



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. 2560
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (พลาสติกอีวีเอ) ความละเอียดสูง โดยใช้ยางธรรมชาติแท้ STR20 ในปริมาณเท่ากับ 100 phr ต่อเศษขยะพลาสติกอีวีเอที่ผ่านการย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ในปริมาณ 0, 5, 10, 20, 40, และ 80 phr ตามลำดับ และผสมปริมาณสารเคมีในอัตราส่วนคงที่ ประกอบด้วย ซิงค์ออกไซด์ เท่ากับ 5 phr กรดสเตียริก เท่ากับ 2 phr เมอร์แคปโทเบนโซไทโธล เท่ากับ 0.5 phr ไดฟีนิลกวานิดีน เท่ากับ 0.2 phr และกำมะถัน เท่ากับ 3 phr ทำการบดผสมด้วยเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง แล้วอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้แผ่นยางธรรมชาติ ขนาด 30x30x0.2 เซนติเมตร ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน ASTM พบว่า กระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ อัตราส่วน 10 พีเอชอาร์ มีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปปูพื้นผนังอาคาร เนื่องจากมีค่าความแข็ง ความต้านทานแรงดึง และความต้านทานการสึกหรอที่มากขึ้น ส่วนความหนาแน่นและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าลดต่ำลง เมื่อเทียบกับกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่มีพลาสติกอีวีเอ

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ; เศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท; ความละเอียดสูง; กระเบื้องปูพื้น

Abstract

This research aims to develop the natural-rubber floor tiles mixed with high fineness ethylene vinyl acetate plastic wastes (EVA plastics) from the factories. The study use natural-rubber STR 20 at 100 phr with various contents of EVA plastics (e.g. 0, 5, 10, 20, 40, and 80 phr) and then mixed with chemical substance at constant ratio include zinc oxide at 5 phr, stearic acid at 2 phr, mercaptobenzothiazole at 0.5 phr, diphenyl guanidine at 0.2 phr and sulfur at 3 phr. The samples are ground by two-roll mill and formed by compression molding at 150 degree Celsius with 30x30x0.2 cm of dimension. The properties of the natural-rubber floor tiles are tested under ASTM standard. From the results, it is found that the natural-rubber floor tiles mixed with 10 phr of EVA plastics is the suitable ratio for using as the rubber floor tiles in building. This ratio can increase the hardness, tensile strength and wear resistant properties, and decrease the density and thermal insulation properties when compare to the natural-rubber floor tiles without EVA plastic.

Keywords: natural-rubber; ethylene vinyl acetate plastic waste; high fineness; floor tile

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	๗
สารบัญรูป	๙
สารบัญตาราง	๑๑
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดในการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กระเบื้องยาง	6
2.2 วัตถุประสงค์ในการผลิตกระเบื้องยาง	7
2.3 การติดตั้งกระเบื้องยาง	8
2.4 ยางธรรมชาติ	8
2.5 การปรับปรุงยางธรรมชาติ	9
2.6 การวัลคาไนซ์	11
2.7 การขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความร้อน	12
2.8 สารหน่วงไฟ	12
2.9 พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท	12
2.10 การปรับปรุงสมบัติของพลาสติกอีวีเอ	14
2.11 การขึ้นรูปพลาสติกอีวีเอ	14
2.12 เศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอจากอุตสาหกรรมรองเท้า	14
2.13 การบดย่อยพลาสติก	15
2.14 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	19
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	19
3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม	25
3.3 การขึ้นรูปตัวอย่าง	26
3.4 การทดสอบสมบัติของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ	33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	36
4.1 การทดสอบความเหนียวและการคงรูปของส่วนผสม	36
4.2 การทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ	37
4.3 การทดสอบความแข็ง	39
4.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง	40
4.5 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด	40
4.6 การทดสอบปริมาณการสีทหรือ	41
4.7 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	42

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปลงและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปลง	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	49
ก บทความสำหรับเผยแพร่	
ข หนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์	
ประวัติย่อผู้วิจัย	



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ยางธรรมชาติหรือยางพารา	1
1.2	การใช้กระเบื้องยางปูพื้นภายในบ้านพักอาศัย	2
1.3	การใช้กระเบื้องยางปูพื้นในห้องออกกำลังกาย	2
1.4	เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทหรืออีวีเอ	3
1.5	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	4
2.1	กระเบื้องยางสีต่างๆ	6
2.2	กระเบื้องยางลวดลายไม้	7
2.3	กระเบื้องยางลวดลายหิน	7
2.4	โครงสร้างของยางธรรมชาติ cis 1, 4 Polyisoprene	8
2.5	โครงสร้างของพลาสติกอีวีเอ (EVA, Ethylene Vinyl Acetate)	13
2.6	เครื่องย่อยพลาสติกแบบต่างๆ	15
2.7	เครื่องไม้ตัดพลาสติก	16
3.1	ยางธรรมชาติแท่งเกรด STR20	19
3.2	เครื่องบดเศษพลาสติกอีวีเอให้มีขนาดเล็ก	19
3.3	พลาสติกอีวีเอก่อนการบดย่อย	20
3.4	พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ทั้ง 4 ขนาด	20
3.5	พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หรือ 4.75 มิลลิเมตร	20
3.6	พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 6 หรือ 3.35 มิลลิเมตร	21
3.7	พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 8 หรือ 2.36 มิลลิเมตร	21
3.8	พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 หรือ 2 มิลลิเมตร	21
3.9	แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง	22
3.10	เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง	22
3.11	เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน	23
3.12	เครื่องทดสอบความเหนียว	23
3.13	เครื่องทดสอบการคงรูป	23
3.14	เครื่องทดสอบบดเนกประสงค์	24
3.15	เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ	24
3.16	เครื่องทดสอบความสึกหรอของยาง	24
3.17	เครื่องตัดตัวอย่าง	25
3.18	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)	26
3.19	ส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ	27
3.20	การใส่ยางธรรมชาติลงในเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง	27
3.21	การบดผสมยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง	27
3.22	การผสมสารชิงค์ออกไซด์ลงในยางธรรมชาติ	28

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.23	การผสมกรดสเตียริกลงในยางธรรมชาติ	28
3.24	การเติมเศษพลาสติกอีวีเอลงในยางธรรมชาติ	28
3.25	การเติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอโซลลงในยางธรรมชาติ	29
3.26	การเติมไดฟีนิลกัวนิตินลงในยางธรรมชาติ	29
3.27	การเติมกำมะถันลงในยางธรรมชาติ	29
3.28	การทดสอบความเหนียวของส่วนผสม	30
3.29	การนำส่วนผสมใส่ลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับป้องกันการติดแบบของส่วนผสม	30
3.30	การนำส่วนผสมที่เข้ากันแล้วใส่ในเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน	31
3.31	การตั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดความร้อน	31
3.32	การอัดขึ้นรูปส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ	31
3.33	การนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอออกจากแบบหล่อ	32
3.34	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ 1 สูตร	32
3.35	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอทั้ง 5 สูตร	32
3.36	การชั่งน้ำหนักของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ	33
3.37	การแช่น้ำกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ	33
3.38	การตัดกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสำหรับการทดสอบสมบัติต่างๆ	34
3.39	ขึ้นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึง	34
3.40	การทดสอบความต้านทานแรงดึงของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ	34
3.41	การยึดตัวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง	35
3.42	การทดสอบความทนการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ	35
3.43	การทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ	35
4.1	ผลการทดสอบความเหนียวของส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ	36
4.2	ผลการทดสอบแรงบิดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ	36
4.3	ผลการทดสอบเวลาที่เกิดการคงรูประหว่าง ts_2 และ tc_{90} ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ	37
4.4	ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ	37
4.5	ภาพถ่ายเศษพลาสติกอีวีเอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า	38
4.6	ภาพถ่ายกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกอีวีเอสูตร 80 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า	39
4.7	ผลการทดสอบความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ	39
4.8	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ	41
4.10	ผลการทดสอบการสีหรือของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ	41
4.11	ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ	42
4.12	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 0 สีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ	43
4.13	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 5 สีเทาอ่อน ผิวเรียบ	43
4.14	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 10 สีเทา ผิวเรียบ	43
4.15	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 20 สีเทาเข้ม ผิวเริ่มขรุขระ	44
4.16	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 40 สีเทาดำ ผิวเริ่มขรุขระ	44
4.17	แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 80 สีดำ ผิวขรุขระ	44



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติบางประการของยางชนิดต่างๆ	5
2.2	สมบัติของพลาสติกอีวีเอที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของไวนิลอะซีเตดในโมเลกุล	6
3.1	สูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; phr, pphr) จำนวน 1 สูตร 4 ขนาด สำหรับหาขนาดที่เหมาะสมของเศษพลาสติกอีวีเอ	8 9 10
3.2	สูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเทียบจาก 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber; phr, pphr) จำนวน 6 สูตร สำหรับหาปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอที่เหมาะสม	12 12
		16
		22
		32



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

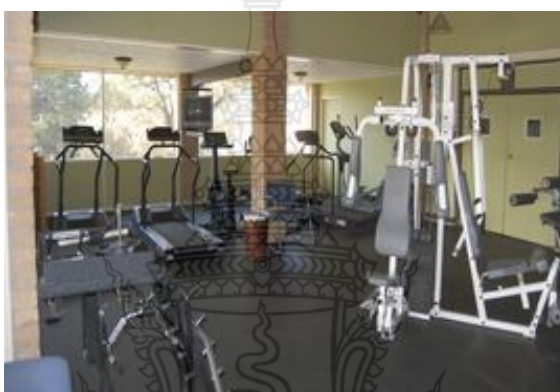


รูปที่ 1.1 ยางธรรมชาติหรือยางพารา

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 เพราะยางธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความจำเป็นต้องใส่สารเติมแต่งค่อนข้างมาก 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 และดูความเป็นไปได้ในการใช้เป็นสารเติมแต่งยางธรรมชาติ เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่มีต้นทุนต่ำ โดยเศษขยะพลาสติกอีวีเอ เป็นวัสดุพอรุนที่มีความยืดหยุ่นแตกต่างกันตามแต่ละอุตสาหกรรม อาทิเช่น รองเท้าแตะ รองเท้ากีฬา ยางรัดของชนิดหัดได้ อุปกรณ์ทางการแพทย์ชนิดใช้ครั้งเดียว กาวหุ้มด้วยความร้อน ของเด็กเล่น ฉนวนหุ้มลวดไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะบรรจุของแข็ง 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 เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติจากเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง

1.2.3 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.2.5 เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง

1.2.8 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 บดเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทด้วยเครื่องโม่ตัด ซึ่งมีการใช้ขนาดรูดะแกรงเล็กกว่าเบอร์ 4 ลงมา จำนวนไม่น้อยกว่า 3 ขนาด

1.3.2 ใช้ยางธรรมชาติ ชนิดแห้ง เกรด STR20 เป็นส่วนผสมของยางธรรมชาติ

1.3.3 ออกแบบอัตราส่วนผสมของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง จำนวนไม่น้อยกว่า 5 อัตราส่วน

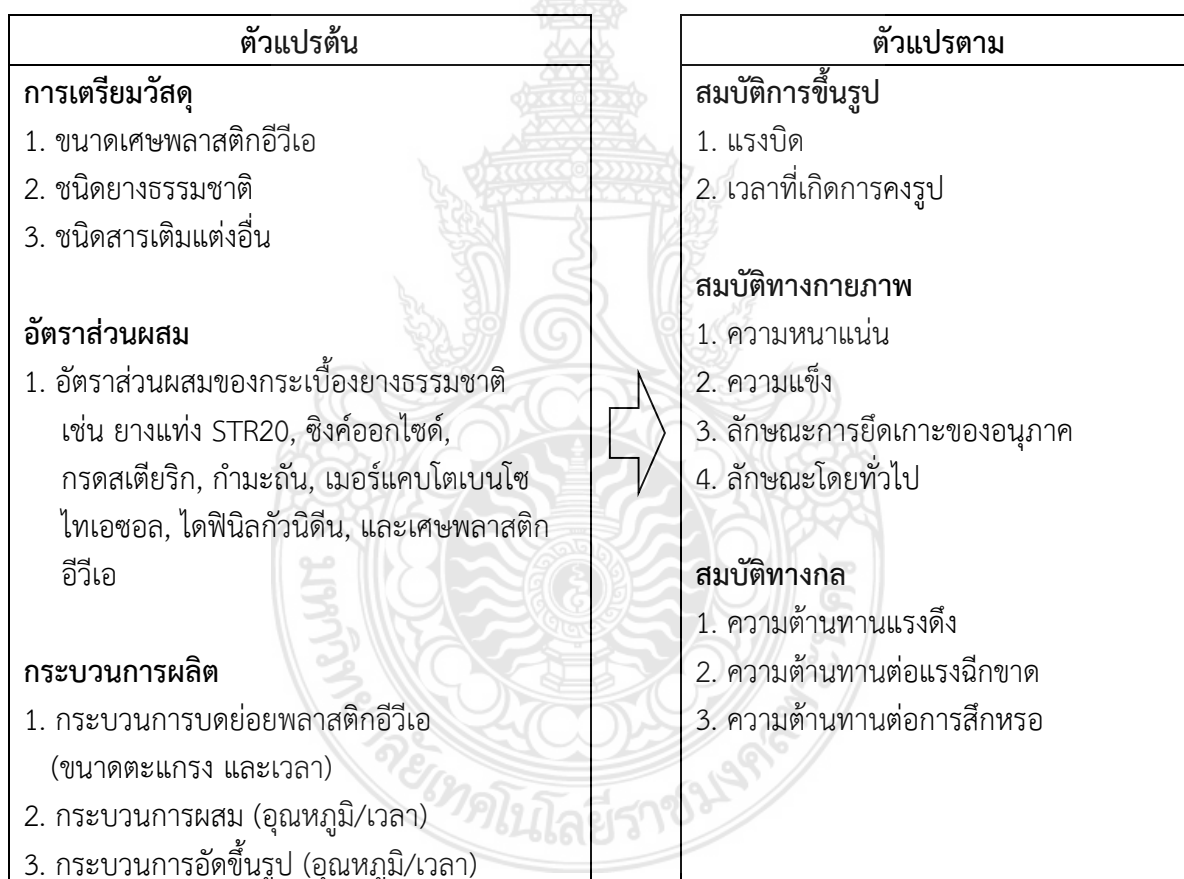
1.3.4 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง ตามมาตรฐาน ASTM

1.3.5 ใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง และเครื่องอัดด้วยความร้อน เป็นกระบวนการหลักในการผลิตกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง

1.3.6 ถ่ายทอดเทคโนโลยีกระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้แก่ผู้ประกอบการ ชุมชน และประชาชนทั่วไปที่สนใจ

1.4 สมมติฐาน และกรอบแนวคิดในการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง มีสมมติฐานและกรอบแนวคิดว่า ยางธรรมชาติ และเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทที่มีความละเอียดมากๆ (อีวีเอ) สามารถนำมาผสมร่วมกับสารเติมแต่งอื่นๆ แล้วขึ้นรูปผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติได้ดี



รูปที่ 1.5 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบกระบวนการย่อยเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทให้มีความละเอียดสูง สำหรับใช้เป็นสารตัวเติมที่มีต้นทุนต่ำของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ

1.5.2 ทราบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติจากเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง

1.5.3 ทราบกระบวนการผลิตกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท ความละเอียดสูงจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.5.4 ทราบผลทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง

1.5.5 ได้แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.5.6 ได้แนวทางการลดปริมาณขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.5.7 ได้ผลงานทางวิชาการสำหรับตีพิมพ์ลงในวารสาร/การประชุมวิชาการ/การเรียนการสอน

1.5.8 ได้คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง

1.5.9 ผู้สนใจสามารถรับการถ่ายทอด/ขอใช้สิทธิเพื่อใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ได้



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง สามารถสรุปทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิด เพื่อให้เห็นแนวทางและความเป็นไปได้ในการดำเนินการวิจัยได้ ดังนี้

2.1 กระเบื้องยาง

กระเบื้องยาง เป็นวัสดุปูพื้นชนิดหนึ่ง ผลิตจากส่วนผสมหลักๆ คือ พีวีซีเรซินผ่านกรรมวิธี Calendering Process ได้เป็นแผ่นเรียบมีความหนาตามต้องการแล้วตัดเป็นแผ่นขนาดต่างๆ หรือเป็นชนิดผืนใหญ่เป็นม้วน ซึ่งจะเรียกวัสดุประเภทนี้รวม 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 ซึ่งวัสดุปูพื้นที่ทำจากพีวีซินั้น ง่ายต่อการติดตั้ง ช่วยป้องกันความร้อน และลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้



รูปที่ 2.1 กระเบื้องยางสีต่างๆ



รูปที่ 2.2 กระเบื้องยางลวดลายไม้



รูปที่ 2.3 กระเบื้องยางลวดลายหิน

2.2 วัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องยาง

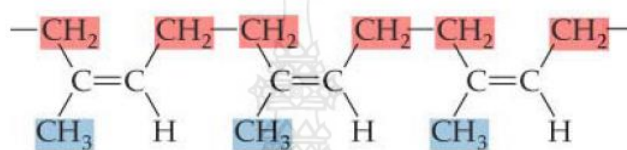
กระเบื้องยางพีวีซี มี 2 ประเภท คือ แบบแผ่น (PVC Floor Tile) และแบบผืน (PVC Floor Sheet) มีคุณสมบัติที่ใช้เป็นวัสดุปูพื้นแทนพรมหรือพาร์เก้ เนื่องจากกระเบื้องยางพีวีซี มีคุณสมบัติพิเศษคือ ไม่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ ไม่ลื่น การติดตั้งและการรื้อถอนกระทำได้ง่าย มีส่วนประกอบของพลาสติกพีวีซี ฟิล์ม กาวกระดาศ แป้งแคลเซียม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

2.3 การติดตั้งกระเบื้องยาง

กระเบื้องยาง ใช้ปูพื้นต่างๆ ได้ดี เช่น พื้นคอนกรีต, พื้นหินขัด, พื้นไม้เก่าหรือใหม่ เป็นต้น โดยที่พื้นจะต้องมีผิวหน้าเรียบ แข็ง แห้ง และสะอาด ลักษณะผิวหน้าของพื้นมีส่วนช่วยให้กระเบื้องยางที่ปูนั้น ดูสวย เรียบ และทนทานขึ้น ขอแนะนำให้ใช้กาวยา (ไดโนกลู) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะกับงานปูพื้นกระเบื้องยาง (พงศ์พันธ์, 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) และสารป้องกันการเกิดโอโซนแอนท์ (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 ดังนั้นต้องนำยางไปบดเพื่อให้ได้โมเลกุลเล็กก่อนนำไปแปรรูปในขั้นต่อไป

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 ไม่ว่าจะป็นสายโซ่สั้นหรือสายโซ่ยาว

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

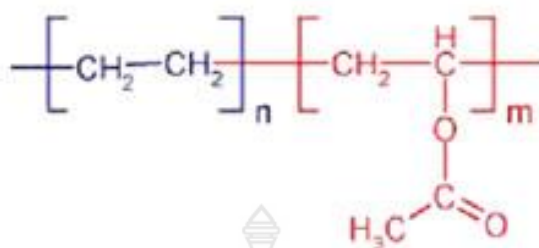
- 1) ยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระ โดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับกันว่าการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาของสายโซ่อนุมูลหลักในวัฏภาคที่เป็นไอ ในบางครั้งสารอินทรีย์ประเภทฮาโลเจนอาจเกิดอนุมูลของโบรมีนและคลอรีน ซึ่งเข้าไปแทรกแซงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันช่วยในการยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระ
- 2) สารหน่วงไฟอาจทำให้เกิดก๊าซที่หนักกว่าออกซิเจนปกคลุมที่ผิวของวัสดุ 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 ในกรณีนี้เมื่ออย่างได้รับเปลวไฟ 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 เอลแวร์็กซ์

(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

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) ลงไปในเนื้ออีวีเอได้มากถึง 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 ควรให้ผลิตภัณฑ์มีเวลาการเย็นที่นานเพียงพอ เนื่องจากหากชิ้นงานยังไม่แข็งแรงเพียงพอแรงกระแทกจากเข็มกระทุ้ง (Pin) ที่ทำให้ชิ้นงานหลุดออกจากแม่พิมพ์จะทำให้ชิ้นงานเสียหายได้ การขึ้นรูปด้วยการอัดรีดอีวีเอ เนื่องจากอีวีเอมีสมบัติความอ่อนนุ่มในตัว การควบคุมรูปทรงของชิ้นงานให้มีความสมบูรณ์จึงเป็นปัญหาหลัก ดังนั้นระบบทำความเย็นและอุปกรณ์ควบคุมรูปทรงจึงเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่จำเป็นต้องมี (Jesse, 1992)


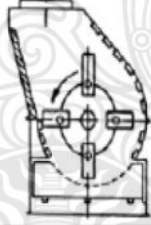

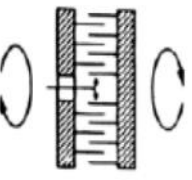
2.12 เศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอจากอุตสาหกรรมรองเท้า

เศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอจากอุตสาหกรรมรองเท้า เป็นหนึ่งในขยะพลาสติกที่เป็นปัญหาอย่างมากของประเทศ เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกรายใหญ่ อันดับที่ 5 ของโลก รองจากจีน เวียดนาม อินโดนีเซีย และบราซิล ในปี 2549 มีจำนวนโรงงานผลิตรองเท้ากว่า 1,000 โรงงาน มีมูลค่าการส่งออกรวมกว่า 3.3 หมื่นล้านบาท และมีแนวโน้มขยายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะทำให้มีปริมาณเศษผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ประกอบกับการที่ขยะจำพวกพลาสติกสามารถย่อยสลายได้ช้า วิธีการกำจัดโดยการฝังกลบจึงไม่สามารถรองรับขยะปริมาณมากมายเหล่านี้ได้ และการฝังกลบขยะพลาสติกอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินอีกด้วย แม้ว่าปัจจุบันจะมีการนำพลาสติกมาหลอมและนำกลับมาใช้ใหม่ แต่ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติด้อยลงกว่าเดิม จึงจำเป็นต้องเติมสารเติมแต่งต่างๆ ลงไป เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น ซึ่งจะเพิ่มต้นทุนอย่างมากให้กับภาคอุตสาหกรรม ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตรองเท้าจะมีการผสมผสานวัตถุดิบระหว่างเม็ดพลาสติกกับสารเคมีชนิดต่างๆ แล้วผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป รีด และผสมสี เพื่อให้ได้รองเท้าที่มีสีสัน และความนุ่มตามที่คุณบริโภคต้องการ 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 จะทำให้ผลิตภัณฑ์รองเท้านี้มีคุณภาพด้อยลง และสามารถทำการผสมซ้ำได้เพียงไม่กี่ครั้งเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ทั้งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมจึงมีเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอต่างๆ เหลือทิ้งเป็นขยะพลาสติกที่ยากต่อการกำจัดจำนวนมาก

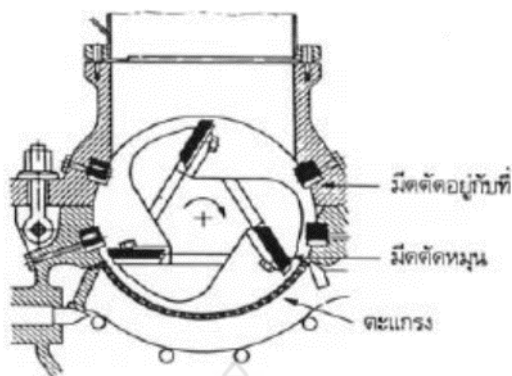
2.13 การบดย่อยพลาสติก

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 ตรงกลางจะมีเพลาสั่งที่มีเม็ดตัดติดอยู่ 3 เล่ม เศษพลาสติกที่ใส่ลงไปจะถูกมีดหมุนจับและนำไปตัดกับเม็ดซึ่งติดอยู่กับเรือนเครื่อง โดยเครื่องจะทำงานช้าๆ ไปจนกว่าพลาสติกจะละเอียดพอที่จะลอดตะแกรงได้ ความเร็วตัดจะอยู่ระหว่าง 12-14 เมตรต่อวินาที ระยะห่างระหว่างมีดหมุนและมีดอยู่กับที่ประมาณ 0.25-0.5 มิลลิเมตร โม่ตัดมีขนาดทำงานได้ตั้งแต่ 10-2,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ดรรชนี, 2555)



รูปที่ 2.7 เครื่องไม้ตัดพลาสติก (ดรธรณี, 2555)

2.14 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนโวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่งสามารถสรุปเป็นสาระสำคัญได้ ดังต่อไปนี้

1) ศุภชัย แก้วจิ้ง (2552) ได้พัฒนาบล็อกปูพื้นที่ทำจากยางธรรมชาติและยางอีพีดีเอ็ม (EPDM) เหลือทิ้ง โดยทำเป็น 2 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นแรก คือ ส่วนฐานรองรับ ทำจากยางธรรมชาติชนิดยางสгим ซึ่งเป็นยางต้นทุนต่ำผสมสารตัวเติมผงฝุ่นขี้เลื่อยไม้ยางพารา ทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการขึ้นรูป 12, 15, และ 20 นาที ที่ความหนา 5, 10, และ 15 มิลลิเมตร ตามลำดับ ชั้นที่สอง ทำจากยางสгимผสมยางอีพีดีเอ็มซึ่งเป็นวัสดุจากฉนวนหุ้มท่อแอร์เหลือทิ้ง โดยมีสมบัติต้านทานต่ออุณหภูมิได้ดี ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม โดยมีการแปรผันปริมาณสัดส่วนยางอีพีดีเอ็มในช่วง 0-300 phr ทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ผลการทดลอง พบว่า สมบัติความต้านทานแรงฉีกขาด สมบัติการกระด้างกระดอน และทดสอบสมบัติการกระด้างตัวในแนวตั้งของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของยางอีพีดีเอ็ม ในทางตรงข้ามเวลาในการคงรูปยาง สมบัติความแข็ง และการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้น โดยสามารถดูดซับพลังงานได้มากที่สุดที่ปริมาณยางอีพีดีเอ็ม 300 phr ต้นทุนด้านวัสดุลดลงเมื่อชั้นฐานรองรับและปริมาณสัดส่วนยางอีพีดีเอ็มเพิ่มขึ้น แต่ต้นทุนด้านพลังงานกลับเพิ่มขึ้นเมื่อชั้นฐานรองรับเพิ่มขึ้นและปริมาณสัดส่วนยางอีพีดีเอ็มเพิ่มขึ้น

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 เป็นการเบลนด์แบบบริเอ็กทีฟที่ไม่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ พบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ทั้ง 3 ชนิด มีมอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความแข็ง และความต้านทานต่อตัวทำลาย มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ แต่มอดูลัสสะสม ความหนืดเชิงซ้อน และความสามารถในการคืนรูป มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ค่า tension set และ tan d มีแนวโน้มลดลง) และพบว่าสัณฐานวิทยาเป็นแบบเฟสรวม

ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 40/60, 50/50 และ 60/40 เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนเดียวกัน การเบลนด์ ENR/EVA ให้วัสดุที่มีความยืดหยุ่น 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) ปญญานิข 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 โดยใช้เทคนิคการเบลนด์แบบปกติและการเบลนด์โดยผ่านกระบวนการไดนามิกส์วัลคาไนซ์ 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 เบลนด์แบบไดนามิกส์วัลคาไนเซชัน ให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มความเข้ากันได้ดีที่สุด โดยพบว่า การใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ที่สภาวะดังกล่าวส่งผลให้ ความเหน็ด เช็งซ้อน สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาดสูงสุด ในขณะที่เดียวกัน การยืดอยู่ตัว และแทนเดลต่ำต่ำที่สุด การศึกษาสัณฐานวิทยาของการเบลนด์ที่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้พบว่า ขนาดของเฟสยางลดลง อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์เบลนด์ มีการเลื่อนเข้าหากันส่วนปริมาณผลึกของเอทิลีนไวนิลอะซิเตทเฟสลดลง

4) กุณชล 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 วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) ยางธรรมชาติแท่งเกรด STR20 ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ยางธรรมชาติแท่งเกรด 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 3.7



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) ไตฟีนิลกัวนิดีน (Diphenyl Guanidine, DPG)
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล
- 9) แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง ขนาด 15 x 15 x 0.2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง

- 10) ตู้อบ
- 11) ชุดอุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น ได้แก่ ตลับเมตร, เวอร์เนียคาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์
- 12) เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two - Roll Mill) ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

13) เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Compression Molding) ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

14) เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney Viscometer) ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบความหนืด

15) เครื่องทดสอบการคงรูป (Oscillating Disc Rheometer, ODR) ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบการคงรูป

16) เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบเนกประสงค์

17) เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ (Shore A) ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ

18) เครื่องทดสอบความสึกหรอของยาง (Abrasion Resistance) ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบความสึกหรอของยาง

19) เครื่องตัดตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 เครื่องตัดตัวอย่าง

3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

ออกแบบอัตราส่วนผสมหรือสูตรของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอความละเอียดสูง เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ต่อไป โดยมีส่วนผสม ได้แก่ ยางธรรมชาติ ชนิดแห้งเกรด STR20, ซิงค์ออกไซด์, กรดสเตียริก, กำมะถัน, เมอร์แคปโทเบนโซไทเอซอล, ไดฟีนิลกัวนิติน และ เศษพลาสติกอีวีเอ 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 แห้ง STR 20	ซิงค์ ออก ไซด์	กรด สเตีย ริก	กำ มะ ถัน	เมอร์ แคบ โต เบนโซ ไทเอ ซอล	ไดฟิ นิต กัวนิ ติน	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 พบว่า สูตร EVA#10 ซึ่งใช้เศษพลาสติกอีวีเอผ่านตะแกรงเบอร์ 10 เป็นสูตร หรือขนาดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีลักษณะที่เรียบที่สุด รองลงมาคือ สูตร

EVA#8, สูตร EVA#6 และ สูตร EVA#4 ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีลักษณะที่หยาบที่สุด ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 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	ซิงค์ออกไซด์	กรดสเตียริก	กำมะถัน	เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล	ไดฟีนิลกัวนิติน	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

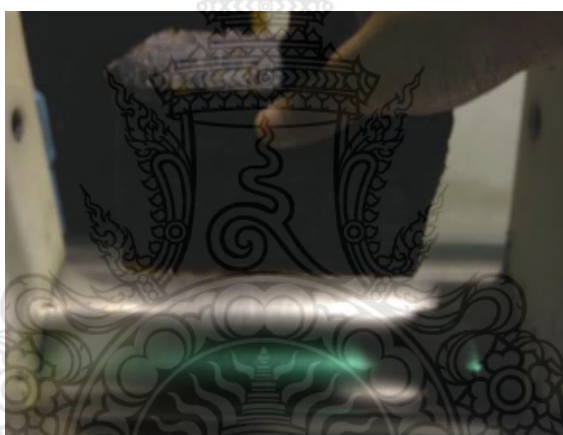
3.3 การขึ้นรูปตัวอย่าง

1) ชั่งน้ำหนักส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอตามทีออกแบบดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ

2) บดยางธรรมชาติแห้ง เกรด STR20 สำหรับผสมส่วนผสมอื่นๆ ด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วปานกลาง ดังรูปที่ 3.20 และ 3.21

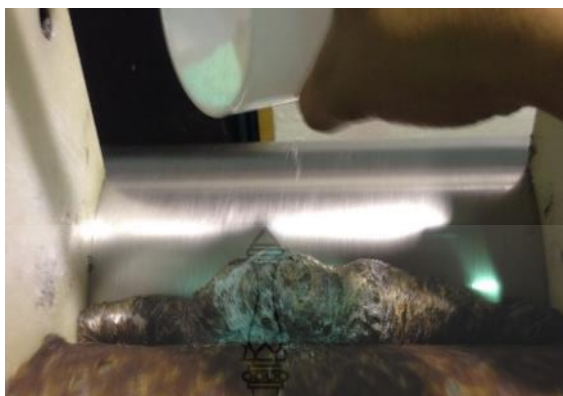


รูปที่ 3.20 การใส่ยางธรรมชาติลงในเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง



รูปที่ 3.21 การบดผสมยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

3) ทอยเติมสารซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริกลงในส่วนผสมที่กำลังบดอยู่ ดังรูปที่ 3.22 และ 3.23



รูปที่ 3.22 การผสมสารซิงค์ออกไซด์ลงในยางธรรมชาติ



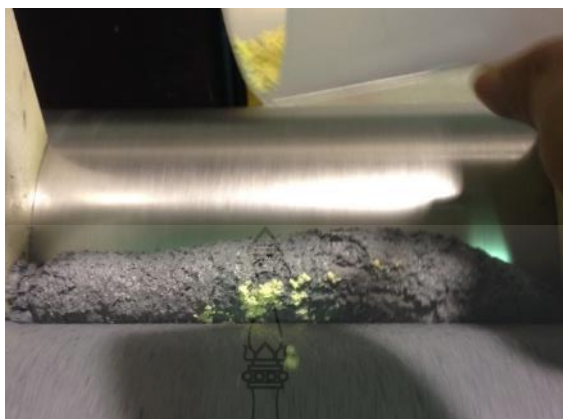
รูปที่ 3.23 การผสมกรดสเตียริกลงในยางธรรมชาติ

4) เติมเศษพลาสติกอีวีเอที่ผ่านการบดย่อยแล้วลงในยางธรรมชาติที่บดภายในเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 3.24

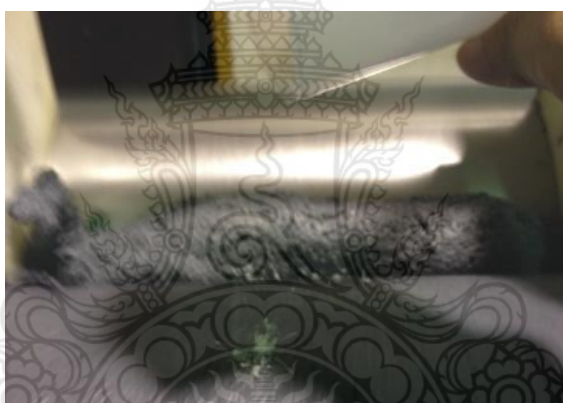


รูปที่ 3.24 การเติมเศษพลาสติกอีวีเอลงในยางธรรมชาติ

5) เติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอลและไดฟีนิลกัวนิตินลงไปในส่วนผสมที่กำลังบด ดังรูปที่ 3.25 และ 3.26



รูปที่ 3.25 การเติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอลลงในยางธรรมชาติ



รูปที่ 3.26 การเติมไดฟีนิลกัวนิตินลงในยางธรรมชาติ

6) ผสมส่วนผสมจนเข้ากัน แล้วจึงเติมกำมะถันเพื่อช่วยให้ส่วนผสมเกิดการคงรูป ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 3.27 การเติมกำมะถันลงในยางธรรมชาติ

7) ทดสอบการคงรูปของส่วนผสมทั้งหมด โดยใช้เครื่องทดสอบความหนืด และเครื่องทดสอบการคงรูป (ODR) ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 การทดสอบความหนืดของส่วนผสม

8) นำส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วใส่ลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับป้องกันการติดแบบของส่วนผสม เพื่อขึ้นรูปเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ดังรูปที่ 3.29 และ 3.30



รูปที่ 3.29 การนำส่วนผสมใส่ลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นพลาสติก
สำหรับป้องกันการติดแบบของส่วนผสม



รูปที่ 3.30 การนำส่วนผสมที่เข้ากันแล้วใส่ในเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

9) ขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนยางธรรมชาติเกิดการคงรูป ดังรูปที่ 3.31 และ 3.32

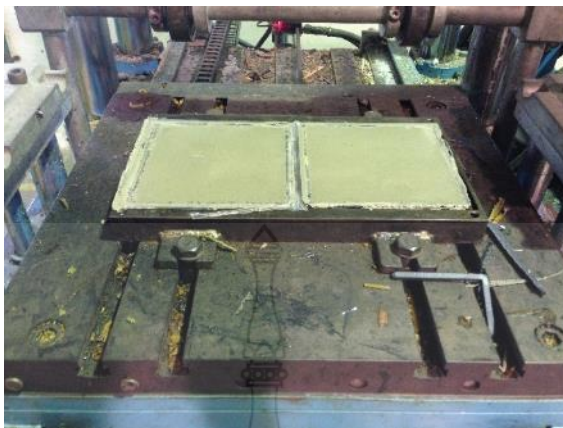


รูปที่ 3.31 การตั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดความร้อน

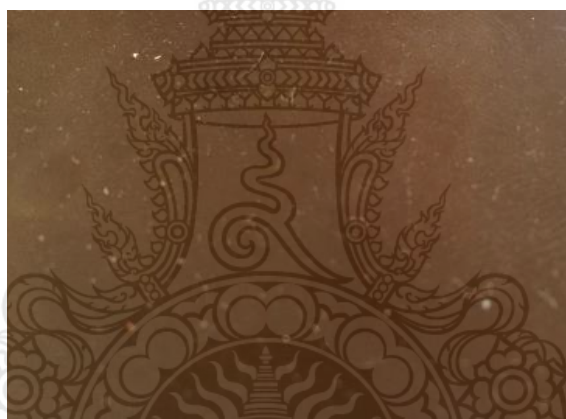


รูปที่ 3.32 การอัดขึ้นรูปส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ

10) นำแผ่นกระเบื้องยางที่ขึ้นรูปแล้ว ออกจากแบบหล่อและแผ่นพลาสติกทรงแบบ ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สำหรับนำไปใช้งานและทดสอบต่อไป ดังรูปที่ 3.33 ถึง 3.35



รูปที่ 3.33 การนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอออกจากแบบหล่อ



รูปที่ 3.34 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอ 1 สูตร



รูปที่ 3.35 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอทั้ง 5 สูตร

3.4 การทดสอบสมบัติของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ

ทดสอบสมบัติต่างๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM, 2014) และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้จำนวนตัวอย่างทดสอบ 5 ตัวอย่างต่ออัตราส่วนต่อการทดสอบ 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



รูปที่ 3.36 การชั่งน้ำหนักของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ



รูปที่ 3.37 การแช่น้ำกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ



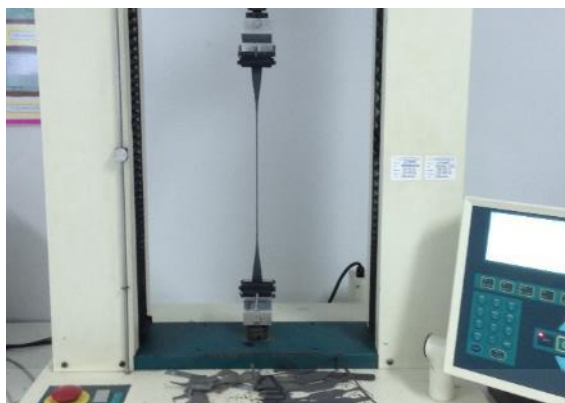
รูปที่ 3.38 การตัดกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสำหรับการทดสอบสมบัติต่างๆ



รูปที่ 3.39 ชิ้นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.40 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ



รูปที่ 3.41 การยืดตัวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอจากการทดสอบ
ความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.42 การทดสอบความทนการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ



รูปที่ 3.43 การทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ

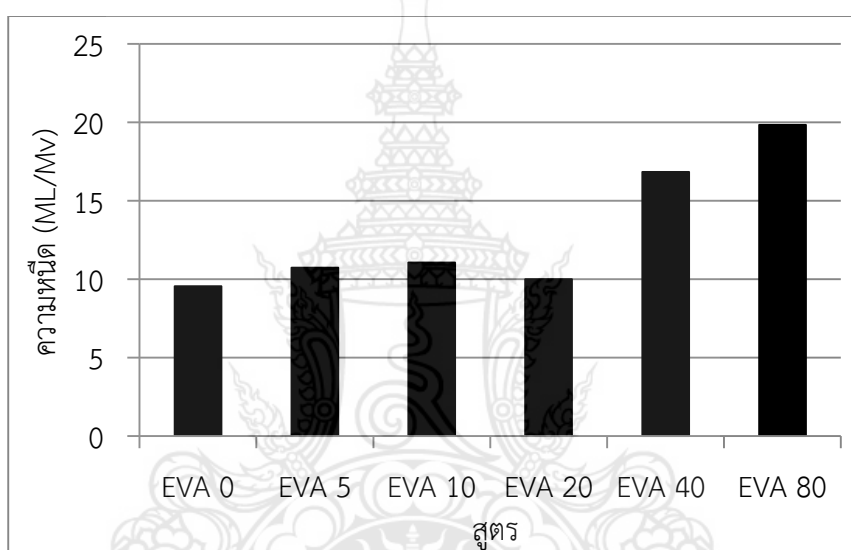
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

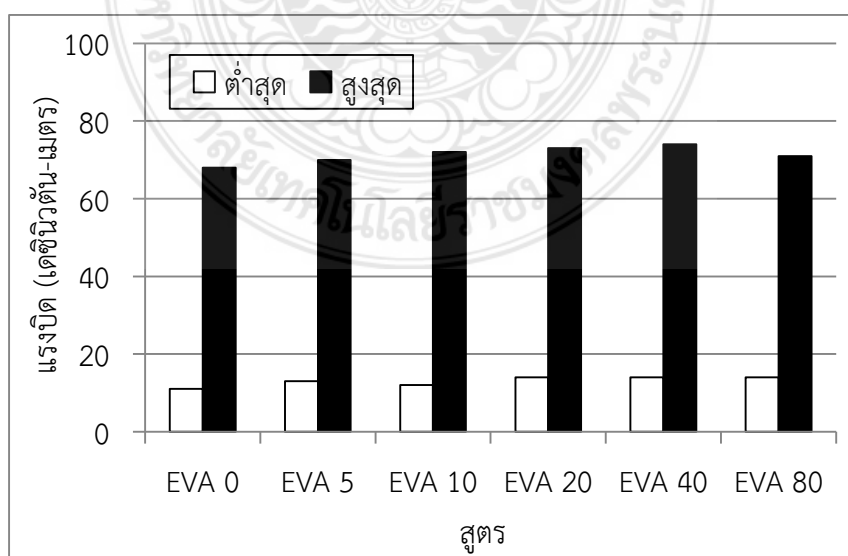
จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) ความละเอียดสูงจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามมาตรฐาน ASTM และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบความหนืดและการคงรูปของส่วนผสม

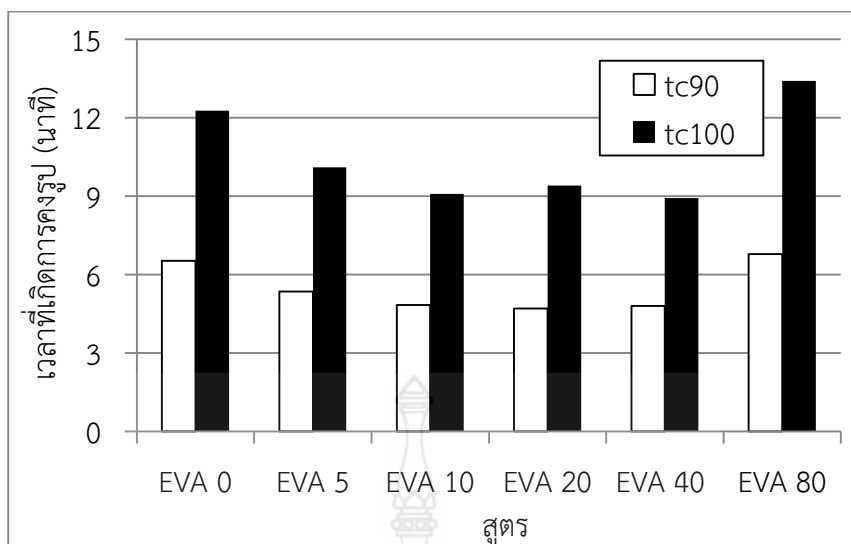
ผลการทดสอบความหนืดและการคงรูปของส่วนผสมในชั้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอทุกสูตร สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบความหนืดส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบแรงบิดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

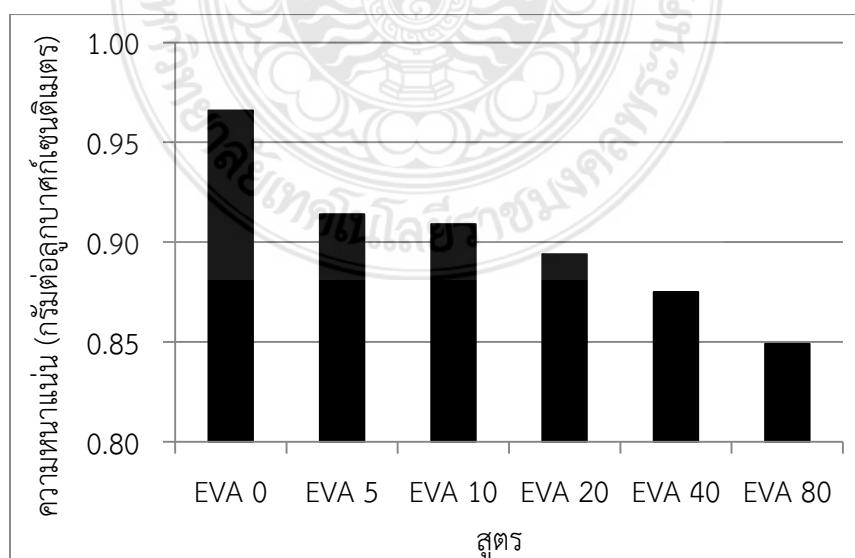


รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบเวลาที่เกิดการคงรูประหว่าง ts_2 และ tc_{90} ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 พบว่า การผสมเศษพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้ส่วนผสมมีความหนืดและค่าแรงบิดต่ำสุดขณะกระบวนการคงรูปมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเมื่อนำส่วนผสมดังกล่าวไปใส่แบบหล่อและอัดขึ้นรูป จะให้การไหลตัวของส่วนผสมทำได้ยากมากขึ้น ส่วนระยะเวลาใช้ในการคงรูปแผ่นกระเบื้องยางของส่วนผสมที่มีปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอมากจะมีค่าลดลง แต่การผสมเศษพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้เวลาที่ใช้ในการคงรูปของส่วนผสมกลับเพิ่มมากขึ้น

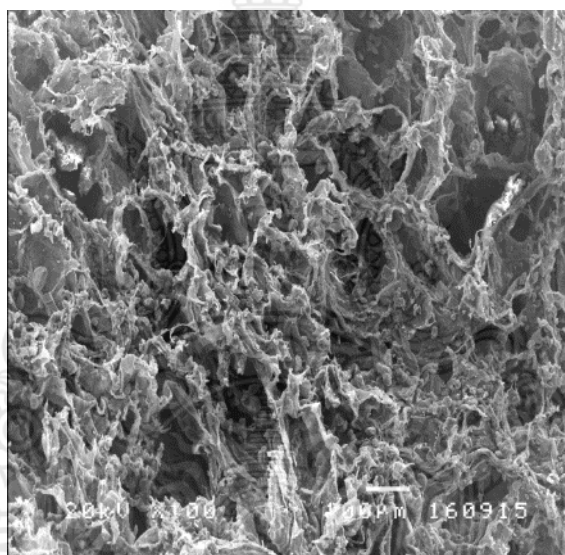
4.2 การทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.4

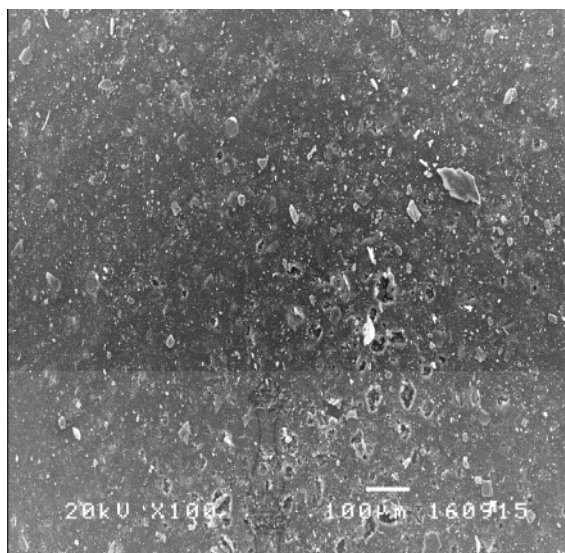


รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 พบว่า การผสมเศษพลาสติกอีวีเอลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอปริมาณมากขึ้น จะมีผลทำให้ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติต่ำกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ หรือผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณน้อย โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่มีการผสมพลาสติกอีวีเอ (สูตร EVA 0) มีความแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอสูตร EVA 5, สูตร EVA 10, สูตร EVA 20, สูตร EVA 40 และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอสูตร EVA 80 เป็นสูตรที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากลักษณะความพรุนของเนื้อพลาสติกอีวีเอ (รูปที่ 4.5) และความหนาแน่นของเศษพลาสติกอีวีเอที่มีค่าประมาณ 0.930 - 0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Dupont, 2012) ซึ่งต่ำกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ (สูตร EVA 0) ที่เท่ากับ 0.966 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้ การผสมพลาสติกอีวีเอลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ จะทำให้เกิดช่องว่างขนาดเล็กภายในเนื้อขึ้น (ดังรูปที่ 4.6) เหล่านี้ จะทำให้ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีแนวโน้มต่ำลง (Subramaniam, 1980) อย่างไรก็ตาม ช่องว่างภายในเนื้อที่เกิดขึ้นเบื้องต้น จะยังคงเล็กมากและไม่ทำให้เกิดการดูดซึมน้ำ หรือมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0



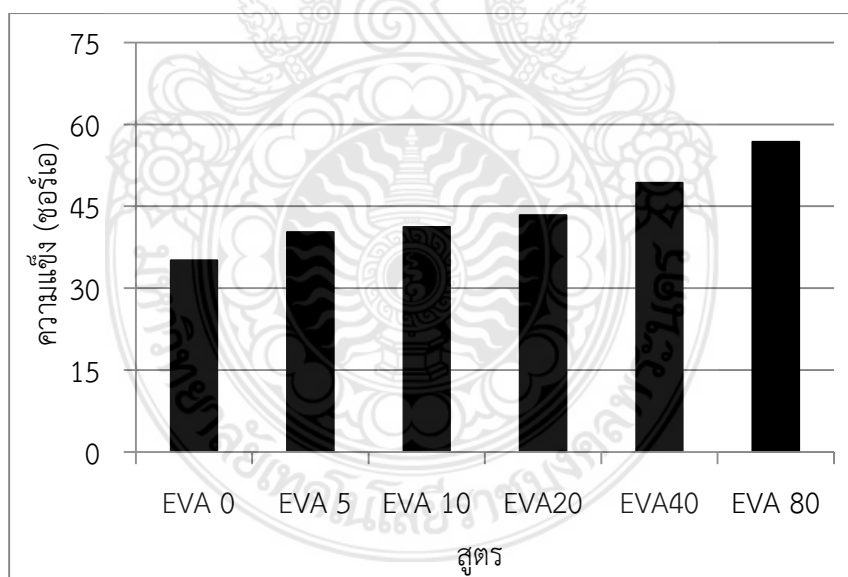
รูปที่ 4.5 ภาพขยายเศษพลาสติกอีวีเอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.6 ภาพขยายกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกอีวีเอสูตร 80 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า

4.3 การทดสอบความแข็ง

ผลจากการทดสอบความแข็งแบบชอร์เอ (Shore-A) ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.7



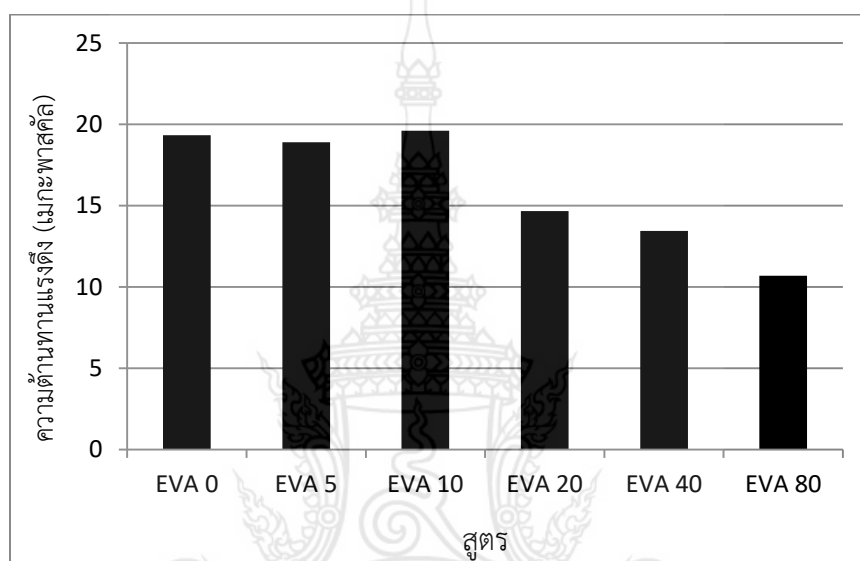
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงผลการทดสอบความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 6 อัตราส่วน พบว่า การผสมเศษพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมากขึ้น มีผลต่อความแข็งของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่เพิ่มสูงขึ้น โดยแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่ผสมเศษพลาสติกอีวีเอ (สูตร EVA 0) จะมีค่าความแข็งต่ำที่สุด รองลงมาคือ แผ่นยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 5, สูตร EVA 10, สูตร EVA 20, สูตร EVA 40 และสูง EVA 80 เป็นอัตราส่วนที่มีความแข็งสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผล

มาจากค่าความแข็งส่วนใหญ่ของเศษพลาสติกอีวีเอมีค่าสูงกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ โดยมีค่าเท่ากับ 40 – 96 ซอร์เอ (Dupont, 2012) ในขณะที่แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ มีค่าความแข็งค่อนข้างต่ำเพียง 35.1 ซอร์เอ ดังนั้น เมื่อผสมเศษพลาสติกอีวีเอลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ จึงทำให้ค่าความแข็งของแผ่นกระเบื้องมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังกล่าว

4.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

สำหรับผลการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 6 สูตร สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 4.8

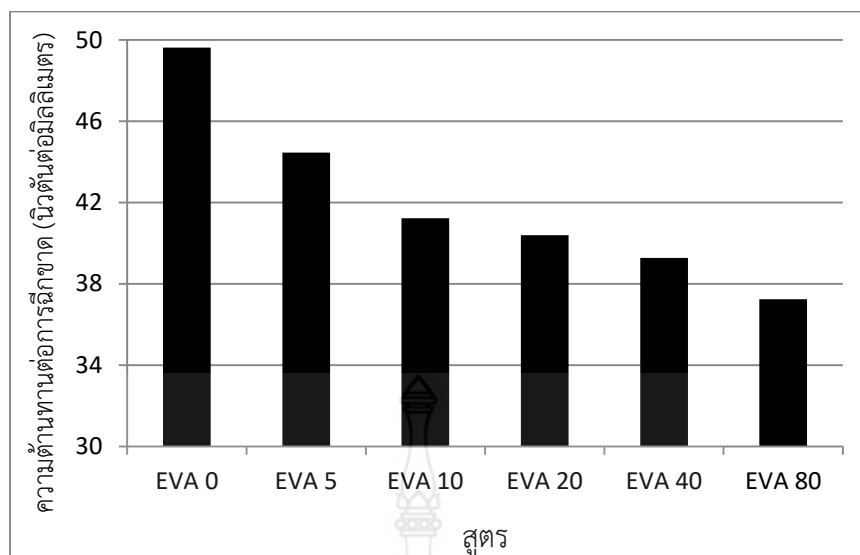


รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตรต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 พบว่า แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่ไม่สูงมาก คือ ไม่เกินกว่าสูตร EVA 10 มีส่วนทำให้ความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอเล็กน้อย แต่เมื่อผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่สูงมากขึ้น ทั้งสูตร EVA 20, สูตร EVA 40 และ EVA 80 จะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงที่ลดต่ำลง ทั้งนี้ เป็นผลมาจากพลาสติกอีวีเอจากโรงงานเป็นวัสดุที่มีความต้านทานแรงดึงใกล้เคียงกับแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ (เท่ากับ 18 ถึง 29 เมกะพาสคัล) (Dupont, 2012) แต่การผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณมาก ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อกระเบื้องยางที่มากขึ้น ดังจะเห็นได้จากความหนาแน่นของกระเบื้องยางที่ลดลง และช่องว่างเหล่านี้จะทำให้พื้นที่รับแรงดึงและค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอดังกล่าวมีค่าลดน้อยลง (Barlow, 1993; Jesse, 1992)

4.5 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด

การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.9

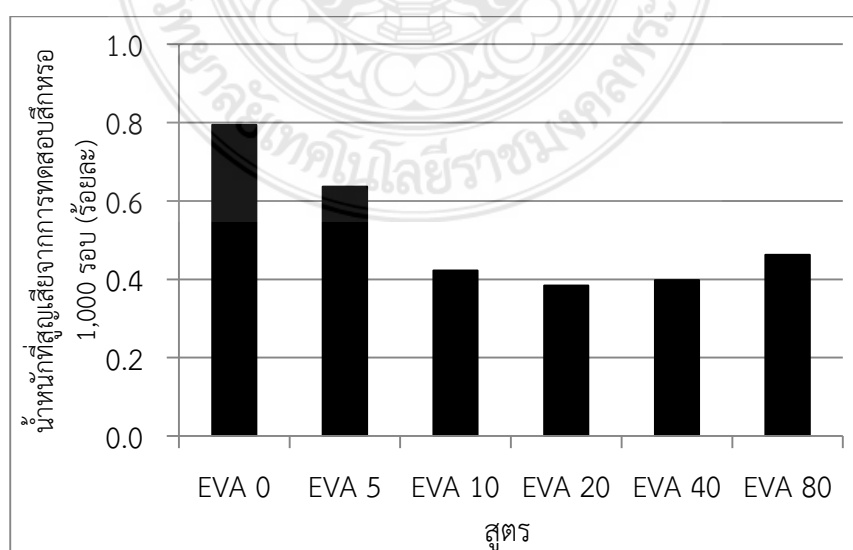


รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางผสมพลาสติกอีวีเอที่อัตราส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 4.9 พบว่า พลาสติกอีวีเอที่ผสมลงในแผ่นกระเบื้องยางที่ปริมาณเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อสมบัติด้านความต้านทานต่อการฉีกขาดที่ลดลง โดยกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ (สูตร EVA 0) จะมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตร EVA 5, สูตร EVA 10, สูตร EVA 20, สูตร EVA 40 และสูตร EVA 80 มีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดต่ำที่สุด ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการที่ปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอมีผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Holfmann, 1989)

4.6 การทดสอบปริมาณการสึกหรอ

จากผลการทดสอบการสึกหรอโดยการนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 6 สูตร มาขัดสีด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอเป็นจำนวน 1,000 รอบ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.10

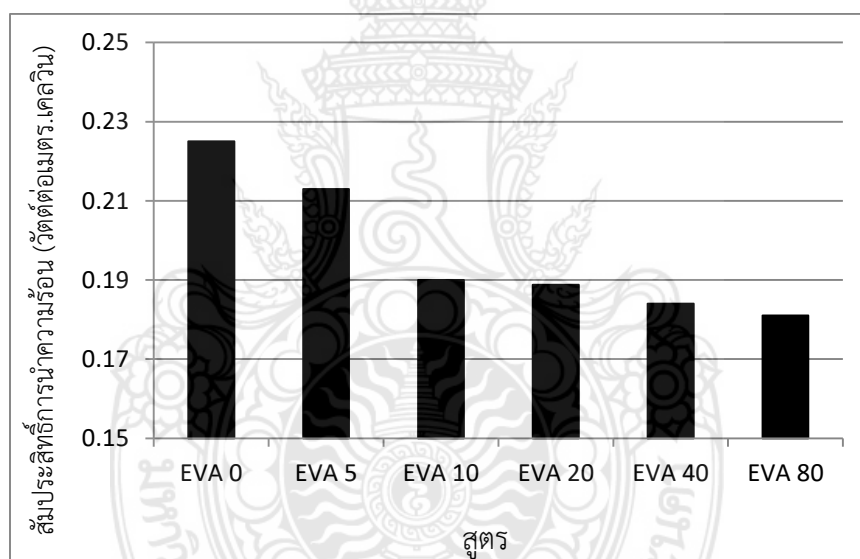


รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

ผลการทดสอบปริมาณการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นต่อความคงทนในการใช้งาน โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรที่มีการสูญเสียน้ำหนักน้อย จะเป็นอัตราส่วนที่สามารถใช้งานได้ยาวนานและคงทนมากกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการสูญเสียน้ำหนักมาก จากรูปที่ 4.10 พบว่า การผสมเศษพลาสติกอีวีเอลงในส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ จะมีผลต่อความต้านทานการสึกหรอที่เพิ่มมากขึ้น หรือมีผลทำให้น้ำหนักที่สูญเสียจากการขัดสีลดลง โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตร EVA 20 เป็นอัตราส่วนที่ต้านทานการสึกหรอที่ดีที่สุด แต่เมื่อผสมพลาสติกอีวีเอในสูตรที่มากกว่า EVA 20 จะเริ่มมีผลทำให้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติเกิดการสึกหรอมีค่าเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ ทั้งหมด ก็ยังคงต่ำกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ

4.7 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

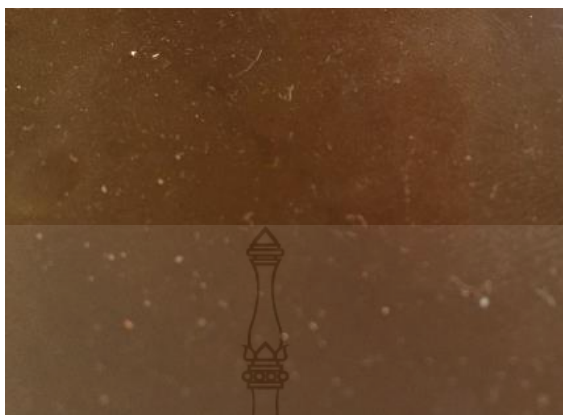
สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.11



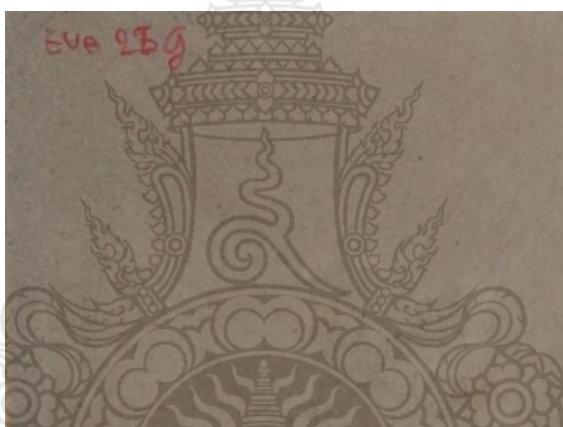
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 4.11 สามารถแสดงให้เห็นว่า พลาสติกอีวีเอมีผลต่อสมบัติด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ลดต่ำลง โดยแผ่นกระเบื้องยางที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตร EVA 5, สูตร EVA 10, สูตร EVA 20, สูตร EVA 40 และสูตร EVA 80 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากพลาสติกอีวีเอที่นำมาใช้เป็นวัสดุที่มีรูพรุน (รูปที่ 4.5) มากกว่ายางธรรมชาติ (Jesse, 1992) ซึ่งรูพรุนดังกล่าวจะมีสมบัติความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีและมีผลต่อสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดต่ำลง (ธัญชัย และคณะ, 2549)

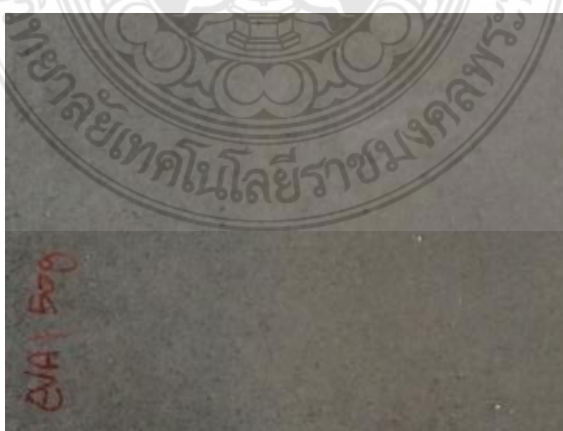
นอกจากคุณสมบัติของกระเบื้องยางธรรมชาติ จะเปลี่ยนไปตามปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอที่ผสมแล้ว ยังมีผลต่อลักษณะและสีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติด้วย ดังรูปที่ 4.12 ถึง 17



รูปที่ 4.12 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 0 สีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ



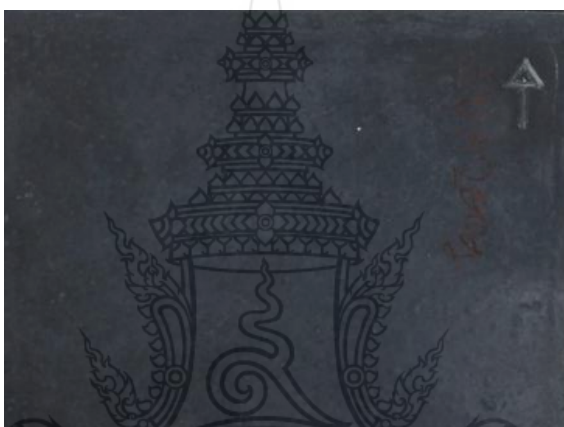
รูปที่ 4.13 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 5 สีเทาอ่อน ผิวเรียบ



รูปที่ 4.14 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 10 สีเทา ผิวเรียบ



รูปที่ 4.15 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 20 สีเทาเข้ม ผิวเริ่มขรุขระ



รูปที่ 4.16 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 40 สีเทาดำ ผิวเริ่มขรุขระ



รูปที่ 4.17 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 80 สีดำ ผิวขรุขระ

จากลักษณะและสีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ดังรูปที่ 4.12 ถึง 4.17 สามารถสรุปได้ว่า

1) พื้นผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรที่มีปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอมาก จะมีลักษณะที่ขรุขระเป็นเม็ดต่างๆ มากกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรที่มีปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอน้อย คล้ายกับการนำเศษพลาสติกอีวีเอที่มีขนาดหยาบมาผสม

2) สีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรที่มีปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอมาก จะมีสีที่เปลี่ยนไปตามสีของเศษพลาสติกอีวีเอชัดเจนกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรที่มีปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอน้อย โดยจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีของเศษพลาสติกอีวีเอ



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินโครงการ “การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง” ในปี ที่ 1 สามารถสรุปและข้อเสนอแนะได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุป

จากการดำเนินงานทั้งหมดของโครงการ สามารถสรุปผลโดยแบ่งตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

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

5.1.2 อัตราส่วนผสมหรือสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติจากเศษขยะพลาสติกอีวีเอความละเอียดสูง คือ สูตร EVA 10 เนื่องจากเป็นสูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกอีวีเอที่มีพื้นผิวเรียบ สนิบ (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

5.1.3 กระบวนการผลิตกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอ เป็นการใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งในการผสมยางธรรมชาติแท่ง สารตัวเติม และพลาสติกอีวีเอ โดยเริ่มจากการบดยางธรรมชาติแท่งก่อน แล้วจึงเติมซิงค์ออกไซด์, กรดสเตียริก, พลาสติกอีวีเอ, เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล, ไดฟีนิลกัวนิดีน และกำมะถัน ตามลำดับ นำส่วนผสมที่ได้ไปอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8.93 ถึง 13.42 นาที ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ

5.1.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอ พบว่า เศษพลาสติกอีวีเอปริมาณที่เหมาะสม สามารถลดความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และความต้านทานการฉีกขาด และเพิ่มความแข็ง ความต้านทานการสึกหรอ และความต้านทานแรงดึงให้กับแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติได้

5.1.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่งในปีที่ 1 สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาต่อไป ควรมีการพัฒนาคุณสมบัติด้านความต้านทานการลามไฟ ตามโครงการวิจัยที่วางแผนไว้ในปีที่ 2 ต่อ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย และมีคุณสมบัติที่โดดเด่นกว่าแผ่นกระเบื้องยางทั่วไป นอกจากนี้ อาจมีการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มเส้นใยต่างๆ ลงไป เพื่อให้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีขึ้นได้

บรรณานุกรม

- คุณพล ทองศรี, 2548. **การออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยพลาสติก**, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ธัญชัย ปกรณ์วรกิจ, พันธุดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. **ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 4.**
- บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530. **ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญญานิช อินทรพัฒน์, 2551. **เทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติจากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติกับเอทิลีนไวนิลอะซิเตทโดยใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิไดเมทิลเมทาคริไลลออกซีเมทิลฟอสเฟตเป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้**, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ประชุม คำพุ่ม และกิตติพงษ์ สุวิโร, 2555. **การใช้น้ำยางวัลคาไนซ์เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท**, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 8, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สคท.), ณ โรงแรมอมารี ออคิเดพัทยา จ.ชลบุรี.
- พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ, 2540. **วัสดุก่อสร้าง**, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528. **สารเคมีสำหรับยาง**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ดรรรชนี พัทธวรากร, 2555. **เทคโนโลยีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์**, เอกสารประกอบการสอน กระบวนการวิชา 262481, ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วราภรณ์ 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.

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.







ก บทความสำหรับเผยแพร่

การพัฒนากระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทแบบละเอียด

Development of Low Cost Natural Rubber Floor Tile Mixed with Finesse Ethylene Vinyl Acetate Plastic Waste

วิหาร ตีปัญญา^{1*} และกิตติพงษ์ สุวิโร²

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

² อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (พลาสติกอีวีเอ) แบบความละเอียด โดยใช้ยางธรรมชาติแท้ STR20 ในปริมาณเท่ากับ 100 phr ต่อเศษขยะพลาสติกอีวีเอที่ผ่านการย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ในปริมาณ 0, 5, 10, 20, 40, และ 80 phr ตามลำดับ และผสมปริมาณสารเคมีในอัตราส่วนคงที่ ประกอบด้วย ซิงค์ออกไซด์ เท่ากับ 5 phr กรดสเตียริก เท่ากับ 2 phr เมอร์แคปโทเบนโซไทโธซอล เท่ากับ 0.5 phr ไดฟีนิลกวานิดีน เท่ากับ 0.2 phr และกำมะถัน เท่ากับ 3 phr ทำการบดผสมด้วยเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง แล้วอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้แผ่นยางธรรมชาติ ขนาด 30x30x0.2 เซนติเมตร ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน ASTM พบว่า กระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ อัตราส่วน 10 พีเอชอาร์ มีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปปูพื้น เนื่องจากมีค่าความแข็ง ความต้านทานแรงดึง และความต้านทานการสึกหรอที่มากขึ้น ส่วนความหนาแน่นและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่มีพลาสติกอีวีเอ

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ; เศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท; ความละเอียดสูง; กระเบื้องปูพื้น

Abstract

This research aims to develop the natural-rubber floor tiles mixed with fineness ethylene vinyl acetate plastic wastes (EVA plastics) from the factories. The study use natural-rubber STR 20 at 100 phr with various contents of EVA plastics (e.g. 0, 5, 10, 20, 40, and 80 phr) and then mixed with chemical substance at constant ratio include zinc oxide at 5 phr, stearic acid at 2 phr, mercaptobenzothiazole at 0.5 phr, diphenyl guanidine at 0.2 phr and sulfur at 3 phr. The samples are ground by two-roll mill and formed by compression molding at 150 degree Celsius with 30x30x0.2 cm of dimension. The properties of the natural-rubber floor tiles are tested under ASTM standard. From the results, it is found that the natural-rubber floor tiles mixed with 10 phr of EVA plastics is the suitable ratio for using as the rubber floor tiles in building. This ratio can increase the hardness, tensile strength and wear resistant properties, and decrease the density and thermal insulation properties when compare to the natural-rubber floor tiles without EVA plastic.

Keywords: natural-rubber; ethylene vinyl acetate plastic waste; high fineness; floor tile

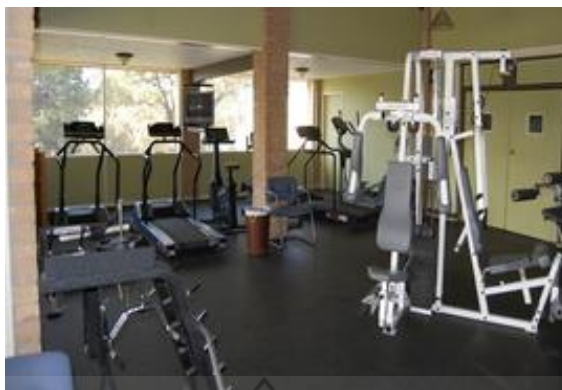
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ยางธรรมชาติหรือยางพารา เป็นพืชเศรษฐกิจที่ได้รับการส่งเสริมจากรัฐบาลให้มีการปลูกอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สกว., 2548) จนทำให้ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากเป็นอันดับต้นๆ ของโลก มีเนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 12.3 ล้านไร่ มีผลผลิตส่งออกปีละประมาณ 2.4 ล้านตัน มูลค่า 100,000 ล้านบาท/ปี ส่งออกไปในรูปน้ำยางข้น (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 จึงเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาราคายางธรรมชาติตกต่ำที่ดีที่สุด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่มีปริมาณความต้องการใช้สูง ตามการขยายตัวของประชากร ที่อยู่อาศัย และเศรษฐกิจ สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากกว่าวัสดุปูพื้นทั่วไป เนื่องจากสมบัติที่ยืดหยุ่นดี พื้นผิวไม่ลื่น เป็นฉนวนไฟฟ้า และอ่อนตัวง่าย จึงช่วยลดการเกิดและความรุนแรงจากอุบัติเหตุ ป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านร่างกาย รวมทั้งใช้ปูพื้นบนผิวต่างๆ ได้ เช่น พื้นคอนกรีต พื้นหินขัด พื้นไม้เก่าหรือใหม่ เป็นต้น ทั้งนี้ พื้นผิวที่ติดตั้งจะต้องมีผิวหน้าเรียบ แข็ง แข่ง และสะอาด ส่วนวิธีการติดตั้งก็ง่ายโดยการใช้เพียงกาวขาว (ไดโนกลู) ก็สามารถยึดแผ่นกระเบื้องยางกับพื้นผิวได้ทันที (พงศ์พันธ์, 2540) แต่ปัญหาที่สำคัญที่สุดของแผ่นกระเบื้องยาง โดยเฉพาะกระเบื้องจากยางธรรมชาติ คือ ต้นทุนที่สูงกว่ากระเบื้องยางสังเคราะห์ เพราะยางธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความจำเป็นต้องใส่สารเติมแต่งค่อนข้างมาก 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

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนากระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทแบบละเอียด เป็นการวิจัยวิจัยที่ให้ความสำคัญกับการบดย่อยพลาสติกอีวีเอให้มีความละเอียดสูง ชนิด และอัตราส่วนผสมที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางต้นทุนต่ำ ซึ่งโครงการนี้นอกจากจะเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติตามนโยบายของรัฐบาลแล้ว ยังช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ยากต่อการกำจัด รวมทั้งมีส่วนพัฒนาประเทศชาติให้มีความมั่นคงด้านราคายางธรรมชาติ และมีสิ่งแวดล้อมที่ดีอย่างยั่งยืนต่อไปได้

2. วัสดุและอุปกรณ์

1) ยางธรรมชาติแท่ง เกรด 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 9



รูปที่ 5 เครื่องบดเศษพลาสติกอีวีเอให้มีขนาดเล็ก



รูปที่ 6 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หรือ 4.75 มิลลิเมตร



รูปที่ 7 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 6 หรือ 3.35 มิลลิเมตร



รูปที่ 8 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 8 หรือ 2.36 มิลลิเมตร



รูปที่ 9 พลาสติกอีวีเอหลังการบดย่อย ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 10 หรือ 2 มิลลิเมตร

- 3) กำมะถัน ชนิด Rhombic Sulfur
- 4) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- 5) กรดสเตียริก (Stearic Acid)
- 6) เมอร์แคปโตเบนโซไทอาซอล (Mercapto Benzthiazole, MBT)
- 7) ไดฟีนิลกัวนิดีน (Diphenyl Guanidine, DPG)
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล
- 9) แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง ขนาด 15 x 15 x 0.2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง

- 10) ตู้อบ
- 11) ชุดอุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น ได้แก่ ตลับเมตร, เวอร์เนียคาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์
- 12) เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two - Roll Mill) ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

13) เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Compression Molding) ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

14) เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney Viscometer) ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 เครื่องทดสอบความหนืด

15) เครื่องทดสอบการคงรูป (Oscillating Disc Rheometer, ODR) ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 เครื่องทดสอบการคงรูป

16) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

17) เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ (Shore A) ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ

18) เครื่องทดสอบความสึกหรอของยาง (Abrasion Resistance) ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 เครื่องทดสอบความสึกหรอของยาง

19) เครื่องตัดตัวอย่าง ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 เครื่องตัดตัวอย่าง

3. การออกแบบอัตราส่วนผสม

ออกแบบอัตราส่วนผสมหรือสูตรของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอความละเอียดสูง เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ต่อไป โดยมีส่วนผสม ได้แก่ ยางธรรมชาติ ชนิดแท่งเกรด STR20, ซิงค์ออกไซด์, กรดสเตียริก, กำมะถัน, เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล, 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	ยาง แท่ง STR 20	ซิงค์ ออก ไซด์	กรด สเตีย ริก	กำ มะ ถัน	เมอร์ แคบ โต เบนโซ ไทเอ ซอล	ไดฟิ นิล กัวนิ ติน	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 1 มาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ พบว่า สูตร EVA#10 ซึ่งใช้เศษพลาสติกอีวีเอผ่านตะแกรงเบอร์ 10 เป็นสูตร หรือขนาดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีลักษณะที่เรียบที่สุด รองลงมาคือ สูตร EVA#8, สูตร EVA#6 และ สูตร EVA#4 ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีลักษณะที่หยาบที่สุด ตามลำดับ ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 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	ซิงค์ ออกไซด์	กรด สเตียริก	กำมะถัน	เมอร์ แคบโต เบนโซ ไทเอซอล	ไดฟนิล กัวนิติน	พลาสติก อีวีเอ เบอร์ 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

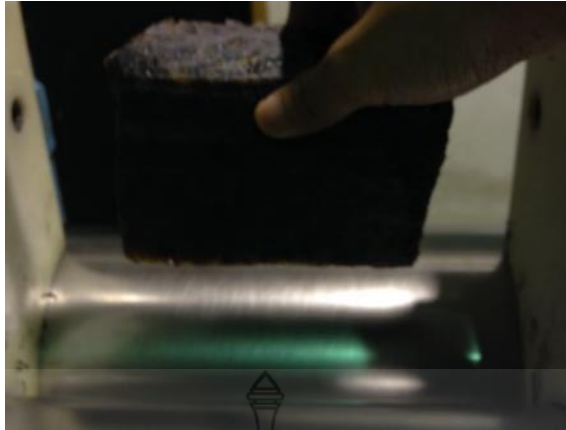
4. การขึ้นรูปตัวอย่าง

1) ชั่งน้ำหนักส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอตามทีออกแบบ ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 ส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ

2) บดยางธรรมชาติแท่ง เกรด STR20 สำหรับผสมส่วนผสมอื่นๆ ด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสอง ลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วปานกลาง ดังรูปที่ 21 และ 22



รูปที่ 21 การใส่ยางธรรมชาติลงในเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

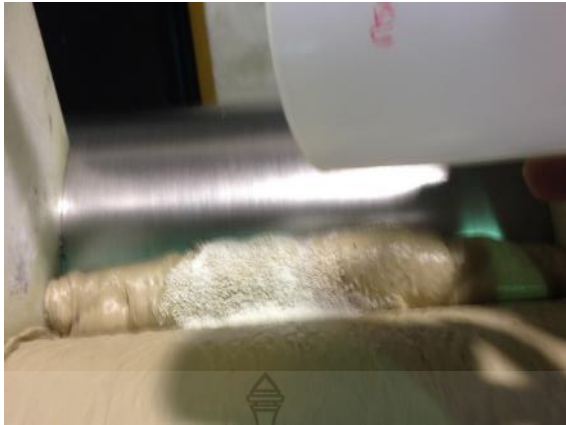


รูปที่ 22 การบดผสมยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

3) ทอยเติมสารซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริกลงในส่วนผสมที่กำลังบด ดังรูปที่ 23 และ 24



รูปที่ 23 การผสมสารซิงค์ออกไซด์ลงในยางธรรมชาติ



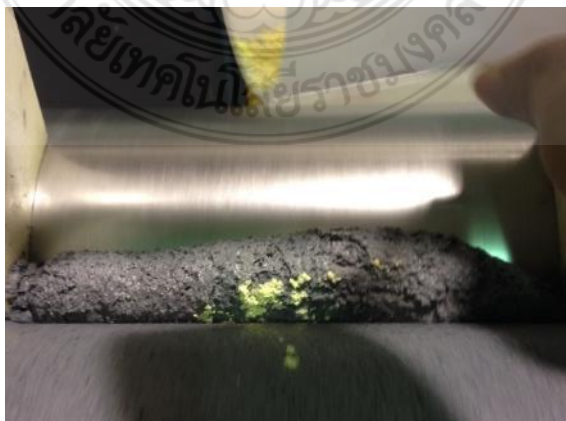
รูปที่ 24 การผสมกรดสเตียริกลงในยางธรรมชาติ

4) เติมเศษพลาสติกอีวีเอที่ผ่านการบดย่อยแล้วลงในยางธรรมชาติที่บดภายในเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 25

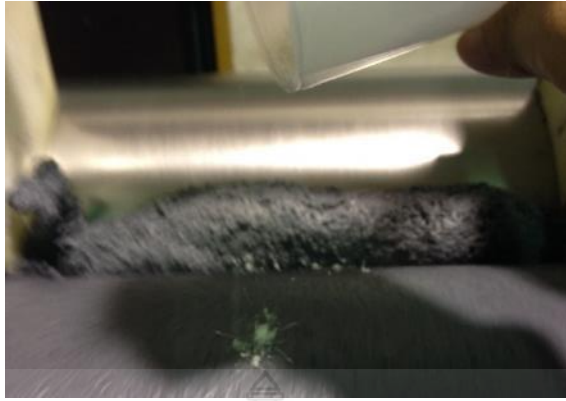


รูปที่ 25 การเติมเศษพลาสติกอีวีเอลงในยางธรรมชาติ

5) เติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอลและไดฟีนิลกัวนิตินลงไปในส่วนผสม ดังรูปที่ 26 และ 27



รูปที่ 26 การเติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอลลงในยางธรรมชาติ



รูปที่ 27 การเติมไดฟีนิลกัวนิตินลงในยางธรรมชาติ

6) ผสมส่วนผสมจนเข้ากัน แล้วจึงเติมกำมะถันเพื่อช่วยให้ส่วนผสมเกิดการคงรูป ดังรูปที่ 28



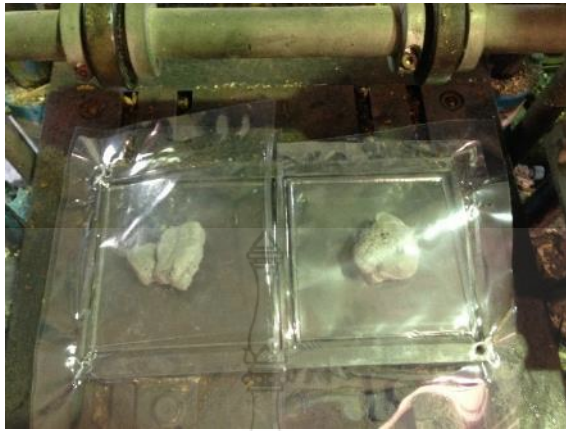
รูปที่ 28 การเติมกำมะถันลงในยางธรรมชาติ

7) ทดสอบการคงรูปของส่วนผสมทั้งหมด โดยใช้เครื่องทดสอบความหนืด และเครื่องทดสอบการคงรูป (ODR) ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 การทดสอบความหนืดของส่วนผสม

8) นำส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วใส่ลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับป้องกันการติดแบบของส่วนผสม เพื่อขึ้นรูปเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ดังรูปที่ 30 และ 31



รูปที่ 30 นำส่วนผสมใส่ลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับป้องกันการติดแบบของส่วนผสม



รูปที่ 31 การนำส่วนผสมที่เข้ากันแล้วใส่ในเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

9) ขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนยางธรรมชาติเกิดการคงรูป ดังรูปที่ 32 และ 33



รูปที่ 32 การตั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดความร้อน



รูปที่ 33 การอัดขึ้นรูปส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ

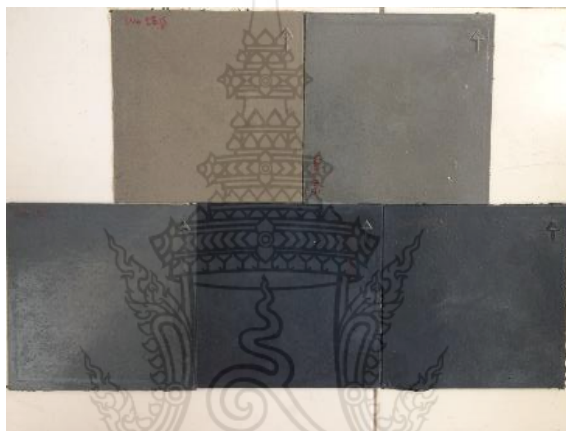
10) นำแผ่นกระเบื้องยางที่ขึ้นรูปแล้ว ออกจากแบบหล่อและแผ่นพลาสติกทรงแบบ ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สำหรับนำไปใช้งานและทดสอบต่อไป ดังรูปที่ 34 ถึง 36



รูปที่ 34 การนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอออกจากแบบหล่อ



รูปที่ 35 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ 1 สุต



รูปที่ 36 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอทั้ง 5 สุต

11) ทดสอบสมบัติต่างๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM, 2014) และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้จำนวนตัวอย่างทดสอบ 5 ตัวอย่างต่ออัตราส่วนต่อการทดสอบ ประกอบด้วย ความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D1817 การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D570 ความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ความต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D412 ความทนการฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D624 ความสึกหรอ ตามมาตรฐาน ASTM D1630 และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177



รูปที่ 37 ชิ้นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 38 การยืดตัวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 39 การทดสอบความทนการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ



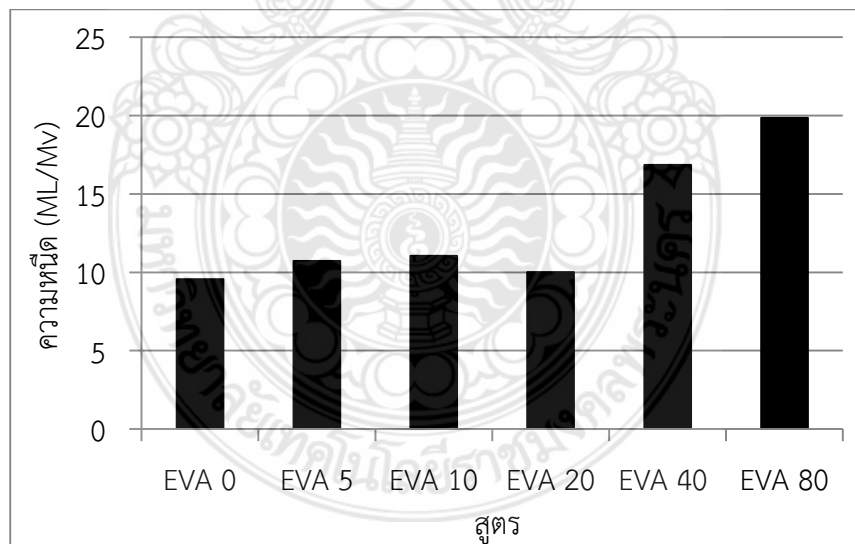
รูปที่ 40 การทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

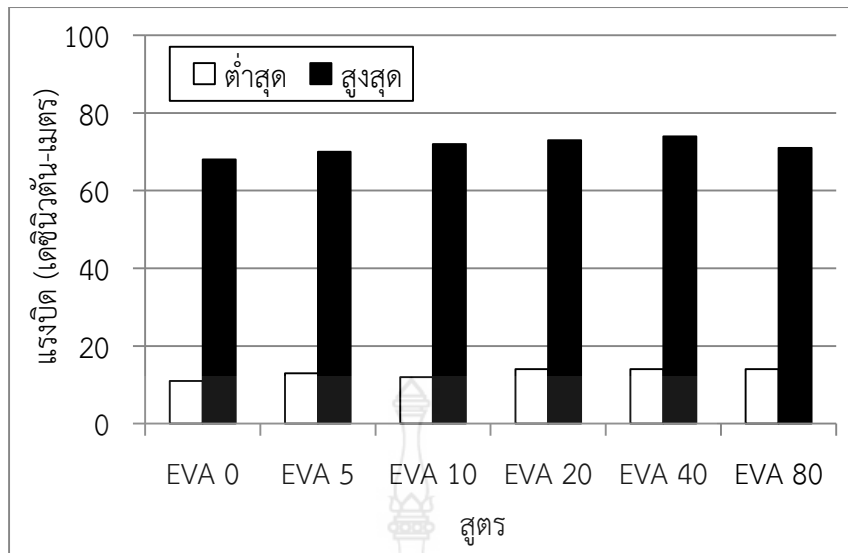
จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวโนลอะซิเตท (อีวีเอ) ความละเอียดสูงจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามมาตรฐาน ASTM และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

5.1 การทดสอบความหนืดและการคงรูปของส่วนผสม

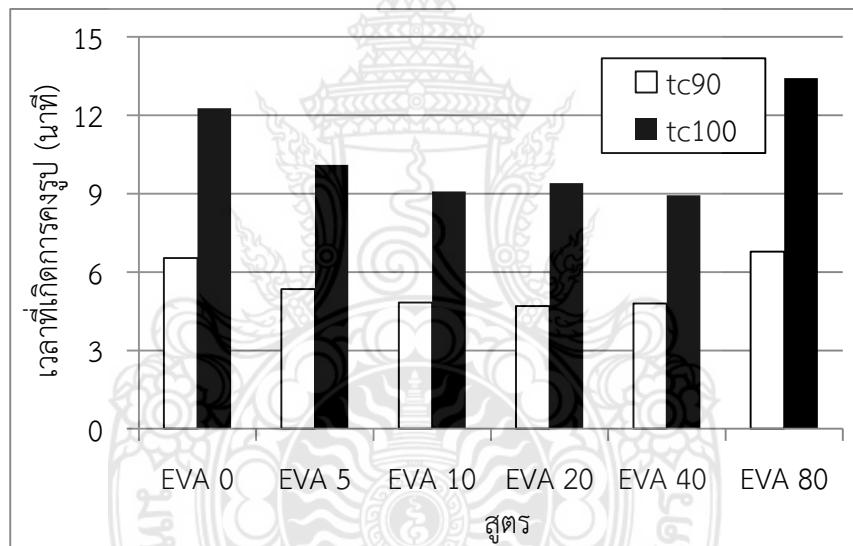
ผลการทดสอบความหนืดและการคงรูปของส่วนผสมในชั้นรูปแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอทุกสูตร สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 41 ถึง 43



รูปที่ 41 ผลการทดสอบความหนืดส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ



รูปที่ 42 ผลการทดสอบแรงบิดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

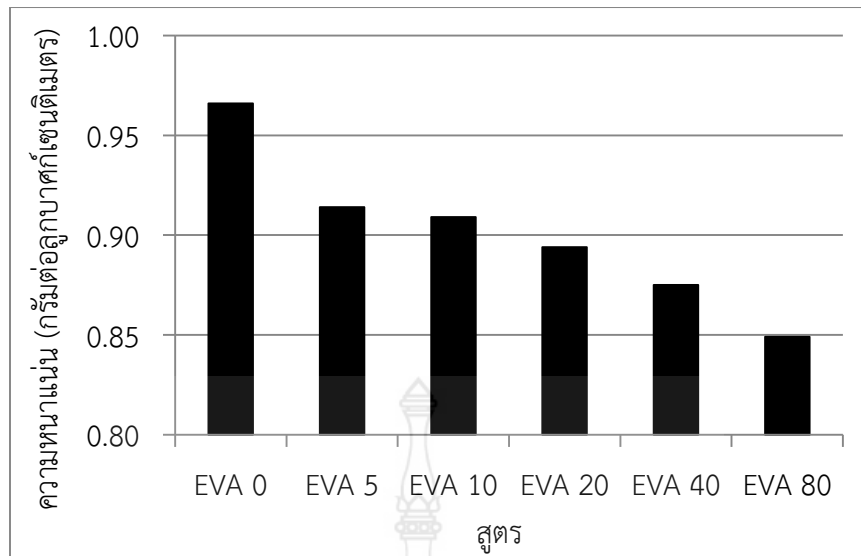


รูปที่ 43 ผลการทดสอบเวลาที่เกิดการคงรูประหว่าง ts_2 และ tc_{90} ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 41 ถึง 43 พบว่า การผสมเศษพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้ส่วนผสมมีความหนืดและค่าแรงบิดต่ำสุดขณะกระบวนการคงรูปมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเมื่อนำส่วนผสมดังกล่าวไปใส่แบบหล่อและอัดขึ้นรูป จะให้การไหลตัวของส่วนผสมทำได้ยากมากขึ้น ส่วนระยะเวลาใช้ในการคงรูปแผ่นกระเบื้องยางของส่วนผสมที่มีปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอมากจะมีค่าลดลง แต่การผสมเศษพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้เวลาที่ใช้ในการคงรูปของส่วนผสมกลับเพิ่มมากขึ้น

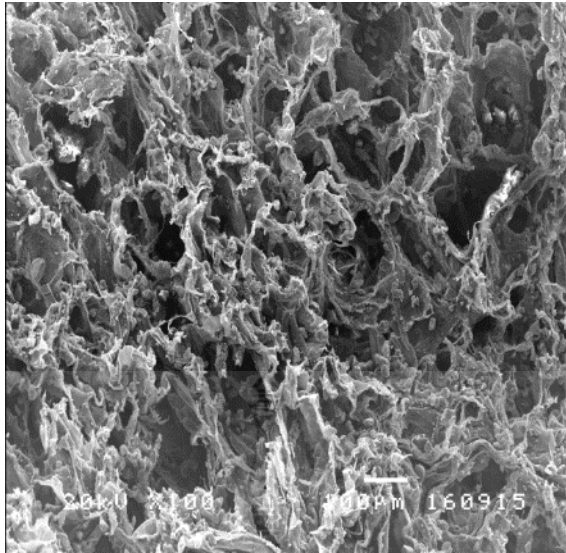
5.2 การทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 44

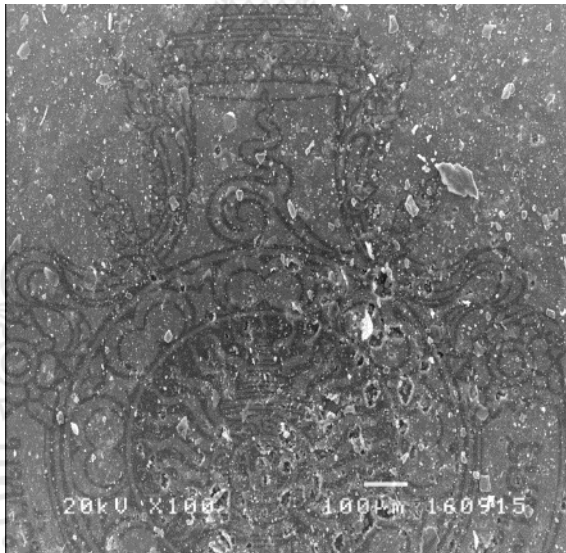


รูปที่ 44 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 44 พบว่า การผสมเศษพลาสติกอีวีเอลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอปริมาณมากขึ้น จะมีผลทำให้ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติต่ำกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ หรือผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณน้อย โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่มีการผสมพลาสติกอีวีเอ (สูตร EVA 0) มีความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอสูตร EVA 5, สูตร EVA 10, สูตร EVA 20, สูตร EVA 40 และแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอสูตร EVA 80 เป็นสูตรที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากลักษณะความพรุนของเนื้อพลาสติกอีวีเอ (รูปที่ 45) และความหนาแน่นของเศษพลาสติกอีวีเอที่มีค่าประมาณ 0.930 - 0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Dupont, 2012) ซึ่งต่ำกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ (สูตร EVA 0) ที่เท่ากับ 0.966 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้ การผสมพลาสติกอีวีเอลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ จะทำให้เกิดช่องว่างขนาดเล็กภายในเนื้อขึ้น (ดังรูปที่ 46) เหล่านี้ จะทำให้ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอมีแนวโน้มต่ำลง (Subramaniam, 1980) อย่างไรก็ตาม ช่องว่างภายในเนื้อที่เกิดขึ้นเบื้องต้น จะยังคงเล็กมากและไม่ทำให้เกิดการดูดซึมน้ำ หรือมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0



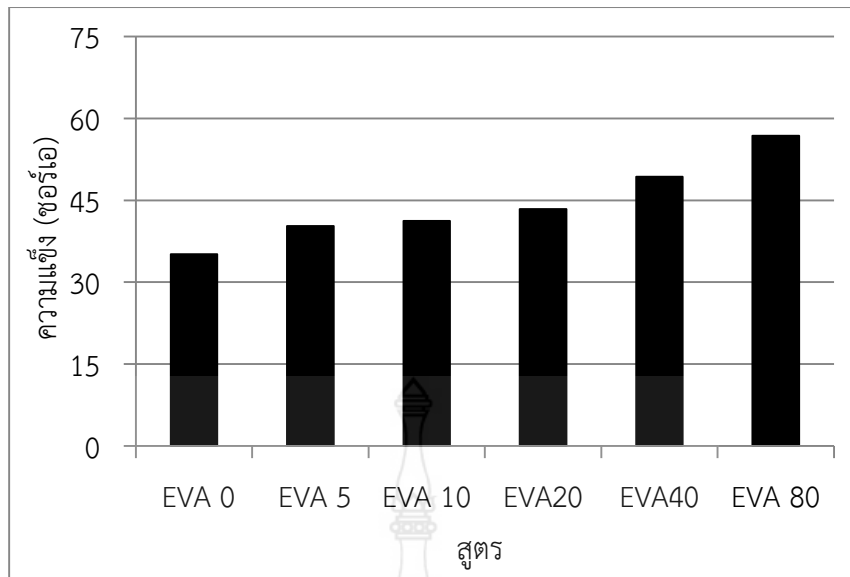
รูปที่ 45 ภาพขยายเศษพลาสติกอีวีเอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 46 ภาพขยายกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกอีวีเอสูตร 80 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า

5.3 การทดสอบความแข็ง

ผลจากการทดสอบความแข็งแบบชอร์เอ (Shore-A) ของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 47

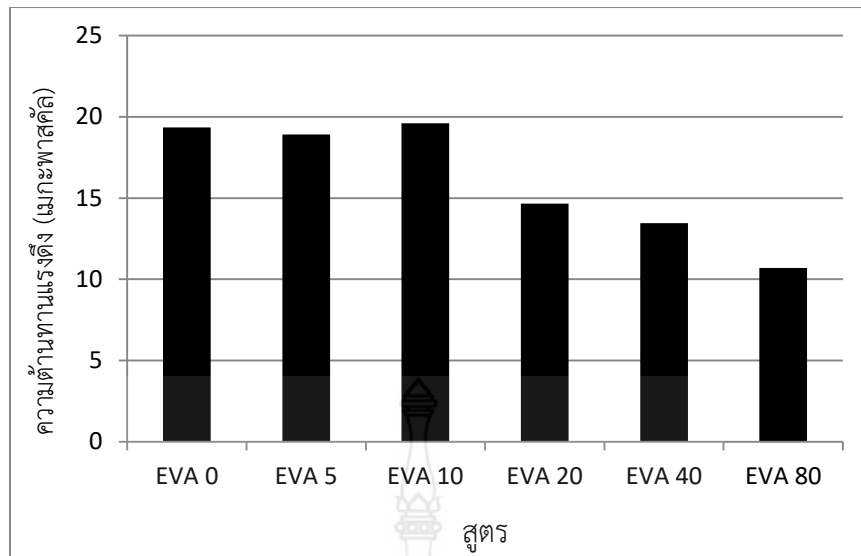


รูปที่ 47 ผลการทดสอบความแข็งแรงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 47 ซึ่งแสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 6 อัตราส่วน พบว่า การผสมเศษพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมากขึ้น มีผลต่อความแข็งแรงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่เพิ่มสูงขึ้น โดยแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่ผสมเศษพลาสติกอีวีเอ (สูตร EVA 0) จะมีความแข็งแรงต่ำที่สุด รองลงมาคือ แผ่นยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 5, สูตร EVA 10, สูตร EVA 20, สูตร EVA 40 และสูง EVA 80 เป็นอัตราส่วนที่มีความแข็งแรงสูงสุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากค่าความแข็งแรงส่วนใหญ่ของเศษพลาสติกอีวีเอมีค่าสูงกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ โดยมีค่าเท่ากับ 40 – 96 ชาร์เอ (Dupont, 2012) ในขณะที่แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ มีความแข็งแรงค่อนข้างต่ำเพียง 35.1 ชาร์เอ ดังนั้น เมื่อผสมเศษพลาสติกอีวีเอลงในแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ จึงทำให้ค่าความแข็งแรงของแผ่นกระเบื้องมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังกล่าว

5.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

สำหรับผลการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 6 สูตร สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 48

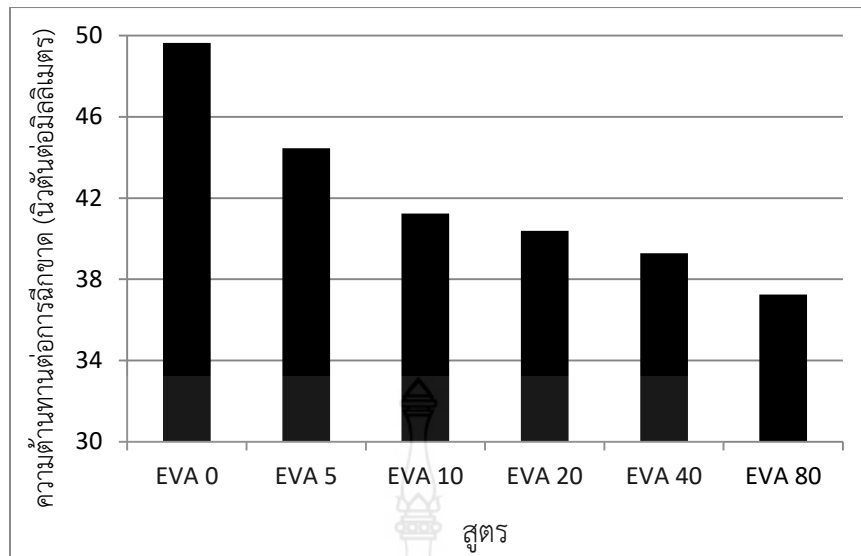


รูปที่ 48 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตรต่างๆ

จากรูปที่ 48 พบว่า แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่ไม่สูงมาก คือ ไม่เกินกว่าสูตร EVA 10 มีส่วนทำให้ความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอเล็กน้อย แต่เมื่อผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณที่สูงมากขึ้น ทั้งสูตร EVA 20, สูตร EVA 40 และ EVA 80 จะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงที่ลดต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากพลาสติกอีวีเอจากโรงงานเป็นวัสดุที่มีความต้านทานแรงดึงใกล้เคียงกับแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ (เท่ากับ 18 ถึง 29 เมกะพาสคัล) (Dupont, 2012) แต่การผสมพลาสติกอีวีเอในปริมาณมาก ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อกระเบื้องยางที่มากขึ้น ดังจะเห็นได้จากความหนาแน่นของกระเบื้องยางที่ลดลง และช่องว่างเหล่านี้จะทำให้พื้นที่รับแรงดึงและค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอดังกล่าวมีค่าน้อยลง (Barlow, 1993; Jesse, 1992)

5.5 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด

การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 49

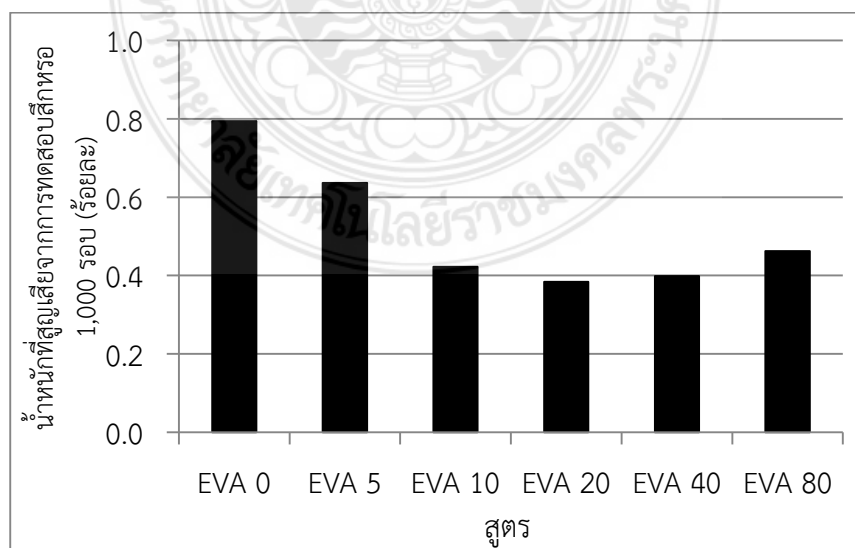


รูปที่ 49 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของแผ่นกระเบื้องยางผสมพลาสติกอีวีเอที่อัตราส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 49 พบว่า พลาสติกอีวีเอที่ผสมลงในแผ่นกระเบื้องยางที่ปริมาณเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อสมบัติด้านความต้านทานต่อการฉีกขาดที่ลดลง โดยกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ (สูตร EVA 0) จะมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตร EVA 5, สูตร EVA 10, สูตร EVA 20, สูตร EVA 40 และสูตร EVA 80 มีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดต่ำที่สุด ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการที่ปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอมีผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Holfmann, 1989)

5.6 การทดสอบปริมาณการสึกหรอ

จากผลการทดสอบการสึกหรอโดยการนำแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอ ทั้ง 6 สูตร มาขัดสีด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอเป็นจำนวน 1,000 รอบ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 50

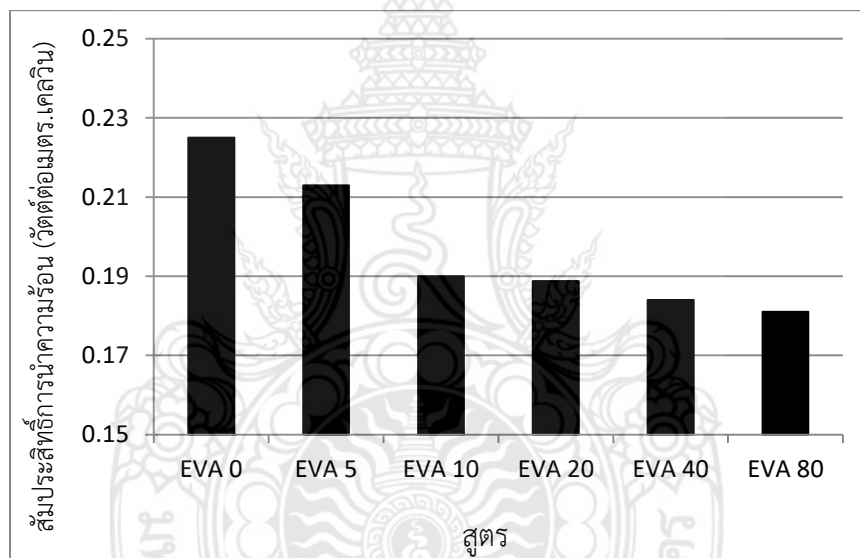


รูปที่ 50 ผลการทดสอบการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

ผลการทดสอบปริมาณการสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นต่อความคงทนในการใช้งาน โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรที่มีการสูญเสียน้ำหนักน้อย จะเป็นอัตราส่วนที่สามารถใช้งานได้ยาวนานและคงทนมากกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่มีการสูญเสียน้ำหนักมาก จากรูปที่ 50 พบว่า การผสมเศษพลาสติกอีวีเอลงในส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติ จะมีผลต่อความต้านทานการสึกหรอที่เพิ่มมากขึ้น หรือมีผลทำให้น้ำหนักที่สูญเสียจากการขัดสีลดลง โดยแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตร EVA 20 เป็นอัตราส่วนที่ต้านทานการสึกหรอที่ดีที่สุด แต่เมื่อผสมพลาสติกอีวีเอในสูตรที่มากกว่า EVA 20 จะเริ่มมีผลทำให้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติเกิดการสึกหรอมีค่าเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การสึกหรอของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ ทั้งหมด ก็ยังคงต่ำกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ

5.7 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 51



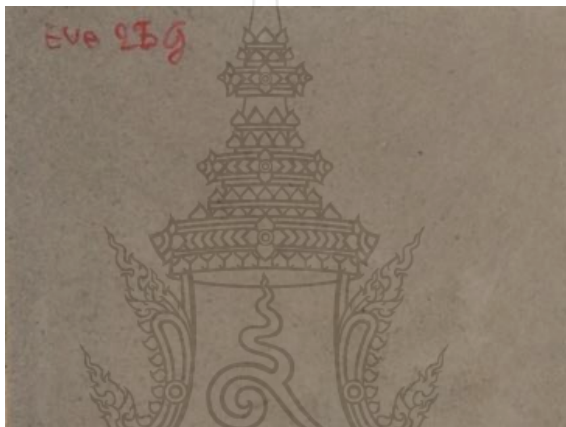
รูปที่ 51 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรต่างๆ

จากรูปที่ 51 สามารถแสดงให้เห็นว่า พลาสติกอีวีเอมีผลต่อสมบัติด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอที่ลดต่ำลง โดยแผ่นกระเบื้องยางที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตร EVA 5, สูตร EVA 10, สูตร EVA 20, สูตร EVA 40 และสูตร EVA 80 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากพลาสติกอีวีเอที่นำมาใช้เป็นวัสดุที่มีรูพรุน (รูปที่ 45) มากกว่ายางธรรมชาติ (Jesse, 1992) ซึ่งรูพรุนดังกล่าวจะมีสมบัติความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีและมีผลต่อสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดต่ำลง (ธนัญชัย และคณะ, 2549)

นอกจากคุณสมบัติของกระเบื้องยางธรรมชาติ จะเปลี่ยนไปตามปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอที่ผสมแล้ว ยังมีผลต่อลักษณะและสีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติด้วย ดังรูปที่ 52 ถึง 57



รูปที่ 52 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่ผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 0 สีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ



รูปที่ 53 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 5 สีเทาอ่อน ผิวเรียบ



รูปที่ 54 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 10 สีเทา ผิวเรียบ



รูปที่ 55 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 20 สีเทาเข้ม ผิวเริ่มขรุขระ



รูปที่ 56 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 40 สีเทาดำ ผิวเริ่มขรุขระ



รูปที่ 57 แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ สูตร EVA 80 สีดำ ผิวขรุขระ

จากลักษณะและสีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ ดังรูปที่ 52 ถึง 57 สามารถสรุปได้ว่า พื้นผิวของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรที่มีปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอมาก จะมีลักษณะที่ขรุขระเป็นเม็ดต่างๆ มากกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรที่มีปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอน้อย คล้ายกับการนำเศษพลาสติกอีวีเอที่มีขนาดหยาบมาผสม และสีของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรที่มีปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอมาก จะมีสีที่เปลี่ยนไปตามสีของเศษพลาสติกอีวีเอชัดเจนกว่าแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอสูตรที่มีปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอน้อย โดยจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีของเศษพลาสติกอีวีเอ

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนากระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทแบบละเอียด สามารถสรุปได้ว่า เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) สามารถบดย่อยให้มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องบดพลาสติก พร้อมตะแกรงเบอร์ 10 ทำให้ได้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูง สำหรับใช้เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุ่นต่ำได้ โดยอัตราส่วนผสมหรือสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระเบื้องยางธรรมชาติจากเศษขยะพลาสติกอีวีเอความละเอียดสูง คือ สูตร EVA 10 เนื่องจากเป็นสูตรกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกอีวีเอที่มีพื้นผิวเรียบ สีอ่อน (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 ทั้งนี้ กระบวนการผลิตกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอ เป็นการใช้เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้งในการผสมยางธรรมชาติแท่ง สารตัวเติม และพลาสติกอีวีเอ โดยเริ่มจากการบดยางธรรมชาติแท่งก่อน แล้วจึงเติมซิงค์ออกไซด์, กรดสเตียริก, พลาสติกอีวีเอ, เมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล, ไดฟีนิลกัวนิดีน และกำมะถัน ตามลำดับ นำส่วนผสมที่ได้ไปอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8.93 ถึง 13.42 นาที ได้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ โดยผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของกระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอ พบว่า เศษพลาสติกอีวีเอปริมาณที่เหมาะสมสามารถลดความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และความต้านทานการฉีกขาด และเพิ่มความแข็งแรง ความต้านทานการสึกหรอ และความต้านทานแรงดึงให้กับแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติได้

ในการศึกษาต่อไป ควรมีการพัฒนาคุณสมบัติด้านความต้านทานการลามไฟ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย และมีคุณสมบัติที่โดดเด่นกว่าแผ่นกระเบื้องยางทั่วไป นอกจากนี้ อาจมีการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มเส้นใยต่างๆ ลงไป เพื่อให้แผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีขึ้นได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2560 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

8. บรรณานุกรม

- ธัญชัย ปคุณวรกิจ, พันธดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุ่่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. **วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 4.**
- ประชุม คำพุดม และกิตติพงษ์ สุวิโร, 2555. การใช้น้ำยางวัลคาไนซ์เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเศษพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท, **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 8, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สคท.), ณ โรงแรมอมารี ออคิดพัทยา จ.ชลบุรี.**
- พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ, 2540. **วัสดุก่อสร้าง**, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2548. **ประกาศการขอรับทุนโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่อง ยางพารา**, โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม, 7 หน้า.
- 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.
- 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.

ข หนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์





บริษัท อริยะสุทธิ อินเตอร์เทรด จำกัด

ARIYASUTTHI INTERTRADE CO.,LTD.

261/255 หมู่ที่ 4 ถนน รังสิต - นครนายก ตำบลรังสิต อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0 2159 0667

วันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2560

เรื่อง ขอขอบคุณ ผศ.ดร. วิหาร ตีปัญญา งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติ
ต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง
เรียน อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตามที่ บริษัท อริยะสุทธิ อินเตอร์เทรด จำกัด ได้นำเอาผลงานวิจัย ของ ผศ.ดร. วิหาร ตีปัญญา งานวิจัยเรื่อง การ
พัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท
ความละเอียดสูงเป็นสารเติมแต่ง ไปใช้ในการปูพื้นอาคารสำหรับผู้สูงอายุ ทำให้สามารถลดปริมาณการนำเข้ากระเบื้องยางจาก
ต่างประเทศ และเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นผลให้บริษัท สามารถลดค่าใช้จ่ายและมีรายได้เพิ่มขึ้น

ในการนี้ ทางบริษัทจึงขอขอบคุณมายัง ผศ.ดร. วิหาร ตีปัญญาในงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยาง
ธรรมชาติต้นทุนต่ำที่มีสมบัติต้านทานการลามไฟและใช้เศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทความละเอียดสูงเป็นสารเติม
แต่ง และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความช่วยเหลือ มา ณ ที่นี้

ขอแสดงความนับถือ

นายรัชชัย อริยะสุทธิ
ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ

ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิหาร ดีปัญญา
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Assistant Professor Dr. Wiharn Deepanya
2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. สังกัด สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กระทรวงศึกษาธิการ
เลขที่ 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ
กรุงเทพมหานคร 10800
4. E-mail wiharn.d@rmutp.ac.th
5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันฯ	ประเทศ
2528	ตรี	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	วิศวกรรมอุตสาหการ	วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา	ไทย
2542	โท	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต	บริหารและเทคนิคศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ไทย
2549	เอก	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมดุษฎีบัณฑิต	บริหารและเทคนิคศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ไทย



