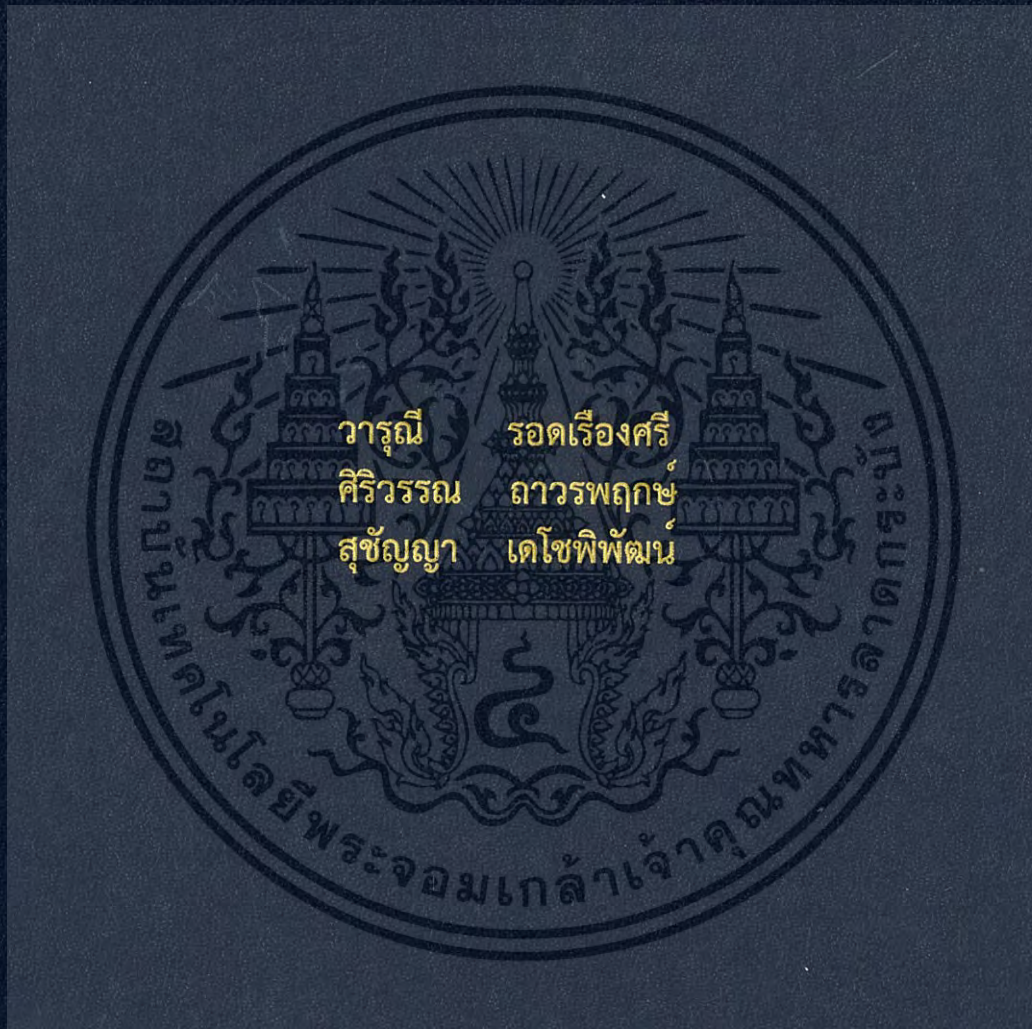


การพัฒนาสารเคลือบไม้จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์  
ดัดแปรไฮบริดอีพอกซีไซเลนแบบไม่ใช้สารเร่งแห้งโลหะ

Development of hybrid epoxy silane modified  
cashew nut shell liquid (CNSL) wood coatings  
without metal dryer



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

การพัฒนาสารเคลือบไม้จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์  
ดัดแปรไฮบริดอีพอกซีไซเลนแบบไม่ใช้สารเร่งแห้งโลหะ

Development of hybrid epoxy silane modified  
cashew nut shell liquid (CNSL) wood coatings  
without metal dryer



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of hybrid epoxy silane modified  
cashew nut shell liquid (CNSL) wood coatings  
without metal dryer



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BECHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                    |  |             |                       |
|--------------------|--|-------------|-----------------------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การพัฒนาสารเคลือบไม้จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปรไฮบริดอีพอกซีไซเลนแบบไม่ใช้สารเร่งแห้งโลหะ<br>Development of hybrid epoxy silane modified cashew nut shell liquid (CNSL) wood coatings without metal dryer |             |                       |
| ชื่อนักศึกษา       | นางสาววารุณี   | รอตเรืองศรี | รหัสนักศึกษา 55050802 |
|                    | นางสาวศิริวรรณ   | ถาวรพฤษ์    | รหัสนักศึกษา 55050819 |
|                    | นางสาวสุชัญญา  | เดโชพิพัฒน์ | รหัสนักศึกษา 55050832 |
| ปริญญา             | วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  |             |                       |
| ภาควิชา            | เคมีอุตสาหกรรม   |             |                       |
| ปีการศึกษา         | 2558   |             |                       |
| อาจารย์ที่ปรึกษา   | รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล  | แจ้งชัด     |                       |

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

|   |  |
|---|--|
| คณะกรรมการสอบ                                       | ลายมือชื่อ   |
| ผศ.ดร.ภัทรารุณ มนต์วิเศษ<br>ประธานกรรมการ           |    |
| ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์<br>กรรมการ                  |  |
| รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด<br>กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา |  |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                    |   |             |              |          |
|--------------------|---|-------------|--------------|----------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การพัฒนาสารเคลือบไม้จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปรไฮบริดอีพอกซีไซเลน แบบไม่ใช้สารเร่งแห้งโลหะ |             |              |          |
| ชื่อนักศึกษา       | นางสาววารุณี  | รอตเรืองศรี | รหัสนักศึกษา | 55050802 |
|                    | นางสาวศิริวรรณ  | ถาวรพฤษ์    | รหัสนักศึกษา | 55050819 |
|                    | นางสาวสุชญญา  | เดโชพิพัฒน์ | รหัสนักศึกษา | 55050832 |
| ปริญญา             | วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)   |             |              |          |
| ภาควิชา            | เคมี  |             |              |          |
| คณะ                | วิทยาศาสตร์   |             |              |          |
| มหาวิทยาลัย        | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)   |             |              |          |
| ปีการศึกษา         | 2558  |             |              |          |
| อาจารย์ที่ปรึกษา   | รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด   |             |              |          |

**บทคัดย่อ**

มะม่วงหิมพานต์ เป็นหนึ่งในพืชที่มีความสำคัญที่สุดทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell liquid, CNSL) เป็นสิ่งที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเปลือกที่เหลือทิ้ง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่พัฒนาสารเคลือบไม้ธรรมชาติจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แบบไม่ใช้สารเร่งแห้งโลหะที่เป็นอันตราย เริ่มต้นโดยดัดแปรโครงสร้างของน้ำมัน CNSL ด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) โดยใช้ความร้อน จากนั้นนำมาทำสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน (Hybrid epoxy silane modified CNSL) เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต (Cellulose acetate butyrate, CAB) ถูกใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติของสารเคลือบ ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax, OPE wax) ถูกใช้เพื่อลดความมันเงา (Gloss) โดยสารเคลือบที่ได้เมื่อเคลือบลงบนผลิตภัณฑ์แล้วผลิตภัณฑ์นั้นยังคงมีลักษณะเหมือนเนื้อไม้จริง โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติของสารเคลือบ ได้แก่ ปริมาณ CAB, อีพอกซี และแว็กซ์ สมบัติที่ศึกษาได้แก่ เวลาแห้งตัว (Drying time) การทนน้ำและน้ำร้อน (Water and hot water resistance) การยึดเกาะ (Adhesion) การทนกรดเบส (Acid-based resistance) ความมันเงา (Gloss) และการทนทานต่อการขัดถู (Scrub resistance) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ CAB ส่งผลให้เวลาในการแห้งตัว และการยึดเกาะของสารเคลือบดีขึ้น เมื่อปรับปริมาณอีพอกซีส่งผลให้สารเคลือบทนกรดและเบสได้ดีขึ้น สารเคลือบมีความมันเงาลดลง และสามารถทนทานต่อการขัดถูดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแว็กซ์ จากการทดลองพบว่า อัตราส่วน DCNSL : ไซเลน : อีพอกซี : CAB : OPE wax เท่ากับ 10 : 5 : 15 : 2 : 10 (โดยน้ำหนัก) ทำให้ได้สารเคลือบที่มีสมบัติดีที่สุด กล่าวคือเมื่อเคลือบผลิตภัณฑ์ไม้แล้วผลิตภัณฑ์นั้นยังคงมีลักษณะเหมือนเนื้อไม้จริง มีสมบัติทนน้ำ และการขัดถู สารเคลือบที่ได้มีศักยภาพที่ใช้เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์ไม้ที่ใช้ในครัวเรือนที่มีมูลค่าสูงได้

**คำสำคัญ :** เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปร สารเคลือบไม้ไฮบริดอีพอกซีไซเลน ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                      |  |              |            |          |
|----------------------|--|--------------|------------|----------|
| <b>Title</b>         | Development of hybrid epoxy silane modified cashew nut shell liquid (CNSL) wood coatings without metal dryer |              |            |          |
| <b>Students</b>      | Miss Varunee   | Rodruangsri  | Student ID | 55050802 |
|                      | Miss Siriwan   | Thavornphurk | Student ID | 55050819 |
|                      | Miss Suchanya  | Dechophiphat | Student ID | 55050832 |
| <b>Degree</b>        | Bachelor of Science (Industrial Chemistry)   |              |            |          |
| <b>Department</b>    | Chemistry  |              |            |          |
| <b>Faculty</b>       | Science  |              |            |          |
| <b>University</b>    | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)  |              |            |          |
| <b>Academic Year</b> | 2015   |              |            |          |
| <b>Advisor</b>       | Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud  |              |            |          |

### Abstract

Cashew nut is one of the most important crops with economic importance in Thailand. Cashew Nut Shell Liquid as known as CNSL oil is a by-product of the cashew nut industry. This work was focused on developing natural wood coatings from CNSL oil. Toxic metal dryers are prohibited to use in the coatings. First, CNSL was decarboxylated by heating. After that, decarboxylated CNSL (DCNSL) was modified to have hybrid epoxy-silane structures. Cellulose acetate butyrate (CAB) was used to improve properties of the modified CNSL coatings. As required to have natural-wood looking, oxidized polyethylene wax (OPE wax) was also added to lower the gloss of the coatings. Factors affecting the coating properties were studied including CAB, epoxy resin, and OPE wax loadings. Several properties of coatings were studied, such as, drying time, water and hot water resistance, adhesion, acid-based resistance, gloss and scrub resistance. It was found that drying time and adhesion were improved by increasing CAB loading. By varying epoxy resin amount, acid-base resistance of the coating was increased. As the wax loading was increased, gloss and scrub resistance were improved. It appeared that the best wood coating could be achieved by an optimum ratio of 10 : 5 : 15 : 2 : 10 (DCNSL : silane : epoxy : CAB : wax by weight ratio). Wood products coated with hybrid epoxy silane modified CNSL showed natural-wood look with good water and scrub resistance. It seemed to be a promising coating for high-value household wood products.

**Keyword :** Cellulose acetate butyrate (CAB), Modified cashew nut shell liquid (CNSL), Hybrid epoxy silane CNSL wood coating, Oxidized polyethylene wax (OPE wax)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าเป็นที่ปรึกษา และให้คำแนะนำเป็นอย่างดี ตลอดจนแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังดำเนินการทำวิจัยนี้ เพื่อให้รายงานวิจัยฉบับนี้สมบูรณ์ และถูกต้องมากยิ่งขึ้น จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทธานุช มนต์วิเศษ ประธานกรรมการสอบโครงการพิเศษ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบโครงการพิเศษ โดยได้ให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อผิดพลาดให้โครงการพิเศษฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัท ชบาทรี ที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ในงานวิจัยตลอดการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ คุณวัฒนา คล้ายรัศมี ที่ช่วยจัดหาสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง พร้อมทั้งให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำทดลอง รวมทั้งให้ความรู้ และข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก ตลอดจนสถานที่ในการจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ ในภาควิชาเคมี ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจอย่างสม่ำเสมอแก่คณะวิจัย ทำให้การทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

วารุณี รอดเรืองศรี  
ศิริวรรณ ถาวรพฤษ์  
สุชญญา เดโชพิพัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 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 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....                                       | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....   | 4        |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....   | 4        |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....   | 5        |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....                               | <b>6</b> |
| 2.1 สารเคลือบผิว.....  | 6        |
| 2.1.1 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว.....   | 6        |
| 2.1.2 ประเภทของสารเคลือบ (Types of surface coating).....                         | 6        |
| 2.1.3 องค์ประกอบหลักของสารเคลือบผิว.....   | 8        |
| 2.1.4 การแห้งของสารเคลือบผิว.....  | 10       |
| 2.1.5 ข้อบกพร่องที่เกิดกับสารเคลือบ.....   | 11       |
| 2.2 มะม่วงหิมพานต์ ( <i>Cashew, Anacardium occidentale L.</i> ).....             | 15       |
| 2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....                    | 15       |
| 2.2.2 การสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....                                | 16       |
| 2.2.3 ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....           | 18       |
| 2.2.4 ประโยชน์ของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....                            | 20       |
| 2.2.5 คุณลักษณะเด่นของสารพอลิเมอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์..... | 21       |
| 2.3 อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin).....  | 22       |
| 2.3.1 สมบัติและข้อดีของอีพอกซีเรซิน.....   | 22       |
| 2.3.2 อีพอกซีเรซินชนิด 2 ส่วน (Two-package epoxy coating).....                   | 23       |
| 2.3.3 การใช้งานของอีพอกซีเรซินในอุตสาหกรรมเคลือบผิว.....                         | 24       |
| 2.4 เซลลูโลสอะซิเตตบิวทีเรต (Cellulose acetate butyrate, CAB).....               | 24       |
| 2.4.1 ชนิดของเซลลูโลสเอสเทอร์.....   | 25       |
| 2.4.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเซลลูโลสเอสเทอร์ในสารเคลือบ.....                      | 25       |
| 2.4.3 เซลลูโลสเอสเทอร์ในรูปฟิล์ม, ดัดแปรหรือสารเติมแต่ง.....                     | 26       |
| 2.4.4 ประโยชน์สำหรับเซลลูโลสเอสเทอร์ในสารเคลือบ.....                             | 26       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า      |
|--|-----------|
| 2.4.5 การทดสอบเซลลูโลสเอสเทอร์.....  | 27        |
| 2.5 ซิเลน (Silane).....  | 27        |
| 2.5.1 กลไกการยึดเกาะของซิเลน .....   | 28        |
| 2.5.2 การเลือกชนิดซิเลน .....  | 28        |
| 2.6 ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ (Oxidized polyethylene wax, OPE Wax).....                        | 28        |
| 2.6.1 การสังเคราะห์พอลิเอทิลีนแวกซ์.....   | 28        |
| 2.6.2 กลไกการทำงานของแวกซ์.....  | 28        |
| 2.6.3 สมบัติของแวกซ์ .....   | 29        |
| 2.6.4 การรวมตัวของแวกซ์ในสารเคลือบ .....   | 29        |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....   | 30        |
| <b>บทที่ 3</b> วิธีการดำเนินงานวิจัย.....  | <b>33</b> |
| 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....  | 33        |
| 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....  | 33        |
| 3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....   | 34        |
| 3.3.1 ตอนที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันและปรับปรุงโครงสร้าง<br>โดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน..... | 34        |
| 3.3.1.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน .....   | 34        |
| 3.3.1.2 การปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน .....                              | 36        |
| 3.3.2 ตอนที่2 การเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีซิเลน .....                                       | 37        |
| 3.3.2.1 การศึกษาผลของปริมาณเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต.....  | 37        |
| 3.3.2.2 การศึกษาผลของปริมาณอีพอกซีเรซิน .....  | 38        |
| 3.3.2.3 การศึกษาผลของปริมาณออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ .....                                     | 38        |
| 3.3.2.4 การทดสอบลักษณะและสมบัติของสารเคลือบผิว .....   | 39        |
| 3.3.2.4.1 การทดสอบความหนืด.....  | 39        |
| 3.3.2.4.2 การทดสอบเวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบ.....  | 40        |
| 3.3.2.4.3 การวัดความหนาของสารเคลือบ .....  | 40        |
| 3.3.2.4.4 การทดสอบการทนน้ำ.....  | 41        |
| 3.3.2.4.5 การทดสอบการทนน้ำร้อน .....   | 41        |
| 3.3.2.4.6 การทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบ .....   | 42        |
| 3.3.2.4.7 การทดสอบการทนกรดต่าง.....  | 43        |
| 3.3.2.4.8 การทดสอบความมันเงา .....   | 43        |
| 3.3.2.4.9 การทดสอบการทนทานต่อการขัดถู.....   | 44        |
| <b>บทที่ 4</b> ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....  | <b>45</b> |
| 4.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันและปรับปรุงโครงสร้าง<br>โดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน .....           | 45        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า      |
|---|-----------|
| 4.2 การเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน .....  | 53        |
| 4.2.1 การศึกษาผลของปริมาณเซลล์โลสอะซิเทตบิวทิเรต.....   | 55        |
| 4.2.1.1 การวัดความหนา.....  | 57        |
| 4.2.1.2 การทดสอบการทนน้ำและการทนน้ำร้อน .....   | 58        |
| 4.2.1.3 การทดสอบการทนกรด-เบส .....  | 59        |
| 4.2.2 การศึกษาผลของปริมาณอีพอกซีเรซิน.....  | 61        |
| 4.2.3 การศึกษาผลของปริมาณออกซีไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์.....   | 62        |
| 4.2.3.1 การทนทานต่อการขัดถู .....   | 63        |
| 4.3 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตสารเคลือบ<br>ที่ได้จากงานวิจัยและสารเคลือบในอุตสาหกรรม..... | 63        |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>  | <b>65</b> |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....   | 65        |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....   | 67        |
| เอกสารอ้างอิง .....   | 68        |
| ภาคผนวก .....   | 71        |
| ภาคผนวก ก. การเตรียมสารละลายกรดซัลฟูริก.....  | 72        |
| ภาคผนวก ข. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ .....   | 73        |
| ภาคผนวก ค. สเปกตรัมของ DCNSL ที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที.....                                     | 74        |
| ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS และการคำนวณหาปริมาณ<br>คาร์บอนอลใน CNSL.....                      | 75        |
| ภาคผนวก จ. สเปกตรัมแสดงหมู่ฟังก์ชันของสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน.....                                      | 90        |
| ภาคผนวก ฉ. การคำนวณ %Retention และ %Change .....  | 91        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน.....  | 36   |
| 3.2 สัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเคลือบอีพอกซีไซเลน<br>โดยปรับปริมาณ CAB.....                                | 37   |
| 3.3 สัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเคลือบอีพอกซีไซเลนโดยปรับปริมาณ<br>อีพอกซีเรซิน.....                        | 38   |
| 3.4 สัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเคลือบอีพอกซีไซเลนโดยปรับปริมาณ<br>ออกซีไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์.....           | 39   |
| 3.5 การจัดลำดับความบกพร่องของสารเคลือบจากการกรีดเป็นตาราง .....   | 42   |
| 4.1 สรุปหมู่ฟังก์ชันจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ของ CNSL และ DCNSL<br>ทั้ง 2 สภาวะ.....                                 | 47   |
| 4.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน CNSL และ DCNSL ในงานวิจัย.....   | 53   |
| 4.3 ผลจากสัดส่วนของ CAB ที่มีต่อเวลาในการแห้งตัวและการยึดเกาะของสารเคลือบ .....   | 55   |
| 4.4 ตารางความหนาของสารเคลือบ .....  | 57   |
| 4.5 ผลการทดสอบการทนน้ำของสารเคลือบ .....  | 58   |
| 4.6 ผลความมันเงาจากการทดสอบการทนน้ำร้อนของสารเคลือบ.....  | 58   |
| 4.7 ผลการทดสอบการทนกรด-เบสของสารเคลือบ .....  | 60   |
| 4.8 ผลจากสัดส่วนของอีพอกซีต่อการทดสอบการทนกรด-เบสของสารเคลือบ.....  | 61   |
| 4.9 ผลจากสัดส่วนของออกซีไดซ์แวกซ์ต่อความมันเงาของสารเคลือบ .....  | 62   |
| 4.10 ผลจากสัดส่วนของออกซีไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ต่อความทนทานต่อการขีดถู .....  | 63   |
| 4.11 ราคาต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน.....   | 64   |
| 5.1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ทำให้ได้สารเคลือบที่มีสมบัติดีที่สุด .....   | 66   |
| 5.2 สรุปสมบัติสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลนเทียบกับสารเคลือบเกรดการค้า.....   | 66   |
| ง.1 พื้นที่พืคของสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.1-1 mg/cm <sup>3</sup> .....  | 81   |
| ง.2 พื้นที่พืคของตัวอย่าง CNSL ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างและปรับปรุงโครงสร้าง<br>ที่สภาวะ 140 และ 160 องศาเซลเซียส..... | 88   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 1.1 ผลเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....  | 1    |
| 1.2 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ .....   | 1    |
| 1.3 โครงสร้างน้ำมันอูรูซี .....   | 2    |
| 1.4 โครงสร้างทางเคมีของ CNSL.....   | 3    |
| 1.5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากไม้เคลือบน้ำมันธรรมชาติ .....   | 3    |
| 2.1 โครงสร้างโมเลกุลทั่วไปของไตรกลีเซอไรด์ .....  | 7    |
| 2.2 ผลและเปลือกของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....  | 15   |
| 2.3 สูตรโครงสร้างและสัดส่วนโดยประมาณของสารองค์ประกอบของ CNSL.....                                 | 16   |
| 2.4 ปฏิกริยาดีคาร์บอกซิเลชันของกรดอนุคาร์ดิกเปลี่ยนเป็นคาร์ดานอล.....                             | 20   |
| 2.5 โครงสร้างทั่วไปของอีพอกซีเรซิน .....  | 22   |
| 2.6 โครงสร้างคุณสมบัติของอีพอกซีเรซินจากกระบวนการ Thermosetting.....                              | 23   |
| 2.7 โครงสร้างของเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต.....  | 26   |
| 2.8 โครงสร้างพื้นฐานของไซเลน .....  | 27   |
| 2.9 โครงสร้างออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์.....   | 28   |
| 3.1 การตั้งชุดอุปกรณ์การปรับปรุงโครงสร้าง CNSL .....  | 36   |
| 3.2 ถ้วยโหวาดะ.....   | 40   |
| 3.3 เครื่อง Coating thickness gauge.....  | 40   |
| 3.4 แผ่นโลหะที่ทำสารเคลือบ .....  | 40   |
| 3.5 การทดสอบการทนน้.....  | 41   |
| 3.6 การทดสอบการทนน้ร้อน.....  | 41   |
| 3.7 การทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบ.....   | 42   |
| 3.8 การทดสอบการทนกรดต่าง .....  | 43   |
| 3.9 เครื่อง Specular glossmeter.....  | 43   |
| 3.10 การทดสอบการทนทานต่อการขีดถู.....   | 44   |
| 4.1 การเปรียบเทียบสเปกตรัม FT-IR ของ CNSL และ DCNSL.....  | 46   |
| 4.2 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐาน<br>ที่มีความเข้มข้น 0.1 mg/cm <sup>3</sup> ..... | 48   |
| 4.3 Chromatogram และ Mass spectrum ของ CNSL.....  | 49   |
| 4.4 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL ที่สภาวะ 140 องศาเซลเซียส<br>เป็นเวลา 30 นาที.....   | 50   |
| 4.5 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส<br>เป็นเวลา 30 นาที.....   | 50   |
| 4.6 กราฟแสดงปริมาณคาร์ดานอลที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS<br>ระหว่าง CNSL และ DCNSL.....            | 51   |

เอกสาร 4.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน.....ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 52 การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.8 สมมติฐานกลไกที่คาดว่าจะเกิดปฏิกิริยาของสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน .....   | 54   |
| 4.9 ลำดับความบกพร่องของสารเคลือบจากการกรีดเป็นตาราง .....  | 56   |
| 4.10 สมมติฐานโครงสร้างของสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลนและ CAB<br>ที่ส่งผลต่อการแห้งตัวและการยึดเกาะของสารเคลือบบนไม้ ..... | 57   |
| 4.11 ตัวอย่างของสารเคลือบทนน้ำร้อนและไม่ทนน้ำร้อน .....  | 59   |
| 4.12 ระดับการถูกทำลายจากกรดและเบสของสารเคลือบ .....  | 60   |
| ค. สเปกตรัมของ DCNSL ที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที.....  | 74   |
| ง.1 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐาน<br>ที่มีความเข้มข้น 0.1 mg/cm <sup>3</sup> ครั้งที่ 1 .....             | 75   |
| ง.2 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐาน<br>ที่มีความเข้มข้น 0.1 mg/cm <sup>3</sup> ครั้งที่ 2 .....             | 76   |
| ง.3 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐาน<br>ที่มีความเข้มข้น 0.5 mg/cm <sup>3</sup> ครั้งที่ 1 .....             | 77   |
| ง.4 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐาน<br>ที่มีความเข้มข้น 0.5 mg/cm <sup>3</sup> ครั้งที่ 2 .....             | 78   |
| ง.5 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐาน<br>ที่มีความเข้มข้น 1.0 mg/cm <sup>3</sup> ครั้งที่ 1 .....             | 79   |
| ง.6 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐาน<br>ที่มีความเข้มข้น 1.0 mg/cm <sup>3</sup> ครั้งที่ 2 .....             | 80   |
| ง.7 กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานคาร์ดานอล.....   | 81   |
| ง.8 Chromatogram และ Mass spectrum ของ CNSL ครั้งที่ 1 .....   | 82   |
| ง.9 Chromatogram และ Mass spectrum ของ CNSL ครั้งที่ 2 .....   | 83   |
| ง.10 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL<br>ที่สภาวะ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 1 .....             | 84   |
| ง.11 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL<br>ที่สภาวะ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2 .....             | 85   |
| ง.12 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL<br>ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 1 .....             | 86   |
| ง.13 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL<br>ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2 .....             | 87   |
| จ. สเปกตรัมแสดงหมู่ฟังก์ชันของสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน.....   | 90   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย   |
|-----------------|--|
| CNSL            | น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell liquid)  |
| CAB             | เซลลูโลสอะซิเตตบิวทีเรต (Cellulose acetate butyrate )  |
| phr             | สัดส่วนปริมาณสารต่างๆ เมื่อเทียบกับเรซิน 100 ส่วน (Parts per hundred parts of resin)   |
| OPE Wax         | ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax)   |
| FT-IR           | เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform-infrared spectrometer)                                      |
| GC-MS           | เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas chromatograph-Mass spectrometer)  |
| DCNSL           | น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylated cashew nut shell liquid) |
| DF              | Dust free dry  |
| TF              | Touch free dry   |
| HD              | Harden dry   |
| ✓               | สารเคลือบสามารถทนต่อสมบัติอื่นๆ ได้  |
| ✗               | สารเคลือบไม่สามารถทนต่อสมบัติอื่นๆ ได้   |
| ○               | สารเคลือบไม่ถูกทำลาย (0%)  |
| ◉               | สารเคลือบถูกทำลาย 1-20%  |
| ◐               | สารเคลือบถูกทำลาย 21-40%   |
| ◑               | สารเคลือบถูกทำลาย 41-60%   |
| ◒               | สารเคลือบถูกทำลาย 61-80%   |
| ◓               | สารเคลือบถูกทำลาย 81-100%  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันพอลิเมอร์มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เช่น สิ่งทอ, พลาสติก, ยาง, สี, ทางการแพทย์, การเกษตร, สารเคลือบ เป็นต้น โดยพอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่นำมาใช้งานได้มาจากการสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจึงสามารถควบคุมคุณภาพ และออกแบบโครงสร้างตามต้องการได้ แต่เนื่องจากสารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ดังกล่าวย่อยสลายได้ยาก ก่อให้เกิดการตกค้าง และเป็นสาเหตุให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาพอลิเมอร์ทางชีวภาพ (Biopolymers) เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมาจากธรรมชาติที่ใช้ไม่หมดสิ้น บางชนิดสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีหลายกลุ่มงานวิจัยให้ความสนใจเป็นอย่างมากในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวที่มาจากวัสดุธรรมชาติ จึงได้มีการศึกษานำวัสดุธรรมชาติ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันละหุ่ง (Castor oil) และน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell liquid หรือ CNSL) [1] มาพัฒนา และปรับปรุงเพื่อใช้งานเป็นสารเคลือบผิวที่มีสมบัติความทนทานต่ออากาศ น้ำ และสารเคมีต่างๆ รวมถึงเพิ่มความสวยงามให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้น และอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ปัจจุบันสารเคลือบผิวดังกล่าวได้ถูกพัฒนาให้สามารถนำมาใช้กับวัสดุได้หลากหลายชนิด เช่น ไม้, พลาสติก, คอมโพสิต, โลหะ, เซรามิกส์ และอื่นๆ



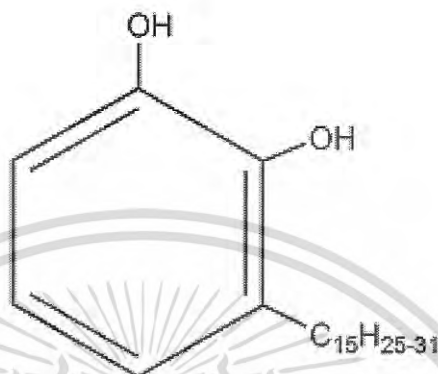
รูปที่ 1.1 ผลเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ [2]



รูปที่ 1.2 เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ [3]

น้ำมันอูรูชิ (Urushiol oil) เป็นสารเคลือบผิวธรรมชาติประเภทหนึ่งจากยางไม้ญี่ปุ่น สามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบไม้ที่นิยมอย่างมาก แต่เนื่องจากน้ำมันอูรูชิเป็นวัสดุที่ไม้สามารถหาได้ในเอกราชเป็นเอกลักษณ์ของวัสดุที่พบการแข็งตัวเพื่อการเคลือบไม้ ซึ่งอยู่เหนือระดับของชั้นการเคลือบไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

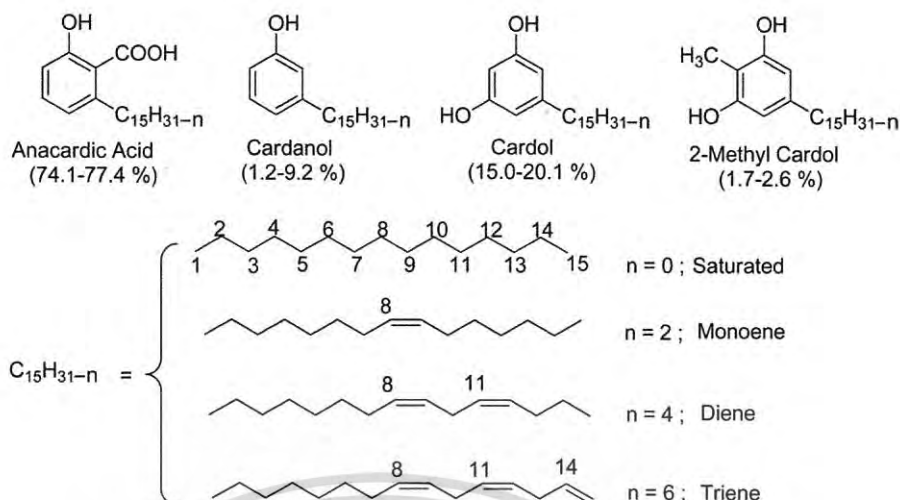
ประเทศ และมีราคาสูง จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงได้มีการหาสารทดแทนที่มีโครงสร้าง และสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันอูรูซี และเป็นวัตถุดิบที่หาได้ในประเทศ ซึ่งน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เป็นวัสดุหนึ่งที่มีสมบัติ และโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกับน้ำมันอูรูซี จึงได้ทำการศึกษา และพัฒนาเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการทำสารเคลือบ [4]



รูปที่ 1.3 โครงสร้างน้ำมันอูรูซี [5]

มะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งได้รับการส่งเสริมเป็นพืชอุตสาหกรรม ในการนำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาแปรรูปนั้น ประกอบด้วยขั้นตอน คือ การเตรียมเมล็ด การกะเทาะเปลือก การอบเมล็ดเนื้อใน การลอกเยื่อ การคัดเกรด และการบรรจุเพื่อจำหน่าย ในส่วนของขั้นตอนการกะเทาะเปลือกเมล็ดเป็นส่วนที่เหลือทิ้งหลังจากเอาเมล็ดเนื้อในออกแล้ว ซึ่งมีจำนวนมาก และเป็นปัญหาต่อเกษตรกร และผู้ประกอบการในการกำจัด นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมด้วย ในความเป็นจริงแล้วเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีความสำคัญ และคุณประโยชน์รองลงมาจากเมล็ดเนื้อใน เพราะสามารถนำไปสกัดน้ำมันจากเปลือกได้ โดยน้ำมันที่ได้มีชื่อเรียกว่า น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) ในอุตสาหกรรมมีการนำน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มาประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบมากมาย เช่น ใช้ผสมสีทาป้องกันเชื้อรา, ผสมสีที่ใช้ในการพิมพ์ธนบัตร, ทำกระเบื้องปูพื้น, ทำกาวชนิดพิเศษ [6] ใช้เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตไม้อัด, เป็นสารเคลือบผิว และเป็นสารมัธยันตร์ (Intermediate) ในอุตสาหกรรมด้านเคมี เนื่องจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีโครงสร้างใกล้เคียงกับน้ำมันอูรูซี ซึ่งเป็นต้นไม้ในตระกูลเดียวกัน จึงคาดว่ามีสมบัติใกล้เคียงกัน และเป็นวัตถุดิบที่สามารถหาได้ในประเทศ [4] พบว่าองค์ประกอบของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ได้แก่ กรดอนาคาร์ดิก (Anacardic acid), คาร์ดานอล (Cardanol), คาร์ดอล (Cardol) และ 2-เมทิลคาร์ดอล (2-Methyl cardol) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของฟินอลที่มีสายโซ่ข้างเคียงเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัวจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารพอลิเมอร์ที่ใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน [7] จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เป็นตัวเลือกหนึ่งที่มีความสำคัญในการสร้างมูลค่าเพิ่มในอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 โครงสร้างทางเคมีของ CNSL [8]

ไม้เป็นวัสดุแข็งที่ทำจากแก่นลำต้นของต้นไม้ที่มีองค์ประกอบทางเคมีคือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสมีน้ำตาลหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ [9] ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของแมลง และเชื้อรา นอกจากนี้ไม้ยังมีโครงสร้างเป็นรูพรุน และความชื้น ทำให้ไม่สามารถทนน้ำได้ เมื่อนำไม้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเคลือบผิวไม้ เพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และทนต่อการถูกทำลายจากแมลงและเชื้อรา

จากงานวิจัยก่อนหน้าของโครงการพิเศษภาควิชาเคมี (สจล.) ปีการศึกษา 2557 [4] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาทำเป็นสารเคลือบบนผิวไม้สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์และเครื่องครัว เช่น ชาม ช้อน เขียง ฝาขวดแก้ว ถ้วยน้ำซุบ เป็นต้น โดยในงานวิจัยดังกล่าวได้มีการปรับปรุง และพัฒนาน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สำหรับใช้เป็นสารเคลือบหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การดัดแปรโครงสร้างเป็นสารเคลือบแบบพอลิยูรีเทน (Urethane modified CNSL) และสารเคลือบที่เป็นโครงสร้างผสมระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นไฮบริดอีพอกซีไซเลน (Epoxy silane modified CNSL) แต่เนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการใช้สารเร่งแห้ง (Metal dryer) ที่มีส่วนประกอบของโลหะหนัก (อันได้แก่ Manganese, Zirconium, Cobalt, Calcium) ซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปใช้เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน [4]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้ดูแลเห็นแบบฉบับประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก **รูปที่ 1.5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากไม้เคลือบน้ำมันธรรมชาติ** [10] ครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาต่อเนื่องในการเตรียมสารเคลือบผิวไม้ที่พัฒนามาจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยให้โครงสร้างเป็นไฮบริดอีพอกซีไซเลนแบบไม่ใช้สารเร่งแห้งที่มีส่วนประกอบของโลหะ ปรับปรุงโดยการใช้เรซินร่วม (Co-resin) ที่ได้รับการดัดแปรจากธรรมชาติ ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต (Cellulose acetate butyrate หรือ CAB) นอกจากนี้ยังมีการใช้ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax หรือ OPE Wax) ทำการปรับปรุงสมบัติความมันเงา ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การหาปริมาณที่เหมาะสมของเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต อีพอกซี และออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ เพื่อให้ได้สารเคลือบที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในครัวเรือน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการเตรียมสารเคลือบไม้ที่พัฒนามาจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) ชนิดดัดแปรแบบไม่ใช้สารเร่งแห้งโลหะหนัก เพื่อใช้งานในผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน โดยศึกษาการดัดแปรโครงสร้างเป็นไฮบริดอีพอกซีไซเลน (Hybrid epoxy silane modified CNSL) เพื่อให้ได้สารเคลือบที่สามารถแห้งตัวได้เร็ว สามารถทนน้ำ-น้ำร้อน มีการยึดเกาะที่ดี และมีความมันเงาต่ำ ตัวผลิตภัณฑ์ยังคงมีลักษณะเหมือนเนื้อไม้จริง

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาทำสารเคลือบ

1.3.2 การดัดแปรโครงสร้าง CNSL โดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันและตรวจวิเคราะห์สมบัติต่างๆของ CNSL

1.3.2.1 การตรวจวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของ CNSL

1.3.2.2 การดัดแปรโครงสร้าง CNSL โดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

1.3.2.3 การตรวจวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของ DCNSL

1.3.3 การพัฒนาสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน (Hybrid epoxy silane modified CNSL)

1.3.3.1 ผลของปริมาณเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต (0, 5, 10, 15, 20 phr)

1.3.3.2 ผลของปริมาณอีพอกซี (100, 150, 200 phr)

1.3.3.3 ผลของปริมาณออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (0, 50, 100 phr)

1.3.3.4 การทดสอบลักษณะและสมบัติต่างๆ ของสารเคลือบผิว ได้แก่ เวลาในการแห้งตัว (Drying time), ความหนืด (Viscosity), ความมันเงา (Gloss), การยึดเกาะ (Adhesion), การทนกรด-เบส (Acid-based resistance), การทนน้ำ-น้ำร้อน (Water and hot water resistance) และการทนทานต่อการขัดถู (Scrub resistance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถพัฒนาได้สูตรสารเคลือบจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เพื่อเคลือบผลิตภัณฑ์ไม้ แล้วผลิตภัณฑ์นั้นยังคงมีลักษณะเหมือนเนื้อไม้จริง

1.4.2 เพื่อนำของเหลือจากอุตสาหกรรมเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มาดัดแปรเป็นสารเคลือบเพื่อเพิ่มมูลค่าของเหลือจากอุตสาหกรรมเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

1.4.3 ใช้ความรู้ที่ได้ในการพัฒนาวัตถุดิบธรรมชาติมาทำเป็นสารเคลือบเพื่อลดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถใช้ได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 สารเคลือบผิว

สารเคลือบผิว (Surface coating) คือ ของเหลวเหนียวใสเมื่อเคลือบลงบนพื้นผิวแล้วเกิดเป็นฟิล์มบางๆ หลังการแห้งตัว ซึ่งเกิดการยึดเกาะระหว่างสารเคลือบด้วยตัวเอง และระหว่างสารเคลือบกับพื้นผิววัสดุ

#### 2.1.1 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว [11]

- เพื่อความสวยงามของผลิตภัณฑ์ สารเคลือบช่วยปิดบังความไม่เรียบร้อย และไม่สวยงามของพื้นผิวผลิตภัณฑ์
- เพื่อปกป้องผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ สารเคลือบทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงทนต่อการขีดข่วน และการขัดสีได้มากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีความทนทานต่อน้ำ อากาศ และสารเคมี นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเป็นเชื้อราและการผุกร่อน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น
- เพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษ ซึ่งการเลือกใช้สารเคลือบนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทำงาน เช่น การเคลือบผิวผลไม้ ช่วยลดการสูญเสียวิตามินและแร่ธาตุที่มีอยู่ในผลไม้ ด้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ และลดการสูญเสียน้ำหนักของผลไม้ เป็นต้น

#### 2.1.2 ประเภทของสารเคลือบ (Types of surface coating) [11]

สารเคลือบโดยแบ่งตามประเภทพอลิเมอร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- สารเคลือบแบบเทอร์โมพลาสติก สารเคลือบชนิดนี้จะสามารถแข็งตัวได้โดยการระเหยของตัวทำละลาย ซึ่งปราศจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เมื่อโดนความร้อนสารเคลือบเกิดอ่อนตัวแล้วกลับสู่สภาพของเหลว ความยืดหยุ่นตัวสูง และง่ายต่อการเจือจางในสารละลาย
- สารเคลือบแบบเทอร์โมเซต สารเคลือบชนิดนี้เมื่อได้รับความร้อนหรือปฏิกิริยาทางเคมีเกิดการแข็งตัว และเมื่ออยู่ในสภาพแข็งตัวดังกล่าวไม่กลับสู่สภาพของเหลวเมื่อได้รับความร้อนอีกครั้งหนึ่ง โดยทั่วไปสารเคลือบแข็ง และทนต่อสารละลายต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

สารเคลือบโดยแบ่งตามประเภทวัสดุ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สารเคลือบจากธรรมชาติ คือ สารเคลือบที่ผลิตจากเรซินธรรมชาติ มีวัตถุดิบที่สกัดจากยางต้นไม้หรือปลดปล่อยออกมาจากแมลง ได้แก่

- เซลแลค (Shellac) เป็นสารคัดหลั่งธรรมชาติที่ได้จากแมลงครั่ง มีคุณสมบัติหลายประการ เช่น มีความเงางาม, สามารถยึดกับพื้นผิวได้หลายชนิด, กันความร้อนและไฟฟ้าได้ รวมทั้งการละลายที่ขึ้นกับค่าพีเอช จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานได้หลายประเภท เช่น ทาผิวไม้เพื่อให้เกิดความสวยงามของลายไม้ มีความยืดหยุ่น ทนทานดี ทาง่ายและแห้งเร็ว นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ปกปิด

เยกสารนี้ไปใช้เคลือบผลไม้กับขี้ผึ้ง เพื่อป้องกันไม่ให้ผลไม้แห้งเกินไป [12] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อำพัน (Amber) เป็นซากดึกดำบรรพ์ของยางไม้ ซึ่งมีส่วนประกอบของเทอร์เพนทีน (Turpentine), น้ำ และกรดเรซิน (Resinous acid) เมื่อเวลาผ่านไปเทอร์เพนทีนและน้ำระเหยออกไปจนหมด เหลือแต่เรซินซึ่งมีความทนทานต่อความชื้น ความร้อน และอากาศ ยางไม้ทับถมกันเป็นเวลาหลายพันปี ทำให้เรซินเหล่านี้นกลายเป็นอำพันในที่สุด ซึ่งอำพันที่เกิดขึ้นนั้นมีรูปร่าง และขนาดที่แตกต่างกันนิยมมาทำเป็นอัญมณีและเครื่องประดับ [13]

- ชันสน (Rosin or colophony) เป็นสารชนิดหนึ่งซึ่งสกัดมาจากยางไม้ของพืชตระกูลสน ประกอบด้วยกรดโรซินอิสระ (Free rosin acid) 90% ส่วนที่เหลือได้แก่สารประกอบที่เป็นกลาง สารพวกเทอร์พีนที่เกิดออกซิเดชัน แอนไฮไดรด์ และเอสเทอร์ [11] เรซินชันสนเป็นเรซินที่มีการนำมาใช้มากที่สุด เพราะมีความเหนียวหนืด มีกลิ่นฉุน มีความสามารถละลายตัวได้ดีในน้ำมัน แอลกอฮอล์ และน้ำมันที่มีส่วนประกอบของสารเบนซีน [14]

- น้ำมันแห้งเร็ว (Drying oils) เป็นน้ำมันที่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แล้วเกิดเป็นชั้นฟิล์ม เช่น น้ำมันลินสีด (Linseed oil) น้ำมันปลา (Fish oil) น้ำมันทัง (Tung oil) และน้ำมันละหุ่ง (Castor oil)

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันธรรมชาติ

น้ำมันเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) คือ เป็นไตรเอสเทอร์ (Triester) ของกลีเซอรอล (Glycerol) ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายชนิดที่ยังคงเป็นของเหลวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยกรดไขมันมีผลต่อสมบัติการแห้งตัวของน้ำมัน และฟิล์มที่ได้ โครงสร้างของโมเลกุลทั่วไปเป็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลทั่วไปของไตรกลีเซอไรด์ [15]

กรดไขมันแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) ไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้าง คาร์บอน (C) แต่ละตัวในสายโซ่ต่ออยู่กับไฮโดรเจนอย่างน้อย 2 ตัว เนื่องจากไม่มีพันธะคู่ ดังนั้นน้ำมันที่มีแต่กรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างมีสมบัติไม่แห้งตัว เช่น กรดปาล์มมิติก และกรดสเตียริก เป็นต้น

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ประกอบด้วยพันธะคู่ตั้งแต่ 1 พันธะขึ้นไป และตำแหน่งของพันธะคู่ของแต่ละชนิดก็แตกต่างกันออกไป ปฏิบัติการแห้งตัวของน้ำมัน ถ้ามีจำนวนพันธะคู่มาก การแห้งตัวเร็วขึ้น เช่น กรดโอเลอิก และกรดลิโนลอิก เป็นต้น

สารเคลือบสังเคราะห์ คือ สารเคลือบที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของพอลิเมอร์ ผลิตได้ปริมาณที่มากจึงนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่

- อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) เป็นเทอร์โมเซตพอลิเมอร์ที่มีความสำคัญ ได้จากปฏิกิริยาระหว่างได/พอลิไฮดริคฟีนอล (Di / Polyhydric phenol) และอีพิกลอร์ไฮดริน (Epichlorohydrin) ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นสารยึดติดในการใช้งานหลากหลายด้าน เช่น อุตสาหกรรมเคลือบผิว ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการที่อีพอกซีเรซินมีสมบัติที่โดดเด่น เช่น มีการยึดเกาะที่ดีกับพื้นผิวต่างๆ มีประสิทธิภาพในการทำงานที่อุณหภูมิสูง การหดตัวต่ำ และทนการกัดกร่อนได้ดี แต่มีการใช้งานค่อนข้างจำกัดเนื่องจากไม่ทนต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)

- พอลิยูรีเทน (Polyurethane) ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างได/พอลิไอโซไซยาเนต (Di / Polyisocyanate) กับได/พอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ (Di / Polyhydric alcohol) นิยมใช้งานด้านการเคลือบผิวหน้า มีสมบัติทนต่อน้ำ และกรดได้ดี ทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ มีความทนทานต่อการขีดสีสูง มีความเหนียว และทนต่อลมฟ้าอากาศเป็นอย่างดี มักเหลืองได้ง่ายเมื่อถูกแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)

- อัลคิเดเรซิน (Alkyd resin) เป็นพอลิเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างพอลิไฮดริค-แอลกอฮอล์ ซึ่งปกติใช้กลีเซอรอลกับกรดได/พอลิบาสิก (Di / Polybasic) โดยทั่วไปใช้พทาสิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride) มีสมบัติความคงทนที่ดี รักษาความเงาของฟิล์มได้ดี ทนทานต่อความร้อน และตัวทำละลายได้ดี

### 2.1.3 องค์ประกอบหลักของสารเคลือบผิว

#### 1. ผงสี (Pigment)

เป็นสารที่มีความสามารถในการปิดบังพื้นผิวหรือซ่อนแสง ซึ่งแบ่งเป็น

สีอินทรีย์ (Organic pigment) เป็นสีที่มีประสิทธิภาพดี ใช้ในปริมาณเล็กน้อย ให้สีสวยงาม สีสด แต่มีราคาแพง สีอินทรีย์บางชนิดเปลี่ยนสีหรือสีจางลงได้ง่ายถ้าถูกแสงนานๆ หรือถูกสารเคมี และไม่ทนต่อการแปรรูปที่อุณหภูมิสูง

สีอนินทรีย์ (Inorganic pigment) เป็นสีที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าสีอินทรีย์ ราคาค่อนข้างถูก และต้องใช้ในปริมาณมาก สีค่อนข้างทึบไม่ใส แต่มีความคงตัวอยู่นาน สีไม่จาง และทนอุณหภูมิสูง

#### 2. ตัวประสาน (Binder) หรือเรซิน (Resin)

เป็นสารที่ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ ตัวอย่างของตัวประสาน เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันแห้งเร็ว เป็นน้ำมันที่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แล้วเกิดเป็นชั้นฟิล์ม เช่น น้ำมันลินสีด, น้ำมันปลา, น้ำมันทัง และน้ำมันละหุ่ง

เรซินธรรมชาติ เป็นผลผลิตจากธรรมชาติ ประกอบด้วยสารที่มีลักษณะเหนียว มีสีค่อนข้างเหลืองหรือสีออกน้ำตาล และไม่ตกผลึก ซึ่งสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvents) แต่ไม่สามารถละลายกับน้ำได้ เช่น ชันสน, น้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วง-หิมพานต์ และชันหรือโคแพล (Copal) [14]

เรซินสังเคราะห์ เป็นพอลิเมอร์เหลว มีลักษณะข้นคล้ายน้ำมัน มีกลิ่นฉุน เกิดการแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน เช่น อัลคิเดเรซิน, ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resins) อีพอกซีเรซิน และพอลิยูรีเทน [11]

### 3. ตัวทำละลาย (Solvent)

เป็นของเหลวที่ระเหยได้ ซึ่งใช้ในสารเคลือบผิวเพื่อละลายเรซินที่เป็นของแข็งหรือที่มีความหนืดสูงให้ได้เป็นเนื้อเดียวกัน ช่วยในการผสมองค์ประกอบต่างๆ ของสารเคลือบผิวเพื่อให้สะดวกกับการใช้งาน

การเลือกใช้ตัวทำละลายสำหรับพอลิเมอร์หรือเรซินซึ่งใช้เป็นสารยึดให้ถูกต้องมีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะถ้าเลือกใช้ตัวทำละลายที่ไม่ดีแล้วฟิล์มที่เคลือบผิวหน้าวัสดุจะไม่ดี และหลุดลอกออกไปได้ง่าย พอลิเมอร์สามารถละลายได้ในตัวทำละลายซึ่งมีค่าพารามิเตอร์การละลาย (Solubility parameter,  $\delta$ ) ใกล้เคียงกับค่าพารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์นั้นๆ

สมบัติที่สำคัญของตัวทำละลายสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมเคลือบผิว คือ

- ความสามารถในการละลาย (Solvency)
- การระเหย (Volatility)
- จุดติดไฟที่เกิดขึ้นเอง (Spontaneous ignition temperature)
- จุดวาบไฟ (Flash point)
- เสถียรภาพทางเคมี (Chemical stability)
- สี และกลิ่น
- สมบัติการกัดกร่อน
- ราคา

### 4. สารเติมแต่ง (Additives)

เป็นสารที่เติมลงไปช่วยเพิ่มคุณสมบัติพิเศษ เช่น ทำให้สารเคลือบแห้งเร็วขึ้น ทำให้วัสดุไม่ขึ้นรา เป็นต้น [14] ตัวอย่างสารเติมแต่งมีดังนี้

- สารลดฟองหรือสารป้องกันการเกิดฟอง (Defoaming agent) เป็นสารเคมีที่สามารถลดหรือขจัดฟองการเกิดฟอง และสามารถกำจัดปัญหาของฟองที่พื้นผิวของของเหลว หรือกำจัดฟองอากาศที่ถูกเก็บอยู่ภายในมวลของเหลว [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เป็นสารเคมีที่ใส่เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น และลดความเปราะให้กับฟิล์มหลังการแห้งตัว

- สารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers) ช่วยเพิ่มสมบัติการยึดติด ทำให้สารเคลือบยึดติดกับพื้นผิววัสดุอื่นได้ดีขึ้น

- สารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidant) เป็นสารที่ช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อช่วยลดการเสื่อมสภาพของสารเคลือบจากสิ่งแวดล้อม

- สารกันแบคทีเรียและสารป้องกันเชื้อรา (Bactericide and Fungicide) ใส่เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้สีภายในภาชนะบรรจุเสื่อมคุณภาพเนื่องจากแบคทีเรีย เพื่อป้องกันการขยายพันธุ์ และการเจริญเติบโตของสาหร่ายและเชื้อรา

- สารลดความเงา (Matting agent) ช่วยให้ฟิล์มมีความต้านมากขึ้น เป็นการลดความมันเงาบนผิวฟิล์ม เช่น แวกซ์ (Wax), ซิลิกาฟุ้ง (Fume silica) เป็นต้น

#### 2.1.4 การแห้งของสารเคลือบผิว

โดยทั่วไป สารเคลือบผิวแห้งโดยกรรมวิธีต่างๆ กันได้ 2 แบบ คือ

1. การแห้งโดยวิธีทางฟิสิกส์ (Physical drying) การแห้งตัวโดยกรรมวิธีนี้เกิดจากการระเหยของตัวทำละลายกลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (Secondary bond) อย่างอ่อนๆ ดังนั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นจึงยังคงละลายได้ในตัวทำละลายของสารเคลือบผิวนั้น

2. แห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (Chemical drying) ฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีนี้ ยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะปฐมภูมิ (Primary bond) จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง และทนทานต่อตัวทำละลาย

การแห้งตัวโดยกรรมวิธีทางเคมีนี้อาจเกิดโดย

2.1 แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเคลือบผิวประเภทนี้ ดูดออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ขนาดของสารเคลือบผิวใหญ่ขึ้นรวมตัวเป็นฟิล์มแห้งแข็งตามต้องการ เช่น สีอัลคิดเรซิน เป็นต้น การแห้งตัวโดยวิธีนี้อาจเร่งให้แห้งเร็วขึ้นได้ด้วยการใส่สารเร่งแห้ง

2.2 แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี สารเคลือบผิวประเภทนี้ส่วนใหญ่บรรจุในภาชนะแยกกันก่อนใช้จึงต้องนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งเมื่อผสมกันแล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นฟิล์มที่แห้งแข็งเรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น (Cold curing coating) เช่น ยูเรียเรซิน (Urea resin) พอลิยูรีเทนเรซิน เป็นต้น แต่ถ้การเกิดปฏิกิริยาใช้อุณหภูมิสูงเรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดอบ (Staving or baking coating)

กลไกในการแห้งตัวของน้ำมันเป็นฟิล์มแห้งแข็งคือกระบวนการพอลิเมอไรเซชันประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1.1 การใช้สารเร่งแห้งที่ทำจากเกลือของโคบอลต์ (Co) หรือแมงกานีส (Mn) มากเกินไป เป็นผลทำให้เกิดการตกตะกอนของสารที่เรียกว่าลิโนซิน (Linocyn) บนผิวของฟิล์ม โดยสารลิโนซิน ดูดความชื้น และฝุ่น ทำให้ฟิล์มเป็นฝ้า

1.2 การใช้สารยึดที่มีคุณภาพต่ำซึ่งดูดความชื้นจากอากาศในระหว่างการแห้งทำให้ฟิล์มเมื่อแห้งเกิดเป็นฝ้าขึ้น

1.3 แอมโมเนีย (Ammonia) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) ซึ่งมีอยู่ในบรรยากาศ ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นตะกอนเล็กๆ ของแอมโมเนียซัลเฟต (Ammonia sulfate) จับอยู่บนผิวของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มเกิดเป็นฝ้า

การเป็นฝ้าที่เกิดขึ้นบนผิวของฟิล์ม สามารถกำจัดได้โดยการใช้ผ้าเปียกเช็ดออกนอกจากนี้ สามารถป้องกันการเกิดเป็นฝ้าได้โดยการใส่แคลเซียมแนฟทีเนต (Calcium naphthenate) เป็นสารเติมแต่งลงไปในการเคลือบผิว

## 2. ความดำน (Blushing)

ความดำน หมายถึง ลักษณะทึบแสงของฟิล์มของแลคเกอร์ (Lacquer) ที่กำลังแห้ง ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของส่วนที่เป็นของแข็งของผลิตภัณฑ์ ความดำนมี 2 แบบคือ ความดำนเนื่องจากความชื้น (Moisture blushing) และความดำนเนื่องจากกัม (Gum blushing) แบบแรกมีสาเหตุจากความชื้นสูง และแบบหลังมีสาเหตุจากการเลือกใช้ตัวทำละลายไม่ถูกต้องเกิดการระเหยเร็วเกินไป เป็นผลให้ของแข็งที่ไม่ระเหยบางส่วนตกตะกอน การป้องกันไม่ให้แลคเกอร์เกิดความดำน ทำได้โดยการปรับอัตราการระเหยของตัวทำละลายที่ใช้โดยการใช้ตัวทำละลายที่มีส่วนผสมต่างๆ กัน

## 3. การพอง (Blistering)

การพอง หมายถึง การโป่งที่ผิวของฟิล์มของสีที่แห้งแล้ว เนื่องจากมีความชื้นหรือแก๊สใต้ฟิล์มของสี ซึ่งส่วนใหญ่การพองเกิดกับสีที่ไว้สำหรับการตกแต่งที่ทำมาจากอัลคิดเรซิน อีพอกซีเอสเทอร์ ยูรีเทนออยล์ และน้ำมันวานิช เนื่องจากสารยึดเหล่านี้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อัลคิดเรซิน ประกอบด้วยส่วนที่สามารถสกัดได้ด้วยน้ำ (Water-extractable fraction) เป็นปริมาณสูงกว่าสารยึดประเภทไวนิลหรืออีพอกซีเรซินชนิด 2 ส่วน

การพองที่เกิดขึ้นกับฟิล์มของสีที่ใช้เคลือบพื้นผิวไม้ สาเหตุจากความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้สีอ่อนตัว และเกิดความดันใต้ฟิล์มของสี ซึ่งเป็นผลมาจากการระเหยของสารระเหยที่อยู่ภายใน ทำให้ผิวของฟิล์มขยายตัวโป่งออกมา

การพองอาจเกิดมาจากผลผลิตพลอยได้จากปฏิกิริยาการเตรียมสี เช่น ในกรณีของสีที่ทำจากพอลิยูรีเทน เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการบ่ม (Curing) เป็นผลทำให้ผิวของฟิล์มโป่งได้

นอกจากนี้ไอน้ำหรือละอองน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศหรือฝนก็อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ฟิล์มเกิดการพองได้กล่าวคือ น้ำไปละลายหรือสกัดสารบางตัวในสีเกิดเป็นออสโมติกเซลล์ (Osmotic cell)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในสี และถ้ามีน้ำซึมผ่านเข้าไปในสีอีก พิล์มของสีชั้นที่ห่อหุ้มออสโมติกเซลล์นี้ ก็ขยายตัวภายใต้ความดัน ทำให้ผิวของฟิล์มโป่งออกมา

#### 4. รอยแตก (Cracking)

รอยแตก หมายถึง ข้อบกพร่องของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่เกิดการแยกตัวเนื่องจากสารเคลือบผิวไม่สามารถขยายตัว และหดตัวได้ในอัตราที่เท่ากันระหว่างกรรมวิธีการแห้งตัวของฟิล์ม ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลือบสารเคลือบผิวหนาเกินไป

#### 5. การเป็นรูเข็มและการเป็นหลุม (Pinholes and cratering)

การเป็นรูเข็ม (Pinholes) หมายถึง การเกิดเป็นรูเข็มเล็กๆ บนผิวของฟิล์มของสารเคลือบผิว มีสาเหตุมาจากระหว่างการเคลือบเกิดฟองอากาศเล็ก ๆ ซึ่งแต่กระหว่างกรรมวิธีแห้งตัวเป็นฟิล์ม ทำให้ผิวของฟิล์มเกิดเป็นรูเล็กๆ ลักษณะเหมือนรูเข็ม

ในกรณีที่เคลือบหนามาก ๆ ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ และเมื่อฟองอากาศนี้แตกออก ระหว่างการแห้งตัว ทำให้เกิดเป็นแอ่งเล็กๆ ๆ เรียกข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้ว่า การเป็นหลุม (Cratering)

#### 6. การล่อนเป็นเกล็ด (Flaking)

การล่อนเป็นเกล็ด หมายถึง ปรากฏการณ์ที่ฟิล์มของสารเคลือบผิวหลุดออกมาเป็นแผ่นเล็กๆ ซึ่งมีรูปร่างแตกต่างกัน มีสาเหตุมาจากฟิล์มของสารเคลือบผิวไม่มีแรงยึดติดกับพื้นผิววัสดุ มักเกิดกับผิววัสดุที่ยังมีความชื้นหลงเหลืออยู่ ดังนั้นเมื่อเคลือบด้วยสารเคลือบผิวแรงดันจากน้ำใต้ฟิล์มดันฟิล์มให้หลุดออกมา โดยที่ชั้นแรกฟิล์มเกิดการพองก่อนแล้วจึงล่อนเป็นเกล็ดออกมา

#### 7. การดิ่งตัว (Lifting)

การดิ่งตัว หมายถึง ข้อบกพร่องที่เกิดจากการพองตัวของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่แห้งแล้ว เมื่อเคลือบสารเคลือบผิวอีกชั้นหนึ่งทับ มักเกิดเป็นรอยย่น การดิ่งตัวมีสาเหตุมาจากการเลือกใช้ตัวทำละลายที่แรงเกินไป นอกจากนี้การดิ่งตัวของฟิล์มยังเกิดขึ้นได้ เมื่อเคลือบสีจากยางคลอรีนเทต (Chlorinated rubber) ทับไปบนชั้นเคลือบของสีอัลคิดีซึ่งยังแห้งหรือทิ้งไว้ห่มไม่ดีพอ

#### 8. การเป็นวุ้นเหนียว (Livering)

การเป็นวุ้นเหนียว หมายถึง การที่สีหรือวาร์นิช มีความข้นเหลวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเป็นวุ้นจนถึงขั้นที่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ มีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างผงสีกับสารยึด เช่น ปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับออกซิเจน เป็นต้น

#### 9. ลักษณะผิวส้ม (Orange peel)

ข้อบกพร่องชนิดนี้แสดงถึงลักษณะของฟิล์มที่พ่นแล้วไม่เรียบคล้ายผิวส้ม ซึ่งมีสาเหตุหลายประการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.1 ความหนืดของสารเคลือบผิวสูงเกินไป

9.2 ความดันของลมที่พ่นไม่ถูกต้อง

9.3 ใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายที่ไม่เหมาะสมเกิดจากการใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำในปริมาณสูงเกินไป ดังนั้นแก้ไขได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนของตัวทำละลายที่มีจุดเดือดสูง

9.4 ขณะพ่น หัวพ่นอยู่ห่างจากผิววัสดุมากเกินไป เกิดการสูญเสียตัวทำละลายก่อนที่สารเคลือบผิวไปเกาะที่ผิววัสดุ ทำให้ฟิล์มที่ได้ไม่เรียบ

## 10. การเป็นคลื่น (Raveling)

การเป็นคลื่น หมายถึง การที่ผิวของฟิล์มของสารเคลือบผิวมีลักษณะไม่เรียบคล้ายระลอกคลื่นมีสาเหตุมาจากการเคลือบหนาเกินไป หรือจากการใช้สารเร่งแห้งจากโอบอลต์มากเกินไป ทำให้การแห้งตัวเป็นฟิล์มจากชั้นบนสุดไปยังชั้นล่างสุดเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ

## 11. การย้อย (Sagging or curtaining)

การย้อย หมายถึง การที่ฟิล์มของสารเคลือบผิวไหลลงมาระหว่างทำการเคลือบแล้วเกิดการแข็งตัวเป็นผลให้ผิวเคลือบไม่สม่ำเสมอ มีขอบล่างหนา โดยปกติการย้อยมีลักษณะเหมือนม่าน เกิดขึ้นเฉพาะพื้นผิวในแนวตั้ง

การย้อย มีสาเหตุจากการเคลือบหนาเกินไป หรือเกิดจากการใช้ตัวทำละลายที่ระเหยได้ช้า หรือมีสาเหตุจากการเคลือบทำที่อุณหภูมิต่ำเกินไป

## 12. การไหลเป็นทาง (Runs)

การไหลเป็นทาง หมายถึง การที่สีหรือวาร์นิชไหลลงมาเป็นทางแคบๆ อาจมีสาเหตุจากการที่มีสารเคลือบผิวมากเกินไปบนพื้นผิวบกร่อง เช่น มีรอยแตก รู เป็นต้น สารเคลือบผิวส่วนนี้ยังคงไหลต่อไป ในขณะที่สารเคลือบผิวโดยรอบแข็งตัวแล้ว

## 13. การเกิดรอยย่น (Wrinkling)

ข้อบกพร่องชนิดนี้มีลักษณะเป็นรอยย่นในฟิล์ม เนื่องจากผิวฟิล์มแห้งไม่สม่ำเสมอ มีสาเหตุจาก 2 ประการด้วยกัน คือ สารเคลือบผิวมีสารเร่งแห้งมากเกินไป หรือทำการเคลือบหนาเกินไป

## 14. การขึ้นเหลือง (Yellowing)

การขึ้นเหลือง หมายถึง การเกิดสีเหลืองหรือมีสีเหลืองเข้มขึ้นบนฟิล์มของสี การขึ้นเหลืองเป็นปัญหาที่พบกับฟิล์มของสีขาวมานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เป็นฟิล์มที่ได้จากอัลคิเดเรซินที่มีน้ำมันลินสีดเป็นองค์ประกอบ การขึ้นเหลืองของน้ำมันลินสีดมีสาเหตุจากการมีกรดลิโนลินิกในน้ำมันเป็นปริมาณสูง การขึ้นเหลืองนี้เกิดเร็วยิ่งขึ้น ถ้าบรรยากาศแวดล้อมมีแอมโมเนียอยู่ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 มะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut)

มะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Anacardium Occidentale L.* ชื่อเรียกทางพื้นเมืองแตกต่างกันไปตามท้องถิ่นต่างๆ มะม่วงหิมพานต์เป็นต้นไม้ยืนต้น สามารถขึ้นได้ดีในดินทุกชนิด โดยเฉพาะในดินทรายที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ ความสูงของต้นเฉลี่ยสูงประมาณ 15 เมตร มีลักษณะเป็นพุ่ม เป็นพืชเขตร้อนที่ขึ้นในแถบเส้นศูนย์สูตร พบมากบริเวณอเมริกาใต้ แถบลุ่มน้ำอะเมซอน, แอฟริกา, เอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกในฐานะของอาหารชั้นดี นอกจากนี้ชนพื้นเมืองถิ่นต่างๆ รู้จักนำเอาส่วนประกอบต่างๆ จากต้นมะม่วงหิมพานต์มาใช้ งาน เช่น ใบ และเปลือกลำต้นใช้เป็นยารักษาโรค, น้ำจากผลทำเป็นน้ำผลไม้ และสุรา เป็นต้น



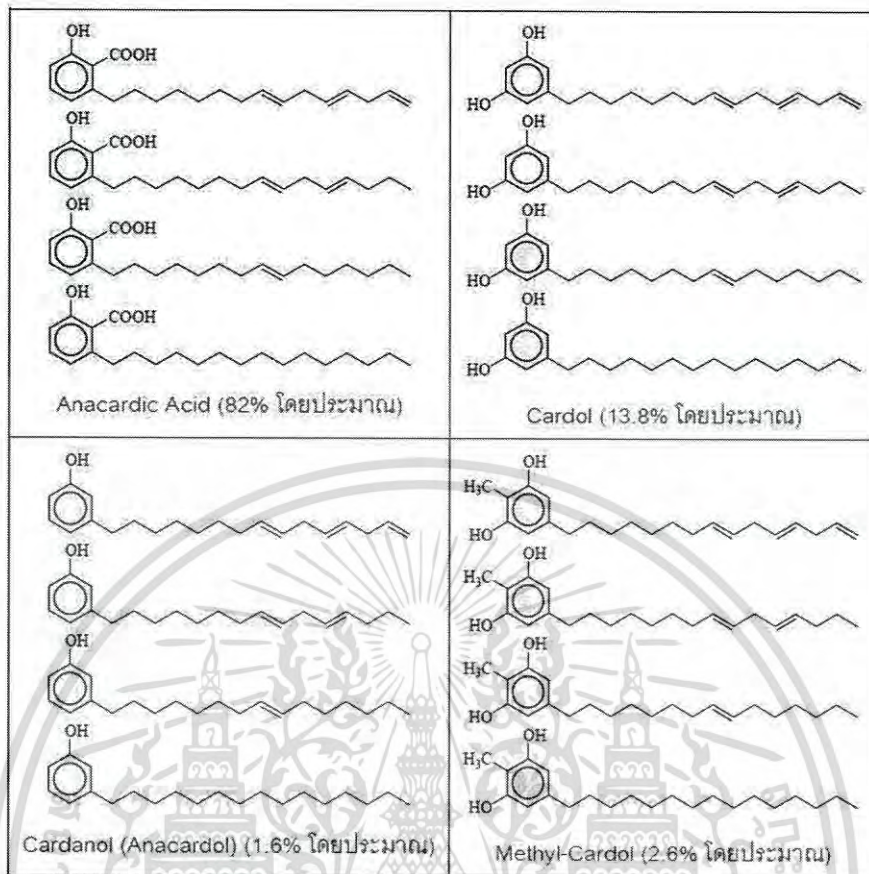
รูปที่ 2.2 ผลและเปลือกของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ [1]

ผลของมะม่วงหิมพานต์นั้นประกอบด้วย ผลปลอม (Cashew apple) อยู่บริเวณด้านบน ส่วนเมล็ดมีลักษณะเป็นไตติดอยู่ด้านล่างของผลปลอมอีกทีหนึ่ง เมล็ดประกอบด้วยผิวนอก หุ้มเมล็ด (Endocarp), เยื่อบางหุ้มเมล็ดใน (Testa) และส่วนเมล็ด (Kernel) น้ำมันที่อยู่ในบริเวณส่วนที่มีรูพรุนบริเวณเปลือกชั้นนอกนั้น เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่ได้ในระหว่างการกะเทาะเปลือก เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในกระบวนการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เพื่อบริโภค

### 2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell liquid, CNSL) เป็นของเหลวที่ถูกเก็บไว้ภายในเปลือกของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell) มีสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นฉุน หากสัมผัสเป็นระยะเวลานานทำให้ผิวหนังเปื่อยได้ เมื่อได้รับความร้อนเกิดเป็นไอระเหยที่ทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา และจมูก ในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) มีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอล ได้แก่ กรดอนาคาร์ดิก (Anacardic acid), คาร์ดอล (Cardol), เมทิลคาร์ดอล (Methyl-cardol) และคาร์ดานอล (Cardanal) หรืออนาคาร์ดอล (Anacadol) ซึ่งมีสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างและสัดส่วนโดยประมาณของสารองค์ประกอบของ CNSL [4]

น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ บางส่วนเล็ดลอดออกมาในระหว่างกระบวนการกะเทาะเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณไม่มากนัก แต่มีวิธีการที่ใช้ในการสกัดเอาน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ยังเหลืออยู่ในเปลือกจำนวนมากออกมาเพื่อนำมาใช้งานในด้านต่างๆ

### 2.2.2 การสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ อยู่บริเวณเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในส่วนที่มีรูพรุนที่เป็นที่กักเก็บน้ำมัน (Mesocarp) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเปลือก บริเวณผิวนอกของเปลือก (Epicarp) มีความแข็งและเหนียว แต่เมื่อแตกออกเป็นรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ และกักเก็บน้ำมันในปริมาณมากเอาไว้ ในประเทศที่มีผลผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สูง เช่น อินเดีย หรือ บราซิล มีการผลิตน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกมามาก ซึ่งผลผลิตที่ออกมามีทั้งในรูปของ Crude CNSL และ Distillated CNSL

การสกัดแยกน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกจากเปลือกสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

1. การใช้วิธีทางกล ได้แก่ การบีบอัดโดยเครื่องบีบอัดแบบสกรู (Screw press) หรือการบีบอัดด้วยเครื่องบีบอัดระบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) โดยระบบหลังเป็นเครื่องจักรแบบกะ

เอกสารส่วนระบบแรกก็เป็นเครื่องจักรแบบต่อเนื่อง วิธีทางกลนี้เป็นวิธีที่ง่าย และสะดวกรวดเร็ว หลักการเป็นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบีบอัดเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการกะเทาะเมล็ดในออกด้วยเครื่องอัด ทำให้น้ำมันในเปลือกเมล็ดในไหลออกมา ขั้นตอนเริ่มด้วยการคัดเอาเศษฝุ่นผงออกก่อนให้หมด อาจเอาเปลือกคั่วก่อนประมาณ 20 นาที เพื่อให้ผิวภายนอกกรอบ และช่วยให้น้ำมันไหลออกมามากขึ้น น้ำมันที่ออกมาต้องนำไปผ่านการกรองเอาเศษผงออกอีกครั้ง เปลือกที่ผ่านการบีบอัดด้วยวิธีนี้มีน้ำมันหลงเหลือประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกาก กากส่วนที่เหลือนี้สามารถนำมาใช้เผาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนได้ แต่การใช้เครื่องบีบอัดแบบสกรูทำให้เกิดความร้อนขึ้น ทำให้เกิดไอระเหยจกน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผู้ทำงาน และอาจทำให้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลุดติดไฟได้

2. การสกัด (Extraction) วิธีนี้สามารถสกัดเอาน้ำมันออกจากเปลือกได้ทั้งก่อน และหลังกะเทาะเปลือก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 แบบ ดังนี้

การสกัดด้วยไอน้ำร้อน (Steam extraction) วิธีนี้ทำโดยการนำเอาเมล็ดหรือเปลือกที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกแล้วบรรจุลงในหม้อทรงกระบอก แล้วผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 200-250 องศาเซลเซียส ลงไปประมาณ 2-3 นาที สามารถสกัดเอาน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกมาได้ วิธีนี้ทำให้มีน้ำมันหลงเหลือในเปลือกประมาณ 7-12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกาก ซึ่งมากกว่าวิธีต่างๆที่ใช้ในการสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ อีกทั้งยังต้องใช้พลังงานสูง เนื่องจากต้องใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูง ทำให้วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากไม่คุ้มค่าการลงทุน

การสกัดด้วยการทอดในน้ำมันร้อน (Hot oil bath extraction) วิธีนี้มักใช้กับเมล็ดดิบก่อนการนำไปกะเทาะเปลือก มักพบการใช้วิธีนี้ในแถบภาคใต้ที่สามารถหาน้ำมันปาล์มได้ในราคาถูกกว่าภาคอื่น การทอดด้วยอุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วยให้ผิวนอกของมะม่วงหิมพานต์กรอบ และเปราะขึ้น จึงสามารถกะเทาะเอาเมล็ดออกมาได้ง่ายขึ้น แต่อาจทำให้เมล็ดในสุกเกินไปหากไม่ควบคุมเวลา และอุณหภูมิให้ดี อีกทั้งยังอาจทำให้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ปนเปื้อนไปกับเมล็ดที่กะเทาะออกมาได้ การแยกเอาน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกจากน้ำมันพืชทำได้ยาก เนื่องจากทั้ง 2 ตัวละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ยกเว้นแต่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ร้อนมาเป็นตัวกลางในการสกัดเอง ส่วนของเปลือกสามารถนำมาเผาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนได้ โดยการใช้ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นตัวกลางในการให้ความร้อนกับมะม่วงหิมพานต์ที่นำไปกะเทาะเปลือก ส่วนเปลือกที่สกัดแยกเอาน้ำมันออกแล้วถูกนำมาเผาให้ความร้อน ทำให้ต้นทุนการลงทุนต่ำมาก เพราะไม่ต้องอาศัยแหล่งเชื้อเพลิงจากภายนอก แต่น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้ออกมามีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งยังอาจเกิดอันตรายเนื่องจากการที่น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลุดติดไฟขึ้นมาได้ และไอระเหยจกน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ยังเป็นอันตรายต่อร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน โดยวิธีนี้ทำให้มีน้ำมันหลงเหลืออยู่ในเปลือกประมาณร้อยละ 6-12 ของน้ำหนักกาก

การสกัดด้วยตัวทำละลายเคมี (Solvent extraction) วิธีนี้เป็นการอาศัยตัวทำละลายเคมี ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนมาสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกที่กะเทาะเมล็ดในออกแล้ว ไม่นิยมใช้กับเมล็ดดิบที่ยังไม่กะเทาะเปลือก เพราะอาจมีตัวทำลายปนเปื้อนในเมล็ดที่กะเทาะออกมาได้ เริ่มโดยการนำเปลือกที่สกัดมาทำความสะอาดเอาเศษฝุ่นผงออก แล้วนำไปบดเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อลดความชื้น และทำให้สามารถสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ดียิ่งขึ้น หลังจากสกัดด้วยตัวทำละลายแล้ว นำเอาส่วนของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และตัวทำละลายมากลั่นแยกเอาตัวทำละลายออกเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่อีกครั้ง วิธีนี้มีขั้นตอนที่ยุ่งยาก และต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาสูง เหมาะกับอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ มีตลาดรองรับเพียงพอ และมีปริมาณของเปลือกป้อนได้ตลอด อีกทั้งยังต้องใช้เงินลงทุนที่สูง

น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้จากการสกัดด้วยกรรมวิธีต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วถูกปรับปรุงคุณภาพก่อนการนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งกระบวนการปรับปรุงคุณภาพขั้นต้นที่ใช้กันคือการต้มให้ความร้อนกับน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เพื่อให้กรดอนุคาร์บอิกที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันกลายเป็นคาร์บอนอล และเป็นการกำจัดความชื้นที่หลงเหลืออยู่ในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออก แต่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ และเวลาให้ดี เพราะน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อาจเกิดปฏิกิริยาเสื่อมสภาพ (Deterioration) ข้างเคียงอีกด้วย เมื่อน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว มีความหนืด และค่าความเป็นกรดลดลง ทำให้สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ง่าย และปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

### 2.2.3 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

#### ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเพิ่มเข้า (Addition polymerization)

พบว่าน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายยาง เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยมีไดเอทิลซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องมีการเสียดสี (Friction element) น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์นั้น ทำปฏิกิริยาพรี-พอลิเมอไรเซชัน (Pre-polymerization) ที่บริเวณสายโซ่ข้างเคียงของโมเลกุล โดยใช้ไดเอทิลซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากนั้นทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันอย่างสมบูรณ์กับฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) อีกครั้งหนึ่ง

#### ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบออกซิเดชัน

กรดชนิดต่างๆ เช่น กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) หรือสารออกซิไดซ์ที่อยู่ในสภาวะกรด มีความว่องไวสูง และเป็นที่ยอมรับในการนำมาทำปฏิกิริยากับน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมา สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น น้ำมันสน (Turpentine), แนพธา (Naphtha) หรือน้ำมันก๊าด (Kerosene) และนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวต่างๆ เช่น สี, วาร์นิช, อุตสาหกรรมการย้อมกระดาษ และสิ่งทอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerization)

ปฏิกิริยาแบบนี้เกิดได้ต่อกับสารที่มีอะตอมไฮโดรเจนที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Active hydrogen atom) เช่น ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde) หรือเฟอฟูรอล (Furfural) เป็นต้น ซึ่งเกิดที่ตำแหน่งออร์โธ (Ortho) หรือพารา (Para) ของวงฟีนอล แล้วแต่สภาวะในการเกิดปฏิกิริยาว่าเป็นกรดหรือเบส ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายคือ รีโซล (Resole) ซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะที่เป็นกรด และโนวาแลค (Novalac) ซึ่งเกิดในสภาวะที่เป็นเบส ถูกนำไปใช้อย่างหลากหลาย เช่น ในอุตสาหกรรมเคลือบผิววาทหรือพลาสติก, ส่วนผสมของยาง และการผลิตชิ้นส่วนที่มีการเสียดสี

### ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบกระตุ้นด้วยโลหะ (Metal activated polymerization)

น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เกิดสมบัติการแห้งตัวได้ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยโลหะหรือส่วนประกอบของโลหะ เมื่อน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้รับความร้อนขณะที่สัมผัสกับโลหะ เช่น ทอง, อะลูมิเนียม หรือตะกั่ว ทำให้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้สมบัติแห้งตัวที่ดีกว่า การให้ความร้อนธรรมดา ผลิตภัณฑ์นี้เมื่อนำมารวมกับน้ำมันแห้งตัวได้ ถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับสารเคลือบผิว

### ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยความร้อน (Heat polymerization)

น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 160-300 องศาเซลเซียส โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) เล็กน้อย ได้เป็นผลิตภัณฑ์ออกมา ซึ่งสามารถใช้สำหรับทำสี น้ำมันที่ต้องการอบแห้ง การดีคาร์บอกซิเลชันโดยทั่วไปทำให้ได้ DCNSL ที่มีพอลิเมอร์อยู่ประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์

จากที่กล่าวมาข้างต้นเห็นได้ว่าโอกาสที่สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หรือตัววัสดุที่ใช้ทำภาชนะที่ใช้เป็นถังปฏิกรณ์ของปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันหรือพอลิเมอไรเซชัน อาจทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้กับปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันข้างเคียงอื่นๆ ได้ ดังนั้นในการผลิต Technical CNSL หรือการกลั่น มักเกิดการสูญเสียน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์บางส่วนเป็นตะกอนของ Residue ซึ่งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการกลั่นน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งใช้อุณหภูมิที่สูง ถึงแม้ว่าทำการลดความดันบรรยากาศลง เพื่อลดจุดเดือดของสารแล้วก็ตาม ผลผลิตที่ได้ออกมาก็ต้องสูญเสียไปในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันมากกว่าครึ่งทีเดียว และจากการที่น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้พร้อมกันหลายรูปแบบ อีกทั้งยังมีโครงสร้างของโมเลกุลที่ซับซ้อนกว่ามอนอเมอร์ที่ใช้ผลิตเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งการสังเคราะห์สารที่มีโครงสร้างซับซ้อนเช่นนี้ไม่สามารถทำได้โดยง่าย ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทำให้พอลิเมอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มีสมบัติที่ดีในด้านการนำไปใช้งาน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้สกัดจากกรรมวิธีต่างๆ โดยส่วนใหญ่แล้วมีการปรับปรุงคุณภาพก่อนการนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้กันคือการต้มให้ความร้อน ทำให้กรดอนุคาร์บิกที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันกลายเป็นคาร์ดานอล โดยเกิดผลิตภัณฑ์ร่วมเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว (Technical CNSL) มีค่าความเป็นกรดลดลง ทำให้สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างปลอดภัยมากยิ่งขึ้น และน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วนี้สามารถควบคุมปฏิกิริยาระหว่างการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่าน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบ เนื่องจากไม่เกิดฟองก๊าซพุ่งขึ้นท่วมภาชนะบรรจุ ทำให้การผสมเพื่อให้ความร้อนกระจายได้สม่ำเสมอทำได้ดียิ่งขึ้น การควบคุมปฏิกิริยาจึงทำได้ดี [7]



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของกรดอนุคาร์บิกเปลี่ยนเป็นคาร์ดานอล [7]

### 2.2.4 ประโยชน์ของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

1. ใช้ทำกาวชนิดดี เมื่อผสมของเหลวที่ได้จากการสกัดกับเคซีน (Casein) ได้กาวชนิดที่มีสมบัติสามารถแข็งตัวทั้งในสภาพให้และไม่ให้ความร้อน กาวสำหรับไม้อัด และถ้าเติมสารเพิ่มความแข็งแรง (Hardener) เช่น คอปเปอร์คลอไรด์ ( $\text{CuCl}_2$ ) ลงไป ทำให้กาวเพิ่มคุณสมบัติต้านกันน้ำ กาวประเภทนี้อาจเตรียมได้จากการพอลิเมอไรเซชันของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์กับฟินอลหรือยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ และโซดาไฟ
2. ใช้ทำน้ำยาเคลือบไม้อัด โดยใช้ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผสมกับโซเดียมโอเลอเอต ได้สารที่ใช้ทาเคลือบบนแผ่นไม้อัด แล้วพ่นทับด้วยสารละลายโซดาไฟ 4 เปอร์เซ็นต์ที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ปนอยู่ด้วย จากนั้นจึงนำไปอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 110 องศาเซลเซียส ได้สารเคลือบที่มีความยืดหยุ่นตัวสูง เหนียว ไม่ลอก และเปราะง่าย ส่วนน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผสมกับโซเดียมโอเลอเอต เมื่อเติมไททาเนียมออกไซด์สามารถใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษได้
3. ใช้ทำสีทาโลหะ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผสมกับฟอร์มัลลิน และน้ำมันชักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่สามารถป้องกันฤทธิ์กัดกร่อนของน้ำเค็ม ฤทธิ์กรดต่างได้ดี ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีสารคาร์ดานอลอยู่เล็กน้อยประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถ้าสกัดสารตัวนี้ออกมาแล้วผสมในเนื้ออย่างสังเคราะห์ ช่วยเพิ่มสมบัติในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อย่างให้ดีขึ้น
5. ใช้ทำน้ำยาแช่หนังฟอก ผสมน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลงในน้ำยาฟอกหนัง ช่วยให้หนังที่ฟอกแล้วมีสมบัติดีขึ้น ทนทานต่อฤทธิ์ทำลายของสารต่างๆ
6. ใช้ในอุตสาหกรรมผ้าเบรก และผ้าครีซรถยนต์ สารในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ใช้ทำยางลดแรงเสียดสีในอุปกรณ์ใช้งานที่ต้องสัมผัสพื้นผิวบ่อยๆ เช่น ผ้าเบรก แผ่นครีซในรถยนต์ เป็นต้นได้ดี เนื่องจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ช่วยให้สารต่างๆ เกาะกันได้ดีขึ้น มีความยืดหยุ่น สามารถทนความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานเวลาเบรกผ้าเบรก และผ้าครีซคงทนไม่สึกง่าย และมีประสิทธิภาพในการห้ามล้อ
7. ใช้เป็นส่วนผสมของสีเคลือบชนิดต่างๆ และทำให้สีมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นได้ดียิ่งขึ้น
8. ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันวานิช (Varnish) และแลคเกอร์ (Lacquer) ทำให้วานิช และแลคเกอร์ที่ได้มีสมบัติดีขึ้น น้ำยาเคลือบมีความยืดหยุ่น ติดแน่นไม่ลอกหลุด ไม่แตกหักหรือเปราะง่ายเมื่อแห้ง น้ำมันวานิชหรือแลคเกอร์ใช้ทาเรือ, เคลือบแห, เคลือบบอน, เคลือบจักรเย็บผ้า, เคลือบจักรยานยนต์หรือใช้ทาไม้กั้นปลวก
9. ใช้เป็นส่วนผสมของเรซิน, พลาสติก, สายพาน, กาว, กระเบื้อง, ยางปูพื้น และผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ
10. ใช้ในทางการแพทย์ ทางด้านการแพทย์ศัลยกรรมตกแต่ง ใช้เป็นยาลอกฝ้า, ยาลอกกระที่ผิวหนัง
11. ใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตร ใช้ในการปราบศัตรูพืช ซึ่งได้แก่แมลง และเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำลายพืชและผลิตผลเกษตร นอกจากนี้ยังใช้กำจัดตัวอ่อนของยุงด้วย [17]

#### 2.2.5 ลักษณะเด่นของสารพอลิเมอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

เมื่อเปรียบเทียบกับพีนอลิเกรซินโดยทั่วไปพบว่า พอลิเมอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มีคุณสมบัติการโค้งอ่อนตัวที่ดีกว่า อันเนื่องมาจากการมีสายโซ่ข้างเคียงที่มีขนาดยาวทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ในโมเลกุล ซึ่งส่งผลให้การแปรรูปทำได้ง่ายกว่า ในขณะที่เดียวกันสายโซ่ข้างเคียงนี้ยังส่งผลให้พอลิเมอร์ที่ได้มีค่าความเป็นขั้ว (Polarity) ต่ำ ทำให้เมื่อนำไปใช้เป็นสารเคลือบช่วยป้องกันความชื้น และความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของพอลิเมอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ คือการทนทานต่อการสึกหรอ จึงทำให้สิ่งนี้กลายเป็นสารเติมแต่งที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานที่ไม่ถูกต้องใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสียดสี สำหรับพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นยางมีความเหนียว และมีลักษณะคล้ายหนัง ส่วนเรซินที่มีน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผสมอยู่มีจุดเด่นในการทนทานต่อกรด และด่าง สมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญได้แก่ สมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้า และความร้อน สมบัติการต่อต้านการเจริญเติบโตของจุลชีพ พอลิเมอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ สามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์อื่นได้หลายชนิด เช่น พลาสติก และยาง [1]

## 2.3 อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin)

อีพอกซีเรซินมีลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปดังรูป หมู่อีพอกซีประกอบด้วยอะตอม 3 ชนิดด้วยกันที่ประกอบขึ้นมาได้แก่ คาร์บอน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม ตัวอย่างของอีพอกซีเรซิน เช่น ไสโคลอลิฟาทิกอีพอกซีเรซิน (Cycloaliphatic epoxy resin), อีพอกซีไดซ์ออยล์(Epoxidized oils) และ ไกลซิเดตบิสฟีนอลเอ (Glycidated bisphenol A)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทั่วไปของอีพอกซีเรซิน [18]

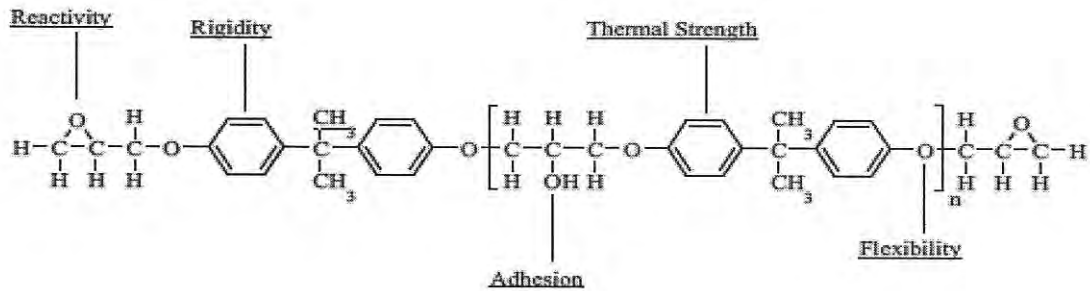
### 2.3.1 สมบัติและข้อดีของอีพอกซีเรซิน

สมบัติของอีพอกซีเรซินโดยทั่วไปเป็นประโยชน์ทางการค้า เนื่องจากใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา รวมถึงการนำไปใช้ในการผลิตชิ้นงานต่างๆ เช่น ใช้ทำสารเคลือบผิว กาว และเป็นโครงสร้างของชิ้นงาน ซึ่งในกระบวนการเทอร์โมเซตพอลิเมอร์นั้น ทำให้ได้อีพอกซีเรซินมากกว่า 1 หมู่ การเลือกใช้อีพอกซีเรซิน และสารบ่มนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของการนำไปใช้งาน และลักษณะที่สัมผัสได้ (Viscosity, Pot life, Gel time) อุณหภูมิ และเวลาในการบ่มสมบัติที่ใช้ เช่น สมบัติทางกล, ทางเคมี, ทางความร้อน และการนำไฟฟ้า ความเป็นพิษ และข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงต้นทุนด้วย

ข้อดีของอีพอกซีเรซิน

- เป็นกาวที่สามารถใช้งานได้หลากหลาย และเป็นสารเสริมแรง
- ทดตัวลงในการบ่มหรือทำให้แข็ง
- มีสภาพคงตัวที่ดีไม่แตกหักง่าย
- มีสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าที่ดี
- เป็นสารทนต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และไม่ละลายน้ำ
- ทนต่อความร้อนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ [1] ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอีพอกซีเรซินชนิด Thermosetting [1]

### 2.3.2 อีพอกซีเรซินชนิด 2 ส่วน (Two-package epoxy coating)

ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว อีพอกซีเรซินเพียงลำพังไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของเรซินต่ำ อย่างไรก็ตามสามารถบ่มอีพอกซีเรซินให้เกิดเป็นโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นตาข่ายได้ด้วยสารหลายชนิด ดังนั้นการใช้งานของอีพอกซีเรซินจัดอยู่ในประเภทที่เรียกว่า Two-package คือ มี 2 ส่วนแยกกันอยู่ ส่วนหนึ่งคืออีพอกซีเรซิน และอีกส่วนหนึ่งเป็นสารทำให้แข็งหรือทำให้เกิดปฏิกิริยาซึ่งเรียกว่าสารบ่ม

ก่อนใช้งานต้องเอาทั้งสองส่วนมาผสมกัน และหลังจากผสมกันแล้วต้องรีบใช้ของผสมให้หมดโดยเร็ว เพราะเกิดการบ่มเป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง อายุใช้งานหลังผสม (Pot life) ของอีพอกซีเรซินขึ้นอยู่กับชนิดของสารบ่มที่ใช้ โดยปกติมักบ่มอีพอกซีเรซินที่อุณหภูมิห้อง

#### การเลือกใช้อีพอกซีเรซินในสารเคลือบผิวชนิด 2 ส่วน

อีพอกซีเรซิน ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 900 ใช้กันมากในสารเคลือบผิวชนิด 2 ส่วนที่มีตัวทำละลาย ทั้งนี้เพราะให้ฟิล์มที่มีสมบัติที่ดี อย่างไรก็ตามโมเลกุลที่มีขนาดต่างไปจากนี้ที่มีใช้เช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน อาจกล่าวได้ว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของอีพอกซีเรซินเพิ่มขึ้นสมบัติของสารเคลือบผิวหลังการบ่มเปลี่ยนไปดังนี้คือ

- ความอ่อนตัวไม่เปราะ และการไหลดีขึ้น
- อายุใช้งานหลังผสม ยาวนานขึ้น
- ต้องการตัวทำละลายที่ระเหยงายน้อยลง
- โครงร่างตาข่ายของโมเลกุลน้อยลง ดังนั้นจึงทำให้ความสามารถทนทานต่อตัวทำละลาย

และเคมีภัณฑ์ต่างๆ ต้อยลงไป

#### การเลือกใช้ตัวทำละลายในอีพอกซีเรซินชนิด 2 ส่วน

ตัวทำละลายที่ใช้ในอีพอกซีเรซินชนิด 2 ส่วน มักเป็นของผสมระหว่างตัวทำละลายที่มีออกซิเจน เช่น คีโตนหรือแอลกอฮอล์ กับอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ไม่ควรใช้เอสเทอร์เป็นตัวทำละลายสำหรับอีพอกซีเรซินชนิด 2 ส่วน เนื่องจากเอสเทอร์อาจทำปฏิกิริยากับเอมีนที่ใช้เป็นสารบ่มได้

ซึ่งเป็นผลให้การบ่มเกิดได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 การใช้งานของอีพอกซีเรซินในอุตสาหกรรมเคลือบผิว

การใช้งานของอีพอกซีเรซิน แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. สารเคลือบผิวชนิดอบ โดยใช้พินอิลิเกรซิน ยูเรียเรซิน หรือ เมลามีนเรซิน เป็นสารบ่ม
2. สารเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น โดยใช้พอลิเอมีน หรือพอลิเอไมด์ เป็นสารบ่ม
3. สารเคลือบผิวชนิดแห้งได้เองในอากาศ ได้จากการนำอีพอกซีเรซินมาเอสเทอร์ฟิเคชัน

(Esterification) ด้วยกรดไขมัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า อีพอกไซด์เอสเทอร์ หรืออีพอกซีเอสเทอร์

#### อีพอกซีเรซินชนิดแห้งได้เองในอากาศ (Air-drying epoxide coatings)

สารเคลือบผิวจากอีพอกซีเรซินชนิดนี้ เรียกกันว่า อีพอกไซด์เอสเทอร์ ซึ่งทำได้โดยการเอสเทอร์ฟิเคชันหมู่อีพอกซี และหมู่ไฮดรอกซิลของอีพอกซีเรซินด้วยกรดคาร์บอกซิลิก ถ้ากรดที่ใช้เป็นกรดที่มีความไม่อิ่มตัวสูงก็ได้สารเคลือบผิวที่มีสมบัติแห้งได้เองในอากาศที่มีสมบัติคล้ายคลึงกับอัลคิเดเรซินมาก โดยการจับปริมาณของกรดให้เหมาะสมกับปริมาณหมู่ฟังก์ชันในเรซินที่เกิดเอสเทอร์ฟิเคชันก็สามารถเตรียมอีพอกไซด์เอสเทอร์ ซึ่งมีสมบัติการละลาย ความหนืด ระยะเวลาการแห้ง ความแข็ง ความเงา และความทนทานต่อเคมีภัณฑ์ต่างๆ กัน โดยปกติเตรียมอีพอกไซด์เอสเทอร์โดยให้ความร้อนกับของผสมของอีพอกซีเรซิน และกรด ที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศเฉื่อย โดยอีพอกไซด์เอสเทอร์ ใช้ทำวารนิชสำหรับเคลือบพื้น และสีรองพื้นสำหรับเหล็ก [11]

### 2.4 เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต (Cellulose acetate butyrate, CAB)

เซลลูโลสเอสเทอร์เป็นหนึ่งในพื้นฐานของไบโอพอลิเมอร์ที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ รู้จักกันในนามเซลลูโลสตัดแปรรูป ซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ เซลลูโลสเอสเทอร์มีหลากหลายแบบ เช่น เซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose acetate หรือ CA), เซลลูโลสอะซิเตตโพรพิโอเนต (Cellulose acetate propionate หรือ CAP) และเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต (Cellulose acetate butyrate หรือ CAB)

เซลลูโลสเอสเทอร์คือการผลิตปฏิกิริยาของกรดอินทรีย์ (Organic acid) หรือแอนไฮไดรด์ไฮโดรเจน (Acid anhydrides) กับหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ซึ่งพบบนแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose) ที่เป็นหน่วยย่อยของโมเลกุลเซลลูโลส เกิดปฏิกิริยาแบบเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ประกอบด้วยหลายขั้นตอนที่จำเป็นในการผลิตเซลลูโลสเอสเทอร์ รวมทั้งการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เพื่อให้ได้ไฮดรอกซิลตามต้องการ

ผลิตภัณฑ์สุดท้ายส่วนมากได้เป็นผงเบาแห้ง ในกรณีรูปแบบอื่นๆ สามารถผลิตได้ตามต้องการ ข้อมูลพื้นฐานทางกายภาพ สมบัติในการละลายในตัวทำละลายหรือมอนอเมอร์ และสมบัติการเข้ากันได้ของเซลลูโลสเอสเทอร์ เป็นแนวทางทั่วไปในการเลือกใช้งานวัสดุพอลิเมอร์สำหรับการใช้งานที่หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1 ชนิดของเซลลูโลสเอสเทอร์

เกรดการค้าที่ใช้กันทั่วไปมี 3 ชนิดคือ เซลลูโลสอะซิเตต, เซลลูโลสอะซิเตตโพรพิโอเนต และเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต โดยเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตคือเซลลูโลสเอสเทอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดในการใช้งานเคลือบ (Coating) ซึ่งมีหลายชนิดโดยแตกต่างที่อัตราส่วนของอะเซทิล (Acetyl) หรือบิวทิล (Butyryl) จำนวนไฮดรอกซิล และมวลโมเลกุลเพื่อตอบสนองต่อความต้องการ

เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตใช้เป็นสารยึดหรือตัวประสาน (Binder) ในการป้องกัน และตกแต่งของสารเคลือบสำหรับโลหะ, ไม้, เส้นใย, เสื้อผ้า, กระดาษ, พลาสติก, เล็บ, หมึกพิมพ์, รถถัง, รถบัส, จรวดขับเคลื่อน และเครื่องหนัง ให้สีที่ดี และมีความคงทน มีความเหนียว ความยืดหยุ่น การควบคุมการไหล และการทนต่อสภาพอากาศที่ดี เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตนิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในสารเคลือบให้สมบัติที่สำคัญ เช่น การไหลที่ดี, การแห้งตัวเร็ว, ต้านทานการร่อน, ควบคุมความหนืด, การยึดเกาะระหว่างชั้น และการเรียงตัวของเกล็ดโลหะ

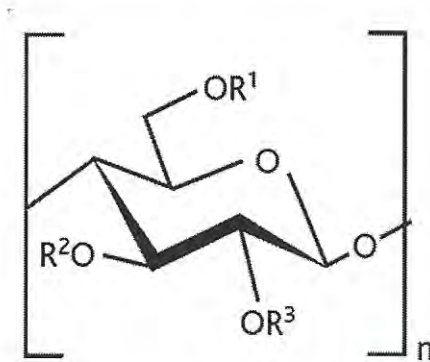
### 2.4.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเซลลูโลสเอสเทอร์ในสารเคลือบ

สมบัติที่มีผลต่อเซลลูโลสเอสเทอร์คือองค์ประกอบทางเคมี และมวลโมเลกุล ถ้าขนาดใหญ่และความมีขั้วต่ำของหมู่โพรพิโอเนต (Propionyl) หรือบิวทิล (Butyryl) ในโมเลกุลเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสายโซ่เซลลูโลส เพราะหมู่โพรพิโอเนตหรือบิวทิลกระจายตัวออกจากกัน และลดอันตรกิริยาระหว่างหน่วยข้างเคียง ในการปรับปรุงหมู่โพรพิโอเนตหรือบิวทิลมีผลกระทบต่อคอนฟิกูเรชัน (Configuration) และคอนฟอร์เมชัน (Conformation) ของสายโซ่โมเลกุลทำให้เกิดการเปลี่ยนสมบัติ ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับการแทนที่ (DS) ที่นิยมใช้ในการวัดปริมาณจำนวนไฮดรอกซิลต่อหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่อะเซทิล (Acetyl DS) ช่วง 0 (Cellulose) -3 (Tri-ester)

เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตนิยมในการใช้เป็นสารเคลือบ ซึ่งมีองค์ประกอบของบิวทิลเพิ่มขึ้นทำให้การไหล การเข้ากันได้ การยืดหยุ่น การทนต่อสารเจือจาง และการต้านทานความชื้นเพิ่มขึ้น การลดลงของบิวทิล เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของการทนต่อสารเคมี และน้ำมัน จาระบี ความแข็งและช่วงการหลอมเหลว เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตสามารถละลายในเอสเทอร์ (Esters), คีโตน (Ketone), โกลคอลอีเทอร์ (Glycol ether), โกลคอลอีเทอร์เอสเทอร์ (Glycol ether esters), ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ (Blend of alcohol) และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbon) ทนต่อสารเจือจาง ในระดับประมาณ 5% มวลโมเลกุลต่ำๆ ละลายในแอลกอฮอล์ ถ้าหมู่ไฮดรอกซิลมากเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้นมีความสามารถในการเกิดการเชื่อมโยงกับอะมิโน (Amino) และไอโซไซยานาตเรซิน

โดยทั่วไป CAB สามารถเข้าได้ดีกับอะคริลิก (Acrylics), พอลิเอสเทอร์ (Polyesters), ฟีนอลิก (Phenolics), ยูเรีย (Ureas), และไอโซไซยานาต นอกจากนั้นยังเข้าได้ดีกับอีพอกซี และพอลิไวนิลแอสเตต (Polyvinyl acetates) บางชนิด โดยเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตไม่สามารถเข้าได้ดีกับเมลามีน (Melamines), ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde) และอัลคีด (Alkyds)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Cellulose acetate butyrate

$R^1, R^2, R^3 = \text{Acetyl, Butyryl, or H}$

### รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเซลลูโลสอะซิเตตบิวทีเรต [19]

มวลโมเลกุลของเซลลูโลสเอสเทอร์มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของเอสเทอร์ในการทำสารเคลือบ เมื่อเพิ่มมวลโมเลกุลเล็กน้อยลดการละลายและการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่นๆ แต่ไม่ได้มีผลต่อความแข็ง และความหนาแน่น โดยทั่วไปความหนืด, ความเหนียว และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น

#### 2.4.3 เซลลูโลสเอสเทอร์ในรูปฟิล์ม, ดัดแปรหรือสารเติมแต่ง

ในบางสารเคลือบเพื่อการป้องกัน และการตกแต่ง เซลลูโลสเอสเทอร์ทำหน้าที่เป็นฟิล์มพอลิเมอร์ชั้นแรกหรือเป็นโคพอลิเมอร์ดัดแปรเพื่อให้สมบัติเฉพาะแก่สารเคลือบทั้งของเหลวหรือของแข็ง ประโยชน์ของเซลลูโลสเอสเทอร์ในการนำมาเป็นสารเติมแต่งเพื่อทำสารเคลือบ ได้แก่

1. เนื่องจากความหนืดที่ต่ำ เซลลูโลสเอสเทอร์ป้องกันไม่ให้เกิดการบิดเบี้ยว, เป็นหลุม, เกิดการข้อย และไหลเป็นทาง, ฟิล์มกรอบ, เกิดการล่อนเป็นเกร็ด, เกิดการแยกชั้นของสี และผงสีเกิดการลอยตัว
2. เนื่องจากเป็นการไหลแบบนิวโตนเนียน (Newtonian) เซลลูโลสเอสเทอร์จึงสามารถปรับปรุงการไหล และปรับระดับได้ ควบคุมการไหล และลดข้อบกพร่องบนผิวหน้าได้ เช่นการเป็นหลุม เป็นละออง ประยุกต์ใช้กับการเกิดกรรม้วนของเสื้อผ้าหรือผ้าฆ่ามัน
3. เนื่องจากมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูง ( $T_g$ ) เซลลูโลสเอสเทอร์จึงมีเวลาในการแห้งตัว (Dry to touch) เร็ว และปรับปรุงความแข็งให้ดีขึ้น
4. เนื่องจากสายโซ่หลักของเซลลูโลส จึงทนต่อแสงยูวีได้ดี และมีเสถียรภาพดี

#### 2.4.4 ประโยชน์สำหรับเซลลูโลสเอสเทอร์ในสารเคลือบ

ในอุตสาหกรรมรถยนต์เซลลูโลสเอสเทอร์มีการใช้งานมายาวนาน มักเป็นองค์ประกอบสำคัญในการกำหนดสูตรเพื่อให้ได้เฉดสีตามต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องเข้ากับการจัดเรียงตัวของเกล็ดโลหะ เซลลูโลสอะซิเตตบิวทีเรตสามารถใช้เป็นสีพื้นเพื่อให้การเรียงตัวของเกล็ด และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานต่อการละลายจากตัวทำละลายที่ผิววนอกสุด นอกจากนั้นยังใช้ในการกระจายเม็ดสี สำหรับงานยานยนต์เพื่อให้ได้ประกายที่กำหนด

ในงานหลักที่ใช้เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต คือ การเคลือบไม้ ไม้อัด ไม้เนื้ออ่อน และไม้เนื้อแข็ง ทั้งระบบเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต สามารถทำเป็นสูตรสารเคลือบได้ ไม่เหลือง มีความทนทานดี ต้านทานรอย ต้านทานการแพร่ของสาร และสีคงทน

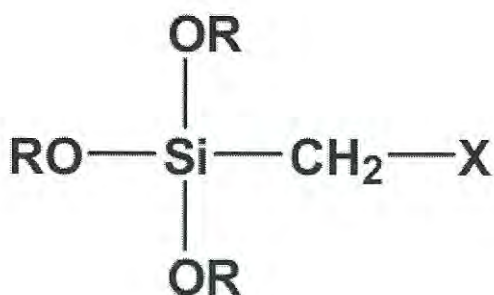
เซลลูโลสเอสเทอร์ถูกใช้เป็นสารเติมแต่งในระบบการบ่มรังสี (RC) ได้เป็นอย่างดี ให้ประโยชน์เหมือนตัวทำละลาย เช่น การไหล, การปรับระดับ, ปรับปรุงควบคุมความมันเงา, ปรับปรุงการยึดเกาะ และลดข้อบกพร่องบริเวณพื้นผิว เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตใช้เคลือบทับการพิมพ์ใช้ในระดับ 1-5 % ในการประยุกต์ใช้กับการเคลือบแบบการบ่มรังสีนั้นเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตสามารถลบหรือขจัดหลุมในการเคลือบผิวและลดการย้อยในการประยุกต์ใช้การบ่มรังสีความเร็วสูง โดยส่วนมากเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตละลายในมอนอเมอร์ จึงถูกเติมลงไปในสูตร

#### 2.4.5 การทดสอบเซลลูโลสเอสเทอร์

ได้รับการทดสอบโดยผู้ผลิตตามมาตรฐาน ASTM การทดสอบเซลลูโลสอะซิเตต (D871) เซลลูโลสอะซิเตตพรอพิโนเอต และเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต (D817) ซึ่งครอบคลุมเรื่องสี และความมันวาว, ความเป็นกรด, เสถียรภาพทางความร้อน, จำนวนไฮดรอกซิล, ความหนืดที่แท้จริง, ความชื้น, จำนวนกำมะถัน และซัลเฟต ผู้ผลิตมักจำกัดการทดสอบความสามารถในการละลาย, ความหนืด, สี และความมันวาว ความหนืดถูกกำหนดโดยใช้วิธีการหมุนของลูกบอลตาม ASTM D1343 เช่น CAB 381-2 มีความหนืด 2 วินาที, CAB 381-20 มีความหนืด 20 วินาที และ CAB 531-1 มีความหนืด 1 วินาที เป็นต้น [19]

#### 2.5 ไซเลน (Silane)

ไซเลนเป็นสารคู่ควมมีโครงสร้างเป็นสองหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน ส่วนใหญ่สารประกอบไซเลนปลายด้านหนึ่งเป็น เอทอกซี (-OEt)<sub>x</sub> หรือเมทอกซี (-OMe)<sub>x</sub> ยึดกับหมู่ไซลานอล อีกปลายเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ทำปฏิกิริยายึดกับเรซินได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.8 โครงสร้างพื้นฐานของไซเลน [20] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 กลไกการยึดเกาะของไซเลน

1. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของสารประกอบไซเลน จากน้ำที่ใส่เพิ่มหรือความชื้นบนผิวเกิดเป็นหมู่ไซลานอล (Silanols)
2. การยึดติดกับผิวของสารอนินทรีย์ซึ่งหมู่ไซลานอลจับกับ-OH บนพื้นผิว (เช่น พันธะไฮโดรเจน) น้ำหลุดออกเกิดเป็นพันธะออกเซน (Oxane bonds) ทั้งหมดหรือบางส่วน
3. ไซเลนทำปฏิกิริยากันเอง เกิดการยึดเกาะหลายชั้น (ขึ้นกับปริมาณการใส่ไซเลน) เกิดเป็นตาข่ายไซลิกเซนหรืออาจเกิดเป็นสายโซ่ตาข่ายพันกัน (Inter-penetrating network, IPN)

### 2.5.2 การเลือกชนิดไซเลน

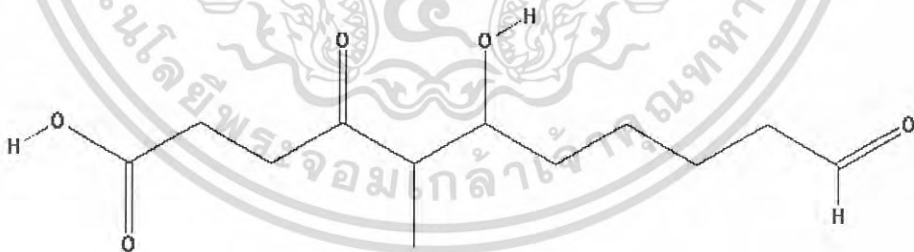
1. ขึ้นกับปฏิกิริยาเคมีของเรซินหรือพอลิเมอร์เมทริกซ์
2. ความมีขี้ (ชอบน้ำ) และไม่มีขี้ (ไม่ชอบน้ำ)
3. การทนอุณหภูมิ (เสถียรภาพทางความร้อน)
4. ความสามารถในการละลาย (Solubility parameter) [21]

## 2.6 ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ (Oxidized polyethylene wax, OPE Wax)

### 2.6.1 การสังเคราะห์พอลิเอทิลีนแวกซ์

พอลิเอทิลีนแวกซ์ถูกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีน เกิดเป็นสายโซ่เอทิลีนที่คล้ายกับพอลิเอทิลีนเรซินแต่น้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำกว่า (2,000 – 10,000)

แวกซ์สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ด้วยหลากหลายวิธี เพื่อการผลิตแวกซ์ให้อยู่ในสภาพที่เป็นอิมัลชัน



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ [22]

### 2.6.2 กลไกการทำงานของแวกซ์

แวกซ์ต่างๆ ถูกนำมาใช้ในการใช้งานที่แตกต่างกันสำหรับสารเคลือบ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพบางอย่าง การทำงานของแวกซ์แบ่งออกได้ 2 กลไกดังนี้

- กลไก “Ball bearing”

คือ การกระจายตัวของอนุภาคแวกซ์ที่ไม่ต่อเนื่องตลอดทั้งสารเคลือบ (Coating matrix)

อนุภาคที่แพร่ออกมาเหนือพื้นผิวของฟิล์ม ป้องกันการถลอก การขีด การถู หรือการขูด  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Abrading media) จากการสัมผัสพื้นผิวสารเคลือบ แต่พื้นผิวอื่นๆ ที่ติดทนทานกว่าอนุภาคแว็กซ์ที่แพร่ออกมา ก่อให้เกิดความเสียหายน้อยกว่าพื้นผิว

#### - กลไก “Migration”

เป็นกลไกที่เกี่ยวข้องกับการย้ายตำแหน่งของแว็กซ์ไปยังพื้นผิวของฟิล์ม ซึ่งช่วยในการสร้างฟิล์มที่มีความมันวาวเรียบ (Smooth glossy film) ในบางการใช้งานโดยธรรมชาติของแว็กซ์ประพฤติตัวแบบตัวทำลายระเหยหรือการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ระหว่างการบ่มของสารเคลือบ

### 2.6.3 สมบัติของแว็กซ์

#### Matting

- พื้นผิวด้าน คือสิ่งตรงข้ามกับความมันเงา แต่ผลทั้งสองสามารถเกิดขึ้นได้โดยการใช้แว็กซ์
- ผลของ Matting ประเภทของแว็กซ์ และวิธีการของการรวมตัวกันต้องเป็นกลไก “Ball bearing”
- อนุภาคของแว็กซ์ที่แพร่ออกมาเหนือพื้นผิวทำหน้าที่กระจายแสงเพื่อลดแสง (Glare)
- ขนาดอนุภาคเป็นสิ่งสำคัญในการมีพื้นผิวที่เรียบ, พื้นผิวด้านเนียนไม่รู้สึกรูขรุขระหรือดูหมองคล้ำหรือมัว
- การกระจายตัวในสี หรือวารนิช เป็นสิ่งสำคัญในการทำให้พื้นผิวมีความสม่ำเสมอ
- ซิลิกา มักถูกนำมาใช้เป็นสารปรับลดความเงา (Matting agents) แต่เนื่องจากความหนาแน่นที่สูงสามารถนำไปสู่ปัญหาเกี่ยวกับการนอนกัน
- การรวมกันของแว็กซ์ และซิลิกาสามารถนำไปสู่ผลที่ดีที่สุด
- การใช้แว็กซ์ที่มีความแตกต่างในการหักเหของแสง สามารถเพิ่มผลความด้านโดยไม่ก่อให้เกิดการมัวหมอง

### 2.6.4 การรวมตัวของแว็กซ์ในสารเคลือบ

วิธีการรวมตัวของแว็กซ์ในสารเคลือบสามารถส่งผลกระทบต่อสมบัติสุดท้าย ขนาดของอนุภาค และความสม่ำเสมอของการกระจายตัวนั้นเป็นปัจจัยสำคัญ โดยวิธีที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับชนิดของแว็กซ์ และปัจจัยสุดท้ายที่ต้องการ

#### Emulsification

วิธีการนี้ถูกจำกัดกับระบบที่ใช้ น้ำ (Water-based systems) แว็กซ์ต้องเป็นประเภทที่สามารถเกิดอิมัลชันได้ โดยส่วนใหญ่ใช้สำหรับการทำให้เกิดอิมัลชันในการออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กันทามาต โปชนา และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาศาสตร์เคลือบไม้จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วง-หิมพานต์ โดยทำการดัดแปรน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ด้วยการให้ความร้อน (Heat treatment) พบว่าการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ความร้อน ทำให้สภาพกรดของน้ำมันลดลง ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น จากผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy) พบว่าหมู่คาร์บอนิลหลุดออกจากโครงสร้างหรือมีการหลุดออกของสิ่งเจือปนนั้น ส่งผลให้ความหนืดลดลง ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของสารลดลงด้วย ทำให้ยืนยันได้ว่าการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ความร้อนเป็นเทคนิคที่สามารถใช้ปรับปรุงโครงสร้างของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ จึงมีแนวคิดในการทำสารเคลือบยูรีเทนชนิดดัดแปร ทำการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ไอโซไซยาเนต (HDI) และกลีเซอรอล เนื่องจากไอโซไซยาเนตและกลีเซอรอลเป็นหมู่ที่มีความว่องไวสูง จึงช่วยให้สารเคลือบที่ได้แห้งตัวได้รวดเร็วขึ้น เนื่องจากเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารประกอบพอลิออล ดังนั้นการใส่กลีเซอรอลทำให้มีหมู่ไฮดรอกซีเพิ่มมากขึ้นจึงเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น ได้สัดส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมคือ TCNSL : กลีเซอรอล : HDI เท่ากับ 50 : 10 : 12.5 แต่ยังใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวนานเกินกว่ามาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม จึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิโดยให้ความร้อนกับสารที่เคลือบลงบนไม้แล้ว ซึ่งการให้ความร้อนสามารถทำให้เกิดฟิล์มได้เร็วขึ้นแต่ยังใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวนานเกินกว่ามาตรฐาน นอกจากนี้ฟิล์มที่ได้อาจมีโอกาสเกิดฟองเนื่องจากการระเหยของตัวทำละลาย ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มสูงเกินไป ดังนั้นสารเคลือบยูรีเทนชนิดดัดแปรในอัตราส่วนนี้ยังไม่ควรนำไปใช้ในอุตสาหกรรม จึงมีแนวคิดในการทำสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน พบว่าการเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลนจากน้ำมันอูรูซี มีการแห้งตัวเร็ว จึงนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เนื่องจากมีโครงสร้างที่ใกล้เคียงกัน ทำการศึกษาจนได้สัดส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมคือ TCNSL : ไซเลน : อีพอกซี เท่ากับ 10 : 5 : 20 และ 20 : 10 : 20 พบว่าการแห้งตัวอยู่ในระยะเวลาที่กำหนดตามมาตรฐานทำการศึกษาก่อนหน้า พบว่าสารเคลือบที่ได้สามารถทนน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ แต่ไม่สามารถทนน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้ จึงได้ทำการใส่สารเร่งแห้งโลหะ (Metal dryer) หรือเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต หรือใช้ทั้งสองอย่างร่วมกัน ทำให้สารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน ทนน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้ เนื่องจาก เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตมีความเป็นผลึก เมื่อเกิดปฏิกิริยากับสารเคลือบทำให้สารเคลือบมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) สูงขึ้น นอกจากนี้เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตยังสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเซลลูโลสของไม้ได้ จึงทำให้โครงสร้างของสารเคลือบแข็งแรงขึ้น สำหรับการใส่สารเร่งแห้งทำให้เกิดความหนาแน่นของการเชื่อมโยง (Cross-linked density) มากขึ้น โดยการเกิดปฏิกิริยาที่หมู่แทนที่ของสายไซไฮโดรคาร์บอนทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น จึงได้สารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลนที่มีการแห้งตัวเป็นไปตามมาตรฐาน และสามารถทนน้ำและน้ำร้อนได้ จากนั้นนำสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลนมาทดสอบสมบัติอื่นๆ คือ ความหนา, การยึดติด, การทนกรด-ด่าง, การทนแรงกระแทก และการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา พบว่าจากผลการทดสอบต่างๆ ทั้งหมดนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัดส่วนโดยน้ำหนักที่ดีที่สุด คือสัดส่วน 10 : 5 : 20 เนื่องจากมีค่าการติดแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 4B นอกจากนี้ยังสามารถทนกรดได้ดี แต่ทนด่างได้เล็กน้อย โดยสูตรที่สามารถทนด่างได้ดีที่สุดคือสูตรมีสารเร่งแห้งโลหะเป็นองค์ประกอบ

สุรัตน์ อาริรัตน์ และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาเรื่องการพัฒนาสารเติมแต่งไฮบริดสำหรับป้องกันการเสื่อมสภาพยางจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และปิโตรเลียมแว็กซ์โดยได้มีการปรับสภาพน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์วิธีการดีคาร์บอกซิเลชันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยซึ่งตัวอย่างน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ประมาณ 400 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาเป็นระยะเวลา 30 และ 60 นาที เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้กรดอนุคาร์ดิกเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเปลี่ยนไปเป็นคาร์ดานอลในปริมาณที่มากที่สุด โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas chromatograph-Mass spectrometer หรือ GC-MS) โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 0.017 กรัม เตรียมให้ได้สารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตรในเฮกเซน ซึ่งน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 30 นาที มีปริมาณของคาร์ดานอลในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มากกว่าที่ใช้ระยะเวลา 60 นาที เนื่องจากในระหว่างเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน นอกจากกรดอนุคาร์ดิกเปลี่ยนเป็นคาร์ดานอลแล้ว คาร์ดานอลยังสามารถเสื่อมสภาพไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้อีกด้วย ดังนั้นคาดว่าเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ควรใช้เวลา 30 นาที

Sabila และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาเรื่องสารเคลือบพื้นผิวพอลิเอสเตอร์เรซินจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยมีวิธีการดีคาร์บอกซิเลชันน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 135 -140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจนกระทั่งพองหมด เมื่อนำไปหาค่าความเป็นกรด และวัดค่าพีเอชพบว่าน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการดีคาร์บอกซิเลชันแล้วมีค่าความเป็นกรดลดลง และมีค่าพีเอชสูงขึ้น แสดงว่าหมู่คาร์บอกซิลิกหลุดออกจากกรดอนุคาร์ดิก ยืนยันได้จากกราฟฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่ไม่มีพีคของกรดคาร์บอกซิลิก

พรนภา เกษมศิริ และคณะ [26] ศึกษาผลกระทบ สมบัติทางความร้อนและสมบัติการยึดติดของอีพอกซีเรซินที่บ่มด้วยน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้เป็นสารบ่มนั้น ควรมีปริมาณไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อหลีกเลี่ยงน้ำมันส่วนเกินที่อาจไม่ทำปฏิกิริยา โดยกลไกของการบ่มนั้นเกิดขึ้นได้ 2 ชั้นที่อุณหภูมิ 165–170°C และ 230–235°C ตามลำดับ โดยชั้นแรกแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่อีพอกซีกับหมู่

ไฮดรอกซิลของคาร์ดานอลและคาร์ดอล และหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอนุคาร์ดิก ส่วนในขั้นที่สอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้ไปเผยแพร่บนฐานการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการบ่มแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของหมู่อีพอกซีกับหมู่ไฮดรอกซิล ที่เกิดจากปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก (Epoxy resin-acid) นอกจากนี้ในการทดลองยังมีการใช้ผงซิลิกาในการปรับปรุงสมบัติการยึดเกาะ และสมบัติทางความร้อน พบว่าเมื่อมีการเติมผงซิลิกาที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พอลิเมอร์มีความแข็งแรงเฉือน (Shear strength) เพิ่มขึ้น และเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมซิลิกาในปริมาณที่มากขึ้น

Shinji และคณะ [5] ได้ทำการพัฒนาไฮบริดเรซินจากแลคเกอร์ธรรมชาติ โดยทำการเตรียมสารเคลือบไฮบริดจากน้ำมันอูรูซี, อีพอกซี และสารประกอบประเภทไซเลนชนิดต่างๆ โดยทำการบ่ม ณ อุณหภูมิห้อง เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม, การแห้งตัว และสมบัติความแข็งของสารเคลือบ ผลจากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสารเคลือบไฮบริด คือ อีพอกซีชนิด BPAE 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และสารประกอบไซเลนชนิด AATMS (N-(2-aminoethyl)-3-aminopropyl trimethoxysilane) 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากที่สภาวะนี้สารเคลือบมีประสิทธิภาพในการแห้งตัว และสมบัติความแข็งที่ดี นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มให้ดีขึ้นโดยการให้ความร้อน (Thermal treatment) ดังนั้นไฮบริดเรซินจากแลคเกอร์ธรรมชาตินี้ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ เช่น การทำสารเคลือบ

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาสารเคลือบที่ทำจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ สารเคลือบที่มีความเป็นพิษต่ำ และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติเป็นส่วนประกอบ จึงต้องมีการทดลองเพื่อหาปริมาณของส่วนประกอบที่เหมาะสมที่ทำให้สารเคลือบมีสมบัติที่ดีที่สุดเพื่อใช้เป็นสารเคลือบไม้สำหรับผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนที่มีลักษณะไม่มันเงาเมื่อเคลือบผลิตภัณฑ์ไม้แล้วผลิตภัณฑ์นั้นยังคงมีลักษณะเหมือนเนื้อไม้จริง งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันและปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

ตอนที่ 2 การเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) เกรดทางการค้า บริษัท MAH BOONKRONG SIRICHAJ 25 INDUSTRIAL PRODUCTS CO., LTD
2. อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) เกรด DER671-X75 บริษัท CATALITE CO., LTD.
3. เซลลูโลสอะซิเตตบิวทีเรต (Cellulose acetate butyrate, CAB) เกรด CAB-381-20 บริษัท EASTMAN
4. บิวทิลอะซิเตต (Butyl acetate, BA) เกรดทางการค้า บริษัท TOP SOLVENT CO., LTD.
5. เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone, MEK) เกรดทางการค้า บริษัท TOP SOLVENT CO.,LTD.
6. ไซลีน (Xylene) เกรดอุตสาหกรรม บริษัท LAB SYSTEM CO., LTD.
7. ไฮเลน (Silane) เกรด OFS6020-APTMS จากบริษัท KOVENTURE CO., LTD.
8. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) เกรด AR จากบริษัท Carlo Erba CO., LTD.
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) เกรด AR จากบริษัท Carlo Erba CO., LTD.
10. ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) เกรดอุตสาหกรรม บริษัท Lab system CO., LTD
11. ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax, OPE Wax) เกรด High Flat ZA-09 บริษัท GIFE SHELLAC MANUFACTURING CO.,LTD
12. แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen gas) เกรดอุตสาหกรรม บริษัท แพรกซ์แอร์

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บริภัณฑ์เครื่องแก้ว
2. ขวด 3 คอ (Round bottom flask)
3. คอนเดนเซอร์ (Condenser)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ที่กวนแบบใช้มอเตอร์ (Motor stirrer) รุ่น RW 20 Digital บริษัท Becthai Equipment & Chemical Co., Ltd.
5. แท่นให้ความร้อนและชุดควบคุมอุณหภูมิ (Hot plate and thermostat) รุ่น RCT Basic บริษัท IKA-Werke GmbH & Co.KG
6. pH meter รุ่น 827 บริษัท Metrohm
7. เครื่องวัดความหนืดแบบถ้วยอิวาทะ (Iwata cup) รุ่น Model NK-2 บริษัท ANEST IWATA Co., Ltd.
8. เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR) รุ่น NICOLET 6700 บริษัท Thermo Scientific Co. Ltd.
9. ฟองน้ำเมลามีน ขนาด 3×3×3 ซม. บริษัท Daiso Industries Co., Ltd.
10. กระดาษทราย เบอร์100 และเบอร์1000 บริษัท TOA Paint (Thailand) Co., Ltd.
11. เครื่องวัดความหนา (Thickness gages) รุ่น MPOR บริษัท Fischer Technology, Inc.
12. เครื่องวัดความเงา (Gloss meter) Micro-Tri-Gloss รุ่น AG 4446 บริษัท BYK-Gardner GmbH
13. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass spectrometer, GC-MS) รุ่น GC G1530N – MS G2573A บริษัท Agilent

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### การเตรียมไม้

##### วิธีการทดลอง

นำไม้ตัวอย่าง (ไม้จามจุรี) มาขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100 และเบอร์ 1000 เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก และทำให้ผิวไม้เรียบ จากนั้นนำไอโซโพรพานอลทาลงบนผิวหน้าของไม้ตัวอย่างในด้านที่ต้องการเคลือบเพื่อกำจัดไขมัน และสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนผิวไม้ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการไล่ความชื้นในไม้

#### การทาสารเคลือบด้วยฟองน้ำ

##### วิธีการทดลอง

นำฟองน้ำจุ่มลงในสารเคลือบให้ชุ่มแล้วบิดออก จากนั้นทาสารเคลือบลงบนผิวหน้าของไม้ตัวอย่างที่เตรียมไว้ โดยทาในลักษณะตามแนวเสี้ยนไม้ จำนวน 2 รอบ ต่อเนื่องกัน

#### 3.3.1 ตอนที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันและปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

##### 3.3.1.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน

##### 3.3.1.1.1 การวัดค่า pH

นำน้ำมัน CNSL มาใส่ลงบีกเกอร์ สูงพอที่เครื่อง pH meter สามารถ

จุ่มได้จากนั้นวัดค่าที่อุณหภูมิห้อง และอ่านค่าที่ได้และบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.1.2 การวัดค่าไอโอดีน (Iodine value, IV)

วิเคราะห์ปริมาณพันธะไม่อิ่มตัวในโครงสร้างของน้ำมันตัดแปรแต่ละชนิด โดยไทเทรตหาปริมาณไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับพันธะไม่อิ่มตัวด้วยสารละลายไทโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) โดยมีน้ำแ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ตามมาตรฐาน AOCS Cd 1b-87 (1997)

### 3.3.1.1.3 การวัดค่าความเป็นกรด (Acid value, AV)

วิเคราะห์ความเป็นกรดของน้ำมันตัดแปรแต่ละชนิด โดยไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH) มีฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ ตามมาตรฐาน ISO 660 (1996)

### 3.3.1.1.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ เนื่องจากการสั่นของหมู่ฟังก์ชันของแต่ละช่วงความยาวคลื่น โดยวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของน้ำมันก่อนและหลังการตัดแปรด้วยปฏิกิริยาเคมี ช่วงความยาวคลื่นที่  $500 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$  เตรียมตัวอย่างประมาณ 0.5 มิลลิกรัม

### 3.3.1.1.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารด้วยเทคนิค Gas chromatograph-Mass spectrometer

เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

1. เตรียมสารละลายคาร์บอนมาตรฐาน โดยชั่งสารคาร์บอนอลประมาณ 1 กรัม (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) ละลายในเฮกเซน และปรับปริมาตรเป็น  $100 \text{ cm}^3$  จากนั้นเจือจางให้ได้สารละลายเข้มข้น 0.1, 0.5 และ  $1 \text{ mg/cm}^3$
2. เตรียมสารละลายตัวอย่าง CNSL และ DCNSL โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 0.05 กรัม (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) ละลายในเฮกเซน และปรับปริมาตรเป็น  $100 \text{ cm}^3$
3. วิเคราะห์หาพื้นที่พีคของสารละลายตัวอย่าง เทียบกับสารละลายสารมาตรฐาน โดยมีสถานะในการทดสอบเป็นดังนี้

|                 |  |
|-----------------|--|
| คอลัมน์         | Zebtron ZB-5 HT INFERON ขนาด $30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}$<br>เส้นผ่านศูนย์กลาง $0.25 \mu\text{m}$                                     |
| วัสดุภาคของเหลว | 5 % phenyl-95 % dimethylpolysiloxane   |
| สถานะทดสอบ      | $200 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นระยะเวลา 3 นาที และเพิ่มเป็น $300 \text{ }^\circ\text{C}$<br>ด้วยอัตรา $50 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ |
| อุณหภูมิขณะฉีด  | $250 \text{ }^\circ\text{C}$   |
| แก๊สตัวพา       | ฮีเลียม  |

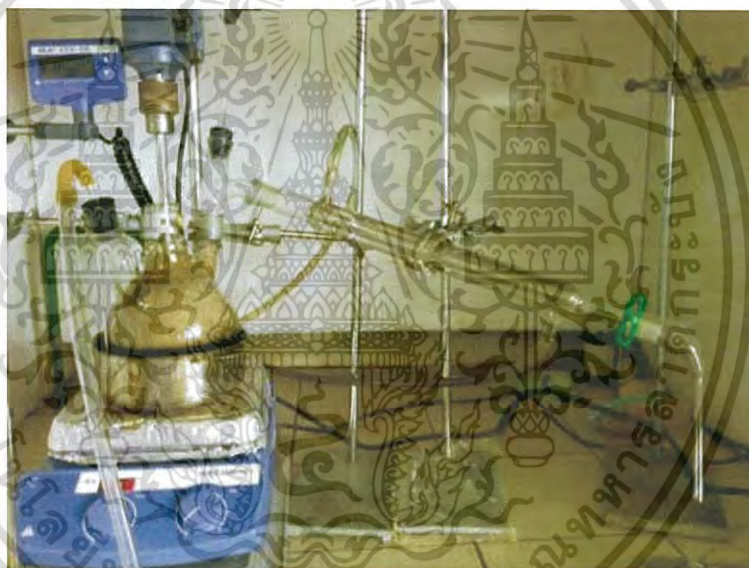
อัตราการไหล  $0.4 \text{ cm}^3/\text{min}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.2 การปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

#### วิธีการทดลอง

1. วัดค่า pH, วัดค่าไอโอดีน, วัดค่าความเป็นกรด, วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR ก่อนและหลังการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน
2. ตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1
3. ชั่งน้ำมัน CNSL 400 กรัม ใส่ขวด 3 คอ 1000 มิลลิลิตร
4. นำน้ำมัน CNSL ที่ได้ไปให้ความร้อนที่ 140 หรือ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และพ่นแก๊สไนโตรเจนตลอดเวลาที่ให้ความร้อนจนสังเกตเห็นว่ามีฟองเกิดขึ้น กรดอนาคาร์ดิก (Anacardic acid) เปลี่ยนเป็นคาร์ดานอล (Cardanol) เรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีนี้ว่า Decarboxylated CNSL (DCNSL)
5. วิเคราะห์ปริมาณคาร์ดานอลด้วย GC-MS และเปรียบเทียบผล



รูปที่ 3.1 การตั้งชุดอุปกรณ์การปรับปรุงโครงสร้าง CNSL

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

| สูตร | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | เวลา    |
|------|-------------------------|---------|
| 1    | 140                     | 30 นาที |
| 2    | 160                     | 30 นาที |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 ตอนที่ 2 การเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน

#### 3.3.2.1 การศึกษาผลของปริมาณเซลล์ลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต

##### วิธีการทดลอง

1. ชั่ง DCNSL จำนวน 10 กรัม และอีพอกซี จำนวน 20 กรัม
2. ทำการปั่นของผสมให้เข้ากันด้วยความเร็ว 500 rpm เป็นเวลา 10 นาที
3. เติม CAB 0.5 กรัม แล้วปั่นกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
4. จากนั้นชั่งและผสมตัวทำละลายเข้าด้วยกัน ได้แก่ ไซลีน, เมทิลเอทิลคีโตน และ บิวทิลอะซิเตต ในอัตราส่วน 2 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก
5. นำตัวทำละลายที่เตรียมได้มาผสมกับส่วนน้ำมันที่เตรียมไว้ โดยปรับความหนืดของสารประกอบให้มีความหนืดอยู่ในช่วง 17-18 วินาที โดยทดสอบด้วย Iwata cup เบอร์ 4 ปั่นกวนด้วยความเร็ว 200 rpm เป็นเวลา 5 นาที (ส่วนน้ำมันได้จากการคำนวณปริมาณแต่ละสูตรตามตารางที่ 3.2)
6. เติมไซเลน จำนวน 5 กรัม แล้วปั่นกวนให้เข้ากัน
7. ใช้ฟองน้ำชุบสารที่เตรียมได้แล้วเช็ดบนตัวอย่างไม้ 2 รอบ สังเกตการแห้งตัวโดยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ผล และเปรียบเทียบผล
8. เก็บชิ้นงานไว้ 7 วัน แล้วนำมาทดสอบการทนน้ำ ทำได้โดยให้สารเคลือบเปียกน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผล จากนั้นนำสูตรที่ผ่านการทนน้ำไปทดสอบการยึดติด, การทนน้ำร้อน และการทนกรด-เบส
9. ทำซ้ำข้อ 1-7 แต่ใส่ปริมาณ CAB ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเคลือบอีพอกซีไซเลน โดยปรับปริมาณ CAB

| สูตรที่ | DCNSL(g) | ไซเลน (g) | อีพอกซี (g) | CAB |       |
|---------|----------|-----------|-------------|-----|-------|
|         |          |           |             | (g) | (phr) |
| 1       | 10       | 5         | 20          | 0   | 0     |
| 2       | 10       | 5         | 20          | 0.5 | 5     |
| 3       | 10       | 5         | 20          | 1   | 10    |
| 4       | 10       | 5         | 20          | 1.5 | 15    |
| 5       | 10       | 5         | 20          | 2   | 20    |

หมายเหตุ : phr คือ Parts per hundred parts of resin (DCNSL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.2 การศึกษาผลของปริมาณอีพอกซีเรซิน

#### วิธีการทดลอง

1. ชั่ง DCNSL จำนวน 10 กรัม และอีพอกซี จำนวน 10 กรัม
2. ทำการปั่นของผสมให้เข้ากันด้วยความเร็ว 500 rpm เป็นเวลา 10 นาที
3. เติม CAB 2 กรัมซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากตอนที่ 3.3.2.1 แล้วปั่นจนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
4. จากนั้นชั่ง และผสมตัวทำละลายเข้าด้วยกัน ได้แก่ ไซลีน, เมทิลเอทิลคีโตน และ บิวทิลอะซิเตต ในอัตราส่วน 2 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก
5. นำตัวทำละลายที่เตรียมได้มาผสมกับส่วนน้ำมันที่เตรียมไว้ โดยปรับความหนืดของสารประกอบให้มีความหนืดอยู่ในช่วง 17-18 วินาที โดยทดสอบด้วย Iwata cup เบอร์ 4 ปั่นกวนด้วยความเร็ว 200 rpm เป็นเวลา 5 นาที (ส่วนน้ำมันได้จากการคำนวณปริมาณแต่ละสูตรตามตารางที่ 3.3)
6. เติมไซเลน จำนวน 5 กรัม แล้วปั่นกวนให้เข้ากัน
7. ใช้ฟองน้ำขุบสารที่เตรียมได้แล้วเช็ดบนตัวอย่างไม้ 2 รอบ สังเกตการแห้งตัวโดยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ผล และเปรียบเทียบผล
8. เก็บชิ้นงานไว้ 7 วัน แล้วนำมาทดสอบการทนกรด-เบส
9. ทำซ้ำข้อ 1-7 แต่ใส่ปริมาณอีพอกซีเรซิน ตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเคลือบอีพอกซีไซเลน โดยปรับปริมาณอีพอกซีเรซิน

| สูตรที่ | DCNSL(g) | ไซเลน (g) | CAB (g) | อีพอกซี |       |
|---------|----------|-----------|---------|---------|-------|
|         |          |           |         | (g)     | (phr) |
| 1       | 10       | 5         | 2       | 10      | 100   |
| 2       | 10       | 5         | 2       | 15      | 150   |
| 3       | 10       | 5         | 2       | 20      | 200   |

หมายเหตุ : ปริมาณ CAB เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 2.1

### 3.3.2.3 การศึกษาผลของปริมาณออกซีไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์

#### วิธีการทดลอง

1. ชั่ง DCNSL จำนวน 10 กรัม และอีพอกซี จำนวน 15 กรัม ซึ่งเป็นในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากตอนที่ 3.3.2.2
2. ทำการปั่นของผสมให้เข้ากันด้วยความเร็ว 500 rpm เป็นเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เติม CAB 2 กรัมซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากตอนที่ 3.3.2.1 แล้วปั่นจนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
4. จากนั้นชั่งและผสมตัวทำละลายเข้าด้วยกัน ได้แก่ โซลีน, เมทิลเอทิลคีโตน และ บิวทิลอะซิเตต ในอัตราส่วน 2 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก
5. นำตัวทำละลายที่เตรียมได้มาผสมกับส่วนน้ำมันที่เตรียมไว้ โดยปรับความหนืดของสารประกอบให้มีความหนืดอยู่ในช่วง 17-18 วินาที โดยทดสอบด้วย Iwata cup เบอร์ 4 ปั่นจนด้วยความเร็ว 200 rpm เป็นเวลา 5 นาที (ส่วนน้ำมันได้จากการคำนวณปริมาณแต่ละสูตรตามตารางที่ 3.4)
6. เติมออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ จำนวน 5 กรัม แล้วปั่นจนให้เข้ากัน
7. เติมโซเลน จำนวน 5 กรัม แล้วปั่นจนให้เข้ากัน
8. ใช้ฟองน้ำชุบสารที่เตรียมได้แล้วเช็ดบนตัวอย่างไม้ 2 รอบ สังเกตการแห้งตัวโดยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ผล และเปรียบเทียบผล
9. เก็บชิ้นงานไว้ 7 วัน แล้วนำมาทดสอบความมันเงา และการทนการขัดถู
10. ทำซ้ำข้อ 1-7 แต่ใส่ปริมาณออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ ตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเคลือบอียอกซีโซเลน โดยปรับปริมาณออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์

| สูตรที่ | DCNSL(g) | โซเลน (g) | CAB (g) | อียอกซี (g) | OPE wax |       |
|---------|----------|-----------|---------|-------------|---------|-------|
|         |          |           |         |             | (g)     | (phr) |
| 1       | 10       | 5         | 2       | 15          | 0       | 0     |
| 2       | 10       | 5         | 2       | 15          | 5       | 50    |
| 3       | 10       | 5         | 2       | 15          | 10      | 100   |

หมายเหตุ : ปริมาณ CAB เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 2.1

ปริมาณอียอกซีเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 2.2

### 3.3.2.4 การทดสอบลักษณะและสมบัติของสารเคลือบผิว

#### 3.3.2.4.1 การทดสอบความหนืด

ทำการทดสอบโดยหาเวลาการไหลของสารตัวอย่างออกจากถ้วยเป็นวินาทีดังต่อไปนี้ เอนิ้วปิดท่อทางออกของถ้วยแล้วเติมตัวอย่างลงไป ควรเติมตัวอย่างจนล้นแล้วใช้กระจกหรือพายปาดปาดส่วนที่ล้นออก เอนิ้วที่ปิดท่อออก จับเวลาตั้งแต่สารตัวอย่างเริ่มไหลออกจากท่อจนกระทั่งการไหลขาดสาย ในการทดสอบซ้ำควรใช้ผู้ทดสอบคนเดียวกัน ในช่วงเวลาที่ห่างกันไม่มากนัก ใช้เครื่องทดสอบเดียวกัน ภายใต้ภาวะทดสอบที่คงที่ และใช้ตัวอย่างทดสอบเดียวกัน การรักษากล้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากใช้ถ้วยหาความหนืดเสร็จแล้ว ควรใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม และใช้แปรงขนอ่อนทำความสะอาด



รูปที่ 3.2 ถ้วยไอวาคะ

#### 3.3.2.4.2 การทดสอบเวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบ (Drying time)

ในการทดสอบนี้ใช้การตรวจสอบแบบสัมผัสด้วยความรู้สึกโดยเคลือบสารเคลือบลงบนวัสดุ แล้วเริ่มจับเวลา จากนั้นเริ่มทำการตรวจเช็คระยะเวลาการแห้งตัวของสารเคลือบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. ระยะเวลา Dust free dry (DF) คือ ระยะเวลาเริ่มต้นจนถึงระยะที่รู้สึกว่าสารเคลือบ มีความเหนียวติดแต่ไม่ติดมือขึ้นมา และทิ้งรอยนิ้วมือไว้
2. ระยะเวลา Touch free dry (TF) คือ ระยะที่สารเคลือบเกิดการแห้งตัวแบบไม่เหนียวติด และไม่ทิ้งรอยนิ้วมือไว้ แต่สารเคลือบมีลักษณะนิ่มอยู่
3. ระยะเวลา Harden dry (HD) คือ ระยะที่สารเคลือบเกิดการแห้งตัวสนิทไม่มีความเหนียวติด และไม่ทิ้งรอยนิ้วมือไว้ สารเคลือบมีลักษณะแข็งทั่วพื้นผิว

#### 3.3.2.4.3 การวัดความหนาของสารเคลือบ

วิธีการทดสอบโดยเครื่อง Coating thickness gauge ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดประเภทไม่ทำลายวัสดุ ใช้หลักการเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก เพื่อวัดความหนาบนผิวเคลือบของวัสดุ สามารถใช้ได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น อลูมิเนียม, ทองแดง, ตะกั่ว, สังกะสี, ดีบุก เป็นต้น [27]



เอกสารรูปที่ 3.3 เครื่อง Coating thickness gauge [28] และรูปที่ 3.4 แผ่นโลหะที่ทาสารเคลือบค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.4.4 การทดสอบการทนน้ำ (Water resistance)

การหาความทนน้ำเป็นการหาความสามารถของสารเคลือบผิวที่กันไม่ให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ การทดสอบทำโดยการนำท่อพลาสติกวงบนแผ่นไม้ที่ทาสารเคลือบแล้ว อุดรอบฐานท่อด้วยดินน้ำมัน เพื่อป้องกันการรั่วซึม หลังจากนั้นใส่น้ำลงไป 3 ใน 4 ส่วนของท่อพลาสติก ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาแล้ว เทน้ำออก แล้วนำชิ้นงานมาตรวจสอบผิว เพื่อดูรอยพองหรือข้อบกพร่องอื่นๆ ตามมาตรฐาน ASTM D1647-89



รูปที่ 3.5 การทดสอบการทนน้ำ

### 3.3.2.4.5 การทดสอบการทนน้ำร้อน (Hot-water resistance)

การทดสอบการทนน้ำร้อนเป็นการหาความสามารถของสารเคลือบผิวที่สามารถทนต่อน้ำร้อนได้ โดยนำชิ้นงานไม้ที่ทาสารเคลือบแล้วมาติดขอบโดยรอบด้วยแผ่นฟอยล์กันความร้อน เพื่อไม่ให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในเนื้อไม้ จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำชิ้นงานมาตรวจสอบพื้นผิวเพื่อดูความบวมพองของสารเคลือบ โดยวัดค่าความมันเงาที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างก่อน และหลังการต้ม



รูปที่ 3.6 การทดสอบการทนน้ำร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.4.6 การทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบ (Adhesion)

ใช้วิธีทดสอบแบบ Cross-cut test ตามมาตรฐาน มอก. 285-2540 ก่อนการทดสอบให้ตรวจสอบความคมของใบมีด ถ้าขอบคมของใบมีดสึกหรือให้นำกลับไปลับใหม่หรือเปลี่ยนใบมีดใหม่

ทำการทดสอบโดย วางชิ้นงานไม้ที่ทดสอบบนพื้นผิวที่เรียบแข็ง จากนั้นทำการกรีดเส้นบนผิวเคลือบด้วยแรงกด และอัตราเร็วในการกรีดสม่ำเสมอ โดยแต่ละแนวให้กรีดด้านละ 10 เส้น และระยะห่างระหว่างเส้นในแต่ละแนวต้องห่างกัน 1 มิลลิเมตร กรีดเส้นทำมุม 45 องศากับทิศทางของเส้นไม้ ซึ่งเส้นที่กรีดต้องทะลุผิวเคลือบจนถึงผิวแผ่นทดสอบได้เป็นตาราง จากนั้นใช้เทปกาวใสยี่ห้อ Nichibang ตัดบริเวณที่ทำการขีด และใช้นิ้วมือถูซ้ำอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าเทปกาวใสติดแนบสนิท และไม่มีฟองอากาศ จากนั้นดึงเทปกาวใสเข้าหาตัวเองโดยทำมุมใกล้เคียงกับมุม 60 องศามากที่สุด การรายงานผลทำได้โดยดูข้อบกพร่องของสารเคลือบที่เกิดขึ้นแล้วนำไปเปรียบเทียบกับตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.7 การทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบ

ตารางที่ 3.5 การจัดลำดับความบกพร่องของสารเคลือบจากการกรีดเป็นตาราง [28]

| เกรด | ลักษณะของฟิล์ม  | ภาพ |
|------|---|-----|
| 5B   | ขอบของรอยตัดเรียบ ไม่มีเศษเสียหาย   |     |
| 4B   | เกิดการหลุดล่อนของส่วนที่ติดกัน แต่ความเสียหายไม่ถึง 5%                                 |     |
| 3B   | เกิดการหลุดล่อนตามขอบและส่วนที่ติดกัน ความเสียหายมากกว่า 5% แต่ไม่เกิน 15%              |     |
| 2B   | เกิดการหลุดล่อนตามขอบและตามแนวยาวของส่วนที่ถูกขีด ความเสียหายมากกว่า 15%                |     |
| 1B   | เกิดการหลุดล่อนตามขอบและตามแนวยาวของส่วนที่ถูกขีด ความเสียหายมากกว่า 35% แต่ไม่เกิน 65% |     |
| 0B   | เกิดการหลุดล่อนมากและเกิดทุกจุดบนสารเคลือบซึ่งไม่สามารถจัดอยู่ในเกรด 1B ได้             |     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถจัดอยู่ในเกรด 1B ได้ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.4.7 การทดสอบการทนกรดเบส (Acid-based resistance)

การหาการทนกรดต่างเป็นการหาความสามารถของสารเคลือบผิวที่กันไม่ให้ความเป็นกรดหรือด่างซึมผ่านสารเคลือบผิวไปทำลายสารเคลือบซึ่งวิธีการทดสอบเหมือนการทดสอบการทนน้ำ แต่เปลี่ยนจากน้ำเป็นกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยดูวิธีการเตรียมสารจาก ภาคผนวก ก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยดูวิธีการเตรียมสารจาก ภาคผนวก ข แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาแล้ว เทกรด และด่างออก แล้วนำชิ้นงานมาตรวจสอบผิว เพื่อดูรอยพองหรือข้อบกพร่องอื่นๆ ตามมาตรฐาน ASTM D1647-89



รูปที่ 3.8 การทดสอบการทนกรดต่าง

### 3.3.2.4.8 การทดสอบความมันเงา (Gloss)

ความมันเงา คือ ความสามารถในการสะท้อนแสงออกไป เนื่องจากความเรียบของผิวสารเคลือบ การวัดความมันเงาวัดเทียบกับ Standard glass surface ที่มุมสะท้อนแสงต่างๆ กัน เช่น 60, 20 และ 85 องศา ตามมาตรฐาน ASTM D523-89

ในงานวิจัยนี้เลือกวัดที่มุม 60 องศา โดยใช้เครื่อง Specular glossmeter ซึ่งมีหลอดไฟ (LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ดังแสดงในรูปที่ 3.9 [29]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.9 เครื่อง Specular glossmeter [30] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.4.9 การทดสอบการทนทานต่อการขัดถู (Scrub resistance)

วิธีการทดสอบโดยนำฟองน้ำชุบน้ำสบู่ ใช้มือข้างหนึ่งบีบฟองน้ำหลายๆ ครั้งจนไม่มีน้ำหยดจากฟองน้ำ จากนั้นนำฟองน้ำไปถูลงบนชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมไว้ โดยถูไป และถูกลับ เป็นจำนวน 25 รอบ จนครบจำนวนรอบที่กำหนด สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสารเคลือบ และวัดค่าความมันเงาก่อน และหลังการทดสอบการขัดถู ดัดแปลงจากมาตรฐาน มอก. 285 เล่ม 20-2525



รูปที่ 3.10 การทดสอบการทนทานต่อการขัดถู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องในการเตรียมสารเคลือบผิวไม้ที่พัฒนามาจากน้ำมันเปลือก-เมล็ดมะม่วงหิมพานต์จากโครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี สจล. ปีการศึกษา 2557 [4] โดยให้โครงสร้างเป็นไฮบริดอีพอกซีไซเลนแบบไม่ใช้สารเร่งแห้งที่มีส่วนประกอบของโลหะ ปรับปรุงสมบัติการแห้งตัวและการยึดเกาะโดยใช้เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต (CAB) และปรับลดความมันเงาโดยใช้ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของเซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรต, อีพอกซีเรซิน และออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ (OPE Wax) เพื่อให้ได้สารเคลือบที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในครัวเรือน มีการแบ่งประเด็นศึกษาออกเป็น 2 หัวข้อ คือ การตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน และปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และการเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน

#### 4.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันและปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

จากการศึกษาวิจัยพบว่า CNSL ที่ได้สกัดจากกรรมวิธีต่างๆ โดยส่วนใหญ่แล้ว มีความเป็นกรดสูง มีกลิ่นฉุน จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพโดยให้ความร้อนก่อนการนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง [24] พบว่าที่สภาวะ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR (Fourier transform infrared spectroscopy) CNSL เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างคือไม่มีพีกของหมู่คาร์บอกซิลิก ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด และค่าพีเอชลดลง จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง [23] วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS (Gas chromatograph-Mass spectrometer) พบว่าที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที ทำให้กรดอนุคาร์ดิกที่เป็นองค์ประกอบหลักใน CNSL เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้ปริมาณมากที่สุด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพ CNSL ด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ที่ 2 สภาวะ คือ อุณหภูมิ 140 และ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 การทดสอบ ได้แก่ วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR, วิเคราะห์ปริมาณสารด้วย GC-MS, ค่า pH, ค่าไอโอดีน (Iodine value) และค่าความเป็นกรด (Acid value)

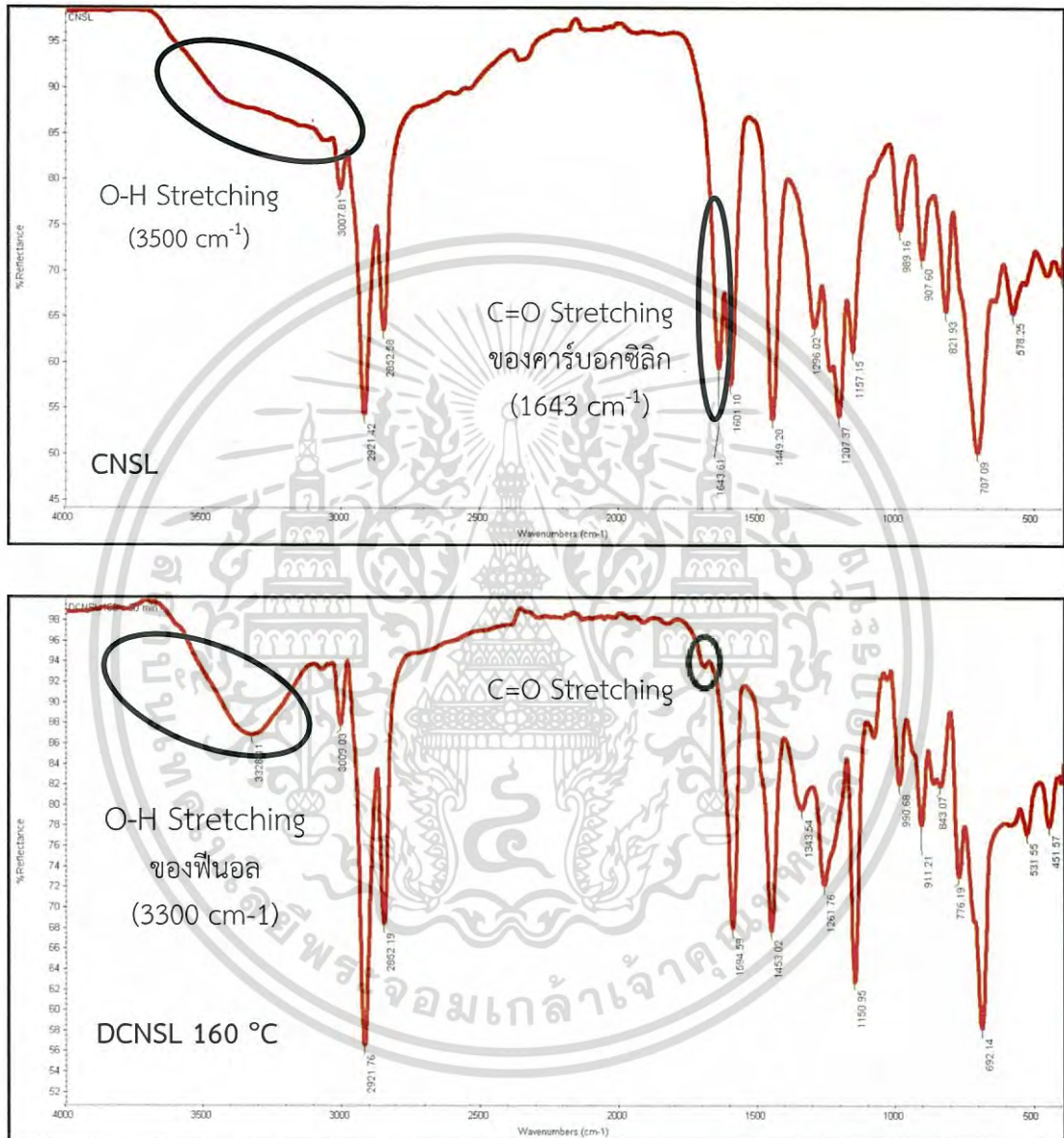
จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR ได้สเปกตราดังรูปที่ 4.1 และสรุปหมู่ฟังก์ชันดังตารางที่ 4.1 จากสเปกตรัมของ DCNSL ที่อุณหภูมิ 140 และ 160 องศาเซลเซียส พบว่ามีพีกขึ้นที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน โดยสเปกตรัมของ DCNSL ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ดูได้จากภาคผนวก ค

จากสเปกตรัมของ CNSL พบพีกของ O-H Stretching ที่ความยาวคลื่น 3500 ซม.<sup>-1</sup> และ DCNSL พบพีกของ O-H Stretching ของฟีนอลที่ความยาวคลื่น 3300 ซม.<sup>-1</sup> นอกจากนี้ CNSL

ยังพบพีกของ C=O Stretching ของคาร์บอกซิลิกที่ความยาวคลื่น 1643 ซม.<sup>-1</sup> เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดอนุคาร์ติกเป็นองค์ประกอบหลักของ CNSL ทำให้พีคของหมู่คาร์บอนิล มีความเข้มพีคสูง ซึ่งแตกต่างจาก DCNSL ที่กรดอนุคาร์ติกถูกเปลี่ยนเป็นคาร์ดานอลแล้ว ส่งผลให้มีความเข้มของพีคของคาร์บอนิลต่ำ



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบสเปกตรัม FT-IR ของ CNSL และ DCNSL

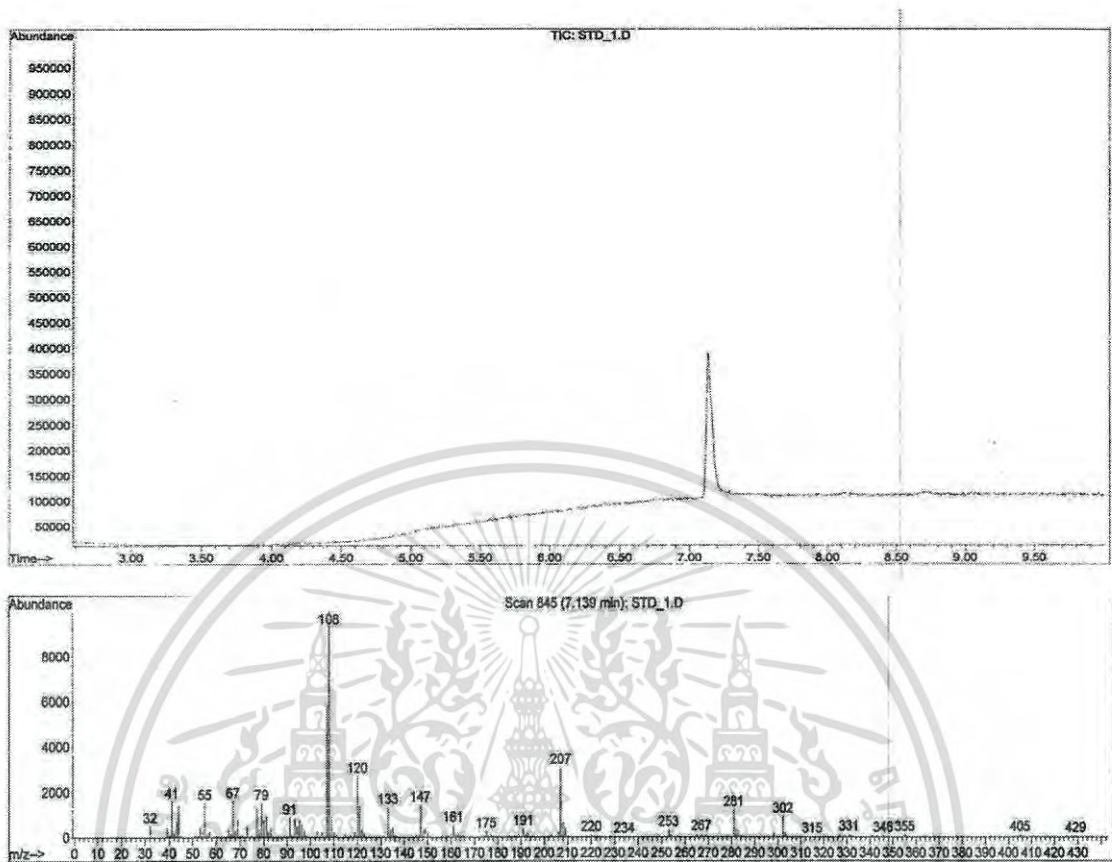
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สรุปหมู่ฟังก์ชันจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ของ CNSL และ DCNSL ทั้ง 2 สภาวะ

| หมู่ฟังก์ชัน                            | ความยาวคลื่น 3500 ( $\text{cm}^{-1}$ ) |                 |                 |
|---|--|-----------------|-----------------|
|   | CNSL                                   | DCNSL<br>140 °C | DCNSL<br>160 °C |
| O-H stretching ของคาร์บอกซิลิก          | 3500                                   | -               | -               |
| O-H stretching ของฟีนอล                 | -                                      | 3324            | 3328            |
| C-H stretching ของวงอะโรมาติก           | 3007                                   | 3008            | 3009            |
| C-H stretching ของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน | 2852-2921                              | 2852-2921       | 2852-2921       |
| C=O stretching ของคาร์บอนิล             | 1643                                   | -               | -               |
| C=C stretching ของวงอะโรมาติก           | 1601                                   | 1594            | 1594            |
| C-O stretching ของฟีนอล                 | -                                      | 1261            | 1261            |
| C-O stretching ของคาร์บอกซิลิก          | 1207                                   | -               | -               |

จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างด้วยเทคนิค GC-MS โดยในส่วนของ GC ทำหน้าที่แยกองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบของสารตัวอย่าง แล้วดูว่าสารตัวอย่างชนิดที่สนใจมีปริมาณอยู่เท่าใด ในส่วนของ MS ใช้วิเคราะห์มวลของอะตอมหรือโมเลกุล โดยทำให้อะตอมหรือโมเลกุลเกิดเป็นไอออน ซึ่งรูปแบบการแตกตัวของแต่ละโมเลกุลมีลักษณะเฉพาะ เรียกว่า Mass spectrum โดยแสดงการแตกตัว (Fragmentation) ในรูปของ Mass to charge ratio ( $m/z$ )

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS ได้ Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐานคาร์ดานอล พบว่าคาร์ดานอลที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0  $\text{mg}/\text{cm}^3$  ปรากฏพิกที่ Retention time ที่ใกล้เคียงกันประมาณ 7.139 นาที จากนั้นเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่พิกเฉื่อยได้ความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรงตาม Beer's Law ซึ่งแสดงได้ดังภาคผนวก ง.7 เพื่อนำสมการเส้นตรงที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาปริมาณคาร์ดานอลที่มีใน CNSL และ DCNSL

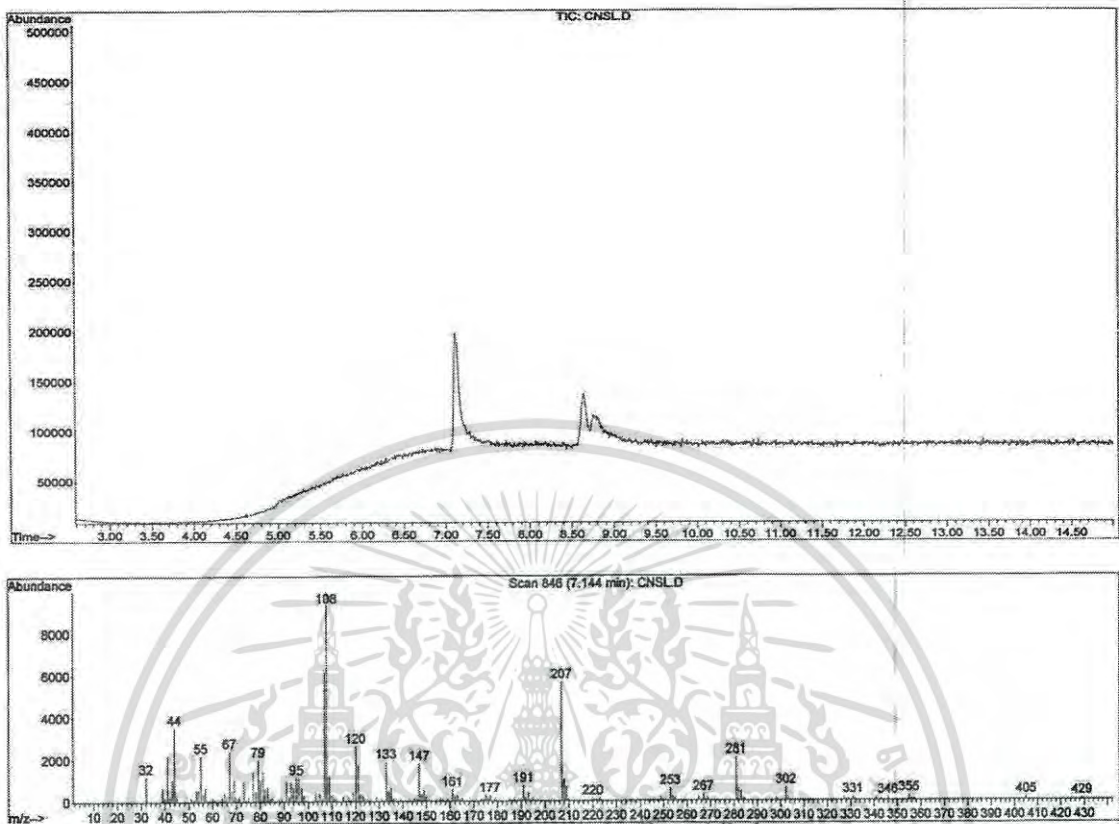


รูปที่ 4.2 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น  $0.1 \text{ mg/cm}^3$

จากการวิเคราะห์ CNSL ด้วยเทคนิค GC-MS พบพีคของ Chromatogram ที่หลาย Retention time เนื่องจาก CNSL นั้นเป็นน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติซึ่งมีหลายองค์ประกอบ จากนั้นจึงนำ Chromatogram ของ CNSL เทียบกับสารมาตรฐานคาร์ดานอล พบพีคที่ตำแหน่ง Retention time 7.144 นาที ของ CNSL ตรงกับ Retention time ของสารมาตรฐานคาร์ดานอล และยังมี Mass spectrum ที่แสดงรูปแบบการแตกของโมเลกุลที่ใกล้เคียงกับสารมาตรฐานคาร์ดานอล แสดงดังรูปที่ 4.3

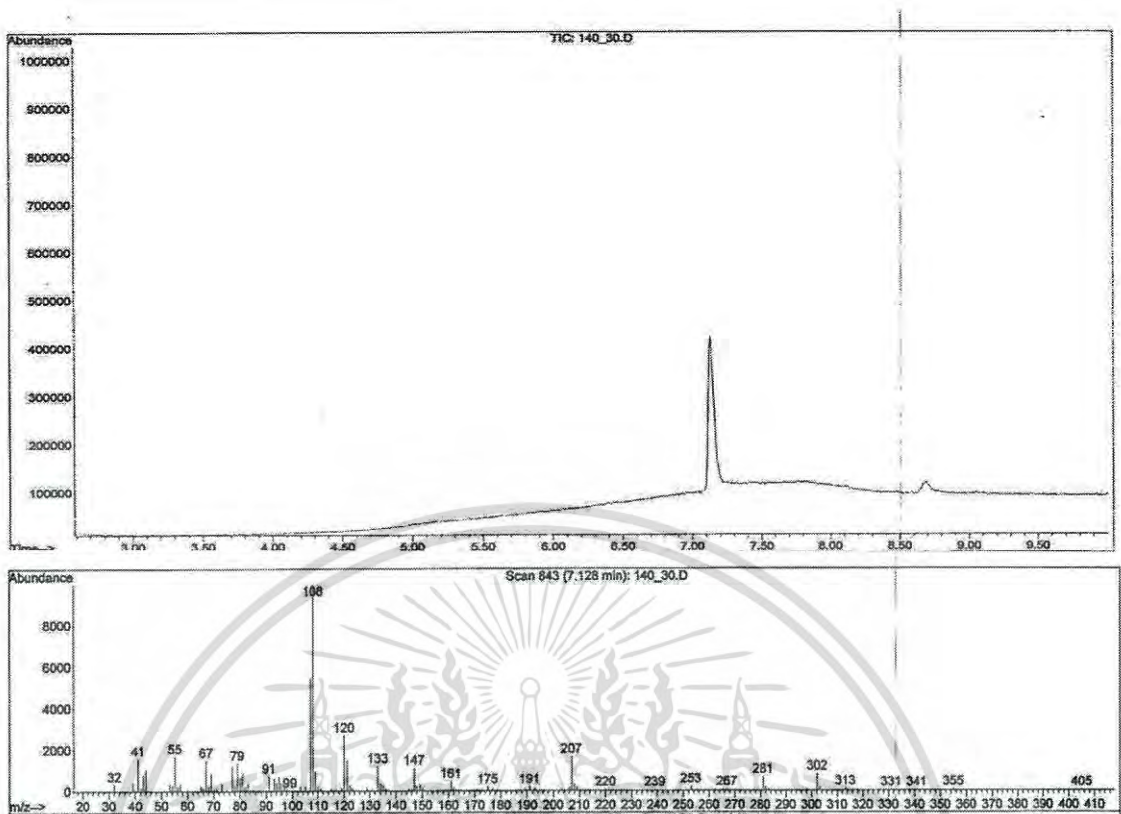
จากนั้นนำพื้นที่พีคที่ตำแหน่ง Retention time 7.144 นาที ของ CNSL มาแทนในสมการเส้นตรงของสารมาตรฐานเพื่อคำนวณหาปริมาณคาร์ดานอลโดยดูวิธีการคำนวณจากภาคผนวก ก พบว่า CNSL มีปริมาณคาร์ดานอลเพียงร้อยละ 14.10 จึงทำการปรับปรุงโครงสร้างของ CNSL ด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันโดยเลือกทดสอบที่ 2 สภาวะคือ 140 องศาเซลเซียส และ 160 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

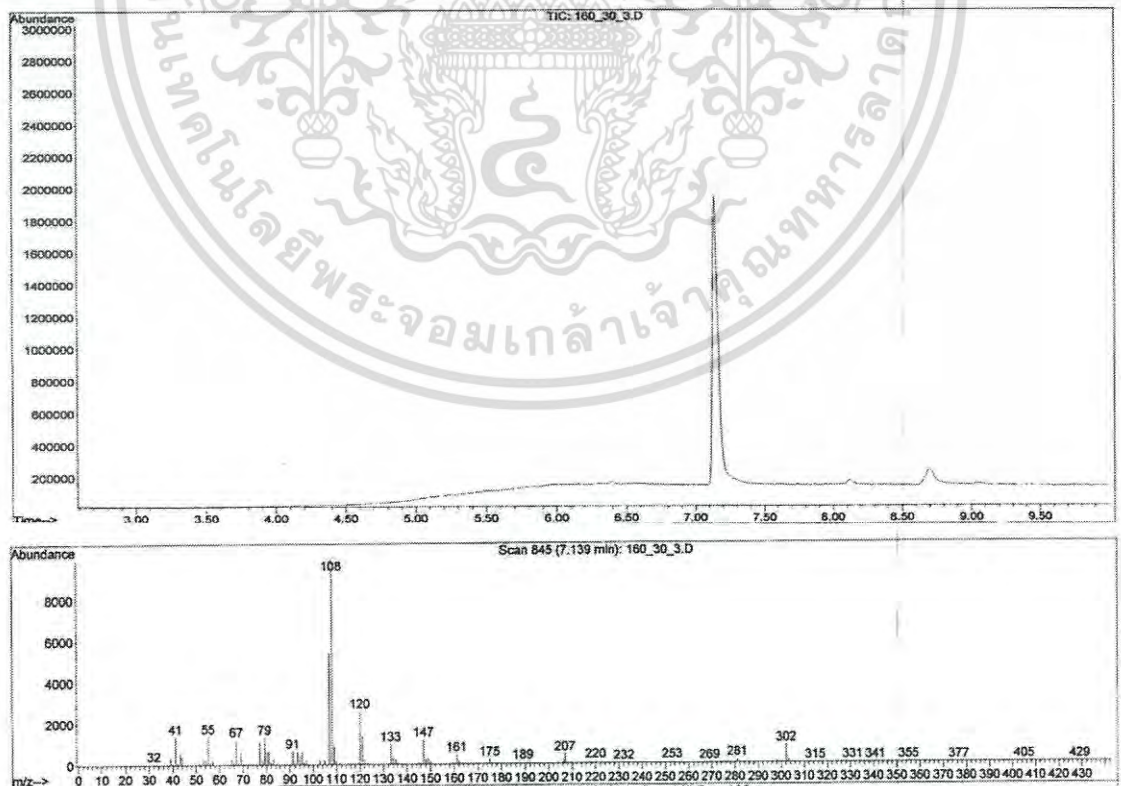


รูปที่ 4.3 Chromatogram และ Mass spectrum ของ CNSL

หลังจากการปรับปรุงโครงสร้างด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน พบว่า DCNSL ที่สภาวะ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบพีคปรากฏที่ Retention time 7.128 นาที แสดงดังรูปที่ 4.4 และ DCNSL ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบพีคปรากฏที่ Retention time 7.139 นาที แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งทั้ง 2 สภาวะมี Retention time ใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน คาร์ดานอล และยังมี Mass spectrum ที่แสดงรูปแบบการแตกของโมเลกุลที่ใกล้เคียงกับสารมาตรฐานคาร์ดานอล



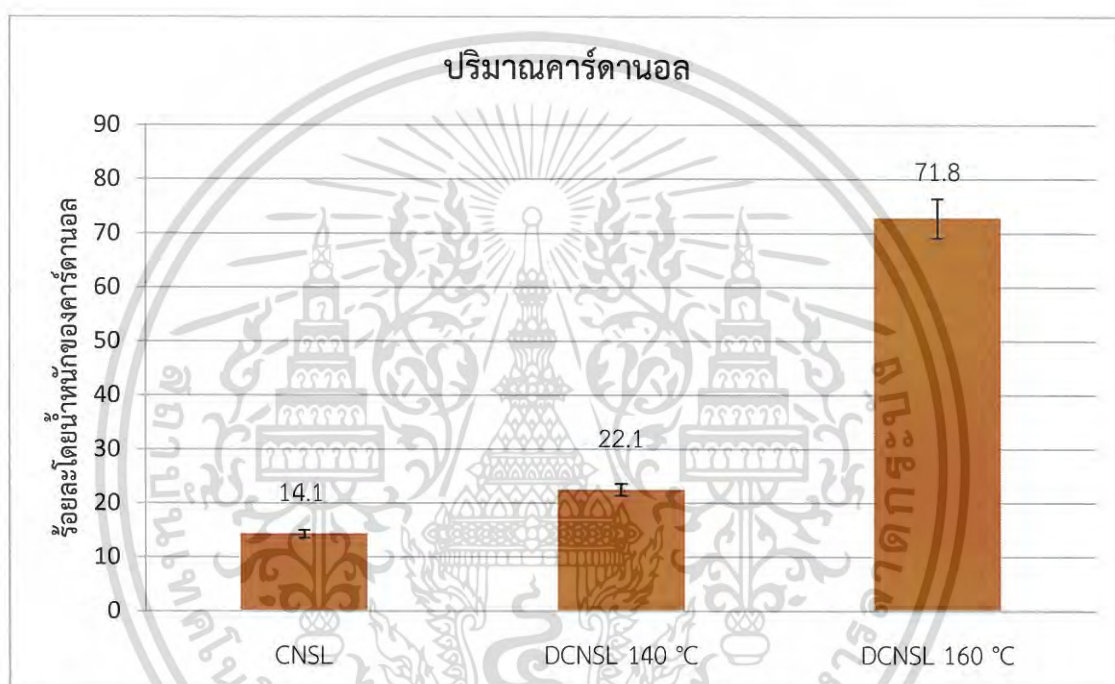
รูปที่ 4.4 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL ที่สภาวะ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.5 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำพื้นที่พีคที่ตำแหน่ง Retention time ของ DCNSL ทั้ง 2 สภาวะมาแทนในสมการเส้นตรงของสารมาตรฐานเพื่อคำนวณหาปริมาณคาร์ดานอลโดยวิธีการคำนวณจากภาคผนวก พบว่า DCNSL ที่สภาวะ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีปริมาณคาร์ดานอลร้อยละ 22.1 และ DCNSL ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีปริมาณคาร์ดานอลร้อยละ 71.8 โดยน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างด้วยปฏิกิริยาดิคาร์บอกซิเลชัน มีปริมาณคาร์ดานอลเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากกรดอนุคาร์บอกซิลิกถูกเปลี่ยนเป็นคาร์ดานอลแล้ว ซึ่ง DCNSL ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นั้นมีปริมาณคาร์ดานอลมากที่สุด แสดงผลดังรูปที่ 4.6

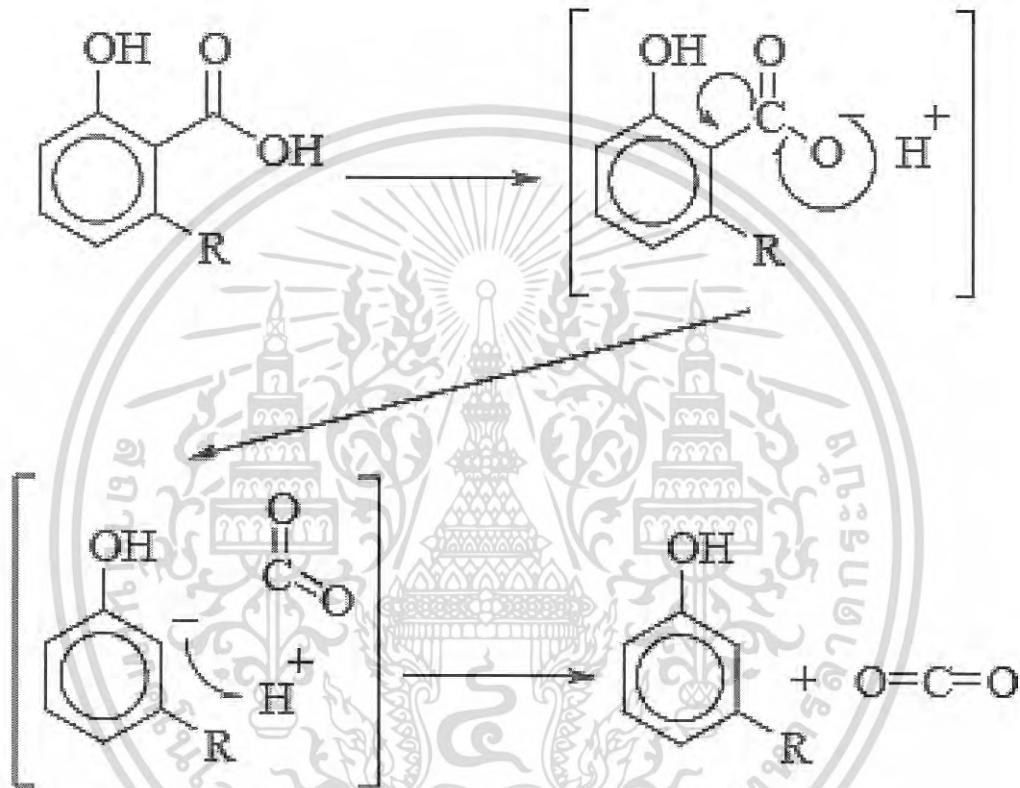


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณคาร์ดานอลที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS ของ CNSL และ DCNSL

ค่าความเป็นกรด (Acid value) คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระได้ โดยค่าความเป็นกรดนั้นบ่งบอกถึงระดับความเป็นกรดของน้ำมัน

ผลจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำมันพบว่าเมื่อนำ CNSL ไปปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยาดิคาร์บอกซิเลชัน มีค่าความเป็นกรดลดลง และค่า pH เพิ่มขึ้น เนื่องจากการให้ความร้อนแก่ CNSL ส่งผลให้หมู่คาร์บอนิลหลุดออกจากโครงสร้าง เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสังเกตได้จากการเกิดฟองก๊าซขณะให้ความร้อน แสดงผลดังตารางที่ 4.2

จากงานวิจัยของมโน ลีมวรพันธุ์ [7] พบว่าความร้อนกระตุ้นให้ไฮโดรเจนที่ปลายสายโซ่ของ หมู่คาร์บอกซิลิกเกิดการแตกตัวออกเป็นไอออน และอิเล็กตรอนที่อะตอมออกซิเจนเปลี่ยนตำแหน่งไป สร้างพันธะคู่กับอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ติดกัน ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระใหม่ที่อะตอมของ คาร์บอน และเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งเข้าไปอยู่ในวงเบนซีนซึ่งเสถียรกว่า และไอออนที่หลุดออกจาก หมู่คาร์บอกซิลิกในตอนแรกสร้างพันธะใหม่กับอิเล็กตรอนที่วงเบนซีน โดยเป็นไปตามกลไกดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน [7]

ค่าไอโอดีน (Iodine value) คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาฮาโลจีเนชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดกับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันจำนวน 100 กรัม โดยค่าไอโอดีนเป็นตัวบ่งชี้ว่าไขมันหรือน้ำมัน มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้ามีค่าไอโอดีนสูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated structure) เป็นส่วนประกอบมาก จากการทดลองพบว่าค่าไอโอดีนเพิ่มขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากการที่ CNSL นั้นเป็นสารจากธรรมชาติซึ่งมีสิ่งปนเปื้อนที่เป็นโมเลกุลเล็กๆ เมื่อได้รับความร้อนทำให้เกิดการหลุดออกของโมเลกุลเล็กๆ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์ และความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของพันธะคู่ในวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้น ค่าไอโอดีนที่ได้จึงสูงขึ้น

เอกสารแสดงผลดังตารางที่ 4.2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sabila, N. และคณะ [24] ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน CNSL และ DCNSL ในงานวิจัย

| Parameter                          | CNSL  | DCNSL (160°C) |
|------------------------------------|-------|---------------|
| ค่าความเป็นกรด<br>(มิลลิกรัม/กรัม) | 113.7 | 4.9           |
| ค่าไอโอดีน<br>(กรัม/100กรัม)       | 184.3 | 239.0         |
| ค่า pH ที่ 30 องศาเซลเซียส         | 3.5   | 8.5           |

จากผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำมันข้างต้นพบว่า DCNSL ที่อุณหภูมิ 140 และ 160 องศาเซลเซียส มีสเปกตรัมของ IR ที่ไม่แตกต่างกัน จึงทำการตรวจสอบหาปริมาณคาร์บอนอลด้วยเทคนิค GC-MS พบว่า DCNSL ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสนั้นมีปริมาณคาร์บอนอลมากที่สุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงโครงสร้างของ CNSL ด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อนำไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารเคลือบ

#### 4.2 การเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัย [5] พบว่าน้ำมันอูรูซีที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบมีโครงสร้างใกล้เคียงกับน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ในงานวิจัยนี้จึงนำน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มาประยุกต์ใช้ในการเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 4.8



จากงานวิจัยของกันทามาต โปชนาและคณะ [4] ศึกษาการทำสารเคลือบไม้จากน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปร โดยมีโครงสร้างเป็นไฮบริดอีพอกซีไซเลนที่มีสัดส่วนโดยน้ำหนักของ DCNSL : ไซเลน : อีพอกซี เท่ากับ 10 : 5 : 20 และมีปริมาณของเซลล์โลสอะซิเทตบิวทิเรต (CAB) เท่ากับ 5 phr เทียบกับน้ำหนักของ DCNSL ซึ่งสารเคลือบที่ได้นั้นสามารถทนน้ำ และน้ำร้อนได้มีการยึดเกาะเฉลี่ยอยู่ที่ 4B สามารถทนกรดได้ดี และทนด่างได้เล็กน้อย อย่างไรก็ตามสารเคลือบที่ได้มีความมันเงาสูง จึงทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน โดยมุ่งเน้นการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของเซลล์โลสอะซิเทตบิวทิเรต อีพอกซี และออกซิโดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ เพื่อพัฒนาสารเคลือบให้มีสมบัติดีขึ้น รวมทั้งสารเคลือบที่ได้นั้นมีความมันเงาลดลง

#### 4.2.1 การศึกษาผลของปริมาณเซลล์โลสอะซิเทตบิวทิเรต

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [4] พบว่าจากการเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลนที่ไม่ใช้เรซินร่วม มีเวลาในการแห้งตัวนานเกินกว่ามาตรฐานที่อุตสาหกรรมกำหนด จึงมีการใช้ CAB ซึ่งเป็นสารเติมแต่งประเภทหนึ่งที่มีใช้ในสารเคลือบ เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติเวลาการแห้งตัว โดยดูระยะในการแห้งตัวของสารเคลือบจากตอนที่ 2.4.2 และปรับปรุงสมบัติการยึดเกาะให้ดีขึ้น โดยใช้เทคนิคการทดสอบแบบ Cross-cut test ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการหาปริมาณของ CAB เพื่อทำสารเคลือบให้มีเวลาในการแห้งตัวที่เหมาะสม และการยึดเกาะที่ดี โดยใช้ปริมาณของ CAB ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลจากปริมาณของ CAB ที่มีต่อเวลาในการแห้งตัวและการยึดเกาะของสารเคลือบ

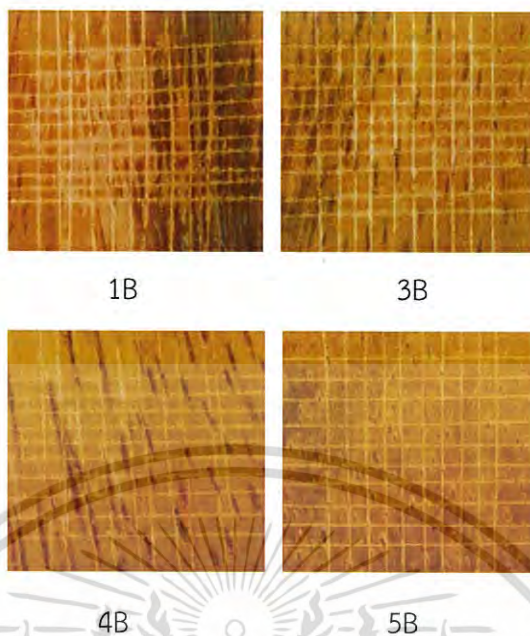
| สัดส่วนโดยน้ำหนัก   |           |             | เวลาในการแห้งตัว (นาที) |       |    | การยึดเกาะ |    |    |
|---------------------|-----------|-------------|-------------------------|-------|----|------------|----|----|
| DCNSL (g)           | ไซเลน (g) | อีพอกซี (g) | CAB                     |       | DF |            | TF | HD |
|                     |           |             | (g)                     | (phr) |    |            |    |    |
| 10                  | 5         | 20          | 0                       | 0     | 17 | 26         | 33 | 1B |
| 10                  | 5         | 20          | 0.5                     | 5     | 17 | 25         | 32 | 3B |
| 10                  | 5         | 20          | 1                       | 10    | 16 | 24         | 30 | 4B |
| 10                  | 5         | 20          | 1.5                     | 15    | 16 | 22         | 28 | 5B |
| 10                  | 5         | 20          | 2                       | 20    | 16 | 21         | 26 | 5B |
| สารเคลือบเกรดการค้า |           |             |                         |       | 5  | 13         | 25 | 5B |

หมายเหตุ : DF คือ สารเคลือบมีความเหนียวติดแต่ไม่ติดมือ

TF คือ สารเคลือบไม่เหนียวติดแต่ทิ้งรอยนิ้วมือ

HD คือ สารเคลือบไม่เหนียวติด และไม่ทิ้งรอยนิ้วมือ

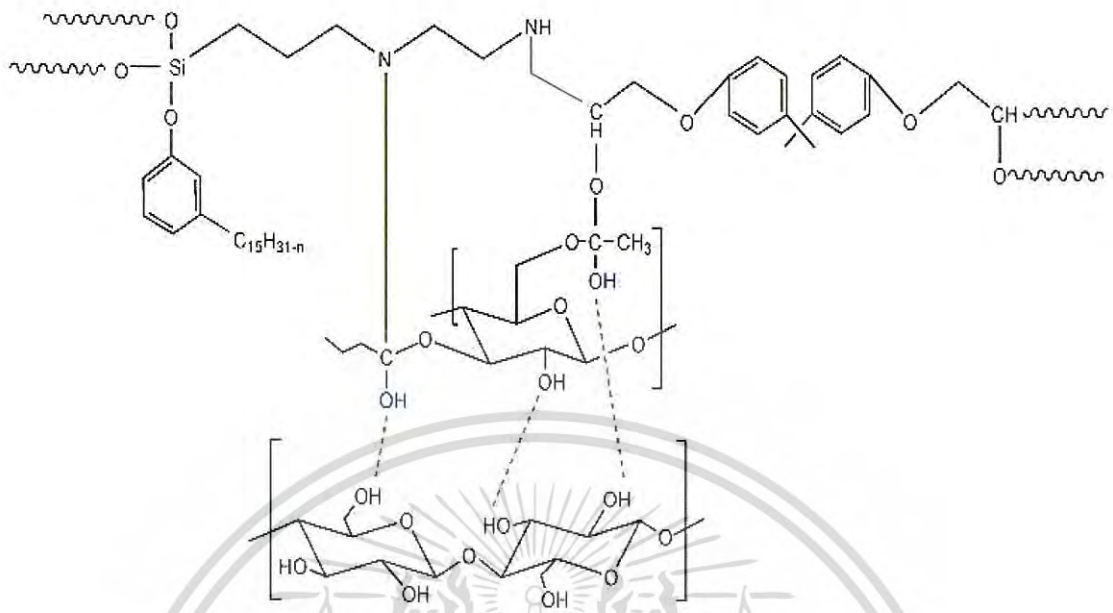
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ลำดับความบกพร่องของสารเคลือบจากการกริดเป็นตาราง

จากการทดลองพบว่า การใส่เซลล์โลสอะซิเตดบิวทีเรต (CAB) ที่ปริมาณแตกต่างกัน เมื่อปริมาณ CAB เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เวลาในการแห้งตัวเร็วขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากเมื่อทำการเติม CAB ลงในสารเคลือบ ส่งผลให้สารเคลือบมีหมู่ฟังก์ชันที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยามากขึ้น ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ไวขึ้น สารเคลือบที่ได้จึงมีเวลาในการแห้งตัวที่เร็วขึ้น และเมื่อปริมาณ CAB เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การยึดเกาะดีขึ้น เนื่องจาก CAB มีหมู่ฟังก์ชัน O-H ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงสร้างพันธะไฮโดรเจนกับไม้ได้ และมีหมู่ฟังก์ชัน C=O ซึ่งสามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชัน O-H หรือหมู่ฟังก์ชัน N-H ของสารเคลือบได้ ส่งผลให้โครงสร้างของสารเคลือบเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น จึงทำให้สามารถปรับปรุงสมบัติการแห้งตัว และการยึดเกาะให้ดีขึ้นได้ แสดงโครงสร้างดังรูปที่ 4.10 ดังนั้น ปริมาณ CAB ที่ 20 phr ทำให้ได้สารเคลือบที่มีสมบัติการแห้งตัว และการยึดเกาะดีที่สุด โดยมีระยะเวลาการแห้งตัวแบบ Harden dry (HD) ที่ 26 นาที และมีการยึดเกาะเฉลี่ยอยู่ที่ 5B คือขอบของรอยตัดเรียบ ไม่มีความเสียหาย โดยเทียบผลการทดลองที่ได้กับตารางที่ 3.5 และลำดับความบกพร่องของสารเคลือบจากการกริดเป็นตารางดังรูปที่ 4.9

จากการทดสอบสมบัติสารเคลือบเกรดการค้า พบว่ามีระยะเวลาการแห้งตัวแบบ Dust free dry (DF) อยู่ที่ 5 นาที ซึ่งเร็วกว่าสารเคลือบที่มีปริมาณ CAB 20 phr แต่มีระยะเวลาการแห้งตัวแบบ Harden dry (HD) ที่ไม่แตกต่างกัน และมีการยึดเกาะเฉลี่ยอยู่ที่ 5B เช่นกัน โดยแสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.10 สมมติฐานโครงสร้างของสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลนและ CAB ที่ส่งผลต่อการแห้งตัว และการยึดเกาะของสารเคลือบบนไม้

#### 4.2.1.1 การวัดความหนา

การวัดความหนาด้วยเครื่อง Coating thickness gauge โดยใช้หลักการการเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก เพื่อวัดความหนาของสารเคลือบบนผิววัสดุ เนื่องจากความหนามีผลต่อสมบัติต่างๆ ของสารเคลือบ ซึ่งความหนาของสารเคลือบแสดงผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางความหนาของสารเคลือบในงานวิจัยเทียบกับสารเคลือบเกรดการค้า

| สัดส่วนโดยน้ำหนัก   |           |             |     |       | ความหนา ( $\mu\text{m}$ ) |
|---------------------|-----------|-------------|-----|-------|---------------------------|
| DCNSL (g)           | ไซเลน (g) | อีพอกซี (g) | CAB |       |                           |
|                     |           |             | (g) | (phr) |                           |
| 10                  | 5         | 20          | 0   | 0     | $11.7 \pm 0.4$            |
| 10                  | 5         | 20          | 0.5 | 5     | $9.5 \pm 0.4$             |
| 10                  | 5         | 20          | 1   | 10    | $9.5 \pm 0.5$             |
| 10                  | 5         | 20          | 1.5 | 15    | $13.0 \pm 0.9$            |
| 10                  | 5         | 20          | 2   | 20    | $14.6 \pm 0.6$            |
| สารเคลือบเกรดการค้า |           |             |     |       | $9.0 \pm 0.8$             |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ใช้การทาสารเคลือบด้วยฟองน้ำจำนวน 2 รอบ การทำในรอบแรกเป็นการอุดรูพรุนในเนื้อไม้ และการทำในรอบต่อไปเป็นการเพิ่มความหนาให้แก่ชั้นสารเคลือบ และมีการใช้ตัวทำละลาย ได้แก่ ไซเลน, เมทิลเอทิลคีโตน, บิวทิลอะซิเตต ในการปรับความหนืดของสารเคลือบ เพื่อให้สารเคลือบแต่ละสูตรมีความหนาเฉลี่ยอยู่ช่วงใกล้เคียงกัน โดยมีความหนาเฉลี่ยอยู่ที่ 9.5-13.9 ไมโครเมตร แสดงผลความหนาดังตารางที่ 4.4

#### 4.2.1.2 การทดสอบการทนน้ำและการทนน้ำร้อน

นอกจากการแห้งตัวและการยัดเกาะแล้วสารเคลือบนั้นต้องมีสมบัติการทนน้ำ และการทนน้ำร้อน ซึ่งจากการทดสอบการทนน้ำโดยทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และการทดสอบการทนน้ำร้อน 100 °C โดยทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าสารเคลือบสามารถทนน้ำ และน้ำร้อนได้ ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.5

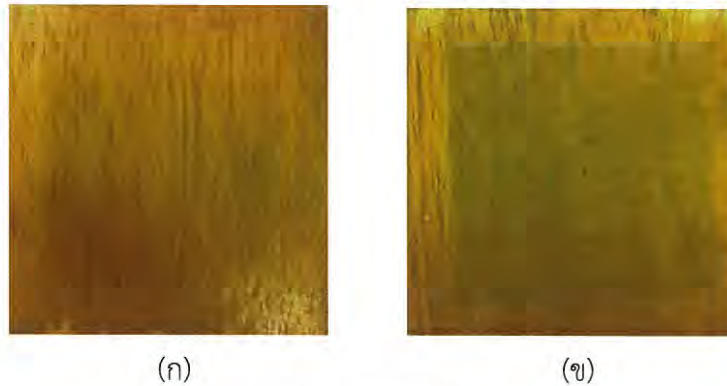
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการทนน้ำของสารเคลือบ

| สัดส่วนโดยน้ำหนัก   |           |             |     |       | การทนน้ำ |
|---------------------|-----------|-------------|-----|-------|----------|
| DCNSL (g)           | ไซเลน (g) | อีพอกซี (g) | CAB |       |          |
|                     |           |             | (g) | (phr) |          |
| 10                  | 5         | 20          | 0   | 0     | ✓        |
| 10                  | 5         | 20          | 0.5 | 5     | ✓        |
| 10                  | 5         | 20          | 1   | 10    | ✓        |
| 10                  | 5         | 20          | 1.5 | 15    | ✓        |
| 10                  | 5         | 20          | 2   | 20    | ✓        |
| สารเคลือบเกรดการค้า |           |             |     |       | ✓        |

ตารางที่ 4.6 ผลความมันเงาจากการทดสอบการทนน้ำร้อนของสารเคลือบ

| สัดส่วนโดยน้ำหนัก   |           |             |     |       | ความมันเงา   |              |          |
|---------------------|-----------|-------------|-----|-------|--------------|--------------|----------|
| DCNSL (g)           | ไซเลน (g) | อีพอกซี (g) | CAB |       | ก่อนต้ม (GU) | หลังต้ม (GU) | % change |
|                     |           |             | (g) | (phr) |              |              |          |
| 10                  | 5         | 20          | 0   | 0     | 23.9         | 12.4         | -48      |
| 10                  | 5         | 20          | 0.5 | 5     | 52.6         | 32.8         | -38      |
| 10                  | 5         | 20          | 1   | 10    | 15.0         | 11.2         | -25      |
| 10                  | 5         | 20          | 1.5 | 15    | 17.7         | 15.2         | -14      |
| 10                  | 5         | 20          | 2   | 20    | 12.3         | 11.8         | -4       |
| สารเคลือบเกรดการค้า |           |             |     |       | 3.5          | 1.2          | -66      |

เอกสารหมายเหตุ : การคำนวณ % change ดูได้จากภาคผนวก ฉ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างของสารเคลือบ (ก) ทนน้ำร้อน (ข) ไม่ทนน้ำร้อน

สารเคลือบถูกนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน ควรมีสมบัติการทนน้ำ และการทนน้ำร้อนได้ระดับหนึ่ง จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าสารเคลือบทุกสูตรสามารถทนน้ำได้ เนื่องจากสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลนเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซต (Thermosetting polymer) ซึ่งมีการเชื่อมโยงแบบร่างแห จึงทำให้มีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงมาก เกิดเป็นชั้นของสารเคลือบที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำ ทำให้สารเคลือบมีสมบัติทนน้ำได้ แสดงผลดังตารางที่ 4.5

นอกจากนี้สารเคลือบที่ใช้เรซินร่วมมีความสามารถในการทนน้ำร้อน ทั้งนี้เป็นผลจากการที่ CAB สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับไม้ จึงทำให้ความหนาแน่นในการเชื่อมโยงมากขึ้น นอกจากนี้ CAB มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) สูง เมื่อเติม CAB ลงในสารเคลือบ จึงส่งผลทำให้สารเคลือบที่ได้มี  $T_g$  ในระบบสูงขึ้น สารเคลือบจึงสามารถทนน้ำร้อนได้ในระดับหนึ่ง เมื่อทำการตรวจสอบข้อบกพร่องของพื้นผิวสารเคลือบเปรียบเทียบความมันเงาก่อนและหลังการต้ม พบว่าปริมาณ CAB ที่ 20 phr ทำให้ได้สารเคลือบที่มีความสามารถในการทนน้ำร้อนได้ดีที่สุด เนื่องจากความมันเงาที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการต้มลดลง 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความมันเงาที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบสมบัติการทนน้ำร้อนของสารเคลือบเกรดการค้า พบว่าค่าความมันเงาหลังการต้มเปลี่ยนแปลงไปเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสารเคลือบเกรดการค้าจึงไม่สามารถทนน้ำร้อนได้ แสดงผลความมันเงาดังตารางที่ 4.6

#### 4.2.1.3 การทดสอบการทนกรด-เบส

เนื่องจากสารเคลือบนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน ที่ต้องมีการสัมผัสกับอาหาร เช่น น้ำส้มสายชู น้ำมะนาว น้ำมะขาม เป็นต้น และยังต้องสัมผัสกับสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาด เช่น น้ำยาล้างจาน น้ำสบู่ เป็นต้น ดังนั้นสารเคลือบที่ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ควรมีสมบัติการทนกรด และเบสได้ระดับหนึ่ง จึงทำการทดสอบโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.7

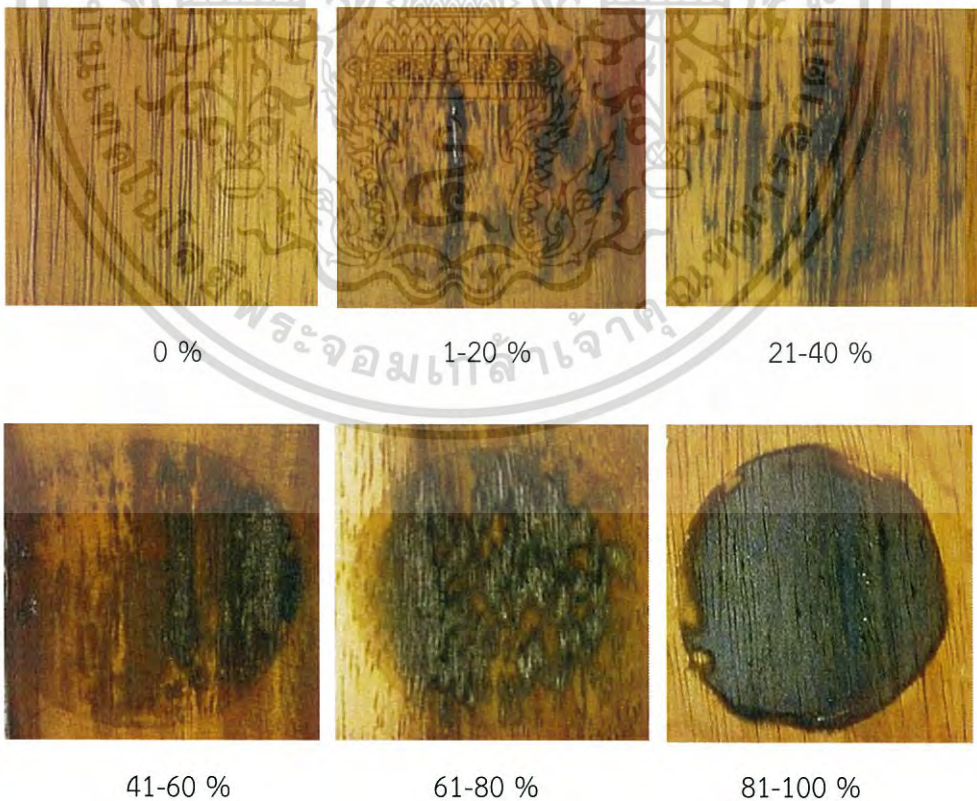
โดยระดับการถูกทำลายเป็นไปดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการทนกรด-เบสของสารเคลือบ

| สัดส่วนโดยน้ำหนัก   |           |                |     |       | การทนกรด<br>(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 M) | การทนเบส<br>(NaOH 0.1 M) |
|---------------------|-----------|----------------|-----|-------|--|--------------------------|
| DCNSL (g)           | ไซเลน (g) | อีพอกซี<br>(g) | CAB |       |  |                          |
|                     |           |                | (g) | (phr) |  |                          |
| 10                  | 5         | 20             | 0   | 0     | ●  | ●                        |
| 10                  | 5         | 20             | 0.5 | 5     | ⊙  | ⊙                        |
| 10                  | 5         | 20             | 1   | 10    | ⊙  | ⊙                        |
| 10                  | 5         | 20             | 1.5 | 15    | ○  | ⊙                        |
| 10                  | 5         | 20             | 2   | 20    | ○  | ⊙                        |
| สารเคลือบเกรดการค้า |           |                |     |       | ●  | ●                        |

หมายเหตุ : ระดับการถูกทำลายของสารเคลือบเป็นไปดังรูปที่ 4.8

- สารเคลือบไม่ถูกทำลาย (0%)
- ⊙ สารเคลือบถูกทำลาย 1-20%
- สารเคลือบถูกทำลาย 21-40%
- ⊙ สารเคลือบถูกทำลาย 41-60%
- สารเคลือบถูกทำลาย 61-80%
- สารเคลือบถูกทำลาย 81-100%



รูปที่ 4.12 ระดับการถูกทำลายจากกรดและเบสของสารเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า สารเคลือบที่ไม่มีคาร์บอน CAB สามารถถูกทำลายได้ด้วยกรด และเบส 61-80 เปอร์เซ็นต์แต่เมื่อทำการเติม CAB ลงในสารเคลือบพบว่าสารเคลือบสามารถทนกรด และเบสได้ดีขึ้น โดยปริมาณ CAB ที่ 15 และ 20 phr สามารถทนการถูกทำลายเนื่องจากกรด แต่ถูกทำลายเนื่องจากเบส 1-20 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการที่ CAB สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับไม้ และสามารถเกิดอันตรกิริยากับสารเคลือบได้ ส่งผลให้สารเคลือบที่ได้มีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงมาก โดยสารเคลือบปริมาณ CAB ที่ 15 และ 20 phr มีการยึดเกาะเฉื่อยที่ดีอยู่ที่ 5B จากเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้สารเคลือบที่ได้สามารถทนกรด และเบสได้ในระดับหนึ่ง

จากผลทั้งหมดพบว่าปริมาณ CAB ที่ 20 phr ทำให้ได้สารเคลือบมีเวลาในการแห้งตัว และการยึดเกาะดีที่สุด แต่จากการทดสอบการทนกรด และเบสพบว่าสารเคลือบดังกล่าวยังไม่สามารถทนเบสได้ดี จึงทำการปรับปรุงสมบัติการทนกรด และเบสโดยการหาปริมาณอิมพอกซีที่เหมาะสมในการทำสารเคลือบ ให้มีความทนทานต่อสารเคมี เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

#### 4.2.2 การศึกษาผลของปริมาณอิมพอกซีเรซิน

จากการทดลองตอนที่ 4.2.1.3 สารเคลือบไม่สามารถทนกรด และเบสได้ดี จึงได้มีการศึกษา งานวิจัย [25] จากเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) พบว่าเมื่อทำการบ่ม DCNSL : อิมพอกซี ที่ 40 : 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ค่าเอนทัลปี ( $\Delta H$ ) สูงที่สุด แสดงว่ามีการคายพลังงานเกิดขึ้น ทำให้เกิดการสร้างพันธะ และมีการเชื่อมโยงมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงทำการทดลองโดยใช้ปริมาณของ DCNSL : อิมพอกซี จากงานวิจัยข้างต้น แสดงปริมาณอิมพอกซีที่ใช้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลจากปริมาณของอิมพอกซีต่อการทดสอบการทนกรด-เบสของสารเคลือบ

| DCNSL (g)           | สัดส่วนโดยน้ำหนัก |         | อิมพอกซี |       | การทนกรด (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 M) | การทนเบส (NaOH 0.1 M) |
|---------------------|-------------------|---------|----------|-------|---|-----------------------|
|                     | ไซเลน (g)         | CAB (g) | (g)      | (phr) |   |                       |
| 10                  | 5                 | 2       | 10       | 100   | ●   | ●                     |
| 10                  | 5                 | 2       | 15       | 150   | ○   | ○                     |
| 10                  | 5                 | 2       | 20       | 200   | ○   | ⊙                     |
| สารเคลือบเกรดการค้า |                   |         |          |       | ●   | ●                     |

หมายเหตุ : ระดับการถูกทำลายของสารเคลือบเป็นไปดังรูปที่ 4.12

ปริมาณของอิมพอกซีที่เหมาะสมกับ DCNSL นั้นมีผลต่อการทนกรด และเบสของสารเคลือบพบว่าปริมาณอิมพอกซีที่ 150 phr สามารถทำให้สารเคลือบทนกรด และเบสได้ดีที่สุด เนื่องจากมีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงมากที่สุด [25] แต่หากมีปริมาณอิมพอกซีที่มากเกินไป ทำให้มีปริมาณอิมพอกซีส่วนเกินที่ไม่ทำปฏิกิริยา แต่เนื่องจากตัวอิมพอกซีมีสมบัติการทนกรด และเบส สารเคลือบจึงแยกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้สำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันในเชิงพาณิชย์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทนกรด และเบสได้ แต่หากมีปริมาณอ็อกซีที่น้อยเกินไป ทำให้มีปริมาณ DCNSL ส่วนเกินที่ไม่ทำปฏิกิริยา จึงทำให้สารเคลือบทนกรด และเบสได้น้อยลง

จากการทดสอบการทนต่อกรด และเบสของสารเคลือบเกรดการค้า พบว่าสารเคลือบไม่สามารถทนกรด และเบสได้ แสดงผลการทนกรดเบสดังตารางที่ 4.8

#### 4.2.3 การศึกษาผลของปริมาณออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์

จากการทดลองตอนที่ 4.2.2 สารเคลือบที่ได้นั้นมีความมันเงามากไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเป็นสารเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการสารเคลือบที่เคลือบบนผลิตภัณฑ์ไม้แล้วผลิตภัณฑ์นั้นยังคงมีลักษณะเหมือนเนื้อไม้จริง จึงต้องทำการปรับลดความมันเงาของสารเคลือบโดยใช้ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ เพื่อให้ได้สารเคลือบที่เหมาะสมกับการใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการทดลองโดยใช้ปริมาณ OPE Wax ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลจากปริมาณของออกซิไดซ์แวกซ์ต่อความมันเงาของสารเคลือบ

| สัดส่วนโดยน้ำหนัก   |           |            |         |         |       | ความมันเงา (GU) |
|---------------------|-----------|------------|---------|---------|-------|-----------------|
| DCNSL (g)           | ไซเลน (g) | อ็อกซี (g) | CAB (g) | OPE Wax |       |                 |
|                     |           |            |         | (g)     | (phr) |                 |
| 10                  | 5         | 15         | 2       | 0       | 0     | 20.2            |
| 10                  | 5         | 15         | 2       | 5       | 50    | 17.4            |
| 10                  | 5         | 15         | 2       | 10      | 100   | 13.5            |
| สารเคลือบเกรดการค้า |           |            |         |         |       | 2.5             |

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าเมื่อปริมาณออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สารเคลือบมีค่าความมันเงาลดลง เนื่องจากแวกซ์ละลาย และกระจายตัวอยู่ในสารเคลือบ เมื่อตัวทำละลายระเหยหมดแวกซ์เกิดการแพร่ออกมาที่ผิวหน้า ซึ่งแวกซ์มีโมเลกุลขนาดเล็กจึงสามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย และมีความสามารถในการละลายไม่เท่ากันกับสารเคลือบจึงเกิดการแพร่ขึ้นมาที่ผิวหน้า นอกจากนี้ยังเป็นผลเนื่องมาจากความมีผลึกของออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแวกซ์ทำให้เกิดการกระเจิงแสงได้ ส่งผลให้ความมันเงาของสารเคลือบลดลง จากการศึกษาผลจากปริมาณ OPE Wax ที่ 100 phr ทำให้ได้สารเคลือบที่มีความมันเงาน้อยที่สุด ซึ่งมีความมันเงาอยู่ที่ 13.5 GU

จากการทดสอบความมันเงาของสารเคลือบเกรดการค้า พบว่าค่าความมันเงาอยู่ที่ 2.5 GU ซึ่งมีค่าความมันเงาน้อยกว่าสารเคลือบที่ใส่ OPE Wax 100 phr แสดงผลความมันเงาดังตารางที่ 4.9

##### 4.2.3.1 การทดสอบการทนทานต่อการขีดถู

เนื่องจากสารเคลือบถูกนำไปใช้งานในผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน เช่น จาน ชาม ช้อน เป็นต้น ซึ่งต้องมีการทำความสะอาดเพื่อขจัดสิ่งสกปรก จึงต้องทำการทดสอบความทนทานของผิวเคลือบที่เกี่ยวข้องกับการขัดสีกับฟองน้ำที่เปียกสบู โดยทำการวัดความเงาของสารเคลือบที่เปลี่ยนแปลงไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการขัดถู โดยแสดงผลความมันเงาก่อน และหลังการทดสอบการทนทานต่อการขัดถูดัง ตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลจากปริมาณของออกซีไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ต่อการทนทานต่อการขัดถู

| สัดส่วนโดยน้ำหนัก   |              |                |            |         |       | ความมันเงา   |              |             |
|---------------------|--------------|----------------|------------|---------|-------|--------------|--------------|-------------|
| DCNSL<br>(g)        | ไซเลน<br>(g) | อิพอกซี<br>(g) | CAB<br>(g) | OPE Wax |       | ก่อน<br>(GU) | หลัง<br>(GU) | %<br>change |
|                     |              |                |            | (g)     | (phr) |              |              |             |
| 10                  | 5            | 15             | 2          | 0       | 0     | 20.2         | 8.8          | -56         |
| 10                  | 5            | 15             | 2          | 5       | 50    | 17.4         | 15.9         | -9          |
| 10                  | 5            | 15             | 2          | 10      | 100   | 13.5         | 13.0         | -4          |
| สารเคลือบเกรดการค้า |              |                |            |         |       | 2.5          | 1.7          | -32         |

จากผลการทดลองข้างต้น สารเคลือบที่ไม่ใส่ออกซีไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ พบว่ามีค่าความมันเงาหลังการขัดถูลดลงอย่างมาก เป็นผลมาจากการที่สารเคลือบถูกทำลายที่ผิวหน้า แต่เมื่อใส่ ออกซีไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ส่งผลให้สารเคลือบมีสมบัติในการทนทานต่อการขัดถู ทั้งนี้เป็นผล เนื่องมาจากการที่ออกซีไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีความสามารถในการยึดเกาะต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of friction หรือ COF) ต่ำ จึงมีความสามารถในการลื่นไถลสูง ดังนั้นเมื่อแว็กซ์แพร่มาที่ผิวหน้า เกิดเป็นชั้นแว็กซ์ปกคลุมพื้นผิว สารเคลือบ ทำให้เมื่อมีแรงกระทำจากการทดสอบการขัดถู สารเคลือบจึงไม่ถูกทำลายได้ง่าย โดย ปริมาณ OPE Wax ที่ 100 phr สามารถทนทานต่อการขัดถูได้ดีที่สุด เนื่องจากปริมาณดังกล่าวมีค่าความมันเงาที่เปลี่ยนแปลงไปลดลง 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความมันเงาที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบการทนทานต่อการขัดถูของสารเคลือบเกรดการค้า พบว่าค่าความมันเงาที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการขัดถูเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสารเคลือบเกรดการค้าจึงไม่สามารถทนทานการขัดถูได้ แสดงผลดังตารางที่ 4.10

### 4.3 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตสารเคลือบที่ได้จากงานวิจัย และสารเคลือบในอุตสาหกรรม

จากข้อมูลบริษัท ชบาทรี (Chaba Tree Co. Ltd.) ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิต และส่งออกเครื่องใช้ในครัวเรือนไปยังประเทศญี่ปุ่น ในปัจจุบันบริษัทได้นำเข้าสารเคลือบจากน้ำมันส้ม ซึ่งมีราคาต้นทุนอยู่ที่ 1,500 บาทต่อกิโลกรัม นับว่าเป็นราคาที่สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการทำสารเคลือบไม้จากธรรมชาติ ที่มีโครงสร้างคล้ายน้ำมันอูรูชิ ซึ่งเป็นสารเคลือบที่นิยมใช้อย่างมากในประเทศญี่ปุ่น แต่เนื่องจากน้ำมันอูรูชิเป็นวัตถุดิบที่ไม่สามารถหาได้ในประเทศ จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้มีราคาสูงมาก (ประมาณ 1,500 บาทต่อกิโลกรัม) งานวิจัยนี้ได้มีการทำสารทดแทนไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีโครงสร้าง และสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันอูรูซี คือน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เป็นวัตถุดิบที่สามารถหาได้ภายในประเทศ และราคาถูก สังกะสีเป็นสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลนแบบไม่ใช้สารเร่งแห้งโลหะ ซึ่งมีต้นทุนการผลิตดังตารางที่ 4.11

พบว่าสารเคลือบที่ได้จากงานวิจัย มีต้นทุนวัตถุดิบประมาณ 121 บาทต่อกิโลกรัม เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากธรรมชาติ หาได้ง่ายภายในประเทศ รวมทั้งเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ยังเป็นกากเหลือจากอุตสาหกรรม จึงทำให้ราคาต้นทุนในการผลิตต่ำ สารเคลือบที่ได้จึงมีราคาถูก

ตารางที่ 4.11 ราคาต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน

| รายการ      | ปริมาณที่ใช้<br>(กรัม) | ราคา<br>(บาทต่อกิโลกรัม) | คิดเป็นเงิน<br>(บาท) |
|-------------|------------------------|--------------------------|----------------------|
| DCNSL       | 138.89                 | 30.00                    | 4.17                 |
| Silane      | 69.44                  | 800.00                   | 55.55                |
| Epoxy resin | 208.33                 | 85.00                    | 17.71                |
| BuAc        | 104.17                 | 39.50                    | 4.11                 |
| MEK         | 104.17                 | 44.28                    | 4.61                 |
| Xylene      | 208.33                 | 17.32                    | 3.61                 |
| CAB         | 27.78                  | 123.60                   | 3.43                 |
| OPE Wax     | 138.89                 | 200.00                   | 27.78                |
| รวม         | 1,000                  | 1,339.70                 | 120.97               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องในการเตรียมสารเคลือบผิวไม้ที่พัฒนามาจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell liquid หรือ CNSL) โดยมีการพัฒนาโครงสร้างเป็นไฮบริดอีพอกซีไซเลนแบบไม่ใช้สารเร่งแห้งที่มีส่วนประกอบของโลหะ และมีการปรับปรุงโดยใช้เรซินร่วม (Co-resin) เพื่อนำมาทำเป็นสารเคลือบบนผิวไม้สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ในครัวเรือน โดยงานวิจัยแบ่งการศึกษาทั้งหมดออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน และปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) และการเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน โดยเน้นศึกษาไปที่การหาปริมาณที่เหมาะสมของเซลลูโลสอะซิเตตบิวทีเรต (Cellulose acetate butyrate หรือ CAB) อีพอกซีเรซิน และออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax หรือ OPE wax) เพื่อให้ได้สารเคลือบที่มีสมบัติด้านต่างๆ ได้แก่ การแห้งตัว การยึดเกาะ การทนน้ำ การทนน้ำร้อน การทนกรด-เบส ความมันเงา และการทนทานต่อการขีดถู นอกจากนี้สารเคลือบที่ได้อังมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน และปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันพบว่าเมื่อนำ CNSL ไปปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน มีค่าความเป็นกรดลดลง ค่า pH เพิ่มขึ้น และค่าไอโอดีนเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR (Fourier transform infrared spectroscopy) น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างแล้ว (DCNSL) ปรากฏพีคของ O-H stretching มีความเข้มพีคมากขึ้น และ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิล มีความเข้มพีคลดลง ซึ่งแสดงว่าการดอณาการดีคิกที่เป็นองค์ประกอบหลักของ CNSL ถูกเปลี่ยนเป็นคาร์ดานอลแล้ว และเมื่อทำการตรวจสอบหาปริมาณคาร์ดานอลด้วยเทคนิค GC-MS (Gas chromatograph - Mass spectrometer) พบว่าการปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่สภาวะอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีนั้น DCNSL มีปริมาณคาร์ดานอลมากที่สุด

จากการเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน โดยการหาสารเคลือบด้วยฟองน้ำจำนวน 2 รอบ และมีการใช้ตัวทำละลายในการควบคุมความหนืดของสารเคลือบเพื่อให้สารเคลือบแต่ละสูตรมีความหนาเฉลี่ยอยู่ที่ 9.5 - 13.9 ไมโครเมตร โดยศึกษาผลของปริมาณ CAB พบว่าปริมาณ CAB ที่ 20 phr ทำให้ได้สารเคลือบที่มีระยะเวลาในการแห้งตัวแบบ Harden dry (HD) ที่ 26 นาที มีการยึดเกาะเฉลี่ยอยู่ที่ 5B มีความสามารถในการทนน้ำได้ และสามารถทนน้ำร้อนได้ โดยจากการทดสอบความมันเงาที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าลดลง 4 เปอร์เซ็นต์ และสารเคลือบดังกล่าวสามารถทนกรดได้แต่ยังไม่สามารถทนเบสได้ จึงทำการปรับปรุงสมบัติการทนกรดและเบสโดยศึกษาผลของปริมาณอีพอกซี พบว่าปริมาณอีพอกซีที่ 150 phr ทำให้ได้สารเคลือบที่มีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงมากที่สุด

เอกสารสารเคลือบจึงสามารถทนกรดและเบสได้ดีขึ้น แต่ยังคงมีความมันเงาสูง จึงทำการศึกษาผลของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณ OPE wax พบว่าปริมาณ OPE Wax ที่ 100 phr ทำให้ได้สารเคลือบที่มีความมันเงาอยู่ที่ 13.5 GU นอกจากนี้ยังทำการทดสอบการขีดถู โดยวัดความมันเงาก่อน และหลังการขีดถู พบว่าปริมาณ OPE Wax ที่ 100 phr สารเคลือบมีความมันเงาที่เปลี่ยนแปลงไปลดลง 4 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีความมันเงาที่เปลี่ยนแปลงไปไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์ สารเคลือบที่ได้จึงมีสมบัติทนทานต่อการขีดถูได้

จากการทดลองทั้งหมด พบว่าปริมาณสารตั้งต้นที่ดีที่สุดในการทำสารเคลือบ แสดงดังตารางที่ 5.1 จากนั้นนำสารตั้งต้นที่ดีที่สุดในการทำสารเคลือบ ไปทดสอบสมบัติต่างๆ และได้ผลดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ดีที่สุดในการทำสารเคลือบ

| DCNSL (g) | ไซเลน (g) | CAB |       | Epoxy |       | OPE Wax |       |
|-----------|-----------|-----|-------|-------|-------|---------|-------|
|           |           | (g) | (phr) | (g)   | (phr) | (g)     | (phr) |
| 10        | 5         | 2   | 20    | 15    | 150   | 10      | 100   |

ตารางที่ 5.2 สรุปสมบัติสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลนเทียบกับสารเคลือบเกรดการค้า

| สมบัติ              | มาตรฐานการทดสอบ                  | สารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน                  | สารเคลือบเกรดการค้า                         |
|---------------------|----------------------------------|--|---|
| การแห้งตัว          | n/a                              | DF : 10 นาที<br>TF : 15 นาที<br>HD : 20 นาที | DF : 5 นาที<br>TF : 13 นาที<br>HD : 25 นาที |
| การยึดเกาะ          | มอก. 285-2540                    | 5B   | 5B  |
| การทนน้ำ            | ASTM D1647-89                    | ✓  | ✓   |
| การทนน้ำร้อน        | n/a                              | ✓  | ✗   |
| การทนกรดและเบส      | ASTM D1647-89                    | ทนกรด : 95%<br>ทนเบส : 80%                   | ทนกรด : 0%<br>ทนเบส : 0%                    |
| ความมันเงา          | ASTM D523-89                     | 13.5 GU                                      | 2.5 GU                                      |
| การทนทานต่อการขีดถู | ดัดแปลงจาก มอก. 285 เล่ม 20-2525 | ✓  | ✗   |

สารเคลือบที่ได้จากงานวิจัย มีต้นทุนวัตถุดิบอยู่ประมาณ 120.97 บาทต่อกิโลกรัม เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากธรรมชาติ หาได้ง่ายภายในประเทศ รวมทั้งเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ยังเป็นกากเหลือจากอุตสาหกรรม จึงทำให้ราคาต้นทุนในการผลิตต่ำ สารเคลือบที่ได้จึงมีราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สีของ CNSL นั้นมีความเข้ม ส่งผลให้สารเคลือบมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานได้เฉพาะไม้เนื้อแข็ง จึงควรศึกษาเพิ่มเติมในการปรับปรุงสีของ CNSL เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานกับไม้ทุกประเภท เช่น การกลั่นแบบลดความดันแยกคาร์บอนออกจาก CNSL
2. สารเคลือบมีกลิ่นฉุนเนื่องจากตัวทำละลาย จึงอาจพิจารณาตัวทำละลายตัวอื่นที่มีกลิ่นฉุนและความเป็นพิษน้อยกว่า
3. ปรับปรุงสูตรเพื่อลดความมันเงา เช่น เปลี่ยนชนิด Matting agent



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ปราการ มาลาทอง และธีรยุทธ เจริญท้าว. 2555. ศึกษาพฤติกรรมการบ่มของอีพ็อกซีเรซินโดยการเติมน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์. โครงการงานพิเศษวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [2] 2558. มะม่วงหิมพานต์. [Online]. Available:<http://www.samunpri.com/?p=7867>
- [3] 2558. เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์..พลังงาน+เทคโนโลยี. [Online]. Available: <http://www.energysavingmedia.com/news/page.php?a=10&n=106&cno=2870>
- [4] กันทามาศ โพนนา, ชนิกันต์ จันท์จिरานนท์และชุติมณฑน์ สุวัตติกุล. 2557. การศึกษาสารเคลือบไม้จากน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปร. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] Shinji, K. Hiroki, O. Rong, L. and Tetsuo, M. Development of bio-based hybrid resin, from natural lacquer. *Progress in Organic Coatings*. 2014(77) : 24-29.
- [6] ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ และคมสันติ เมากกลาง. 2544. การศึกษาการสกัดน้ำมัน CNSL จากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์. โครงการงานพิเศษวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [7] มโน ลีมวรพันธุ์. 2543. ปฏิกริยาดีคาร์บอกซิเลชันและปฏิกริยาการเชื่อมสภาพของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] Voirin, C. Caillol, S. Sadavarte, N.V. Tawade, B.V. Boutevin, B. and Wadgaonkar, P.P. Functionalization of cardanol: towards biobased polymers and additives. *Polymer Chemistry*. 2014(5) : 3142-3162.
- [9] 2558. องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้. [Online]. Available: [http://www.buranapagroup.com/knowledge\\_chemical.php](http://www.buranapagroup.com/knowledge_chemical.php)
- [10] 2558. ของใช้ในครัว Zakka. [Online]. Available: <http://www.hommagelifestyle.com/img/c/24.jpg>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] อรุษา สรวารี. 2539. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแล็กเกอร์). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] สนทยา ลัมมัทวาริรัตน์. 2547. เซลล์เล็ก แนวทางการประยุกต์ใช้สารจากธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศ. *วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร*. 2547(24) : 202-211.
- [13] 2558. อำพัน (Amber). [Online]. Available:  
<http://www.icstoneshop.com/category/140/ฟอสซิล/อำพัน-amber>
- [14] 2558. เรซินจากธรรมชาติ – วัตถุดิบทดแทน. [Online]. Available:  
[http://www.thaiprint.org/thaiprint/index.php?option=com\\_zoo&view=item&item\\_id=660&Itemid=54](http://www.thaiprint.org/thaiprint/index.php?option=com_zoo&view=item&item_id=660&Itemid=54)
- [15] 2558. สารชีวโมเลกุล (Biomolecules). [Online]. Available:  
<https://sites.google.com/a/mengrai.ac.th/tiptida10272/li-phid>
- [16] 2558. สารลดฟองคืออะไร. [Online]. Available:  
<https://sites.google.com/a/chemsources.co.th/antifoamthailand/sar-ld-fxng/-1>
- [17] บัณฑิตย์ ศรีสังข์งาม. 2548. การแยกสารประกอบฟีนอลในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [18] Petrie, E.M. 2006. *Epoxy Adhesive Formulations*. The United States of America : The McGraw-Hill Companies.
- [19] Koleske, J.V. 2012. *Paint and Coating Testing Manual 15th Edition of the Gardner-Sward Handbook*. New jersey : Bridgeport.
- [20] Xie, Y. Hill, C.A.S. Xiao, Z. Miltz, H. and Mai, C. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review. *Composites: Part A*. 2010(41) : 806-819.
- [21] รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด. 2557. เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [22] 2559. Oxidized polyethylene wax. [Online]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24847855>
- [23] Tracton, A.A. 2006. Third Edition Coating Technology Handbook. Boca Raton : Taylor & Francis Group.
- [24] สุรัตน์ อาริรัตน์ และเสขฐการ พรหมศิริ. 2552. การพัฒนาสารเติมแต่งไฮบริดสำหรับป้องกันการเสื่อมสภาพยางจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และปิโตรเลียมแวกซ์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัยขนาดกลางเรื่องยางพารา.
- [25] Sabila, N. Mwangi, P.M. Kareru, P. and Thiong, G. Surface coatings based on polyester resin from cashew nut shell liquid derivatives. *International Journal of Current Tr. Research* 2014(2) : 47-55.
- [26] Kasemsiri, P. Neramittagapong, A. and Chindapasirt, P. Curing kinetic, thermal and adhesive properties of epoxy resin cured with cashew nut shell liquid. *Thermochimica Acta*. 2015(600) : 20-27.
- [27] 2559. Coating Thickness Gauge/เครื่องวัดความหนาสี ผิวเคลือบ. [Online]. Available: [http://www.tonanasia.com/coating\\_thickness\\_gauge.php](http://www.tonanasia.com/coating_thickness_gauge.php)
- [28] 2559. Fischer Technology : MPOR Dualscope Coating Thickness Gauge. [Online]. Available: <http://www.radiatronics.com/images/pics/CT-FT-MPOR-DUALSCOPE.jpg>
- [29] วิกสิต อธิมุตติกุล. 2547. การพัฒนาสารเคลือบผิวประเภทพอลิเอสเทอร์จากน้ำมันชนิดต่างๆ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [30] 2559. Micro Tri-Gloss Meter. [Online]. Available: [http://static.davis.com/large\\_images/59721\\_02.jpg](http://static.davis.com/large_images/59721_02.jpg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลายกรดซัลฟูริก

วิธีการเตรียมสารละลาย

1. ปิเปตสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.53 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น และปิดฝา เขย่าให้เข้ากัน

วิธีการคำนวณ

$$C = \% \frac{10D}{Mw}$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารที่เตรียมได้

D คือ ความหนาแน่นของซัลฟูริก

Mw คือ มวลโมเลกุลของซัลฟูริก

การคำนวณกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์

$$0.1M = \% \frac{10 \times 1.84 \text{ g/cm}^3}{98.08 \text{ g/Mol}}$$

$$\% \text{ V/V} = 0.53$$

## ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

วิธีการเตรียมสารละลาย

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม
2. นำมาละลายในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร แล้วคนให้ทั่ว
3. จากนั้นเทใส่ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ถึงขีด และปิดฝา เขย่าให้เข้ากัน

วิธีการคำนวณ

$$\frac{G}{M_w} = \frac{CV}{1000}$$

เมื่อ G คือ น้ำหนักของสาร  
 M<sub>w</sub> คือ มวลโมเลกุล  
 C คือ ความเข้มข้น  
 V คือ ปริมาตร

การคำนวณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์

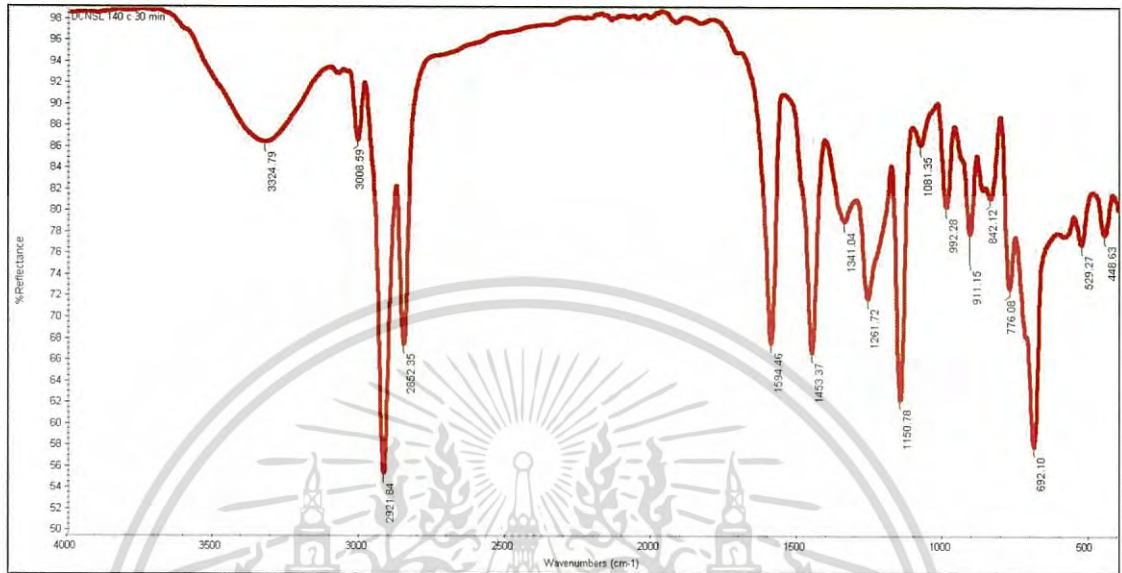
$$\frac{G}{40g/mol} = \frac{0.1mol/L \times 100ml}{1000}$$

$$G = \frac{0.1mol/L \times 100ml}{1000} \times 40g/mol$$

$$G = 0.4 g$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

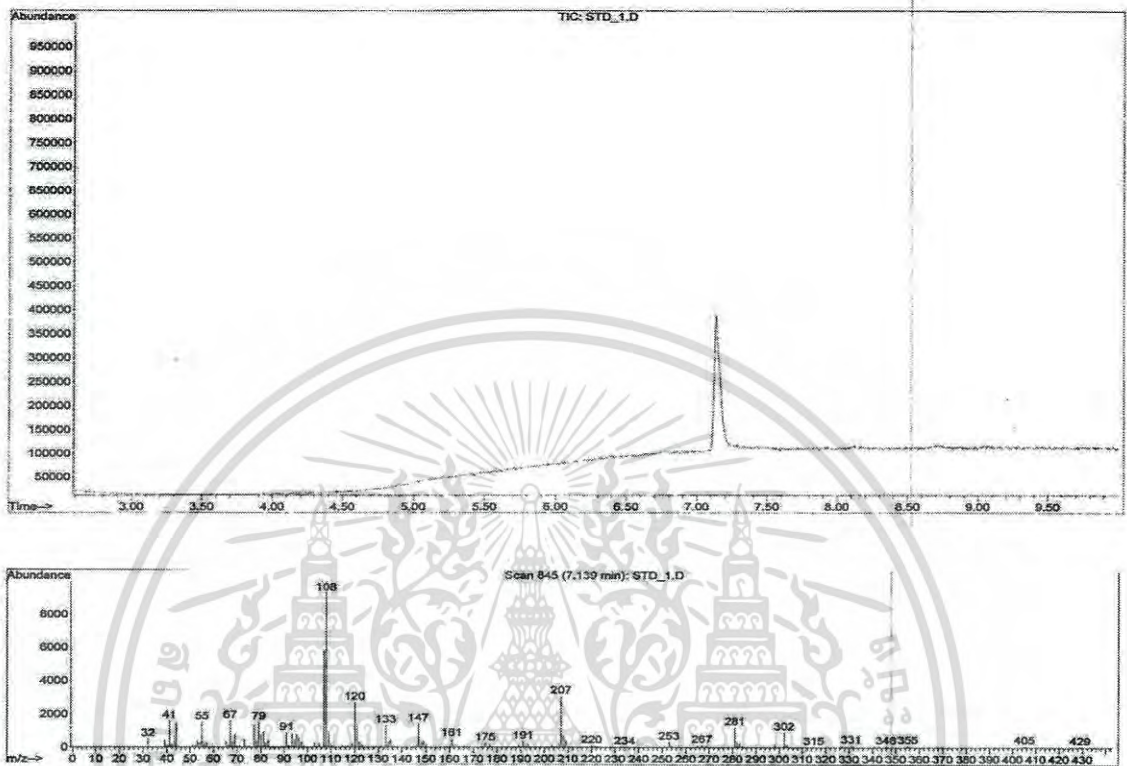
## ภาคผนวก ค



รูปที่ ค. สเปกตรัมของ DCNSL ที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

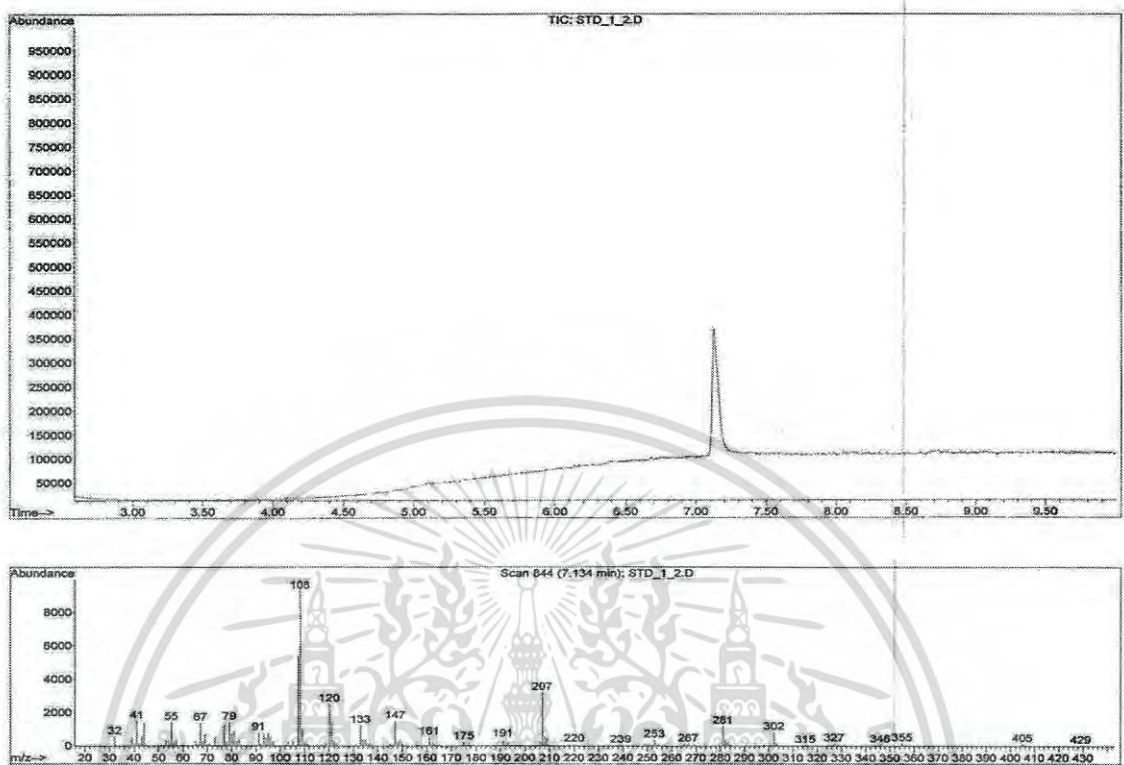
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง



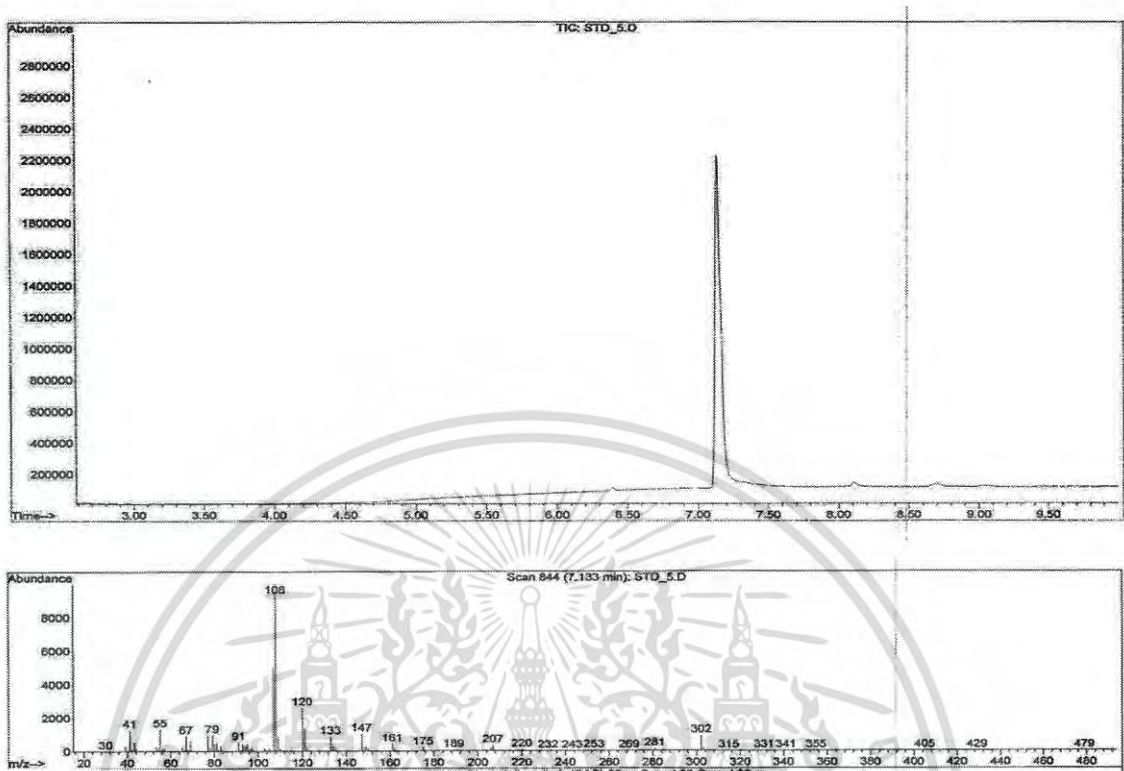
รูปที่ ง.1 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น  $0.1 \text{ mg/cm}^3$  ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



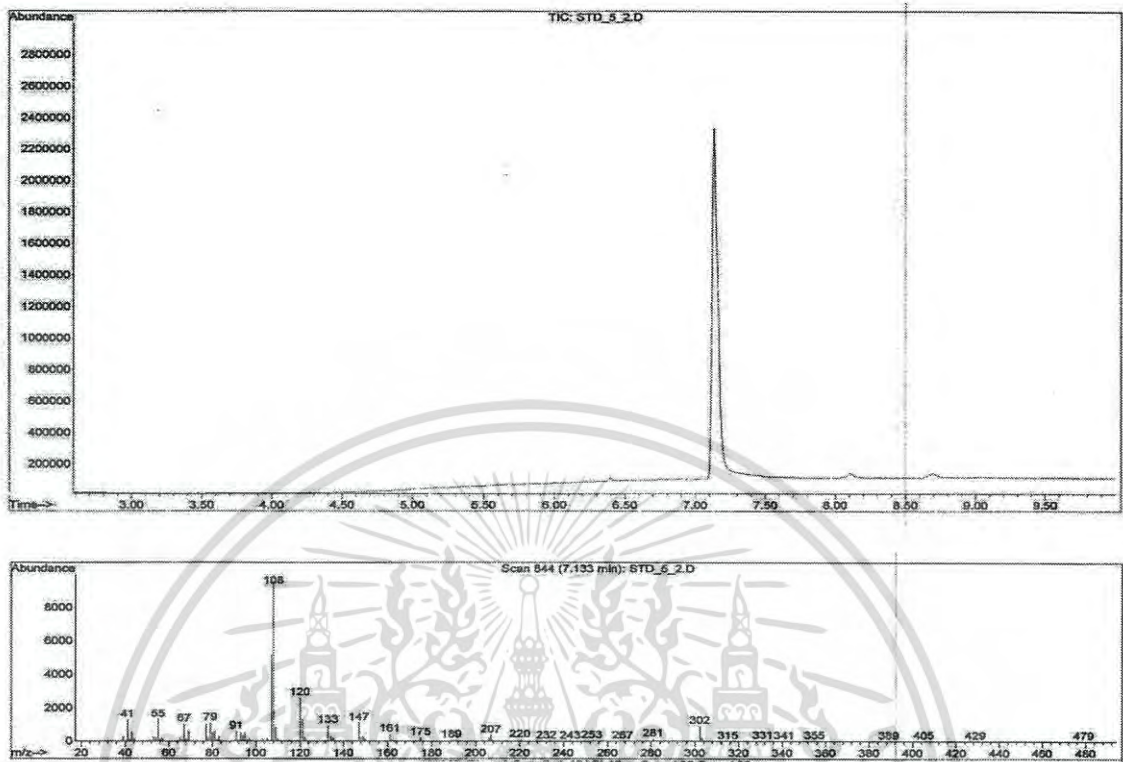
รูปที่ ง.2 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น  $0.1 \text{ mg/cm}^3$  ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



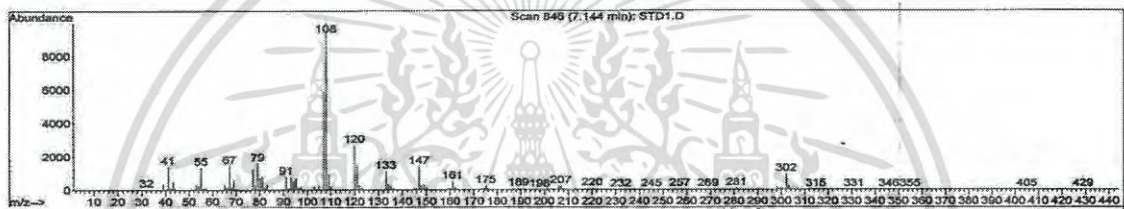
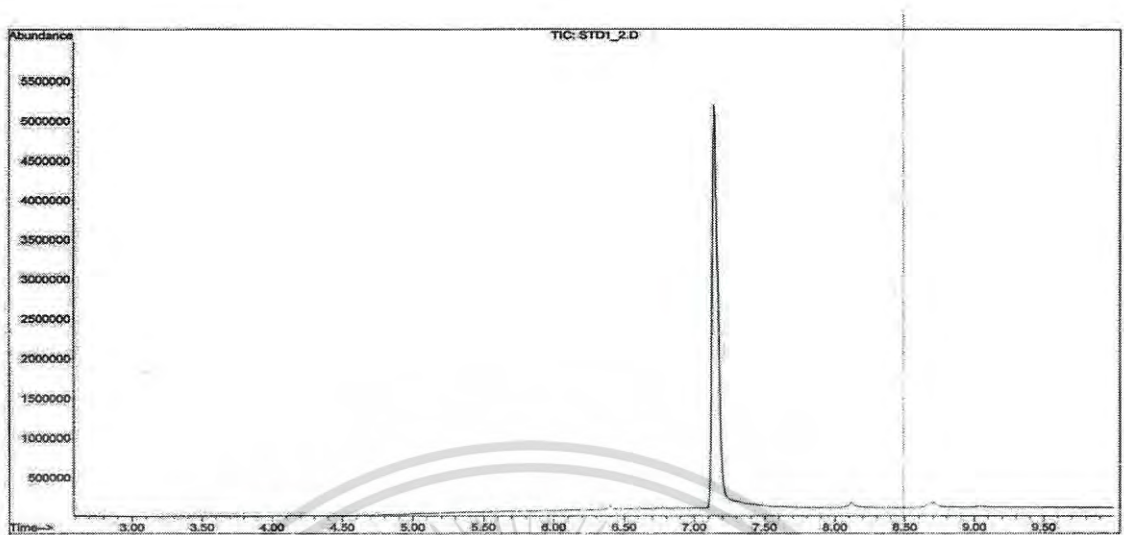
รูปที่ 3.3 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น  $0.5 \text{ mg/cm}^3$  ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



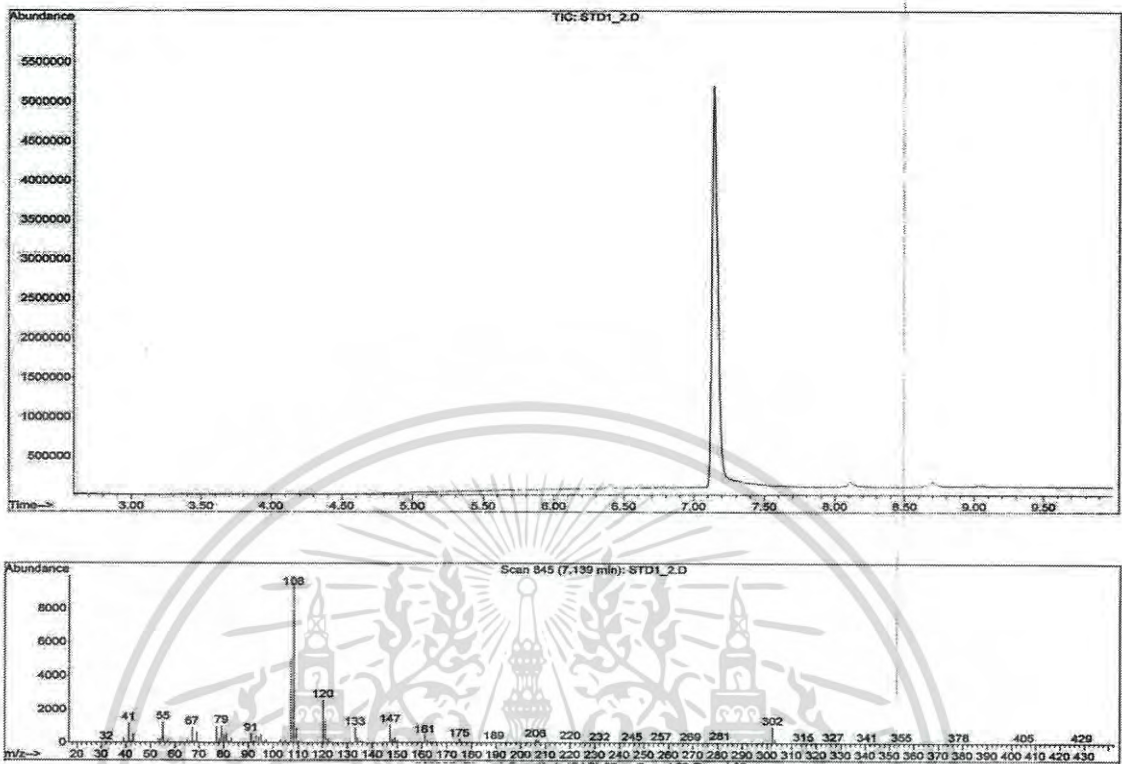
รูปที่ ง.4 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น  $0.5 \text{ mg/cm}^3$  ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.5 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น  $1.0 \text{ mg/cm}^3$   
ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.6 Chromatogram และ Mass spectrum ของสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น  $1.0 \text{ mg/cm}^3$  ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

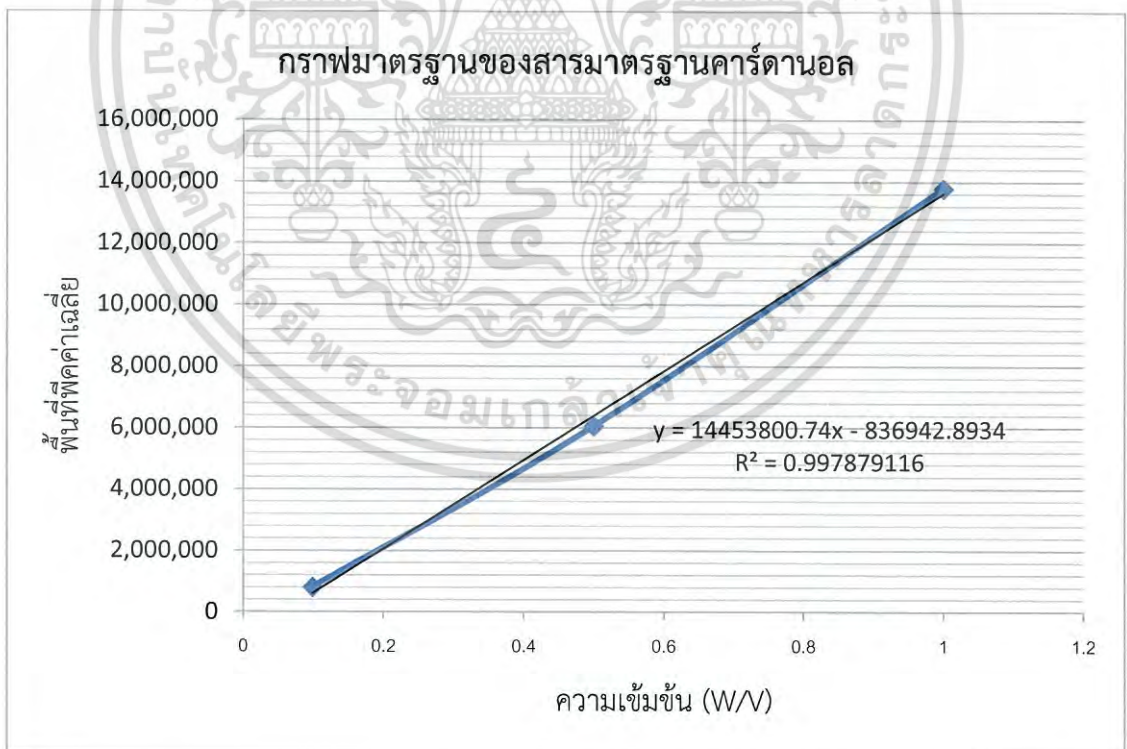
การคำนวณหาปริมาณคาร์ดานอลใน CNSL ด้วยเทคนิค GC-MS

### 1. ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.1 – 1 mg/cm<sup>3</sup>

ตารางที่ ง.1 พื้นที่พีคของสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.1 – 1 mg/cm<sup>3</sup>

| ความเข้มข้น (W/V)      | พื้นที่พีค | พื้นที่พีคเฉลี่ย |
|------------------------|------------|------------------|
| 0.1 mg/cm <sup>3</sup> | 808,518    | 800,796          |
|                        | 793,073    |                  |
| 0.5 mg/cm <sup>3</sup> | 5,994,981  | 6,043,713        |
|                        | 6,092,444  |                  |
| 1 mg/cm <sup>3</sup>   | 13,971,751 | 13,770,745       |
|                        | 13,569,738 |                  |

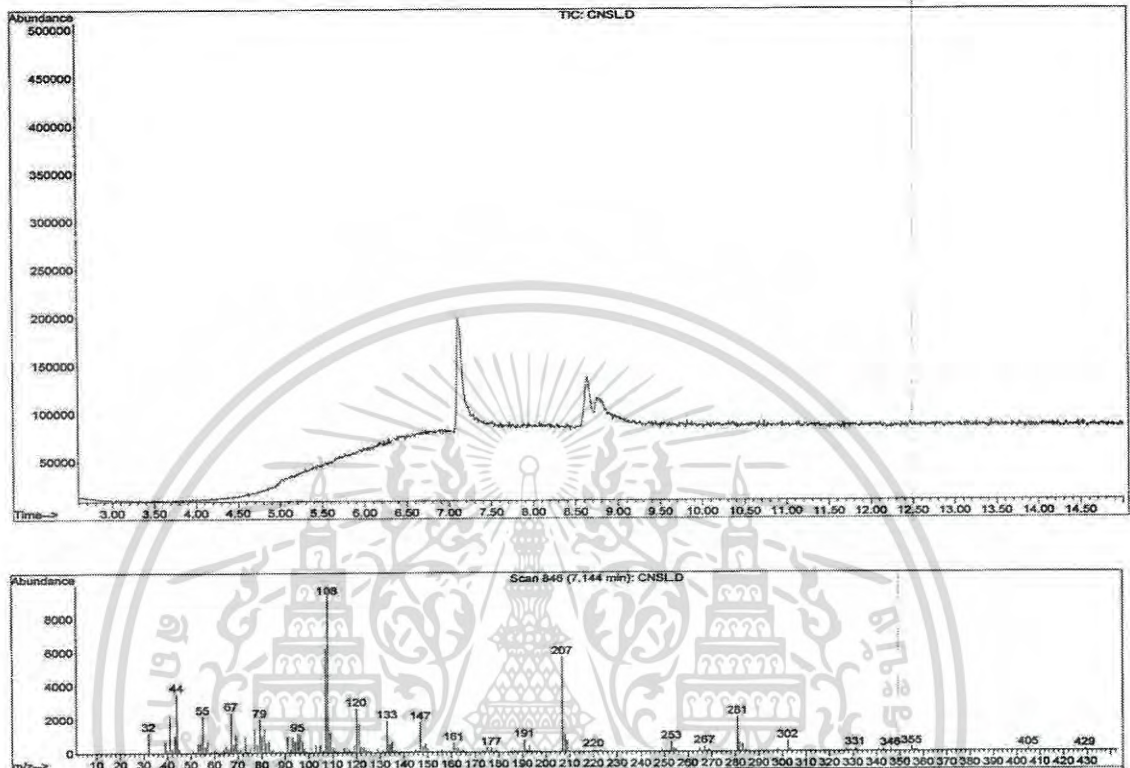
จากพื้นที่พีคที่ได้เมื่อนำมาใช้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่พีคเฉลี่ย ให้ความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรงตาม Beer's Law ดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.7 กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานคาร์ดานอล

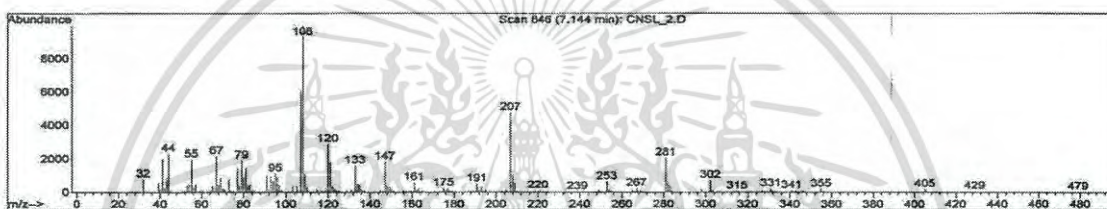
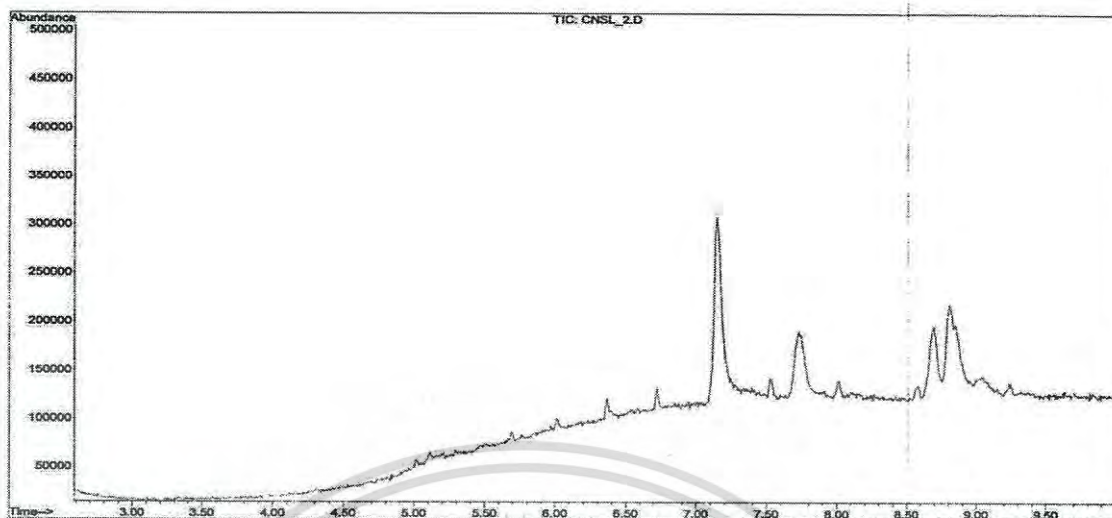
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง CNSL ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างและปรับปรุงโครงสร้างที่สภาวะ 140 และ 160 องศาเซลเซียส



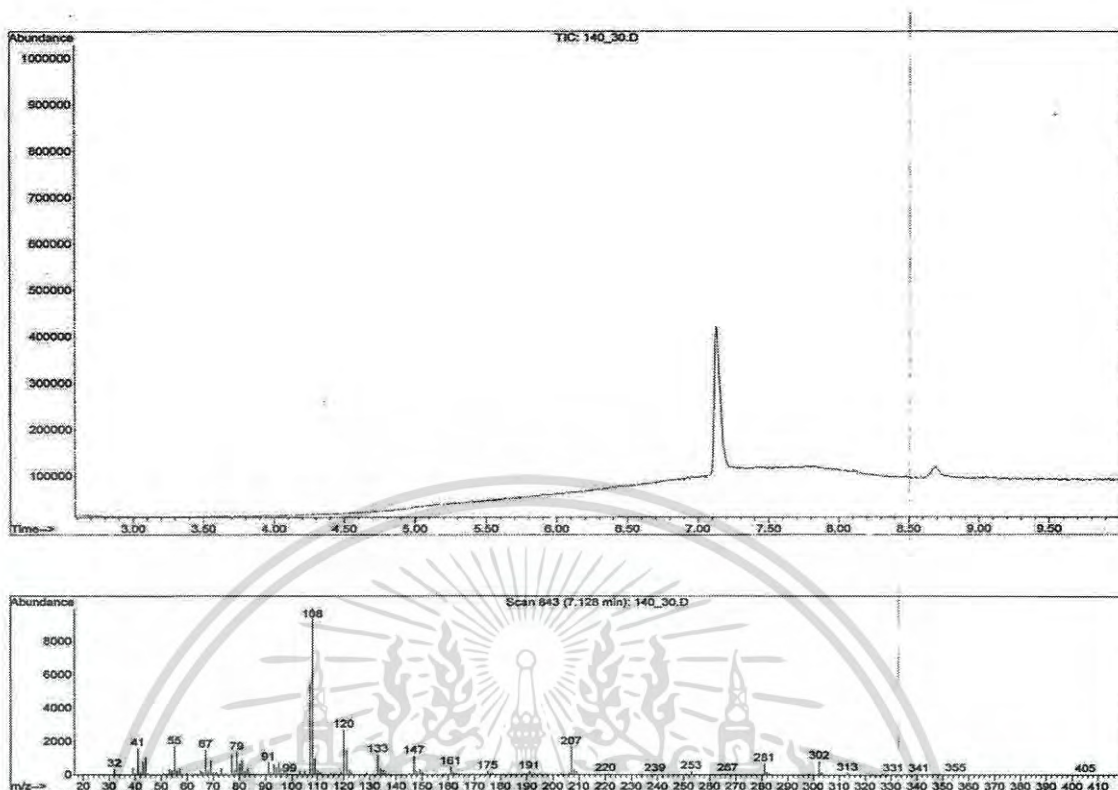
รูปที่ 8.8 Chromatogram และ Mass spectrum ของ CNSL ครึ่งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



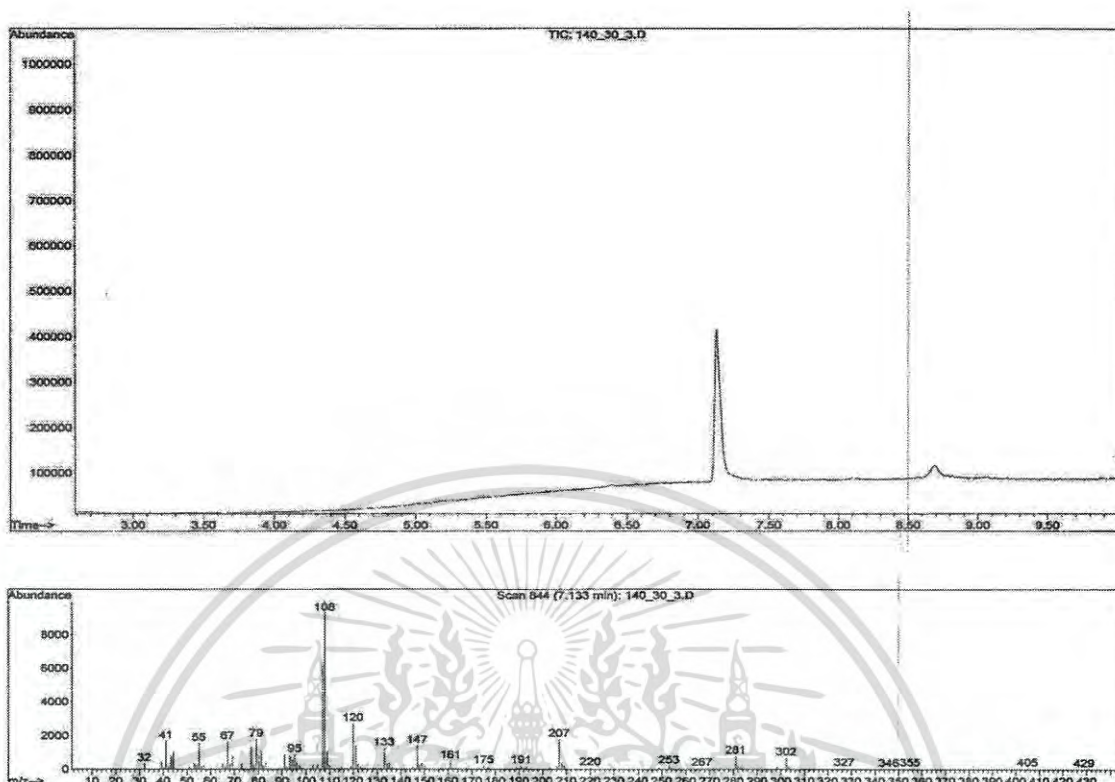
รูปที่ ๙.๙ Chromatogram และ Mass spectrum ของ CNSL ครั้งที่ ๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



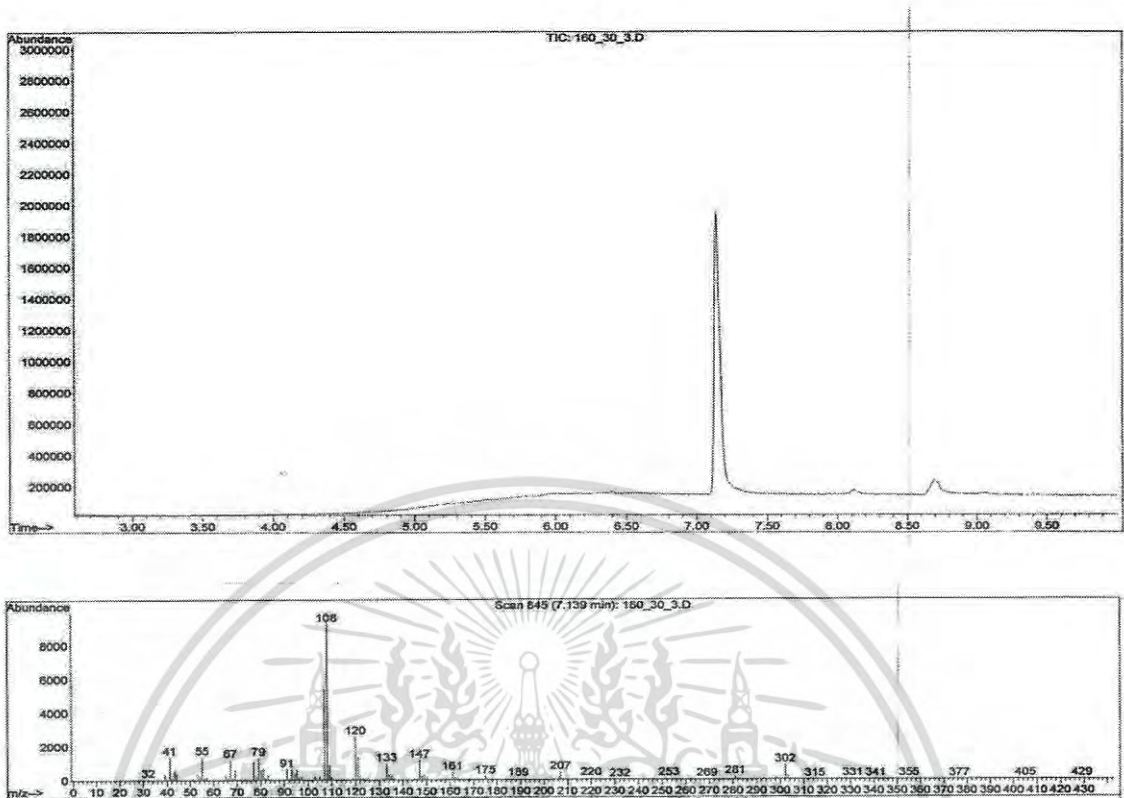
รูปที่ 10 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL ที่สภาวะ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



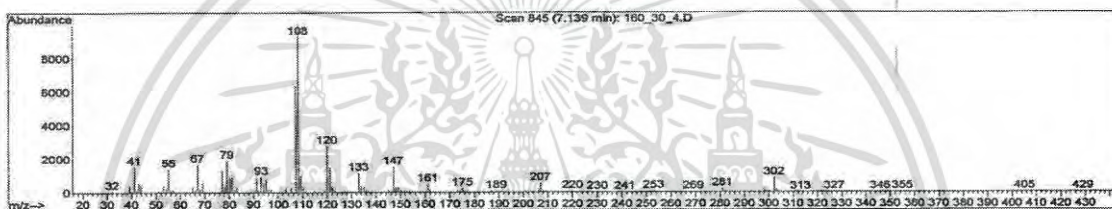
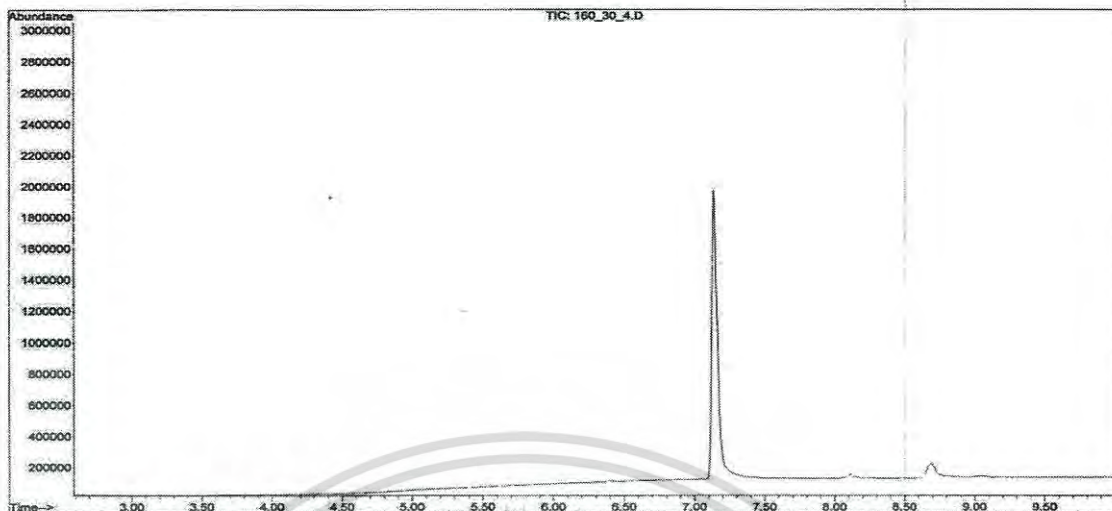
รูปที่ ง.11 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL ที่สภาวะ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.13 Chromatogram และ Mass spectrum ของ DCNSL ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 พื้นที่พืคของตัวอย่าง CNSL ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างและปรับปรุงโครงสร้างที่สภาวะ 140 และ 160 องศาเซลเซียส

| สภาวะ                         | พื้นที่พืค | พื้นที่พืคเฉลี่ย |
|-------------------------------|------------|------------------|
| CNSL                          | 496,986    | 504,960          |
|                               | 512,934    |                  |
| DCNSL 140 ° C<br>เวลา 30 นาที | 944,403    | 942,946          |
|                               | 941,488    |                  |
| DCNSL 160 ° C<br>เวลา 30 นาที | 4,597,159  | 4,578,060        |
|                               | 4,558,961  |                  |

### 3. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณคาร์บอนอลใน CNSL

- ตัวอย่าง CNSL ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้าง

ฉีดด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร มีความเข้มข้นเท่ากับ  $0.0928 \text{ mg/cm}^3$

ดังนั้นในสารละลาย 1 ไมโครลิตร มีน้ำหนักของคาร์บอนอล  $= 1000 \text{ ml} \times 0.0000928 \text{ g/ml}$

$$= 9.28 \times 10^{-8} \text{ g}$$

จากตัวอย่างน้ำหนัก 0.0658 g. เตรียมให้ได้ปริมาตร 100 ml.

มีน้ำหนักของคาร์บอนอล  $= 100 \times 9.28 \times 10^{-8} / 10^{-3} \text{ g}$ .

$$= 0.00928 \text{ g}$$

ดังนั้นปริมาณคาร์บอนอลใน CNSL เท่ากับร้อยละ  $\frac{0.00928}{0.0658} \times 100 = 14.10$

- ตัวอย่าง CNSL ที่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างที่สภาวะ 140 องศาเซลเซียส

ฉีดด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร มีความเข้มข้นเท่ากับ  $0.1231 \text{ mg/cm}^3$

ดังนั้นในสารละลาย 1 ไมโครลิตร มีน้ำหนักของคาร์บอนอล  $= 1000 \text{ ml} \times 0.0001231 \text{ g/ml}$

$$= 1.231 \times 10^{-7} \text{ g}$$

จากตัวอย่างน้ำหนัก 0.0556 g. เตรียมให้ได้ปริมาตร 100 ml.

มีน้ำหนักของคาร์บอนอล  $= 100 \times 1.231 \times 10^{-7} / 10^{-3} \text{ g}$ .

$$= 0.01231 \text{ g}$$

ดังนั้นปริมาณคาร์บอนอลใน CNSL เท่ากับร้อยละ  $\frac{0.01231}{0.0556} \times 100 = 22.14$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวอย่าง CNSL ที่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส

ฉีดยุติด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร มีความเข้มข้นเท่ากับ  $0.3746 \text{ mg/cm}^3$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นในสารละลาย 1 ไมโครลิตร มีน้ำหนักของคาร์ดานอล} &= 1000 \text{ ml.} \times 0.0003746 \text{ g/ml.} \\ &= 3.746 \times 10^{-7} \text{ g} \end{aligned}$$

จากตัวอย่างน้ำหนัก 0.0522 g. เตรียมให้ได้ปริมาตร 100 ml.

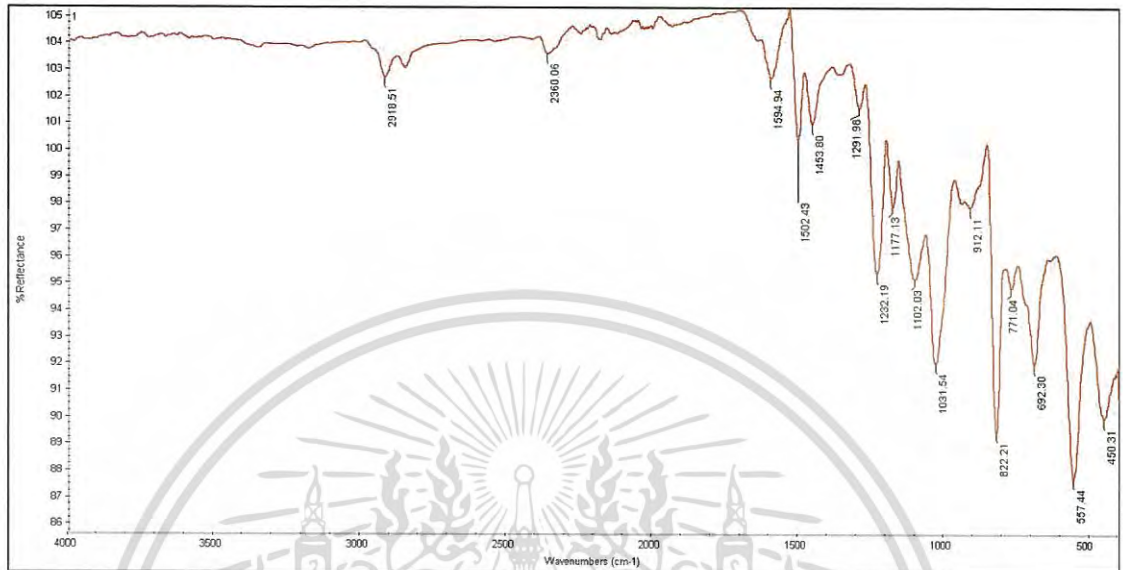
$$\begin{aligned} \text{มีน้ำหนักของคาร์ดานอล} &= 100 \times 3.746 \times 10^{-7} / 10^{-3} \text{ g.} \\ &= 0.03746 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นปริมาณคาร์ดานอลใน CNSL เท่ากับร้อยละ } \frac{0.03746}{0.0522} \times 100 = 71.76$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ



รูปที่ จ. สเปกตรัมแสดงหมู่ฟังก์ชันของสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ

### การคำนวณ % Retention

$$\% \text{ Retention} = \frac{\text{ความเงาหลังต้ม}}{\text{ความเงาก่อนต้ม}} \times 100$$

### การคำนวณ % Change

$$\% \text{ Change} = \% \text{ Retention} - 100$$

หมายเหตุ : ค่าความมันเงาที่เปลี่ยนแปลงไปควรมีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์

### ตัวอย่างการคำนวณ % Retention และ % Change

สกัดส่วนโดยน้ำหนัก DCNSL : โซเลน : อีพอกซี : CAB เท่ากับ 10 : 5 : 20 : 5

$$\% \text{ Retention} = \frac{32.8}{52.6} \times 100$$

$$= 62$$

$$\% \text{ Change} = 62 - 100$$

$$= -38$$