

เศษยางอีวีเอพื้นรองเท้านำกลับมาใช้ใหม่ผสมยางอีพีดีเอ็ม

Reused of EVA Waste Rubber Soles Blended EPDM

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี^{1*} และ จุฑารัตน์ คำปิ่น¹

¹ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

*Corresponding author, E-mail: ksaovane@gmail.com

บทคัดย่อ

เศษยางพื้นรองเท้า EVA (Ethylene vinyl acetate) จากขั้นตอนการผลิตในโรงงานผลิตรองเท้า แต่ละวันมีพื้นรองเท้าจำนวนมากเป็นของเสียและกลายเป็นขยะสิ่งแวดล้อม การนำเศษยางพื้นรองเท้าที่ไม่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่โดยการผสมร่วมกับยาง EPDM (ethylene propylene diene terpolymer) สามารถใช้เป็นสารตัวเติมที่เสริมประสิทธิภาพได้ดี เศษยางพื้นรองเท้า EVA บดให้มีขนาดเล็กประมาณ 10 เมช ในปริมาณ 30 - 300 ส่วนในยาง EPDM 100 ส่วน พบว่าสมบัติความหนืดของยางคอมปาวด์มีค่าเพิ่มขึ้นแปรตามปริมาณเศษยาง การใส่เศษยาง EVA เป็นสารตัวเติมในยางคอมปาวด์ EPDM ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน 1 phr ทำให้อย่างวัลคาไนซ์มีสมบัติเชิงกลดี สมบัติความแข็ง ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของเศษยาง EVA โดยปริมาณเศษยางพื้นรองเท้า EVA นำกลับมาใช้ใหม่ปริมาณ 200 ส่วนในยาง EPDM 100 ส่วน มีสมบัติทนต่อแรงดึงที่สูงที่สุด สามารถใช้ส่วนผสมยางทำเป็นแผ่นยางปูพื้นสนามกีฬา

คำสำคัญ: ยางอีวีเอ อีพีดีเอ็ม ของเสีย ยางวัลคาไนซ์ ยางปูพื้น

Abstract

Waste footwear soles of EVA (Ethylene vinyl acetate) were produced from shoes industrial. Each day, a lot of waste soles was produced and became environmental garbage waste. Waste rubber soles were reused by blending in EPDM (ethylene propylene diene terpolymer) as reinforcing filler. Waste rubber soles of EVA were ground into a small size about 10 mesh and were loaded 30-300 parts into 100 part of EPDM. It was found that the viscosity of compounded rubber blended was increased as loading filler increased. Waste footwear soles loaded into EPDM rubber compounds with sulphur vulcanizate system was found to obtain the vulcanized rubbers of good physical properties. The hardness, tensile strength and tear strength properties were increased as EVA waste filler loading increase. Loaded EVA waste rubber sole of 200 parts blended EPDM 100 parts could achieve the highest tensile strength property. This compounded rubber can be used to produce rubber flooring stadium.

Keywords: EVA , EPDM, waste, vulcanized rubber, rubber flooring

1. บทนำ

รองเท้าแตะฟองน้ำมีการใช้ในชีวิตประจำวันค่อนข้างมาก บริษัทศรีสำอาง ชัพพลายเออร์จำกัด [1] ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตรองเท้าจากยาง EVA (17% EVA) รายงานว่ากำลังการผลิตรองเท้าประมาณ 5,000 – 15,000 คู่ต่อวัน จะมีของเสียหรือเศษวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตไม่ต่ำกว่า 1 ตันต่อวัน ในแต่ละวันจึงมีเศษยาง และเศษวัสดุที่ต้องทิ้งเป็นจำนวนมาก การนำเศษยางและของเสียกลับมาใช้ใหม่จะเป็นการลดต้นทุนการผลิต จึงมีความสำคัญและเป็นที่สนใจของอุตสาหกรรมอย่างมาก วรุณี [2] ได้ศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เศษยางฟองน้ำเป็นสารตัวเติมโดยแปรขนาดของเศษยางฟองน้ำที่ใส่ในยาง พบว่าขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช ไม่มีผลต่อสมบัติยางคอมปาวด์ เช่น ความหนืด เวลาบดอัด เวลาวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ รวมทั้งไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ เช่น 100% และ 200% มอดูลัส ระยะยืดจนขาด ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความแข็ง ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และความถ่วงจำเพาะ Ishiaku [3] ใช้เศษยางที่ได้จากการขัดผิวยางลูกบอลเพื่อสารลดต้นทุนยางธรรมชาติ พบว่ายางคอมปาวด์จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เวลาบดอัดและเวลาวัลคาไนซ์ลดลง และมีแนวโน้มเกิดการรีเวอร์ชันมากขึ้นเมื่อปริมาณเศษยางเพิ่มขึ้น การใส่เศษยางเป็นสารตัวเติมทำให้สมบัติ 300% มอดูลัสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนการกระด้างตัวไม่เปลี่ยนแปลง Imai [4] ได้ศึกษาเตรียมเศษยางจากการอัดเข้าลูกบอลขนาด 250-500 ไมครอน ใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติปริมาณ 0-50 phr พบว่าค่าความหนืดของยางคอมปาวด์มีค่าเพิ่มขึ้น เวลาบดอัดและเวลาวัลคาไนซ์มีแนวโน้มลดลง สมบัติ 100 % และ 300% มอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ระยะยืดจนขาดมีค่าลดลง งานวิจัยนี้เป็นการนำเศษยาง EVA มาผสมกับยาง EPDM เพื่อศึกษาผลของการใช้เศษยางพื้นรองเท้าฟองน้ำ EVA ใส่เป็นสารตัวเติมปริมาณต่างๆ ในยางคอมปาวด์ EPDM ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันต่อสมบัติเชิงกล และการนำไปสู่การใช้งานแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จริงได้

2. วัสดุ-อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุ

เศษยางพื้นรองเท้าฟองน้ำ EVA จากบริษัท ศรีสำอางค์ ชัพพลายเออร์ จำกัด นำมาบดให้มีขนาดประมาณ 10 เมช ใช้เป็นสารลดต้นทุน, ยาง EPDM เกรด 7001 และสารเติมแต่งอื่นๆ ที่ใช้ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ ใช้เป็นสารกระตุ้นผลิตโดยบริษัท Global Chemical, กรดสเตียริก ใช้เป็นสารกระตุ้นร่วมกับซิงค์ออกไซด์ผลิตโดยบริษัท Imperial Chemical, สารตัวเร่งกลุ่มไทูรัม (Tetramethyl thiurammonosulphide, TMTM) โดยใช้ร่วมกับสารตัวเร่งกลุ่มไทอะโซล (Mercaptobenzo thiazole, MBT) ผลิตโดยบริษัท Flexsys Rubber Chemical, กำมะถันผลิตโดยบริษัท Ajax Chemical ใช้เป็นสารในการวัลคาไนซ์

2.2 อุปกรณ์

เครื่องนวดผสมสองลูกกลิ้งผลิตโดยบริษัทชัยเจริญ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ใช้ผสมยาง EPDM กับเศษ EVA และสารเติมแต่งต่างๆ, เครื่องหาความหนืดมูนี ผลิตโดยบริษัท SPRL เครื่องวัดลักษณะการวัลคาไนซ์ (ODR-2000) ผลิตโดยบริษัทมอนซันโด, เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensometer) รุ่น H 10KS , ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment เครื่องทดสอบความแข็ง (shore A) ผลิตโดยบริษัท O.M.A.G. และเครื่องชั่ง (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง)

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 สูตรยางคอมปาวด์

เตรียมยางคอมปาวด์ EPDM ผสมเศษยาง EVA ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง เศษยาง EVA ที่ใช้ขนาด 0.20 ± 0.05 ซม. (10 mesh) ปริมาณต่างๆ และส่วนผสมของสารเคมีอื่นๆ ที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน มีปริมาณและสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 EPDM ผสมเศษ EVA ในปริมาณต่างๆ (ระบบกำมะถัน)

สารเคมี	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ (phr)						
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7
EPDM	100	100	100	100	100	100	100
EVA (0.2cm)*	0	30	70	50	100	200	300
ZnO	5	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	1	1	1	1	1	1	1
TMTM	1	1	1	1	1	1	1
MBT	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sulphur	1	1	1	1	1	1	1

2.3.2 การทดสอบสมบัติยางคอมปาวด์

ยางคอมปาวด์ EPDM ผสมเศษยาง EVA ทำการทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ โดยตัดยางคอมปาวด์เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมหน้าหนาประมาณ 10 กรัม ทดสอบด้วยเครื่อง ODR (Oscillating disk rheometer) ที่อุณหภูมิ 150°C และตั้งระยะเวลาในการทดสอบเป็น 30 นาที

2.3.3 การทดสอบสมบัติยางวัลคาไนซ์

ยางวัลคาไนซ์ ทำการทดสอบสมบัติด้านความแข็งทดสอบด้วยเครื่อง Hardness Durometer ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ชิ้นทดสอบวัลคาไนซ์ มีลักษณะเป็นทรงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เซนติเมตร และหนาประมาณ 1 เซนติเมตร สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ค่ามอดูลัส และความสามารถในการยืดจนขาด ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Tensometer ตามมาตรฐาน ASTM D412 ใช้ชิ้นทดสอบยางวัลคาไนซ์ และตัดเป็นรูปดัมเบล (die C) มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ตั้งค่าความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่บ่มเร่งขึ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด ทดสอบโดยใช้ชิ้นทดสอบตัดเป็นรูปแบบมุม (die B) ตามมาตรฐาน ASTM D624 ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Tensometer

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

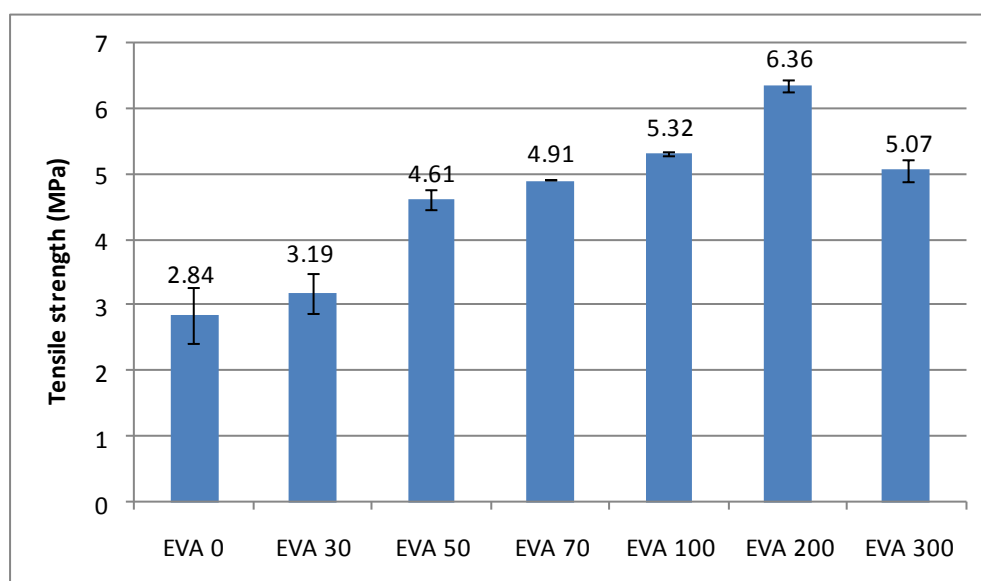
3.1 สมบัติของยางคอมปาวด์

ยางคอมปาวด์ EPDM ใส่เศษยาง EVA ปริมาณ 0, 30, 50, 70, 100, 200 และ 300 phr วัลคาไนซ์ด้วยระบบระบบกำมะถัน พบว่าความหนืดของยางคอมปาวด์มีค่าแปรผันตามปริมาณเศษยาง EVA ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางตรวจวัดด้วยเครื่อง ODR พบว่าแรงบิดหรือทอร์กช่วงที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีในยางคอมปาวด์ มีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเศษยาง EVA ที่มีอยู่ในยางคอมปาวด์ มีลักษณะเช่นเดียวกับค่าความหนืดของยางที่ตรวจสอบด้วยเครื่องความหนืดนี้ แต่ยางคอมปาวด์ที่วัลคาไนซ์ พบว่าค่าทอร์กมีค่าลดต่ำลงแปรผกผันกับปริมาณเศษยาง EVA เนื่องจากช่วงที่ยางวัลคาไนซ์เศษยาง EVA จะแทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างโมเลกุลของยาง การเชื่อมโยงของพันธะโมเลกุลต่อหน่วยหน้าหนาโมเลกุลของยางจะมีค่าลดต่ำลง ค่าทอร์กที่ตรวจสอบวัดได้จึงมีค่าลดต่ำลงด้วย นอกจากนี้หลังการวัลคาไนซ์ยางคอมปาวด์ EPDM ค่าทอร์กมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าการนำยางที่วัลคาไนซ์แล้วไปใช้งาน สมบัติของยางวัลคาไนซ์จะมีค่าสมบัติเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก

3.2 สมบัติยางวัลคาไนซ์

ยางคอมปาวด์ EPDM วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน การใส่เศษยาง EVA ในยางคอมปาวด์ EPDM ปริมาณต่าง ๆ คือ 30, 50, 70, 100, 200 และ 300 phr วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน พบว่าความแข็งของยางมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากยาง EVA สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดพันธะการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลขึ้น ส่งผลให้ยางที่ใส่เศษยาง EVA มีความแข็งสูงขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเศษยาง EVA ที่ใส่ในยางคอมปาวด์เป็นเศษผ่านยางจากอุตสาหกรรมรองเท้านำกลับมาใช้ใหม่ในรูปของสารตัวเติม ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาเกิดพันธะการเชื่อมโยงระหว่างโซ่โมเลกุลน้อย จึงทำให้ความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่ใส่เศษยาง EVA มีความแข็งเพิ่มขึ้นน้อยด้วย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับยางคอมปาวด์ EPDM ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน ความแข็งของยางวัลคาไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเศษยาง EVA ที่เพิ่มขึ้น โดยเศษยาง EVA ประมาณ 7-10 phr มีผลทำให้ความแข็งของยางเพิ่มขึ้น 1 shore A (ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเศษยาง EVA ที่นำกลับมาใช้ใหม่)

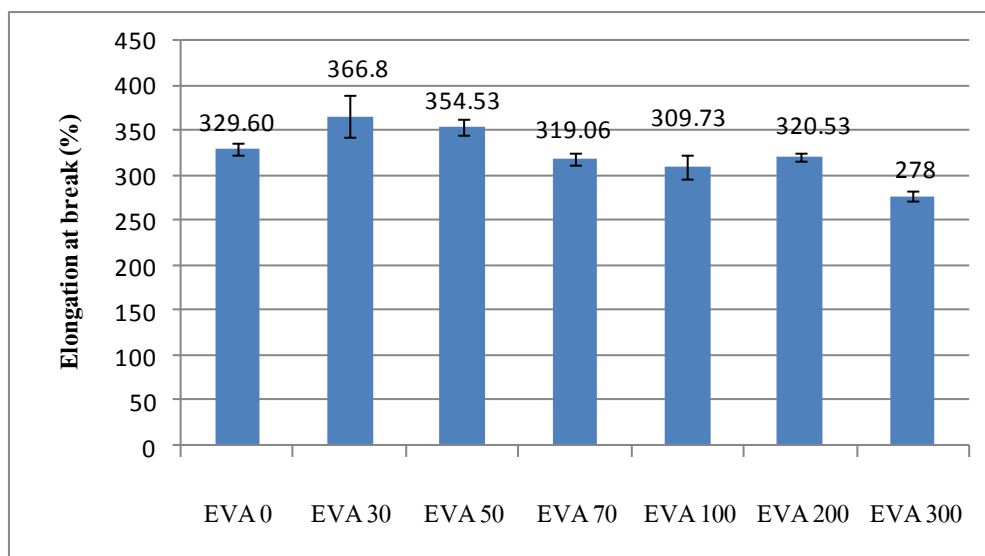
สมบัติโมดูลัสที่ระยะยืด 100% ของยางวัลคาไนซ์ EPDM ใส่เศษยาง EVA ปริมาณ 0, 50, 100, 150 และ 200 phr มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเศษยาง EVA ทั้งระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันและเปอร์ออกไซด์ อย่างไรก็ตามการใส่เศษยาง EVA ในปริมาณที่สูงมาก (300 phr) มีผลทำให้ค่าโมดูลัสของยางลดต่ำลงได้ เนื่องจากเศษยาง EVA ที่ใส่ลงไปยางคอมปาวด์ EPDM ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมมีพันธะเชื่อมโยงเกิดขึ้นน้อย ส่งผลให้ปริมาณพันธะเชื่อมโยงต่อหน่วยโมเลกุลของยาง EPDM มีปริมาณลดน้อยลง ทำให้แรงที่ใช้ในการดึงยางให้ยืดออกตามระยะที่กำหนดมีค่าลดน้อยลงไปด้วย สำหรับการบ่มเร่งยางที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีผลทำให้ยางวัลคาไนซ์มีความแข็งเพิ่มขึ้น สมบัติโมดูลัสของยางมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากกำมะถันอิสระที่เหลืออยู่ในยางช่วงที่บ่มเร่งจะเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลขึ้น จึงทำให้ยางวัลคาไนซ์มีความแข็งขึ้น ส่งผลให้สมบัติโมดูลัสของยางมีค่าเพิ่มขึ้น



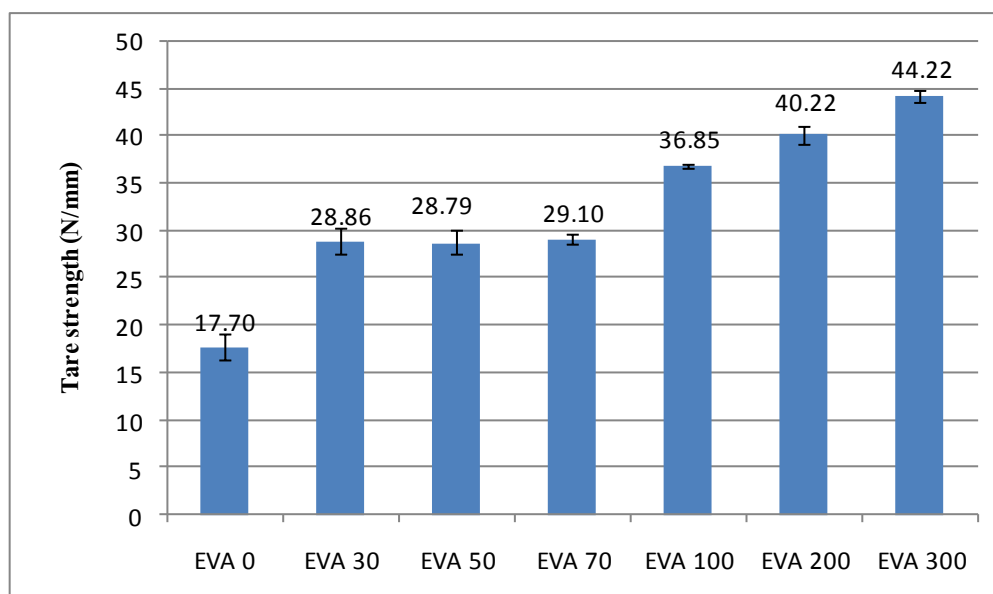
รูปที่ 1 สมบัติ Tensile strength ของยาง EPDM ผสมเศษยาง EVA วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน

สมบัติ Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์ EPDM วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน มีค่าค่อนข้างต่ำ (<5 MPa) การใส่เศษยาง EVA ผสมเพิ่มลงไปในยางคอมปาวด์ EPDM มีผลทำให้ค่า Tensile strength เพิ่มขึ้น จากรูปที่ 1 พบว่าปริมาณสูงสุดของเศษยาง EVA ที่ใส่ในยางคอมปาวด์ EPDM แล้ว ทำให้ Tensile strength มีค่าเพิ่มสูงขึ้น คือ ปริมาณ 200 phr หากใส่ เศษยาง EVA ปริมาณสูงถึง 300 phr จะมีผลทำให้ค่า Tensile strength ลดต่ำลงไป เนื่องจาก เศษยาง EVA ที่มีปริมาณมากเกินไปจะไปแทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างพันธะการเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง ทำให้ความแข็งแรงของพันธะเชื่อมโยงลดต่ำลง ดังนั้นเมื่อออกแรงดึงยางให้ยืดออก จึงมีผลทำให้ยางขาดเร็วขึ้น

และแรงที่ใช้ในการดึงยางให้ขาดต่อหน่วยพื้นที่จึงมีค่าลดลง การใส่เศษยาง EVA มีผลทำให้ค่า Elongation at break ของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (<15%) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเศษยาง EVA มีปริมาณสูงขึ้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สมบัติ Elongation at break ของยาง EPDM ผสมเศษยาง EVA วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน



รูปที่ 3 สมบัติ Tear strength ของยาง EPDM ผสมเศษยาง EVA

การใส่เศษยาง EVA ในส่วนผสมของยาง EPDM ทำให้ยางวัลคาไนซ์มีความทนทานการฉีกขาดสูงขึ้น เนื่องจากเศษยาง EVA ที่ใส่เป็นสารตัวเติมจะแทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างโมเลกุลของยาง EPDM สามารถเสริมประสิทธิภาพแก่ยาง EPDM ยางมีความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้นด้วย ดังรูปที่ 3

หลังบ่มเร่งยางวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ยาง EPDM วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน มีผลทำให้สมบัติ Tensile strength และ Elongation at break มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (< 1%) เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของยาง EPDM ส่วนใหญ่มีพันธะแบบอิมมิตัว มีความทนทานต่อความร้อนดี นอกจากนี้ยาง EPDM ใส่เศษ

ยาง EVA สามารถวัลคาไนซ์เป็นแผ่นผิวเรียบ มีความทนทานต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อน สามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ เช่น ยางรองพื้นสนามเด็กเล่นซึ่งต้องการทนความร้อนจากแสงแดด และทนต่อดินฟ้าอากาศดี ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ยางรองพื้นสนามเด็กเล่น

4. สรุปผล

เศษยางพื้นรองเท้า EVA จากขั้นตอนการผลิตในโรงงานผลิตรองเท้า นำมาบดให้มีขนาดเล็ก สามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพในยาง EPDM ได้ ยางคอมปาวด์ EDPM ที่ใส่เศษยางพื้นรองเท้า EVA เป็นสารตัวเติมปริมาณ 30-300 phr มีสมบัติของความหนืดเพิ่มสูงขึ้นแปรตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเศษยาง EVA ที่มีอยู่ในยางคอมปาวด์ ยางวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สมบัติความทนทานต่อการฉีกขาดดี และสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของยางมีค่าสูงที่สุดที่ระดับการผสมเศษยาง EVA ปริมาณ 200 phr ยางวัลคาไนซ์ EPDM ผสมเศษยาง EVA มีสมบัติเชิงกลดีสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ยางรองพื้นสนามเด็กเล่น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิริอร อิศรางกูร ณ อยุธยา. (2552). บริษัท ศรีสำอางค์ ซัพพลายเออร์ จำกัด 20/1 ถนนกิ่งแก้ว อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ.
- [2] วรุฒิ บุตดี. (2547). "การนำเศษยางฟองน้ำกลับมาใช้ในฐานะเป็นสารตัวเติมในคอมปาวด์ยางธรรมชาติ". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [3] Ishiaku U.S., Chong C.S. and Ismail H., (2000). Cure characteristics and vulcanizate properties of natural rubber compound extended with convoluted rubber powder, *Polymer testing*, 19:507-521.
- [4] Imai H., Nordin R. and Noor A.M., (2002). Cure characteristics, tensile properties and swelling behaviour of recycled rubber powder-filled natural rubber compounds, *Polymer testing*, 21:565-569.