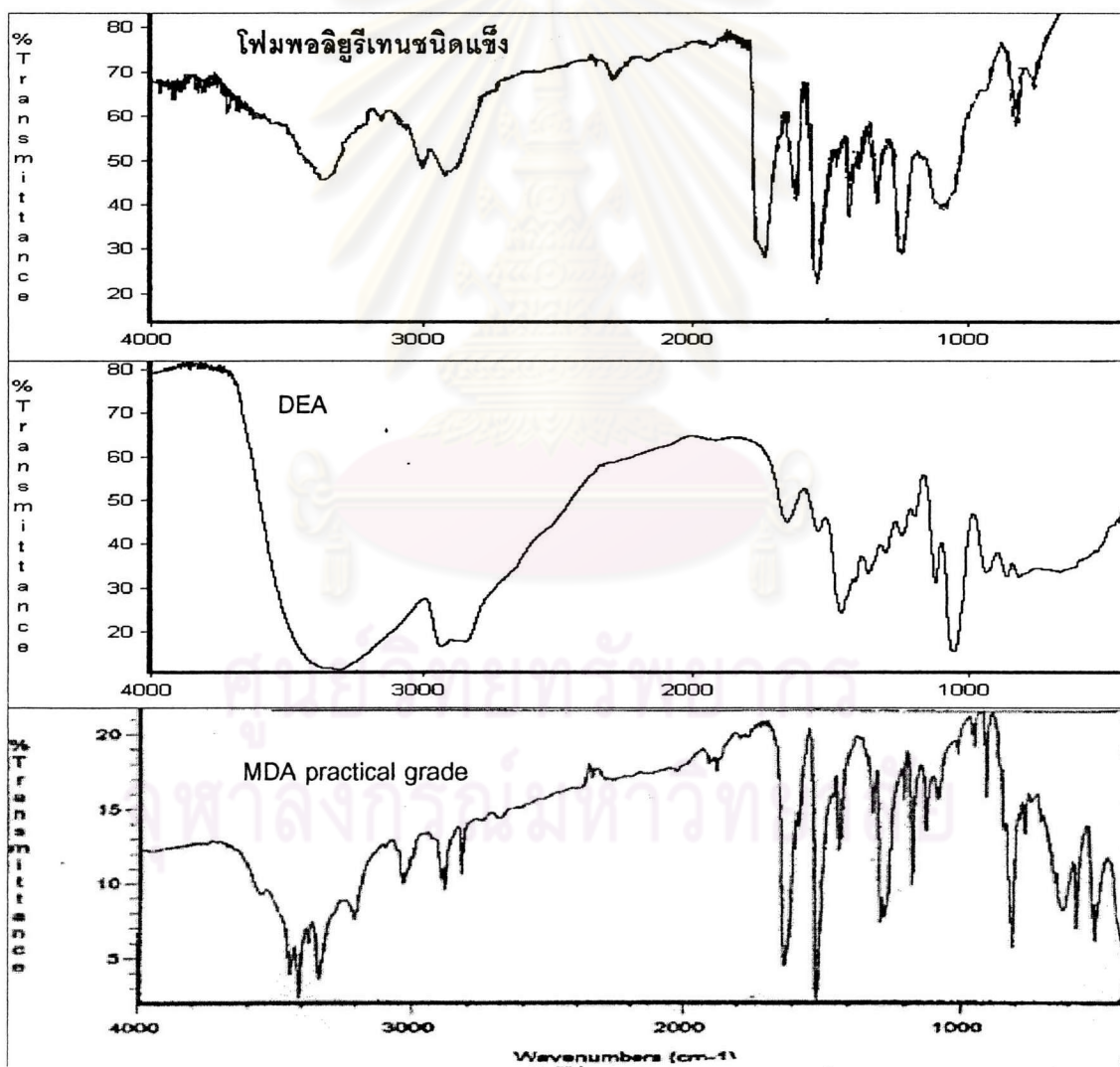


บทที่ 4

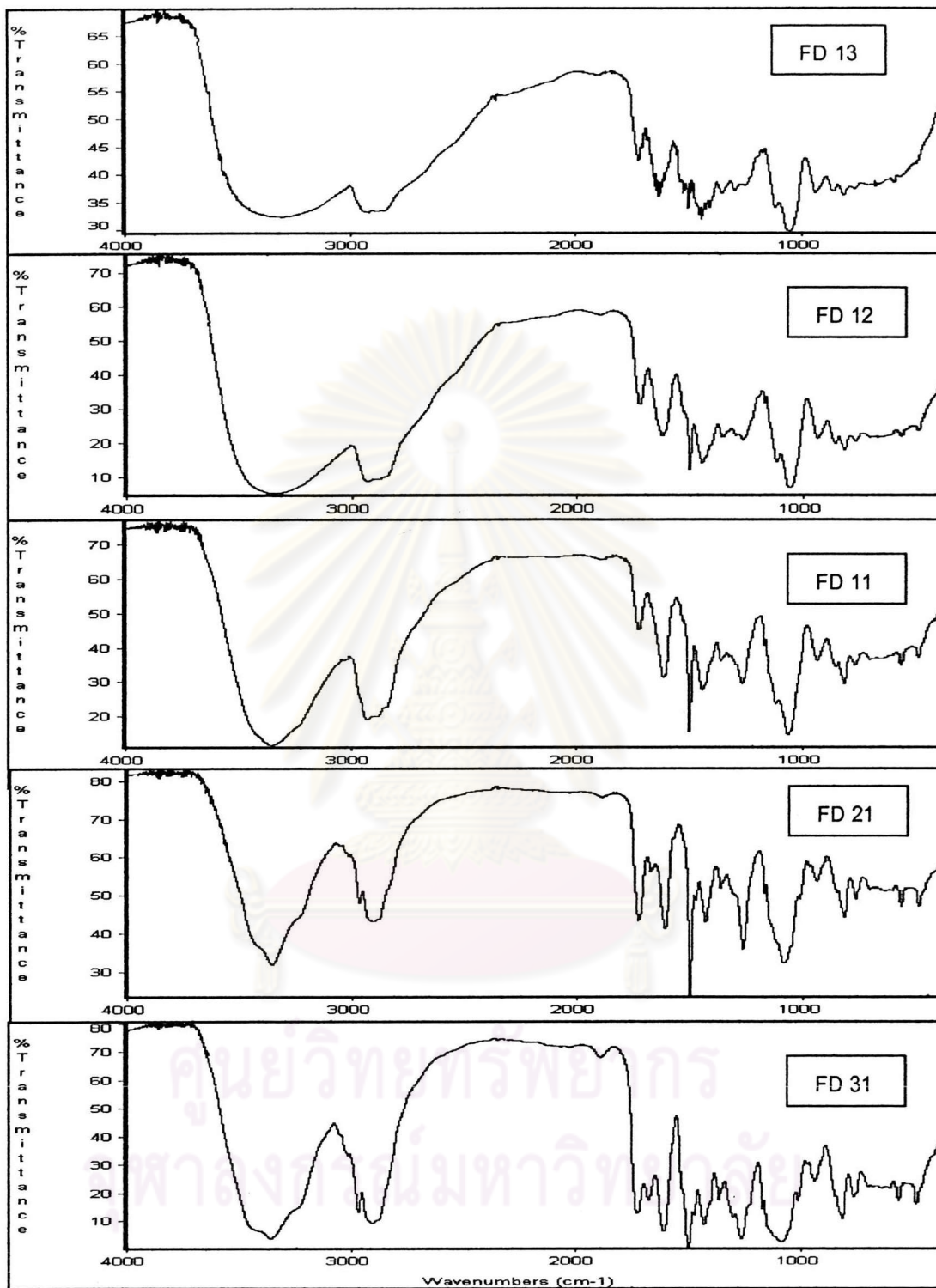
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมสารบ่มอีพอกซีจากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส

4.1.1 ผลการตรวจสอบโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง DEA MDA และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสโดยเทคนิค FT-IR แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง DEA และ MDA ชนิด practical grade

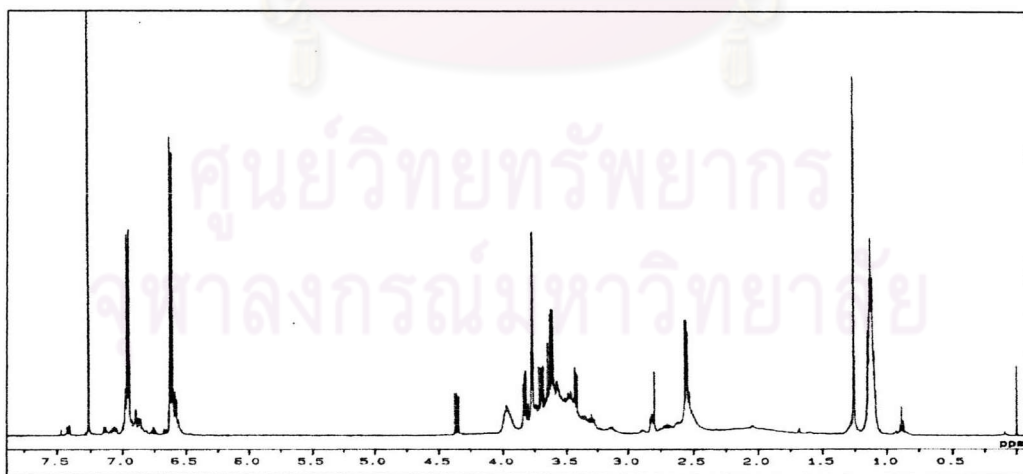


รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษไหมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส

จาก FT-IR สเปกตรัมของโฟมพอลิยูรีเทน DEA และ MDA ชนิด practical grade ในรูปที่ 4.1 และ FT-IR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสในรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแสดงพีกที่ wavenumber 1654 cm^{-1} เช่นเดียวกับสเปกตรัมของ MDA ในรูปที่ 4.1 ซึ่งน่าจะเป็น NH bending ของเอมีนปฐมภูมิที่เกิดจากการย่อยสลายพันธะยูรีเทนและยูเรีย นอกจากนี้ ยังแสดงพีกที่มีลักษณะกว้าง ณ wavenumber 3300 cm^{-1} ซึ่งน่าจะเป็น OH stretching ของหมู่ไฮดรอกซิลในสารประกอบพอลิอลและ DEA ที่เหลืออยู่ ซึ่งพีกนี้จะมีลักษณะแคบมากขึ้น เมื่อปริมาณโฟมเพิ่มมากขึ้น นั่นแสดงถึงการมีปริมาณ NH มากกว่า OH ในระบบ

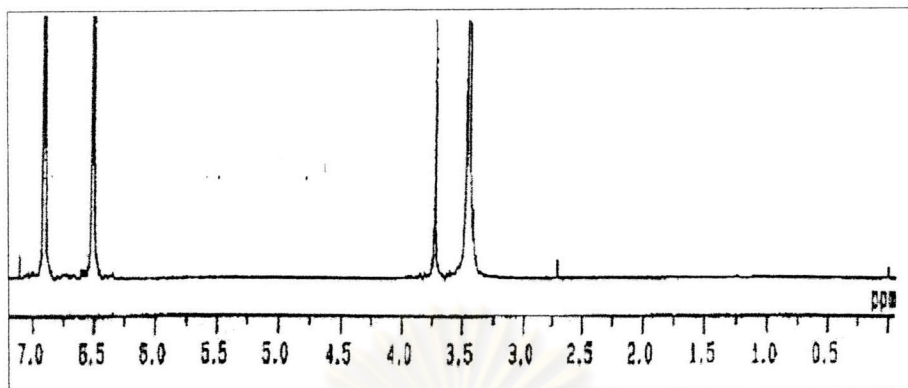
เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งในรูปที่ 4.2 กับสเปกตรัมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งในรูปที่ 4.1 พบว่าพีกที่ wavenumber 820 cm^{-1} และที่ 1600 cm^{-1} ของวงเบนซีนในพอลิยูรีเทนยังคงอยู่ และพีกที่ wavenumber 1730 cm^{-1} แสดงหมู่คาร์บอนิลที่มีในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้น จากการตรวจสอบด้วยเทคนิค FT-IR สามารถสันนิษฐานได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายน่าจะเป็นสารประกอบอะโรมาติกเอมีนและพอลิอล ซึ่งสามารถยืนยันได้แน่นอนขึ้นเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NMR ต่อไป

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส (FD11) โดยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ สเปกโทรสโกปี แสดงไว้ในรูปที่ 4.3

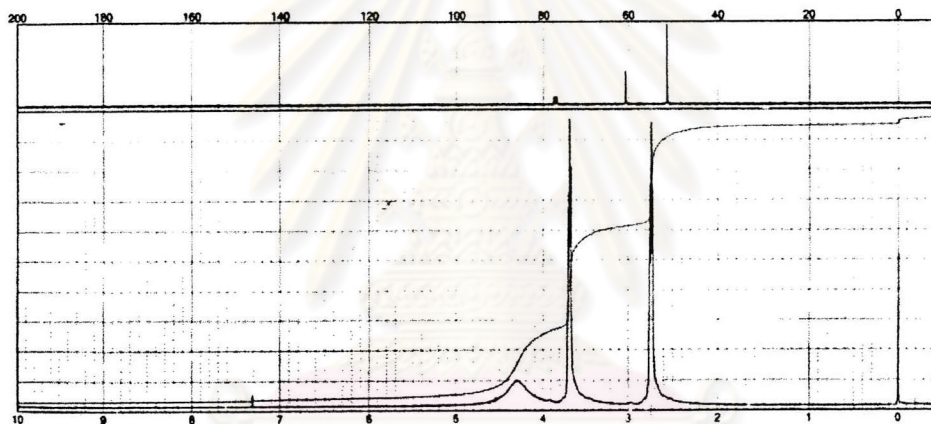


รูปที่ 4.3 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ FD11

รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ MDA และ DEA ตามลำดับ

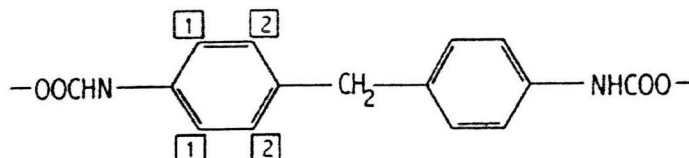


รูปที่ 4.4 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ MDA จากงานวิจัยที่ผ่านมา [22]



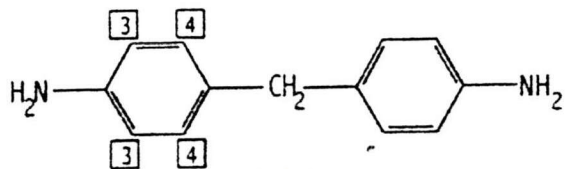
รูปที่ 4.5 $^1\text{H-NMR}$ (ล่าง) และ $^{13}\text{C-NMR}$ (บน) สเปกตรัมมาตรฐานของ DEA [33]

รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งของโปรตอนในวงเบนซีนของโคมพอลิยูรีเทน ซึ่งถ้าวิเคราะห์โดยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ จะปรากฏ chemical shift (δ) ที่ตำแหน่งประมาณ 7.05 ppm และ 7.20 ppm [17]



รูปที่ 4.6 โครงสร้างของโคมพอลิยูรีเทน [17]

รูปที่ 4.7 แสดงตำแหน่งของโปรตอนในวงเบนซีนของ MDA มาตรฐาน ซึ่งถ้าวิเคราะห์โดยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ จะแสดง δ ที่ตำแหน่งประมาณ 6.60 ppm และ 6.95 ppm [17]

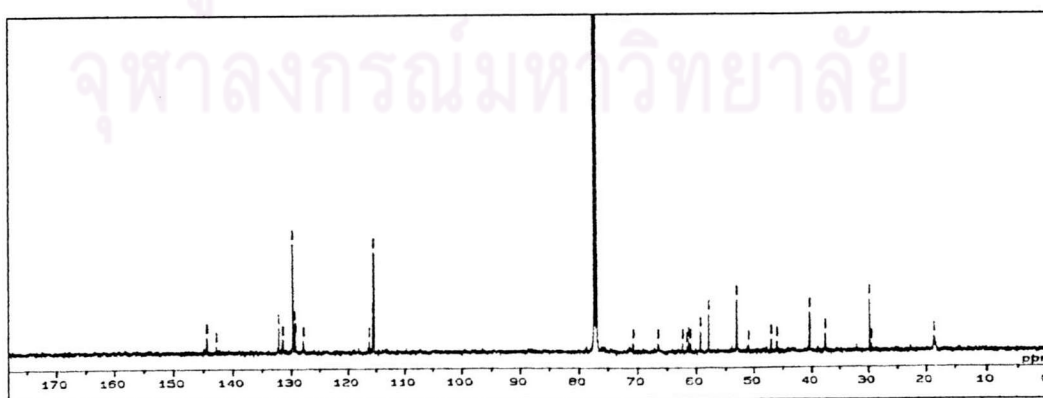


รูปที่ 4.7 โครงสร้างของ MDA มาตรฐาน [17]

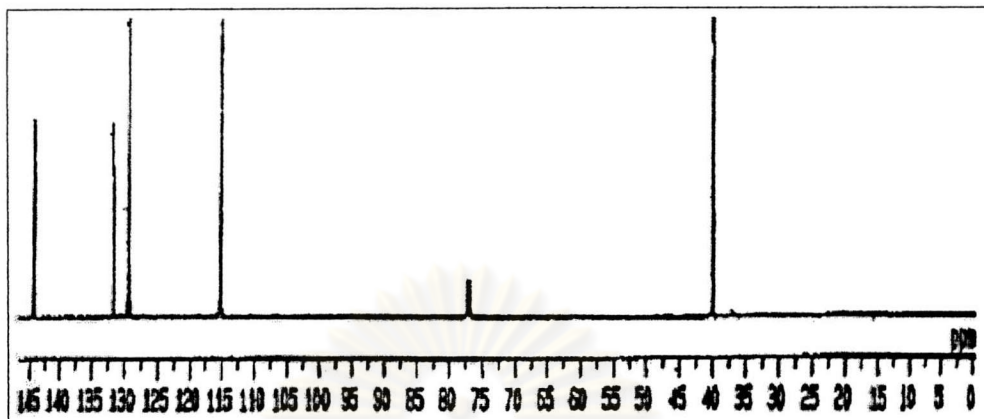
เมื่อพิจารณา $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม ในรูปที่ 4.3 เปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ MDA ที่ได้ในรูปที่ 4.4 จะพบ δ ที่ตำแหน่ง 6.60 และ 6.95 ppm ซึ่งแสดงตำแหน่งของโปรตอนในวงแหวนอะโรมาติกของ MDA และที่ตำแหน่ง 3.45 และ 3.75 ppm จะแสดงโปรตอนของหมู่เอมีนใน MDA พร้อมกันนี้ ยังพบ δ ที่ตำแหน่ง 1.125 และ 1.25 ppm แสดงถึงโปรตอนของหมู่เมทิลีนในสารประกอบพอลิออกอลของเอมีนทุติยภูมิในผลิตภัณฑ์อีกด้วย

นอกจากนี้ δ ที่ตำแหน่ง 7.05 และ 7.20 ppm บ่งชี้ถึงโปรตอนของวงแหวนอะโรมาติกที่ต่อกับพันธะยูรีเทนที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาตรฐานของ DEA ในรูปที่ 4.5 จะพบ δ ที่ 3.7 และ 2.7 ppm แสดงว่ามี DEA ที่เหลืออยู่เช่นกัน

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส (FD11) โดยเทคนิค $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกโทรสโกปี แสดงไว้ในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัมของ FD11

รูปที่ 4.9 แสดง ^{13}C NMR สเปกตรัมของ MDAรูปที่ 4.9 ^{13}C -NMR สเปกตรัมของ MDA จากงานวิจัยที่ผ่านมา [33]

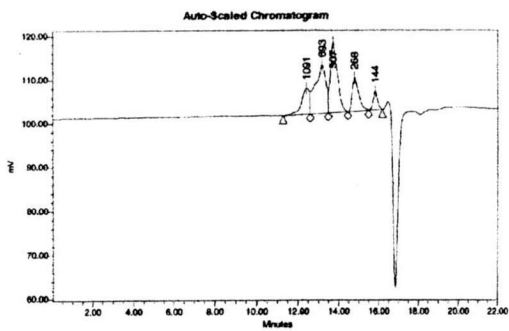
เมื่อพิจารณา ^{13}C -NMR สเปกตรัม ในรูปที่ 4.8 เปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ MDA ที่ได้ในรูปที่ 4.9 จะพบ δ ที่ตำแหน่ง 114.5 และ 129 ppm ซึ่งแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในวงแหวนอะโรมาติกของ MDA และที่ตำแหน่ง 40, 131.5 และ 145 ppm จะแสดงคาร์บอนของหมู่เอมีนใน MDA พร้อมกันนี้ยังพบ δ ที่ตำแหน่ง 30 และ 40 ppm แสดงถึงคาร์บอนของหมู่เมทิลีนในสารพอลิออกอลของเอมีนทุติยภูมิในผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ δ ที่ตำแหน่ง 118.5 และ 128 ppm บ่งชี้ถึงคาร์บอนของวงแหวนอะโรมาติกที่ต่อกับพันธะยูรีเทนที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาตรฐานของ DEA ในรูปที่ 4.5 จะพบ δ ที่ 50.5 และ 60 ppm แสดงว่ามี DEA ที่หลงเหลืออยู่เช่นกัน

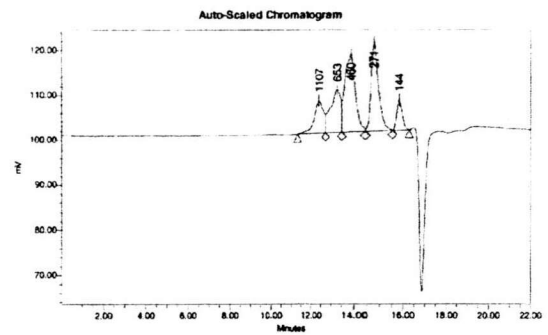
จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และ NMR แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสมีองค์ประกอบหลักๆ คือ MDA พอลิออกอล และมี DEA หลงเหลืออยู่

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสโดยเทคนิค GPC แสดงไว้ในรูปที่ 4.10

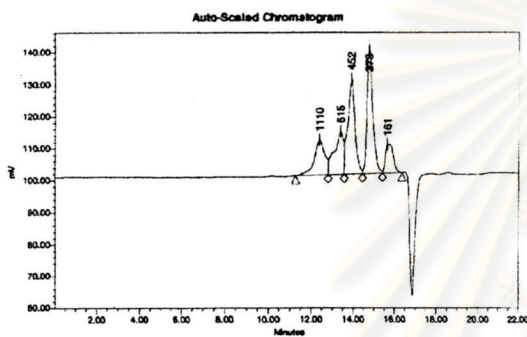
FD 13



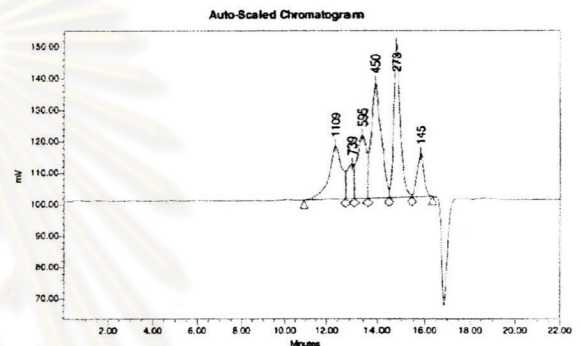
FD 12



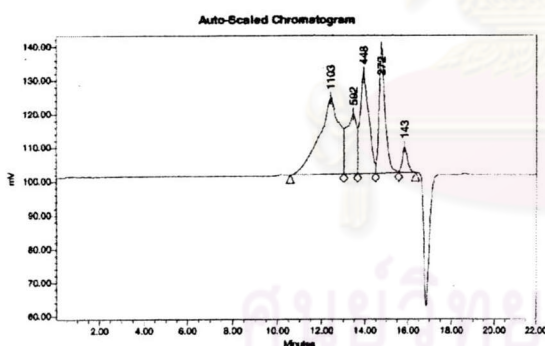
FD 11



FD 21



FD 31

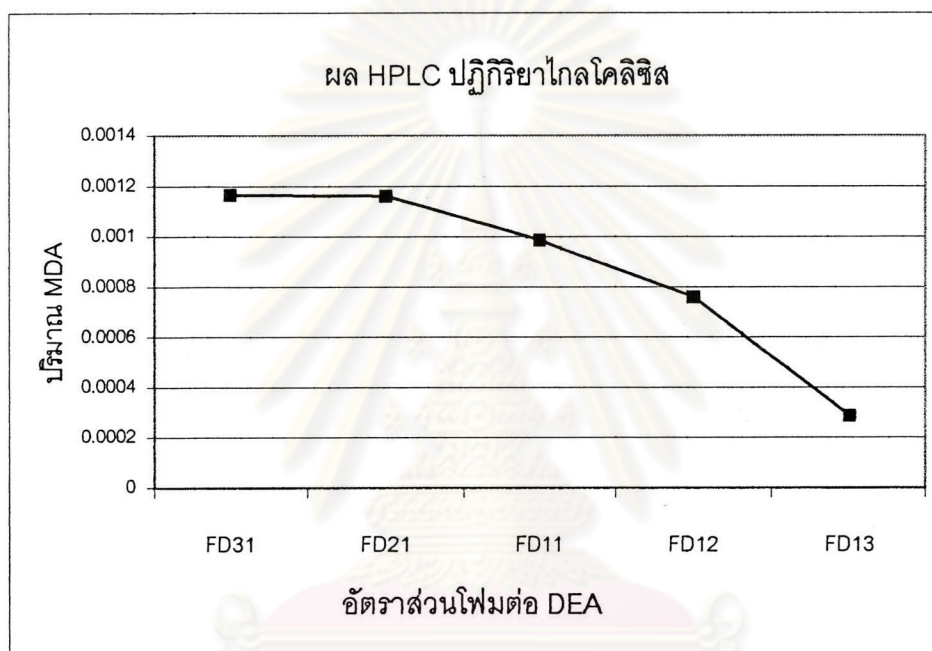


รูปที่ 4.10 GPC โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโพลิเอทิลีนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส

จาก GPC โครมาโทแกรม ในรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน โดยมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 143-1110 กรัม/โมล ซึ่งแสดงว่ามีการย่อยสลายโพลิเอทิลีนได้เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง เมื่อพิจารณาความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากมากไปน้อย คือ FD31, FD21, FD11, FD12 และ FD 13 ตามลำดับ จะแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณโพลิเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น และในช่วง

น้ำหนักโมเลกุล 143-161 ของแต่ละสูตรแสดงถึง DEA ที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อีกด้วย (ทั้งนี้น้ำหนักโมเลกุลที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนจากน้ำหนักโมเลกุลจริงของ DEA เล็กน้อย เนื่องมาจากการซ้อนกันของฐานฟีก จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการกำหนดพื้นที่ใต้ฟีกสำหรับการคำนวณ)

4.1.5 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอทิลีนเทรนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสโดยเทคนิค HPLC เพื่อหาปริมาณ MDA ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ แสดงไว้ในรูปที่ 4.11

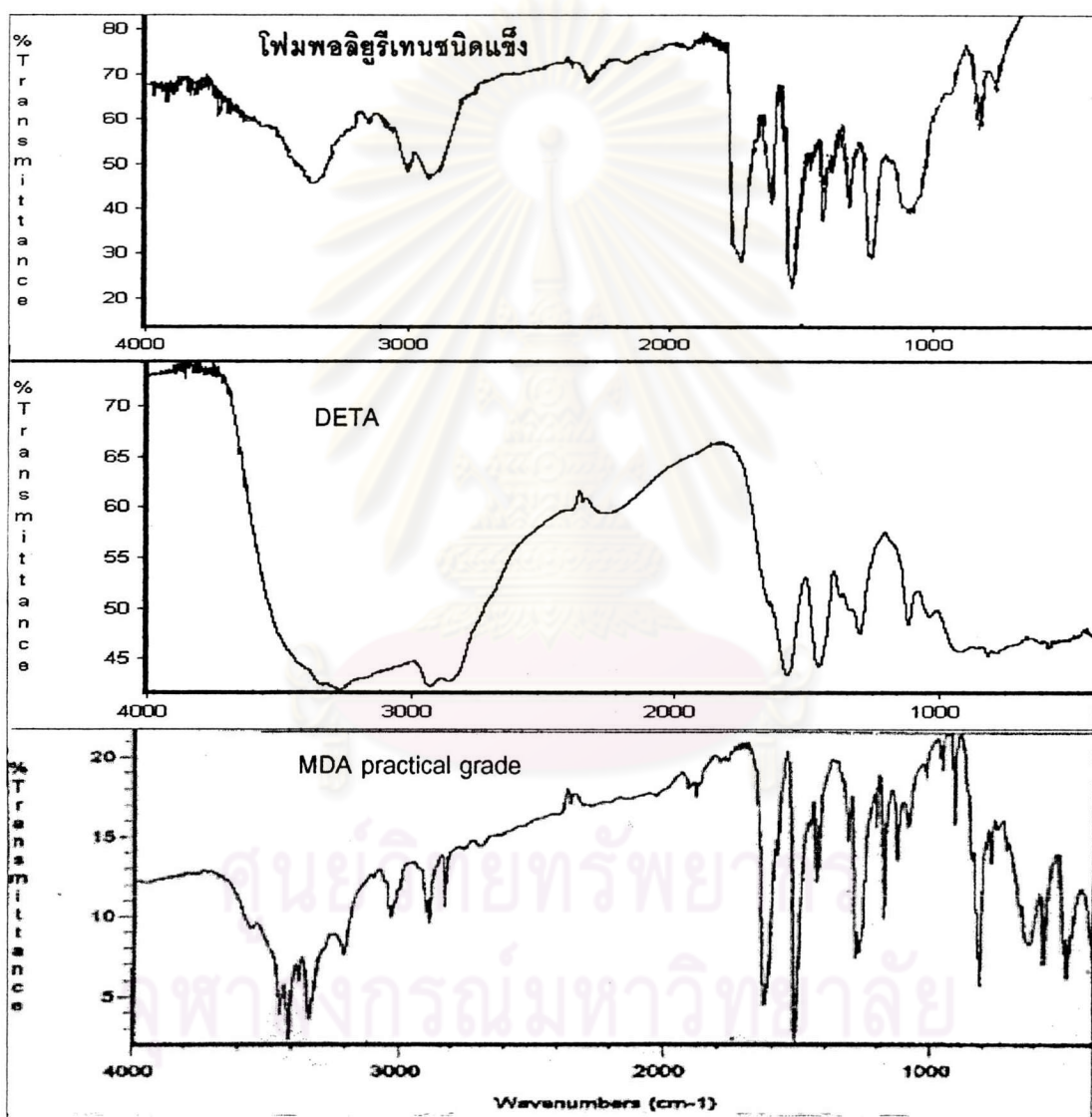


รูปที่ 4.11 ปริมาณ MDA ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอทิลีนเทรนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส

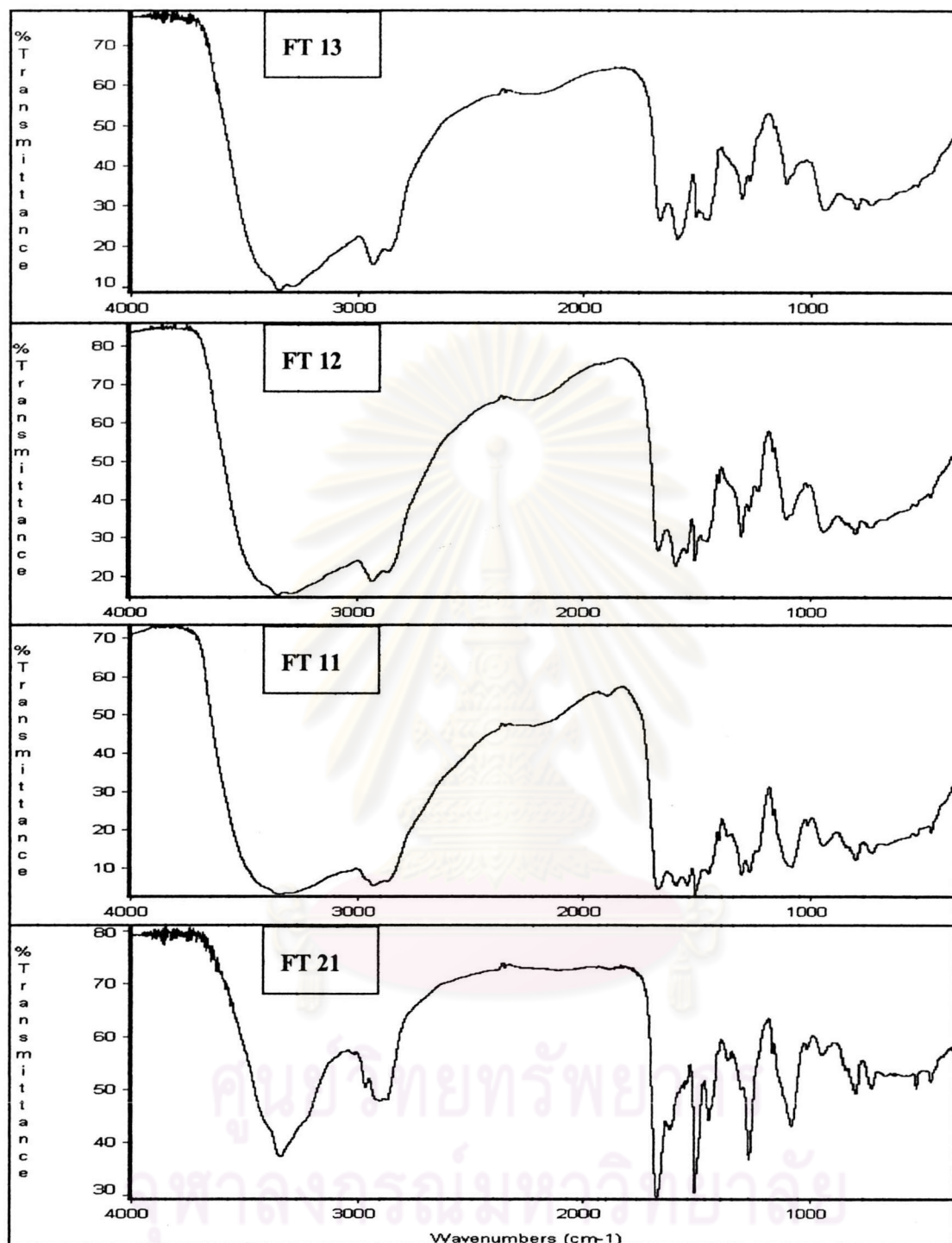
จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าปริมาณ MDA ที่ได้เพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณโพลีเอทิลีนเทรนที่ใช้สูงขึ้น อาจเนื่องมาจาก MDA ที่เกิดขึ้นสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นที่เกิดขึ้นจากผลของการย่อยสลาย ทำให้ MDA มีปริมาณลดน้อยลง ซึ่งจากงานวิจัยของ Machado และคณะ [32] แสดงให้เห็นว่า MDA ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายโพลีเอทิลีนเทรนด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสสามารถทำปฏิกิริยากับโพธิ์สั่นออกไซด์ที่เกิดระหว่างการย่อยสลายได้ และสามารถเร่งปฏิกิริยาให้ดีขึ้นถ้ามีการเติมเอทิลีนไกลคอลลงไปช่วยทำปฏิกิริยาด้วย ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าถ้าการย่อยสลายยังเกิดขึ้นได้สมบูรณ์เท่าไรก็จะทำให้ MDA ที่เกิดขึ้นสามารถสลายตัวหรือเปลี่ยนรูปไปได้ด้วยการเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีชนิดอื่นที่ปนอยู่หรืออาจเกิดในสภาวะที่มีความเป็นเบสมาก

4.2 การเตรียมสารบ่มอีพอกซีจากการย่อยสลายเศษโพลีเอทิลีนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส

4.2.1 ผลการตรวจสอบโพลีเอทิลีนชนิดแข็ง DETA MDA ชนิด practical grade และผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายเศษโพลีเอทิลีนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสโดยใช้เทคนิค FT-IR แสดงไว้ในรูปที่ 4.12 และ 4.13



รูปที่ 4.12 FT-IR สเปกตรัมของโพลีเอทิลีนชนิดแข็ง DETA และ MDA ชนิด practical grade



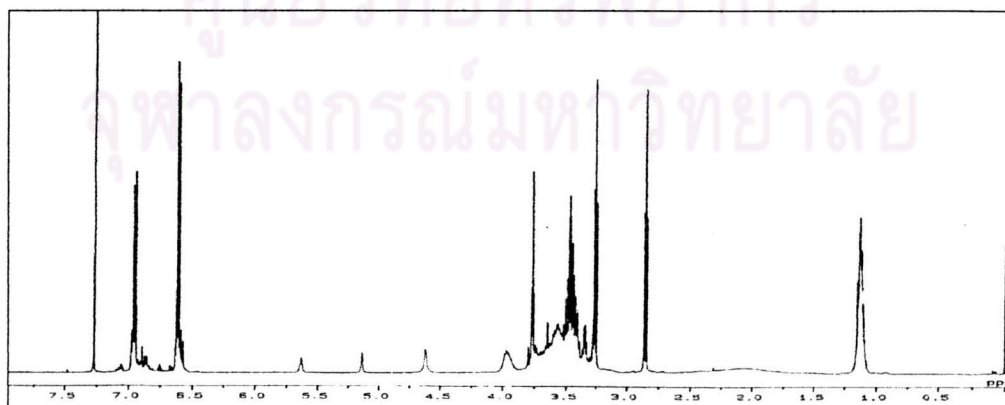
รูปที่ 4.13 FT-IR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส

จาก FT-IR สเปกตรัมของโพลีเอทิลีนไดอะมีน DEA และ MDA ชนิด practical grade ในรูปที่ 4.12 และ FT-IR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอทิลีนไดอะมีนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสในรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแสดงพีกที่ wavenumber 1654 cm^{-1} ซึ่งน่าจะเป็น NH bending ของเอมีนปฐมภูมิที่เกิดจากการย่อยสลายพันธะยูรีเทนและยูเรีย เช่นเดียวกับสเปกตรัมของ MDA ในรูปที่ 4.12 นอกจากนี้ยังแสดงพีกที่มีลักษณะกว้าง ณ. wavenumber 3300 cm^{-1} ซึ่งน่าจะเป็น OH stretching ของหมู่ไฮดรอกซิลในสารประกอบพอลิออล ซึ่งพีกนี้จะมีลักษณะแคบมากขึ้น เมื่อปริมาณโพลีเอทิลีนไดอะมีนเพิ่มขึ้น นั่นแสดงถึงการมีปริมาณ NH มากกว่า OH ในระบบ

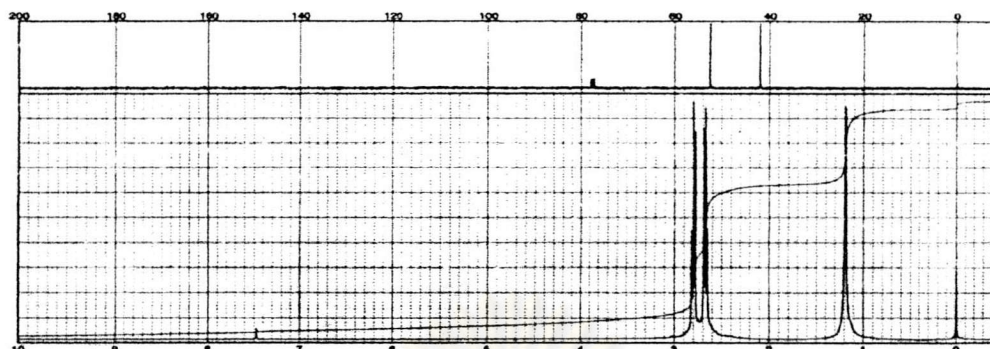
เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอทิลีนไดอะมีนชนิดแข็งในรูปที่ 4.13 กับสเปกตรัมของโพลีเอทิลีนไดอะมีนชนิดแข็งในรูปที่ 4.12 พบว่าพีกที่ wavenumber 820 cm^{-1} และที่ 1600 cm^{-1} ของวงเบนซีนในโพลีเอทิลีนไดอะมีนยังคงอยู่ และพีกที่ wavenumber 1730 cm^{-1} แสดงหมู่คาร์บอนิลที่มีในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้น จากการตรวจสอบด้วยเทคนิค FT-IR สามารถสันนิษฐานได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายน่าจะเป็นสารประกอบอะโรมาติกเอมีนและพอลิออล ซึ่งสามารถยืนยันได้แน่นอนขึ้นเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NMR ต่อไป

นอกจากนี้ ในการย่อยสลายโพลีเอทิลีนไดอะมีนด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสยังพบว่า ณ. อัตราส่วนของโพลีเอทิลีนไดอะมีน/DETA เท่ากับ 3/1 ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของแข็งเปราะ ไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารบ่มได้ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ DETA มีน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโพลีเอทิลีนไดอะมีน จึงทำให้ไม่สามารถย่อยสลายโพลีเอทิลีนไดอะมีนได้สมบูรณ์ ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงเป็นโอลิโกเมอร์ของโพลีเอทิลีนไดอะมีน

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอทิลีนไดอะมีนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส (FT21) โดยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ สเปกโทรสโกปี แสดงไว้ในรูปที่ 4.14



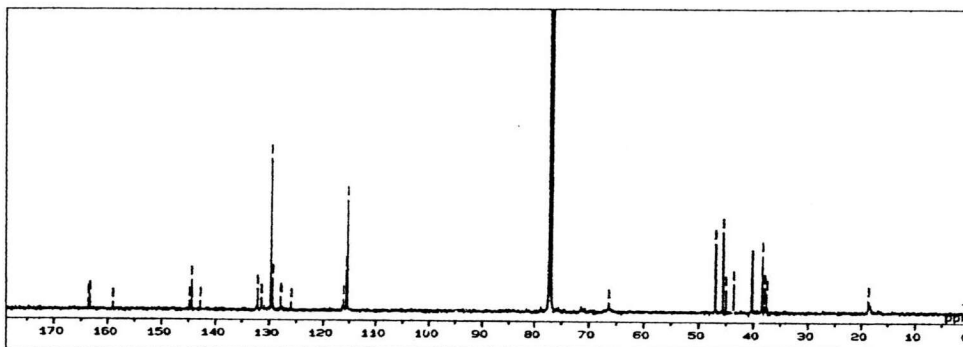
รูปที่ 4.14 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของ FT 21

รูปที่ 4.15 แสดง ^1H NMR สเปกตรัมมาตรฐานของ DETAรูปที่ 4.15 ^1H -NMR (ล่าง) และ ^{13}C -NMR (บน) สเปกตรัมมาตรฐานของ DETA [33]

เมื่อพิจารณา ^1H -NMR สเปกตรัม ในรูปที่ 4.14 เปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ MDA ที่ได้ในรูปที่ 4.4 จะพบ δ ที่ตำแหน่ง 6.60 และ 6.95 ppm ซึ่งแสดงตำแหน่งของโปรตอนในวงแหวนอะโรมาติกของ MDA และที่ตำแหน่ง 3.45 และ 3.75 ppm จะแสดงโปรตอนของหมู่เอมีนใน MDA พร้อมกันนี้ ยังพบ δ ที่ตำแหน่ง 1.125 และ 1.25 ppm แสดงถึงโปรตอนของหมู่เมทิลีนในสารพอลิออลของเอมีนทุติยภูมิในผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ δ ที่ตำแหน่ง 7.05 และ 7.20 ppm บ่งชี้ถึงโปรตอนของวงแหวนอะโรมาติกที่ต่อกับพันธะยูรีเทนที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส และเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ DETA มาตรฐานในรูป 4.15 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายไม่มีองค์ประกอบของ DETA ที่เหลืออยู่ ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GPC ต่อไป

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส (FT21) โดยเทคนิค ^{13}C -NMR สเปกโทรสโกปี แสดงไว้ในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ^{13}C -NMR สเปกตรัมของ FT 21

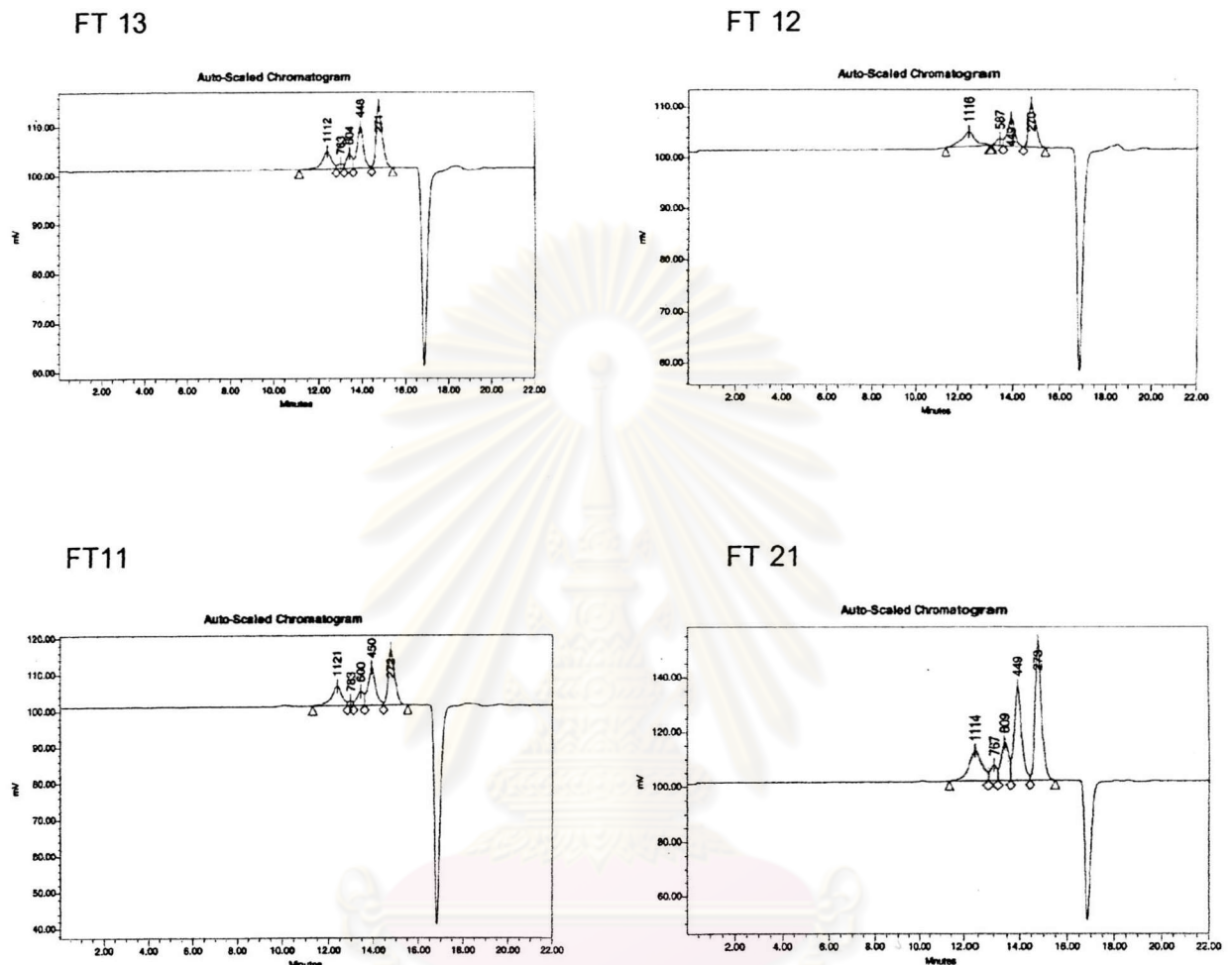
เมื่อพิจารณา ^{13}C -NMR สเปกตรัม ในรูปที่ 4.16 เปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ MDA ที่ได้ในรูปที่ 4.9 จะพบ δ ที่ตำแหน่ง 114.5 และ 129 ppm ซึ่งแสดงตำแหน่งของคาร์บอนในวงแหวนอะโรมาติกของ MDA และที่ตำแหน่ง 40, 131.5 และ 145 ppm จะแสดงคาร์บอนของหมู่เอมีนใน MDA พร้อมกันนี้ยังพบ δ ที่ตำแหน่ง 30 และ 40 ppm แสดงถึงคาร์บอนของหมู่เมทิลีนในสารพอลิออกของเอมีนทุติยภูมิในผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ δ ที่ตำแหน่ง 118.5 และ 128 ppm บ่งชี้ถึงคาร์บอนของวงแหวนอะโรมาติกที่ต่อกับพันธะยูรีเทนที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และ NMR แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสมีองค์ประกอบหลักๆ คือ MDA และพอลิออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

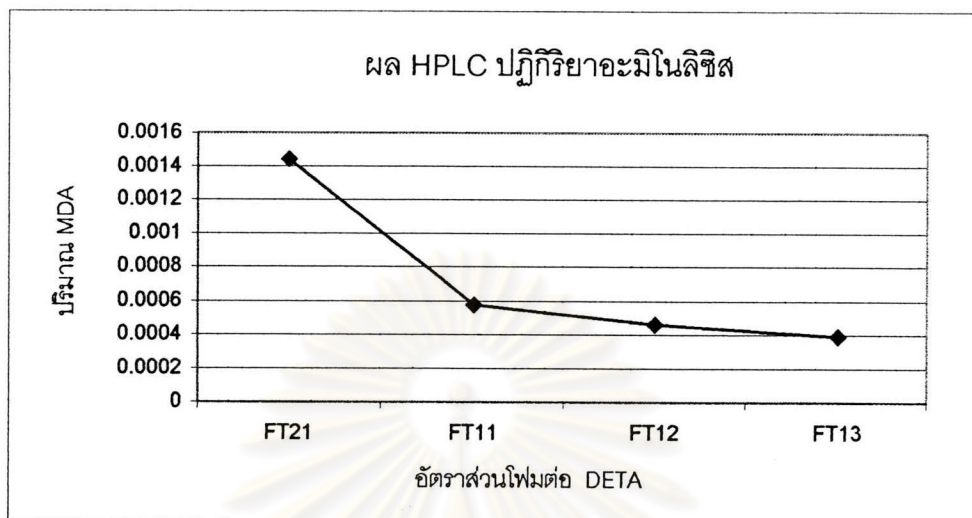
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโพลิเมอร์ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสโดยเทคนิค GPC แสดงไว้ในรูป 4.17



รูปที่ 4.17 GPC โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายโพลิเมอร์ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส

จาก GPC โครมาโทแกรม ในรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน โดยมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 270 -1110 กรัม/โมล ซึ่งแสดงว่ามีการย่อยสลายโพลิเมอร์ได้เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง ทั้งนี้เมื่อปริมาณโพลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นจะได้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มมากขึ้น และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GPC จะสามารถยืนยันได้ว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มี DETA เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย เนื่องจากไม่ปรากฏพีกของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ประมาณ 103 ซึ่งเป็นของ DETA

4.2.5 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโพลีพอลิยูรีเทนด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสโดยเทคนิค HPLC เพื่อหาปริมาณ MDA ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์แสดงไว้ในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ปริมาณ MDA ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโพลีพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส

จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าปริมาณ MDA ที่ได้เพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณโพลีที่ใช้สูงขึ้น อาจเนื่องมาจาก MDA ที่เกิดขึ้นสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นที่เกิดจากผลของการย่อยสลายทำให้ MDA มีปริมาณลดน้อยลง ซึ่งจากงานวิจัยของ Machado และคณะ [32] แสดงให้เห็นว่า MDA ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายโพลีพอลิยูรีเทนด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิสสามารถทำปฏิกิริยากับ โพรพิลีนออกไซด์ที่เกิดระหว่างการย่อยสลายได้ และสามารถเร่งปฏิกิริยาให้ดีขึ้นถ้ามีการเติมเอทิลีนไกลคอลลงไปช่วยทำปฏิกิริยาด้วย ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าถ้าการย่อยสลายยังเกิดขึ้นได้สมบูรณ์เท่าไรก็จะทำให้ MDA ที่เกิดขึ้นสามารถสลายตัวหรือเปลี่ยนรูปไปได้ด้วยการเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีชนิดอื่นที่ปนอยู่หรืออาจเกิดในสภาวะที่มีความเป็นเบสมากดังเช่นในปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสเช่นกัน

4.3 การทดสอบอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทน

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารบ่ม/อิพอกซีเรซินที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อใช้ทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อน

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารบ่ม/อิพอกซีเรซิน

สารบ่ม	อิพอกซีเรซิน
1	1
1	4
1	6
1	10

เมื่อใช้สารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส มาบ่มอิพอกซีเรซินตามอัตราส่วนในตารางที่ 4.1 จะได้ชิ้นงานออกมาทั้งหมด 24 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 สูตรชิ้นงานที่ใช้สารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทน
ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส

สูตร	สารบ่ม						อิพอกซี เรซิน
	FD15	FD13	FD12	FD11	FD21	FD31	
FDGE1511	1	-	-	-	-	-	1
FDGE1514	1	-	-	-	-	-	4
FDGE1516	1	-	-	-	-	-	6
FDGE15110	1	-	-	-	-	-	10
FDGE1311	-	1	-	-	-	-	1
FDGE1314	-	1	-	-	-	-	4
FDGE1316	-	1	-	-	-	-	6
FDGE13110	-	1	-	-	-	-	10
FDGE1211	-	-	1	-	-	-	1
FDGE1214	-	-	1	-	-	-	4
FDGE1216	-	-	1	-	-	-	6
FDGE12110	-	-	1	-	-	-	10
FDGE1111	-	-	-	1	-	-	1
FDGE1114	-	-	-	1	-	-	4
FDGE1116	-	-	-	1	-	-	6
FDGE11110	-	-	-	1	-	-	10
FDGE2111	-	-	-	-	1	-	1
FDGE2114	-	-	-	-	1	-	4
FDGE2116	-	-	-	-	1	-	6
FDGE21110	-	-	-	-	1	-	10
FDGE3111	-	-	-	-	-	1	1
FDGE3114	-	-	-	-	-	1	4
FDGE3116	-	-	-	-	-	1	6
FDGE31110	-	-	-	-	-	1	10

เมื่อใช้สารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายฟิโอมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส มาทำการบ่มอิพอกซีเรซินตามอัตราส่วนในตารางที่ 4.1 จะได้ชิ้นงานออกมาทั้งหมด 20 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สูตรชิ้นงานที่ใช้สารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายฟิโอมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส

สูตร	สารบ่ม					อิพอกซีเรซิน
	FT15	FT13	FT12	FT11	FT21	
FTAE1511	1	-	-	-	-	1
FTAE1514	1	-	-	-	-	4
FTAE1516	1	-	-	-	-	6
FTAE15110	1	-	-	-	-	10
FTAE1311	-	1	-	-	-	1
FTAE1314	-	1	-	-	-	4
FTAE1316	-	1	-	-	-	6
FTAE13110	-	1	-	-	-	10
FTAE1211	-	-	1	-	-	1
FTAE1214	-	-	1	-	-	4
FTAE1216	-	-	1	-	-	6
FTAE12110	-	-	1	-	-	10
FTAE1111	-	-	-	1	-	1
FTAE1114	-	-	-	1	-	4
FTAE1116	-	-	-	1	-	6
FTAE11110	-	-	-	1	-	10
FTAE2111	-	-	-	-	1	1
FTAE2114	-	-	-	-	1	4
FTAE2116	-	-	-	-	1	6
FTAE21110	-	-	-	-	1	10

หมายเหตุ FT31 ไม่สามารถนำมาใช้เป็นสารบ่มเพราะมีสถานะเป็นของแข็ง

4.3.1 ผลการทดสอบการคายความร้อนของการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโพลีพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสและอะมิโนไลซิส และที่ใช้สารบ่มทางการค้าโดยเทคนิค DSC แสดงไว้ในตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการคายความร้อนของการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโพลีพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส

NAME	NOMALIZED (Jg ⁻¹)	ONSET Temperature (°C)	PEAK Temperature (°C)	ENDSET Temperature (°C)
FDGE1511	174.73	64.32	93.88	118.00
FDGE1514	117.29	67.80	86.96	108.55
FDGE1516	71.49	57.89	80.51	105.64
FDGE15110	-	-	-	-
FDGE1311	236.15	64.75	85.35	114.88
FDGE1314	29.43	100.76	143.41	178.09
FDGE1316	66.02	66.33	85.70	107.92
FDGE 13110	43.18	62.67	85.82	111.03
FDGE1211	208.04	55.36	83.94	121.65
FDGE1214	79.79	99.32	129.98	171.59
FDGE1216	47.18	100.23	135.28	175.13
FDGE12110	20.75	95.30	139.72	183.63
FDGE1111	243.43	55.94	89.91	150.85
FDGE1114	197.11	107.14	128.76	158.97
FDGE1116	77.21	95.56	118.97	139.27
FDGE11110	10.09	106.25	124.25	147.12
FDGE2111	258.49	95.79	125.65	167.65
FDGE2114	127.92	102.16	167.17	216.27
FDGE2116	70.18	105.16	173.80	217.07
FDGE21110	22.88	128.55	180.09	218.94
FDGE3111	280.32	96.87	144.28	203.16
FDGE3114	86.18	114.35	174.67	218.58
FDGE3116	48.99	123.28	179.14	218.64
FDGE31110	15.01	143.87	187.04	218.97

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการคายความร้อนของการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จาก
การย่อยสลายโพลีเอทิลีนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส

NAME	NOMALIZED (Jg ⁻¹)	ONSET Temperature (°C)	PEAK Temperature (°C)	ENDSET Temperature (°C)
FTAE1511	270.41	43.85	74.65	94.40
FTAE1514	405.24	54.58	87.61	115.21
FTAE1516	349.81	65.51	108.99	140.21
FTAE15110	352.74	60.03	97.13	133.76
FTAE1311	206.36	40.18	70.65	92.61
FTAE1314	452.41	55.72	90.03	118.76
FTAE1316	277.07	50.97	94.47	143.61
FTAE13110	24.93	55.88	108.08	145.02
FTAE1211	239.98	42.20	71.93	93.59
FTAE1214	417.79	53.68	89.07	121.57
FTAE1216	376.95	55.97	92.32	131.87
FTAE12110	208.54	55.73	94.45	139.11
FTAE1111	176.06	42.21	73.99	96.92
FTAE1114	269.75	53.54	91.51	133.77
FTAE1116	19.93	99.34	110.89	140.45
FTAE11110	128.93	53.96	91.70	136.63
FTAE2111	249.98	50.36	91.64	128.24
FTAE2114	207.20	56.34	97.54	167.71
FTAE2116	54.07	62.28	94.63	137.80
FTAE21110	40.37	58.76	97.45	144.61

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการคายความร้อนของการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มทางการค้า

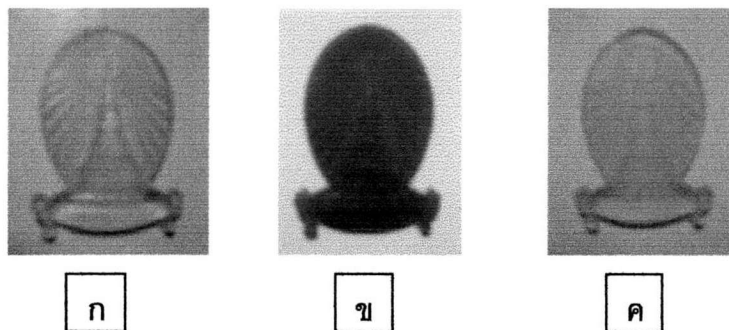
NAME	NOMALIZED (Jg ⁻¹)	ONSET Temperature (°C)	PEAK Temperature (°C)	ENDSET Temperature (°C)
SCI 11	324.11	67.01	115.87	155.00
SCI 14	217.29	67.80	117.71	160.55
SCI 16	117.90	67.46	119.50	162.91
SCI 110	92.96	68.27	119.63	166.33

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิการคายความร้อนสูงสุดของการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอสเตอร์เทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสมีค่าค่อนข้างกว้างจากประมาณ 80 ถึง 187 องศาเซลเซียส ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการบ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สำหรับสูตรที่มีอุณหภูมิการคายความร้อนสูงสุดต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส และทำการบ่มที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สำหรับสูตรที่มีอุณหภูมิการคายความร้อนสูงสุดมากกว่า 100 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.5 พบว่าอุณหภูมิการคายความร้อนสูงสุดของการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอสเตอร์เทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนไลซิสมีค่าประมาณ 70 ถึง 110 องศาเซลเซียส ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการบ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทุกสูตร

จากตารางที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิการคายความร้อนสูงสุดของการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มทางการค้ามีค่าประมาณ 115 ถึง 120 องศาเซลเซียส ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการบ่มที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

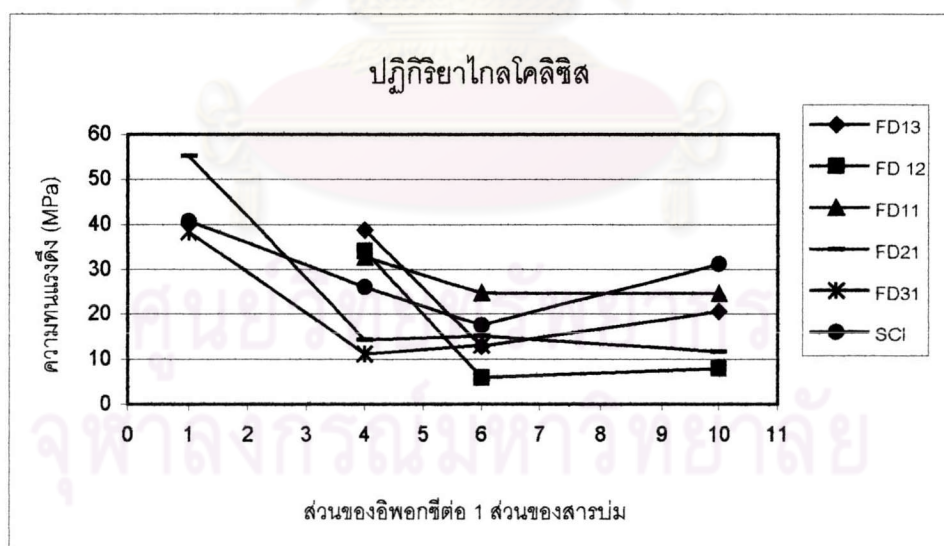
รูปที่ 4.19 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มประเภทต่างๆ จากรูปแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานที่ได้จากการบ่มด้วยสารบ่มจากปฏิกิริยาอะมิโนไลซิสจะมีความใสและสีอ่อนกว่าสารบ่มจากปฏิกิริยาไกลโคไลซิสและสารบ่มทางการค้า



รูปที่ 4.19 ชิ้นงานที่ได้จากการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส (ก), ไกลโคลิซิส (ข) และสารบ่มทางการค้า (ค)

4.3.2 ผลการทดสอบสมบัติความทนแรงดึง

ก. ความทนแรงดึงของชิ้นงานที่ได้จากการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส แสดงไว้ในรูปที่ 4.20

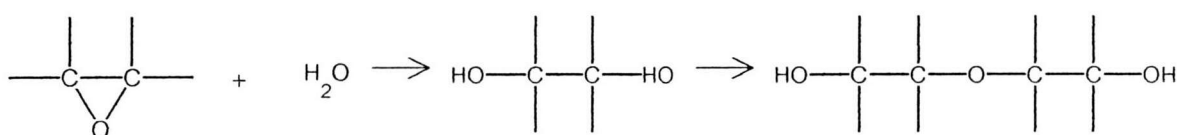


รูปที่ 4.20 ความทนแรงดึงของชิ้นงานที่ได้จากการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส

จากรูปที่ 4.20 พบว่าไม่สามารถทดสอบหาค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานที่ใช้สารบ่มสูตร FD12 และ FD13 ที่อัตราส่วนระหว่างสารบ่ม/อิพอกซีเท่ากับ 1/1 (R11) เนื่องจากสารบ่มดังกล่าวมีปริมาณ MDA ต่ำกว่าสารบ่มในสูตร FD11, FD21 และ FD31 (ดังแสดงในรูปที่ 4.11) อีกทั้งยังพบว่าสารบ่มดังกล่าวมีปริมาณสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอยู่เป็นจำนวนมาก (จากผล GPC ในรูปที่ 4.10) คือ ประมาณ 143 -1100 ซึ่งคาดว่าหมู่ฟังก์ชันที่เข้าทำปฏิกิริยาในการบ่มอิพอกซีส่วนใหญ่มาจากหมู่ไฮดรอกซิลของสารพอลิเอทิลีนไดออลที่เกิดขึ้นและ DEA ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (ปฏิกิริยาในรูปที่ 2.14) เพราะหมู่เอมีนทุติยภูมิในสารพอลิเอทิลีนไดออลจะเขี่ยต่อการเกิดปฏิกิริยามาก จึงเกิดการเชื่อมขวางเพียงเล็กน้อย ทำให้ชิ้นงานที่ได้จากการใช้สารบ่มสูตร FD12 และ FD 13 ในอัตราส่วนของสารบ่ม/อิพอกซีเท่ากับ 1/1 มีลักษณะอ่อนนุ่มคล้ายดินน้ำมัน ต่างจากการใช้สารบ่มสูตร FD11, FD21 และ FD31 ซึ่งมีปริมาณ MDA มากกว่า ดังนั้น หมู่ฟังก์ชันส่วนใหญ่ที่เข้าทำปฏิกิริยาในการบ่มจะมาจากเอมีนปฐมภูมิของ MDA ซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่าเอมีนทุติยภูมิ

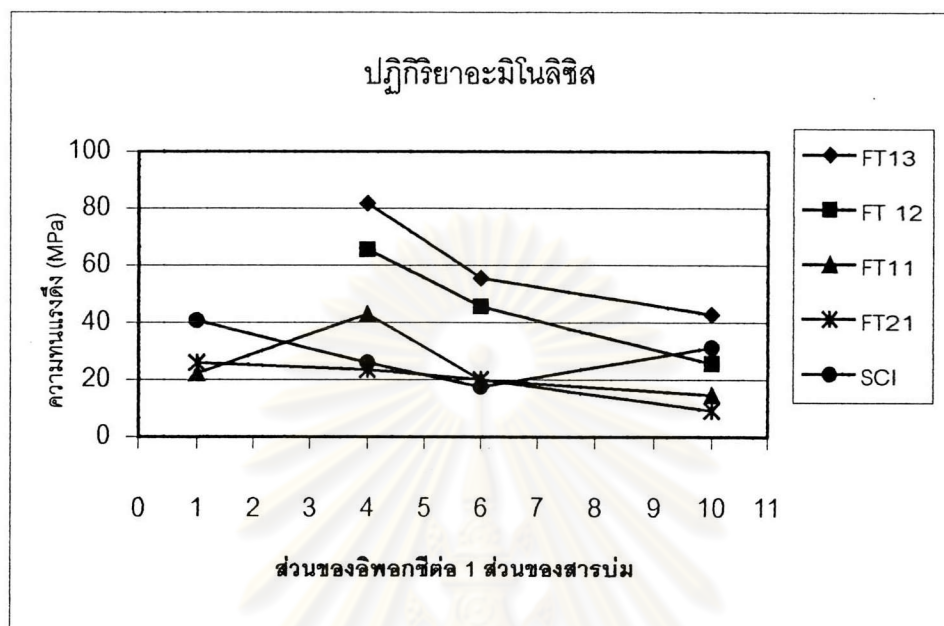
สำหรับชิ้นงานที่ใช้สารบ่มสูตร FD11 ในอัตราส่วนระหว่างสารบ่ม/อิพอกซีเท่ากับ 1/1 (R11) และสารบ่มสูตร FD31 ในอัตราส่วนระหว่างสารบ่ม/อิพอกซีเท่ากับ 1/10 (R110) พบว่าหลังจากเกิดการบ่มที่สมบูรณ์แล้ว ชิ้นงานมีความเปราะและแตกหักง่ายจนไม่สามารถนำมาทดสอบความทนแรงดึงได้ ทั้งนี้เนื่องจากสารบ่มสูตร FD11 ที่เตรียมได้มีความหนืดต่ำมาก เมื่อนำไปผสมกับอิพอกซีเรซินในอัตราส่วน 1/1 โดยน้ำหนัก จะมีปริมาตรมากกว่าอิพอกซีมากเนื่องจากในอัตราส่วนการผสมใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ดังนั้น เนื้อของชิ้นงานส่วนใหญ่จะเป็นสารบ่มซึ่งมีสมบัติแข็งเปราะ ส่วนสารบ่มสูตร FD31 จะประกอบด้วย MDA ซึ่งเป็นสารโมเลกุลเล็กๆ จำนวนมาก ดังนั้น เมื่อปริมาณอิพอกซีเรซินเพิ่มขึ้น ทำให้มีการเชื่อมขวางหนาแน่นขึ้น จึงมีสมบัติที่แข็งและเปราะเช่นเดียวกัน

จากรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานที่มีปริมาณอิพอกซีเรซินเพิ่มขึ้น ความทนแรงดึงลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากสารบ่มที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางมีปริมาณน้อยลง แต่เมื่อสารบ่ม/อิพอกซีมีค่าเท่ากับ 1/10 ความทนแรงดึงกลับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เป็นเพราะน้ำที่อยู่ในบรรยากาศเข้าทำปฏิกิริยาเปิดวงอิพอกซีเรซินที่มีอยู่เป็นจำนวนมากเกิดเป็นหมู่ไฮดรอกซิล [19] โดยไม่ถูกกีดขวางด้วยโมเลกุลของสารบ่มที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นยังสามารถเกิดปฏิกิริยารวมตัวซึ่งกันและกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.21 หรือเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางต่อไปได้ จึงมีผลทำให้ความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.21 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่อิพอกซีและน้ำ [19]

ข. ความทนแรงดึงของชิ้นงานที่ได้จากการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอทิลีนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสแสดงไว้ในรูปที่ 4.22

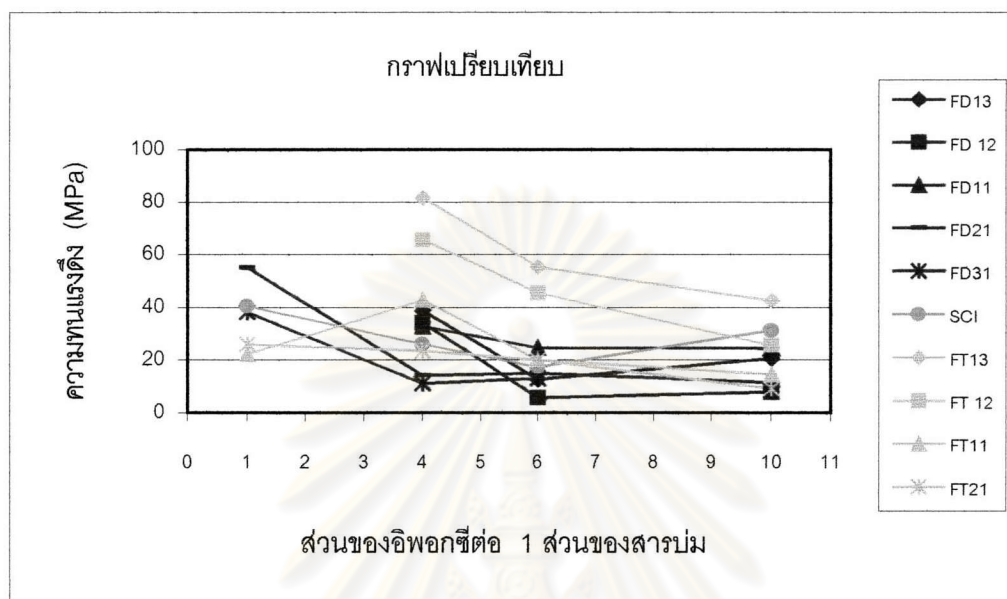


รูปที่ 4.22 ความทนแรงดึงของชิ้นงานที่ได้จากการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอทิลีนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส

จากรูปที่ 4.22 พบว่าไม่สามารถทดสอบหาค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานที่ใช้สารบ่มสูตร FT12 และ FT13 ที่อัตราส่วนระหว่างสารบ่ม/อิพอกซี เท่ากับ 1/1 (R11) เนื่องจากสารบ่มดังกล่าวมีปริมาณ MDA ต่ำกว่าสารบ่มในสูตร FT11 และ FT21 (ดังแสดงในรูปที่ 4.18) อีกทั้งยังพบว่าสารบ่มดังกล่าวมีปริมาณสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอยู่เป็นจำนวนมาก (จากผล GPC ในรูปที่ 4.17) คือ ประมาณ 450-1120 ซึ่งสารบ่มที่ได้ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นเอมีนปฐมภูมิที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง จึงทำให้มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดการเชื่อมขวางน้อย นอกจากนี้ สารบ่มที่ได้ยังมีความหนาแน่นต่ำกว่าสารบ่มที่ได้จากปฏิกิริยาไกลโคลิซิสจากการวัดความหนืดโดยเครื่องวัดความหนืด จึงทำให้เนื้อของชิ้นงานอิพอกซีมีปริมาณสารบ่มอยู่เป็นจำนวนมาก จึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความอ่อนนุ่ม คล้ายดินน้ำมันและไม่สามารถละลายในตัวทำละลายได้

จากรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานที่มีปริมาณอิพอกซีเรซินเพิ่มขึ้นความทนแรงดึงลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากสารบ่มที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางมีปริมาณน้อยลง

ค. เปรียบเทียบความทนแรงดึงของชิ้นงานที่ได้จากการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอทิลีนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาอะมิโนไลซิสและการบ่มทางการค้าแสดงไว้ในรูปที่ 4.23

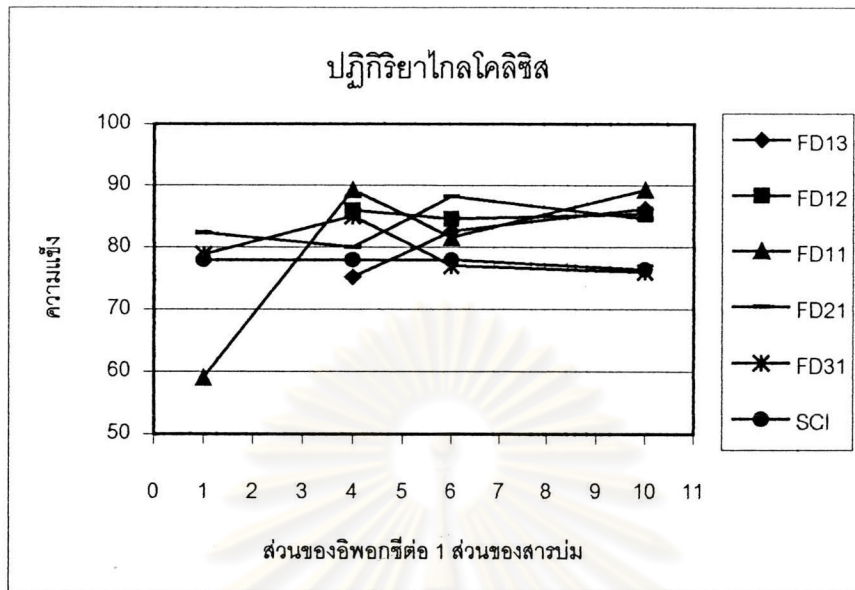


รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบความทนแรงดึงของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มประเภทต่างๆ

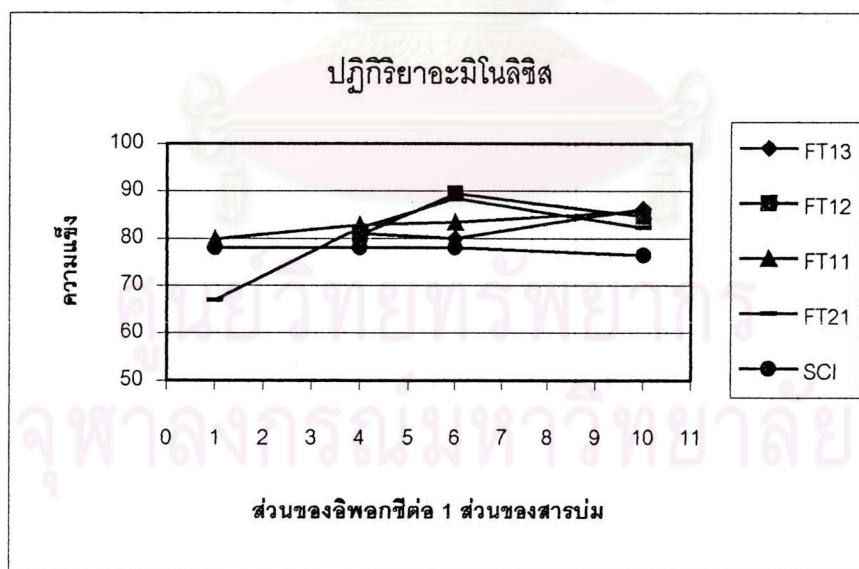
จากรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าอิพอกซีที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากปฏิกิริยาอะมิโนไลซิสมีความทนแรงดึงสูงกว่าสารบ่มที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส เนื่องจากสารบ่มที่ได้จากปฏิกิริยาอะมิโนไลซิสประกอบด้วยโมเลกุลที่มีหมู่ปลายเป็นเอมีนปฐมภูมิที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่า จึงทำให้เกิดการเชื่อมขวางได้มากกว่า ในขณะที่สารบ่มที่ได้จากปฏิกิริยาไกลโคไลซิสประกอบด้วยโมเลกุลที่มีหมู่ปลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิลเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงดังนั้นจึงมีหมู่ปลายที่สามารถเชื่อมขวางได้น้อยกว่า ดังปฏิกิริยาในรูปที่ 2.14 และ 2.15

4.3.3 ผลการทดสอบสมบัติความแข็ง

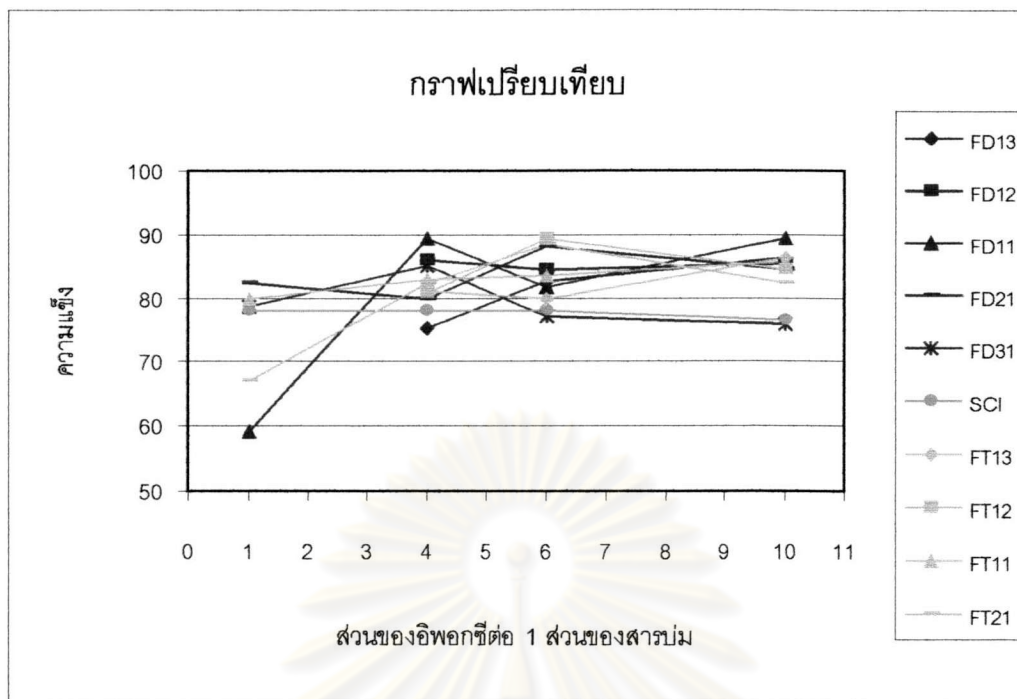
รูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงผลการทดสอบสมบัติความแข็งของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากปฏิกิริยาไกลโคไลซิสและปฏิกิริยาอะมิโนไลซิสตามลำดับ และรูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากทั้งสองปฏิกิริยา



รูปที่ 4.24 ความแข็งแรงของอิมพอกซี่เรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลาย
โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส



รูปที่ 4.25 ความแข็งแรงของอิมพอกซี่เรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลาย
โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบความแข็งแรงของอีพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มประเภทต่างๆ

จากรูปที่ 4.24-4.26 แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของชิ้นงานที่เกิดการบ่มได้สมบูรณ์มีค่าไม่ต่างกันมาก คือ อยู่ในช่วงประมาณ 75-90 shore D ซึ่งใกล้เคียงกับชิ้นงานที่บ่มด้วยสารบ่มทางการค้า ส่วนความแข็งแรงของชิ้นงานที่เกิดการบ่มไม่สมบูรณ์มีค่าความแข็งแรงที่ค่อนข้างต่ำ คือ ต่ำกว่า 70 shore D ค่าความแข็งแรงที่ได้อาจเกิดขึ้นจากผิวของชิ้นงานที่มีจุดบกพร่องในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปและองค์ประกอบของสารย่อยสลายที่แตกต่างกัน จึงมีค่าความแข็งแรงที่แตกต่างกันเล็กน้อย

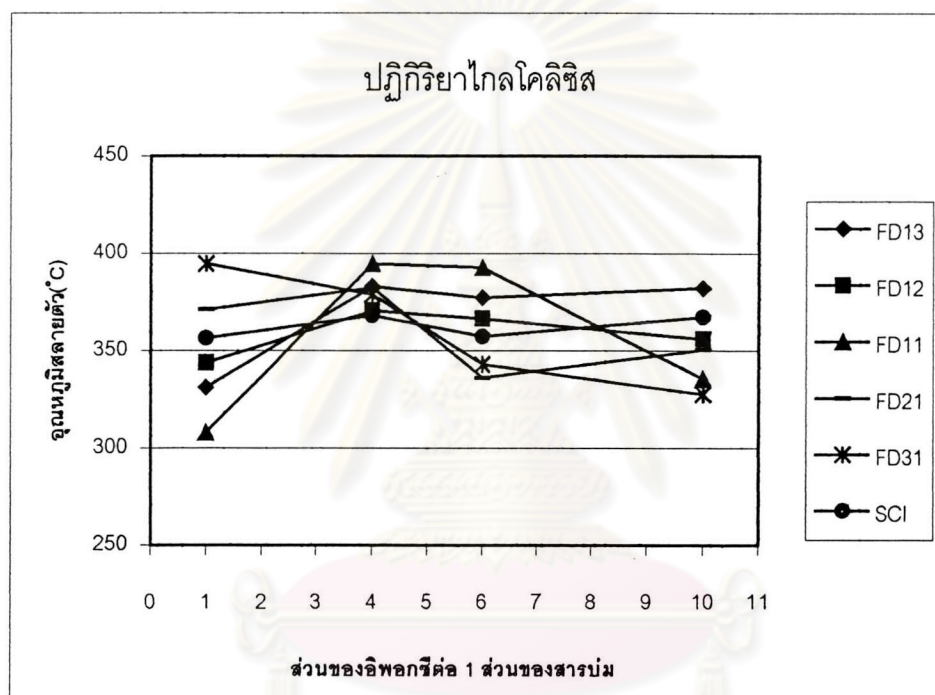
4.3.4 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

จากการใช้เทคนิค DSC วิเคราะห์หา T_g ของชิ้นงานโดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 25–220 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงานบางชิ้นปรากฏค่า T_g ที่ประมาณ 60 ซึ่งน่าจะเป็นของอีพอกซีเรซินกับเอมีนแบบสายโซ่ตรง [24] (แสดงในภาคผนวก ง) เนื่องจากโมเลกุลบางส่วนที่มีขนาดใหญ่และเกิดการเชื่อมขวางแต่บริเวณปลายพันธะ มีการจัดเรียงตัวใหม่ในช่วงระหว่างสายโซ่โมเลกุลส่งผลให้มีการจัดเรียงตัวของชิ้นงาน และเมื่อเก็บชิ้นงานไว้นานจะยังมีการจัดเรียงตัวมากขึ้นและ free volume ลดลง [35] ดังนั้นเมื่อมีการนำมาให้ความร้อนกับชิ้นงานจึงมีการดูดพลังงานเข้าไป (enthalpic relaxation) เพื่อเพิ่ม free volume และเปลี่ยนแปลงจากสถานะแก้วสู่สถานะยาง ดังงานวิจัยที่ผ่าน

มาของ Calventus และคณะ [34] ที่พบว่ามีการสูญเสียเอนทัลปีโดยการเก็บชิ้นงานไว้นาน ทำให้ชิ้นงานเกิด enthalpy relaxation ขึ้นได้

4.3.4 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA

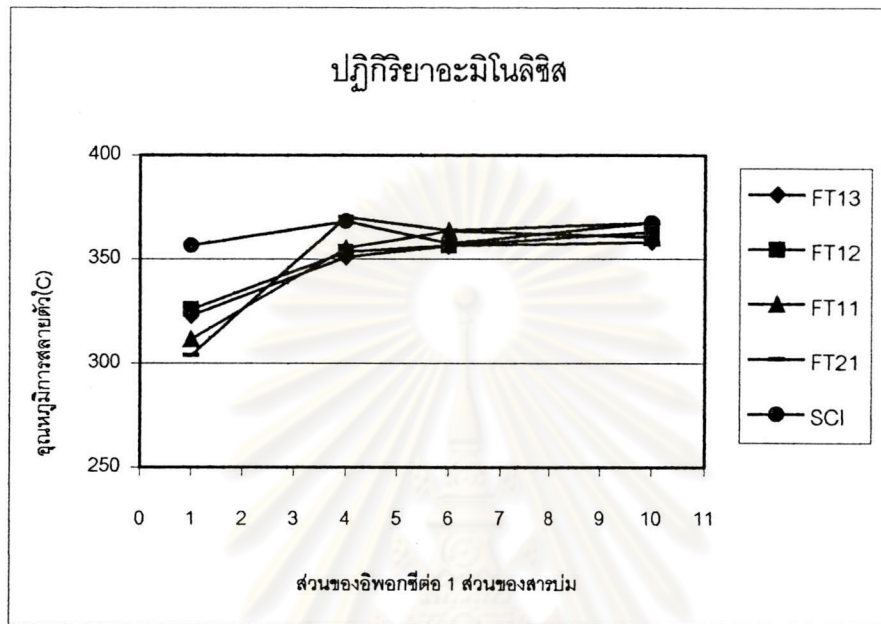
ก. รูปที่ 4.27 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโพรพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส



รูปที่ 4.27 อุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโพรพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส

รูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่ใช้สารบ่มสูตร FD11, FD12 และ FD13 เมื่อผสมในอัตราส่วนระหว่างสารบ่ม/อิพอกซีเท่ากับ 1/1 (R11) มีอุณหภูมิการสลายตัวค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อของชิ้นงานมีปริมาณสารบ่มมากกว่าอิพอกซีเรซินมาก จึงทำให้ชิ้นงานอ่อนนิ่มดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อการทดสอบสมบัติความทนแรงดึง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของชิ้นงานทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 300-400 องศาเซลเซียส

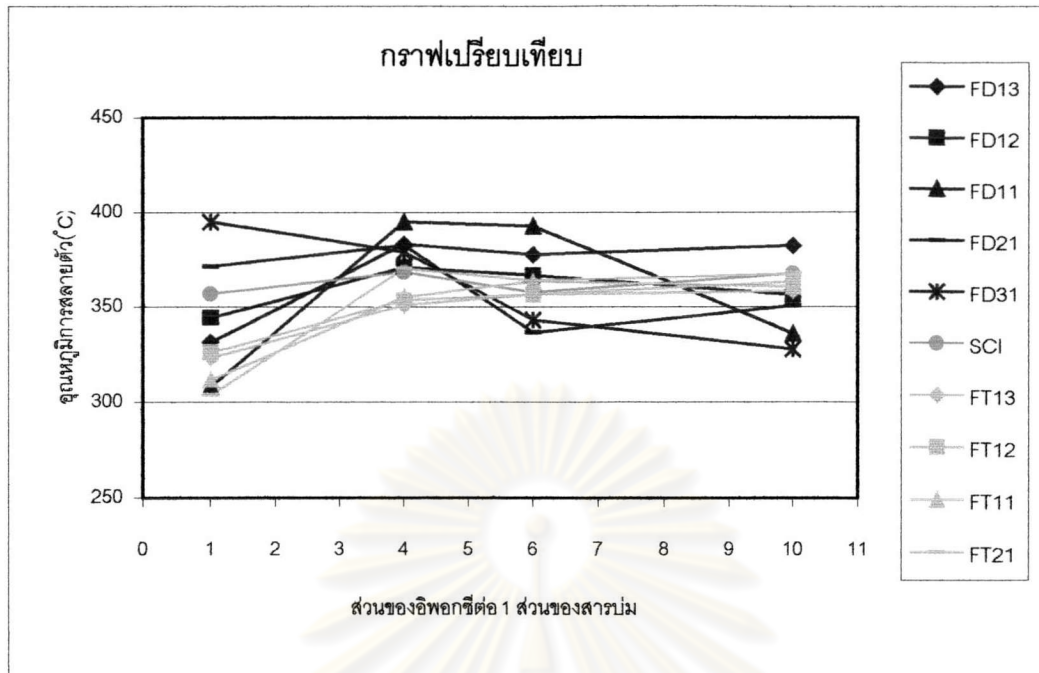
ข. รูปที่ 4.28 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายไฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส



รูปที่ 4.28 อุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายไฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส

รูป 4.28 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายไฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่อปริมาณอิพอกซีเพิ่มขึ้น อุณหภูมิลายตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากความสามารถในการเกิดผลึกของอิพอกซีที่ไม่ได้ถูกเชื่อมขวาง และมีอุณหภูมิลายตัวอยู่ในช่วง 300-370 องศาเซลเซียส

ค. รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบอุณหภูมิลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายไฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยปฏิกิริยาไกลโคลิซิสและอะมิโนลิซิส



รูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มประเภทต่างๆ

รูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโพลีเอทิลีนเททราฟลูออไรด์และโพลีเอทิลีนเททราฟลูออไรด์โดยกระบวนการไกลโคไลซิสส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าสารบ่มที่ได้จากกระบวนการอะมิโนไลซิส ทั้งนี้เพราะสารบ่มที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิสประกอบด้วยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า นอกจากนี้ ยังมีปริมาณ MDA ที่ค่อนข้างมากอีกด้วย ดังนั้นเนื่องจากความเป็นอะโรมาติกจึงทำให้สามารถทนความร้อนได้ดีกว่าเมื่อใช้ในปริมาณที่เท่ากัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย