



การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟ
และใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง

Development of Low Cost Natural Rubber Floor Tile Product
with Fire Resistant Property and Using High Finesse
Ethylene Vinyl Acetate Plastic Waste as Filler



วิหาร ติปัญญา
กิตติพงษ์ สุวีโร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) ที่มีคุณสมบัติต้านทานไฟ ออกแบบอัตราส่วนของยางธรรมชาติแท้ STR20 ต่อ ซิงค์ออกไซด์ ต่อกรดสเตียริก ต่อกำมะถัน ต่อเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล ต่อไดฟีนิลกัวนิติน ต่อพลาสติกอีวีเอเบอร์ 10 ต่อแอนติโมนีไตรออกไซด์ จำนวน 6 สูตร เท่ากับ 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 0, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 20, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 40, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 60, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 80 และ 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 100 โดยน้ำหนัก หรือพีเอชอาร์ ทำการบดผสมด้วยเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง แล้วอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4: 29 ถึง 5: 19 นาที ได้แผ่นยางธรรมชาติ ขนาด 30x30x0.2 เซนติเมตร ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน ASTM พบว่า กระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติต้านทานไฟสูตร A100 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้งานเป็นวัสดุปูพื้นในอาคาร และสามารถดับไฟได้เอง ส่วนสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่ผสมลงในกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกส่งผลกระทบบำทำให้ความหนาแน่น ความแข็ง และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานการสึกหรอมีค่าลดน้อยลง

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ; เศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท; สารแอนติโมนีไตรออกไซด์; กระเบื้องปูพื้น



Abstract

This research aims to develop the natural rubber and ethylene vinyl acetate (EVA) plastic floor tile with flame resistance property. The 6 ratios of natural-rubber STR 20: zinc oxide: stearic acid: sulfur: mercaptobenzothiazole: diphenyl guanidine: EVA plastic: antimony trioxide were equal to 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 0, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 20, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 40, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 60, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 80, and 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 100 by weight or phr. The samples are ground by two-roll mill and formed by compression molding at 150 degree Celsius with 30x30x0.2 cm of dimension for 4: 29 to 5: 19 minutes. The properties of the natural-rubber floor tiles were tested under ASTM standard. From the results, it was found that the natural rubber and ethylene vinyl acetate plastic floor tile with flame resistance property was the suitable ratio for using as the rubber floor tiles in building and extinguished a fire by themselves. The antimony trioxide effected to increase the density, hardness, and thermal conductivity, and decrease the tensile strength, tear strength, and wear resistance properties of the natural rubber and EVA plastic floor tiles.

Keywords: natural-rubber; ethylene vinyl acetate plastic waste; antimony trioxide; floor tile



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	4
1.4 สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดในการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 กระเบื้องยาง	7
2.2 วัตถุประสงค์ในการผลิตกระเบื้องยาง	8
2.3 การติดตั้งกระเบื้องยาง	9
2.4 ยางธรรมชาติ	9
2.5 การปรับปรุงยางธรรมชาติ	10
2.6 การวัลคาไนซ์	12
2.7 การขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความร้อน	13
2.8 สารหน่วงไฟ	13
2.9 พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท	13
2.10 การปรับปรุงสมบัติของพลาสติกอีวีเอ	15
2.11 การขึ้นรูปพลาสติกอีวีเอ	15
2.12 เศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอจากอุตสาหกรรมรองเท้า	15
2.13 การบดย่อยพลาสติก	16
2.14 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	20
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	20
3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม	27
3.3 การขึ้นรูปตัวอย่าง	29
3.4 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ	36
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	40
4.1 การทดสอบความเหนียวและการคงรูปของส่วนผสม	40
4.2 การทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ	41
4.3 การทดสอบความแข็ง	43
4.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง	44
4.5 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด	45

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.6 การทดสอบปริมาณการสึกหรอ	46
4.7 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	46
4.8 การทดสอบการลามไฟ	47
4.9 การใช้งานจริง	49
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผล	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	57
บทความสำหรับเผยแพร่	



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ยางธรรมชาติหรือยางพารา	1
1.2	การใช้กระเบื้องยางปูพื้นภายในบ้านพักอาศัย	2
1.3	การใช้กระเบื้องยางปูพื้นในห้องออกกำลังกาย	2
1.4	เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทหรืออีวีเอ	3
1.5	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	5
2.1	กระเบื้องยางสีต่างๆ	7
2.2	กระเบื้องยางลวดลายไม้	8
2.3	กระเบื้องยางลวดลายหิน	8
2.4	โครงสร้างของยางธรรมชาติ cis 1, 4 Polyisoprene	9
2.5	โครงสร้างของพลาสติกอีวีเอ (EVA, Ethylene Vinyl Acetate)	14
2.6	เครื่องย่อยพลาสติกแบบต่างๆ	16
2.7	เครื่องไม้ตัดพลาสติก	17
3.1	ยางธรรมชาติแท่งเกรด STR20	20
3.2	เครื่องบดเศษพลาสติกอีวีเอให้มีขนาดเล็ก	20
3.3	พลาสติกอีวีเอก่อนการบดย่อย	21
3.4	พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ทั้ง 4 ขนาด	21
3.5	พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หรือ 4.75 มิลลิเมตร	21
3.6	พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 6 หรือ 3.35 มิลลิเมตร	22
3.7	พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 8 หรือ 2.36 มิลลิเมตร	22
3.8	พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 หรือ 2 มิลลิเมตร	22
3.9	แอนติโมนีไตรออกไซด์	23
3.10	แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง	23
3.11	เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง	24
3.12	เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน	24
3.13	เครื่องทดสอบความเหนียว	24
3.14	เครื่องทดสอบการคงรูปหรือเครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่	25
3.15	เครื่องทดสอบบดเนกประสงค์	25
3.16	เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ	26
3.17	เครื่องทดสอบความสึกหรอของยาง	26
3.18	เครื่องทดสอบลามไฟ	26
3.19	เครื่องตัดตัวอย่าง	27
3.20	พื้นผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (EVA#4) (แผ่นที่ 1 จากด้านซ้าย) ผ่านตะแกรงเบอร์ 6 (EVA#6) (แผ่นที่ 2 จากด้านซ้าย) ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (EVA#8) (แผ่นที่ 3 จากด้านซ้าย) และผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (EVA#10) (แผ่นที่ 4 จากด้านซ้าย)	28
3.21	ส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ	29

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.22	การใส่ยางธรรมชาติลงในเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง	30
3.23	การบดผสมยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง	30
3.24	การผสมสารซิงค์ออกไซด์ลงในยางธรรมชาติ	30
3.25	การผสมกรดสเตียริกลงในยางธรรมชาติ	31
3.26	การเติมเศษพลาสติกอีวีเอลงในยางธรรมชาติ	31
3.27	การเติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอลลงในยางธรรมชาติ	31
3.28	การเติมไดฟีนิลกัวนิดีน และแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในยางธรรมชาติ	32
3.29	การเติมกำมะถันลงในยางธรรมชาติ	32
3.30	การทดสอบความหนืดของส่วนผสม	32
3.31	การนำส่วนผสมใส่ลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับป้องกันการติดแบบ ของส่วนผสม	33
3.32	การนำส่วนผสมที่เข้ากันแล้วใส่ในเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน	33
3.33	การตั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดความร้อน	34
3.34	การอัดขึ้นรูปส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติ หน่วงไฟ	34
3.35	การนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟออกจาก แบบหล่อ	35
3.36	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ 1 สูตร	35
3.37	สีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 5 สูตร และแผ่นกระเบื้อง ยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ	35
3.38	การชั่งน้ำหนักของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ	36
3.39	การแช่น้ำกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟเพื่อหา ค่าการดูดซึมน้ำ	36
3.40	การตัดกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสำหรับ การทดสอบ	37
3.41	ขึ้นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึง	37
3.42	ขึ้นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสำหรับทดสอบ ความต้านทานแรงดึง	37
3.43	การทดสอบความต้านทานแรงดึงของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ	38
3.44	การยึดตัวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง	38
3.45	การทดสอบความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มี คุณสมบัติหน่วงไฟ	38
3.46	การทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มี คุณสมบัติหน่วงไฟ	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	ผลการทดสอบความหนืดส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	40
4.2	ผลการทดสอบเวลาที่เกิดการคงรูประหว่าง $t_{s\ 90}$ และ $t_{c\ 100}$ ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	41
4.3	ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	42
4.4	ภาพถ่ายขยายเศษพลาสติกอีวีเอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า	43
4.5	ภาพถ่ายกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกอีวีเอสูตร 80 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า	43
4.6	ผลการทดสอบความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	44
4.7	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	44
4.8	ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	45
4.9	ผลการทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	46
4.10	ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	47
4.11	ผลการทดสอบอัตราการเผาไหม้ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	48
4.12	การดับของไฟของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A100 เพื่อห่วงไฟ	48
4.13	ลักษณะการฟูพองของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	49
4.14	การดูค่าความสะอาดแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	49
4.15	พื้นผิวที่มีการฟูหรือติดตั้งด้วยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ	50
4.16	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 0 สีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ	50
4.17	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 5 สีเทาอ่อน ผิวเรียบ	50
4.18	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 10 สีเทา ผิวเรียบ	51
4.19	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 20 สีเทาเข้ม ผิวเริ่มขรุขระ	51
4.20	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 40 สีเทาดำ ผิวเริ่มขรุขระ	51
4.21	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 80 สีดำ ผิวขรุขระ	52

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติบางประการของยางชนิดต่างๆ	11
2.2	สมบัติของพลาสติกอีวีเอที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของไวนิลอะซีเตดในโมเลกุล	14
3.1	สูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; pphr, pphr) จำนวน 1 สูตร 4 ขนาด สำหรับหาขนาดที่เหมาะสมของเศษพลาสติกอีวีเอ	27
3.2	สูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; pphr, pphr) จำนวน 6 สูตร สำหรับหาปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอที่เหมาะสม	28
3.3	กระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; pphr, pphr)	29
3.4	ผลการทดสอบการคงรูปด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบคายเคลื่อนที่ (MDR)	34



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ยางธรรมชาติหรือยางพารา เป็นพืชเศรษฐกิจที่ได้รับการส่งเสริมจากรัฐบาลให้มีการปลูกอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สกว., 2548) จนทำให้ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากเป็นอันดับต้นๆ ของโลก มีเนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 12.3 ล้านไร่ มีผลผลิตส่งออกปีละประมาณ 2.4 ล้านตัน มูลค่า 100,000 ล้านบาท/ปี ส่งออกไปในรูปแบบน้ำยางข้น (Concentrate Latex) ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoke Sheet : RSS) ยางอบแห้ง (Air Dried Sheet : ADS) และยางแท่ง (Standard Thai Rubber : STR) และที่ตลาดต้องการมากที่สุด คือ ยางแผ่นรมควันชั้น 3 (RSS 3) และยางแท่งเบอร์ 20 (STR 20) (สกว., 2548) แต่ด้วยปริมาณการปลูกยางธรรมชาติของกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศจีนที่เริ่มหันมาเพาะปลูกกันมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงปริมาณผลผลิตของยางธรรมชาติที่จะออกสู่ตลาดในปริมาณสูงขึ้นไปด้วย เหล่านี้จะส่งผลต่อราคาของยางธรรมชาติที่มีแนวโน้มตกต่ำลงอย่างมาก

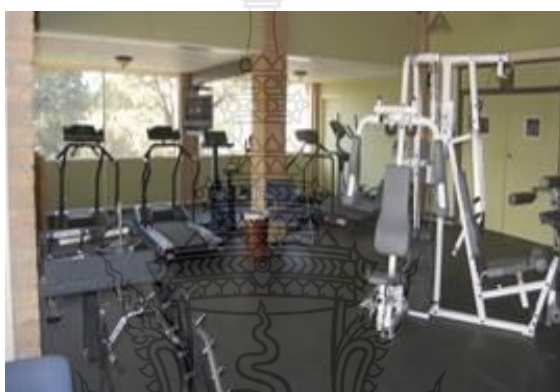


รูปที่ 1.1 ยางธรรมชาติหรือยางพารา

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของยางธรรมชาติอย่างแผ่นกระเบื้องยาง จึงเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาราคายางธรรมชาติตกต่ำที่ดีที่สุด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่มีปริมาณความต้องการใช้สูง ตามการขยายตัวของประชากร ที่อยู่อาศัย และเศรษฐกิจ สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากกว่าวัสดุปูพื้นทั่วไป เนื่องจากสมบัติที่ยืดหยุ่นดี พื้นผิวไม่ลื่น เป็นฉนวนไฟฟ้า และอ่อนตัวง่าย จึงช่วยลดการเกิดและความรุนแรงจากอุบัติเหตุ ป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านร่างกาย รวมทั้งใช้ปูพื้นบนผิวต่างๆ ได้ เช่น พื้นคอนกรีต พื้นหินขัด พื้นไม้เก่าหรือใหม่ เป็นต้น ทั้งนี้ พื้นผิวที่ติดตั้งจะต้องมีผิวหน้าเรียบ แข็ง แห้ง และสะอาด ส่วนวิธีการติดตั้งก็ง่ายโดยการใช้เพียงกาวขาว (ไดโนกลู) ก็สามารถยึดแผ่นกระเบื้องยางกับพื้นผิวได้ทันที (พงศ์พันธ์, 2540) แต่ปัญหาที่สำคัญที่สุดของแผ่นกระเบื้องยาง โดยเฉพาะกระเบื้องจากยางธรรมชาติ คือ ต้นทุนที่สูงกว่ากระเบื้องยางสังเคราะห์ เพราะยางธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์มีความจำเป็นต้องใส่สารเติมแต่งค่อนข้างมาก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสี มีความคงทน และมีความสมบัติตามต้องการ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นต้องหาวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งสามารถนำมาผสมเป็นสารเติมแต่งให้กับยางธรรมชาติได้ดี ทดแทนสารเติมแต่งที่มีราคาสูง



รูปที่ 1.2 การใช้กระเบื้องยางปูพื้นภายในบ้านพักอาศัย



รูปที่ 1.3 การใช้กระเบื้องยางปูพื้นในห้องออกกำลังกาย

จากปัญหาปริมาณขยะพลาสติก ประเภทเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Ethylene Vinyl Acetate) หรืออีวีเอ (EVA) ซึ่งเหลือทิ้งอย่างมาก และไม่สามารถรีไซเคิลได้ทั้งหมดของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มากกว่า 1,000 โรงงาน (ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากอีวีเอมากเป็นอันดับ 5 ของโลก) จึงทำให้เศษขยะพลาสติกชนิดนี้ถูกนำมาพิจารณาลักษณะ และความเป็นไปได้ในการใช้เป็นสารเติมแต่งยางธรรมชาติ เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่มีต้นทุนต่ำ โดยเศษขยะพลาสติกอีวีเอ เป็นวัสดุพอรุนที่มีความยืดหยุ่นแตกต่างกันตามแต่ละอุตสาหกรรม อาทิเช่น รองเท้าแตะ รองเท้ากีฬา ยางรัดของชนิดหัดได้ อุปกรณ์ทางการแพทย์ชนิดใช้ครั้งเดียว กาวหุ้มด้วยความร้อน ของเด็กเล่น ฉนวนหุ้มลวดไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะบรรจุของแช่แข็ง และกรวยที่กั้นถนนพลาสติก เป็นต้น และวัสดุดังกล่าวไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ทั้งหมด เนื่องจากจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลงเรื่อยๆ การกำจัดจึงต้องใช้วิธีการฝังกลบ ซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เมื่อพิจารณาจากลักษณะและความเป็นไปได้ของการนำใช้เป็นสารตัวเติมในผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ พบว่า เศษขยะพลาสติกอีวีเอ สามารถบดย่อยให้มีขนาดเล็กและผสมเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ดี มีคุณสมบัติให้สีเมื่อผสมเข้ากับยางธรรมชาติ มีแนวโน้มช่วยพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกล และด้วยจุดหลอมเหลวของเศษขยะพลาสติกชนิดนี้ที่แตกต่างจากยางธรรมชาติ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาตินี้ มีสมบัติในการดูดซับแรงกระแทกเพราะช่องว่างระหว่างเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ เศษขยะพลาสติกอีวีเอยังเป็นวัสดุที่ไม่มีมูลค่า และเป็นปัญหาของผู้ประกอบการในการกำจัดอีกด้วย (ประชุม และกิตติพงษ์, 2555)



รูปที่ 1.4 เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทหรืออีวีเอ

โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่งนั้น เป็นโครงการวิจัยวิจัย 2 ปี โดยปีที่ 1 จะให้ความสำคัญกับการบดย่อยพลาสติกอีวีเอให้มีความละเอียดสูง ชนิด และอัตราส่วนผสมที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางต้นทุนต่ำ ส่วนสมบัติต้านทานการลามไฟ และการใช้งานจริงจะให้ความสำคัญในปีที่ 2 ซึ่งโครงการนี้นอกจากจะเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติตามนโยบายของรัฐบาลแล้ว ยังช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ยากต่อการกำจัด รวมทั้งมีส่วนพัฒนาประเทศชาติให้มีความมั่นคงด้านราคายางธรรมชาติ และมีสิ่งแวดล้อมที่ดีอย่างยั่งยืนต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการย่อยเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทให้มีความละเอียดสูงสำหรับใช้เป็นสารตัวเติมที่มีต้นทุนต่ำของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ

1.2.2 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการเติมสารหน่วงไฟ

1.2.3 เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงที่มีการเติมสารหน่วงไฟ

1.2.4 เพื่อทดสอบการใช้งานจริงของกระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการเติมสารหน่วงไฟ

1.2.5 เพื่อหาสารตัวเติมที่ต้านทานการลามไฟสำหรับผสมลงในกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงที่มีต้นทุนต่ำ

1.2.6 เพื่อหาสูตรหรืออัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติจากเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงที่มีการเติมสารหน่วงไฟ

1.2.7 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 บดเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทด้วยเครื่องโม่ตัด ซึ่งมีการใช้ขนาดรูตะแกรงเล็กกว่าเบอร์ 4 ลงมา จำนวนไม่น้อยกว่า 3 ขนาด

1.3.2 ใช้ยางธรรมชาติ ชนิดแห้ง เกรด STR20 เป็นส่วนผสมของยางธรรมชาติ

1.3.3 ออกแบบสูตรหรืออัตราส่วนผสมของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง โดยเพิ่มสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ (Antimony Trioxide) เพื่อพัฒนาคุณสมบัติความต้านทานการลามไฟ (สารหน่วงไฟ) จำนวนไม่น้อยกว่า 5 สูตร

1.3.4 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง ตามมาตรฐาน ASTM

1.3.5 ใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง และเครื่องอัดด้วยความร้อน เป็นกระบวนการหลักในการผลิตกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง

1.3.6 ถ่ายทอดเทคโนโลยีกระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้แก่ผู้ประกอบการ ชุมชน และประชาชนทั่วไปที่สนใจ

1.4 สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดในการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่งในปีที่ 2 (พ.ศ.2561) มีสมมติฐานและกรอบแนวความคิดว่า ยางธรรมชาติ และเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) ที่มีความละเอียดมากๆ สามารถนำมาผสมร่วมกับสารเติมแต่งอื่นๆ แล้วขึ้นรูปผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติได้ดี



ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม
<p>การเตรียมวัสดุ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ขนาดเศษพลาสติกอีวีเอ 2. ชนิดยางธรรมชาติ 3. ชนิดสารเติมแต่งอื่น <p>อัตราส่วนผสม</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. อัตราส่วนผสมของกระเบื้องยางธรรมชาติ เช่น ยางแท่ง STR20, ซิงค์ออกไซด์, กรดสเตียริก, กำมะถัน, เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล, ไดฟีนิลกัวนิดีน, เศษพลาสติกอีวีเอ, และสารหน่วงไฟ <p>กระบวนการผลิต</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. กระบวนการบดย่อยพลาสติกอีวีเอ (ขนาดตะแกรง และเวลา) 2. กระบวนการผสม (อุณหภูมิ/เวลา) 3. กระบวนการอัดขึ้นรูป (อุณหภูมิ/เวลา) 	<p>สมบัติการขึ้นรูป</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. แรงบิด 2. เวลาที่เกิดการคงรูป <p>สมบัติทางกายภาพ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ความหนาแน่น 2. ความแข็ง 3. ลักษณะการยึดเกาะของอนุภาค 4. ลักษณะโดยทั่วไป <p>สมบัติทางกล</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ความต้านทานแรงดึง 2. ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด 3. ความต้านทานต่อการสึกหรอ <p>การใช้งานจริง</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์

รูปที่ 1.5 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบกระบวนการย่อยเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวไนลอะซิเตทให้มีความละเอียดสูงสำหรับใช้เป็นสารตัวเติมที่มีต้นทุนต่ำของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ

1.5.2 ทราบสูตรหรืออัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติจากเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวไนลอะซิเตทความละเอียดสูง

1.5.3 ทราบชนิดสารตัวเติมที่ต้านทานการลามไฟสำหรับผสมลงในกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวไนลอะซิเตทความละเอียดสูงที่มีต้นทุนต่ำ

1.5.4 ทราบกระบวนการผลิตกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวไนลอะซิเตทความละเอียดสูงจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.5.5 ทราบผลทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวไนลอะซิเตทความละเอียดสูง

1.5.6 ทราบผลกระทบจากสารต้านทานการลามไฟที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวไนลอะซิเตทความละเอียดสูง (ปีที่ 2)

1.5.7 ทราบผลทดสอบการใช้งานจริงของกระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (ปีที่ 2)

1.5.8 ได้แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.5.9 ได้แนวทางการลดปริมาณขยะพลาสติกเอทิลีนไวไนลอะซิเตทเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

- 1.5.10 ได้ผลงานทางวิชาการสำหรับตีพิมพ์ลงในวารสาร/การประชุมวิชาการ/การเรียนการสอน
- 1.5.8 ได้คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง
- 1.5.9 ผู้สนใจสามารถรับการถ่ายทอด/ขอใช้สิทธิเพื่อใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ได้



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง สามารถสรุปทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิด เพื่อให้เห็นแนวทางและความเป็นไปได้ในการดำเนินการวิจัยได้ ดังนี้

2.1 กระเบื้องยาง

กระเบื้องยาง เป็นวัสดุปูพื้นชนิดหนึ่ง ผลิตจากส่วนผสมหลักๆ คือ พีวีซีเรซินผ่านกรรมวิธี Calendering Process ได้เป็นแผ่นเรียบมีความหนาตามต้องการแล้วตัดเป็นแผ่นขนาดต่างๆ หรือเป็นชนิดผืนใหญ่เป็นม้วน ซึ่งจะเรียกว้สตุประเภทนี้รวม ๆ กันว่า Vinyl Floor และ Vinyl Floor Tile กระเบื้องยางเป็นที่นิยม เพราะราคาถูก ติดตั้งง่าย สะดวก รวดเร็ว และเล่นลวดลายและสลับสีได้หลากหลายตามต้องการจึงใช้กันมากในอาคารทั่วไปสำนักงาน ร้านค้า รวมถึงบ้านพักอาศัยด้วย เนื่องจากกระเบื้องยางเป็นวัสดุที่มีรูปแบบสีและลายตลอดจนความหนาที่แตกต่างกัน และเหมาะสมกับการใช้งานหนักเบาต่างกัน การใช้กระเบื้องยางจึงต้องพิจารณาให้เหมาะสมในหลายๆด้าน (พงค์พันธ์, 2540)

กระเบื้องยาง ที่มีในท้องตลาดมีลวดลายและสีให้เลือกหลายแบบ เช่น สีพื้น ลายเส้น เลียนแบบ ไม้ปาร์เก้ พื้นไม้ หินอ่อน และหินแกรนิต ฯลฯ ซึ่งวัสดุปูพื้นที่ทำจากพีวีซีนั้น ง่ายต่อการติดตั้ง ช่วยป้องกันความร้อน และลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้



รูปที่ 2.1 กระเบื้องยางสีต่างๆ



รูปที่ 2.2 กระเบื้องยางลวดลายไม้



รูปที่ 2.3 กระเบื้องยางลวดลายหิน

2.2 วัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องยาง

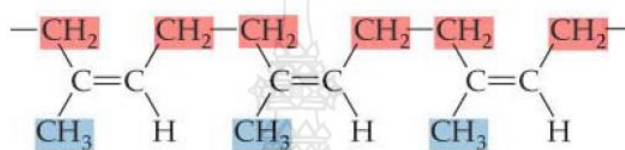
กระเบื้องยางพีวีซี มี 2 ประเภท คือ แบบแผ่น (PVC Floor Tile) และแบบผืน (PVC Floor Sheet) มีคุณสมบัติที่ใช้เป็นวัสดุปูพื้นแทนพรมหรือพาร์เก้ เนื่องจากกระเบื้องยางพีวีซี มีคุณสมบัติพิเศษคือ ไม่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ ไม่ลื่น การติดตั้งและการรื้อถอนกระทำได้ง่าย มีส่วนประกอบของพลาสติกพีวีซี ฟิล์ม กาวกระดาษ แปะแคลเซียม เรซิน และสารเคมี สำหรับวัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องยางได้มีการนำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่

2.3 การติดตั้งกระเบื้องยาง

กระเบื้องยาง ใช้ปูพื้นต่างๆ ได้ดี เช่น พื้นคอนกรีต, พื้นหินขัด, พื้นไม้เก่าหรือใหม่ เป็นต้น โดยที่พื้นจะต้องมีผิวหน้าเรียบ แข็ง แห้ง และสะอาด ลักษณะผิวหน้าของพื้นมีส่วนช่วยให้กระเบื้องยางที่ปูนั้น ดูสวย เรียบ และทนทานขึ้น ขอแนะนำให้ใช้กาวยา (ไดโนกุล) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะกับงานปูพื้นกระเบื้องยาง (พงศพันธ์, 2540)

2.4 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ หรือยางพารา (Natural Rubber) เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล (Mn) สูงเฉลี่ยประมาณ 200,000 - 500,000 (Subramaniam, 1980) มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลกว้าง มีสูตรโมเลกุลเป็น cis 1, 4 Polyisoprene ดังโครงสร้างรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของยางธรรมชาติ cis 1, 4 Polyisoprene (Subramaniam, 1980)

ยางธรรมชาติ สามารถนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้ยางออกมาในลักษณะที่แตกต่างกัน คือ อยู่ในรูปของน้ำยางข้น (concentrated latex) หรือยางดิบแห้งชนิดต่างๆ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (ribbed smoked sheet), ยางแผ่นผึ่งแห้ง (air dried sheet), ยางเครพ (crepe), ยางแท่งเอสทีอาร์ (STR, Standard Thai Rubber, STR), และยางชนิดอื่นๆ จากนั้นจึงนำยางดิบเหล่านี้ไปป้อนให้กับโรงงานแปรรูปเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ เช่น ยางรถยนต์ ยางล้อเครื่องบิน ยางรัดของ ท่อยาง เบาะที่นั่งนอน ฟองน้ำ รองเท้ายาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง เป็นต้น ทั้งนี้เพราะยางมีสมบัติจำเพาะแตกต่างจากวัสดุอื่นๆ กล่าวคือ มีความยืดหยุ่นดี เมื่อดึงออกและหดกลับรูปเดิมเมื่อปล่อย นอกจากนี้ยังมีเนื้อที่บสามารถกั้นน้ำและอากาศไม่ให้ผ่านได้โดยง่าย อีกทั้งไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเนื้อยางแห้ง (ในน้ำยางมีเนื้อยางแห้ง 20-45% โดยน้ำหนัก) คือ สารไฮโดรคาร์บอน (rubber hydrocarbon) ที่มีไฮโดรคาร์บอนอยู่ประมาณ 93.3% อีกประมาณ 6.7% เป็นสารอื่นที่ไม่ใช่ยาง (nonrubber contents) ปนอยู่ ซึ่งสารดังกล่าว ได้แก่ โปรตีน (protein) โกลโคไซด์ (glycosides) ไลปิด (lipids) เกลือแร่ (mineral salts) และ เอนไซม์ (enzymes) (Barlow, 1993) สารที่ไม่ใช่ยางเหล่านี้แม้เพียงเล็กน้อยก็อาจมีผลต่อการคงรูปหรือวัลคาไนซ์ รวมทั้งสมบัติของยางได้มาก โดยโครงสร้างหลักที่มีผลกระทบต่อสมบัติของยางธรรมชาติมีดังนี้

1) ยางธรรมชาติ ประกอบด้วย คาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติไม่ทนน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันพืช แต่จะเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

2) ตัวทำละลายของยางธรรมชาติ ได้แก่ อะลิฟาติก และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic and aromatic hydrocarbon), chlorinated hydrocarbon, ethers, และ carbon disulfide นอกจากนี้ ความทนน้ำมันของยางธรรมชาติมีค่าต่ำมากจึงทำให้ยางวัลคาไนซ์ แล้วเกิดการบวมตัวเมื่อจุ่มในน้ำมัน ในขณะที่ยางดิบเกิดการละลาย ส่วนตัวที่ไม่ทำละลายยางธรรมชาติ ได้แก่ คีโตน (ketone) แอลกอฮอล์ (alcohol) และ เอสเทอร์ (ester)

3) จากการที่โมเลกุลของยางธรรมชาติไม่อิ่มตัว จะทำให้พันธะคู่สามารถทำปฏิกิริยากับกำมะถัน ในกระบวนการวัลคาไนเซชันได้ แต่มีข้อเสียคือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนและโอโซนโดยมีโลหะ (เช่น Mn, Fe, Cu และ Co) ความร้อน แสง และความเครียดที่มีอยู่ในยาง (เช่น การหักงอไปมา) เป็นตัวเร่งให้ยางเสื่อมเร็วขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้หรือขณะใช้งาน ซึ่งจะทำให้ยางธรรมชาติเกิดรอยแตกหรือการแตกหักได้ ปริมาณโอโซน 100 ppm สามารถทำลายยางได้ภายในสองนาที่ ดังนั้นต้องมีการเติมสารป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ (antioxidant) และสารป้องกันการเกิดโอโซน (antiozonant) ผสมเข้าไปในยาง เพื่อยืดอายุการใช้งานหรือการเก็บรักษา

4) โซโมเลกุลที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี อาจจะสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ยางธรรมชาติมีค่า T_g เท่ากับ -72°C ซึ่งต่ำกว่ายางสังเคราะห์อื่นๆ ยกเว้นเฉพาะยางบิวทาไดอีนและยางซิลิโคนเท่านั้น (Holfmann, 1989)

5) ความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด ทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูงมากและทำให้มีค่า green strength สูงและ tack ดี

6) น้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง ดังนั้นต้องนำยางไปบดเพื่อให้ได้โมเลกุลเล็กลงก่อนนำไปแปรรูปในขั้นต่อไป

7) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระดอน (resilience) สูงกว่ายางสังเคราะห์อื่นๆ

8) การใช้ reinforcing filler เช่น เขม่าดำ (carbon black) จะปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้สูงขึ้น

2.5 การปรับปรุงยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีข้อดีในด้านสมบัติเชิงกลและมีข้อบกพร่องที่สำคัญ 2 ประการ คือ การต้านทานต่อน้ำมัน และการทนทานต่อสภาวะแวดล้อม (ออกซิเจน โอโซน ความร้อน และแสงอัลตราไวโอเล็ต) ต่ำ สมบัติเหล่านี้สามารถปรับปรุงได้เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ หรือยางที่มีสมบัติเด่นที่ต้องการ เช่น นำยางธรรมชาติผสมกับยางอะครีโลไนไตรบิวตะไดอีน จะช่วยเพื่อความต้านทานน้ำมัน และเมื่อนำยางธรรมชาติผสมกับยางเอทิลีนโพรพิลีนบิวตะไดอีนเพื่อปรับปรุงการทนทานต่อสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถที่จะแก้ไขข้อบกพร่องของยางธรรมชาติได้ด้วยวิธีทางเคมี (เสาวรจน, 2537) โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การผสมยางกับยาง (Rubber-Rubber Blend)

ยางชนิดต่างๆ จะมีสมบัติที่แตกต่างกันไป ซึ่งส่วนใหญ่จะมีสมบัติที่ต้องการไม่ครบถ้วน ยางแต่ละชนิดอาจจะขาดสมบัติบางอย่างที่ผลิตภัณฑ์นั้นต้องการ การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้ด้วยการผสมกันของยางที่ต่างชนิดกันตั้งแต่สองชนิดหรือมากกว่า เพื่อให้สามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการได้อย่างครบถ้วน การผสมกันของยางนี้อาจจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้ การผสมยางสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

- การผสมในสถานะของยาง
- การผสมในสถานะของสารละลายยาง
- การผสมในสถานะน้ำยางร่วมกับสารละลายยาง
- การผสมโดยใช้เครื่องมือกล (mechanical)
- การผสมโดยใช้เครื่องมือกลร่วมกับสารเคมี (mechanochemical)
- การผสมในสถานะของยางผง (powder or particulate form)

เทคนิคที่สะดวกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมยาง คือ ใช้เทคนิคผสมโดยเครื่องมือกล ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ได้แก่ เครื่องบดผสมแบบระบบเปิด (Open mill or Two roll mill) หรือเครื่องบดผสมแบบระบบปิด

(Internal mixers) โดยการผสมยางนี้อาจใช้อย่างธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์หรือใช้อย่างสังเคราะห์ผสมกับยางสังเคราะห์

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของยางชนิดต่างๆ

สมบัติ	NR	SBR	BR	IIR	CR	NBR
Resilience	H	M	VH	L	M	FL
Tensile strength	VH	H	M	M	H	H
Tear strength	VH	M	M	M	H	M/L
Abrasion resistance	H	H	VH	M/H	H	M
Wet Skid resistance	L	H	VL	VH	-	-
Oxidation resistance	M	M	M	H	M	M
Permeability	H	M	VH	L	FL	L

หมายเหตุ VH = สูงมาก, H = สูง, M = ปานกลาง
VL = ต่ำมาก, L = ต่ำ, FL = ค่อนข้างต่ำ

สำหรับการผสมยางกับยางไม่ว่าจะเป็นการผสมยางสังเคราะห์กับยางสังเคราะห์หรือยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์นั้น ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่

1.1) ปัจจัยที่มีผลต่อการผสมยาง

- Polymer ratio
- Phase morphology
- Interfacial adhesion and crosslink
- การกระจายตัวของสารตัวเติม (filler) ภายในยาง
- การกระจายตัวของสารเติมแต่ง (Plasticizer) ภายในยาง
- การกระจายตัวของการเชื่อมต่อกันภายในยาง
- ปัจจัยอื่นที่มีผล ได้แก่ ความหนืด และความแตกต่างด้านความมีขี้ของยางแต่ละชนิด

1.2) การใช้อย่างผสม ยางที่นำมาผสมกันจะไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันโดยสมบูรณ์ จะมียางชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในยางอีกชนิดหนึ่ง โดยแยกออกเป็น 2 เฟส ได้แก่

ก) Continuous phase เป็นส่วนของยางที่เป็นพื้น matrix

ข) Disperse phase เป็นส่วนของยางที่เข้าไปกระจายในส่วนของ continuous phase เพื่อที่จะให้เกิดการกระจายตัวของยางเกิดขึ้นได้ดีที่สุด ยางทั้งสองชนิดที่นำมาผสมกันควรจะมี ความหนืดเท่าๆ กัน เหตุผลการตัดสินใจที่จะผสมยางเข้าด้วยกัน มีเหตุผลหลายประการ เช่น

- เพิ่มความสามารถในการแปรรูปของยางที่ใช้
- เพิ่มความทนทานต่อการเสื่อมสภาพของยาง
- ช่วยในการลดต้นทุน ด้วยการผสมยางที่มีราคาถูกกับยางที่มีราคาแพง

นอกจากนี้สิ่งสำคัญอีกสิ่งที่จะต้องระมัดระวังในการผสมยางเข้าด้วยกัน คือ ยางที่ผสมจะต้องมีการวัลคาไนซ์ไปพร้อมๆ กัน

1.3) การผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ ตัวอย่างเช่น การใช้ยางธรรมชาติผสมยางไนไตรล์ ยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ และยางบิวทาไดอีนผสมยางธรรมชาติ เป็นต้น (บุญธรรม, 2530)

2) การแก้ไขทางเคมี (Chemical Modification)

การปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติสามารถทำได้โดยใช้สารเคมีเป็นตัวแก้ไขโครงสร้างโมเลกุล โดยทั่วไปปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นที่พันธะคู่ของยางธรรมชาติและเมื่อมีการปรับสภาพโครงสร้างของยางธรรมชาติแล้ว อาจทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์เปลี่ยนแปลงไป และส่วนใหญ่มีแนวโน้มเปลี่ยนสภาพจากยางไปเป็นพลาสติก หรือเรซิน การแก้ไขยางธรรมชาติทางเคมีสามารถที่จะทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

- 2.1) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง หรือ geometry ของโมเลกุลยางธรรมชาติไปเป็นวัสดุชนิดใหม่
- 2.2) การรวมโมเลกุลของยางธรรมชาติกับกลุ่มสารเคมีที่มีลักษณะเฉพาะหรือปฏิกิริยาทางเคมี
- 2.3) การนำพอลิเมอร์ที่ต่างชนิดกันมาต่อเข้ากับสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นสายโซ่สั้นหรือสายโซ่ยาว

2.6 การวัลคาไนซ์

วัลคาไนเซชัน หมายถึง กระบวนการการนำยางมาเติมกำมะถันแล้วให้ความร้อน โดยผลผลิตที่ได้มีความสามารถในการไหลลดลง แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เหตุผลที่ความสามารถในการไหลของยางลดลง แต่ในขณะเดียวกันมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเพราะได้เกิดการเชื่อมโยง (crosslinked) ขึ้นระหว่างโมเลกุลของยาง ในปัจจุบันคำว่า วัลคาไนเซชัน หมายถึง กระบวนการใดก็ได้ที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ดังนั้นกระบวนการจึงไม่จำกัดเฉพาะการใช้กำมะถันเท่านั้น แต่อาจใช้สารเคมีอื่นก็ได้ หรือไม่มีการเติมสารเคมีเลยก็ได้ เช่น ใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว หรือใช้แสงเพียงอย่างเดียว ยิ่งไปกว่านั้นกระบวนการนี้ก็ไม่จำกัดเฉพาะยางธรรมชาติเท่านั้น แต่จะเป็นวัตถุพอลิเมอร์ใดๆ ก็ได้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันวิธีวัลคาไนเซชันยางที่นิยมใช้กันมากที่สุดยังคงเป็นวิธีดั้งเดิม คือ การใช้ผงกำมะถันและมีการเติมตัวเร่งด้วย (accelerator) อีกวิธีหนึ่งก็นิยมใช้กันเช่นกันคือการใช้สารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ (พรพรรณ, 2528; วราภรณ์, 2523)

1) กระบวนการวัลคาไนเซชันโดยใช้กำมะถัน (sulfur vulcanization) ปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติและผงกำมะถัน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดค่อนข้างช้าภายใต้อุณหภูมิปกติสำหรับกระบวนการคือประมาณ 150°C ยิ่งไปกว่านั้น กระบวนการนี้ยังมีประสิทธิภาพต่ำมาก แต่ละจุดที่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางใช้กำมะถันมากถึง 40-55 อะตอม และมีเพียง 6-10 อะตอม ของกำมะถันเท่านั้นที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงอย่างแท้จริง กำมะถันที่เหลือกระจายไปทั่วโซ่หลักของยางในรูปของหน่วยซัลไฟด์วงแหวน การมีซัลไฟด์ปะปนในยางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก

ในลักษณะเช่นนี้ ทำให้สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติด้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งก่อให้เกิดการตกผลึกออกมาและทำให้สมบัติการกลับเข้าสู่รูปเดิม (resilience) ลดต่ำลงด้วยอัตราการวัลคาไนเซชัน อาจทำให้เร็วขึ้นได้โดยการเติมตัวเร่ง (accelerator) หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งตัว นอกจากการเติมตัวเร่งแล้วยังนิยมเติมตัวกระตุ้น (activator) ด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่ง

2) กระบวนการวัลคาไนเซชันโดยใช้สารเปอร์ออกไซด์ (vulcanization) เป็นสารที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง เพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติของผลผลิตยางให้ดีขึ้น ชนิดของสารเชื่อมโยงโมเลกุลยางนี้จะแตกต่างกันออกไปในการใช้กับยางแต่ละชนิด ในระหว่างการวัลคาไนเซชันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น คือ การที่สายโมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกัน โดยเกิดปฏิกิริยากับสาร vulcanizing form โครงสร้างแบบสามมิติ จากการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ยางเปลี่ยนจากการมีลักษณะอ่อนแบบพลาสติกเป็นลักษณะแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ แต่ยางจะสูญเสียคุณสมบัติความเหนียวติดกันเองและจะมีความต้านทานต่อการละลายในตัวทำละลาย ตลอดจนความทนทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องมาจากความร้อน แสง และขบวนการทำให้ยางเสื่อมสภาพแบบอื่นๆ

2.7 การขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความร้อน

การขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความร้อน เป็นกระบวนการพื้นฐานในการผลิตชิ้นงานยางและพลาสติกแบบดั้งเดิม โดยส่วนมากนิยมใช้กับพลาสติกประเภทเทอร์โมเซต นอกจากนี้กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยการอัดยังสามารถใช้กับพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก แต่ไม่เป็นที่นิยมมากนัก หลักการกระบวนการขึ้นรูปด้วยการอัด คือ นำวัตถุดิบที่ต้องการขึ้นรูป วางลงแม่พิมพ์ร้อนที่เปิดอยู่ หลังจากนั้นปิดแม่พิมพ์ด้วยแรงดันอัด พลาสติกจะเริ่มอ่อนตัวเนื่องจากความร้อน และไหลไปตามช่องว่างของแม่พิมพ์ จนกระทั่งแข็งตัวได้รูปร่างตามต้องการ (บุญธรรม, 2530)

2.8 สารหน่วงไฟ

สารหน่วงไฟ (flame retardant) เป็นสารเติมแต่งที่เติมลงไปในยางเพื่อช่วยชะลอการติดไฟของยาง ทำให้ยางติดไฟได้ช้าลง กลไกการทำงานของสารหน่วงไฟ มีหลายประการ ได้แก่

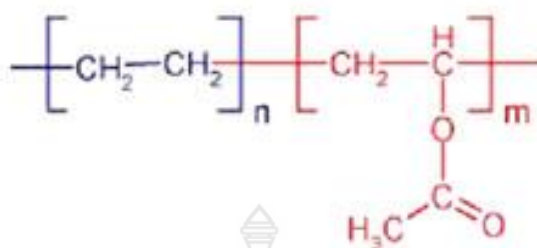
- 1) ยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระ โดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับกันว่าการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาของสายโซ่อนุมูลหลักในวัฏภาคที่เป็นไอ ในบางครั้งสารอินทรีย์ประเภทฮาโลเจนอาจเกิดอนุมูลของโบรมีนและคลอรีน ซึ่งเข้าไปแทรกแซงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันช่วยในการยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระ
- 2) สารหน่วงไฟอาจทำให้เกิดก๊าซที่หนักกว่าออกซิเจนปกคลุมที่ผิวของวัสดุ เป็นการทำให้วัสดุไม่สัมผัสกับออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศและป้องกันการเผาไหม้ ก๊าซประเภทนี้ได้แก่ โบรมีน ไฮโดรเจนโบรมด์ คลอรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ แอนติโมนีออกไซด์ และไอน้ำ เป็นต้น
- 3) การเคลือบผิว การเผาไหม้ของสารอินทรีย์ประเภทฟอสฟอรัสทำให้เกิดฟอสฟอรัสออกไซด์ซึ่งมีลักษณะคล้ายแก้วห่อหุ้ม จัดเป็นสารที่ไม่เกิดการติดไฟ และช่วยแยกออกซิเจนในบรรยากาศออกไป
- 4) การเกิดถ่าน กระบวนการเผาไหม้บางชนิดจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นถ่านคาร์บอนที่มีฟองอยู่ โดยจะแยกออกซิเจนในบรรยากาศและทำหน้าที่เป็นฉนวนเก็บกักความร้อนของเปลวเพลิงไม่ให้ออกจากวัสดุ
- 5) การดูดความร้อน สารหน่วงไฟที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงประเภทดูดความร้อน มีผลทำให้วัสดุเย็นตัวลงต่ำกว่าอุณหภูมิการสลายตัวจะช่วยป้องกันการเผาไหม้โดยการระเหยกลายเป็นไอได้ เช่น อลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์

สารหน่วงไฟสำหรับยางธรรมชาติที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) และแอนติโมนีออกไซด์ (Sb_2O_3) เมื่อถูกเผาไหม้ความร้อนของเปลวไฟจะทำให้ทั้ง อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) เกิดการสลายตัวให้น้ำ (dehydration) ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพต่อไปเป็นไอน้ำพร้อมทั้งดูดพลังงานความร้อนจากเปลวไฟ สำหรับแอนติโมนีออกไซด์ (Sb_2O_3) นิยมใช้ร่วมกับสารหน่วงไฟอินทรีย์ที่มีหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น คลอรีเนตเตตพาราฟิน (chlorinated paraffin) เป็นต้น ในกรณีนี้เมื่อได้รับเปลวไฟ Sb_2O_3 จะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ดังกล่าว เกิดเป็นแอนติโมนีไตรคลอไรด์ (antimony trichloride : SbCl_3) ซึ่งระเหยได้ ทำให้ออกซิเจนในบริเวณที่เกิดเปลวไฟเจือจางลงและยังก่อให้เกิดไอน้ำอีกด้วย (พรพรรณ, 2528)

2.9 พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท

พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทหรือพลาสติกอีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งได้จากการทำโพลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ของสารเอทิลีนโมโนเมอร์ (Ethylene Monomer) กับสาร ไวนิลอะซิเตทโมโนเมอร์ (VAM, Vinyl Acetate Monomer) โพลิเมอร์อีวีเอเป็นผลงานการวิจัยของบริษัทดูปองท์ (DuPont) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รับการจดสิทธิบัตรไว้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2499 (ค.ศ.1956) อีวีเอถูกผลิตออกสู่ตลาดในปี พ.ศ. 2503 (ค.ศ.1960) ในชื่อทางการค้าว่า เอลแวกซ์

(Elvax) ปัจจุบันอีวีเอถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมหีบห่อบรรจุภัณฑ์ กาวเส้นลวด พื้นรองเท้า และอื่นๆ (Jesse, 1992)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของพลาสติกอีวีเอ (EVA, Ethylene Vinyl Acetate)

เอทิลีนไวนิลอะซีเตทโคโพลิเมอร์ มีลักษณะโมเลกุลเป็นสายยาวของเอทิลีน โดยมีไวนิลอะซีเตทเกาะกระจายเป็นหย่อมบนสายโซ่โมเลกุล ในลักษณะโครงสร้างโคโพลิเมอร์แบบไม่เป็นระเบียบ (Random Copolymer) และเนื่องจากสารชนิดนี้เกิดจากการรวมโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ เอทิลีนโมโนเมอร์กับไวนิลอะซีเตทโมโนเมอร์ ดังนั้นสมบัติของอีวีเอจึงเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของไวนิลอะซีเตทในโมเลกุล โดยปริมาณของสารไวนิลอะซีเตทในโมเลกุลมีผลกระทบต่ออีวีเอ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติของพลาสติกอีวีเอที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของไวนิลอะซีเตทในโมเลกุล (Jesse, 1992)

สมบัติ	ปริมาณไวนิลอะซีเตทมาก	ปริมาณไวนิลอะซีเตตน้อย
ความเป็นผลึก (Crystallinity)	ลดลง	มากขึ้น
จุดหลอมเหลว	ลดลง	สูงขึ้น
ค่าโมดูลัส	ลดลง	สูงขึ้น
ความแข็ง (Hardness)	ลดลง	มากขึ้น
สภาพขั้ว (Polarity)	สูงขึ้น	ลดลง
ความสามารถในการกันแก๊สซึมผ่าน	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ความทนทานต่อแรงกระแทก	มากขึ้น	ลดลง
ความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์	ลดลง	มากขึ้น
ความใส	มากขึ้น	น้อยลง

ความสามารถเข้าได้กับสารอื่น เมื่ออีวีเอมีปริมาณไวนิลอะซีเตทเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการเข้าได้กับสารอื่นจะสูงขึ้น ทำให้สามารถนำสารอีวีเอไปผสมรวมกับโพลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีสภาพขั้ว เช่น พลาสติกไซซ์พีวีซี (Plasticized PVC) ได้ ซึ่งโดยปกติโพลิเอทิลีนทั่วไปไม่สามารถผสมเข้ากับพลาสติกไซซ์พีวีซี และยิ่งอีวีเอมีปริมาณไวนิลอะซีเตทมากขึ้นก็ยิ่งช่วยให้เข้าได้กับพลาสติกไซซ์พีวีซีได้ง่ายยิ่งขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้อีวีเอที่มีไวนิลอะซีเตทมากยังมีความสามารถรับสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) หรือผงสี (Pigments) ต่าง ๆ ได้ในปริมาณมากโดยไม่เกิดผลเสียต่อสมบัติทางกายภาพ เช่น ในผลิตภัณฑ์อีวีเอที่ใช้สำหรับงานกันไฟฟ้าสถิตย์นั้น ผู้ผลิตสามารถผสมผงถ่าน (Carbon Black) ลงไปในอีวีเอได้มากถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ด้วยสมบัติที่สามารถเข้ากับสารอื่นได้ดี จึงสามารถนำอีวีเอไปปรับแต่งสมบัติก่อนใช้งานหรือใช้เป็นตัวปรับแต่งสมบัติให้กับโพลิเมอร์อื่นได้

2.10 การปรับปรุงสมบัติของพลาสติกอีวีเอ

พลาสติกอีวีเอสามารถปรับปรุงสมบัติได้หลายวิธี เช่น การใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ทำให้อีวีเอเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเป็นเครือข่ายหรือร่างแห การเติมสารเพิ่มเนื้ออย่างดิน (Clay) ลงไปในอีวีเอเพื่อช่วยเรื่องการเสริมแรง (Reinforcement) แต่สิ่งสำคัญนอกเหนือจากนี้คือการปรับปรุงสมบัติความต้านทานต่อแรงฉีกขาด โดยใช้ซิลิกา (Silica) การนำอีวีเอมาเติมซิลิกา สารประกอบเปอร์ออกไซด์ และสารให้ฟอง (Blowing Agents) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นผลิตภัณฑ์โฟมที่มีน้ำหนักเบา (ความหนาแน่นต่ำ) แต่เหนียว ซึ่งเหมาะจะใช้เป็นแผ่นรองพื้นชั้นใน (Innersole) และพื้นรองเท้าชั้นกลาง (Midsole) ของรองเท้าวิ่ง (Jesse, 1992)

2.11 การขึ้นรูปพลาสติกอีวีเอ

พลาสติกอีวีเอส่วนใหญ่นำมาใช้งานเป็นอีวีเอชนิดเทอร์โมพลาสติก วิธีขึ้นรูปจึงเหมือนการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกทั่วไปคือ สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีฉีดเข้าแบบ (Injection Molding) วิธีอัดรีด (Extrusion) วิธีเป่าเข้าแบบ (Blow Molding) และวิธีรีดเป็นแผ่น (Calendering) แต่มีบางสิ่งๆ ที่ควรทราบเกี่ยวกับการขึ้นรูปอีวีเอ เนื่องจากอีวีเอเป็นโพลิเมอร์ที่ไม่สามารถทนความร้อนสูงจากกระบวนการขึ้นรูป อย่างเช่นวิธีการฉีดเข้าแบบได้ดันทันที สภาพแวดล้อมที่ร้อนเกินพิกัดจะทำให้โพลิเมอร์สูญเสียสมบัติทางกายภาพ นอกจากนี้ยังทำให้หมู่ไวโนลอะซีเตตของโพลิเมอร์สลายตัวให้กรดอะซิติก (Acetic Acid) ออกมาซึ่งสังเกตได้จากมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเกิดขึ้น ดังนั้นการทำแม่พิมพ์และตาย (Die) สำหรับอีวีเอจึงควรเลือกใช้โลหะที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อน การขึ้นรูปอีวีเอด้วยการฉีดขึ้นรูปจึงไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงเกินความจำเป็นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะสมบูรณ์แบบ สิ่งที่ต้องคำนึงอีกประการหนึ่งคือ ควรให้ผลิตภัณฑ์มีช่วงเวลาการเย็นที่นานเพียงพอ เนื่องจากหากขึ้นงานยังไม่แข็งแรงเพียงพอแรงกระแทกจากเข็มกระทุ้ง (Pin) ที่ทำให้ชิ้นงานหลุดออกจากแม่พิมพ์จะทำให้ชิ้นงานเสียหายได้ การขึ้นรูปด้วยการอัดรีดอีวีเอ เนื่องจากอีวีเอมีสมบัติความอ่อนนุ่มในตัว การควบคุมรูปทรงของชิ้นงานให้มีความสมบูรณ์จึงเป็นปัญหาหลัก ดังนั้นระบบทำความเย็นและอุปกรณ์ควบคุมรูปทรงจึงเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่จำเป็นต้องมี (Jesse, 1992)




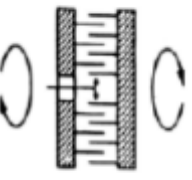
2.12 เศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอจากอุตสาหกรรมรองเท้า

เศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอจากอุตสาหกรรมรองเท้า เป็นหนึ่งในขยะพลาสติกที่เป็นปัญหาอย่างมากของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกรายใหญ่ อันดับที่ 5 ของโลก รองจากจีน เวียดนาม อินโดนีเซีย และบราซิล ในปี 2549 มีจำนวนโรงงานผลิตรองเท้ากว่า 1,000 โรงงาน มีมูลค่าการส่งออกรวมกว่า 3.3 หมื่นล้านบาท และมีแนวโน้มขยายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะทำให้มีปริมาณเศษผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ประกอบกับการที่ขยะจำพวกพลาสติกสามารถย่อยสลายได้ช้าวิธีกำจัดโดยการฝังกลบจึงไม่สามารถรองรับขยะปริมาณมากมายเหล่านี้ได้ และการฝังกลบขยะพลาสติกอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินอีกด้วย แม้ว่าปัจจุบันจะมีการนำพลาสติกมาหลอมและนำกลับมาใช้ใหม่ แต่ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติด้อยลงกว่าเดิม จึงจำเป็นต้องเติมสารเติมแต่งต่างๆ ลงไป เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น ซึ่งจะเพิ่มต้นทุนอย่างมากให้กับภาคอุตสาหกรรม ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตรองเท้าจะมีการผสมผสานวัตถุดิบระหว่างเม็ดพลาสติกกับสารเคมีชนิดต่างๆ แล้วผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป รีด และผสมสี เพื่อให้ได้รองเท้าที่มีสีสัน และความนุ่มตามที่ผู้บริโภคต้องการ ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ผสมนั้น ได้แก่ พลาสติกอีวีเอ (EVA, Ethylene Vinyl Acetate), พลาสติกแอลดีพีอี (LDPE, Low Density Polyethylene), โข (Wax), ยาสุก (DCP, Dicumyl Peroxide), ซิงค์ (ZnO), ยาฟอง (Blowing Agent), แป้ง 9 QQ, แป้ง OM 8, แป้ง 4 QC, ยางพาราแผ่น (Para-Rubber Plates), เขม่าดำ (Carbon Black) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) เป็นต้น ส่วนเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกที่

เหลือทิ้งอย่างมากก็คือ ขอบพลาสติกอีวีเอที่เหลือจากการขึ้นรูป เดิมที่ทางโรงงานจะมีการนำเศษผลิตภัณฑ์ดังกล่าว กลับไปเข้ากระบวนการผลิตใหม่อีกครั้ง เพื่อลดปริมาณขยะจากเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอ และเป็นการประหยัดพลาสติกอีวีเอใหม่ แต่การนำเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอดังกล่าวไปผสมใหม่นั้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์รองเท้ามี่คุณภาพด้อยลง และสามารถทำการผสมซ้ำได้เพียงไม่กี่ครั้งเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ทั้งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมจึงมีเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอต่างๆ เหลือทิ้งเป็นขยะพลาสติกที่ยากต่อการกำจัดจำนวนมาก

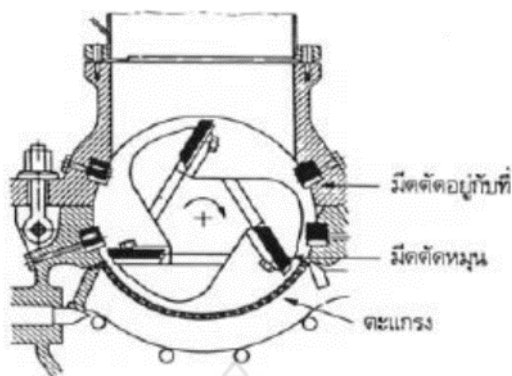
2.13 การบดย่อยพลาสติก

การย่อย หมายถึง การลดขนาดของพลาสติกแข็งโดยวิธีทางกล เพื่อให้พลาสติกมีขนาดและรูปร่างเหมาะสม ซึ่งสามารถนำไปขึ้นรูปต่อได้ ในการบดย่อยจะทำให้ได้พลาสติกที่มีขนาดเล็กแตกต่างกันตามความต้องการ เหตุผลที่จำเป็นต้องบดย่อยพลาสติกมีหลายอย่าง เช่น เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสเมื่อทำการผสม ทำให้อบแห้งได้ดี ป้อนเข้าเครื่องจักรแปรรูปได้อย่างสม่ำเสมอ หลอมละลายได้เร็ว เป็นต้น เครื่องบดย่อยมีหลายชนิดซึ่งสร้างไว้ให้เหมาะสมกับชนิดของพลาสติก เช่น เครื่องรีดย่อย โม่ตี โม่กวน โม่ตัด โม่แท่งตี และโม่รีด เป็นต้น ลักษณะการทำงานของเครื่องบดย่อยต่างๆ แตกต่างกันไป เช่น เครื่องรีดย่อยใช้แรงตัด เครื่องโม่ตัดใช้การตัดเฉือน และเครื่องโม่แท่งใช้การตีให้กระจายและการเสียดสี (ดรรชนี, 2555)

เครื่อง	เครื่องรีดย่อย	โม่ตี	โม่อัด	โม่แท่งตี
สภาพของพลาสติก				
เปราะ				
เหนียว				
elastic				
เหมาะสำหรับ	PS, PF	PS, PF, PMMA	PVC, PE, PP, PA	

รูปที่ 2.6 เครื่องย่อยพลาสติกแบบต่างๆ (ดรรชนี, 2555)

เครื่องโม่ตัดเป็นเครื่องย่อยที่มีใช้มากในการย่อยพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการย่อยเศษพลาสติกหรือชิ้นงานที่เสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เครื่องโม่ตัดประกอบด้วยเรือนเหล็กหล่อที่มั่นคง มีคมตัดติดอยู่กับเรือน 4 คม ตอนล่างจะมีตะแกรงประกอบอยู่ วัสดุที่จะตัดถูกส่งเข้าทางปล่องด้านบน ตรงกลางจะมีเพลาลูกเบี้ยวที่มีเม็ดตัดติดอยู่ 3 เล่ม เศษพลาสติกที่ใส่ลงไปจะถูกเม็ดหมุนจับและนำไปตัดกับเม็ดซึ่งติดอยู่กับเรือนเครื่อง โดยเครื่องจะทำงานช้าๆ ไปจนกว่าพลาสติกจะละเอียดพอที่จะลอดตะแกรงได้ ความเร็วตัดจะอยู่ระหว่าง 12-14 เมตรต่อวินาที ระยะห่างระหว่างเม็ดหมุนและเม็ดติดอยู่กับที่ประมาณ 0.25-0.5 มิลลิเมตร โม่ตัดมีขนาดทำงานได้ตั้งแต่ 10-2,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ดรรชนี, 2555)



รูปที่ 2.7 เครื่องไม้ตัดพลาสติก (ดรธรณี, 2555)

2.14 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนโวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่งสามารถสรุปเป็นสาระสำคัญได้ ดังต่อไปนี้

1) ศุภชัย แก้วจิ้ง (2552) ได้พัฒนาบล็อกปูพื้นที่ทำจากยางธรรมชาติและยางอีพดีเอ็ม (EPDM) เหลือทิ้ง โดยทำเป็น 2 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นแรก คือ ส่วนฐานรองรับ ทำจากยางธรรมชาติชนิดยางสกีม ซึ่งเป็นยางต้นทุนต่ำผสมสารตัวเติมผงฝุ่นขี้เลื่อยไม้ยางพารา ทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการขึ้นรูป 12, 15, และ 20 นาที ที่ความหนา 5, 10, และ 15 มิลลิเมตร ตามลำดับ ชั้นที่สอง ทำจากยางสกีมผสมยางอีพดีเอ็มซึ่งเป็นวัสดุจากฉนวนหุ้มท่อแอร์เหลือทิ้ง โดยมีสมบัติต้านทานต่ออุณหภูมิได้ดี ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม โดยมีการแปรผันปริมาณสัดส่วนยางอีพดีเอ็มในช่วง 0-300 phr ทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ผลการทดลอง พบว่า สมบัติความต้านทานแรงฉีกขาด สมบัติการกระด้างกระดอน และทดสอบสมบัติการกระด้างตัวในแนวตั้งของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของยางอีพดีเอ็ม ในทางตรงข้ามเวลาในการคงรูปยาง สมบัติความแข็ง และการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้น โดยสามารถดูดซับพลังงานได้มากที่สุดที่ปริมาณยางอีพดีเอ็ม 300 phr ต้นทุนด้านวัสดุลดลงเมื่อชั้นฐานรองรับและปริมาณสัดส่วนยางอีพดีเอ็มเพิ่มขึ้น แต่ต้นทุนด้านพลังงานกลับเพิ่มขึ้นเมื่อชั้นฐานรองรับเพิ่มขึ้นและปริมาณสัดส่วนยางอีพดีเอ็มเพิ่มขึ้น

2) วิสุทธิ์ แก้วสกุล (2551) ได้เตรียมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจากการเบลนด์โคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับโวนิลอะซิเตท (EVA) กับยางธรรมชาติ 3 ชนิด ได้แก่ ยางแผ่นผึ่งแห้ง (ADS) ยางธรรมชาติมาลิเอต (MNR) ที่เตรียมโดยใช้มาลิเอตไฮโดรเจน 10 phr และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ที่มีหมู่อีพอกไซด์ 35 % โดยโมล จากการเตรียมโดยทำปฏิกิริยาอีพอกไซด์ชันยางธรรมชาติกับกรดเปอร์ฟอร์มิกด้วยเทคนิคการเบลนด์แบบปกติและการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์โดยใช้ระบบ วัลคาไนซ์ด้วยฟีนอลิกเรซิน ใช้เครื่องผสมแบบปิดในการเบลนด์ ที่อุณหภูมิ 140°C ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบ/นาที การเบลนด์ ADS/EVA ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ที่เตรียมจาก EVA ดัดแปลงโมเลกุลด้วยฟีนอลิกเรซิน (PhHRJ-EVA) ส่วนการเบลนด์ MNR/EVA และ ENR/EVA เป็นการเบลนด์แบบบริเอ็กทีฟโดยไม่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ พบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ทั้ง 3 ชนิด มีมอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความแข็ง และความต้านทานต่อตัวทำละลาย มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ แต่มอดูลัสสะสม ความหนืดเชิงซ้อน และความสามารถในการคืนรูป มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ค่า tension set และ tan d มีแนวโน้มลดลง) และพบว่าสัณฐานวิทยาเป็นแบบเฟสร่วม

ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 40/60, 50/50 และ 60/40 เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนเดียวกัน การเบลนด์ ENR/EVA ให้วัสดุที่มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ความสามารถในการคืนรูป ความต้านทานต่อตัวทำละลาย และความต้านทานต่อความร้อนสูงสุด รองลงมาคือวัสดุที่ได้จากการเบลนด์ MNR/EVA และ ADS/EVA ตามลำดับ ส่วนการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ด้วยเทคนิควัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ สมบัติต่างๆ มีแนวโน้มในทำนองเดียวกันกับการเบลนด์แบบปกติ แต่วัสดุจากการทำไดนามิกส์วัลคาไนเซชันมีสมบัติต่างๆ สูงกว่า นอกจากนี้พบว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นอนุภาคยางวัลคาไนซ์มีขนาดเล็กลงตามการเพิ่มปริมาณยาง ซึ่งวัสดุจากการเบลนด์ ENR/EVA มีขนาดอนุภาคยางเล็กที่สุดมีผลให้ได้วัสดุที่มีสมบัติต่างๆ ดีที่สุด ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการคืนรูป ความต้านทานต่อความร้อน และความต้านทานต่อตัวทำละลาย ดังนั้นวัสดุจากการเบลนด์ ENR/EVA ทั้งสองเทคนิคมีสมบัติดีที่สุดเนื่องจากมีความเข้ากันได้ดีที่สุด

3) ปญญานิซ อินทรพัฒน์ (2551) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกริยาการกราฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของมอนอเมอร์ต่อตัวริเริ่ม และเวลาในการทำปฏิกริยาต่อสัดส่วนการกราฟต์ของยางธรรมชาติกราฟต์และการเปลี่ยนแปลงมอนอเมอร์ พบว่า สัดส่วนการกราฟต์และการเปลี่ยนแปลงมอนอเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์และเวลาในการทำปฏิกริยา โดยกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับไดเมทิลอะครีโลอิลออกซีเมทิลฟอสฟอเนตที่อัตราส่วนโดยโมลของมอนอเมอร์ต่อตัวริเริ่ม เท่ากับ 7 ที่เวลาในการทำปฏิกริยา 180 นาที จะให้สัดส่วนการกราฟต์และการเปลี่ยนแปลงมอนอเมอร์สูงสุด ความยาวสายโซ่เฉลี่ยของสายโซ่กราฟต์อยู่ในช่วง 9-73 สัณฐานวิทยาของอนุภาคน้ำยางกราฟต์ทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่องทรานสมิซชันอิเล็กตรอนไมโครสโกปีพบว่า การกราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันเป็นแบบคอร์เชลล์ ศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของยางธรรมชาติกราฟต์ พบว่า การสลายตัวของยางธรรมชาติกราฟต์ปรากฏ 2 ช่วง กล่าวคือ การสลายตัวช่วงแรกที่อุณหภูมิต่ำเป็นการสลายตัวของยางธรรมชาติและช่วงที่สองเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่ายางธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิดเถ้าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนการกราฟต์เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิไดเมทิลเมทาครีโลอิลออกซีเมทิลฟอสฟอเนต ถูกนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติจากยางธรรมชาติกับเอทิลีนไวนิล-อะซิเตท โดยใช้เทคนิคการเบลนด์แบบปกติและการเบลนด์โดยผ่านกระบวนการไดนามิกวัลคาไนซ์ โดยศึกษาอิทธิพลต่างๆ ได้แก่ ระดับการกราฟต์ ได้แก่ 71, 80, 89 และ 95% และปริมาณของยางธรรมชาติกราฟต์ ได้แก่ 1, 3, 5, 7, 9, 12 และ 15% โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ ที่ใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ต่อสมบัติการไหล สมบัติพลวัต สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงความร้อน พบว่า การใช้ยางธรรมชาติกราฟต์ที่มีสัดส่วนการกราฟต์ เท่ากับ 80% ในปริมาณ 7% โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติในการเบลนด์แบบปกติ และ 9% โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ ในการ เบลนด์แบบไดนามิกวัลคาไนเซชัน ให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มความเข้ากันได้ดีที่สุด โดยพบว่า การใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ที่สภาวะดังกล่าวส่งผลให้ ความเหน็ดเชิงซ้อน สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาดสูงสุด ในขณะเดียวกัน การยืดอยู่ตัว และแทนเดลต่ำต่ำที่สุด การศึกษาสัณฐานวิทยาของการเบลนด์ที่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้พบว่าขนาดของเฟสยางลดลง อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิกลาสรานซิชันของพอลิเมอร์เบลนด์ มีการเลื่อนเข้าหากันส่วนปริมาณผลึกของเอทิลีนไวนิลอะซิเตทเฟสลดลง

4) กุณฑล ทองศรี (2548) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยพลาสติก ทำศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลกับการย่อยขวดพลาสติก โดยได้สร้างเครื่องย่อยขวดพลาสติกที่มีขนาดกว้าง 700 มิลลิเมตร ยาว 1,000 มิลลิเมตร และสูง 1,350 มิลลิเมตร โรเตอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร มีโรเตอร์ 5 ตัว เครื่องย่อยขวดพลาสติกที่สร้างขึ้น มีชุดใบมีดย่อยขวดพลาสติกที่ประกอบขึ้นโดยใช้ใบมีดตัดทั้งหมด 15 ใบ และใบมีดรับ 2 ใบ ในการทดสอบได้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 4 แรงม้า เป็นเครื่องต้นกำลัง จากการ

ทดสอบพบว่า เครื่องย่อยขวดพลาสติกมีความสามารถในการทำงานได้ดีที่สุด โดยที่พลาสติกชนิดโพลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เท่ากับ 4.91 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ขนาดรูตะแกรง 8 มิลลิเมตร และพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) เท่ากับ 3.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ขนาดรูตะแกรง 8 มิลลิเมตร



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

สำหรับวิธีการดำเนินงานของโครงการ “การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง” ในปีที่ 2 (พ.ศ.2561) ที่มีการพัฒนาคุณสมบัติห่วงโซ่ไฟ สามารถสรุปได้ ดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) ยางธรรมชาติแท่ง เกรด STR20 ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ยางธรรมชาติแท่ง เกรด STR20

2) เศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) จากโรงงานรองเท้าในจังหวัดสมุทรปราการ บดย่อยให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก จำนวน 4 ขนาด ได้แก่ ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร), ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 6 (3.35 มิลลิเมตร), ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (2.36 มิลลิเมตร) และ ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2 มิลลิเมตร) ดังรูปที่ 3.2 ถึง 3.8



รูปที่ 3.2 เครื่องบดเศษพลาสติกอีวีเอให้มีขนาดเล็ก



รูปที่ 3.3 พลาสติกอีวีเอก่อนการบดย่อย



รูปที่ 3.4 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ทั้ง 4 ขนาด



รูปที่ 3.5 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หรือ 4.75 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 6 หรือ 3.35 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 8 หรือ 2.36 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 หรือ 2 มิลลิเมตร

- 3) กำมะถัน ชนิด Rhombic Sulfur
- 4) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- 5) กรดสเตียริก (Stearic Acid)
- 6) เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล (Mercapto Benzthiazole, MBT)

7) ไดฟีนิลกัวนิดีน (Diphenyl Guanidine, DPG)

8) แอนติโมนีไตรออกไซด์ (Antimony Trioxide) เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีสูตรทางเคมี (Sb_2O_3) น้ำหนักโมเลกุล 291.52 g/mol จุดหลอมละลาย (Melting Point) เท่ากับ 656 °C ความหนาแน่น 5.2 g/cm³ จุดเดือด 1,425 °C ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แอนติโมนีไตรออกไซด์

9) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

10) แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง ขนาด 15 x 15 x 0.2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง

11) ตู้อบ

12) ชุดอุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น ได้แก่ ตลับเมตร, เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์

13) เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two - Roll Mill) ยี่ห้อ Yong Fong Machinery Co.Ltd. ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

14) เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Compression Molding) ยี่ห้อ Yong Fong Machinery Co.Ltd. รุ่น YFY HM -100T ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

15) เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney Viscometer) ยี่ห้อ RAD รุ่น MV-C ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความหนืด

16) เครื่องทดสอบการคงรูปหรือเครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (Moving Die Rheometer; MDR) ยี่ห้อ GOTECH รุ่น GT-M 2000 ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบการคงรูปหรือเครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่

17) เครื่องทดสอบความหนาแน่น (Density) ยี่ห้อ Mono Bloc รุ่น AB204-5

18) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

19) เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ (Shore A) ยี่ห้อ PTC รุ่น 473 ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ

20) เครื่องทดสอบความสึกหรอของยาง (Abrasion Resistance) ยี่ห้อ Gotech ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 เครื่องทดสอบความสึกหรอของยาง

21) เครื่องทดสอบลามไฟ Flammability ยี่ห้อ CEAST รุ่น 5151 ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 เครื่องทดสอบลามไฟ

22) เครื่องตัดตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 เครื่องตัดตัวอย่าง

3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

เริ่มจากออกแบบอัตราส่วนผสมหรือสูตรของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอความละเอียดสูง เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ต่อไป โดยมีส่วนผสม ได้แก่ ยางธรรมชาติ ชนิดแท่งเกรด STR20, ซิงค์ออกไซด์, กรดสเตียริก, กำมะถัน, เมอร์แคปโทเบนโซไทเอซอล, ไดฟีนิลกัวนิดีน และเศษพลาสติกอีวีเอ จำนวน 1 สูตร 4 ขนาด สำหรับหาขนาดที่เหมาะสมของเศษพลาสติกอีวีเอ (ตารางที่ 3.1) และจำนวน 6 สูตร 1 ขนาด สำหรับหาปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอที่เหมาะสม (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.1 สูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; phr, pphr) จำนวน 1 สูตร 4 ขนาด สำหรับหาขนาดที่เหมาะสมของเศษพลาสติกอีวีเอ

สูตร	ยาง แท่ง STR 20	ซิงค์ ออก ไซด์	กรด สเตีย ริก	กำ มะ ถัน	เมอร์ แคบ โต เบนโซ ไทเอ ซอล	ไดฟิ นิล กัวนิ ดีน	พลา สติก อีวีเอ เบอร์ 4	พลา สติก อีวีเอ เบอร์ 6	พลา สติก อีวีเอ เบอร์ 8	พลา สติก อีวีเอ เบอร์ 10
EVA#4	100	5	2	3	0.5	0.2	20			
EVA#6	100	5	2	3	0.5	0.2	20			
EVA#8	100	5	2	3	0.5	0.2		20		
EVA#10	100	5	2	3	0.5	0.2			20	

เมื่อนำสูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก จำนวน 1 สูตร 4 ขนาด ในตารางที่ 3.1 มาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ พบว่าสูตร EVA#10 ซึ่งใช้เศษพลาสติกอีวีเอผ่านตะแกรงเบอร์ 10 เป็นสูตร หรือขนาดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีลักษณะที่เรียบที่สุด รองลงมาคือ สูตร

EVA#8, สูตร EVA#6 และ สูตร EVA#4 ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีลักษณะที่หยาบที่สุด ตามระดับ ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 พื้นผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (EVA#4) (แผ่นที่ 1 จากด้านซ้าย) ผ่านตะแกรงเบอร์ 6 (EVA#6) (แผ่นที่ 2 จากด้านซ้าย) ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (EVA#8) (แผ่นที่ 3 จากด้านซ้าย) และผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (EVA#10) (แผ่นที่ 4 จากด้านซ้าย)

จากลักษณะพื้นผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (EVA#10) ที่มีความเรียบมากกว่าพื้นผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (EVA#4) ผ่านตะแกรงเบอร์ 6 (EVA#6) และผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (EVA#8) ทำให้ในขั้นตอนการพัฒนาเลือกใช้เศษพลาสติกอีวีเอขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (EVA#10) จำนวน 1 ขนาด สำหรับผสมลงในส่วนผสมอื่นเป็นสูตรต่างๆ รวม 6 สูตร ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; phr, pphr) จำนวน 6 สูตร สำหรับหาปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอที่เหมาะสม

สูตร	ยางแท่ง STR20	ซิงค์ ออกไซด์	กรด สเตียริก	กำมะถัน	เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล	ไดฟนิล กัวนิติน	พลาสติกอีวีเอเบอร์ 10
EVA 0	100	5	2	3	0.5	0.2	0
EVA 5	100	5	2	3	0.5	0.2	5
EVA 10	100	5	2	3	0.5	0.2	10
EVA 20	100	5	2	3	0.5	0.2	20
EVA 40	100	5	2	3	0.5	0.2	40
EVA 80	100	5	2	3	0.5	0.2	80

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอในตารางที่ 3.2 พบว่า อัตราส่วนผสมหรือสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติจากเศษขยะพลาสติกอีวีเอความละเอียดสูง คือ สูตร EVA 10 เนื่องจากเป็นสูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกอีวีเอที่มีพื้นผิวเรียบ สล่อน (สามารถปรับแต่งสีเพิ่มเติมได้) และมีคุณสมบัติที่ดีกว่าสูตรกระเบื้องยางธรรมชาติสูตรที่ผสมเศษขยะพลาสติกอีวีเอมากกว่า โดยมีคุณสมบัติทางกล ประกอบด้วย ความหนาแน่น 0.909 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความแข็ง 41.2 ชอร์เอ น้ำหนักที่สูญเสียจากการขัดสี 1,000 รอบ ร้อยละ 0.353 ความต้านทานการฉีกขาด 41.2 นิวตันต่อมิลลิเมตร ความต้านทานแรงดึง 19.6 เมกะพาสคัล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.190 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน เมื่อนำมาพัฒนาให้มีคุณสมบัติด้านการหน่วงไฟ โดยการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงไปอีก จำนวน 5 สูตร รวมเป็น 6 สูตร ดังสรุปได้ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 กระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟเทียบจาก 100 ส่วนของยาง โดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; phr, pphr)

สูตร	ยาง แท่ง STR 20	ซิงค์ ออก ไซด์	กรด สเตีย ริก	กำ มะ ถัน	เมอร์ แคบโต เบนโซ ไทเอ ซอล	ได ฟีนิล กัว นิติน	พลา สติก อีวีเอ เบอร์ 10	แอนติ โมนี ไตร ออก ไซด์
A0	100	5	2	3	0.5	0.2	20	0
A20	100	5	2	3	0.5	0.2	20	20
A40	100	5	2	3	0.5	0.2	20	40
A60	100	5	2	3	0.5	0.2	20	60
A80	100	5	2	3	0.5	0.2	20	80
A100	100	5	2	3	0.5	0.2	20	100

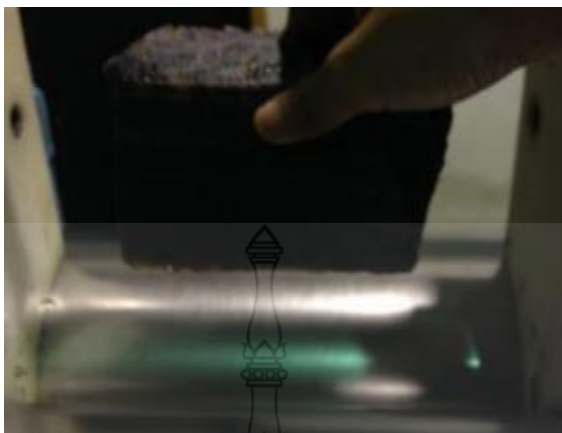
3.3 การขึ้นรูปตัวอย่าง

1) ชั่งน้ำหนักส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟตามที่ออกแบบในตารางที่ 3.3 ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ

2) บดยางธรรมชาติแท่ง เกรด STR20 สำหรับผสมส่วนผสมอื่นๆ ด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วปานกลาง ดังรูปที่ 3.22 และ 3.23



รูปที่ 3.22 การใส่ยางธรรมชาติลงในเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง



รูปที่ 3.23 การบดผสมยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

3) ทอยเติมสารซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริกลงในส่วนผสมที่กำลังบดอยู่ ดังรูปที่ 3.24 และ 3.25

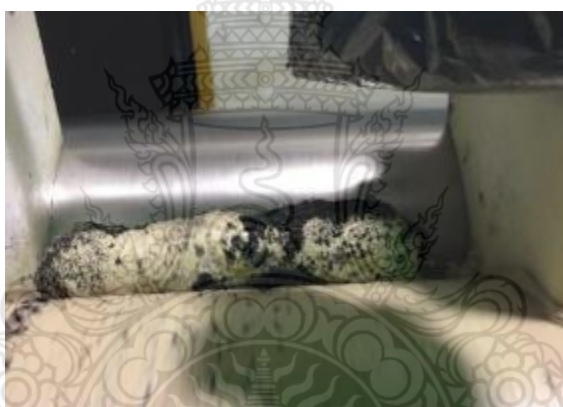


รูปที่ 3.24 การผสมสารซิงค์ออกไซด์ลงในยางธรรมชาติ



รูปที่ 3.25 การผสมกรตสเดียริกกลงในยางธรรมชาติ

4) เติมเศษพลาสติกอีวีเอที่ผ่านการบดย่อยแล้วลงในยางธรรมชาติที่บดภายในเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 3.26

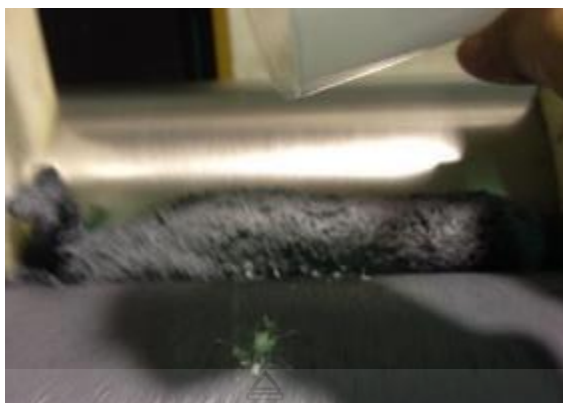


รูปที่ 3.26 การเติมเศษพลาสติกอีวีเอลงในยางธรรมชาติ

5) เติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล ไดฟีนิลกัวนิดีน และแอนติโมนีไตรออกไซด์ ลงไปในส่วนผสมที่กำลังบด ดังรูปที่ 3.27 และ 3.28

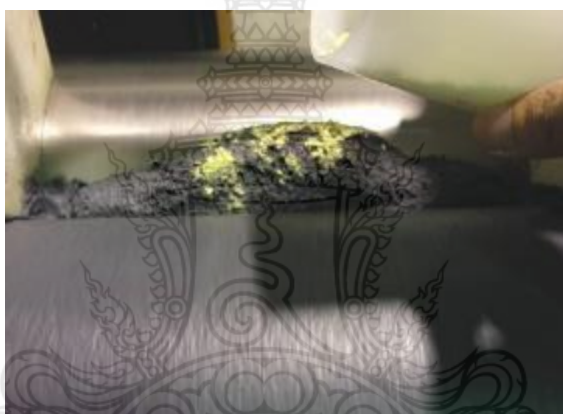


รูปที่ 3.27 การเติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอลลงในยางธรรมชาติ



รูปที่ 3.28 การเติมไคฟิโนลิกัวนิติน และแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในยางธรรมชาติ

6) ผสมส่วนผสมจนเข้ากัน แล้วจึงเติมกำมะถันเพื่อช่วยให้ส่วนผสมเกิดการคงรูป ดังรูปที่ 3.29



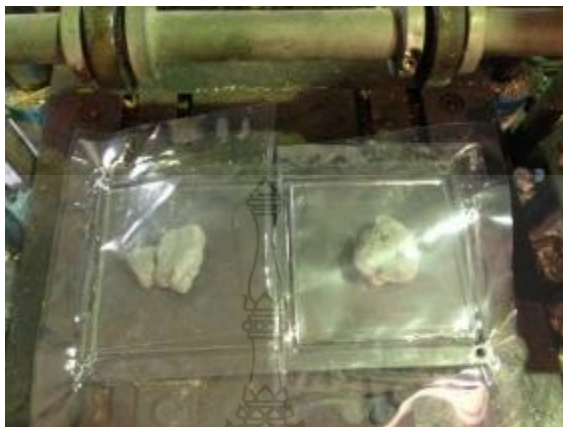
รูปที่ 3.29 การเติมกำมะถันลงในยางธรรมชาติ

7) ทดสอบการคงรูปของส่วนผสมทั้งหมด โดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (MDR) ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 การทดสอบความหนืดของส่วนผสม

8) นำส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วใส่ลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับป้องกันการติดแบบของส่วนผสม เพื่อขึ้นรูปเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ ดังรูปที่ 3.31 และ 3.32



รูปที่ 3.31 การนำส่วนผสมใส่ลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับป้องกันการติดแบบของส่วนผสม



รูปที่ 3.32 การนำส่วนผสมที่เข้ากันแล้วใส่ในเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

9) ขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนยางธรรมชาติเกิดการคงรูป เป็นระยะเวลาที่ tc 90 (ดูระยะเวลาในการขึ้นรูปได้จากผลการทดสอบ Moving Die Rheometer) ดังตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.33 ถึง 3.34

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบการคงรูปด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (MDR)

สูตร	tc 90 (นาที: วินาที)	tc 100 (นาที: วินาที)
A0	4: 42	9: 24
A20	5: 17	10: 47
A40	5: 11	9: 57
A60	5: 07	9: 40
A80	4: 29	7: 53
A100	5: 19	11: 14



รูปที่ 3.33 การตั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดความร้อน

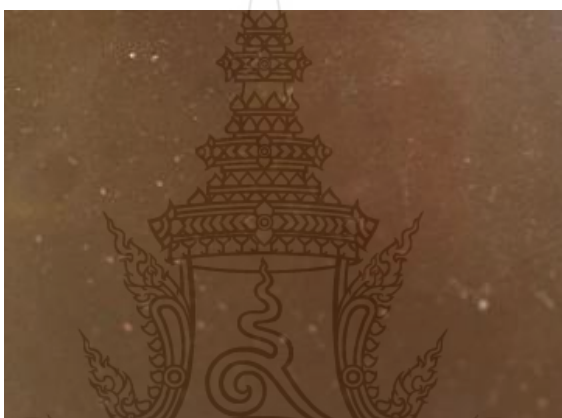


รูปที่ 3.34 การอัดขึ้นรูปส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนไฟ

10) นำแผ่นกระเบื้องยางที่ขึ้นรูปแล้ว ออกจากแบบหล่อและแผ่นพลาสติกรองแบบ ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนไฟ สำหรับนำไปใช้งานและทดสอบต่อไป ดังรูปที่ 3.35 ถึง 3.37



รูปที่ 3.35 การนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟออกจากแบบหล่อ



รูปที่ 3.36 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ 1 สูตร



รูปที่ 3.37 สีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 5 สูตร และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ (สีเหมือนกับสูตรที่ไม่มีสารทนวงไฟ)

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ

ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนงไฟ ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM, 2014) และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้จำนวนตัวอย่างทดสอบ 10 ตัวอย่างต่อสูตรต่อการทดสอบ ประกอบด้วย

- 1) ความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D1817
- 2) การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D570
- 3) ความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D2240
- 4) ความต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D412
- 5) ความทนการฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D624
- 6) ความสึกกร่อน ตามมาตรฐาน ASTM D1630
- 7) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177
- 8) การลามไฟ ตามมาตรฐาน UL94
- 9) การใช้งานจริง



รูปที่ 3.38 การชั่งน้ำหนักของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนงไฟ



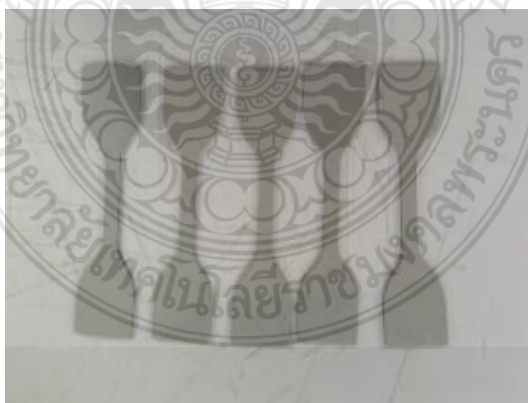
รูปที่ 3.39 การแช่น้ำกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนงไฟ เพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 3.40 การตัดกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสำหรับการทดสอบ



รูปที่ 3.41 ชิ้นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.42 ชิ้นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ
สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.43 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ



รูปที่ 3.44 การยึดตัวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.45 การทดสอบความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ



รูปที่ 3.46 การทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ
ที่มีคุณสมบัติทนไฟ



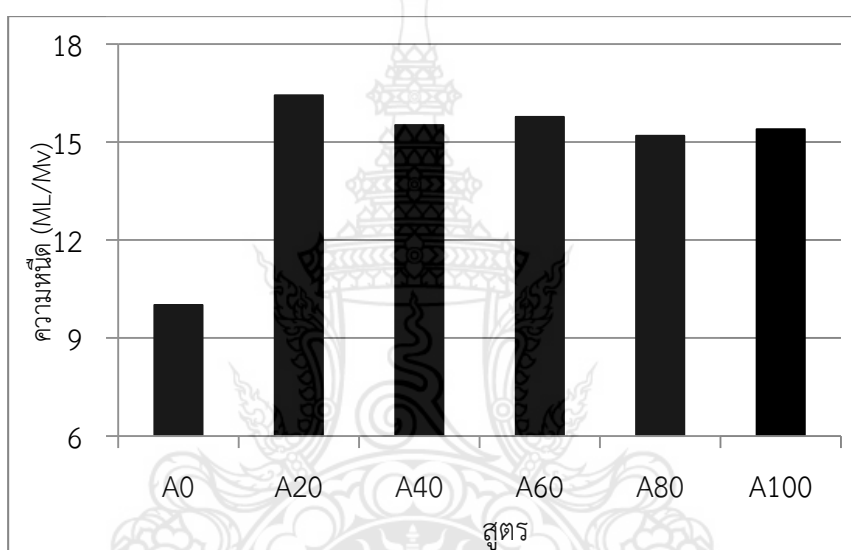
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

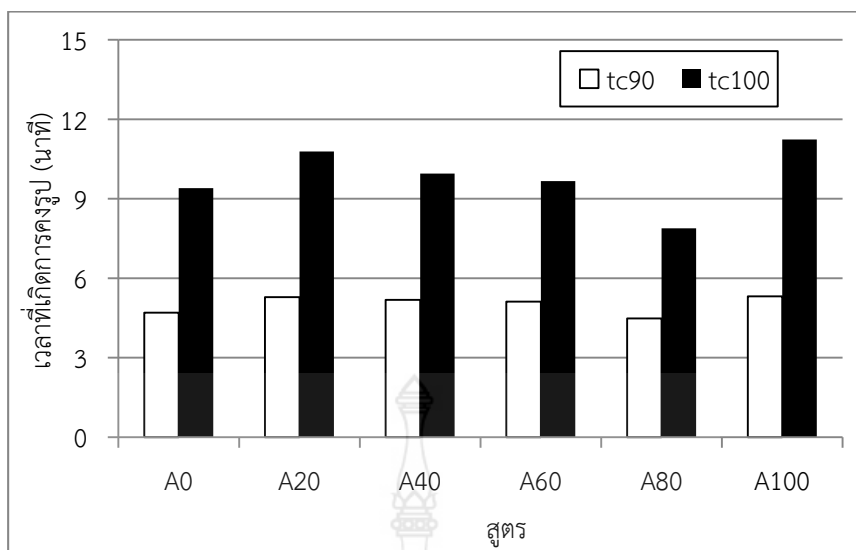
จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวไอลอะซีเตท (อีวีเอ) ความละเอียดสูงจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีคุณสมบัติทนไฟ (ปีที่ 2 พ.ศ.2561) ตามมาตรฐาน ASTM และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบความหนืดและการคงรูปของส่วนผสม

ผลการทดสอบความหนืดและการคงรูปของส่วนผสมในชั้นรูปแบบกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนไฟทุกสูตร สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบความหนืดส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติทนไฟสูตรต่างๆ

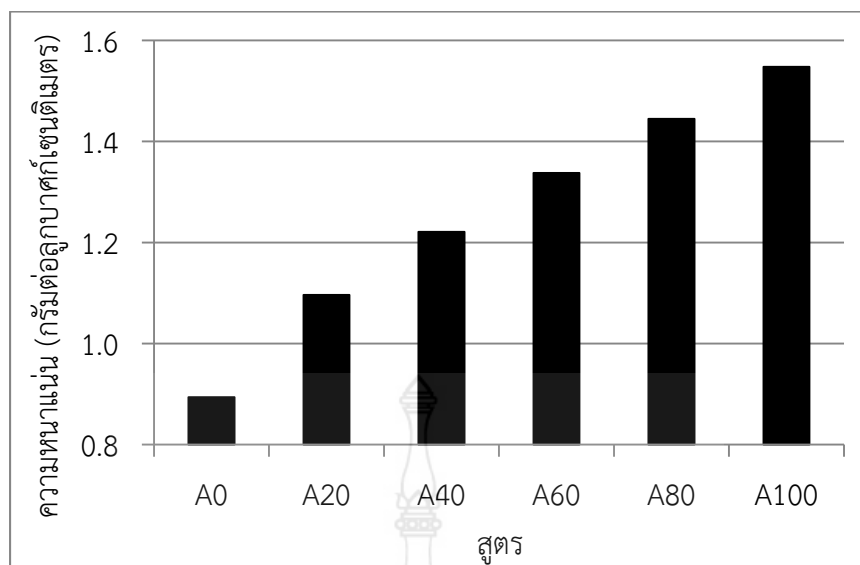


รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบเวลาที่เกิดการครุกรุ่นระหว่าง ts_{90} และ tc_{100} ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า การผสมสารแอนติโมนีไดรอกไซด์ซึ่งเป็นสารหน่วงไฟลงใน ส่วนผสมของกระเบื้องยางธรรมชาติมากขึ้น จะมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเมื่อนำ ส่วนผสมดังกล่าวไปใส่แบบหล่อและอัดขึ้นรูป จะให้การไหลตัวของส่วนผสมทำได้ยากมากขึ้น ส่วน ระยะเวลาที่ใช้ในการครุกรุ่นของส่วนผสมแผ่นกระเบื้องยางที่มีการเติมสารแอนติโมนีไดรอกไซด์ จะมีค่าไม่ แตกต่างกันมากนัก โดยจะมีระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูประหว่าง 4.48 ถึง 5.32 นาที

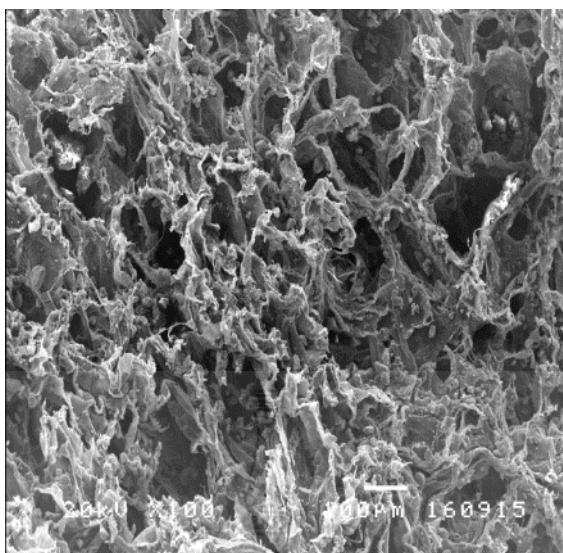
4.2 การทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.3

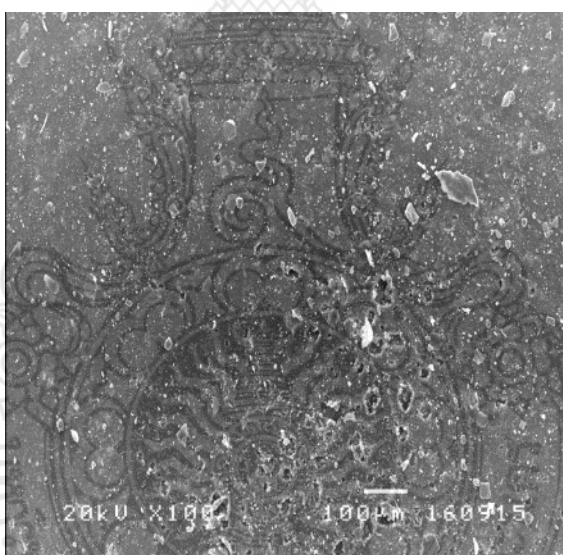


รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 4.3 พบว่า การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณมากขึ้น จะมีผลทำให้ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูงกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ หรือมีการผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ในปริมาณน้อย โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูงที่มีปริมาณสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูงที่สุด (สูตร A100) มีความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A80 A60 A40 A20 และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ (สูตร A0) เป็นสูตรที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากความหนาแน่นของสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่มีค่าสูงถึง 5.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Greenwood, 1997) ซึ่งสูงกว่าความหนาแน่นของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการผสมสารหน่วงไฟ ซึ่งมีความหนาแน่นเพียง 0.894 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



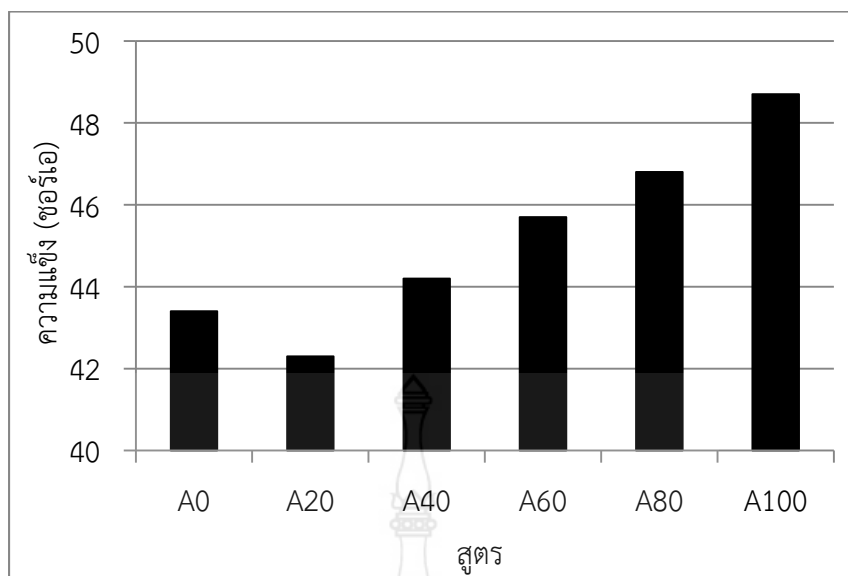
รูปที่ 4.4 ภาพขยายเศษพลาสติกอีวีเอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.5 ภาพขยายกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกอีวีเอสูตร 80 ด้วยกล้องจุลทรรศน์
อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า

4.3 การทดสอบความแข็ง

ผลจากการทดสอบความแข็งแบบชอร์เอ (Shore-A) ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ ทั้ง 6 สูตร สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.6

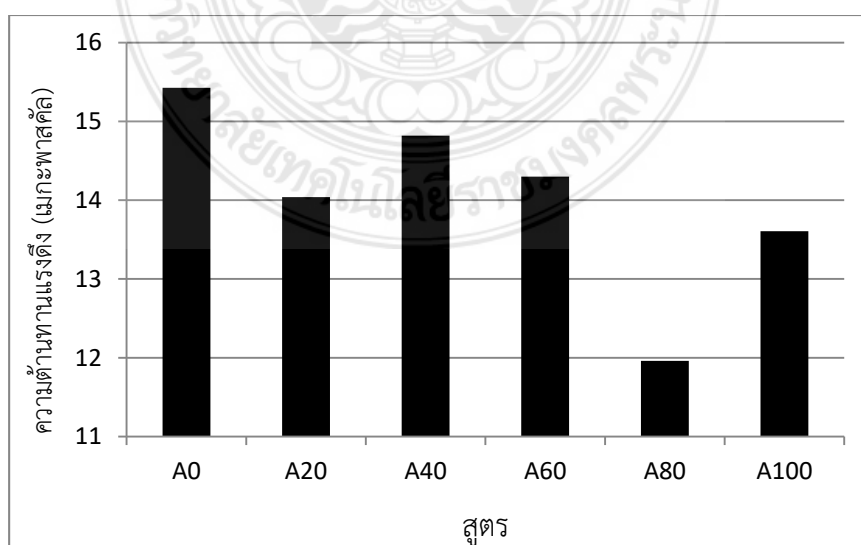


รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบความแข็งแรงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 ซึ่งแสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ ทั้ง 6 สูตร พบว่า การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมากขึ้น จะมีผลต่อแนวโน้มของค่าความแข็งแรงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่เพิ่มสูงขึ้น โดยจะเห็นได้จากสูตรแผ่นยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ในปริมาณมากที่สุด (สูตร A100) จะเป็นแผ่นยางธรรมชาติสูตรที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุด

4.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

สำหรับผลการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ ทั้ง 6 สูตร สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 4.7

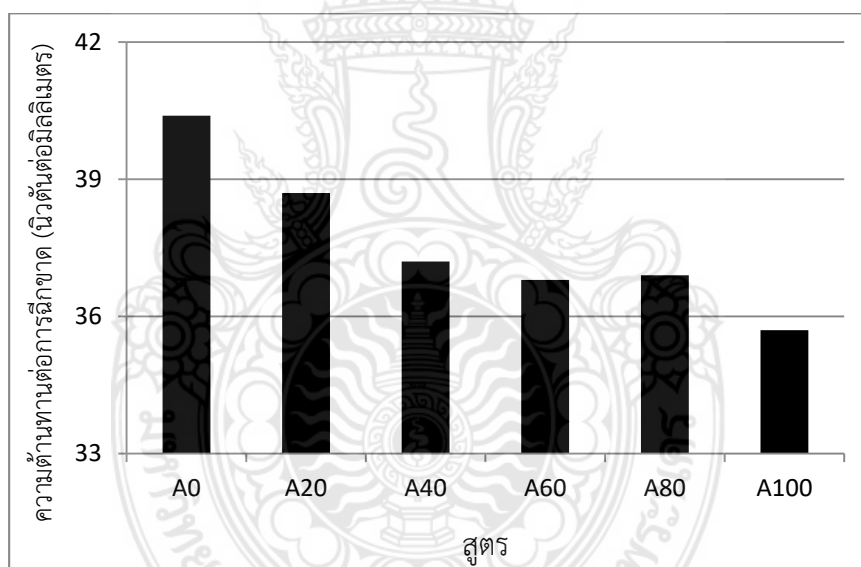


รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 พบว่า แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ จะมีผลต่อความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ลดลง โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A80 เป็นสูตรที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ (สูตร A0) เป็นสูตรที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากจุดหลอมละลาย (Melting Point) ของสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่มีค่าเท่ากับ 656 องศาเซลเซียส (Wells, 1984) ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป (150 องศาเซลเซียส) เป็นผลทำให้สารแอนติโมนีไตรออกไซด์ไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับแผ่นกระเบื้องยางผสมอีวีเอได้ (ดร.รชนี พัทธวรการ, 2555) สารแอนติโมนีไตรออกไซด์จึงเป็นส่วนผสมที่ปลดพื้นที่ในการยึดเหนี่ยวหรือรับแรงต่างๆ และความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์จึงลดลงดังกล่าว (พรพรรณ, 2528; บุญธรรม, 2530; วิสุทธิ์, 2551)

4.5 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด

การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.8

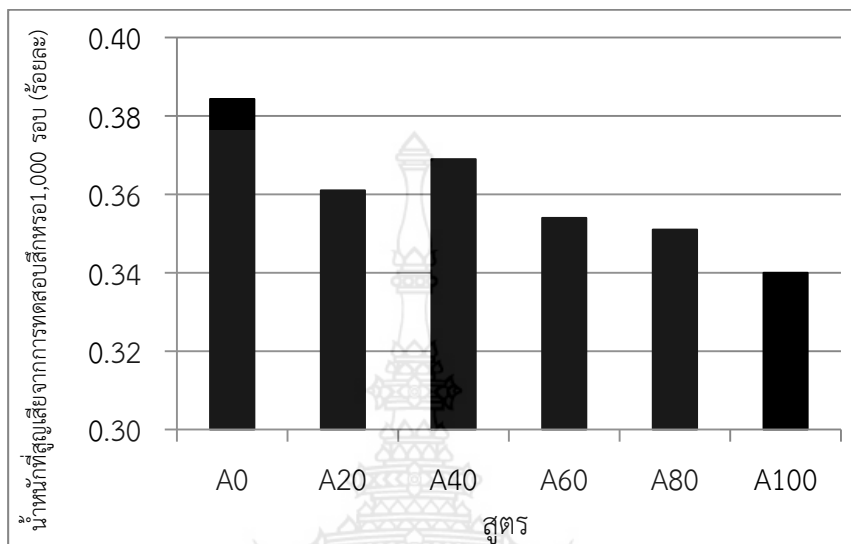


รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ

ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ ในรูปที่ 4.8 พบว่า นอกจากสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ จะมีผลต่อความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ลดลงแล้ว สารแอนติโมนีไตรออกไซด์ ยังมีผลต่อความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ลดลงเช่นกัน

4.6 การทดสอบปริมาณการสึกหรอ

จากผลการทดสอบการสึกหรอโดยการนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ ทั้ง 6 สูตร มาขัดสีด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอเป็นจำนวน 1,000 รอบ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.9

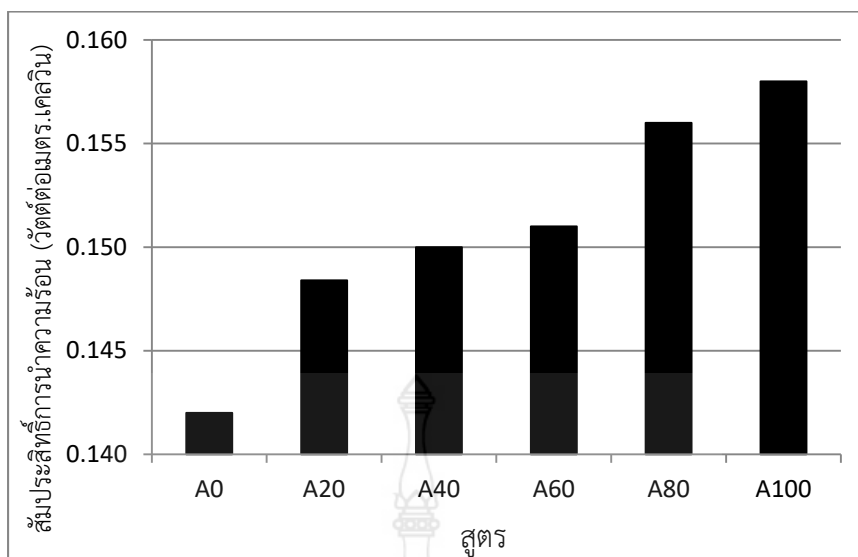


รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ

ทั้งนี้ ผลการทดสอบปริมาณการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นต่อความคงทนในการใช้งานในรูปที่ 4.9 สามารถสรุปได้ว่า การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์มีผลทำให้การสึกหรอเกิดมากขึ้น โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตร A100 หรือสูตรที่มีปริมาณสารแอนติโมนีไตรออกไซด์มากที่สุด เป็นสูตรที่มีการสึกหรอมากที่สุด รองลงมาคือ สูตร A80 A60 A20 A40 และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการเติมสารหน่วงไฟ หรือสูตร A0 เป็นสูตรที่มีการสึกหรอน้อยที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากจุดหลอมละลายที่สูงของสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ ทำให้สารแอนติโมนีไตรออกไซด์ไม่สามารถช่วยให้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอต้านทานการสึกหรอจากการขัดสีได้เช่นเดียวกับผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (พชรพรณ, 2528; บุญธรรม, 2530; วิสุทธิ, 2551)

4.7 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.10

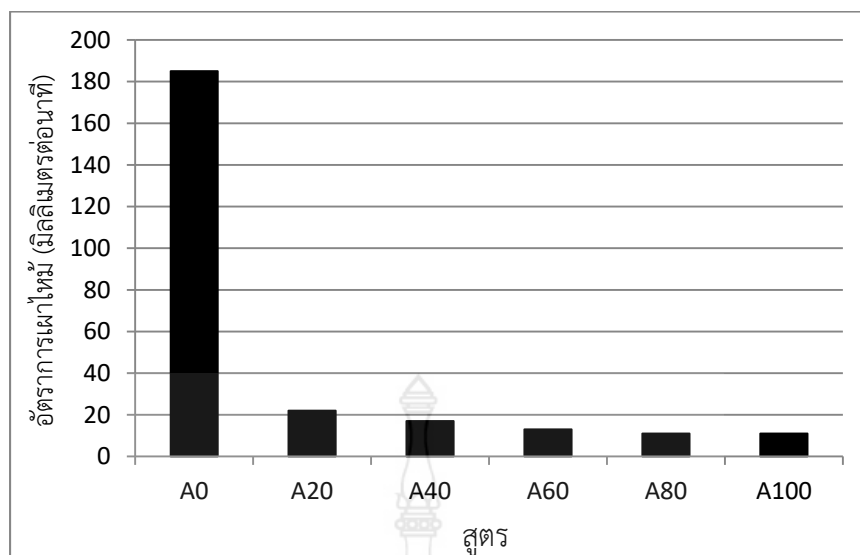


รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 4.10 สามารถแสดงให้เห็นว่า การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีผลต่อคุณสมบัติด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของที่เพิ่มสูงขึ้น โดยแผ่นกระเบื้องยางผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ (A0) จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ สูตร A20 A40 A60 A80 และแผ่นกระเบื้องยางผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ในปริมาณมากที่สุด หรือสูตร A100 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากสารแอนติโมนีไตรออกไซด์เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงมากกว่าส่วนผสมอื่นๆ (Jesse, 1992) และวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีคุณสมบัติด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูงกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ (ธนัญชัย และคณะ, 2549)

4.8 การทดสอบการลามไฟ

ผลจากการทดสอบการลามไฟ ตามมาตรฐาน UL94 ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบอัตราการเผาไหม้ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ



รูปที่ 4.12 การดับของไฟของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A100 เพื่อทนวงไฟ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติด้านการทนวงไฟของสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่ผสมลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ โดยการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอปริมาณมากที่สุด หรือสูตร A100 เป็นสูตรที่สามารถทนวงไฟที่ดีที่สุด หรือมีอัตราการเผาไหม้น้อยที่สุด เท่ากับ 11 มิลลิเมตรต่ออนาที รองลงมาคือ แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A80 A60 A40 A20 และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ หรือสูตร A0 เป็นสูตรที่มีอัตราการเผาไหม้มากที่สุด เท่ากับ 185 มิลลิเมตรต่ออนาที ทั้งนี้ แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A100 เป็นแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเพียงสูตรเดียวที่ไฟเกิดการดับขณะทำการทดสอบ

4.9 การใช้งานจริง

จากลักษณะของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ สามารถนำมาทดสอบการใช้งานจริงได้ โดยการทากาวและปูแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ ดังรูปที่ 4.13 ถึง 4.15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ สามารถใช้งานทั่วไปเป็นแผ่นกระเบื้องยางได้ เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องยางในห้องตลาด โดยแผ่นกระเบื้องยางทั้งหมด สามารถใช้กาวยงทาเพื่อติดตั้งบนพื้นผิวต่างๆ ได้ดี สามารถทำความสะอาดได้ปกติ นอกจากนี้ ยังสามารถตัดเป็นรูปร่างต่างได้ เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติทั่วไป



รูปที่ 4.13 ลักษณะการปูพื้นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ

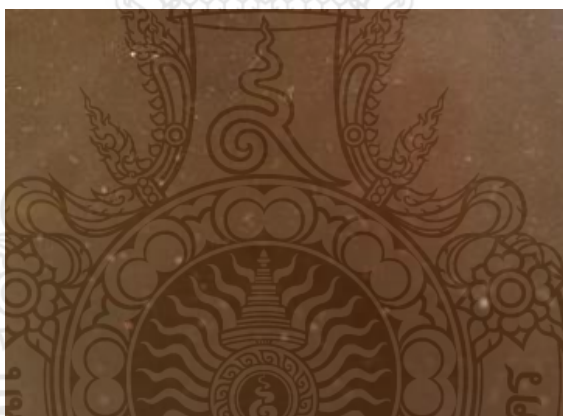


รูปที่ 4.14 การทำความสะอาดแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ

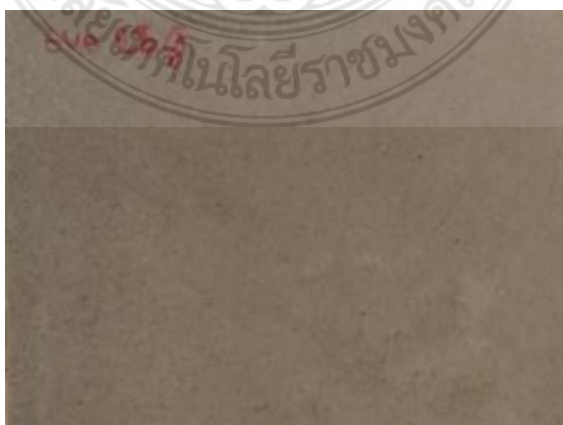


รูปที่ 4.15 พื้นผิวที่มีการปูหรือติดตั้งด้วยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

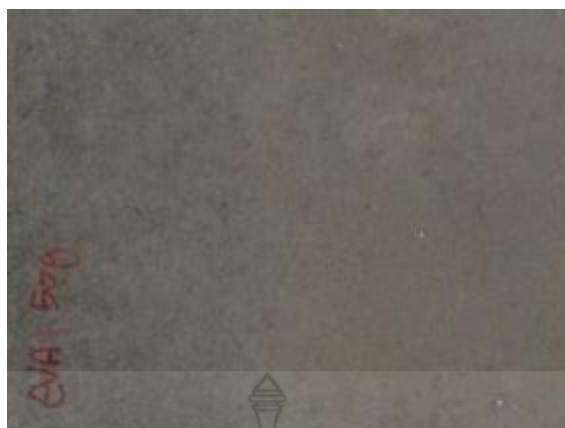
ทั้งนี้ การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ จะไม่มีผลต่อลักษณะและสีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่เปลี่ยนไป แต่สีและความเรียบของผิวกระเบื้องยางธรรมชาติจะเปลี่ยนตามปริมาณพลาสติกอีวีเอที่มีสีต่างๆ ดังรูปที่ 4.16 ถึง 4.21



รูปที่ 4.16 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 0 สีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ



รูปที่ 4.17 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 5 สีเทาอ่อน ผิวเรียบ



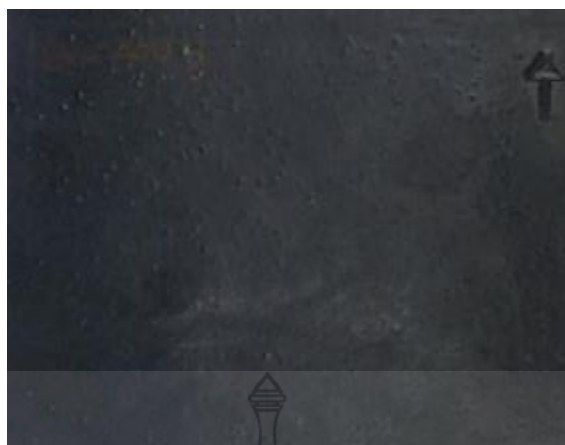
รูปที่ 4.18 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 10 สีเทา ผิวเรียบ



รูปที่ 4.19 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 20 สีเทาเข้ม ผิวเริ่มขรุขระ



รูปที่ 4.20 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 40 สีเทาดำ ผิวเริ่มขรุขระ



รูปที่ 4.21 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 80 สีดำ ผิวขรุขระ



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินโครงการ “การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง” ในปีที่ 2 (พ.ศ.2561) นั้น สามารถสรุปและข้อเสนอแนะได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

จากการดำเนินงานทั้งหมดของโครงการ สามารถสรุปผลโดยแบ่งตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

5.1.1 เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) สามารถบดย่อยให้มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องบดพลาสติก พร้อมตะแกรงเบอร์ 10 ทำให้ได้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง สำหรับใช้เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำได้

5.1.2 กระบวนการผลิตกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอที่เติมสารหน่วงไฟ เป็นการใช้อุปกรณ์ผสมแบบสองลูกกลิ้งในการผสมยางธรรมชาติแห้ง สารตัวเติม พลาสติกอีวีเอ และสารหน่วงไฟ โดยเริ่มจากการบดยางธรรมชาติแห้งก่อน แล้วจึงเติมซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก พลาสติกอีวีเอ เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล ไดฟีนิลกัวนิดีน แอนติโมนีไตรออกไซด์ และกำมะถัน ตามลำดับ นำส่วนผสมที่ได้ไปอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4: 29 ถึง 5: 19 นาที ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารหน่วงไฟ

5.1.3 ผลจากการผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ ซึ่งเป็นสารหน่วงไฟลงในส่วนผสมของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่มากขึ้น เบื้องต้นจะส่งผลต่อค่าความหนืดของส่วนผสมขณะขึ้นรูปที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปจะมีค่าใกล้เคียงกับกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ คือ อยู่ระหว่าง 4.48 ถึง 5.32 นาที และเมื่อนำกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตรต่างๆ ไปทดสอบ จะพบว่าสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่เติมลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ จะมีผลทำให้ความหนาแน่น ความแข็ง และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานการสึกหรอมีค่าลดน้อยลง

5.1.4 เมื่อนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ ไปทดสอบการใช้งานจริง พบว่า แผ่นกระเบื้องดังกล่าวสามารถตากและปูลงบนพื้นผิวต่างๆ ได้ดี โดยสามารถทำความสะอาดได้ปกติ และสามารถตัดเป็นรูปร่างต่างได้เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติทั่วไป

5.1.5 ผลจากการทดสอบการลามไฟของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอที่เติมสารหน่วงไฟ พบว่า การเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอถึงสูตร A100 จะสามารถหน่วงไฟที่ดี และดับลงได้ขณะทำการทดสอบ

5.1.6 อัตราส่วนผสมหรือสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์เป็นสารหน่วงไฟ คือ สูตร A100 ประกอบด้วย ยางธรรมชาติแห้ง STR20 ต่อซิงค์ออกไซด์ ต่อกรดสเตียริก ต่อกำมะถัน ต่อเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล ต่อไดฟีนิลกัวนิดีน ต่อพลาสติกอีวีเอเบอร์ 10 ต่อแอนติโมนีไตรออกไซด์ เท่ากับ 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 100 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นสูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกอีวีเอที่มีพื้นผิวเรียบ สีอ่อน มีคุณสมบัติที่สามารถใช้งานเป็นกระเบื้องยางได้เช่นเดียวกับกระเบื้องยางทั่วไป ได้แก่ มีความหนาแน่น

1.548 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความแข็ง 48.7 ซอร์เอ น้ำหนักที่สูญเสียจากการขัดสี 1,000 รอบ ร้อยละ 0.462 ความต้านทานการฉีกขาด 35.7 นิวตันต่อมิลลิเมตร ความต้านทานแรงดึง 13.61 เมกะพาสคัล สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.158 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน และอัตราการเผาไหม้ 11 มิลลิเมตรต่อนาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาต่อไป ควรมีการพัฒนาคุณสมบัติทางกล โดยการเพิ่มเส้นใยต่างๆ ลงไป เพื่อให้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีขึ้น และสามารถใช้งานได้หลากหลาย



บรรณานุกรม

- คุณทล ทองศรี, 2548. **การออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยพลาสติก**, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ธัญชัย ปกรณ์วรกิจ, พันธดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. **ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 4.**
- บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530. **ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญญาวิช อินทรพัฒน์, 2551. **เทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติจากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติกับเอทิลีนไวนิลอะซิเตทโดยใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิไดเมทิลเมทาคริไลลออกซีเมทิลฟอสเฟตเป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้**, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ประชุม คำพุ่ม และกิตติพงษ์ สุวิโร, 2555. **การใช้น้ำยางวัลคาไนซ์เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท**, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 8, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สคท.), ณ โรงแรมอมารี ออคิเด็ทพญา จ.ชลบุรี.
- พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ, 2540. **วัสดุก่อสร้าง**, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528. **สารเคมีสำหรับยาง**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ดรรรชนี พัทธวรการ, 2555. **เทคโนโลยีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์**, เอกสารประกอบการสอน กระบวนวิชา 262481, ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วรภรณ์ ขจรไชยกุล, 2523. **วิทยาการขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับยางแท่ง**. งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยการยาง หาดใหญ่.
- วิสุทธิ์ แก้วสกุล, 2551. **เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับโคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับไวนิลอะซิเตท**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ศุภชัย แก้วจิ้ง, 2552. **การพัฒนาบล็อกปูพื้นที่ทำจากยางธรรมชาติและยาง EPDM เหลือทิ้ง**, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และระบบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2548. **ประกาศการขอรับทุนโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา**, โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม, 7 หน้า.
- เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร, 2537. **เทคโนโลยียาง**, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2014. **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia.
- Barlow, Fred W., 1993. **Rubber Compounding : Principles, Materials, and Techniques**. 2nd Edition.

- Dupont, 2012. **Compare EVA Grades and Performance Properties**. Delaware: E.I. du Pont de Nemours and Company.
- Greenwood, N. N.; & Earnshaw, A., 1997. **Chemistry of the Elements**. 2nd Edition, Oxford: Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-3365-4.
- Jesse Edenbaum, 1992. **Plastics additives and modifiers handbook**, New York: Van Nostrand Reinhold, p.95–101.
- Holfmann, W.B., 1989. **Rubber Technology Handbook**. Hanser Publishers. Munich.
- Subramaniam, A, 1980. **Molecular Weight and Molecular Weight Distribution of Natural Rubber**, RRIM Technology Bulletin, p.6.
- Wells, A. F., 1984. **Structural Inorganic Chemistry**. Oxford: Clarendon Press. ISBN 0-19-855370-6.





ภาคผนวก
บทความสำหรับเผยแพร่

การพัฒนากระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทที่มี
คุณสมบัติต้านทานไฟ
Development of Natural Rubber and Ethylene Vinyl Acetate Plastic
Floor Tile with Flame Resistance Property

วิหาร ดิปัญญา^{1*} และกิตติพงษ์ สุวีโร²

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

² อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

* E-mail: wiharn.d@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) ที่มีคุณสมบัติต้านทานไฟ ออกแบบอัตราส่วนของยางธรรมชาติแก่ STR20 ต่อซิงค์ออกไซด์ ต่อกรดสเตียริก ต่อกำมะถัน ต่อเมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล ต่อไดฟีนิลกวานิดีน ต่อพลาสติกอีวีเอเบอร์ 10 ต่อแอนติโมนีไตรออกไซด์ จำนวน 6 สูตร เท่ากับ 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 0, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 20, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 40, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 60, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 80 และ 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 100 โดยน้ำหนัก หรือพีเอชอาร์ ทำการบดผสมด้วยเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง แล้วอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4: 29 ถึง 5: 19 นาที ได้แผ่นยางธรรมชาติ ขนาด 30x30x0.2 เซนติเมตร ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน ASTM พบว่า กระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติต้านทานไฟสูตร A100 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้งานเป็นวัสดุปูพื้นในอาคาร และสามารถดับไฟได้เอง ส่วนสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่ผสมลงในกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกส่งผลกระทบบำบัดให้ความหนาแน่น ความแข็ง และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานการสึกหรอมีค่าลดน้อยลง

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ; เศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท; สารแอนติโมนีไตรออกไซด์; กระเบื้องปูพื้น

Abstract

This research aims to develop the natural rubber and ethylene vinyl acetate (EVA) plastic floor tile with flame resistance property. The 6 ratios of natural-rubber STR 20: zinc oxide: stearic acid: sulfur: mercaptobenzothiazole: diphenyl guanidine: EVA plastic: antimony trioxide were equal to 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 0, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 20, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 40, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 60, 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 80, and 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 100 by weight or phr. The samples are ground by two-roll mill and formed by compression molding at 150 degree Celsius with 30x30x0.2 cm of dimension for 4: 29 to 5: 19 minutes. The properties of the natural-rubber floor tiles were tested under ASTM standard. From the results, it was found that the natural rubber and ethylene vinyl acetate plastic floor tile with flame resistance property was the suitable

ratio for using as the rubber floor tiles in building and extinguished a fire by themselves. The antimony trioxide effected to increase the density, hardness, and thermal conductivity, and decrease the tensile strength, tear strength, and wear resistance properties of the natural rubber and EVA plastic floor tiles.

Keywords: natural-rubber; ethylene vinyl acetate plastic waste; antimony trioxide; floor tile

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ยางธรรมชาติหรือยางพารา เป็นพืชเศรษฐกิจที่ได้รับการส่งเสริมจากรัฐบาลให้มีการปลูกอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สกว., 2548) จนทำให้ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากเป็นอันดับต้นๆ ของโลก มีเนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 12.3 ล้านไร่ มีผลผลิตส่งออกปีละประมาณ 2.4 ล้านตัน มูลค่า 100,000 ล้านบาท/ปี ส่งออกไปในรูปแบบน้ำยางข้น (Concentrate Latex) ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoke Sheet : RSS) ยางอบแห้ง (Air Dried Sheet : ADS) และยางแท่ง (Standard Thai Rubber : STR) และที่ตลาดต้องการมากที่สุด คือ ยางแผ่นรมควันชั้น 3 (RSS 3) และยางแท่งเบอร์ 20 (STR 20) (สกว., 2548) แต่ด้วยปริมาณการปลูกยางธรรมชาติของกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศจีนที่เริ่มหันมาเพาะปลูกกันมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงปริมาณผลผลิตของยางธรรมชาติที่จะออกสู่ตลาดในปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย เหล่านี้จะส่งผลต่อราคาของยางธรรมชาติที่มีแนวโน้มตกต่ำลงอย่างมาก



รูปที่ 1 ยางธรรมชาติหรือยางพารา

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของยางธรรมชาติอย่างแผ่นกระเบื้องยาง จึงเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาราคายางธรรมชาติตกต่ำที่สุด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่มีปริมาณความต้องการใช้สูง ตามการขยายตัวของประชากร ที่อยู่อาศัย และเศรษฐกิจ สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากกว่าวัสดุปูพื้นทั่วไป เนื่องจากสมบัติที่ยืดหยุ่นดี พื้นผิวไม่ลื่น เป็นฉนวนไฟฟ้า และอ่อนตัวง่าย จึงช่วยลดการเกิดและความรุนแรงจากอุบัติเหตุ ป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านร่างกาย รวมทั้งใช้ปูพื้นบนผิวต่างๆ ได้ เช่น พื้นคอนกรีต พื้นหินขัด พื้นไม้เก่าหรือใหม่ เป็นต้น ทั้งนี้ พื้นผิวที่ติดตั้งจะต้องมีผิวหน้าเรียบ แข็ง แข็ง และสะอาด ส่วนวิธีการติดตั้งก็ง่ายโดยการใช้น้ำเพียงกาวขาว (ไดโนกาว) ก็สามารถยึดแผ่นกระเบื้องยางกับพื้นผิวได้ทันที (พงศ์พันธ์, 2540) แต่ปัญหาที่สำคัญที่สุดของแผ่นกระเบื้องยาง โดยเฉพาะกระเบื้องจากยางธรรมชาติ คือ ต้นทุนที่สูงกว่ากระเบื้องยางสังเคราะห์ เพราะยางธรรมชาติเป็น

ผลิตภัณฑ์มีความจำเป็นต้องใส่สารเติมแต่งค่อนข้างมาก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสี มีความคงทน และมีคุณสมบัติตามต้องการ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นต้องหาวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งสามารถนำมาผสมเป็นสารเติมแต่งให้กับยางธรรมชาติได้ดี ทดแทนสารเติมแต่งที่มีราคาสูง



รูปที่ 2 การใช้กระเบื้องยางปูพื้นในห้องออกกำลังกาย

จากปัญหาปริมาณขยะพลาสติก ประเภทเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Ethylene Vinyl Acetate) หรืออีวีเอ (EVA) ซึ่งเหลือทิ้งอย่างมาก และไม่สามารถรีไซเคิลได้ทั้งหมดของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มากกว่า 1,000 โรงงาน (ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากอีวีเอมากเป็นอันดับ 5 ของโลก) จึงทำให้เศษขยะพลาสติกชนิดนี้ถูกนำมาพิจารณาลักษณะ และความเป็นไปได้ในการใช้เป็นสารเติมแต่งยางธรรมชาติ เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่มีต้นทุนต่ำ โดยเศษขยะพลาสติกอีวีเอ เป็นวัสดุพอรุนที่มีความยืดหยุ่นแตกต่างกันตามแต่ละอุตสาหกรรม อาทิเช่น รองเท้าแตะ รองเท้ากีฬา ยางรัดของชนิดหัดได้ อุปกรณ์ทางการแพทย์ชนิดใช้ครั้งเดียว กาวหุ้มด้วยความร้อน ของเด็กเล่น ฉนวนหุ้มลวดไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะบรรจุของแช่แข็ง และกรวยที่กั้นถนนพลาสติก เป็นต้น และวัสดุดังกล่าวไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ทั้งหมด เนื่องจากจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลงเรื่อยๆ การกำจัดจึงต้องใช้วิธีการฝังกลบ ซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เมื่อพิจารณาจากลักษณะและความเป็นไปได้ของการนำใช้เป็นสารตัวเติมในผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ พบว่า เศษขยะพลาสติกอีวีเอ สามารถบดย่อยให้มีขนาดเล็กและผสมเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ดี มีคุณสมบัติให้สีเมื่อผสมเข้ากับยางธรรมชาติ มีแนวโน้มช่วยพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกล และด้วยจุดหลอมเหลวของเศษขยะพลาสติกชนิดนี้ที่แตกต่างจากยางธรรมชาติ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาตินี้ มีสมบัติในการดูดซับแรงกระแทกเพราะช่องว่างระหว่างเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ เศษขยะพลาสติกอีวีเอยังเป็นวัสดุที่ไม่มีมูลค่า และเป็นปัญหาของผู้ประกอบการในการกำจัดอีกด้วย (ประชุม และกิตติพงษ์, 2555)



รูปที่ 3 เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทหรืออีวีเอ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนากระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทแบบละเอียด เป็นการวิจัยวิจัยที่ให้ความสำคัญกับการบดย่อยพลาสติกอีวีเอให้มีความละเอียดสูง ชนิด และอัตราส่วนผสมที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางต้นทุนต่ำ ซึ่งโครงการนี้นอกจากจะเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติตามนโยบายของรัฐบาลแล้ว ยังช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ยากต่อการกำจัด รวมทั้งมีส่วนพัฒนาประเทศชาติให้มีความมั่นคงด้านราคายางธรรมชาติ และมีสิ่งแวดล้อมที่ดีอย่างยั่งยืนต่อไปได้

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ยางธรรมชาติแท่งเกรด STR20 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ยางธรรมชาติแท่ง เกรด STR20

- 2) เศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) จากโรงงานรองเท้าในจังหวัดสมุทรปราการ บดย่อยให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก จำนวน 4 ขนาด ได้แก่ ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร), ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 6 (3.35 มิลลิเมตร), ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (2.36 มิลลิเมตร) และ ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (2 มิลลิเมตร) ดังรูปที่ 5 ถึง 11



รูปที่ 5 เครื่องบดเศษพลาสติกอีวีเอให้มีขนาดเล็ก



รูปที่ 6 พลาสติกอีวีเอก่อนการบดย่อย



รูปที่ 7 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ทั้ง 4 ขนาด



รูปที่ 8 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หรือ 4.75 มิลลิเมตร



รูปที่ 9 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 6 หรือ 3.35 มิลลิเมตร



รูปที่ 10 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 8 หรือ 2.36 มิลลิเมตร



รูปที่ 11 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 หรือ 2 มิลลิเมตร

- 3) กำมะถัน ชนิด Rhombic Sulfur
- 4) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- 5) กรดสเตียริก (Stearic Acid)
- 6) เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล (Mercapto Benzthiazole, MBT)
- 7) ไดฟีนิลกัวนิดีน (Diphenyl Guanidine, DPG)
- 8) แอนติโมนีไตรออกไซด์ (Antimony Trioxide) เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีสูตรทางเคมี (Sb_2O_3) น้ำหนักโมเลกุล 291.52 g/mol จุดหลอมละลาย (Melting Point) เท่ากับ 656 °C ความหนาแน่น 5.2 g/cm³ จุดเดือด 1,425 °C ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แอนติโมนีไตรออกไซด์

- 9) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล
- 10) แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง ขนาด 15 x 15 x 0.2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง

- 11) ตู้อบ
- 12) ชุดอุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น ได้แก่ ตลับเมตร, เวอร์เนียคาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์
- 13) เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two - Roll Mill) ยี่ห้อ Yong Fong Machinery Co.Ltd. ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

- 14) เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Compression Molding) ยี่ห้อ Yong Fong Machinery Co.Ltd. รุ่น YFY HM -100T ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

15) เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney Viscometer) ยี่ห้อ RAD รุ่น MV-C ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 เครื่องทดสอบความหนืด

16) เครื่องทดสอบการคงรูปหรือเครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (Moving Die Rheometer; MDR) ยี่ห้อ GOTECH รุ่น GT-M 2000 ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 เครื่องทดสอบการคงรูปหรือเครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่

- 17) เครื่องทดสอบความหนาแน่น (Density) ยี่ห้อ Mono Bloc รุ่น AB204-5
18) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

- 19) เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ (Shore A) ยี่ห้อ PTC รุ่น 473 ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ

- 20) เครื่องทดสอบความสึกหรอของยาง (Abrasion Resistance) ยี่ห้อ Gotech ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 เครื่องทดสอบความสึกหรอของยาง

21) เครื่องทดสอบลามไฟ Flammability ยี่ห้อ CEAST รุ่น 5151 ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 เครื่องทดสอบลามไฟ

22) เครื่องตัดตัวอย่าง ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 เครื่องตัดตัวอย่าง

2.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

เริ่มจากออกแบบอัตราส่วนผสมหรือสูตรของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอความละเอียดสูง เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ต่อไป โดยมีส่วนผสม ได้แก่ ยางธรรมชาติ ชนิดแท่งเกรด STR20, ซิงค์ออกไซด์, กรดสเตียริก, กำมะถัน, เมอร์แคปโทเบนโซไทเอซอล, ไดฟีนิลกัวนิติน และเศษพลาสติกอีวีเอ จำนวน 1 สูตร 4 ขนาด สำหรับหาขนาดที่เหมาะสมของเศษพลาสติกอีวีเอ (ตารางที่ 1) และจำนวน 6 สูตร 1 ขนาด สำหรับหาปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอที่เหมาะสม (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 สูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; phr, pphr) จำนวน 1 สูตร 4 ขนาด สำหรับหาขนาดที่เหมาะสมของเศษพลาสติกอีวีเอ

สูตร	ยางแท่ง STR 20	ซิงค์ออกไซด์	กรดสเตียริก	กำมะถัน	เมอร์แคปโทเบนโซไทเอซอล	ไดฟีนิลกัวนิติน	พลาสติกอีวีเอเบอร์ 4	พลาสติกอีวีเอเบอร์ 6	พลาสติกอีวีเอเบอร์ 8	พลาสติกอีวีเอเบอร์ 10
EVA#4	100	5	2	3	0.5	0.2	20			
EVA#6	100	5	2	3	0.5	0.2		20		
EVA#8	100	5	2	3	0.5	0.2			20	
EVA#10	100	5	2	3	0.5	0.2				20

เมื่อนำสูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก จำนวน 1 สูตร 4 ขนาด ในตารางที่ 1 มาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ พบว่าสูตร EVA#10 ซึ่งใช้เศษพลาสติกอีวีเอผ่านตะแกรงเบอร์ 10 เป็นสูตร หรือขนาดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีลักษณะที่เรียบที่สุด รองลงมาคือ สูตร EVA#8, สูตร EVA#6 และ สูตร EVA#4 ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีลักษณะที่หยาบที่สุด ตามลำดับ ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 พื้นผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (EVA#4) (แผ่นที่ 1 จากด้านซ้าย) ผ่านตะแกรงเบอร์ 6 (EVA#6) (แผ่นที่ 2 จากด้านซ้าย) ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (EVA#8) (แผ่นที่ 3 จากด้านซ้าย) และผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (EVA#10) (แผ่นที่ 4 จากด้านซ้าย)

จากลักษณะพื้นผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (EVA#10) ที่มีความเรียบมากกว่าพื้นผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (EVA#4) ผ่านตะแกรงเบอร์ 6 (EVA#6) และผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (EVA#8) ทำให้ในขั้นตอนการพัฒนาเลือกใช้เศษพลาสติกอีวีเอขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (EVA#10) จำนวน 1 ขนาด สำหรับผสมลงในส่วนผสมอื่นเป็นสูตรต่างๆ รวม 6 สูตร ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; phr, pphr) จำนวน 6 สูตร สำหรับหาปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอที่เหมาะสม

สูตร	ยางแท่ง STR20	ซิงค์ออกไซด์	กรดสตีริก	กำมะถัน	เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล	ไดฟนิลควินดีน	พลาสติกอีวีเอเบอร์ 10
EVA 0	100	5	2	3	0.5	0.2	0
EVA 5	100	5	2	3	0.5	0.2	5
EVA 10	100	5	2	3	0.5	0.2	10
EVA 20	100	5	2	3	0.5	0.2	20
EVA 40	100	5	2	3	0.5	0.2	40
EVA 80	100	5	2	3	0.5	0.2	80

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอในตารางที่ 2 พบว่าอัตราส่วนผสมหรือสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติจากเศษขยะพลาสติกอีวีเอความละเอียดสูง คือ สูตร EVA 10 เนื่องจากเป็นสูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกอีวีเอที่มีพื้นผิวเรียบ สีส่อน (สามารถปรับแต่งสีเพิ่มเติมได้) และมีคุณสมบัติที่ดีกว่าสูตรกระเบื้องยางธรรมชาติสูตรที่ผสมเศษขยะพลาสติกอีวีเอมากกว่า โดยมีคุณสมบัติทางกล ประกอบด้วย ความหนาแน่น 0.909 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความแข็ง 41.2 ชอร์เอ น้ำหนักที่สูญเสียจากการขัดสี 1,000 รอบ ร้อยละ 0.353

ความต้านทานการฉีกขาด 41.2 นิวตันต่อมิลลิเมตร ความต้านทานแรงดึง 19.6 เมกะพาสคัล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.190 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน เมื่อนำมาพัฒนาให้มีคุณสมบัติด้านการหน่วงไฟ โดยการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงไปอีก จำนวน 5 สูตร รวมเป็น 6 สูตร ดังสรุปได้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟเทียบจาก 100 ส่วนของยาง โดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; phr, pphr)

สูตร	ยาง แท่ง STR 20	ซิงค์ ออก ไซด์	กรด สเตีย ริก	กำ มะ ถัน	เมอร์ แคบโต เบนโซ ไทเอ ซอล	ได ฟีนิล กำ นิติน	พลา สติก อีวีเอ เบอร์ 10	แอนติ โมนี ไตร ออก ไซด์
A0	100	5	2	3	0.5	0.2	20	0
A20	100	5	2	3	0.5	0.2	20	20
A40	100	5	2	3	0.5	0.2	20	40
A60	100	5	2	3	0.5	0.2	20	60
A80	100	5	2	3	0.5	0.2	20	80
A100	100	5	2	3	0.5	0.2	20	100

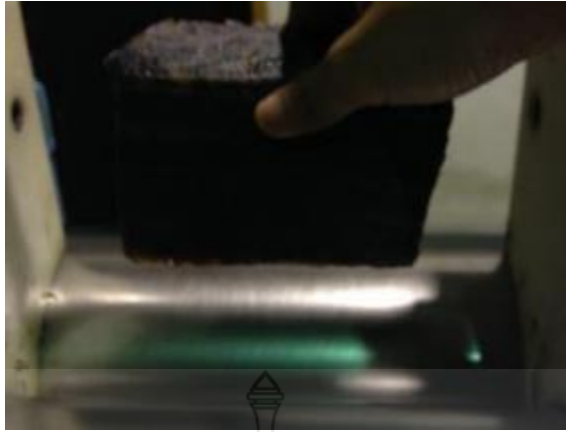
2.3 การขึ้นรูปตัวอย่าง

1) ชั่งน้ำหนักส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟตามที่ออกแบบในตารางที่ 3 ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 ส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ

2) บดยางธรรมชาติแท่ง เกรด STR20 สำหรับผสมส่วนผสมอื่นๆ ด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วปานกลาง ดังรูปที่ 25 และ 26



รูปที่ 25 การใส่ยางธรรมชาติลงในเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

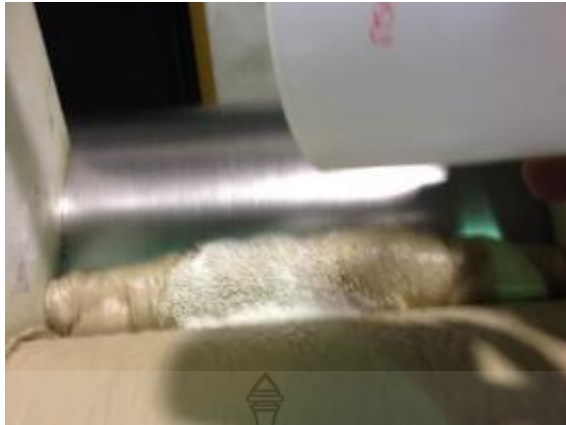


รูปที่ 26 การบดผสมยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

3) ทอยเติมสารซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริกลงในส่วนผสมที่กำลังบดอยู่ ดังรูปที่ 27 และ 28



รูปที่ 27 การผสมสารซิงค์ออกไซด์ลงในยางธรรมชาติ



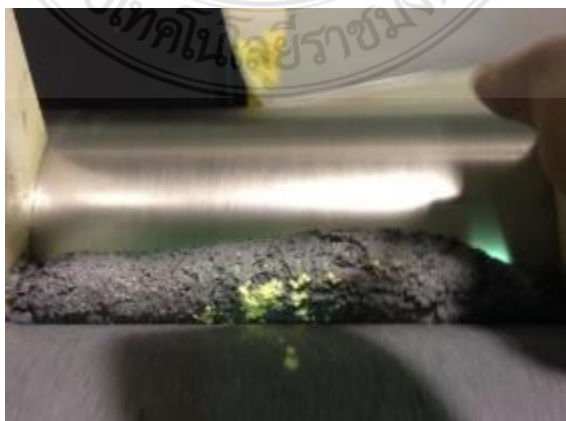
รูปที่ 28 การผสมกรดสเตรียกรกลงในยางธรรมชาติ

4) เติมเศษพลาสติกอีวีเอที่ผ่านการบดย่อยแล้วลงในยางธรรมชาติที่บดภายในเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 29

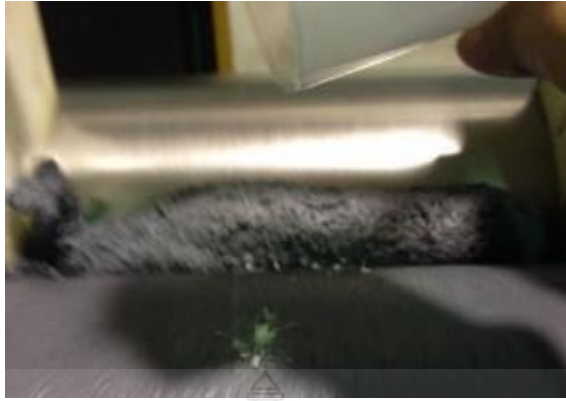


รูปที่ 29 การเติมเศษพลาสติกอีวีเอลงในยางธรรมชาติ

5) เติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล ไดฟีนิลกัวนิดิน และแอนติโมนีไตรออกไซด์ ลงในส่วนผสมที่กำลังบด ดังรูปที่ 30 และ 31



รูปที่ 30 การเติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอลลงในยางธรรมชาติ



รูปที่ 31 การเติมไดฟิซิลกัวนิติน และแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในยางธรรมชาติ

6) ผสมส่วนผสมจนเข้ากัน แล้วจึงเติมกำมะถันเพื่อช่วยให้ส่วนผสมเกิดการคงรูป ดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 การเติมกำมะถันลงในยางธรรมชาติ

7) ทดสอบการคงรูปของส่วนผสมทั้งหมด โดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (MDR) ดังรูปที่ 33



รูปที่ 33 การทดสอบความหนืดของส่วนผสม

8) นำส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วใส่ลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับป้องกันการติดแบบของส่วนผสม เพื่อขึ้นรูปเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ ดังรูปที่ 34 และ 35



รูปที่ 34 การนำส่วนผสมใส่ลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นพลาสติก
สำหรับป้องกันการติดแบบของส่วนผสม



รูปที่ 35 การนำส่วนผสมที่เข้ากันแล้วใส่ในเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

9) ขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนยางธรรมชาติเกิดการคงรูป เป็นระยะเวลาที่ t_c 90 (ดูระยะเวลาในการขึ้นรูปได้จากผลการทดสอบ Moving Die Rheometer) ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 36 ถึง 37

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการคงรูปด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบตายเคลื่อนที่ (MDR)

สูตร	tc 90 (นาที: วินาที)	tc 100 (นาที: วินาที)
A0	4: 42	9: 24
A20	5: 17	10: 47
A40	5: 11	9: 57
A60	5: 07	9: 40
A80	4: 29	7: 53
A100	5: 19	11: 14



รูปที่ 36 การตั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดความร้อน



รูปที่ 37 การอัดขึ้นรูปส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนไฟ

10) นำแผ่นกระเบื้องยางที่ขึ้นรูปแล้ว ออกจากแบบหล่อและแผ่นพลาสติกรองแบบ ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนไฟ สำหรับนำไปใช้งานและทดสอบต่อไป ดังรูปที่ 38 ถึง 40



รูปที่ 38 การนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟออกจากแบบหล่อ



รูปที่ 39 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ 1 สูตร



รูปที่ 40 สีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 5 สูตร และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ (สีเหมือนกับสูตรที่ไม่มีสารหน่วงไฟ)

2.4 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ

ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM, 2014) และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้จำนวนตัวอย่างทดสอบ 10 ตัวอย่างต่อสูตรต่อการทดสอบ ประกอบด้วย

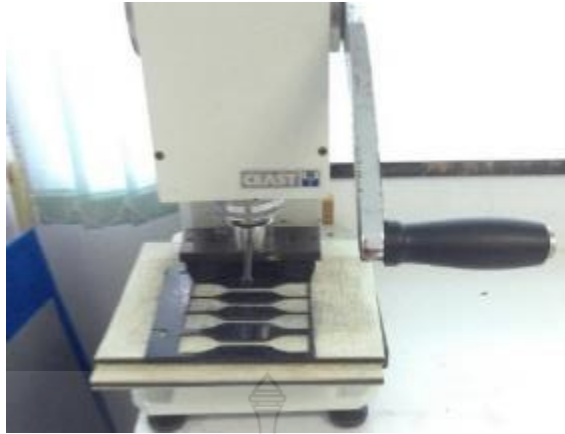
- 1) ความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D1817
- 2) การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D570
- 3) ความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D2240
- 4) ความต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D412
- 5) ความทนการฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D624
- 6) ความสึกหรอ ตามมาตรฐาน ASTM D1630
- 7) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177
- 8) การลามไฟ ตามมาตรฐาน UL94
- 9) การใช้งานจริง



รูปที่ 41 การชั่งน้ำหนักของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนงไฟ



รูปที่ 42 การแช่น้ำกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนงไฟ เพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 43 การตัดกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสำหรับการทดสอบ



รูปที่ 44 ชิ้นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 45 ชิ้นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ
สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 46 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ
ที่มีคุณสมบัติห่วงไฟ



รูปที่ 47 การยึดตัวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟ
จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 48 การทดสอบความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟ



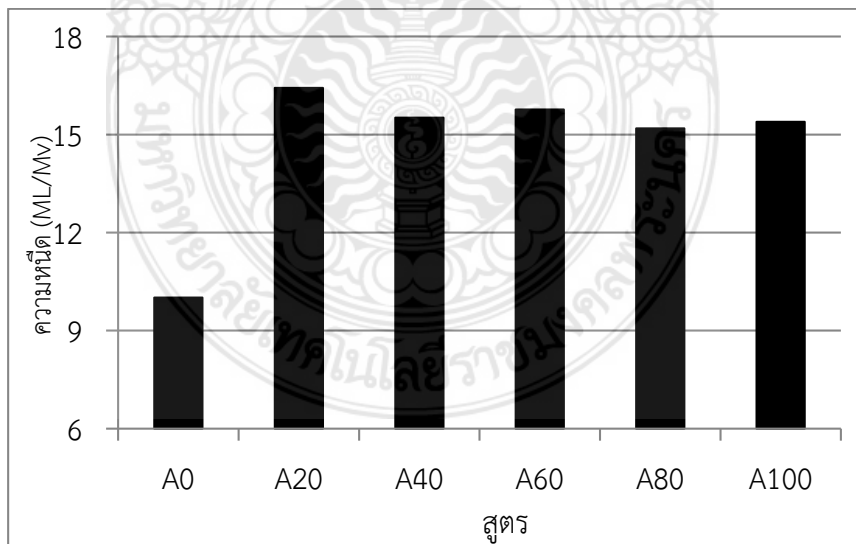
รูปที่ 49 การทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ

3. ผลการดำเนินงาน

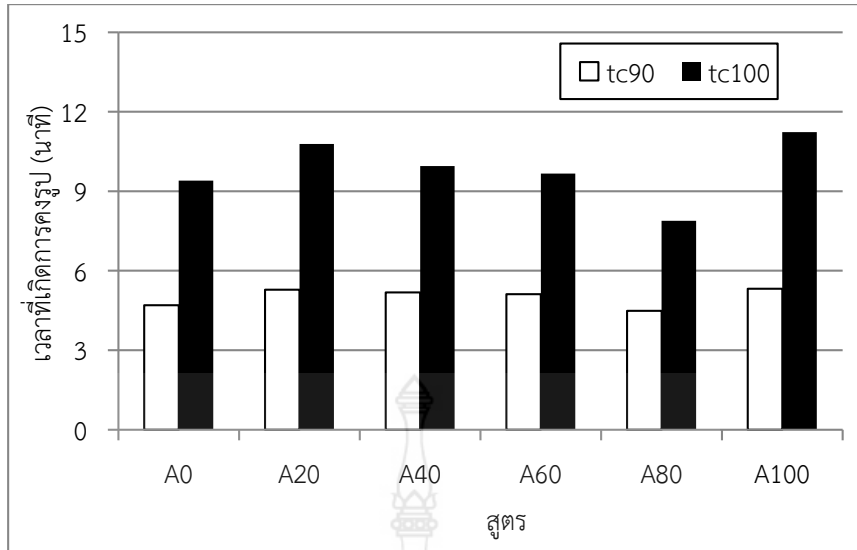
จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) ความละเอียดสูงจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีคุณสมบัติทนวงไฟ ตามมาตรฐาน ASTM และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

3.1 การทดสอบความหนืดและการคงรูปของส่วนผสม

ผลการทดสอบความหนืดและการคงรูปของส่วนผสมในชั้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติทนวงไฟทุกสูตร สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 50 และ 51



รูปที่ 50 ผลการทดสอบความหนืดส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติทนวงไฟสูตรต่างๆ

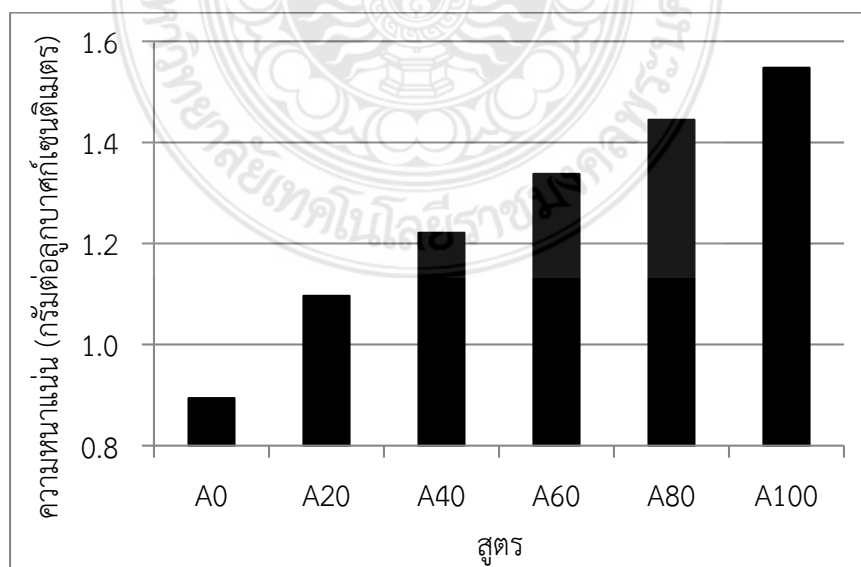


รูปที่ 51 ผลการทดสอบเวลาที่เกิดการคงรูประหว่าง ts_{90} และ tc_{100} ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 50 และ 51 พบว่า การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ซึ่งเป็นสารหน่วงไฟลงใน ส่วนผสมของกระเบื้องยางธรรมชาติมากขึ้น จะมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเมื่อนำ ส่วนผสมดังกล่าวไปใส่แบบหล่อและอัดขึ้นรูป จะให้การไหลตัวของส่วนผสมทำได้ยากมากขึ้น ส่วน ระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปของส่วนผสมแผ่นกระเบื้องยางที่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ จะมีค่าไม่ แตกต่างกันมากนัก โดยจะมีระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูประหว่าง 4.48 ถึง 5.32 นาที

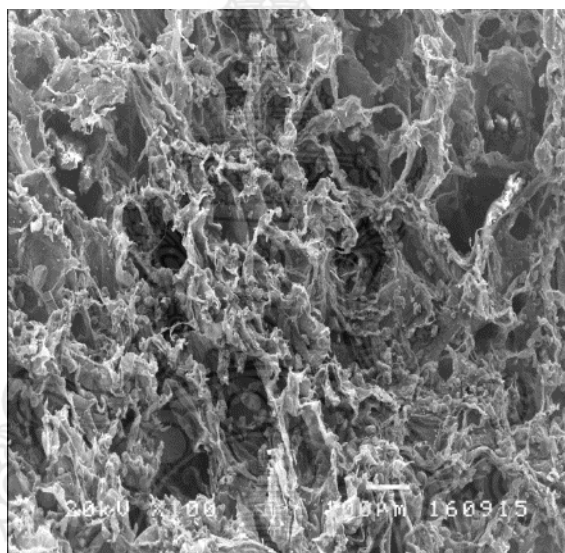
3.2 การทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 52

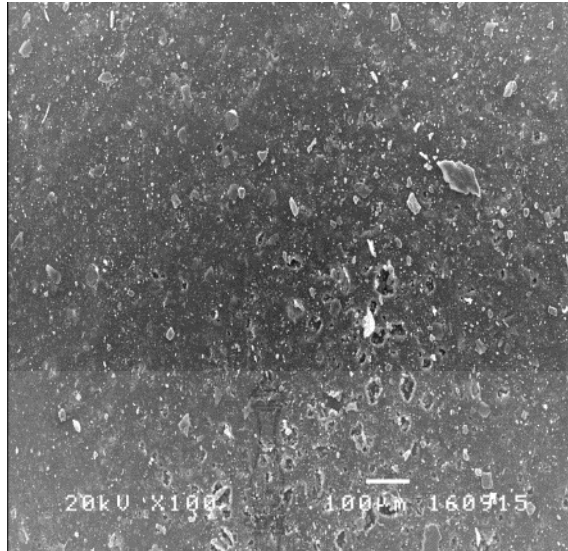


รูปที่ 52 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 52 พบว่า การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณมากขึ้น จะมีผลทำให้ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูงกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ หรือมีการผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ในปริมาณน้อย โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูงที่มีปริมาณสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูงที่สุด (สูตร A100) มีความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A80 A60 A40 A20 และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ (สูตร A0) เป็นสูตรที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากความหนาแน่นของสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่มีค่าสูงถึง 5.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Greenwood, 1997) ซึ่งสูงกว่าความหนาแน่นของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการผสมสารหน่วงไฟ ซึ่งมีความหนาแน่นเพียง 0.894 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



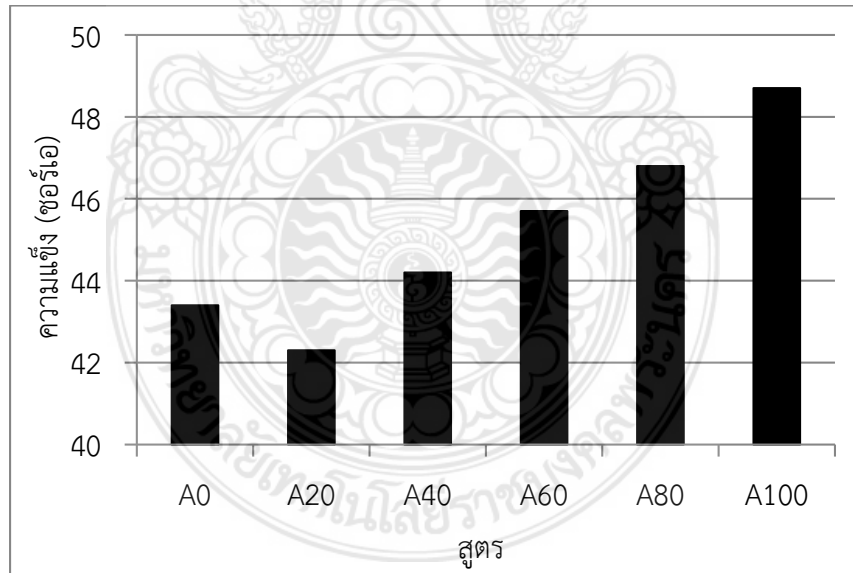
รูปที่ 53 ภาพขยายเศษพลาสติกอีวีเอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 54 ภาพขยายกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกอีวีเอสูตร 80 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า

3.3 การทดสอบความแข็ง

ผลจากการทดสอบความแข็งแบบชอร์เอ (Shore-A) ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ ทั้ง 6 สูตร สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 55



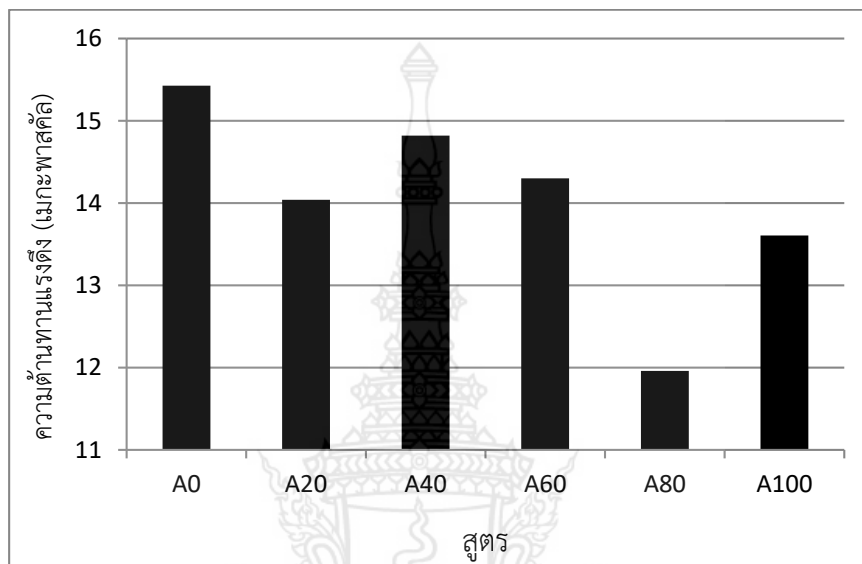
รูปที่ 55 ผลการทดสอบความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 55 ซึ่งแสดงผลการทดสอบความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ ทั้ง 6 สูตร พบว่า การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมากขึ้น จะมีผลต่อแนวโน้มของค่าความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่เพิ่มสูงขึ้น โดยจะเห็นได้จากสูตรแผ่น

ยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ในปริมาณมากที่สุด (สูตร A100) จะเป็นแผ่นยางธรรมชาติสูตรที่มีค่าความแข็งสูงสุด

3.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

สำหรับผลการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ ทั้ง 6 สูตร สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 56

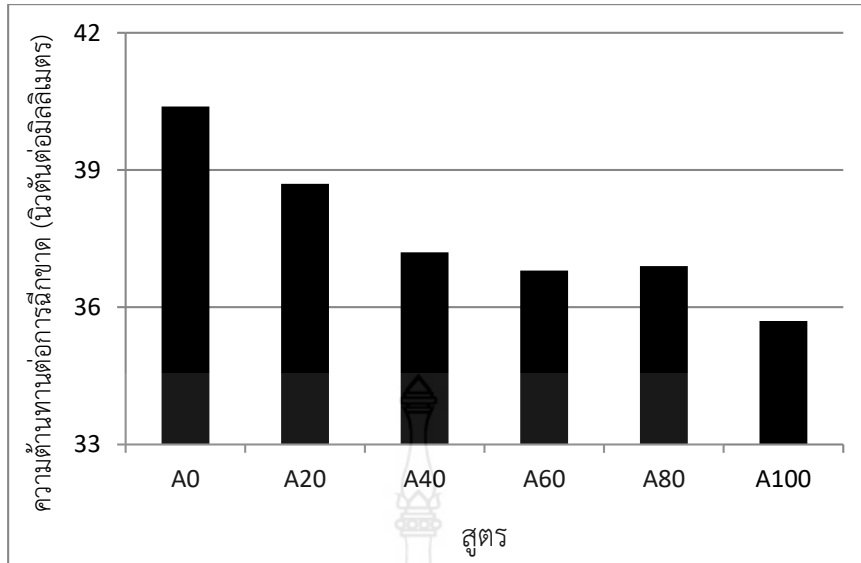


รูปที่ 56 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 56 พบว่า แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ จะมีผลต่อความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ลดลง โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A80 เป็นสูตรที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ (สูตร A0) เป็นสูตรที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากจุดหลอมละลาย (Melting Point) ของสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่มีค่าเท่ากับ 656 องศาเซลเซียส (Wells, 1984) ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป (150 องศาเซลเซียส) เป็นผลทำให้สารแอนติโมนีไตรออกไซด์ไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับแผ่นกระเบื้องยางผสมอีวีเอได้ (ดร.ชนัน พัทธวรการ, 2555) สารแอนติโมนีไตรออกไซด์จึงเป็นส่วนผสมที่ปลดพื้นที่ในการยึดเหนี่ยวหรือรับแรงต่างๆ และความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์จึงลดลงดังกล่าว (พรพรรณ, 2528; บุญธรรม, 2530; วิสุทธิ์, 2551)

3.5 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด

การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 57

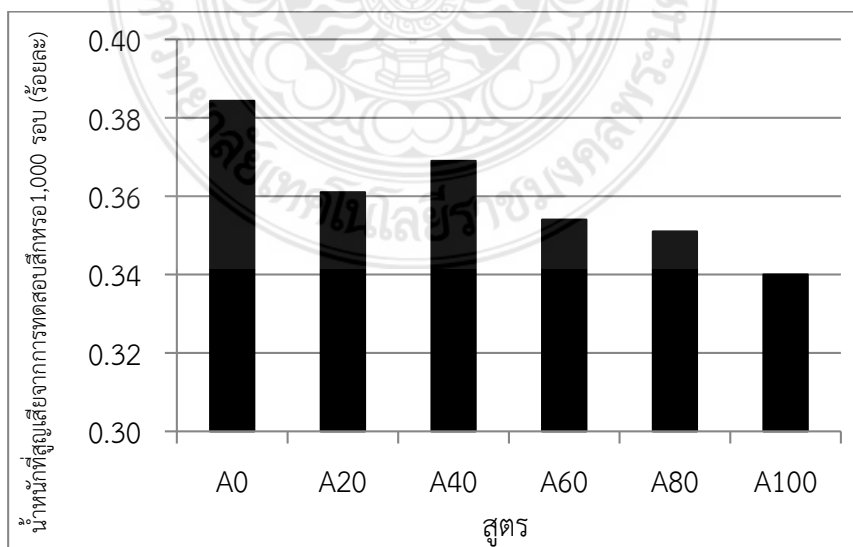


รูปที่ 57 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ

ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ ในรูปที่ 57 พบว่า นอกจากสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ จะมีผลต่อความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ลดลงแล้ว สารแอนติโมนีไตรออกไซด์ ยังมีผลต่อความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ลดลงเช่นกัน

3.6 การทดสอบปริมาณการสึกหรอ

จากผลการทดสอบการสึกหรอโดยการนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟ ทั้ง 6 สูตร มาขัดสีด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอเป็นจำนวน 1,000 รอบ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 58

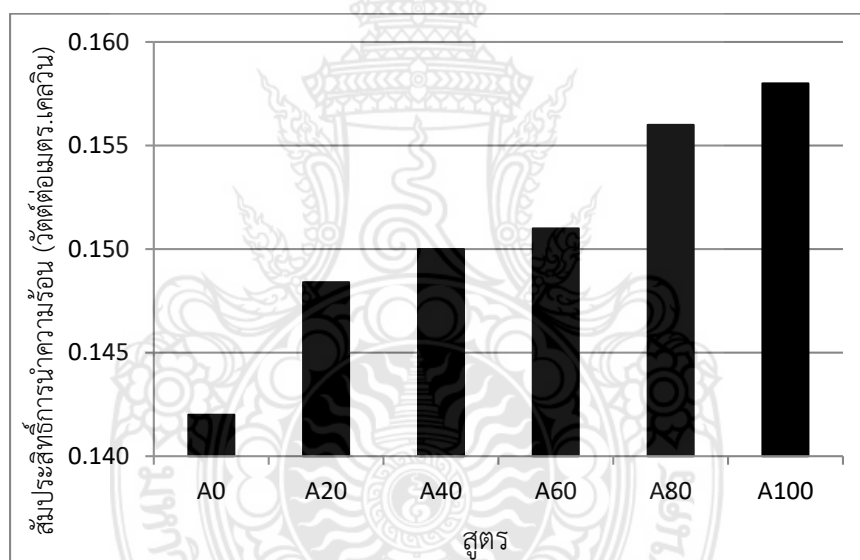


รูปที่ 58 ผลการทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติห่วงไฟสูตรต่างๆ

ทั้งนี้ ผลการทดสอบปริมาณการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นต่อความคงทนในการใช้งานในรูปแบบที่ 58 สามารถสรุปได้ว่า การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์มีผลทำให้การสึกหรอเกิดมากขึ้น โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตร A100 หรือสูตรที่มีปริมาณสารแอนติโมนีไตรออกไซด์มากที่สุด เป็นสูตรที่มีการสึกหรอมากที่สุด รองลงมาคือ สูตร A80 A60 A20 A40 และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการเติมสารหน่วงไฟ หรือสูตร A0 เป็นสูตรที่มีการสึกหรอน้อยที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากจุดหลอมละลายที่สูงของสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ ทำให้สารแอนติโมนีไตรออกไซด์ไม่สามารถช่วยให้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอต้านทานการสึกหรอจากการขัดสีได้เช่นเดียวกับผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (พรพรรณ, 2528; บุญธรรม, 2530; วิสุทธิ, 2551)

3.7 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 59

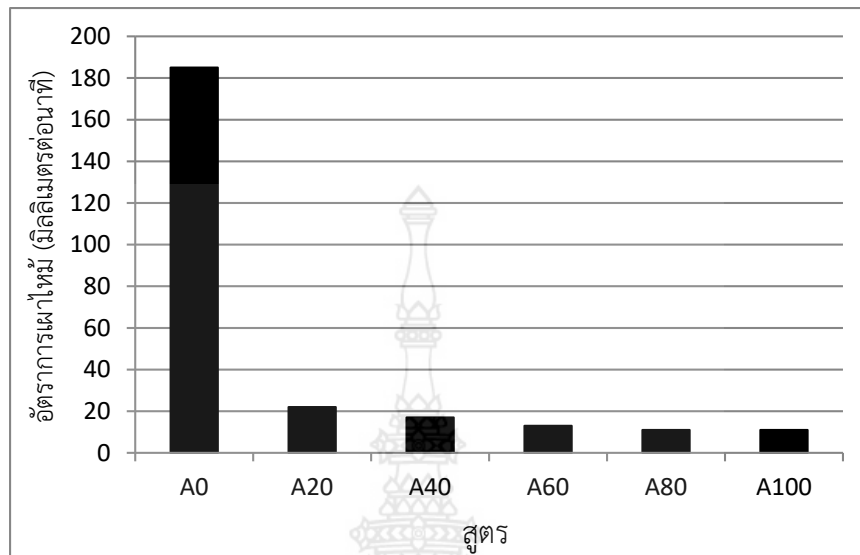


รูปที่ 59 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 59 สามารถแสดงให้เห็นว่า การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีผลต่อคุณสมบัติด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของที่เพิ่มสูงขึ้น โดยแผ่นกระเบื้องยางผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ (A0) จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ สูตร A20 A40 A60 A80 และแผ่นกระเบื้องยางผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ในปริมาณมากที่สุด หรือสูตร A100 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุดตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากสารแอนติโมนีไตรออกไซด์เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงมากกว่าส่วนผสมอื่นๆ (Jesse, 1992) และวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีคุณสมบัติด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูงกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ (ธนัญชัย และคณะ, 2549)

3.8 การทดสอบการลามไฟ

ผลจากการทดสอบการลามไฟ ตามมาตรฐาน UL94 ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 60 และ 61



รูปที่ 60 ผลการทดสอบอัตราการเผาไหม้ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ



รูปที่ 61 การดับของไฟของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A100 เพื่อหน่วงไฟ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 60 และ 61 แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติด้านการหน่วงไฟของสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่ผสมลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ โดยการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอปริมาณมากที่สุด หรือสูตร A100 เป็นสูตรที่สามารถหน่วงไฟได้ดีที่สุด หรือมีอัตราการเผาไหม้น้อยที่สุด เท่ากับ 11 มิลลิเมตรต่ออนาที รองลงมาคือแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A80 A60 A40 A20 และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ หรือสูตร A0 เป็นสูตรที่มีอัตราการเผาไหม้มากที่สุด เท่ากับ 185 มิลลิเมตรต่ออนาที ทั้งนี้ แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ

ผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตร A100 เป็นแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเพียงสูตรเดียวที่ไฟเกิดการดับขณะทำการทดสอบ

4.9 การใช้งานจริง

จากลักษณะของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ สามารถนำมาทดสอบการใช้งานจริงได้ โดยการทากาวและปูแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ ดังรูปที่ 62 ถึง 64 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ สามารถใช้งานทั่วไปเป็นแผ่นกระเบื้องยางได้เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องยางในท้องตลาด โดยแผ่นกระเบื้องยางทั้งหมด สามารถใช้กาววางทาเพื่อติดตั้งบนพื้นผิวต่างๆ ได้ดี สามารถทำความสะอาดได้ปกติ นอกจากนี้ ยังสามารถตัดเป็นรูปร่างต่างๆ ได้เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติทั่วไป



รูปที่ 62 ลักษณะการปูพื้นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ



รูปที่ 63 การทำความสะอาดแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

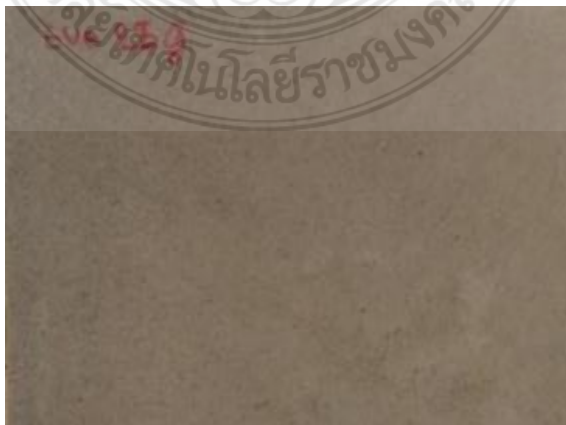


รูปที่ 64 พื้นผิวที่มีการปูหรือติดตั้งด้วยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ

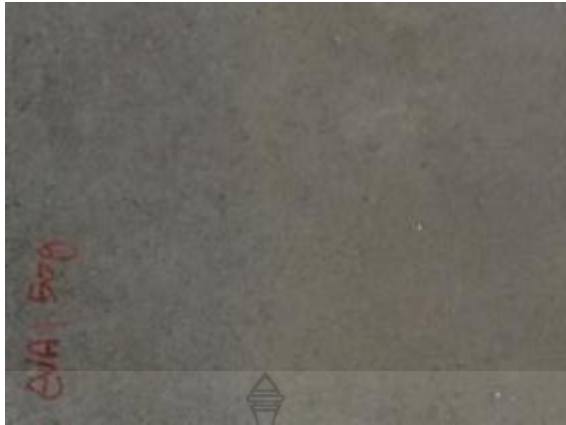
ทั้งนี้ การผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ จะไม่มีผลต่อลักษณะและสีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่เปลี่ยนไป แต่สีและความเรียบของผิวกระเบื้องยางธรรมชาติจะเปลี่ยนตามปริมาณพลาสติกอีวีเอที่มีสีต่างๆ ดังรูปที่ 65 ถึง 70



รูปที่ 65 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 0 สีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ



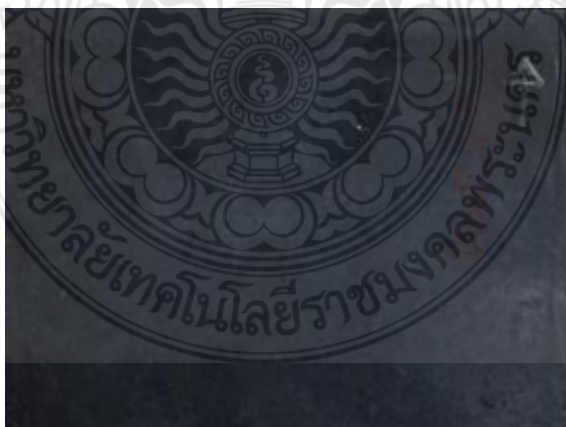
รูปที่ 66 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 5 สีเทาอ่อน ผิวเรียบ



รูปที่ 67 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 10 สีเทา ผิวเรียบ



รูปที่ 68 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 20 สีเทาเข้ม ผิวเริ่มขรุขระ



รูปที่ 69 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 40 สีเทาดำ ผิวเริ่มขรุขระ



รูปที่ 70 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 80 สีดำ ผิวขรุขระ

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินโครงการ “การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง” นั้น สามารถสรุปและข้อเสนอแนะได้ ดังต่อไปนี้

4.1 สรุปผล

จากการดำเนินงานทั้งหมดของโครงการ สามารถสรุปผลโดยแบ่งตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

4.1.1 เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) สามารถบดย่อยให้มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องบดพลาสติก พร้อมตะแกรงเบอร์ 10 ทำให้ได้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง สำหรับใช้เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำได้

4.1.2 กระบวนการผลิตกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอที่เติมสารหน่วงไฟ เป็นการใช้เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้งในการผสมยางธรรมชาติแท่ง สารตัวเติม พลาสติกอีวีเอ และสารหน่วงไฟ โดยเริ่มจากการบดยางธรรมชาติแท่งก่อน แล้วจึงเติมซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก พลาสติกอีวีเอ เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล ไดฟีนิลกัวนิดิน แอนติโมนีไตรออกไซด์ และกำมะถัน ตามลำดับ นำส่วนผสมที่ได้ไปอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4: 29 ถึง 5: 19 นาที ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารหน่วงไฟ

4.1.3 ผลจากการผสมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ ซึ่งเป็นสารหน่วงไฟลงในส่วนผสมของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่มากขึ้น เบื้องต้นจะส่งผลต่อค่าความหนืดของส่วนผสมขณะขึ้นรูปที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปจะมีค่าใกล้เคียงกับกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ไม่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ คือ อยู่ระหว่าง 4.48 ถึง 5.32 นาที และเมื่อนำกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่เติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์สูตรต่างๆ ไปทดสอบ จะพบว่าสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่เติมลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ จะมีผลทำให้ความหนาแน่น ความแข็ง และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานการสึกหรอมีค่าลดน้อยลง

4.1.4 เมื่อนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีคุณสมบัติหน่วงไฟสูตรต่างๆ ไปทดสอบการใช้งานจริง พบว่า แผ่นกระเบื้องดังกล่าวสามารถทนทานและปลูกลงบนพื้นผิวต่างๆ ได้ดี โดย

สามารถทำความสะอาดได้ปกติ และสามารถตัดเป็นรูปร่างต่างได้เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติทั่วไป

4.1.5 ผลจากการทดสอบการลามไฟของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอที่เติมสารหน่วงไฟ พบว่า การเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอถึงสูตร A100 จะสามารถหน่วงไฟได้ดี และดับลงได้ขณะทำการทดสอบ

4.1.6 อัตราส่วนผสมหรือสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการเติมสารแอนติโมนีไตรออกไซด์เป็นสารหน่วงไฟ คือ สูตร A100 ประกอบด้วย ยางธรรมชาติแห้ง STR20 ต่อซิงค์ออกไซด์ ต่อกรดสเตียริก ต่อกำมะถัน ต่อเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล ต่อไดฟีนิลกัวนิดีน ต่อพลาสติกอีวีเอเบอร์ 10 ต่อแอนติโมนีไตรออกไซด์ เท่ากับ 100: 5: 2: 3: 0.5: 0.2: 20: 100 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นสูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอที่มีพื้นผิวเรียบ สีส่อน มีคุณสมบัติที่สามารถใช้งานเป็นกระเบื้องยางได้เช่นเดียวกับกระเบื้องยางทั่วไป ได้แก่ มีความหนาแน่น 1.548 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความแข็ง 48.7 ชอร์เอ น้ำหนักที่สูญเสียจากการขัดสี 1,000 รอบ ร้อยละ 0.462 ความต้านทานการฉีกขาด 35.7 นิวตันต่อมิลลิเมตร ความต้านทานแรงดึง 13.61 เมกะพาสคัลสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.158 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน และอัตราการเผาไหม้ 11 มิลลิเมตรต่ออนาที

4.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาต่อไป ควรมีการพัฒนาคุณสมบัติทางกล โดยการเพิ่มเส้นใยต่างๆ ลงไป เพื่อให้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีขึ้น และสามารถใช้งานได้หลากหลาย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2561 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

6. หนังสืออ้างอิง

- กฤษณ ทองศรี, 2548. การออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยพลาสติก, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ธัญชัย ปุณณวรกิจ, พันธดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 4.
- บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530. ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญญานิช อินทรพัฒน์, 2551. เทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติจากการเบลนดระหว่างยางธรรมชาติกับเอทิลีนไวนิลอะซิเตทโดยใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิไดเมทิลเมทาคริไลลออกซีเมทิลฟอสโฟเนตเป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ประชุม คำพุ่ม และกิตติพงษ์ สุวิโร, 2555. การใช้น้ำยางวัลคาไนซ์เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีต ประจำปี ครั้งที่ 8, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สคท.), ณ โรงแรมอมารี ออคิดพัทยา จ.ชลบุรี.

- พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ, 2540. **วัสดุก่อสร้าง**, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528. **สารเคมีสำหรับยาง**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ดรรชนี พัทธวรการ, 2555. **เทคโนโลยีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์**, เอกสารประกอบการสอน กระบวนวิชา 262481, ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วรารณ ขจรไชยกูล, 2523. **วิทยาการขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับยางแท่ง**. งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยการยาง หาดใหญ่.
- วิสุทธิ์ แก้วสกุล, 2551. **เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับโคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับไวนิลอะซิเตท**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ศุภชัย แก้วจิ้ง, 2552. **การพัฒนาบล็อกปูพื้นที่ทำจากยางธรรมชาติและยาง EPDM เหลือทิ้ง**, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และระบบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2548. **ประกาศการขอรับทุนโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา**, โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม, 7 หน้า.
- เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร, 2537. **เทคโนโลยียาง**, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2014. **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia.
- Barlow, Fred W., 1993. **Rubber Compounding : Principles, Materials, and Techniques**. 2nd Edition.
- Dupont, 2012. **Compare EVA Grades and Performance Properties**. Delaware: E.I. du Pont de Nemours and Company.
- Greenwood, N. N.; & Earnshaw, A., 1997. **Chemistry of the Elements**. 2nd Edition, Oxford: Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-3365-4.
- Jesse Edenbaum, 1992. **Plastics additives and modifiers handbook**, New York: Van Nostrand Reinhold, p.95-101.
- Holfmann, W.B., 1989. **Rubber Technology Handbook**. Hanser Publishers. Munich.
- Subramaniam, A, 1980. **Molecular Weight and Molecular Weight Distribution of Natural Rubber**, RRIM Technology Bulletin, p.6.
- Wells, A. F., 1984. **Structural Inorganic Chemistry**. Oxford: Clarendon Press. ISBN 0-19-855370-6.