

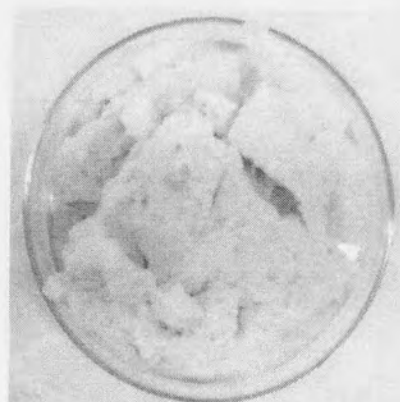
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

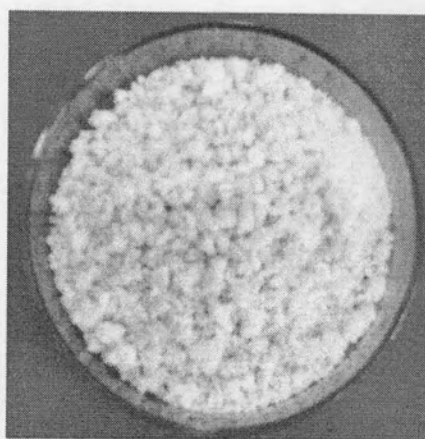
ในบทนี้เป็นกรายงานถึงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการกราฟต์ โครงสร้างทางเคมี ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งสังเคราะห์จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบพรีเรดิคัล โดยใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศปกติ ทั้ง 2 ภาวะ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม โดยเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นจากระดับปฏิบัติการเทียบเป็น 1 เท่า เพิ่มเป็น 5 เท่า 10 เท่า 15 เท่า 20 เท่า และ 50 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ยังรายงานผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เป็นพลาสติก และโฟม โดยศึกษาจากสมบัติเชิงกล ความทนทานต่อสารเคมี และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

4.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์

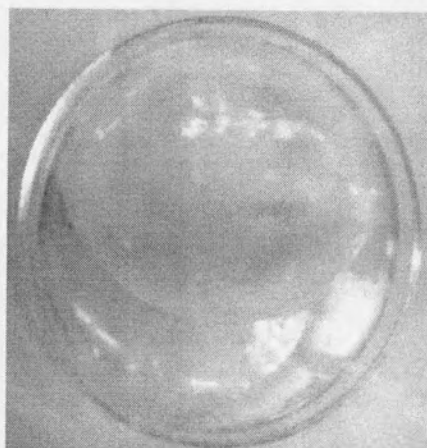
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้งข้าวเหนียวกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตทั้ง 2 ภาวะ เป็นของผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต และโฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งเกาะตัวกันเป็นก้อนแข็ง มีสีเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อสกัดโฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตออกจากของผสมด้วยตัวทำละลาย ผลิตภัณฑ์ที่เหลืออยู่สันนิษฐานว่าเป็นแป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต เท่านั้นซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนแข็งสีเหลืองอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 สำหรับโฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่สกัดได้มีลักษณะเป็นแผ่นสีขาวใส ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เมื่อนำแป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตไปผ่านปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก ได้ผลิตภัณฑ์ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งในที่นี้เรียกว่า กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต (grafted PMMA) ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว เหมือนกันทั้ง 2 ภาวะ ซึ่งสอดคล้องกับการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้งข้าวเหนียวและเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ ในบรรยากาศไนโตรเจนโดยใช้เบนโซอิลเป็นสารเริ่มปฏิกิริยาในตัวกลางที่เป็นน้ำเช่นกัน [2] ทั้งนี้การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแต่ละขั้นตอนในลำดับต่อไปนั้นจะสามารถยืนยันถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ได้



รูปที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน



รูปที่ 4.2 แป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย



รูปที่ 4.3 ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย



รูปที่ 4.4 กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตซึ่งได้จากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก

4.2 โครงสร้างทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไฮโดรลิซิสเป็นของผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตและไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต ดังนั้น จึงใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อแยกของผสมทั้งสองออกจากกัน และใช้ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก เพื่อแยกกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตออกจากสายโซ่โมเลกุลของแป้งข้าวเหนียว จากนั้น จึงวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแต่ละขั้นตอนด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนต่างๆ ของภาวะที่ 1 ที่ระดับปฏิบัติการ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.5

สเปกตรัมของแป้งข้าวเหนียวในรูปที่ 4.5 (a) แสดงถึงการสั่นของพันธะ O-H ในช่วงเลขคลื่น $3,500 - 3,100$ เซนติเมตร⁻¹ การสั่นของพันธะ C-H ที่เลขคลื่น $2,997$ และ $2,952$ เซนติเมตร⁻¹ และการสั่นของพันธะ C-O ที่ $1,155$ เซนติเมตร⁻¹

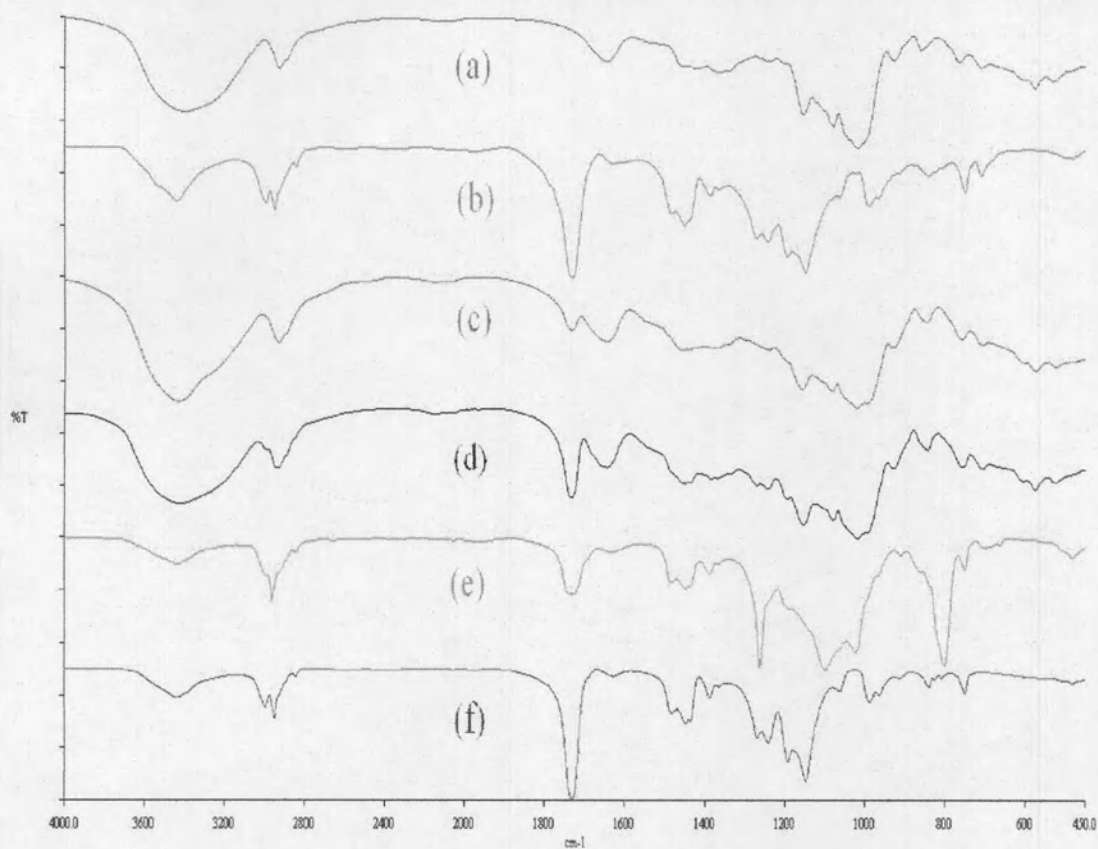
ในรูปที่ 4.5 (b) เป็นสเปกตรัมของพอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิงซึ่งปรากฏลักษณะเฉพาะของหมู่เอสเทอร์ 2 ตำแหน่งด้วยกัน คือ ที่เลขคลื่น $1,729$ เซนติเมตร⁻¹ แสดงถึงการสั่นของพันธะ C=O และการสั่นของพันธะ C-O ที่เลขคลื่น $1,240$ และ $1,157$ เซนติเมตร⁻¹ ตามลำดับ รวมทั้งยังปรากฏการสั่นของพันธะ C-H ที่เลขคลื่น $2,997$ และ $2,952$ เซนติเมตร⁻¹ ตามลำดับ

อินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์แป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตและไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (c) แสดงลักษณะเฉพาะของทั้งแป้งข้าวเหนียวและพอลิเมทิลเมทาคริเลตรวมอยู่ด้วยกัน เมื่อผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย ลักษณะดังกล่าวยังคงปรากฏอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (d) ซึ่งบ่งชี้ถึงการมีอยู่ของกราฟต์พอลิเมทิลเมทา

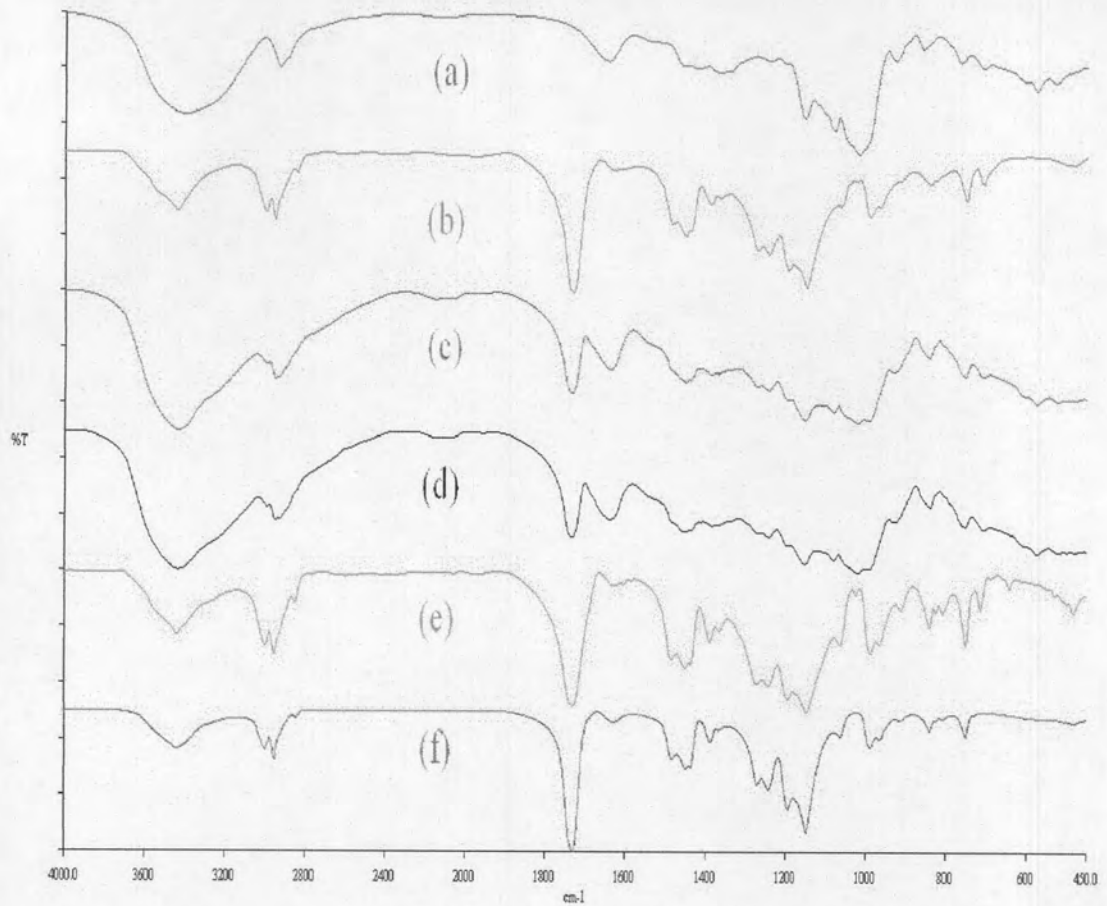
คริลิตที่ติดอยู่กับสายไซโมเลกุลของแป้งข้าวเหนียวหลังการสกัดเอาไซโมพอลิเมทิลเมทาคริลิต สำหรับรูปที่ 4.5 (e) แสดงถึงอินฟราเรดสเปกตรัมของไซโมพอลิเมทิลเมทาคริลิตที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่า มีลักษณะเฉพาะตรงกับพอลิเมทิลเมทาคริลิตอ้างอิงทุกประการ ในขณะที่รูปที่ 4.5 (f) แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งพบว่า มีลักษณะเฉพาะตรงกับสเปกตรัมของพอลิเมทิลเมทาคริลิตอ้างอิงเช่นกัน ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่า ผลิตภัณฑ์นี้ คือ กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริลิตนั่นเอง จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้งข้าวเหนียวกับเมทิลเมทาคริลิตด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบฟรีแรดิคัล โดยใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศปกติได้

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ของภาวะที่ 1 ขึ้นไปถึง 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้ดังรูปที่ 4.6 ยังคงมีลักษณะเหมือนกับผลที่ได้จากการสังเคราะห์ในระดับปฏิบัติการดังรูปที่ 4.5 แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ได้ ยังคงประกอบด้วยแป้งกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริลิต และไซโมพอลิเมทิลเมทาคริลิตเช่นกัน

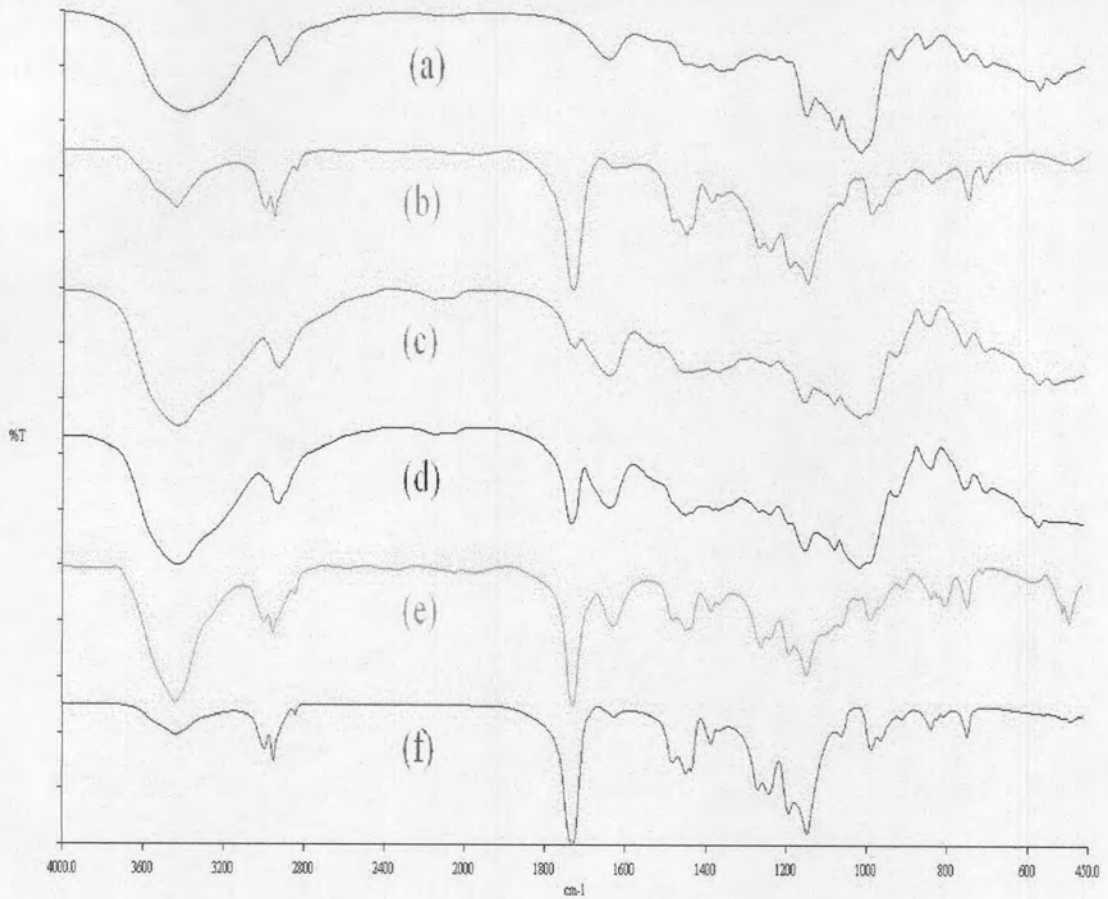
สำหรับอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแต่ละขั้นตอนในการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับเมทิลเมทาคริลิตมอนอเมอร์ เมื่อใช้ภาวะที่ 2 ทั้งระดับปฏิบัติการ และ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับนั้นมีลักษณะเหมือนกับอินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ดังกล่าว เมื่อใช้ภาวะที่ 1 แสดงว่าได้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกัน



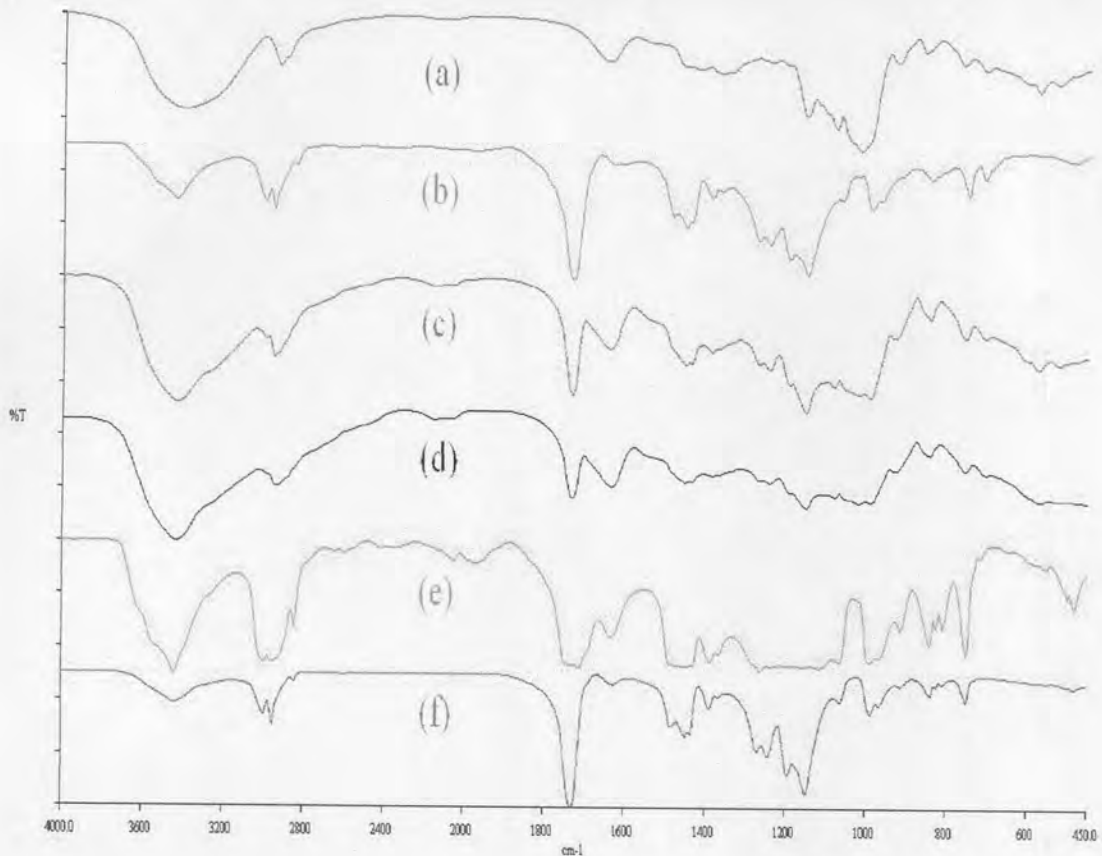
รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้
 ภาวะที่ 1 ระดับปฏิบัติการ : (a) แป้งข้าวเหนียว (b) พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง
 (c) แป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อน และ (d) หลังการสกัดด้วย
 ตัวทำละลาย (e) ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และ (f) กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต



รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้
 ภาวะที่ 1 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ : (a) แป้งข้าวเหนียว (b) พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง
 (c) แป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อน และ (d) หลังการสกัดด้วย
 ตัวทำละลาย (e) ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และ (f) กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต



รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้
 ภาวะที่ 2 ระดับปฏิบัติการ : (a) แป้งข้าวเหนียว (b) พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง
 (c) แป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อน และ (d) หลังการสกัดด้วย
 ตัวทำละลาย (e) ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และ (f) กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต



รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้ ภาวะที่ 2 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ : (a) แป้งข้าวเหนียว (b) พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง (c) แป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อน และ (d) หลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย (e) ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และ (f) กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต

4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต

จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแป้งข้าวเหนียวที่ กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อนและหลังการสกัดด้วยตัวทำละลายซึ่งสังเคราะห์โดยใช้ ภาวะที่ 1 และภาวะที่ 2 ที่ระดับปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 ตามลำดับ พบว่า กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้มีผิวขรุขระ และมีเม็ดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดกลม หลายขนาดฝังติดอยู่ เมื่อผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายแล้ว พบว่า เม็ดไฮโมพอลิเมทิลเมทา คริเลตหลุดออกจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ ทำให้บริเวณผิวของกราฟต์โคพอลิเมอร์จึงปรากฏเพียง หลุมหลายขนาดที่เม็ดกลมของไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตเคยฝังติดอยู่เท่านั้น ทั้งนี้เม็ดไฮโม พอลิเมทิลเมทาคริเลตเหล่านี้เป็นผลมาจากกระบวนการที่ใช้ในการสังเคราะห์ซึ่งเป็นกระบวนการ พอลิเมอร์ไรเซชันแบบแขวนลอย โดยการกวน และสมบัติไม่ชอบน้ำของเมทิลเมทาคริเลต

มอนอเมอร์ ทำให้เกิดการกระจายตัวออกเป็นหยดมอนอเมอร์ (droplet) ในตัวกลางที่เป็นน้ำ แต่เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารเริ่มปฏิกิริยาที่สามารถละลายในหยดมอนอเมอร์ได้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันขึ้นภายในหยดมอนอเมอร์ ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะเป็นเม็ดทรงกลม ทั้งนี้ลักษณะของเม็ดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เป็นทรงกลมนั้น สอดคล้องกับลักษณะของไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้งข้าวเหนียว และเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ ในบรรยากาศไนโตรเจน โดยใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาในตัวกลางที่เป็นน้ำ [2] และสอดคล้องกับลักษณะของไฮโมพอลิพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้งมันสำปะหลังและเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ในบรรยากาศไนโตรเจนโดยใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาในตัวกลางที่เป็นน้ำ [19] และการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้งมันสำปะหลังและเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ที่ไม่ใช้บรรยากาศไนโตรเจน เมื่อเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นเป็น 20 เท่าของระดับปฏิบัติการ โดยใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาในตัวกลางที่เป็นน้ำ [20]

เมื่อเพิ่มปริมาณสารตั้งต้น เป็น 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ พบว่า แป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่สังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 1 และ ภาวะที่ 2 ทั้งก่อน และหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12 ตามลำดับ พบว่า มีการฝังตัวของเม็ดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต ในเนื้อกราฟต์โคพอลิเมอร์ และเกิดการหลุดออกภายหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่นเดียวกับระบบที่สังเคราะห์ในระดับปฏิบัติการ

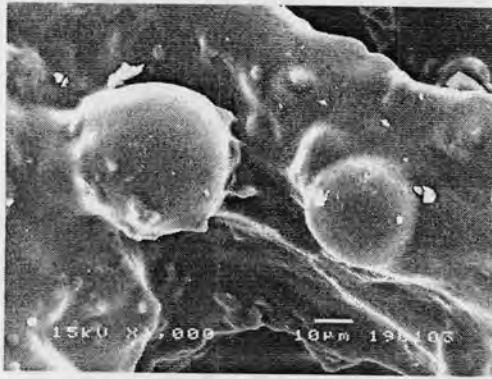


ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

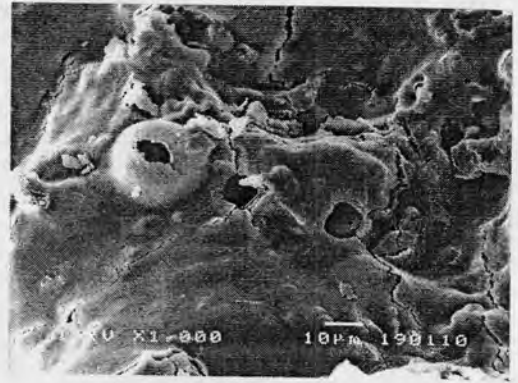


หลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย

รูปที่ 4.9 ภาพถ่าย SEM ของแป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งสังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 1 ระดับปฏิบัติการ

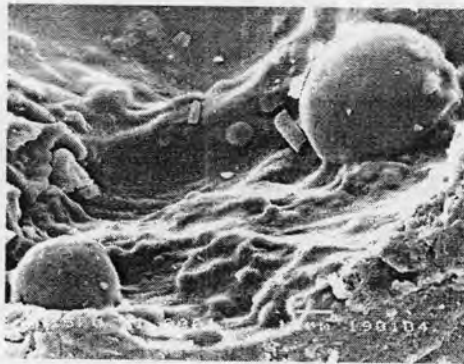


ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

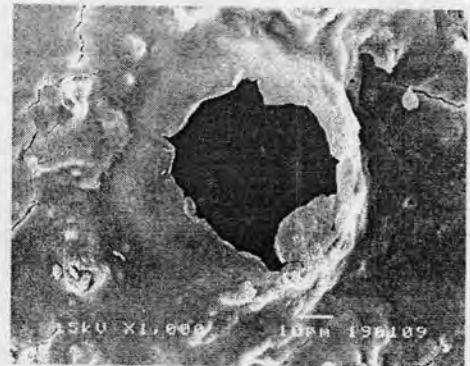


หลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย

รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของแบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งสังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 2 ระดับปฏิบัติการ

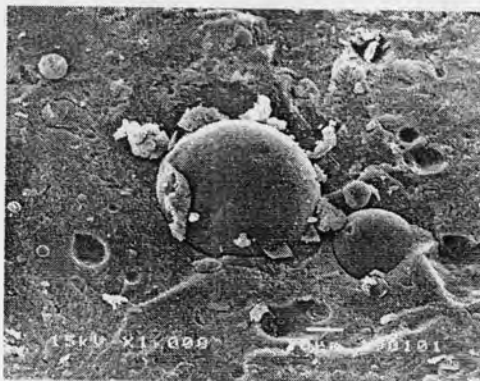


ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลาย



หลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย

รูปที่ 4.11 ภาพถ่าย SEM ของแบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งสังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 1 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ



ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลาย



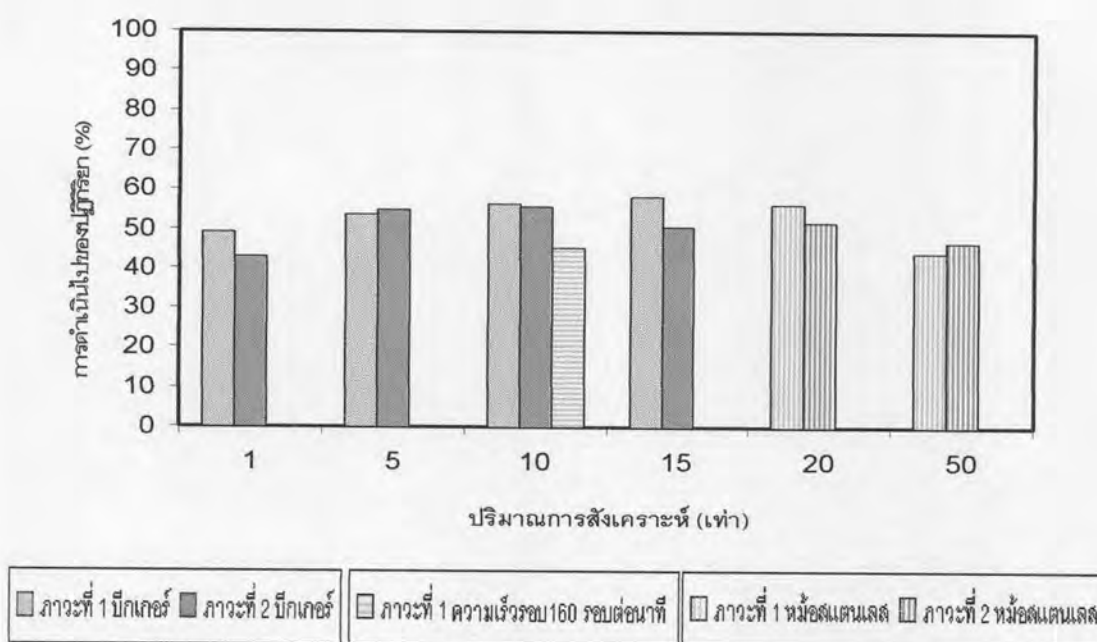
หลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย

รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย SEM ของแบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งสังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 2 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ

4.4 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ต่อคุณลักษณะการกราฟต์

4.4.1 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อการดำเนินไปของปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.13 เมื่อพิจารณาที่ภาวะที่ 1 ที่ 10 เท่าของระดับปฏิบัติการ ซึ่งเป็นภาวะควบคุม เพื่อศึกษาผลของความเร็วในการกวน พบว่า ความเร็วรอบในการกวนลดลง ทำให้การกระจายความร้อนไม่ทั่วถึง เป็นผลให้สารเริ่มปฏิกิริยาแตกตัวได้ไม่ได้อย่างที่ควรเป็น ส่งผลให้การเริ่มปฏิกิริยาเกิดได้น้อยลง ทำให้การดำเนินไปของปฏิกิริยาการมีค่าลดลง



รูปที่ 4.13 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อการดำเนินไปของปฏิกิริยา

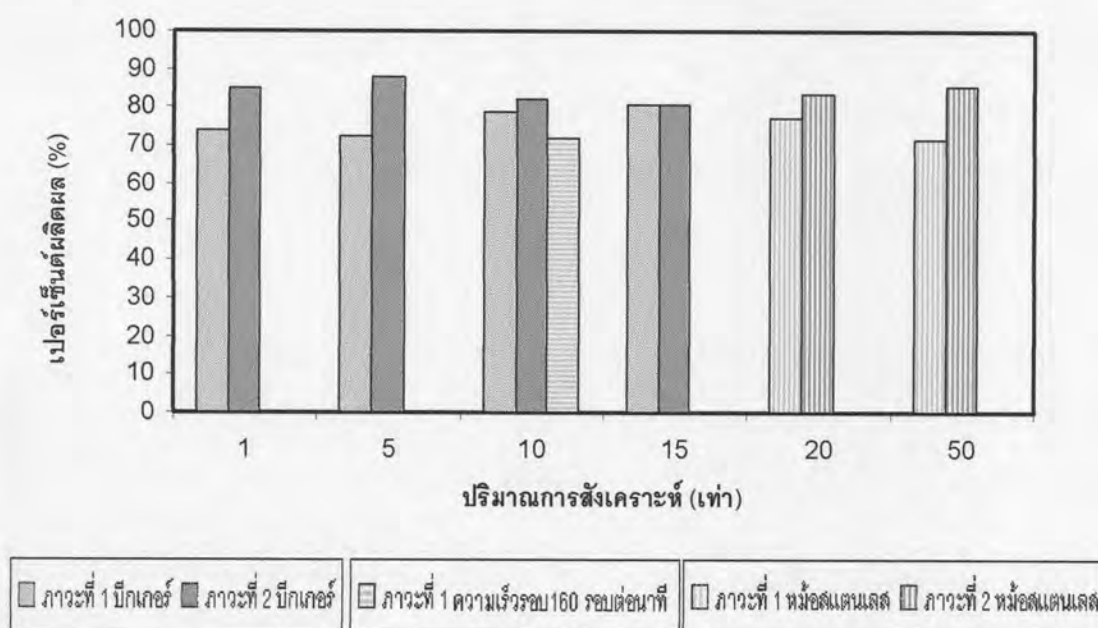
เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์จากระดับปฏิบัติการถึง 15 เท่าของระดับปฏิบัติการ โดยใช้ภาวะที่ 1 ใช้บีกเกอร์เป็นถังปฏิกรณ์ พบว่า การดำเนินไปของปฏิกิริยาไม่ต่างกัน และเมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์เป็น 20 และ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการโดยใช้หม้อสแตนเลสเป็นถังปฏิกรณ์ พบว่า ที่ 20 เท่าของระดับปฏิบัติการ การดำเนินไปของปฏิกิริยาไม่แตกต่างกันกับการใช้บีกเกอร์เป็นถังปฏิกรณ์ แม้ความเร็วรอบในการกวนลดลง เนื่องจากปริมาณสารในหม้อมีปริมาณไม่มากนัก ทำให้การกระจายความร้อนเป็นไปอย่างทั่วถึง สารเริ่มปฏิกิริยาจึงแตกตัวได้ดีและเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ ทำให้การดำเนินไปของปฏิกิริยาจึงไม่แตกต่างกัน แต่ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ พบว่า การดำเนินไปของปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากความเร็วรอบในการกวนลดลง ขณะที่สารตั้งต้นมีปริมาณมาก ทำให้การกระจาย

ความร้อนไม่ทั่วถึงสารเริ่มปฏิกิริยาแตกตัวได้ไม่มากนัก ทำให้เกิดการเริ่มปฏิกิริยาได้ลดลง เป็นเหตุให้การทำปฏิกิริยาเกิดได้น้อยลงส่งผลให้การดำเนินไปของปฏิกิริยาลดลง

เมื่อพิจารณาที่ภาวะที่ 2 พบว่า การดำเนินไปของปฏิกิริยามีแนวโน้มเช่นเดียวกับภาวะที่ 1 จึงกล่าวได้ว่าภาวะและชนิดของถังปฏิกรณ์ไม่มีผลต่อการดำเนินไปของปฏิกิริยา แต่ความเร็วรอบในการกวนมีผลต่อการดำเนินไปของปฏิกิริยา สำหรับรายละเอียดของเปอร์เซ็นต์การดำเนินไปของปฏิกิริยาแสดงไว้ในภาคผนวก ก

4.4.2 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อปริมาณผลิตผล

จากรูปที่ 4.14 เมื่อพิจารณาในภาวะที่ 1 ที่ 10 เท่าของระดับปฏิบัติการโดยใช้บีกเกอร์เป็นถังปฏิกรณ์ พบว่า ความเร็วรอบในการกวนลดลงเป็นผลให้ความร้อนกระจายได้ไม่ทั่วถึงส่งผลให้สารเริ่มปฏิกิริยาแตกตัวได้ไม่ดี ทำให้เริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ไซเคชันได้น้อย การดำเนินไปของปฏิกิริยาจึงลดลง ปริมาณพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นก็น้อยลง ทำให้ปริมาณผลิตผลลดลง



รูปที่ 4.14 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อปริมาณผลิตผล

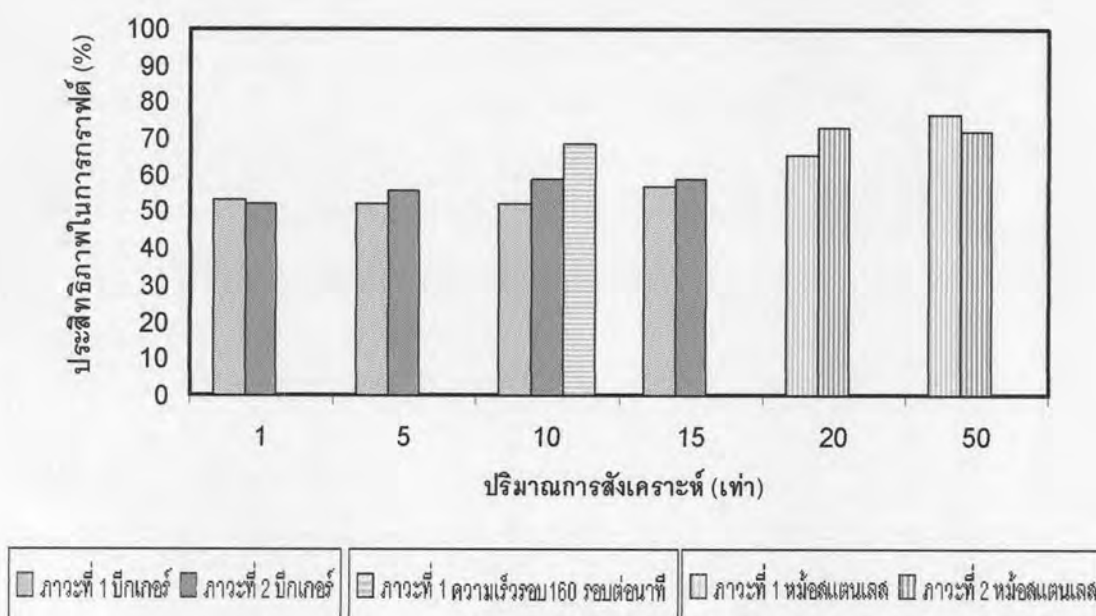
ในภาวะที่ 1 เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์โดยใช้บีกเกอร์เป็นถังปฏิกรณ์จากระดับปฏิบัติการถึง 15 เท่าของระดับปฏิบัติการ พบว่า ปริมาณผลิตผลมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์เป็น 20 เท่าของระดับปฏิบัติการในหม้อสแตนเลส พบว่า ปริมาณผลิตผลใกล้เคียงกับที่ 15 เท่าของระดับปฏิบัติการ ทั้งที่ความเร็วรอบในการกวนลดลง แต่เนื่องจากปริมาณสารตั้งต้นในหม้อมีปริมาณน้อย ความร้อนจึงกระจายได้ทั่วถึง ทำให้สารเริ่มปฏิกิริยาแตก

ตัวได้ดีขึ้นจึงเริ่มปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ทำให้เกิดพอลิเมอร์ได้มากขึ้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงไม่แตกต่างกัน และที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการในหม้อสแตนเลสโดยใช้ความเร็วรอบในการกวนลดลง การเกิดปฏิกิริยาเกิดได้น้อยลง ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการดำเนินไปของปฏิกิริยา

ในภาวะที่ 2 เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์จากระดับปฏิบัติการถึง 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ พบว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์สามารถหาได้จากน้ำหนักของแป้งรวมกับน้ำหนักของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เกิดขึ้นจากการดำเนินไปของปฏิกิริยา ซึ่งในภาวะที่ 2 มีแป้งเป็นสารตั้งต้นจำนวนมากเป็นผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกัน

4.4.3 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์

จากรูปที่ 4.15 เมื่อพิจารณาที่ภาวะที่ 1 ที่ 10 เท่าของระดับปฏิบัติการ โดยใช้ปีกเกอร์เป็นถังปฏิกรณ์ เมื่อความเร็วรอบในการกวนลดลง พบว่า ประสิทธิภาพในการกราฟต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการกวนที่ช้าลง ทำให้โอกาสในการเกิดปฏิกิริยาการเริ่มเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์มีมากขึ้น เนื่องจากการเริ่มปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์มี 3 ขั้นตอน คือ สารเริ่มปฏิกิริยาแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ จากนั้นอนุมูลอิสระเข้าทำปฏิกิริยากับแป้ง ทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนแป้ง แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับ มอนอเมอร์ ดังสมการที่ 2.6 ถึง 2.8 ซึ่งใช้เวลานานกว่าการเกิดไฮโปพอลิเมอร์ ที่มีขั้นตอน 2 ขั้นตอน คือ สารเริ่มปฏิกิริยาแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ จากนั้นอนุมูลอิสระเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ ดังสมการที่ 2.11 และ 2.12 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าความเร็วรอบในการกวนมีผลต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์



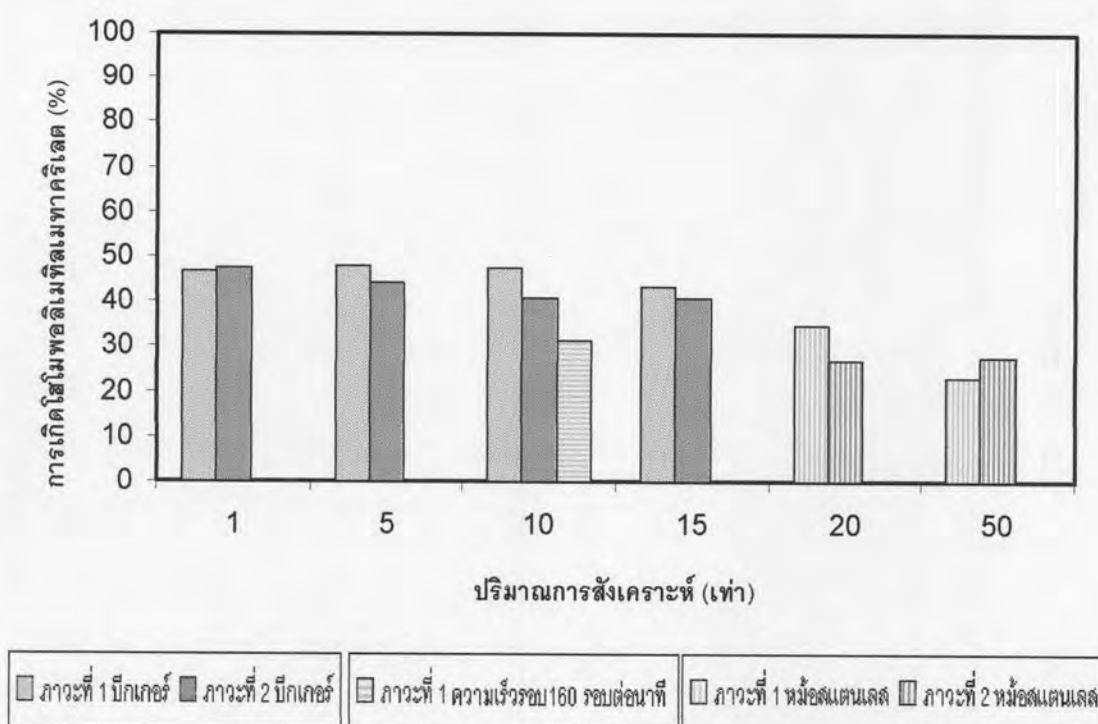
รูปที่ 4.15 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์

ในภาวะที่ 1 เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์โดยใช้ปีกเกอร์เป็นดังปฏิกรณ์ พบว่าประสิทธิภาพในการกราฟต์ไม่ต่างกัน และเมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์เป็น 20 และ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการโดยใช้หม้อสแตนเลสเป็นดังปฏิกรณ์ พบว่า ประสิทธิภาพการในกราฟต์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับภาวะที่ 1 ที่ 10 เท่าของระดับปฏิบัติ เมื่อพิจารณาความเร็วในการกวน พบว่า เมื่อใช้ความเร็วในการกวนลดลงทำให้ประสิทธิภาพของการกราฟต์เพิ่มขึ้น แสดงว่าภาวะและชนิดดังปฏิกรณ์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์

ในภาวะที่ 2 เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ พบว่า ประสิทธิภาพในการกราฟต์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์เป็น 20 และ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ ซึ่งสอดคล้องกับภาวะที่ 1 จึงอาจกล่าวได้ว่าภาวะในการสังเคราะห์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์

4.4.4 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อการเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริลิต

จากรูปที่ 4.16 เมื่อพิจารณาภาวะที่ 1 ที่ 10 เท่าของระดับปฏิบัติการ โดยใช้ปีกเกอร์เป็นดังปฏิกรณ์ พบว่า เมื่อความเร็วรอบในการกวนลดลง ทำให้การเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริลิตลดลง ประสิทธิภาพในการกราฟต์เพิ่มขึ้น ดังที่กล่าวในข้อ 4.4.3



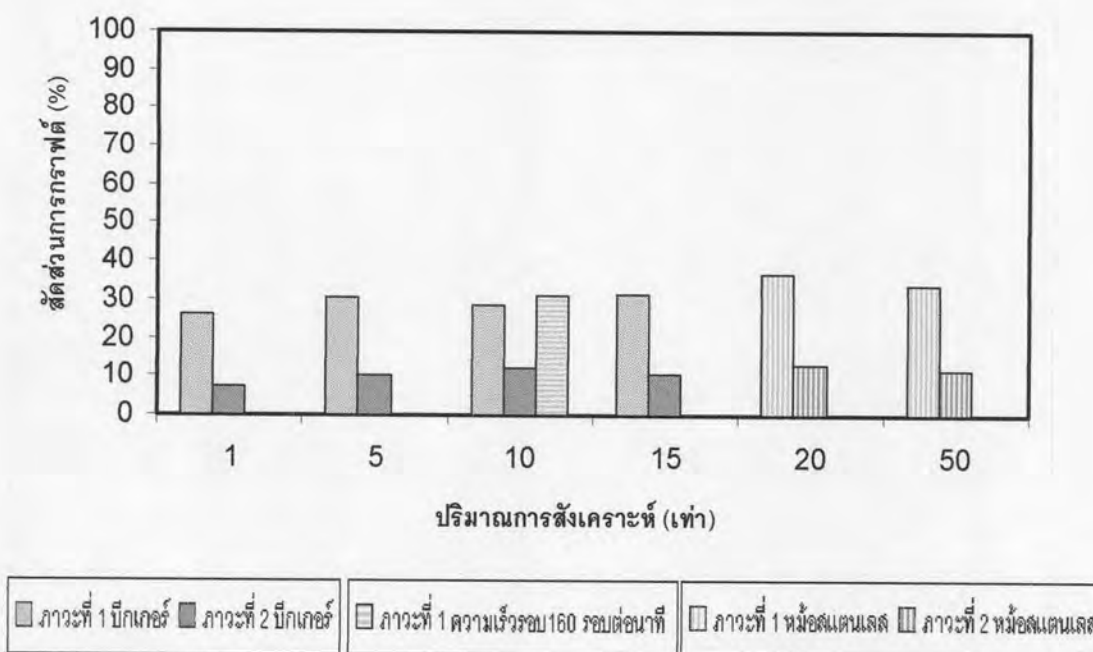
รูปที่ 4.16 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อการเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริลิต

ในภาวะที่ 1 เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์จากระดับปฏิบัติการถึง 15 เท่าของระดับปฏิบัติการโดยใช้ปีกเกอร์เป็นถึงปฏิกรณ์ พบว่า การเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์เป็น 20 เท่า และ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ โดยใช้หม้อสแตนเลสเป็นถึงปฏิกรณ์ ใช้ความเร็วรอบในการกวนลดลง พบว่า การเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตลดลง ซึ่งสอดคล้องกับภาวะที่ 1 ที่ 10 เท่าของระดับปฏิบัติการ แสดงว่าชนิดของถึงปฏิกรณ์ไม่มีผลต่อการเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต เมื่อเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตลดลงเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกราฟต์เพิ่มขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพในการกราฟต์จะสัมพันธ์กับการเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตในทางตรงข้าม

ในภาวะที่ 2 เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ พบว่า การเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นเช่นเดียวกับภาวะที่ 1 อาจกล่าวได้ว่าภาวะไม่มีผลต่อการเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต

4.4.5 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อสัดส่วนการกราฟต์

จากรูปที่ 4.17 เมื่อพิจารณาจากภาวะที่ 1 ที่ 10 เท่าของระดับปฏิบัติการ โดยใช้ปีกเกอร์เป็นถึงปฏิกรณ์ เมื่อความเร็วรอบในการกวนลดลง พบว่า สัดส่วนการกราฟต์มีค่าไม่แตกต่างกัน อาจกล่าวได้ว่าความเร็วรอบในการกวนไม่มีผลต่อสัดส่วนการกราฟต์



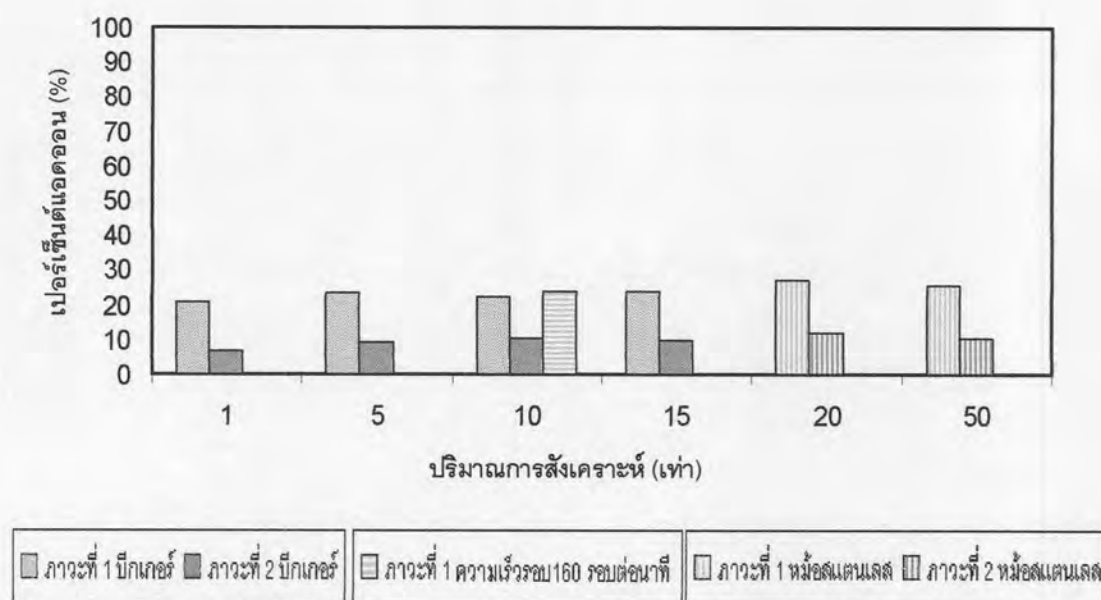
รูปที่ 4.17 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อสัดส่วนการกราฟต์

การเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยใช้ภาวะที่ 1 และใช้บีกเกอร์เป็นถึงปฏิกรณ์ พบว่า สัดส่วนการกราฟต์มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากสัดส่วนการกราฟต์คือน้ำหนักของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่กราฟต์บนแป้งข้าวเหนียวเมื่อเทียบกับปริมาณของแป้งข้าวเหนียว และเมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์เป็น 20 และ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ โดยใช้หม้อสแตนเลสเป็นถึงปฏิกรณ์ ซึ่งมีการลดความเร็วรอบในการกวนลง พบว่า สัดส่วนการกราฟต์มีค่าเพิ่มเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกราฟต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ในภาวะที่ 2 พบว่า ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อสัดส่วนการกราฟต์มีแนวโน้มเดียวกับการใช้ภาวะที่ 1 ในการสังเคราะห์

เมื่อเปรียบเทียบค่าสัดส่วนการกราฟต์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 1 และภาวะที่ 2 พบว่า ภาวะที่ 2 ให้ค่าสัดส่วนการกราฟต์น้อยกว่าภาวะที่ 1 เพราะภาวะที่ 1 มีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์มากกว่าภาวะที่ 2 จึงมีปริมาณพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มากกว่า นั่นเอง

4.4.6 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อเปอร์เซ็นต์แอดออน

จากรูปที่ 4.18 เมื่อพิจารณาที่ภาวะที่ 1 ที่ 10 เท่าของระดับปฏิบัติการ โดยใช้บีกเกอร์เป็นถึงปฏิกรณ์ เมื่อความเร็วรอบในการกวนลดลง พบว่า เปอร์เซ็นต์แอดออนไม่แตกต่างกัน อาจกล่าวได้ว่าความเร็วรอบในการกวนไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แอดออน



รูปที่ 4.18 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อเปอร์เซ็นต์แอดออน

เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ในภาวะที่ 1 โดยใช้ปีกเกอร์เป็นถึงปฏิกรณ์ พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์แอดออนไม่แตกต่างกัน และเมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์เป็น 20 และ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการโดยใช้หม้อสแตนเลสเป็นถึงปฏิกรณ์ พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์แอดออนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับเมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ในภาวะที่ 2 ทั้งนี้ค่าเปอร์เซ็นต์แอดออนที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับสัดส่วนการกราฟต์ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์โดยเปลี่ยนชนิดของถึงปฏิกรณ์ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แอดออน เปอร์เซ็นต์แอดออนของภาวะที่ 1 มากกว่าภาวะที่ 2 เนื่องจากภาวะที่ 1 มีปริมาณเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์มากกว่า ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 4.4.5 โดยเปอร์เซ็นต์แอดออนและสัดส่วนการกราฟต์มีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ สัดส่วนการกราฟต์หมายถึงปริมาณกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตต่อน้ำหนักของแป้งข้าวเหนียว ส่วนเปอร์เซ็นต์แอดออนนั้นหมายถึง ปริมาณกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตต่อน้ำหนักของแป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต

4.5 ความถี่ของการกราฟต์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลต

ความถี่ของการกราฟต์ (grafting frequency) คือ จำนวนหน่วยของแอนไฮโดรกลูโคไพราโนส (anhydroglucopyranose) ที่อยู่ระหว่างสายโซ่กิ่งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตบนสายโซ่โมเลกุลของแป้งข้าวเหนียว ความถี่ของการกราฟต์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 ซึ่งผลการหาความถี่การกราฟต์ แสดงดังตารางที่ 4.1 ทั้งนี้ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (number average molecular weight, \bar{M}_n) หาได้จากเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี (GPC) โดยใช้เตตระไฮโดรฟูแรนเป็นตัวทำละลาย และวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของตัวอย่างจากการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของพอลิสไตรีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 745 - 395,980

$$\text{ความถี่การกราฟต์} = \frac{(100 - \% \text{add on}) / 162}{\% \text{add on} / \text{น้ำหนักโมเลกุลของ PMMA ที่กราฟต์บนแป้งข้าวเหนียว}} \quad (4.1)$$

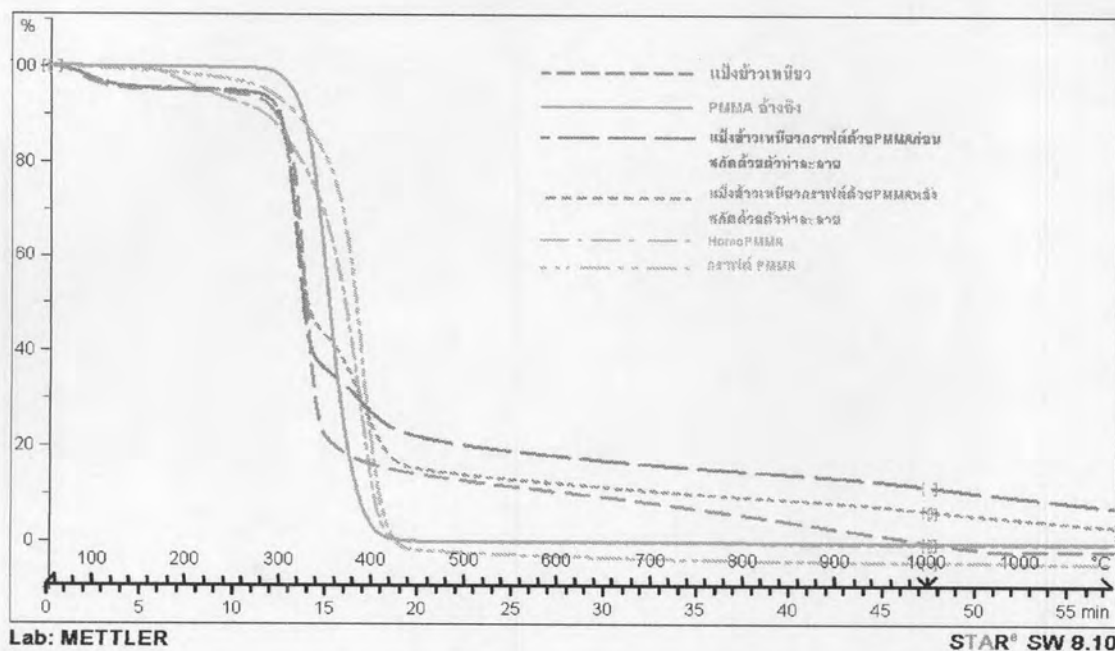
ตารางที่ 4.1 ความถี่การกราฟต์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ภาวะ	จำนวนเท่าของระดับปฏิบัติการ (เท่า)	\bar{M}_n	ความถี่การกราฟต์
1	1	130,531	4,398
2	1	169,924	2,532
1	50	139,158	5,492
2	50	88,414	4,789

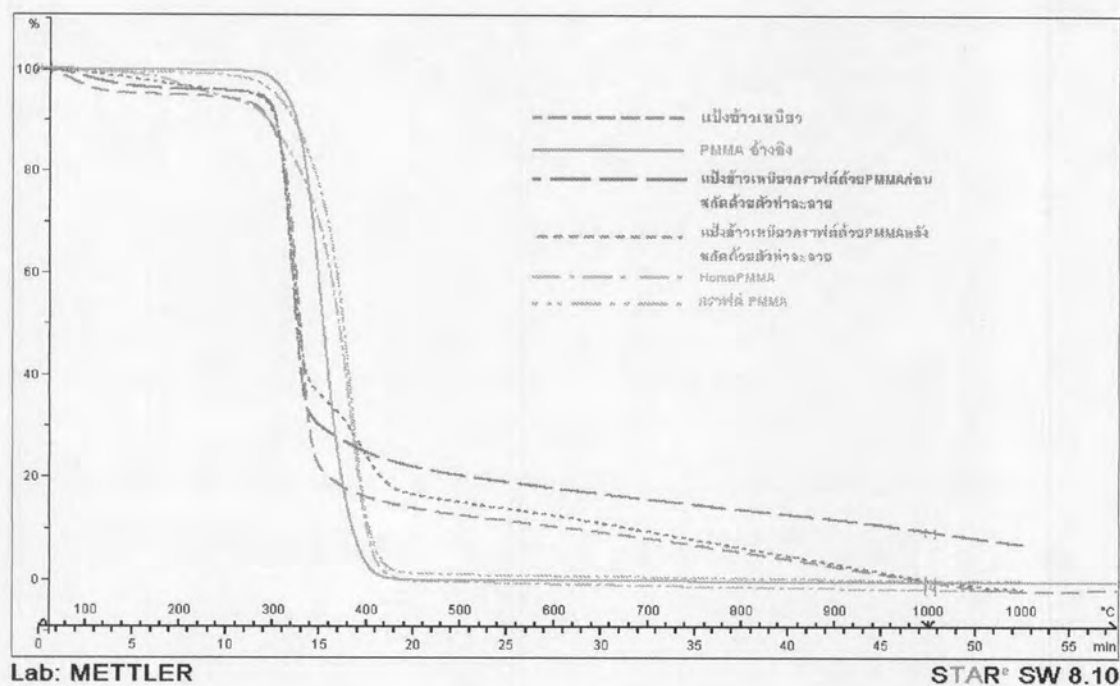
จากตารางที่ 4.1 ในภาวะที่ 1 และภาวะที่ 2 ทั้งที่ระดับปฏิบัติการและเมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ พบว่า ความถี่ในการกราฟต์ลดลง เนื่องจากภาวะที่ 2 มีปริมาณแป้งมากกว่าภาวะที่ 1 ทำให้การเข้าทำปฏิกิริยาของมอนอเมอร์กับแป้งข้าวเหนียวเกิดได้มากกว่ากรณีที่มีปริมาณแป้งน้อย

4.6 สมบัติทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟโคพอลิเมอร์

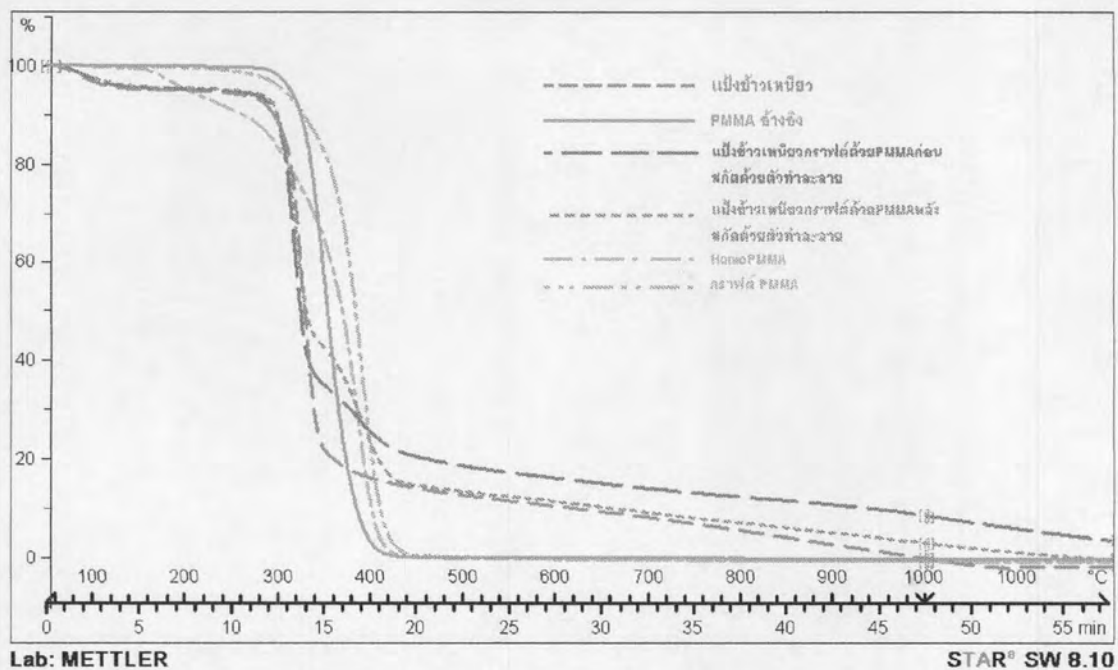
ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟโคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส (TGA) ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 50-1000 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาอุณหภูมิการเริ่มสลายตัวของแป้งข้าวเหนียว พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้งข้าวเหนียวกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อนและหลังสกัดด้วยตัวทำละลาย ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต แสดงในรูปที่ 4.19 ถึงรูปที่ 4.22



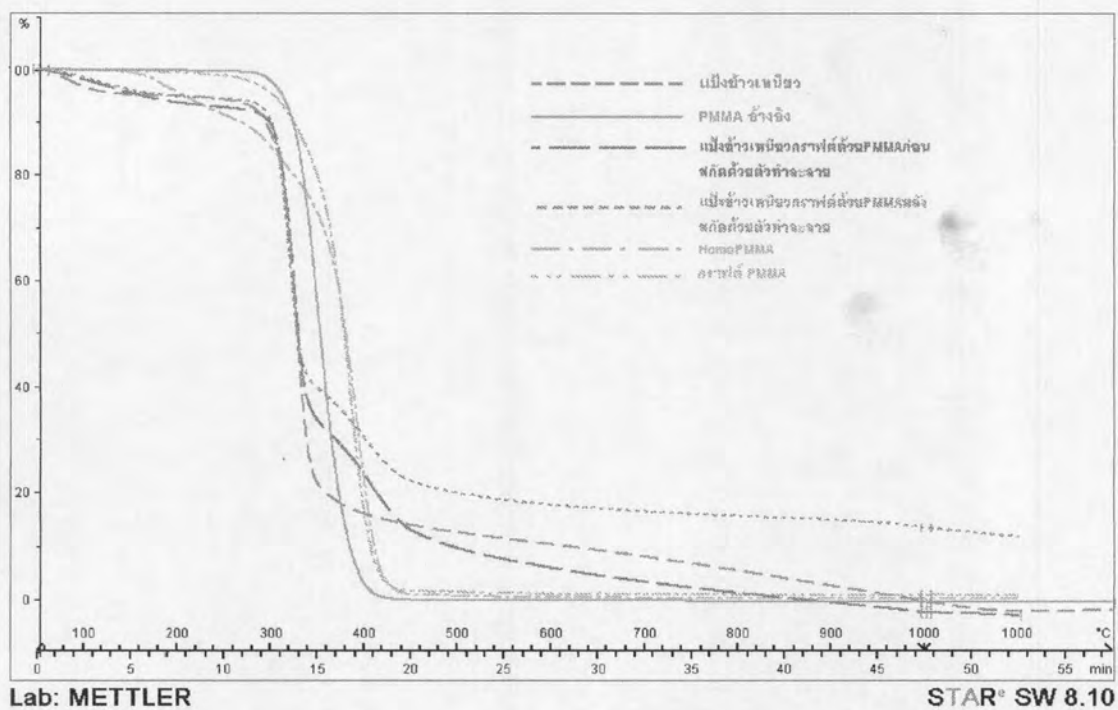
รูปที่ 4.19 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้
ภาวะที่ 1 ระดับปฏิบัติการ



รูปที่ 4.20 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้
ภาวะที่ 2 ระดับปฏิบัติการ



รูปที่ 4.21 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้ภาวะที่ 1 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ



รูปที่ 4.22 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้ภาวะที่ 2 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ

จากรูปที่ 4.19 ถึง รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะการสลายตัวของความร้อน พบว่า แป้งข้าวเหนียว และพอลิเมทิลเมทาคริเลตเกิดการสลายตัว 1 ช่วง แสดงดังตารางที่ 4.2 สำหรับแป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตทั้งก่อน และหลังสกัดด้วยตัวทำละลาย เกิดการสลายตัว 2 ช่วงที่อุณหภูมิการสลายตัวต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.3 ซึ่งได้จากเทอร์โมแกรมการสลายตัวดังภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งข้าวเหนียวและพอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง

ชนิดของสาร	ขั้นตอนการสลายตัว	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง	1	324
แป้งข้าวเหนียว	1	309

จากตารางที่ 4.3 พบว่า แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตทั้งก่อน และหลังสกัดด้วยตัวทำละลายมีอุณหภูมิลายตัว 2 ช่วง คือ ในช่วงแรกที่ 301-308 องศาเซลเซียส และในช่วงที่ 2 อุณหภูมิในการเริ่มสลายตัวประมาณ 334-383 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเทียบกับอุณหภูมิลายตัวของพอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง และแป้งข้าวเหนียว พบว่า อุณหภูมิในการสลายตัวช่วงแรกน่าจะเป็นการสลายตัวของแป้งข้าวเหนียว ส่วนอุณหภูมิในการสลายตัวช่วงที่ 2 เป็นการสลายตัวของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ยังเหลืออยู่

ส่วนไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต พบว่า อุณหภูมิในการสลายตัวที่ประมาณ 337-349 องศาเซลเซียส และกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต พบว่า มีอุณหภูมิในการสลายตัวที่ประมาณ 349-359 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิงและไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และแป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตหลังสกัดด้วยตัวทำละลายในช่วงที่ 2 มีอุณหภูมิการสลายสูงสุด เนื่องจากโดยทั่วไปพอลิเมทิลเมทาคริเลตส่วนใหญ่มีขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยาแบบดิสพรอพรชันเนชัน (disproportionation) ตามสมการที่ 2.4 ซึ่งทำให้เกิดพันธะคู่เกิดขึ้นบนโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งพันธะคู่ดังกล่าวมีอยู่บนสายโซ่โมเลกุลของทั้งพอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง และไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต ทำให้ทนความร้อนได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับแป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตหลังสกัดด้วยตัวทำละลายในช่วงที่ 2 เพราะโมเลกุลของพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้านหนึ่งเกิดพันธะกับโมเลกุลของแป้ง จึงทนความร้อนได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.3 ขั้นตอนและอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต ก่อนและหลังสกัดด้วยตัวทำละลาย ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต

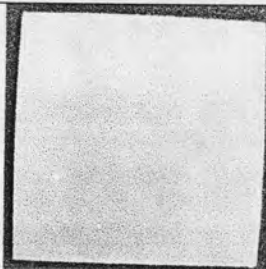
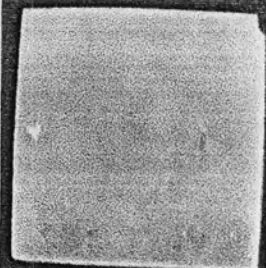
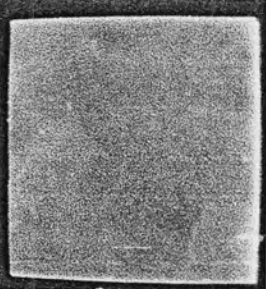
ภาวภูมิ	ระดับการสังเคราะห์(เท่าของปฏิบัติการ)	ชนิดของสาร	ขั้นตอนการสลายตัว	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	1	แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิล-เมทาคริเลตก่อนสกัดด้วยตัวทำละลาย	1	302
			2	339
		แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิล-เมทาคริเลตหลังสกัดด้วยตัวทำละลาย	1	305
			2	378
ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต	1	337		
	1	359		
2	1	แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิล-เมทาคริเลตก่อนสกัดด้วยตัวทำละลาย	1	308
			2	348
		แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิล-เมทาคริเลตหลังสกัดด้วยตัวทำละลาย	1	301
			2	369
ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต	1	341		
	1	349		
1	50	แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิล-เมทาคริเลตก่อนสกัดด้วยตัวทำละลาย	1	301
			2	334
		แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิล-เมทาคริเลตหลังสกัดด้วยตัวทำละลาย	1	301
			2	371
ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต	1	338		
	1	354		
2	50	แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิล-เมทาคริเลตก่อนสกัดด้วยตัวทำละลาย	1	308
			2	351
		แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิล-เมทาคริเลตหลังสกัดด้วยตัวทำละลาย	1	305
			2	383
ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต	1	349		
	1	353		

4.7 ผลของอุณหภูมิการอัดแบบต่อลักษณะและสมบัติของแผ่นพลาสติกที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์

4.7.1 ลักษณะของแผ่นพลาสติก

การขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกของกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างแป้งข้าวเหนียวและเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ สามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการอัดแบบ ได้เพียงภาวะที่ 1 ภาวะเดียว ภาวะที่ 2 ไม่สามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากมีปริมาณแป้งที่มากจึงทำให้ไม่หลอมเชื่อมกันเป็นแผ่น ซึ่งแผ่นพลาสติกที่เตรียมจากภาวะที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ลักษณะของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน สำหรับภาวะที่ 1

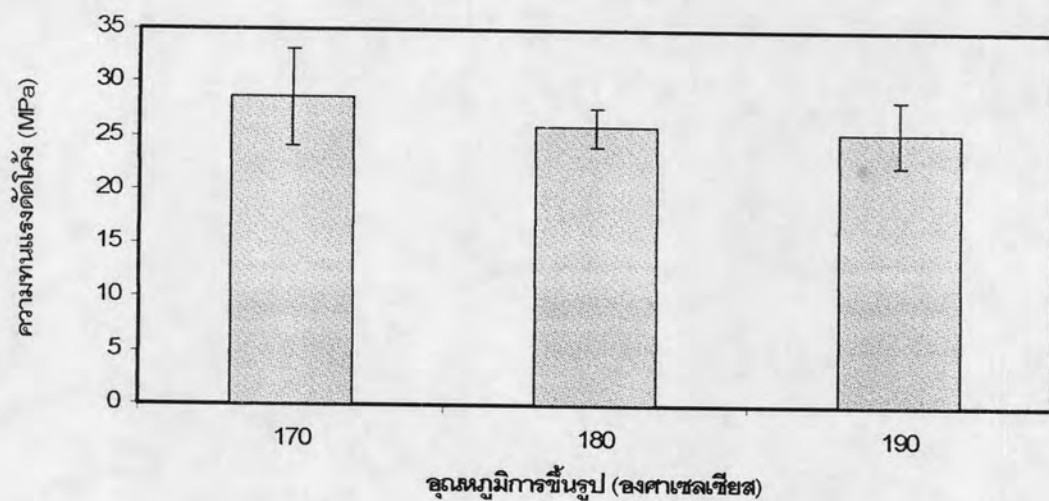
อุณหภูมิการอัดแบบ (องศาเซลเซียส)	ภาพถ่ายแผ่นพลาสติก	ลักษณะแผ่นพลาสติกเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า
170		เป็นแผ่นที่เรียบสีครีม
180		เป็นแผ่นเรียบสีน้ำตาลอ่อน
190		เป็นแผ่นเรียบสีน้ำตาลเข้ม

จากลักษณะทางกายภาพของพลาสติก พบว่า ที่อุณหภูมิการขึ้นรูปที่สูงขึ้นทำให้แผ่นพลาสติกมีสีเข้มขึ้น และเมื่อทำการอัดแบบที่ 190 องศาเซลเซียสมีกลิ่นไหม้ของแป้ง

4.7.2 สมบัติเชิงกลของแผ่นพลาสติก

4.7.2.1 สมบัติด้านแรงดัดโค้ง

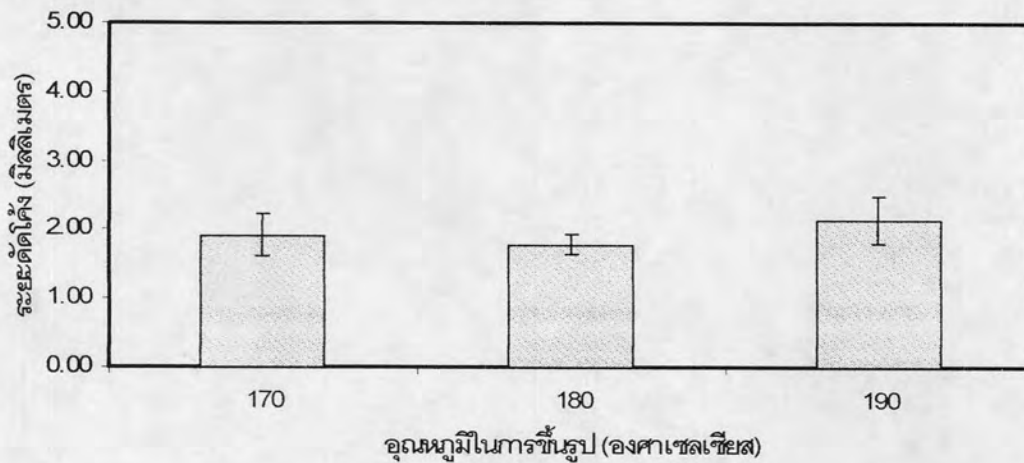
จากผลการทดสอบสมบัติทนแรงดัดโค้งของแผ่นพลาสติกที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ สามารถแสดงค่าความทนแรงดัดโค้ง (flexural strength) ค่าระยะดัดโค้ง (deformation at maximum load) และค่ามอดุลัสดัดโค้ง (flexural modulus) ดังรูปที่ 4.23 ถึง 4.25 ตามลำดับ



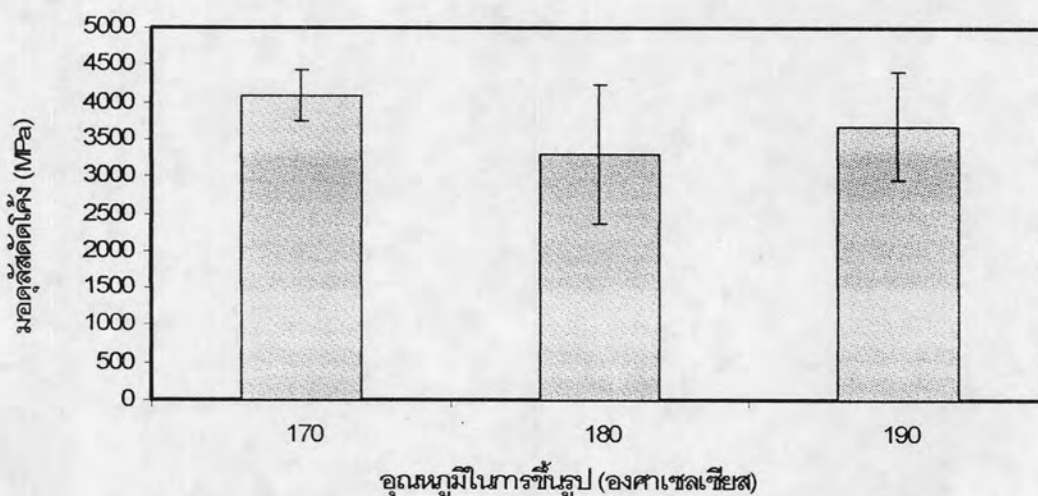
รูปที่ 4.23 ความทนแรงดัดโค้งของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน

จากรูปที่ 4.23 พบว่า พลาสติกที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบมีความทนแรงดัดโค้งลดลง เมื่ออัดแบบที่อุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากพลาสติกที่เตรียมได้มีสีเข้มขึ้น บ่งชี้ถึงการเสถียรภาพทางความร้อน เป็นผลให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง เมื่อรับแรงกดจึงเกิดการแตกหักง่ายขึ้น

จากรูปที่ 4.24 พบว่า ระยะดัดโค้งของแผ่นพลาสติกมีค่าไม่แตกต่างกันมาก กล่าวได้ว่า อุณหภูมิการขึ้นรูปไม่มีผลต่อระยะดัดโค้ง



รูปที่ 4.24 ระยะตัดโค้งของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน



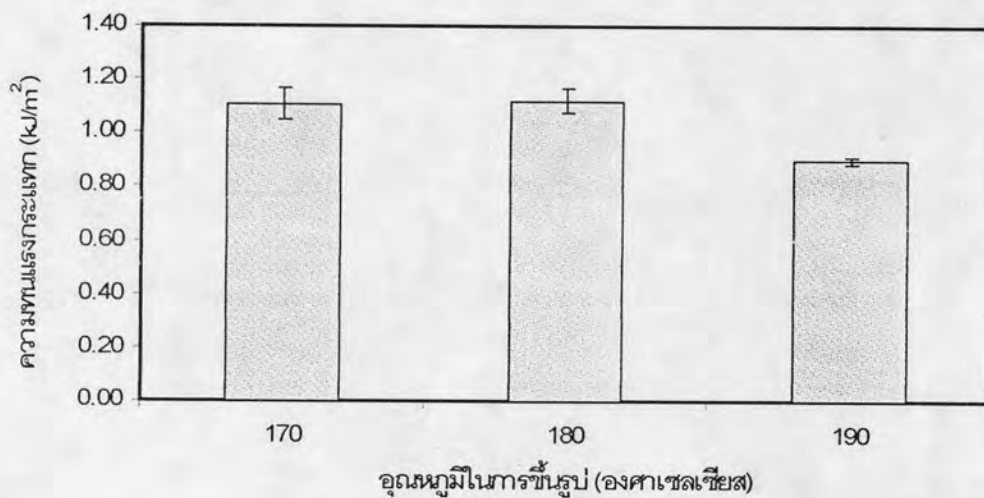
รูปที่ 4.25 มอดุลัสตัดโค้งของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน

จากรูปที่ 4.25 พบว่า ค่ามอดุลัสตัดโค้งของแผ่นพลาสติกมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความทนแรงตัดโค้ง แสดงให้เห็นว่าแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบที่ 170 องศาเซลเซียสมีค่ามอดุลัสสูงที่สุด เมื่ออัดแบบที่อุณหภูมิสูงขึ้น พบว่า ค่ามอดุลัสตัดโค้งลดลง อาจเป็นผลจากการเสียสภาพทางความร้อนของพลาสติก ทำให้แผ่นพลาสติกเปราะ

4.7.2.2 ความทนแรงกระแทก

จากผลการทดสอบสมบัติความทนแรงกระแทกของแผ่นพลาสติกที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ ดังรูปที่ 4.26

จากรูปที่ 4.26 พบว่า พลาสติกที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความทนแรงกระแทกลดลง เนื่องจากพลาสติกที่เตรียมได้มีสีเข้มขึ้นซึ่งถึงการเสียสภาพทางความร้อน ทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง เมื่อรับแรงกระแทกจึงเกิดการแตกหักง่ายขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิอัดแบบที่ 170 และ 180 องศาเซลเซียส พบว่า มีค่าความทนแรงกระแทกไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.26 ความทนแรงกระแทกของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน

4.7.3 ความทนทานต่อสารเคมี

การทดสอบความทนทานต่อสารเคมีของแผ่นพลาสติกที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบที่อุณหภูมิการอัดแบบต่างกันแสดงดังตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 การทดสอบความสามารถละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ทั้งมีขั้วและไม่มีขั้ว เมื่อนำพลาสติกมาละลายในน้ำ พบว่า พลาสติกไม่ละลายน้ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและ 60 องศาเซลเซียส แต่เกิดการบวมในน้ำทั้งที่อุณหภูมิห้อง และที่ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลาสติกที่เตรียมได้มีแป้งเป็นส่วนประกอบ ซึ่งแป้งไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่เกิดการบวมตัว เนื่องจากแป้งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งห่างออกจากกัน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พลาสติกเกิดการบวมตัวเนื่องจาก

แผ่นพลาสติกที่เตรียมได้จากกราฟโคพอลิเมอร์มีแบ่งเป็นองค์ประกอบ ซึ่งแบ่งสามารถละลายในน้ำร้อน ส่วนพอลิเมทิลเมทาคริเลตไม่ละลายในน้ำจึงเกิดการบวมตัวเท่านั้น

ส่วนเมทานอลไม่สามารถทำให้กราฟโคพอลิเมอร์บวมตัวหรือละลายได้เนื่องจากไม่ใช่ตัวทำละลาย

เมื่อทดสอบการละลายของแผ่นพลาสติกในเตตระไฮโดรฟูแรนที่อุณหภูมิห้องไม่เกิดการละลายหรือบวมตัว แต่เมื่อนำมาละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เกิดการบวมตัว เนื่องจากเตตระไฮโดรฟูแรนมีความสามารถในการละลายพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ จึงสามารถละลายไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต แต่ไม่สามารถละลายพอลิพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่กราฟต์บนแบ่งออกได้จึงทำให้เกิดการบวมตัวเท่านั้น

ส่วนในตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วต่ำ เช่น ไซลีน เบนซีน โทลูอีน และน้ำมันพืช พบว่าพลาสติกไม่เกิดการบวมตัวหรือละลาย เนื่องจากพลาสติกที่เตรียมได้มีความเป็นขั้วที่สูงกว่า

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการละลายของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบที่อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ	ชิ้นงานขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่างๆ	เตตระไฮโดรฟูแรน	น้ำ	เมทานอล	โทลูอีน	ไซลีน	เบนซีน	น้ำมันพืช
ห้อง	170	X	S	X	X	X	X	X
	180	X	S	X	X	X	X	X
	190	X	S	X	X	X	X	X
60 °C	170	S	S	X	X	X	X	X
	180	S	S	X	X	X	X	X
	190	S	S	X	X	X	X	X

หมายเหตุ: √ = ละลาย S = ไม่ละลายแต่บวม X = ไม่ละลายและไม่บวม

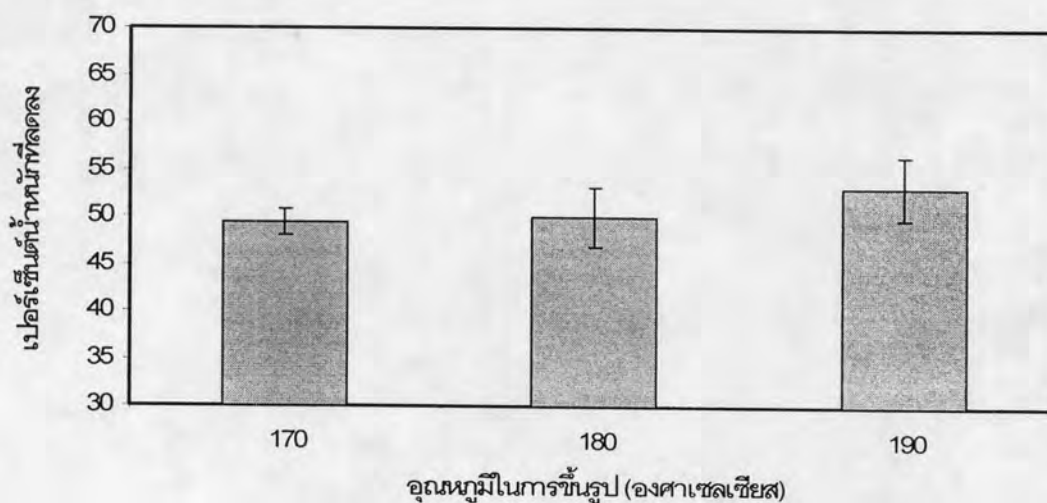
4.7.4 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก

ภาพถ่ายลักษณะของแผ่นพลาสติกที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นระยะเวลา 30 วัน แสดงตารางที่ 4.6 และการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ หลังจากฝังดินเป็นเวลา 30 วัน ดังรูปที่ 4.27

ตารางที่ 4.6 ภาพถ่ายลักษณะแผ่นพลาสติกที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นระยะเวลา 30 วัน



จากรูปที่ 4.27 พบว่า แผ่นพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิต่างกัน มีความสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าอุณหภูมิในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ



รูปที่ 4.27 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพลาสติก

4.8 ผลของอุณหภูมิการอัดแบบต่อลักษณะและสมบัติของแผ่นโฟมที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์

4.8.1 ลักษณะของแผ่นโฟม

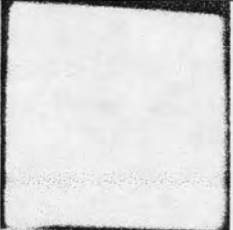

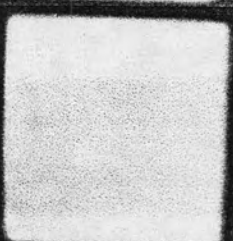
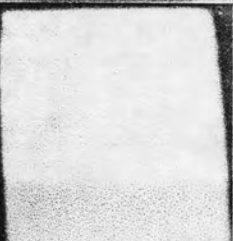
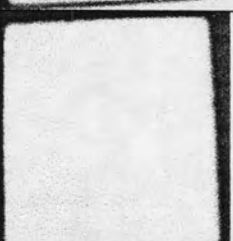
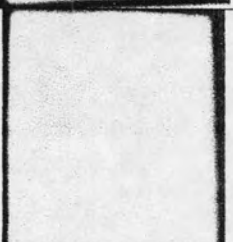
การขึ้นรูปเป็นแผ่นโฟมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างแป้งข้าวเหนียวและเมทิลเมทาคริเลต สามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการอัดแบบทั้ง 2 ภาวะ ลักษณะของแผ่นโฟมที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิการอัดแบบต่างๆ กัน แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่า แผ่นโฟมมีสีขาวนวล ผิวเรียบ ไม่แตกต่างกัน

โฟมจากภาวะที่ 1 มีความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยค่าความหนาแน่นแปรผันตามอุณหภูมิการอัดแบบ สำหรับโฟมที่เตรียมจากภาวะที่ 2 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอัดแบบเพิ่มขึ้น พบว่า ความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน

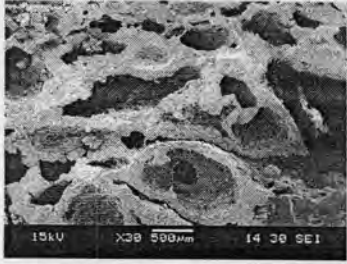
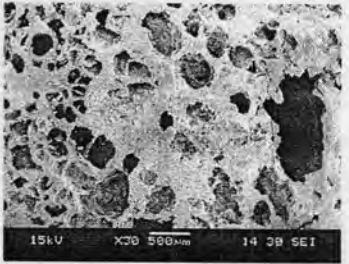

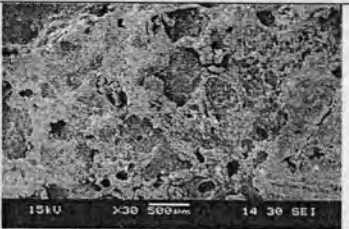
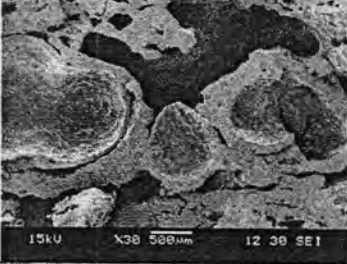
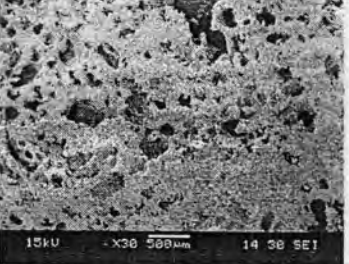
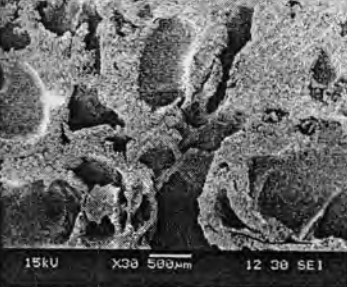
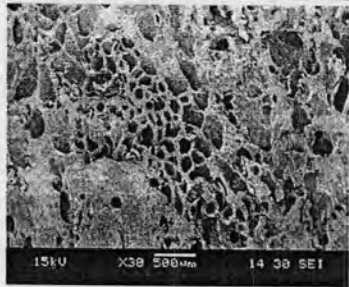
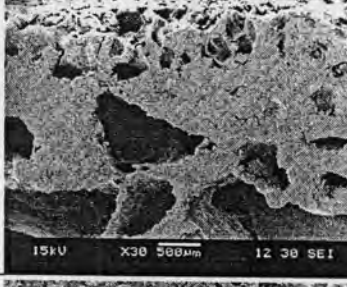
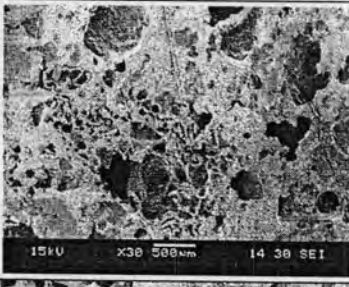
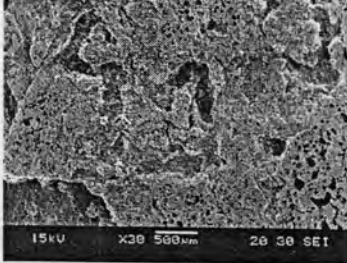
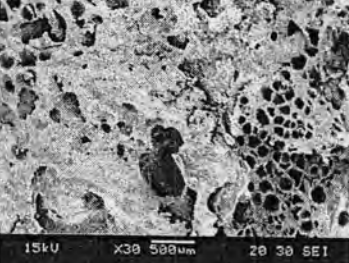
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของโฟมทั้ง 2 ภาวะ พบว่า บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานปรากฏเซลล์ลักษณะค่อนข้างกลม และส่วนใหญ่เป็นเซลล์แบบเปิด ขนาดของเซลล์ไม่สม่ำเสมอ และเซลล์มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งยังมีโพรงอากาศด้วย

ภาพถ่าย SEM ของโฟมที่เตรียมจากภาวะที่ 1 และ 2 แสดงดังตารางที่ 4.8 โฟมภาวะที่ 1 เมื่ออุณหภูมิการอัดแบบสูงขึ้นผิวของโฟมเกิดการประสานกันมากขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนของโพรงอากาศลดน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของโฟม ขณะที่ภาพถ่าย SEM ของโฟมที่เตรียมจากภาวะที่ 2 พบว่า ลักษณะโครงสร้างของเซลล์แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการอัดแบบ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของโฟมที่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.7 ลักษณะของโฟมที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน

ภาวะ	อุณหภูมิการขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)	ภาพถ่ายแผ่นโฟม	ลักษณะแผ่นโฟม เมื่อสังเกตด้วยตา เปล่า	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)
1	170		ชั้นงานมีสีขาว นวล ผิวเรียบ	0.64 ± 0.01
	180		ชั้นงานมีสีขาว นวล ผิวเรียบ	0.70 ± 0.01
	190		ชั้นงานมีสีขาว นวล ผิวเรียบ	0.77 ± 0.03
2	170		ชั้นงานมีสีขาว นวล ผิวเรียบ	0.69 ± 0.01
	180		ชั้นงานมีสีขาว นวล ผิวเรียบ	0.69 ± 0.01
	190		ชั้นงานมีสีขาว นวล ผิวเรียบ	0.66 ± 0.02

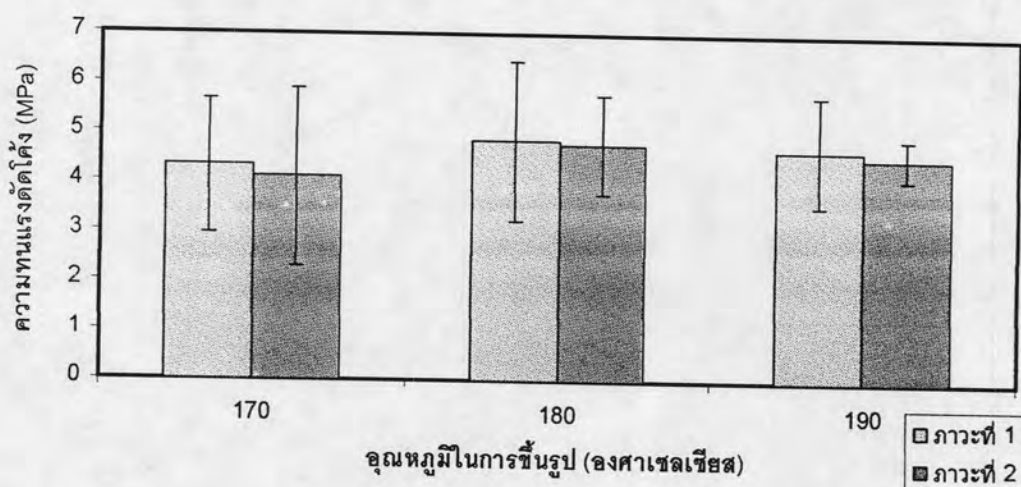
ตารางที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM ของโฟมทั้ง 2 ภาวะ ที่อุณหภูมิการอัดแบบต่างกัน

ภาวะ	อุณหภูมิการอัดแบบ (องศาเซลเซียส)	แนวฟูตัวขึ้น (foam rise)	ภาคตัดขวางของผิวหน้า
1	170		
	180		
	190		
2	170		
	180		
	190		

4.8.2 สมบัติเชิงกลของแผ่นโฟม

4.8.2.1 สมบัติด้านแรงดัดโค้ง

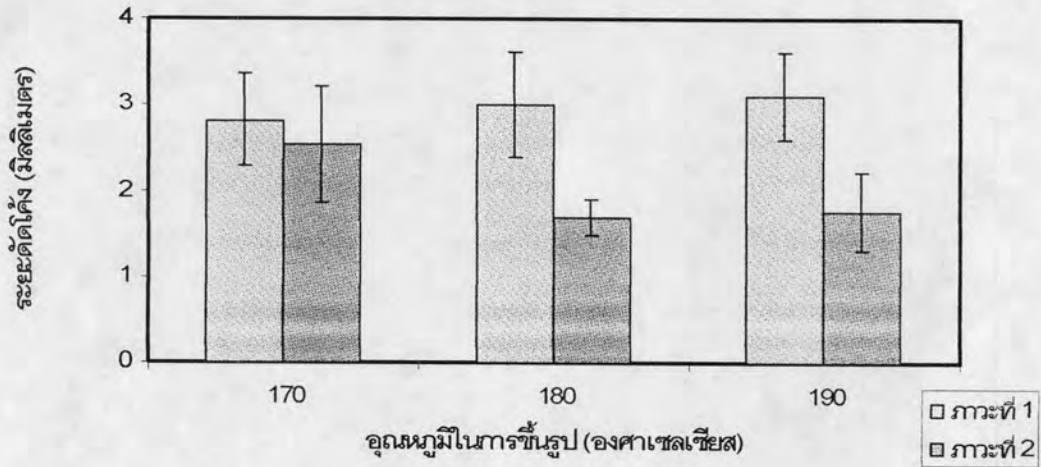
ผลการทดสอบสมบัติด้านแรงดัดโค้งของแผ่นโฟมที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ สามารถแสดงค่าความทนแรงดัดโค้ง (flexural strength) ค่าระยะดัดโค้ง (deformation at maximum load) และค่ามอดุลัสดัดโค้ง (flexural modulus) แสดงดังรูปที่ 4.28 ถึง 4.30 ตามลำดับ



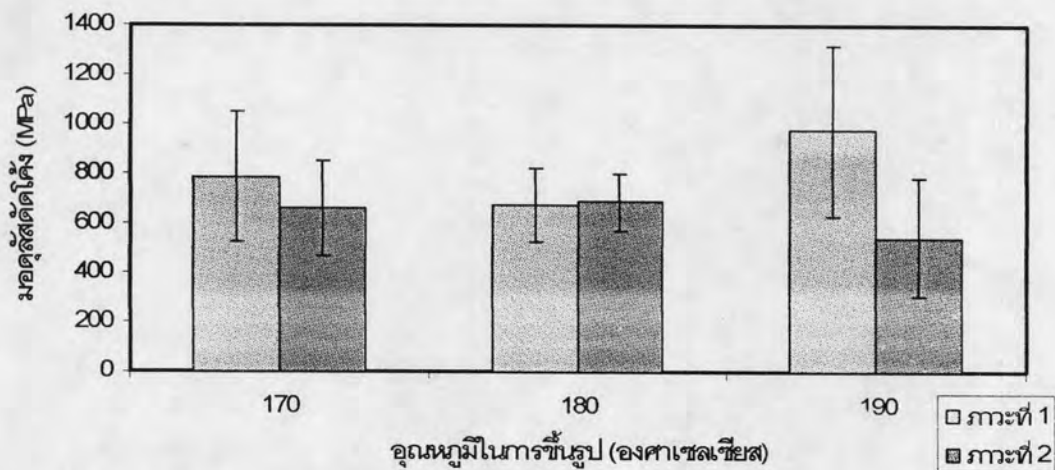
รูปที่ 4.28 ความทนแรงดัดโค้งของแผ่นโฟมที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน

จากรูปที่ 4.28 ความทนแรงดัดโค้งที่ภาวะที่ 1 และ 2 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน อาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความทนแรงดัดโค้ง แสดงให้ว่าอุณหภูมิในการอัดแบบ และภาวะไม่มีผลต่อค่าความทนแรงดัดโค้ง

จากรูปที่ 4.29 พบว่า ระยะดัดโค้งในภาวะที่ 1 มีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสมบัติของโฟมที่เตรียมได้มีความแข็งเปราะ ทำให้มีความสามารถทนแรงดัดโค้งได้มากแต่ไม่สามารถยืดหยุ่นได้มากนัก ในขณะที่ภาวะที่ 2 พบว่า มีระยะดัดโค้งลดลงโดยเฉพาะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูป เนื่องจากสัดส่วนของแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังที่กล่าวในบทที่ 2 ว่าแข็งมีความเปราะมากกว่าเมื่อเทียบกับพลาสติก



รูปที่ 4.29 ระยะดัดโค้งของแผ่นโฟมที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน



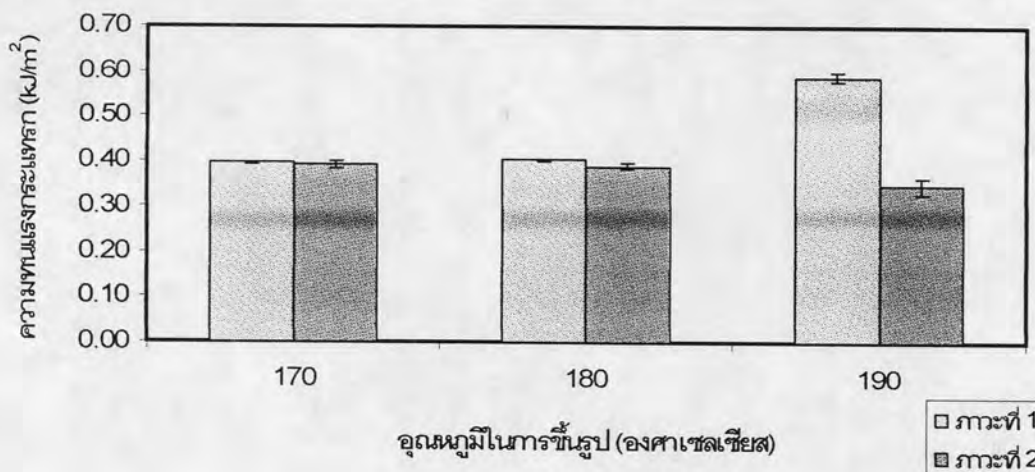
รูปที่ 4.30 มอดุลัสดัดโค้งของแผ่นโฟมที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน

จากรูปที่ 4.30 มอดุลัสดัดโค้งของแผ่นโฟม พบว่า โฟมที่เตรียมได้จากภาวะที่ 1 มีค่ามากที่สุดเมื่ออัดแบบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เนื่องจาก ณ อุณหภูมิดังกล่าวทำให้พอลิเมทิลเมทาคริลิตสามารถหลอมและเกิดการเชื่อมประสานการดังภาพถ่าย SEM ดังแสดงในตารางที่ 4.6

สำหรับโฟมที่เตรียมจากภาวะที่ 2 มีความมอดุลัสดัดโค้งน้อยกว่าโฟมที่เตรียมได้จากภาวะที่ 1 เนื่องจากภาวะที่ 2 มีปริมาณแป้งมากกว่าภาวะที่ 1 ส่งผลให้มีความเปราะมากกว่า

4.8.2.2 ความทนแรงกระแทก

จากผลการทดสอบสมบัติความทนแรงกระแทกของแผ่นโฟมกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ทำ การขึ้นรูปเป็นโฟม ค่าความทนแรงกระแทก แสดงดังกราฟรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ความทนแรงกระแทกของแผ่นโฟมที่ได้จากการอัดแบบที่อุณหภูมิต่างกัน

จากรูปที่ 4.31 พบว่า ความทนแรงกระแทกของโฟมทั้ง 2 ภาวะ มีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อทำ การขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 170 และ 180 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 190 องศาเซลเซียส พบว่า โฟมภาวะที่ 1 มีค่าความทนแรงกระแทกมากกว่าโฟมภาวะที่ 2 เนื่องจากมีความหนาแน่น มากกว่า ซึ่งเป็นผลจากพอลิเมทิลเมทาคริเลตสามารถหลอมตัวได้ ณ อุณหภูมินี้ ทำให้เกิดการ เชื่อมผิว ทำให้ผิวหน้าเรียบประสานกันจึงสามารถกระจายแรงได้ดีกว่า ทำให้ค่าทนแรงกระแทก สูงขึ้น

4.8.3 ความทนทานต่อสารเคมี

การทดสอบความทนทานต่อสารเคมีของโฟมที่เตรียมได้จากกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้จาก การอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.9 และ 4.10

จากตารางที่ 4.9 ผลทดสอบการละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ พบว่า การทดสอบ ความสามารถละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ทั้งมีขั้วและไม่มีขั้ว เมื่อนำโฟมมาละลายในน้ำ พบว่า โฟมไม่ละลายน้ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและ 60 องศาเซลเซียส แต่เกิดการบวมในน้ำทั้งที่ อุณหภูมิห้อง และที่ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากโฟมที่เตรียมได้มีแบ่งเป็นส่วนประกอบ ซึ่งแบ่งไม่ ละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่เกิดการบวมตัวเนื่องจาก แบ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ สามารถสร้าง

พันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งห่างออกจากกัน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โฟมเกิดการบวมตัวเนื่องจากแผ่นโฟมที่เตรียมได้จากกราฟต์โคพอลิเมอร์มีแป้งเป็นองค์ประกอบ ซึ่งแป้งสามารถละลายในน้ำร้อน ส่วนพอลิเมทิลเมทาคริเลตไม่ละลายในน้ำจึงเกิดการบวมตัวเท่านั้น

ตารางที่ 4.9 ความสามารถในการละลายของแผ่นโฟมภาวะที่ 1 ที่ได้รับการอัดแบบที่ อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ	อุณหภูมิที่อุณหภูมิต่างๆ	เตตระไฮโดรฟูแรน	น้ำ	เมทานอล	โทลูอีน	ไซลีน	เบนซีน	น้ำมันพืช
ห้อง	170	X	S	X	X	X	X	X
	180	X	S	X	X	X	X	X
	190	X	S	X	X	X	X	X
60 °C	170	X	S	X	X	X	X	X
	180	X	S	X	X	X	X	X
	190	X	S	X	X	X	X	X

หมายเหตุ: √ = ละลาย S = ไม่ละลายแต่บวม X = ไม่ละลายและไม่บวม

ส่วนเมทานอลไม่สามารถทำให้โฟมของกราฟต์โคพอลิเมอร์บวมตัวหรือละลายได้ เนื่องจากไม่ใช่ตัวทำละลาย

เมื่อทดสอบการละลายของแผ่นโฟมในเตตระไฮโดรฟูแรนที่อุณหภูมิห้อง และที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ไม่เกิดการละลายหรือบวมตัว เนื่องจากแป้งไม่ละลายในเตตระไฮโดรฟูแรน

ส่วนในตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วต่ำ เช่น ไซลีน เบนซีน โทลูอีน และน้ำมันพืช พบว่า โฟมไม่เกิดการบวมตัวหรือละลาย เนื่องจากโฟมที่เตรียมได้มีความเป็นขั้วที่สูงกว่า

ส่วนภาวะที่ 2 ได้ผลเช่นเดียวกับภาวะที่ 1

ตารางที่ 4.10 ความสามารถในการละลายของแผ่นโพลิเอทิลีนที่ 2 ที่ได้จากการอัดแบบที่ อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ	อุณหภูมิขึ้นรูป ที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ	เตตระ ไฮโดรฟูแรน	น้ำ	เมทานอล	โทลูอีน	ไซลีน	เบนซีน	น้ำมันพืช
ห้อง	170	X	S	X	X	X	X	X
	180	X	S	X	X	X	X	X
	190	X	S	X	X	X	X	X
60 °C	170	X	S	X	X	X	X	X
	180	X	S	X	X	X	X	X
	190	X	S	X	X	X	X	X

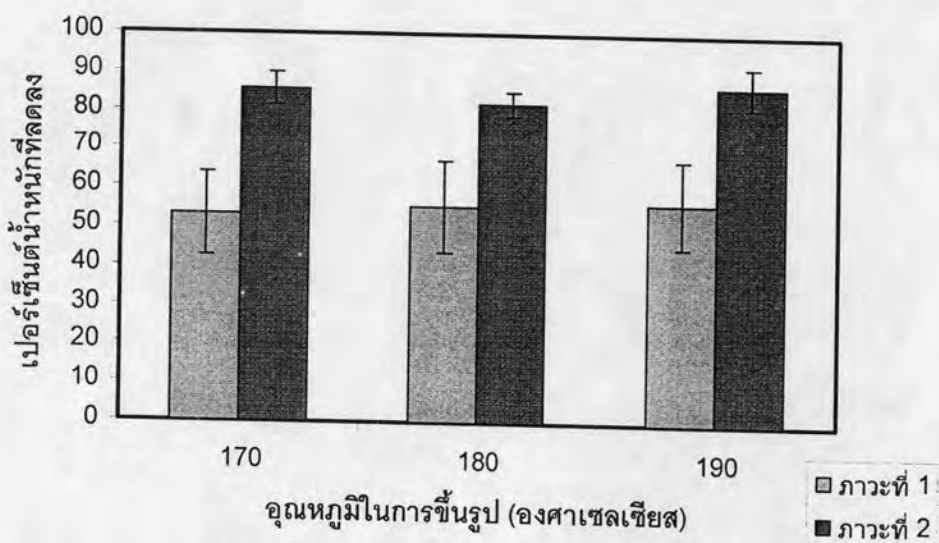
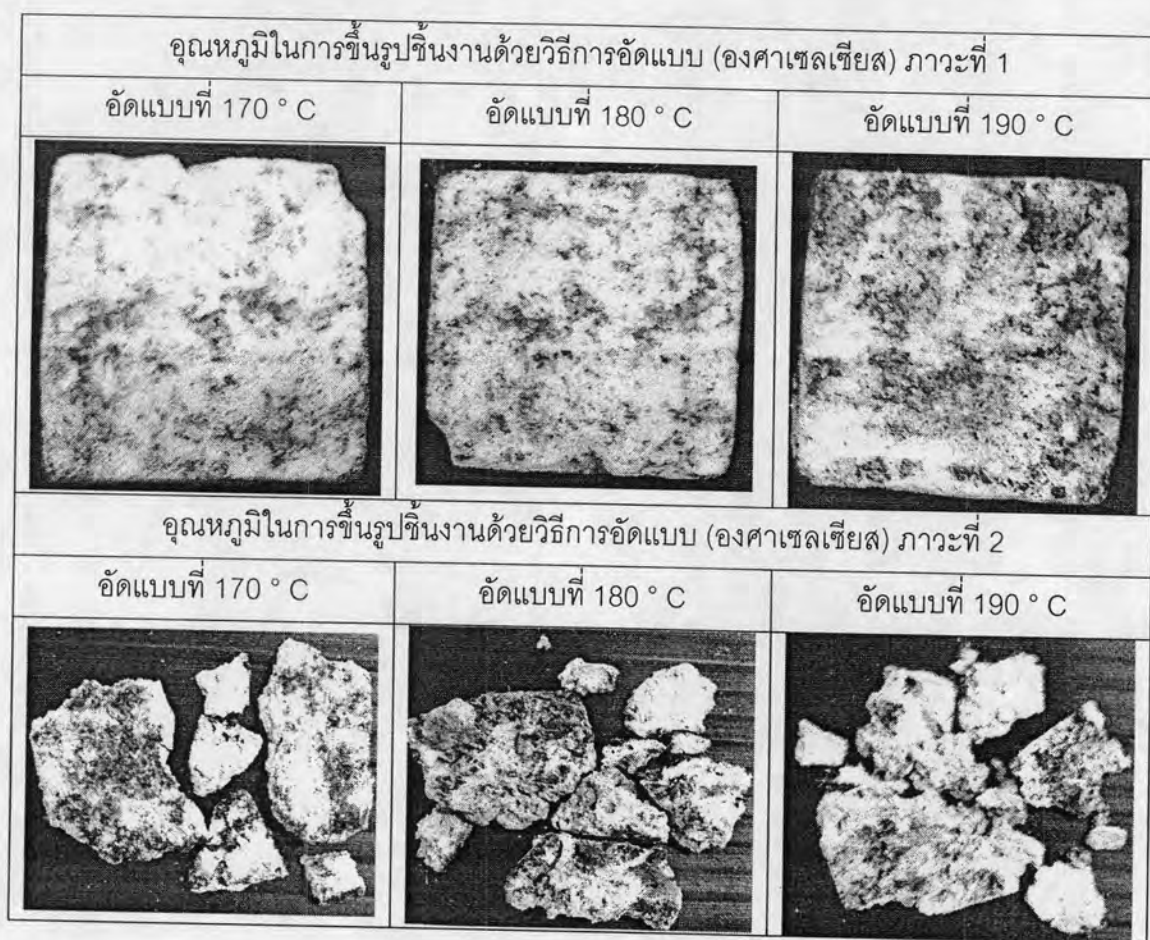
หมายเหตุ: √ = ละลาย S = ไม่ละลายแต่บวม X = ไม่ละลายและไม่บวม

4.8.4 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

ภาพถ่ายลักษณะของแผ่นโพลิเอทิลีนที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นระยะเวลา 30 วัน แสดงตารางที่ 4.11 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นโพลิเอทิลีนที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังจากฝังดินเป็นเวลา 30 วัน แสดงดังรูปที่ 4.32

จากรูปที่ 4.32 พบว่า ภาวะที่ 2 สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีกว่า ภาวะที่ 1 เนื่องจากปริมาณแบง์ในภาวะที่ 2 มากกว่าภาวะที่ 1 และสามารถกล่าวได้ว่าอุณหภูมิในการขึ้นรูป ไม่มีผลต่อความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตารางที่ 4.11 ภาพถ่ายลักษณะของแผ่นโฟมที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นระยะเวลา 30 วัน



รูปที่ 4.32 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของโฟม