ยางคอมปาวด์ที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก สำหรับทำความสะอาดแม่พิมพ์ยาง
Natural rubber-based compound for rubber mold cleaning

8

กาจพันธ์ สกุลแก้ว[1*], ประเสริฐ แซ่จู[1]
Kartpan Sakulkaew[1*], Prasert Saeju[1**]

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการทำผลิตภัณฑ์ยาง ในกระบวนการขึ้นรูปต้องใช้แม่พิมพ์ซึ่งเมื่อนำมาใช้งานเป็นระยะเวลาหนึ่งจะเกิดคราบสกปรกขึ้นที่พื้นผิว คราบสกปรกเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และต้นทุนในกระบวนการผลิต จึงจำเป็นต้องทำความสะอาดแม่พิมพ์ยาง ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การพ่นทราย การขัดด้วยแปรง การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค และการใช้น้ำยาเคมี เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีการทำความสะอาดแม่พิมพ์ด้วยเทคนิคดังกล่าว มีความยุ่งยาก เนื่องจากจะต้องถอดแม่พิมพ์ออกมาจากเครื่องอัดขึ้นรูป อีกทั้งยังมีความเสี่ยงในการทำให้เกิดความเสียหายกับแม่พิมพ์ได้ระหว่างการถอดประกอบ ติดตั้ง และการเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่ทำความสะอาด ในการศึกษาได้ศึกษาเทคนิคการทำความสะอาดแม่พิมพ์โดยไม่ต้องถอดแม่พิมพ์ออกมาจากเครื่องอัดขึ้นรูป โดยใช้ยางคอมปาวด์ที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก ร่วมกับสารทำความสะอาด พบว่าประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ นอกจากขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารทำความสะอาดในยางคอมปาวด์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น เช่น ชนิดของสารที่ทำให้ยางคงรูป ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการคงรูปด้วย

Abstract

In the rubber processing industry, forming requires the molds which always become fouled for a certain period of time. These stains affect the quality of the products and the manufacturing costs. Therefore, the mold cleaning process is required. A plethora of methods are employed; for example, sand blasting, wire brushing, ultrasonic cleaning, and chemical cleaning. However, all of the previously mentioned approaches lead to complications with regard to removal of the mold from the heating press of the molding machine. In addition, the mold surfaces are prone to damage during disassembly and transit to a specific area for cleaning. This study presents a technique for cleaning molds while they remain in the curing press using the natural rubber-based compound. The effect of different amounts of cleaning agent in the compound was investigated. Other than various loadings of cleaning agent, it is found that the effectiveness of the mold cleaning depends on several factors; for example, type of curing agent, curing time and temperature.

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ ความสกปรกที่พื้นผิวของแม่พิมพ์ ยางคอมปาวด์
Keywords: Natural rubber, Mold fouling, Rubber compound

[1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ
* Corresponding author E-mail address : kartpan@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

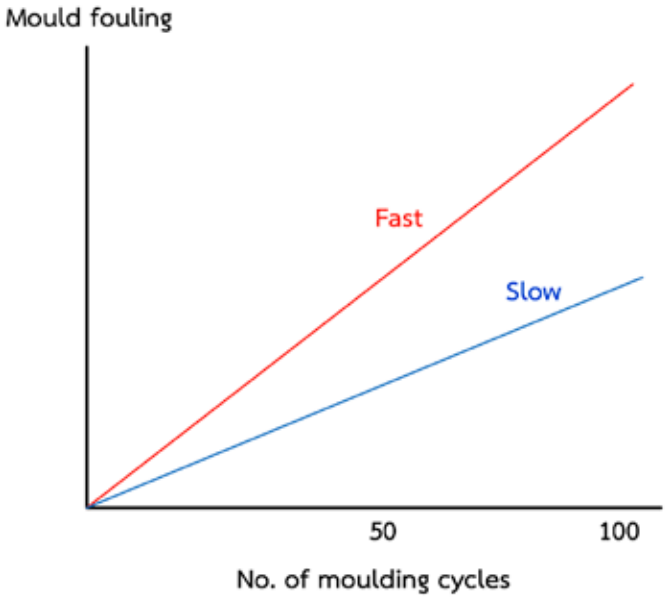
ยางเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือยางมีความยืดหยุ่นสูง สามารถยืดตัวได้หลายเท่าของความยาวเดิมโดยไม่ขาด รับและระบายพลังงานได้ดี ดังนั้นยางจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น การขนส่ง วิศวกรรม และ การแพทย์ เป็นต้น ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางเริ่มต้นจากการบดผสมยางดิบกับสารเคมียางชนิดต่างๆ เช่น สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาคงรูป (activator) สารเร่งปฏิกิริยาคงรูป (accelerator) สารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agent) สารตัวเติม (filler) เป็นต้น ยางที่ได้จากการบดผสมกับสารเคมีเรียกว่า ยางคอมปาวด์ (compound rubber) ในการขึ้นรูปยางคอมปาวด์เป็นผลิตภัณฑ์ยางรูปแบบต่างๆ โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยใช้แม่พิมพ์ได้แก่ แม่พิมพ์แบบอัด แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด และแม่พิมพ์แบบฉีด (Vecchio 2003) Sommer และคณะ (1976) พบว่าแม่พิมพ์ยางเมื่อนำไปใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ในแต่ละครั้ง คราบสกปรกจะค่อยๆ ก่อตัวขึ้นที่พื้นผิวหน้าของแม่พิมพ์ด้านที่สัมผัสกับยาง จนกระทั่งถึงความหนาระดับหนึ่ง ถ้าหากว่านำแม่พิมพ์นี้ไปใช้ซ้ำอีกจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปรากฏการณ์ที่ความสกปรกก่อตัวขึ้นที่พื้นผิวหน้าของแม่พิมพ์และส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพในการใช้งานของแม่พิมพ์เรียกว่า mold fouling นอกจากนั้น Sommer และคณะ (1976) ยังชี้ให้เห็นว่า มีปัจจัยหลายประการที่ทำให้เกิด mold fouling ได้แก่

- ชนิดของยางที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักในสูตรของยางคอมปาวด์ เช่น ยางคอมปาวด์ที่มียางธรรมชาติ หรือ ยาง SBR เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อนำยางคอมปาวด์เหล่านี้มาขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) เกิดเป็นแผ่นฟิล์มยึดเกาะที่พื้นผิวหน้าของแม่พิมพ์
- ชนิดของสารตัวเติม เช่น แคลเซียมซิลิเกต และ ซิลิกาชนิดตกตะกอน
- สารเคมีช่วยหล่อลื่นแม่พิมพ์ (mold-release agent)
- คุณภาพของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

Menges และ Benfer (1988) ศึกษา mold fouling ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ยางคอมปาวด์ที่มียาง NBR เป็นองค์ประกอบหลัก และสารตัวเติมได้แก่ คาร์บอนแบล็ก จำนวน 50 phr และ เกาลิน (kaolin) จำนวน 30 phr ขึ้นรูปยางคอมปาวด์ด้วยแม่พิมพ์แบบฉีด พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง mold fouling กับจำนวนครั้งที่ใช้แม่พิมพ์ ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการฉีดยางเข้าแม่พิมพ์ (ภาพที่ 1) และขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้งานของแม่พิมพ์ (ภาพที่ 2) และจากการวิเคราะห์พื้นผิวของแม่พิมพ์ด้วยเทคนิค electron probe micro-analysis พบว่า คราบสกปรกที่ยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของแม่พิมพ์ประกอบด้วยธาตุเหล็ก ซิลิคอน อะลูมิเนียม กำมะถัน และ สังกะสี มีนัยสำคัญว่าธาตุที่พบเหล่านี้เกิดมาจากการสึกกร่อนของแม่พิมพ์ (ธาตุเหล็ก) จากยางคอมปาวด์ (ธาตุสังกะสี และธาตุกำมะถัน) และจากสารตัวเติมเกาลิน (ธาตุซิลิคอนและธาตุอลูมิเนียม) และBaarle (2004) ศึกษาวิเคราะห์พื้นผิวของแม่พิมพ์ด้วย optical microscope กำลังขยาย 1000 เท่า และ Rontgen microanalysis (RMA) พบว่าคราบสกปรกที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแม่พิมพ์เนื่องจากการใช้กำมะถันเป็นสารทำให้ยางคงรูป และใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นสารช่วยเร่งปฏิกิริยาคงรูปในยางคอมปาวด์ เกิดจากผลึกของซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) และได้เสนอกลไกการเกิดซิงค์ซัลไฟด์ ดังนี้

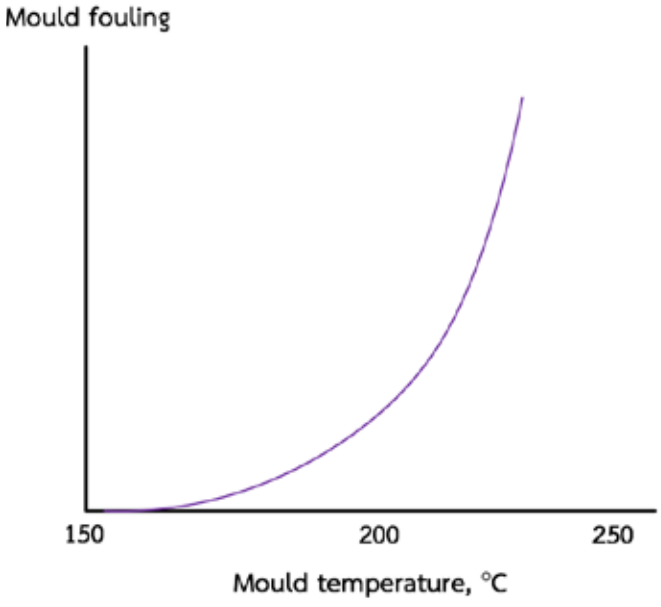
$$2RH + S_x + ZnO + (accelerator) \longrightarrow R\text{-}S_{(x-1)}\text{-}R + ZnS + H_2O$$

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว พบว่าการเกิด mold fouling มีปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของยาง และชนิดของสารตัวเติมในสูตรยางคอมปาวด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ และค่าพารามิเตอร์สำหรับเครื่องขึ้นรูปยาง เป็นต้น



รูปที่ 1: ความสัมพันธ์ระหว่าง mold fouling กับจำนวนครั้งในการใช้แม่พิมพ์ ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการฉีดยางเข้าแม่พิมพ์ (Menges และ Benfer 1998)

การทำความสะอาดพื้นผิวของแม่พิมพ์เพื่อกำจัดคราบสกปรก มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การพ่นทราย (sand blasting) การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค การใช้น้ำยาเคมี การใช้ fluidized bath เป็นต้น Sommer และคณะ (1976) ชี้ให้เห็นว่าการทำความสะอาดแม่พิมพ์ยางด้วยวิธีดังกล่าวจำเป็นต้องถอด และเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ออกจากเครื่องขึ้นรูป ซึ่งมีความเสี่ยงในการทำให้เกิดความเสียหายแก่แม่พิมพ์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพและต้นทุนในกระบวนการผลิต พวกเขาจึงได้เสนอแนวความคิดใหม่ในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่เรียกว่า in-place cleaning โดยใช้ยางคอมปาวด์ที่มียาง EPDM เป็นองค์ประกอบหลัก และ aminohydroxy additive เพื่อทำความสะอาดแม่พิมพ์ขณะติดตั้งอยู่กับเครื่องอัดขึ้นรูป



รูปที่ 2: ความสัมพันธ์ระหว่าง mold fouling กับอุณหภูมิที่ใช้งานของแม่พิมพ์ (Menges และ Benfer 1998)

ปัจจุบันแม้ว่าได้มีการผลิตยางคอมปาวด์สำหรับทำความสะอาดแม่พิมพ์ในเชิงพาณิชย์แล้วโดยใช้แนวคิดของ Sommer และคณะ ซึ่งมีอยู่หลายยี่ห้อ เช่น STRUKTOL MC-A, STRUKTOL MC-B, GLO-MOLD และ MoKlean เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ล้วนแต่ใช้ยางสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบหลักในสูตรของยางคอมปาวด์ ซึ่งมีราคาสูง ส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น จึงเป็นไปได้ที่จะนำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นยางคอมปาวด์สำหรับทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อส่งเสริมการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศให้มากขึ้น และช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยางพาราด้วย ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้ยางสูตรต่างๆ ดังตารางที่ 1 และแม่พิมพ์ทำด้วยเหล็กเกรด P20 ซึ่งเป็นเหล็กเกรดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ยางและสารเคมี

2.1.1 ยางธรรมชาติ: STR 5L และยางแผ่นรมควันชั้น 3

2.1.2 สารตัวเติม: ซิลิกา (Hisil 233)

2.1.3 สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยาคงรูป: ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) และกรดสเตียริก (stearic acid)

2.1.4 สารเร่งปฏิกิริยาคงรูป: บิวทิลเบนโซไทอะโซลซัลฟีนาไมด์ (N-tert.butyl-2-benzothiazole sulfenamide, TBBS)

2.1.5 สารช่วยในกระบวนการผลิต (processing aid): Polyethylene glycol 600 (PEG 600)

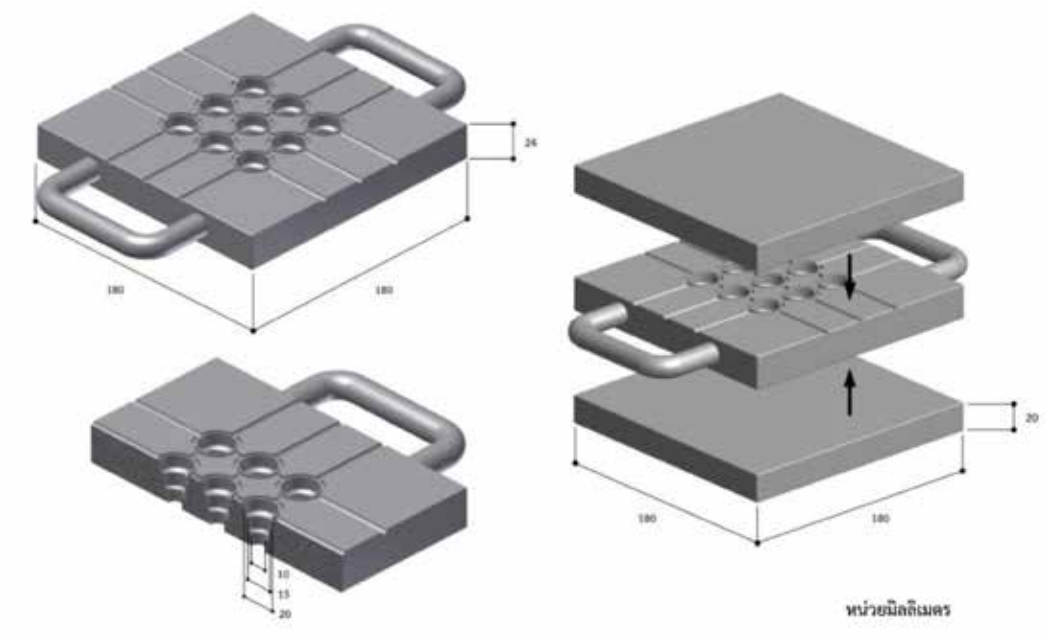
2.1.6 สาร cleaning agent: Monoethanolamine (MEA)

2.1.7 สารทำให้ยางคงรูป: กำมะถัน และ Dicumyl peroxide (DCP)

2.1.8 สารป้องกันยางเสื่อม: N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine (6PPD)

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1 แม่พิมพ์ทำด้วยเหล็กชนิด P20 (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการศึกษาทดลองทำด้วยเหล็ก P20 ขนาด 9 หลุม

2.2.2 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mil) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร ความยาว 260 มิลลิเมตร ความจุ ประมาณ 0.4 กิโลกรัม

2.2.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (compression molding machine) ขนาด 150 ตัน

2.2.4 เครื่องชั่ง มีความละเอียดในการอ่านค่า 0.01 กรัม

2.2.5 เครื่องหาอุณหภูมิและเวลาคงรูป Moving Die Rheometer (MDR) ของ Tech Pro รุ่น 11T202

ตารางที่ 1 สูตรของยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบ	ปริมาณยางและสารเคมียางที่ใช้ (phr =ส่วนใน 100 ส่วนของยางโดยน้ำหนัก)						
	A	B	C	D	E	F	G
ยางธรรมชาติ STR 5L	100	100	100	100	100	100	-
ยางธรรมชาติ (ยางแผ่นรมควันชั้น 3)	-	-	-	-	-	-	100
ซิลิกา (Hisil 233)	30	30	30	30	30	30	-
ซิงค์ออกไซด์	3	3	3	3	3	3	15
กรดสเตียริก	2	2	2	2	2	2	10
PEG 600	15	15	15	15	15	15	-
MEA	5	10	15	5	10	15	-
TBBS	2	2	2	-	-	-	0.5
กำมะถัน	0.5	0.5	0.5	-	-	-	7.5
DCP	-	-	-	2	2	2	-
6PPD	-	-	-	-	-	-	3
Cure time (min)/temp (°C)	5/150	6/150	9/150	5/150	5/150	5/150	12/160

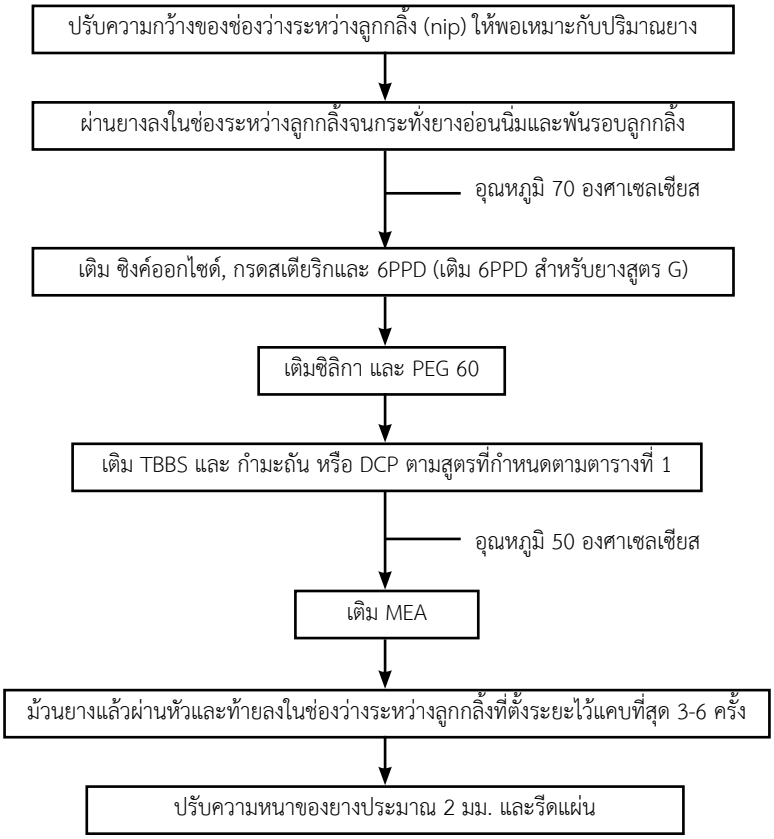
หมายเหตุ : 1. Cure time (min)/temp (°C) หมายถึง ระยะเวลาคงรูป (นาที) ที่อุณหภูมิที่กำหนด เช่น 5/150 หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป 5 นาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นต้น

2. ยางสูตร G คือ สูตรยางที่ทำให้แม่พิมพ์เกิดคราบสกปรก ใช้ระยะเวลาในการคงรูปนานและอุณหภูมิสูงกว่ากว่ายางสูตรอื่นๆ เนื่องจากต้องการให้ยางเกิดปฏิกิริยากับพื้นผิวของแม่พิมพ์นานขึ้น และเกิดคราบสกปรกที่สามารถควบคุมได้

2.3 การบดผสมยางกับสารเคมี

- ชั่งน้ำหนักยางดิบและสารตัวเติม ให้มีความละเอียด ±1 กรัม
- ชั่งน้ำหนักสารเคมียาง ให้มีความละเอียด 0.1 กรัม
- ปรับอุณหภูมิของลูกกลิ้งของเครื่องบดผสมยางให้มีอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส แล้วบดยางให้นิ่ม จนกระทั่งยางพันรองลูกกลิ้งอย่างสม่ำเสมอ ไม่มี ช่องว่าง และรอยขาดที่ผิวหน้าของยาง
- เติมซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริก (และสารป้องกันยางเสื่อมสำหรับยางสูตร G ในตารางที่ 1) ลงไปบดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกับยางใช้เวลาประมาณ 3 นาที เติมสารตัวเติม ซิลิกา สลับกับ PEG 60 บดผสมประมาณ 5 นาที จากนั้นเติม TBBS ลงไป บดผสมประมาณ 2 นาที เติมกำมะถันหรือ DCP (ตามสูตรที่กำหนดในตารางที่ 1) แล้วปรับอุณหภูมิของยางที่พันอยู่รอบลูกกลิ้งให้มีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วเติม สาร MEA ลงไป บดผสมประมาณ 2 นาที ภายหลังจากนั้นรีดยางเป็นแผ่น ให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร สำหรับนำไปทดสอบการคงรูป
- นำยางคอมปาวด์มาพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำยางคอมปาวด์น้ำหนักประมาณ 7 กรัม ไปทดสอบสมบัติการคงรูป ด้วยเครื่องหาอุณหภูมิและเวลาคงรูป Moving Die Rheometer (MDR) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และ 160 องศาเซลเซียส สำหรับยางสูตร G เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการคงรูป t_c90

ขั้นตอนการบดผสมยางกับสารเคมี แสดงในรูปที่ 4

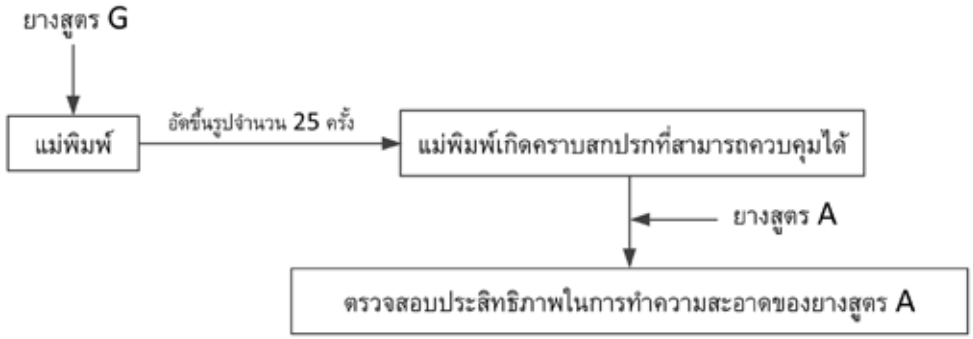


รูปที่ 4 ขั้นตอนการบดผสมยางกับสารเคมี

2.4 การขึ้นรูปและทำให้ยางคงรูป

นำยางคอมปาวด์ สูตร G ประมาณ 7 กรัม มาใส่ในแม่พิมพ์ที่ (รูปที่ 3) และนำไปทำให้คงรูปด้วยเครื่องเครื่องอัดขึ้นรูปที่ระยะเวลาและอุณหภูมิที่กำหนดในตารางที่ 1 โดยทำการอัดขึ้นรูปจำนวน 25 ครั้ง เมื่อได้คราบสกปรกตามที่กำหนดแล้ว นำยางสูตรทดลองต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 สูตรละประมาณ 7 กรัม มาศึกษาทดลอง ซึ่งขั้นตอนการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5

พื้นผิวของแม่พิมพ์ตรวจสอบโดยใช้กล้องถ่ายรูป ที่มีกำลังขยายประมาณ 1.7 เท่า ซึ่งเพียงพอที่ทำให้สามารถเห็นความแตกต่างของคราบสกปรกที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

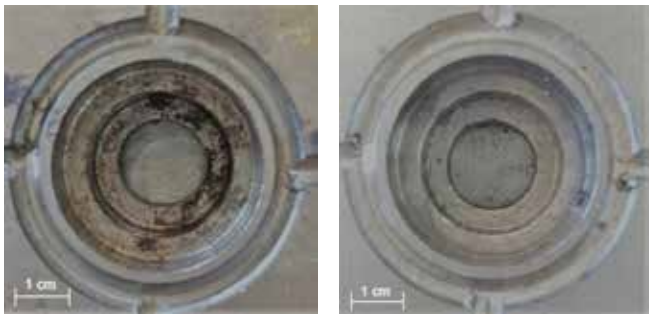


(หมายเหตุ ยางคอมปาวด์ทำความสะอาดแม่พิมพ์สูตรอื่นๆ ที่ใช้ในการทดลองใช้แนวทางการทดลองเช่นเดียวกับยางคอมปาวด์ตัวอย่างข้างต้น)

รูปที่ 5 ลำดับขั้นตอนในการขึ้นรูปยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

สูตรยางที่ใช้ในการศึกษาทดลองมีทั้งหมด 7 สูตร (ตารางที่ 1) โดยใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุหลัก สูตร A-F เป็นสูตรยางสำหรับทำความสะอาดแม่พิมพ์ สูตร G เป็นสูตรยางที่ใช้เกิดคราบสกปรกที่ผิวของแม่พิมพ์ที่สามารถควบคุมได้ โดยเพิ่มปริมาณของ ZnO เป็นจำนวน 5 เท่าจากสูตรยางปกติ (3 phr) และเพิ่มปริมาณกำมะถันเป็น 3 เท่าจากสูตรปกติ (2.5 phr) การใช้ปริมาณของสารเคมีที่เพิ่มขึ้นมากกว่าปกติทำให้เวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดคราบสกปรกที่ผิวของแม่พิมพ์เร็วขึ้นโดยคราบสกปรกที่ผิวของแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 6



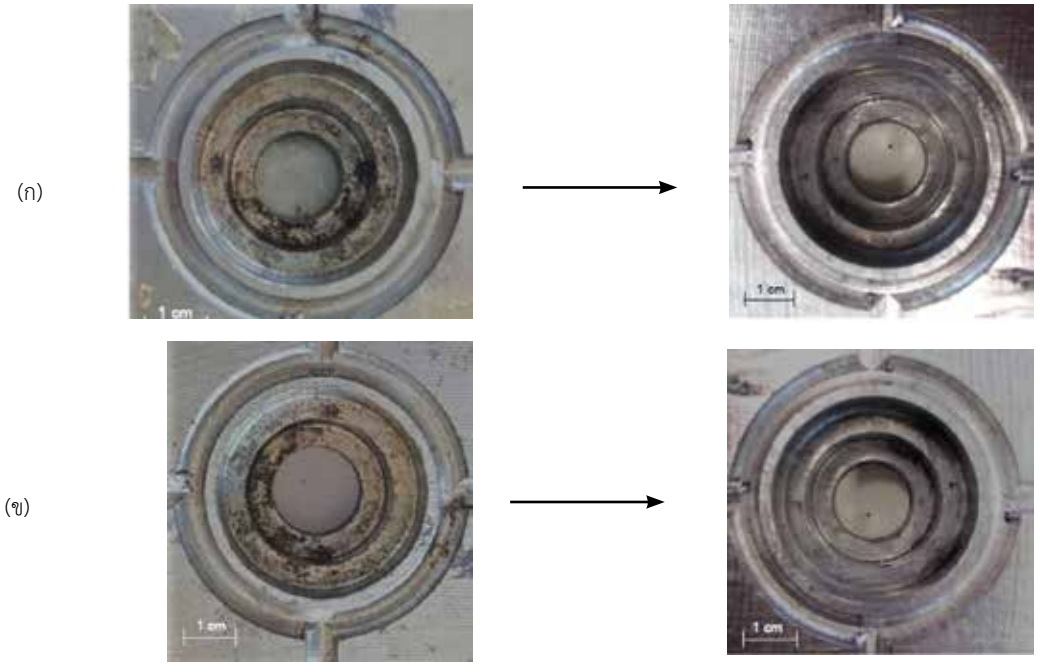
รูปที่ 6 เปรียบเทียบผลของยางสูตร G ที่ทำให้เกิดคราบสกปรกที่ผิวของแม่พิมพ์ (ก) ก่อนอัดขึ้นรูป (ข) ภายหลังจากการอัดขึ้นรูปจำนวน 25 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที

ผลการนำแม่พิมพ์ที่มีคราบสกปรกมาทำความสะอาด ด้วยสูตรยางทำความสะอาดแม่พิมพ์จำนวน 6 สูตร พบว่า

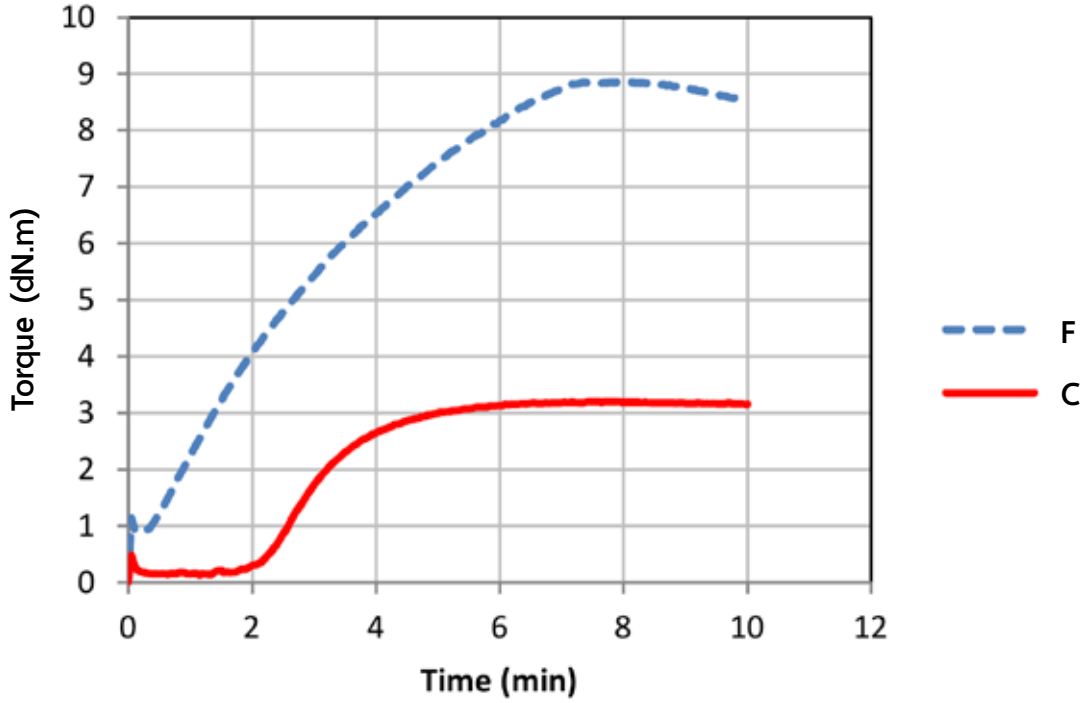
- ยางสูตร A B และ C เป็นสูตรยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่ใช้ระบบการคงรูปแบบกึ่งประสิทธิภาพ(semi-efficient vulcanization) โดยใช้อัตราส่วนของปริมาณกำมะถันต่อสารเร่งปฏิกิริยาคงรูปเท่ากับ 0.25 เพื่อให้ยางคงรูปที่ได้มีความทนต่อความร้อน และมีความทานต่อการฉีกขาดได้ดี ในการทดลองได้ปรับเปลี่ยนปริมาณของสารทำความสะอาด MEA ตั้งแต่ 5 phr 10 phr และ 15 phr ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ MEA ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดพื้นผิวของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น โดยยางสูตร C มีประสิทธิภาพดีกว่าสูตร B และ A ตามลำดับ (เมื่อใช้จำนวนครั้งในการทำความสะอาดที่เท่ากัน)

- ยางสูตร D และ F เป็นสูตรยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่ใช้สารเปอร์ออกไซด์เป็นสารวัลคาไนซ์ ทั้งสามสูตรใช้ปริมาณของเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1.0 phr และได้ปรับเปลี่ยนปริมาณของ MEA ตั้งแต่ 5 phr 10 phr และ 15 phr ผลที่ได้จากการทดลองให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน นั่นคือในระบบวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดพื้นผิวของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ MEA ที่เพิ่มขึ้น โดยยางสูตร F มีประสิทธิภาพดีกว่ายางสูตร E และ D ตามลำดับ

ดังนั้นระบบวัลคาไนซ์ทั้งสองระบบ สูตร A B และ C ใช้ระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันและสูตร D E และ F ใช้ระบบวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ ปริมาณของ MEA ที่ใช้มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ของยางที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ยางสูตร C และยางสูตร Fพบว่ายางสูตร F มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดดีกว่ายางสูตร C เมื่อใช้จำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่เท่ากัน (รูปที่ 7) นอกจากนั้นเมื่อศึกษาผลที่ได้จากการทดสอบลักษณะการคงรูปของยางทั้งสองสูตรด้วยเครื่อง cure meter พบว่าผลที่ได้ค่อนข้างแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 8) เมื่อเปรียบเทียบค่าทอร์คสูงสุดของยางทั้งสองสูตรพบว่า ยางสูตร C จะมีค่า ทอร์ค สูงสุดต่ำกว่ายางสูตร F ซึ่งเป็นไปได้ว่าระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันซึ่งเป็นระบบกึ่งประสิทธิภาพและมี MEA อยู่ในสูตรของยางอาจจะมีผลต่อระบบการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลของยาง ทำให้ความแข็งแรงของยางสูตร C มีค่าที่ต่ำกว่ายางสูตร F ซึ่งใช้ระบบวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการไหลของยางทั้งสองสูตร พบว่ายางสูตร C มีประสิทธิภาพในการไหลได้ดีกว่ายางสูตร F ซึ่งเป็นไปได้ว่าประสิทธิภาพในการไหลของยางอาจจะมีผลต่อค่าทอร์คสูงสุดของยางในกรณีของการศึกษาทดลองครั้งนี้



รูปที่ 7 ผลที่ได้จากการทดลองในการใช้ยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ จำนวน 5 ครั้ง (ก) ยางสูตร C (ข) ยางสูตร F



รูปที่ 8 เปรียบเทียบ curing curve ที่ 150 องศาเซลเซียส ของยางสูตร C และสูตร F

4. สรุป (Conclusion)

ปริมาณของ MEA ที่ใช้ในสูตรของยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ด้วยยางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดพื้นผิวแม่พิมพ์ เมื่อใช้ปริมาณของ MEA ที่ 15 phr จะให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดพื้นผิวแม่พิมพ์ได้ดีสุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ 5 phr และ 10 phr ตามลำดับ สำหรับระบบคงรูปในสูตรของยาง สูตรยางที่ใช้ระบบคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ ให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดพื้นผิวแม่พิมพ์ได้ดีกว่าสูตรยางที่ใช้ระบบคงรูปด้วยกำมะถันนอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบ ได้แก่ ชนิดและปริมาณของคราบสกปรกที่เกิดขึ้น รวมทั้งจำนวนครั้งในการทำความสะอาดด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ คุณสายัณห์ สุยพงษ์พันธ์ กองวัสดุวิศวกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นที่ปรึกษาและออกแบบแม่พิมพ์สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] VECCHIO, R.J.D. Molding. In: VECCHIO, R.J.D., ed. *Fundamentals of Rubber Technology.* Akron : Technical Consulting Services. 2003, pp. 129-150.

[2] SOMMER, J.G., H.N. GROVER and P.SUMAN. In-place cleaning of rubber curing molds. *Rubber Chem. Technol.* 1976, 49(5), 1129-1141.

[3] MENGES, G. and W. BENFER. Mould fouling in injection moulding of elastomers. *Int. J. Polym. Sci. Technol.* 1988, 11, T/1-T/7.

[4] BAARLE, B.V. Mold fouling during rubber vulcanization. *Rubber World.* 2004, 38, 25-29.