บทที่ 3

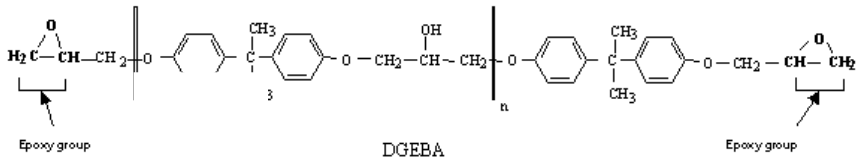
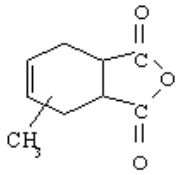
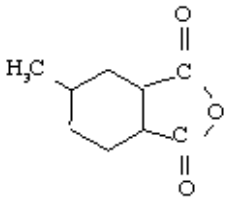
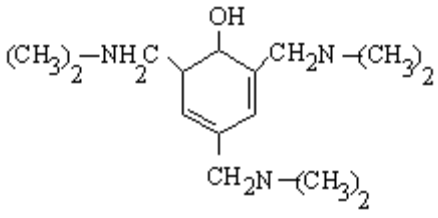
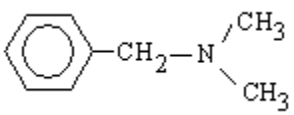
วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

1. อีพ๊อกซีเรซิน (epoxy resin)
   - ไดไกลซิดิว อีเทอร์ ออฟ บิสฟีนอล เอ (diglycidyl ether of bisphenal-A, DGEBA) YD128® ผลิตโดยบริษัทไทยอีพ๊อกซี จำกัด
2. สารช่วยทำให้แข็ง (hardener)
   - เมทิลเตตระไฮโดรทาลิกแอนไฮไดรด์ (methyltetrahydrophthalic anhydride, MTHPA1) Lindau 46QC® ผสมตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วแต่ไม่ทราบชนิด และ ปริมาณ ผลิตโดยบริษัท Lindau Chemical Co.
   - เมทิลเตตระไฮโดรทาลิกแอนไฮไดรด์ (methyltetrahydrophthalic anhydride, MTHPA2) ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตโดยบริษัท LonzaSpa Co.
   - เมทิลเฮกซะไฮโดรทาลิกแอนไฮไดรด์ (methylhexahydrophthalic anhydride, MHHPA) ผลิตโดยบริษัท LonzaSpa Co.
3. ตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator)
   - ไดเมทิลอะมิโนเมทิลฟีนอล (tris-2,4,6-dimethylaminomethyl phenol, DMP30) Ankamine® K54 ผลิตโดยบริษัท Anchor Chemical Ltd.
   - เบนซิลไดเมทิลเอมีน (benzyldimethylamine, BDMA) Ankamine BDMA® ผลิตโดยบริษัท Fluka
4. เส้นใยแก้วชนิดเส้นใยสานแบบสุ่ม (chopped strand mat, CSM#300) จำหน่ายโดยบริษัท เลิศวัฒนกิจ มีน้ำหนัก 300 g ต่อพื้นที่ 1 m^2
5. สารหล่อลื่นกันติดเบ้า (mold releasing agent) รุ่น1894-EX-S ผลิตโดยบริษัท SOLAR COMPOUNDS CORPORATION

สูตรโครงสร้างทางเคมีและรายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย เช่น สี ความใส่ ความหนืด ความหนาแน่น ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 สูตรโครงสร้างของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรโครสร้างทางเคมี
DGEBA	
MTHPA	
MHHPA	
DMP30	
BDMA	

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สี	*ความหนืดที่ 25 °C (cPs)	ความหนาแน่นจำเพาะ (g/ml)
DGEBA	ใส ไม่มีสี	11,800	1.16
MTHPA1	สีน้ำตาลเข้ม	60	1.24
MTHPA2	สีเหลืองอ่อน ใส	50	1.19
MHHPA	ใส ไม่มีสี	53	1.14
DMP-30	สีเหลืองอ่อน	200	0.97
BDMA	ใส ไม่มีสี	-	0.89

* Tanrattanakul and Saetiaw, 2005

3.2 อุปกรณ์

1. เตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน (microwave oven) รุ่น Sanyo™ EM-X 412 ผลิตโดยบริษัทซันโย ประเทศไทย จำกัด กำลังไฟ 800 W ใช้กับกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 220 V แบบ AC 50 Hz ปล่อยคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz แบ่งเป็น 10 ระดับความร้อน แต่ละระดับความร้อนเทียบเท่าได้กับกำลังไฟที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 3.3 ความจุของเตาอบ 28 l ขนาดภายในเตาอบ 219 x 350 x 355 mm. (สูง x กว้าง x ลึก)

2. เตาอบความร้อน (thermol oven) MEMMERT รุ่น D 06061, UM 500 ผลิตโดยบริษัท MEMMERTความจุ 108 litre ขนาดภายใน 560 x 480 x 400 mm (กว้าง x สูง x ลึก)

3. เครื่องทดสอบแรงดึงและดัดโค้ง (universal testing machine, UTM) รุ่น AG –100kN ผลิตโดยบริษัท SHIMADZU

4. เครื่องทดสอบแรงกระแทก รุ่น ZWICK 5102.202 ผลิตโดยบริษัท ZWICK Asia Pte Ltd จำหน่ายโดยบริษัทสิทธิพรแอสโซซิเอสจำกัด

5. เครื่องวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลศาสตร์ (dynamic mechanical thermal analyzer, DMTA) รุ่น DMTA V 9002-50010 ผลิตโดยบริษัท Rheometric Scientic

6. เครื่องมือวิเคราะห์ เทอร์โมกราวิเมททริค อนาไลเซอร์ (thermogravimetric analyzer, TGA) รุ่น PERKIN ELMER TGA7 ผลิตโดยบริษัท PERKIN ELMER

7. เครื่องวัดความหนืดชนิดบรูคฟิลด์ (BROOKFIELD) รุ่น RT65308 จำหน่ายโดยบริษัท Scientific Promotion Co., LTD

8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) รุ่น JSM-5800 LV ผลิตโดยบริษัท JEOL

9. เครื่องบากชิ้นงานเป็นรูปตัววี สำหรับทดสอบการต้านแรงกระแทก ผลิตโดยบริษัท Toyoseiki จำหน่ายโดยบริษัทสิทธิพรแอสโซซิเอสจำกัด

10. เครื่องเลื่อยจิกซอร์ (scroll saw) รุ่น CH-S16 ผลิตโดยบริษัท Chin-Chun incoperation

11. เบ้าพิมพ์ทำจากเทฟลอนเป็นรูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 17.0 cm ลึก 0.4 cm ตัวเบ้าหนา 2.5 cm

12. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง

13. เครื่องกวนสารละลาย

14. เครื่องวัดความหนาระดับไมโครมิเตอร์ (micrometer) ความละเอียด 0.001 mm ผลิตโดยบริษัท Mitutuyo®

15. เทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด

ตารางที่ 3.3 ระดับความร้อนที่ใช้และกำลังไฟของเตาอบไมโครเวฟรุ่น Sanyo™ EM-X 412

ระดับความร้อนที่	กำลังไฟ (W)
1	80
2	160
3	240
4	320
5	400
6	480
7	560
8	640
9	720
10	800

3.3 วิธีดำเนินการ

3.3.1 การวัดการปล่อยคลื่นของเตาอบไมโครเวฟ

1. ตั้งเวลาการทำงานของเตาไมโครเวฟ (set time) เป็นเวลา 2 min ที่ระดับความร้อนที่ 1 สังเกตการทำงานของเตาอบไมโครเวฟโดยการฟังเสียงการทำงานของเตาอบและบันทึกเวลาตามความแตกต่างของโทนเสียงที่ได้ยิน

- เครื่องเริ่มทำงานได้ยินเสียงครั้งที่ 1 บันทึกเวลาจากหน้าจอบนเตาอบไมโครเวฟ
- ได้ยินเสียงครั้งที่ 2 บันทึกเวลาจากหน้าจอบนเตาอบไมโครเวฟ
- ได้ยินเสียงครั้งที่ 3 บันทึกเวลาจากหน้าจอบนเตาอบไมโครเวฟ
- บันทึกเวลาที่ได้ยินเสียงจนจบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ

2. คำนวณหาคาบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ

คาบ คือ ช่วงเวลาที่ได้ยินเสียงครั้งที่ 1 กับ ครั้งที่ 3, ครั้งที่ 3 กับ ครั้งที่ 5, ครั้งที่ 5 กับ ครั้งที่ 7 สังเกตจนเครื่องหยุดทำงาน

3. คำนวณหาเวลาที่เตาอบไมโครเวฟทำงานใน 1 คาบ

เวลาที่เตาอบไมโครเวฟทำงานใน 1 คาบหาจากช่วงเวลาที่ได้ยินเสียงครั้งที่ 1 กับ ครั้งที่ 2, ครั้งที่ 3 กับ ครั้งที่ 4, ครั้งที่ 5 กับ ครั้งที่ 6 สังเกตจนเครื่องหยุดทำงาน

4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 ถึง 3 ที่ทุกระดับความร้อนโดยทำซ้ำ 3 ครั้ง

5. บันทึกผล และ คำนวณหาคาบ และ เวลาที่เตาอบไมโครเวฟทำงานในแต่ละคาบของทุกระดับความร้อน

3.3.2 การอบอีพ๊อกซี และ อีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทในเตาอบความร้อน และ ไมโครเวฟ

ส่วนผสมของอีพ๊อกซีสูตร I, II, IV, VI และ VIII ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4

1. ชั่งอีพ๊อกซีและสารช่วยให้แข็งตัวในอัตราส่วน 100:80 โดยน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง

2. ผสมอีพ๊อกซีและสารช่วยให้แข็งตัวให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลายที่อุณหภูมิห้อง กวนจนเห็นว่าสารผสมเข้ากันได้ดีเป็นเนื้อเดียวกัน (กวนประมาณ 5-10 min)

3. เติมตัวเร่งปฏิกิริยา 1% หรือ 4% โดยเทียบกับน้ำหนักของอีพ๊อกซี ลงในสารผสมระหว่างอีพ๊อกซีและสารช่วยให้แข็งที่ได้จากข้อ 2 แล้วกวนด้วยเครื่องกวนสารละลายอีกครั้งจนเป็นเนื้อเดียวกัน (กวนประมาณ 5-10 min) ตั้งทิ้งไว้ให้ฟองอากาศที่เกิดจากการกวนหายไปจนหมด

4. เทสารผสมระหว่างอีพ๊อกซี สารช่วยให้แข็ง และ ตัวเร่งลงในเบ้าที่ทำจากเทฟลอน
   - กรณีไม่ใส่เส้นใยแก้วให้ชั่งสารผสมอีพ๊อกซี 90 g แล้วเทลงในเบ้าที่ทำจากเทฟลอนจนหมด
   - กรณีใส่เส้นใยแก้วให้ชั่งสารผสมอีพ๊อกซี 90 g แล้วเทลงในเบ้าที่ทำจากเทฟลอนเพียงครึ่งหนึ่งก่อนแล้ววางเส้นใยแก้วที่ตัดไว้แล้วลงไป 1 แผ่น (ตัดเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง คือ 17.0 cm น้ำหนักประมาณ 9-10 g อัตราส่วนระหว่างสารผสมของอีพ๊อกซีกับเส้นใย คือ 9 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) หลังจากนั้นเทสารผสมอีพ๊อกซีที่เหลือลงไปจนหมด ทิ้งไว้ประมาณ 3-5 min เพื่อให้สารผสมของอีพ๊อกซีแทรกเข้าไประหว่างเส้นใยอย่างทั่วถึง สังเกตฟองอากาศถ้ามีฟองอากาศให้ใช้เข็มเล็กๆ แทงให้ฟองอากาศหายไปจนหมด

5. นำเบ้าเทฟลอนอบในเตาอบไมโครเวฟและเตาอบความร้อนตามสภาวะอบที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.5 สำหรับการอบแบบขั้นตอนเดียว และตารางที่ 3.6 สำหรับการอบแบบหลายขั้นตอนในเตาไมโครเวฟ วิธีการอบแบบหลายขั้นตอนในเตาไมโครเวฟ เช่น ถ้าอบอีพ๊อกซีสูตร I สภาวะอบ 2S/1 (L2-20 + L4-5) ขั้นแรกนำเบ้าเทฟลอนที่ใส่อีพ๊อกซีสูตร I อบในเตาอบไมโครเวฟตั้งระดับความร้อนที่ 2 เป็นเวลา 20 min พอครบกำหนดตามเวลา เตาไมโครเวฟจะหยุดทำงาน ให้ตั้งระดับความร้อนที่ 4 เป็นเวลา 5 min ทันทีโดยไม่ต้องเปิดประตูของเตาอบไมโครเวฟออก หลังจากนั้นรอจนเตาอบไมโครเวฟหยุดทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้ นำเบ้าเทฟลอนออกจากเตาอบ

6. เมื่ออบเสร็จแล้วแกะชิ้นงานออกจากเบ้าด้วยช้อนตักสารโลหะ

7. ได้ชิ้นงานเป็นรูปวงกลมหนาประมาณ 3 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 17.0 cm

ตารางที่ 3.4 ส่วนผสมของอีพ๊อกซีสูตรต่างๆ

สูตร	สารช่วยให้แข็ง	ตัวเร่งปฏิกิริยา
I	MTHPA1	ไม่ทราบชนิดและปริมาณ
II	MHHPA	DMP30
IV	MHHPA	BDMA
VI	MTHPA2	DMP30
VIII	MTHPA2	BDMA

ตารางที่ 3.5 สภาวะอบอีพ๊อกซีสูตรต่างๆที่อบแบบขั้นตอนเดียว

สูตร	สภาวะอบ			
	อบในเตาอบไมโครเวฟ		อบในเตาอบความร้อน	
	ปริมาณตัวเร่ง 1%W/W	ปริมาณตัวเร่ง 4%W/W	ปริมาณตัวเร่ง 1%W/W	ปริมาณตัวเร่ง 4%W/W
I	L3-10		150°C เป็นเวลา 25 min	
II	L3-12	L3-7	150 °C เป็น เวลา 25 min	150 °C เป็น เวลา 15 min
IV	L3-15	L3-7		
VI	L3-12	L3-6		
VIII	L3-10	L3-6		

หมายเหตุ Ly-x : Ly =ระดับความร้อนที่ตั้งจากเตาอบไมโครเวฟ; x = เวลาอบ (min)

ตารางที่ 3.6 สภาวะอบอีพ๊อกซีสูตร I และ II อบแบบหลายระดับความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ

สูตร I		สูตร II	
ตัวอย่าง	สภาวะอบ	ตัวอย่าง	สภาวะอบ
MV-2S/1	L2-20 + L4-5	MV-2S/1	L2-10 + L4-5
MV-2S/2	L2-25 + L3-5	MV-2S/2	L3-5 + L4-3
MV-2S/3	L2-25 + L6-5	MV-2S/3	L2-15+L4-5
MV-2S/4	L2-20+L3-10	MV-2S/4	L2-10+L4-7
-	-	MV-2S/5	L3-5+L4-5
MV-3S/1	L2-15+L3-10+L4-5	MV-3S/1	L2-10+L3-5+L4-3
MV-3S/2	L2-20+L3-10+L4-5	MV-3S/2	L2-10+L3-5+L4-5
MV-3S/3	L2-20+L3-10+L5-5	MV-3S/3	L2-10+L3-7+L4-3
-	-	MV-3S/4	L2-10+L3-3+L4-7
-	-	MV-3S/5	L2-15+L3-5+L4-5

หมายเหตุ Ly –x : Ly =ระดับความร้อนที่ตั้งจากเตาอบไมโครเวฟ; x = เวลาอบ (min)

MV = อบในเตาอบไมโครเวฟ

2S, 3S = จำนวนระดับความร้อนที่อบในเตาอบไมโครเวฟ

3.3.3 การทดสอบสมบัติการต้านแรงดึง (tensile properties) ตามมาตรฐาน ASTM D3039

1. ตัดขนาดชิ้นทดสอบขนาด กว้าง x ยาว x หนา คือ 15 x 130 x 3-4 mm ด้วยเครื่องเลื่อยจิกซอร์โดยแต่ละสูตรต้องมีจำนวนชิ้นงาน 5-8 ชิ้น

2. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบหาค่าสมบัติการทนแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงและดัดโค้งด้วยความเร็วในการทดสอบ 5 mm/min

3. รายงานผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง

- มอดุลัสของแรงดึง (tensile modulus, *E*) หน่วยเป็น GPa ค่ามอดุลัสของแรงดึงของอีพ๊อกซีคอมโพสิทสามารถคำนวณได้จากความชัน (slope) ของกราฟระหว่างความแข็งแรงของแรงดึง (tensile stress, σ) กับ ระยะยืด (tensile strain, ε) คำนวณในช่วงแรงดึง 200-800 N และ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.1

$$E = \sigma/\varepsilon \tag{3.1}$$

- ค่าความทนต่อแรงดึง (tensile strength หรือ tensile stress at break, σ_b) หน่วยเป็น MPa ค่าความทนต่อแรงดึงของอีพ๊อกซีคอมโพสิทคำนวณได้ตามสมการที่ 3.2

$$\sigma_b = F/A \tag{3.2}$$

เมื่อ σ_b = ค่าความทนต่อแรงดึงของอีพ๊อกซีคอมโพสิท, MPa

F = แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดขาด, N

A = พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับแรงดึง, m^2

- ระยะยืด ณ จุดขาด (tensile strain at break, ε_b) หน่วยเป็น %
ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของอีพ๊อกซีคอมโพสิทคำนวณได้ตามสมการที่ 3.3

$$\varepsilon_b = [(L_u - L_o)/L_o] \times 100 \tag{3.3}$$

เมื่อ ε_b = ระยะยืด ณ จุดขาด, %

L_u = ความยาวพิกัดเดิมก่อนดึง, mm

L_o = ความยาวพิกัดสุดท้ายหลังดึง, mm

3.3.4 การทดสอบสมบัติการการดัดโค้ง (flexural properties) เทคนิคที่ใช้ทดสอบ คือการดัดโค้งสามจุด (three-point bending) ตามมาตรฐาน ASTM D790

1. ตัดขนาดชิ้นทดสอบขนาด กว้าง x ยาว x หนา คือ 25 x 120 x 3-4 mm ด้วยเครื่องเลื่อยจิกซอร์โดยแต่ละสูตรต้องมีจำนวนชิ้นงาน 5-8 ชิ้น
2. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบหาค่าสมบัติการทนต่อการดัดโค้งด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงและดัดโค้ง
   - ตั้งระยะห่างระหว่างฐานรองรับทั้งสองฐาน (support span)ให้ห่างกัน 100 mm
   - นำชิ้นงานที่ตัดแล้ววางบนฐานรองรับทั้งสองฐาน โดยให้ชิ้นงานอยู่กึ่งกลางระหว่างฐานทั้งสอง
   - เลื่อนหัวกด (crosshead) ลงมาให้สัมผัสกับผิวหน้าของชิ้นตัวอย่าง
   - ทดสอบด้วยอัตราเร็ว 5.3 mm/min
3. รายงานผลการทดสอบสมบัติการทนต่อการดัดโค้ง
   - มอดุลัสของการดัดโค้ง (flexural modulus) หน่วยเป็น GPa คำนวณในช่วงแรงกด 200-400 N

     ค่ามอดุลัสของการดัดโค้งของอีพ๊อกซีคอมโพสิทคำนวณได้ตามสมการที่ 3.4

$$E_B = 0.17\, L^3 m / bd^3 \qquad (3.4)$$

     เมื่อ E_B = มอดุลัสของการดัดโค้งของอีพ๊อกซีคอมโพสิท, GPa
     L = ระยะห่างระหว่างฐานรองรับทั้งสองฐาน, mm
     b, d = ความกว้าง และ ความหนาของชิ้นทดสอบตามลำดับ, mm
     m = ความชันของเส้นสัมผัสที่ลากเป็นเส้นตรงของกราฟ ความเค้น - ความเครียด
   - ค่าความทนต่อแรงดัดโค้ง (flexural strength) หน่วยเป็น MPa

     ค่าความทนต่อแรงดัดโค้งของอีพ๊อกซีคอมโพสิทคำนวณได้ตามสมการที่ 3.5

$$S = 3PL/2\, bd^2 \qquad (3.5)$$

     เมื่อ S = ความทนต่อแรงดัดโค้งที่กลางชิ้นงาน, MPa
     P = แรงที่กระทำต่อชิ้นงาน, N

b, d = ความกว้าง และ ความหนาของชิ้นทดสอบตามลำดับ, mm

L = ระยะห่างระหว่างฐานรองรับทั้งสองฐาน, mm

- ระยะยืดดัดโค้ง ณ จุดขาด (flexural strain at break) หน่วยเป็น %
  ค่าระยะดัดโค้งของอีพ๊อกซีคอมโพสิทคำนวณได้ตามสมการที่ 3.6

$$r = [6Dd/L^2] \times 100 \qquad (3.6)$$

เมื่อ r = ระยะยืดดัดโค้งของชิ้นทดสอบ

D = ระยะโค้งงอที่กึ่งกลางของชิ้นทดสอบ, mm

d = ความหนาของชิ้นทดสอบ, mm

L = ระยะห่างระหว่างฐานรองรับทั้งสองฐาน, mm

3.3.5 การทดสอบการต้านแรงกระแทก (Notch Izod Impact) ตามมาตรฐาน ASTM D256

1. ขนาดชิ้นทดสอบกว้าง x ยาว x หนา คือ 63.5 x 12.7 x 3-4 mm ความลึกที่รอยบาก 2.5 mm ตัดด้วยเครื่องเลื่อยจิกซอร์ ทำรอยบากเป็นรูปตัววีด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน

2. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบหาค่าการต้านแรงกระแทก ด้วยเครื่องทดสอบการต้านแรงกระแทกใช้หัวค้อนขนาด 2 J

3. รายงานผลการทดสอบ เป็นพลังงานต่อพื้นที่บริเวณรอยบากชิ้นทดสอบซึ่งมีหน่วยเป็น kJ/m^2

3.3.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DMTA

1. นำชิ้นตัวอย่างที่อบเสร็จแล้วมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง x ยาว x หนา คือ 10 x 25 x 3-4 mm

2. ทดสอบด้วยเครื่อง DMTA เทคนิคที่ใช้ทดสอบ คือ single cantilever bending ช่วงอุณหภูมิที่ทดสอบ 50-300^{o}C อัตราการให้ความร้อน 2^{o}C/min และเปอร์เซ็นต์การยืด 0.1% ความถี่ที่ใช้ในการทดสอบ 1 Hz

3. รายงานผลโดยแสดงค่า มอดุลัสสะสม (storage modulus, *E′*), มอดุลัสสูญเสีย (loss modulus, *E″*), แทนเดลต้า (tan δ) และอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g)

3.3.7 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA

1. ตัดชิ้นงานเป็นชิ้นเล็กๆให้มีน้ำหนักประมาณ 10-30 mg โดยตัดชิ้นงานบริเวณกลางแผ่น

2. ทดสอบด้วยเครื่อง TGA ทำการทดสอบที่อุณหภูมิช่วง 50 -800 ^{o}C อัตราการให้ความร้อน 20^{o}C/min

3. รายงานผลโดยแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสาร (%) เมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อน

3.3.8 การทดลองวัดความหนืดและอุณหภูมิของอีพ๊อกซี

1. เตรียมอีพ๊อกซีสูตร I ไม่ใส่เส้นใยแก้ว

2. นำอีพ๊อกซีที่เตรียมเสร็จแล้วใส่บีกเกอร์ นำไปอบในเตาอบไมโครเวฟโดยเริ่มที่ระดับความร้อนที่ 2 ตั้งเวลาอบโดยเริ่มที่ 2.5 min พอครบเวลาให้นำอีพ๊อกซีออกจากเตาทันที และ ทำการวัดอุณหภูมิอีพ๊อกซีภายใน 15 sec บริเวณกลางและขอบ ของอีพ๊อกซีที่อบด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดรังสีอินฟาเรด แล้วนำเข้าช่องแช่แข็งในตูเย็นทันทีเพื่อหยุดปฏิกิริยา

3. หลังจากนั้นนำอีพ๊อกซีออกจากตู้เย็นวางทิ้งไว้จนอีพ๊อกซีมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำไปทดสอบความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดชนิดบรูคฟิลด์ โดยไม่มีการเติมตัวทำละลาย

4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 และ 3 โดยเพิ่มเวลาให้นานขึ้นจาก 2.5 min เป็น 5.5 min, 7.5 min, 10.0 min,..จนกระทั่งอีพ๊อกซีที่อบได้ไม่สามารถวัดความหนืดได้ด้วยเครื่องวัดความหนืด

5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนจากเตาอบไมโครเวฟเป็นเตาอบความร้อนแทนโดยตั้งอุณหภูมิที่ 150^{o}C

6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนจากอีพ๊อกซีสูตร I เป็นอีพ๊อกซีสูตร II

7. สร้างกราฟเปรียบเทียบค่าความหนืดและอุณหภูมิที่วัดได้จากการอบทั้ง 2 ระบบ

3.3.9 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1. ชิ้นตัวอย่างที่จะนำไปตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM ได้มาจากชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความทนต่อแรงดึงแล้ว ซึ่งบริเวณที่ทำการตรวจสอบ คือ บริเวณผิวหน้าตัดที่เกิดจากการดึงจนขาด (fractured surface) ที่อุณหภูมิห้อง โดยตัดชิ้นตัวอย่างห่างจากผิวหน้าตัดประมาณ 5-8 mmโดยตัดให้ตั้งฉากกับผิวหน้าที่ดึงขาด

2. นำชิ้นตัวอย่างที่ตัดแล้วไปติดบนแผ่นอลูมิเนียม โดยหันด้านที่จะศึกษาขึ้นด้านบนอาจใช้น้ำยาทาเล็บแทนกาว หรือ ใช้เทปกาวสองหน้าเป็นตัวยึด

3. นำชิ้นตัวอย่างที่ติดบนแผ่นอลูมิเนียมแล้วไปเคลือบด้วยทองคำก่อน แล้วนำไปส่องดูด้วยเครื่อง SEM