

การศึกษาน้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำ  
สำหรับอุตสาหกรรมโฟมพอลิยูรีเทน

STUDY OF WATER-BASED MOLD RELEASE AGENTS  
FOR POLYURETHANE FOAM INDUSTRY



สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2565  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF WATER-BASED MOLD RELEASE AGENTS  
FOR POLYURETHANE FOAM INDUSTRY



A COOPERTIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแต่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2022



หัวข้อสหกิจศึกษา	การศึกษาน้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำสำหรับอุตสาหกรรมโฟมพอลิยูรีเทน	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิรญาณม์ แสนสรระน้อย	รหัสนักศึกษา 62050326
	นางสาวสิริภัทร เหล็กเพชร	รหัสนักศึกษา 62050337
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)	
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ปีการศึกษา	2565	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันพอลิยูรีเทนถูกนำไปใช้มากมายในหลากหลายอุตสาหกรรม ทั้งในงานเฟอร์นิเจอร์ การก่อสร้าง อิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมยานยนต์ บรรจุภัณฑ์ และรองเท้า ในกระบวนการขึ้นรูปขึ้นงานเหล่านี้โดยเฉพาะกระบวนการขึ้นรูปแบบทำปฏิกิริยา (Reaction Injection Molding, RIM) มีความจำเป็นต้องใช้น้ำยาสารถอดแบบ (Mold release agent) งานวิจัยนี้ศึกษาน้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำชนิดแว็กซ์ สำหรับอุตสาหกรรมพอลิยูรีเทน โดยเน้นศึกษาปัจจัยบางประการ ได้แก่ ชนิดของแว็กซ์ (ไขผึ้ง พาราฟินแว็กซ์ คาร์นูบาร์แว็กซ์ พอลิเอทิลีนแว็กซ์) สัดส่วนตัวทำละลายรวม และปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์ จากการทดลองพบว่า การใช้อิมัลชันไขผึ้ง เตรียมเป็นน้ำยาสารถอดแบบ 5% ให้ประสิทธิภาพการถอดแบบดีที่สุดเมื่อเทียบกับแว็กซ์ชนิดอื่นๆ ในการศึกษาปริมาณของตัวทำละลายรวมเอทิลแอลกอฮอล์ 0-6 % พบว่าเมื่อใส่เอทิลแอลกอฮอล์ ทำให้เวลาในการแห้งตัวของน้ำยาสารถอดแบบลดลง แต่เวลาในการแห้งตัวของเอทิลแอลกอฮอล์ 2-6 % ไม่แตกต่างกัน และไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการถอดแบบ จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์เป็น 2 %wt ทำให้น้ำยาละลายมีความเสถียรเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลต่อความยากง่ายในการดึงตัวอย่าง จากการทดลองผสมน้ำยาให้เจือจางที่ 1:1 พบว่าความยากง่ายในการดึงโฟมพอลิยูรีเทนตัวอย่างไม่ต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำยาสารถอดแบบในงานวิจัยนี้เทียบกับน้ำยาสารถอดแบบเชิงพาณิชย์พบว่า มีความมันเจ้าน้อยกว่า สีไม่แตกต่างกัน แต่ความยากง่ายในการดึงด้อยกว่า จึงมีข้อเสนอแนะที่จะพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบเพื่อปรับปรุงความมันเงา เวลาแห้งตัว เสถียรภาพ และเพิ่มประสิทธิภาพการถอดแบบก่อนนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตจริง

เอกสารนี้ **คำสำคัญ** : กระบวนการฉีดขึ้นรูปแบบทำปฏิกิริยา-ไขผึ้ง น้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำชนิดแว็กซ์ พอลิ-  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยูรีเทน ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Study of Water-Based Mold Release Agents for Polyurethane Foam Industry	
<b>Students</b>	Miss Wachiraya Saensranoy	Student ID 62050326
	Miss Siraphat Lekpetch	Student ID 62050337
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
<b>Department</b>	Chemistry	
<b>School</b>	Science	
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
<b>Academic Year</b>	2022	
<b>Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Ittipol Jangchud	

### Abstract

Nowadays, polyurethane (PU) has been used in several industries including furniture, construction, electronics, automotive, and footwear, etc. Mold release agents are crucial, especially in Reaction Injection Molding (RIM) process of PU. In this cooperative study, formulas of water-based mold release agents for PU foam industry were studied. Some factors of the mold release agents were studied including types of wax (beeswax, paraffin wax, carnuba wax, PE wax), co-solvent (95% ethanol) loading, and emulsifier loading. It was found that 5% beeswax was the most effective mold release compared to other waxes. By adding 0-6 % ethanol co-solvent, drying time was decreased. However, 2-6 % ethanol yielded similar drying time and had no effect on mold release efficiency. By adding 0-2 % emulsifiers, emulsion stability was improved, but it had effect on mold release efficiency. By diluting 50 % the mold release solution, mold release efficiency was similar to the undiluted one. However, by comparing the mold release agent in this work with the commercial ones, more studies are needed in the future work including film gloss, drying time, emulsion stability, and mold release efficiency.

**Keywords :** Reaction injection molding process, Beeswax, Water-based mold release agent, Polyurethane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

สหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มจัต ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ทำให้สหกิจศึกษานี้ดำเนินไปอย่างราบรื่น เรียบร้อย และสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภารัตน์ รักชลธิ ประธานกรรมการสอบสหกิจศึกษา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์ ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบสหกิจศึกษา โดยได้ให้ข้อชี้แนะเพื่อแก้ไข ปรับปรุงและคำแนะนำเพื่อทำให้สหกิจนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัท แอ็คมิ อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ช่วยสนับสนุนในเรื่องสารเคมี เครื่องมือทำการทดลอง และสถานที่ทำการทดลอง ตลอดจนคำปรึกษาและแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาในด้านต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างกรดำเนินการวิจัยพร้อมทั้งให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อสหกิจศึกษานี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท คัลเลอ โกลบอล จำกัด ที่ช่วยสนับสนุนในเรื่องเครื่องมือทำการทดลอง ตลอดจนช่วยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการดำเนินการวิจัยของสหกิจศึกษานี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการจัดทำสหกิจศึกษานี้

ขอขอบคุณ พี่น้อง พี่ๆ ในภาควิชาเคมี ที่คอยช่วยเหลือ ชี้แนะให้คำปรึกษา และคอยให้กำลังใจจนสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วชิรญาณม์ แสนสรระน้อย

สิริภัทร เหล็กเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>6</b>
2.1 พอลิยูรีเทน.....	6
2.1.1 การสังเคราะห์พอลิยูรีเทน.....	6
2.1.2 ไอโซไซยาเนต.....	7
2.1.3 พอลิออล.....	7
2.1.4 การเกิดปฏิกิริยาของไอโซไซยาเนต.....	8
2.1.5 สมบัติของพอลิยูรีเทน.....	9
2.1.6 เทคนิคการขึ้นรูปพอลิยูรีเทน.....	10
2.2 น้ำยาสารถอดแบบ.....	12
2.2.1 ประเภทของน้ำยาสารถอดแบบจำแนกตามชนิดตัวทำลาย.....	13
2.2.2 ประเภทของน้ำยาสารถอดแบบจำแนกตามความหนาทนทาน.....	13
2.2.3 สมบัติของน้ำยาสารถอดแบบที่ดี.....	14
2.2.4 การแห้งของน้ำยาสารถอดแบบ.....	14
2.3 องค์ประกอบในน้ำยาสารถอดแบบ.....	14
2.3.1 แร่กซึ.....	14
2.3.2 ตัวทำลาย.....	16
2.3.3 สารลดแรงตึงผิว.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4	อิมัลชันไฟเออร์.....	20
2.3.5	สารเติมแต่ง.....	22
2.4	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
<b>บทที่ 3</b>	<b>วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>29</b>
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.1.1	สารเคมีสำหรับยาสารถอดแบบ.....	29
3.1.2	สารเคมีสำหรับเตรียมตัวอย่างพอลิยูรีเทนหล่อแบบ.....	30
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	30
3.3	แผนดำเนินงานวิจัย.....	32
3.4	การทดลอง.....	33
3.4.1	การเตรียมน้ำยาสารถอดแบบที่วิจัย.....	33
3.4.2	การหาปริมาณน้ำยาสารถอดแบบที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.4.3	การทดสอบประสิทธิภาพน้ำยากับพอลิยูรีเทนโฟม.....	36
3.4.4	การทดสอบประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบกับน้ำยาสารถอดแบบที่ใช้เปรียบเทียบ.....	36
3.5	การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติน้ำยาสารถอดแบบ.....	37
3.5.1	การทดสอบการคงตัว.....	37
3.5.2	การทดสอบความเป็นกรด - เบส.....	37
3.5.3	การทดสอบความหนืด.....	37
3.5.4	การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาสารถอดแบบ.....	37
3.5.5	การวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะ.....	37
3.6	การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติพอลิยูรีเทนโฟมหลังใช้น้ำยาสารถอดแบบ.....	37
3.6.1	การทดสอบประสิทธิภาพการถอดแบบระหว่างแม่แบบและพอลิยูรีเทนโฟม....	37
3.6.2	การทดสอบสัณฐานวิทยา.....	38
3.6.3	การวัดแรงดึงด้วยเครื่องมือวัดสี.....	38
3.7	ทดลองน้ำยาสารถอดแบบที่วิจัยทดสอบที่โรงงานการผลิต.....	38
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>40</b>
4.1	การศึกษาปัจจัยองค์ประกอบในน้ำยาสารถอดแบบ.....	40
4.1.1	การศึกษาปัจจัยชนิดของแวกซ์.....	40
4.1.2	ปริมาณของตัวทำละลายรวม.....	41
4.1.3	ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว.....	46
4.1.4	อัตราส่วนของน้ำยาสารถอดแบบต่อน้ำ.....	48
4.1.5	การทดสอบประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบที่ดีที่สุดกับน้ำยาสารถอดแบบที่ใช้	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส.4.1.4 อัตราส่วนของน้ำยาสารถอดแบบต่อน้ำ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 4.1.5 การทดสอบประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบที่ดีที่สุดกับน้ำยาสารถอดแบบที่ใช้

ในเชิงพาณิชย์.....	49
4.2 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆของน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุด....	49
4.2.1 การคงตัวของน้ำยาสารถอดแบบ.....	49
4.2.2 ความหนืดและความเป็นกรด – เบส.....	49
4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาสารถอดแบบ.....	49
4.2.4 การวิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะ.....	50
4.3 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆของโฟมพอลิยูรีเทน.....	50
4.3.1 ลักษณะพื้นผิวโฟมพอลิยูรีเทน.....	50
4.3.2 การทดสอบสัณฐานวิทยา.....	50
4.3.3 การวัดเฉดสี.....	52
4.4 การทดสอบประสิทธิภาพที่โรงงานการผลิต.....	53
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>55</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก.....	62
คำรับรองเล่มสหกิจศึกษา.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 องค์ประกอบสารเคมีของไขผึ้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	30
3.2 องค์ประกอบที่ใช้ในสูตรการวิจัยเพื่อควบคุมตัวแปรชนิดของแว็กซ์.....	33
3.3 องค์ประกอบที่ใช้ในสูตรการวิจัยเพื่อควบคุมตัวแปรปริมาณของตัวทำละลายรวม.....	34
3.4 องค์ประกอบที่ใช้ในสูตรการวิจัยเพื่อควบคุมตัวแปรปริมาณของอิมัลซีไฟเออร์.....	35
3.5 ตารางแผนการดำเนินงาน.....	39
4.1 ความยาก – ง่ายในการดึงโพนพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อชนิดแว็กซ์ต่างกัน.....	41
4.2 ความยาก – ง่ายในการดึงโพนพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อชนิดแว็กซ์แตกต่างกันและปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2 %wt.....	45
4.3 ความยาก – ง่ายในการดึงโพนพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อชนิดแว็กซ์แตกต่างกันและปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 4 %wt.....	45
4.4 ความยาก – ง่ายในการดึงโพนพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อชนิดแว็กซ์แตกต่างกันและปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 6 %wt.....	45
4.5 ความยาก – ง่ายในการดึงโพนพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อปริมาณของสารลดแรงตึงผิวแตกต่างกัน.....	47
4.6 ความยาก-ง่ายในการดึงโพนพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อใช้น้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่เจือจางและเจือจางที่อัตราส่วนของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวต่อน้ำเป็น 1:1.....	48
4.7 ความยาก-ง่ายในการดึงโพนพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดกับน้ำยาสารลดแรงตึงผิวในเชิงพาณิชย์.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การเติบโตของตลาดพอลิยูรีเทนในสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2022-2030.....	1
1.2 ตลาดพอลิยูรีเทนทั่วโลกที่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ.....	2
1.3 ตลาดน้ำยาสารลดแรงตึงผิวทั่วโลกที่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ.....	3
2.1 แสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน.....	6
2.2 แสดงโครงสร้างของ MDI และ TDI.....	7
2.3 แสดงโครงสร้างของพอลิอีเทอร์ พอลิออล.....	8
2.4 แสดงโครงสร้างของพอลิเอสเทอร์ พอลิออล.....	8
2.5 การฉีดขึ้นรูป.....	10
2.6 การฉีดขึ้นรูปแบบทำปฏิกิริยา.....	11
2.7 การอัดขึ้นรูป.....	12
2.8 แสดงโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว.....	17
2.9 แสดงโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว.....	18
2.10 แสดงโครงสร้างของ Anionic surfactant.....	18
2.11 แสดงโครงสร้างของ Cationic surfactant.....	19
2.12 แสดงโครงสร้างของ Amphoteric surfactant.....	19
2.13 แสดงโครงสร้างของ Nonionic surfactant.....	20
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	32
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการแห้งตัวกับปริมาณตัวทำละลายรวม.....	42
4.2 ก) น้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่ใช้พาราฟินแวกซ์อิมัลชัน A ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ง) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	43
4.3 ก) น้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่ใช้พาราฟินแวกซ์อิมัลชัน B ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ง) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	44
4.4 ก) น้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ไซลีนธรรมชาติ ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ง) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ก) น้ำยาสารถอดแบบจากไขผึ้งธรรมชาติที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเป็น 1.5 %wt เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ง) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	46
4.6 ก) น้ำยาสารถอดแบบจากไขผึ้งธรรมชาติที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเป็น 2 %wt เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ง) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	47
4.7 ไขผึ้งธรรมชาติที่ใส่ตัวทำละลายร่วม 2, 4, 6 %wt ตามลำดับ.....	50
4.8 ไขผึ้งธรรมชาติที่ไม่ใส่ตัวทำละลายร่วมจากภาพกำลังขยาย 50, 100, 200 เท่าตามลำดับ	51
4.9 ไขผึ้งธรรมชาติที่ใส่ตัวทำละลายร่วม 2 %wt จากภาพกำลังขยาย 50, 100, 200 เท่าตามลำดับ.....	51
4.10 ไขผึ้งธรรมชาติที่ใส่ตัวทำละลายร่วม 4 %wt จากภาพกำลังขยาย 50, 100, 200 เท่าตามลำดับ.....	51
4.11 ไขผึ้งธรรมชาติที่ใส่ตัวทำละลายร่วม 6 %wt จากภาพกำลังขยาย 50, 100, 200 เท่าตามลำดับ.....	51
4.12 ค่าแอดสีของพื้นผิวโพรพอลิยูรีเทนหลังใช้น้ำยาสารถอดแบบ ก.) ค่าความสว่าง ( $\Delta L^*$ ) ข.) แอดสีเขียว-แดง ( $\Delta a^*$ ) ค.) แอดสีน้ำเงิน-เหลือง ( $\Delta b^*$ ).....	53
4.13 ชิ้นงานโพรพอลิยูรีเทนที่ใช้น้ำยาสารถอดแบบ R อัตราส่วน 1 : 2 และน้ำยาสารถอดแบบที่วิจัยโดยเจือจางอัตราส่วน 1 : 5.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
PU, PUR	พอลิยูรีเทนโฟม
PE wax	พอลิเอทิลีนแว็กซ์
%wt	ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก
°C	องศาเซลเซียส
R,R'	หมู่แอลคิล
MDI	เมทิลีนไดไอโซไซยาเนต
TDI	โทลูอินไดไอโซไซยาเนต



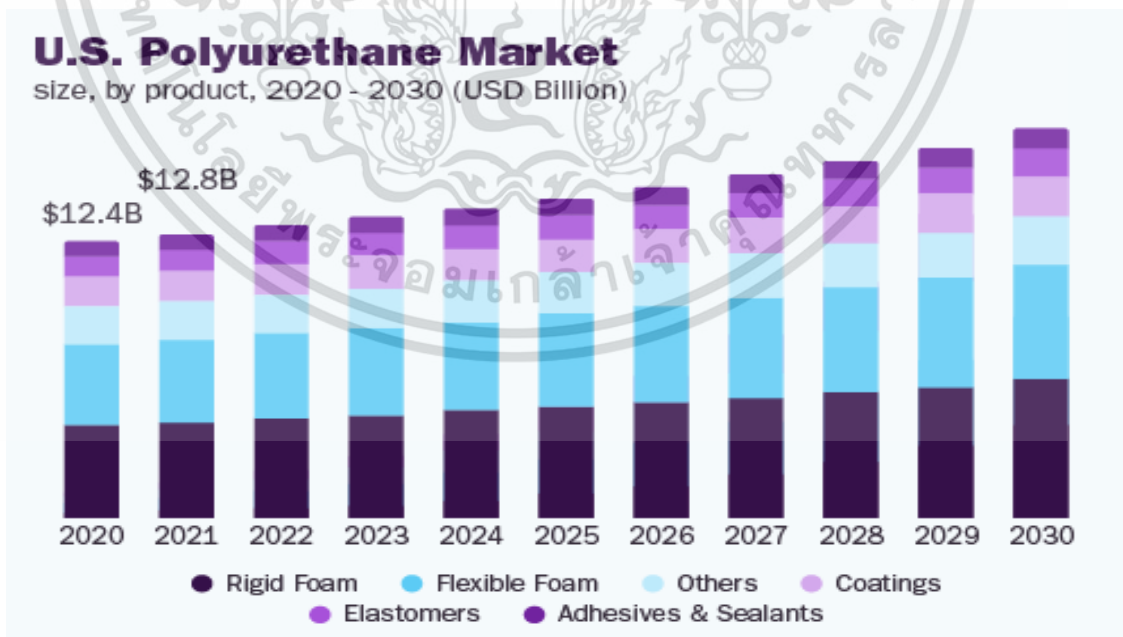
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

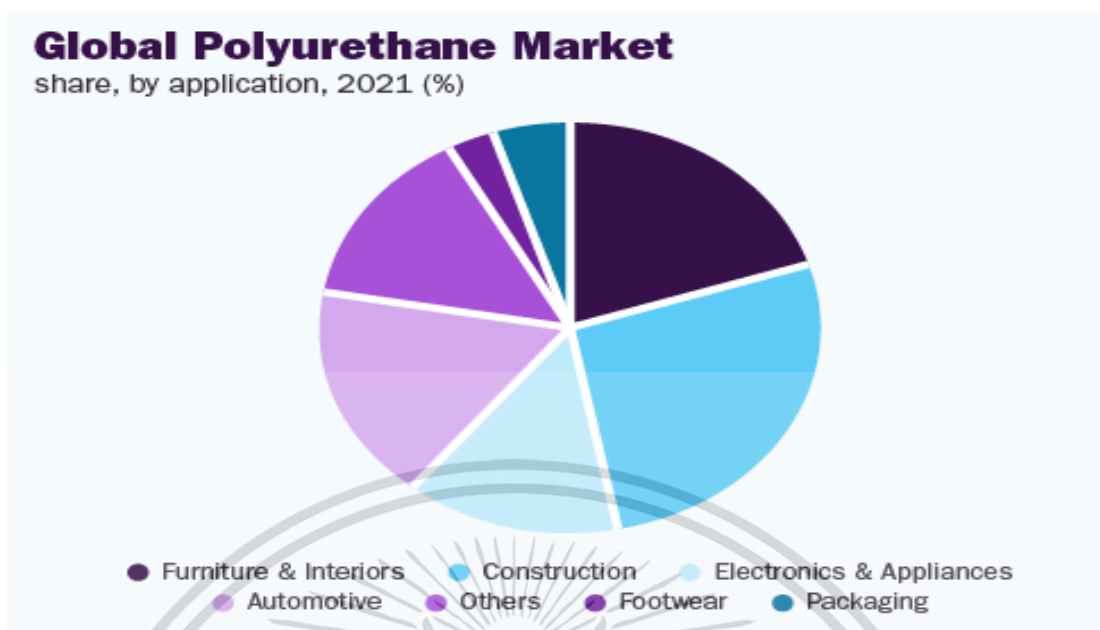
## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พอลิยูรีเทน (Polyurethane) มักเรียกโดยย่อว่า PUR และ PU เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากันของมอนอเมอร์หลัก 2 ชนิด คือ พอลิโออล (Polyol) และไอโซไซยาเนต (Isocyanate) ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนหมู่แอลคิล (R หรือ R') ที่อยู่ในโครงสร้างได้ทำให้พอลิยูรีเทนมีโครงสร้างที่หลากหลายสามารถเตรียมให้มีลักษณะตั้งแต่แข็งคล้ายพลาสติกแข็งจนกระทั่งมีความนิ่มคล้ายยาง ดังนั้นพอลิยูรีเทนจึงสามารถเป็นได้ทั้งโฟม อีลาสโตเมอร์ พลาสติกแข็ง กาว เส้นใย และสารเคลือบ นอกจากนี้พอลิยูรีเทนยังมีสมบัติเด่นในหลากหลายด้าน เช่น มีสมบัติเชิงกลที่ดี ต้านทานต่อสารเคมี และมีความยืดหยุ่น ทำให้ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์จากพอลิยูรีเทนมากมายในหลากหลายอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นเฟอร์นิเจอร์ การก่อสร้าง อิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมยานยนต์ บรรจุภัณฑ์ และรองเท้า เป็นต้น ตลาดพอลิยูรีเทนทั่วโลกคาดว่าจะสูงถึง 105.45 พันล้านเหรียญสหรัฐภายในปี ค.ศ. 2030 และคาดว่าจะมีอัตราการเติบโตต่อปีที่ 4.3% ในช่วงปี ค.ศ. 2022-2030 [1] โดยได้รับแรงสนับสนุนจากความต้องการที่เพิ่มขึ้นในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ต้องการลดน้ำหนักรถยนต์โดยรวม เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อยคาร์บอน พอลิยูรีเทนจึงถูกนำมาใช้ในชิ้นส่วนของรถยนต์มากมาย เช่น แผงหน้าปัด เบาะนั่ง ที่พนักแขน พนักพิงศีรษะ พวงมาลัย และที่กรองอากาศ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 1.1** การเติบโตของตลาดพอลิยูรีเทนในสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2022-2030 [2] การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 ตลาดพอลิยูรีเทนทั่วโลกที่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ [2]

ในกระบวนการขึ้นรูปพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น Compression molding, Polyurethane casting, RIM (Reaction Injection Molding) เป็นต้น จำเป็นต้องใช้น้ำยาสารถอดแบบ (Mold release agent) โดยเคลือบสารถอดแบบไว้ล่วงหน้าทีแม่แบบก่อนการฉีดขึ้นรูปเพื่อช่วยในการปลดชิ้นงานออกจากแม่แบบ ทำให้การปลดชิ้นงานออกจากแม่แบบทำได้ง่ายขึ้น ถ้าไม่มีการเคลือบน้ำยาสารถอดแบบลงบนแม่แบบ จะทำให้ชิ้นงานเกิดการติดกับแม่แบบ ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตลดลง และเกิดเป็นของเสียเกิดขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณขยะและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย น้ำยาสารถอดแบบโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

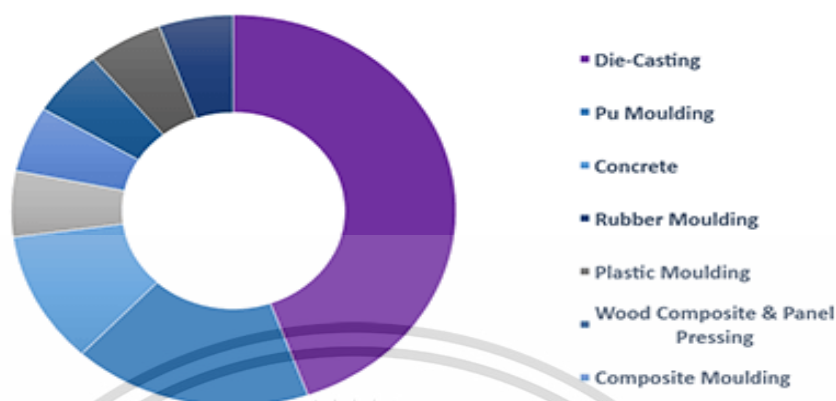
1. น้ำยาสารถอดแบบสูตรตัวทำละลาย (Solvent based) ซึ่งทำให้เกิดการระเหยของตัวทำละลายและเป็นอันตรายต่อมนุษย์
2. น้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำ (Water based) ซึ่งจะเป็นมิตรต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อมมากกว่าแบบสูตรตัวทำละลาย และสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย

จากการคาดการณ์ทางการตลาด พบว่าในปี ค.ศ. 2022 ตลาดของสารถอดแบบที่จำหน่ายทั่วโลกมีมูลค่ามากถึง 2.0 พันล้านเหรียญสหรัฐ และคาดการณ์ว่ามูลค่าทางการตลาดจะเติบโตขึ้นเป็น 2.6 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี ค.ศ. 2027 ที่อัตราการเติบโตต่อปี 5.7% [3] และเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็ว ความต้องการของที่อยู่อาศัย อาคารพาณิชย์ เฟอร์นิเจอร์ และรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้องการน้ำยาสารถอดแบบในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น พอลิยูรีเทน ยาง พลาสติก คอมโพสิต คอนกรีต และอื่นๆ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Global Mould Release Agents Market

Market Share by Application (%)



รูปที่ 1.3 ตลาดน้ำยาสารถอดแบบทั่วโลกที่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ [4]

เนื่องจากน้ำยาสารถอดแบบส่วนใหญ่ที่จัดจำหน่ายในท้องตลาดมีราคาที่สูง ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย และน้ำยาสารถอดแบบที่ผลิตโดยบางบริษัทยังส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาสูตรน้ำยาสารถอดแบบสำหรับอุตสาหกรรมโฟมพอลิยูรีเทน โดยการร่วมมือกันระหว่าง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) กับบริษัท แอ็คมี อินเทอร์เน็ตเนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด ที่จะผลิตน้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำจากสารจำพวกแวกซ์ และมีการเติมสารเติมแต่งอื่นๆลงไป ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว อิมัลซิไฟเออร์ และอื่นๆ จากนั้นนำไปทดสอบกับพอลิยูรีเทนที่เตรียมไว้ และนำสารถอดแบบและพอลิยูรีเทนไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ โดยผู้วิจัยคาดว่าสูตรน้ำยาสารถอดแบบที่พัฒนาขึ้นนั้นจะสามารถปลดชิ้นงานออกจากแม่แบบได้ง่าย ลดข้อบกพร่องบนพื้นผิวของชิ้นงาน ไม่เปลี่ยนสีของชิ้นงาน ไม่ทำให้ชิ้นงานเป็นคราบขาว ชิ้นงานที่ได้มีความเป็นมันวาว ช่วยลดระยะเวลาการทำงาน ลดต้นทุนการผลิต มีความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสามารถนำมาประยุกต์ใช้หรือต่อยอดกับอุตสาหกรรมอื่นๆได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำ (Water based mold release agent) จากสารจำพวกแวกซ์ สำหรับการฉีดขึ้นรูปพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิค RIM ที่มีประสิทธิภาพที่ดี และศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อน้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำจากสารจำพวกแวกซ์ ได้แก่ ชนิดของแวกซ์ ปริมาณตัวทำละลายร่วม ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว อัตราส่วนของน้ำยาสารถอดแบบต่อน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ศึกษาแนวเปรียบเทียบ (Comparative study) ประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบที่ได้กับน้ำยาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์ เพื่อนำน้ำยาสารถอดแบบที่ได้มาใช้ทดแทนน้ำยาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลเชิงพาณิชย์ เช่น สิทธิบัตร ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตน้ำยาสารถอดแบบ
- 2) เตรียมน้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำ (Water based) จากสารจำพวกแวกซ์
- 3) ทดสอบและวิเคราะห์สมบัติต่างๆของน้ำยาสารถอดแบบ ได้แก่
  - ค่ากรด-เบส (pH Meter)
  - ค่า % solid (Total solid content)
  - ความคงตัวของสาร (Stability)
  - ความหนืด (Viscosity)
- 4) ทดสอบกับพอลิยูรีเทนและศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิยูรีเทน ได้แก่
  - ความยาก-ง่ายในการดึงออกจากแม่แบบ
  - ข้อบกพร่อง (Defects) ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว
  - การทดสอบสัณฐานวิทยา (Morphology)
  - การวัดเฉดสีและความเข้มสี (Color measurement)
- 5) ทดลองปรับปรุงสูตร เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่
  - ชนิดของแวกซ์
  - ปริมาณตัวทำละลายร่วม (Co-solvent)
  - ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant)
  - อัตราส่วนของน้ำยาสารถอดแบบต่อน้ำ
- 6) ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสารถอดแบบที่ได้กับน้ำยาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์
- 7) เลือกน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุด และนำไปใช้งานจริง
- 8) วิเคราะห์ต้นทุนและความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถพัฒนาน้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำจากสารจำพวกแวกซ์ สำหรับการฉีดขึ้นรูปพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิค RIM ที่มีประสิทธิภาพที่ดี และให้มีสมบัติใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับน้ำยาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์ได้
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) นํ้ายาสารถอดแบบที่พัฒนาขึ้นมีราคาและต้นทุนที่ถูกกว่าเมื่อเทียบกับนํ้ายาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์และสามารถนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมภายในประเทศ และส่งออกไปยังต่างประเทศได้
- 3) นํ้ายาสารถอดแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยลดระยะเวลาการทำงาน เป็นมิตรกับผู้ใช้งาน และสิ่งแวดล้อม และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆได้
- 4) สามารถใช้ความรู้ที่ได้ในการพัฒนาสูตรนํ้ายาสารถอดแบบชนิดอื่นๆและการพัฒนาสูตรเพื่อปรับปรุงสมบัติในอนาคตได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

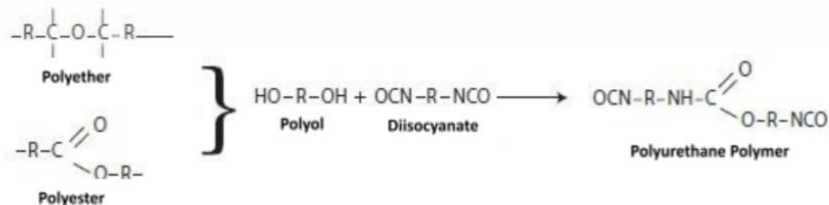
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 พอลิยูรีเทน (Polyurethane)

พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติหลากหลาย เป็นได้ทั้งเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซต (Thermoset) มีสมบัติเชิงกลดี ความแข็งแรงสูง จัดเป็นพลาสติกวิศวกรรม (Engineering plastics) ทนทานต่อรอยขีดข่วน ทนทานต่อสารเคมี สามารถขึ้นรูปได้ง่าย สมบัติของพอลิยูรีเทนจะขึ้นกับชนิด สูตร และอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ สำหรับวัสดุที่พอลิยูรีเทนเป็นส่วนประกอบนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะโดดเด่นของคุณสมบัติ อันได้แก่ ความเหนียว ความแข็งแรงและความหนาแน่น ตัวอย่างเช่น โฟมอ่อนความหนาแน่นต่ำ มักจะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเตียง โฟมแข็งความหนาแน่นต่ำ มักจะนำมาใช้ทำเป็นฉนวนสำหรับรถยนต์ อีลาสโตเมอร์อ่อน มักจะนำมาใช้ในพวกแผ่นยางเป็นหลัก พลาสติกแข็ง มักจะนำมาใช้ในการทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ ยังสามารถนำมาใช้ในการเคลือบสีเฟอร์นิเจอร์ไม้ได้อีกด้วย เพราะสามารถทนต่อสารเคมีและการขีดขุดได้ดี จึงช่วยปกป้องไม้ให้เฟอร์นิเจอร์ไม้เป็นรอยได้อย่างง่ายดายและยังคงความสวยงามตลอดการใช้งาน ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์หลายกลุ่มที่สร้างขึ้นมาจากพอลิยูรีเทน เช่น เฟอร์นิเจอร์ ที่นอน เบาะรองนั่ง เก้าอี้นวม และอุปกรณ์ในรถยนต์ เช่น เบาะนั่งรถยนต์ ที่พนักพิง พนักพิงศีรษะ พวงมาลัย แผงควบคุม และที่กรองอากาศในรถยนต์ เป็นต้น [5]

#### 2.1.1 การสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

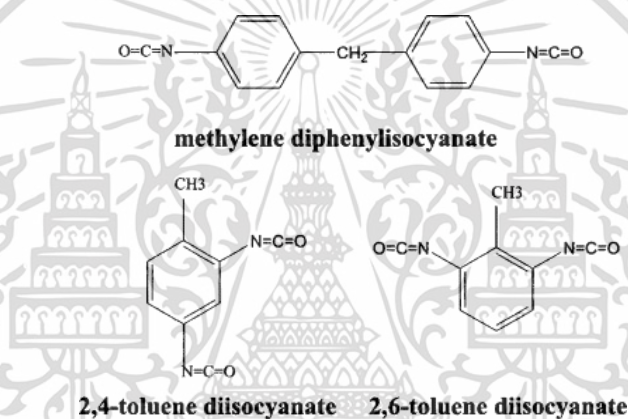
พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถสังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง หมู่ไอโซไซยาเนต (-NCO) ของไดไอโซไซยาเนต, ไตรไอโซไซยาเนต หรือพอลิไอโซไซยาเนตกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของไดออล ไตรออล หรือพอลิออล โดยผ่านปฏิกิริยาการเติมแบบขั้น (Step-addition) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาจะมีพันธะยูรีเทน (RNHCOOR') อยู่ภายในสายโซ่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน [7] ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 ไอโซไซยาเนต (Isocyanate)

คือสารประกอบอินทรีย์ประเภทอะโรมาติก (Aromatic) หรืออะลิฟาติก (Aliphatic) ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต (-NCO) อยู่ในโครงสร้าง สารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต 1 หมู่ เรียกว่า ไอโซไซยาเนต และสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต 2 หมู่ เรียกว่า ไดไอโซไซยาเนต (Diisocyanate) เป็นได้ทั้งสารอะโรมาติก เช่น เมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (MDI), โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต (TDI) หรือสารที่มีสายโซ่ตรง เช่น ไอโซฟอรอนไดไอโซไซยาเนต (IPDI), เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (HMDI) ส่วนใหญ่นิยมนำสารประกอบไอโซไซยาเนตมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตโฟมพอลิยูรีเทน ใช้ทำสีพอลิยูรีเทนสำหรับงานเคลือบภายนอก และใช้เป็นสารปรับสภาพกลุ่มพอลิยูรีเทนในยางสังเคราะห์ สำหรับสารประกอบไอโซไซยาเนตที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 2 หมู่จะนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตพอลิยูรีเทนเป็นส่วนใหญ่ [6]

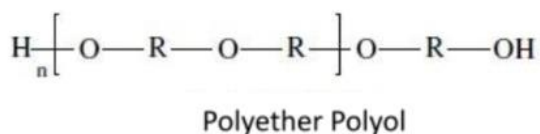


รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของ MDI และ TDI [8]

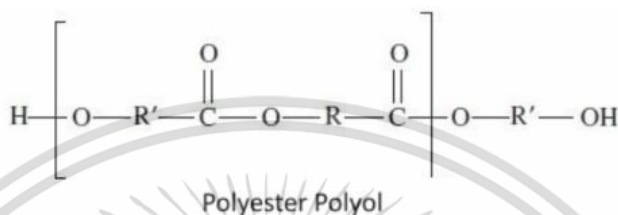
### 2.1.3 พอลิออล (Polyol)

เป็นสารประกอบพอลิเมอริกไฮดรอกซิลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อย่างน้อยสองหมู่ขึ้นไปและมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 2000-10000 กรัมต่อโมล พอลิออลที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน มี 2 ชนิด ได้แก่ พอลิอีเทอร์ พอลิออล (Polyether polyol) และพอลิเอสเทอร์ พอลิออล (Polyester-polyol) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมีทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.3 และ 2.4 สมบัติของพอลิยูรีเทนขึ้นอยู่กับชนิด, โครงสร้างทางเคมี, น้ำหนักโมเลกุล และค่าไฮดรอกซิลของพอลิออล นอกจากนี้ โครงสร้างทางเคมีของพอลิออลยังส่งผลโดยตรงต่อความยืดหยุ่นของพอลิยูรีเทน [6] ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของพอลิออลที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนแสดงดังรูปที่ 2.3 และ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของพอลิอีเทอร์ พอลิออล [9]



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของพอลิเอสเทอร์ พอลิออล [10]

#### 2.1.4 การเกิดปฏิกิริยาของไอโซไซยานต

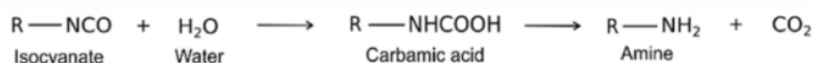
หมู่ฟังก์ชันไอโซไซยานตมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูงมาก เนื่องจากมีพันธะคู่ถึง 2 พันธะ โดยโครงสร้างของไอโซไซยานตสามารถเขียนได้หลายแบบ แม้ว่าจะเป็นไอโซไซยานตเหมือนกัน แต่ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชันนั้นอาจมีค่าเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ซึ่งเป็นผลมาจากความเกะกะของโครงสร้าง เช่น 2,4-โทลูอินไดไอโซไซยานตหมู่ไอโซไซยานตอยู่ในตำแหน่ง para มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหมู่ไอโซไซยานตในตำแหน่ง ortho

ปฏิกิริยาที่สำคัญของไอโซไซยานตกับสารต่าง ๆ มีดังนี้ [6]

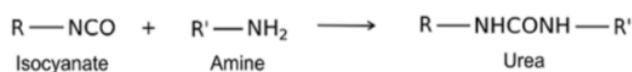
- 1) ไอโซไซยานตทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เกิดเป็นยูรีเทน



- 2) ไอโซไซยานตทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และเอมีน

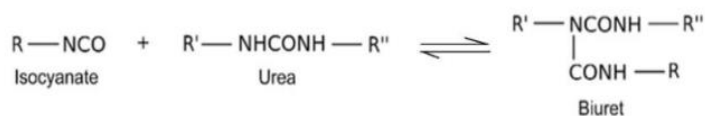


- 3) ไอโซไซยานตทำปฏิกิริยากับเอมีนหรือเอไมด์ เกิดเป็นยูเรีย

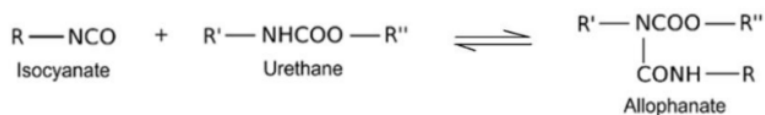


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

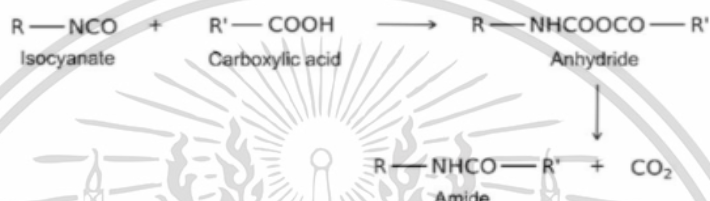
4) ไอโซไซยาเนตทำปฏิกิริยากับยูเรีย เกิดเป็นไบยูเรต (Biuret)



5) ไอโซไซยาเนตทำปฏิกิริยากับยูรีเทน เกิดเป็นอัลโลฟาเนต (Allophanate)



6) ไอโซไซยาเนตทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอกซิลิก เกิดเป็นเอไมด์ (Amide)



7) ไอโซไซยาเนตทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนต เกิดเป็นไดเมอร์ หรือ ไตรเมอร์



### 2.1.5 สมบัติของพอลิยูรีเทน [11]

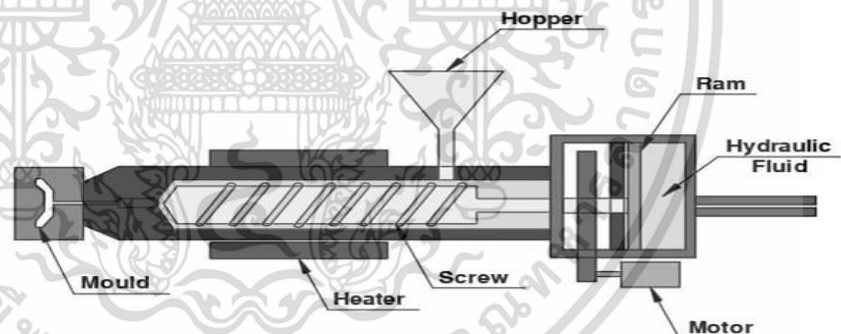
- เป็นฉนวนความร้อนได้ดี สามารถกันเสียงและการร้าวซึมได้อย่างดีเยี่ยม
- มีคุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าฉนวนประเภทอื่นๆ

- มีความคงทนต่อแรงอัดและแรงดึง จึงสามารถนำมาใช้งานได้อย่างคุ้มค่า  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อมน้ำและไม่ซึมน้ำ ทั้งสามารถดูดซับความชื้นได้ดี สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีความคงตัวสูงจึงเปลี่ยนรูปจากเดิมได้ยาก
- ป้องกันความร้อนจากผนังบ้านและหลังคาบ้านได้มากถึง 90% จึงเหมาะกับการนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนเป็นอย่างมาก
- เมื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนกับบ้านจะทำให้บ้านเย็นลง ช่วยประหยัดพลังงานและคลายร้อนได้ไปในตัว
- ต้นทุนต่ำเนื่องจากความหนาแน่นน้อย ช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้เป็นอย่างมาก

#### 2.1.6 เทคนิคการขึ้นรูปพอลิยูรีเทน [29]

- การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) เป็นกระบวนการดั้งเดิมในการสร้างแม่แบบพอลิยูรีเทน ใช้ได้กับทั้งเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน เครื่องอัดรีดแบบสกรูจะฉีดพอลิยูรีเทนที่หลอมเหลวเข้าไปในแม่แบบ และจะใช้ความดันสูงเพื่อบังคับให้พอลิยูรีเทนเข้าไปในช่องว่าง (Cavities) ของแม่แบบ หลังจากนั้นพอลิยูรีเทนที่ขึ้นรูปจะถูกทำให้เย็นและได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายออกมาซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งของแข็ง กึ่งของแข็ง และเซลล์ลาร์

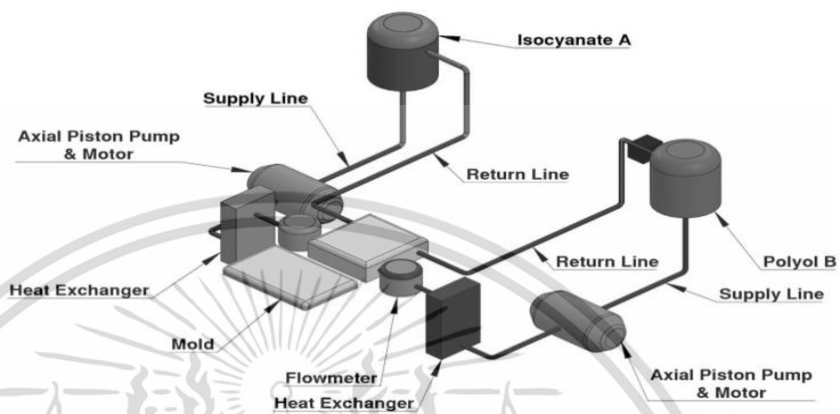


รูปที่ 2.5 การฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)

- การฉีดขึ้นรูปแบบทำปฏิกิริยา (Reaction Injection Molding) กระบวนการนี้คล้ายคลึงกับการฉีดขึ้นรูป ความแตกต่างที่สำคัญคือรูปแบบของวัตถุดิบ การฉีดขึ้นรูปด้วยปฏิกิริยา พอลิเมอร์ที่ใช้ในตอนแรก (Prepolymer) ต้องอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งจะแยกออกจากกันและบรรจุอยู่ในถังแต่ละถัง จากนั้นส่วนประกอบต่างๆจะถูกบีบเข้าไปในหัวผสมเพื่อผสมเข้าด้วยกันและถูกฉีดขึ้นไปแม่แบบเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ทำการขึ้นรูปขึ้นงาน กระบวนการนี้ช่วยลดความร้อนและการหลอมละลายของวัสดุที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง ส่วนผสมพอลิยูรีเทนก่อนที่จะฉีดเข้าไปในแม่แบบเนื่องจากการผสมวัตถุดิบ

ทันทีก่อนการขึ้นรูป ส่วนประกอบของเหลวที่ใช้มีความหนืดต่ำ ทำให้ฉีดขึ้นรูปได้ง่ายซึ่งช่วยลดต้นทุนของเครื่องมือโดยสามารถใช้แม่แบบที่แข็งแรงน้อยและมีราคาที่ถูกลง กระบวนการนี้เหมาะสำหรับพอลิยูรีเทนแบบเทอร์โมเซต

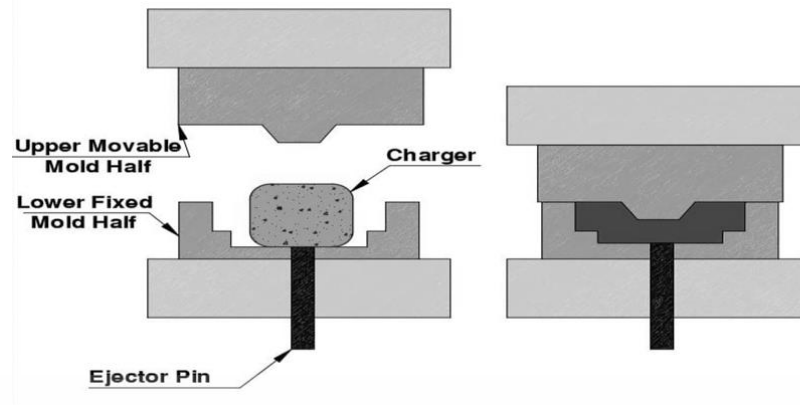


รูปที่ 2.6 การฉีดขึ้นรูปแบบทำปฏิกิริยา (Reaction Injection Molding)

รูปแบบของการฉีดขึ้นรูปด้วยปฏิกิริยามีอยู่หลายรูปแบบ เช่น การฉีดขึ้นรูปแบบทำปฏิกิริยาแบบเสริมแรง (RRIM) และการฉีดขึ้นรูปแบบทำปฏิกิริยาและโครงสร้าง (SRIM) ทั้งสองกระบวนการใช้วัสดุเสริมแรงเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับการขึ้นรูปพอลิยูรีเทน RRIM ใช้สารเสริมแรง เช่น ไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) และคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon fiber) SRIM ใช้ตาข่ายไฟเบอร์ (Fiber meshes)

- การอัดขึ้นรูป (Compression Molding) การอัดขึ้นรูปเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พอลิยูรีเทนแบบเทอร์โมเซตขนาดใหญ่ กระบวนการนี้ใช้แม่แบบที่ประกอบด้วยครึ่งบนและล่าง ส่วนล่างรับมวลพอลิยูรีเทนผสม จากนั้นทั้งสองส่วนของแม่แบบจะถูกบีบอัดเข้าหากันเพื่อให้พอลิเมอร์ไหลไปตามรูปร่างของแม่แบบ แก๊สที่ถูกแทนที่ จะถูกระบายออกจากแม่แบบเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากการขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์จะถูกอบ ทำให้เย็นและนำออกจากแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

## 2.2 นํ้ายาสารถอดแบบ (Mold release agents)

คือ สารที่ทำหน้าที่เป็นกำแพงกั้นระหว่างแม่แบบและผลิตภัณฑ์โดยจะป้องกันพลาสติก ยาง อีลาสโตเมอร์ และอื่นๆไม่ให้ติดกับแม่แบบ ใช้ปลดชิ้นงานออกจากแม่แบบ โดยพ่นลงบนหน้าแม่แบบ ก่อนการขึ้นรูป เพื่อให้การปลดชิ้นงานทำได้ง่ายขึ้น ไม่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย เช่น Polyurethane (PU) สำหรับเบาะรถยนต์, เบาะรถจักรยานยนต์, เบาะเฟอร์นิเจอร์, พื้นรองเท้า Rubber หรือ EVA rubber สำหรับพื้นรองเท้า เป็นต้น สารถอดแบบจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติและคุณภาพพื้นผิวของชิ้นงาน ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปจะเกิดแรงเสียดทานขึ้น 2 รูปแบบซึ่งส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพของสารถอดแบบ

1. แรงเสียดทานภายใน เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของพอลิเมอร์ได้รับความร้อน
2. แรงเสียดทานภายนอก เกิดระหว่างพอลิเมอร์และพื้นผิวของแม่แบบ

การใช้สารหล่อลื่น (Lubricant) มาเป็นสารเติมแต่งสามารถช่วยลดแรงเสียดทานได้ สารถอดแบบที่มี สารหล่อลื่น จะทำให้เกิดความเรียบเนียน ชั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นบนแม่แบบจะทำให้ชิ้นงานไม่ติดบนพื้นผิว และง่ายต่อการปลดชิ้นงานออกจากแม่แบบ [12]

โดยทั่วไปประกอบด้วยตัวทำละลายที่เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ และสารเติมแต่งอื่นๆที่มีประสิทธิภาพในการช่วยปลดชิ้นงานกระจายตัวอยู่ในนั้น เช่น แก๊วซ์ ซิลิโคน พลาสติกไฮเซอร์ สเตบิลิเซอร์ เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์นั้นจะมีการปล่อยสารอินทรีย์ที่สำคัญในระหว่างการใช้งานซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม จึงเปลี่ยนตัวทำละลายจากตัวทำละลายอินทรีย์มาเป็นตัวทำละลายที่เป็นน้ำ แต่เนื่องจากการใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย น้ำสามารถเกิดปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตส่งผลให้เกิดการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นมา ซึ่งนำไปสู่ข้อบกพร่องทางพื้นผิวของชิ้นงานไม่ว่าจะเป็นการเกิดฟองอากาศ ตุ่มพอง ช่องว่าง และการยุบตัวของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 ประเภทของน้ำยาสารถอดแบบ จำแนกตามชนิดของตัวทำละลายได้ดังนี้ [30]

#### - Water-based mold release

น้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำ ตัวทำละลายคือน้ำ ข้อดี ของน้ำยาถอดแบบสูตรน้ำ คือ สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เช่น การฉีดขึ้นรูปยาง ข้อเสีย คือ หากลักษณะของงานมีความซับซ้อนของรูปทรงมาก จะต้องใช้ปริมาณความเข้มข้นของ %solid content มากกว่าประเภทน้ำยาถอดแบบสูตรตัวทำละลาย

#### - Solvent-based mold release

น้ำยาสารถอดแบบสูตรตัวทำละลาย ตัวทำละลายส่วนใหญ่จะใช้เป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ประสิทธิภาพการถอดแบบจะดีกว่าน้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำ ข้อดี คือ แห้งไว สามารถลดเวลาในการผลิตได้ เนื่องจากไม่ต้องรอเวลานานให้น้ำยาสารถอดแบบแห้ง ผิวชิ้นงานเรียบเนียนสวย ข้อเสีย คือ ตัวทำละลายบางประเภทมีจุดวาบไฟที่ต่ำ มีโอกาสเกิดอัคคีภัยได้หากใช้งานอย่างไม่ระมัดระวัง จึงต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดประกายไฟระหว่างการใช้งาน และควบคุมการจัดเก็บให้ห่างจากประกายไฟ

### 2.2.2 ประเภทของน้ำยาสารถอดแบบ จำแนกตามความทนทาน [13]

#### - Conventional Release Agents

สามารถเป็นได้ทั้งแบบน้ำ (Water-based) หรือแบบตัวทำละลาย (Solvent-based) เหมาะสมสำหรับชิ้นส่วนแม่แบบรูปทรงเรขาคณิตที่มีความซับซ้อนมาก การสะสมตัวในแม่แบบหรือคราบสกปรกในแม่แบบต่ำมาก

#### - Permanent Release Agents

เป็นน้ำยาสารถอดแบบถาวร มักเคลือบถาวรตอนเริ่มต้นหรือตอนทำแม่แบบ มีราคาที่สูง เช่น ยางซิลิโคน ฟลูออโรซิลิโคน เทฟลอน ฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น

#### - Semi-Permanent Release Agents

มีการนำไปใช้งานมากกว่าแบบ Conventional Release Agent จำนวนรอบการขึ้นรูปที่มากขึ้นต่อกะการทำงาน ใช้ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยต่อการใช้งาน ช่วยให้สภาพแวดล้อมการทำงานสะอาดขึ้นและต้องการพื้นที่จัดเก็บน้อยลง รองรับการผลิตชิ้นส่วนหรือแม่แบบที่มีความซับซ้อน ชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปแล้วจะคงความสวยงามไว้ได้อย่างสม่ำเสมอ

#### - Silicone-Free Release Agents

เป็นสูตรที่ปราศจากน้ำมันซิลิโคน ทำให้การปลดปล่อยในกระบวนการทาสีหรือการเคลือบทำได้ง่ายขึ้น ลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนซิลิโคน ลดค่าใช้จ่ายและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าเอกสารฉบับนี้มีความสำคัญ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในขั้นตอนกระบวนการการผลิตชิ้นส่วนหลายๆชิ้น ทำให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น และลดต้นทุนการดำเนินงาน

### 2.2.3 สมบัติของน้ำยาสารถอดแบบที่ดี [31]

- สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวของแม่แบบได้ดี และมีความทนทาน ไม่หลุดลอกง่าย
- สามารถสร้างชั้นฟิล์มบางๆเคลือบอยู่ที่ผิวของแม่แบบได้
- ไม่เกิดการสะสมมากจนเกินไปที่ผิวของแม่แบบ
- สร้างชั้นพื้นผิวที่ลื่นเพียงพอ สามารถป้องกันชิ้นงานติดกับแม่แบบ สามารถปลดชิ้นงานออกจากแม่แบบได้โดยง่ายโดยที่ชิ้นงานไม่เสียหาย
- สามารถขึ้นงานได้หลายครั้งต่อการพ่นน้ำยาสารถอดแบบหนึ่งครั้ง
- ทำความสะอาดออกได้โดยง่าย

### 2.2.4 การแห้งของน้ำยาสารถอดแบบ

- การแห้งทางเคมี (Chemical drying) เกิดจากการระเหยของตัวทำละลายหรือน้ำออกไป และเกิดเป็นฟิล์มของแข็งเกิดขึ้น
- การแห้งทางกายภาพ (Physical drying) เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของสารเคมี เช่น โมโนเมอร์, สารเชื่อมโยง และเกิดเป็นโครงสร้างของแข็ง เช่น โครงสร้างตาข่ายสามมิติของเทอร์โมเซต (Thermoset) หรือเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นพอลิเมอร์

## 2.3 องค์ประกอบในน้ำยาสารถอดแบบ

องค์ประกอบของสารเคมีในน้ำยาสารถอดแบบขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาสารถอดแบบ ความทนทาน ต้นทุนการผลิต และประสิทธิภาพการถอดแบบ รวมทั้งขึ้นกับบริษัทผู้ผลิต ส่วนใหญ่ องค์ประกอบในน้ำยาสารถอดแบบมีดังนี้

### 2.3.1 แวกซ์ (Wax)

คือสารในกลุ่มไขมัน (Lipid) ส่วนประกอบทางเคมีของไข (Wax) จะแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปจะประกอบด้วย เอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งจะมีจำนวน

คาร์บอนอยู่ภายในโมเลกุลตั้งแต่ 16 อะตอมขึ้นไป  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การจำแนกชนิดของแว็กซ์ตามแหล่งกำเนิด

แว็กซ์ธรรมชาติ (Natural waxes) แบ่งออกเป็น

แว็กซ์จากสัตว์ ได้แก่ เซลแล็ค ไคโตซาน ขี้ผึ้ง

- **เซลแล็ค (Shellac)** เป็นสารที่สกัดได้จากมูลหรือสารคัดหลั่งของครั้ง มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีม่วงแดง เป็นของแข็งไม่มีพิษ กั้นน้ำได้ นิยมนำมาทาแผ่นเสียง ทำเครื่องประดับตา [14]
- **ไคโตซาน (Chitosan)** เป็นสารที่สกัดได้จากกระดองปู กระดองปลาหมึก และเปลือกกุ้ง ซึ่งสามารถลดการสูญเสียน้ำและชะลอการสุกของผลไม้ได้ นอกจากนี้ยังพบว่า การจุ่มไคโตซานสามารถกระตุ้นทำให้ผลไม้มีความต้านทานต่อการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวได้
- **ขี้ผึ้ง (Beeswax)** เป็นสารธรรมชาติที่ได้จากรังผึ้ง ไม่มีพิษต่อผู้บริโภค ส่วนใหญ่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ได้มีการนำเอาขี้ผึ้งมาเป็นส่วนประกอบของสารเคลือบผิวผลไม้พบว่าสามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำได้ดี แต่มีความมันวาวน้อยกว่าสารเคลือบผิวที่ทำจาก เซลแล็ค และปิโตรเลียมแว็กซ์

แว็กซ์จากพืช ได้แก่ สารที่ได้จากไขของพืช เช่น คาร์นูบาร์ (Carnauba wax), ยางไม้ (Resin)

- **คาร์นูบาร์ (Carnauba wax)** คือ ขี้ผึ้งที่ได้มาจากตา และใบของต้นปาล์มของบราซิล มีชื่อว่า *Copernicia cerifera* โดย Carnauba wax จะสร้างสารเคลือบเพื่อปกป้องหรือเพื่อให้พื้นผิวเป็นมันเงา มีจุดหลอมเหลว 70-80 องศาเซลเซียส มีความแข็งเป็นพิเศษ จึงเหมาะสำหรับช่วยเพิ่มความเสถียรให้แก่ลิปสติก สามารถช่วยป้องกันไม่ให้ลิปสติกเหลวหรืออ่อนตัว หรือใช้ในการเคลือบผิวสินค้าให้เกิดความเงางามและไม่ละลายในอุณหภูมิปกติ [15]

**แว็กซ์กึ่งสังเคราะห์ (Semi-synthetic waxes) แบ่งออกเป็น**

- **พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax)** เป็นแว็กซ์ที่ได้มาจากกากส่วนที่เหลือ (by product) ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude oil) โดยกระบวนการกลั่นแบบลำดับส่วน ไขหรือกากแว็กซ์ที่ได้จากการกลั่นนี้ เรียกว่า สแลคแว็กซ์ (Slack wax) ซึ่งยังมีปริมาณน้ำมันในแว็กซ์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

purification) เพื่อให้ได้พาราฟินแว็กซ์ที่มีปริมาณน้ำมันในแว็กซ์ (Oil-content) ตามค่ามาตรฐาน จุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 48-68 องศาเซลเซียส สามารถนำมาทำเทียนไข เคลือบกระดาษ เคลือบเสื้อผ้า หรือเป็นส่วนผสมของยาหม่อง เป็นต้น [16]

- **ไมโครคริสตัลลิน แวกซ์ (Microcrystalline wax)** มีสัดส่วนของไอโซพาราฟินและแนพทานิกที่สูง มีจุดหลอมเหลวประมาณ 76-84 องศาเซลเซียส เป็นสารกึ่งฟิล์มที่สามารถพบได้ในเครื่องสำอาง หมากฝรั่ง และยาหยอดตา ช่วยเคลือบป้องกันหรือทำให้พื้นผิวเป็นเงางาม นอกจากนี้ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ ยังใช้เป็นสารยึดเหนี่ยวที่ยึดเหนี่ยวส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เข้าไว้ด้วยกัน

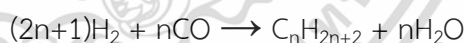
#### แว็กซ์สังเคราะห์ (Synthetic waxes)

- **พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax , PE Wax)**

คือ พอลิเอทิลีนโฮโมพอลิเมอร์ แวกซ์ มีคุณสมบัติคล้ายขี้ผึ้ง แต่มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีจุดหลอมเหลว 81-86 องศาเซลเซียส เป็นแว็กซ์ประเภทโมเลกุลต่ำ ได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ช่วยทำให้พื้นผิววัตถุมีความเงางามและทนต่อรอยขีดข่วน [17]

- **Fischer-Tropsch wax**

เป็นผลพลอยได้จากการผลิตเชื้อเพลิงเหลวและผลิตภัณฑ์อื่นๆ จากถ่านหินและก๊าซธรรมชาติโดยกระบวนการ Fischer-Tropsch process สังเคราะห์จากคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ดังสมการด้านล่าง



แว็กซ์ประเภทนี้จะมีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีกิ่งเป็นหลักและมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ซึ่งทำให้มีความหนืดต่ำ นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรงมากและทนทานต่ออุณหภูมิสูงเมื่อเทียบกับแว็กซ์ชนิดอื่นๆ [18]

### 2.3.2 ตัวทำละลาย (Solvent)

ใช้เพื่อเจือจางตัวยึดให้มีความหนืดลดลง ง่ายต่อการใช้งานรวมถึงใช้เพื่อช่วยกระจายสี และส่วนประกอบต่างๆให้เข้ากันดี การเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตสารเคลือบผิว โดยตัวทำละลายต้องมีค่าพารามิเตอร์การละลาย (Solubility parameter) ใกล้เคียงกับ

ค่าพารามิเตอร์การละลายพอลิเมอร์ที่เป็นสารยึดจึงจะละลายพอลิเมอร์นั้นได้ สมบัติอื่นๆที่สำคัญในการเลือกตัวทำละลาย มีดังนี้ ความสามารถในการละลาย (Solvency) อัตราการระเหย

(Evaporation rate) จุดติดไฟที่เกิดขึ้นเอง (Spontaneous ignition temperature) จุดวาบไฟ (Flash point) เสถียรภาพทางเคมี (Chemical stability) สี กลิ่น สมบัติการกัดกร่อนและราคา

### 2.3.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ ซึ่งคำว่า Surfactant มาจากคำว่า Surface active agent มีสมบัติที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนหัวที่เป็น Hydrophilic (ชอบน้ำ) และส่วนหางที่เป็น Hydrophobic (ชอบน้ำมัน) สารลดแรงตึงผิวเป็นสารที่สร้างกลุ่มโมเลกุลที่ประกอบขึ้นเองเรียกว่า ไมเซลล์ (Micelles) ในสารละลาย (เฟสของน้ำหรือน้ำมัน) และดูดซับที่ส่วนต่อประสานระหว่างสารละลายและเฟสอื่นๆ (ก๊าซ/ของแข็ง) โดยทั่วไปโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วยสายโซ่ที่มีหมู่แอลคิลที่มีคาร์บอน 8-22 อะตอม เรียกว่า “Hydrophobic group” ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ และอีกด้านหนึ่งเรียกว่า “Hydrophilic group” ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ โครงสร้างประเภนี้ที่มีสองด้านตรงข้ามกันเรียกว่า “Amphiphilic structure” [19]

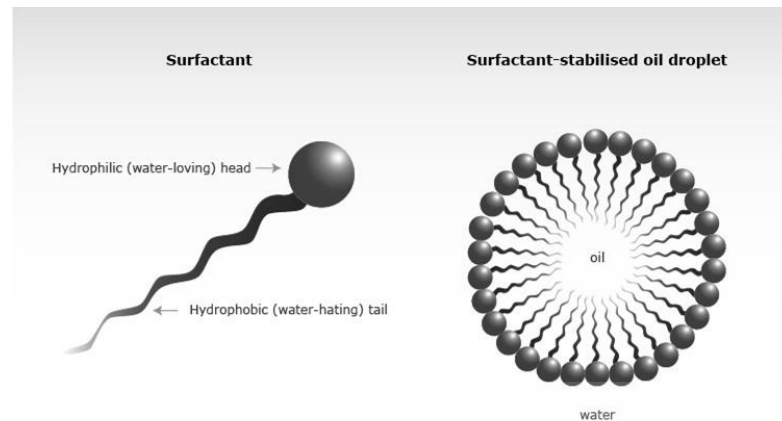


รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) [20]

#### การทำงานของ Surfactant

หลักการทำงานของ Surfactant คือ ส่วนหัวที่ชอบน้ำจะจับกับน้ำ ส่วนหางที่ชอบน้ำมันจะจับกับสิ่งสกปรกพวกไขมันที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปแขวนลอยอยู่ในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) [21]

ประเภทของสารลดแรงตึงผิว [22]

1. **Anionic surfactants** สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ เป็นสารกลุ่มหลักของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ช่วยชะล้างสิ่งสกปรกได้ดีมาก มีฟองมาก และละลายน้ำได้ดี แต่ค่อนข้างระคายเคืองผิว นิยมใช้กันมากใน สบู่ แชมพู ผลิตภัณฑ์ล้างหน้าต่างๆ น้ำยาล้างจาน น้ำยาล้างรถ โดยทั่วไปหมู่ Hydrophilic จะเป็นหมู่ซัลเฟต Sulfates ( $\text{OSO}_3^-$ ), ซัลโฟเนต Sulfonates ( $\text{SO}_3^-$ ) หรือ Carboxylates เช่น Sodium laureth sulfate (SLS), Sodium laureth sulfate (SLES), Sarcosinate, Sodium/ Ammonium lauryl ether sulfate, Sodium / Ammonium lauryl sulfate (ALS), Linear alkyl benzene sulfonate (LAS) เป็นต้น

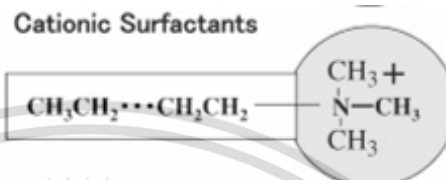
Anionic Surfactants



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของ Anionic surfactant

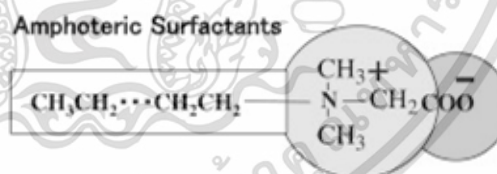
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **Cationic surfactants** สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก สารกลุ่มนี้ไม่มีความสามารถในการทำความสะอาด และไม่มีฟอง แต่สามารถเกาะและเคลือบเส้นผมได้ดี จึงนิยมใช้ในกลุ่มของ ครีมนวดผม หรือน้ำยาปรับผ้านุ่ม เช่น Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB), benzalkonium chloride, Polyquaternium, Alkyltrimethyl ammoniumchloride เป็นต้น



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของ Cationic surfactant

3. **Amphoteric surfactants** สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและลบ สารทำความสะอาดกลุ่มน้ำมีสมบัติทนต่อน้ำกระด้าง อ่อนโยนต่อผิว สามารถใช้ร่วมกับ SLS, SLES ได้ดี เมื่อใช้ร่วมกันสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อขึ้นขึ้นได้ ให้ฟองนุ่มมาก แต่ทำความสะอาดได้ไม่ดีเท่า Anionic surfactant จึงนิยมใช้ร่วมกัน สารในกลุ่มนี้เช่น Cocamidopropyl Betain เป็นต้น



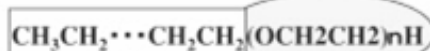
รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของ Amphoteric surfactant

4. **Nonionic surfactants** สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ไม่มีประจุ สารในกลุ่มนี้มีแตกต่างกันไป ตั้งแต่ละลายน้ำไม่ได้ จนละลายน้ำได้ดีมาก สารกลุ่มนี้อ่อนโยนต่อผิวแต่ไม่ให้อฟอง Hydrophilic group จะเป็น Polyoxyethylene เช่น Lauryl-Glucoside, PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides, เป็นต้น ซึ่งนิยมใช้ในเจลล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ให้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายประชาสัมพันธ์ โทร. 02-2537567 หรือ 02-2537568

ละลายของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างความสามารถในการดึงดูดน้ำของกลุ่มที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) และความสามารถในการดึงดูดน้ำมันของกลุ่ม Lipophilic ค่า Hydrophilic-lipophilic balance (HLB) เป็นตัวที่บ่งชี้ปริมาณความสมดุลนี้

#### Nonionic Surfactants



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของ Nonionic surfactant

#### 2.3.4 อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

สารที่ทำหน้าที่ช่วยให้อิมัลชัน (Emulsion) มีความคงตัวด้วยการลดแรงตึงผิว (Surface tension) ระหว่างของเหลวทั้ง 2 ชนิด และป้องกันไม่ให้อิมัลชันเกิดการแยกชั้น ซึ่งในโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์ มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) หรือส่วนมีขั้ว และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือส่วนไม่มีขั้ว โดยจะหันส่วนที่มีขั้วเข้าหาน้ำ และหันส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหาไขมัน [34]

อิมัลชัน (Emulsion) หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งไม่เข้ากันหรือไม่สามารถละลายด้วยกันได้ เช่น น้ำและน้ำมัน ถ้าต้องนำมาไว้ด้วยกันในลักษณะที่ผสมผสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกันต้องมีตัวผสมน้ำและน้ำมันให้เข้ากัน ซึ่งก็คือ อิมัลซิไฟเออร์ อิมัลชันที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันแต่ถ้ามองด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็จะแบ่งเป็น 2 ภูมิภาค คือ ภูมิภาคภายใน (Internal / Dispersed-phase) คือ อนุภาคเล็กๆ ของของเหลวชนิดหนึ่ง กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ภูมิภาคภายนอก (External / Continuous phase) โดยทั่วไปขนาดของภูมิภาคภายในจะมีขนาดต่างๆกัน ตั้งแต่ขนาดที่เล็กกว่า 0.05-25 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคของภูมิภาคภายในมีผลต่อการกระจายแสงได้ต่างกัน จึงให้อิมัลชันมีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกัน [35]

#### ประเภทของอิมัลชัน [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 1. อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O Emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีภูมิภาคภายในเป็นน้ำมันไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง น้ำ ภูมิภาคภายนอกเป็นน้ำมัน พบอิมัลชันชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเช่น

ครีมล้างหน้า (Cleansing cream) ครีมทากลางคืน (Night cream) ครีมนวดหน้า (Massage cream) และครีมฮอร์โมน (Hormone cream) เป็นต้น

2. **อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W emulsion)** อิมัลชันชนิดนี้มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำ กระจายตัวได้ดี มีความเหนอะหนะน้อย ล้างออกได้ง่าย จึงเป็นที่นิยมมากในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมโลชั่นทาผิว (Body lotion) ครีมทาหน้า (Vanishing cream) ครีมกันแดด (Sun screen cream) ครีมรองพื้น (Foundation cream) เป็นต้น
3. **อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple emulsion)** เป็นอิมัลชันที่มีวัฏภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น W/O/W หรือ O/W/O อิมัลชันเชิงซ้อนเหล่านี้สามารถกลับกลายเป็นอิมัลชันชนิดธรรมดาได้ เช่น W/O/W ซึ่งมีน้ำเป็นวัฏภาคภายนอก แต่วัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน จะมีหยดเล็กๆของน้ำซ้อนอยู่อีกที เมื่อกลับกลายเป็นอิมัลชันธรรมดาจะกลายเป็นชนิด O/W พบอิมัลชันชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเช่น Cold cream เป็นต้น

ส่วนประกอบของอิมัลชัน [35]

มีส่วนประกอบหลักสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. **วัฏภาคน้ำ (Water phase)** ได้แก่ น้ำและสารต่างๆ ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ละลายได้ในน้ำ อาจเป็นสารเพิ่มความหนืด เช่น Acacia, Veegum, Methylcellulose, Carbopol สารให้ความชื้น (Humectant) เช่น Glycerin, Propylene glycol หรือ Glycol ต่างๆ สารกันเสีย เช่น Metthylparaben, Sodium benzoate สารลดแรงตึงผิว เช่น Tween, Sodium lauryl sulfate สีที่ละลายน้ำ สารต้านออกซิเดชัน เช่น Sodium metabisulfite นอกจากนี้ยังเป็นสารออกฤทธิ์อื่นๆที่ละลายน้ำได้ เช่น Cetyl pyridinium chloride, Benzalkonium chloride เป็นต้น
2. **วัฏภาคน้ำมัน (Oil phase)** ได้แก่ น้ำมันต่างๆ เช่น Olive oil, Mineral oil, Castor oil ไขมัน เช่น Stearyl alcohol, Stearic acid, Cetyl alcohol, Lanolin ไขแข็ง เช่น Bee wax, Paraffin wax, Carnuba wax สีที่ละลายในน้ำมัน น้ำหอมต่างๆ สารกันหืน เช่น BHT, BHA สารลดแรงตึงผิว เช่น Span, Eumulgin C1000 หรือสารออกฤทธิ์ต่างๆ เช่น ฮอร์โมน วิตามิน เป็นต้น

3. **อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)** ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว เช่น Tween, Span, Sodium lauryl sulfate คอลลอยด์ที่ชอบน้ำ เช่น Acacia, Gelatin ของแข็ง

อนุภาคละเอียด เช่น Bentonite, Colloidal magnesium aluminum silicate เป็นต้น ตัวทำอิมัลชันช่วยในการผสมผสานให้วัฏภาคน้ำและน้ำมันเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวและไม่เกิดการแยกชั้นออกจากกัน

### 2.3.5 สารเติมแต่ง (Additives)

ถูกใส่เพื่อเพิ่มสมบัติบางอย่างกับเรซิน รวมถึงแก้ไขปัญหบางอย่างที่เกิดจากสูตรและการใช้งานน้ำยาสารถอดแบบ เช่น

- สารลดฟอง (Defoaming agent) ทำหน้าที่ลดและกำจัดฟองที่อยู่บริเวณผิวหน้าของของเหลวและในเนื้อของสารยึดหรือเรซิน
- สารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidant) ช่วยลดและยับยั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารเคลือบที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการใช้งานจริงในสภาวะแวดล้อมต่างๆ [23]
- สี (Pigments) สีที่นิยมใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ สีอินทรีย์ และสีอนินทรีย์ สีอินทรีย์ให้สีที่มีความสว่างสดใสน้อยกว่าสีอนินทรีย์ แต่มีความทนทานต่อสภาพอากาศและสารเคมีสูงกว่าสีอินทรีย์มากและยังมีราคาถูกกว่าอีกด้วย ตัวอย่างของสีอินทรีย์ที่ใช้กันมาก ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium-dioxide,  $TiO_2$ ) ให้สีขาวสว่าง เหล็กออกไซด์ (Iron oxide) ให้สีโทนแดง โครเมียมออกไซด์ (Chromium oxide) ให้สีโทนเขียวและเหลืองเขียว และแคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium sulfide) ให้สีโทนเหลือง ส้ม และแดง สีอินทรีย์แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพสูงและให้สีที่สว่างสดใสกว่าสีอนินทรีย์ แต่ว่ามีข้อเสียหลักคือไม่ทนต่อความร้อน ไขมัน กรด และด่าง มีราคาแพง และสีบางตัวยังอาจก่อให้เกิดปัญหาการบวมได้อีกด้วย ตัวอย่างของ สีอินทรีย์ที่นิยมใช้ ได้แก่ Azodyes สีโทนส้ม และ Phthalocyanide dyes สีโทนน้ำเงินและเขียว [32]
- น้ำหอม (Perfume) เป็นสารละลายที่มีส่วนผสมของน้ำมันหอมระเหย สารประกอบที่ให้กลิ่นหอม แอลกอฮอล์ และน้ำ สำหรับส่วนผสมอย่างแอลกอฮอล์และน้ำกลั่น (Distilled water) นั้นถูกนำมาใช้เป็นตัวทำละลายในการเจือจางน้ำมันหอม เพื่อให้ น้ำหอมมีจุดแข็งของกลิ่นที่แตกต่างกัน ซึ่งแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ Ethyl- alcohol ( $C_2H_5OH$ ) ในขณะที่น้ำมันหอม (Perfume oil) มีทั้งน้ำมันหอมระเหยที่ได้มาจากธรรมชาติ (Essential-oils) และน้ำมันหอมที่สังเคราะห์ได้จากสารเคมีในห้องปฏิบัติการ (Synthetic-oil) ทั้งนี้ส่วนใหญ่แล้ว น้ำหอมที่ถูกผลิตขึ้นในปัจจุบัน จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น และอยู่ภายใต้การควบคุมของห้องปฏิบัติการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง

ส่วนผสมของสารสังเคราะห์มากกว่า เนื่องด้วยมีการควบคุมคุณภาพและกระบวนการผลิตที่ดี อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติอาจทำซ้ำได้ยากดังนั้นจึงเป็นเรื่องง่ายกว่าที่จะเลียนแบบกลิ่นหอมจากธรรมชาติด้วยสารที่สังเคราะห์ขึ้นมา [33]

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mark E. Harakal และคณะ [24] ได้ศึกษาองค์ประกอบของน้ำยาสารลดแบบ ซึ่งประกอบด้วย แวกซ์ (Waxes), พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG), สารลดแรงตึงผิว (Surfactants), สารเติมแต่ง (Additives) และตัวทำละลาย (Solvent)

1.) แวกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปคือ ไมโครคริสตัลลีนแวกซ์ (Microcrystalline wax) พาราฟินแวกซ์ (Paraffin wax) ที่มีจุดหลอมเหลวระหว่าง 43-71 °C (110-165 °F) ความเข้มข้นของแวกซ์ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 3-8 %wt โดยเฉพาะอย่างยิ่งประมาณ 6 %wt

2.) พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 4000-8000

3.) อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers) หรือสารลดแรงตึงผิว (Surfactants) เช่น สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีขั้วชนิดโพลีแอลกอฮอล์ (Polyalkoxylated) การใช้อิมัลซิไฟเออร์ตัวถัดไปคือ แฟตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลท (Fatty alcohol ethoxylates) จะใช้ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.5-4.5 %wt โดยเฉพาะอย่างยิ่งประมาณ 2.5 %wt เช่น อีทอกซีเลทของลอริลแอลกอฮอล์ (Ethoxylate lauryl-alcohol) ที่มีหมู่เอทอกซี 3-4 หมู่ สารนี้จะมีค่า HLB อยู่ที่ 10-13 อิมัลซิไฟเออร์ประเภทอื่นที่นำมาใช้ได้แก่ แฟตตี้เอมีน (Fatty amine) จะใช้ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.5-3 %wt โดยเฉพาะอย่างยิ่งประมาณ 1.25-1.5 %wt เช่น ทาลโลว์เอมีน (Tallow amine) ผสมรวมกับออกตาเดซิล (Octadecyl) และเฮกซะเดซิลเอมีน (Hexadecyl amine) หรือสามารถนำกรดไขมัน (Fatty acid) จะใช้ที่ความเข้มข้น 0.25-0.75 %wt หรือใช้ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.25 %wt เช่น กรดออกตาเดซิล (Octadecyl acid) มาใช้ได้เช่นกัน ในงานวิจัยนี้จะใช้พอลิซิลอกเซนไกลคอล (Polysiloxane glycol) เป็นสารลดแรงตึงผิว มี cloud point ระหว่าง 25-50 °C ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.5-15 %wt โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 2-6 %wt ทำหน้าที่เป็นชั้นกั้นด้านบนสารลดแบบเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานต และเพื่อเป็นการปรับปรุงพื้นผิวของโคมพอลิยูรีเทน โดยทั่วไปแล้วอิมัลซิไฟเออร์เพียงตัวเดียวไม่สามารถทำให้สารลดแบบเป็นอิมัลชันได้ ต้องมีการผสมผสานของอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำให้เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

4.) สารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารลดฟอง (Defoamers) สามารถใช้เพื่อลดการกักกันของอากาศ เช่น อีทอกซีเลทอะเซทิลีนิก (Ethoxylated acetylenic) สารเติมแต่งเหล่านี้จะทำงานได้ดี

เมื่อใช้ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.25-1.5 %wt โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 0.5 %wt

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.) ตัวทำละลาย (Solvents) เช่น อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) รวมถึง แนฟทาสปีริท (Naphthyl spirits) จุควาบไฟของตัวทำละลายเหล่านี้อยู่ที่ 10-43 °C (50-100 °F) ความเข้มข้นที่ใช้ควรอยู่ที่ 1-5 %wt โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 2 %wt ทำหน้าที่ช่วยในการสร้างฟิล์มบนแม่แบบ นอกเหนือจากการช่วยในการสร้างฟิล์มแล้ว ตัวทำละลายอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนยังช่วยในการละลายของอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (Water-in-oil) ตัวทำละลายที่ใช้ถัดไปคือ น้ำ ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของกลไกการถอดขึ้นงานออกจากแม่แบบโดยการรวมเข้ากับเมทริกซ์ของระบบโดยมีปริมาณน้ำทั้งหมดในองค์ประกอบประมาณ 80 %wt หรือมากกว่า และจากการทดลองพบว่า สารถอดแบบที่องค์ประกอบข้างต้นสามารถปลดขึ้นออกจากแม่แบบได้ง่ายโดยที่พื้นผิวของชิ้นงานไม่เกิดความเสียหาย

**Wolfgang Fischer และคณะ** [25] ได้ศึกษาการยับยั้งปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับไอโซไซยานต พบว่า การก่อบังโมเลกุลของน้ำโดยผลของไลโอโทรปิกเมโซมอร์ฟิซึม (Lyotropic mesomorphism) ทำได้โดยการใช้ร่วมกันของสารที่มีประสิทธิภาพในการถอดแบบและสารช่วยก่อบังที่เหมาะสม คือ การใช้แวกซ์ จาระบี ไขมัน ปีโตรเลียมหรือของผสมของสิ่งนั้นที่เป็นอิมัลชันกับสารลดแรงตึงผิว ที่มีค่า HLB ที่ 8-15 โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ 10-12 สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ เช่น แฟตตี้แอลกอฮอล์ โพลีไกลคอล อีเทอร์ (Fatty alcohol polyglycol ethers) แฟตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลต (Fatty-alcohols ethoxylate) โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของปริมาณแฟตตี้แอลกอฮอล์ต่อน้ำ สารละลายจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงคล้ายวาสลิน ซึ่งโมเลกุลของน้ำที่ยึดเหนี่ยวด้วยพันธะเชื่อมโยงที่เสถียรกับโมเลกุลของแฟตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลตนั้นมีลักษณะเป็นโครงสร้างสามมิติเป็นกลางทางไฟฟ้าและไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงที่เป็นอันตราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับโพนิม แฟตตี้แอลกอฮอล์อีทอกซีเลตที่เหมาะสมจะมีระดับของอีทอกซีเลชัน 5-12 และโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับอีทอกซีเลชัน 7-9 โดยใช้ความเข้มข้น 0.5-5 %wt โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 1-2.5 %wt แวกซ์ที่ใช้ คือ ไมโครแว็กซ์ (Microwaxes) ที่มีจุดหลอมเหลวระหว่าง 50-120 °C พอลิไกลคอล (Polyglycols) เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิโพรพิลีนไกลคอล (Polypropylene glycol) ซึ่งเป็นสารควบคุมความสม่ำเสมอที่ดีและทำหน้าที่ในการทำให้ฟิล์มของสารละลายตัวมีความยืดหยุ่นและเหนียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพอลิโพรพิลีนไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วงประมาณ 2,000 ได้ผลลัพธ์ที่ดี ความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.5-3 %wt และโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเข้มข้น 1.5 %wt

**Torsten Henning, Schwerin (DE)** [26] ได้ศึกษาสารถอดแบบสำหรับพอลิยูรีเทน ซึ่งประกอบไปด้วย สารช่วยในการกระจายตัวหรืออิมัลชันของไซ สบู น้ำมัน หรือซิลิโคนในตัวทำละลาย เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือน้ำ หลังจากใช้สารถอดแบบเคลือบลงบนแม่แบบแล้ว ตัวทำละลายจะระเหยออกไปและสารถอดแบบที่ไม่ได้ระเหยออกจะก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆ เพื่อให้สามารถดึงพอลิยูรีเทน ออกจากแม่แบบได้ง่ายขึ้น สารถอดแบบยังส่งผลต่อพื้นผิวการขึ้นรูปพอลิยูรีเทน ซึ่งจะต้องมีรูพรุนละเอียดหรือเรียบและสม่ำเสมอ การปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวของพอลิยูรีเทน คือ การใช้

ตัวเร่งปฏิกิริยาและเร่งปฏิกิริยาของโพลีออลกับไอโซไซยาเนต เช่น ตัวเร่งดีบุก นอกจากการปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวแล้ว ตัวเร่งดีบุกเหล่านี้ยังมีส่วนช่วยในการถอดแบบโดยการเร่งปฏิกิริยาของพอลีออลกับไอโซไซยาเนตที่บริเวณส่วนต่อประสานระหว่างพอลิยูรีเทนและฟิล์มคล้ายตัว ตัวเร่งปฏิกิริยาดีบุก เช่น Di-n-butyltin-dicarboxylates, Dibutyltin, Dilaurate (DBTL) อย่างที่ทราบกันดีว่า DBTL เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และมีความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างการจัดเก็บและการขนส่ง ด้วยเหตุนี้ในอุตสาหกรรมจึงเรียกร้องให้สารถอดแบบที่ใช้ปราศจากสารประกอบดีบุก ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสารถอดแบบที่ปราศจากสารประกอบดีบุกและมีประสิทธิภาพในการช่วยดึงชิ้นงานออกจากแม่แบบ องค์ประกอบของสารถอดแบบควรประกอบไปด้วย

1.) สารอย่างน้อยหนึ่งชนิดที่มีประสิทธิภาพในการถอดแบบ เช่น สารจำพวกสบู่ น้ำมัน แร็กซ์ และซิลิโคนในปริมาณ 0.5-40 %wt เช่น แร็กซ์เหลว แร็กซ์แข็ง แร็กซ์ธรรมชาติหรือแร็กซ์สังเคราะห์ แร็กซ์-ออกซิไดซ์หรือไฮโดรไลซ์บางส่วนด้วยเอสเทอร์ของกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์หรือฟอสเฟต-แอลกอฮอล์ ซิลิโคน เช่น โพลีไดเมทิลซิลอกเซน

2.) บิสมาคคาร์บอกซิเลตอย่างน้อยหนึ่งชนิดในปริมาณ 0.05-10 %wt บิสมาคคาร์บอกซิเลตควรใช้เกลือ Bi(III) ของกรดอินทรีย์ R—COOH โดยที่ R คือ ไฮโดรคาร์บอนแบริดัลที่มีกิ่งหรือไม่มีกิ่งและมีอะตอมคาร์บอนตั้งแต่ 6 - 22 อะตอม เช่น แอลคิลแบริดัล, แอลคิลแบริดัลหรือเอริลแบริดัล

3.) สารเติมแต่งในปริมาณ 0.1-10 %wt เช่น กรดอินทรีย์เป็นกรดไขมันจากพืชหรือสัตว์ที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 6 - 22 อะตอม โดยควรมีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 8 - 20 อะตอม โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีอะตอมคาร์บอน 8-18 อะตอม เช่น กรดคาโปรอิก, กรดคาปริลิก, กรด 2-เอทิลเฮกซาโนอิก, กรดคาปริก, กรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลือง, กรดไขมันในน้ำมันดอกทานตะวัน, กรดไขมันความเป็นกรดสูง (Tall Oil Fatty Acid, TOFA)

4.) ตัวทำละลายอินทรีย์ในปริมาณ 100 %wt เช่น ตัวทำละลายที่ปราศจาก HCFCs มีจุดเดือดในช่วง 25 - 280 °C โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 80-200 °C มีจุดวาบไฟมากกว่า 22 °C โดยเฉพาะอย่างยิ่งมากกว่า 55 °C

**Masateru Chikazawa และคณะ [27]** ได้ศึกษาปัญหาสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นองค์ประกอบสารถอดแบบชนิดน้ำ (Aqueous release agent) เช่น เกลืออะลิฟาติกเอมีนเป็นสารที่ระเหยได้ ตัวอย่างเช่น มอร์โฟลีน สเตียเรต (Morpholine stearate) มีสมบัติไม่เพียงพอที่ทำให้น้ำยาสารถอดแบบเสถียร และต้องใช้ในปริมาณมากซึ่งหากใช้สารลดแรงตึงผิวปริมาณมาก ประสิทธิภาพการถอดแบบจะลดลง นอกจากสารช่วยขึ้นรูปฟิล์ม (Film forming agents) รวมถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแนฟเทนิค หรือไฮโดรคาร์บอนจากพาราฟิน มักเป็นสารประกอบที่จะระเหยได้ การใช้สิ่งเหล่านี้จะสร้างสภาพแวดล้อมการทำงานที่เป็นลบ จึงได้ทำการศึกษาโดยส่วนประกอบของน้ำยาสารถอดแบบชนิดน้ำประกอบด้วย เกลือของกรดอะมิโนของอัลคิลเอมีน, สารถอดแบบและสารช่วยขึ้นรูปฟิล์ม โดยอัตราส่วนของเกลือของกรดกรดอะมิโน สารถอดแบบ และสารช่วยขึ้นรูปฟิล์มอยู่ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักตั้งแต่ 1-50 : 100 : 50-500 ตามลำดับ

ไม่ว่าการนี้... เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) เกลือกรดอะมิโนของอัลคิลเอมีน หากปริมาณการผสมของเกลือกรดอะมิโนของอัลคิลเอมีน น้อยกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะไม่สามารถเกิดอิมัลชัน (Emulsification) ได้ และถ้า ปริมาณการผสมของเกลือเกิน 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ประสิทธิภาพการปลดปล่อยของน้ำยาสาร ถอดแบบจะลดลงซึ่งทั้งสองอย่างนี้ไม่เป็นที่ต้องการ ดังนั้นปริมาณที่นิยมผสมจะอยู่ในช่วง 1-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณการผสมที่แนะนำอยู่ในช่วง 3-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ จำนวนคาร์บอนของหมู่อัลคิลของ อัลคิลเอมีนที่นิยมผสมจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 12 ถึง 24 อะตอม ถ้า จำนวนคาร์บอนของหมู่อัลคิลน้อยกว่า 12 อะตอม อิมัลชันจะไม่เสถียรและความเสถียรของ องค์ประกอบของน้ำยาสารถอดแบบจะลดลง หากจำนวนคาร์บอนของหมู่อัลคิลเกิน 24 อะตอมการ ทำให้เป็นอิมัลชันจะไม่เพียงพอ และองค์ประกอบของน้ำยาสารถอดแบบอาจแยกออกจากกัน โดยหมู่อัลคิลที่เหมาะสมคือหมู่อัลคิลแบบสายตรงหรือแบบกิ่ง เมื่อกรดอะมิโนประกอบด้วยหมู่คาร์- บอกซิลสองหมู่ สารลดแรงตึงผิวจึงควรเป็นประจุบวก และโดยทั่วไปกรดอะมิโนเป็นกรดอ่อนที่เป็น ของแข็ง และแทบจะไม่กัดกร่อนโลหะของแม่พิมพ์หรือสิ่งที่คล้ายกัน นอกจากนี้กรดอะมิโนไม่มีกลิ่นที่ ระคายเคือง ตรงข้ามกับกรดอะซิติก (Acetic acid) จึงไม่ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมในการทำงาน โดยกรดอะมิโนดังกล่าวที่ใช้คือ กลูตามิก (Glutamic acid) หรือกรดแอสพาราจินิก (Asparaginic- acid) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่เป็นกรดในสารลดแรงตึงผิวที่เป็นประจุบวก

เมื่อสารลดแรงตึงผิวรวมกับเกลือของกรดอะมิโนดังกล่าวของอัลคิลเอมีนถูกผสมในองค์ประกอบของ น้ำยาสารถอดแบบสูตรน้ำสำหรับการขึ้นรูปโฟมพอลิยูรีเทนทำให้คุณสมบัติประสิทธิภาพการถอด แบบ (Release performance properties) ดีเยี่ยม โดยประเมินจากลักษณะในการถอดแบบ (Release agent characteristic), ลักษณะการเปิดเซลล์ (Cell opening characteristic), การทำให้ พื้นผิวหยาบ (Surface roughening), ลักษณะการทำให้แห้ง (Drying characteristic) และ ความสามารถในการทำงานที่ยอดเยี่ยมในด้านกลิ่นและการไม่กัดกร่อน

สำหรับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุไอออนของพอลิเอทิลีนไกลคอล จำนวนโมลเอทิลีน- ออกไซด์จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 10 โมล หากจำนวนโมลของเอทิลีนออกไซด์เพิ่มขึ้นเกิน 15 โมล ลักษณะในการถอดแบบจะแย่ลงเนื่องจากกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนต เมื่อ จำนวนโมลของเอทิลีนออกไซด์ตั้งแต่ 5 โมลขึ้นไปลักษณะการปรับระดับ (The leveling- characteristics) จะเพิ่มขึ้น และเมื่อพอลิเอทิลีนไกลคอลถูกผสมรวมกับเกลือของกรดอะมิโน ของอัลคิลเอมีน ปริมาณที่แนะนำในการผสมอยู่ในช่วง 5-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอัตราส่วน การผสมของเกลือกรดอะมิโนของอัลคิลเอมีนและพอลิเอทิลีนไกลคอลที่แนะนำจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1:1 ถึง 1:5

2.) สารถอดแบบ (Release Substance) สารถอดแบบที่ใช้ในปัจจุบันเช่น แร็กซ์สายโซ่ตรง ซึ่งรวมถึงแร็กซ์พอลิเอทิลีนสายโซ่ตรง, แร็กซ์พาราฟินบริสุทธิ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง, ฟิสเซอร์ทรอปซ์ และอื่นๆ ในทำนองเดียวกัน โดยปริมาณโมเลกุลเฉลี่ยของแร็กซ์สายโซ่ตรงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 500- 1,000 และจะดีมากหากสารถอดแบบประกอบด้วยแร็กซ์สายโซ่ตรง 50% หรือมากกว่าเมื่อเทียบกับ

สารที่ใช้ถอดแบบทั้งหมด โดยแวกซ์คาร์บูบาร์, แวกซ์พอลิเอทิลีนที่มีกิ่งก้าน, แวกซ์ไมโครคริสตัลไลน์, แวกซ์มอนแทน, ซิลิคอน และอื่นๆ สามารถนำมาใช้ได้ อย่างไรก็ตามควรใช้อัตราส่วนการผสมของสารเหล่านี้น้อยกว่า 50% ของสารถอดแบบ

3.) สารช่วยขึ้นรูปฟิล์ม (Film forming agents) ทำให้มีรูปร่างเป็นแผ่นฟิล์มสม่ำเสมอ หากไม่ได้เติมสารช่วยขึ้นรูปฟิล์มจะทำให้ฟิล์มไม่คงรูปเนื่องจากผลกระทบจากการฉีดพอลิยูรีเทนโฟมในการขึ้นรูปซึ่งทำให้เกิดเซลล์หยابและเกิดช่องว่างกับผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องสร้างฟิล์มสารเคลือบตัวอย่างรวดเร็วจึงควรเลือกใช้สารช่วยขึ้นรูปฟิล์มที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 40-80 °C หรือน้อยกว่า (ซึ่งเป็นอุณหภูมิของแม่พิมพ์ในขณะที่ขึ้นรูปยูรีเทนโดยทั่วไป) และอยู่ในสถานะของเหลวที่อุณหภูมิ 20 °C อยู่ในช่วงตั้งแต่ 50-500 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับ 100 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารถอดแบบ ในกรณีที่มีปริมาณน้อยกว่า 50 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โมเลกุลสารถอดแบบไม่เพียงพอ และทำให้ลักษณะการเปิดเซลล์ของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแย่ลง หากปริมาณเกิน 500 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำเป็นต้องใช้อิมัลชันที่จำเป็นสำหรับการทำอิมัลชันมากขึ้น และอิทธิพลที่ไม่ดีของอิมัลชันจะปรากฏขึ้นและลักษณะการเปิดเซลล์ของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจะลดลง

สารก่อฟิล์มที่มีตัวทำละลายเป็นพื้นฐานประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ควรมีจุดเดือดในช่วงตั้งแต่ 150-250 °C และสามารถใส่สารช่วยขึ้นรูปฟิล์มที่ไม่ใช่ตัวทำละลายได้โดยเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีความดันไอที่ 20 °C น้อยกว่า 0.01 kPa เนื่องจากสารช่วยขึ้นรูปฟิล์มดังกล่าวมีความดันไอต่ำเพียงพอ จึงแทบจะไม่ระเหยภายใต้สภาวะการขึ้นรูปโฟมพอลิยูรีเทน ตัวอย่างเช่น ไฮโดรคาร์บอนซึ่งประกอบด้วย (a) ของผสมอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน, (b) ของผสมของพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน, (c) ของผสมไฮโดรคาร์บอนที่มีพาราฟินเป็นพื้นฐาน, (d) ของผสมแนฟเทนิคและอื่นๆ และ (e) ฮาโลจีเนชัน ไฮโดรคาร์บอน และอื่นๆ

4.) สารเติมแต่ง (Additive) องค์ประกอบของน้ำยาสารถอดแบบที่เป็นน้ำในปัจจุบันอาจมีสารทำให้คงตัวแบบโฟม, สารทำให้เปียก, สารปรับระดับ, สารป้องกันการเกิดฟองและอื่นๆ โดยการทดลองจะใช้สารเติมแต่งในปริมาณเล็กน้อยตามแบบทั่วไป

Hidetoshi Kondo และ Masahiro Takahashi [28] ได้ศึกษาการจัดองค์ประกอบให้มีพอลิออกซีเอทิลีนอัลคิลอีเทอร์เอไมด์ของกรดไขมันดัดแปลงออร์กาโนพอลิซิลอกเซน (Polyoxyethylene alkyl ether fatty acid amide modified organopolysiloxane composition) เหนือกว่าในแง่ของความรู้สึกในการใช้งาน, ลักษณะการปกป้องพื้นผิว, ลักษณะการหล่อลื่นพื้นผิว และความเสถียรในการจัดเก็บ เพื่อให้องค์ประกอบไม่แสดงความเสื่อมสภาพแม้ผ่านไปในระยะเวลานาน วัตถุประสงค์อีกประการคือการจัดเตรียมองค์ประกอบดังกล่าวให้เหนือกว่าในแง่ของการผสม ความคงตัวในสารที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องสำอาง สารให้ความเงา, สารหล่อลื่น, สารลดฟอง, สารรักษาเส้นใย, และสารเติมแต่งสี ซึ่งทำให้สามารถได้รับความรู้สึกที่ดีในการใช้งาน

และลักษณะการผสมแบบโปร่งใส (Transparent mixing characteristics) ที่น่าพอใจ ลักษณะการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกป้องพื้นผิว ลักษณะการหล่อสีพื้นผิว และลักษณะป้องกันไฟฟ้าสถิต สิ่งเหล่านี้และวัสดุอื่น ๆ ของงานวิจัยจะเห็นได้ชัดจากรายงานวิจัยนี้

ส่วนประกอบกรดไขมันพอลิออกซีเอทิลีนอัลคิลอีเทอร์แสดงประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวและทำหน้าที่เสริมสมบัติป้องกันไฟฟ้าสถิต ออร์กาโนพอลิไซลอกเซนที่ดัดแปลงด้วยอะมิโดพอลิอีเทอร์ และกรดไขมันพอลิออกซีเอทิลีนอัลคิลอีเทอร์ยังสามารถใช้สารเติมแต่งเพื่อปรับแต่งพื้นผิวอื่นๆ เช่น ไดมethylsiloxane ออกตามethylsiloxane tetraethylsiloxane วาสลีน หรือพาราฟินเหลว สารเติมแต่งอาจผสมกับองค์ประกอบของงานวิจัยนี้ได้หากว่าสารเหล่านี้ไม่มีผลเสียต่อองค์ประกอบของสาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสูตรน้ำยาสารลดแรงตึงผิวสำหรับอุตสาหกรรมโพลีเอทิลีนเพื่อนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ สามารถลดต้นทุนหรือการนำเข้าจากต่างประเทศ ลดความอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อตัวผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม โดดเด่นศึกษาปัจจัยบางประการ เช่น ชนิดของแว็กซ์, ปริมาณของตัวทำละลายร่วม, ปริมาณของสารเติมแต่ง, อัตราส่วนของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวต่อน้ำ เป็นต้น

### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.1.1 สารเคมีสำหรับน้ำยาสารลดแรงตึงผิว

1. ไชผึ้ง (Beeswax) เกรดเครื่องสำอาง บริษัท เคมีภัณฑ์ สมบัติบางประการของแว็กซ์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1
2. พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน (Paraffin wax emulsion) เกรดการค้า บริษัท BYK
3. พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน (Paraffin wax emulsion) เกรดการค้า บริษัท ซินเธค แอ็ดดิทีฟ จำกัด
4. คาร์นูบาร์แว็กซ์อิมัลชัน (Carnauba wax emulsion) เกรดการค้า บริษัท อนันตรีนาราน จำกัด
5. พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax) เกรดการค้า บริษัท BYK
6. แอลกอฮอล์อีทอกซีเลท (Alcohol ethoxylate) เกรดการค้า บริษัท ไทย อีทอกซีเลท จำกัด
7. กรดไขมัน (Fatty acid) เกรดการค้า
8. พอลิออกซีเอทิลีน ลอริล เอมีน อีเทอร์ (Polyoxyethylene lauryl amine ether) เกรดการค้า บริษัท Jiangsu
9. เอทิลแอลกอฮอล์ 95% (Ethyl alcohol) เกรดการค้า บริษัท เคเอสเคเคเอส เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด
10. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
11. น้ำยาสารลดแรงตึงผิว A เกรดการค้า จากบริษัท A
12. น้ำยาสารลดแรงตึงผิว R เกรดการค้า จากบริษัท B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบสารเคมีของไขผึ้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Component	Amount (%)
ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons)	14
โมนोเอสเทอร์ (Monoesters)	35
ไดเอสเทอร์ (Diesters)	14
ไตรเอสเทอร์ (Triesters)	3
ไฮดรอกซีโมนอเอสเทอร์ (Hydroxy monoesters)	4
ไฮดรอกซีพอลิเอสเทอร์ (Hydroxy polyesters)	8
กรดเอสเทอร์ (Acid esters)	1
กรดพอลิเอสเทอร์ (Acid polyesters)	2
กรดอิสระ (Free acid)	12
แอลกอฮอล์อิสระ (Free alcohols)	1
สารที่ยังไม่ทราบชนิด (Unidentified)	6

หมายเหตุ : ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

### 3.1.2 สารเคมีสำหรับเตรียมตัวอย่างพอลิยูรีเทนหล่อแบบ

1. ไอโซไซยาเนต (Isocyanate) และพอลิโออล (Polyol) เกรดการค้า จากบริษัท C
2. ไอโซไซยาเนต (Isocyanate) และพอลิโออล (Polyol) เกรดการค้า จากบริษัท D

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. แม่แบบเคลือบโคบอลต์ 20 × 30 เซนติเมตร
2. แผ่นเหล็กขนาด 7.5 × 12.7 เซนติเมตร
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
4. ขวดไวแอลเก็บสารละลาย (Vial scintillation glass) 20 ml. ฝาเกลียวสีขาว
5. กระดาษเช็ดไร้ฝุ่นขุย รุ่น KMT280 ยี่ห้อ KIMTECH
6. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) แบบไม่มีพัดลม รุ่น UN55 ยี่ห้อ Memmert
7. เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Hotplate stirrers) รุ่น C-MAG HS7 ยี่ห้อ IKA
8. เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (Digital balance 2 digits) รุ่น WT30002CF ยี่ห้อ WANT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบสงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มาใช้

9. เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (Digital balance 4 digits) รุ่น PA214 ยี่ห้อ Ohaus

10. เครื่องปั่นกวน (Mechanical stirrer) รุ่น RW 20 digital ยี่ห้อ IKA
11. เครื่องวัดความหนาแน่นความถ่วงจำเพาะอะลูมิเนียม (Pycnometer aluminum) รุ่นVF2098 ยี่ห้อ TQC Sheen
12. อุปกรณ์วัดความหนืดแบบถ้วย Ford cup เบอร์ 4 รุ่น TBTVM-1P ยี่ห้อ Festar
13. กล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับ (Inverted optical microscope) รุ่น IE200M ยี่ห้อ SOPTOP
14. นาฬิกาจับเวลา
15. กระดาษพีเอช 0 – 14 (pH 0 – 14 universal indicator test paper)
16. เครื่องมือวัดสี (Colorimeter) รุ่น MiniScan EZ 4500 ยี่ห้อ HunterLab



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.4 การทดลอง

#### 3.4.1 การเตรียมน้ำยาสารถอดแบบที่วิจัย

##### 3.4.1.1 การศึกษาปัจจัยชนิดของแว็กซ์

1. ทำการผสมน้ำยาสารถอดแบบ ดังแสดงตามตารางที่ 3.2 โดยคำนวณปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) ในแว็กซ์อิมัลชัน เท่ากับ 5 กรัม
2. ทำการทดสอบประสิทธิภาพน้ำยากับพอลิยูรีเทนโฟมตามข้อ 3.4.3 หากค่าเฉลี่ยการถอดแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยที่พื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมจะต้องไม่มีฟองอากาศและไม่มีรอยฉีกขาดจากการดึงมาใช้ร่วมในการตัดสินประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบ
3. นำน้ำยาสารถอดแบบที่ผสมได้ปริมาณ 10 กรัม ใส่ขวดไวแอลเก็บสารละลายปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์เพื่อดูการตกตะกอน, การแยกชั้นเพื่อใช้เป็นปัจจัยในการตัดสินประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบ

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบที่ใช้ในสูตรการวิจัยเพื่อควบคุมตัวแปรชนิดของแว็กซ์

สูตร องค์ประกอบ	1	2	3	4	5
ไขผึ้ง	5	-	-	-	-
พอลิเอททีลีนแว็กซ์	-	5	-	-	-
พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน A	-	-	5	-	-
พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน B	-	-	-	5	-
คาร์นูบาร์แว็กซ์อิมัลชัน	-	-	-	-	5
แอลกอฮอล์โทกซีเลท	1	1	1	1	1
กรดไขมัน	1	1	1	1	1
พอลิออกซีเอทีลีน ลอริล เอมีน อีเทอร์	1	1	1	1	1
น้ำปราศจากไอออน	92	92	92	92	92

- หมายเหตุ : - พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน A คือ พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน (Paraffin wax emulsion) บริษัท BYK
- พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน B คือ พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน (Paraffin wax emulsion) บริษัท ซินเธค แอ็ดดิทิฟ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1.2 การศึกษาปัจจัยปริมาณของตัวทำละลายร่วม

1. จากการศึกษาชนิดของแวกซ์ในข้อ 3.4.1.1 เลือกแวกซ์ที่มีประสิทธิภาพมา 3 ชนิด ทำการผสมน้ำยาสารถอดแบบ ดังแสดงตามตารางที่ 3.3
2. นำน้ำยาสารถอดแบบที่ผสมได้ปริมาณ 10 กรัม ใส่ขวดไวแอลเก็บสารละลาย ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์เพื่อดูการตกตะกอน, การแยกชั้น นำน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีการตกตะกอน, การแยกชั้นหรือมีน้อย มาหาความเร็วในการแห้งตัวโดยใช้วิธีการเคลือบตามข้อ 3.4.2 เมื่อเคลือบเสร็จจึงทำการจับเวลาจน น้ำยาสารถอดแบบแห้งสนิท ทดสอบซ้ำทั้งหมด 5 ครั้งหาเวลาเฉลี่ยในการแห้งตัวมา เปรียบเทียบ
3. นำน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีการตกตะกอน การแยกชั้นหรือมีน้อย ทำการทดสอบ ประสิทธิภาพน้ำยากับพอลิยูรีเทนโฟมตามข้อ 3.4.3 หาค่าเฉลี่ยการถอดแบบที่มี ประสิทธิภาพมากที่สุด โดยที่พื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมจะต้องไม่มีฟองอากาศและไม่มี รอยฉีกขาดจากการดึงมาใช้ร่วมในการตัดสินประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบ

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบที่ใช้ในสูตรการวิจัยเพื่อควบคุมตัวแปรปริมาณของตัวทำละลายร่วม

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	9
องค์ประกอบ									
แวกซ์ชนิดที่ 1	5	5	5	-	-	-	-	-	-
แวกซ์ชนิดที่ 2	-	-	-	5	5	5	-	-	-
แวกซ์ชนิดที่ 3	-	-	-	-	-	-	5	5	5
แอลกอฮอล์โทกซีเลท	1	1	1	1	1	1	1	1	1
กรดไขมัน	1	1	1	1	1	1	1	1	1
พอลิออกซีเอทีลีน ลอริล เอมีน อีเทอร์	1	1	1	1	1	1	1	1	1
เอทิลแอลกอฮอล์ 95%	2	4	6	2	4	6	2	4	6
น้ำปราศจากไอออน	90	88	86	90	88	86	90	88	86

### 3.4.1.3 การศึกษาปัจจัยปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์

1. จากการศึกษาปัจจัยในข้อ 3.4.1.2 นำน้ำยาที่มีประสิทธิภาพการถอดแบบที่ดีที่สุด มาปรับความเข้มข้น ดังแสดงตามตารางที่ 3.4
2. นำน้ำยาสารถอดแบบที่ผสมได้ปริมาณ 10 กรัม ใส่ขวดไวแอลเก็บสารละลาย ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เพื่อดูการตกตะกอน การแยกชั้นของน้ำยาเป็นเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก 2 สัปดาห์ให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำน้ำยาสารถอดแบบที่ไม่มีการตกตะกอน การแยกชั้นหรือมีน้อย ทำการทดสอบประสิทธิภาพน้ำยากับพอลิยูรีเทนโฟมตามข้อ 3.4.3 หาค่าเฉลี่ยการถอดแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยที่พื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมจะต้องไม่มีฟองอากาศและไม่มีรอยฉีกขาดจากการดึงมาใช้ร่วมในการตัดสินประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบ

ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบที่ใช้ในสูตรการวิจัยเพื่อควบคุมตัวแปรปริมาณของอิมัลซีไฟเออร์

สูตร	1	2	3
องค์ประกอบ			
แวกซ์	5	5	5
เอทิลแอลกอฮอล์ 95%	x	x	x
แอลกอฮอล์ไอโซโทกซีเลท	1	1.5	2
กรดไขมัน	1	1.5	2
พอลิออกซีเอทีลีน ลอริล เอมีน อีเทอร์	1	1.5	2
น้ำปราศจากไอออน	***	***	***

หมายเหตุ : - \*\*\* คือ ปริมาณน้ำปราศจากไอออนโดยคำนวณจากปริมาณน้ำยาสารถอดแบบ 100 กรัมลบปริมาณสารต่างๆในสูตรทั้งหมดแล้ว  
 - x คือ ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของตัวทำละลายร่วมของแวกซ์ที่มีประสิทธิภาพถอดแบบได้ดีที่สุดจากการทดลองตามข้อ 3.4.1.2

#### 3.4.1.4 การศึกษาปรับปรุงสูตรน้ำยาสารถอดแบบ

จากผลการทดสอบที่ได้จากการทดลอง นำมาปรับปรุงสูตรน้ำยาสารถอดแบบให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยอาจเพิ่มหรือลดปริมาณอิมัลซีไฟเออร์, ปริมาณแวกซ์, ปริมาณตัวทำละลายร่วม หรือการใช้แวกซ์สองชนิดร่วมกันในการปรับปรุงสมบัติของน้ำยาสารถอดแบบ

#### 3.4.2 การหาปริมาณน้ำยาสารถอดแบบที่ใช้ในการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักน้ำยาสารถอดแบบ 1.00xx กรัมด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง
2. ชั่งน้ำหนักกระดาษเช็ดไฝุ่นชุย
3. นำน้ำยาสารถอดแบบจากข้อ 1. เทบนวัสดุที่ใช้ในการทดสอบแล้วจึงใช้กระดาษเช็ดไฝุ่นชุยเช็ดน้ำยาสารถอดแบบจนเกือบแห้ง
4. ชั่งน้ำหนักกระดาษเช็ดไฝุ่นชุยที่ใช้เช็ดน้ำยาสารถอดแบบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 5 งานนำน้ำหนักที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณโดยใช้สูตรคำนวณดังนี้ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยาสารถอดแบบบนแม่แบบ = (น้ำหนักน้ำยาสารถอดแบบ + น้ำหนัก  
กระดาษเช็ดไฝุ่นชุย) - น้ำหนักกระดาษเช็ดไฝุ่นชุยที่เช็ดน้ำยาสารถอดแบบแล้ว

### 3.4.3 การทดสอบประสิทธิภาพน้ำยากับพอลิยูรีเทนโฟม

#### ทดสอบกับพอลิยูรีเทนโฟมบริษัท C

1. ทำการเคลือบน้ำยาสารถอดแบบบนแผ่นเหล็กขนาด  $7.5 \times 12.7$  เซนติเมตร ตามข้อ 3.4.2
2. นำแม่แบบเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ  $65^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 9 นาที
3. ผสมพอลิยูรีเทนโฟมให้เข้ากันเทลงแม่แบบที่อบเสร็จแล้วในข้อ 2. โดยใช้ Polyol และ Isocyanate ในอัตราส่วน 10 : 4 (By weight)
4. รอ cure time ของพอลิยูรีเทนเป็นเวลา 15 นาที (Tack free time)
5. ทดสอบประสิทธิภาพการถอดแบบโดยการดึงด้วยมือ สังเกตลักษณะผิว และบันทึกผลการทดสอบ

#### ทดสอบกับพอลิยูรีเทนโฟมบริษัท D

1. ทำการเคลือบน้ำยาสารถอดแบบบนแผ่นเหล็กขนาด  $7.5 \times 12.7$  เซนติเมตร ตามข้อ 3.4.2
2. นำแม่แบบเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ  $65^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 9 นาที
3. ผสมพอลิยูรีเทนโฟมให้เข้ากันเทลงแม่แบบที่อบเสร็จแล้วในข้อ 2. โดยใช้ Polyol และ Isocyanate ในอัตราส่วน 10 : 2.9 (By weight)
4. รอ cure time ของพอลิยูรีเทนเป็นเวลา 10 นาที (Tack free time)
5. ทดสอบประสิทธิภาพการถอดแบบโดยการดึงด้วยมือ สังเกตลักษณะผิว และบันทึกผลการทดสอบ

### 3.4.4 การทดสอบประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบกับน้ำยาสารถอดแบบที่ใช้เปรียบเทียบ

ทำการทดสอบตามข้อ 3.4.2 และข้อ 3.4.3 โดยใช้ น้ำยาสารถอดแบบ A ทดสอบกับพอลิยูรีเทนโฟมของบริษัท D และใช้น้ำยาสารถอดแบบ R ทดสอบกับพอลิยูรีเทนโฟมของบริษัท C เปรียบเทียบประสิทธิภาพการถอดแบบเทียบกับน้ำยาสารถอดแบบที่วิจัย เพื่อหาค่าเฉลี่ยการถอดแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยที่พื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมจะต้องไม่มีหรือมีฟองอากาศน้อยและไม่มีรอยฉีกขาดจากการดึงมาใช้ร่วมในการตัดสินประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติน้ำยาสารถอดแบบ

#### 3.5.1 การทดสอบการคงตัว

ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ สังเกตการคงตัว การแยกชั้น หรือการตกตะกอน

#### 3.5.2 การทดสอบความเป็นกรด-เบส

ใช้กระดาษวัดค่า pH 1-14 universal ในการวัดและเปรียบเทียบค่า pH กับน้ำยาสารถอดแบบที่ใช้เปรียบเทียบ

#### 3.5.3 การทดสอบความหนืด

ใช้อุปกรณ์วัดความหนืดแบบถ้วย Ford cup เบอร์ 4 ตามมาตรฐาน ASTM D1200 ในการวัดความหนืดของน้ำยาเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำยาสารถอดแบบที่ใช้เปรียบเทียบ

#### 3.5.4 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาสารถอดแบบ

ชั่งน้ำหนักภาชนะ, น้ำหนักน้ำยาสารถอดแบบปริมาณ 2.00xx กรัมด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดทำการชั่งน้ำหนักสารและภาชนะหลังอบ นำค่าที่ได้มาคำนวณโดย

$$\%solid = \frac{\text{น้ำหนักสารและภาชนะหลังอบ} - \text{น้ำหนักภาชนะ}}{\text{น้ำหนักน้ำยาสารถอดแบบ}} \times 100$$

#### 3.5.5 การวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะ

ใช้เครื่องวัดความหนาแน่นความถ่วงจำเพาะอะลูมิเนียมปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตามมาตรฐาน ASTM D1475 เพื่อวัดหาค่าความหนาแน่นของน้ำยาสารถอดแบบที่วิจัย ใช้เป็นสมบัติในน้ำยาสารถอดแบบ นำค่าที่ได้มาคำนวณโดย

$$\text{มวลของสาร} = (\text{น้ำหนัก Pycnometer} + \text{น้ำยาสารถอดแบบ}) - \text{น้ำหนัก Pycnometer}$$

$$\text{ความหนาแน่นของสาร} = \text{มวลของสาร} / \text{ปริมาตรของ Pycnometer}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \text{ความหนาแน่นของสาร} / \text{ความหนาแน่นของน้ำ}$$

### 3.6 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติพอลิยูรีเทนโฟมหลังใช้น้ำยาสารถอดแบบ

#### 3.6.1 การทดสอบประสิทธิภาพการถอดแบบระหว่างแม่แบบและพอลิยูรีเทนโฟม

ใช้มือดึงจากแม่แบบโดยตรง สังเกตความยากง่ายในการดึงออกจากแม่แบบ พื้นผิว สี ความวาว รูปร่างอากาศของพอลิยูรีเทนโฟมที่สัมผัสแม่แบบ หากการดึงออกไม่ทำให้พื้นผิวของพอลิยูรีเทนเกิดตำหนิข้างต้นหรือเกิดเล็กน้อยและใช้แรงมือในการดึงหลุดออกได้ง่ายถือว่ามีสมบัติที่ต้องการ โดย

เอกสารนี้เผยแพร่ทางอินเทอร์เน็ตของสงขลานครินทร์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ดึงหลุดง่าย คือ ใช้แรงในการดึงน้อยหรือน้อยมากก็สามารถดึงโฟมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบได้ เหมือนไม่มีหรือมีแรงต้านเล็กน้อย
- ดึงหลุดปานกลาง คือ ใช้แรงในการดึงโฟมพอลิยูรีเทนไปบางส่วนก่อนจึงจะดึงหลุดออกทั้งหมด หรือโฟมพอลิยูรีเทนยังมีการดึงยากบริเวณที่ขอบอยู่
- ดึงหลุดยาก คือ ใช้แรงมากในการดึงตลอดจึงจะทำให้โฟมพอลิยูรีเทนหลุดออกจากแม่แบบ

### 3.6.2 การทดสอบสัณฐานวิทยา (Morphology)

ใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับ (Inverted optical microscope) เพื่อวิเคราะห์ศึกษาลักษณะของพื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมที่เกิดขึ้นตามปัจจัยที่ศึกษาว่าส่งผลอย่างไรต่อพอลิยูรีเทนโฟม เช่น ขนาดของรูฟองอากาศ โดยใช้กำลังขยายภาพเท่ากับ 50 เท่า, 100 เท่า และ 200 เท่า

### 3.6.3 การวัดเฉดสีด้วยเครื่องมือวัดสี

ใช้เครื่องมือวัดสี (Colorimeter) เพื่อวิเคราะห์สีจากพื้นผิวโฟมพอลิยูรีเทนที่สัมผัสแม่แบบ ตามมาตรฐาน ASTM E1164 โดยใช้หลักการดังนี้

- แกน  $L^*$  บ่งบอกถึง ความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว
- แกน  $a^*$  บ่งบอกถึงเฉดสีของสีแดงหรือสีเขียว (Red-Green) ค่า  $-a^*$  เฉดสีไปในทิศทางสีเขียว จนถึงค่า  $+a^*$  เฉดสีไปในทิศทางสีแดง
- แกน  $b^*$  บ่งบอกถึงเฉดสีของสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (Yellow-Blue) ค่า  $-b^*$  เฉดสีไปในทิศทางสีน้ำเงิน จนถึงค่า  $+b^*$  เฉดสีไปในทิศทางสีเหลือง

การวัดเฉดสีของพื้นผิวโฟมพอลิยูรีเทนด้วยเครื่องมือวัดสี แล้วคำนวณหาผลต่างของค่าความสว่าง ( $\Delta L^*$ ), ผลต่างของเฉดสีเขียว-แดง ( $\Delta a^*$ ) และผลต่างของเฉดสีน้ำเงิน-เหลือง ( $\Delta b^*$ ) ในส่วนของค่าความแตกต่างของสีนั้นทาง CIE ได้กำหนดสัญลักษณ์เป็น  $\Delta E$  โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

การทดสอบจะวัดเฉดสีโดยสุ่มตรวจพื้นผิวโฟมพอลิยูรีเทนที่สัมผัสแม่แบบหลังจากใช้น้ำยา สารถอดแบบตามสูตรจะวัดค่าเป็นค่าเฉลี่ยโดยคิดจากสูตรละ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างชิ้นงานละ 3 จุด

## 3.7 ทดลองน้ำยาสารถอดแบบที่วิจัยทดสอบที่โรงงานการผลิต

นำน้ำยาที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดไปทดสอบที่โรงงานการผลิตจริง โดยทดสอบเปรียบกับน้ำยา เอกสารนี้สารถอดแบบเชิงพาณิชย์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดึง พื้นผิว สี ความมันเงา ข้อบกพร่องว่าไม่ว่ากันต่างๆที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว มิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ตารางแผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ช่วงเวลา (เดือน)									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.
	65	65	65	65	65	66	66	66	66	66
ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
เตรียมตัวอย่าง										
ทดสอบสมบัติ, ประสิทธิภาพ										
สรุป และเขียนรายงาน										
เตรียมการนำเสนอ										
นำเสนอโครงการในที่ประชุม										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสทกกิจเรื่อง การพัฒนาน้ำยาสารลดแบบสูตรน้ำสำหรับอุตสาหกรรมโฟมพอลิยูรีเทน โดยเป็นความร่วมมือของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กับบริษัท แอ็คมี อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด โดยนำผลการศึกษาที่ได้มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นน้ำยาสารลดแบบสำหรับที่กรองอากาศในรถยนต์ งานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ตอน คือ 1. ศึกษาปัจจัยองค์ประกอบในน้ำยาสารลดแบบ ได้แก่ ชนิดของแวกซ์ ปริมาณของตัวทำละลายร่วม ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว อัตราส่วนของน้ำยาสารลดแบบต่อน้ำ 2. การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของน้ำยาสารลดแบบที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ได้แก่ การคงตัวของน้ำยาสารลดแบบความเป็นกรด-เบส ความหนืด ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาสารลดแบบ ความถ่วงจำเพาะ 3. การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติโฟมพอลิยูรีเทนหลังจากการใช้น้ำยาสารลดแบบ ได้แก่ ลักษณะพื้นผิวโฟม พอลิยูรีเทนหลังใช้น้ำยาสารลดแบบ การทดสอบสัมมนา-วิทยา การวัดเฉดสี 4. การทดสอบประสิทธิภาพที่โรงงานการผลิต

โดยเกณฑ์ที่ใช้สำหรับพิจารณาประสิทธิภาพการดิ่ง มีดังนี้

- ดิ่งหลุดง่าย คือ ใช้แรงในการดิ่งน้อยหรือน้อยมากก็สามารถดิ่งโฟมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบได้ เหมือนไม่มีหรือมีแรงต้านเล็กน้อย
- ดิ่งหลุดปานกลาง คือ ใช้แรงในการดิ่งโฟมพอลิยูรีเทนไปบางส่วนก่อนจึงจะดิ่งหลุดออกทั้งหมด หรือโฟมพอลิยูรีเทนยังมีการดิ่งยากบริเวณที่ขอบอยู่
- ดิ่งหลุดยาก คือ ใช้แรงมากในการดิ่งตลอดจึงจะทำให้โฟมพอลิยูรีเทนหลุดออกจากแม่แบบ

### 4.1 การศึกษาปัจจัยองค์ประกอบในน้ำยาสารลดแบบ

#### 4.1.1 การศึกษาปัจจัยชนิดของแวกซ์

แวกซ์ต่างชนิดกันจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน แวกซ์บางชนิดจะมีสายโซ่ที่ยาวทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลมากซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature,  $T_m$ ) สูง แวกซ์จึงไม่สามารถหลอมละลายกลายเป็นชั้นฟิล์มมาเคลือบที่ผิวของแม่แบบได้ จึงทำให้การดิ่งโฟมพอลิยูรีเทนให้หลุดออกจากแม่แบบทำได้ยาก งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษานิดของแวกซ์ที่ส่งผลต่อความยาก-ง่าย

ในการดิ่งโฟมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ ดังตารางที่ 4.1  
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ความยาก-ง่ายในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อชนิดแก้วต่างกัน

สูตร	ความยาก-ง่ายในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
โซฟีนีงธรรมชาติ	ดึงหลุดง่าย	ดึงหลุดง่าย	ดึงหลุดง่าย
พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน A	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง
พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน B	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง
พอลิเอทิลีนแว็กซ์	ดึงหลุดยาก	ดึงหลุดยาก	ดึงหลุดยาก
คาร์นูบาร์แว็กซ์	ดึงหลุดยาก	ดึงหลุดยาก	ดึงหลุดยาก

จากการทดลองพบว่า แก้วจากโซฟีนีงธรรมชาติจะใช้แรงในการดึงโคมพอลิยูรีเทนให้หลุดออกจากแม่แบบได้ง่ายมากที่สุด คือ ใช้แรงในการดึงน้อยก็สามารถดึงโคมพอลิยูรีเทนให้หลุดออกจากแม่แบบได้ เหมือนไม่มีหรือมีแรงต้านเล็กน้อย รองลงมาคือพาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน A และ B ที่ใช้แรงในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบได้ปานกลาง คือ ใช้แรงในการดึงโคมพอลิยูรีเทนไปบางส่วนก่อนจึงจะดึงหลุดออกทั้งหมด หรือโคมพอลิยูรีเทนยังมีการดึงยากบริเวณที่ขอบอยู่ ถัดมาเป็นพอลิเอทิลีนแว็กซ์ และคาร์นูบาร์แว็กซ์ ตามลำดับ ที่ใช้แรงในการดึงโคมพอลิยูรีเทนให้หลุดออกจากแม่แบบได้ยาก คือ ใช้แรงมากในการดึงตลอดจึงจะทำให้โคมพอลิยูรีเทนหลุดออกจากแม่แบบ เนื่องจากแก้วชนิดโซฟีนีงธรรมชาติ พาราฟินแว็กซ์อิมัลชันชนิด A และ B มีอุณหภูมิการหลอมเหลวที่ต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 นาที แก้วทั้ง 3 ชนิด สามารถหลอมละลายกลายเป็นชั้นฟิล์มมาเคลือบที่พื้นผิวของแม่แบบได้ จึงทำให้สามารถดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบได้ง่าย

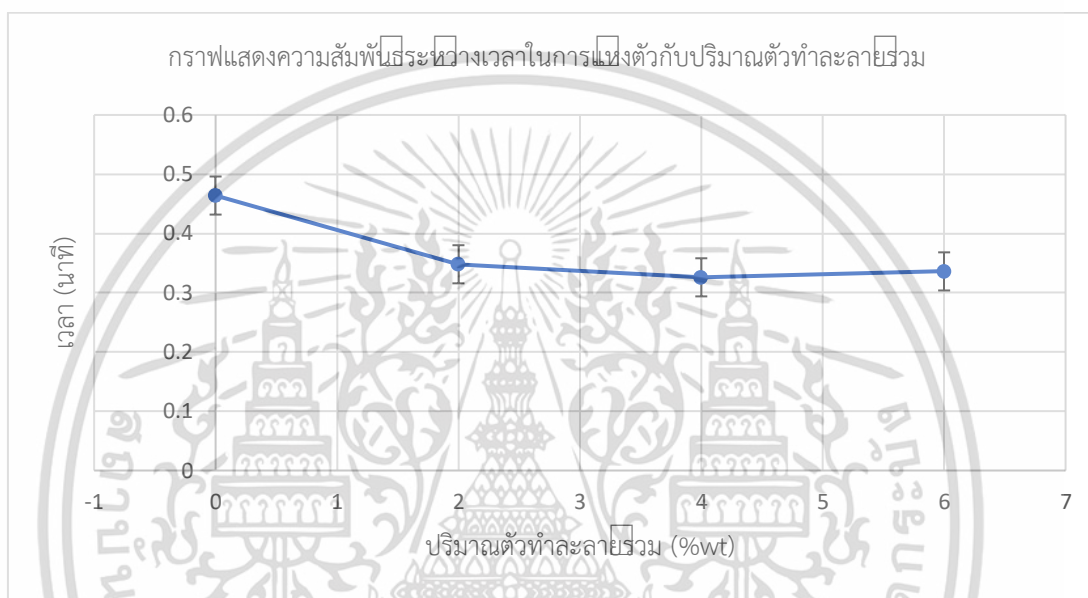
#### 4.1.2 ปริมาณของตัวทำละลายร่วม

ตัวทำละลายร่วม (Co-solvent) ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายและปรับอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ เช่น จุดเดือด ทำให้ระเหยได้ง่ายขึ้น ตัวทำละลายร่วม เช่น แอลกอฮอล์ กลีเซอริน พอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ที่ส่งผลต่อเวลาในการแห้งตัว การแยกชั้น และความยาก-ง่ายในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การแห้งตัวของน้ำยาสารถอดแบบ

จากการทดลองพบว่า การใส่เอทิลแอลกอฮอล์ 95% ลงไปในน้ำยาสารถอดแบบ เวลาในการแห้งตัวของน้ำยาสารถอดแบบมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใส่เอทิลแอลกอฮอล์ 95% และเมื่อเพิ่มปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt ตามลำดับ การแห้งตัวของน้ำยาสารถอดแบบจะไม่มี ความแตกต่างกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 เนื่องจากเอทิลแอลกอฮอล์สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ และมีจุดเดือดที่ต่ำกว่าน้ำจึงสามารถช่วยให้น้ำระเหยได้ง่ายขึ้นเมื่อโดนความร้อน



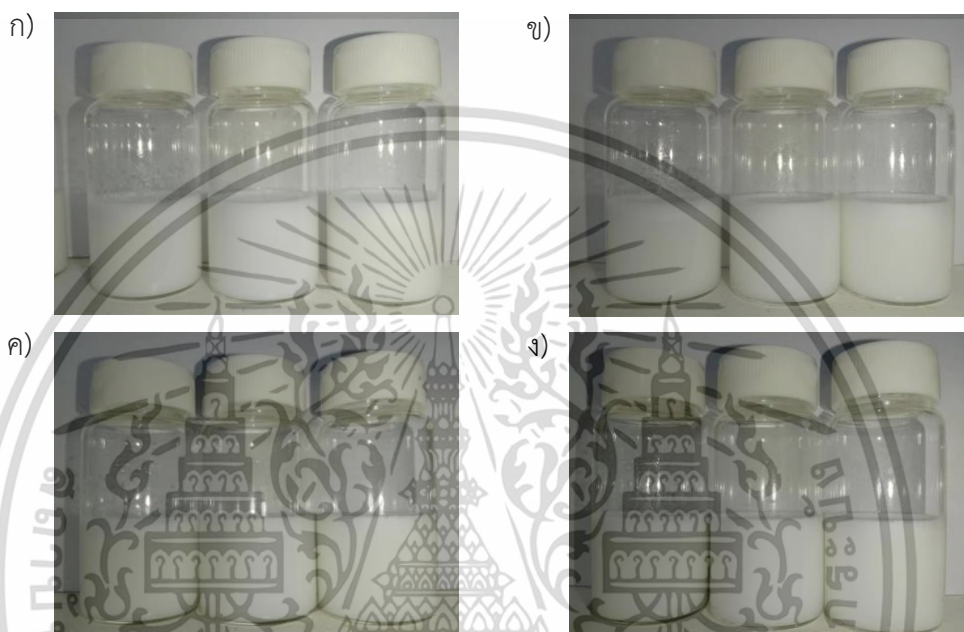
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการแห้งตัวกับปริมาณตัวทำละลายรวม

## การแยกชั้นของน้ำยาสารถอดแบบเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์

จากการทดลองพบว่า น้ำยาสารถอดแบบที่ใช้พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน A ที่ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าน้ำยาสารถอดแบบเริ่มมีการแยกชั้นบางๆเมื่อผ่านไป 1 สัปดาห์ และแยกชั้นอย่างชัดเจนเมื่อผ่านไป 4 สัปดาห์ โดยปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ 2 %wt จะแยกชั้นมากที่สุด รองลงมาคือ 6 %wt และ 4 %wt ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 4.2

น้ำยาสารถอดแบบที่ใช้พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน B ที่ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าน้ำยาสารถอดแบบเริ่มมีการแยกชั้นเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ และแยกชั้นอย่างชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ โดยปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ 6 %wt จะแยกชั้นมากที่สุด รองลงมาคือ 4 %wt และ 2 %wt ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

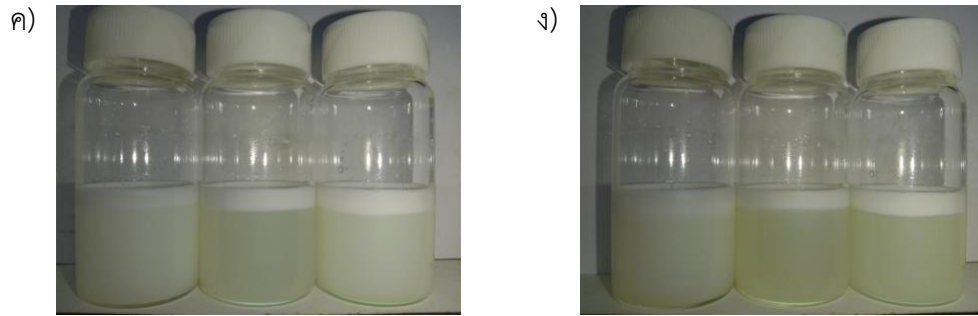
น้ำยาสารถอดแบบที่ใช้เว็ทซ์จากไขผึ้งธรรมชาติ ที่ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าเริ่มมีการแยกชั้นเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ และแยกชั้นอย่างชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ โดยปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ 2 %wt จะแยกชั้นมากที่สุด รองลงมาคือ 4 %wt และ 6 %wt ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 ก) น้ำยาสารถอดแบบที่ใช้พาราฟินเว็ทซ์อิมัลชัน A ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ง) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ก) น้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่ใช้พาราฟินแวกซ์อิมัลชัน B ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ง) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 4.4 ก) น้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ไขผึ้งธรรมชาติ ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ง) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์

#### ความยากง่ายในการดึงโฟมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ

เมื่อทดสอบการแยกชั้นของน้ำยาสารลดแรงตึงผิว พบว่าปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เอกสารนี้เท่ากับ 2, 4, 6 %wt น้ำยาสารลดแรงตึงผิวมีการแยกชั้นทั้งหมด จึงทำการทดลองถัดไป คือ ทดสอบ ไม่ว่าการ ความยากง่ายในการดึงโฟมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ

2, 4, 6 %wt ตามลำดับ โดยใช้แว็กซ์ต่างชนิดกันเพื่อทดลองว่าปริมาณตัวทำละลายรวมมีผลต่อการดึงโคมพอลิยูรีเทนหรือไม่ ดังตารางที่ 4.2-4.4

**ตารางที่ 4.2** ความยาก-ง่ายในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อชนิดแว็กซ์แตกต่างกันและปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2 %wt

สูตร	ความยาก-ง่ายในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
โซฟีนักรวมชาติ	ดึงหลุดง่าย	ดึงหลุดง่าย	ดึงหลุดง่าย
พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน A	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง
พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน B	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง

**ตารางที่ 4.3** ความยาก-ง่ายในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อชนิดแว็กซ์แตกต่างกันและปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 4 %wt

สูตร	ความยาก-ง่ายในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
โซฟีนักรวมชาติ	ดึงหลุดง่าย	ดึงหลุดง่าย	ดึงหลุดง่าย
พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน A	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง
พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน B	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง

**ตารางที่ 4.4** ความยาก-ง่ายในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อชนิดแว็กซ์แตกต่างกันและปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 6 %wt

สูตร	ความยาก-ง่ายในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
โซฟีนักรวมชาติ	ดึงหลุดง่าย	ดึงหลุดง่าย	ดึงหลุดง่าย
พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน A	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง
พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน B	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า เมื่อทดสอบประสิทธิภาพในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบโดยใช้แว็กซ์ต่างชนิดกันและความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ 2, 4, 6 %wt ตามลำดับ แวกซ์จากไขผึ้งธรรมชาติ ใช้แรงในการดึงโคมพอลิยูรีเทนให้หลุดออกจากแม่แบบน้อยที่สุด คือ ใช้แรงดึงน้อยมากในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ เหมือนไม่มีหรือมีแรงต้านเล็กน้อย รองลงมาคือ พาราฟินแว็กซ์อิมัลชัน A และ B ตามลำดับ ที่ใช้แรงในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบปานกลาง คือ ใช้แรงในการดึงโคมพอลิยูรีเทนไปบางส่วนก่อนจึงจะดึงหลุดออกทั้งหมด หรือ โคมพอลิยูรีเทนยังมีการดึงยากบริเวณที่ขอบอยู่จากการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายร่วมแสดงให้เห็นว่า ตัวทำละลายร่วมไม่ได้ส่งผลต่อการดึงหลุดของโคมพอลิยูรีเทน

#### 4.1.3 ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวหรืออิมัลซิไฟเออร์

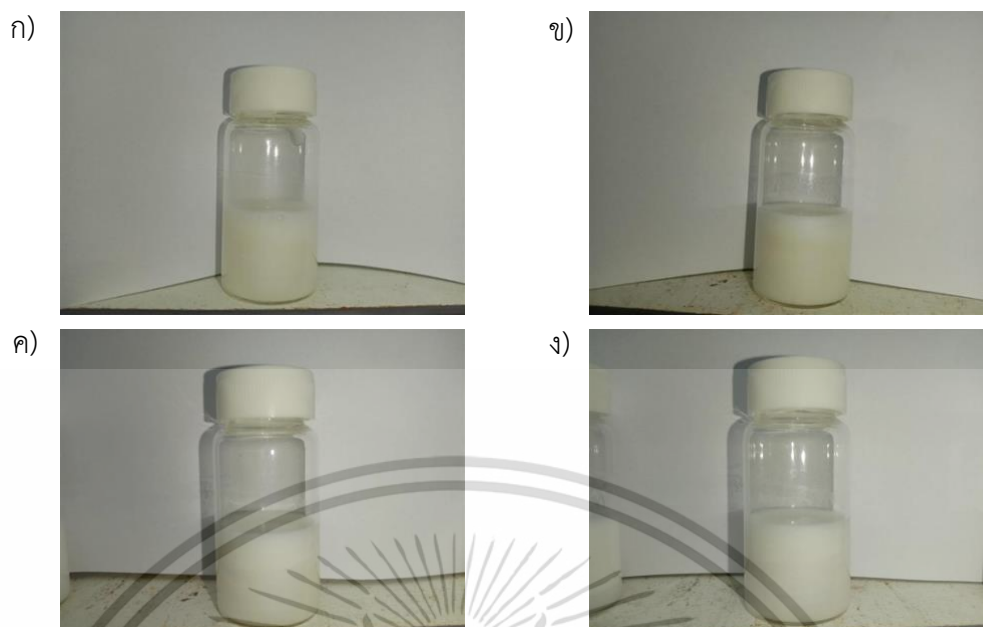
สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) หรืออิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers) จะช่วยเพิ่มแรงตึงผิว ทำให้อิมัลชันรวมอยู่ด้วยกันได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ส่งผลต่อการแยกชั้นของน้ำยาสารลดแบบ และความยาก-ง่ายในการดึงโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ ดังนี้

การแยกชั้นของน้ำยาสารลดแบบเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 4.5 ก) น้ำยาสารลดแบบจากไขผึ้งธรรมชาติที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเป็น 1.5 %wt เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ง) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ก) นํ้ายาสารลดแรงตึงผิวจากไขมันธรรมชาติที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเป็น 2 %wt เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ง) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์

จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเป็น 1.5 และ 2 %wt ตามลำดับ พบว่าที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว เป็น 2 %wt นํ้ายาสารลดแรงตึงผิวไม่เกิดการแยกชั้นออกจากกันหรือนํ้ายามีเสถียรภาพมากขึ้น และทดลองการดึงโฟมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบจากนํ้ายาสารลดแรงตึงทั้ง 2 สูตร พบว่า ใช้แรงดึงโฟมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบปานกลาง คือ ใช้แรงดึงโฟมพอลิยูรีเทนไปบางส่วนก่อนจึงจะดึงหลุดออกทั้งหมด หรือโฟมพอลิยูรีเทนยังมีการดึงยากบริเวณขอบของชิ้นงานอยู่ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความยาก-ง่ายในการดึงโฟมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อปริมาณของสารลดแรงตึงผิวแตกต่างกัน

สูตร	ความยาก-ง่ายในการดึงโฟมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
สารลดแรงตึงผิว 1.5 %wt	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง
สารลดแรงตึงผิว 2 %wt	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง	ดึงหลุดปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 อัตราส่วนของน้ำยาสารถอดแบบต่อน้ำ

เพื่อให้ทราบอัตราส่วนของน้ำยาสารถอดแบบที่สามารถเจือจางได้โดยไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการตั้งโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้น้ำยาสารถอดแบบที่ไม่ได้เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน กับน้ำยาสารถอดแบบอัตราส่วนของน้ำยาสารถอดแบบต่อน้ำ คือ 1:1 พบว่า ใช้แรงในการตั้งพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบได้ใกล้เคียงกัน แต่น้ำยาสารถอดแบบที่อัตราส่วนของน้ำยาสารถอดแบบต่อน้ำ คือ 1:1 จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านการผลิตมากกว่าการใช้น้ำยาสารถอดแบบที่ไม่ได้เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความยาก-ง่ายในการตั้งโคมพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อใช้น้ำยาสารถอดแบบที่ไม่ได้เจือจางและเจือจางที่อัตราส่วนของน้ำยาสารถอดแบบต่อน้ำเป็น 1:1

สูตร	ความยาก-ง่ายในการตั้งพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ได้เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน	ตั้งหลุดง่าย	ตั้งหลุดง่าย	ตั้งหลุดง่าย
อัตราส่วนของน้ำยาสารถอดแบบต่อน้ำ คือ 1:1	ตั้งหลุดง่าย	ตั้งหลุดง่าย	ตั้งหลุดง่าย

#### 4.1.5 การทดสอบประสิทธิภาพน้ำยาสารถอดแบบที่ดีที่สุดกับน้ำยาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์

จากการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบน้ำยาสารถอดแบบที่ดีที่สุดกับน้ำยาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์ น้ำยาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์ใช้แรงตั้งพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบได้ง่ายกว่าน้ำยาสารถอดแบบที่ดีที่สุดเล็กน้อย โดยน้ำยาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์จะตั้งได้เร็วกว่าน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ความยาก-ง่ายในการดึงโพลีเมอร์เหน่อจากแม่แบบของน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุกกับน้ำยาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์

สูตร	ความยาก-ง่ายในการดึงโพลีเมอร์เหน่อจากแม่แบบ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำยาสารถอดแบบที่ดีที่สุด	หลุดง่ายมาก	หลุดง่ายมาก	หลุดง่ายมาก
น้ำยาสารถอดแบบในเชิงพาณิชย์	หลุดง่ายมากที่สุด	หลุดง่ายมากที่สุด	หลุดง่ายมากที่สุด

## 4.2 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆของน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุก

### 4.2.1 การคงตัวของน้ำยาสารถอดแบบ

น้ำยาสารถอดแบบมีการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ จึงได้ทำการปรับปริมาณสารลดแรงตึงผิวหรืออิมัลซิไฟเออร์ให้เพิ่มขึ้นเป็น 2 %wt พบว่า น้ำยาสารถอดแบบมีเสถียรภาพมากขึ้น

### 4.2.2 ความหนืดและความเป็นกรด-เบส

เมื่อทำการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำยาสารถอดแบบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุกพบว่า มีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 6-7 และมีค่าความหนืด 100 cP

### 4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาสารถอดแบบ

ทำการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาสารถอดแบบได้น้ำหนักภาชนะ คือ 0.6462 กรัม น้ำหนักสาร คือ 2.0028 กรัม และน้ำหนักสารและภาชนะหลังอบ คือ 0.8126 กรัม นำมาคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \% \text{solid} &= \frac{0.8126 - 0.6462}{2.0028} \times 100 \\ &= 8.31 \% \end{aligned}$$

จะได้ว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาสารถอดแบบมีค่าเท่ากับ 8.31%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 การวิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะ

ทำการหาความถ่วงจำเพาะได้น้ำหนักขวด Pycnometer คือ 51.1320 กรัม น้ำหนักขวด Pycnometer และน้ำหนักน้ำยาสารลดแรงตึงผิว คือ 100.701 กรัม ปริมาตรขวด Pycnometer คือ 50 มิลลิลิตร เมื่อนำมาคำนวณจะได้มวลของน้ำยาสารลดแรงตึงผิว คือ 45.569 กรัม ได้ค่าความหนาแน่นของน้ำยาสารลดแรงตึงผิว คือ 0.99 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อค่าความหนาแน่นของน้ำ คือ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นจะได้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาสารลดแรงตึงผิว คือ 0.99

### 4.3 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆของโฟมพอลิยูรีเทน

#### 4.3.1 ลักษณะพื้นผิวโฟมพอลิยูรีเทนหลังใช้น้ำยาสารลดแรงตึงผิว

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ 2 %wt ลักษณะพื้นผิวยังมีฟองอากาศกระจายอยู่ทั่วทั้งชิ้นงาน เช่นเดียวกับที่ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ 4 และ 6 %wt เนื่องจากความร้อนบนแม่แบบอาจจะไม่เพียงพอหรือตอนที่ขึ้นรูปโฟมพอลิยูรีเทน ไอโซไซยาเนตเกิดการทำปฏิกิริยากับน้ำในอากาศ ทำให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ไซ้ฉั้ธรรมชาติที่ใส่ตัวทำละลายรวม 2, 4, 6 %wt ตามลำดับ

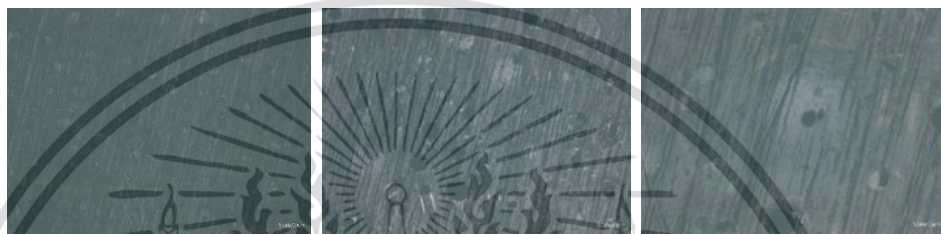
#### 4.3.2 การทดสอบสั้ฐานวิทยา

นำตัวอย่างชิ้นงานจากรูปที่ 4.7 ไปทดสอบการส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูลักษณะพื้นผิวของโฟมพอลิยูรีเทนจากด้วยกำลังขยาย 50, 100, 200 เท่า เพื่อศึกษาว่าน้ำยาสารลดแรงตึงผิวมีผลอย่างไรต่อพื้นผิวโฟมพอลิยูรีเทน แสดงได้ดังรูปที่ 4.9 - 4.11

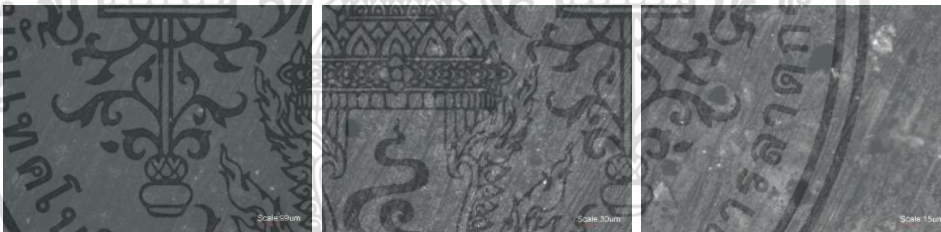
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ใยฝ้ายธรรมชาติที่ไม่ใส่ตัวทำละลายร่วม จากภาพกำลังขยาย 50, 100, 200 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ใยฝ้ายธรรมชาติที่ใส่ตัวทำละลายร่วม 2 %wt จากภาพกำลังขยาย 50, 100, 200 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ใยฝ้ายธรรมชาติที่ใส่ตัวทำละลายร่วม 4 %wt จากภาพกำลังขยาย 50, 100, 200 เท่า ตามลำดับ



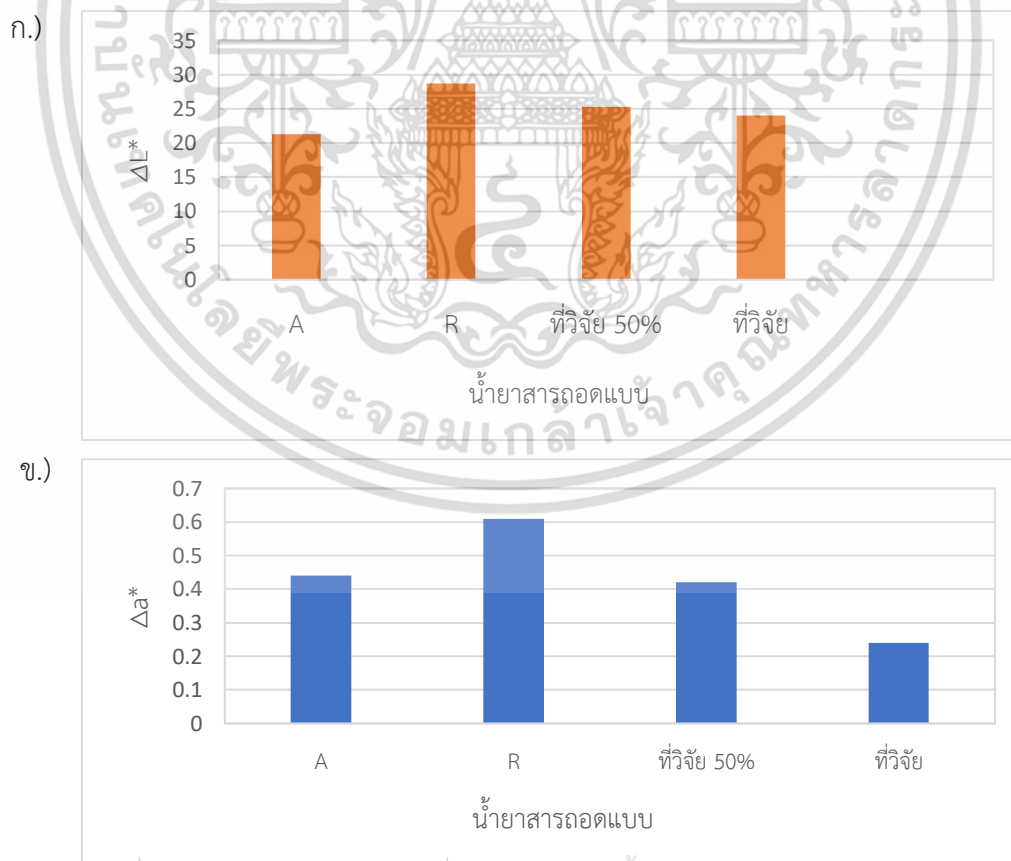
รูปที่ 4.11 ใยฝ้ายธรรมชาติที่ใส่ตัวทำละลายร่วม 6 %wt จากภาพกำลังขยาย 50, 100, 200 เท่า ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

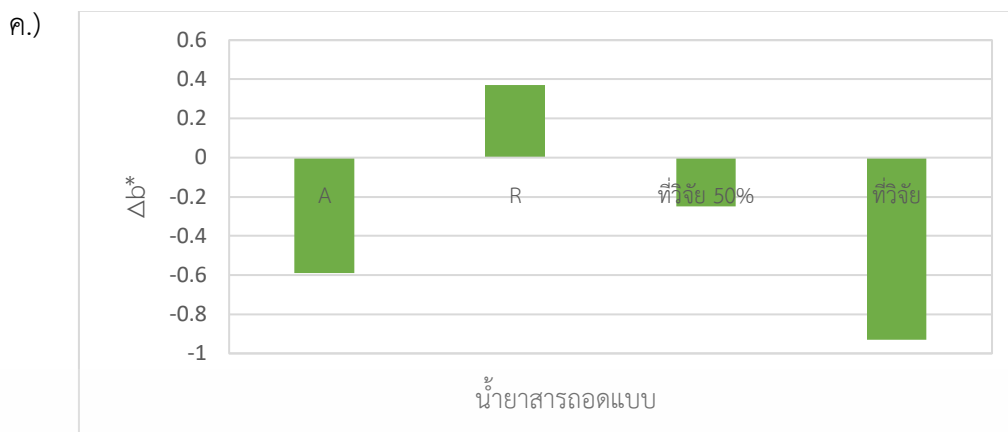
จากรูป พบว่า พื้นผิวโพลีเอทิลีนมีรูฟองอากาศระดับไมโครเมตรที่อาจเกิดขึ้นจากการที่น้ำทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานาตที่ตาคนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งไขผึ้งที่ไม่ใส่ตัวละลายร่วมและไขผึ้งที่มีปริมาณตัวทำละลายร่วม 2, 4, 6% ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูฟองอากาศจะไม่เกิน 100 ไมโครเมตร เกิดจากไขผึ้งมี  $T_m$  อยู่ในช่วง 61 – 65 องศาเซลเซียส เมื่ออบแม่แบบที่เคลือบน้ำยา สารถอดแบบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ไขผึ้งจึงสามารถหลอมละลายกลายเป็นชั้นฟิล์มที่เรียบเคลือบที่ผิวของแม่แบบได้ดี และชั้นฟิล์มที่เรียบสามารถยึดเกาะกับพอลิเอทิลีนได้ดีกว่าแว็กซ์ชนิดอื่นหรือหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของไขผึ้งทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานาตทำให้เกิดการยึดเกาะติดไปกับพื้นผิวของพอลิเอทิลีนได้ดี จึงทำให้สามารถดึงโพลีเอทิลีนออกจากแม่แบบได้ง่ายที่สุด

#### 4.3.3 การวัดเฉดสีด้วยเครื่องมือวัดสี

เปรียบเทียบค่าเฉดสีของพื้นผิวโพลีเอทิลีนหลังใช้น้ำยาสารถอดแบบ โดยเป็นค่าเฉลี่ยจากการสุ่มวัดเฉดสีจากชิ้นงานโพลีเอทิลีนหลังใช้น้ำยาสารถอดแบบสูตรละ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 จุด แสดงดังรูปที่ 4.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของพื้นผิวโพลียูรีเทนหลังใช้น้ำยาสารลดแบบ ก.) ค่าความสว่าง ( $\Delta L^*$ ) ข.) เฉดสีเขียว-แดง ( $\Delta a^*$ ) ค.) เฉดสีน้ำเงิน-เหลือง ( $\Delta b^*$ )

จากการทดสอบ พบว่า ค่าเฉลี่ยโพลียูรีเทนหลังใช้น้ำยาสารลดแบบมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าเฉลี่ยแดงหรือเขียว ( $\Delta a^*$ ) จากรูปที่ 4.12 ข.) ค่าเฉลี่ยทุกตัวอย่างเป็นค่าบวกแสดงว่าตัวอย่างออกไปทางสีแดง ค่าเฉลี่ยน้ำเงินหรือเหลือง ( $\Delta b^*$ ) จากรูปที่ 4.12 ค.) ค่าเฉลี่ยของน้ำยาสารลดแบบ R มีค่าเป็นบวกแสดงว่าสีตัวอย่างออกไปทางสีเหลือง ส่วนคือ น้ำยาสารลดแบบที่วิจัย, น้ำยาสารลดแบบที่วิจัยเจือจาง 1:1, น้ำยาสารลดแบบ A มีค่าเป็นลบแสดงว่าสีตัวอย่างออกไปทางสีน้ำเงิน และค่าความสว่าง ( $\Delta L^*$ ) จากรูปที่ 4.12 ก.) ของน้ำยาสารลดแบบ R มีค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดคือ น้ำยาสารลดแบบ A

#### 4.4 การทดสอบประสิทธิภาพที่โรงงานการผลิตจริง

จากการทดสอบที่โรงงานการผลิตจริง โดยทดสอบน้ำยาสารลดแบบที่วิจัยโดยไม่ได้เจือจางกับน้ำยาสารลดแบบที่วิจัยโดยเจือจางในอัตราส่วนน้ำยาสารลดแบบต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 5 พบว่าน้ำยาสารลดแบบที่วิจัยโดยไม่ได้เจือจางเมื่อใช้ในปริมาณปกติของโรงงานการผลิต น้ำยาสารลดแบบไม่สามารถระเหยได้ทันภายในเวลา 9 นาที ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย และเมื่อใช้น้ำยาสารลดแบบที่วิจัยโดยเจือจางในอัตราส่วน 1 : 5 และมีการเขี่ยน้ำยาสารลดแบบบนแม่แบบร่วมด้วย ชิ้นงานที่ได้ออกมาพื้นผิวยังไม่มันเงาและมีการดึงออกจากแม่แบบยาก เมื่อเทียบกับน้ำยาสารลดแบบ R ที่ใช้ในอัตราส่วน 1 : 2 ดังแสดงตามรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ชิ้นงานพอลิยูรีเทนที่ใช้ในน้ำยาสารถอดแบบ R อัตราส่วน 1 : 2 และน้ำยาสารถอดแบบที่วิจัยโดยเจ็องจางในอัตราส่วน 1 : 5 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาน้ำยาสารลดแรงตึงผิวสำหรับอุตสาหกรรมโพรพอลิยูรีเทนโดยประเด็นศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ การศึกษาปัจจัยองค์ประกอบในน้ำยาสารลดแรงตึงผิว การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของโพรพอลิยูรีเทนหลังจากการใช้น้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด และการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพที่สุดในโรงงานการผลิตจริง โดยสามารถสรุปผลการทดลองที่ได้ในแต่ละประเด็นศึกษา ดังนี้

จากการศึกษาองค์ประกอบของน้ำยาสารลดแรงตึงผิว ชนิดของแวกซ์ที่ทำให้น้ำยาสารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด คือ แวกซ์จากไขผึ้งธรรมชาติ รองลงมา คือ พาราฟินแวกซ์อิมัลชัน A และ B โพลีเอทิลีนแวกซ์ และคาร์นูบาร์แวกซ์ ตามลำดับ และศึกษาปริมาณตัวทำละลายรวม คือ เอทิลแอลกอฮอล์ 95% พบว่า เมื่อเปรียบเทียบการแห้งตัวของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวเมื่อใส่เอทิลแอลกอฮอล์ 95% จะมีการแห้งตัวที่เร็วกว่าการที่ไม่ใส่เอทิลแอลกอฮอล์ 95% และเมื่อเพิ่มปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt ตามลำดับ การแห้งตัวของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวจะไม่แตกต่างกัน แต่น้ำยาสารลดแรงตึงผิวเริ่มมีการแยกชั้นบางๆเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ และแยกชั้นอย่างชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ และทดสอบประสิทธิภาพในการดึงโพรพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบเมื่อชนิดแวกซ์แตกต่างกันและปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ 2, 4, 6 %wt ตามลำดับ พบว่า น้ำยาสารลดแรงตึงผิวจากไขผึ้งธรรมชาติใช้แรงดึงโพรพอลิยูรีเทนให้หลุดออกจากแม่แบบง่ายที่สุดทุกการทดลองที่ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เป็น 2, 4, 6 %wt เมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเป็น 1.5 และ 2 %wt น้ำยาสารลดแรงตึงผิวมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่ประสิทธิภาพในการดึงโพรพอลิยูรีเทนลดลง คือ ใช้แรงดึงโพรพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบปานกลาง

จากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวต่อน้ำ พบว่า เมื่อเจือจางน้ำยาสารลดแรงตึงผิวกับน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:1 การใช้แรงดึงโพรพอลิยูรีเทนออกจากแม่แบบใกล้เคียงกับการใช้น้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ได้เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน และทำการเปรียบเทียบน้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่ดีที่สุดกับน้ำยาสารลดแรงตึงผิวในเชิงพาณิชย์ พบว่า น้ำยาสารลดแรงตึงผิวในเชิงพาณิชย์จะดึงได้เร็วกว่าน้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และเมื่อนำไปทดสอบที่โรงงานการผลิต พบว่า เมื่อใช้น้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่วิจัยโดยไม่ได้เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน น้ำยาสารลดแรงตึงผิวไม่สามารถระเหยได้ทันภายในเวลา 9 นาที ชิ้นงานที่ออกมาจึงเกิดความเสียหาย และเมื่อใช้น้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่วิจัยโดย

เจือจางในอัตราส่วน 1 : 5 และมีการเขี่ยน้ำยาสารลดแรงตึงผิวบนแม่แบบร่วมด้วย ชิ้นงานที่ได้ออกมาไม่ว่าก้ำพื้นผิวยังไม่เงาและมีการดึงออกจากแม่แบบยาก ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาและทดสอบสมบัติของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพที่สุด พบว่า มีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 6-7 ค่าความหนืด 100 cP ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาสารลดแรงตึงผิวมีค่า 8.31% ความถ่วงจำเพาะมีค่า 0.99 และค่าความสว่างของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด มีค่าอยู่ระหว่างน้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ 2 สูตร และมีค่าเฉลี่ยไปในทิศทางเหลืองอมน้ำเงิน ซึ่งน้ำยาสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ทั้ง 2 สูตรนี้จะให้เฉดสีของชิ้นงานเป็นสีเหลืองอมน้ำเงิน และสีเหลืองอมแดง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบสมบัติต่างๆ ของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวชนิดน้ำสำหรับอุตสาหกรรมโพลีเอทิลีน สามารถนำไปพัฒนาและปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ดังนี้

1. ศึกษาสมบัติของแวกซ์ชนิดอื่นๆเพิ่มเติม เช่น แวกซ์ที่มีอุณหภูมิการหลอมเหลวต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียสและสายโซ่มีกิ่งมาก เพื่อใช้เป็นแวกซ์ร่วมในน้ำยาสารลดแรงตึงผิวและทำให้น้ำยาสารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิม
2. ศึกษาตัวทำละลายร่วมชนิดอื่นๆเพิ่มเติม เพื่อให้ให้น้ำยาสารลดแรงตึงผิวแห้งตัวเร็วขึ้น ทำให้ไม่เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานจากการทำปฏิกิริยาของน้ำกับไอโซไซยาเนต
3. ศึกษาปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเพื่อปรับปรุงการแยกชั้นของน้ำยาสารลดแรงตึงผิว
4. ศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพของน้ำยาสารลดแรงตึงผิวให้สามารถใช้แรงดึงโพลีเอทิลีนได้เทียบเท่ากับน้ำยาสารลดแรงตึงผิวในเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] 2565. Global Polyurethane Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product (Rigid Foam, Flexible Foam), By Application (Construction, Furniture & Interiors), By region, And Segment Forecasts, 2022-2030. [Online]. Available : <https://www.researchandmarkets.com/reports/4118824/global-polyurethane-market-size-share-and-trends>.
- [2] 2566. Polyurethane Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Rigid Foam, Flexible Foam), By Application (Construction, Furniture & Interiors), By Region, And Segment Forecasts, 2022 – 2030. [Online]. Available : <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/polyurethane-pu-market>
- [3] 2566. Mold release agent markets by product type, application and region global forecast to 2027. [Online]. Available : [https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/mold-release-agents-market-39429520.html?gclid=EAlaIQobChMI-Yq8j8b7\\_gIVGpJmAh3-LA92EAAyAAEgJVP\\_D\\_BwE](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/mold-release-agents-market-39429520.html?gclid=EAlaIQobChMI-Yq8j8b7_gIVGpJmAh3-LA92EAAyAAEgJVP_D_BwE).
- [4] 2566. Global Mold Release Agents Market Outlook. [Online]. Available : <https://www.expertmarketresearch.com/reports/mold-release-agents-market>.
- [5] บริษัท ไชยเจริญเทค จำกัด. โพลียูรีเทนคืออะไร รู้จักคุณสมบัติ และข้อควรระวังในการใช้งาน. [Online]. Available : <https://www.chi.co.th/article/article-835/>.
- [6] นิตานาถ ตันตระภักดิ์ธรรมา. 2562. “การปรับสภาพพื้นผิวของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่มีองค์ประกอบของน้ำมันละหุ่งต่อกิ่งคองโกเรตด้วยเมทิลีนบลูเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจจับออกซิเจน” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [7] 2566. What Is Polyol What Are The Types of Polyol. [Online]. Available: <https://kimpur.com/en/what-is-polyol/>.
- [8] KURT C. FRISCH Jr. 2002. “Chemistry and technology of polyurethane adhesives” Adhesion Science and Engineering : 759-812

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] 2566. **What Is Polyol? What Are The Types of Polyol.** [Online]. Available: <https://kimpur.com/en/what-is-polyol/>.
- [10] 2566. **What Is Polyol? What Are The Types of Polyol.** [Online]. Available: <https://kimpur.com/en/what-is-polyol/>.
- [11] บริษัท ไชยเจริญเทคโนโลยี จำกัด. 2562. **โพลียูรีเทนคืออะไร รู้จักคุณสมบัติ และข้อควรระวังในการใช้งาน.** [Online]. Available : <https://www.chi.co.th/article/article-835/>.
- [12] Ansar Abbas, Chen Zhang, Guangwei Hu, Sameer Hussain, Reoxia Gao, Jing Li, Yang li, Silong Xu. 2022. “Facile formulation of sustainable and stable oil-in-dispersion emulsion: A release agent with high demolding efficacy.” *Chemical Engineering Journal Advances*. 2022(12) : 100394
- [13] Chem Trend. 2023. **Global leaders in mold release agents and application expertise.** [Online]. Available: <https://shorturl.asia/hL3MW>.
- [14] คณิตดา เมณฑกุล, ฐิติพร จิรานุวัฒน์วงศ์ และอรนุช อัจฉริยวงศ์เมธี. 2560. “วัสดุทดแทนยางรักในงานศิลปะจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปร” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [15] บริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด. 2566. **Carnauba Wax (คาร์นูบาแว็กซ์).** [Online]. Available: <https://shorturl.asia/RXQud>.
- [16] บริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด. 2566. **Paraffin wax (China) (ไขเทียน พาราฟิน แวกซ์).** [Online]. Available: <https://shorturl.asia/AFWbG>.
- [17] บริษัท ฮีโร่ไซน์ มาร์เก็ตติ้ง จำกัด. 2566. **PE Wax (โพลีเอททิลีนแว็กซ์).** [Online]. Available : [https://www.herosignmarketingth.com/Pe\\_Und\\_Wax/5fe9419d8539c30012fbec8](https://www.herosignmarketingth.com/Pe_Und_Wax/5fe9419d8539c30012fbec8).
- [18] NIPPON SEIRO CO., LTD. 2566. **What is FT wax?** [Online]. Available : [https://www.seiro.co.jp/en/product\\_en/list/detail?id=539](https://www.seiro.co.jp/en/product_en/list/detail?id=539).
- [19] บริษัท ฮีโร่ไซน์ มาร์เก็ตติ้ง จำกัด. 2566. **Surfactant สารทำความสะอาดที่หลายคนไม่รู้จัก.** [Online]. Available : <https://shorturl.asia/fwxNn>.
- [20] Anne Helmenstine. 2023. **Surfactant Definition and Examples.** [Online]. Available : <https://sciencenotes.org/surfactant-definition-and-examples/>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] Curious Minds. 2023. **Surfactants**. [Online]. Available: <https://www.sciencelearn.org.nz/images/1291-surfactants>.
- [22] รศ. ดร. ดวงดาว ฉันทศาสตร์ และ ผศ. ดร. วีรวัฒน์ ตีระณะชัยดีกุล. 2562. **ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวน้ำและเส้นผม**. [Online]. Available : <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/474/ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวน้ำและเส้นผม/>.
- [23] คณิตดา เมณฑกุล, ฐิติพร จิรานุวัฒน์วงศ์ และอรนุช อัจฉริยวงศ์เมธี. 2560. “วัสดุทดแทนยางรักในงานศิลปะจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปร” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์-บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [24] Harakal et al. **WATER BASED MOLD RELEASE COMPOSITIONS CONTAINING POLY(SILOXANE-GLYCOL) SURFACTANTS FOR MAKING POLYURETHANE FOAM ARTICLE IN A MOLD**. U.S 4936917. June 1990.
- [25] Fischer et al. **RELEASE AGENT AND PROCESS PERFORMABLE THEREWITH FOR THE PRODUCTION OF POLYURETHANE FOAM**. U.S 4609511. September 1986.
- [26] Torsten Henning, Schwerin (DE) **RELEASE AGENT AND ITS USE IN THE PRODUCTION OF POLYURETHANE MOLDINGS**. US 2007/0283844 A1 13 December 2007.
- [27] Masateru Chikazawa, Haruyuki Mizuno **AQUEOUS RELEASE AGENT COMPOSITION FOR MOLDING POLYURETHANE FOAM**. US 6,866,708 B2 15 March 2005.
- [28] Hidetoshi Kondo; Masahiro Takahashi **POLYOXYETHYLENE ALKYL ESTER FATTY ACIDAMIDE MODIFIED ORGANOPOLYSILOXANE COMPOSITION** U.S. 5,965,649 12 October 1999.
- [29] 2566 Polyurethane Molding [Online]. Available : <https://www.iqsdirectory.com/articles/polyurethane-molding.html>.
- [30] 2566 **ประเภทของน้ำยาถอดแบบแม่พิมพ์**. [Online]. Available : <https://eastern-produce.com/mold-release-application-article/>.
- [31] 2566 **คุณสมบัติของน้ำยาถอดแบบแม่พิมพ์ที่ดี ควรมีลักษณะดังนี้**. [Online]. Available : <https://eastern-produce.com/mold-release-application-article/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหาไม่พบเห็นแต่อย่างใด และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [32] สถาบันพลาสติก. 2566. **โครงการพัฒนาอุตสาหกรรมยางคอมพาวด์เพื่อยกระดับมูลค่าผลิตภัณฑ์ เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องมือแพทย์.** หน้า 11
- [33] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). 2561. **เคมีของน้ำหอม.** [Online]. Available : [https://www.scimath.org/article-chemistry/item/7851-2018-02-22-02-20-01#:~:text=อย่างที่กล่าวข้างต้น,ที่น้ำมันหอม%20\(Perfume%20oil\).](https://www.scimath.org/article-chemistry/item/7851-2018-02-22-02-20-01#:~:text=อย่างที่กล่าวข้างต้น,ที่น้ำมันหอม%20(Perfume%20oil).)
- [34] 2566. **อิมัลชัน (emulsion).** [Online]. Available : <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0674/emulsion-%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%A5%E0%B8%8A%E0%B8%B1%E0%B8%99>
- [35] 2566. **ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอิมัลชันหรือการผลิตครีม.** [Online]. Available : <http://www.skinbiotechthai.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539373425>

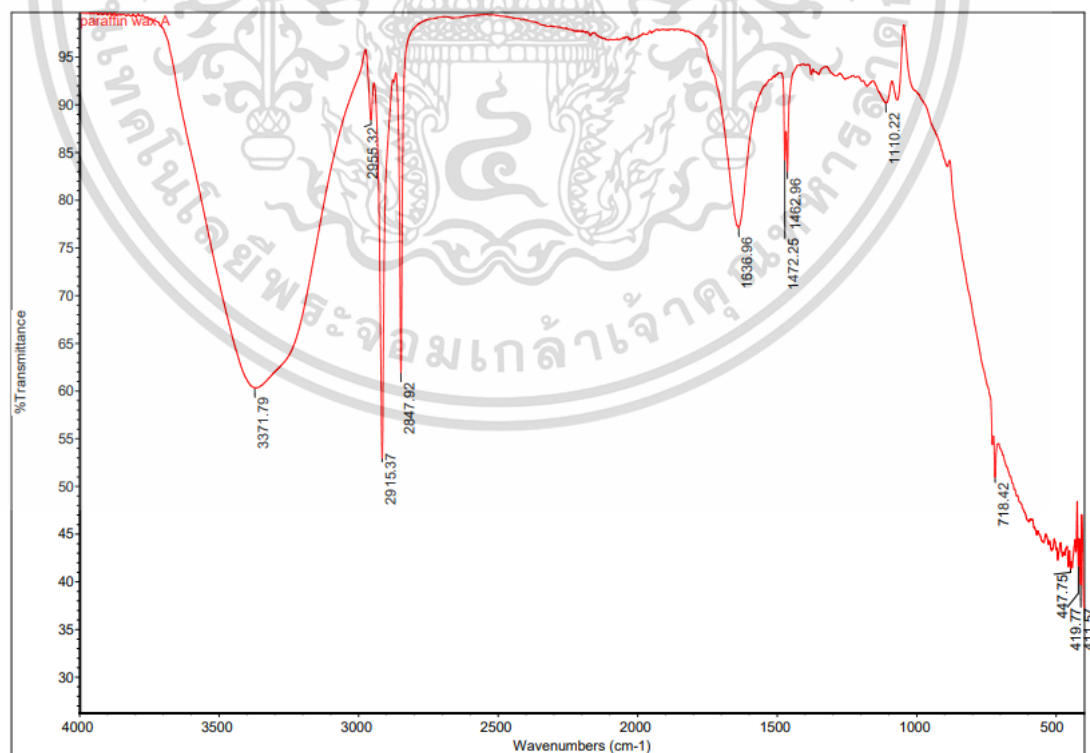
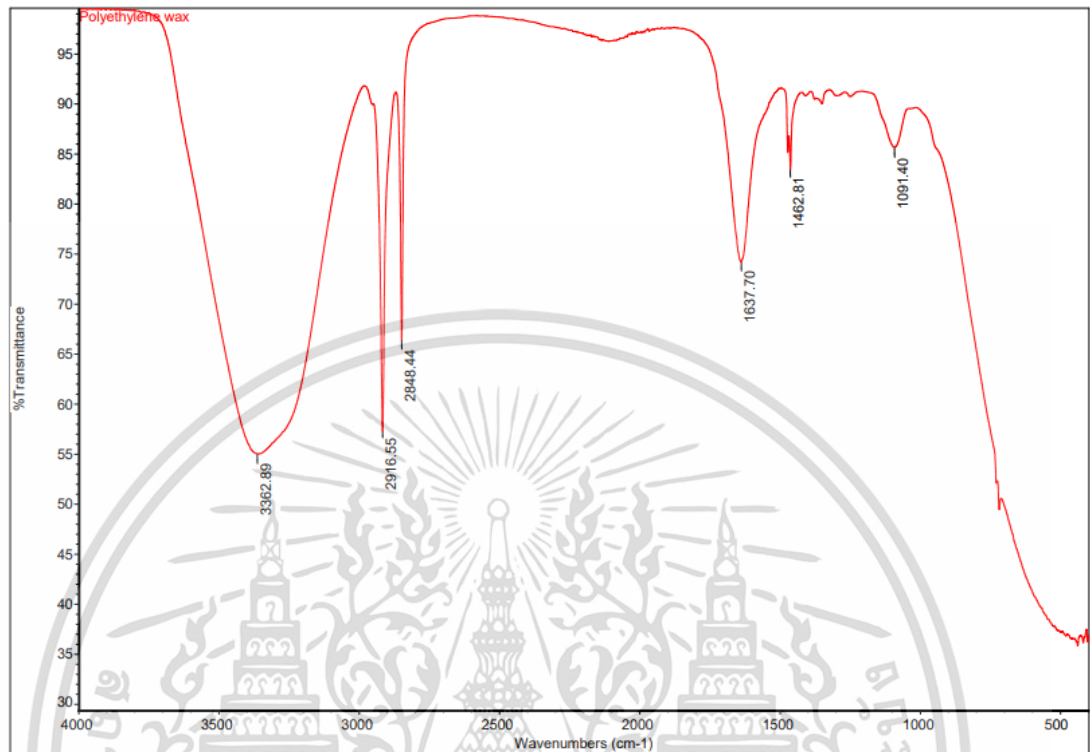
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
คำรับรองเล่มสหกิจศึกษา

วันที่...6...เดือน...มิถุนายน.....พ.ศ.2566...

ข้าพเจ้า นางสาว...วชิรญาณม์ แสนสรระน้อย.....รหัสประจำตัว 62050326.....

นางสาว...สิริกัทธ...เหล็กเพชร.....รหัสประจำตัว 62050337.....

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา...เคมีอุตสาหกรรม.....ภาควิชา...เคมี.....

ขอรับรองว่าสหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย.....การศึกษาน้ำยาสารถอดแบบชนิดน้ำสำหรับอุตสาหกรรมโฟมพอลิยูรีเทน.....

ชื่อภาษาอังกฤษ...Study of Water-Base Mold Release Agents for Polyurethane Foam Industry.....

ปีการศึกษา.....2565.....

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์.....1.67.....%

ลงชื่อ...วชิรญาณม์...แสนสรระน้อย.....

ลงชื่อ...สิริกัทธ...เหล็กเพชร.....

( นางสาววชิรญาณม์ แสนสรระน้อย )

( นางสาวสิริกัทธ เหล็กเพชร )

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร. ...อิทธิพล แจ่มชัด..... อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบสหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้านการคัดค้านใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารอาจารย์ที่ปรึกษาไปใช้

(รศ.ดร. อิทธิพล แจ่มชัด)