

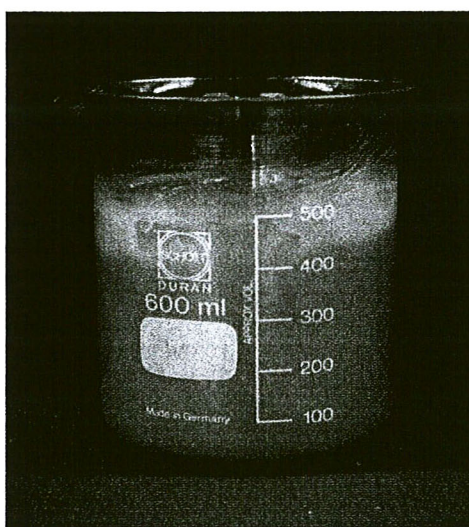
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม

4.1.1 ลักษณะของสารประกอบพอลิออล

เมื่อนำน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยากับเพนตะอิทริทอล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบพอลิออลที่มีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความหนืด สีน้ำตาลอ่อนดังแสดงในรูปที่ 4.1 และเมื่อนำสารประกอบพอลิออลที่ได้ไปวัดความหนืดและค่าไฮดรอกซิลพบว่ามีความเท่ากับ 355 พอยส์ และ 385 mg KOH/g ตามลำดับ ซึ่งค่าไฮดรอกซิลที่ได้ เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำโพรพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วค่าไฮดรอกซิลที่ใช้ในการทำโพรพอลิยูรีเทนชนิดแข็งจะมีค่าอยู่ประมาณ 350-650 mg KOH /g [20]

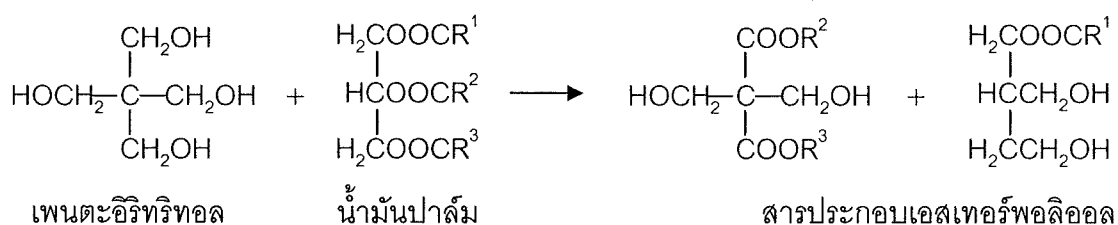


รูปที่ 4.1 ลักษณะของสารประกอบพอลิออล

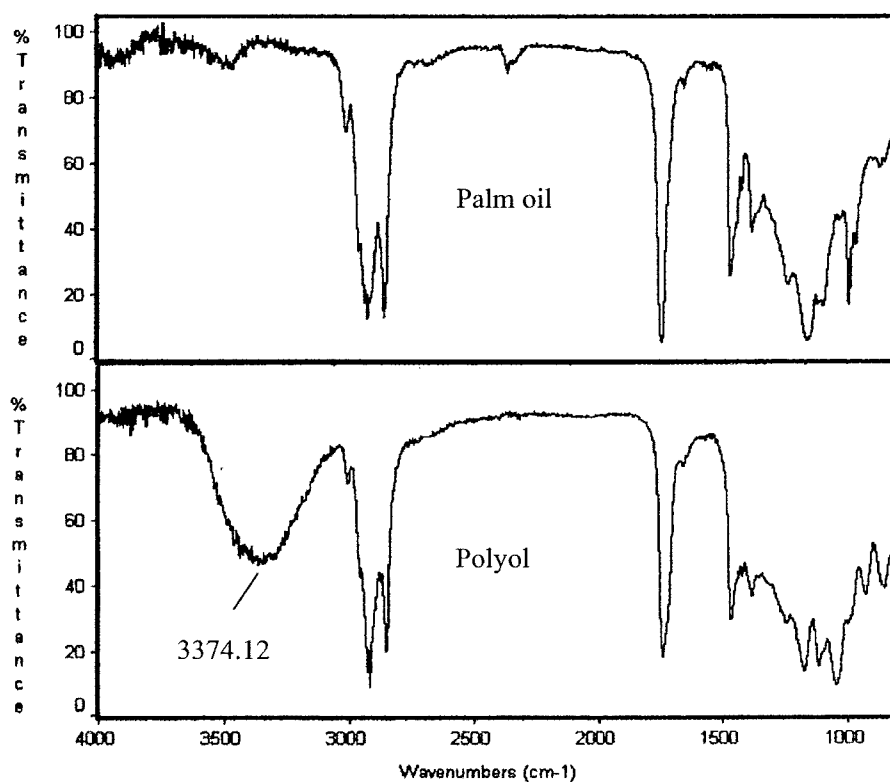
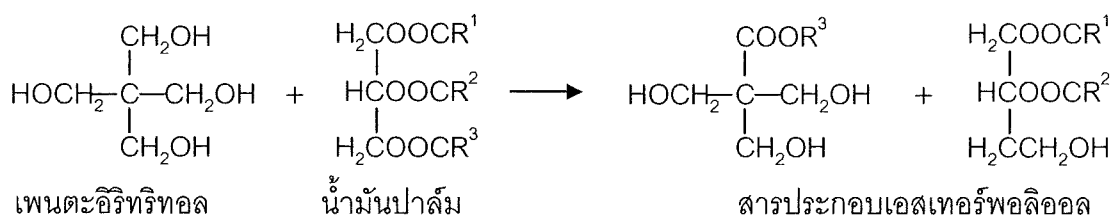
4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR

เมื่อนำสารประกอบพอลิออลที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มกับเพนตะอิทริทอลมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR และเปรียบเทียบ FTIR สเปกตรัมระหว่างน้ำมันปาล์มและสารประกอบพอลิออลที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่า FTIR สเปกตรัมของสารประกอบพอลิออลปรากฏพีกของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3374.12 cm^{-1} ซึ่งไม่ปรากฏใน FTIR สเปกตรัมของน้ำมันปาล์ม ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มและเพนตะอิทริทอลได้สารประกอบของเอสเตอร์พอลิออลเป็นผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าเป็นสารประกอบพอลิออล ทำโดยนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบการละลายในเอทานอล (สารตัวอย่าง 1 ส่วน ในเอทานอล 3 ส่วน) เนื่องจากปกติน้ำมันปาล์มไม่ละลายในเอทานอล แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถละลายได้ดี แสดงว่าน้ำมันปาล์มเข้าทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์กับเพนตะอริทริทอลได้สารประกอบเอสเทอร์พอลิออลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ดังนี้



หรือ



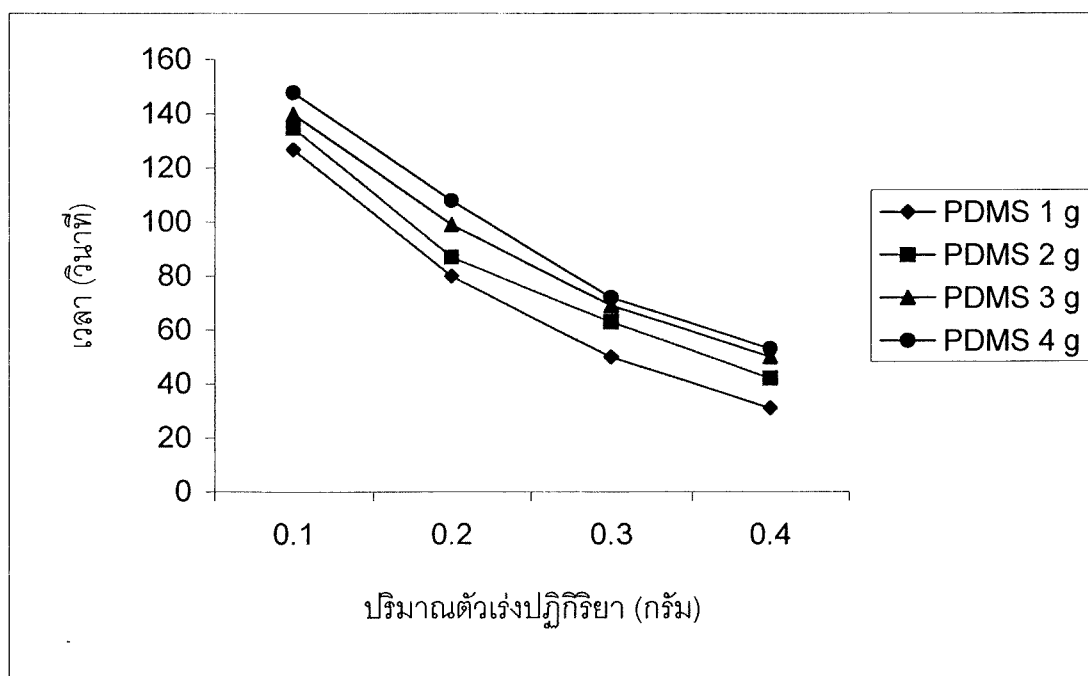
รูปที่ 4.2 FTIR สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มและสารประกอบพอลิออล

4.2 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน

4.2.1 เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมเริ่มฟูตัว (cream time)

4.2.1.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อเวลาที่โฟมเริ่มฟูตัว

การทดสอบหาเวลาที่โฟมเริ่มฟูตัวระหว่างการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ กัน พบว่า เวลาอยู่ในช่วงระหว่าง 32-148 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.3 นอกจากนี้ ยังพบว่า ที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากัน เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (เทอเชียรีเอมีน) เพิ่มขึ้น เวลาที่โฟมเริ่มฟูตัวลดลง เนื่องจากตัวเร่งจะเร่งทั้งปฏิกิริยาการเกิดเจลระหว่างพอลิออกับไอโซไซยานาต และปฏิกิริยาการฟู (ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตกับน้ำ) [21] ทำให้เวลาที่โฟมเริ่มฟูตัวลดลง

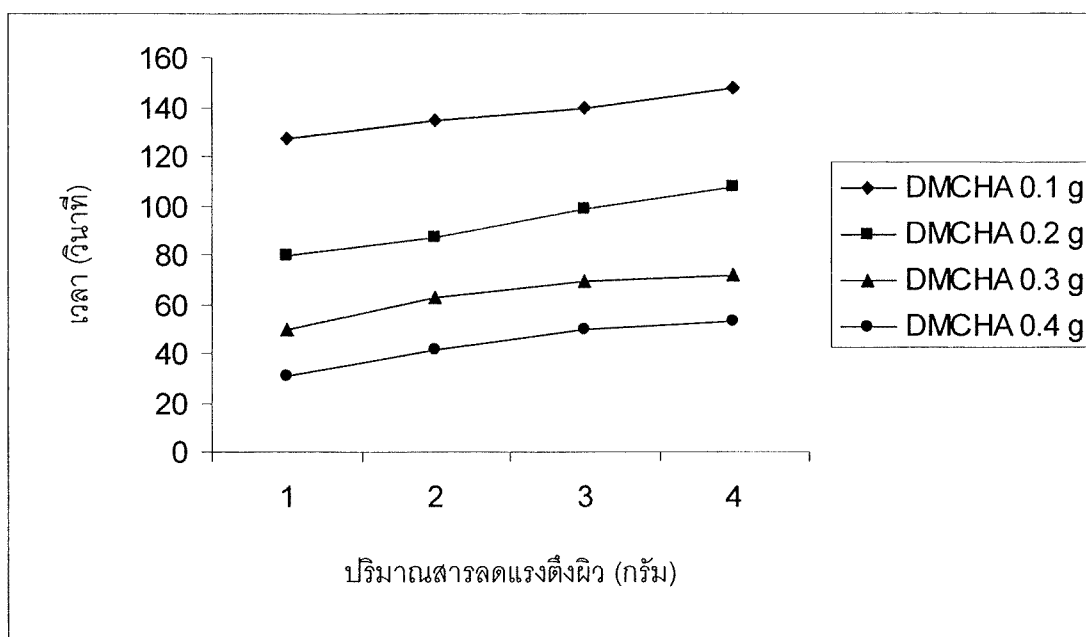


หมายเหตุ PDMS หมายถึง พอลิไดเมทิลซิลอกเซน

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมพอลิยูรีเทนเริ่มฟูตัว

4.2.1.2 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมเริ่มฟูตัว

รูปที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเวลาที่โฟมเริ่มฟูตัว ซึ่งพบว่าที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากัน เมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น เวลาที่โฟมขยายตัวเต็มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันลดลง ดังนั้น อัตราการขยายตัวเต็มที่ของโฟมจึงลดลง



หมายเหตุ DMCHA หมายถึง N,N-ไดเมทิลไซโคลเฮกซิลามีน

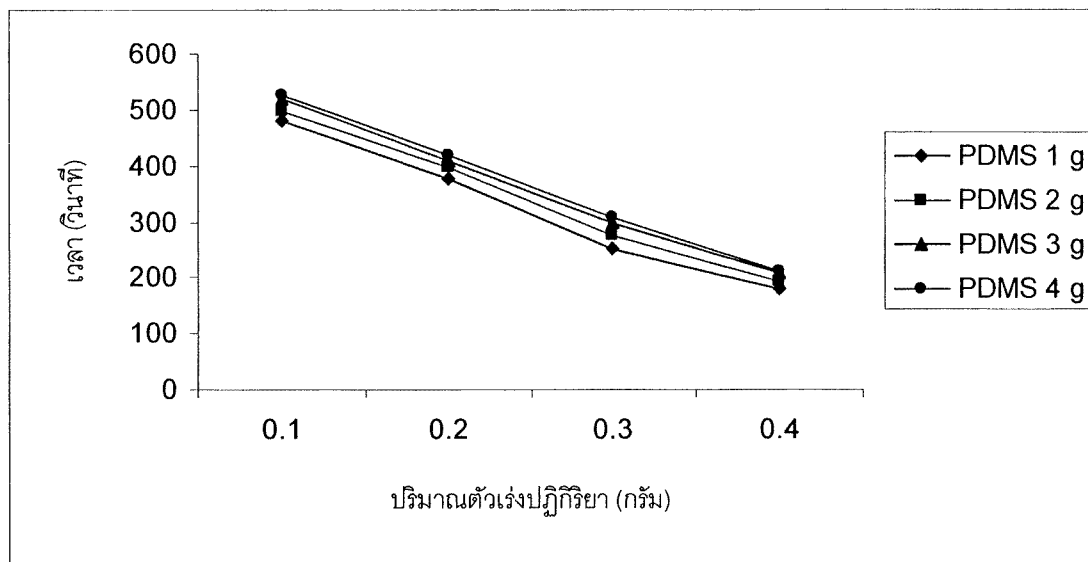
รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเวลาที่ทำให้โฟมพอลิยูรีเทนเริ่มฟูตัว

รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงให้เห็นว่าสูตรที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม สารลดแรงตึงผิว 1 กรัม โฟมเริ่มฟูตัวได้เร็วที่สุด โดยใช้เวลา 31 วินาทีและสูตรที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัม สารลดแรงตึงผิว 4 กรัม โฟมเริ่มฟูตัวช้าที่สุด โดยใช้เวลามากถึง 148 วินาที ซึ่งโดยทั่วไปในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน ชนิดแข็ง โฟมจะใช้เวลาเริ่มฟูตัวประมาณ 24 วินาที [10]

4.2.2 เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ (rise time)

4.2.2.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อเวลาที่ใช้โฟมขยายตัวเต็มที่

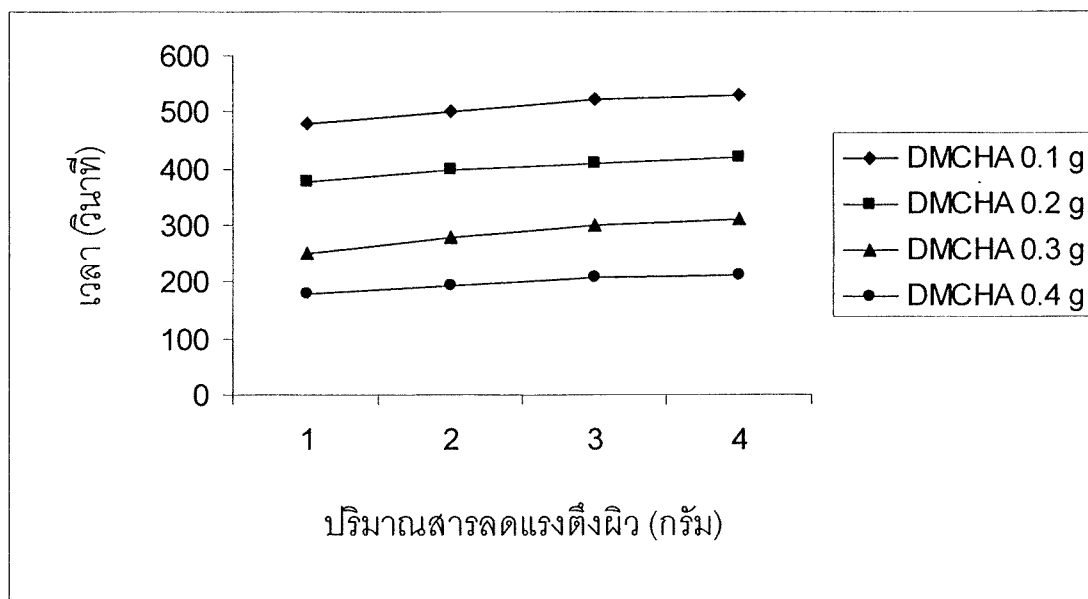
การทดสอบหาเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ระหว่างการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ กัน พบว่า เวลาอยู่ในระหว่าง 179-529 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งพบว่า ที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากัน เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ลดลง เป็นผลมาจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้อัตราเร็วที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาของโฟมพอลิยูรีเทน เพิ่มขึ้น โดยเร่งปฏิกิริยาทั้งขั้นการเกิดเจลและการฟู เป็นผลให้เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ลดลง



รูปที่ 4.5 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อเวลาที่ทำให้โพลียูรีเทนขยายตัวเต็มที่

4.2.2.2 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเวลาที่ใช้ในการทำให้โพลียูรีเทนขยายตัวเต็มที่

รูปที่ 4.6 แสดงผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเวลาที่ใช้ในการทำให้โพลียูรีเทนขยายตัวเต็มที่ ซึ่งจะเห็นว่า ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากัน เมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการทำให้โพลียูรีเทนพองตัวจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันลดลง อัตราการขยายตัวเต็มที่ของโพลียูรีเทนจึงลดลง

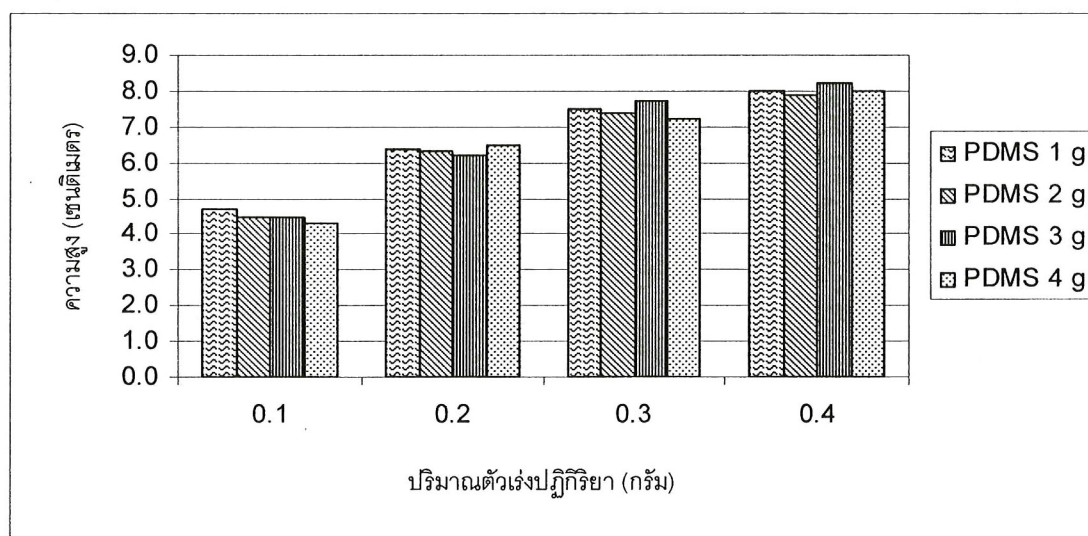


รูปที่ 4.6 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเวลาที่ทำให้โพลียูรีเทนขยายตัวเต็มที่

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงให้เห็นว่าสูตรที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม สารลดแรงตึงผิว 1 กรัม โฟมใช้เวลาในการขยายตัวเต็มที่น้อยที่สุด โดยใช้เวลา 179 วินาที และสูตรที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัม สารลดแรงตึงผิว 4 กรัม โฟมใช้เวลาในการขยายตัวเต็มที่มากที่สุด โดยใช้เวลา 529 วินาที ซึ่งโดยทั่วไป ในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ประมาณ 90 วินาที ซึ่งน้อยกว่ามาก ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มดัดแปร มีความไวต่อปฏิกิริยาน้อยกว่าพอลิเอสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้า [10]

4.2.3 ความสามารถในการฟูตัว

หลังจากที่โฟมขยายตัวเต็มที่แล้วทิ้งโฟมไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นจึงนำโฟมที่ได้ไปวัดความสูง ซึ่งความสูงที่ได้บ่งบอกถึงความสามารถในการฟูตัวของโฟมและสมมูลการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการเกิดเจลและการฟู โดยความสูงของโฟมที่ได้แสดงในรูป ที่ 4.7



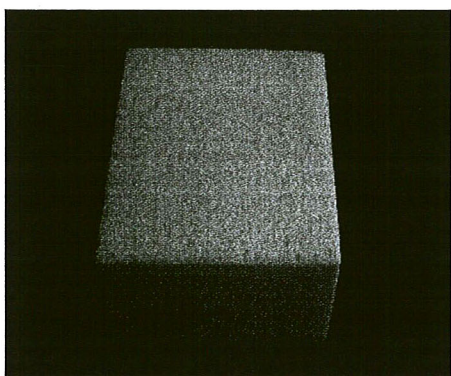
รูปที่ 4.7 ความสูงของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้

ความสูงของโฟมที่เตรียมได้อยู่ในช่วง 4.3-8.2 เซนติเมตร และเมื่อเปรียบเทียบความสูงของโฟมแต่ละสูตร พบว่า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โฟมมีความสูงเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ไม่เพียงทำหน้าที่เร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา แต่ยังรักษาสมดุลระหว่างการเกิดเจลและการฟูอีกด้วย [21] หรือสามารถกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า เป็นการรักษาความสมดุลระหว่างการเติบโตของพอลิยูรีเทนโฟมกับการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้โฟมที่กำลังโตสามารถกักขังแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ และพัฒนาให้เกิดความแข็งแรงของเซลล์จนสิ้นสุดปฏิกิริยาการเกิดโฟมและรักษาโครงสร้างของเซลล์ไม่ให้เกิดการยุบตัวหรือห่อตัว สำหรับผลของสารลดแรงตึงผิวต่อความสูงของโฟม ในกรณีที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากัน และปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น พบว่า ความสูงของโฟมที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง

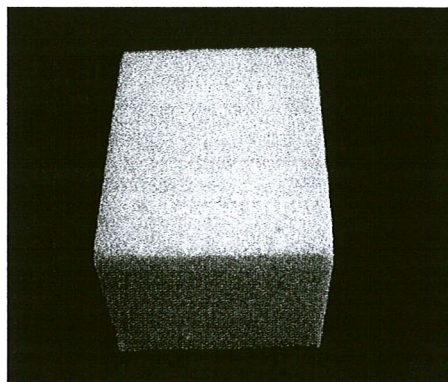
4.3 การตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติของโฟมพอลิยูรีเทน

4.3.1 สีและลักษณะของโฟม

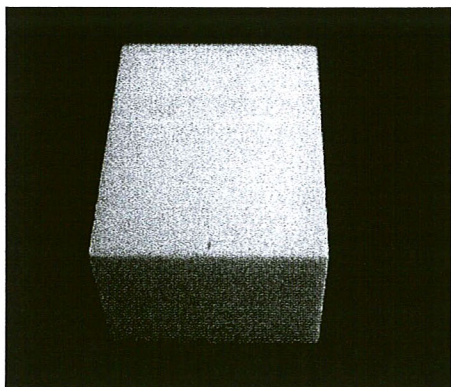
เมื่อนำโฟมที่ได้ไปตัดเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ และสังเกตลักษณะทางกายภาพ พบว่า โฟมที่เตรียมได้ทุกสูตรมีน้ำหนักเบา สีเหลืองอ่อนดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9



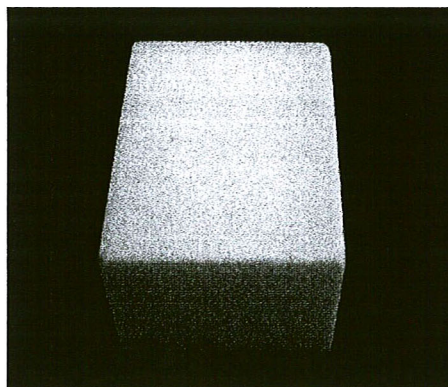
(ก)



(ข)

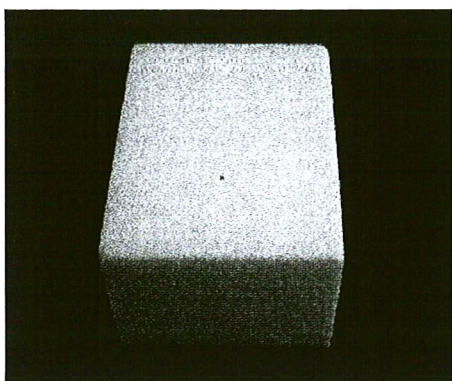


(ค)

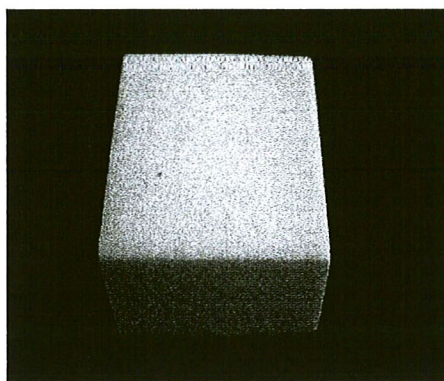


(ง)

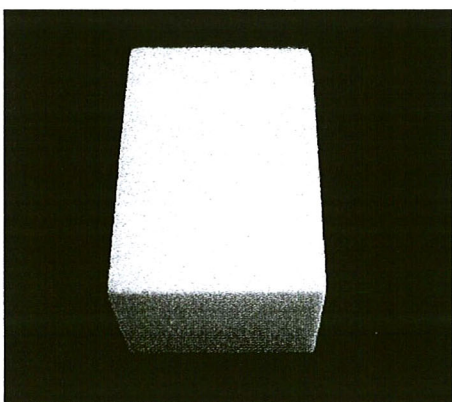
รูปที่ 4.8 ลักษณะโฟมพอลิยูรีเทนเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) 0.1 กรัม (ข) 0.2 กรัม (ค) 0.3 กรัม และ (ง) 0.4 กรัม ที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1 กรัม



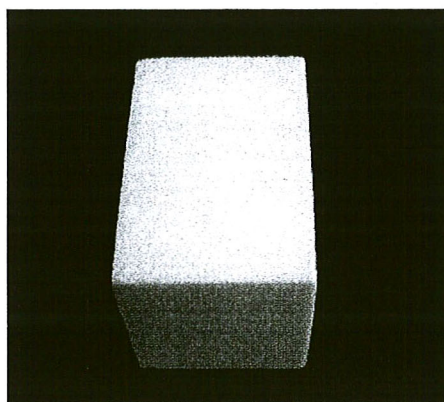
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.9 ลักษณะโฟมพอลิยูรีเทนเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว (ก) 1 กรัม (ข) 2 กรัม
(ค) 3 กรัม และ (ง) 4 กรัม ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของโฟมพอลิยูรีเทนเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกันที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1 กรัม พบว่า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นสีของโฟมขาวขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเร่งปฏิกิริยาขึ้นตอนการเกิดเจล จากปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานตและพอลิออล ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดโฟมพอลิยูรีเทนสมบูรณ์ขึ้น ปริมาณหมู่ไอโซไซยานตลดลง ซึ่งหมู่ไอโซไซยานตสามารถดูดกลืนสีทุกสียกเว้นสีน้ำตาล ดังนั้นเมื่อปริมาณไอโซไซยานตลดลงโฟมจึงมีสีขาวขึ้น

จากรูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของโฟมพอลิยูรีเทนเมื่อใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม พบว่า สีของโฟมที่ได้ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวไม่มีผลต่อปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานตและพอลิออล

4.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโฟมด้วยเทคนิค FTIR

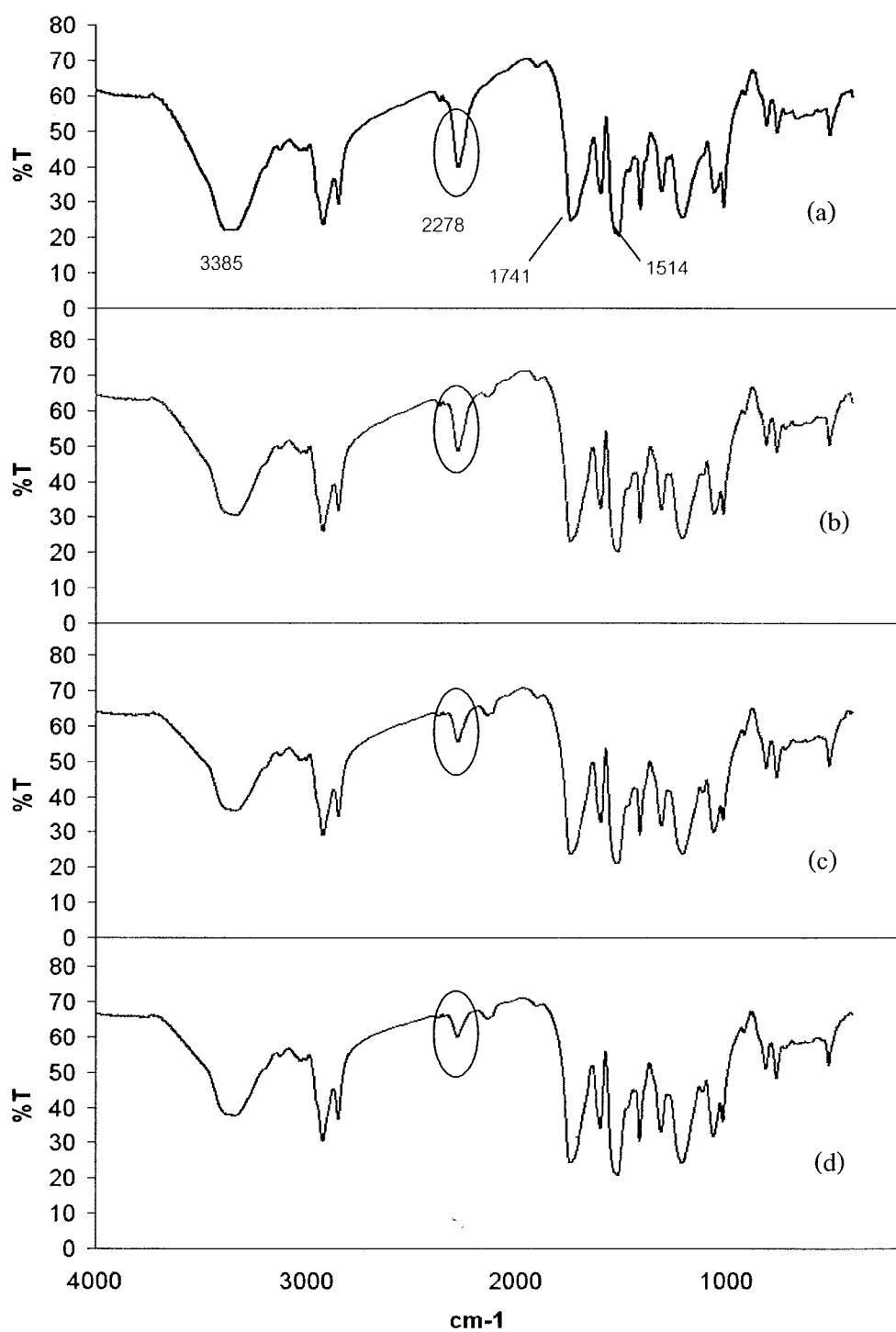
เมื่อนำสารประกอบพอลิออลที่ได้จากน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ MDI พบว่า หมู่ไฮดรอกซิลจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยานาตเกิดพันธะยูรีเทน ซึ่งเมื่อนำโฟมไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 โดยพบสเปกตรัมที่สำคัญดังนี้

1. พีกของหมู่ NH ที่ตำแหน่ง 3385 cm^{-1}
2. พีกของหมู่ -NCO ที่ตำแหน่ง 2278 cm^{-1}
3. พีกของหมู่คาร์บอนิล ที่ตำแหน่ง 1741 cm^{-1}
4. พีกของหมู่ CN และ N-H ที่ตำแหน่ง 1514 cm^{-1}

สเปกตรัมของโฟมพอลิยูรีเทนทุกสูตรในรูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงพีกที่ตำแหน่ง 3385 cm^{-1} และ 1514 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหมู่ NH ในพันธะยูรีเทน และพีกที่ตำแหน่ง 1723 cm^{-1} ของหมู่คาร์บอนิลในเอสเทอร์และยูรีเทน นอกจากนี้ ยังมีพีกของหมู่ไอโซไซยานาตที่ตำแหน่ง 2278 cm^{-1} แสดงว่ายังคงมีหมู่ไอโซไซยานาตเหลืออยู่

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ความเข้มของพีกของหมู่ไอโซไซยานาตที่ตำแหน่ง 2278 cm^{-1} ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนการเกิดเจลของปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานาตและพอลิออลทำให้ปฏิกิริยาการเกิดโฟมพอลิยูรีเทนสมบูรณ์ขึ้น ปริมาณหมู่ไอโซไซยานาตจึงลดลง

จากรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดง FTIR สเปกตรัมของโฟมที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน พบว่าเมื่อสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น พีกของหมู่ไอโซไซยานาตที่ตำแหน่ง 2278 cm^{-1} ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวไม่มีผลต่อการลดปริมาณของไอโซไซยานาตที่ตกค้างอยู่ในโฟม



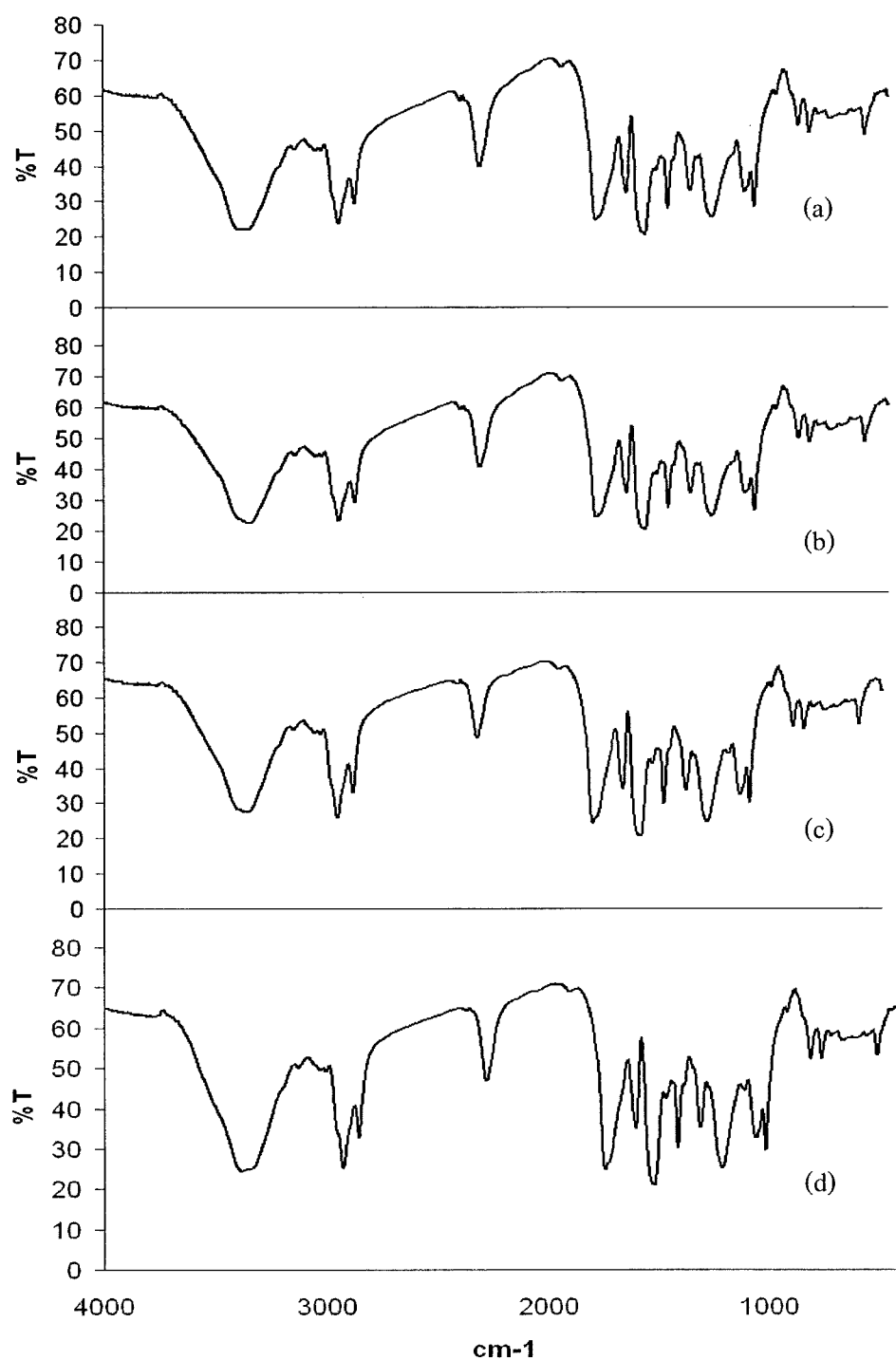
รูปที่ 4.10 FTIR สเปกตรัมของโพลียูรีเทนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน

(a) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัม

(b) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 กรัม

(c) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.3 กรัม

(d) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม



รูปที่ 4.11 FTIR สเปกตรัมของโพลียูรีเทนที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน

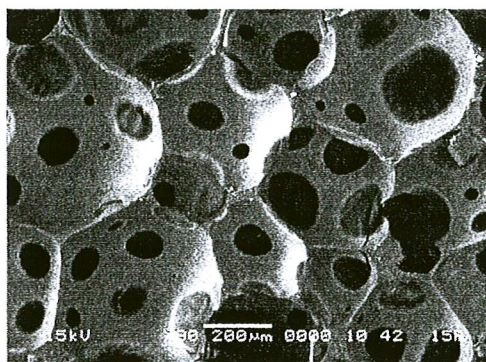
- (a) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1 กรัม
- (b) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 2 กรัม
- (c) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3 กรัม
- (d) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 4 กรัม

4.3.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทน

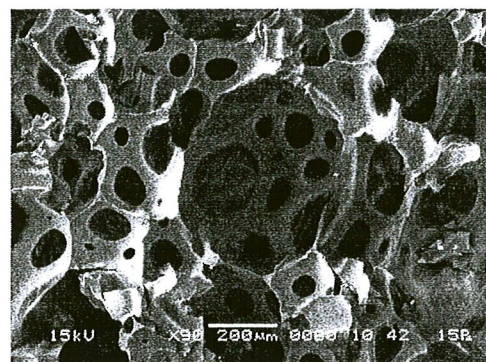
เพื่อให้ทราบถึงลักษณะเซลล์ของโฟมให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้มีการนำชิ้นงานตัวอย่างแต่ละสูตรมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 90 เท่า

4.3.3.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสัณฐานวิทยาของโฟม

รูปที่ 4.12 แสดงสัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน พบว่าเซลล์ของโฟมทุกสูตรมีลักษณะค่อนข้างกลม และเป็นเซลล์แบบปิด โดยปริมาณเซลล์เพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาได้เร่งปฏิกิริยาการพองจึงทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในเนื้อโฟมมีมากขึ้น เป็นผลให้ปริมาณเซลล์เพิ่มขึ้น



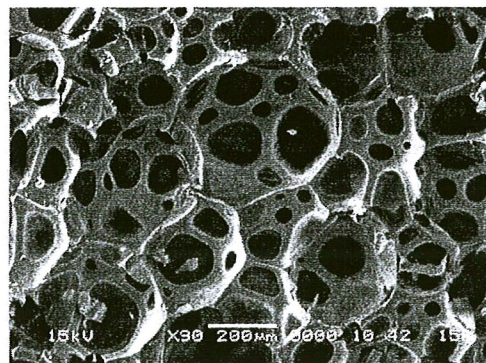
PDMS 1 g, DMCHA 0.1 g



PDMS 1 g, DMCHA 0.2 g



PDMS 1 g, DMCHA 0.3 g

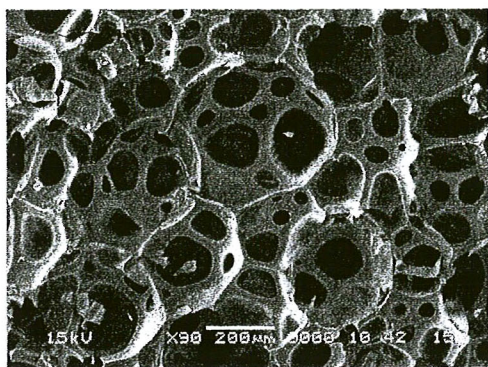


PDMS 1 g, DMCHA 0.4 g

รูปที่ 4.12 สัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน

4.3.3.2 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อลักษณะวิทยาของโฟม

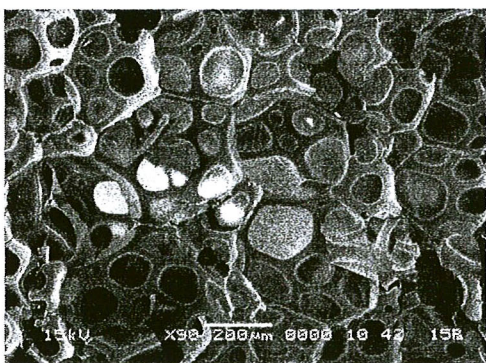
จากรูป 4.13 ซึ่งแสดงลักษณะวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน พบว่าเซลล์ของโฟมที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 1 และ 2 กรัม มีขนาดของเซลล์ต่างกันมาก และเซลล์ที่ได้มีความสมบูรณ์ไม่เท่ากับสูตรที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3 และ 4 กรัม แสดงให้เห็นว่าสารลดแรงตึงผิวช่วยควบคุมขนาดเซลล์ของโฟมและความสม่ำเสมอของเซลล์



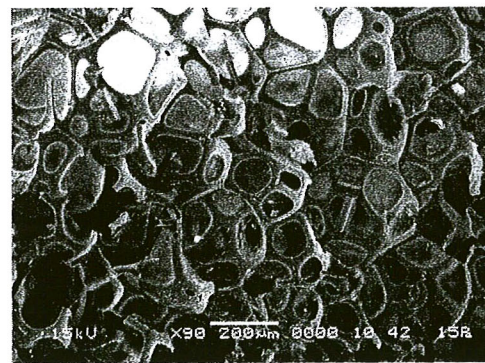
PDMS 1 g, DMCHA 0.4 g



PDMS 2 g, DMCHA 0.4 g



PDMS 3 g, DMCHA 0.4 g

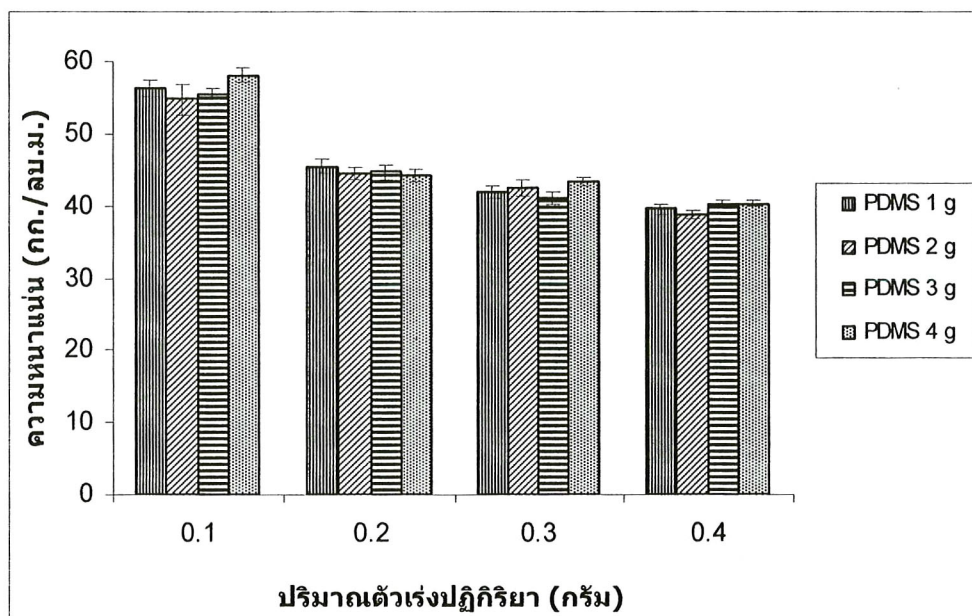


PDMS 4 g, DMCHA 0.4 g

รูปที่ 4.13 ลักษณะวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน

4.3.4 ความหนาแน่น

ผลการทดสอบความหนาแน่นของโพลิเมอร์ที่เตรียมได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.14 พบว่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 38.7 ถึง 58.0 กิโลกรัม/ลบ.ม.



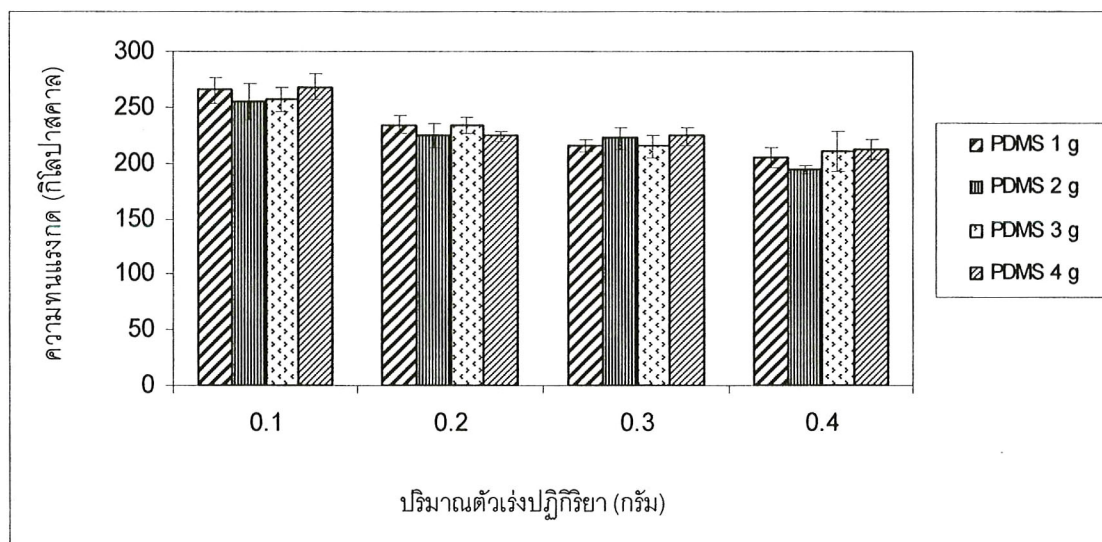
รูปที่ 4.14 ความหนาแน่นของโพลิเมอร์

จากรูปที่ 4.14 พบว่า ที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากัน เมื่อปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้อัตราของปฏิกิริยาการเกิดเจลและการฟูสูงขึ้น ทำให้โพลิเมอร์เกิดการฟูตัวมากขึ้น ปริมาตรของโพลิเมอร์จึงเพิ่มขึ้น ดังนั้น ความหนาแน่นของโพลิเมอร์จึงลดลง โดยความหนาแน่นในช่วงแรกลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนช่วงหลังจะค่อยๆ ลดลง อาจเนื่องจากที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.3 และ 0.4 กรัม เป็นปริมาณที่ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแสดงประสิทธิภาพในการเกิดการฟูได้ดีที่สุด (optimum) จึงทำให้ความหนาแน่นค่อยๆ ลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบความสามารถในการฟูตัว

จากผลการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM พบว่า ปริมาณเซลล์ของโพลิเมอร์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ปริมาณของหน้าต่างเซลล์ก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้น โพลิเมอร์ที่ได้จึงมีน้ำหนักเบา และเมื่อคิดต่อหน่วยปริมาตร ก็จะเป็นเหตุผลที่สนับสนุนในเรื่องของความหนาแน่นดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบในสูตรที่เพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว พบว่า ความหนาแน่นของโพลิเมอร์ที่ได้ไม่แตกต่างกัน โดยสามารถอธิบายได้จากเหตุผลเรื่องผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อความสามารถในการฟูตัวของโพลิเมอร์ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.3.5 ความต้านแรงกด

เมื่อนำโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้มาทดสอบความต้านแรงกดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.15 โดยพบว่าโฟมพอลิยูรีเทนมีความต้านแรงกดอยู่ในช่วง 193.6–268.4 กิโลปาสกาล



รูปที่ 4.15 ความต้านแรงกดของโฟมพอลิยูรีเทน

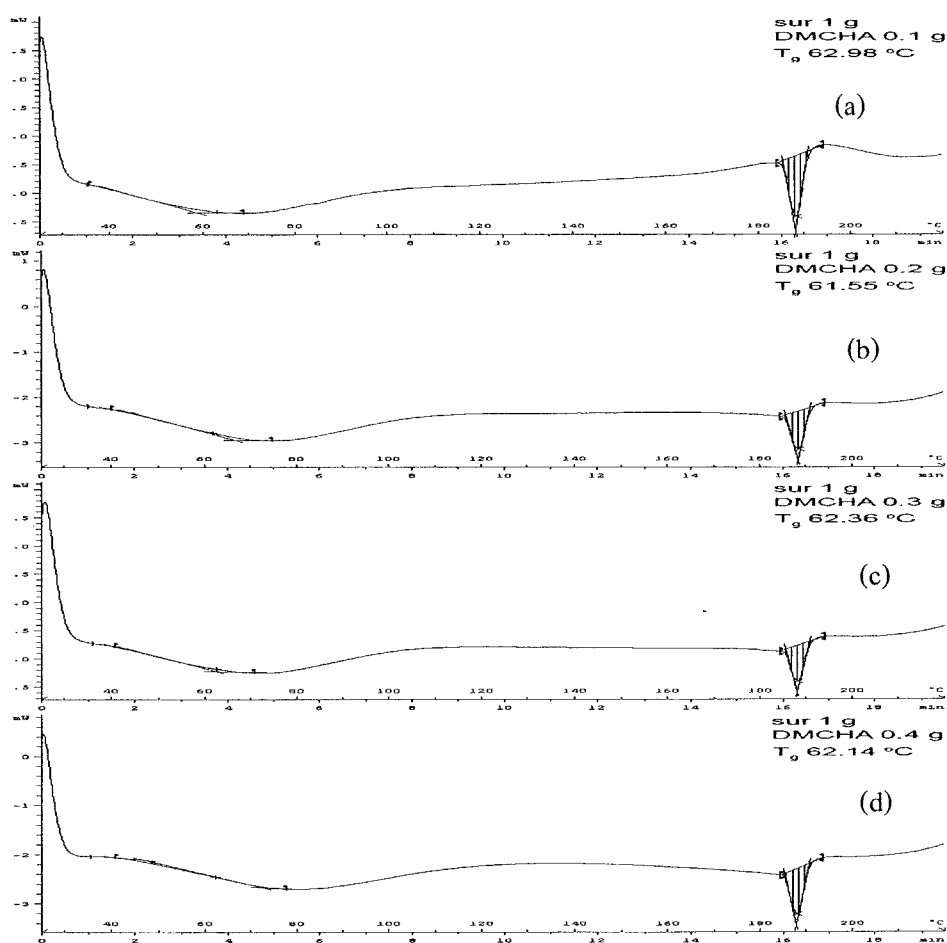
จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากัน เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โฟมมีความต้านแรงกดลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อความหนาแน่นของโฟม (ปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของโฟมลดลง) กล่าวคือ ความต้านแรงกดของโฟมขึ้นกับความหนาแน่น [5] โดยเมื่อโฟมมีความหนาแน่นลดลง ทำให้เนื้อโฟมต่อปริมาตรลดลง ดังนั้นความต้านแรงกดจึงลดลง

นอกจากนี้ จากผลการทดสอบลักษณะโครงสร้างเซลล์จากเทคนิค SEM พบว่า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ทำให้ผนังเซลล์หรือส่วนที่คล้ายกับเสาค้ำ (strut) ซึ่งทำหน้าที่รับแรงกดบางส่วน ดังนั้น ความสามารถในการรับแรงของโฟมจึงลดลง

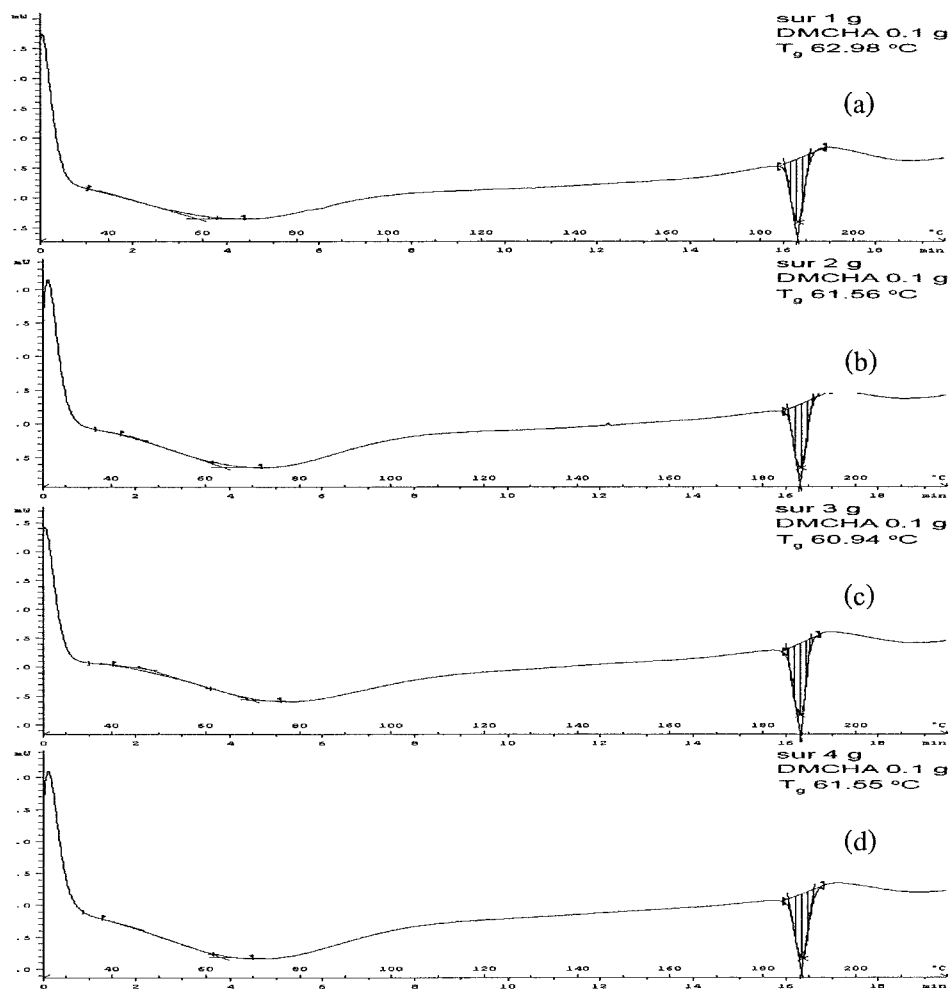
สำหรับผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความหนาแน่นของโฟม พบว่า เมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น (ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากัน) ค่าความต้านแรงกดของโฟมมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อความหนาแน่นของโฟมดังที่ได้กล่าวมาแล้ว (ความหนาแน่นของโฟมมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว)

4.3.6 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน

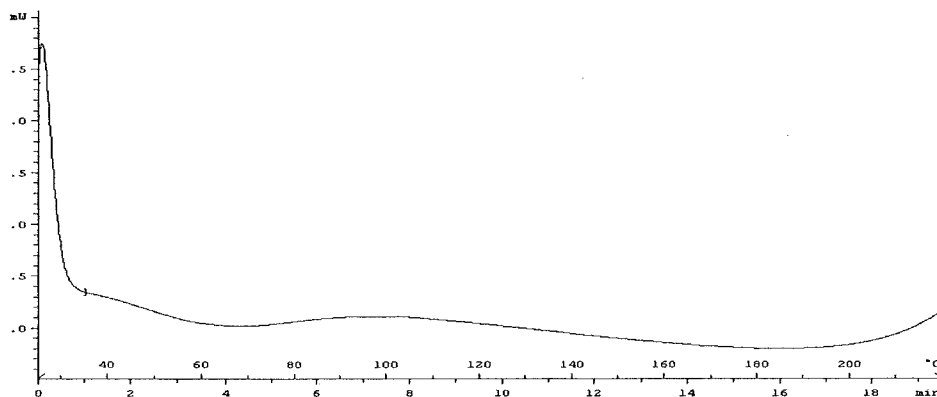
เมื่อนำโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้ไปตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17 โดยพบว่า โฟมที่เตรียมได้ทุกสูตรแสดงเทอร์โมแกรมในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ มีลักษณะเฉพาะทางความร้อนที่แสดงอุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน (T_g) ที่อุณหภูมิ 62°C และพบพิกแสดงปฏิกิริยาคูดความร้อน (endothermic peak) ที่อุณหภูมิ 188°C ซึ่งคาดว่าเป็นพิกที่แสดงอุณหภูมิที่สารประกอบพอลิเมอร์ MDI ที่ตกค้างอยู่เล็กน้อยเกิดการเดือดกลายเป็นไอ เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนกับโฟมอีกครั้งจากอุณหภูมิ $25-220^{\circ}\text{C}$ พบว่า เทอร์โมแกรม DSC มีลักษณะราบเรียบไม่ปรากฏพิกดังกล่าวอีกเลย ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโฟมด้วยเทคนิค FTIR ที่พบว่ายังมีหมู่ไอโซไซยานาตเหลืออยู่เล็กน้อย



รูปที่ 4.16 DSC เทอร์โมแกรมของโฟม เมื่อ (a) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัม
(b) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 กรัม (c) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.3 กรัม
(d) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม



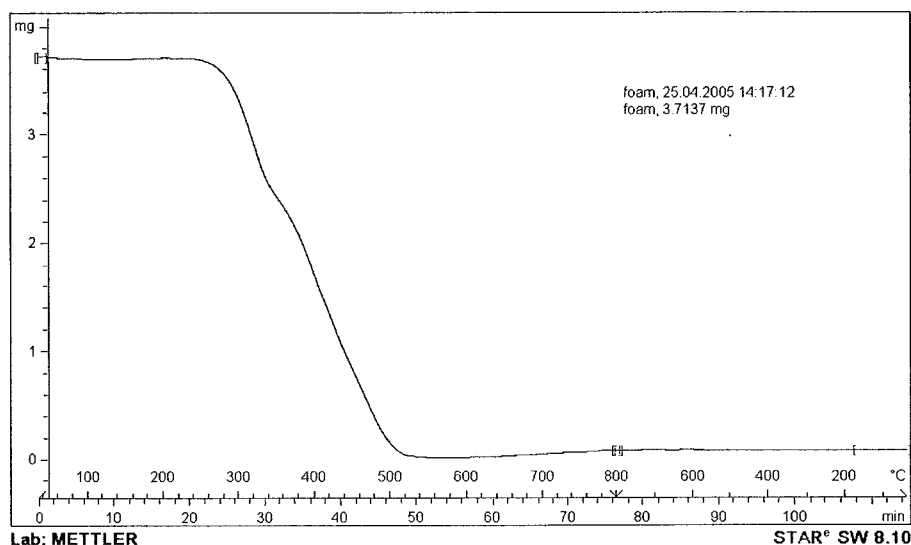
รูปที่ 4.17 DSC เทอร์โมแกรมของโพลีเม เมื่อ (a) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1 กรัม
(b) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 2 กรัม (c) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3 กรัม
(d) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 4 กรัม



รูปที่ 4.18 DSC เทอร์โมแกรมของโพลีเมเมื่อให้ความร้อนกับโพลีเมซ้ำอีกครั้ง

4.3.7 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA

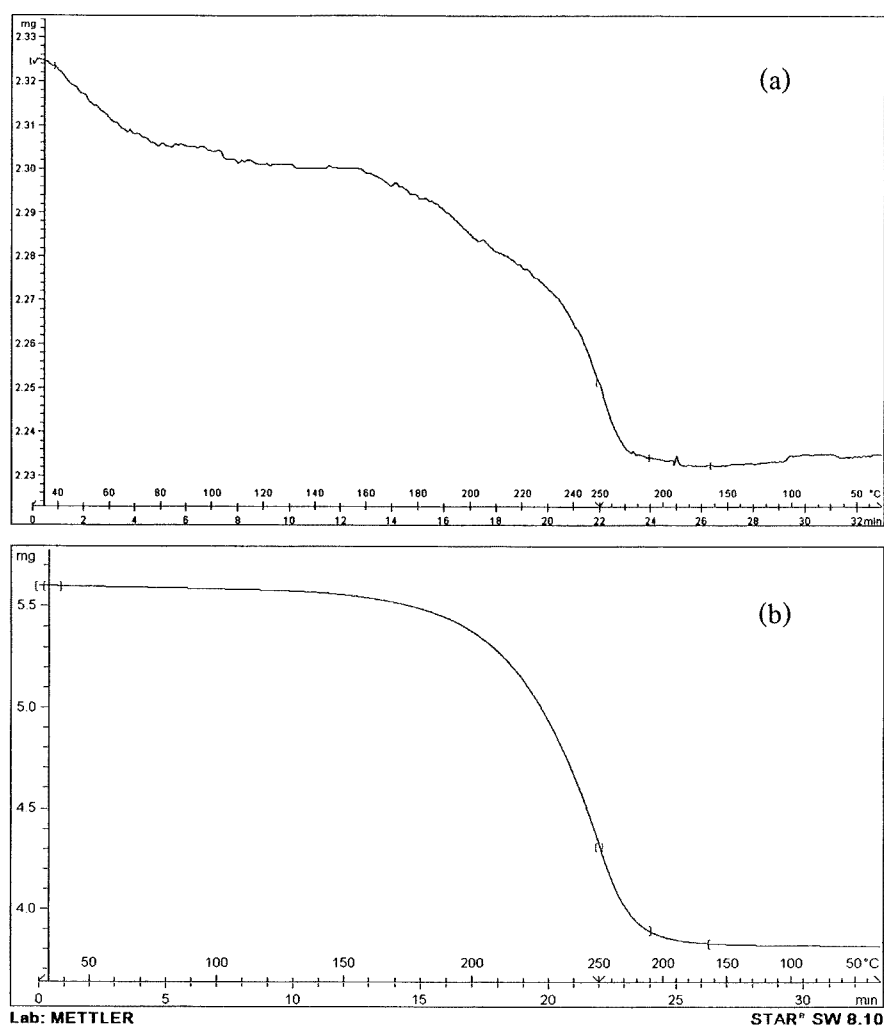
จากการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของ โฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค TGA ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนของโฟมด้วยเทคนิค TGA

จาก TGA เทอร์โมแกรม พบว่า การสลายตัวของโฟมพอลิยูรีเทนมี 2 ขั้นตอน คือ การสลายตัวเล็กน้อยในช่วงแรกที่อุณหภูมิประมาณ 285°C ซึ่งคาดว่าเป็นเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ MDI ที่ตกค้าง และช่วงที่สองซึ่งเป็นการสลายตัวของโฟมที่อุณหภูมิประมาณ 377°C จึงทำให้ทราบช่วงอุณหภูมิในการใช้งานของโฟมที่ได้จากน้ำมันปาล์ม

และเพื่อเป็นการยืนยันว่าการสลายตัวของโฟมในขั้นแรกเป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ MDI จึงได้นำโฟมพอลิยูรีเทนและพอลิเมอร์ MDI มาตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 35-250°C พบว่า ทั้งโฟมพอลิยูรีเทนและพอลิเมอร์ MDI แสดงเทอร์โมแกรมลักษณะเดียวกัน คือ มีการสลายตัวในช่วงอุณหภูมิประมาณ 200°C ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 TGA เทอร์โมแกรมของ (a) โฟมพอลิยูรีเทน และ (b) พอลิเมอร์ MDI