

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม

4.1.1 ลักษณะของสารประกอบพอลิออล

สารประกอบพอลิออลที่เตรียมได้จากการตัดแปรรูปน้ำมันปาล์มด้วยเพนตะอริทริทอล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีเหลือง หรือสีน้ำตาลอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 มีความหนืด 300 พอยส์ ค่าของกรดเท่ากับ 6 และค่าไฮดรอกซิลเท่ากับ 385



รูปที่ 4.1 สารประกอบพอลิออลที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม

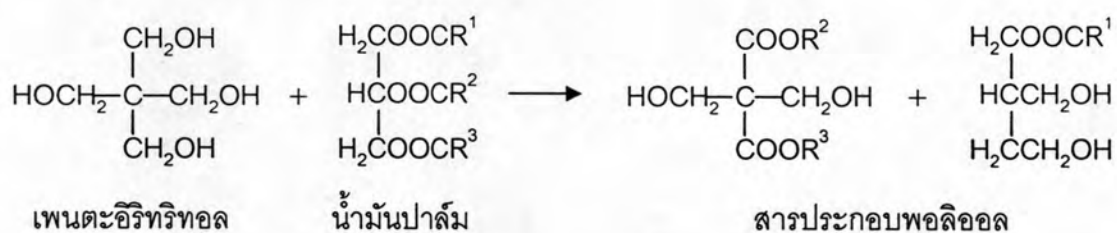
สำหรับสารประกอบพอลิออลทางการค้าเป็นของเหลวหนืดสีม่วงใส ดังแสดงในรูปที่ 4.2 มีความหนืด 275 พอยส์ ค่าของกรดเท่ากับ 2 และค่าไฮดรอกซิลเท่ากับ 490



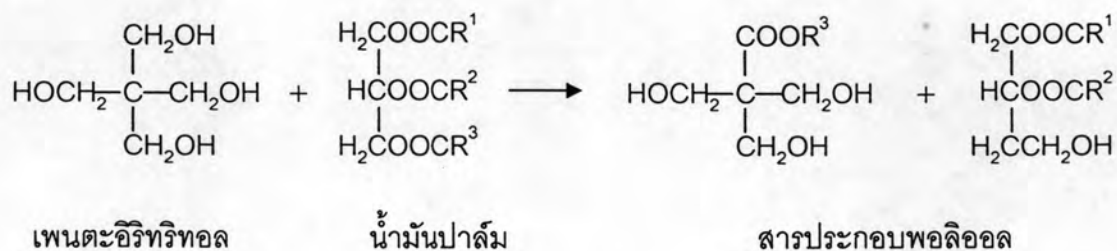
รูปที่ 4.2 สารประกอบพอลิเอสเตอร์ทางการค้า

4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR

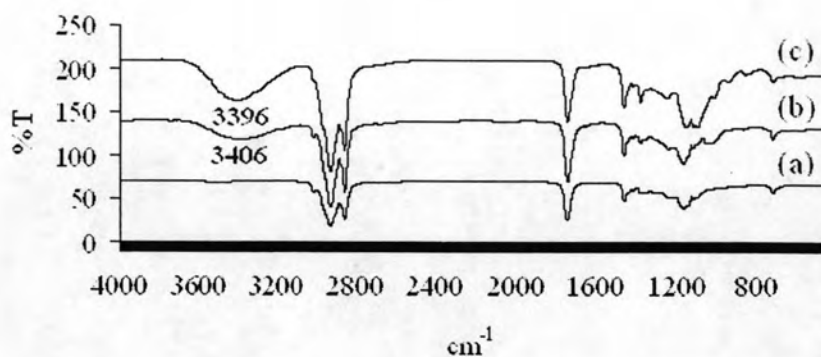
รูปที่ 4.3 แสดง FTIR สเปกตรัม ของน้ำมันปาล์ม สารประกอบพอลิเอสเตอร์ทางการค้า และสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม พบว่า สารประกอบพอลิเอสเตอร์ทั้งของทางการค้า และที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มแสดงพีกของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3396 cm^{-1} และ 3406 cm^{-1} ซึ่งไม่ปรากฏในสเปกตรัมของน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันปาล์มได้ทำปฏิกิริยากับเพนตะอิริทริทอลได้สารประกอบพอลิเอสเตอร์ดังสมการต่อไปนี้



หรือ



$R^1, R^2, R^3 =$ โซ่กรดไขมัน ($C_9\text{-}C_{22}$)



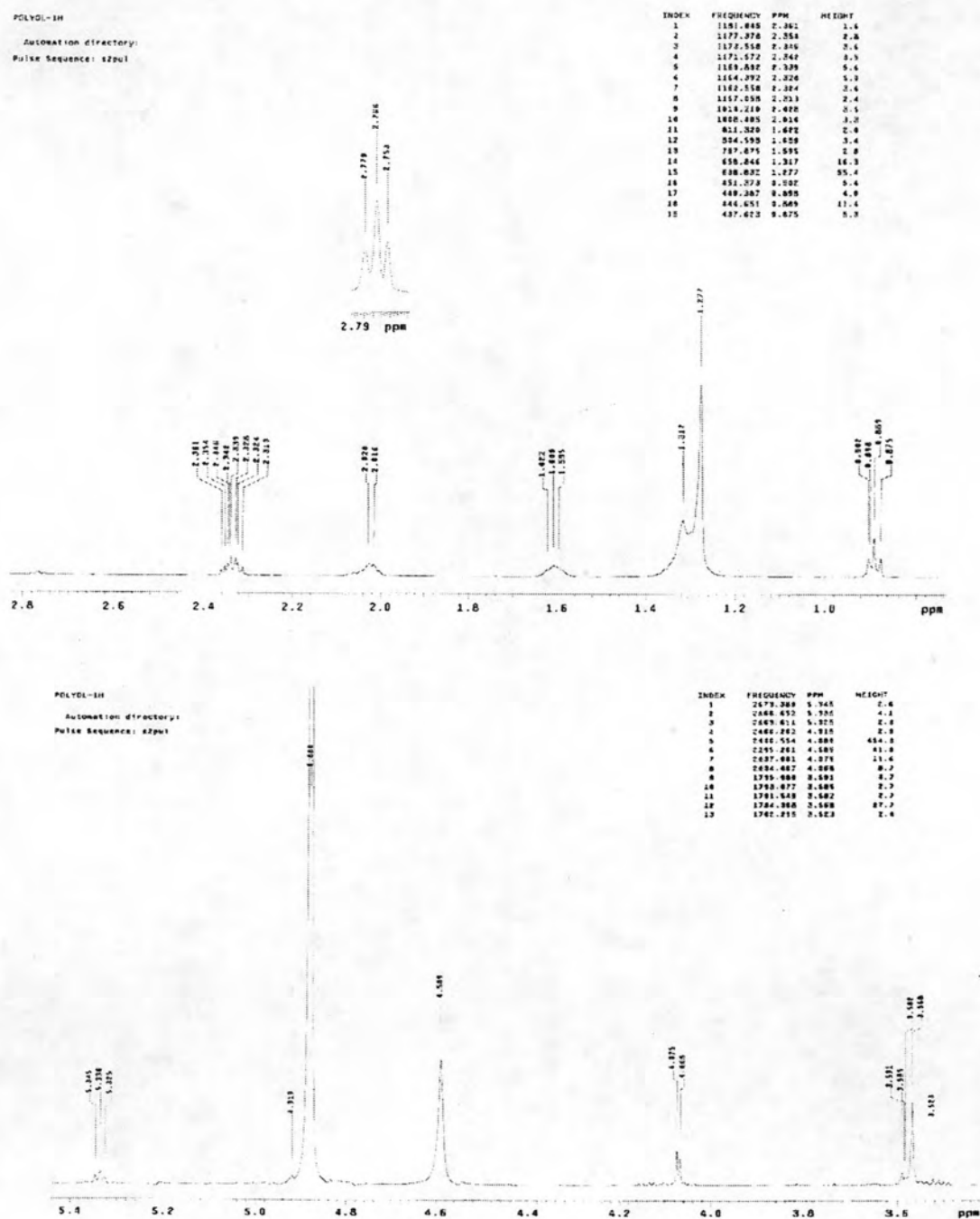
รูปที่ 4.3 FTIR สเปกตรัมของน้ำมันปาล์ม และสารประกอบพอลิออล

- (a) น้ำมันปาล์ม
- (b) สารประกอบพอลิออลที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม
- (c) สารประกอบพอลิออลทางการค้า

นอกจากตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR แล้ว ยังนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจสอบการละลายในสารละลายเอทานอลเพื่อยืนยันว่าเป็นสารประกอบพอลิออล โดยนำสารตัวอย่าง 1 ส่วน ละลายในเอทานอล 3 ส่วน ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารตัวอย่างละลายได้ดีในเอทานอล จึงอาจกล่าวได้ว่า น้ำมันปาล์มเข้าทำปฏิกิริยากับเพนตะอริทริทอลอย่างสมบูรณ์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบพอลิออล ทั้งนี้เพราะน้ำมันปาล์มจะไม่ละลายในเอทานอล

4.1.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค NMR

รูปที่ 4.4 แสดง NMR สเปกตรัมของสารประกอบพอลิเอทิลที่เตรียมได้จากการตัดแปรรูปน้ำมันปาล์มด้วยเพนตะอิริทริทอล

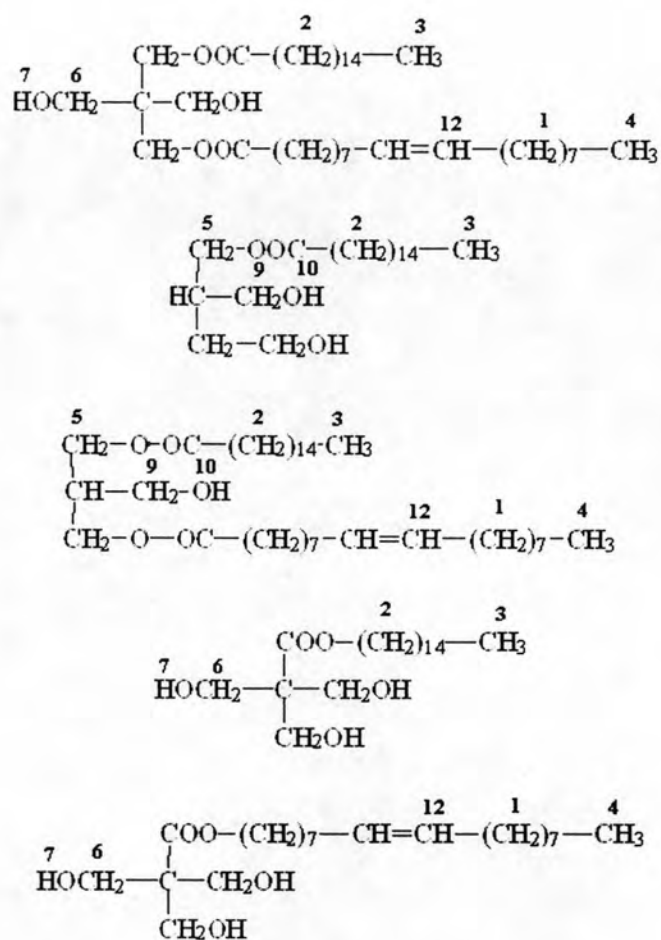


รูปที่ 4.4 NMR สเปกตรัมของสารประกอบพอลิเอทิลที่เตรียมได้จากรูปน้ำมันปาล์ม

โดยพบสเปกตรัมที่สำคัญดังนี้ [23]

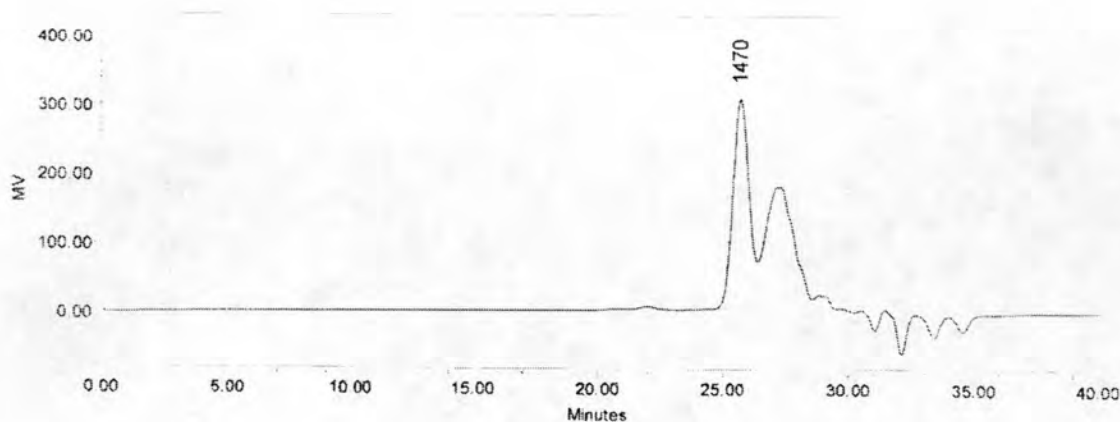
- ตำแหน่งที่ 1 ที่ δ 0.889 ppm ปรากฏสเปกตรัม quartet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ CH_2 ที่ couple กับโปรตอนของ CH_3
- ตำแหน่งที่ 2 ที่ δ 1.277 ppm ปรากฏสเปกตรัม singlet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ CH_2
- ตำแหน่งที่ 3 ที่ δ 1.317 ppm ปรากฏสเปกตรัม singlet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ CH_3
- ตำแหน่งที่ 4 ที่ δ 1.609 ppm ปรากฏสเปกตรัม triplet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ CH_3 ที่ couple กับโปรตอนของ CH_2
- ตำแหน่งที่ 5 ที่ δ 2.016 ppm ปรากฏสเปกตรัม doublet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ CH_2 ที่ couple กับโปรตอนของ CH
- ตำแหน่งที่ 6 ที่ δ 2.339 ppm ปรากฏสเปกตรัม octet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ CH_2 ที่ couple กับโปรตอนของ OH
- ตำแหน่งที่ 7 ที่ δ 2.79 ppm ปรากฏสเปกตรัม triplet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ OH ที่ couple กับโปรตอนของ CH_3
- ตำแหน่งที่ 8 ที่ δ 3.568 ppm ปรากฏสเปกตรัม singlet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ CH_3 ในเมทานอล
- ตำแหน่งที่ 9 ที่ δ 4.075 ppm ปรากฏสเปกตรัม doublet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ CH_2 ที่ couple กับโปรตอนของ CH และโปรตอนของ OH
- ตำแหน่งที่ 10 ที่ δ 4.583 ppm ปรากฏสเปกตรัม singlet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ OH
- ตำแหน่งที่ 11 ที่ δ 4.880 ppm ปรากฏสเปกตรัม singlet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ OH ในเมทานอล
- ตำแหน่งที่ 12 ที่ δ 5.336 ppm ปรากฏสเปกตรัม triplet ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งโปรตอนของ $-\text{CH}=\text{CH}-$

จากการที่น้ำมันปาล์มประกอบด้วย กรดโอเลอิก และกรดปาล์มมิติกเป็นส่วนใหญ่ [1] และจากผลการวิเคราะห์พอลิออลที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิค FTIR ทำให้คาดว่าโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้ของสารประกอบพอลิออลส่วนใหญ่เป็นดังนี้

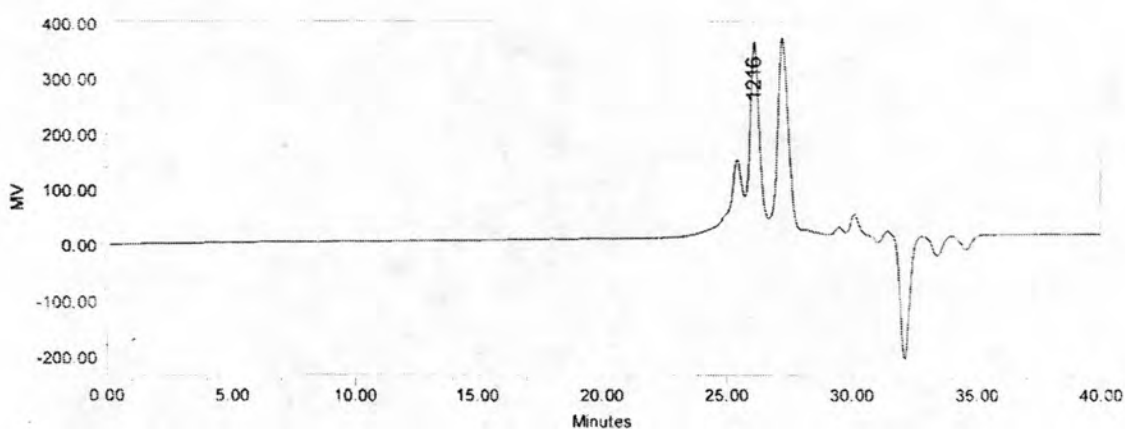


4.1.4 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค GPC

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดง GPC โครมาโทแกรมของสารประกอบพอลิออลทางการค้าและที่เตรียมได้จากน้ำมันปาล์ม ตามลำดับ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี (GPC) โดยใช้สารละลายเตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran, THF) เป็นตัวทำละลาย ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (weight average molecular weight, \bar{M}_w) และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (number average molecular weight, \bar{M}_n) วิเคราะห์ได้จากกราฟเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของพอลิสไตรีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 745 - 395,980



รูปที่ 4.5 GPC โครมาโทแกรมของสารประกอบพอลิออลทางการค้า



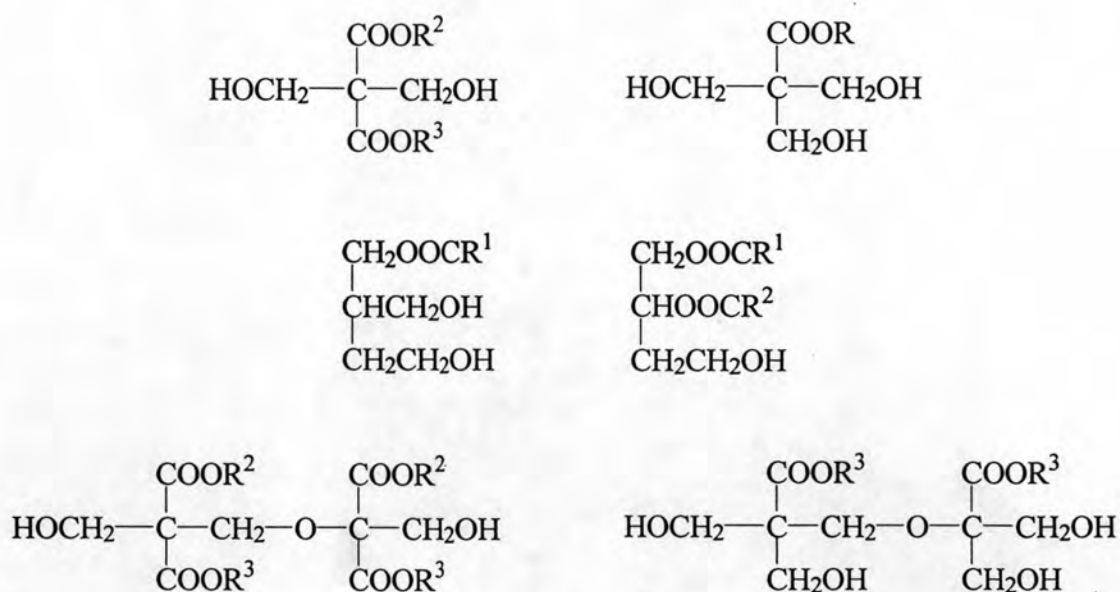
รูปที่ 4.6 GPC โครมาโทแกรมของสารประกอบพอลิออลที่เตรียมได้จากน้ำมันปาล์ม

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า สารประกอบพอลิออลทางการค้า และสารประกอบพอลิออลที่เตรียมได้จากน้ำมันปาล์มมีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันสองขนาด โดยพอลิออลขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่า พบว่าสารประกอบพอลิออลที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักต่ำกว่าสารประกอบพอลิออลทางการค้า ในขณะที่พอลิออลขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่า พบว่าสารประกอบพอลิออลที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักสูงกว่าสารประกอบพอลิออลทางการค้าเล็กน้อย ซึ่งค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก และดัชนีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน และดัชนีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม

สารประกอบพอลิเอสเตอร์	พีทที่	\bar{M}_w	\bar{M}_n	PDI
ทางการค้า	1	1470	1445	1.02
	2	718	668	1.1
เตรียมจากน้ำมันปาล์ม	1	1149	986	1.2
	2	724	712	1.01

จากผลการวิเคราะห์สารประกอบพอลิเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิค FTIR และ NMR พบว่า สารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล และจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GPC พบว่าสารประกอบพอลิเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวนอยู่ในช่วง 712-986 ทำให้คาดว่าโครงสร้างของสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่เตรียมได้มีโครงสร้างหลายแบบดังนี้



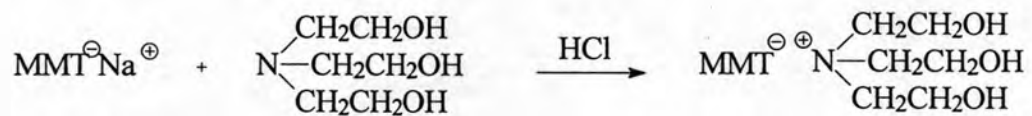
$R^1, R^2, R^3 =$ โซ่กรดไขมัน (กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก)

จากการหาค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวน และค่าไฮดรอกซิลของสารประกอบพอลิ-
อลที่เตรียมได้ สรุปได้ว่าสารประกอบพอลิอลมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวนเท่ากับ 712-
986 และมีค่าไฮดรอกซิลเท่ากับ 385 จึงเหมาะสมในการนำไปเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง
(โดยทั่วไปมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 600-2000 และค่าไฮดรอกซิลประมาณ 350-650) [5]

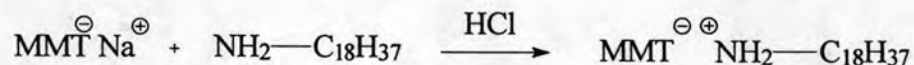
4.2 การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์

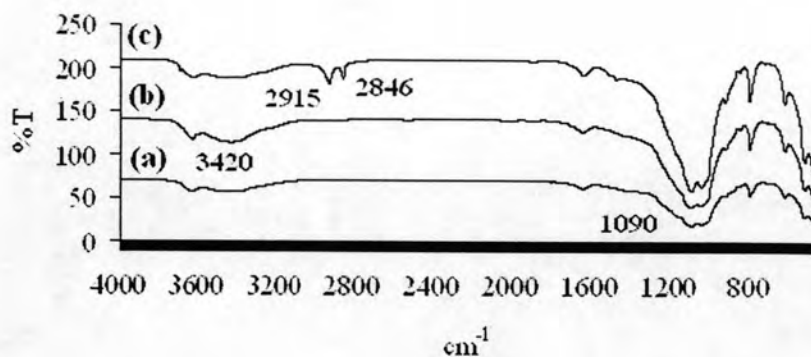
4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR

รูปที่ 4.7 แสดง FTIR สเปกตรัม ของมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) และมอนต์มอริลโลไนต์
ดัดแปรด้วยไตรเอทานอลามีน (tri-OMMT) และออกตะเดซิลเอมีน (octa-OMMT) โดยพบว่า
MMT, tri-OMMT และ octa-OMMT แสดงพีกของพันธะ Si-O ที่ตำแหน่ง 1090 cm^{-1} นอกจากนี้
สเปกตรัม ของ tri-OMMT ยังแสดงพีกของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่ตำแหน่ง 3420 cm^{-1} ซึ่งมีความ
เข้มมากกว่าของ MMT เล็กน้อย เนื่องจากการแลกเปลี่ยนแคตไอออน ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



สำหรับ FTIR สเปกตรัมของ MMT ที่ดัดแปรด้วยออกตะเดซิลเอมีน พบพีกของพันธะ C-H
stretching ที่ตำแหน่ง 2846 และ 2915 cm^{-1} ซึ่งพีกเหล่านี้ไม่ปรากฏใน FTIR สเปกตรัมของ MMT
ดังนั้น อาจสรุปได้ว่าสามารถดัดแปร MMT ด้วยออกตะเดซิลเอมีนได้ OMMT ที่ประกอบด้วยหมู่
แอลคิล ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



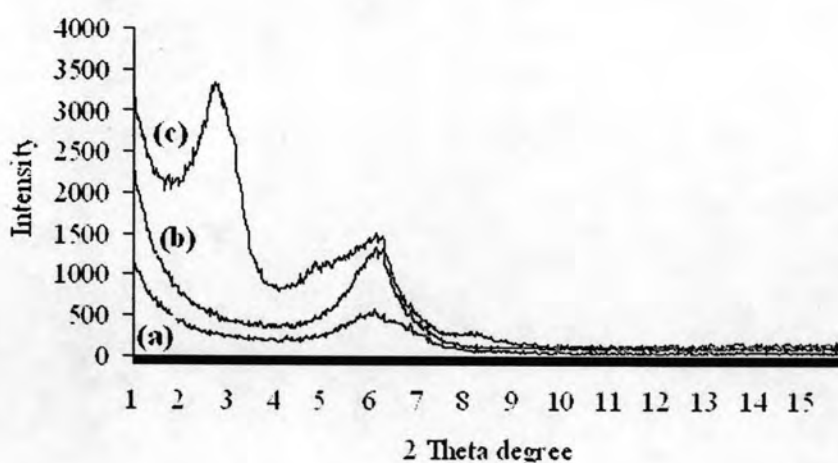


รูปที่ 4.7 FTIR สเปกตรัมของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

- (a) MMT
- (b) tri-OMMT
- (c) octa-OMMT

4.2.2 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิค XRD

รูปที่ 4.8 แสดง XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของ MMT, tri-OMMT และ octa-OMMT โดยปรากฏพีกที่ค่า 2θ ต่างๆ กัน ซึ่งสามารถคำนวณระยะห่างระหว่างชั้นของระนาบ (001) (d_{001}) ใน MMT และ OMMT ได้จาก Bragg's law ($n\lambda = 2d \sin\theta$) โดยผลจากการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.8 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

- (a) MMT
- (b) tri-OMMT
- (c) octa-OMMT

ตารางที่ 4.2 ระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

ชนิดของสาร	2θ	d ₀₀₁ (Å)	d ₀₀₂ (Å)
MMT	5.99	14.74	-
tri-OMMT	6.187	14.27	-
octa-OMMT	2.798	14.26	-
	6.191	-	31.55

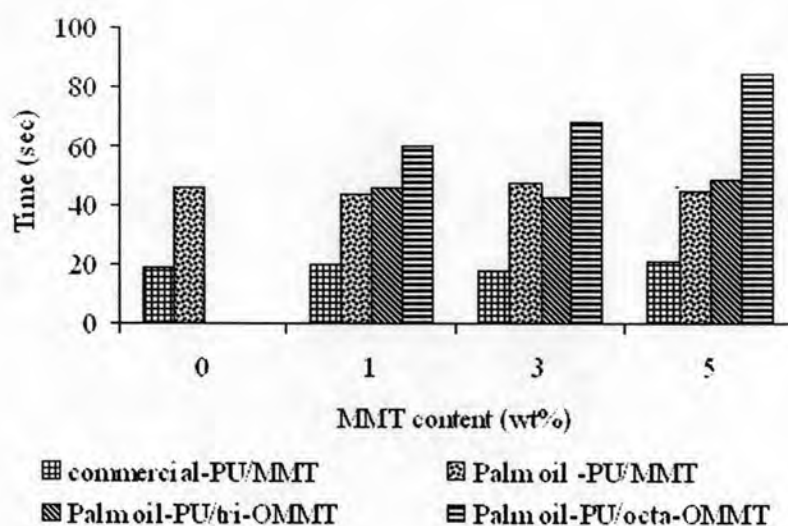
จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยไตรเอทานอลามีน ($d_{001} = 14.27 \text{ \AA}$) มีค่าต่ำกว่าของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ดัดแปร ($d_{001} = 14.74 \text{ \AA}$) เนื่องจากการดัดแปรด้วยไตรเอทานอลามีนทำให้มอนต์มอริลโลไนต์มีปริมาณหมู่ OH เพิ่มขึ้น จึงมีแรงดึงดูดด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ ส่วนการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยออกตะเดซิลเอมีน พบพีคของระนาบ (001) มีระยะห่างระหว่างชั้นใกล้เคียงกับมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ดัดแปร ($d_{001} = 14.26 \text{ \AA}$) ซึ่งเป็นพีคแสดงระนาบของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ถูก Intercalate ด้วยโมเลกุลของพอลิเมอร์ ส่วนพีคของระนาบ (002) มีระยะห่างระหว่างชั้นมีค่าสูงกว่าของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ดัดแปร ($d_{002} = 31.55 \text{ \AA}$) แสดงว่าพอลิเมอร์มีโอกาสที่จะแทรกเข้าไประหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ได้ดี [26]

4.3 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิต

4.3.1 เวลาที่ใช้ทำให้โฟมเริ่มฟูตัว (cream time)

เมื่อทดสอบหาเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมเริ่มฟูตัวระหว่างการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า และสารประกอบพอลิออลที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม โดยการใส่มอนต์มอริลโลไนต์ทั้งที่ผ่านการดัดแปรและไม่ได้ดัดแปรปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยพบว่า โฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้ามีระยะเวลาในการทำให้โฟมเริ่มฟูตัวเร็วกว่าโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลของสารประกอบพอลิออลที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มมีความว่องไวน้อยกว่าหมู่ไฮดรอกซิลของสารประกอบพอลิออลทางการค้า โดยโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้าเมื่อใส่ MMT เพิ่มขึ้นจะทำให้โฟมเริ่มฟู

ตัวในเวลาใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18-21 วินาที ส่วนการใช้สารประกอบพอลิออลที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม พบว่า โฟมเริ่มฟุ้งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (43-49 วินาที) อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณ MMT และ tri-OMMT ในนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น พบว่า เวลาในการทำให้โฟมเริ่มฟุ้งมีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 43-49 วินาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการใส่ octa-OMMT นอกจากนี้เมื่อปริมาณ octa-OMMT เพิ่มขึ้น พบว่า เวลาในการทำให้โฟมเริ่มฟุ้งเพิ่มขึ้นมาก คือ อยู่ในช่วง 60-84 วินาที ทั้งนี้อาจเนื่องจากออกตะเดซิลเอมีนมีสายโซ่โมเลกุลที่ยาวกว่าไตรเอทาโนเอมีน จึงขัดขวางการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้น

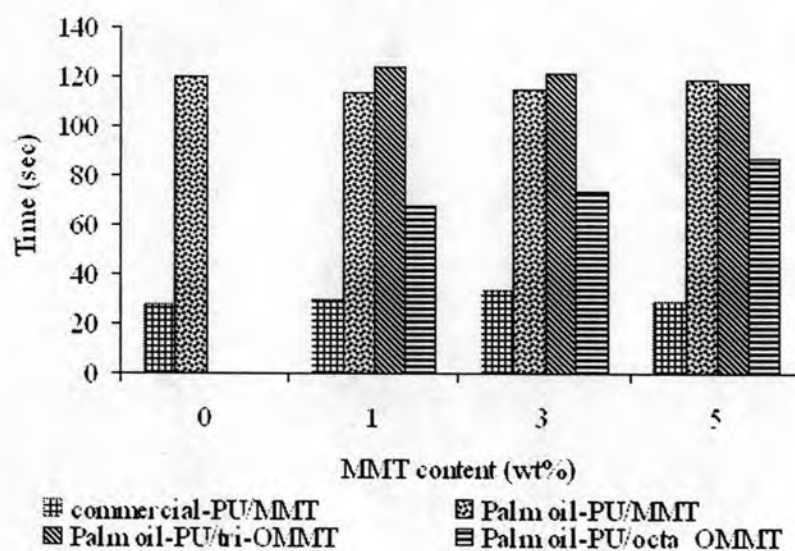


รูปที่ 4.9 เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมพอลิยูรีเทนเริ่มฟุ้ง

4.3.2 เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ (rise time)

เมื่อทดสอบหาเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ในการเตรียมโฟมนาโนคอมพอสิตจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า และสารประกอบพอลิออลที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม โดยการใส่มอนต์มอริลโลไนต์ทั้งที่ผ่านการดัดแปรและไม่ได้ดัดแปรปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยพบว่า โฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้ามีระยะเวลาในการทำให้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่เร็วกว่าโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลของสารประกอบพอลิออลที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มมีความว่องไว้น้อยกว่าหมู่ไฮดรอกซิลของสารประกอบพอลิออลทางการค้า โดยโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้าเมื่อใส่ MMT เพิ่มขึ้นจะทำให้

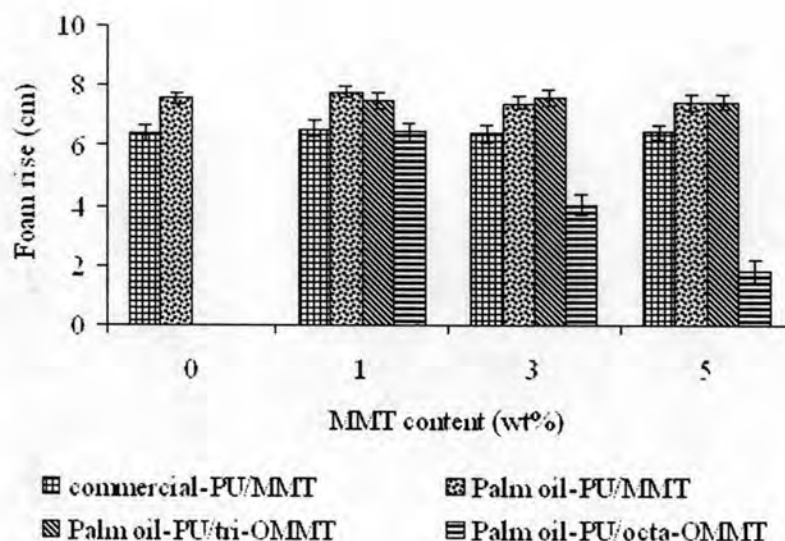
โพลียูรีเทนขยายตัวในเวลาใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 28-34 วินาที ส่วนการใช้สารประกอบพอลิออกซาลอน้ำมันปาล์มมีผลทำให้ระยะเวลาในการทำให้โพลียูรีเทนขยายตัวเต็มที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณ MMT และ tri-OMMT ในนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น พบว่า ระยะเวลาในการทำให้โพลียูรีเทนขยายตัวเต็มที่ที่มีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 117-124 วินาที ซึ่งใช้เวลามากกว่าการใส่ octa-OMMT นอกจากนี้ เมื่อปริมาณ octa-OMMT เพิ่มขึ้น พบว่า ระยะเวลาในการทำให้โพลียูรีเทนขยายตัวเต็มที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 68-87 วินาที ทั้งนี้อาจเนื่องจากออกตะเดซิลเอมีนสายโซ่โมเลกุลที่ยาวกว่าไตรเอทาโนเอมีน จึงขัดขวางการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้น ดังนั้นจึงมีระยะเวลาในการทำให้โพลียูรีเทนขยายตัวเต็มที่ลดลง



รูปที่ 4.10 เวลาที่ใช้ในการทำให้โพลียูรีเทนขยายตัวเต็มที่

4.3.3 ความสามารถในการฟูตัว

รูปที่ 4.11 แสดงความสูงของโพลียูรีเทนที่เตรียมได้ โดยทำการวัดภายหลังจากโพลียูรีเทนขยายตัวเต็มที่แล้วและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน เพื่อตรวจสอบความสามารถในการฟูตัวของโพลีและสมดุลของปฏิกิริยาระหว่างการเกิดเจลและการฟู



รูปที่ 4.11 ความสูงของโฟมพอลิยูรีเทน

จากรูปแสดงให้เห็นว่าโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า ที่ใส่และไม่ใส่ MMT มีความสูงใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 6.4-6.6 เซนติเมตร โดยโฟมที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้าเมื่อใส่ MMT 5% มีลักษณะทางกายภาพไม่ดี กล่าวคือเนื้อโฟมแตก ไม่สามารถตัดเป็นชิ้นงานได้ ส่วนโฟมที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์มทั้งที่ใส่และไม่ใส่ MMT หรือ tri-OMMT มีความสูงไม่ต่างกันมากนักและมีค่ามากกว่าที่เตรียมจากพอลิออลทางการค้า คือ อยู่ในช่วง 7.4-7.8 เซนติเมตร แต่โฟมที่ใส่ octa-OMMT มีความสูงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อปริมาณ octa-OMMT เพิ่มขึ้น นั่นคือ ลดลงจาก 6.4 เซนติเมตร (เมื่อใส่ octa-OMMT 1%) เหลือ 1.82 เซนติเมตร (เมื่อใส่ octa-OMMT 5%) ทั้งนี้เนื่องจากออกตะเดซิลเอมีนมีสายโซ่โมเลกุลที่ยาวมากทำให้ไปขัดขวางการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้น จึงทำให้ความสูงลดลง

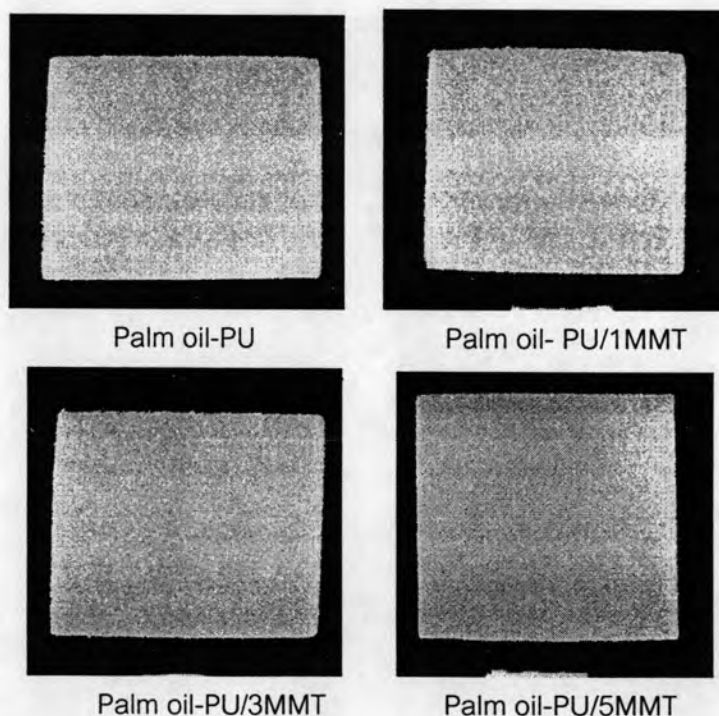
นอกจากนี้ ความสูงของโฟมที่เตรียมจากการใช้ tri-OMMT มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ MMT และจากการศึกษาด้วยเทคนิค XRD พบว่า การดัดแปร MMT ด้วยไตรเอทานอโนเอมีนไม่สามารถทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นของ MMT เพิ่มขึ้น แต่กลับทำให้ระยะห่างลดลงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อีกทั้งโฟมที่เตรียมได้มีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้น งานวิจัยในลำดับต่อไปจึงศึกษาเฉพาะสมบัติของโฟมนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับสารประกอบพอลิออลทางการค้า และใช้ MMT เป็นสารเสริมแรงเท่านั้น

4.4 การตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติของโคมพอลิยูรีเทน

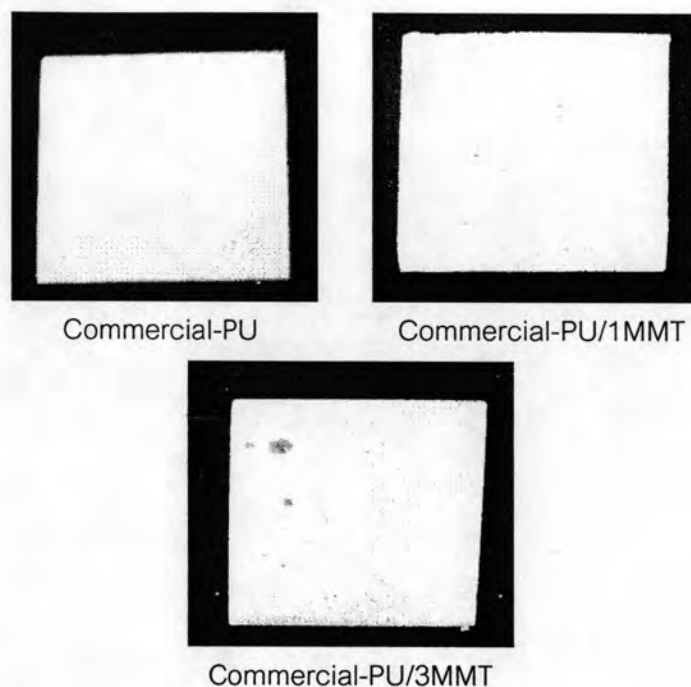
4.4.1 สีและลักษณะของโคม

รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะของโคมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิเอทิลีนไดออกไซด์ที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันปาล์มและใส่ MMT ในปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% พบว่า สีของโคมที่ได้ไม่แตกต่างกัน เนื่องจาก MMT ไม่มีผลต่อปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตและพอลิเอทิลีนไดออกไซด์

รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะของโคมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบทางการค้าและใส่ MMT ในปริมาณ 0, 1 และ 3% พบว่าสีของโคมที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่มีสีอ่อนกว่าโคมที่เตรียมจากสารประกอบพอลิเอทิลีนไดออกไซด์จากน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบพอลิเอทิลีนไดออกไซด์ทางการค้ามีความว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่า จึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารไอโซไซยาเนตได้มากกว่า ดังนั้นปริมาณหมู่ไอโซไซยาเนตจึงมีน้อยกว่า และหมู่ไอโซไซยาเนตสามารถดูดกลืนสีทุกสียกเว้นสีน้ำตาล [24] ซึ่งเมื่อปริมาณหมู่ไอโซไซยาเนตลดลง โคมที่ได้จึงมีสีอ่อนลง



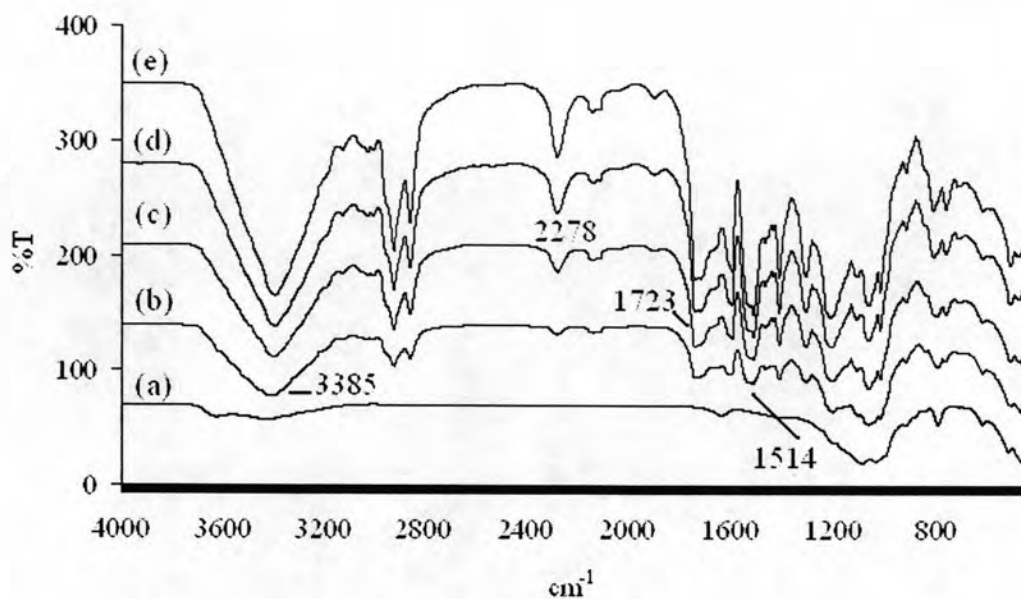
รูปที่ 4.12 โคมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิเอทิลีนไดออกไซด์ที่ได้จากน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4.13 โฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า

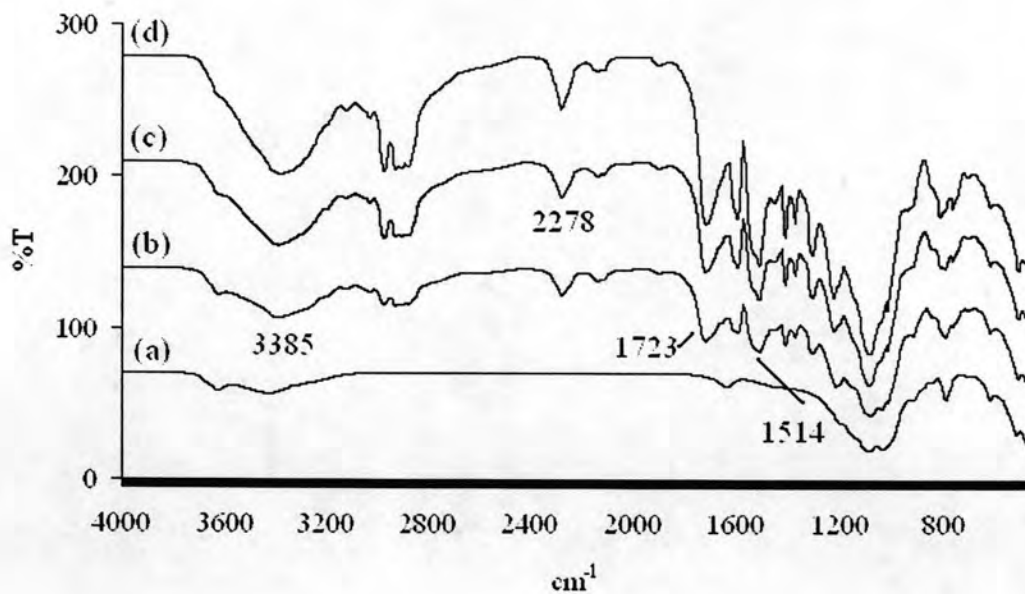
4.4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโฟมด้วยเทคนิค FTIR

รูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดง FTIR สเปกตรัมของโฟมพอลิยูรีเทนและโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า และสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองรูปแสดงพีคที่ตำแหน่ง 3385 cm^{-1} และ 1514 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหมู่ -NH ในพันธะยูรีเทน และพีคที่ตำแหน่ง 1723 cm^{-1} ของหมู่คาร์บอนิล (-C=O) ที่อยู่ในเอสเทอร์และยูรีเทน นอกจากนี้ ยังพบพีคของหมู่ไอโซไซยาเนต (-NCO) ที่ตำแหน่ง 2278 cm^{-1} แสดงว่ายังคงมีหมู่ไอโซไซยาเนตเหลืออยู่ และยังพบว่าเมื่อใส่ MMT มากขึ้น ความเข้มของพีคที่ตำแหน่ง 2278 cm^{-1} เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจาก เมื่อปริมาณ MMT สูงขึ้นของผลสมของปฏิกิริยาจะมีความหนืดมากขึ้น ทำให้หมู่ไอโซไซยาเนต เข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบพอลิออลได้ยาก เป็นผลให้โฟมพอลิยูรีเทนมีหมู่ไอโซไซยาเนตเหลืออยู่มากกว่า



รูปที่ 4.14 FTIR สเปกตรัมของโพลิเมอร์ยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบ
พอลิโออลที่ได้จากการตัดแปรรังจากน้ำมันปาล์ม

- (a) MMT (b) Palm oil-PU (c) Palm oil-PU/1MMT
(d) Palm oil-PU/3MMT (e) Palm oil-PU/5MMT

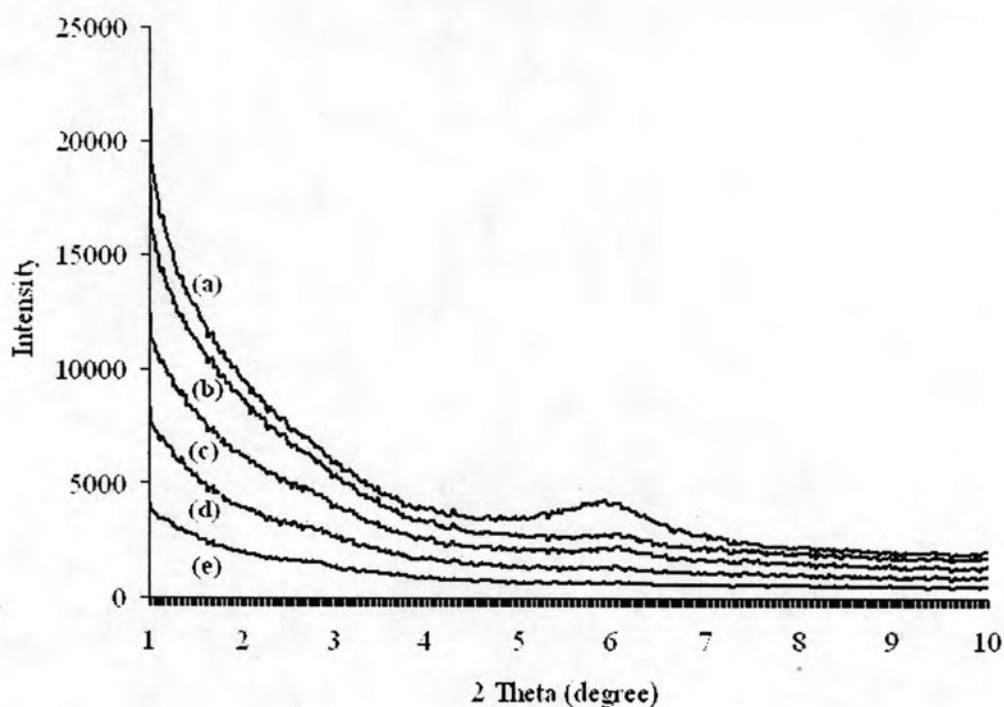


รูปที่ 4.15 FTIR สเปกตรัมของโพลิเมอร์ยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิโออลทางการค้า

- (a) MMT (b) commercial-PU
(c) commercial-PU/1MMT (d) commercial-PU/3MMT

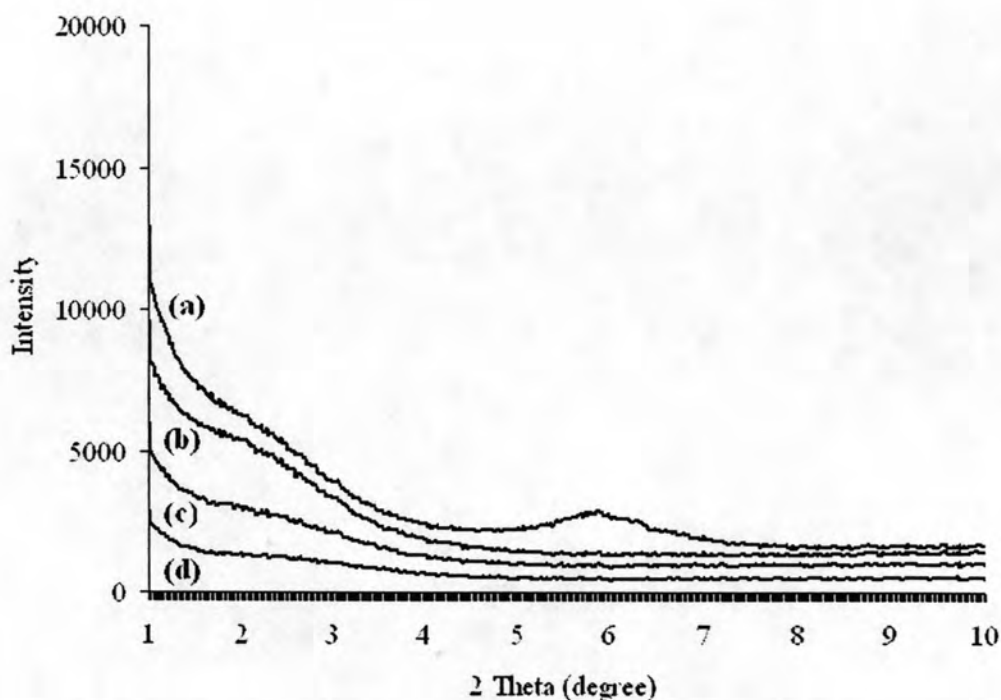
4.4.3 การตรวจสอบความเป็นวัสดุนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD

รูปที่ 4.16 และ 4.17 แสดง XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของโพลิเมอร์ที่เตรียมจากสารประกอบพอลิเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม ที่ใส่ MMT ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และสารประกอบพอลิเอสเตอร์จากการค้า ที่ใส่ MMT ปริมาณ 0, 1 และ 3% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของโพลิเมอร์ที่เตรียมจากสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันปาล์ม

- (a) MMT
- (b) Palm oil- PU/5MMT
- (c) Palm oil-PU/3MMT
- (d) Palm oil-PU/1MMT
- (e) Palm oil-PU

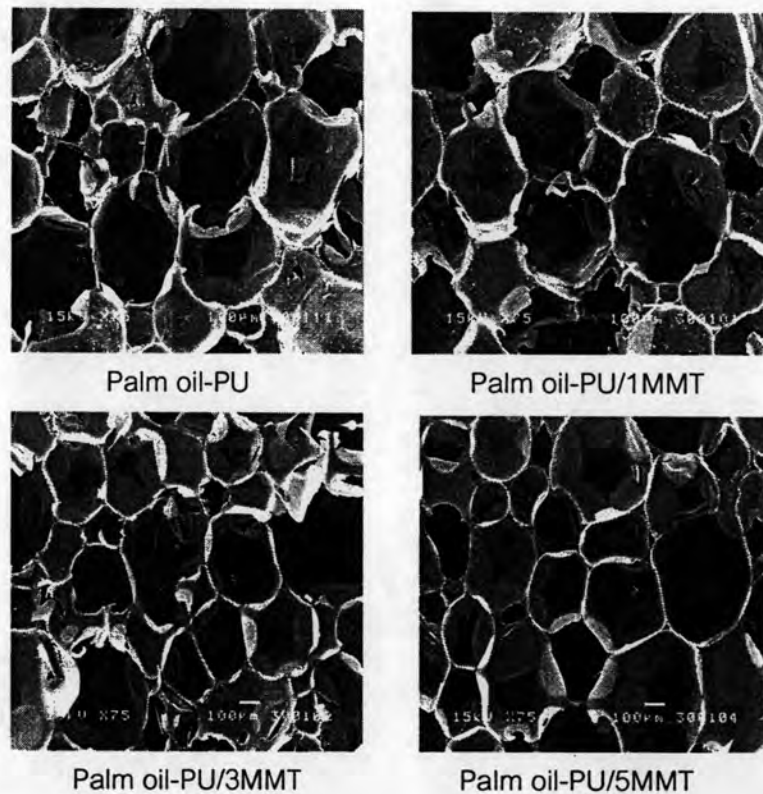


รูปที่ 4.17 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของโพลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบ
พอลิออลทางการค้า ที่ใส่ MMT ปริมาณ 0, 1 และ 3% โดยน้ำหนัก
(a) MMT
(b) Commercial-PU/3MMT
(c) Commercial-PU/1MMT
(d) Commercial-PU

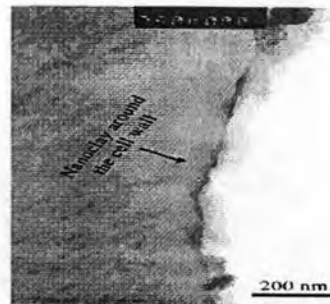
จากรูปแสดงให้เห็นว่า ไม่ว่าจะเตรียมโพลิยูรีเทนจากสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม หรือสารประกอบพอลิออลทางการค้า พบว่า ภายหลังจากใส่ MMT เข้าไปในโพลิยูรีเทน ไม่ปรากฏพีกของ MMT ให้สามารถตรวจสอบได้ ซึ่งแสดงว่าชั้นของซิลิเกตใน MMT ได้แยกออกจากกันจนไม่มีโครงสร้างผลึก และกระจายตัวได้ดีอยู่ในเมทริกซ์ของโพลิยูรีเทน จึงอาจกล่าวได้ว่าโพลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้จากสารประกอบพอลิออลทั้งสองชนิดมีโครงสร้างแบบ "exfoliate"

4.4.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิค SEM

รูปที่ 4.18 แสดงสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ตัดแปรจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ในทิศทางตั้งฉากกับการฟุ้งตัวของโฟม ที่กำลังขยาย 75 เท่า จากรูปแสดงให้เห็นเซลล์ของโฟมที่มีลักษณะเป็นเซลล์ปิด (closed cell) จึงอาจกล่าวได้ว่า โฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้เป็นโฟมชนิดแข็ง (rigid foam) และเมื่อใส่ MMT ปริมาณมากขึ้น มีผลทำให้เซลล์มีขนาดเล็กลง โดย MMT ได้กระจายตัวอยู่ตามผนังเซลล์ (ดังภาพถ่ายจากเทคนิค TEM ในรูปที่ 4.19) และช่วยพยุงไม่ให้ผนังเซลล์ของโฟมพังลง ทำให้ปริมาณเซลล์เพิ่มขึ้นและมีขนาดเล็กลง [19]

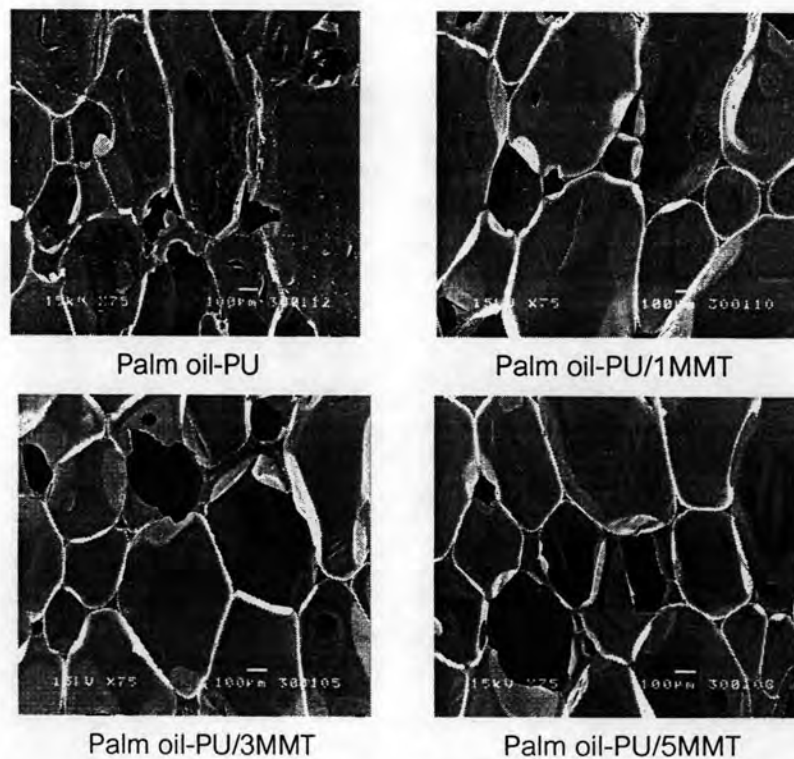


รูปที่ 4.18 สัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ตัดแปรจากน้ำมันปาล์มในทิศทางตั้งฉากกับแนวการฟุ้งตัวของโฟม



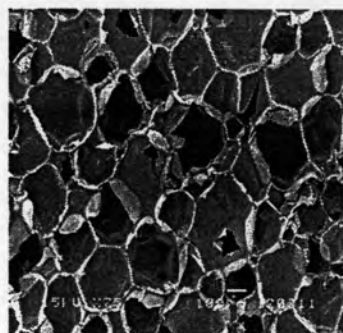
รูปที่ 4.19 แสดงมอริฟอลโลยีในดีที่กระจายอยู่ตามผนังเซลล์ของโพลิเมอร์ [19]

รูปที่ 4.20 แสดงสัณฐานวิทยาของโพลิเมอร์พอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ในทิศทางขนานกับการฟุ้งตัวของโพลิเมอร์ที่กำลังขยาย 75 เท่า จากรูปแสดงให้เห็นเซลล์มีลักษณะยาวหรือเป็นวงรีเนื่องจากขอบของแม่พิมพ์กระดาษบังคับให้โพลิเมอร์ขึ้นเนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในแนวตั้งมากกว่าแนวนอน

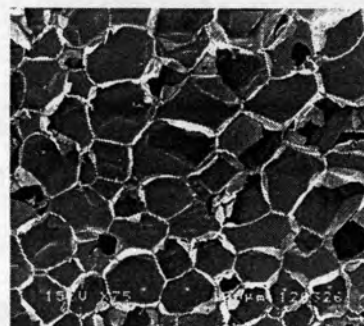


รูปที่ 4.20 สัณฐานวิทยาของโพลิเมอร์พอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์มในทิศทางขนานกับแนวการฟุ้งตัวของโพลิเมอร์

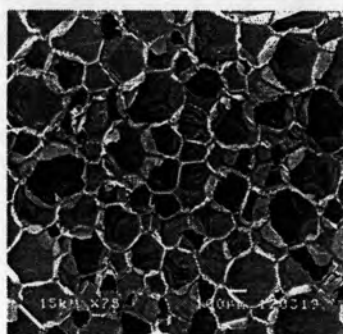
รูปที่ 4.21 แสดงสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า ซึ่งตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ในทิศทางตั้งฉากกับการฟูตัวของโฟม ที่กำลังขยาย 75 เท่า จากรูปแสดงให้เห็นเซลล์ของโฟมที่มีลักษณะเป็นเซลล์ปิด และเมื่อใส่ MMT ในปริมาณมากขึ้น มีผลทำให้เซลล์มีขนาดเล็กลง



Commercial-PU



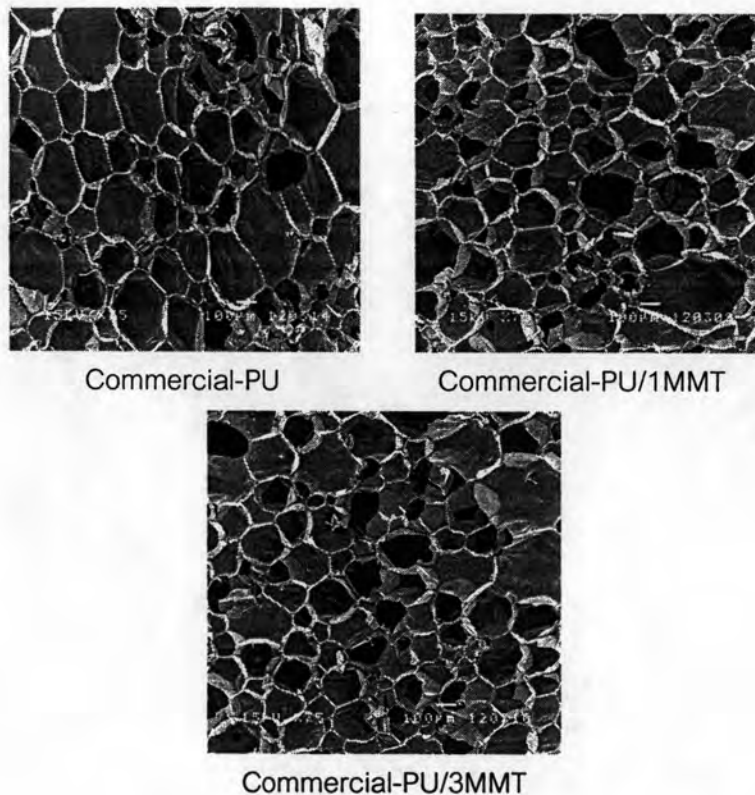
Commercial-PU/1MMT



Commercial-PU/3MMT

รูปที่ 4.21 สัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า ในทิศทางตั้งฉากกับแนวการฟูตัวของโฟม

รูปที่ 4.22 แสดงสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า ซึ่งตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM ในทิศทางขนานกับการฟูตัวของโฟม ที่กำลังขยาย 75 เท่า จากรูปแสดงให้เห็นว่าเซลล์มีลักษณะค่อนข้างกลมและมีขนาดสม่ำเสมอ

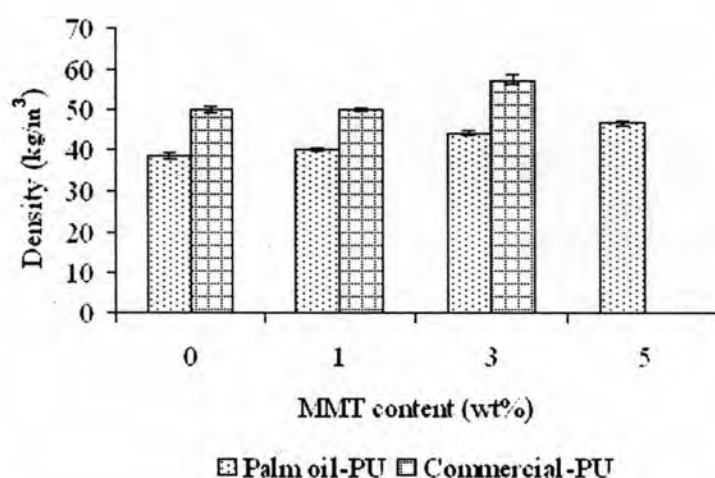


รูปที่ 4.22 สัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบ
พอลิออลทางการค้าในทิศทางขนานกับแนวการฟุ้งตัวของโฟม

เมื่อเปรียบเทียบขนาดของเซลล์ทั้งทิศทางตั้งฉาก และขนานกับแนวการฟุ้งตัวของโฟม พบว่า โฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้ามีขนาดเซลล์เล็กและ สม่ำเสมอมากกว่าของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากโฟมที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้าใช้เวลาในการขยายตัว เต็มที่น้อยมาก (30 วินาที) ดังนั้น ทิศทางในการขยายตัวจึงเท่ากันทุกทิศทาง ในขณะที่โฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์มใช้เวลาในการขยายตัว เต็มที่นานกว่ามาก (120 วินาที)

4.4.5 ความหนาแน่น

รูปที่ 4.23 แสดงค่าความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทน โดยความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ตัดแปรจากน้ำมันปาล์มมีค่าอยู่ในช่วง 38.52-46.61 กก./ลบ.ม. และความหนาแน่นของโฟมมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ MMT ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM เพราะถ้าเซลล์มีขนาดเล็กลง ความหนาแน่นยิ่งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้ามีค่าอยู่ในช่วง 49.87-57.19 กก./ลบ.ม. ซึ่งมีค่ามากกว่าของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM เช่นกัน เพราะโฟมที่เตรียมจากพอลิออลทางการค้ามีขนาดเซลล์เล็กกว่า โดยมีความหนาแน่นมากที่สุดเมื่อใส่ MMT 3% เพราะมีขนาดเซลล์เล็กที่สุดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

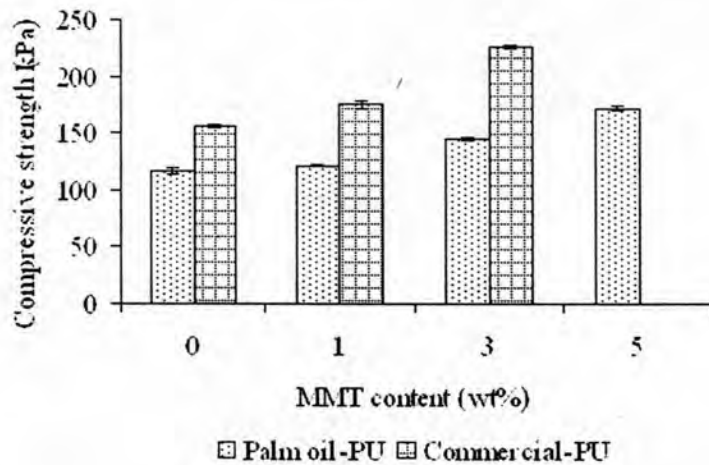


รูปที่ 4.23 ความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ตัดแปรจากรัดแปรน้ำมันปาล์ม และสารประกอบพอลิออลทางการค้า

4.4.6 ความต้านแรงกด

รูปที่ 4.24 แสดงค่าความต้านแรงกดของโฟมพอลิยูรีเทน ซึ่งความต้านแรงกดของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์มมีค่าอยู่ในช่วง 116.67–171.62 กิโลปาสคาล และความต้านแรงกดมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ MMT ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้

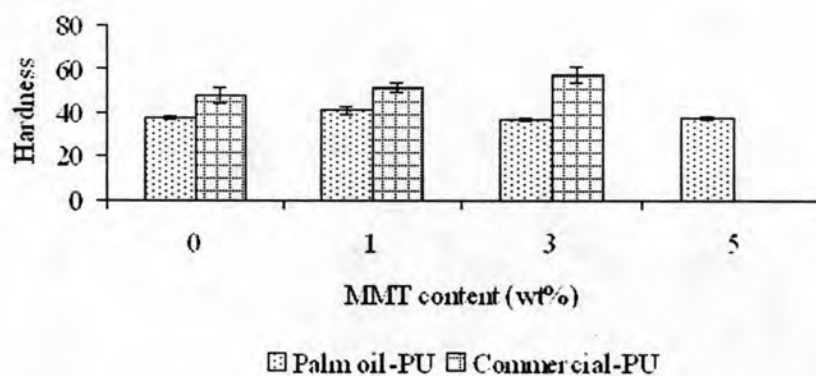
สอดคล้องกับผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยา และความหนาแน่น เพราะถ้าเซลล์มีขนาดเล็ก ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และความต้านแรงกดเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ความต้านแรงกดของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้ามีค่าอยู่ในช่วง 155.68–226.76 กิโลปาสคาล ซึ่งมีค่ามากกว่าของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันปาล์ม เนื่องจากเซลล์มีขนาดเล็กกว่าและมีความหนาแน่นมากกว่า จึงทำให้มีความต้านแรงกดมากกว่า เพราะมีปริมาณเนื้อโฟมต่อปริมาตรมากกว่า นอกจากนี้ ยังพบว่า โฟมที่ใส่ MMT 3% มีความต้านแรงกดมากที่สุด เพราะมีขนาดเซลล์เล็กที่สุด และมีความหนาแน่นมากที่สุด ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.24 ความต้านแรงกดของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันปาล์ม และสารประกอบพอลิออลทางการค้า

4.4.7 ความแข็ง (Hardness)

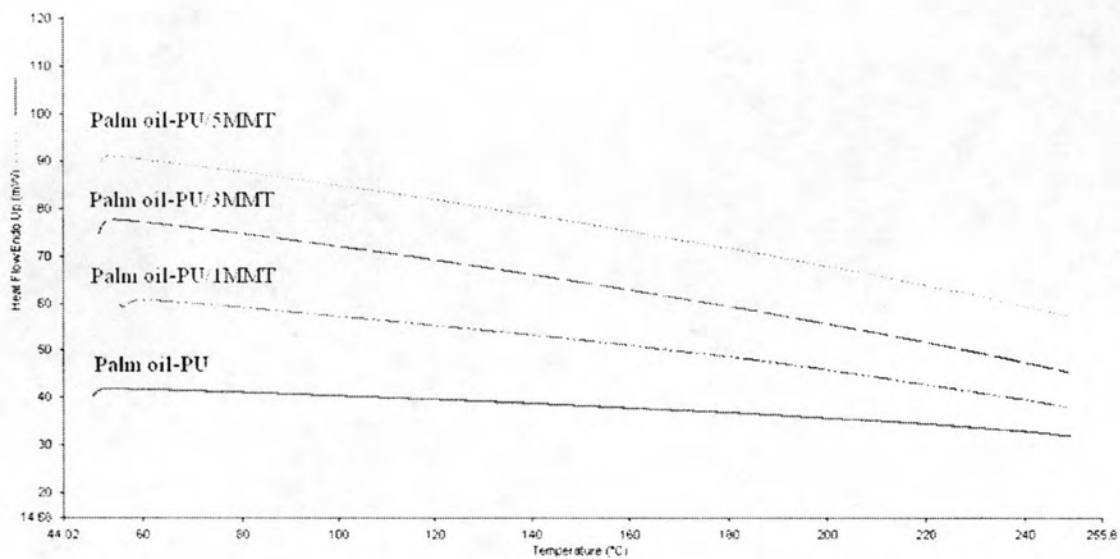
ผลการตรวจสอบสมบัติด้านความแข็งของโฟมพอลิยูรีเทนด้วยเครื่อง Durometer แบบ Shore C แสดงไว้ในรูปที่ 4.25 พบว่า โฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ได้จากการตัดแปรน้ำมันปาล์มมีความแข็งอยู่ในช่วง 37.5-41 และโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้ามีความแข็งอยู่ในช่วง 48-57 ซึ่งมีความแข็งมากกว่าโฟมที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม อย่างไรก็ตาม การเติม MMT เข้าไปมีผลทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น



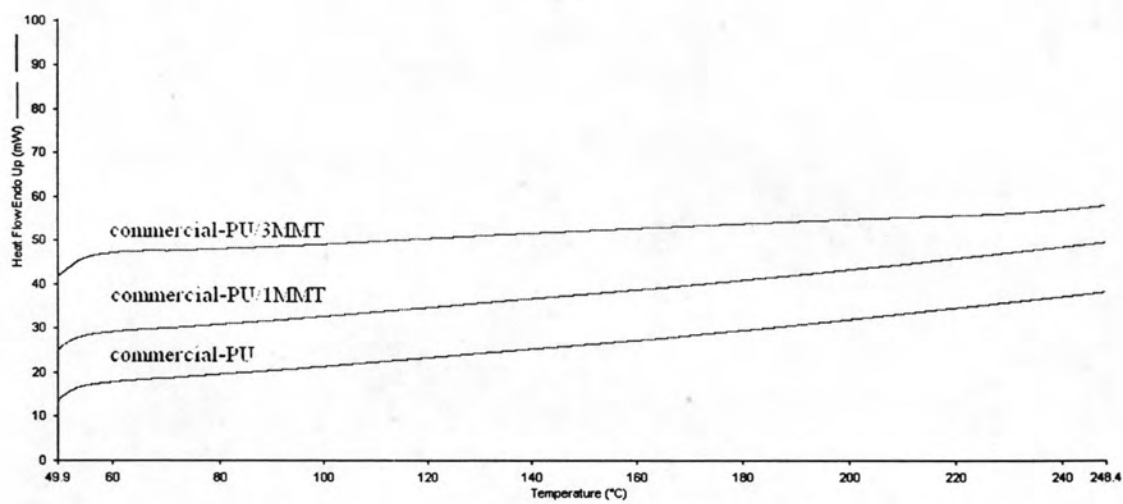
รูปที่ 4.25 ความแข็งของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ได้จากการตัดแปรน้ำมันปาล์ม และสารประกอบพอลิออลทางการค้า

4.4.8 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

รูปที่ 4.26 แสดง DSC เทอร์โมแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม [รูปที่ 4,26(a)] และของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า [รูปที่ 4,26(b)] ผลจากการตรวจสอบ พบว่า โฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้ทุกสูตรแสดงเทอร์โมแกรมในลักษณะเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิของการทดสอบเพิ่มขึ้นโฟมพอลิยูรีเทนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งเป็นโฟมประเภทเทอร์โมเซต ดังนั้น สายโซ่โมเลกุลภายในโฟมมีการเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น จึงไม่แสดงอุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน (glass transition temperature, T_g) ใน DSC เทอร์โมแกรม



(a)

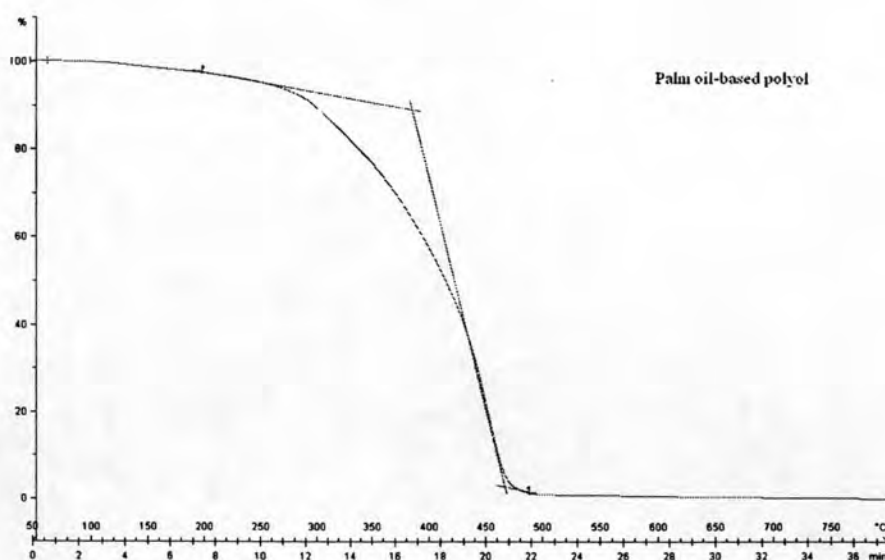


(b)

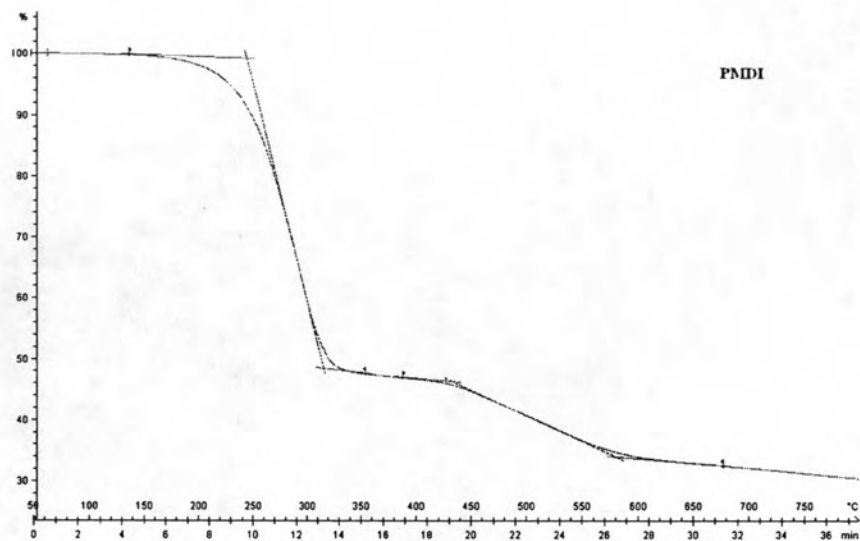
รูปที่ 4.26 DSC เทอร์โมแกรม ของโพลีเอทิลีนที่เตรียมจาก
 (a) สารประกอบพอลิเอทิลีนที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันปาล์ม
 (b) สารประกอบพอลิเอทิลีนทางการค้า

4.4.9 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA

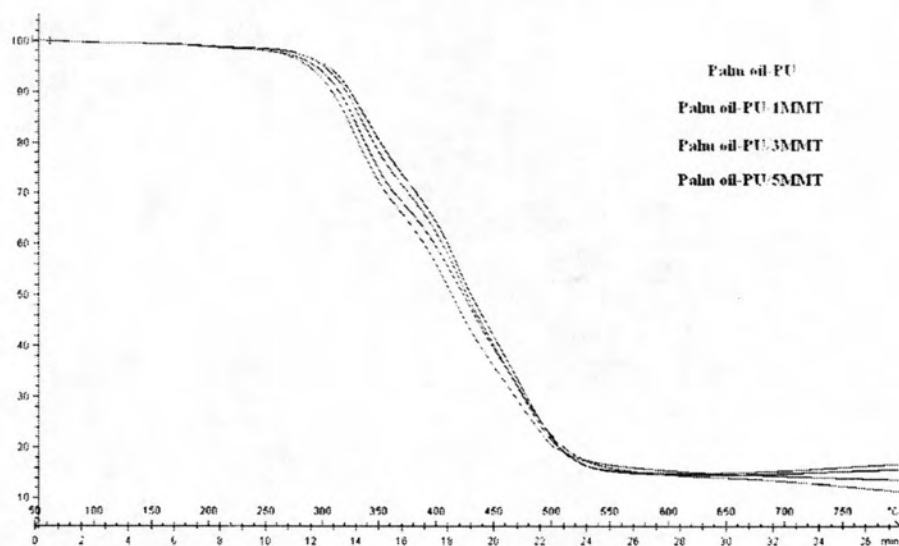
รูปที่ 4.27-4.29 แสดง TGA เทอร์โมแกรมที่ได้จากการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม, พอลิเมอริก MDI (PMDI) ทางการค้า และโพลีเอสเตอร์ที่เตรียมจากสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์มที่ใส่ MMT ปริมาณต่างๆ กัน ตามลำดับ ด้วยเทคนิค TGA ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน และตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวและร้อยละของน้ำหนักที่หายไป (% weight loss) ของสารต่างๆ ที่ได้จากรูปที่ 4.27-4.29 พบว่าสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์มมีการสลายตัวทางความร้อนหนึ่งขั้น โดยมีน้ำหนักที่หายไปประมาณ 100% มีอุณหภูมิการสลายตัว 456 องศาเซลเซียส ส่วนโพลีเอสเตอร์ที่เตรียมจากสารประกอบพอลิเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มที่ไม่ใส่ MMT และใส่ MMT ปริมาณต่างๆ มีการสลายตัวทางความร้อน 2 ขั้น คือขั้นแรกมีน้ำหนักที่หายไปประมาณ 30-32% มีอุณหภูมิการสลายตัว 332-348 องศาเซลเซียส ขั้นที่สองมีน้ำหนักที่หายไปประมาณ 52-56% มีอุณหภูมิการสลายตัว 360-560 องศาเซลเซียส ซึ่งโพลีเอสเตอร์ที่ใส่มอนต์มอริลโลไนต์จะมีอุณหภูมิการสลายตัวในขั้นแรกเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์เป็นสารอนินทรีย์ ทนความร้อนได้ดี มีการกระจายตัวที่ดี จึงขัดขวางการถ่ายเทความร้อน [17] ทำให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวได้ช้าลง



รูปที่ 4.27 TGA เทอร์โมแกรมของสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4.28 TGA เทอร์โมแกรมของ PMDI



รูปที่ 4.29 TGA เทอร์โมแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบ
พอลิออลที่ได้จากการตัดแปรรูปน้ำมันปาล์ม

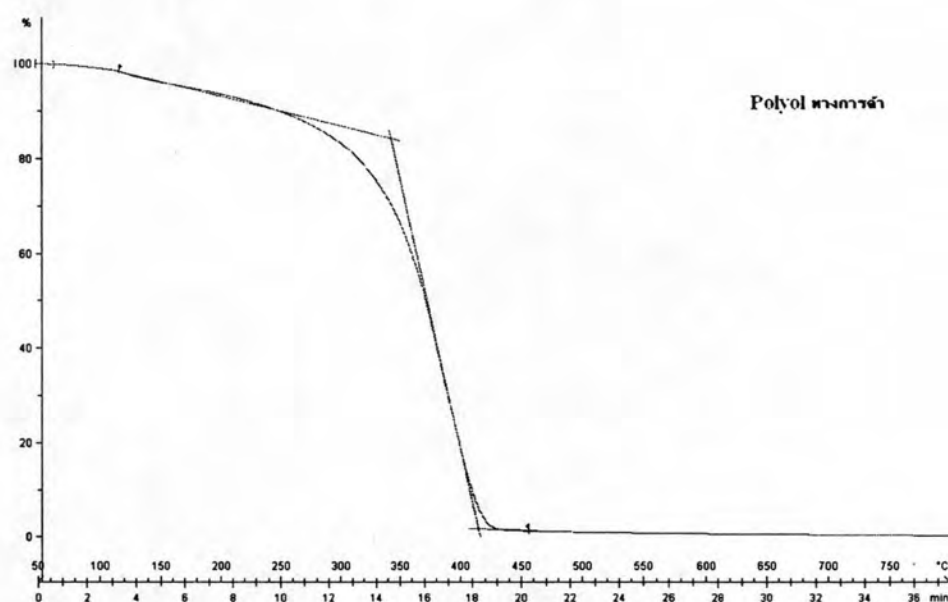
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัวและร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของพอลิออลที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันปาล์ม, PMDI และโพลีเอทิลีนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันปาล์ม

ชนิดของสาร	ขั้นการสลายตัว	T_d ($^{\circ}\text{C}$)	% Weight loss
Palm oil-based polyol	1	456	100
PMDI	1	312	44
	2	340-620	16
Palm oil-PU	1	332	30
	2	360-580	56
Palm oil-PU/1MMT	1	348	32
	2	380-570	52
Palm oil-PU/3MMT	1	348	30
	2	365-570	55
Palm oil-PU/5MMT	1	340	30
	2	380-560	56

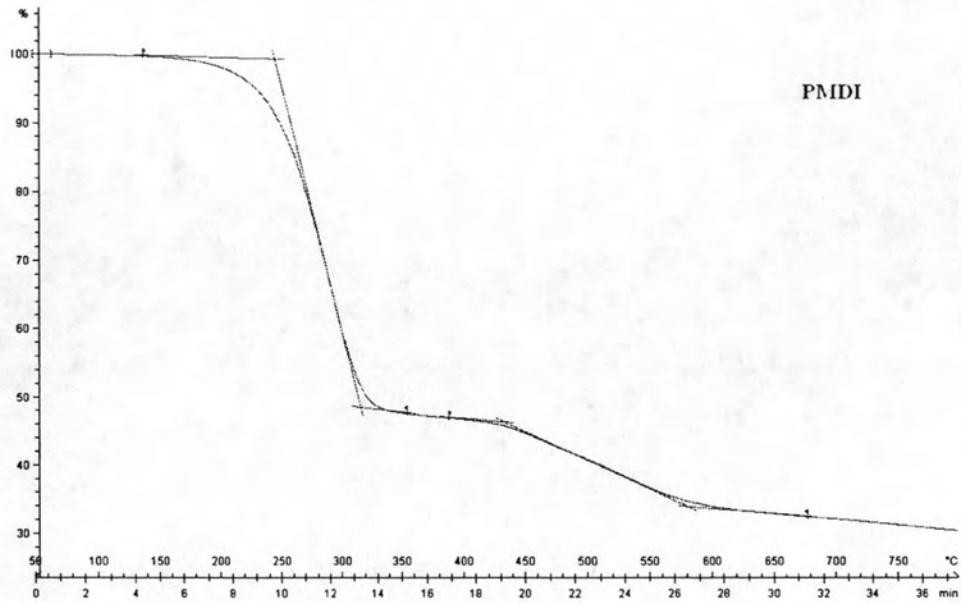
จากรูปที่ 4.30-4.32 แสดง TGA เทอร์โมแกรมที่ได้จากการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของสารประกอบพอลิออลทางการค้า, พอลิเมอร์ MDI (PMDI) ทางการค้า และโพลีเอทิลีนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้าที่ใส่ MMT ปริมาณต่างๆ กัน ตามลำดับ ด้วยเทคนิค TGA ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน และตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิการสลายตัว และร้อยละของน้ำหนักที่หายไป (% weight loss) ของสารต่างๆ ที่ได้จากรูปที่ 4.30-4.32 พบว่าโพลีเอทิลีนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้าที่ไม่ใส่ MMT มีการสลายตัว 2 ขั้น คือ ขั้นแรกมีน้ำหนักที่หายไปประมาณ 76% และมีอุณหภูมิการสลายตัว 340 องศาเซลเซียส ขั้นที่สองมีน้ำหนักที่หายไปประมาณ 14% และมีอุณหภูมิการสลายตัว 450-560 องศาเซลเซียส ส่วนโพลีเอทิลีนที่ใส่ MMT ปริมาณต่างๆ มีการสลายตัวทางความร้อน 2 ขั้น คือ ขั้นแรกมีน้ำหนักที่หายไปประมาณ 68-74% มีอุณหภูมิการสลายตัว 340-350 องศาเซลเซียส ขั้นที่สองมีน้ำหนักที่หายไปประมาณ 10-14% มีอุณหภูมิการสลายตัว 449-570 องศาเซลเซียส ซึ่งการสลายตัวในขั้นแรกนั้นเป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่อยู่รอบๆ มอนต์มอริลโลไนต์ ส่วนการสลายตัวในขั้นที่สองนั้นเกิดที่

อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ [16] ทำให้เมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นพอลิเมอร์จะเกิดการสลายตัว ซึ่งมอนต์มอริลโลไนต์เป็นสารอนินทรีย์ทนความร้อนได้ดี มีการกระจายตัวที่ดีนั้น จะไปขัดขวางการถ่ายเทความร้อน [17] ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวได้ช้าลง

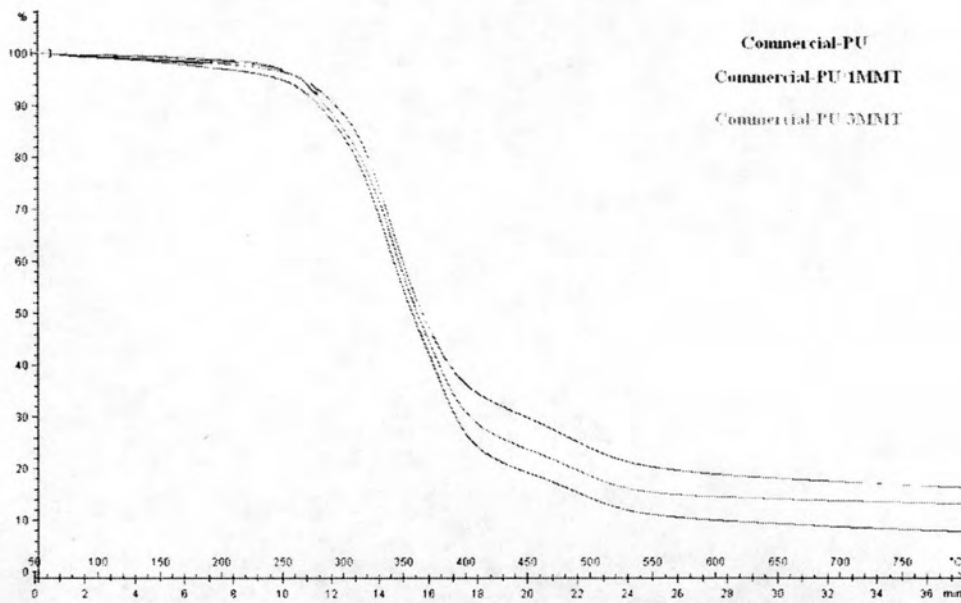
เมื่อเปรียบเทียบโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม และสารประกอบพอลิออลทางการค้า พบว่าโฟมที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์มมีอุณหภูมิการสลายตัวเทียบเท่ากับโฟมที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า นอกจากนี้ พบว่าโฟมที่เตรียมได้มีอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (5-8 องศาเซลเซียส) เมื่อได้ใส่มอนต์มอริลโลไนต์เข้าไป



รูปที่ 4.30 TGA เทอร์โมแกรมของสารประกอบพอลิออลทางการค้า



รูปที่ 4.31 TGA เทอร์โมแกรมของ PMDI



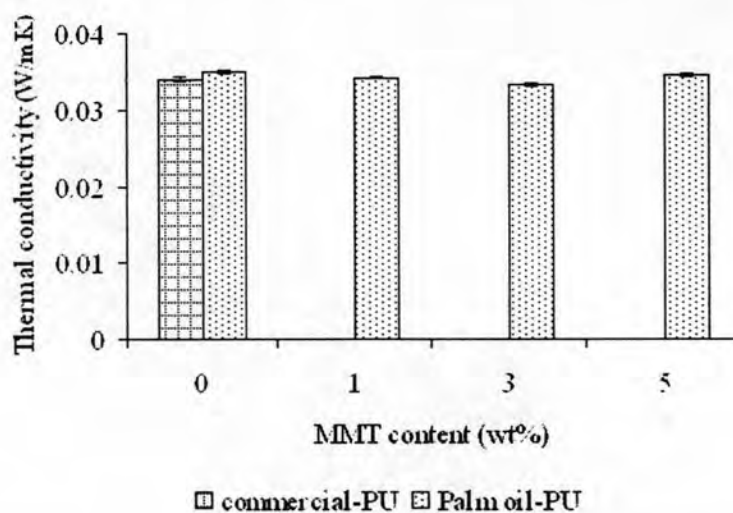
รูปที่ 4.32 TGA เทอร์โมแกรมของโพลียูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการสลายตัวและร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของพอลิออลทางการค้า,
PMDI และโพลีเมอร์ที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า

ชนิดของสาร	ขั้นการสลายตัว	T_d (°C)	% Weight loss
Commercial polyol	1	370	100
PMDI	1	290	52
	2	410-630	16
Commercial PU	1	340	76
	2	450-560	14
Commercial PU/1MMT	1	345	68
	2	451-570	12
Commercial PU/3MMT	1	345	72
	2	449-560	14

4.4.10 การตรวจสอบสมบัติการนำความร้อน (Thermal conductivity)

รูปที่ 4.33 แสดงสมบัติการนำความร้อนของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์มที่ใส่ MMT ในปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% เปรียบเทียบกับโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลทางการค้า



รูปที่ 4.33 การนำความร้อนของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับโฟมพอลิยูรีเทนทางการค้า

จากรูปแสดงให้เห็นว่า ค่าการนำความร้อนของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์มที่ไม่ได้ใส่ MMT มีค่ามากกว่าโฟมพอลิยูรีเทนทางการค้า เนื่องจากโฟมทางการค้ามีแก๊ส HCFC 141b ซึ่งมีค่าการนำความร้อน $8.9/10^{\circ}\text{C}$ อยู่ในเซลล์โฟม ส่วนโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากสารประกอบพอลิออลที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันปาล์มนั้นมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีค่าการนำความร้อน $24.9/10^{\circ}\text{C}$ [20] ภายในเซลล์โฟม ซึ่งมีผลทำให้โฟมทางการค้ามีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า แต่เมื่อใส่ MMT เข้าไป พบว่า โฟมทุกสูตรมีการนำความร้อนลดลงเล็กน้อย และมีค่าใกล้เคียงกัน โดยโฟมที่ใส่ MMT 3 % โดยน้ำหนัก มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด และยังมีค่าต่ำกว่าโฟมพอลิยูรีเทนทางการค้า กล่าวคือ มีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่า