

บทที่ 4

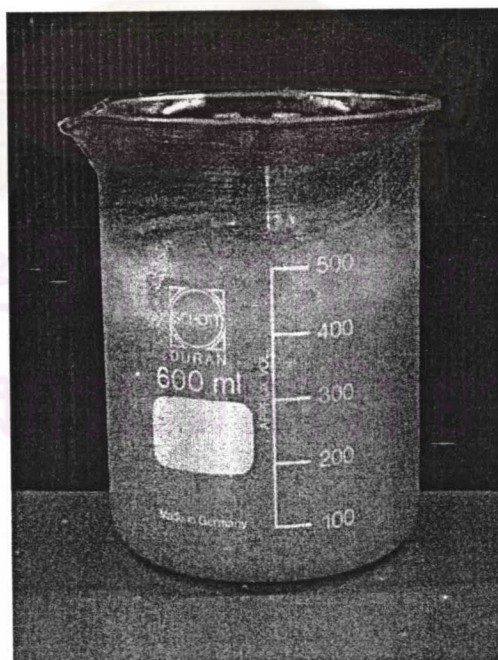
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม

4.1.1 ลักษณะของสารประกอบพอลิออล

เมื่อนำน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยากับเพนตะอริทริทอล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบพอลิออล ที่มีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความหนืดสีน้ำตาลอ่อนดังแสดงในรูปที่ 4.1

เมื่อนำสารประกอบพอลิออลที่ได้ไปวัดความหนืดและค่าไฮดรอกซิล พบว่ามีค่าเท่ากับ 355 พอยส์ และ 385 mg KOH /g ตามลำดับ ซึ่งค่าไฮดรอกซิลที่ได้ เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วค่าไฮดรอกซิลที่ใช้ในการทำโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งจะมีค่าอยู่ประมาณ 350-650 mg KOH /g [20]



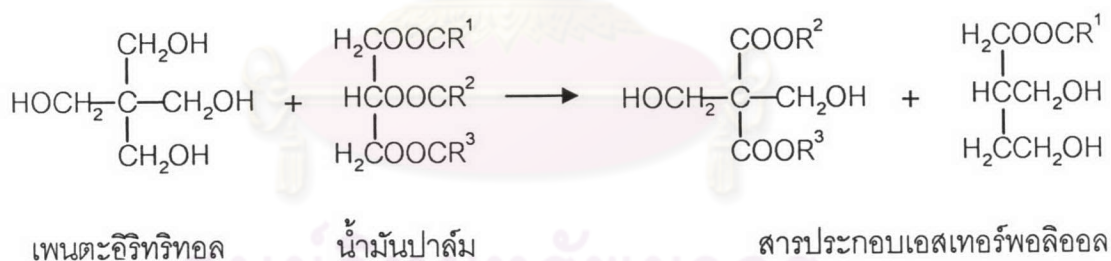
รูปที่ 4.1 ลักษณะของสารประกอบพอลิออล

4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR

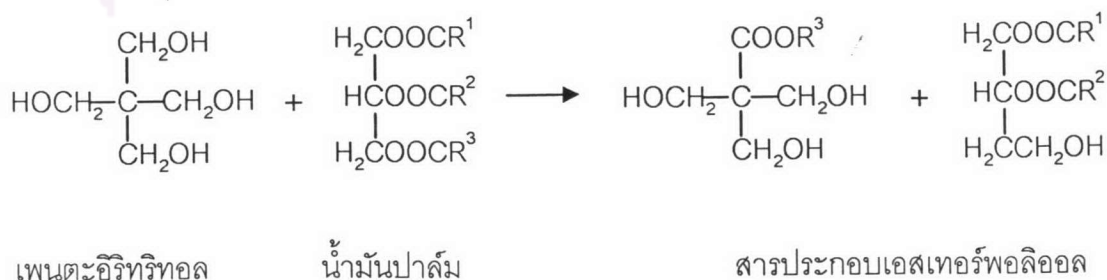
เมื่อนำสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มกับเพนตะอิริทริทอล มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR และเปรียบเทียบ FTIR สเปกตรัมระหว่างน้ำมันปาล์มและสารประกอบพอลิเอสเตอร์ที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่า FTIR สเปกตรัมของสารประกอบพอลิเอสเตอร์ปรากฏพีกของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3374.12 cm^{-1} ซึ่งไม่ปรากฏใน FTIR สเปกตรัมของ น้ำมันปาล์ม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มและเพนตะอิริทริทอลได้สารประกอบเอสเทอร์พอลิเอสเตอร์เป็นผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าเป็นสารประกอบพอลิเอสเตอร์หรือไม่ ทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบการละลายในเอทานอล (สารตัวอย่าง 1 ส่วนในเอทานอล 3 ส่วน) เนื่องจากโดยปกติแล้ว น้ำมันปาล์มไม่ละลายในเอทานอล แต่พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถละลายได้ดี แสดงให้เห็นว่า น้ำมันปาล์มเข้าทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์กับเพนตะอิริทริทอล ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบเอสเทอร์พอลิเอสเตอร์

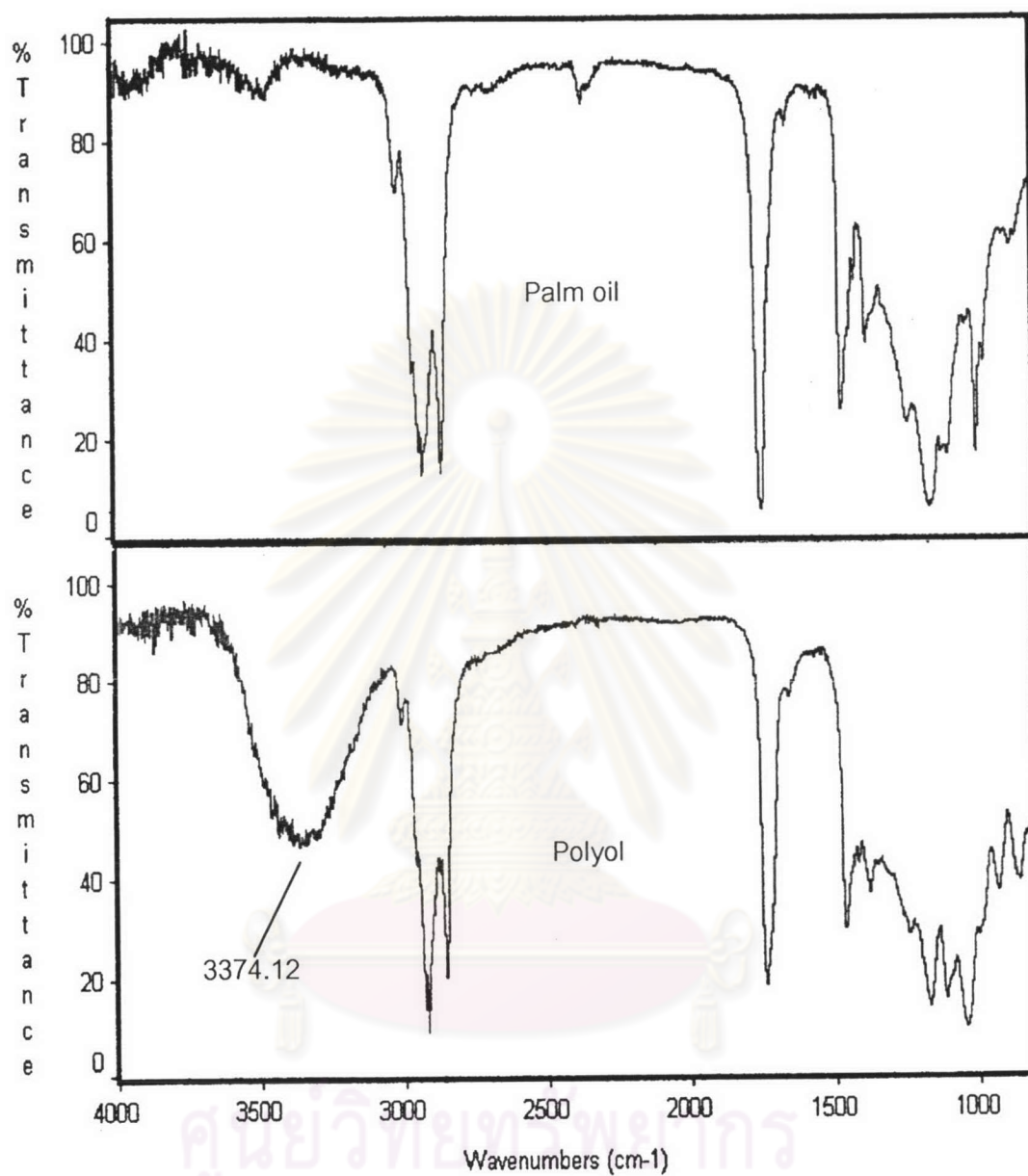
สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มและเพนตะอิริทริทอล ได้เป็นสารประกอบเอสเทอร์พอลิเอสเตอร์สามารถแสดงได้ดังนี้



หรือ



etc.



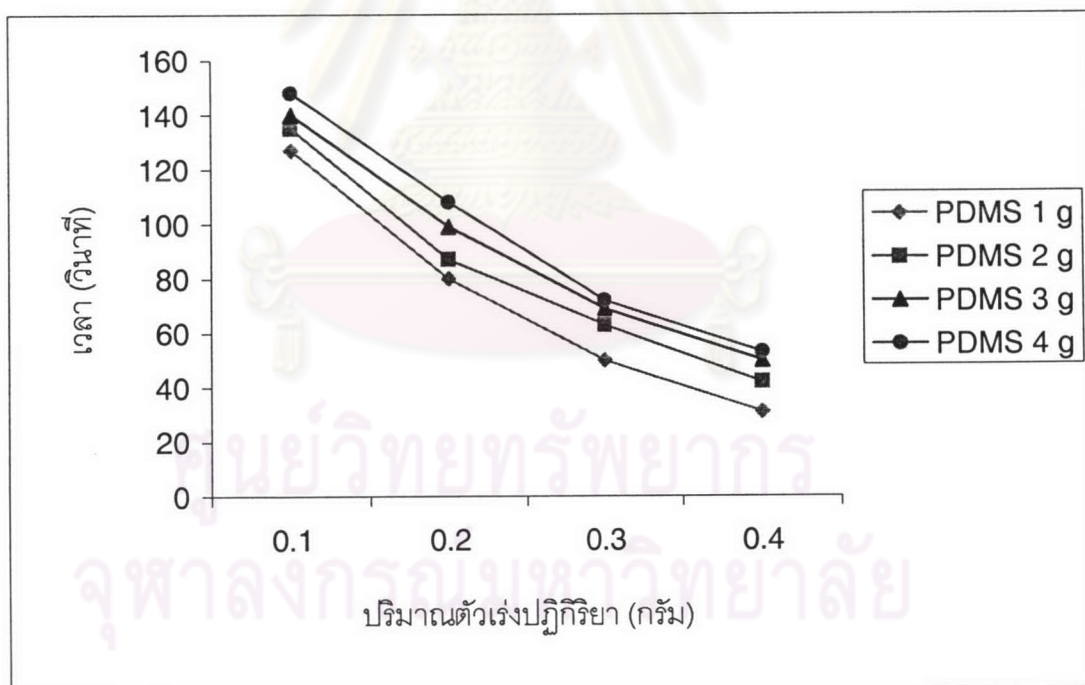
รูปที่ 4.2 FTIR สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มและสารประกอบพอลิโออล

4.2 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน

4.2.1 เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมเริ่มฟูตัว (cream time)

4.2.1.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมเริ่มฟูตัว

เมื่อทดสอบหาเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมเริ่มฟูตัวระหว่างการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ พบว่าเวลาอยู่ในช่วงระหว่าง 32-148 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.3 นอกจากนี้ยังพบว่าที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากัน เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (เทอเชียรีเอมีน) เพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมเริ่มฟูตัวลดลง เนื่องจากตัวเร่งจะเร่งทั้งปฏิกิริยาการเกิดเจลระหว่างพอลิออลกับไอโซไซยาเนต และปฏิกิริยาการฟู (ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับน้ำ) [21] ทำให้เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมเริ่มฟูตัวลดลง



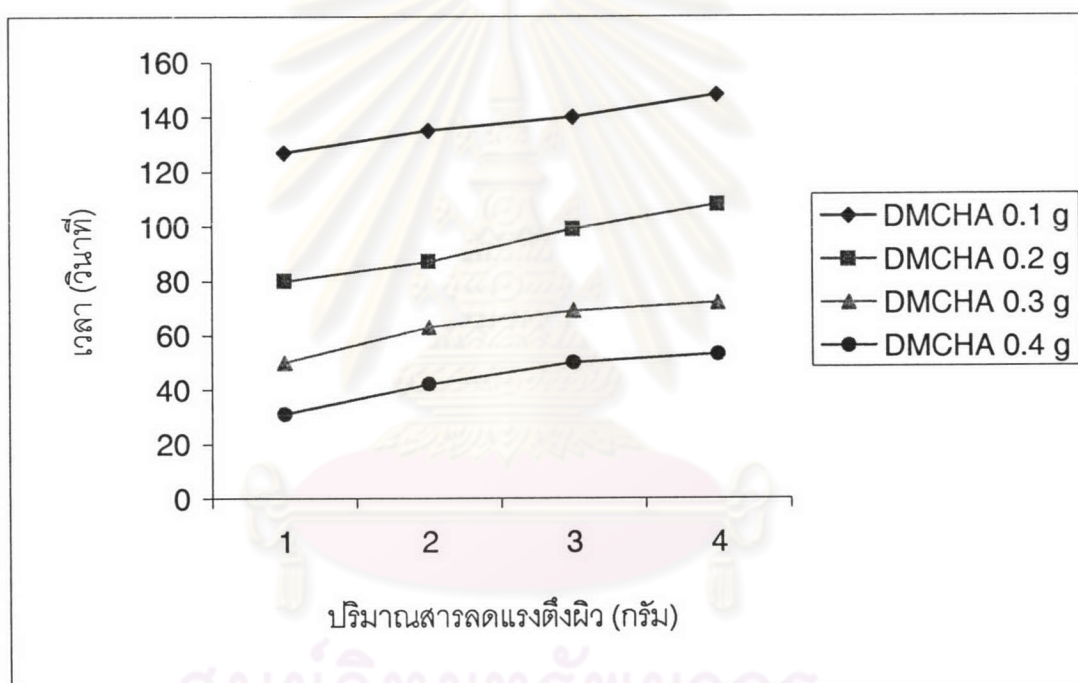
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมพอลิยูรีเทนเริ่มฟูตัว

หมายเหตุ

PDMS หมายถึง พอลิไดเมทิลซิลอกเซน

4.2.1.2 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเวลาที่ใช้ในการทำให้โพลีเมอร์พองตัว

รูปที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเวลาที่ใช้ในการทำให้โพลีเมอร์พองตัว ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากัน เมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการทำให้โพลีเมอร์พองตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งจะอธิบายได้ว่าเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นทำให้ความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชัน (functional group concentration) ลดลง ดังนั้นอัตราการพองตัวของโพลีเมอร์จึงลดต่ำลง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการทำให้โพลีเมอร์พองตัว

หมายเหตุ

DMCHA หมายถึง N,N-ไดเมทิลไซโคลเฮกซิลามีน

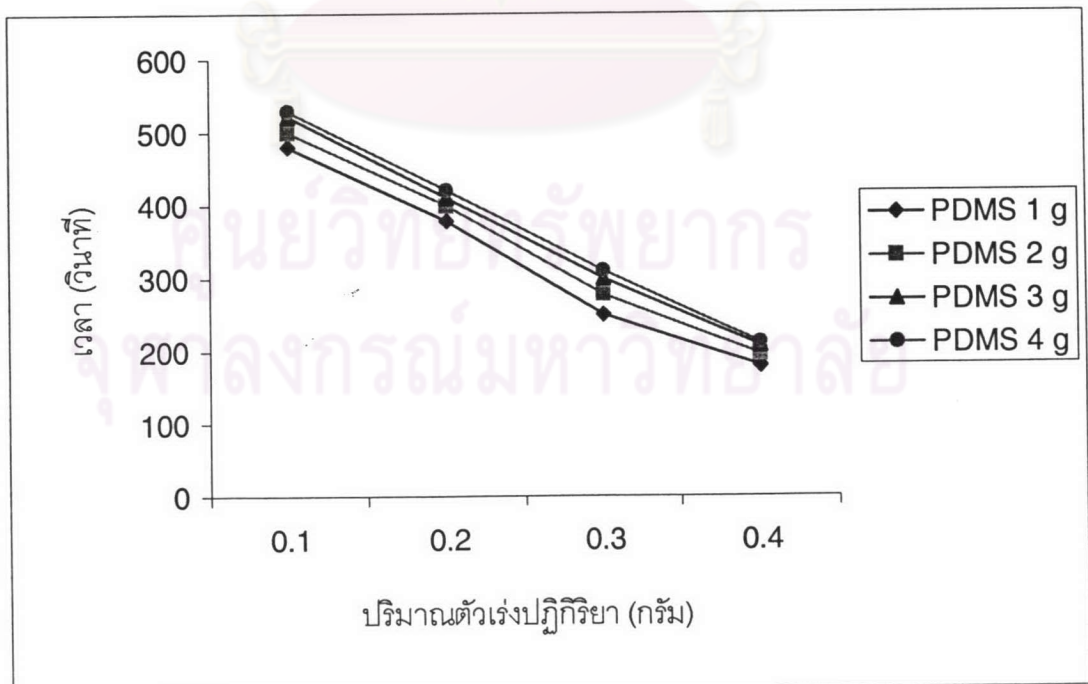
จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าสูตรที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม สารลดแรงตึงผิว 1 กรัม โฟมเริ่มฟูตัวได้เร็วที่สุด โดยใช้เวลา 31 วินาที และสูตรที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัม สารลดแรงตึงผิว 4 กรัม โฟมเริ่มฟูตัวได้ช้าที่สุด โดยใช้เวลามากถึง 148 วินาที ซึ่งโดยทั่วไปในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง โฟมจะเริ่มฟูตัวที่เวลาประมาณ 24 วินาที [10]

4.2.2 เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ (rise time)

4.2.2.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่

เมื่อทดสอบหาเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ระหว่างการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆกัน พบว่าเวลาอยู่ในช่วงระหว่าง 179-529 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.5

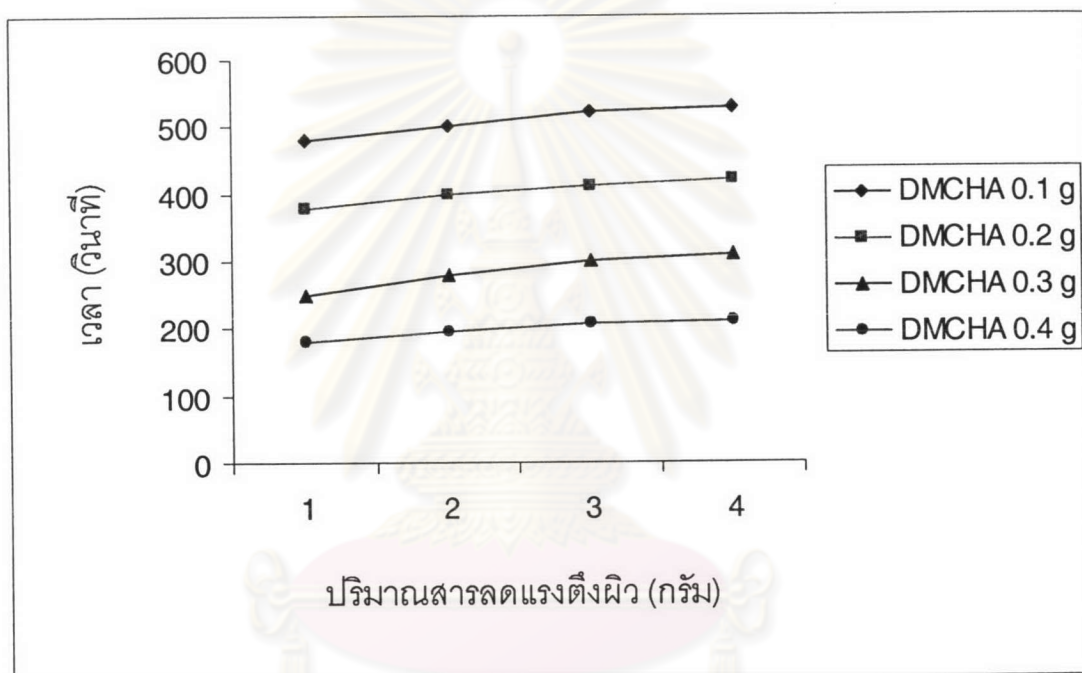
จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากัน เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ลดลง เป็นผลมาจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้อัตราเร็วที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาของโฟมพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้น โดยเร่งปฏิกิริยาทั้งชั้นการเกิดเจลและการฟู เป็นผลให้เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ลดลง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมพอลิยูรีเทนขยายตัวเต็มที่

4.2.2.2 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่

รูปที่ 4.6 แสดงผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากัน เมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมเริ่มพุดตัวจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันลดลง อัตราการขยายตัวของโฟมจึงลดลง

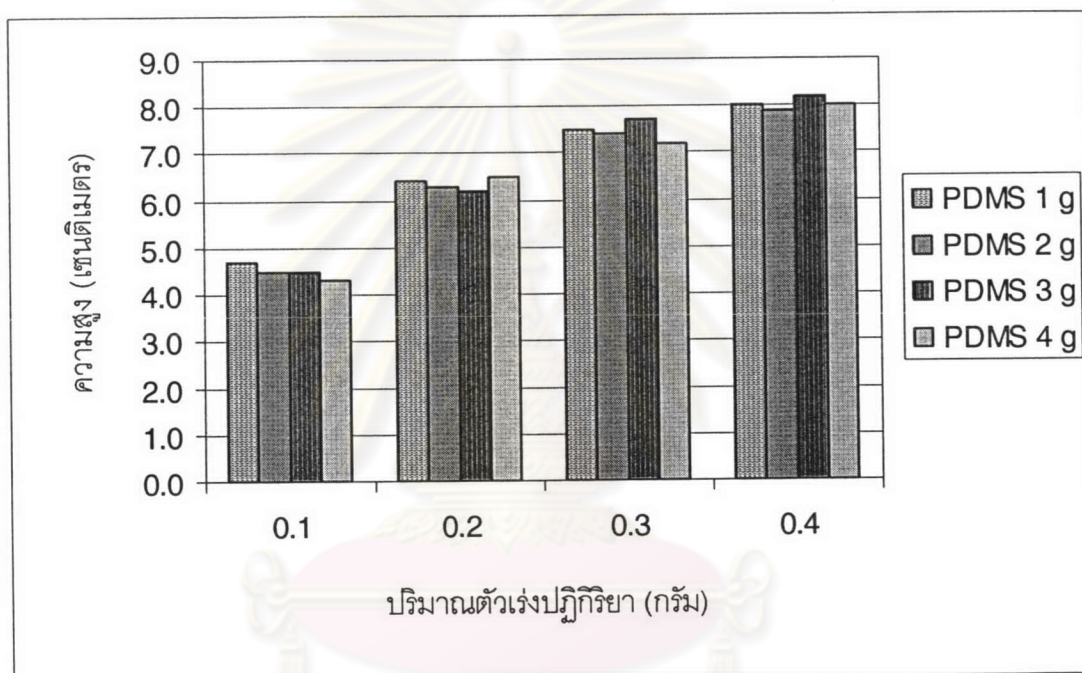


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมพอลิยูรีเทนขยายตัวเต็มที่

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นได้ว่าสูตรที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม สารลดแรงตึงผิว 1 กรัม โฟมใช้เวลาในการขยายตัวเต็มที่น้อยที่สุด โดยใช้เวลา 179 วินาที และสูตรที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัม สารลดแรงตึงผิว 4 กรัม โฟมใช้เวลาในการขยายตัวเต็มที่มากที่สุด โดยใช้เวลามากถึง 529 วินาที ซึ่งโดยทั่วไป ในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่ประมาณ 90 วินาที ซึ่งน้อยกว่ามาก ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสารประกอบพอลิออกไซด์ได้จากน้ำมันปาล์มดัดแปร มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาน้อยกว่าพอลิออกไซด์ใช้ในทางการค้า [10]

4.2.3 ความสามารถในการฟุ้งตัว

หลังจากที่โฟมเกิดการขยายตัวเต็มที่แล้ว ทิ้งโฟมไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นจึงนำโฟมที่ได้ไปวัดความสูง ซึ่งความสูงที่ได้นั้นจะบ่งบอกถึงความสามารถในการฟุ้งตัวของโฟม และสมดุลการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการเกิดเจลและการฟู โดยความสูงของโฟมที่ได้ แสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสูงของโฟมพอลิยูรีเทนที่ได้

เมื่อวัดความสูงของโฟมที่ได้ พบว่าโฟมมีความสูงอยู่ในช่วง 4.3 - 8.2 เซนติเมตร และเมื่อเปรียบเทียบความสูงของโฟมแต่ละสูตร พบว่าเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โฟมที่ได้จะมีความสูงเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งที่ถูกใช้ไม่ได้เพียงพอแต่ทำหน้าที่เร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่านั้น แต่ยังรักษาสมดุลระหว่างปฏิกิริยาการเกิดเจลและการฟูอีกด้วย [21] หรือสามารถกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า เป็นการรักษาความสมดุลระหว่างการเติบโตของพอลิยูรีเทนโฟมกับการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้พอลิยูรีเทนโฟมที่กำลังโต สามารถกักขังแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ และพัฒนาให้เกิดความแข็งแรงของเซลล์จนสิ้นสุดปฏิกิริยาการเกิดโฟม และรักษาโครงสร้างของเซลล์

ไม่ให้เกิดการยุบตัวหรือห่อตัว นอกจากนี้จากงานวิจัยของJuan [24] พบว่า ตัวเร่งมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเกิดเจลมากเกินไป จะทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายหลังการเกิดพอลิเมอร์เซชันเป็นผลให้โฟมที่ได้มีความหนาแน่นสูง และเซลล์ที่ได้มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ หรือถ้าตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการพุ่มากเกินไปจะทำให้ได้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนการเกิดปฏิกิริยาการเกิดเจล ซึ่งจะแพร่กระจายออกจากระบบ เป็นผลให้โฟมที่ได้เกิดการยุบตัว (collapse)

สำหรับผลของสารลดแรงตึงผิวต่อความสูงของโฟมที่ได้ พบว่าในกรณีที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากัน เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีปริมาณเพิ่มขึ้น พบว่าความสูงของโฟมที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง

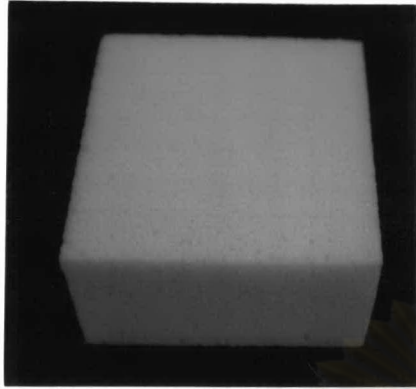
4.3 การตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติของโฟมพอลิยูรีเทน

4.3.1 สีและลักษณะของโฟม

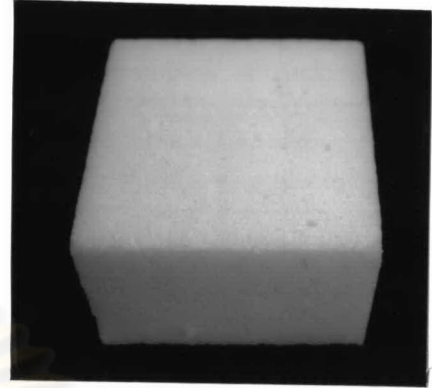
เมื่อนำโฟมที่ได้ไปตัดเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ และสังเกตลักษณะทางกายภาพ พบว่าโฟมที่เตรียมได้ทุกสูตร มีน้ำหนักเบา สีเหลืองอ่อนดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9

จากรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงลักษณะของโฟมพอลิยูรีเทนเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกันที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1 กรัม จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้นสีของโฟมขาวขึ้น เนื่องจากตัวเร่งจะช่วยเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนการเกิดเจล จากปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานตและพอลิออล ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดโฟมพอลิยูรีเทนสมบูรณ์ขึ้น ปริมาณหมู่ไอโซไซยานตจึงลดลง ซึ่งหมู่ไอโซไซยานตสามารถูดกชื้นทุกสียกเว้นสีน้ำตาล ดังนั้นเมื่อปริมาณไอโซไซยานตลดลงโฟมที่ได้จึงดูขาวเพิ่มขึ้น

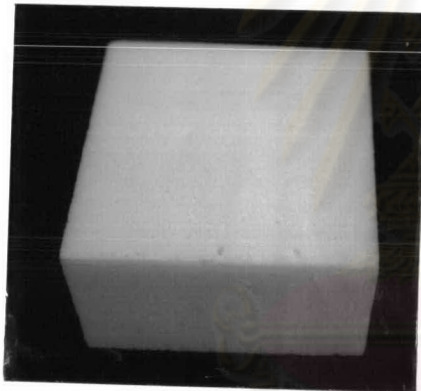
จากรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงลักษณะของโฟมพอลิยูรีเทนเมื่อใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกันที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม พบว่าสีของโฟมที่ได้ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวไปมีผลต่อปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานตและพอลิออล



PDMS 1 g, DMCHA 0.1 g



PDMS 1 g, DMCHA 0.2 g

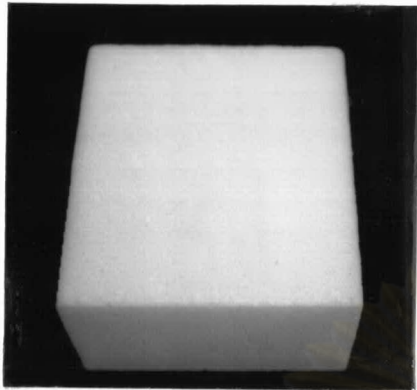


PDMS 1 g, DMCHA 0.3 g

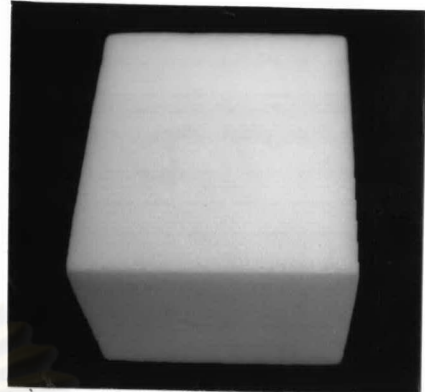


PDMS 1 g, DMCHA 0.4 g

รูปที่ 4.8 ลักษณะของโฟมพอลิยูรีเทนที่ได้ เมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกันที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1 กรัม



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 4.9 ลักษณะของโฟมพอลิยูรีเทนที่ได้ เมื่อใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกันที่ปริมาณ
ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม

4.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโฟมด้วยเทคนิค FTIR

เมื่อนำสารประกอบพอลิออลที่ได้จากน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ MDI พบว่าหมู่ไฮดรอกซิลจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนตเกิดพันธะยูรีเทน ซึ่งเมื่อนำโฟมไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 โดยพบสเปกตรัมที่สำคัญดังนี้

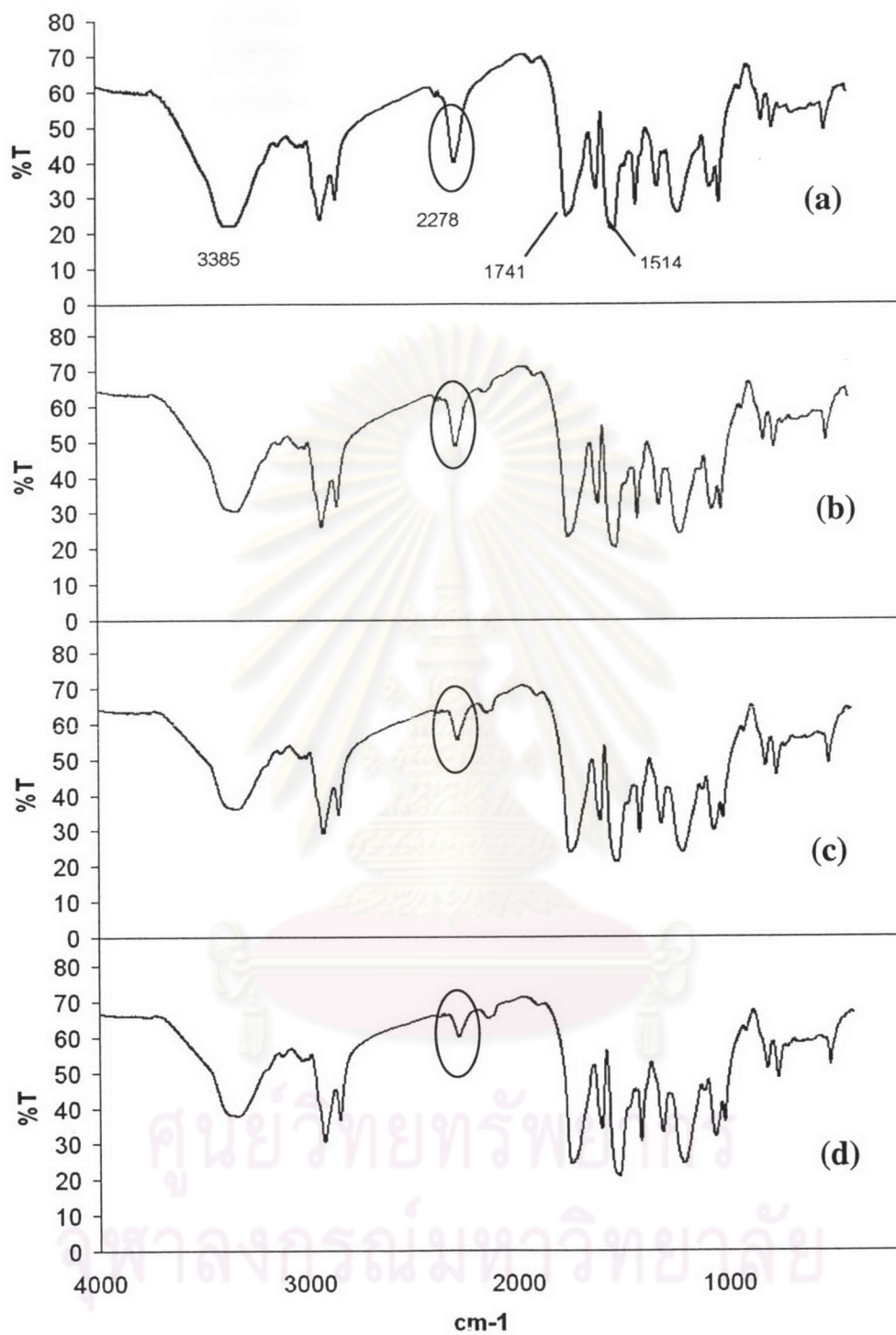
1. พีคของหมู่ NH ที่ตำแหน่ง 3385 cm^{-1}
2. พีคของหมู่ -NCO ที่ตำแหน่ง 2278 cm^{-1}
3. พีคของหมู่คาร์บอนิล ที่ตำแหน่ง 1741 cm^{-1}
4. พีคของหมู่ CN และ N-H ที่ตำแหน่ง 1514 cm^{-1}

จากสเปกตรัมของโฟมพอลิยูรีเทนทุกสูตรในรูปที่ 4.10 และ 4.11 จะพบพีคที่ตำแหน่ง 3385 cm^{-1} และ 1514 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหมู่ NH ในพันธะยูรีเทน และพีคที่ตำแหน่ง 1723 cm^{-1} ของหมู่คาร์บอนิลในเอสเทอร์และยูรีเทน นอกจากนี้ยังพบพีคของหมู่ไอโซไซยาเนตที่ตำแหน่ง 2278 cm^{-1} แสดงว่ายังคงมีหมู่ไอโซไซยาเนตเหลืออยู่

นอกจากนี้ จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้นความเข้มของพีคของหมู่ไอโซไซยาเนตที่ตำแหน่ง 2278 cm^{-1} ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากตัวเร่งจะช่วยเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนการเกิดเจล จากปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตและพอลิออล ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดโฟมพอลิยูรีเทนสมบูรณ์ขึ้น ปริมาณหมู่ไอโซไซยาเนตจึงลดลง

จากรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดง FTIR สเปกตรัมของโฟมที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน จะเห็นได้ว่า เมื่อสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น พีคของหมู่ไอโซไซยาเนตที่ตำแหน่ง 2278 cm^{-1} ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวไม่มีผลต่อการลดปริมาณของไอโซไซยาเนตที่ตกค้างอยู่ในโฟม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



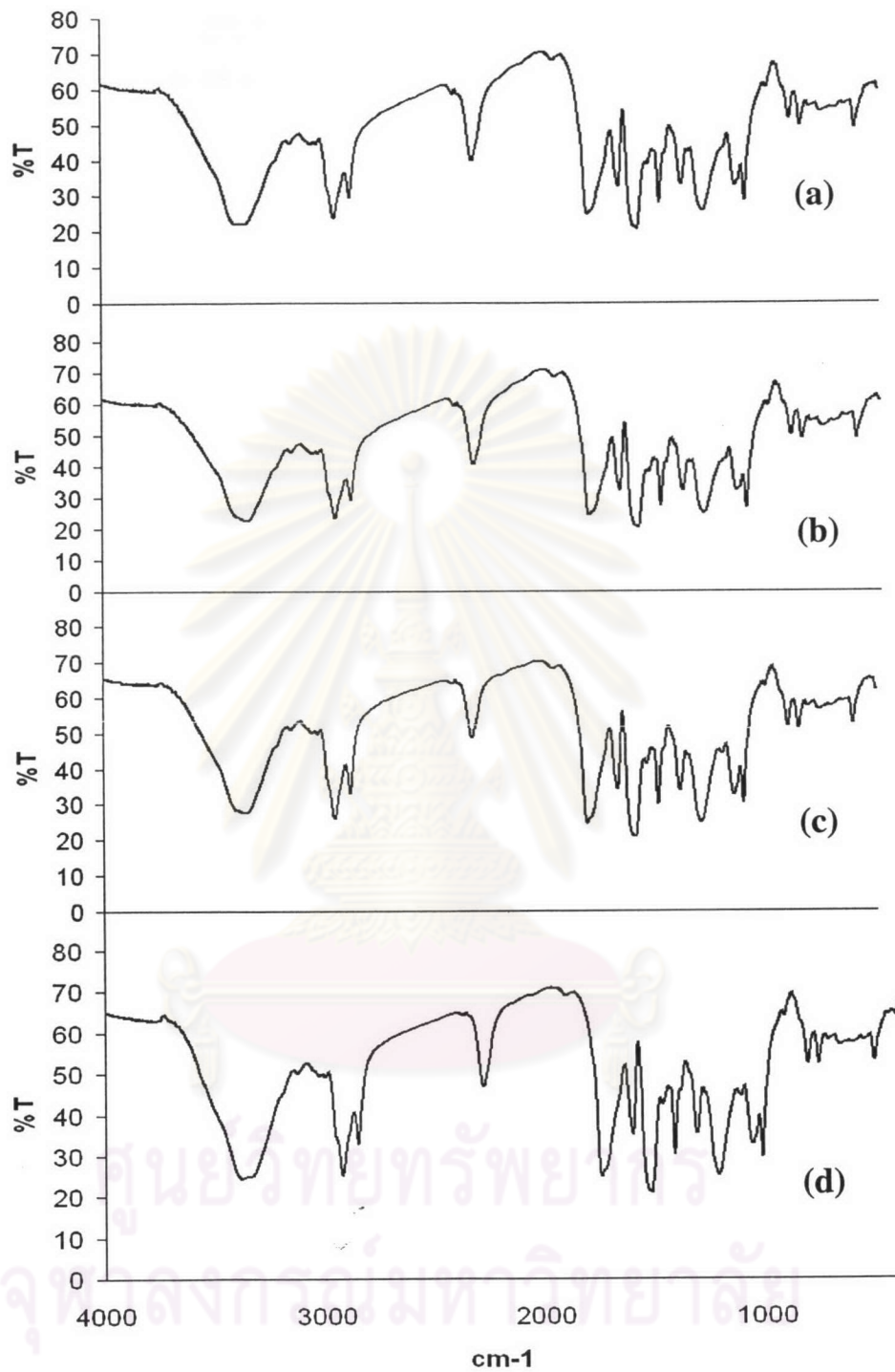
รูปที่ 4.10 FTIRสเปกตรัมของโพลียูรีเทนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน

(a) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัม

(b) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 กรัม

(c) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.3 กรัม

(d) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม



รูปที่ 4.11 FTIRสเปกตรัมของโพลียูรีเทนที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน

(a) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1 กรัม

(b) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 2 กรัม

(c) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3 กรัม

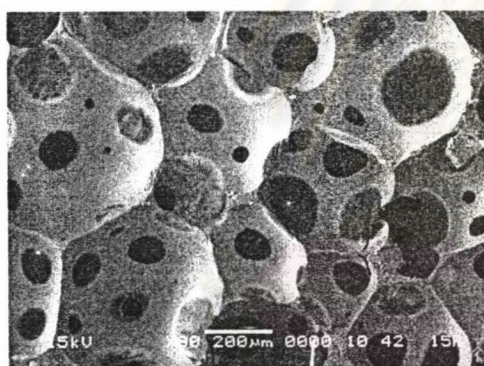
(d) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 4 กรัม

4.3.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิค SEM

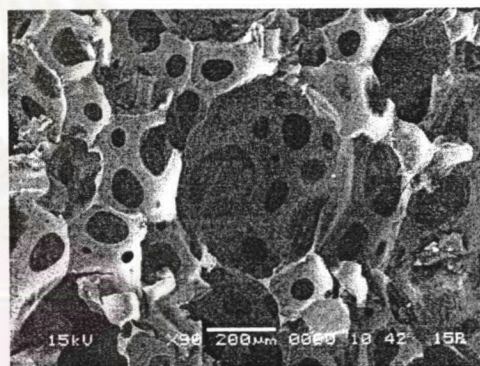
เพื่อให้ทราบถึงลักษณะเซลล์ของโฟมให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้มีการนำชิ้นงานตัวอย่างแต่ละสูตรมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 90 เท่า

4.3.3.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสัณฐานวิทยาของโฟม

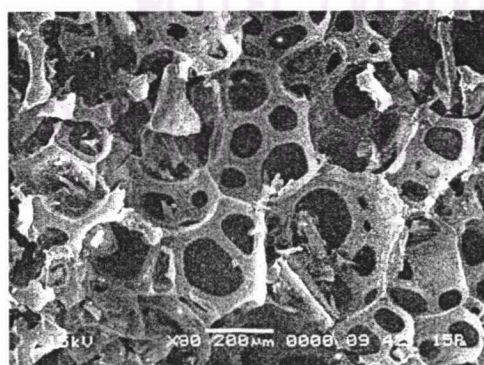
จากรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงสัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทน เมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน พบว่าเซลล์ของโฟมทุกสูตรมีลักษณะค่อนข้างกลม และเป็นเซลล์แบบปิด โดยปริมาณเซลล์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยา จะเร่งปฏิกิริยาการฟู จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในเนื้อโฟมมีมากขึ้น เป็นผลให้ปริมาณเซลล์เพิ่มขึ้น



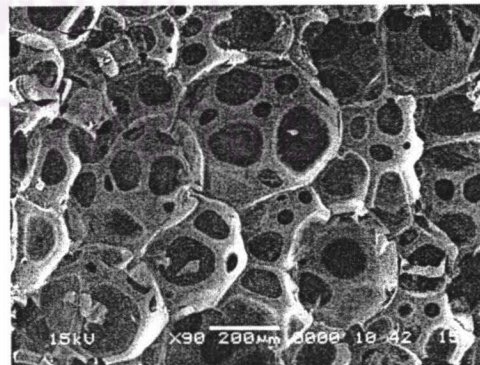
PDMS 1 g, DMCHA 0.1 g



PDMS 1 g, DMCHA 0.2 g



PDMS 1 g, DMCHA 0.3 g

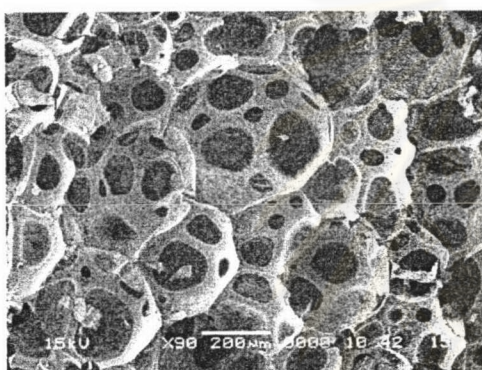


PDMS 1 g, DMCHA 0.4 g

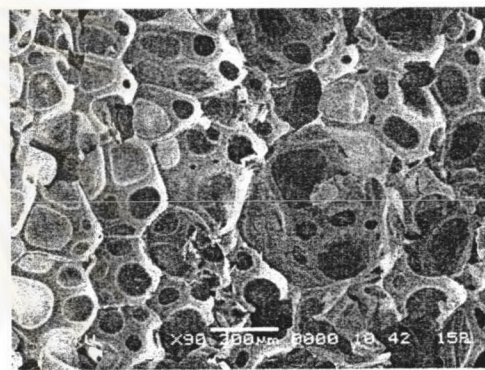
รูปที่ 4.12 สัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน

4.3.3.2 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อสัณฐานวิทยาของโฟม

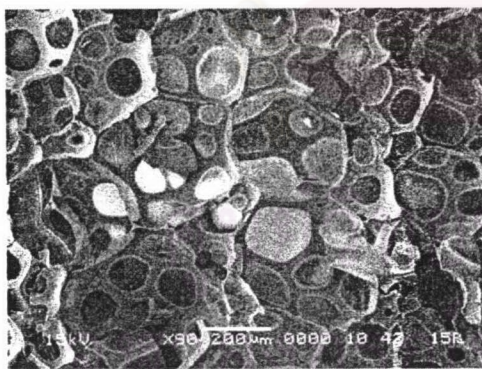
จากรูป 4.13 ซึ่งแสดงสัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน พบว่าเซลล์ของโฟมที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 1 และ 2 กรัม มีขนาดของเซลล์ต่างกันมาก และเซลล์ที่ได้มีความสมบูรณ์ไม่เท่ากับสูตรที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3 และ 4 กรัม แสดงให้เห็นว่าสารลดแรงตึงผิวช่วยควบคุมขนาดเซลล์ของโฟมและความสม่ำเสมอของเซลล์



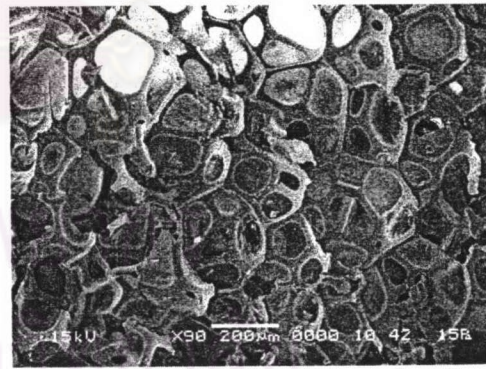
PDMS 1 g, DMCHA 0.4 g



PDMS 2 g, DMCHA 0.4 g



PDMS 3 g, DMCHA 0.4 g



PDMS 4 g, DMCHA 0.4 g

รูปที่ 4.13 สัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน

4.3.4 ความหนาแน่น

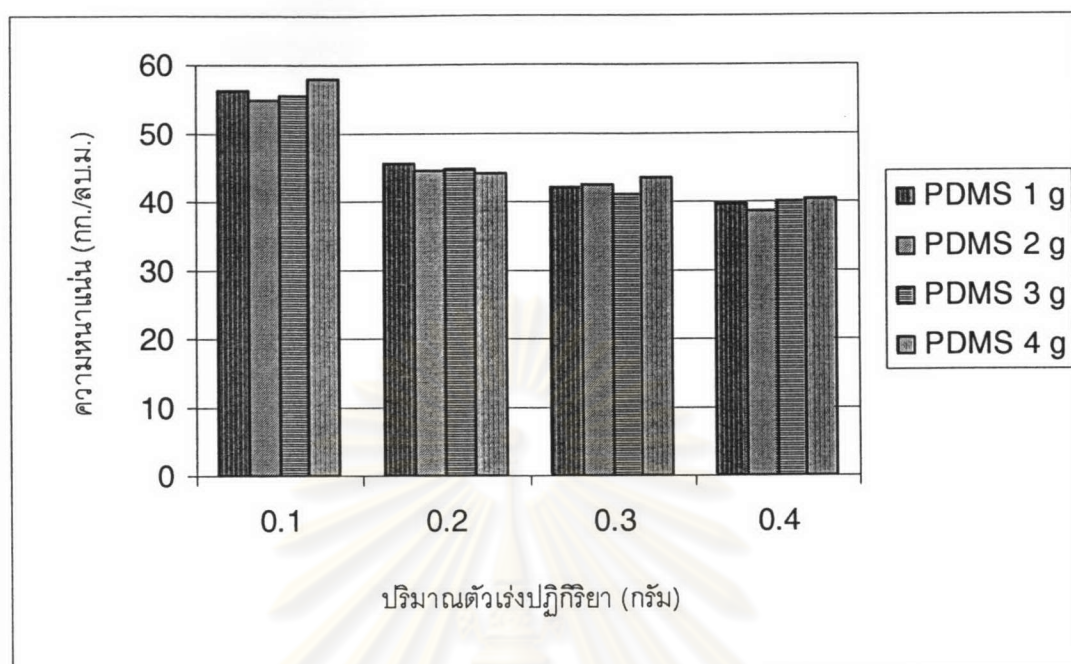
เมื่อนำโคมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้ไปทดสอบหาความหนาแน่น ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.14 โดยพบว่าความหนาแน่นของโคมที่ได้ อยู่ในช่วงตั้งแต่ 38.7 ถึง 58.0 กิโลกรัม/ลบ.ม.

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากัน เมื่อปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้อัตราปฏิกิริยาการเกิดเจลและการพองขึ้น ทำให้โคมเกิดการพองตัวมากขึ้น ปริมาตรของโคมจึงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นของโคมจึงลดลง โดยความหนาแน่นในช่วงแรกจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนในช่วงหลังจะค่อยๆลดลง อาจเนื่องจากที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.3 และ 0.4 กรัม เป็นปริมาณที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะสามารถแสดงประสิทธิภาพในการเกิดการพองได้ดีที่สุด (optimum) จึงทำให้ความหนาแน่นค่อยๆลดลง ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้องจากผลที่ได้จากการทดสอบความสามารถในการพองตัว

และจากผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งพบว่าปริมาณเซลล์ของโคมเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ปริมาณของหน้าตาเซลล์ก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นโคมที่ได้จึงมีน้ำหนักเบา และเมื่อคิดต่อหน่วยปริมาตร ก็จะเป็นเหตุผลที่สนับสนุนในเรื่องของความหนาแน่นดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

และเมื่อเปรียบเทียบในสูตรที่เพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว พบว่าความหนาแน่นของโคมที่ได้ไม่แตกต่างกันซึ่งสามารถอธิบายได้จากเหตุผลเรื่องผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อความสามารถในการพองตัวของโคม ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

ศูนย์วิทยพัชยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทน

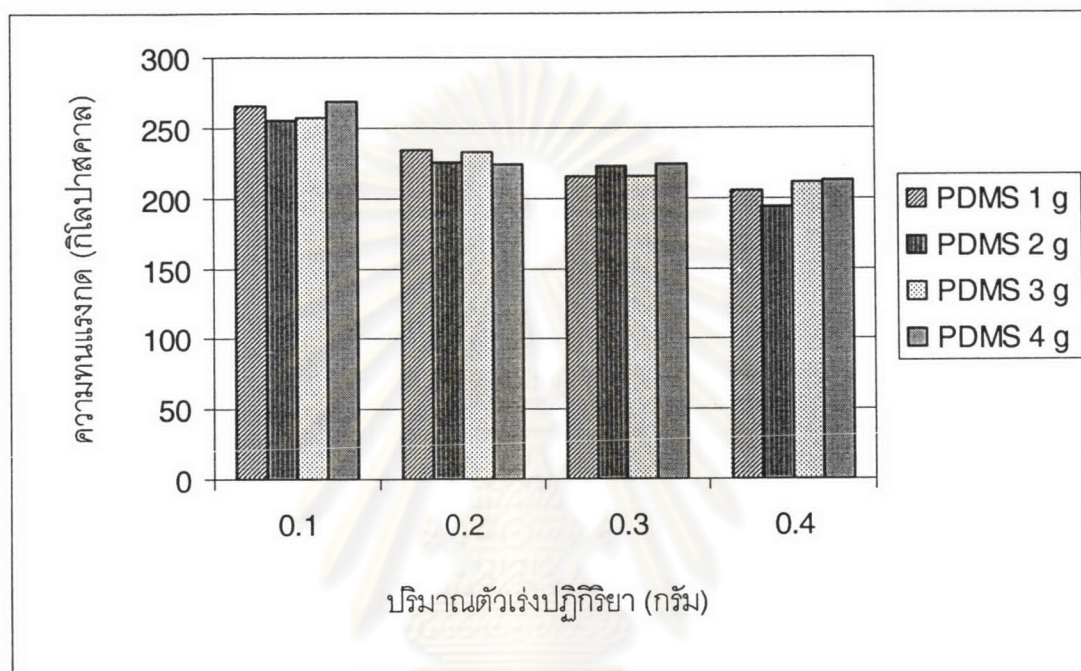
4.3.5 ความทนแรงกด

เมื่อนำโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้มาทดสอบความทนแรงกดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.15 โดยพบว่าโฟมมีความทนแรงกดอยู่ในช่วง 193.6 – 268.4 กิโลปาสคาล

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ทีปริมาณสารลดแรงดึงผิวเท่ากัน เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โฟมมีความทนแรงกดลดลง ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้องกับผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อความหนาแน่นของโฟม (ปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของโฟมจะลดลง) กล่าวคือความทนแรงกดของโฟมขึ้นกับความหนาแน่น [5] โดยเมื่อโฟมมีความหนาแน่นลดลง ทำให้เนื้อโฟม ต่อปริมาตรลดลง ดังนั้นความทนแรงกดจึงลดลง

นอกจากนี้จากผลการทดสอบลักษณะโครงสร้างเซลล์จากเทคนิค SEM ยังพบด้วยว่าเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ทำให้นังเซลล์หรือส่วนที่คล้ายกับเสาค้ำ (strut) ซึ่งทำหน้าที่รับแรงกดบางลง ดังนั้นความสามารถในการรับแรงของโฟมจึงลดลง

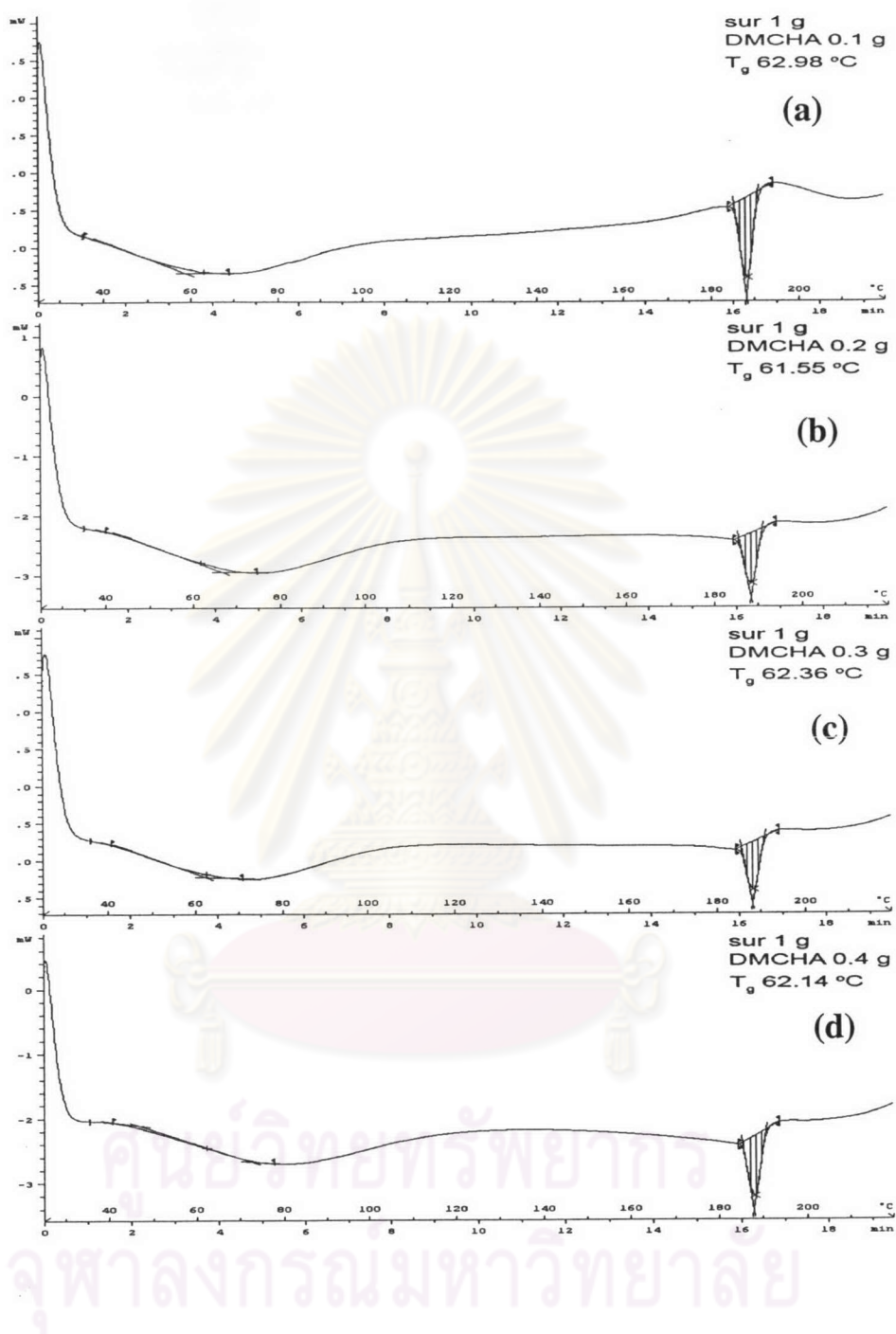
สำหรับผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความหนาแน่นของโฟม พบว่าเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น (ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากัน) ค่าความหนาแน่นของโฟมจะใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อความหนาแน่นของโฟมดังที่ได้กล่าวมาแล้ว (ความหนาแน่นของโฟมมีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว)



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทน

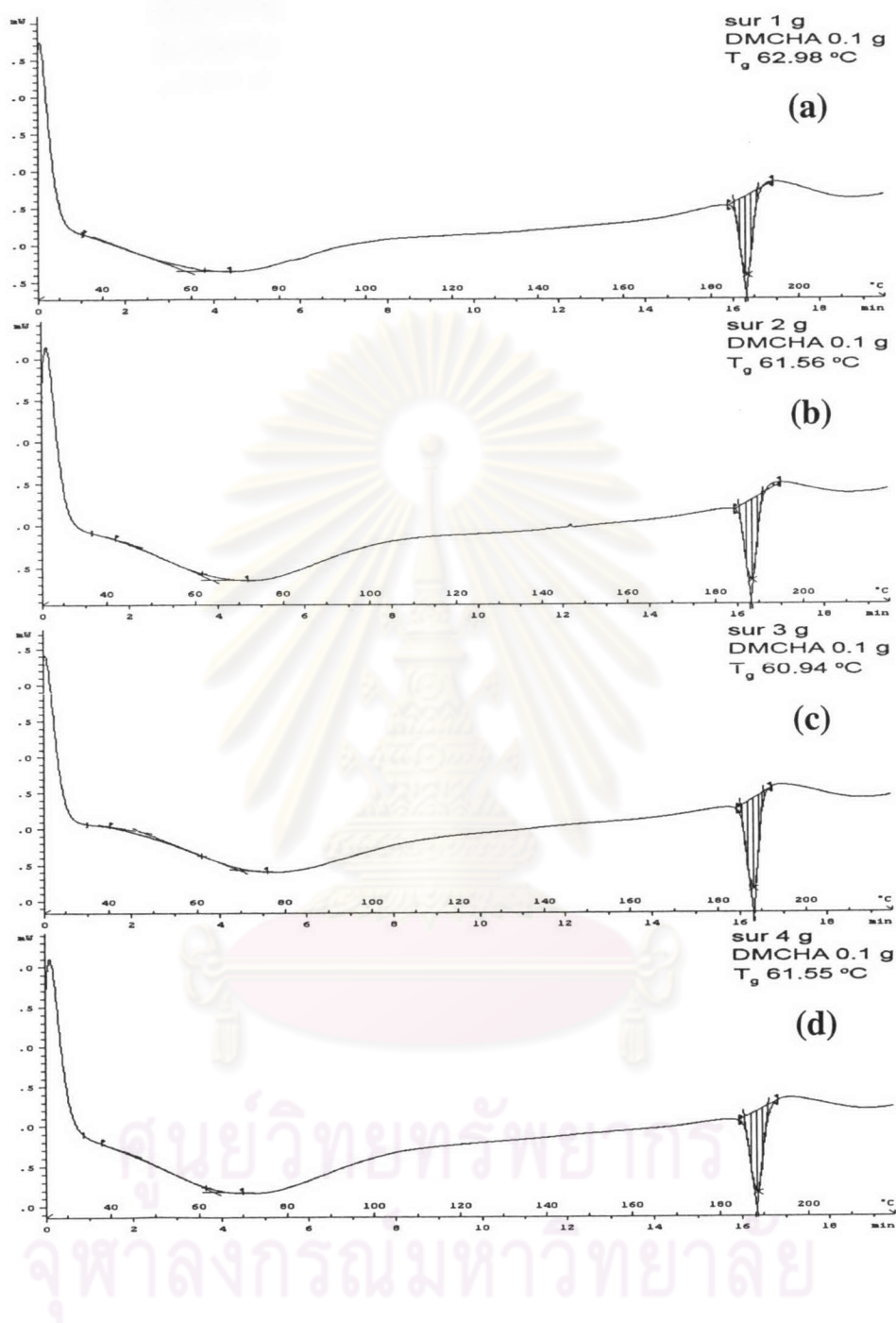
4.3.6 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

เมื่อนำโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้ไปตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17 โดยพบว่า โฟมที่เตรียมได้ทุกสูตรแสดงเทอร์โมแกรมในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือมีลักษณะเฉพาะทางความร้อนที่แสดงอุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน (T_g) ที่อุณหภูมิประมาณ 62°C และพบพีคแสดงปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic peak) ที่อุณหภูมิประมาณ 188°C ซึ่งคาดว่าเป็นพีคที่แสดงอุณหภูมิที่สารประกอบพอลิเมอริก MDI ที่ตกค้างอยู่เล็กน้อยเกิดการเดือดกลายเป็นไอ เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนกับโฟมอีกครั้งจากอุณหภูมิ $25\text{-}220^\circ\text{C}$ พบว่าเทอร์โมแกรม DSC มีลักษณะราบเรียบไม่ปรากฏพีคดังกล่าวอีกเลย ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโฟมด้วยเทคนิค FTIR ที่พบว่ายังมีหมู่ไอโซไซยาเนตเหลืออยู่เล็กน้อย



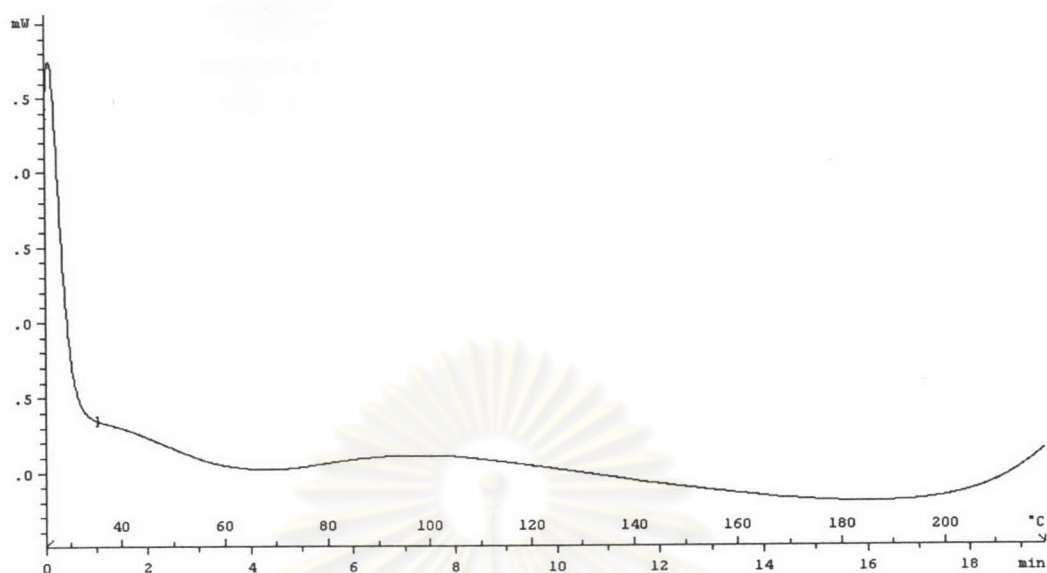
รูปที่ 4.16 เทอร์โมแกรมการศึกษสมบัติทางความร้อนของโพลิเมอร์ด้วยเทคนิค DSC

- (a) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัม
- (b) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 กรัม
- (c) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.3 กรัม
- (d) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม



รูปที่ 4.17 เทอร์โมแกรมการศึกษาสสมบัติทางความร้อนของโพลิเมอร์ด้วยเทคนิค DSC

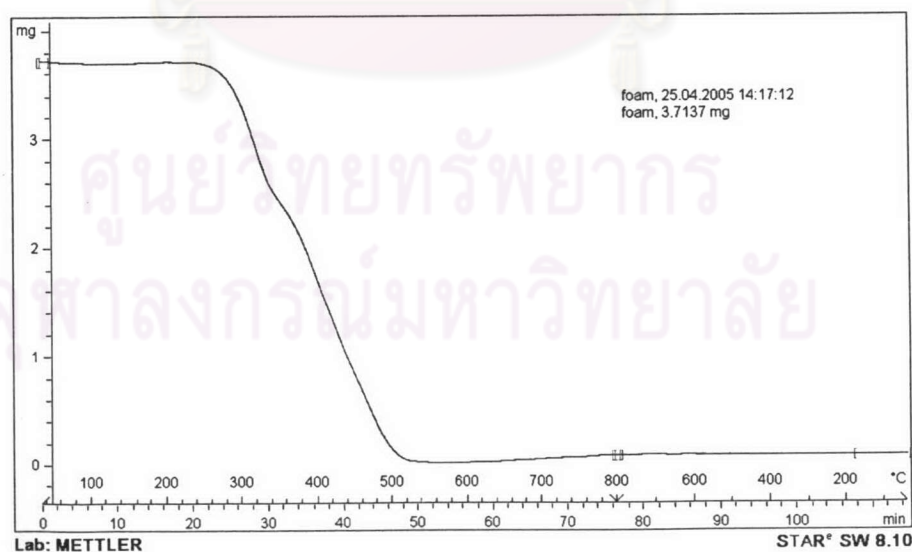
- (a) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1 กรัม
- (b) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 2 กรัม
- (c) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3 กรัม
- (d) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 4 กรัม



รูปที่ 4.18 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนของโฟมด้วยเทคนิค DSC เมื่อให้ความร้อนกับโฟมซ้ำอีกครั้ง

4.3.7 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA

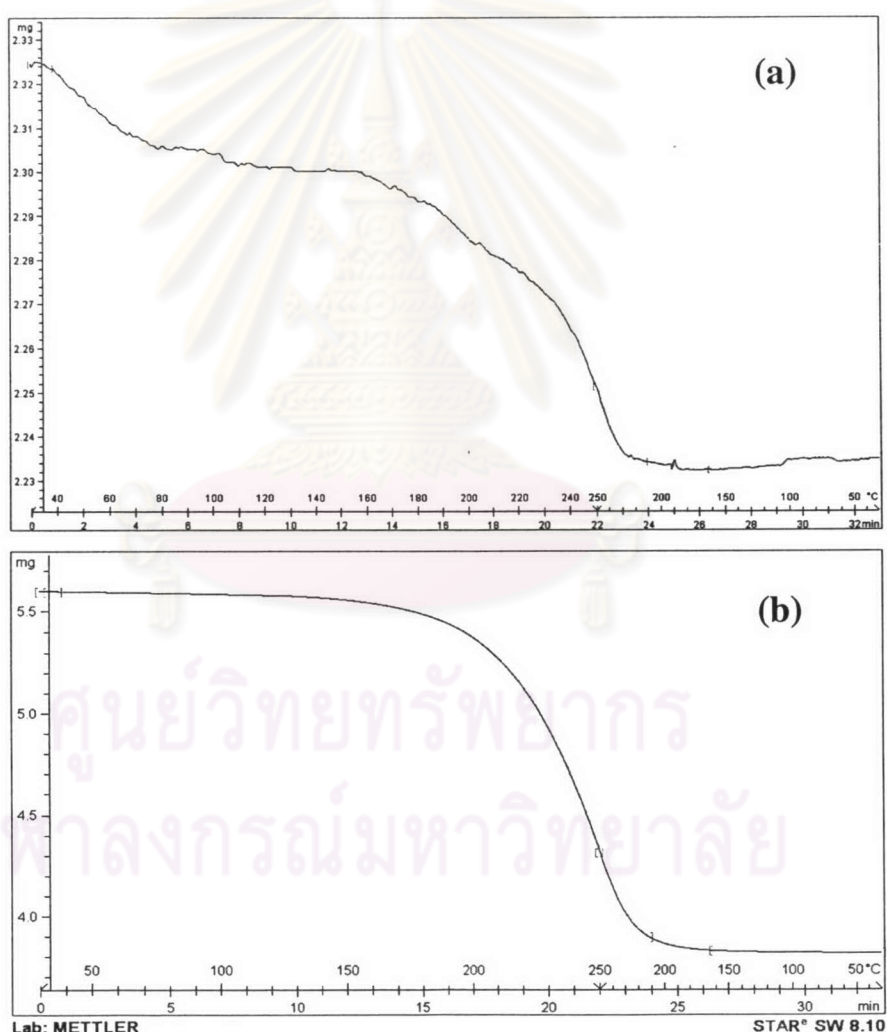
จากการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค TGA ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนของโฟมด้วยเทคนิค TGA

จาก TGA เทอร์โมแกรมพบว่าการสลายตัวของโฟมพอลิยูรีเทนมี 2 ขั้นตอน คือการสลายตัวเล็กน้อยในช่วงแรกที่อุณหภูมิประมาณ 285°C ซึ่งคาดว่าเป็นเทอร์โมแกรมของพอลิเมอริก MDI ที่ตกค้าง และช่วงที่สองซึ่งเป็นการสลายตัวของโฟมที่อุณหภูมิประมาณ 377°C จึงทำให้ทราบช่วงอุณหภูมิในการใช้งานของโฟมที่ได้จากน้ำมันปาล์ม

และเพื่อเป็นการยืนยันว่าการสลายตัวของโฟมในขั้นแรกเป็นการสลายตัวของพอลิเมอริก MDI จึงได้นำโฟมพอลิยูรีเทนและพอลิเมอริก MDI มาตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง $35\text{-}250^{\circ}\text{C}$ พบว่าทั้งโฟมพอลิยูรีเทนและพอลิเมอริก MDI แสดงเทอร์โมแกรมลักษณะเดียวกันคือ มีการสลายตัวในช่วงอุณหภูมิประมาณ 200°C ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA

(a) TGA เทอร์โมแกรมของโฟมพอลิยูรีเทน

(b) TGA เทอร์โมแกรมของพอลิเมอริก MDI