

การพัฒนาสูตรสารถอดแบบแม่พิมพ์สำหรับถุงลมยางใน
อุตสาหกรรมยางรถยนต์

DEVELOPMENT OF MOLD RELEASE AGENT FORMULAS
FOR BLADDER IN TIRE INDUSTRY



สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF MOLD RELEASE AGENT FORMULAS
FOR BLADDER IN TIRE INDUSTRY



A COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2018

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา การพัฒนาสูตรสารถอดแบบแม่พิมพ์สำหรับถุงลมยางใน
อุตสาหกรรมยางรถยนต์
Development of Mold Release Agent Formulas for
Bladder in Tire Industry

ชื่อนักศึกษา นางสาวกนกวรรณ อีร์สุรศาศวัต รหัสนักศึกษา 58050431
นางสาวปาจรีย์ คัมโชค รหัสนักศึกษา 58050502




ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี
อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ กรรมการ	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การพัฒนาสูตรสารถอดแบบแม่พิมพ์สำหรับถุงลมยางในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ Development of Mold Release Agent Formulas for Bladder in Tire Industry
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกนกวรรณ ชีรสุศาศวัด รหัสนักศึกษา 58050431 นางสาวปาจริย์ คุ่มโศก รหัสนักศึกษา 58050502
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

บทคัดย่อ

งานวิจัยสหกิจศึกษานี้เป็นความร่วมมือระหว่างคณะวิทยาศาสตร์ สจล. กับบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบแม่พิมพ์ (Mold release agents) สูตรน้ำซิลิโคน เพื่อป้องกันการยึดติดถุงลมยาง (Bladder) ในกระบวนการผลิตยางล้อรถยนต์ โดยเน้นพัฒนาสูตรองค์ประกอบของน้ำยาสารถอดแบบแม่พิมพ์ รวมทั้งการพัฒนาวิธีการทดสอบประสิทธิภาพการยึดติดของน้ำยาสารถอดแบบแม่พิมพ์ จากการทดลองการศึกษาแนวเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) และสูตรพัฒนา (BCI-110-04) พบว่าปริมาณซิลิโคน 16.5% และซิลิโคนดัดแปลง 20% มีความเหมาะสม ทำให้เกิดประสิทธิภาพการป้องกันการยึดติดสูงสุด นอกจากนี้การใช้สารเร่งการเชื่อมโยงทำให้ฟิล์มของน้ำยาสารถอดแบบเกิดการเชื่อมโยงที่ดีขึ้น และสารเติมแต่งที่เหมาะสมคือ ซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทฟลอน จากวิธีการทดสอบประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบสามวิธี ได้แก่ การกดอัดขึ้นรูปร้อน การวัดแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ดิงลอกแบบตัวที่ และการหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานด้วยการทดสอบไทรโบโลยี สรุปได้ว่าการทดสอบด้วยการกดอัดขึ้นรูปร้อนเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และสามารถบอกแนวโน้มของประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบได้ดี และจากการทดสอบการใช้งานที่กระบวนการผลิตจริง พบว่าน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา สามารถถอดยางล้อโดยมีประสิทธิภาพและความทนทานที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คำสำคัญ : กระบวนการผลิตยางล้อ ถุงลมยาง น้ำยาสารถอดแบบชนิดซิลิโคน น้ำยาสูตรพัฒนา

Title	Development of Mold Release Agent Formulas for Bladder in Tire Industry
Students	Miss Kanokwan Teerasurasassawat Student ID 58050431 Miss Pajaree Koomsok Student ID 58050502
Degree	Bachelor of Science (Industrial chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Ittipol Jangchud

Abstract

This research in cooperative study is a collaboration between Faculty of science, KMITL, and Acme International (Thailand) Co., Ltd.. The objective was to develop new formulas of water-based silicone mold release agent for bladder in tire manufacturing process. Methods to test efficiency of mold release agents were also studied. In comparative studies between original formula (BCI-110-BK) and developed one (BCI-110-04), it was found that appropriate amounts of silicone and modified silicone were 16.5% and 20%, respectively. By adding a crosslinking catalyst additive, film forming and antitack properties were improved. Fluorocarbon additive could be used to improve mold release properties. Three methods for testing efficiency of mold release agents, i.e., compression molding, pulling force T-test by Universal Testing Machine (UTM) and frictional coefficient by tribology were also studied comparatively. Compression molding method was an easy and convenient method to test efficiency of mold release agents. Efficiency of mold release agents was also tested in a tire manufacturing company. It was found that the new developed formula mold release agent had better mold release efficiency yielding longer bladder life as compared to those of the original mold release agent.

Keywords : Tire manufacturing, Bladder, Water-based silicone mold release agent

New formulas

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาชี้แนะและช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลาย ๆ ท่าน คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำในหลาย ๆ เรื่อง ให้ความรู้และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภารัตน์ รักชลธี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ประธานกรรมการและกรรมการในการสอบครั้งนี้ที่ให้คำแนะนำ และช่วยแก้ไขปัญหา ขอขอบคุณ คุณบุญวัฒน์ ชีรประเวศน์กุล ประธานกรรมการผู้จัดการ บริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด ที่รับเข้าฝึกสหกิจเป็นระยะเวลาทั้งหมด 4 เดือน คุณประกาศิต บานชื่น และคุณนันทน์ภัส โคระทัต ในการให้คำแนะนำ คำปรึกษาและให้ความรู้ในงานวิจัย รวมถึงการสนับสนุนจากทางโครงการ การพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA)

ขอขอบคุณพี่ ๆ จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล.และ มจพ. ตลอดจนพี่ ๆ ฝ่ายอาคารสถานที่ ซีโอปพอลิเมอร์ พี่ยศวัต บัณญัติ พี่ ๆ จากบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษา และขอขอบคุณบริษัท สยามทริค เรเดียล จำกัด (Siam truck radial Co., Ltd.) จังหวัดนครปฐม ที่ช่วยทำการทดสอบน้ำยาสารลดแรงตึงผิวในกระบวนการผลิตจริงให้กับทางคณะผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว รวมไปถึงเพื่อน ๆ ทุกคน ที่สนับสนุน ให้กำลังใจ และคอยช่วยเหลือแก้ไขปัญหาดังต่าง ๆ จนงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

งานวิจัยฉบับนี้หากมีประโยชน์และมีคุณค่าต่อผู้ที่นำไปศึกษาต่อ คณะผู้วิจัยขอมอบแต่บิดามารดา ผู้มีพระคุณทุกท่าน และครูปาอาจารย์ที่ให้คำปรึกษาและคอยอบรมสั่งสอนวิชาความรู้มาตั้งแต่แรกเริ่มจนถึงปัจจุบัน แต่ถ้าหากมีข้อผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยไว้ ณ ที่นี้

กนกวรรณ ชีรสุรศาศวัด
ปาจริย์ คุ่มโศก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 น้ำยาสารถอดแบบ (Mold release agents)	5
2.1.1 ชนิดของน้ำยาสารถอดแบบ	5
2.1.2 การใช้งานของน้ำยาสารถอดแบบ.....	6
2.1.2 การนำน้ำยาสารถอดแบบไปใช้งาน.....	8
2.2 องค์ประกอบในน้ำยาสารถอดแบบ	8
2.2.1 สารกลุ่มซิลิโคน (Silicones)	8
2.2.2 แวกซ์ (Wax).....	9
2.2.3 สารกลุ่มลดแรงตึงผิว (Surfactants).....	12
2.2.4 สารกลุ่มต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants).....	12
2.2.5 สารกลุ่มลดฟอง (Defoamer).....	13
2.2.6 สารเพิ่มความหนืด (Thickener).....	13
2.2.7 สารกลุ่มเพิ่มความเปียก (Wetting agent).....	13
2.2.8 สารกันเสีย (Preservative).....	14
2.3 ยางบิวทิล (Butyl rubber , IIR).....	14
2.4 การทดสอบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	15
2.4.1 การทดสอบหาค่ามอดุลัส.....	15
2.4.2 การทดสอบด้วยการกดอัดขึ้นรูปร้อน	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวารสารวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

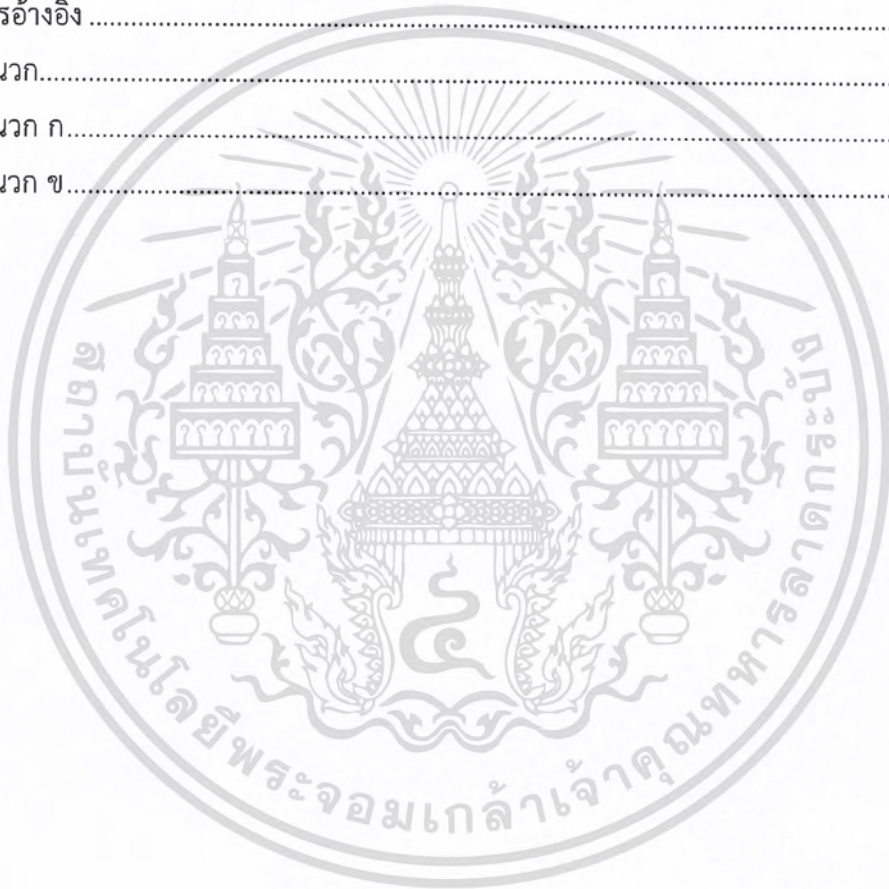
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 การทดสอบหาค่าแรงโดยการดึงลอกแบบตัวที่	17
2.4.4 ไตรโบโลยี.....	17
2.4.5 การทดสอบการใช้งานที่กระบวนการผลิตจริง.....	18
2.5 กลไกการยึดติด	19
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	24
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	24
3.1.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทำถลุงลมยาง	24
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทำน้ำยาสารถอดแบบ	24
3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย.....	24
3.2 วิธีการทำน้ำยาสารถอดแบบ	25
3.2.1 น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น	25
3.2.2 ศึกษาปริมาณซิลิโคนดัดแปลงในน้ำยาสารถอดแบบจากสูตรเริ่มต้น.....	26
3.2.3 ศึกษาปริมาณซิลิโคนในน้ำยาสารถอดแบบจากสูตรเริ่มต้น	27
3.2.4 ศึกษาชนิดของสารเติมแต่ง (Additives).....	27
3.2.5 ศึกษาการเปรียบเทียบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยงและมีสารเร่งการเชื่อมโยง.....	28
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	29
3.3.1 วิธีการทำถลุงลมยางที่ใช้ในการทดลอง	29
3.3.2 วิธีการทดสอบน้ำยาสารถอดแบบ.....	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	37
4.1 ผลการทดลองจากการหาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ	37
4.1.1 ศึกษาปริมาณซิลิโคนดัดแปลงในน้ำยาสารถอดแบบจากสูตรเริ่มต้น.....	38
4.1.2 ศึกษาปริมาณซิลิโคนในน้ำยาสารถอดแบบจากสูตรเริ่มต้น	40
4.1.3 ศึกษาชนิดของสารเติมแต่ง (Additives).....	42
4.1.4 ศึกษาการเปรียบเทียบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยงและมีสารเร่งการเชื่อมโยง.....	43
4.2 การศึกษาแนวเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น	
กับสูตรพัฒนา.....	45
4.2.1 การกดอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding).....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวการดึงลอกจาก แบบตัวที่.....	48
4.2.3 ผลการทดสอบทางไตรโบโลยี (Tribology).....	49
4.2.4 การทดสอบการใช้งานที่กระบวนการผลิตจริง.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	53
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก.....	59
ภาคผนวก ข.....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของน้ำยาสารถอดแบบ.....	22
3.1 น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK)	26
3.2 ปริมาณซิลิโคนดัดแปลงในน้ำยาสารถอดแบบ 10%, 20% และ 30%	26
3.3 ปริมาณซิลิโคนในน้ำยาสารถอดแบบ 14.5%, 16.5% และ 18.5%	27
3.4 สารเติมแต่งชนิด A เป็นหมู่อีเทอร์และชนิด B เป็นซิลิโคนดัดแปลงเทฟลอน	28
3.5 ศึกษาการเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยงกับมีสารเร่งการเชื่อมโยง ที่ปริมาณ 1%	28
3.6 สัญลักษณ์ที่แสดงถึงความยากง่ายในการบันทึกผล	34
3.7 แผนการดำเนินงานวิจัย	36
4.1 น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK)	37
4.2 การทดสอบน้ำยาสารถอดแบบที่มีปริมาณซิลิโคนดัดแปลง 10%, 15% และ 20%	38
4.3 การทดสอบน้ำยาสารถอดแบบที่มีปริมาณซิลิโคน 14.5%, 16.5% และ 18.5	40
4.4 การทดสอบน้ำยาสารถอดแบบโดยมีสารเติมแต่งชนิด A และชนิด B	42
4.5 การเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง กับมีสารเร่งการเชื่อมโยงที่ปริมาณ 1%	44
4.6 การทดสอบแบบไม่มีน้ำยาสารถอดแบบกับชิ้นงานยาง	45
4.7 การทดสอบน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK)	46
4.8 การทดสอบน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04)	47
ก.1 ผลการทดสอบการดึงลอกออกแบบตัวที่ (T-peel test) บนชิ้นงานที่ไม่มีน้ำยาสารถอดแบบ	59
ก.2 ผลการทดสอบการดึงลอกออกแบบตัวที่ (T-peel test) บนชิ้นงานที่มีน้ำยาสารถอดแบบ สูตรเริ่มต้น.....	59
ก.3 ผลการทดสอบการดึงลอกออกแบบตัวที่ (T-peel test) บนชิ้นงานที่มีน้ำยาสารถอดแบบ สูตรพัฒนา.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การเชื่อมโยงยาง	1
1.2 การพ่นน้ำยาสารถอดแบบบนแม่พิมพ์ยาง	2
1.3 การยึดติดกันของถุงลมยางและยางรถยนต์	3
2.1 การพ่น (Spraying)	6
2.2 การทา (Swabbing and painting)	7
2.3 การเช็ด (Wiping)	7
2.4 โครงสร้างของเมทิลซิลิโคน	9
2.5 พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax)	10
2.6 แวกซ์ผลึกเล็ก (Microcrystalline wax)	10
2.7 พอลิโพรพิลีนแว็กซ์ (Polypropylene wax)	11
2.8 พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax)	11
2.9 การทำลายฟองของสารลดฟอง	13
2.10 แสดงมุมสัมผัสของการเปียกที่ดี	14
2.11 โครงสร้างของยางบิวทิล	15
2.12 มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำ และอากาศรอบ ๆ	16
2.13 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding machine)	16
2.14 การดึงลอกออกแบบตัวที่ (T-peel test)	17
2.15 กระบวนการเชื่อมโยงยาง	18
3.1 เครื่องผสมเชิงกล	25
3.2 แผนผังการทำน้ำยาสารถอดแม่แบบ	29
3.3 แม่พิมพ์สำหรับทำถุงลมยาง	30
3.4 แม่พิมพ์สำหรับใส่ถุงลมยาง	30
3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบน้ำยาสารถอดแบบ	31
3.6 เครื่องกดอัดขึ้นรูป	31
3.7 การทาน้ำยาลงบนถุงลมยาง	31
3.8 ฟิล์มของน้ำยาสารถอดแบบ	32
3.9 การวางยางดิบลงบนถุงลมยางที่ทาน้ำยาแล้ว	32
3.10 การดึงยางออกจากถุงลมยาง	33
3.11 แผนผังการทดสอบน้ำยาสารถอดแบบ	33
3.12 การทดสอบการดึงลอกออกแบบตัวที่	34

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 เครื่องไทรโบมิเตอร์ แบบ Pin-on-disc	35
4.1 กลไกการเกิดฟิล์มของซิลิโคนดัดแปลง	39
4.2 ซิลิโคนเมทิลไซลอกเซนหลายชั้น	42
4.3 ซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทฟลอนมีอะตอมฟลูออรีนจัดเรียงอย่างหนาแน่น	43
4.4 กลไกการเชื่อมโยงโดยมีสารเร่งการเชื่อมโยง	44
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงสูงสุดในการดึงลอกและจำนวนรอบ	48
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของชิ้นงานที่ไม่มีน้ำยาสารถอดแบบ	49
4.7 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของชิ้นงานที่มีน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น	50
4.8 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของชิ้นงานที่ไม่มีน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา	51
4.9 การพ่นน้ำยาสารถอดแบบและยางที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว	52
ข.1 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานที่ไม่มีน้ำยาสารถอดแบบจาก เครื่องไทรโบมิเตอร์ (Tribometer)	61
ข.2 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานที่น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้นจาก เครื่องไทรโบมิเตอร์ (Tribometer)	62
ข.3 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานที่น้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนาจาก เครื่องไทรโบมิเตอร์ (Tribometer)	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตรถยนต์มากเป็นอันดับที่ 13 ของโลก และเป็นอันดับที่ 4 ของภูมิภาคเอเชีย ซึ่งสร้างมูลค่าการส่งออกในหมวดสินค้ารถยนต์ และส่วนประกอบได้สูงถึง 9.2 แสนล้านบาทต่อปี และมีแนวโน้มเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ [1] อุตสาหกรรมที่น่าสนใจอีกอุตสาหกรรมหนึ่ง คือ อุตสาหกรรมยางรถยนต์ ยางรถยนต์เป็นองค์ประกอบที่ขาดไม่ได้สำหรับรถยนต์ที่มีปริมาณการผลิตและการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งประเทศไทยเป็นแหล่งวัตถุดิบของการผลิตยางรถยนต์ โดยส่วนใหญ่ใช้ทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ เช่น ยางพารา ยางบิวทิล ยางไอโซพรีน และยางคลอโรพรีน เป็นต้น ทำให้ต้นทุนของการผลิตยางรถยนต์ต่ำลง เนื่องจากมีการใช้ยางมากในการผลิตยางรถยนต์ ประสิทธิภาพของยางรถยนต์ที่ดี คือ ต้องรองรับน้ำหนัก ลดแรงกระแทก และแรงเสียดทาน ให้ความนุ่มนวลในการขับขี่ บังคับทิศทาง ยึดเกาะถนน และช่วยในการหยุดรถ โดยกระบวนการผลิตยางรถยนต์ใช้โครงยางรถยนต์ดิบ (Green tire) ที่ยังไม่เชื่อมโยง ถูกนำเข้าสู่เครื่องอบยาง (Curing press) ซึ่งการอบยาง และกระบวนการเชื่อมโยงยาง (Vulcanization) ดังรูปที่ 1.1 ทำให้เปลี่ยนเป็นยางที่มีความแข็ง ลดความยืดหยุ่น และมีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ในการอบยางต้องมีการควบคุมเวลา อุณหภูมิ ความดัน และการไหลของน้ำร้อนให้พอเหมาะที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงที่สมบูรณ์



รูปที่ 1.1 การเชื่อมโยงยาง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการรถยนต์ดีบุกนำไปวางในแม่พิมพ์ เมื่อแม่พิมพ์ถูกปิด แรงดันภายในดันให้ถุงลมยางหรือเบลดเตอร์ (Bladder) นั้นแนบติดกับผนังด้านในของโครงสร้างยางดิบ ขั้นตอนนี้ทำได้โดยใช้ยางในชนิดบิวทิล (Butyl rubber) จากนั้นจึงเกิดการขยายตัวขึ้นภายใต้แรงดัน และอุณหภูมิที่สูงเพื่อให้โครงสร้างยางรถยนต์ดีบุกแนบติดกับผนังแม่พิมพ์ และเกิดการเชื่อมโยงทำให้ได้รูปทรงของยางที่ต้องการในขั้นสุดท้าย ดังนั้นจึงต้องใช้น้ำยาสารถอดแบบถุงลมยาง (Release agent) ดังรูปที่ 1.2 เพื่อป้องกันการยึดติดกันระหว่างล้อยางรถยนต์ที่เชื่อมโยงแล้ว และถุงลมยาง



รูปที่ 1.2 การพ่นน้ำยาสารถอดแบบบนแม่พิมพ์ยาง [2]

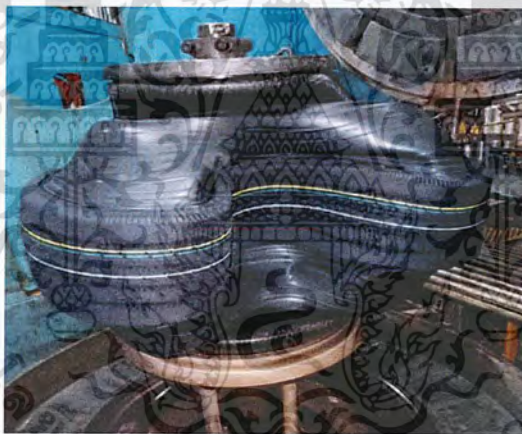
งานวิจัยนี้เป็นความร่วมมือระหว่างภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ร่วมกับบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด (Acme International (Thailand) Limited) อีกทั้งยังได้รับความอนุเคราะห์ภายใต้โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมไทย (ITAP) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA) ในชื่อโครงการการพัฒนาสูตรสารถอดแบบแม่พิมพ์ยาง และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของบริษัท

ทางคณะผู้วิจัยได้เห็นว่าการพ่นน้ำยาสารถอดแบบเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตล้อรถยนต์ที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปล้อรถยนต์ให้มีประสิทธิภาพที่ดี โดยการพ่นน้ำยาสารถอดแบบแต่ละครั้งต้องหยุดกระบวนการผลิตชั่วคราว และในทางตรงข้ามกัน ถ้าการพ่นน้ำยาสารถอดแบบ 1 ครั้งสามารถขึ้นรูปล้อยาง หรือได้จำนวนรอบในการถอดล้อยางมากยิ่งขึ้น ทำให้อัตราการผลิตสูงขึ้น แต่เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีผู้ผลิตน้ำยาสารถอดแบบ จึงมีการนำเข้าน้ำยาสารถอดแบบจาก

ต่างประเทศเข้ามาใช้ในประเทศไทย ทำให้มีต้นทุนที่สูงขึ้น และการขนส่งทางเรือที่ใช้เวลานาน ส่งผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับน้ำยาสารถอดแบบที่ว่องไวต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะความร้อน และความชื้น จึงเกิดการเสื่อมสภาพ (Degradation) ของน้ำยาสารถอดแบบที่เร็วกว่ากำหนดจากทางผู้ผลิต

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงศึกษา และพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบประเภทน้ำยาอิงถาวร ชนิด Silicone water-based เนื่องจากการที่มีส่วนประกอบหลักคือ น้ำซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งซิลิโคนมีอุณหภูมิการหลอมเหลวที่สูง สามารถละลายน้ำได้ดี มีการหล่อลื่นสูงเมื่อผสมกับสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ และมีการยึดเกาะทางกลกับผิวของแม่พิมพ์ได้ดี ทำให้สามารถถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้หลายครั้ง โดยที่ผิวของชิ้นงานไม่เกิดการยึดติดกับผิวของแม่พิมพ์ จึงเหมาะกับการนำไปใช้งานเป็นน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

โดยทางบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด ได้ผลิตน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพในการถอดรอบจำนวน 8 รอบของการพ่นน้ำยา 1 ครั้ง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ในจำนวนรอบของการถอดตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นนั้น ทำให้เกิดการยึดติดกันของตุลุมยางและโครงยางรถยนต์ดิบ ผลลัพธ์ก็คือ การเกิดความเสียหายกับตุลุมยาง ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 การยึดติดกันของตุลุมยางและยางรถยนต์

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถอดอย่างออกจากแม่พิมพ์ ในปัจจุบันบริษัทที่ผลิตน้ำยาสารถอดแบบได้มีแนวคิดในการพัฒนาสูตรของน้ำยาสารถอดแบบ และมีวัตถุประสงค์คือ ให้มีระยะเวลาในการใช้งานที่ยาวนานยิ่งขึ้น ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำยาสารถอดแบบ และลดความเสียหายในระหว่างกระบวนการผลิตยางล้อรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

พัฒนาสูตรน้ำยาสารถอดแบบชนิด Silicone water-based ที่มีประสิทธิภาพสำหรับถอดลงยาง เพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมยางรถยนต์ โดยเน้นศึกษาผลขององค์ประกอบในน้ำยาสารถอดแบบรวมถึง ผลการทดสอบจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) และสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ได้จริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเคมีที่เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ ดังนี้
 - ศึกษาปริมาณของซิลิโคนในน้ำยาสารถอดแบบจากสูตรเริ่มต้นที่มีปริมาณ 12% โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณดังนี้ คือ 14.5%, 16.5% และ 18.5%
 - ศึกษาปริมาณของซิลิโคนดัดแปลงในน้ำยาสารถอดแบบจากสูตรเริ่มต้นที่มีปริมาณ 11% โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณดังนี้ คือ 10%, 15% และ 20%
 - ศึกษาชนิดของสารเติมแต่ง (Additives) ได้แก่ ชนิด A เป็นหมู่อีเทอร์ (Ether group) และชนิด B เป็นซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทฟลอน (Teflon silicone modified)
 - ศึกษาการเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง และมีสารเร่งการเชื่อมโยง (Cure catalyst) ในน้ำยาสารถอดแบบ
- 2) ศึกษาผลการทดสอบการศึกษาแนวเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) และน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) โดยวิธีการ ดังนี้
 - การกดอัดขึ้นรูปรีออน (Compression molding process) โดยทำการจำลองเพื่อดูแนวโน้มประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบของการทำงานจริง
 - การดึงลอกออกแบบตัวที (T-peel test) ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์
 - การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากการทดสอบไตรโบโลยี (Tribology)
 - การทดสอบการใช้งานน้ำยาสารถอดแบบที่กระบวนการผลิตจริง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้น้ำยาสารถอดแบบที่สามารถใช้งานได้ โดยมีประสิทธิภาพที่ดี
- 2) ได้รับความรู้ในการเลือกสารตั้งต้น สารเติมแต่งของน้ำยาสารถอดแบบเพื่อป้องกันการยึดติดของโครงสร้างยางดิบ และถอดลงยาง
- 3) ลดการนำเข้าน้ำยาสารถอดแบบจากต่างประเทศ
- 4) เพิ่มความสามารถในการแข่งขันผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำยาสารถอดแบบของบริษัท และเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการให้มีความสามารถในการพัฒนาสูตรน้ำยาสารถอดแบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงความหมายของน้ำยาสารถอดแบบ หลักการการใช้งาน ชนิดของยาง องค์ประกอบของน้ำยาสารถอดแบบ และสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงวิธีการ ทดสอบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำยาสารถอดแบบ (Mold release agents)

น้ำยาสารถอดแบบเป็นสารประกอบที่ใช้ในการป้องกันการยึดติดของชิ้นงาน และแม่พิมพ์ โดยทำการพ่นหรือทาลงบนแม่พิมพ์ในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งเกิดชั้นฟิล์มบาง ๆ เพื่อป้องกันการยึดติด และทำให้ชิ้นงานสามารถถอดออกจากแม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้น น้ำยาถอดแบบแม่พิมพ์เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการอุตสาหกรรม ซึ่งน้ำยาถอดแบบแม่พิมพ์ช่วยเพิ่มผลผลิต ยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ เพิ่มคุณภาพของพื้นผิวของชิ้นงาน และลดจุดบกพร่องของชิ้นงาน เป็นต้น [2]

2.1.1 ชนิดของน้ำยาสารถอดแบบ

น้ำยาสารถอดแบบมี 3 ชนิด ได้แก่

1. น้ำยาสารถอดแบบภายใน (Internal release agents) น้ำยาสารถอดแบบที่ผสมเข้ากับการผสมเรซินหรือพอลิเมอร์ที่สามารถละลายในสารละลาย เช่น สไตรีน ระหว่างการขึ้นรูป น้ำยาสารถอดแบบชนิดนี้ระเหยออกจากสารละลาย และแพร่กระจายบนพื้นผิวเมื่อมีการให้แรงดัน และอุณหภูมิ ทำให้มีสารเคมีส่วนเกินออกมาบนผิวงาน (Blooming) ได้
2. น้ำยาสารถอดแบบไม่ถาวร (Non-permanent release agents)
3. น้ำยาสารถอดแบบกึ่งถาวร (Semi-permanent release agents) แบ่งเป็น 2 ชนิด
 - ชนิดตัวทำละลาย (Solvent-based) คือการเคลือบน้ำยาสารถอดแบบให้ยู่บนงานชิ้นอยู่กับการเกิดขึ้นของชั้นฟิล์มก่อนการใช้งาน ซึ่งชนิดนี้สามารถแห้งได้เร็วกว่าชนิดน้ำแต่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า
 - ชนิดน้ำ (Water-based) คือน้ำยาสารถอดแบบกึ่งถาวรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าชนิด Solvent-based

การเลือกใช้ชนิดของน้ำยาสารถอดแบบต้องเลือกให้เหมาะกับชนิดของแม่พิมพ์ด้วย เช่น แม่พิมพ์โลหะเกิดปฏิกิริยากับสารหล่อลื่นต่างจากแม่พิมพ์ที่เป็นพอลิเมอร์ ดังนั้นการเลือกชนิดของน้ำยาสารถอดแบบจึงมีความจำเป็นที่ต้องเลือกชนิดที่ไม่ทำให้พื้นผิวของชิ้นงาน และแม่พิมพ์เสียหาย [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การใช้งานของน้ำยาสารถอดแบบ [4]

น้ำยาสารถอดแบบต้องใช้งานลงบนพื้นผิวที่สะอาด ไม่มีสิ่งสกปรกติดที่แม่พิมพ์เพราะอาจเป็นสาเหตุให้การใช้งานของน้ำยาสารถอดแบบ การใช้งานน้ำยาสารถอดแบบที่ดีที่สุดควรทำตามคำแนะนำของผู้ผลิต ถ้าใช้มากเกินไปไม่เพียงแต่สิ้นเปลือง และไม่มีประสิทธิภาพแต่ยังนำไปสู่ปัญหาอื่น ๆ ในชั้นงาน ปริมาณความหนาของชั้นฟิล์มที่เหมาะสม คือประมาณ 0.005 นิ้ว ซึ่งความหนาของชั้นฟิล์มขึ้นกับวิธีในการใช้งาน และความหนืดของน้ำยาสารถอดแบบ

รูปแบบการใช้งานของน้ำยาถอดแบบสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. การพ่น (Spraying)

เป็นการใช้งานน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพ โดยประกอบด้วยหัวพ่นที่กว้าง หรือแบน ทำให้ละอองของน้ำยาสารถอดแบบมีลักษณะที่บาง และสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับใช้กับแม่พิมพ์ที่เป็นสแตนเลส นิกเกิล หรือพลาสติกที่ทดสอบแล้วว่าไม่เกิดปฏิกิริยากับน้ำยาสารถอดแบบแม่พิมพ์ที่ใช้ ดังรูปที่ 2.1

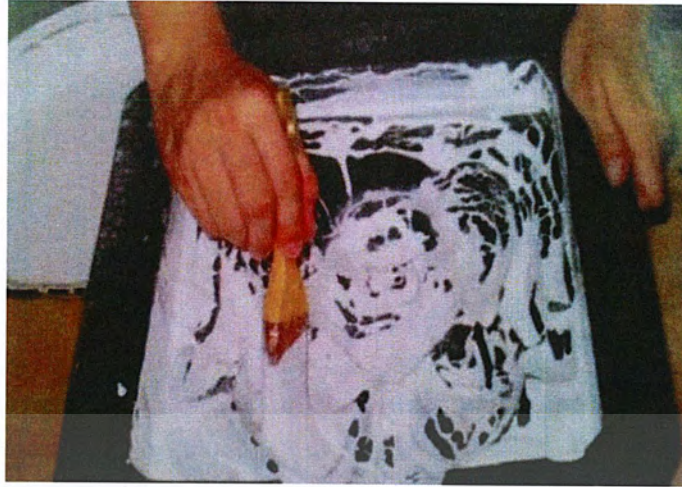


รูปที่ 2.1 การพ่น (Spraying) [4]

2. การทา (Swabbing and Painting)

การทาน้ำยาสารถอดแบบลงบนแม่พิมพ์เป็นวิธีที่สามารถกำจัดสิ่งที่ปนเปื้อนจากอากาศได้ แต่ในทางกลับกัน ทำให้ฟิล์มที่ได้หนาเกินความจำเป็น และนำไปสู่การสิ้นเปลือง ดังนั้นการทาจึงไม่เหมาะกับแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การทา (Swabbing and Painting) [4]

3. การเช็ด (Wiping)

วิธีการเช็ดด้วยน้ำยาสารลดแบคทีเรียเป็นทางเลือกสำหรับงานที่กังวลเกี่ยวกับการปนเปื้อนบนพื้นผิว โดยใช้ฟองน้ำ หรือผ้าเช็ดทำให้ได้ฟิล์มที่บางกว่าวิธีการทา แต่ผู้ปฏิบัติต้องมีความละเอียดในการใช้งาน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเช็ด (Wiping) [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การจุ่ม (Dipping)

การจุ่มน้ำยาสารถอดแบบเป็นวิธีอัตโนมัติทำให้มีความรวดเร็วในการใช้งาน น้ำยาสารถอดแบบที่มากเกินไปถูกดูดกลับไปจนถึงเก็บน้ำยาซึ่งช่วยลดน้ำยาสารถอดแบบส่วนเกินได้ วิธีการนี้ฟิล์มที่ได้ค่อนข้างหนาขึ้นอยู่กับระยะเวลาการจุ่มของแม่พิมพ์

2.1.3 การนำน้ำยาสารถอดแบบไปใช้งาน

1. คอนกรีต (Concrete)

คอนกรีตเป็นส่วนสำคัญของโครงสร้างโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งน้ำยาสารถอดแบบนำมาใช้งานเพื่อป้องกันการยึดติดระหว่างคอนกรีต และโครงร่างของคอนกรีต เช่น โครงร่างที่เป็นไม้ เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น

2. อุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร (Food processing)

อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารใช้ในขั้นตอนการแยกอาหารออกจากตู้บรรจุอาหารหลังจากการปรุงอาหารแล้ว โดยทั่วไป ไนลีน และแป้งสามารถใช้ได้ แต่ในอุตสาหกรรมด้านอาหารมีการใช้สารเคมีอื่นเช่นกัน อุตสาหกรรมอาหารที่นิยมใช้น้ำยาสารถอดแบบคือ อุตสาหกรรมการทำเบเกอรี่

3. อุตสาหกรรมกระดาษ (Paper industry)

อุตสาหกรรมผลิตกระดาษใช้น้ำยาสารถอดแบบลงในกระบวนการเคลือบกระดาษ (Paper coating) กระดาษบางชนิดมีการทำให้เกิดพลังงานพื้นผิวดำ (Low surface energy) เพื่อลดการยึดติดระหว่างกระดาษ และอุปกรณ์ในกระบวนการทำกระดาษ

4. อุตสาหกรรมพลาสติก (Plastics industry)

ใช้น้ำยาสารถอดแบบเพื่อป้องกันการยึดติดระหว่างพลาสติก และแม่พิมพ์ของพลาสติกช่วยให้ช่วยลดจุดบกพร่องของชิ้นงานได้

5. อุตสาหกรรมยาง (Rubbers industry)

งานด้านอุตสาหกรรมยางนิยมใช้น้ำยาสารถอดแบบในกระบวนการการขึ้นรูป เช่น กระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding) เพื่อป้องกันการยึดติดระหว่างยาง และถุงลมยาง (Bladder) ทำใหยางที่ขึ้นรูปแล้วสามารถถอดออกมาได้ และไม่มีจุดบกพร่องบนผิวยาง

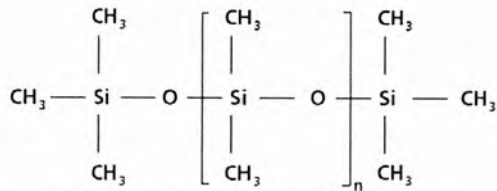
2.2 องค์ประกอบในน้ำยาสารถอดแบบ

2.2.1 สารกลุ่มซิลิโคน (Silicones)

ซิลิโคน เป็นพอลิเมอร์อินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากสมบัติของซิลิโคนที่เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์แบบควบแน่นที่ทำให้ซิลิโคนมีสมบัติที่แข็งแรง ยืดหยุ่น ทนความร้อน หรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ดี รวมถึงยังมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าอีกด้วย จึงสามารถนำมาใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ในรูปของเจล กาว ของเหลว หรืออย่าง โครงสร้างของซิลิโคน

นอกจากนี้ซิลิโคนยังเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีและออกซิเจนได้ดี มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และไม่ไวไฟ อย่างไรก็ตาม ซิลิโคนมีข้อเสียคือ มีราคาสูงและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ซิลิโคนยังมีคุณสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีและออกซิเจนได้ดี มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และไม่ไวไฟ อย่างไรก็ตาม ซิลิโคนมีข้อเสียคือ มีราคาสูงและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

แบบที่ง่ายที่สุดคือ เมทิลซิลิโคนหรือโพลีดีเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ดังรูปที่ 2.4 ประกอบด้วย ธาตุ 4 ชนิดคือซิลิคอน (Si) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) และคาร์บอน (C) [5]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเมทิลซิลิโคน [6]

2.2.2 แวกซ์ (Wax)

ทำหน้าที่เป็นสารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids) ช่วยในการผสม และหล่อลื่น (Lubricants) ขณะผสม นอกจากนี้ยังจัดเป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพอีกประเภทหนึ่ง นิยมใช้ป้องกันจากการเข้าทำปฏิกิริยาของโอโซน ใช้ป้องกันได้ดีเฉพาะในสภาวะอยู่นิ่ง เช่นการเก็บผลิตภัณฑ์ยางในโรงเก็บ แวกซ์ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพได้โดยเกิดการแพร่ออกมาที่ผิว นอก เกิดเป็นชั้นฟิล์มแว็กซ์บาง ๆ เคลือบผลิตภัณฑ์ยาง เป็นการป้องกันการเข้าทำปฏิกิริยาของโอโซนในอากาศ อย่างไรก็ตามถ้ายางได้รับแรงสั่นหรือแรงแบบไดนามิกส์ ฟิล์มแว็กซ์สามารถเกิดการแตก และไม่สามารถป้องกันยางได้ แวกซ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่

1. พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax)

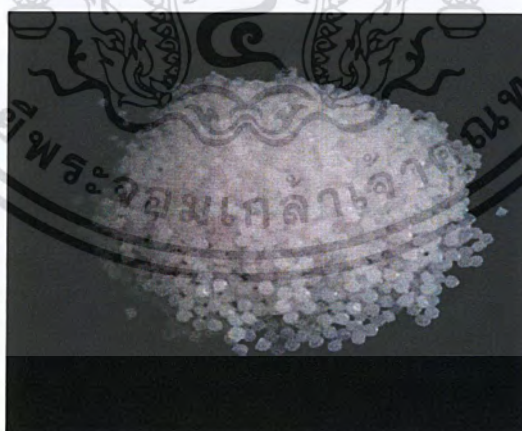
พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax) หรือขี้ผึ้งพาราฟินเป็นไขมันที่ได้จากการกลั่นจากปิโตรเลียม ซึ่งได้สารเคมีในกลุ่มแอลเคนไฮโดรคาร์บอน (Alkane hydrocarbon) โดยมีสูตรโครงสร้างคือ C_nH_{2n+2} พาราฟินแว็กซ์ มีลักษณะใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ คล้ายขี้ผึ้ง มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 340-430 พาราฟินแว็กซ์มีจุดหลอมเหลวที่ 47-64 องศาเซลเซียส ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในอีเทอร์ เบนซีน และเอสเทอร์บางชนิด ซึ่งพาราฟินแว็กซ์บริสุทธิ์มีสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี มีการนำขี้ผึ้งพาราฟินไปใช้เคลือบภาชนะบรรจุหลายชนิด การผลิตเทียน และอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น ลักษณะของพาราฟินแว็กซ์ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax) [7]

2. แวกซ์ผลึกเล็ก (Microcrystalline wax)

แว็กซ์ผลึกเล็กใช้สำหรับปรับความข้นหนืดของน้ำมัน เหมาะสำหรับสูตรเมคอัพทุกชนิดช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของสี (Color uniformity) และป้องกันการแยกชั้น (Sweating) ของลิปสติก แวกซ์ผลึกเล็ก มีลักษณะพิเศษกว่าแว็กซ์ชนิดอื่น ๆ คือมีความเหนียวมากกว่าแว็กซ์ธรรมชาติอื่น ๆ เนื่องจากแว็กซ์ผลึกเล็กมีจุดหลอมเหลวประมาณ 76-84 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่า Beeswax ประมาณ 63 องศาเซลเซียส และ Candelilla wax 67 องศาเซลเซียส แต่ต่ำกว่า Carnauba wax 87 องศาเซลเซียส มีน้ำหนักโมเลกุล 500-800 เป็นโครงสร้างไฮโดรคาร์บอนสายโซ่กิ่ง มีอัตราการแพร่ออกมาที่ผิวช้า เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า และโครงสร้างเป็นกิ่ง ใช้ป้องกันได้ดี โดยเฉพาะการใช้งานในที่อุณหภูมิสูง [7] ลักษณะของแว็กซ์ผลึกเล็กแสดงดังรูปที่ 2.6

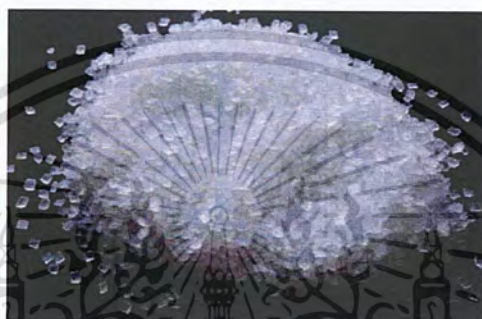


รูปที่ 2.6 แวกซ์ผลึกเล็ก (Microcrystalline wax) [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พอลิโพรพิลีนแว็กซ์ (Polypropylene wax)

มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ อุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 145 องศาเซลเซียส มีการใช้งานที่หลากหลาย การกระจายตัวดี ในกระบวนการที่มีความหนืดที่มากเมื่อเติมพอลิโพรพิลีนแว็กซ์สามารถช่วยปรับปรุงดัชนีการหลอม (Melt Index) เพิ่มความสามารถในการหล่อลื่น ลดรอยขีดข่วนได้ การใช้พอลิโพรพิลีนแว็กซ์มีความสำคัญมากเพราะ ใส่ในปริมาณมากเกินไปทำให้การฉีดขึ้นรูปยากขึ้น ดังนั้นการใส่พอลิโพรพิลีนแว็กซ์ทำให้ความเข้ากันได้ของแว็กซ์กับพอลิเมอร์ดีขึ้น ปรับปรุงพื้นผิวของฟิล์มให้โปร่งใสเพราะพอลิโพรพิลีนแว็กซ์มีสีขาว [8] มีลักษณะดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 พอลิโพรพิลีนแว็กซ์ (Polypropylene wax) [8]

4. พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax)

พอลิเอทิลีนแว็กซ์ประเภทมวลโมเลกุลต่ำที่ได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ลักษณะเฉพาะของมันเป็นคือ การมีจุดหลอมละลายสูง และมีความแข็งที่ดีจากอุณหภูมิต่ำไปสูง นอกจากนี้การมีค่าความหนืดที่กว้างทำให้มันถูกนำไปใช้ได้อย่างหลากหลาย พอลิเอทิลีนแว็กซ์มีสมบัติการหล่อลื่นภายในดีกว่าการหล่อลื่นภายนอก นอกจากนี้ พอลิเอทิลีนแว็กซ์ยังถูกนำมาใช้เป็นสารหล่อลื่น และสารกระจายตัวในการทำเม็ดสีพลาสติก โดยพอลิเอทิลีนแว็กซ์เป็นตัวพัฒนาการกระจายตัวของสารเติมเต็มหรือเม็ดสีต่าง ๆ อีกทั้งยังใช้เป็นสารตัดแปรสำหรับกระบวนการผลิตเทียน และการเคลือบผิวกระดาษด้วย ลักษณะของพอลิเอทิลีนแว็กซ์ [9] แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax) [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.8 พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax) [9] ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สารกลุ่มลดแรงตึงผิว (Surfactants)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำสามารถช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ มีลักษณะสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนหางเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สารลดแรงตึงผิวแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. สารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic surfactant) สารชนิดนี้เมื่อละลายน้ำสามารถแตกตัว และส่วนหัวมีประจุเป็นลบสารจำพวกนี้ถูกนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่าง ๆ เนื่องจากสามารถจัดคราบสกปรกได้ดี เช่น Sodium linear alkylbenzene sulfonate (LAS)

2. สารลดแรงตึงผิวประจุบวก (Cationic surfactant) สารในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำแล้วส่วนหัวมีประจุบวก นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้เคลือบผ้าเพื่อให้ความลื่น และป้องกันไฟฟ้าสถิต ส่วนมากเป็นพวก Quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10 -11)

3. สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้แตกต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบ และประจุบวกตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวกพอลิ-อีเทอร์หรือพอลิไฮดรอกซิล สมบัติของสารกลุ่มนี้ มีความแตกต่างกันไปตั้งแต่ละลายน้ำได้จนไม่ละลายน้ำ สารที่ไม่ละลายน้ำมักใช้เป็นสารลดฟอง และอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ส่วนสารที่ละลายน้ำมักใช้เป็นสารทำความสะอาด

4. สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุลบ และประจุบวก (Amphoteric surfactant หรือ Zwitterions) สามารถแสดงสมบัติโดยขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาวะแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง (pH>7) ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัวเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ให้ประจุลบ ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นกรด (pH<7) ประจุไฟฟ้าบนส่วนหางเป็นส่วนที่ไม่ชอบ (Hydrophilic) ให้ประจุบวก [10]

2.2.4 สารกลุ่มต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants)

เป็นสารที่ป้องกันหรือชะลอการเสื่อมสภาพ เนื่องจากออกซิเจน (O_2) เข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของยาง หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารแอนติออกซิแดนท์แบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่

1. สารต้านอนุมูลอิสระชนิดไม่เปื้อนสี (Nonstaining antioxidant) แบ่งเป็น 4 กลุ่มย่อยคือ สารประกอบฟอสไฟต์ (Phosphites) ฟีนอล (Phenol) บิสฟีนอล (Bisphenol) และไฮโดรควิโนน (Hydroquinones) สารประกอบฟีนอลนิยมใช้น้อยกว่าเนื่องจากการระเหยง่าย เพราะน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า

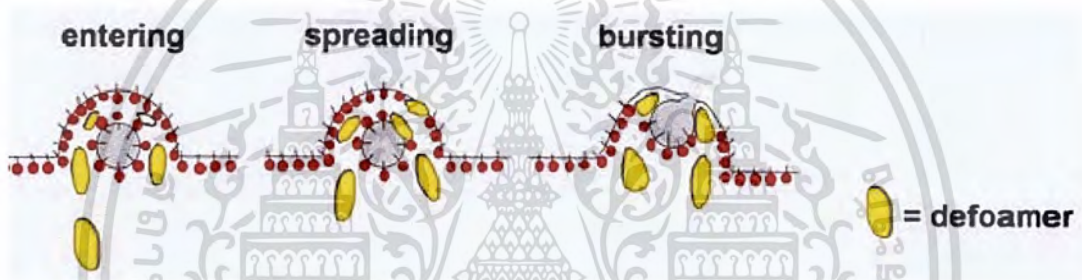
2. สารต้านอนุมูลอิสระชนิดเปื้อนสี (Staining antioxidant) นิยมใช้ 2 กลุ่มคือ สารประกอบไดไฮโดรควิโนลีน (Dihydroquinolines) และไดฟีนิลเอมีน (Diphenylamines) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง แต่เมื่อใช้งานผลิตภัณฑ์ทำให้มีสีคล้ำ หรือสีดก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงช่วยรักษาคุณภาพ และประสิทธิภาพในการยืดเกาะของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ไว้ตลอดช่วงอายุการใช้งาน โดยทำหน้าที่ในด้านการคงไว้ซึ่งสี ความหนืด และสมบัติการยืดเกาะ [11]

2.2.5 สารกลุ่มลดฟอง (Defoamer)

สารลดฟองมีหลายชนิด เช่น กลุ่มน้ำมัน (Oils) แฟตตี้แอลกอฮอล์ (Fatty alcohol oil) และซิลิโคน ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดฟองจากการผสมสารเคมี แรงกระทำเชิงกล สารลดฟองทำให้ฟองที่มีอยู่ยุบอย่างรวดเร็ว การทำลายฟองเป็นเรื่องยาก เพราะผิวฟองมีความเสถียรภาพ อันเนื่องมาจากอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของผนัง มีความยืดหยุ่นของพื้นผิว โดยปกติสารลดฟองนั้นไม่ละลายในตัวกลางที่ก่อให้เกิดฟอง แต่มีสมบัติที่สำคัญคือ ต้องมีความหนืดต่ำ และสามารถกระจายตัวได้อย่างรวดเร็วบนพื้นผิวของสารที่เกิดฟองอยู่ [12] ได้แก่ น้ำมันมิเนอร์ล (Mineral oil) น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) เป็นต้น



รูปที่ 2.9 การทำลายฟองของสารลดฟอง (Defoamer) [12]

2.2.6 สารเพิ่มความหนืด (Thickener)

สำหรับงานเคลือบทางที่ดีที่สุดควรใช้สารเพิ่มความสามารถในการควบคุมสมบัติการไหล (Rheology properties) ของวัสดุเคลือบเพื่อป้องกันการหย่อนคล้อยระหว่างการใช้สาร การปรับความหนาของชั้นฟิล์ม และป้องกันการตกตะกอนของสารตัวเติมในส่วนอื่น ๆ

สารที่เพิ่มความสามารถในการไหลที่ใช้บ่อยที่สุดในปัจจุบันมีทั้งสังเคราะห์ ได้แก่ น้ำมันซิลิโคน (Silicone Oil) และจากธรรมชาติ ได้แก่ แป้งข้าวโพด วุ้น (Agar) เป็นต้น [13]

2.2.7 สารกลุ่มเพิ่มความเปียก (Wetting agent)

ในกระบวนการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่ใช้ตัวทำละลายคือ ชนิดน้ำ (Water-based) ที่อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ต่างนิยมใช้นั้น มีปัญหาเนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำสูงมากกว่าการเปียกของวัสดุ สารเพิ่มความเปียก เป็นสารเติมแต่งที่ใช้เพื่อลดแรงตึงผิวของของเหลว ตลอดจนผสมสัมผัสกับวัสดุฐาน ช่วยให้ของเหลวแพร่หรือซึมเข้าสู่วัตถุได้ดีขึ้น แต่เนื่องจากการช่วยลดแรงตึงผิวสามารถทำให้เกิดฟองได้ง่ายด้วยเช่นกัน [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงมุมสัมผัสของการเปียกที่ดี [14]

2.2.8 สารกันเสีย (Preservative)

เป็นการถนอมน้ำยาสารลดแบบโดยการช่วยยับยั้ง หรือทำลายจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย (Bacteria) ยีสต์ (Yeast) และรา (Mold) ที่ทำให้น้ำยาสารลดแบบเกิดการเน่าเสีย หรือยับยั้งปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้น้ำยาเกิดการเสื่อมเสีย ทำให้ช่วยยืดอายุการใช้งานได้ ได้แก่ พาราเบน (Paraben) กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) และ Dowicil 75 เป็นต้น [15]

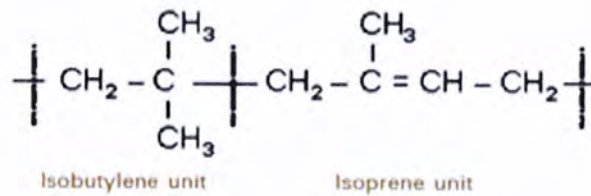
งานวิจัยนี้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาง ซึ่งชนิดยางที่ใช้กับทั้งถุงลมยางและยางด้านในของโครงยางรถยนต์คือ ยางบิวทิล (Butyl rubber, IIR)

2.3 ยางบิวทิล (Butyl rubber, IIR) [16]

ชื่อเต็มคือ ยางไอโซบิวทิลีนไอโซพรีน เป็นพอลิเมอร์ร่วมที่มีไอโซบิวทิลีนเป็นโครงสร้างหลัก และโครงสร้างของไอโซพรีนปริมาณเล็กน้อย (1-3 เปอร์เซ็นต์) ทำหน้าที่เป็นตำแหน่งเชื่อมโยง (Crosslinking sites) ของโครงสร้างโมเลกุลยาง ยางบิวทิลมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ -70 องศาเซลเซียส สมบัติเด่นที่สุดของยางบิวทิลคือ ความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeability) ทำให้นิยมใช้ยางบิวทิลเป็นวัสดุป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ เช่น ยางในรถยนต์ (Inner tubes) และชั้นในสุดของยางรถยนต์แบบไม่มียางใน (Inner liners) ท่อลม (Tubes)

ยางบิวทิลสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันร่วมแบบสารละลายประจุบวก (Cationic solution copolymerization) ของมอนอเมอร์ไอโซบิวทิลีน (97-99 เปอร์เซ็นต์) และไอโซพรีน (1-3 เปอร์เซ็นต์) ในเมทิลคลอไรด์ (ตัวทำละลาย) โดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ ($AlCl_3$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ (-100 องศาเซลเซียส) อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของยางบิวทิล [16]

โดยโครงสร้างของยางบิวทิลมีโครงสร้างหลัก (97-99 เปอร์เซ็นต์) เป็นสายโซ่เดี่ยว ที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturation) ต่ำ ทำให้ยางบิวทิลมีสมบัติเด่น ดังนี้

- ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeability) ต่ำมาก
- มีความสามารถในการต้านทานโอโซน (Ozone resistance) และดินฟ้าอากาศ (Weathering resistance) ดี
- มีเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability)
- มีความสามารถในการรับแรงสั่นสะเทือน (Vibration damping) และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Frictional coefficient) สูง และทนทานต่อการพับงอ (Flex resistance)
- ทนสารเคมี (Chemical resistance) และความชื้น (Moisture resistance)

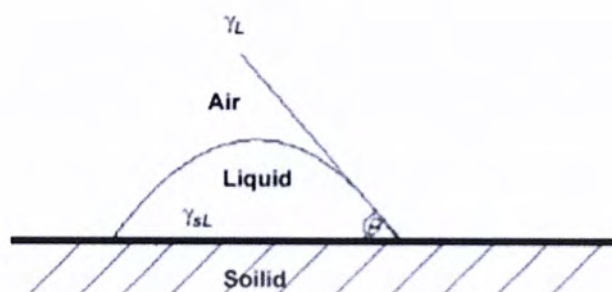
จากโครงสร้างเคมีที่อิ่มตัวของยางบิวทิลเป็นผลให้สายโซ่โมเลกุลของยางทนทานต่อการออกซิไดซ์ ทำให้ถูกตัดหรือขาดยากเมื่อได้รับแรงเฉือน และอุณหภูมิสูงขณะขึ้นรูป การปรับปรุงสมบัติของยางสามารถทำได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง (300-350 องศาฟาเรนไฮต์) การผสมสูตรยางบิวทิลสามารถทำได้เช่นเดียวกับยางชนิดอื่น แต่ไม่ทำการบดย่อยยาง (Mastication) เพื่อตัดสายโซ่ลดน้ำหนักโมเลกุลของยางก่อนการผสมเหมือนในกรณีของยางธรรมชาติ แต่อาจผสมบดยางทำให้อุณหภูมิของยางสูงขึ้น (Pre-warming) เพื่อลดเวลาในการผสมยาง

2.4 การทดสอบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.4.1 การทดสอบหาค่ามุมสัมผัส

การทดสอบหาค่ามุมสัมผัสของน้ำยาสารลดแรงตึงผิว โดยตรวจสอบสภาวะการเปียกผิว (Wetting) เป็นความสามารถของของเหลวในการรักษาหน้าสัมผัสหรือยึดเกาะกับพื้นผิวของแข็ง ที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการเปียกผิวของวัสดุ ซึ่งแสดงค่ามุมสัมผัส (Contact angle) โดยค่ามุมสัมผัสเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำ และอากาศรอบ ๆ ค่า S_L , S_V , L_V คือพลังงานพื้นผิวรวม (Interfacial energy) ระหว่างของแข็ง-ของเหลว, ของแข็ง-อากาศ และของเหลว-อากาศ [17]

ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.12 แสดงหยดน้ำถูกสมมติให้เป็นรูปหมวกโค้งเรียกว่า spherical cap เมื่ออยู่บนผิวของของแข็ง



รูปที่ 2.12 มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำ และอากาศรอบ ๆ [17]

มุมสัมผัสที่มีค่าน้อยนำมาซึ่งหยดน้ำที่แบนราบและเกาะพื้นผิวของแข็ง หรือเรียกว่ามีการเปียกผิวที่ดี (Good wetting) ในทางกลับกันมุมสัมผัสที่มีค่ามาก ส่งผลถึงพื้นผิวร่วมระหว่างของเหลวของแข็งที่น้อย และการเปียกผิวบนพื้นผิวของแข็งที่ไม่ดี (Bad wetting)

2.4.2 การทดสอบด้วยการกดอัดขึ้นรูปร้อน

กระบวนการกดอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding) เป็นกระบวนการผลิตที่ง่าย และไม่ซับซ้อน เป็นกระบวนการผลิตสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ของยางประเภทต่าง ๆ ซึ่งสามารถผลิตชิ้นงานด้วยกระบวนการขึ้นรูป (Forming) และการเชื่อมโยงยาง (Vulcanization) เสร็จสิ้นในกระบวนการเดียวได้ ดังนั้นการทดสอบนี้เป็นการจำลองการทดสอบที่สามารถบอกแนวโน้มของประสิทธิภาพหน้ายาสารถอดแบบ ซึ่งสอดคล้องกับการใช้งานที่กระบวนการผลิตจริงได้ [18]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.13 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การทดสอบหาค่าแรงโดยการดึงลอกออกแบบตัวที (T-peel test)

ในการทดสอบความแข็งแรงในการยึดติดแบบดึงลอก ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) โดยยึดปลายของแถบยางตัวอย่างทั้งสองเข้ากับหัวจับ (Grips) ทั้งสองของเครื่อง แล้วดำเนินการทดสอบด้วยวิธีการดึงลอกออกแบบตัวที ด้วยความเร็วในการดึงเท่ากับ 20 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน ASTM D1876 โดยใช้โหลดเซลล์ขนาด 500 นิวตัน [17]



รูปที่ 2.14 การดึงลอกออกแบบตัวที (T-Peel) [17]

2.4.4 ไตรโบโลยี (Tribology) [19]

ไตรโบโลยีเป็นสาขาวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของการสัมผัสกัน ระหว่าง 2 พื้นผิวสัมผัสที่มีปฏิริยาต่อกัน และมีการเคลื่อนที่สัมผัสต่อกัน โดยหลักการเมื่อผิวสัมผัสมีการเคลื่อนที่ที่หลากหลาย เช่น การลื่นไถล การกลิ้งตัว การเคลื่อนที่แบบไป ๆ กลับ ๆ เป็นต้น ทำให้เกิดปฏิริยาในรูปแบบพลังงานทางกลและทางเคมี เมื่อเกิดความเร็วสัมผัสทำให้มีการเสียดทานขึ้น เมื่อเกิดการเสียดทาน ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้น จึงต้องมีการป้องกันโดยการใช้การหล่อลื่นหรือเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการใช้งานเพื่อป้องกัน หรือลดการเสียดทานและการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน ซึ่งปัญหาต่าง ๆ ของการสึกหรอมีผลทำให้เกิดการสูญเสียเงินตราจำนวนมากในงานอุตสาหกรรม ดังนั้นความรู้ทางด้านไตรโบโลยี จึงมีความสำคัญต่องานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อมาปรับปรุงและพัฒนาชิ้นส่วน เครื่องมือ และอุปกรณ์ในงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น มีการซ่อมบำรุงน้อยลง และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ดังนั้นวิชาไตรโบโลยีมี 3 องค์ประกอบที่สำคัญและมีความสัมพันธ์ต่อกัน คือ 1. การเสียดทาน (Friction) 2. การสึกหรอ (Wear) และ 3. การหล่อลื่น (Lubrication)

1. การเสียดทาน (Friction)

การเสียดทานเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนที่สัมผัสระหว่างผิว 2 ผิว ลักษณะของการเคลื่อนที่อาจเป็นการลื่นไถล (Sliding) หรือการกลิ้ง (Rolling) ของผิวหนึ่งไปบนผิวหนึ่งเป็นการสัมผัสกันโดยตรง โดยมีของเหลว หรือมีฟิล์มคั่นอยู่ระหว่างผิวที่มีการเคลื่อนที่สัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้พิมพ์เอกสารนี้แล้ว
ไม่ว่าการแก้ไข หรือการนำเอกสารนี้ไปใช้

- การเสียดทานแบบเลื่อนไถล (Sliding Friction) คือ การเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถลระหว่างผิวสัมผัสที่ไม่มีการกลิ้ง
- การเสียดทานแบบกลิ้ง (Rolling Friction) เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่แบบกลิ้งระหว่างชิ้นงานคู่สัมผัส

2. การสึกหรอ (Wear)

การสึกหรอ คือ การเปลี่ยนแปลงผิวของวัสดุ เนื่องจากการแยกหลุดของอนุภาคผิวจากการถูกระหว่างทางกล หรือทางเคมี ทำให้วัสดุมีน้ำหนัก และมิติเปลี่ยนไปในขณะที่ใช้งาน การสึกหรออาจเกิดขึ้นในระดับช้า หรือเร็ว โดยมีการกำหนดค่าของการสึกหรอ (มาตรฐาน DIN 50321) ซึ่งวิธีการตรวจสอบปริมาณการสึกหรอ คือ การชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบ และหลังจากการผ่านการทดสอบการสึกหรอ ลักษณะความเสียหายของวัสดุอาจทำให้ชิ้นงานมีขนาดและรูปร่างที่เปลี่ยนไป

3. การหล่อลื่น (Lubrication)

ในชิ้นส่วนของเครื่องจักร เช่น แบริ่งแบบกบ ชุดเฟืองทด และรางเลื่อน มีการใช้สารหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างคู่สัมผัสของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลนั้น ๆ โดยการเลือกใช้สารหล่อลื่นให้เหมาะสมขึ้นอยู่กับสถานะการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น แรงที่ใช้งาน ความเร็วต่อรอบ อุณหภูมิ และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2.4.5 การทดสอบการใช้งานที่กระบวนการผลิตจริง

ในการขึ้นรูปยางรถยนต์ทำได้โดยการนำโครงยางรถยนต์ดิบสวมลงบนถุงลมยาง ซึ่งต้องทำการพ่นน้ำยาสารถอดแบบลงบนถุงลมยางเป็นอันดับแรก และนำไปให้ความร้อน ทำให้เกิดการสร้างชั้นฟิล์มขึ้น โดยลวดขอบล้อ (Bead) ด้านล่างของโครงยางรถยนต์ดิบสัมผัสกับผิวด้านในของแม่พิมพ์ล่าง เมื่อชุดลูกสูบยัดออกทำให้ลูกสูบที่ควบคุมถุงลมยางขยายตัวในแนวรัศมี และดันถุงลมยางเข้าภายในโครงยางรถยนต์ดิบ จากนั้นจึงเริ่มฉีดไอน้ำร้อน (Steam) เข้าในช่องว่างของถุงลมยาง ถุงลมยางถูกขยายตัวให้พองเพื่อให้ผิวของถุงลมยางสัมผัสกับท้องของยางรถยนต์ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำที่ไหลเวียนอยู่ภายในถุงลมยาง และเกิดการบ่มยางรถยนต์ดิบ เมื่อยางรถยนต์ถูกเชื่อมโยง หรือสูก (Crosslink) ตัวตามเวลาที่กำหนด ฝาบนของเครื่องบ่มยางรถยนต์เคลื่อนที่ขึ้น ถุงลมยางระบายน้ำร้อน ไอน้ำ และความดันออก จากนั้นถุงลมยางเกิดการหดตัว [20]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.15 กระบวนการเชื่อมโยงยาง [20]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กลไกการยึดติด [17]

การยึดติด คือการติดของสองวัตถุเข้าด้วยกันโดยการยึดติดสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ทางกายภาพ และทางเคมี การยึดติดทางเคมีแบ่งออกเป็น พันธะปฐมภูมิ (Primary bonds) และพันธะทุติยภูมิ (Secondary bonds) และการยึดติดทางกายภาพแบ่งออกเป็น กลไกการยึดติดเชิงกล (Mechanical interlocking) ทฤษฎีการแพร่ (Diffusion theory) การดูดซึม (Adsorption) และ ทฤษฎีไฟฟ้าสถิต (Electrostatic theory)

1. การยึดติดทางเคมี (Chemical bonding)

การยึดติดทางเคมีเป็นรูปแบบหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลของกาวย และวัสดุพื้นผิว กลไกการยึดติดทางเคมีแบ่งเป็นสองประเภทคือ พันธะปฐมภูมิ (Primary bond) และพันธะทุติยภูมิ (Secondary bond) พันธะเคมีเป็นพันธะที่แข็งแรง และเป็นส่วนสำคัญต่อการยึดติดภายใน พันธะปฐมภูมิสามารถกำหนดรูปแบบการยึดติดระหว่างอะตอมได้ โดยการแลกเปลี่ยนอะตอม ในขณะที่พันธะทุติยภูมิสามารถเกิดการยึดติดจากการเชื่อมโยงทางกลของกาวย และวัสดุ

2. การยึดติดทางกายภาพ (Physical bonding)

การยึดติดทางกายภาพประกอบด้วย กลไกการยึดติด (Mechanical interlocking) ทฤษฎีการแพร่ (Diffusion theory) การดูดซึม (Adsorption) ทฤษฎีไฟฟ้าสถิต (Electrostatic theory) ทฤษฎีการดูดซึมคือ รูปแบบของการยึดติดที่ยึดติดกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของกาวย และพื้นผิวของวัสดุซึ่งคือ ผลรวมของแรงทางกายภาพ และแรงทางเคมีที่ซ้อนทับกันทำให้มีอิทธิพลต่อกันและกัน เนื่องจากไม่สามารถแยกแรงเหล่านี้ออกจากกัน จากกระบวนการมีบทบาทในการยึดติดกับวัสดุเทอร์โมพลาสติกที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่น ระบบที่เป็นเนื้อเดียวกันสามารถกำหนดได้ด้วยทฤษฎีการกระจายตัว ทฤษฎีการแพร่กระจาย และรูปแบบการแพร่กระจาย อธิบายถึงแนวคิดเรื่องการยึดติด โดยความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ และที่เกิดขึ้นในกลุ่มพอลิเมอร์ เมื่อสองพอลิเมอร์เข้ากันได้สายโซ่พอลิเมอร์ของมันสามารถผสมระหว่างกันทำให้เกิดการแทรกซึมบางส่วน ระดับการแทรกซึมนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลโดยตรง ดังนั้นกลุ่มพอลิเมอร์สั้น ๆ จึงมีความคล่องตัวสูง และสามารถซึมเข้าไปในวัสดุอื่น ๆ ได้ก่อนพอลิเมอร์สายโซ่ยาว ทฤษฎีนี้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ของการยึดติดที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุพอลิเมอร์ การเชื่อมพลาสติก การเชื่อมพลาสติกกับกาวย ฯลฯ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Brian Horsham Olive. et al. [21] ได้ศึกษาการใช้ยาสารถอดแม่พิมพ์ทาลงบนผิวหน้า สารถอดแม่พิมพ์มาจากพอลิออร์กาโนซิลอกเซน (Polyorganosiloxane) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl terminated polyorganosiloxane) และสารประกอบอะมิโนออร์กาโนซิลอกเซน

เอกสารนี้เป็นของที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดได้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Aminoorganosioxane) การทดลองนี้จึงศึกษาการเตรียมหน้าผิวถุงลมยางโดยตรง และวิธีการขึ้นรูปยางรถยนต์โดยผลิตจากกระบวนการขึ้นรูปยาง และการบ่มยางที่ยังไม่ได้รับการบ่ม (Green tire) ได้ถูกเอามาเข้าเครื่องแม่พิมพ์ถูกอัดเข้าไป และยางไหลจนเต็มแม่พิมพ์ รูปแบบของล้อถูกกำหนดตามลักษณะของแม่พิมพ์ และองค์ประกอบภายในแม่พิมพ์โดยใช้ความร้อน และแรงดัน การขยายตัวของถุงลมยางมีช่องแรงดันภายใน โดยอาจใช้ลมร้อน น้ำร้อน หรือไอน้ำ จากนั้นนำยางมาหล่อเย็นโดยการใช้อากาศที่เย็นกว่า หรือใช้น้ำเย็นหล่อลงบนถุงลมยาง แม่พิมพ์ถูกเปิดออก ถุงลมยางยุบลงโดยการนำความดันออก ยางถูกถอดออกมาจากแม่พิมพ์ เป็นที่ยอมรับว่าความแข็งแรงระหว่างผิวด้านนอกของถุงลมยาง และผิวด้านในของยางมีการยึดติดกันมากจึงมีการนำสารหล่อลื่นมาใช้เพื่อลดการเสียดสีระหว่างผิวด้านนอกของถุงลมยาง และผิวด้านในของยาง ด้วยเหตุนี้การทดลองนี้จึงได้มีการเคลือบที่ผิวก่อนการบ่มยางโดยใช้น้ำยาที่ใช้เคลือบเป็นชนิดซิลิโคน ซึ่งซิลิโคนทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น

ในการทดลองนี้ใช้มีลชัน A B C และ D เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบในการทดลองนี้ใช้มีลชัน C และ D โดยทดลองบนถุงยางลมก่อนที่ทำการบ่มยางทุก 8 รอบของการผลิตยาง (โดยปกติใช้ที่ประมาณอย่างน้อย 20 รอบ หรือมากกว่า โดยเฉพาะกับมีลชัน C และ D) ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงว่าการเคลือบน้ำยาลงไปในขณะที่ถุงลมยางขยายตัวสังเกตได้ว่าน้ำยามีประสิทธิภาพน้อยกว่าการเคลือบในขณะที่ถุงลมยางยังไม่ขยาย อาจเป็นเพราะเมื่อถุงลมยางขยายทำให้ยางเกิดจุดเล็ก หรือบางที่อาจเกิดการไม่ติดต่อกันของเนื้อยาง ทำให้น้ำยาไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรน้ำยาสารถอดแบบใช้เคลือบแบบบาง ๆ เมื่อได้รับความร้อนระเหยออก ดังนั้นความเข้มข้นของสารประกอบในสารละลาย และความหนาของชั้นฟิล์มจึงขึ้นกับอุณหภูมิ ฟิล์มมีลักษณะเงา พื้นผิวของถุงลมยางควรทำให้สะอาดก่อนการบ่มยางโดยใช้เทลูอื่น จากนั้นทำให้แห้งเพื่อกำจัดน้ำมัน แร็กซ์ และอื่น ๆ

Yoshinori Inokuchi and Annaka [22] งานวิจัยนี้เสนอเกี่ยวกับความสามารถของสารเคลือบที่มีการยึดติดกับพื้นผิวของวัตถุ และความสามารถในการหล่อลื่นของพื้นผิว สารเคลือบประกอบด้วยเรซินที่มีส่วนประกอบหลักเป็นน้ำ (Water based) คือสารประกอบ A และสารประกอบ B ซึ่งสารประกอบ A ประกอบไปด้วยชนิดซิลิโคน ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีในการทดสอบเพื่ออธิบายถึงความสามารถของการถอดแบบ และความเรียบของพื้นผิวของวัตถุ เช่น พลาสติก เหล็ก หรือยางที่ถูกเคลือบบนผิวโดยมีส่วนประกอบหลักเป็นซิลิโคน ในงานวิจัยนี้จึงใช้เรซินซิลิโคนที่มีส่วนประกอบหลักเป็นน้ำเพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม และการเผาไหม้ อย่างไรก็ตามสารประกอบที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักผลของการยึดติดกับพื้นผิวของวัสดุ และการถอดแบบไม่เป็นที่น่าพอใจเท่าที่ควร งานวิจัยนี้จึงแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้สารประกอบ A และ B สารประกอบ (A-1) เป็นพอลิโออกาโนไซลอคเซน ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล และกลุ่มที่ใช้ R1O (เมื่อ R1 คือมอนอโอควาเลนซ์ของไฮดรอกซิลที่มีคาร์บอน 1-6 อะตอม) สารประกอบ (A-2) คือสารประกอบแอลคอกซีไซเลนหรือมีผลิตภัณฑ์จากการควบแน่นของน้ำ สารประกอบ (A-3) สารเร่งในปริมาณ 0-10 ส่วนต่อ 100 ส่วนของปริมาณทั้งหมดของสารประกอบ (A-1) และ (A-2)

สารประกอบ B คือ เรซินพอลิยูรีเทน สารเคลือบของวิจัยนี้มีการยึดติดที่ดีเมื่อเคลือบลงไปบนวัสดุที่มีส่วนประกอบของยาง เช่น ยางบิวทิล หรือเหล็ก โดยการเชื่อมโยงที่อุณหภูมิห้องหรือภายใต้ความร้อน สารเคลือบนี้ก่อตัวเป็นฟิล์มที่มีการถอดที่ดี และผิวของวัตถุเรียบ สารประกอบ B คือ ช่วยในการยึดติดระหว่างพื้นผิวของวัสดุ และชั้นฟิล์มที่เคลือบ คือ เรซินพอลิยูรีเทนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาการเติมระหว่างพอลิออล ซึ่งประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลตั้งแต่สอง หรือมากกว่า และพอลิไซยาเนตที่มีหมู่ไซยาเนตตั้งแต่สอง หรือมากกว่าในโมเลกุลของสารประกอบ B ในงานวิจัยนี้ผสมลงไปกับสารประกอบ B ปริมาณการใส่ของสารประกอบ B ต้องใส่อย่างเหมาะสม ถ้าใส่น้อยกว่า 10 ส่วนทำให้ฟิล์มเกิดการยึดติดที่ไม่ดีกับผิวของยาง แต่ถ้ามากกว่า 200 ส่วนทำให้ฟิล์มเกิดการถอดออก และการล่อนที่แย่ง ในงานวิจัยนี้ใช้สารเคลือบโดยการแปรง ลูกกลิ้ง สเปรย์ การจุ่ม หรือวิธีอื่นตามความเหมาะสม และทำให้สารเคลือบแห้งโดยการปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง หรือใช้อุณหภูมิที่สูงเพื่อเกิดฟิล์ม สารเคลือบในงานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อการทำสารถอดแม่พิมพ์สำหรับพลาสติก หรือยาง เช่น ยางล้อรถ เพราะว่าฟิล์มที่ใช้เคลือบติดกับผิวของวัสดุได้ดี โดยมีวิธีการทดสอบทั้งหมด 3 วิธี ดังนี้

1. ความลื่นของพื้นผิว เป็นการเคลือบด้วยแปรงโดยใช้สารถอดแบบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักภายใต้การทดสอบบนพื้นผิวที่เรียบ ทำการดึงด้วยความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการทดสอบทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างผิวพื้นคือ แก้ว และสารเคลือบที่เคลือบบนยางเป็นตัววัด

2. การยึดติด พื้นผิวของแผ่นยางบิวทิล แผ่นพอลิโพรพิลีน และแผ่นเหล็ก โดยใช้วิธีแปรงเป็นการเคลือบให้เกิดชั้นฟิล์มขึ้น โดยทำการถูฟิล์มอย่างแรงสองครั้งด้วยนิ้วหัวแม่มือ และฟิล์มเคลือบนี้ได้รับการตรวจสอบเพื่อดูว่าชั้นเคลือบได้ถูกลอกออกหรือไม่

3. ความสามารถในการเอาออกพื้นผิวจากแผ่นยางบิวทิล และแผ่นเหล็ก โดยน้ำยาสารถอดแบบถูกเคลือบด้วยวิธีการแปรง ทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์ม ยางที่ไม่ได้เชื่อมโยง 1 กรัมถูวางระหว่างแผ่นเหล็กสองแผ่น โดยอุณหภูมิกับความดันที่ใช้คือ 10 นาที ที่ 190 องศาเซลเซียส และให้น้ำหนัก 10 กิโลกรัม โดยใช้เครื่องกดอัดขึ้นรูปร้อนในการเชื่อมโยงที่ยังไม่ได้เชื่อมโยง และทำการให้ความเย็น 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากเชื่อมโยงอย่างแล้วนำมาถอดออกโดยใช้มือ เพื่อตรวจสอบว่าสามารถถอดออกได้ง่ายหรือไม่

Michael J. Hoffman, et al. [23] สารออกาโนพอลิซิลอกเซน (Organopolysiloxane) ที่เป็นสารแขวนลอยในน้ำซึ่งประกอบไปด้วย พอลิออกาโนซิลอกเซนที่มีไฮดรอกซิล ออกาโนไฮโดรเจนพอลิซิลอกเซน (Organohydrogenpolysiloxanes) สารหล่อลื่นที่มีจุดหลอมเหลวประมาณ 25–80 องศาเซลเซียส สารเพิ่มความหนืด สารลดแรงตึงผิว น้ำ สารลดฟอง และสารต่อต้านแบคทีเรีย ซึ่งใช้เป็นสารหล่อลื่นของถุงลมยางสำหรับการผลิตยาง ในอุตสาหกรรมการผลิตยาง การขึ้นรูปยางทำได้โดยการที่ถุงลมยางพองทำให้ยางขึ้นรูปตามแม่พิมพ์ยางได้ มีแรงการเคลื่อนที่ระหว่างส่วนที่เป็นผิวด้านนอกของถุงลมยาง และผิวด้านในของยางดิบระหว่างการขยายตัวของถุงลม

ยาง ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำให้มีการล่อนระหว่างถุงลมยาง และผิวของยางเพื่อลดแรงเสียด

ทาน และเพิ่มการหลุดออกระหว่างการขึ้นรูปยาง โดยปกติแล้วสารจำพวกพอลิโออกาโนซิลอกเซน ที่เป็นสารแขวนลอยในน้ำเมื่อเวลานานขึ้นทำให้เกิดความไม่เสถียร แต่ในงานวิจัยนี้สารพอลิโออกาโนซิลอกเซน ที่เป็นสารแขวนลอยในน้ำมีความเสถียรเป็นเวลานานเนื่องจากการหลุดออกของหมู่ไฮดรอกซิลจึงทำให้การถอดแบบยางมีปริมาณยางที่มากขึ้น สารแขวนลอยในน้ำเตรียมประมาณ 20-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขึ้นกับน้ำหนักอิมัลชันของพอลิโออกาโนซิลอกเซนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลต่อท้าย หรือประมาณ 30-55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขึ้นกับน้ำหนักอิมัลชันของพอลิโออกาโนซิลอกเซนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลต่อท้าย เมื่ออัตราส่วนที่มากเกินไปประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทำให้ความเสถียรลดลง และสมบัติของการถอดออกลดลงเช่นกัน

Louis F. Comper; Robert F. Scheiderich. et al. [24] ได้ศึกษาองค์ประกอบของน้ำยา สารถอดแบบดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำยาสารถอดแบบ

องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
Polydimethylsiloxane, hydroxyl capped	40.4
Methyl hydrogen silane (30%)	175.0
Zinc acetate/stearate (20%)	43.7
Defoamer	1.3
Water	610.8

การทำสารแขวนลอยในน้ำหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำ ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

- ใส่พอลิไดเมทิลซิลอกเซนลงในน้ำโดยใช้การปั่นด้วยความเร็ว 1000 รอบต่อวินาที ในเครื่องผสมคาวเลส (Cowles)
- ใส่สารกำจัดฟอง (Defoamer)
- ผสมที่ 500 รอบต่อนาที ใส่เมทิลไฮโดรเจนไซเลนและไดเมทิลไฮโดรเจนไซเลน ทำการผสมต่อเนื่อง
- ใส่ซิงค์อะซิเตต/ซิงค์สเตียเรต ที่เป็นสารผสมลงไป

นำส่วนผสมที่ได้นำไปฉีดบนผิวด้านนอกของถุงลมยางขณะหุบ นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ถูกเคลือบด้วยน้ำยาอีกครั้งหลังจาก 10-15 รอบและสูงสุด 24 ครั้งโดยขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยเมื่อฉีดไปบนผิวถุงลมยางที่ร้อน เมทิลไฮโดรเจนไซเลนทำปฏิกิริยากับพอลิไดเมทิลซิลอกเซน เกิดเป็นชั้นฟิล์มบนผิวของถุงลมยาง

ถุงลมยางใช้ยางประเภทบิวทิลมีรูปทรงเป็นวงแหวนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเวลาพองตัว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 39 นิ้ว และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเวลาเป็นท่อประมาณ 10 นิ้ว ยางดิบชั้นใบแบบแนวรัศมีมีขนาด 11R 22.5

Yoshinori Inokuchi. et al. [25] ศึกษาหลังจากใส่พอลิออกาโนไซลอคเซน ซึ่งคือ น้ำยาสารถอดแบบลงบนถุงลมยางเกิดฟิล์มที่มีความยืดหยุ่น เพราะมีซิลิโคนเป็นส่วนประกอบ ฟิล์มต้องสามารถยึดตัวได้เนื่องจากถุงลมยางมีการพองตัว ฟิล์มจึงต้องแข็งแรงมากพอที่ไม่แตก หรือขูดเมื่อนำยางออกจากถุงลมยางในพอลิออกาโนไซลอคเซนที่มีหมู่คาร์บอกซิลต่อปลายสายโซ่ของสารประกอบ (A) สามารถละลายในสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ สารละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบที่ช่วยเพิ่มความสามารถของสารเคลือบบนยางถุงลมยาง ปรับปริมาณ และความหนืดให้เหมาะสม ปริมาณของตัวทำละลายอินทรีย์สามารถละลายได้ในพอลิออกาโนไซลอคเซนของสารประกอบ (A) เช่น โทลูอีน อะซิโตน เฮกเซน หรืออื่น ๆ น้ำยาสารถอดแบบที่ใช้สำหรับยางถุงลมยางทำจากซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) ที่รวมกับยางบิวทิลเมื่อทำการอัดลมยางของกระบวนการผลิตยาง คือมีส่วนประกอบที่เป็นอิมัลชันแบบน้ำของสารประกอบ (A) และ ส่วนประกอบ (A), (B) คือ สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และ (C) คือน้ำ สารลดแรงตึงผิวที่เป็นส่วนประกอบของ (B) อาจเป็นได้ประเภทในสารลดแรงตึงผิวมากกว่านั้น สารลดแรงตึงผิวชนิดเดียวอาจใช้เดี่ยว ๆ หรือใช้ร่วมกันได้ ในงานวิจัยนี้ใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุเป็นสารลดแรงตึงผิวของสารประกอบ (B) พอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้อาจรวมไปถึงอิมัลชันชนิดน้ำซึ่งต้องปรับให้เหมาะสมกับการเคลือบลงบนถุงลมยางเพื่อป้องกันการย่อยระหว่างการใช้งานและปรับปรุงสมบัติการเปียก มีการใส่สารเพิ่มความเปียก (Wetting agent) สารลดฟอง (Defoamer) และสารกันเสีย (Preservative) ไปในอิมัลชันชนิดน้ำเพื่อเพิ่มความสามารถในการถอดออกของยางล้อรถ ถุงลมยางที่ใช้ทำจากส่วนประกอบจากยางบิวทิล และอาจมียางฮาโลเจเนตบิวทิล (Halogenated butyl rubber) หรือคลอโรพรีน (Chloroprene) ส่วนประกอบของยางบิวทิลมีซิงค์-ออกไซด์ โดยซิงค์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลในออกาโนพอลิไซลอคเซนที่มีหมู่คาร์บอกซิลอยู่ปลายสายโซ่ของสารประกอบ (A) ผลลัพธ์ดีกว่าการยึดติดของออกาโนพอลิไซลอคเซนบนผิวของถุงลมยาง และปรับปรุงการถอดออกแบบซ้ำ ๆ การใช้น้ำยาสารถอดแบบถูกนำไปทา สเปรย์ หรือจุ่ม โดยผ่านความร้อนจากสปีนที่ไปถึงชั่วโมง อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 80–250 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิลดลง ปฏิกิริยาของออกาโนพอลิไซลอคเซนของสารประกอบ (A) กับซิงค์ออกไซด์ลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นไปถุงลมยางเสียหาย อุณหภูมิควรประมาณ 100–200 องศาเซลเซียส ปริมาณที่ใช้เคลือบน้ำยาสารถอดแบบไม่ได้คงที่เสมอขึ้นกับการใช้งาน ควรใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุดแต่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อให้ น้ำยาสารถอดแบบทำงานได้อย่างเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ 3.1 วัตถุดิบ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย 3.2 วิธีการทำน้ำยาสารถอดแบบ และ 3.3 การดำเนินงานวิจัย โดยแบ่งเป็นวิธีการทำตุ้มลงยางจำลองที่ใช้ในการทดลองเพื่อดูแนวโน้มก่อนการใช้งานกระบวนการผลิตจริง และวิธีการทดสอบน้ำยาสารถอดแบบ เป็นต้น

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

วัตถุดิบ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย วัตถุดิบที่ใช้ในการทำตุ้มลงยาง และ วัตถุดิบที่ใช้ในการทำน้ำยาสารถอดแบบ

3.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำตุ้มลงยาง มีดังนี้

1. ยางบิวทิล ได้จาก SIAMNAVAKAM Co., Ltd.

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทำน้ำยาสารถอดแบบ มีดังนี้

1. น้ำปราศจากไอออน (DI water) ผลิตโดย บริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด
2. ซิลิโคน (Silicone) และซิลิโคนดัดแปลง (Modified silicone) จาก Supplier ของบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด
3. สารเติมแต่ง (Additives) แบ่งเป็นชนิด A เป็นหมู่อีเทอร์ (Ether group) และ B เป็นซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทฟลอน (Teflon silicone modified) จาก Supplier ของบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด
4. สารเร่งการเชื่อมโยง (Cure catalyst) จาก Supplier ของบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด
5. สารลดฟอง (Defoamer) ประเภทซิลิโคน จาก Supplier ของบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด
6. สารเพิ่มความหนืด (Thickener) จาก Supplier ของบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด
7. สารเพิ่มความเปียก (Wetting agent) จาก Supplier ของบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 1 ปี กเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร (Beaker) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
3. เครื่องผสมเชิงกล (Mechanical overhead stirrers) รุ่น RW 20 digital
4. เตาอบตัวอย่าง (Universal oven) รุ่น UN 55
5. เครื่องชั่งดิจิตอล (Analytical balance) ทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น PA214
6. เครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding machine)
7. เครื่องไตรโบมิเตอร์ (Tribometer)
8. เครื่องทดสอบเบรกประสงค์ (Universal testing machine)

3.2 วิธีการทำน้ำยาสารถอดแบบ

การทำน้ำยาสารถอดแบบ สามารถทำได้วิธีต่อไปนี้

3.2.1 น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น

1. เตรียมและชั่งน้ำหนักซิลิโคน (Silicone) ปริมาณ 12%
เตรียมปริมาณซิลิโคนดัดแปลง (Modified silicone) ปริมาณ 11%
2. เตรียมและชั่งน้ำหนักสารเคมีอื่น ๆ ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน สารเติมแต่ง สารลดฟอง สารเพิ่มความหนืด และสารเพิ่มความเปียก
3. นำสารเคมีที่เตรียมไว้ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ในแต่ละขั้นตอนของการเติมสาร ปั่นกวนสารด้วยเครื่องผสมสารด้วยอัตราเร็ว 400 รอบต่อนาที (rpm)
4. หยคน้ำยาสารถอดแบบปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงบนจานเพาะเชื้อ
5. นำไปอบในตู้อบสารที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที เพื่อการสร้างฟิล์มของน้ำยาสารถอดแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.1 เครื่องผสมเชิงกล

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) จากทางบริษัท แอ็คมี อินเทอร์เน็ต (ประเทศไทย) จำกัด

ชื่อสารเคมี	ปริมาณ (%)
ซิลิโคน (Silicone)	12
ซิลิโคนดัดแปลง (Modified silicone)	11
สารเติมแต่ง (Additives)	2
สารลดฟอง (Defoamer)	0.1
สารเพิ่มความหนืด (Thickener)	0.2
สารเพิ่มการเปียก (Wetting agent)	1
น้ำปราศจากไอออน (DI water)	73.7

3.2.2 ศึกษาปริมาณของซิลิโคนดัดแปลงในน้ำยาสารถอดแบบจากสูตรเริ่มต้น โดยมีปริมาณ 10%, 15% และ 20 %

- เตรียมและชั่งน้ำหนักปริมาณซิลิโคนดัดแปลง คือ 10%, 15% และ 20 % ตามลำดับ เตรียมปริมาณซิลิโคนปริมาณ 12%
- เตรียมและชั่งน้ำหนักสารเคมีอื่น ๆ ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน สารเติมแต่ง สารลดฟอง สารเพิ่มความหนืด และสารเพิ่มความเปียก จากนั้นทำตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.2.1

ตารางที่ 3.2 ปริมาณของซิลิโคนดัดแปลงในน้ำยาสารถอดแบบ 10%, 15% และ 20%

ชื่อสารเคมี	ปริมาณ (%)	ปริมาณ (%)	ปริมาณ (%)
ซิลิโคน (Silicone)	12	12	12
ซิลิโคนดัดแปลง (Modified silicone)	10	15	20
สารเติมแต่ง (Additives)	2	2	2
สารลดฟอง (Defoamer)	0.1	0.1	0.1
สารเพิ่มความหนืด (Thickener)	0.2	0.2	0.2
สารเพิ่มการเปียก (Wetting agent)	1	1	1
น้ำปราศจากไอออน (DI water)	74.7	69.7	64.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ศึกษาปริมาณของซิลิโคนเป็นองค์ประกอบในน้ำยาสารลดแบบจากสูตรเริ่มต้น โดยมี ปริมาณ 14.5%, 16.5% และ 18.5%

1. เตรียมและชั่งน้ำหนักซิลิโคนตามปริมาณดังต่อไปนี้คือ 14.5%, 16.5% และ 18.5% ตามลำดับ

เตรียมปริมาณซิลิโคนดัดแปลง เท่ากับ 20%

2. เตรียมและชั่งน้ำหนักสารเคมีอื่น ๆ ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน สารเติมแต่ง สารลดฟอง สารเพิ่มความหนืด และสารเพิ่มความเปียก จากนั้นทำตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.2.1

ตารางที่ 3.3 ปริมาณของซิลิโคนในน้ำยาสารลดแบบ 14.5%, 16.5% และ 18.5%

ชื่อสารเคมี	ปริมาณ (%)	ปริมาณ (%)	ปริมาณ (%)
ซิลิโคน (Silicone)	14.5	16.5	18.5
ซิลิโคนดัดแปลง (Modified silicone)	20	20	20
สารเติมแต่ง (Additives)	2	2	2
สารลดฟอง (Defoamer)	0.1	0.1	0.1
สารเพิ่มความหนืด (Thickener)	0.2	0.2	0.2
สารเพิ่มการเปียก (Wetting agent)	1	1	1
น้ำปราศจากไอออน (DI water)	62.2	60.2	58.2

3.2.4 ศึกษาชนิดของสารเติมแต่ง (Additives) ในน้ำยาสารลดแบบ โดยชนิด A เป็นหมู่ อีเทอร์ (Ether group) และ B เป็นซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทฟลอน (Teflon silicon modified)

- เตรียมและชั่งน้ำหนักซิลิโคนเท่ากับ 16.5%
เตรียมปริมาณซิลิโคนดัดแปลง เท่ากับ 20%
- เติมสารเติมแต่งแต่ละชนิด ได้แก่ ชนิด A เป็นหมู่อีเทอร์ (Ether group) และชนิด B เป็นซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทฟลอน (Teflon silicon modified)
- เตรียมและชั่งน้ำหนักสารเคมีอื่น ๆ ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน สารลดฟอง สารเพิ่มความหนืด และสารเพิ่มความเปียก จากนั้นทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 สารเติมแต่งชนิด A เป็นหมู่อีเทอร์ (Ether group) และชนิด B เป็นซิลิโคนดัดแปลงด้วย เทฟลอน (Teflon silicon modified)

ชื่อสารเคมี	ปริมาณ (%)	ปริมาณ (%)
ซิลิโคน (Silicone)	16.5	16.5
ซิลิโคนดัดแปลง (Modified silicone)	20	20
สารเติมแต่ง (Additives) ชนิด A	2	-
สารเติมแต่ง (Additives) ชนิด B	-	2
สารลดฟอง (Defoamer)	0.1	0.1
สารเพิ่มความหนืด (Thickener)	0.2	0.2
สารเพิ่มการเปียก (Wetting agent)	1	1
น้ำปราศจากไอออน (DI water)	60.2	60.2

3.2.5 ศึกษาการเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง และมีสารเร่งการเชื่อมโยง (Cure catalyst) ในน้ำยาสารถอดแบบที่ปริมาณ 1%

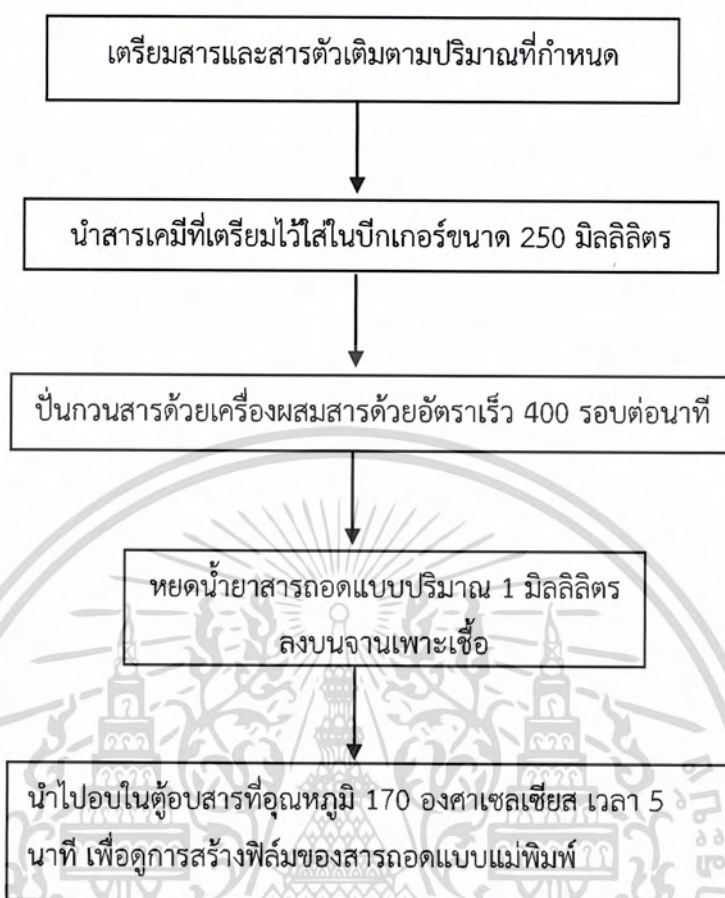
1. เตรียมและชั่งน้ำหนักสารเร่งการเชื่อมโยงตามปริมาณดังต่อไปนี้คือ 1%
2. เตรียมและชั่งน้ำหนักสารเคมีอื่น ๆ ได้แก่ ซิลิโคน น้ำปราศจากไอออน สารเติมแต่ง สารลดฟอง สารเพิ่มความหนืด และสารเพิ่มความเปียก จากนั้นทำตามหัวข้อที่ 3.2.1

ตารางที่ 3.5 ศึกษาการเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง และมีสารเร่งการเชื่อมโยง (Cure catalyst) ในน้ำยาสารถอดแบบที่ปริมาณ 1%

ชื่อสารเคมี	ปริมาณ (%)	ปริมาณ (%)
ซิลิโคน (Silicone)	16.5	16.5
ซิลิโคนดัดแปลง (Modified silicone)	20	20
สารเติมแต่ง (Additives)	2	2
สารเร่งการเชื่อมโยง (Cure catalyst)	-	1
สารลดฟอง (Defoamer)	0.1	0.1
สารเพิ่มความหนืด (Thickener)	0.2	0.2
สารเพิ่มการเปียก (Wetting agent)	1	1
น้ำปราศจากไอออน (DI water)	60.2	59.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปยังประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนวิธีการทำน้ำยาสารถอดแบบสามารถสรุปเป็นแผนผัง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำน้ำยาสารถอดแบบ

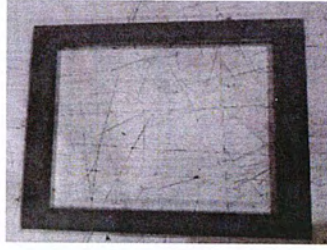
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 วิธีการทำถุงลมยางจำลองที่ใช้ในการทดลองเพื่อดูแนวโน้มก่อนการใช้งานกระบวนการผลิตจริง และส่วนที่ 2 วิธีการทดสอบน้ำยาสารถอดแบบ

3.3.1 วิธีการทำถุงลมยางจำลองที่ใช้ในการทดลองเพื่อดูแนวโน้มก่อนการใช้งานกระบวนการผลิตจริง

1. แม่พิมพ์เหล็กที่ใช้ทำถุงลมยางสีเหลืองหนา 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3

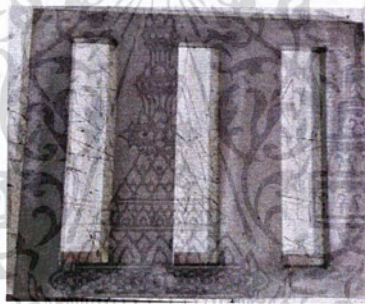
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แม่พิมพ์สำหรับทำถลุงมยาง

2. นำยางดิบไปเชื่อมโยงโดยนำไปใส่เครื่องกดอัดขึ้นรูป ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

3. จากนั้นนำยางที่ได้มาตัดเป็นถลุงมยางจำลอง (Strip) โดยมีความกว้าง 2.5 เซนติเมตรและความยาว 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แม่พิมพ์สำหรับใส่ถลุงมยาง

4. เมื่อได้ Strip ตามที่ต้องการ จึงนำมาทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบต่อไป

3.3.2 วิธีการทดสอบน้ำยาสารถอดแบบ

วิธีการทดสอบน้ำยาสารถอดแบบมี 3 วิธีดังต่อไปนี้

1) การทดสอบโดยใช้เครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) มีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

1.1 เตรียมอุปกรณ์สำหรับการใช้น้ำยาสารถอดแบบ ได้แก่ ถังมือกั้นความร้อน กรรไกร คัตเตอร์ คีมคีบ หลอดหยดพลาสติก และเกรียง ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบน้ำยาสารถอดแบบ

1.2 นำถุงลมยางจำลอง (Strip) ที่เตรียมได้ตามวิธีในหัวข้อที่ 3.3.1 ไปอบที่เครื่องกดอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที



รูปที่ 3.6 เครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding machine)

1.3 ทาน้ำยาที่ถุงลมยางตัวอย่างละ 1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานำไปปฏิบัติให้เข้าใจประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.7 การทาน้ำยาลงบนถุงลมยาง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 นำถุงลมยางที่ทำน้ำยาแล้วไปอบที่เครื่องกดอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จึงเกิดฟิล์มของน้ำยาสารถอดแบบดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ฟิล์มของน้ำยาสารถอดแบบ

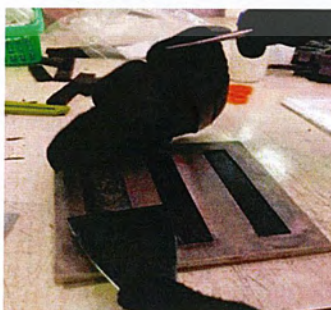
1.5 นำยางดิบวางไว้บนถุงลมยางที่ทำน้ำยาแล้ว จากนั้นนำไปกดอัดที่เครื่องกดอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที โดยใช้ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)



รูปที่ 3.9 การวางยางดิบลงบนถุงลมยางที่ทำน้ำยาแล้ว

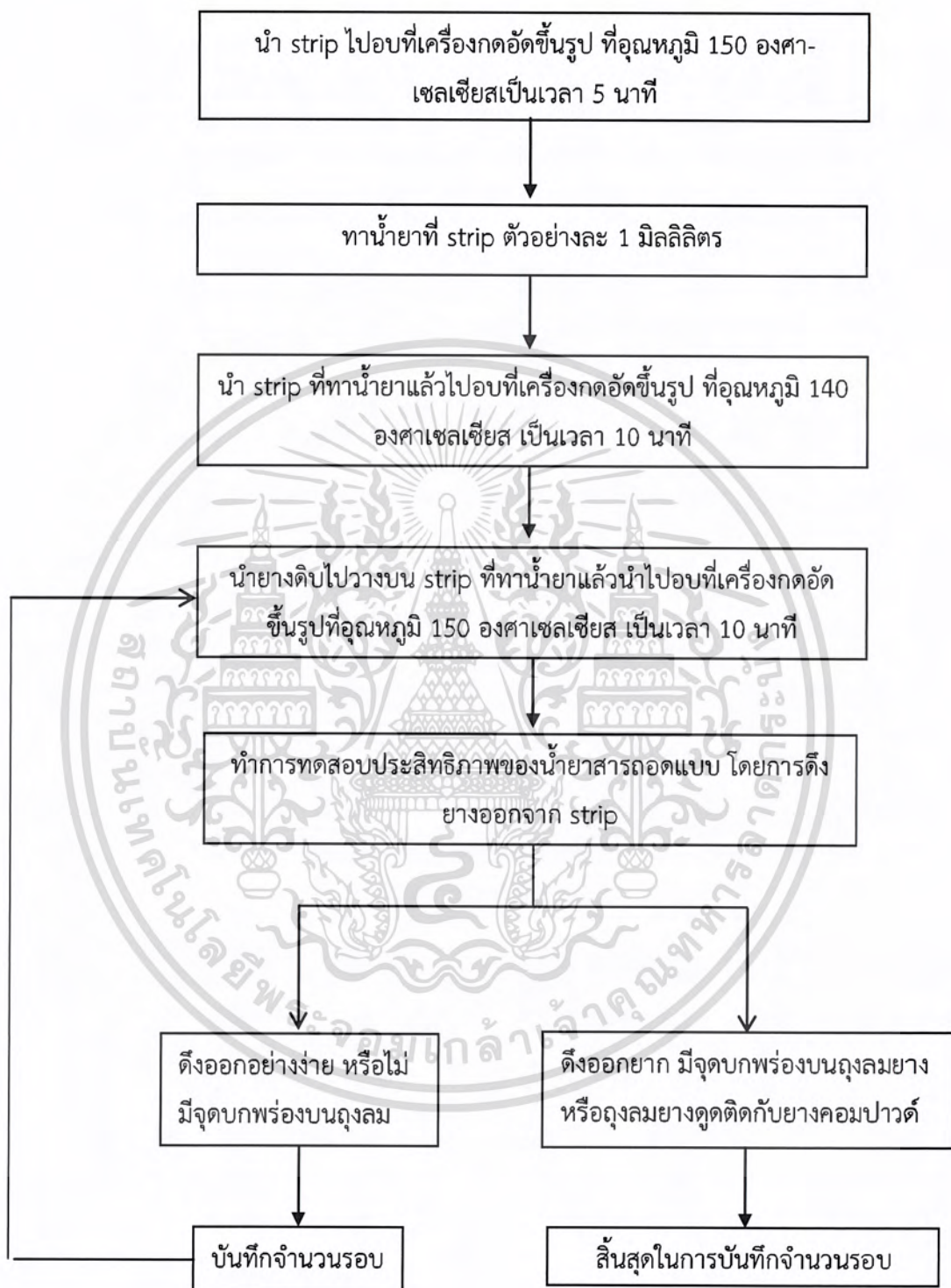
1.6 ทำการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบ โดยการดึงยางที่เชื่อมโยงออกจากถุงลมยางจำลอง ดังรูปที่ 3.10

1.7 บันทึกจำนวนรอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.10 การดึงยางออกจากถุงลมยาง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนวิธีการทดสอบน้ำยาสารถอดแบบสามารถสรุปเป็นแผนผัง ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนผังการทดสอบน้ำยาสารถอดแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 สัญลักษณ์ที่แสดงถึงความยากง่ายแตกต่างกันในการบันทึกผลของแต่ละรอบของการถอดออกด้วยวิธีการกดอัดขึ้นรูปร้อน

สัญลักษณ์	ความหมาย
☆☆☆	ชิ้นงานสามารถหลุดออกได้เองโดยไม่ต้องใช้แรงดึงหลังจากนำออกจากเครื่องกดอัดขึ้นรูปร้อน
☆☆	สามารถดึงชิ้นงานออกได้ง่าย โดยไม่ต้องพยายามใช้แรงในการดึงออก
☆	สามารถดึงชิ้นงานออกได้ โดยต้องใช้แรงในการดึงออก

2) การทดสอบน้ำยาสารถอดแบบด้วยวิธีการดึงลอกแบบตัวที่ (T-peel test)

การทดสอบความแข็งแรงในการยึดติดแบบดึงลอก ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) โดยยึดปลายของแถบยางที่มีฟิล์มตัวอย่างและแถบยางที่เชื่อมโยงเข้ากับหัวจับ (Grips) ทั้งสองของเครื่อง แล้วดำเนินการทดสอบด้วยวิธีการดึงลอกแบบตัวที่ด้วยความเร็วในการดึงเท่ากับ 20 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน ASTM D1876 โดยใช้โหลดเซลล์ขนาด 500 นิวตัน ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การทดสอบการดึงลอกออกแบบตัวที่

3) การทดสอบทางไตรโบโลยีเพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบนชิ้นงานยางที่มีน้ำยาสารถอดแบบ

(3.1) ตัดชิ้นงานตัวอย่างให้มีขนาด 25x25 มิลลิเมตร จำนวน 21 ชิ้นโดยจำแนกได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.1.1 ทดสอบน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชิ้นงานที่ไม่มีฟิล์ม จำนวน 3 ชิ้น
- ชิ้นงานที่มีฟิล์ม จำนวน 3 ชิ้น
- ชิ้นงานที่มีฟิล์มและทำการกัดครั้งที่ 6 จำนวน 3 ชิ้น
- ชิ้นงานที่มีฟิล์มและทำการกัดครั้งที่ 8 จำนวน 3 ชิ้น

3.1.2 ทดสอบน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04)

- ชิ้นงานที่ไม่มีฟิล์ม จำนวน 3 ชิ้น
- ชิ้นงานที่มีฟิล์ม จำนวน 3 ชิ้น
- ชิ้นงานที่มีฟิล์มและทำการกัดครั้งที่ 6 จำนวน 3 ชิ้น
- ชิ้นงานที่มีฟิล์มและทำการกัดครั้งที่ 12 จำนวน 3 ชิ้น

(3.2) นำชิ้นงานมาทดสอบบนเครื่องทดสอบทางไตรโบโลยีแบบ Pin-on-disc ของบริษัท Anton Paar โดยเลือกรูปแบบการเคลื่อนที่แบบไป-กลับ โดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1 เซนติเมตรต่อวินาที ระยะแอมพลิจูด 1 มิลลิเมตร จำนวนรอบในการเดินไกล 500 รอบ ใช้แรงกด 1 นิวตัน และหัวกดที่ใช้คือ ลูกบอลเหล็กกล้าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่องไตรโบมิเตอร์ แบบ Pin-on-disc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดลองและอภิปรายผลโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.1 ผลการทดลองจากการหาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ

4.2 ผลการทดสอบการศึกษาแนวเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบสูตร

เริ่มต้น (BCI-110-BK) และน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) โดยวิธีการ ดังนี้

4.2.1 การกดอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding process)

4.2.2 การดึงลอกแบบตัวที (T-peel test)

4.2.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากการทดสอบไตรโบโลยี

4.2.4 การทดสอบการใช้งานน้ำยาสารถอดแบบที่กระบวนการผลิตจริง

4.1 ผลการทดลองจากการหาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาชนิด และปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของซิลิโคนดัดแปลง ซิลิโคน ชนิดของสารเติมแต่ง และศึกษาการเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง และมีสารเร่งการเชื่อมโยง (Cure catalyst) ในน้ำยาสารถอดแบบ โดยนำไปทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบด้วยวิธีการกดอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding process)

ตารางที่ 4.1 น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) จากทางบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด



ชื่อสารเคมี	ปริมาณ (%)
ซิลิโคน (Silicone)	12
ซิลิโคนดัดแปลง (Modified silicone)	11
สารเติมแต่ง (Additives)	2
สารลดฟอง (Defoamer)	0.1
สารเพิ่มความหนืด (Thickener)	0.2
สารเพิ่มการเปียก (Wetting agent)	1
น้ำปราศจากไอออน (DI water)	73.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


4.1.1 ศึกษาปริมาณของซิลิโคนตัดแปลงในน้ำยาสารถอดแบบจากสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) โดยมีปริมาณดังนี้คือ 10%, 15% และ 20%

จากสูตรเริ่มต้น ดังตารางที่ 4.1 ผู้วิจัยต้องการที่ศึกษาปริมาณซิลิโคนตัดแปลงที่เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ ดังนั้นจึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของซิลิโคนตัดแปลงจากน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น จากเดิมมีปริมาณ 11% เป็นปริมาณ 10%, 15% และ 20% ดังตารางที่ 3.2 จากการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบโดยวิธีกดอัดขึ้นรูปร้อน ซึ่งเงื่อนไขของการทดสอบโดยวิธีการกดอัดรูปร้อนคือ ชิ้นงานที่มีจำนวนครั้งที่ถอดออกมาที่สุด หรือจำนวนครั้งของการถอดออกง่ายมากที่สุด คือชิ้นงานที่มีปริมาณซิลิโคนตัดแปลงที่เหมาะสม และเมื่ออุณหภูมิเกิดความเสียหาย เช่น อุณหภูมิเกิดการฉีกขาดหรืออุณหภูมิติดกับยางคอมปาวด์ จึงยุติการทดสอบ

ตารางที่ 4.2 การทดสอบน้ำยาสารถอดแบบที่ปริมาณซิลิโคนตัดแปลง 10%, 15% และ 20%

ปริมาณซิลิโคนตัดแปลงที่อยู่ในน้ำยาสารถอดแบบ	จำนวนรอบการขึ้นรูป (☆☆☆) (ครั้ง) ^a	จำนวนรอบที่ถอดออกง่าย (☆☆) (ครั้ง) ^b	ความเสียหายของอุณหภูมิ
10%	13	4	
15%	11	4	

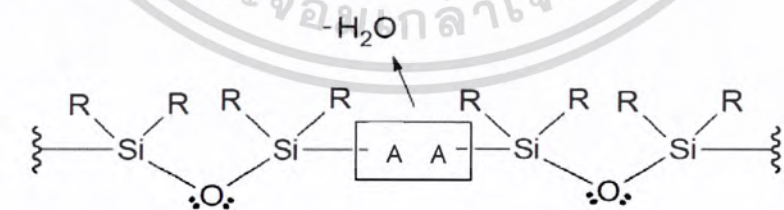
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20%	13	6	
-----	----	---	---

หมายเหตุ a : จำนวนรอบของการขึ้นรูปคือ จำนวนรอบที่สามารถถอดออกง่าย (☆☆) รวมกับจำนวนรอบที่ต้องใช้แรงในการดึงเพื่อให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน (☆)

หมายเหตุ b : จำนวนรอบที่ถอดออกง่าย (☆☆) ไม่ต้องพยายามใช้แรงในการดึงให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน

จากตารางที่ 4.2 เมื่อทำการทดสอบแล้ว พบว่าที่ปริมาณซิลิโคนดัดแปลง 10% และ 20% มีจำนวนรอบของการขึ้น 13 รอบเท่ากัน แต่ที่ปริมาณซิลิโคนดัดแปลง 20% มีจำนวนรอบที่ถอดออกง่ายมากกว่าทำให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่ปริมาณซิลิโคนดัดแปลงที่ 10% และ 15% เนื่องจากซิลิโคนดัดแปลงมีหมู่ปลายเป็นหมู่ A (A terminated) โดยมีการเชื่อมกันที่ปลายสายโซ่ (Chain - end) เมื่อได้รับความร้อน จึงเกิดการระเหยออกของน้ำทำให้ซิลิโคนอิมัลชันแห้ง และมีการสร้างชั้นฟิล์มที่มีความหนาแน่น ดังนั้นสูตรน้ำยาสารถอดแบบที่ใช้ปริมาณซิลิโคนดัดแปลงที่ 20% จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพสูงสุด เพราะมีหมู่ R ในโครงสร้างซิลิโคนเป็นหมู่เมทิล (-CH₃) จากรูป 4.1 ทำให้เกิดพื้นผิวที่เป็นไฮโดรคาร์บอนไม่มีขั้วที่มีพลังงานพื้นผิว (Surface energy) ต่ำ ส่งผลให้เกิดการยึดติดกับวัสดุอื่นได้ต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้ปริมาณซิลิโคนดัดแปลงที่มากเกินไป เช่น ที่ปริมาณมากกว่า 20% ส่งผลให้ต้นทุนของการผลิตน้ำยาสารถอดแบบสูง และทำให้ความหนืดของน้ำยาสารถอดแบบสูง ซึ่งยากต่อการใช้งาน เช่น การสเปรย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ปริมาณซิลิโคนดัดแปลงที่ 20% ในการพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบสูตรต่อ ๆ ไป



Bladder substrate

รูปที่ 4.1 กลไกการเกิดฟิล์มของซิลิโคนดัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


4.1.2 ศึกษาปริมาณของซิลิโคนเป็นองค์ประกอบในน้ำยาสารถอดแบบจากสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) โดยมีปริมาณดังนี้คือ 14.5%, 16.5% และ 18.5%

จากสูตรเริ่มต้น เมื่อศึกษาปริมาณซิลิโคนดัดแปลง พบว่าปริมาณซิลิโคนดัดแปลงที่ 20% เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ จากนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาปริมาณซิลิโคนที่เหมาะสม จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของซิลิโคนจากน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น จากเดิมมีปริมาณ 12% เป็นปริมาณ 14.5%, 16.5% และ 18.5% โดยใช้ปริมาณซิลิโคนดัดแปลงเป็น 20% ดังตารางที่ 3.3 และทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบด้วยวิธีกดอัดขึ้นรูป ร้อน ซึ่งเงื่อนไขของการทดสอบ โดยวิธีการกดอัดรูป ร้อนคือ ชิ้นงานที่มีจำนวนครั้งที่ถอดออกมากที่สุด หรือจำนวนครั้งของการขึ้นรูปมากที่สุดคือ ชิ้นงานที่มีปริมาณซิลิโคนที่เหมาะสม และเมื่ออุณหภูมิเกิดความเสียหาย เช่น อุณหภูมิเกิดการฉีกขาดหรืออุณหภูมิติดกับยางคอมปาวด์ จึงยุติการทดสอบ

ตารางที่ 4.3 การทดสอบน้ำยาสารถอดแบบที่มีปริมาณซิลิโคนเท่ากับ 14.5%, 16.5% และ 18.5%

ปริมาณซิลิโคนที่อยู่ในน้ำยาสารถอดแบบ	จำนวนรอบการขึ้นรูป (☆+☆☆) (ครั้ง) ^a	จำนวนรอบที่ถอดออกง่าย (☆☆) (ครั้ง) ^b	ความเสียหายของอุณหภูมิ
14.5%	12	7	
16.5%	12	8	

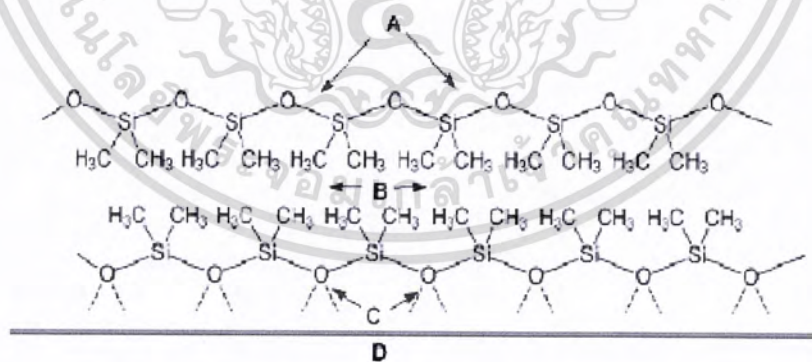
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18.5%	10	7	
-------	----	---	---

หมายเหตุ a : จำนวนรอบของการขึ้นรูปคือ จำนวนรอบที่สามารถถอดออกง่าย (☆☆) รวมกับจำนวนรอบที่ต้องใช้แรงในการดึงเพื่อให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน (☆)

หมายเหตุ b : จำนวนรอบที่ถอดออกง่าย (☆☆) ไม่ต้องพยายามใช้แรงในการดึงให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน

จากตารางที่ 4.3 เมื่อทำการทดสอบแล้ว พบว่าที่ปริมาณซิลิโคน 14.5% และ 16.5% มีจำนวนรอบของการขึ้นรูป 12 รอบเท่ากัน แต่ปริมาณซิลิโคนที่ 16.5% มีจำนวนรอบที่ถอดออกง่ายมากกว่า ทำให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่ปริมาณซิลิโคนที่ 14.5% และ 18.5% ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารประกอบซิลิโคนอิมัลชันทั้ง 2 ชนิด ทั้งซิลิโคนดัดแปลงหมู่ปลาย และซิลิโคนปกติทำให้เกิดชั้นซิลิโคนเมทิลไซลอกเซนหลายชั้น ดังรูปที่ 4.2 ซิลิโคนมีสมบัติในการหล่อลื่นสูงเพราะมีหมู่ที่ไม่มีขั้ว อย่างไรก็ตามถ้าใช้ปริมาณซิลิโคนที่มากอาจทำให้ซิลิโคนหลุดออกได้ง่ายจากการถอดออกครั้งแรก ดังนั้นเมื่อใช้ปริมาณซิลิโคนที่มากเกินไปอาจเกินความจำเป็นในการใช้งาน และเกิดการหลุดออกเป็นชั้นฟิล์มซิลิโคนที่เป็นรอยตำหนิ ทำให้ดูคล้ายว่าประสิทธิภาพการถอดแบบลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงควบคุมปริมาณซิลิโคนที่ 16.5% ในการพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบสูตรต่อ ๆ ไป



6.6 Silicone double layer on the fibre. A, polar surface; B, hydrophobic attraction of the methyl groups; C, hydrogen bonds to polar fibre surface; D, fibre surface.


รูปที่ 4.2 ซิลิโคนเมทิลไซลอกเซนหลายชั้น [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ศึกษาชนิดสารเติมแต่ง (Additives) ในน้ำยาสารถอดแบบ

จากสูตรเริ่มต้น เมื่อศึกษาปริมาณซิลิโคนดัดแปลง และปริมาณซิลิโคน พบว่าปริมาณซิลิโคนดัดแปลงที่ 20% และซิลิโคนที่ 16.5% เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ จากนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาชนิดสารเติมแต่งที่เหมาะสม โดยที่ชนิด A เป็นหมู่อีเทอร์ (Ether group) และชนิด B เป็นซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทฟลอน (Teflon silicone modified) จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารเติมแต่งโดยใช้ปริมาณ 2% ดังตารางที่ 3.4 และทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบโดยวิธีกดอัดขึ้นรูปร้อน ซึ่งเงื่อนไขของการทดสอบโดยวิธีการกดอัดรูปร้อนคือ ชิ้นงานที่มีจำนวนครั้งที่ถอดออกมาที่ดีที่สุด หรือจำนวนครั้งของการขึ้นรูปมากที่สุดคือ ชิ้นงานที่มีชนิดสารเติมแต่งที่เหมาะสม และเมื่อถูกลมยางเกิดความเสียหาย เช่น ถูกลมยางเกิดการฉีกขาดหรือถูกลมยางติดกับยางคอมปาวด์ จึงยุติการทดสอบ

ตารางที่ 4.4 การทดสอบน้ำยาสารถอดแบบโดยมีสารเติมแต่งชนิด A และ B

ชนิดสารเติมแต่งที่อยู่ในน้ำยาสารถอดแบบ	จำนวนรอบการขึ้นรูป (☆+☆☆) (ครั้ง) ^a	จำนวนรอบที่ถอดออกง่าย (☆☆) (ครั้ง) ^b	ความเสียหายของถูกลมยาง
A	14	6	
B	16	7	

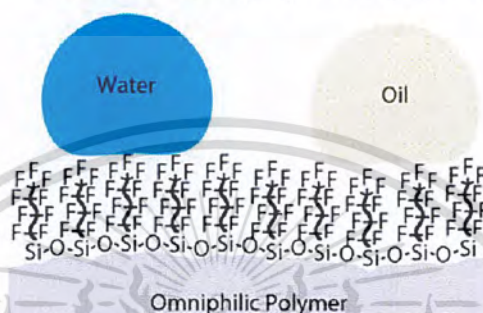
หมายเหตุ a : จำนวนรอบของการขึ้นรูปคือ จำนวนรอบที่สามารถถอดออกง่าย (☆☆) รวมกับจำนวนรอบที่ต้องใช้แรงในการดึงเพื่อให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน (☆)

หมายเหตุ b : จำนวนรอบที่ถอดออกง่าย (☆☆) ไม่ต้องพยายามใช้แรงในการดึงให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 เมื่อทำการทดสอบแล้ว พบว่าสารเติมแต่งชนิด B มีจำนวนรอบของการขึ้นรูปมากกว่าสารเติมแต่งชนิด B ทำให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับสารเติมแต่งชนิด A เนื่องจากสารเติมแต่งชนิด B ซึ่งเป็นซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทฟลอนมีอะตอมฟลูออรีนจัดเรียงอย่างหนาแน่น ดังรูปที่ 4.3 ทำให้มีสมบัติป้องกันการยึดติดที่สูงกว่าชนิด A ที่มีหมู่อีเทอร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารเติมแต่งชนิด B ในการพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบสูตรต่อ ๆ ไป

Schematic of "non-flip-flop" surface properties



รูปที่ 4.3 ซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทฟลอนมีอะตอมฟลูออรีนจัดเรียงอย่างหนาแน่น [27]

4.1.4 ศึกษาการเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง และมีสารเร่งการเชื่อมโยง (Cure catalyst)

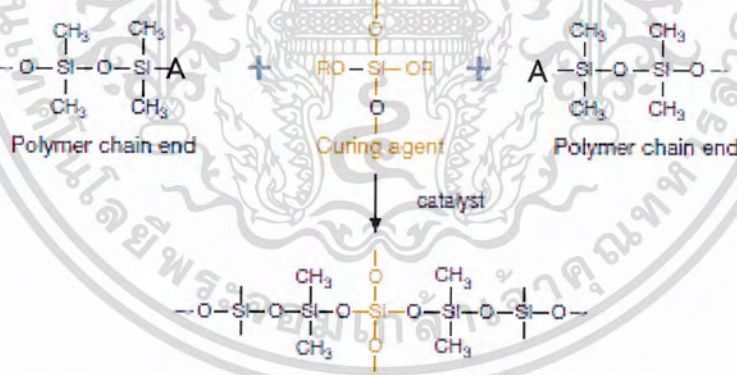
จากสูตรเริ่มต้น เมื่อศึกษาปริมาณซิลิโคนดัดแปลง ปริมาณซิลิโคน และชนิดของสารเติมแต่งพบว่าปริมาณซิลิโคนดัดแปลงที่ 20% ปริมาณซิลิโคนที่ 16.5% และสารเติมแต่งชนิด B เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ จากนั้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาการเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง และมีสารเร่งการเชื่อมโยง (Cure catalyst) ในน้ำยาสารถอดแบบที่ปริมาณ 1% ดังตารางที่ 3.5 และทดสอบโดยการอบฟิล์มด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูปร้อน ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของฟิล์มที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง และมีสารเร่งการเชื่อมโยง

ฟิล์มที่ได้หลังอบน้ำยา (ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง)	ฟิล์มที่ได้หลังอบน้ำยา (มีสารเร่งการเชื่อมโยง 1%)
	

จากตารางที่ 4.5 จากลักษณะทางกายภาพ ฟิล์มของน้ำยาสารถอดแบบที่มีสารเร่งการเชื่อมโยงแห้งกว่าฟิล์มที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง เนื่องจากสารเร่งการเชื่อมโยงมีโลหะซึ่งเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการเชื่อมโยง ดังรูปที่ 4.4 ทำให้ฟิล์มแห้งและเกิดการเชื่อมโยงได้เร็วเมื่อเทียบกับน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารเร่งการเชื่อมโยงที่ 1% ในการพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบ



รูปที่ 4.4 กลไกการเชื่อมโยงโดยมีสารเร่งการเชื่อมโยง (Cure catalyst) [28]

หลังจากที่ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาหาชนิด และปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของซิลิโคนดัดแปลง ซิลิโคน ชนิดของสารเติมแต่ง และศึกษาการเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีสารเร่งการเชื่อมโยง และมีสารเร่งการเชื่อมโยง (Cure catalyst) ในน้ำยาสารถอดแบบ โดยนำไปทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบด้วยวิธีกดอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding process) พบว่าที่ปริมาณซิลิโคน 16.5% ซิลิโคนดัดแปลงไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20% เป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสม นอกจากนี้สารเร่งการเชื่อมโยงทำให้ฟิล์มของน้ำยาสารถอดแบบเกิดการเชื่อมโยงที่ดีขึ้น และสารเติมแต่งที่เหมาะสมคือ ชนิด B ซึ่งเป็นซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทฟลอน โดยน้ำยาสารถอดแบบที่ได้นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีในระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) และน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) เพื่อหาน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าซึ่งสามารถนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตจริงได้


4.2 ผลการทดสอบการศึกษาแนวเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) และน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04)

4.2.1 การกดอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding process)

เนื่องจากบริษัทที่ผลิตยางล้อได้จำกัดการเข้าทดสอบน้ำยาสารถอดแบบในกระบวนการผลิต ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงทำการจำลองเพื่อดูแนวโน้มประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบของการใช้งานจริง ด้วยวิธีการกดอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

โดยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพระหว่างน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น และน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา เพื่อศึกษาจำนวนรอบของการกดอัดขึ้นรูปโดยที่ชิ้นงานยางไม่เกิดการยึดติดกันหรือไม่เกิดความเสียหายบนผิวยางเช่น การหลุดของชั้นยาง รอยฉีกขาด รอยแตก เป็นต้น โดยใช้ยางบิวทิล มาจำลองเป็นถุงลมยางและโครงยางรถยนต์ดิบ

ตารางที่ 4.6 การทดสอบแบบไม่มีน้ำยาสารถอดแบบกับชิ้นงานยาง




สารถอดแบบแม่พิมพ์	จำนวนรอบการขึ้นรูป (☆☆☆☆) (ครั้ง) ^a	จำนวนรอบที่ถอดออกง่าย (☆☆) (ครั้ง) ^b	ความเสียหายของถุงลมยาง
ไม่มีสารถอดแบบ	8	1	

หมายเหตุ a : จำนวนรอบของการขึ้นรูปคือ จำนวนรอบที่สามารถถอดออกง่าย (☆☆) รวมกับจำนวนรอบที่ต้องใช้แรงในการดึงเพื่อให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน (☆☆)

หมายเหตุ b : จำนวนรอบที่ถอดออกง่าย (☆☆) ไม่ต้องพยายามใช้แรงในการดึงให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 พบว่าการขึ้นรูปยางโดยไม่มีน้ำยาสารลดแรงตึงผิวทำให้ถุงลมยางและโครงยางรถยนต์ ดิบต้องใช้แรงดึงให้ชิ้นงานแยกจากกัน และเกิดการยึดติดกันในรอบที่ 9 ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับ ชิ้นงานคือ ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดด้านข้าง เนื่องจากไม่มีสารลดแรงตึงผิวที่ทำหน้าที่ช่วยป้องกันการยึด ติด

ตารางที่ 4.7 การทดสอบน้ำยาสารลดแรงตึงผิวสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) กับชิ้นงานยาง

สารลดแบบ แม่พิมพ์	จำนวนรอบการขึ้น รูป (☆☆☆) (ครั้ง) ^a	จำนวนรอบที่ถอด ออกง่าย (☆☆) (ครั้ง) ^b	ความเสียหายของถุงลม ยาง
สูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) (ครั้งที่ 1)	9	5	
สูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) (ครั้งที่ 2)	15	11	
สูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) (ครั้งที่ 3)	14	9	



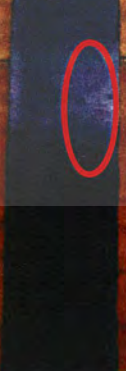
หมายเหตุ a : จำนวนรอบของการขึ้นรูปคือ จำนวนรอบที่สามารถถอดออกง่าย (☆☆) รวมกับจำนวนรอบที่
ต้องใช้แรงในการดึงเพื่อให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน (☆☆)

หมายเหตุ b : จำนวนรอบที่ถอดออกง่าย (☆☆) ไม่ต้องพยายามใช้แรงในการดึงให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์หรือเห็นคุณค่า
จากตารางที่ 4.7 เมื่อทดสอบการขึ้นรูปยางโดยใช้น้ำยาสารลดแรงตึงผิวสูตรเริ่มต้น
(BCI-110-BK) จำนวนสามครั้งโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที พบว่าการขึ้นรูปยาง
ไม่มีการฉีกขาดที่สังเกตเห็นแต่อย่างใด และต้องอยู่ฝั่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

โดยมีน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ทำให้ถูกลมยาง และโครงยางรถยนต์ดิบครั้งแรก เกิดการยึดติดกันในรอบที่ 10 เกิดความเสียหายขึ้นคือ ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดด้านล่าง ครั้งที่สองเกิดการยึดติดกันในรอบที่ 16 ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นคือ ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดด้านล่าง และครั้งที่สามเกิดการยึดติดกันในรอบที่ 11 ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นคือ ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดด้านล่าง

ตารางที่ 4.8 การทดสอบสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) กับชิ้นงานยาง

สารถอดแบบ แม่พิมพ์	จำนวนรอบการขึ้น รูป (☆☆☆) (ครั้ง) ^a	จำนวนรอบที่ถอด ออกง่าย (☆☆) (ครั้ง) ^b	ความเสียหายของถูกลม ยาง
สูตรพัฒนา (BCI-110-04) (ครั้งที่ 1)	16	10	
สูตรพัฒนา (BCI-110-04) (ครั้งที่ 2)	20	18	
สูตรพัฒนา (BCI-110-04) (ครั้งที่ 3)	20	16	

หมายเหตุ a : จำนวนรอบของการขึ้นรูปคือ จำนวนรอบที่สามารถถอดออกง่าย (☆☆) รวมกับจำนวนรอบที่ต้องใช้แรงในการดึงเพื่อให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน (☆)

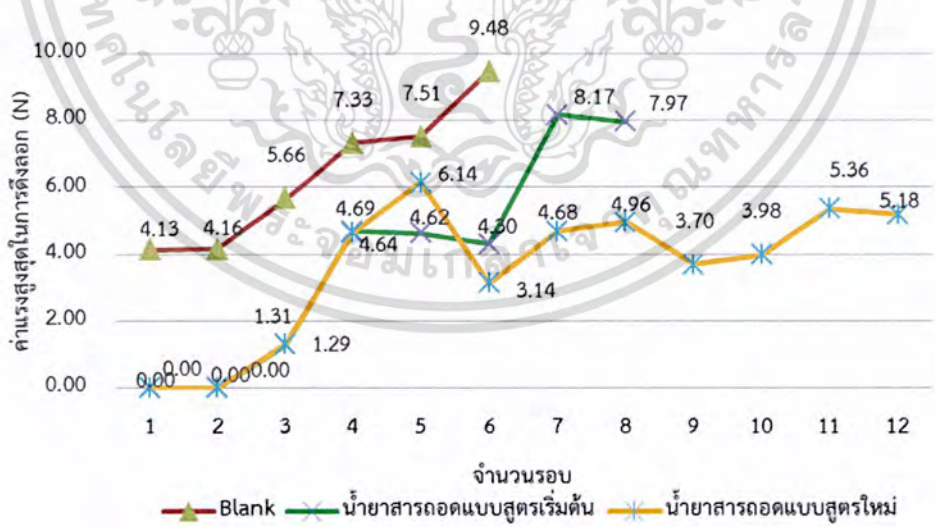
หมายเหตุ b : จำนวนรอบที่ถอดออกง่าย (☆☆) ไม่ต้องพยายามใช้แรงในการดึงให้ชิ้นงานแยกออกจากกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 เมื่อทดสอบการขึ้นรูปยางโดยใช้น้ำยาสารลดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) จำนวนสามครั้งขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที พบว่าการขึ้นรูปยางโดยมีน้ำยาสารลดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ทำให้ถุงลมยาง และโครงยางรถยนต์ดิบเมื่อใช้แรงดึงให้ขึ้นงานแยกจากกัน ครั้งแรกเกิดการยึดติดกันในรอบที่ 17 ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นคือ ขึ้นงานเกิดการฉีกขาดด้านข้าง ครั้งที่สองเกิดการยึดติดกันในรอบที่ 21 ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นคือ ขึ้นงานเกิดการฉีกขาดด้านข้าง และครั้งที่สามเกิดการยึดติดกันในรอบที่ 21 ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นคือ ขึ้นงานเกิดการฉีกขาดด้านล่าง

จากการทดสอบประสิทธิภาพ โดยการจำลองการใช้งานด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปร้อนในห้องปฏิบัติการพบว่า สามารถใช้เป็นวิธีในการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารลดแบบได้

4.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารลดแบบโดยวิธีการดึงลอกแบบตัวที่ (T-peel test)

การทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารลดแบบ โดยการดึงยางออกจากกัน (โครงยางรถยนต์ดิบและถุงลมยาง) ด้วยวิธีการกดอัดขึ้นรูปร้อนซึ่งเป็นการดึงโดยใช้คณะผู้วิจัย อาจเกิดความไม่แม่นยำในการทดสอบ เนื่องจากแรงในการดึงของแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน และไม่สามารถบอกความแตกต่างของความยากง่ายได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเตรียมตัวอย่างเป็นแผนผังตามมาตรฐาน และใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) ตามมาตรฐาน ASTM D1876 โดยใช้ความเร็วในการดึง 20 มิลลิเมตรต่อนาที โหลดเซลล์ (Load cell) ขนาด 500 นิวตัน สามารถแสดงผลการทดสอบ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสูงสุดในการดึงลอกและจำนวนรอบ

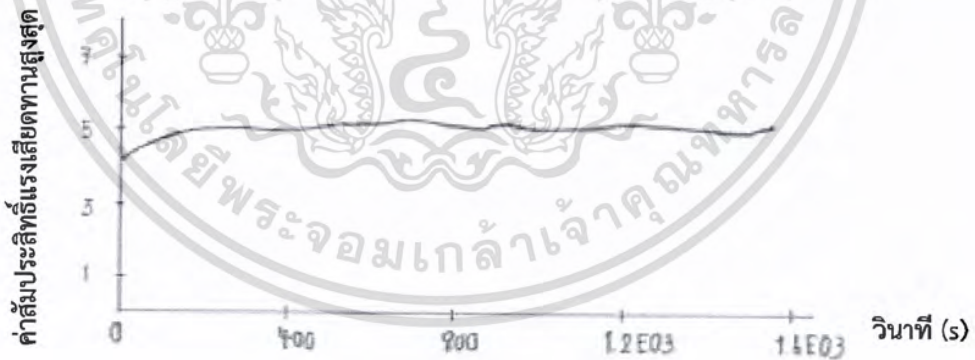
พบว่าค่าแรงสูงสุดในการดึงลอกยางที่ไม่มีน้ำยาสารลดแบบสูงกว่ายางที่มีน้ำยาสารลดแบบ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงสูงสุดในการดึงลอกยางที่มีน้ำยาสารลดแบบสูตรเริ่มต้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(BCI-110-BK) และน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) พบว่าน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา มีแนวโน้มในการดึงลอกง่ายกว่าน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น เนื่องจากในการทดลองค่าแรงสูงสุดที่ วัดได้แสดงถึงความยากง่ายของการดึงลอกโดยที่ 0 นิวตัน ถึง 5 นิวตันแสดงถึงความง่ายในการดึง ลอก และตั้งแต่ค่าการดึงลอกตั้งแต่ 7 นิวตันเป็นต้นไป แสดงถึงความยากในการดึงลอก อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการใช้โพลดเซลล์ คือ 500 นิวตัน ซึ่งขาดความแม่นยำในการวัดแรงที่มี ขนาดน้อย เช่น 0–5 นิวตัน จึงควรใช้โพลดเซลล์ขนาดที่เหมาะสมกับประสิทธิภาพของการยึดติด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำ

4.2.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากการทดสอบทางไตรโบโลยี

การทดสอบไตรโบโลยีเป็นการทดสอบเพื่อหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของสารถอดแบบ โดยใช้เครื่องทดสอบแบบ Pin-on-disc โดยเลือกใช้รูปแบบการเคลื่อนที่กลับไป-กลับ (Reciprocating) ใช้คู่สัมผัสลูกบอลเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ความเร็วในการ ทดสอบ 0.1 เซนติเมตรต่อวินาที จำนวนรอบในการเคลื่อนที่ 500 รอบ โพลดเซลล์ขนาด 1 นิวตัน ระยะ 1 มิลลิเมตร

4.2.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของน้ำยาสารถอดแบบที่มีผลต่อพฤติกรรม การเสียดทานจากการทดสอบสีกหรือแบบไป-กลับ (Reciprocating) ของชิ้นงานที่ไม่มีน้ำยาสารถอด แบบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเริ่มต้นมีค่าประมาณ 0.4 เมื่อเวลาผ่านไปค่าสัมประสิทธิ์แรง เสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดที่ 0.5613



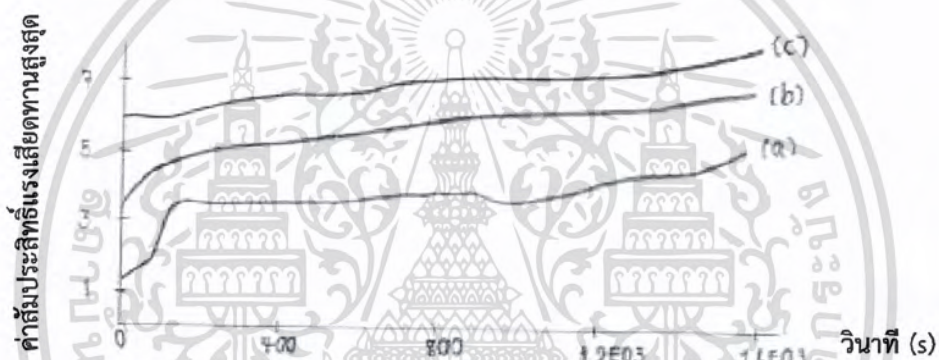
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของชิ้นงานที่ไม่มีน้ำยาสารถอดแบบ

4.2.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของน้ำยาสารถอดแบบที่มีผลต่อพฤติกรรม การเสียดทานจากการทดสอบสีกหรือแบบไป-กลับ (Reciprocating) ของชิ้นงานที่มีน้ำยาสารถอดแบบ สูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) โดยแบ่งเป็นการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ที่ยังไม่ทำการกดอัดขึ้นรูป พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเริ่มต้นมีค่าประมาณ 0.1 เมื่อเวลาผ่านไปค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดที่ 0.5280

(b) น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ที่ทำการกดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 6 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเริ่มต้นมีค่าประมาณ 0.3 เมื่อเวลาผ่านไปค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดที่ 0.6951

(c) น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ที่ทำการกดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 8 ซึ่งเป็นรอบสุดท้ายของการทดสอบการใช้งานที่กระบวนการผลิตจริง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเริ่มต้นมีค่าประมาณ 0.5 เมื่อเวลาผ่านไปค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดที่ 0.8838



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของชิ้นงานที่มีน้ำยาสารถอดแบบ (a) น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ที่ยังไม่ทำการกดอัดขึ้นรูป (b) น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ที่ทำการกดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 6 (c) น้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ที่ทำการกดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 8

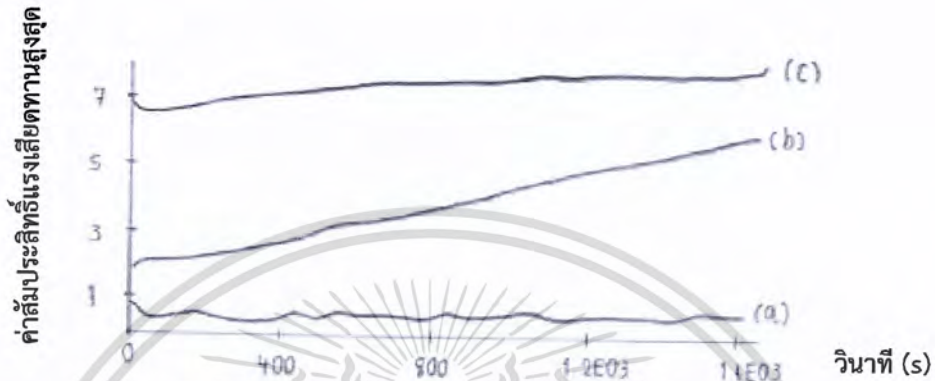
4.2.3.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของสารถอดแบบที่มีผลต่อพฤติกรรมแรงเสียดทานจากการทดสอบสึกหรอแบบไป-กลับ (Reciprocating) ของชิ้นงานยางที่มีน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) โดยแบ่งเป็น

(a) น้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ที่ยังไม่ทำการกดอัดขึ้นรูป พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดมีค่าประมาณ 0.1

(b) น้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ที่ทำการกดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 6 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเริ่มต้นมีค่าประมาณ 0.2 เมื่อเวลาผ่านไปค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดที่ 0.5869

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(c) น้ำยาสารลดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ที่ทำการกดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 12 ซึ่งเป็นรอบสุดท้ายของการทดสอบการใช้งานที่กระบวนการผลิตจริง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเริ่มต้นมีค่าประมาณ 0.5 เมื่อเวลาผ่านไปค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดที่ 0.7093



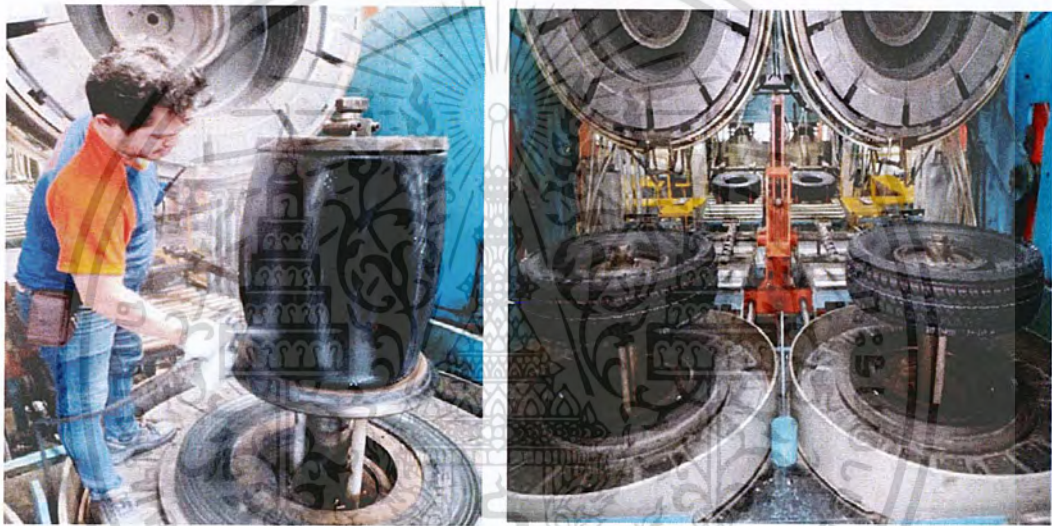
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของชิ้นงานที่มีน้ำยาสารลดแบบ (a) น้ำยาสารลดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ที่ยังไม่ทำการกดอัดขึ้นรูป (b) น้ำยาสารลดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ที่ทำการกดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 6 (c) น้ำยาสารลดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ที่ทำการกดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 12

จากผลการทดลองพบว่าน้ำยาสารลดแบบสูตรพัฒนามีประสิทธิภาพที่ดีกว่า เนื่องจากมีความลื่นที่พื้นผิวทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ได้ อาจขึ้นอยู่กับ การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง เรือโซในการทดสอบ และตำแหน่งในการทดสอบ

4.2.4 การทดสอบการใช้งานน้ำยาสารลดแบบที่กระบวนการผลิตจริง

ผลการทดสอบน้ำยาสารลดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) จากสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ตามกระบวนการผลิตขึ้นรูปยางล้อของบริษัท สยามทรีค เรเดียล จำกัด (Siam truck radial Co., Ltd.) จังหวัดนครปฐม วิธีการทดสอบทำได้โดย พ่นน้ำยาสารลดแบบด้วยวิธีการสเปรย์บนถุงลมยาง (ไม่มีการพ่นที่ห้องยาง) ทุก ๆ 12 ชั่วโมง การทดสอบแต่ละครั้งใช้ถุงลมยางใบใหม่เพื่อป้องกันสิ่งปนเปื้อนจากน้ำยาสารลดแบบตัวเก่า โดยทำการพ่นน้ำยาสารลดแบบที่อุณหภูมิมากกว่า 110 องศาเซลเซียส อบทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นทำการอุ่นถุงลมยางที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จำนวน 1 รอบ และพ่นน้ำยาสารลดแบบซ้ำ 1 รอบ ซึ่งทุก ๆ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส พ่นน้ำยาสารลดแบบซ้ำ โดยถุงลมยางต้องมีรูปร่างเป็นกึ่งพอง กึ่งหุบ ซึ่งขอบเขตของกระบวนการผลิตขึ้นรูปยางล้อรถบรรทุกนั้นต้องบ่มยางด้วยไอน้ำ และไนโตรเจน หลังจากการทดสอบพบว่าน้ำยาสารลดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) สามารถลดแบบยางล้อรถบรรทุกได้ 8 รอบต่อการพ่นน้ำยา 1 ครั้ง และอายุถุงลมยาง (Bladder life) ของน้ำยาสารลดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) มีอายุมากกว่า 190 รอบ ซึ่งทางบริษัทจึงต้องการน้ำยาสารลดแบบที่

สามารถถอดแบบยางล้อรถบรรทุกได้ 12 รอบต่อการพ่นน้ำยา 1 ครั้ง เนื่องจากต้องการเพิ่มผลผลิตยางล้อรถบรรทุกและลดระยะเวลาในการผลิต ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบขึ้น และผลการทดสอบพบว่า น้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) สามารถถอดแบบยางล้อรถบรรทุกได้ 12 รอบต่อการพ่นน้ำยา 1 ครั้ง และมีอายุขณกลายงที่มากกว่า 200 รอบ อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนาสามารถใช้งานได้จริง แต่เนื่องด้วยทางบริษัทได้ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการขึ้นรูปยางโดยใช้อุณหภูมิที่ต่ำลง (80 องศาเซลเซียส) จากเดิม 145 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำยาสารถอดแบบเกิดการสร้างฟิล์มที่ไม่สมบูรณ์ จึงเกิดคราบเหนียวติดที่ด้านในของยางล้อ (Inner liner) และน้ำยาสารถอดแบบมีความหนืดต่ำ ทางบริษัทจึงต้องการน้ำยาสารถอดแบบที่มีความหนืดที่มากขึ้นเพื่อยึดเกาะบนขลุกลายงได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.9 การพ่นน้ำยาสารถอดแบบ (ซ้าย) และยางที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองหาชนิด และปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ รวมถึงผลการทดสอบการศึกษาแนวเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) และน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) จากผลการทดลองเพื่อหาปริมาณสารตั้งต้น และสารเติมแต่งที่เหมาะสมเพื่อทำน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพที่ดี พบว่าที่ปริมาณซิลิโคน 16.5% ซิลิโคนดัดแปลง 20% เป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสม นอกจากนี้สารเร่งการเชื่อมโยงทำให้ฟิล์มของน้ำยาสารถอดแบบเกิดการเชื่อมโยงที่ดีขึ้น และสารเติมแต่งที่เหมาะสมคือ ชนิด B ซึ่งเป็นซิลิโคนดัดแปลงด้วยเทพลอน

2) ผลการทดสอบการศึกษาแนวเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) และน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) พบว่าน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนามีประสิทธิภาพในการใช้งานได้ดีกว่า จากการทดสอบทั้งหมดสามวิธี ได้แก่ วิธีการกดอัดขึ้นรูปร้อน วิธีการดึงลอกแบบตัวที่ และการทดสอบไตรโบโลยี จึงสรุปได้ว่า การทดสอบด้วยการอัดขึ้นรูปร้อนเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และสามารถบอกแนวโน้มของประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบได้ดี ในขณะเดียวกัน วิธีการดึงลอกแบบตัวที่ควรใช้หลอดเซลล์ที่มีขนาดขึ้นอยู่กับการยึดติดของชิ้นงานในการดึงลอก เพื่อความแม่นยำของข้อมูล และวิธีการทดสอบไตรโบโลยีเป็นการทดสอบที่ควรระมัดระวังในการเตรียมตัวอย่าง เนื่องจากมีฟิล์มเกาะอยู่บนชิ้นงานอาจทำให้เกิดการหลุดออกของฟิล์มก่อนการทดสอบได้

3) ผลการทดสอบการใช้งานที่กระบวนการผลิตจริง พบว่าน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนาสามารถถอดอย่างล้อได้ทั้งหมด 12 รอบต่อการพ่นน้ำยา 1 ครั้ง และมีอายุของถุงลมยางมากกว่า 200 รอบของการขึ้นรูปทั้งหมด และน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้นสามารถถอดอย่างล้อได้ 8 รอบต่อการพ่นน้ำยา 1 ครั้ง และมีอายุของถุงลมยางมากกว่า 190 รอบต่อการขึ้นรูปทั้งหมด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการใช้น้ำยาสารถอดแบบให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้น้ำยาสารถอดแบบ ปริมาณการใช้น้ำยาสารถอดแบบที่เหมาะสม

2) ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความหนืดที่เหมาะสมกับน้ำยาสารถอดแบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะกับถุงลมยางได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ซึ่งในเอกสารนี้มีการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ในการใช้งานที่กระบวนการผลิตจริง ควรมีการพัฒนาเครื่องพ่นน้ำยาสารถอดแบบโดยใช้แบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automatic) เนื่องจากในโรงงานปัจจุบันใช้วิธีการพ่นน้ำยาสารถอดแบบโดยใช้บุคคล (Manual) อาจทำให้ประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบลดลงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kasikornbank Public Company Limited. 2561. **สถานการณ์อุตสาหกรรมยานยนต์ไทย.** [Online]. Available : <https://www.kasikornbank.com/th/business/sme/KSME Knowledge/article/KSMEAnalysis/Documents/ThaiAutomotive4.pdf>.
- [2] George Baty and Rick Reynolds. 2018. **Release Agents.** [Online]. Available : <http://cresset.com/wp-content/uploads/2017/04/ReleaseAgentsBooklet.pdf>.
- [3] Globalspec. 2018. **Mold Releases and Release Agents Information.** [Online]. Available : https://www.globalspec.com/learnmore/materials_chemicals_adhesives/industrial_oils_fluids/mold_releases_release_agents.
- [4] Miller Stephenson. 2015. **Mold Release Agent Chemistries: Which is right for you?.** [online]. Available : <https://miller-stephenson.com/mold-release-agent>.
- [5] ธนาวิ ลี้จากภัย. 2545. “ซิลิโคน วัสดุจากเม็ดทราย.” ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. ม.ป.ป. : 24-26.
- [6] Jessicachem. 2560. **ไซเลนทำงานอย่างไร.** [Online]. Available : <http://th.couplingagentses.com/news/how-silanes-work-14468578.html>.
- [7] Nanorubberchem. 2558. **Paraffin wax.** [Online]. Available : <http://www.nanorubberchem.com/paraffin-wax-ซีผึ้งพาราฟิน>.
- [8] Science&technology industrial park of Shanggao county. 2018. **Polypropylene wax.** [Online]. Available : <http://www.jxfmkj.com/En/ProductView>.
- [9] Thai Poly Chemicals Co., Ltd. 2561. **PE Wax.** [Online]. Available : <https://thaipolychemicals.weebly.com/pe-wax.html>.
- [10] Sarapatchemical. 2561. **สารลดแรงตึงผิว Surfactant.** [Online]. Available : <https://www.sarapatchemical.com/สารลดแรงตึงผิว-surfactant>.
- [11] Vesselchemical Co., Ltd. 2018. **Antioxidant.** [Online]. Available : <http://www.vessel-chemical.com>.
- [12] Mc-Zyme S.P. Corporation Co., Ltd. 2014. **Defoamer.** [Online]. Available : <http://defoamers.blogspot.com>.
- [13] San nopco limited. 2018. **Thickeners.** [Online]. Available : <https://www.sannopco.co.jp/eng/products/function/function3.php>.
- [14] San nopco limited. 2018. **Wetting Agents.** [Online]. Available : <https://www.sannopco.co.jp/eng/products/function/function4.php>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] Siamchemi. 2019. สารกันบูดหรือวัตถุกันเสีย. [Online]. Available : <https://www.siamchemi.com/>.
- [16] อธิพิล แจ้งชัด. 2559. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [17] Firas Awaja, Michael Gilbert, Georgina Kelly, Bronwyn Fox and Paul J. Pigram. 2009. “Adhesion of polymers.” *Progress in Polymer Science*. 34 : 948-968.
- [18] ดร.รชนี พัทธวรการ. 2561. เทคโนโลยีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์. [Online]. Available : <http://www.inc.science.cmu.ac.th/thai/upload/article/file/12-02-16-fe9fc.pdf>.
- [19] สิทธิพงศ์ มหาธนบดี และคณะ. 2561. “อิทธิพลของสารลดแบบแม่พิมพ์ที่มีต่อการยึดติดของวัสดุแม่พิมพ์.” กรุงเทพฯ : โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทยและสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. เอกสารอัดสำเนา.
- [20] Bridgestone. 2560. **Tire manufacturing process**. [Online]. Available : https://www.bridgestone.com/products/specialty_tires/aircraft/products/process.
- [21] Brian Horsham Olive. **Treated tire curing bladders and method for curing tires**. European patent no. EP0385919A2. March. 01, 1989.
- [22] Yoshinori Inokuchi and Annaka. **COATING AGENT**. Japan. Patent no.US 2007/0059538 A1. Mar. 15, 2007.
- [23] Michael J. Hoffman and Clinton Mich. **AQUEOUS SILICONE EMULSIONS AS BLADDER LUBRICANTS**. U.S patent no. 4678815. Jul. 7, 1987.
- [24] Louis F. Comper, Robert F Scheiderich and Danville, Va. **TIRE CURING BLADDER LUBRICANT**. U.S patent no. 4359340. Nov. 20, 1982.
- [25] Yoshinori Inokuchi, Annaka-shi, Takakazu MINATO and Nobuaki HONSHO. **RELEASE AGENT FOR TIRE BLADDER, TIRE BLADDER, AND PNEUMATIC TIRE**. Japan. Patent no. US 2018/0036917 A1. Feb. 8, 2018.
- [26] Tanveer Ahmed. 2012. **Repellent finishes oil and water**. [Slide]. n.p. : SlideShare.
- [27] Philip S. Brown and Bharat Bhushan. 2015. “Bioinspired, roughness-induced, water and oil super-philic and super-phobic coatings prepared by adaptable layer-by-layer technique.” *Scientific Reports*. 5(1) : 1-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[28] Wacker Chemie AG. 2019. **SILICONE RUBBER**. [Online]. Available :
https://www.wacker.com/cms/en/products/product_groups/silicone_rubbers_1/vernetzung_1.jsp.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบการดึงลอกออกแบบตัวที่ (T-peel test) บนชิ้นงานที่ไม่มีน้ำยาสารถอดแบบ

จำนวนรอบ	ชิ้นงานที่ 1 (นิวตัน)	ชิ้นงานที่ 2 (นิวตัน)	ชิ้นงานที่ 3 (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ย (นิวตัน)
1	4.28	3.28	4.82	4.1267
2	4.66	4.3	3.51	4.1567
3	7.18	3.51	6.3	5.6633
4	6.61	8.19	7.18	7.3267
5	5.31	8.74	8.49	7.5133
6	5.94	12.24	10.26	9.4800

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบการดึงลอกออกแบบตัวที่ (T-peel test) บนชิ้นงานที่มีน้ำยาสารถอดแบบสูตรเริ่มต้น

จำนวนรอบ	ชิ้นงานที่ 1 (นิวตัน)	ชิ้นงานที่ 2 (นิวตัน)	ชิ้นงานที่ 3 (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ย (นิวตัน)
1	0	0	0	0.0000
2	0	0	0	0.0000
3	0	3.85	0	1.2833
4	4.16	7.64	2.27	4.6900
5	4.18	6.69	3	4.6233
6	4.7	4.72	3.47	4.2967
7	5.76	15.61*	3.14	8.1700
8	3.3	14.74*	5.86	7.9667

หมายเหตุ : เครื่องหมาย (*) ถูกลมยางจำลองหรือเบลคเตอร์เกิดการฉีกขาดที่ส่วนบน

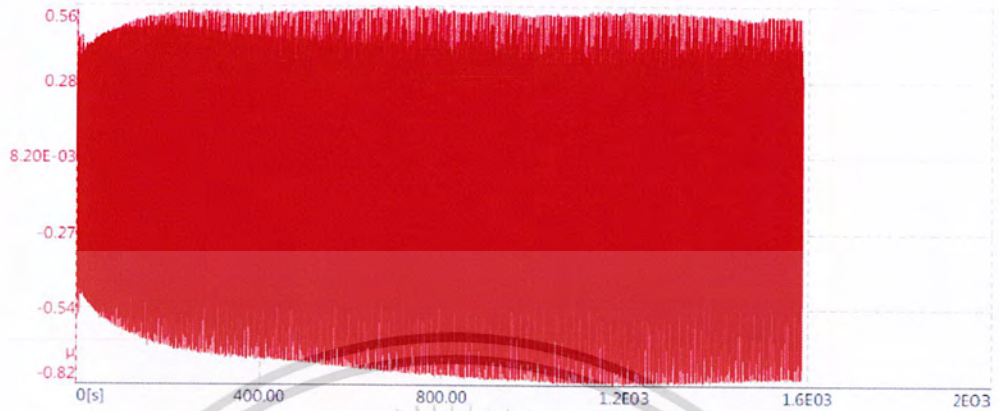
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบการดึงลอกออกแบบตัวที่ (T-peel test) บนชิ้นงานที่มีน้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา

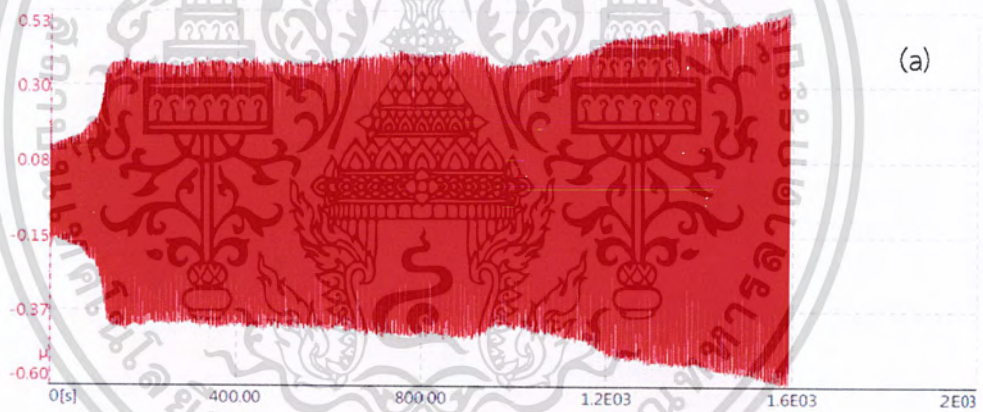
จำนวนรอบ	ชิ้นงานที่ 1 (นิวตัน)	ชิ้นงานที่ 2 (นิวตัน)	ชิ้นงานที่ 3 (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ย (นิวตัน)
1	0	0	0	0.0000
2	0	0	0	0.0000
3	0	3.93	0	1.3100
4	6.47	4.12	3.34	4.6433
5	9.67	3.61	5.13	6.1367
6	3.97	2.7	2.76	3.1433
7	4.93	4.01	5.09	4.6767
8	4.54	4.09	6.26	4.9633
9	3.36	4.18	3.55	3.6967
10	3.97	3.22	4.74	3.9767
11	6.47	3.81	5.81	5.3633
12	7.36	3.24	4.95	5.1833

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

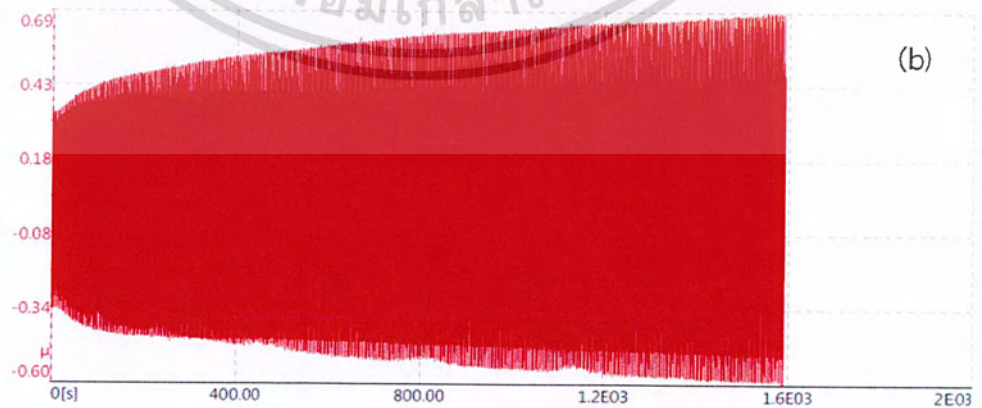
ภาคผนวก ข



รูปที่ ข.1 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานที่ไม่มีนํ้ายาสารลดแบบจากเครื่องไดร-โบมิเตอร์ (Tribometer)

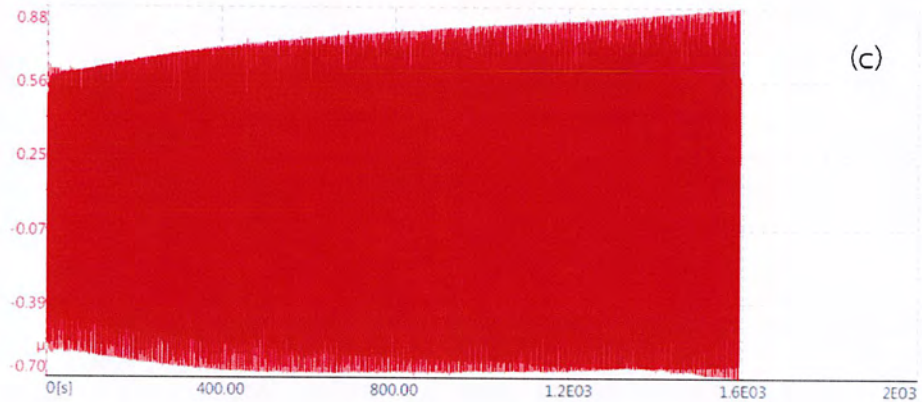


(a)

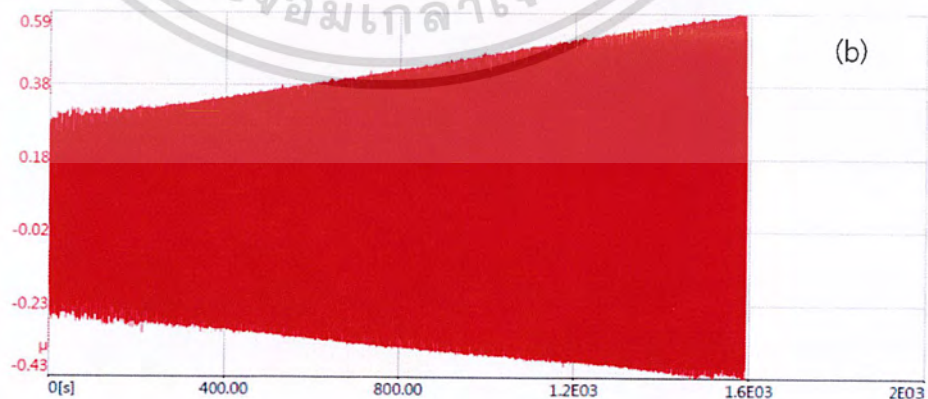
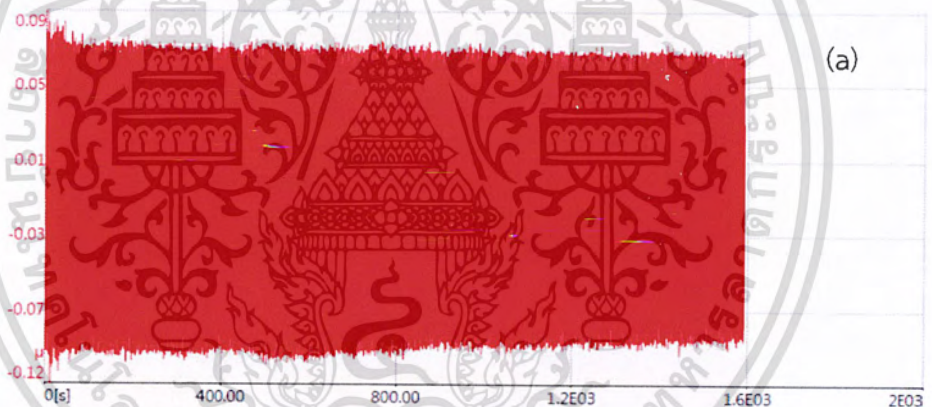


(b)

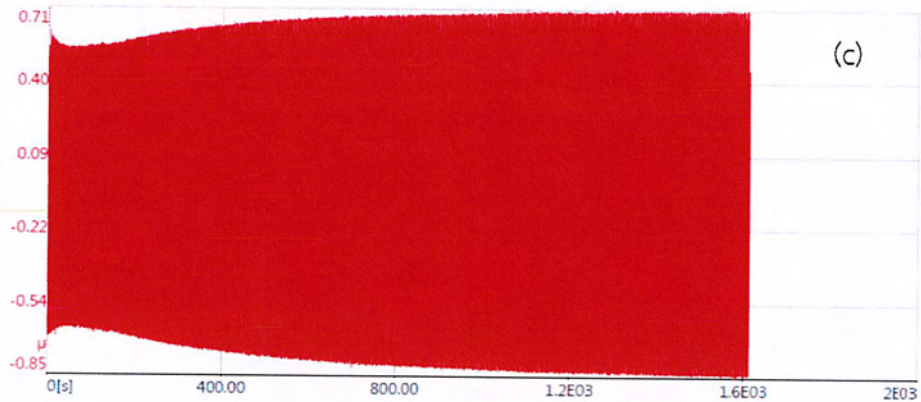
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานที่มีนํ้าสารหล่อแบบ (a) นํ้าสารหล่อแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ที่ยังไม่ทำการกดอัดขึ้นรูป (b) นํ้าสารหล่อแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ที่ทำการกดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 6 (c) นํ้าสารหล่อแบบสูตรเริ่มต้น (BCI-110-BK) ที่ทำการกดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 8 จากเครื่องไตรโบมิเตอร์ (Tribometer)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานที่มีน้ำยาสารถอดแบบ (a) น้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ที่ยังไม่ทำการกัดอัดขึ้นรูป (b) น้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ที่ทำการกัดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 6 (c) น้ำยาสารถอดแบบสูตรพัฒนา (BCI-110-04) ที่ทำการกัดอัดขึ้นรูปจำนวนรอบที่ 12 จากเครื่องไตรโบมิเตอร์ (Tribometer)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้