

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. สารละลายสังเคราะห์วานิลลา (Vanilla) Food grade. Keith Harris & Co.
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) เกรดการค้า 1905 F Thai Polyethylene Co., LTD.

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LD 1905F)*

สมบัติ	หน่วย	Test Method	LD1905F
อัตราการไหล (Melt flow rate)	g/10 min	ASTM D 1238	5.0
ความหนาแน่น (Density)	g/cm ³	ASTM D 1505	0.919
ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength at break)	kg/cm ²	ASTM D 638	MD: 210 TD : 170
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break)	%	ASTM D 638	MD: 320 TD : 680
ความแข็งแรงในการฉีกขาด (Tear strength)	g/25 micron	ASTM D 1922	MD: 370 TD : 210
ความแข็งผิวหน้า (Hardness)	-	ASTM D 2240	46
จุดหลอมเหลว (Melting point)	° C	ASTM D 2117	110
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	kg/cm ²	ASTM D 790	2,100

* ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3. สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Stabinex NL-214) Mizusawa Industrial Chemicals, Ltd.

ตารางที่ 3.2 สมบัติของ Stabinex NL-214 (Ca/Zn stabilizer)*

สมบัติ	Stabinex NL-214
Main Components	Calcium / Zinc / Magnesium
Appearance	White powder
Moisture (%)	Less than 3.0
Bulk Density	0.38 ± 0.10
Melting point	110~120 °C

* ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

4. สารช่วยผสม (Fusabond[®] MB 226D) Creative Polymer Ltd.

ตารางที่ 3.3 สมบัติของ Fusabond[®] MB 226D*

สมบัติ	หน่วย	Test Method	MB226D*
Melt flow rate (190 °C/2.16 kg)	g/10 min	ASTM D1238	1.5
Density	g/cm ³	ASTM D1505	0.93
Melting point	°C	ASTM D3418	120

* ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electronic balance) ความละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) : รุ่น Model 3000 : LAB TECH Engineering Company., Ltd.
3. เครื่องบดย่อยพลาสติก (Grinding machine) : รุ่น A 600 : Bosco Engineering
4. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) : Polydrive with Rheomex R 252 HAAKE
5. เครื่องเป่าฟิล์ม (Blown – film machine) : รุ่น Type LF 400 : LAB TECH Engineering Company., Ltd.

6. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) : รุ่น LR 5K : Lloyd Instrument Ltd.
7. เครื่องตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของสาร (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) : GC รุ่น 6890 N และ MS รุ่น 5973 N : Agilent Technologies Co.
8. เครื่องตรวจวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric analyzer, TGA) : รุ่น Pyris 1 : Perkin
9. เครื่องตรวจวิเคราะห์การดูดกลืนอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectrometer, FTIR) : รุ่น FTIR spectrum GX : Perkin Elmer
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscopy, SEM) : รุ่น LEO 1455 VP : LEO Ltd.
11. เครื่องทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeation tester) : รุ่น Lyssy L80-4000 : Assignee Ricoh Co., Ltd.
12. กล้องถ่ายรูปดิจิทัล : รุ่น Dimage Z5 : Konica Minolta
13. ตู้อบ (Oven)
14. เครื่องแก้วต่างๆ

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักสารละลายวานิลลาและสารเติมแต่งต่างๆ ที่จะใช้ในการผสม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 4 ตำแหน่ง โดยใช้อัตราส่วนต่างๆ กันดังตารางที่ 3.4-3.7
2. นำส่วนผสมต่างๆ มาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยความเร็ว 2000 รอบต่อนาที
3. นำของผสมที่ผสมเรียบร้อยแล้วป้อนเข้าสู่เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยตั้งอุณหภูมิช่วงต่างๆ ของเครื่องอัดรีดทั้ง 4 ช่วงเป็นดังนี้ 150-155-160-160 °C ตามลำดับ (จากส่วนป้อนสารจนถึงหัวดาย) ให้ความเร็วสกรูหมุนด้วยความเร็วคงที่ 60 รอบต่อนาที โดยใช้หัวดายแบบเส้น (spinneret)
4. ปลอ่ยให้พอลิเมอร์ที่ผสมเรียบร้อยแล้วเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปบดย่อยด้วยเครื่องบดก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่าฟิล์ม โดยแยกเก็บบางส่วนไว้เพื่อทำการวิเคราะห์

3.3.2 การขึ้นรูป

ทำการขึ้นรูปโดยการเป่าเป็นฟิล์มบาง โดยนำพอลิเมอร์ผสมในแต่ละสูตรที่ผ่านการบดมาอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลานาน 30 นาทีเพื่อลดความชื้นที่อาจเกิดขึ้นได้จากตอนที่ตั้งเม็ดที่ผ่านการบดทิ้งเอาไว้ เมื่อนำพอลิเมอร์ผสมออกจากตู้อบทำการเติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในปริมาณที่เท่ากับกับพอลิเมอร์ผสม ผสมให้เข้ากันโดยใช้การเขย่าเพื่อให้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่เติมเข้าไปกระจายตัวผสมกับพอลิเมอร์ผสมก่อนที่จะนำไปป้อนเข้าสู่เครื่องเป่าฟิล์ม

โดยสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปจะตั้งอุณหภูมิช่วงต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวทั้ง 4 ช่วงเป็นดังนี้ 160-170-180-180 °C (จากส่วนป้อนสารจนถึงหัวดาย) โดยให้ความเร็วสกรูหมุนด้วยความเร็ววงที่ 100 รอบต่อนาที และอุณหภูมิที่หัวดายแบบวงแหวนตั้งอุณหภูมิที่ 180 °C กำหนดให้มี อัตราการพองตัว (blow-up ratio) 3 : 1 และใช้ความเร็วในการดึงของลูกกลิ้ง 5 เมตรต่อนาที [ภาคผนวก ข] โดยอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมแต่ละสูตรมีค่าดังตารางที่ 3.5 3.6 และ 3.7

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมเมื่อใส่สารเติมแต่งต่างชนิดกัน (% โดยน้ำหนักพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ)

Sample	LDPE (g)	Fusabond MB226D (%)	Ca/Zn (%)	Vanilla (%)
1	500	-	-	-
2	500	10	-	-
3	500	-	1	-
4	500	-	-	2

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมเมื่อมีปริมาณสารช่วยผสมต่างกันเพื่อหาปริมาณที่ให้สมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมดีที่สุด (% โดยน้ำหนักพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ)

Sample	LDPE (g)	Fusabond MB226D (%)	Ca/Zn (%)	Vanilla (%)
5	500	-	1	2
6	500	5	1	2
7	500	10	1	2
8	500	15	1	2

ตารางที่ 3.6 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมเมื่อมีปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนต่างกัน เพื่อหาปริมาณที่ให้สมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมดีที่สุด (%) โดยน้ำหนักพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ)

Sample	LDPE (g)	Fusabond MB226D (%)	Ca/Zn (%)	Vanilla (%)
9	500	10*	-	2
10	500	10*	1	2
11	500	10*	3	2
12	500	10*	5	2
13	500	10*	7	2

หมายเหตุ * คือ ปริมาณสารช่วยผสมที่ให้สมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมดีที่สุดที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.7 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมเมื่อมีปริมาณสารละลายวานิลลาต่างกันเพื่อหาปริมาณที่ให้สมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมดีที่สุด (%) โดยน้ำหนักพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ)

Sample	LDPE (g)	Fusabond MB226D (%)	Ca/Zn (%)	Vanilla (%)
14	500	10*	1**	-
15	500	10*	1**	1
16	500	10*	1**	2
17	500	10*	1**	3
18	500	10*	1**	4

หมายเหตุ * คือ ปริมาณสารช่วยผสมที่ให้สมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมดีที่สุดที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 3.5

** คือ ปริมาณสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนที่ให้สมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมดีที่สุดที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 3.6

3.4 การตรวจวิเคราะห์

3.4.1 การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสาร โดยจะใช้ตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของสารวานิลลินในพอลิเมอร์ผสมเพื่อตรวจสอบว่ามีสารวานิลลินอยู่ในพอลิเมอร์ผสม โดยคาดว่าจะมีพีกของหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่ง 1720 cm^{-1} เพิ่มขึ้นมาเมื่อเทียบกับพีกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

ในการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือการตรวจวิเคราะห์เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันของสารวานิลลินในสารละลาย การตรวจวิเคราะห์เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันของสารช่วยผสมและสารวานิลลินในตัวอย่างพอลิเมอร์ผสม และการตรวจวิเคราะห์เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของสารวานิลลินในพอลิเมอร์ผสมเมื่อเวลาผ่านไป

ก่อนทำการทดสอบตัวอย่างด้วย FTIR จะต้องทำการเทียบมาตรฐานของเครื่องมือโดยการบันทึกสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มพอลิสไตรีนเพื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาตรฐาน ว่ามีความคลาดเคลื่อนหรือไม่ ที่เลขคลื่น $4000 - 400\text{ cm}^{-1}$

ในส่วนของการทดสอบตัวอย่างที่เป็นสารละลายวานิลลิน จะใช้การฉีดสารละลายวานิลลินให้เข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเพลท KBr ทำให้ได้สารละลายเป็นฟิล์มที่มีขนาดบาง แล้วนำไปบันทึกสเปกตรัม และในส่วนของการทดสอบตัวอย่างพอลิเมอร์ผสม จะแยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 แบบคือวิธีแรกจะเป็นวิธีการหาสารช่วยผสมที่มีในพอลิเมอร์ผสมโดยนำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดย่อยประมาณ 1 กรัมมาละลายด้วยตัวทำละลายไซลีน 20 มิลลิลิตรให้ความร้อนเล็กน้อยเพื่อช่วยในการละลาย เมื่อได้เป็นสารละลายใสแล้วนำสารละลายไปฉีดให้เข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเพลท KBr รอให้แห้งจะได้เป็นฟิล์มขนาดบาง แล้วนำไปบันทึกสเปกตรัม วิธีที่ 2 นำพอลิเมอร์ผสมประมาณ 0.2 กรัมมาบดผสมกับสาร KBr แบบผงให้เข้ากันก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีขนาดบางด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) เมื่อได้เป็นฟิล์มบางแล้วนำไปบันทึกสเปกตรัม โดยทั้งหมดจะทำการบันทึกสเปกตรัมที่ $4000 - 400\text{ cm}^{-1}$

นอกจากนี้ FTIR ยังใช้ติดตามการสลายตัวหรือการหายไปของสารวานิลลินเมื่อเวลาผ่านไปได้ โดยการนำฟิล์มที่ได้จากการอัดขึ้นรูปในแต่ละสูตรมาตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ในทุกๆ 2 สัปดาห์ เพื่อพิจารณาลักษณะของพีกและหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไป (ทั้งรูปร่างและตำแหน่ง)

3.4.2 การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)

Thermogravimetric analysis (TGA) เป็นเทคนิคของการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักความร้อนเพื่อใช้หาเสถียรภาพทางความร้อนและปริมาณของสารวานิลลินในพอลิเมอร์ผสม โดยในการทดสอบจะใช้สารตัวอย่างประมาณ 20 – 25 มิลลิกรัม ซึ่งจะถูกให้ความร้อนด้วยอัตราเร็ว 10 °C ต่อนาที จากอุณหภูมิห้องจนถึง 800 °C

โดยการวิเคราะห์ด้วย TGA นี้ จะใช้เปรียบเทียบกับผลของอุณหภูมิ Onset ที่ได้จากการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในพอลิเมอร์ผสม

3.4.3 การตรวจวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope, SEM)

การตรวจวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยา (Morphology) จะช่วยยืนยันความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับสารวานิลลิน ทั้งที่มีการเติมและไม่มีการเติมสารช่วยผสม โดยตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์ต้องนำไปแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลานานอย่างน้อย 60 นาทีก่อนที่จะนำไปทำให้แตกหัก แล้วนำตัวอย่างที่หักแล้วไปเคลือบพื้นผิวด้วยทองคำก่อนการทดสอบ โดยตั้งสถานะของเครื่อง SEM ในการวิเคราะห์ ใช้พลังงาน 10 kV scan speed = 8 และกำลังขยาย 5,000 เท่า

3.4.4 การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry : GC-MS)

การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี เป็นการวิเคราะห์สารที่สามารถระเหยได้จากของแข็ง จะช่วยยืนยันสารวานิลลินที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสมได้ค่อนข้างแม่นยำ

การเตรียมตัวอย่างนำพอลิเมอร์ผสมที่เป็นของแข็งมาประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในขวดที่มีฝาปิดขนาด 20 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลานาน 30 นาที ก่อนที่จะใช้ SPME holder สอดเข้าไปในขวดโดยอย่าให้ส่วนปลายอยู่ใกล้ชิ้นงานตัวอย่างในขวดมากเกินไป เนื่องจากในการวิเคราะห์นี้ต้องการศึกษาสารที่ระเหยออกมาจากชิ้นงานตัวอย่างว่ามีสารประกอบใดบ้าง ถ้า SPME holder สัมผัสกับชิ้นงานจะทำให้เกิดการปนเปื้อนที่ SPME holder ซึ่งจะทำให้ได้ค่าที่วิเคราะห์ออกมาไม่ตรงกับความจริง โดยจะสอด SPME holder ทิ้งไว้นาน 30 นาทีเพื่อให้เส้นใยที่อยู่ใน SPME holder สามารถดูดซับความเข้มข้นของสารที่ระเหยได้ของตัวอย่างเอาไว้ เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้รีบนำไปฉีดเข้าที่เครื่อง GC-MS โดยทันที

สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS โดยส่วนที่เป็นเครื่อง GC จะใช้ fused-silica capillary column ที่มีความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร ฟิล์มหนา 0.25 μm (Agilent Technologies Co., USA.) ซึ่งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์อยู่ที่ 35 °C และทำการเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 5 °C ต่อนาที จากอุณหภูมิ 35 °C จนถึง 230 °C ทำการวิเคราะห์น้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมตัวอย่างด้วยเครื่องมือ MS ภายใต้สภาวะ electron ionisation (EI) 70 eV และทำการบันทึกช่วงน้ำหนักในการตรวจสอบแต่ละรอบอยู่ที่ 33 – 200 m/z (mass / charge ratio)

3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

3.4.5.1 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่ามอดุลัส (Modulus) ตามมาตรฐาน ASTM D882

ตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumb-bell) โดยตัดชิ้นงานทิศทางตามเครื่องจักรและทิศทางตามขวางเครื่องจักร ทิศทางละ 24 ชิ้นงาน วัดความหนาของแต่ละชิ้นงาน จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) โดยใช้สภาวะในการทดสอบ ดังนี้

ความเร็วของแท่นตัดขวาง (Crosshead speed)	100 mm/min
ระยะห่างของชิ้นงาน (Gauge length)	25 mm
น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (Load cell)	100 N

นำผลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณค่าสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้จากสมการ ดังนี้

ความแข็งแรงดึง (Tensile strength),	$\sigma = F / A$
มอดุลัส (Modulus),	$E = \text{ความเค้น } (\sigma) / \text{ความเครียด } (\epsilon)$
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด	$\epsilon = ((L - L_0) / L_0) \times 100$

- เมื่อ
- F คือ แรงดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็น นิวตัน : N)
 - A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็น ตารางมิลลิเมตร : mm^2)
 - L คือ ระยะระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็น มิลลิเมตร : mm)
 - L_0 คือ ระยะระหว่างจุดสองจุดก่อนทำการดึงยึดชิ้นงาน เป็นระยะที่แคบที่สุดของชิ้นงานและมีพื้นที่ขนาดเท่ากัน (Gauge length หน่วยเป็น มิลลิเมตร : mm)

3.4.5.2 การทดสอบการฉีกขาด (ตามมาตรฐาน ASTM D 1004)

ตัวอย่างชิ้นงานตามแบบ ASTM Die C โดยตัดชิ้นงานทิศทางตามเครื่องจักรและทิศทางตามขวางเครื่องจักร ทิศทางละ 24 ชิ้นงาน วัดความหนาของแต่ละชิ้นงาน จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) โดยใช้สภาวะในการทดสอบ ดังนี้

ความเร็วของแท่นตัดขวาง (Crosshead speed)	50 mm/min
น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (Load cell)	100 N

3.4.6 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

3.4.6.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การถ่ายภาพพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพื่อเป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพ โดยสภาวะที่ใช้ในการถ่ายภาพจะกำหนดให้ฟิล์มพอลิเมอร์นั้นอยู่ห่างจากเลนส์กล้องถ่ายรูปประมาณ 1 นิ้ว กำหนดให้มีแสงส่องผ่านมาจากทางด้านหลังของฟิล์มเพื่อเป็นตัวแปรที่จะแสดงถึงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มว่ามีความใส ชุ่น เรียบ มากน้อยเพียงไร โดยพิจารณาจากแสงที่ส่องออกมาจากทางด้านหลังและองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ด้านหลังฟิล์ม

3.4.6.2 การตรวจวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนัก

การชั่งน้ำหนักจะช่วยติดตามการสลายตัวหรือการหายไปของสารวานิลลินในพอลิเมอร์ผสมได้ โดยการชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำแต่ละตัวอย่างไปวางไว้ในภาชนะเปิดที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 2 สัปดาห์ บันทึกผล นำผลที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การหายไปของสารได้ด้วย

3.4.6.3 การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (ASTM E 96-95)

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือในการทดสอบคือ Water vapor permeation tester : Lyssy L80-4000 ที่ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย ที่สภาวะการทดสอบ อุณหภูมิ 38 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 90 % โดยทำการตัดฟิล์มพอลิเมอร์ให้ได้ขนาด 6 x 6 นิ้ว แล้วนำไปเข้าเครื่องมือเพื่อทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ