

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการสกัดและตรวจสอบคุณลักษณะของ ลิกนิน

- นำดำจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ จากกระบวนการกึ่งเคมีแบบไม่ระเหยน้ำ จากบริษัท เอสซีจีเปเปอร์จำกัด (มหาชน)
- กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 95-97 เกรด AR จากบริษัทควอลิตี้รีเอเจนต์ จำกัด
- กรดบอริก เกรด AR จากบริษัทเอแจคซ์ ไซน์เคม จำกัด
- น้ำกลั่น
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรด AR จากบริษัทเอพีเอส ไซน์เคม จำกัด

3.1.2 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานโฟม

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เกรด MFI 2 จากบริษัทเอสซีจีเคมีคอลส์ จำกัด
- ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) เกรด AR จากบริษัท เอแจคซ์ ไซน์เคม จำกัด
- กรดสเตียริก (Stearic acid) เกรด AR จากบริษัทเมอร์ค-ซูซาร์ต จำกัด
- ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP) เกรด AR จากบริษัทเมอร์ค-ซูซาร์ต จำกัด
- อะโซไดคาร์บอนาไมด์ (Azodicarbonamide, ADC) จากบริษัทเอ.เอฟ.กู๊ดริช เคมีคอลส์ จำกัด
- สารหน่วงไฟทางการค้า PIR-071130-3 จากบริษัทแปซิฟิคอินดัสทรี จำกัด
- ลิกนินที่สกัดได้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการสกัดลิกนิน มีดังนี้

- ปีกเกอร์ขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตร
- กระจกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร
- ผ้าขาวบาง
- สายยางสูบน้ำ
- ซ้อนโลหะดักสาร
- พีเอชมิเตอร์
- กรวยกระเบื้อง
- กระดาษกรองเบอร์ห้า

- แท่งแก้วคนสาร
- เครื่องปั่น
- ไม้พืดโลหะ
- จานเพาะเชื้อ
- เครื่องดูดสูญญากาศ
- เทอร์โมมิเตอร์
- เครื่องชั่ง
- เครื่องบด
- ตู้อบสารเคมี

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานโฟม

- เครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two – roll mill) บริษัทแล็บเทค เอนจิเนียริง จำกัด รุ่น LRM-S-110
- เครื่องอัดแบบ (Compression moulding) บริษัทแล็บเทค เอนจิเนียริง จำกัด รุ่น LP-S-50

3.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และทดสอบ

- เครื่อง Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR) บริษัทเทอร์โม ไชแอนทิฟิค จำกัด รุ่น Nicolet 6700
- เครื่อง Laser light scattering บริษัทมาลเวิร์น จำกัด รุ่น Mastersizer 2000
- เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) บริษัท เมทเล่อร์-โทเลโด จำกัด รุ่น TG/SDTA851^e
- เครื่อง Melt flow index บริษัท Kayenness จำกัด
- กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) บริษัท JEOL จำกัด รุ่น JSM-6480LV
- เครื่องยูนิเวอร์ซอล เทสติง (Universal testing machine) บริษัทอินสตรอน จำกัด รุ่น 8852
- เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) บริษัท อนาคต-ย่น่า จำกัด รุ่น SPECORD S 100
- เครื่อง Nuclear magnetic resonance (NMR) บริษัท Varian จำกัด รุ่น Mercury plus 400 MHz
- เครื่องทดสอบการลามไฟ (UL-94 flammability meter) บริษัท CEAST จำกัด

3.3 การสกัดและการตรวจสอบคุณลักษณะของลิกนิน

3.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดลิกนินจากน้ำดำ

กรองน้ำดำ 100 มิลลิลิตร ด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกกากไม้ออกจากนั้นนำน้ำดำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที พร้อมทั้งปรับค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยกรดซัลฟิวริกจนได้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 1, 3 และ 5 หลังจากนั้นกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (กระดาษกรองเบอร์ 5) นำตะกอนที่ได้มาล้างด้วยน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส จนน้ำที่ล้างใส จึงนำตะกอนที่ผ่านการล้างไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนแห้งแล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดเป็นระยะเวลา 3 นาทีต่อ 100 กรัม นำลิกนินที่ได้ในแต่ละค่าความเป็นกรด-ด่างไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

3.3.2 ตรวจสอบปริมาณผลิตผล (yielding) ของลิกนินที่สกัดได้

ตรวจสอบปริมาณผลิตผลของลิกนินโดยใช้เทคนิควัดการดูดกลืนแสงยูวี (UV-visible spectrophotometer) โดยมีการเตรียมสารละลายและวิธีการตรวจสอบดังนี้

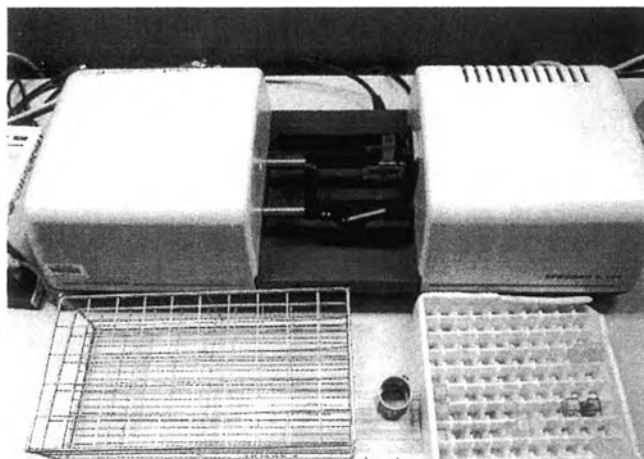
(1) เตรียมสารละลายบอริก 0.1 โมล โดยการละลายกรดบอริก 6.183 กรัม ลงในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เป็น 12 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

(2) เตรียมสารละลายลิกนินที่ความเข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน (Part per million, ppm) โดยการละลายลิกนิน 1 กรัมลงในสารละลายบอริกที่เตรียมข้างต้น

(3) เตรียมสารละลายลิกนินที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50 ppm โดยการปิเปตสารละลายลิกนินความเข้มข้น 1000 ppm จากข้อที่ 2 ปริมาณต่างๆ กัน ดังนี้ 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตรตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตร แล้วเติมสารละลายกรดบอริก 0.1 โมล ให้เป็น 100 มิลลิลิตร

นำสารละลายลิกนินที่เตรียมได้ที่ความเข้มข้นต่างๆ มาวัดค่าดูดกลืนแสงยูวีด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer ดังรูปที่ 3.1 ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) โดยที่แกน y คือค่าการดูดกลืนแสงยูวี ส่วนแกน x คือความเข้มข้นของลิกนิน จากนั้นสร้างสมการเส้นตรง

(4) เตรียมสารละลายน้ำดำความเข้มข้น 0.4 ppm โดยปิเปตน้ำดำที่ต้องการหาปริมาณลิกนิน 1 มิลลิลิตร เจือจางให้เป็น 250 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตรด้วยสารละลายกรดบอริกที่เตรียมข้างต้น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวี นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณผลิตผลของลิกนินที่สกัดได้ โดยใช้สมการเส้นตรงที่สร้างจากข้อมูลในข้อที่ (3)



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวี (UV-Visible spectrophotometer)

3.3.3 ตรวจสอบคุณลักษณะของลิกนิน

(1) ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของลิกนินด้วยเทคนิค *Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)* ด้วยเครื่อง *Fourier transform infrared spectrometer* บริษัทเทอร์โม ไชแอนทิฟิค จำกัด รุ่น NICOLET 6700 ดังรูปที่ 3.2 โดยภาวะที่ใช้ในการทดสอบ คือ ความถี่ในช่วง $4000-400\text{ cm}^{-1}$ และค่าความสามารถในการแยกค่าความละเอียดของภาพ (Resolution) เท่ากับ 4.0 cm^{-1} จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของลิกนินที่ใช้ในทางการค้า



รูปที่ 3.2 เครื่อง *Fourier transform infrared spectrometer*

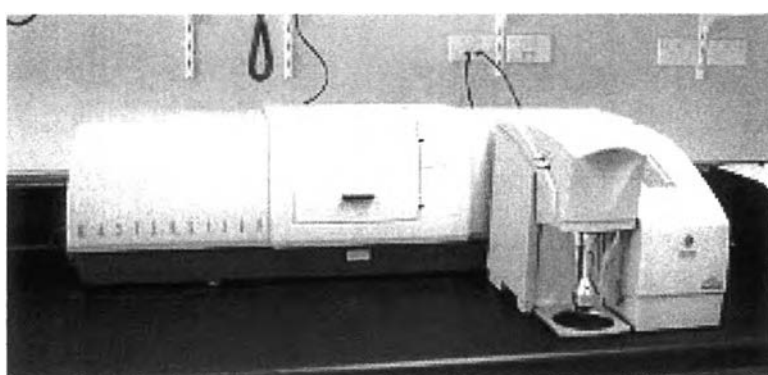
(2) ตรวจสอบอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเทคนิค *Thermogravimetric analysis (TGA)* โดยใช้เครื่อง *Thermogravimetric analyzer* ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบที่ประมาณ 7 มิลลิกรัม ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียสและเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 950

องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียไปเป็นร้อยละ (% Weight loss)



รูปที่ 3.3 เครื่อง Thermogravimetric analyzer

(3) ตรวจสอบขนาดอนุภาคของลิกนินด้วยเทคนิค *Laser light scattering* โดยใช้เครื่องทดสอบรุ่น Mastersizer ของบริษัท Malvern จำกัด ดังรูปที่ 3.4 ตั้งค่า measurement time ของ background และ sample เป็น 10 และ 5 วินาทีตามลำดับ ค่า RI (reflective index) เป็น 1.6 ค่า Obscuration limit เป็นร้อยละ 5-15 จากนั้นเติมลิกนินลงไปในปีกเกอร์ใส่สาร โดยให้ค่า Obscuration limit อยู่ประมาณร้อยละ 5 แล้วจึงตรวจสอบ

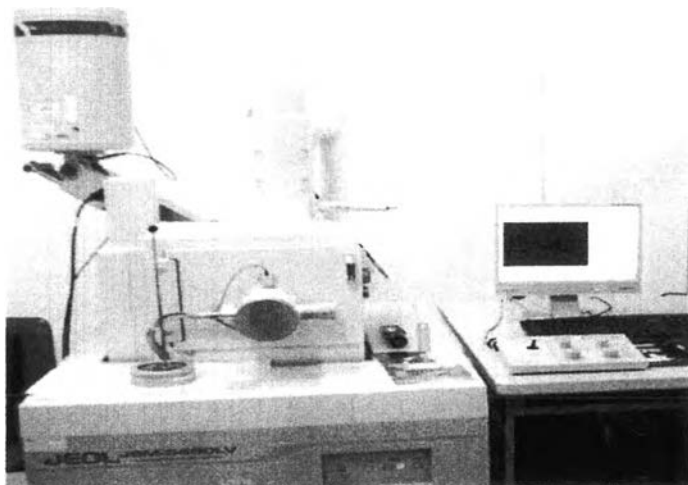


รูปที่ 3.4 เครื่อง laser light scattering

(4) ตรวจสอบโครงสร้างของลิกนินด้วยเทคนิค *Nuclear magnetic resonance (NMR)* นำลิกนินที่ผ่านการบดแล้ว ประมาณ 5 มิลลิกรัมมาละลายในตัวทำละลาย Dimethyl sulfoxide-d6 (DMSO-d6) ใส่ลงในหลอด NMR โดยให้ความสูงของสารละลายมีความสูงในหลอดประมาณ

4 เซนติเมตร จากนั้นจึงทำการตรวจสอบโครงสร้างของลิกนิน โดยใช้ความถี่ 400 เมกะเฮิรต์ (MHz)

(5) ตรวจสอบลักษณะอนุภาคของลิกนินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) โดยใช้ลิกนินที่บดแล้วไปวางบนคาร์บอนเทป หลังจากนั้นจึงใช้ลูกลายแปา นำคาร์บอนเทปที่ได้ไปติดบนแท่นวางชิ้นทดสอบ จากนั้นนำไปเคลือบทองด้วยเครื่อง Sputter coater บริษัทซีพีไฟล (Supplies) จำกัด รุ่น SPI-MODULE เป็นเวลาประมาณ 1 นาที วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดดังรูปที่ 3.5 ที่กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า โดยใช้ความต่างศักย์ 15 kV

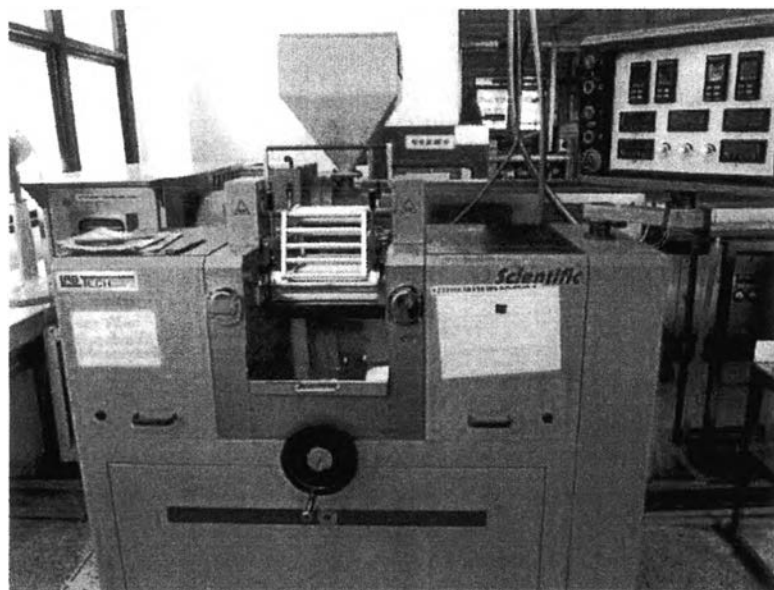


รูปที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

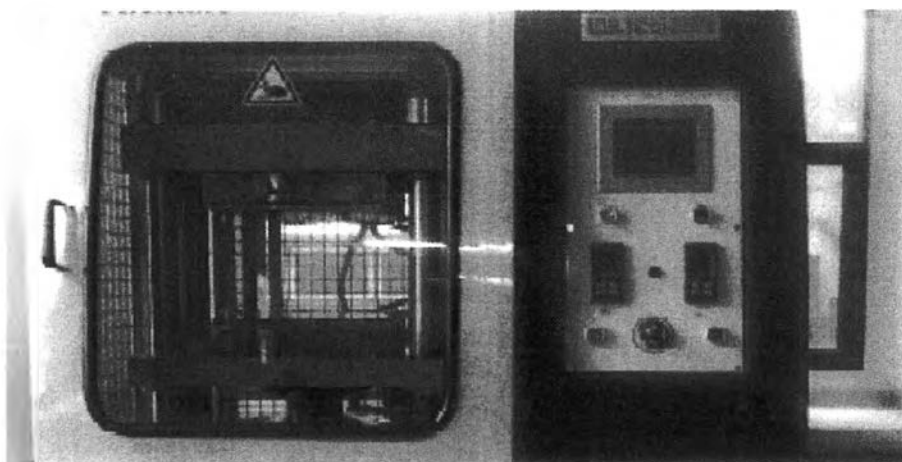
3.4 การเตรียมและทดสอบชิ้นงานโฟม

3.4.1 การเตรียมชิ้นงานโฟม

ผสมสารต่างๆ ด้วยเครื่องผสมสองลูกกึ่งดังรูปที่ 3.6 ที่อุณหภูมิลูกกึ่งลูกหน้า และลูกกึ่งลูกหลัง 120 และ 110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความเร็วลูกกึ่งหน้าและหลัง 11 และ 10 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยใช้ปริมาณสารแสดงดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 และเวลาในการผสมสารรวมทั้งหมด 15 นาที หลังจากทำการผสมแล้วจึงนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบดังรูปที่ 3.7 โดยแม่พิมพ์มีขนาด 175 x 175 x 30 มิลลิเมตร และกำหนดน้ำหนักคอมพาวนด์เป็น 100 กรัม จากนั้นศึกษาอุณหภูมิ ความดัน ระยะเวลาให้ความร้อน และ ระยะเวลาเย็นตัวที่เหมาะสม บันทึกลักษณะของชิ้นงานโฟมและภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูป



รูปที่ 3.6 เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two – roll mill)



รูปที่ 3.7 เครื่องอัดแบบ (Compression moulding)

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานโฟมที่เติมลิกนิน

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	100
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	5
กรดสเตียริก (Stearic Acid)	1
ไดควิมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP)	0.5
อะโซไดคาร์โบนาไมด์ (ADC)	5
ลิกนิน (LIG)	0,5,10,15,20

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานโฟมที่เติมสารหน่วงไฟเชิงการค้า

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	100
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	5
กรดสเตียริก (Stearic Acid)	1
ไดควิมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP)	0.5
อะซิโตนคาร์บอนาไมด์ (ADC)	5
เดคะโบรโมไดเฟนิลออกไซด์ (DBPO)	0.75 และ 10

3.4.2 การทดสอบของคอมพาวนด์

ทดสอบอัตราการไหล (MFI) ของคอมพาวนด์ (Compound) โดยใช้เครื่อง Melt flow indexer ดังรูปที่ 3.8 โดยใช้อุณหภูมิขณะทำการทดลองเป็น 115 องศาเซลเซียส และกดด้วยแรงกดน้ำหนัก 10 กิโลกรัม จับเวลาขณะคอมพาวนด์ไหลออกมา เมื่อครบสิบนาที จึงตัดและนำคอมพาวนด์ที่ไหลออกมาไปวัดน้ำหนัก บันทึกผลการทดลองในหน่วยกรัมต่อสิบนาที



รูปที่ 3.8 เครื่อง Melt flow indexer

3.4.3 การทดสอบชิ้นงานโฟม

(1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นของชิ้นงานโฟม และโครงสร้างเซลล์ของโฟม

- โครงสร้างเซลล์ของโฟมตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) โดยใช้สภาวะเดียวกับการตรวจสอบคุณลักษณะของลิกนิน คือตัดชิ้นงานเป็นแผ่นบางๆ โดยให้ความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกัน แล้วนำไปวางบนเทป

คาร์บอน จากนั้นนำไปเคลือบทองด้วยเครื่อง Sputter coater ของบริษัท Supplies จำกัด รุ่น SPI-MODULE เป็นเวลาประมาณ 1 นาที วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 30, 1,000 และ 5,000 เท่า โดยใช้ความต่างศักย์ 15 kV วัดขนาดเซลล์ด้วยโปรแกรม SemAfore โดยการคำนวณพื้นที่ภายในเซลล์แล้วคำนวณเป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง

- ความหนาแน่นของชิ้นงานโฟม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3575-08 suffix W โดยตัดชิ้นงานโฟมให้มีขนาด 50 x 50 x 25 มิลลิเมตร จำนวนอย่างน้อย 3 ชิ้นทดสอบ จากนั้นนำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณค่าตามสมการที่ 3.1

$$D = \frac{M}{V} \quad (3.1)$$

โดยที่ D คือค่าความหนาแน่น หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

M คือน้ำหนักของชิ้นงานหน่วยเป็น กิโลกรัม

V คือปริมาตรของชิ้นงานหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

(2) สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงกด (Compression deflection) และความสามารถในการคืนตัว (Compression set under constant deflection)

- ความทนแรงกด (Compression deflection) ใช้มาตรฐาน ASTM D 3575-08 suffix D โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบขนาด 50 x 50 x 25 มิลลิเมตร จำนวนอย่างน้อย 3 ชิ้นทดสอบต่อสูตร ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine บริษัทอินสตรอน จำกัด รุ่น 5582 ดังรูปที่ 3.9 กดชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็ว 12.5 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นระยะทางร้อยละ 25±5 ของความหนาเริ่มต้น คำนวณค่าความสามารถในการทนแรงกดต่อพื้นที่ของชิ้นงาน (Compressive deflection, CD) ดังสมการที่ 3.2

$$CD = \frac{F}{A} \quad (3.2)$$

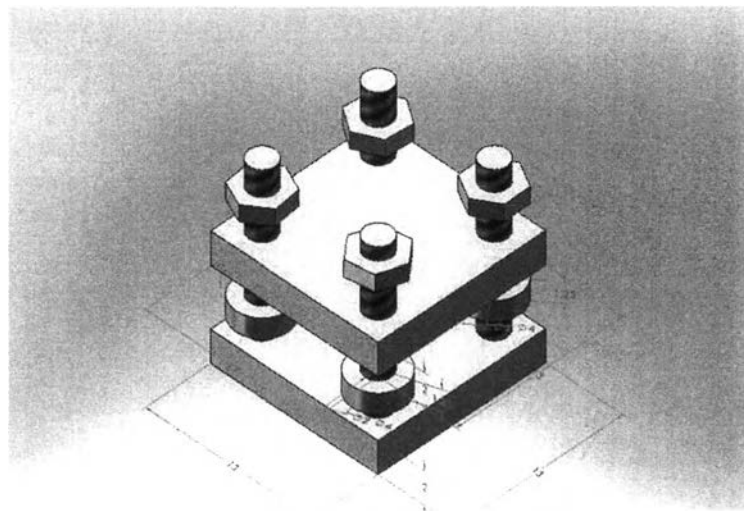
โดยที่ F คือแรงกดชิ้นทดสอบ หน่วยเป็น นิวตัน

A คือพื้นที่ของชิ้นงานที่สัมผัสแผ่นกด หน่วยเป็น ตารางเมตร

- ความสามารถในการคืนตัว (Compression set under constant deflection) ใช้มาตรฐาน ASTM D 3575-08 SUFFIX B เป็นการทดสอบความสามารถในการคืนตัวของชิ้นงานโฟมภายใต้แรงกด วัดความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปโดยมีวิธีทดสอบดังนี้ เตรียมชิ้นทดสอบขนาด 50 x 50 x 25 มิลลิเมตร จำนวนอย่างน้อย 5 ชิ้นทดสอบต่อสูตร ทำการกดอัดชิ้นงานโดยใช้เครื่องมือดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 เครื่องยูนิเวอร์แซลเทสติง (Universal testing machine)



รูปที่ 3.10 เครื่องมีดทดสอบความสามารถในการคืบตัว

กวดเครื่องมือทดสอบให้ชิ้นงานมีความหนาลดลงไปร้อยละ 50 จากความหนาเริ่มต้นเป็นเวลา 22 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องมือทดสอบ เริ่มวัดความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาต่างๆ จนถึงประมาณ 24 ชั่วโมง คำนวณหาค่าความสามารถในการคืบตัว (compression set under constant deflection, C_d) จากสมการที่ 3.3

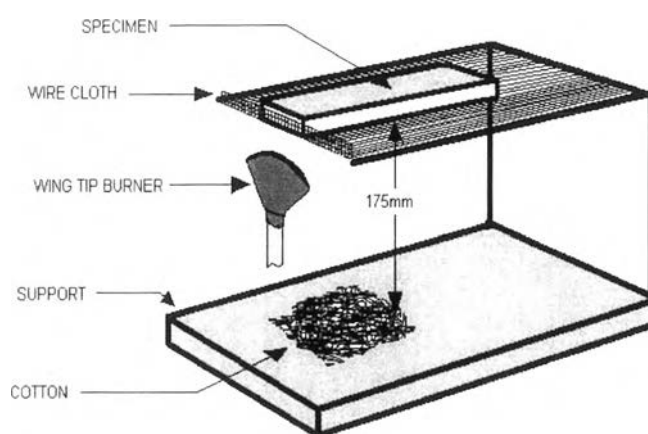
$$C_d = \left(\frac{t_0 - t_f}{t_0} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

โดยที่ t_0 คือความหนาแน่นเริ่มต้น หน่วยเป็น เซนติเมตร

t_f คือความหนาแน่นหลังจากคืนตัวในช่วงระยะเวลาต่างๆ หน่วยเป็น เซนติเมตร

(3) สมบัติการติดไฟ ได้แก่ ความสามารถในการลามไฟ และ ปริมาณเถ้า (char)

- ความสามารถในการลามไฟ ใช้มาตรฐาน UL-94 HBF (Horizontal burning foamed material, ASTM D4986-03) โดยชิ้นงานทดสอบมีขนาด 150 x 50 x 13 มิลลิเมตร ทำการทดสอบชิ้นงานจำนวน 2 ชุด ชุดละ 5 ชิ้น ชิ้นงานแต่ละชิ้นจะทำเครื่องหมายไว้ที่ความยาว 25, 60 และ 125 มิลลิเมตร (วัดจากปลายชิ้นงาน) โดยทำการจัดวางอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.11 จากนั้นทำการเผาไหม้ที่ปลายด้านหนึ่งเป็นระยะเวลา 60 วินาที สังเกตอัตราการเผาไหม้ ระยะทางที่เกิดการเผาไหม้ และ ส่วนที่หลอมหยดลงบนผ้าฝ้าย 100% โดยผ้าฝ้ายมีขนาด 75 x 75 เซนติเมตร และมีน้ำหนักประมาณ 0.05-0.08 กรัม



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการลามไฟ (UL-94) [25]

วิเคราะห์ผลการทดสอบ อาศัยเกณฑ์ดังนี้

(1) ชิ้นงานจะถูกจัดอยู่ในเกณฑ์ HBF ถ้า

- ทุกชิ้นงาน มีอัตราการเผาไหม้ไม่เกิน 40 มิลลิเมตรต่อนาทีในระยะ 100 มิลลิเมตร หรือ

- ชิ้นงานหยุดการเผาไหม้ก่อนที่การลามของไฟ (flaming) หรือ วาวไฟ (glowing) จะไปถึงระยะ 125 มิลลิเมตรที่ทำเครื่องหมายไว้ โดยถ้ามีชิ้นงานเพียง 1 ชิ้นไม่ผ่านการทดสอบจะต้องมีการทดสอบเพิ่มอีก 5 ชิ้นโดยทั้งห้าชิ้นต้องผ่านเกณฑ์ทั้งหมด

(2) ชิ้นงานจะถูกจัดอยู่ในเกณฑ์ HF1 และ HF2 ถ้าลักษณะการเผาไหม้ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การแบ่งเกณฑ์ HF1 และ HF2

เกณฑ์ของชิ้นงาน	HF1	HF2
Afterflame time	$4/5 \leq 2 S^A$	$4/5 \leq 2 S^A$
	$1/5 \leq 10 S^B$	$1/5 \leq 10 S^B$
Afterglow time	≤ 30	≤ 30
ผ้าฝ้ายมีการติดไฟจากการหยดของชิ้นงาน	ไม่ติดไฟ	ติดไฟ
ระยะที่มีการเผาไหม้	< 60 มิลลิเมตร	< 60 มิลลิเมตร

หมายเหตุ

- Afterflame time คือ ระยะเวลาที่ชิ้นงานยังติดไฟ ภายใต้สภาวะที่กำหนด หลังจากนำตัวที่ทำให้ติดไฟ (ignition source) ออก
- Afterglow time คือ ระยะเวลาที่ชิ้นงานยังมีการวาวไฟ ภายใต้สภาวะที่กำหนด หลังจากนำตัวที่ทำให้ติดไฟ (ignition source) ออก หรือการดับของการติดไฟ หรือ ทั้งสองกรณี
- S^A และ S^B คือชิ้นงานชุดที่ 1 และชิ้นงานชุดที่ 2 ตามลำดับ

อัตราการเผาไหม้คิดจากอัตราส่วนของระยะทางต่อระยะเวลาที่ไฟเผาไหม้จนถึงระยะที่ 125 มิลลิเมตร ลบด้วยระยะที่ 25 มิลลิเมตรดังสมการที่ 3.4

$$\text{อัตราเผาไหม้ (เมตรต่อวินาที)} = \frac{600}{t_{125} - t_{25}} \quad (3.4)$$

การวัดปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) ใช้น้ำหนักชิ้นงานตัวอย่างประมาณ 7 มิลลิกรัม โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียสและเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 950 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน และออกซิเจน เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียไปเป็นร้อยละ (% Weight loss) และปริมาณเถ้า (char) ที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาจากปริมาณน้ำหนักที่เหลือ