

บทที่ 3

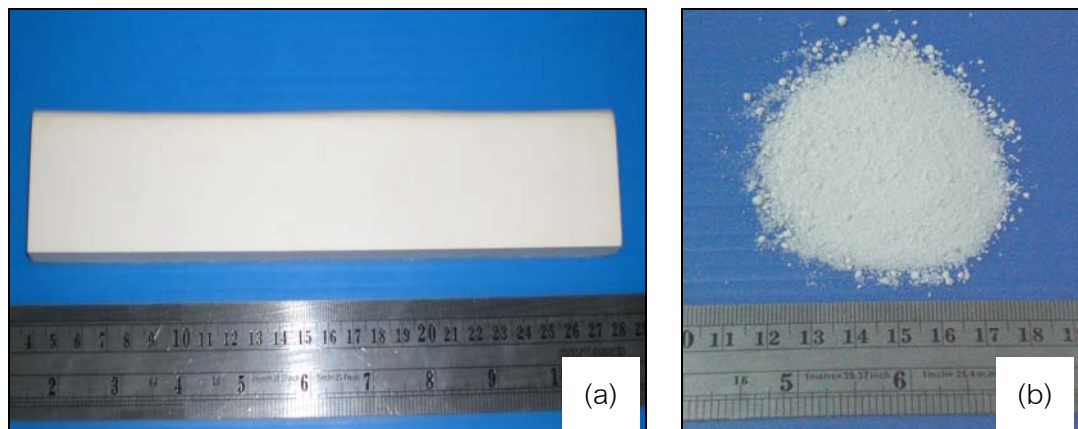
วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ เครื่องจักรและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 เศษพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC Scrap)

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือก PVC เกรดอัดรีดที่ใช้ในการอัดรีดผลิตภัณฑ์แผ่นชีส เช่น ผนังกันห้อง ฝ้าเพดาน พื้น ทำป้ายสัญลักษณ์และป้ายโฆษณาต่างๆ เป็นเศษที่ได้จากกระบวนการผลิตในช่วงตัดขอบแผ่นชีส ชนิดฟรีโฟม (Free Foam) ซึ่ง Scrap PVC ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามพลาสติก จำกัด แสดงดังภาพที่ 3.1

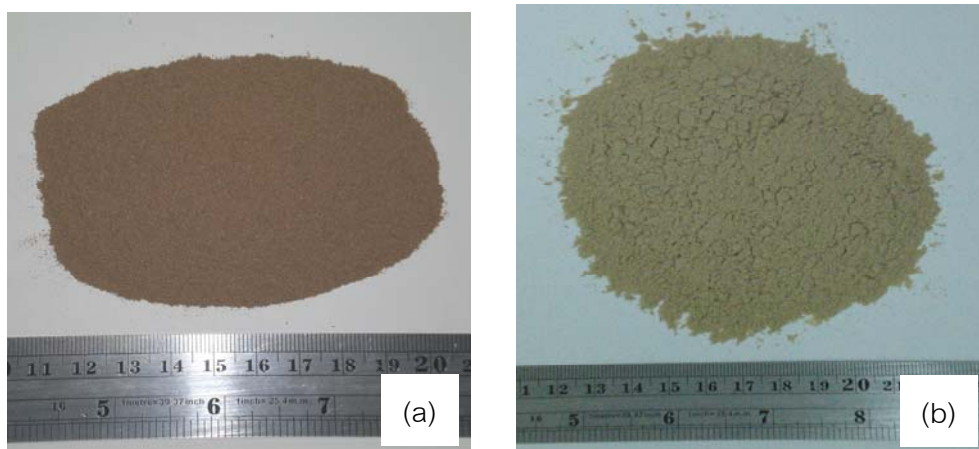


ภาพที่ 3.1

เศษพีวีซี (a) ก่อนบดและ (b) หลังบด

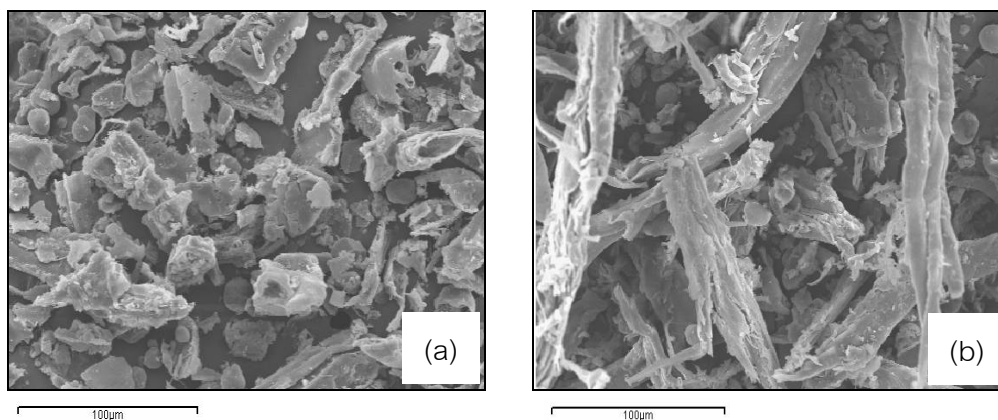
3.1.1.2 ผงไม้ (Wood flour)

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ ผงไม้จากต้นยางพารา เป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งเลือกมาใช้ 2 ชนิด ด้วยกันคือ ผงไม้ยางพาราสีเข้มจากเปลือกไม้และสีอ่อนจากเนื้อไม้ ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทสยามพลาสติก จำกัด แสดงดังภาพที่ 3.2, ภาพที่ 3.3 และตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.2

(a) ผงไม้ยางพาราสีเข้มและ (b) ผงไม้ยางพาราสีอ่อน



ภาพที่ 3.3

โครงสร้างจุลภาคของผงไม้ (a) ผงไม้ยางพาราสีเข้มและ (b) ผงไม้ยางพาราสีอ่อน

ตารางที่ 3.1

การวิเคราะห์หาขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค

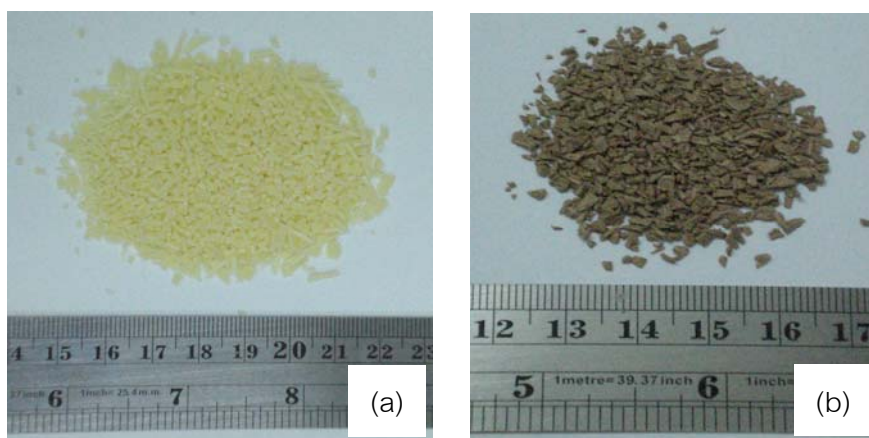
ผลการวิเคราะห์	ชนิดผงไม่ยวดยาว	
	สีเข้ม	สีอ่อน
ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร	133.76 μm	134.93 μm
ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงพื้นที่ผิว	42.35 μm	32.07 μm
$X \leq 10\%$	24.16 μm	18.52 μm
$X \leq 90\%$	282.59 μm	325.56 μm
ค่าความกว้างในการกระจายตัวของอนุภาค	2.396E+00	3.501E+00

ที่มา : วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mastersizer-S

3.1.1.3 เศษเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA)

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ EVA เกรดทำพื้นรองเท้ากีฬา เป็นเศษเหลือที่ได้จากกระบวนการผลิตในช่วงตัดแผ่น EVA ก่อนและหลังทำการขึ้นรูปด้วย เครื่องอัดขึ้นรูปความร้อนและแรงดัน เศษ EVA ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทเอสซีฟูดส์แมททีเรียล จำกัด นำมาบดให้มีขนาดเล็กลงด้วย เครื่องบดพลาสติก (Grinder) ของบริษัท BOSCO Engineering จำกัด รุ่น BG 3035 ดังภาพที่ 3.6

- เศษเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA) และสารผสมระหว่างเศษเอทิลีนไวนิลอะซิเตตกับโพลีเอทิลีน (EVA/PE (80/20) Bland) เป็นเศษที่ได้ก่อนทำการขึ้นรูป ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปความร้อนและแรงดัน แสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4

(a) เอทิลีนไวนิลอะซิเตต และ (b) เอทิลีนไวนิลอะซิเตตผสมกับโพลีเอทิลีน

- เศษโฟมเอทิลีนไวน์ลอะซีเตต (EVA Foam) เป็นเศษที่ได้หลังทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปความร้อนและแรงดัน แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5

โฟมเอทิลีนไวน์ลอะซีเตต

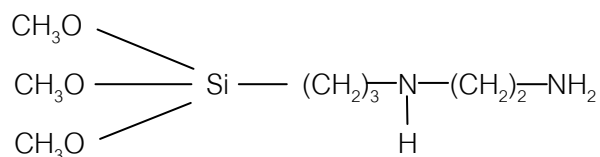


ภาพที่ 3.6

เครื่องบดพลาสติก (Grinder) ของบริษัท BOSCO Engineering จำกัด รุ่น BG 3035

3.1.1.4 สารคู่ควบชนิดไฮเลน

งานวิจัยนี้เลือกใช้ไฮเลนชนิด N-(2-Aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดและใส ซึ่งมีสูตรโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 3.7 รายละเอียดของสารเคมีแสดงดังตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.7

สูตรโครงสร้างทางเคมีของ N-(2-Aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane

ตารางที่ 3.2

สมบัติทั่วไปของไฮเลน N-(2-Aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane

Chemical name	Molecular weight	Density (25°C) [g/m]	Flash point [°C]	Boiling point [°C]
N-(2- Aminoethyl) -3-aminopropyltrimethoxysilane	222.4	1.03	>100	147/16 hPa

3.1.1.5 สารเติมแต่ง (Additives) ที่ใช้ในการทดลอง

1. พลาสติคไซเซอ์ (Plasticizer)
2. สารเพิ่มเนื้อ (Filler)
3. สารหล่อลื่น (Lubricants)
4. สารเพิ่มแรงกระแทก (Impact modifiers)
5. สารพองฟู (Blowing agent)
6. สารช่วยขึ้นรูป (Processing agent)
7. สารคงสภาพ (Stabilizer)

3.1.2 เครื่องจักรและอุปกรณ์

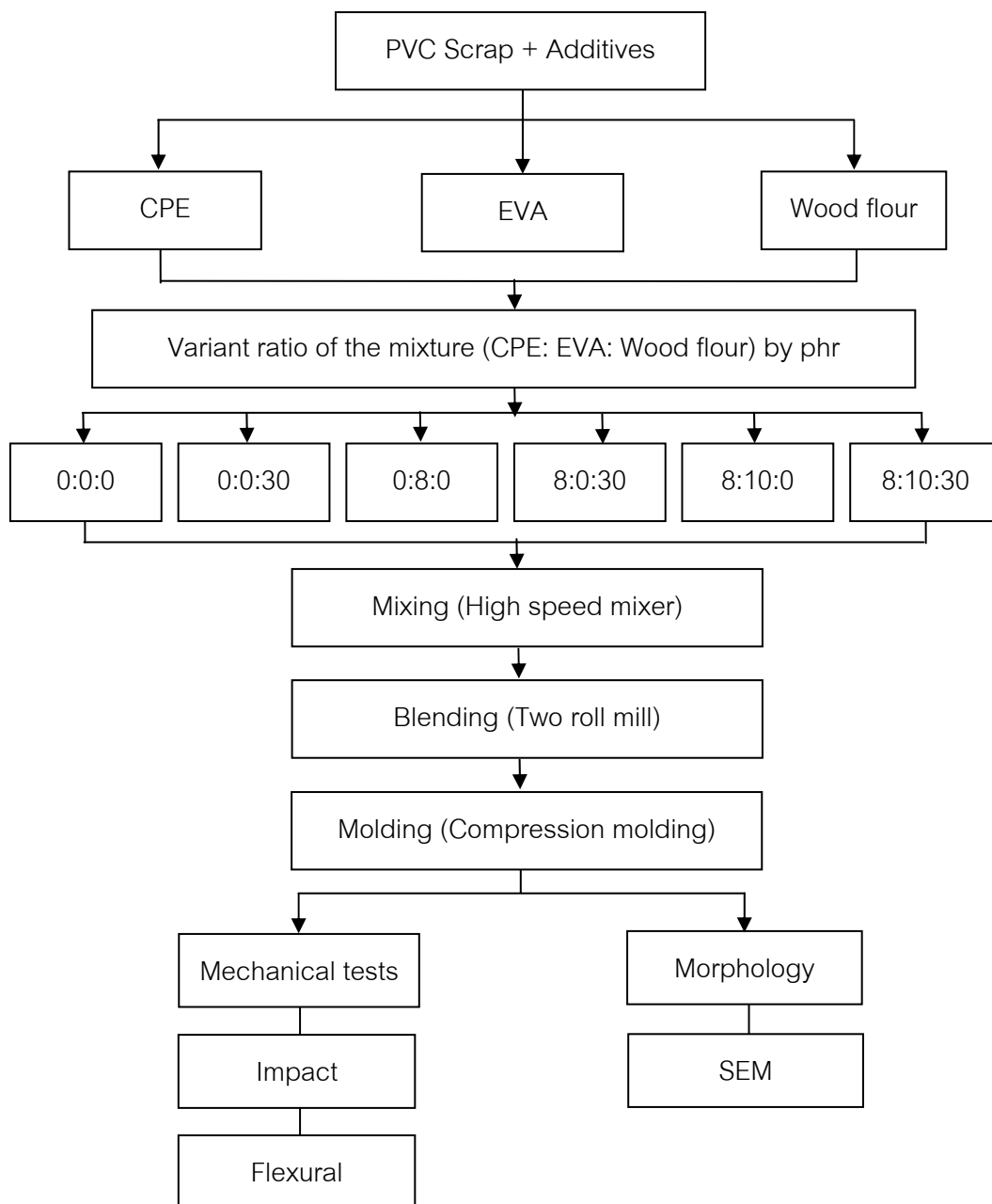
1. เครื่องบดพลาสติก (Grinder)
2. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer)
3. ผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)
4. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding)
5. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Izod impact tester)
6. เครื่องชั่งสารและบีกเกอร์สำหรับตวงสาร
7. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine)

3.2 การออกแบบการทดลอง

แผนการดำเนินการวิจัย สามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

- ผลของผงไม้และ CPE ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้
- ผลของชนิดและปริมาณของเศษ EVA ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้
- ผลของปริมาณสารผสมระหว่าง EVA กับ Silane ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้
- ผลของการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane และ NaOH ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้
- เปรียบเทียบผลการทดลอง วัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดกับไม้ยางพารา

3.2.1 ผลของผงไม้และ CPE ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้



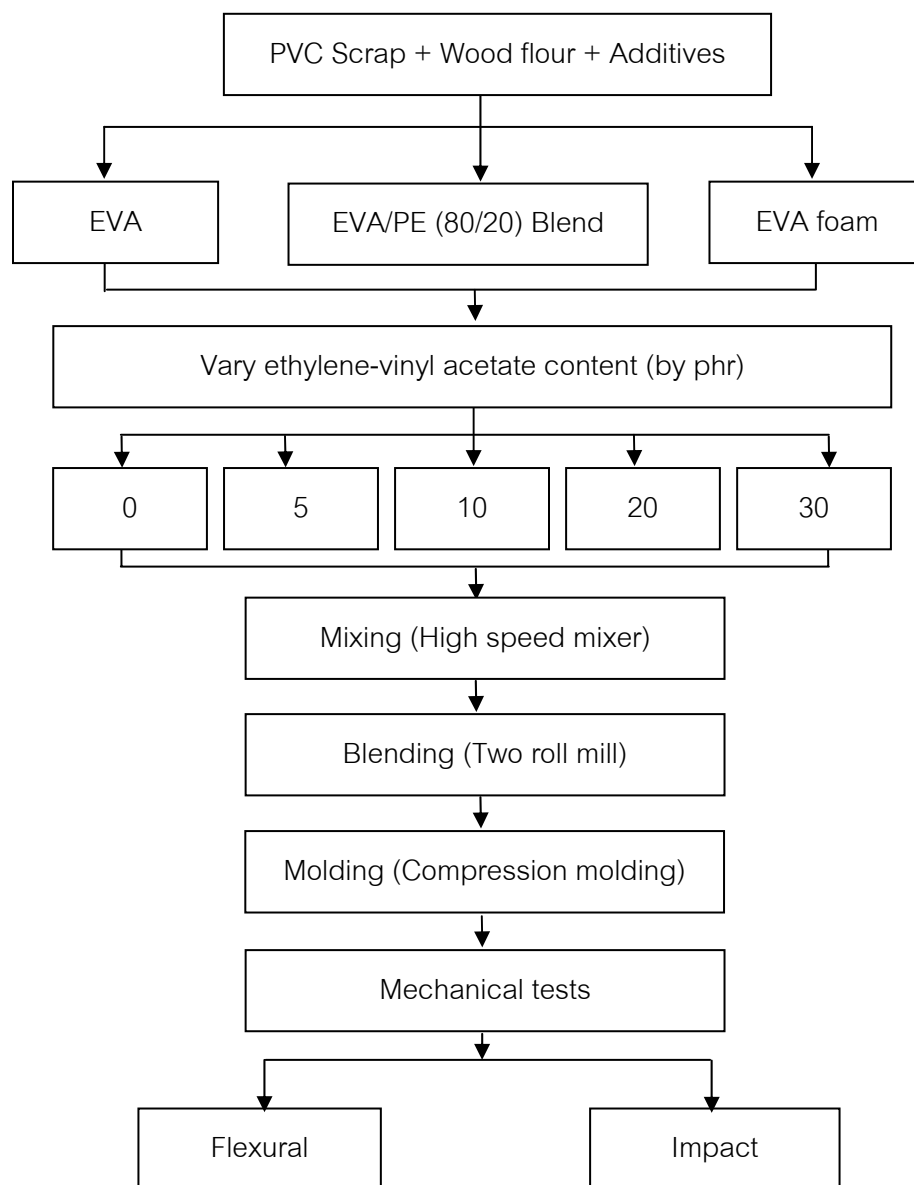
ภาพที่ 3.8

แผนผังผลของผงไม้และ CPE

ภาพที่ 3.8 แผนผังการทดลองการดำเนินงานการศึกษาค่าผลของผงไม้และ CPE ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณผงไม้ใน อัตราส่วน 0 phr, 30 phr ปรับเปลี่ยนปริมาณ CPE ในอัตราส่วน 0 phr และ 8 phr ปรับเปลี่ยนปริมาณ EVA ในอัตราส่วน 0 phr และ 10 phr ผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (High speed mixer) ของบริษัท Lab tech engineering จำกัด รุ่น LMX10-VS ผสมให้เป็นแผ่นวัสดุคอมปาวด์ ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) ของบริษัท Lab tech engineering จำกัด รุ่น LRM 150 อัดขึ้นรูปขึ้นงานเพื่อนำไปทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) บริษัท Lab tech engineering จำกัด รุ่น LP 50 ให้มีลักษณะตามมาตรฐาน การทดสอบ นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การรับแรงกระแทก

3.2.2 ผลของชนิดและปริมาณ เศษ EVA ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

การดำเนินงานการศึกษาค่าผลของชนิดและปริมาณของเศษ EVA ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ กำหนดเศษ EVA ที่ใช้มี 3 ชนิด คือ EVA ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ สารผสมระหว่างเศษเอทิลีนไวนิลอะซิเตตกับโพลีเอทิลีน (EVA/PE (80/20) Bland) ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ และโฟม EVA ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้ว โดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาณเศษ EVA ในอัตราส่วน 0 phr, 5 phr, 10 phr, 20 phr และ 30 phr ผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง ผสมให้เป็นแผ่นวัสดุคอมปาวด์ ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง อัดขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบด้วย เครื่องอัดขึ้นรูป ให้มีลักษณะตามมาตรฐานการทดสอบ นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การรับแรงกระแทกและการโค้งงอ แผนผังการทดลองรายละเอียดดังภาพที่ 3.9

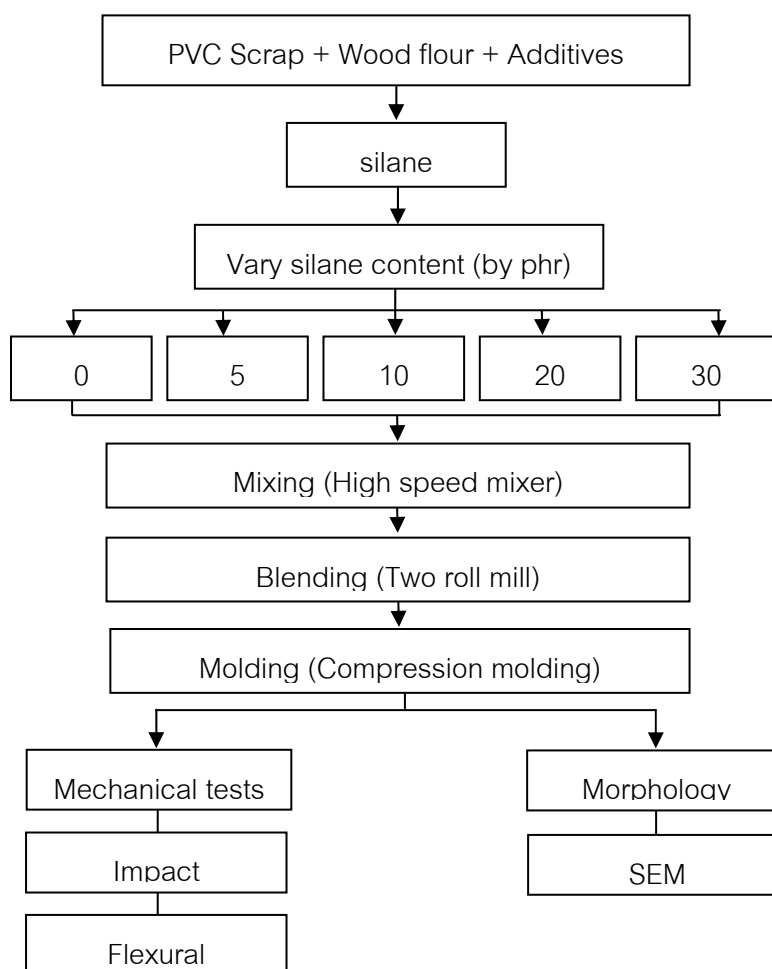


ภาพที่ 3.9

แผนผังผลของชนิดและปริมาณของเศษ EVA

3.2.3 ผลของปริมาณสารผสมระหว่าง EVA กับ Silane ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

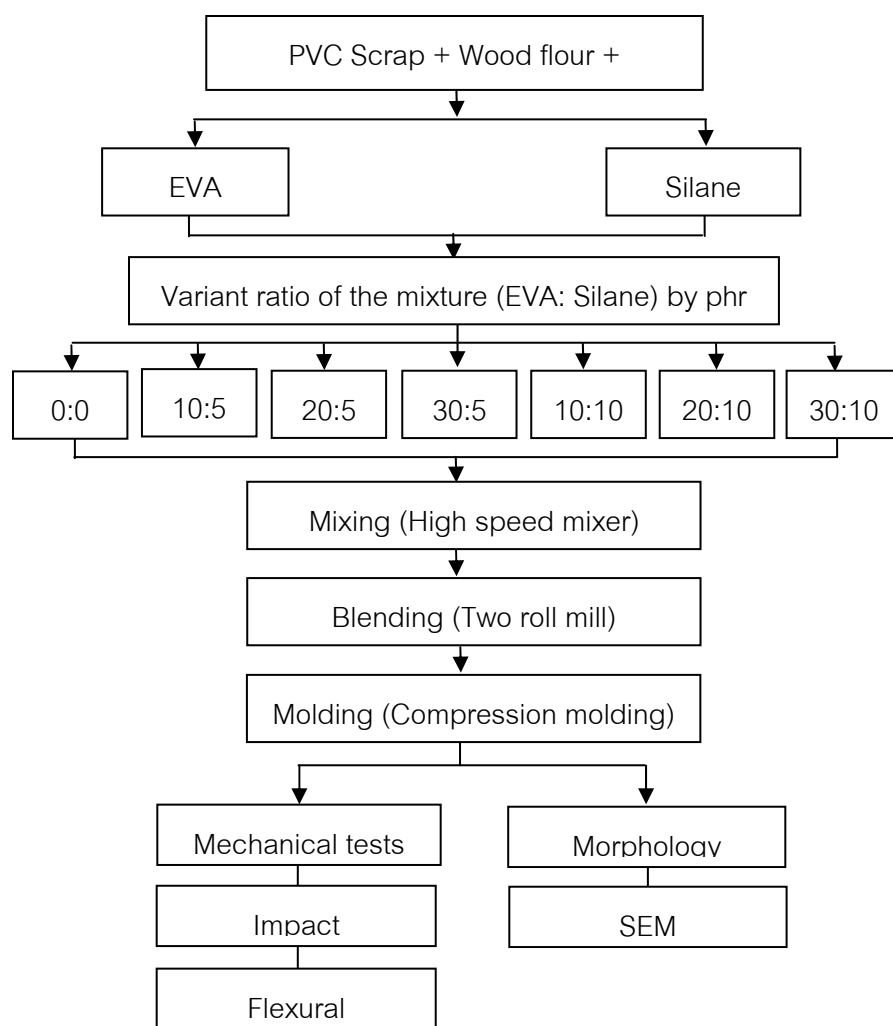
การศึกษาผลของปริมาณ Silane ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสารประสานไซเลน ในอัตราส่วน 0 phr, 5 phr, 10 phr, 20 phr และ 30 phr ผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง ผสมให้เป็นแผ่นวัสดุคอมปาวด์ ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งอัดขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปให้มีลักษณะตามมาตรฐานการทดสอบ นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานการโค้งงอ แผนผังการทดลองดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10

แผนผังการศึกษาผลของปริมาณ Silane

การดำเนินการการศึกษาผลของสารผสมระหว่าง EVA กับ Silane ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณ EVA ในอัตราส่วน 0 phr, 10 phr, 20 phr และ 30 phr ปรับเปลี่ยนปริมาณซิลเลน ในอัตราส่วน 0 phr, 5 phr, 10 phr ผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง ผสมให้เป็นแผ่นวัสดุคอมปาวด์ ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง อัดขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ให้มีลักษณะตามมาตรฐาน นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การรับแรงกระแทกและการโค้งงอ แผนผังการทดลองรายละเอียดดังภาพที่ 3.11

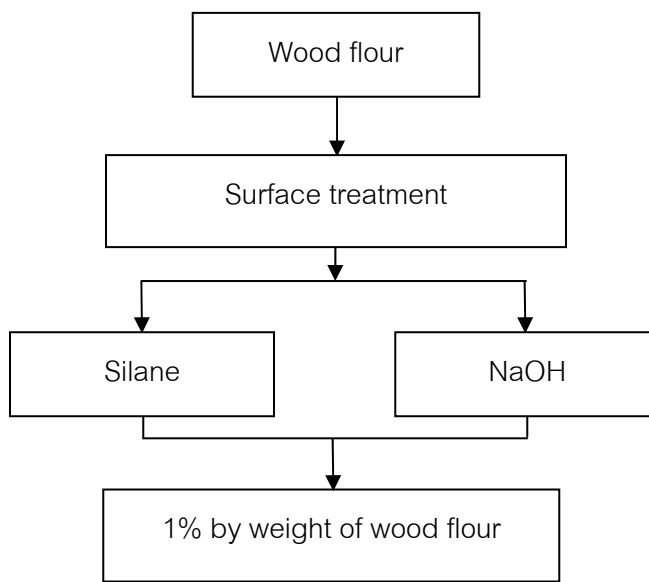


ภาพที่ 3.11

แผนผังผลของปริมาณสารผสมระหว่าง EVA กับ Silane

3.2.4 ผลของการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane และ NaOH ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

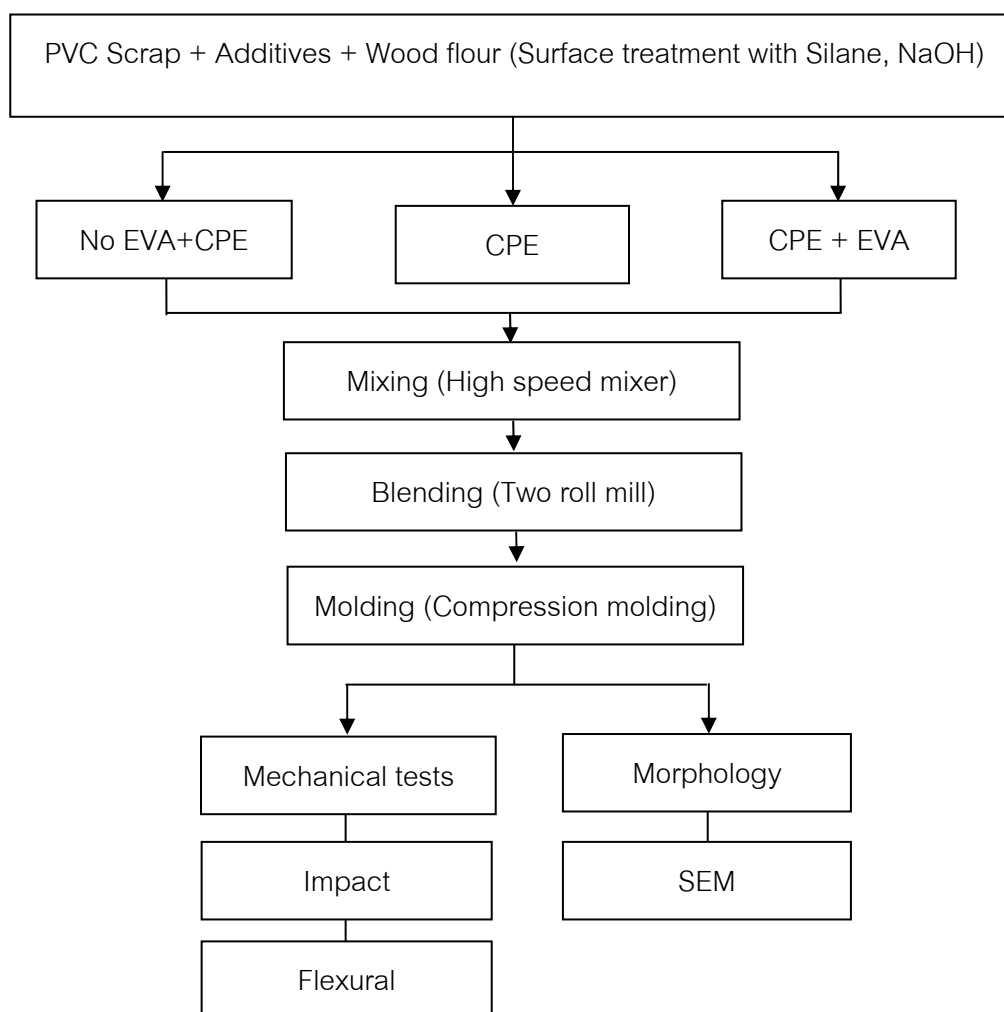
การปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane N-(2-Aminoethyl)-3- aminopropyltrimethoxysilane) และ NaOH ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12

แผนผังการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane และ NaOH

การศึกษาค้นคว้าผลของการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane และ NaOH ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ โดยเริ่มจากการนำ เศษพีวีซี สารเติมแต่งและผงไม้ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย Silane และ NaOH ที่ ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ ทำการผสมวัตถุดิบ ด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง ผสมให้ เป็นแผ่นวัสดุคอมปาวด์ ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง อัดขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ให้มีลักษณะตามมาตรฐานการทดสอบนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การรับแรงกระแทกและการ โค้งงอ สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ การตรวจสอบ โครงสร้างทางจุลภาคด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (Scanning electron microscope) ของบริษัท JEOL จำกัด รุ่น JSM-5410 ดังภาพที่ 3.13

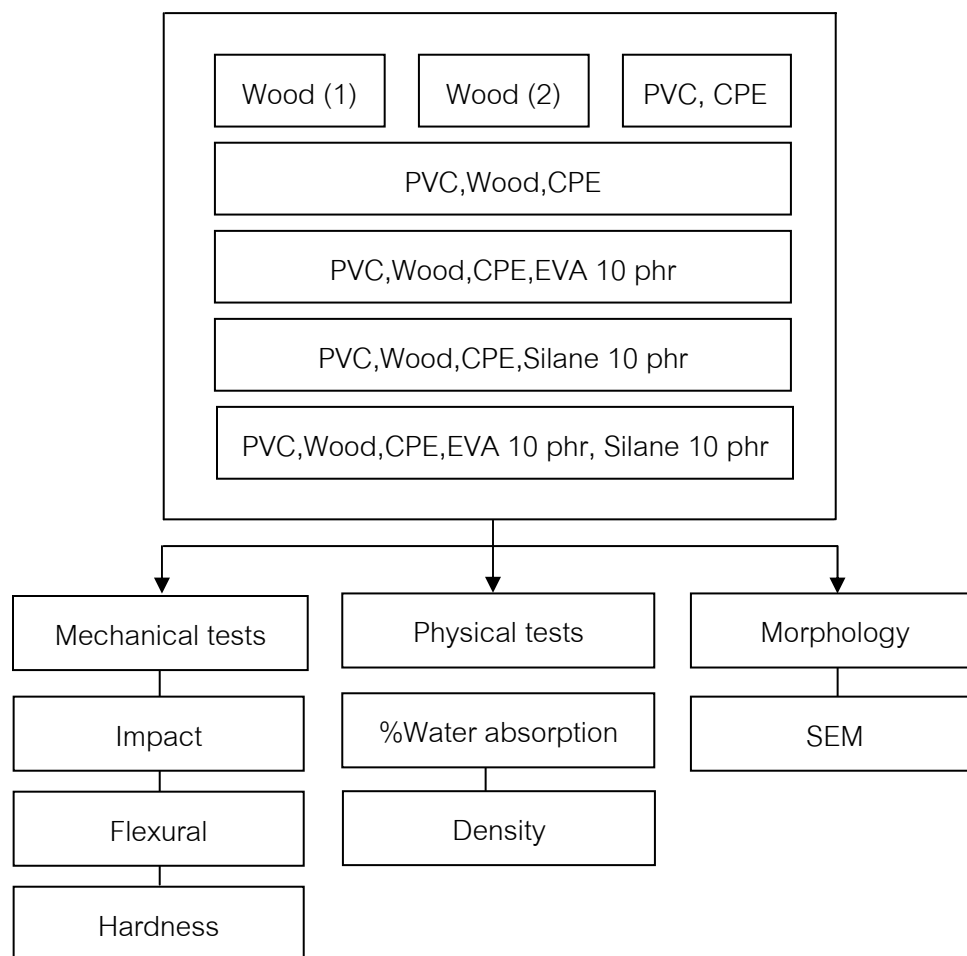


ภาพที่ 3.13

แผนผังการดำเนินการศึกษาผลของการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane และ NaOH

3.2.5 เปรียบเทียบผลการทดลองวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดกับไม้ยางพารา

การดำเนินการเปรียบเทียบผลการทดลองวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดกับไม้ยางพารา โดยการนำชิ้นงานตัวอย่างมาทำให้มีลักษณะตามมาตรฐานการทดสอบแล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงกระแทก การโค้งงอและความแข็งแรงกด สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและความหนาแน่น ฐานวิทยามีได้แก่ SEM ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14

แผนผังเปรียบเทียบผลการทดลอง วัสดุผสมพีวีซีกับไม้ยางพารา

หมายเหตุ : Wood (1) คือ ไม้ตามเส้น, Wood (2) คือ ไม้ทางขวาง

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ผลของผงไม้และ CPE ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

3.3.1.1 การผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (High speed mixer)

สำหรับขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการผสมวัตถุดิบให้รวมกันก่อนที่จะนำไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เริ่มจากการชั่ง CPE เศษพีวีซี ผงไม้ และสารเติมแต่งต่างๆ ตามอัตราส่วนการผสม แสดงดังตารางที่ 3.3 ผสมเศษพีวีซีและน้ำมันเข้าด้วยกันในเครื่องปั่นผสมความเร็ว สูง (High speed mixer) ของบริษัท Lab tech engineering จำกัด รุ่น LMX10-VS แสดงดังภาพที่ 3.15 เพื่อช่วยในการยี้ดเกาะของเศษพีวีซีกับผงไม้ ปั่นผสมเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมผงไม้ลงในเครื่องปั่นผสมดังกล่าว แล้วปั่นผสมต่อเป็นเวลา 2 นาที เติม CPE สารเติมแต่งอื่นๆ ตามอัตราส่วน ปั่นผสมต่อเป็นเวลา 5 นาที จะได้วัตถุดิบที่ผสมเข้ากันดี แสดงดังภาพที่ 3.16

ตารางที่ 3.3

แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุดิบในแต่ละสูตรของการทดลองผลของ ผงไม้และ CPE

Materials	phr (parts per hundred)					
PVC Scrap	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Plasticizer	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Processing aids	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Lubricants	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Blowing agent	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lubricants	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Filler	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
CPE	-	-	8.00	8.00	8.00	8.00
EVA	-	-	-	-	10.00	10.00
ผงไม้ยางพาราสีเข้ม	-	15.00	-	15.00	-	15.00
ผงไม้ยางพาราสีอ่อน	-	15.00	-	15.00	-	15.00

phr: parts per hundred of resin by weight.



ภาพที่ 3.15

เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (High speed mixer) บริษัท Lab tech engineering จำกัด รุ่น LMX10-VS



ภาพที่ 3.16

วัตถุดิบที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง

3.3.1.2 การผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

จากการผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกัน ด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูงแล้ว นำไปผสมให้เป็นวัสดุคอมปาวด์ให้เข้ากันมากขึ้น ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) แสดงดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17

เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) ของบริษัท Lab tech engineering จำกัด รุ่น LRM 150

โดยการตั้งอุณหภูมิระหว่างลูกกลิ้ง ด้านหน้า 170 องศาเซลเซียส ด้านหลัง 160 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอุ่นเครื่องประมาณ 30 นาที เมื่อได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้แล้วกดปุ่ม Start เทวัตถุดิบที่ผสมเข้าด้วยกันในหัวข้อที่ 3.3.1.1 ลงไปโดยค่อยๆ เท จากนั้นทำการตัดแล้วพับวัสดุผสมเป็นระยะๆ ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 10 นาที กดปุ่ม Stop เพื่อหยุดเครื่อง (ใช้เวลาในการผสมรวมทั้งสิ้น 15 นาที) โดยหลังจากผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) แล้วจะได้แผ่นคอมปาวด์ แสดงดังภาพที่ 3.18 นำแผ่นคอมปาวด์ที่ได้ไปตัดให้เป็นชิ้นงานรูปร่างที่จะใช้ทดสอบ นำชิ้นงานวางลงในแม่พิมพ์เพื่ออัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) บริษัท Lab tech engineering จำกัด รุ่น LP 50 ต่อไป



ภาพที่ 3.18

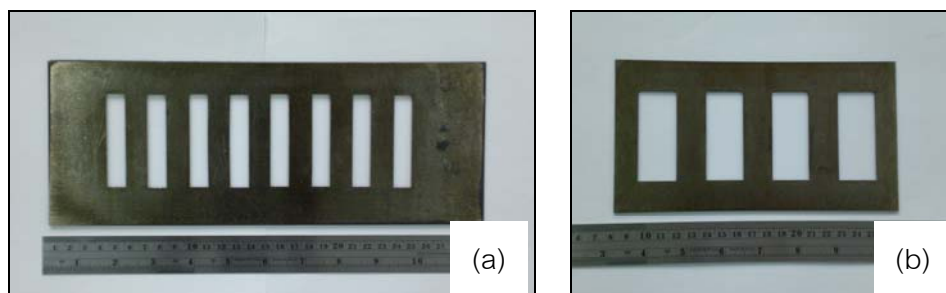
แผ่นคอมปาวด์ที่ผสมจากเศษพีวีซี ผงไม้ และสารเติมแต่ง

3.3.1.3 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding)

จากการผสมวัตถุดิบให้เป็นแผ่นคอมปาวด์ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งแล้ว นำแผ่นคอมปาวด์ดังกล่าวมาตัดเข้าแม่พิมพ์ แสดงดังภาพที่ 3.19 เพื่อจะนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) บริษัท Lab tech engineering จำกัด รุ่น LP 50 แสดงดังภาพที่ 3.20 โดยการตั้งอุณหภูมิให้เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ปฏิบัติงาน ตั้งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอุ่นเครื่องประมาณ 15 นาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการตัดและซั้งแล้ววางลงแม่พิมพ์ แสดงดังภาพที่ 3.21 และปิดแม่พิมพ์ นำใส่เครื่องอัดขึ้นรูป ตั้งเวลาในแต่ละขั้นตอนให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปของวัสดุผสม ดังนี้

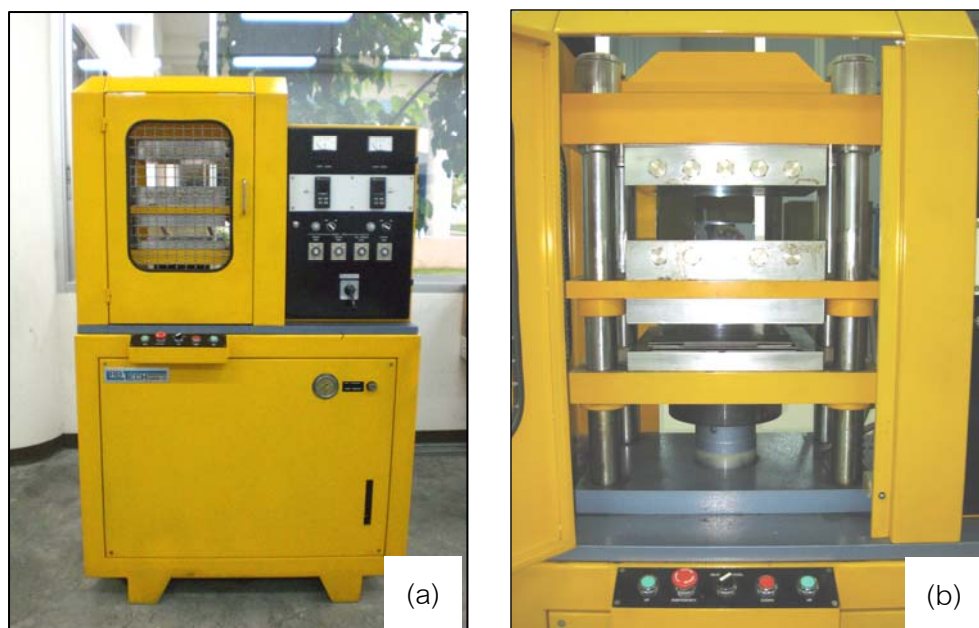
- | | |
|---------------------------------------|----------|
| - เวลาอุ่นแม่พิมพ์ (Preheat time) | 10 นาที |
| - เวลา ก่อนอัดขึ้นรูป (Venting time) | 2 วินาที |
| - เวลาอัดขึ้นรูป (Full pressing time) | 2 นาที |
| - เวลาหล่อเย็น (Cooling time) | 5 นาที |

หมุนปุ่มควบคุมไปยังตำแหน่ง Heat แล้วกดปุ่ม Up เพื่อให้เครื่องทำงาน รอจนกว่าเครื่องทำงานเสร็จ ในขั้นตอนการอัดขึ้นรูป แล้วจึงนำแม่พิมพ์ออกมาวางในชั้นหล่อเย็น แล้วหมุนปุ่มควบคุมไปที่ตำแหน่ง Cool แล้วกดปุ่ม Up เพื่อให้เครื่องทำงาน เมื่อเครื่องทำงานเสร็จในขั้นตอนการหล่อเย็นแล้วจึงนำแม่พิมพ์ออกมาทำการแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์จะมีส่วนเกินเกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 3.22 ต้องทำการตัดเศษที่เกินออกมา



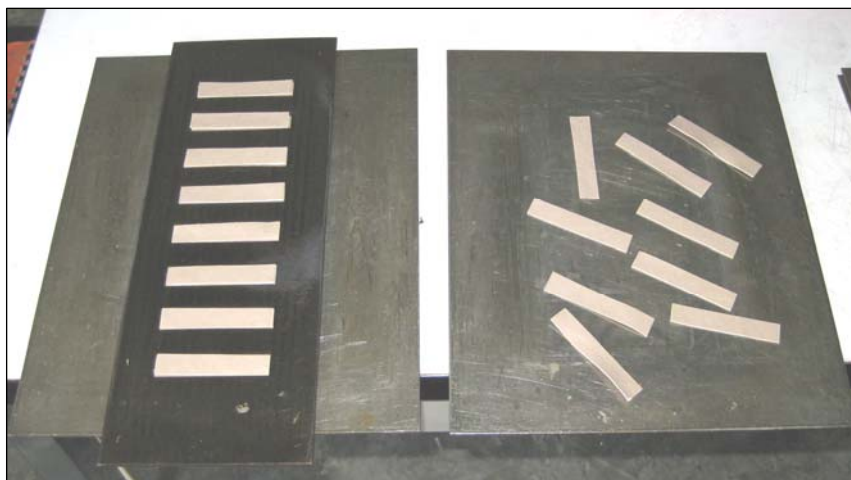
ภาพที่ 3.19

แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน (a) ความทนแรงกระแทกและ (b) การโค้งงอ



ภาพที่ 3.20

(a) เครื่องอัดขึ้นรูปของบริษัท Lab tech engineering จำกัด รุ่น LP 50 และ (b) ชิ้นอัดขึ้นรูป, หล่อเย็น



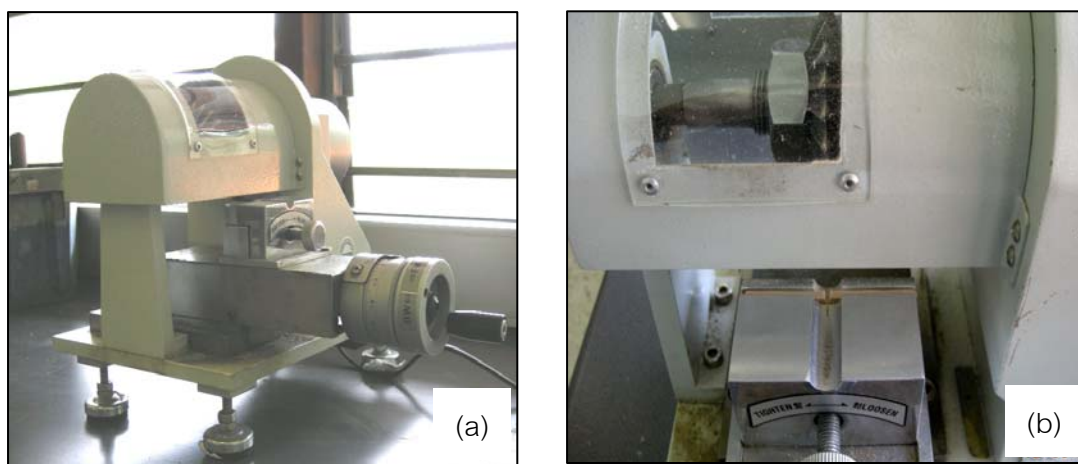
ภาพที่ 3.21
การวางชิ้นงานที่ผ่านการตัดและซั้งแล้วลงแม่พิมพ์



ภาพที่ 3.22
ชิ้นงานก่อนการตัดเศษส่วนเกินออก

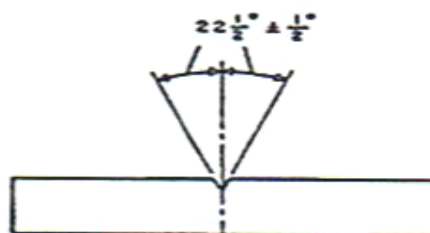
3.3.1.4 การบากชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกลการรับแรงกระแทก ด้วยเครื่องบาก

นำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จะได้ชิ้นงานมาตรฐาน มาทำรอยบาก (Notch) ด้วยเครื่องบากตามมาตรฐาน ASTM D 256 แสดงดังภาพที่ 3.23 ซึ่งเครื่องบากชิ้นงานนี้จะบากชิ้นงานเป็นรูปสามเหลี่ยมโดยจะมีช่องสำหรับวางชิ้นงานที่จะบาก เมื่อนำชิ้นงานวางไว้จะต้องขันน็อตล็อกเพื่อไม่ให้ชิ้นงานขยับ กดปุ่ม On เพื่อให้ใบมีดหมุน จากนั้นเลื่อนชิ้นงานเข้าหาใบมีด เพื่อให้ใบมีดตัดชิ้นงานตามที่ตั้งไว้ กดปุ่ม Off เมื่อใบมีดหยุดหมุน ทำการคายน็อตที่ล็อกชิ้นงานไว้ นำชิ้นงานออกมา จะได้ชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 3.24



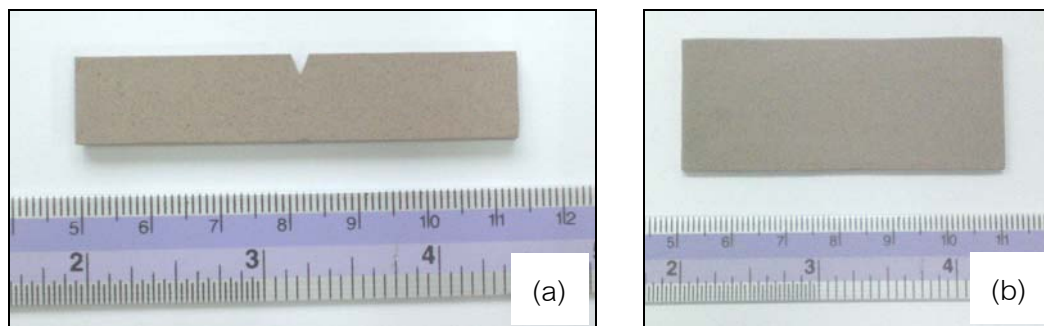
ภาพที่ 3.23

(a) เครื่องบากชิ้นงาน ตามมาตรฐาน D 256 และ (b) การบากชิ้นงาน



ภาพที่ 3.24

ชิ้นงานบาก ตามมาตรฐาน ASTM D 256



ภาพที่ 3.25

ชิ้นงานที่พร้อมทำการทดสอบ (a) การรับแรงกระแทกและ (b) การโค้งงอ

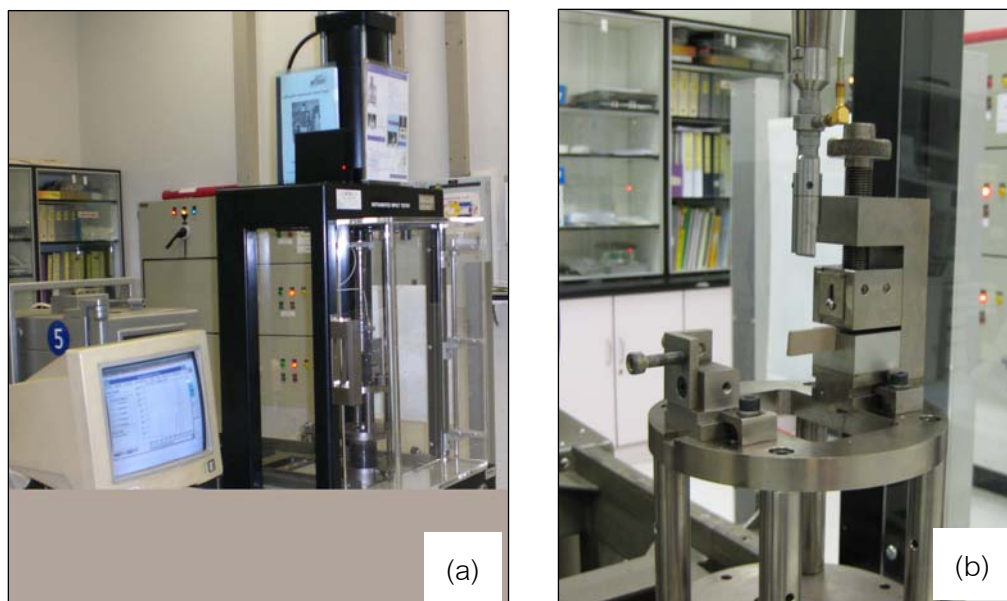
3.3.1.5 การทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก (Impact strength)

การทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก เป็นการทดสอบความสามารถของชิ้นงานในการดูดซับพลังงานที่ได้รับก่อนการแตกหัก ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ตามมาตรฐาน ASTM D 256 แบบ Izod นำชิ้นงานไปทำการทดสอบ โดยควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) แสดงดังภาพที่ 3.26 ให้แรงกระแทกกับชิ้นงานตรงบริเวณรอยบากนำพลังงานที่ทำให้เกิดการแตกหัก ที่อ่านได้จากการทดสอบมาคำนวณหาค่าการรับแรงกระแทก สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงกระแทก (IS)} = W/A$$

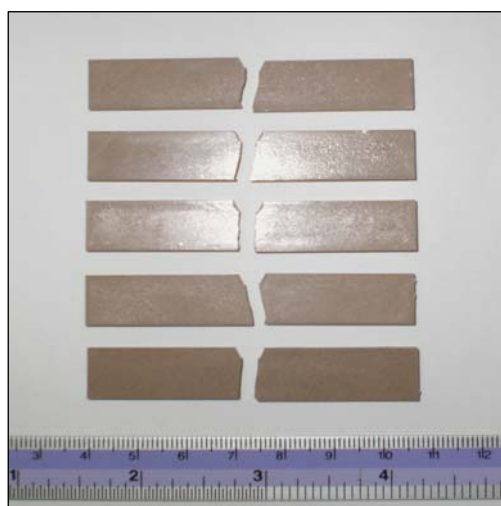
สมการที่ 3.1

เมื่อ	IS	คือ ค่าความแข็งแรงกระแทก (kJ/m^2)
	W	คือ ค่าพลังงานกระแทก (kJ)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่แตกหัก (m^2)



ภาพที่ 3.26

(a) เครื่องทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก ของบริษัท RADMANA จำกัด
รุ่น ITR-2000 และ (b) การทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง



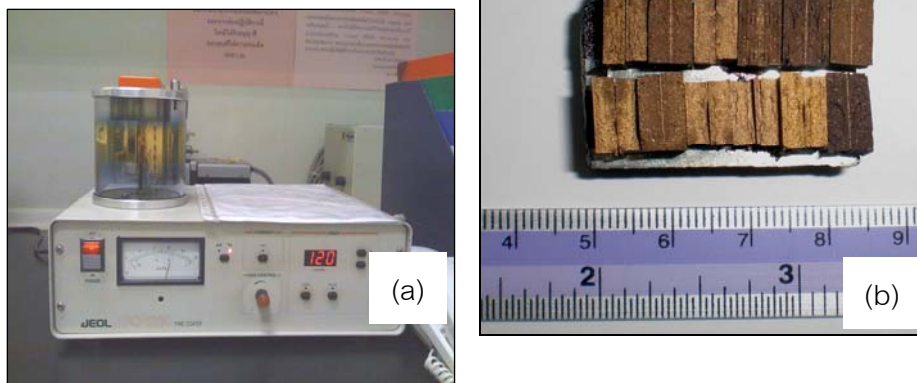
ภาพที่ 3.27

แสดงลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบ ค่าความแข็งแรงกระแทก

3.3.1.6 ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้นั้น ทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยในการตรวจสอบนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก มาทำการตรวจสอบเพื่อทำการวิเคราะห์ถึงการกระจายตัวของผงไม้และตรวจสอบการยึดติดระหว่างเฟส ซึ่งสามารถนำมาประกอบในการอธิบายสมบัติเชิงกลที่เกิดขึ้น โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน เริ่มจากการนำชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทกและการโค้งงอ มาตัดแล้วนำมาติดลงบนแท่งอะลูมิเนียม (Stub) ด้วยกาวคาร์บอน จากนั้นนำชิ้นงานไปเคลือบทองด้วยเครื่องเคลือบแบบสุญญากาศ ของบริษัท JEOL จำกัด รุ่น JFC-1200 ดังภาพที่ 3.28 โดยใช้ความดันที่ 10^{-4} Pa และกระแสในการเคลือบ 30 แอมแปร์ เป็นเวลา 120 วินาที
2. ขั้นตอนการตรวจสอบ นำชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบทองแล้วมาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) ของบริษัท JEOL จำกัด รุ่น JSM-5410 ดังภาพที่ 3.29



ภาพที่ 3.28

- (a) เครื่องเคลือบชิ้นงานระบบสุญญากาศของบริษัท JEOL จำกัด รุ่น JFC-1200 และ (b) ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบทอง



ภาพที่ 3. 29

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

ของบริษัท JEOL จำกัด รุ่น JSM-5410

3.3.2 ผลของชนิดและปริมาณของเศษ EVA ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

3.3.2.1 การผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (High speed mixer)

เริ่มจากการชั่งเศษ EVA พีวีซี ผงไม้ และสารเติมแต่งต่างๆ ตามอัตราส่วนการผสม แสดงดังตารางที่ 3.5 ผสมเศษพีวีซีและน้ำมันเข้าด้วยกันในเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง เพื่อช่วยในการยึดเกาะของเศษพีวีซีกับผงไม้ ปั่นผสมเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมผงไม้ลงในเครื่องปั่นผสมดังกล่าว แล้วปั่นผสมต่อเป็นเวลา 2 นาที เติมเศษ EVA และสารเติมแต่งตามอัตราส่วน ปั่นผสมต่อเป็นเวลา 5 นาที จะได้วัตถุดิบที่ผสมเข้ากันดี

ตารางที่ 3.4

แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุดิบในแต่ละสูตรการศึกษา
ผลของชนิดและปริมาณของเศษเอทิลีนไวนิลอะซิเตท

Materails	phr (parts per hundred)
PVC Scrap	100
TLS (Stabilizer)	3
PA-20 (Processing aids)	10
CS (Lubricants)	1
Ac-508 (Blowing agent)	1
PE-wax (Lubricants)	0.4
CPE (Impact modifiers)	8
CaCO ₃ (Filler)	10
DOP (Plasticizer)	4
ผงไม้ยางพาราสีเข้ม	15
ผงไม้ยางพาราสีอ่อน	15
EVA	0, 5, 10, 20 and 30
EVA/PE (80/20) Blend	0 , 5, 10, 20 and 30
EVA foam	0, 5, 10, 20 and 30

phr: parts per hundred of resin by weight.

3.3.2.2 การผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

นำวัตถุดิบที่ผสมจากเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง ตามตารางที่ 3.5 ผสมให้เป็นวัสดุคอมปาวด์ให้เข้ากันมากขึ้น ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.2

3.3.2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding)

จากการผสมวัตถุดิบให้เป็นแผ่นคอมปาวด์ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งแล้ว นำแผ่นคอมปาวด์ดังกล่าวมาตัดเข้าแม่พิมพ์ เพื่อจะนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.3

3.3.2.4 การบากชิ้นงานทดสอบความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ด้วยเครื่องบาก

นำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จะได้ชิ้นงานมาตรฐาน มาบากด้วยเครื่องบาก ตามมาตรฐาน ASTM D 256 เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.4

3.3.2.5 สมบัติการรับแรงกระแทก (Impact strength)

ทำการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ตามมาตรฐาน ASTM D 256 แบบ Izod นำชิ้นงานไปทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) โดยควบคุมอุณหภูมิการทดสอบที่ 23 ± 2 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.5

3.3.3 การศึกษาผลของสารผสมระหว่าง เศษ EVA กับ ไชเลน ที่มีต่อสมบัติในการรับแรงกระแทกและการโค้งงอของวัสดุคอมโพสิต

3.3.3.1 การผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (High speed mixer)

เริ่มจากการชั่ง เศษ EVA, ไชเลน, เศษพีวีซี ผงไม้ และสารเติมแต่งต่างๆ ตามอัตราส่วนการผสม แสดงดังตารางที่ 3.6 ผสมเศษพีวีซีและน้ำมันเข้าด้วยกันในเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง เพื่อช่วยในการยัดเกาะของเศษพีวีซีกับผงไม้ ปั่นผสมเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมผงไม้ลงในเครื่องปั่นผสมดังกล่าว แล้วปั่นผสมต่อเป็นเวลา 2 นาที เติม ไชเลนและสารเติมแต่งอื่นๆ ตามอัตราส่วน ปั่นผสมต่อเป็นเวลา 5 นาที จะได้วัตถุดิบที่ผสมเข้ากันดี

ตารางที่ 3.5

สูตรของการทดลองการศึกษาค้นคว้าของ สารผสมระหว่าง เศษ EVA กับ ไซเลน

Materails	phr (parts per hundred)
PVC Scrap	100
TLS (Stabilizer)	3
PA-20 (Processing aids)	10
CS (Lubricants)	1
Ac-508 (Blowing agent)	1
PE-wax (Lubricants)	0.4
CPE (Impact modifiers)	8
CaCO ₃ (Filler)	10
DOP (Plasticizer)	4
ผงไม้อย่างพาราซีแซ้ม	15
ผงไม้อย่างพาราซีอ่อน	15
Silane (Coupling agents)	0, 5, 10, 20 and 30
EVA+Silane (Coupling agents) 5 phr	0, 5, 10, 20 and 30
EVA+Silane (Coupling agents) 10 phr	0, 5, 10, 20 and 30

phr: parts per hundred of resin by weight.

3.3.3.2 การผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

นำวัตถุดิบที่ผสมจากเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง ตามตารางที่ 3.6 ผสมให้เป็นวัสดุคอมปาวด์ให้เข้ากันมากขึ้น ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.2

3.3.3.3 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding)

จากการผสมวัตถุดิบให้เป็นแผ่นคอมปาวด์ ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งแล้ว นำแผ่นคอมปาวด์ดังกล่าวมาตัดเข้าแม่พิมพ์ เพื่อจะนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.3

3.3.3.4 การบากชิ้นงานทดสอบ ความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ด้วยเครื่องบาก

นำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จะได้ชิ้นงานมาตรฐาน มาบากด้วยเครื่องบาก ตามมาตรฐาน ASTM D256 เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.4

3.3.3.5 สมบัติการรับแรงกระแทก (Impact strength)

ทำการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ตามมาตรฐาน ASTM D 256 แบบ Izod นำชิ้นงานไปทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก โดยควบคุมอุณหภูมิการทดสอบที่ 23 ± 2 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.5

3.3.3.6 สมบัติความต้านทานการโค้งงอ (Flexural properties)

การทดสอบสมบัติความต้านทานการโค้งงอ เป็นการทดสอบความต้านทานการโค้งงอของวัสดุเมื่อได้รับแรงกด ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นแท่งสี่เหลี่ยมตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยลักษณะการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.30 โดยควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล แบบเอนกประสงค์ ชนิด Static (10 kN, 100 N) ของบริษัท Instron จำกัด รุ่น 55R4502, S/N H3342 แสดงดังรูปที่ 3.31 โดยรายงานผลการทดสอบออกมาเป็นค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) มีสภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

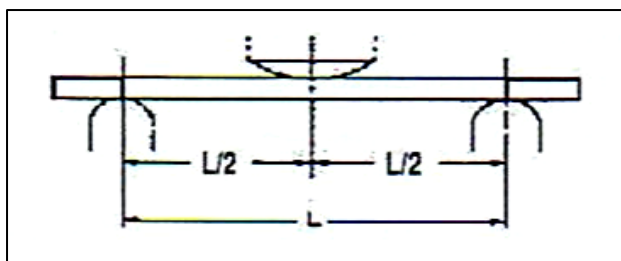
- โหลดเซลล์ (Load cell)	1	kN
- ความเร็วในการกด (Compression speed)	10	mm/min
- ระยะห่างของแท่งรองรับชิ้นงาน (Span length)	40	mm

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

$$\text{ความแข็งแรงโค้งงอ ; } \sigma_f = \frac{1.5 FL}{bh^2}$$

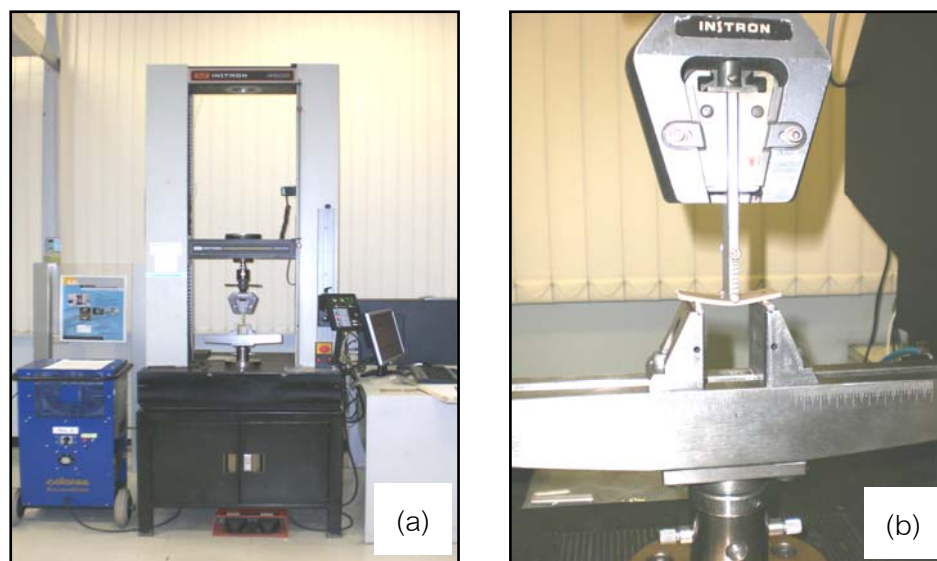
$$\text{มอดุลัสโค้งงอ ; } E_b = \frac{L^3}{4bh^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta d}$$

- เมื่อ
- F คือ แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างโค้งงอ (N)
 - L คือ Span length (40 mm)
 - B คือ ความกว้างของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)
 - H คือ ความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)
 - ΔF คือ ผลต่างของแรงกด ณ จุดเริ่มต้นถึงแรงกดที่ 1 N ในช่วงความชันเป็นเส้นตรง (N)
 - Δd คือ ระยะกดโค้งงอในช่วงแรงกด 0-1 N (mm)



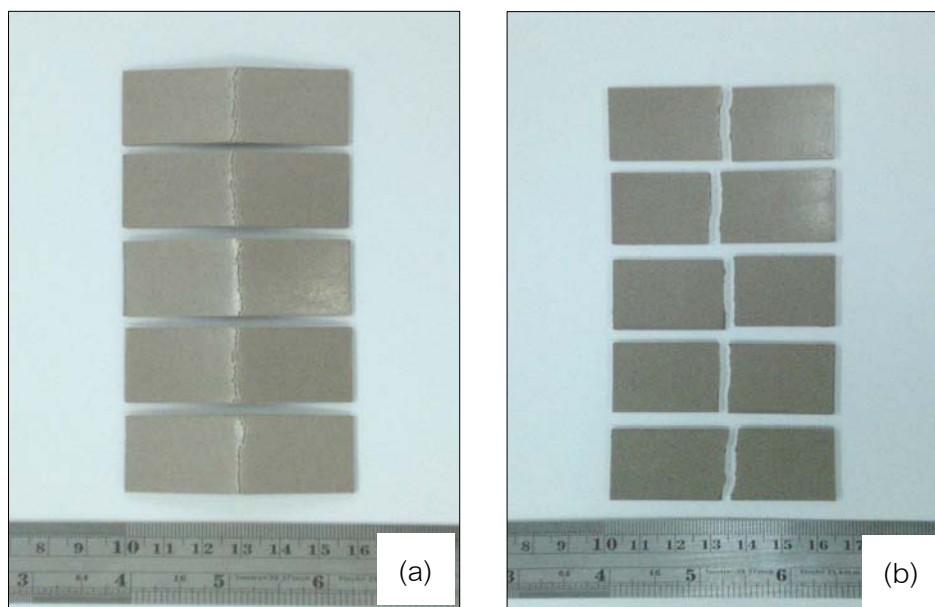
ภาพที่ 3.30

ลักษณะแรงกดบนชิ้นงาน การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 790



ภาพที่ 3.31

(a) เครื่องทดสอบความต้านทานการโค้งงอ ของบริษัท Instron จำกัด รุ่น 55R4502 และ (b) การทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง



ภาพที่ 3.32

ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบ ความต้านทานการโค้งงอ

(a) ชิ้นงานที่ไม่หักออกจากกันและ (b) ชิ้นงานที่หักออกจากกัน

3.3.3.7 ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้นั้น ทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยในการตรวจสอบนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทกและการโค้งงอมาทำการตรวจสอบ เพื่อทำการวิเคราะห์ เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.6

3.3.4 ผลของการปรับปรุงผิวผิไม้ด้วย Silane และ NaOH ของวัสดุผสมพีวีซีกับผิไม้

การปรับปรุงผิวผิไม้ด้วย NaOH ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผิไม้ โดยมีวิธีการ ดังนี้

1. เริ่มจากการนำผิไม้ไปอบในตู้อบ ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น
2. ทำการเตรียมสาร NaOH ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผิไม้ เริ่มจากการละลาย NaOH 1 กรัม ลงในน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ผ่านกระบวนการดีไอออไนเซชัน (Deionised water) กวนสารละลายด้วยแท่งกวนสาร จนกระทั่ง NaOH ละลายหมด
3. นำผิไม้ที่มีปริมาณ 100 กรัม แช่ในสารละลาย NaOH ที่เตรียมเสร็จแล้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำผิไม้ที่ผ่านการแช่สารละลาย NaOH แล้วไปล้างด้วยกรดอะซิติก (CH_3COOH) ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ล้างด้วยน้ำที่ผ่านกระบวนการดีไอออไนเซชันอีกครั้ง จนกระทั่งปราศจากกรดอะซิติก
5. อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จะได้ผิไม้ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสาร NaOH ที่มีความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผิไม้

การปรับปรุงผิวผิไม้ด้วย Silane (N-(2-Aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane) ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผิไม้ โดยมีวิธีการ ดังนี้

1. เริ่มจากการนำผิไม้ไปอบในตู้อบ ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น
2. ทำการเตรียมสาร เช่น กรดอะซิติกเตรียม Silane ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผิไม้ เริ่มจากการเติมกรดอะซิติก (CH_3COOH) 1 กรัม ลงในน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ผ่านกระบวนการดีไอออไนเซชัน (Deionised water) เพื่อช่วยให้ Silane แตกตัวเป็นสารไฮดรอกซิล (Silanol) ได้ง่ายขึ้นจากนั้นค่อยๆ หยดสาร Silane 1 กรัมตามลงไป กวนสารละลายด้วยแท่งกวนแบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction)
3. นำผิไม้ที่มีปริมาณ 100 กรัม แช่ในสารละลาย Silane ที่เตรียมเสร็จแล้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. นำผงไม้ที่ผ่านการแช่สารละลาย Silane แล้วไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จะได้ผงไม้ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสาร Silane ที่มีความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของผงไม้

การขึ้นรูปและทดสอบสมบัติต่างๆ ของ การปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane และ NaOH

3.3.4.1 การผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (High speed mixer) สำหรับขั้นตอนนี้ เป็นการผสมวัตถุดิบให้รวมกันก่อนที่จะนำไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เริ่มจากการชั่ง CPE เศษพีวีซี ผงไม้ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย Silane และ NaOH ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ และสารเติมแต่งต่างๆ ตามอัตราส่วนการผสม แสดงดังตารางที่ 3.4 ผสมเศษพีวีซีและน้ำมันเข้าด้วยกันในเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง แสดงดังภาพที่ 3.15 เพื่อช่วยในการยัดเกาะของเศษพีวีซีกับผงไม้ ปั่นผสมเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมผงไม้ลงในเครื่องปั่นผสมดังกล่าว แล้วปั่นผสมต่อเป็นเวลา 2 นาที เติม CPE สารเติมแต่งอื่นๆ ตามอัตราส่วน ปั่นผสมต่อเป็นเวลา 5 นาที จะได้วัตถุดิบที่ผสมเข้ากันดี แสดงดังภาพที่ 3.6

ตารางที่ 3.6

แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุดิบในแต่ละสูตรของการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane และ NaOH

Materials	phr (parts per hundred)					
PVC Scrap	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Plasticizer	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Processing aids	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Lubricants	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Blowing agent	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lubricants	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Filler	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
CPE	-	-	8.00	8.00	8.00	8.00
EVA	-	-	-	-	10.00	10.00
ผงไม้ยางพาราสีเข้ม ปรับปรุงผิวด้วย NaOH	15.00	-	15.00	-	15.00	-
ผงไม้ยางพาราสีอ่อน ปรับปรุงผิวด้วย NaOH	15.00	-	15.00	-	15.00	-
ผงไม้ยางพาราสีเข้ม ปรับปรุงผิวด้วย Silane	-	15.00	-	15.00	-	15.00
ผงไม้ยางพาราสีอ่อน ปรับปรุงผิวด้วย Silane	-	15.00	-	15.00	-	15.00

phr: parts per hundred of resin by weight.

3.3.4.2 การผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

นำวัตถุดิบที่ผสมจากเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง ตามตารางที่ 3.4 ผสมให้เป็นวัสดุคอมปาวด์ให้เข้ากันมากขึ้น ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.2

3.3.4.3 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding)

จากการผสมวัตถุดิบให้เป็นแผ่นคอมปาวด์ ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งแล้ว นำแผ่นคอมปาวด์ดังกล่าวมาตัดเข้าแม่พิมพ์ เพื่อจะนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.3

3.3.4.4 การบากชิ้นงานทดสอบ ความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ด้วยเครื่องบาก

นำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จะได้ชิ้นงานมาตรฐาน มาบากด้วยเครื่องบาก ตามมาตรฐาน ASTM D256 เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.4

3.3.4.5 สมบัติการรับแรงกระแทก (Impact strength)

ทำการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ตามมาตรฐาน ASTM D 256 แบบ Izod นำชิ้นงานไปทำการทดสอบ โดยควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.5

3.3.4.6 สมบัติความต้านทานการโค้งงอ (Flexural properties)

การทดสอบสมบัติความต้านทานการโค้งงอ เป็นการทดสอบความต้านทานการโค้งงอของวัสดุเมื่อได้รับแรงกด ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นแท่งสี่เหลี่ยมตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยลักษณะการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.31 โดยควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล แบบเอนกประสงค์ ชนิด Static (10 kN, 100 N) ของบริษัท Instron จำกัด รุ่น 55R4502 เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.3.6

3.3.4.7 ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้นั้น ทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยในการตรวจสอบนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทกและการโค้งงอมาทำการตรวจสอบ เพื่อทำการวิเคราะห์ เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.6

3.3.5 เปรียบเทียบผลการทดลองวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด กับไม้ยางพารา

การดำเนินงานเปรียบเทียบผลการทดลองวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด กับ ไม้ยางพารา โดยการนำชิ้นงานตัวอย่างมาทำให้มีลักษณะตามมาตรฐานการทดสอบ แล้วนำไป ทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การรับแรงกระแทก, การโค้งงอและความแข็งกด สมบัติทางกายภาพได้แก่ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและความหนาแน่น สันฐานวิทยาได้แก่ SEM

3.3.5.1 สมบัติการรับแรงกระแทก (Impact strength)

ทำการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ตามมาตรฐาน ASTM D 256 แบบ Izod นำชิ้นงานไปทำการทดสอบ โดยควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.5

3.3.5.2 สมบัติความต้านทานการโค้งงอ (Flexural properties)

การทดสอบสมบัติความต้านทานการโค้งงอ เป็นการทดสอบความต้านทานการโค้งงอของวัสดุเมื่อได้รับแรงกด ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นแท่งสี่เหลี่ยมตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยลักษณะการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.31 โดยควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล แบบเอนกประสงค์ ชนิด Static (10 kN, 100 N) ของบริษัท Instron จำกัด รุ่น 55R4502 เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.3.6

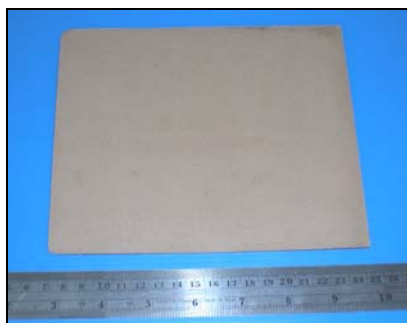
3.3.5.3 ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ นั้น ทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยในการตรวจสอบนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทกและการโค้งงอมาทำการตรวจสอบ เพื่อทำการวิเคราะห์ เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1.6

3.3.5.4 การวัดค่าความแข็งกด (Hardness testing)

ในการทดสอบวัดค่าความแข็งนั้น เป็นการทดสอบที่บ่งบอกถึงความต้านทานต่อรอยขีดหรือรอยกดทะลุของวัสดุ โดยในการทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM D2240 (1990) ด้วยเครื่อง Shore hardness tester ของบริษัท Instron จำกัด รุ่น Shore instruments, S/N 108817 โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

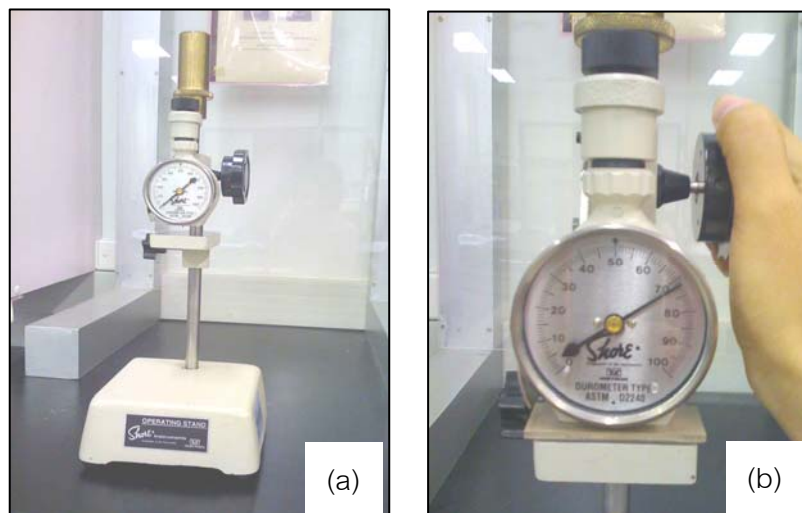
1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน ตรวจสอบตัวอย่างว่ามีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร หากชิ้นงานหนาน้อยกว่า 6 มิลลิเมตร สามารถนำชิ้นงานมาซ้อนเพื่อให้ได้ความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 6 มิลลิเมตรได้ ตัวอย่างมีความกว้างเพียงพอต่อการทดสอบ โดยจะต้องมีระยะไม่ต่ำกว่า 12 มิลลิเมตร จากขอบชิ้นงานถึงบริเวณทำการทดสอบ บริเวณทดสอบบนชิ้นงานจะต้องมีลักษณะแบนและเรียบ ภาพที่ 3. 33



ภาพที่ 3.33

ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับ

2. ขั้นตอนการทดสอบ นำชิ้นงานที่เตรียมได้มาทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง Durometer สเกล Shore D ดังภาพที่ 3.34



ภาพที่ 3.34

(a) เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore D ของบริษัท Instron จำกัด
รุ่น Shore instruments, S/N 108817 และ (b) การทดสอบ

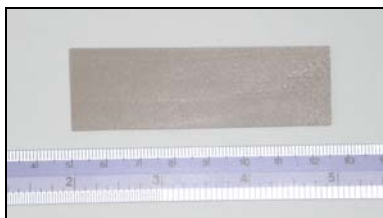
ควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส โดยนำชิ้นงานทดสอบมาวางบนแท่งวางขึ้นทดสอบของเครื่อง Durometer ให้ระยะห่างชิ้นงานทดสอบห่างจากหัวเข็มประมาณ $3/4$ นิ้ว หลังจากนั้นหมุนคันลิคค์ด้านข้างเพื่อให้ผิวของชิ้นงานสัมผัสกับหัวกดจนแน่ใจว่าหัวกดแนบกับชิ้นงาน ควบคุมการเคลื่อนที่ลงของเครื่องทดสอบไปยังชิ้นงานอย่างรวดเร็ว แต่ไม่มากจนกระแทก และให้แรงกดลงบนชิ้นงานอย่างเพียงพอ หลังจากกดเป็นเวลา 1 วินาที ทำการอ่านค่าที่วัดได้เป็นค่าความแข็งของหัวกดแบบสเกล Shore D หลังจากนั้นทำการวัดค่าความแข็งที่ตำแหน่งอื่นๆ บนชิ้นงานอีก 4 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งห่างกันอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร

3.3.5.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%Water absorption)

การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 570

โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน นำชิ้นงานพีวีซีคอมโพสิตรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังภาพที่ 3.35 มาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 30-40 นาที ชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่างและบันทึกน้ำหนัก



ภาพที่ 3.35

ลักษณะชิ้นงาน ที่ใช้ในการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

2. ขั้นตอนการทดสอบ นำชิ้นงานตัวอย่างไปแช่ในน้ำกลั่น ดังภาพที่ 3.36 เป็นเวลา 40 วัน และชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่างทุกๆ 5 วัน เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.36

ลักษณะการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

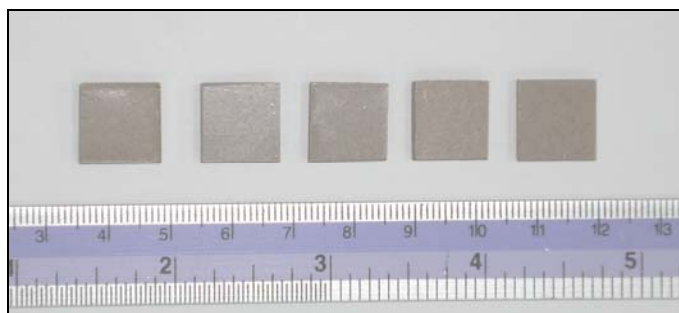
3.3.5.6 การทดสอบความหนาแน่น (Density)

วิธีการทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Density) เป็นวิธีการทดสอบหาค่าความหนาแน่นที่เทียบกับอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตรหนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการตรวจสอบหาค่าความหนาแน่นของงานวิจัยนี้ ทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM 792 โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. ขั้นตอนการทดสอบ ควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส โดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ ดังภาพที่ 3.37 มาวางลงที่ชั่งน้ำหนักตัวอย่างในอากาศ ด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 3.38 โดยมีลักษณะการวางชิ้นงานตัวอย่าง ดังภาพที่ 3.39 และบันทึกค่า
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างในน้ำ มีลักษณะการวางชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.40 และบันทึกค่า
3. คำนวณหาความหนาแน่นของตัวอย่างโดยใช้สูตรดังนี้

$$\rho_a = \left[\frac{A}{B} \right] \rho$$

เมื่อ ρ_a คือ ความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบ
 A คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ
 B คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ
 ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1 g/cm^3)



ภาพที่ 3.37

ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบหาความหนาแน่น



ภาพที่ 3.38

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง ของบริษัท Ohaus จำกัด รุ่น EP413C



ภาพที่ 3.39
แสดงลักษณะการขังชิ้นงานตัวอย่างในอากาศ



ภาพที่ 3.40
แสดงลักษณะการขังชิ้นงานตัวอย่างในน้ำ