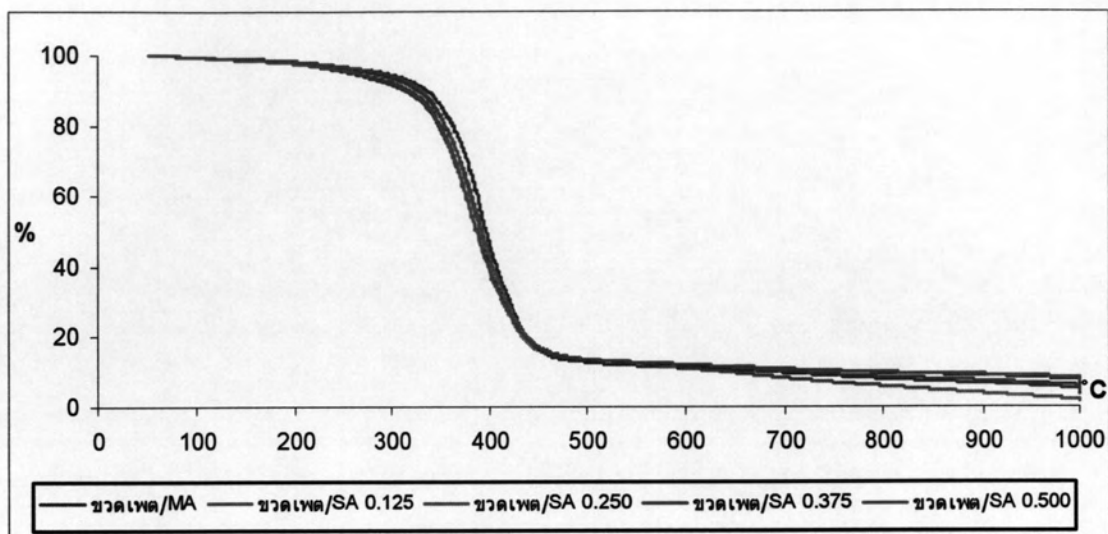
4.3.6 สมบัติทางความร้อนจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนนาไลซิส

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนนาไลซิสเพื่อหาอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเอสเตอร์สังเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งตัวอย่างของ TGA เทอร์โมแกรม แสดงไว้ในรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเอสเตอร์

สูตรพอลิเอสเตอร์	อุณหภูมิการสลายตัว, T _d (องศาเซลเซียส)
ขวดเพต/MA	360
ขวดเพต/SA 0.125	349
ขวดเพต/SA 0.250	353
ขวดเพต/SA 0.375	341
ขวดเพต/SA 0.500	341
ขวดเพต/AA 0.125	356
ขวดเพต/AA 0.250	352
ขวดเพต/AA 0.375	354
ผ้าพอลิเอสเตอร์/MA	354
ผ้าพอลิเอสเตอร์/SA 0.125	350
ผ้าพอลิเอสเตอร์/SA 0.250	350
ผ้าพอลิเอสเตอร์/SA 0.375	353

จากตารางที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิการสลายตัวของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์ที่สังเคราะห์ได้ในแต่ละสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 341-360 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.20 ตัวอย่าง TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์