



การผลิตแผ่นยางมาตรฐานสำหรับการทดสอบความทน
ต่อการขัดสีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
Production of environmental friendly standard
rubber sheet for abrasion testing

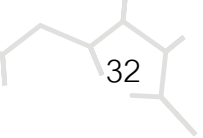
ภันทิลา ภูมิมะเบียบ¹, อรสา อ่อนจันทร์², ประเสริฐ แซ่จู่¹
Pantila Bhumirabiab¹, Orasa Onjun², Prasert Saeju¹

บทคัดย่อ

แผ่นยางมาตรฐานสำหรับการทดสอบความทนต่อการขัดสีนั้นมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในห้องปฏิบัติการทดสอบผลิตภัณฑ์ยาง การทดสอบความทนต่อการขัดสีตามมาตรฐาน ISO 4649, ASTM D5963 และ DIN53516 จำเป็นต้องใช้แผ่นยางมาตรฐานเป็นตัวสอบเทียบกระดาดทรายก่อนจะทดสอบความทนต่อการขัดสีของตัวอย่าง แผ่นยางมาตรฐานดังกล่าวเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีราคาสูง และมีการใช้อย่างมาก การศึกษานี้จึงได้ทำการผลิตแผ่นยางมาตรฐานดังกล่าวขึ้นใช้เองในห้องปฏิบัติการ โดยอ้างอิงสูตรยางมาตรฐานที่ระบุไว้ในภาคผนวก B ของมาตรฐาน ISO 4649 ซึ่งกำหนดการทำให้ยางคงรูปที่อุณหภูมิ 150±2°C และระยะเวลา 25±1 นาที เนื่องจากเวลาที่ทำให้ยางมาตรฐานคงรูปที่กำหนดไว้ใช้เวลาดำเนินการนาน จึงได้ทำการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปยางมาตรฐานดังกล่าว ผลจากการทดลองพบว่า การทำให้ยางคงรูปที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปยางมาตรฐานที่มีสมบัติเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด คือ ความแข็งเท่ากับ 60±3 Shore A น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีอยู่ในช่วง 180-220 mg และมีความแตกต่างของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีเปรียบเทียบกับยางมาตรฐานที่ผลิตจำหน่ายน้อยกว่า 15 mg การใช้ระยะเวลาที่สั้นขึ้นช่วยประหยัดพลังงานและเวลานอกจากนั้นในการศึกษานี้ได้ปรับสูตรของยางมาตรฐานเพื่อลดการใช้สารเคมีที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม เช่น ZnO และสารตัวเร่ง MBTS ทั้งนี้เนื่องจากแนวโน้มของอุตสาหกรรมทุกวันนี้เป็นไปในทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสูงมาก และในอนาคตอันใกล้จะไม่อนุญาตให้ใช้สารเคมีที่เป็นพิษเหล่านี้ในผลิตภัณฑ์ยางอีกต่อไป ผลจากการทดลองพบว่าสามารถเตรียมยางมาตรฐานที่ใช้ ZnO ลดลงจาก 50 phr เหลือเพียง 5 phr และสามารถใส่สารตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น CBS แทนสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งที่เป็นอนุพันธ์ของไนโตรซามีน ผลที่ได้จากการทดลองนอกจากได้ยางมาตรฐานสูตรที่เป็นไปตามที่มาตรฐาน ISO 4649 กำหนดแล้ว ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ผลการศึกษาสูตรยางที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ISO 4649 กำหนดทั้งรายการความแข็งและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีมี 3 สูตร คือ สูตร Zo50 (ZnO 50 phr ขึ้นรูปที่ 150°C เป็นเวลา 20 นาที) สูตร ZoCc (ZnO 5 phr ขึ้นรูปที่ 160°C เป็นเวลา 10 นาที) และสูตร ZoCBS (ใช้ CBS แทน MBTS ขึ้นรูปที่ 160°C เป็นเวลา 20 นาที)

คำสำคัญ: การทดสอบความทนต่อการขัดสี แผ่นยางมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การประหยัดพลังงาน

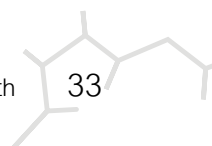
¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ
²E-mail address: pantila@dss.go.th
³Corresponding author. E-mail address: orasa@dss.go.th



Abstract

Standard rubber sheet for abrasion testing is widely used in rubber product testing laboratories. Abrasion testing according to ISO 4649, ASTM D5963 and DIN53516 standard need to used standard rubber sheet for calibrating the abrasive sheet. This standard rubber sheet is consumable and expensive. Therefore, this study aims to produce the standard rubber for their own use of the laboratories by referring standard reference compound No.1 in ISO 4649:2010(E) Annex B. In ISO 4649:2010(E), the vulcanization is suggested to be done at $150\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 25 ± 1 minutes which is quite a long period of time. In order to save energy in production, the vulcanization time was reduced to 20 minutes. The result showed that the in-house rubber sheet meet the requirements of the standard; 60 ± 3 Shore A in hardness and 180-220 mg of the mass loss and the difference in a mass loss was less than 15 mg from the commercial rubber sheet. In conclusion; shorter vulcanization time did not made different in abrasion results. Moreover, this study also attempted to prepared environmental friendly standard rubber sheet which has less amount of hazardous chemicals i.e. ZnO and MBTS. In order to be ready for future trend, the amount of ZnO used was reduce to 5 phr instead of 50 phr. The accelerator like MBTS was changed to be less carcinogenic type like CBS. The results showed that the environmental friendly standard rubber sheet met the requirement of ISO 4649:2010(E) standard. Zo50 (ZnO 50 phr and vulcanization at 150°C for 20 min), ZoCc (ZnO 5 phr and vulcanization at 160°C for 10 min), and ZoCBS (CBS was used instead of MBTS and vulcanization at 160°C for 20 min) were the proper formulas for producing standard rubber sheet for abrasion testing according to ISO 4649:2010(E).

Keywords: Abrasion testing, Standard rubber sheet, Environmental friendly product, Energy saving



1. บทนำ (Introduction)

ความทนต่อการขัดสี (Abrasion resistance) คือความสามารถของพื้นผิววัสดุในการต้านทานต่อการขัดสีเนื่องจากการสัมผัสเสียดสีกัน เป็นสมบัติพื้นฐานที่ใช้ทดสอบผลิตภัณฑ์ยาง วิธีการวัดทำได้โดยการขัดตัวอย่างด้วยเครื่อง Rotary Drum Abrader (รูปที่ 1) ที่ระยะขัด 40 m แล้วชั่งน้ำหนัก ถ้าน้ำหนักหายไปน้อยหมายถึงทนต่อการขัดสีมาก และถ้าน้ำหนักหายไปมากหมายถึงทนต่อการขัดสีน้อย การทดสอบความทนต่อการขัดสีของยางสามารถทดสอบได้ตามมาตรฐาน ASTM D5963 DIN53516 และ ISO 4649 โดยใช้ยางมาตรฐาน (Standard reference compounds) เป็นตัวสอบเทียบกระดาศทรายที่มาจาก Aluminium oxide มีขนาดเม็ดหรือความหยาบ (Grain size) เท่ากับ 60 โดยแผ่นกระดาศทรายมีความกว้างอย่างน้อย 400 mm ความยาว 474 ± 1 mm และความหนาเฉลี่ย 1 mm ซึ่งกระดาศทรายนี้จะนำมาใช้ได้ก็ต่อเมื่อสามารถขัดยางมาตรฐานให้มีน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสี (Mass loss) ที่ระยะขัด 40 m อยู่ในช่วง 180-220 mg ถ้าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีของยางมาตรฐานต่ำหรือสูงกว่าช่วงนี้ให้เปลี่ยนกระดาศทรายใหม่ ปัจจุบันยางมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทดสอบยางต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศและมีราคาแพง เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการซื้อขายมาตรฐาน จึงได้มีแนวคิดที่จะผลิตยางมาตรฐานใช้เอง โดยใช้สูตร กระบวนการบดผสม การขึ้นรูป และการควบคุมคุณภาพ ตามที่ระบุไว้ใน ISO 4649 Annex B เป็นสูตรเริ่มต้น



รูปที่ 1 เครื่อง Rotary Drum Abrader

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ปรับปรุงยางเพื่อลดการใช้สารที่เป็นพิษ (ZnO และ MBTS) เพื่อให้ได้ยางมาตรฐานสำหรับใช้ในการทดสอบความทนต่อการขัดสีที่มีคุณภาพตามมาตรฐานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ยางและสารเคมี

2.1.1 ยางธรรมชาติ: STR 5L

2.1.2 สารตัวเติม: เขม่าดำ (Carbon black), แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

2.1.3 สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป: ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide; ZnO), ซิงค์ออกไซด์นาโน (Zinc oxide-nanopowder, <100 nm particle size), แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide; CaO), แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide; MgO)

2.1.4 สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป: ไดเบนโซไทอะซอลไดซัลไฟด์ (dibenzothiazyl disulfide; MBTS) และ ไซโคลเฮกซิลเบนโซไทอะโซลซัลฟีนาไมด์ (N-cyclohexyl-2-benzothiazole sulfonamide; CBS)

2.1.5 สารทำให้ง่ายคงรูป: กำมะถัน (Sulfur)

2.1.6 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ: ไอโซโพรพิลฟีนิลพีนิลลีนไดเอมีน (N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine; IPPD)

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1 เครื่องผสมระบบปิด (Kneader)

2.2.2 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-rolls mill)

2.2.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (compression molding machine)

2.2.4 เครื่องชั่ง (Electric balance) มีความละเอียดในการอ่านค่า 0.01 กรัม และ 0.0001 กรัม

2.2.5 เครื่องหาอุณหภูมิและเวลาคงรูป (Moving die rheometer, MDR)

2.2.6 แม่พิมพ์ (Molding, size 8 mm x 181 mm x 181 mm)

2.3 สูตรยางมาตรฐานสำหรับทดสอบความทนต่อการขัดสี

ตารางที่ 1 แสดงสูตรยางมาตรฐานสำหรับทดสอบความทนต่อการขัดสีที่ระบุไว้ใน ISO 4649 Annex B งานวิจัยนี้ได้ใช้เป็นสูตรยางเบื้องต้นสำหรับศึกษาผลของสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป และสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป เพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรเริ่มต้นที่ใช้ศึกษาการทำยางมาตรฐานสำหรับการทดสอบความทนต่อการขีดสี

Ingredient	Parts by mass (phr)
Natural rubber (STR 5L)	100.0
Zinc oxide, class B4c	50.0
N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine (IPPD)	1.0
Benzothiazyl disulfide (MBTS)	1.8
Carbon black N330	36.0
Sulfur	2.5
Total	191.3

สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป (Accelerator activators) ที่ใช้ในสูตรยางเบื้องต้นคือ ซิงค์ ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งเป็นสารที่มีกลุ่มโลหะสังกะสีและตกค้างในผลิตภัณฑ์ขณะเป็นซากทิ้ง อาจก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อนำไปกำจัดเพื่อให้ได้ยางมาตรฐานสำหรับทดสอบความทนต่อการขีดสีสูตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 4649 กำหนด จึงได้ศึกษาเปรียบเทียบ 3 ประเด็นคือ 1) ผลของการใช้สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูปต่างชนิดกันในปริมาณที่เท่ากัน (แมกนีเซียมออกไซด์, MgO และ แคลเซียมออกไซด์, CaO) 2) ผลของการใช้ ZnO และ Zinc Oxide Nanoparticles ในปริมาณที่ต่างกัน และ 3) สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูปต่างชนิดในปริมาณที่เท่ากัน สูตรยางที่ใช้ในการศึกษาทดลองนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2

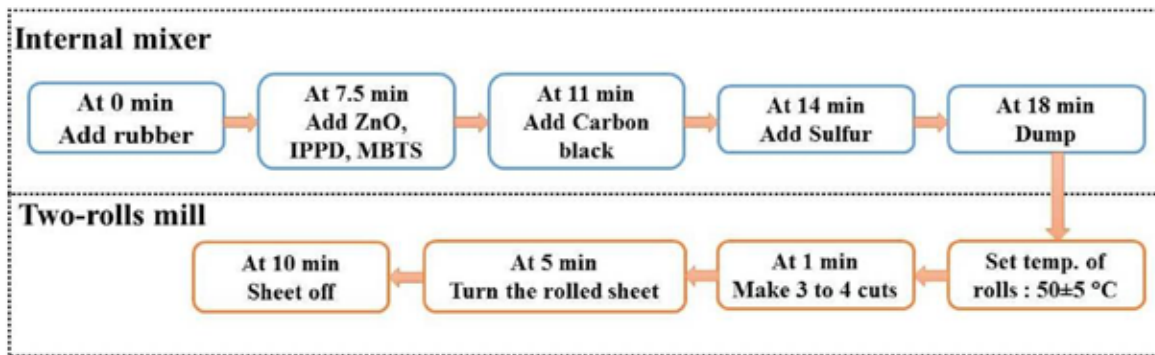
ตารางที่ 2 สูตรยางที่ใช้ศึกษาสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูปและสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป

Ingredient	Parts by mass (phr)							
	Zo50*	Co50	Mo50	Zo5	Zn5	ZoCc	ZnCc	ZoCBS
Natural rubber	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Zinc oxide (Zo)	50.0	-	-	5	-	5	-	50.0
Calcium Oxide (Co)	-	-	50.0	-	-	-	-	-
Magnesium Oxide (Mo)	-	50.0	-	-	-	-	-	-
Zinc oxide-nano (Zn)	-	-	-	-	5	-	5	-
CaCO ₃ (Cc)	-	-	-	-	-	45	45	-
IPPD	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
MBTS	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	-
CBS (CBS)	-	-	-	-	-	-	-	1.8
Carbon black N330	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
Sulfur	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Total	191.3	191.3	191.3	146.3	191.3	191.3	146.3	191.3

หมายเหตุ * ยางสูตร Zo50 เป็นยางสูตรมาตรฐานที่กำหนดไว้ใน ISO 4649 Annex B ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม

2.4 การบดผสมยางกับสารเคมี

ชั่งน้ำหนักยางและสารเคมีให้มีความละเอียด 0.1 g โดยลำดับขั้นตอนและเวลาที่ใช้ในกระบวนการบดผสมยางมาตรฐานเป็นไปตาม ISO 4649 Annex B ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการบดผสมยางมาตรฐานที่ระบุไว้ใน ISO 4649 Annex B

2.5 การขึ้นรูปและการทำให้ยางคงรูป

วัตถุดิบหมุมและเวลาที่ใช้ในการคงรูปของยางคอมปาวด์แต่ละสูตรตามตารางที่ 2 โดยใช้เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) ทั้งนี้การขึ้นรูปยางคอมปาวด์ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปใช้สภาวะเบื้องต้น (ระยะเวลาและอุณหภูมิ) ที่กำหนดใน ISO 4649 Annex B คือ $150 \pm 2^\circ\text{C}$ และ 25 ± 1 นาที แม่พิมพ์ที่ใช้มีขนาด $181 \times 181 \times 8$ mm เนื่องจากเวลาในการทำให้ยางคงรูปในมาตรฐานกำหนดไว้ใช้เวลาค่อนข้างนาน จึงได้มีการศึกษาปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและระยะเวลาในการขึ้นรูป โดยการใช้อุณหภูมิเดิมแต่ลดเวลาในการขึ้นรูปเป็น 20 นาที และ 10 นาที และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 160°C ระยะเวลา 25 นาที 20 นาที และ 10 นาที เพื่อศึกษาสภาวะในการขึ้นรูปที่เหมาะสม โดยเน้นที่ระยะเวลาที่สั้นลงเพื่อเป็นการประหยัดเวลาและพลังงาน

2.6 การควบคุมคุณภาพยางมาตรฐานที่ผลิตเอง

2.6.1 ทดสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีตามมาตรฐาน ISO 4649 ด้วยเครื่อง Rotary drum abrader จำนวน 3 ชิ้น แล้วรายงานค่าเฉลี่ย โดยผลการทดสอบจะต้องอยู่ระหว่าง 180-220 mg

2.6.2 ทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ISO 7619-1 ด้วยเครื่อง Durometer type A ตัวอย่างหนาประมาณ 8 mm โดยใช้เวลาสัมผัส 3 วินาที แล้วบันทึกผลการทดสอบ จำนวน 5 ครั้งแล้วรายงานค่ากลาง มาตรฐาน ISO 4649 Annex B ได้กำหนดเกณฑ์ความแข็งของยางมาตรฐานไว้ที่ 60 ± 3 Shore A

2.6.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง

ไปภายหลังการขัดสีระหว่างยางมาตรฐานที่ผลิตจำหน่ายและยางมาตรฐานที่ผลิตขึ้นเอง โดยทดสอบจำนวน 15 ชิ้นๆ ละ 3 ครั้ง รายงานค่ากลางของแต่ละชิ้น และผลการทดสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีของค่าเฉลี่ยทั้ง 15 ชิ้นต้องอยู่ระหว่าง 180-220 mg โดยที่ค่าเฉลี่ยของยางที่ผลิตขึ้นเองจะต้องมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของยางมาตรฐานที่ผลิตจำหน่ายไม่เกิน 15 mg

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาการคงรูป

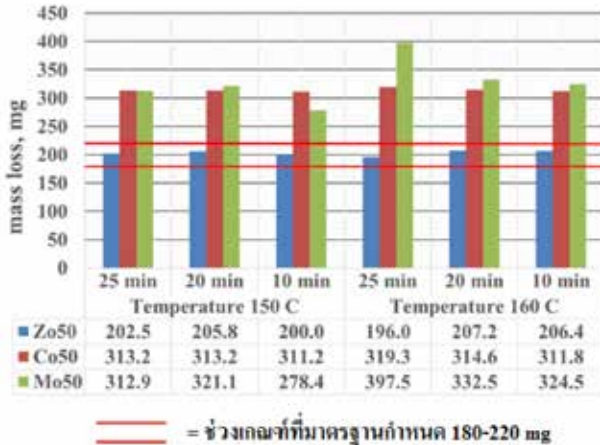
อุณหภูมิและระยะเวลาการคงรูปที่ทำการวัดด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) แสดงในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสูตร Mo50, Co50 และ Zo50 พบว่าสูตรยางที่ใช้สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดใช้ระยะเวลาในการทำให้ยางคงรูปแตกต่างกันตามลำดับ ดังนี้ $\text{MgO} < \text{CaO} < \text{ZnO}$ นั้นแสดงว่า MgO เป็นสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในระบบนี้ ผลการศึกษา สูตร Zo50 (ZnO 50 phr), Zo5 (ZnO 5 phr), ZoCc (ZnO 5 และ CaCO_3 45 phr), Zn5 (ZnO nano power 5 phr) ยังแสดงให้เห็นอีกว่าปริมาณของ ZnO ที่ลดลงไม่ส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การศึกษาชนิดของสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูป 2 ชนิด พบว่า CBS (ZoCBS) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูปที่ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์เร็วกว่า MBTS (Zo50)

ตารางที่ 3 อุณหภูมิและระยะเวลาการคงรูปของยางสูตรที่ทำการศึกษา

Temperature, °C	Cure time (TC90), min							
	Zo50*	Co50	Mo50	Zo5	Zn5	ZoCc	ZnCc	ZoCBS
150	5.21	4.79	1.48	5.95	6.16	5.70	5.44	3.59
160	3.06	2.55	0.99	3.09	3.31	2.53	2.01	2.30

3.2 ผลของชนิดของสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยา

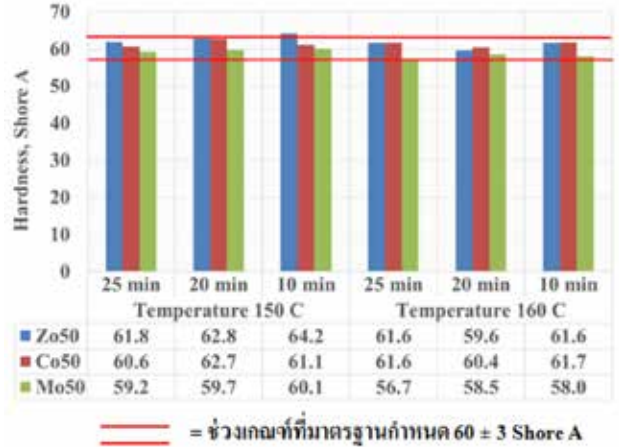
ผลของชนิดของสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ต่อค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการขัดสีแสดงในรูปที่ 3 โดยทำการเปรียบเทียบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการทดสอบการทนต่อการขัดสีของยางสูตร Zo50, Co50 และ Mo50 ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150°C และ 160°C เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที และ 25 นาที



รูปที่ 3 ผลของชนิดของสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาต่อค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการขัดสี

จากผลการทดสอบที่แสดงในรูปที่ 3 พบว่าในปริมาณที่เท่ากันของสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูปทั้ง 3 ชนิด ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการขัดสีของสูตร Zo50 ให้ผลการทดสอบอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่มีมาตรฐานกำหนดทุกรายการคือ ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการขัดสีอยู่ระหว่าง 180-220 mg ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าสภาวะการขึ้นรูปยางมาตรฐานทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเตรียมยางมาตรฐานส่งผลกระทบเพียงเล็กน้อยกับสมบัติการทนต่อการขัดสีของยางสูตรมาตรฐาน Zo50 ในขณะที่ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการขัดสีของสูตร Co50 และ Mo50 สูงกว่าเกณฑ์ที่มีมาตรฐานกำหนดในทุกสภาวะการขึ้นรูป นั้นแสดงให้เห็นว่า CaO และ MgO ไม่สามารถใช้เป็นสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูปในสูตรยางมาตรฐานทดแทนการใช้ ZnO ได้

รูปที่ 4 แสดงผลของชนิดของสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ต่อค่าความแข็งของยางมาตรฐาน ผลการทดสอบความแข็งแบบชอร์เออยู่ในเกณฑ์ที่มีมาตรฐานกำหนดคือ 60±3 Shore A ทั้ง 3 สูตร ยกเว้นสูตร Zo50 ขึ้นรูปที่ 150°C เป็นเวลา 10 นาที ให้ผลการทดสอบที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด



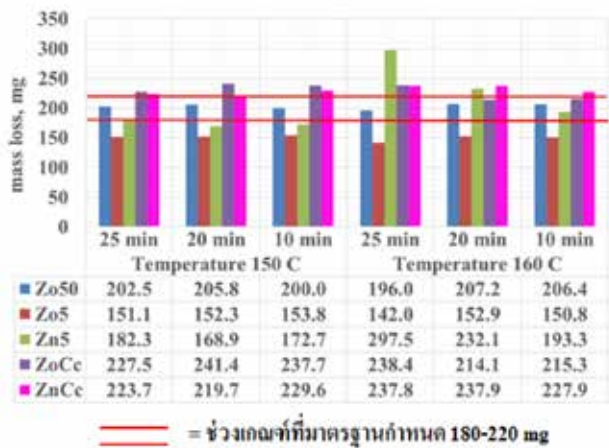
รูปที่ 4 ผลของชนิดของสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาต่อค่าความแข็งของยาง

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าสูตร Zo50 เป็นสูตรเดียวที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกรายการศึกษาค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการขัดสีและความแข็งตามที่มาตรฐานกำหนด ในการเตรียมยางมาตรฐานสามารถเปลี่ยนแปลงสภาวะการขึ้นรูปให้แตกต่างจากที่มีมาตรฐาน ISO 4649 Annex B กำหนด คือ ที่อุณหภูมิ 150±2 °C และ 25±1 นาที ได้โดยที่ยังมาตรฐานที่เตรียมขึ้นยังมีสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและพลังงานในการขึ้นรูป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสูตร Zo50 ที่อุณหภูมิ 150°C และ 20 นาที เป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับการทำแผ่นยางมาตรฐาน

3.3 ผลของชนิดและปริมาณของซิงค์ออกไซด์

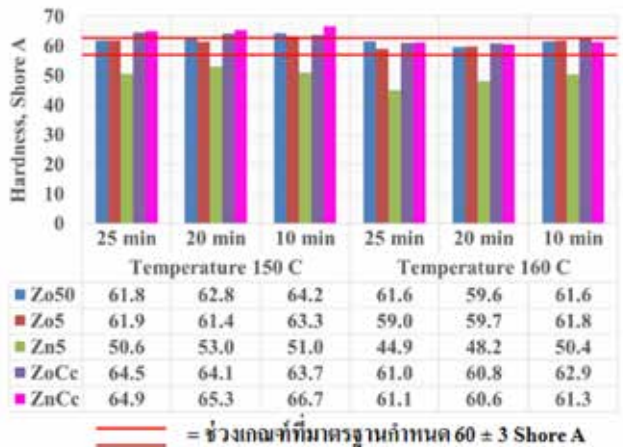
ส่วนนี้เป็นการศึกษาเพื่อลดปริมาณการใช้ ZnO และการใช้ ZnO-nano powder ทดแทน ZnO ในสูตรยางมาตรฐานรูปที่ 5 แสดงผลของชนิดและปริมาณของซิงค์ออกไซด์ต่อค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการขัดสี จากรูปพบว่า การลดปริมาณซิงค์ออกไซด์จาก 50 phr เป็น 5 phr ทำให้ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการขัดสีต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 50 phr นั้นทำหน้าที่เป็นทั้งสารกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตัวเติม การลดปริมาณสารตัวเติมลงทำให้ชิ้นงานมีปริมาณยางสูงมากขึ้นส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักเมื่อทดสอบการคงทนต่อการขัดสีมีค่าลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ผลการทดสอบยังชี้ชัดว่าการใช้ซิงค์ออกไซด์นาโน 5 phr ทดแทนซิงค์ออกไซด์ 5 phr นั้น ทำให้ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการขัดสีสูงขึ้น อย่างไรก็ตามในสภาวะการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150°C นั้นค่าที่ได้ยังไม่ถึงเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน และที่สภาวะการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160°C ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการขัดสีสูงเกินกว่าที่มีมาตรฐานกำหนด

จากนั้นจึงได้เติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงในสูตรยางมาตรฐานเพื่อทดแทนปริมาณของซิงค์ออกไซด์ โดยใช้ซิงค์ออกไซด์หรือซิงค์ออกไซด์นาโนปริมาณ 5 phr และแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มเติมอีก 45 phr นั่นคือสูตร ZoCc และ Zncc ตามลำดับ ผลการทดสอบความทนต่อการขีดสีแสดงให้เห็นว่าสูตร ZoCc ที่ลดปริมาณ ZnO เหลือ 5 phr ที่ใช้ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 45 phr ซึ่งเป็นสารตัวเติม ในสภาวะการขึ้นรูปที่ 160°C เป็นระยะเวลา 20 และ 10 นาที ให้ผลการทดสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขีดสีในช่วงเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน ส่วนการใช้ซิงค์นาโน 5 phr ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 45 phr มีผลของค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขีดสีไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดในทุกสภาวะการขึ้นรูป



รูปที่ 5 ผลของชนิดและปริมาณของซิงค์ออกไซด์ต่อค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขีดสี

รูปที่ 6 เป็นผลของชนิดและปริมาณของซิงค์ออกไซด์ต่อค่าความแข็งของยาง โดยจะเน้นพิจารณาเฉพาะสูตรที่มีค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขีดสีผ่านเกณฑ์มาตรฐานเท่านั้น นั่นคือ สูตร Zo50 และ สูตร ZoCc ผลการทดสอบค่าความแข็งสรุปได้ว่า สูตร Zo50 และ สูตร ZoCc สภาวะการขึ้นรูปที่ใช้เวลาดลลงเป็น 20 นาที (ทั้งที่อุณหภูมิ 150°C และ 160°C) ให้ค่าความแข็งของยางอยู่ในช่วงที่เกณฑ์กำหนด

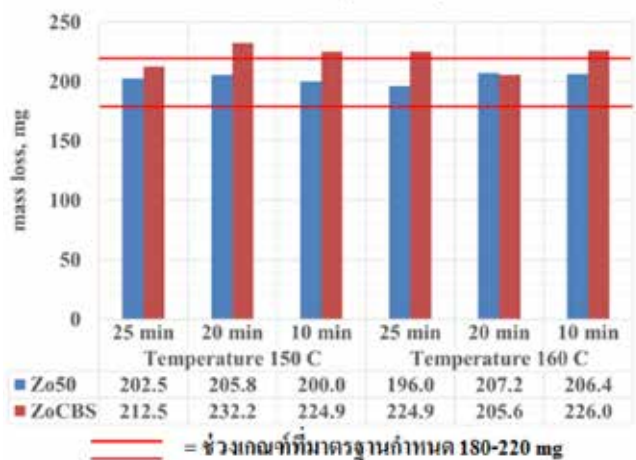


รูปที่ 6 ผลของชนิดและปริมาณของซิงค์ออกไซด์ต่อค่าความแข็งของยาง

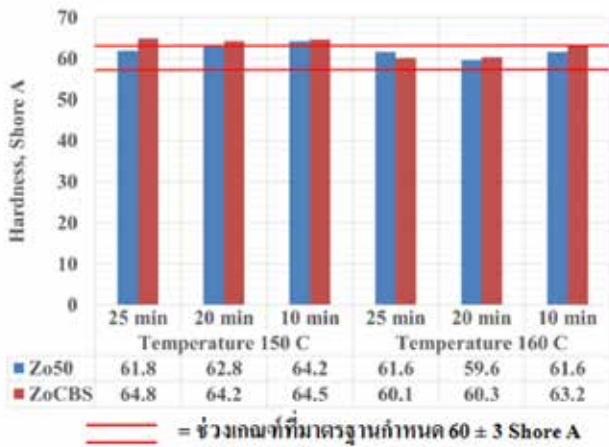
จากผลการทดสอบในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 สามารถสรุปได้ว่า นอกจากสูตรมาตรฐาน Zo50 แล้ว สูตร ZoCc ที่ลดปริมาณซิงค์ออกไซด์เหลือ 5 phr และใช้ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 45 phr ในสภาวะการขึ้นรูปที่ 160°C เป็นระยะเวลา 20 นาที และ 10 นาที ให้ผลการทดสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขีดสีและความแข็งผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดทั้ง 2 รายการ ทั้งนี้ได้เลือกใช้สูตร ZoCc ที่สภาวะการขึ้นรูปที่ 160°C เป็นระยะเวลา 10 นาที เนื่องจากเป็นการประหยัดพลังงานเพราะใช้ระยะเวลาในการขึ้นรูปที่สั้นกว่า ในขณะที่ซิงค์ออกไซด์นาโนเป็นสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาที่ไม่เหมาะสมในการทำยางมาตรฐานดังกล่าว

3.4 ผลของสารเร่งปฏิกิริยาขงรูป

ผลการทดสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขีดสีและความแข็งของการศึกษาสารเร่งปฏิกิริยาขงรูปต่างชนิดกัน คือ MBTS และ CBS ในปริมาณที่เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 7 ผลของชนิดสารเร่งปฏิกิริยาขงรูปต่อค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขีดสี



รูปที่ 8 ผลของชนิดสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูปต่อค่าความแข็งของยาง

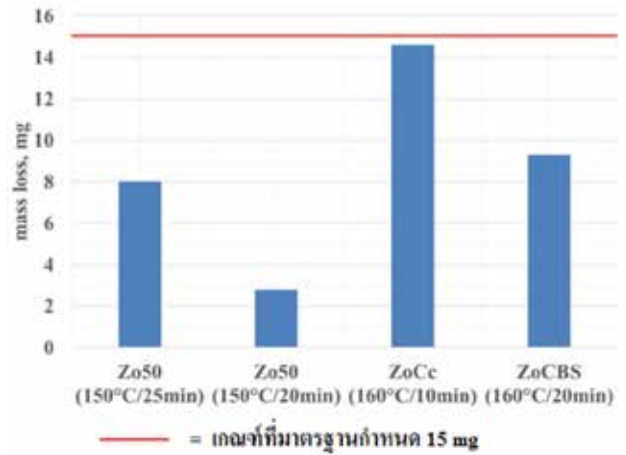
จากผลการทดลองพบว่าสูตร ZoCBS ขึ้นรูปที่ 160°C เป็นเวลา 20 นาที ให้ผลการทดสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีและความแข็งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด จึงสามารถสรุปได้ว่า CBS ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูปที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสามารถใช้ทดแทน MBTS ได้

3.5 การคำนวณเพื่อการควบคุมคุณภาพยางมาตรฐานที่ผลิตขึ้นเอง

มาตรฐานกำหนดให้ยางมาตรฐานที่ผลิตขึ้นเองต้องมีน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีของค่าเฉลี่ยทั้ง 15 ชิ้น (Δm_{Prod}) อยู่ระหว่าง 180-220 mg และต้องมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของยางมาตรฐานที่ผลิตจำหน่าย (Δm_{Ref}) ไม่เกิน 15 mg

$$|\Delta m_{Prod} - \Delta m_{Ref}| \leq 15 \text{ mg}$$

รูปที่ 9 แสดงผลของการเปรียบเทียบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีของยางมาตรฐานที่ผลิตจำหน่ายกับสูตรยางที่ได้จากการศึกษาผลของสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาและสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูป ซึ่งได้แก่สูตร Zo50 ขึ้นรูปที่ 150°C ระยะเวลา 20 นาที, สูตร ZoCc (ZnO 5 phr และ CaCO₃ 45 phr) ในสภาวะการขึ้นรูปที่ 160°C ระยะเวลา 10 นาที และสูตร ZoCBS ขึ้นรูปที่ 160°C ระยะเวลา 20 นาที โดยที่ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีของยางมาตรฐานที่ผลิตจำหน่ายทั้ง 15 ชิ้นที่การขัดขึ้นละ 3 ครั้งคือ 207.3 mg ผลการทดสอบในรูปที่ 9 แสดงให้เห็นได้ว่าสูตรยางที่ได้จากการศึกษาทั้ง 3 สูตรนี้ให้ผลการทดสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีน้อยกว่า 15 mg เมื่อเทียบกับยางมาตรฐานที่ผลิตจำหน่าย



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีระหว่างยางมาตรฐานที่ผลิตจำหน่ายกับยางมาตรฐานที่ผลิตเอง

4. สรุป (Conclusion)

การผลิตแผ่นยางมาตรฐานสำหรับการทดสอบความทนต่อการขัดสีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้สูตรยางที่ระบุไว้ในภาคผนวก B ของมาตรฐาน ISO 4649 เป็นสูตรเบื้องต้นนั้น วัตถุประสงค์หลักเพื่อลดค่าใช้จ่าย ลดการใช้สารเคมีที่เป็นพิษ ประหยัดพลังงานและเวลาในการทำให้ยางคงรูป งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะการขึ้นรูปจากเดิมที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 150±2°C และระยะเวลา 25±1 นาที โดยลดเวลาการขึ้นรูปลงเหลือ 20 นาที และ 10 นาที และปรับอุณหภูมิขึ้นเป็น 160°C ระยะเวลา 25 นาที 20 นาที และ 10 นาที พบว่าสามารถลดเวลาในการขึ้นรูปที่อุณหภูมิเดียวกับที่มาตรฐานกำหนดเป็น 20 นาที (สูตร Zo50)

นอกจากนั้นเพื่อลดสารเคมีที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการตกค้างของสารเหล่านี้ในผลิตภัณฑ์ จึงได้ศึกษาการใช้สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูปชนิดอื่นทดแทน ZnO โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างสารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูป 3 ชนิดคือ ZnO, CaO และ MgO และศึกษาผลของการใช้ ZnO ในปริมาณที่น้อยลง พบว่าสูตรยางที่ใช้ ZnO ในปริมาณที่น้อยลงร่วมกับสารตัวเติม CaCO₃ (สูตร ZoCc) ขึ้นรูปที่ 160°C ระยะเวลา 10 นาที เป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับการทำยางมาตรฐาน ผลการทดลองสรุปได้อีกว่าสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูปที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม CBS สามารถใช้ทดแทน MBTS ในการทำยางมาตรฐานสำหรับการทดสอบความทนต่อการขัดสีได้ ที่สภาวะการขึ้นรูปที่ 160°C ระยะเวลา 20 นาที (สูตร ZoCBS)

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สูตรยาง 3 สูตร คือ สูตร Zo50 (ZnO 50 phr ขึ้นรูปที่ 150°C เป็นเวลา 20 นาที) สูตร ZoCc (ZnO 5 phr ขึ้นรูปที่ 160°C เป็นเวลา 10 นาที) และ

สูตร ZoCBS (ใช้ CBS แทน MBTS ขึ้นรูปที่ 160°C เป็นเวลา 20 นาที) สามารถผลิตยางมาตรฐานสำหรับการทดสอบความทนต่อการขัดสีที่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน คือน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีอยู่ในช่วง 180-220 mg ความแข็งแบบชอร์เอ 60±3 และมีความแตกต่างของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขัดสีเปรียบเทียบกับยางมาตรฐานที่ผลิตจำหน่ายน้อยกว่า 15 mg สูตรยางที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นทางเลือกสำหรับห้องปฏิบัติการในการผลิตยางมาตรฐานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมขึ้นใช้เอง

5. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. ASTM D5963-04 (Reapproved 2015). *Standard test method for rubber property--Abrasion resistance (Rotary drum abrader)*.

[2] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 53516 : 1987. *Testing of rubber and elastomers—Determination of abrasion resistance*.

[3] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4649 : 2002. *Rubber, vulcanized or thermoplastic—Determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device*.

[4] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7619-1 : 2010. *Rubber, vulcanized or thermoplastic—Determination of indentation hardness-Part 1: Durometer method (Shore hardness)*.

[5] พงษ์ธร แซ่ฮุย และ ชาคริต สิริสิงห. ยาง : กระบวนการผลิตและทดสอบ. ปทุมธานี : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550, 164 หน้า.

[6] วราภรณ์ ขจรไชยกุล. *ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2554, 203 หน้า.