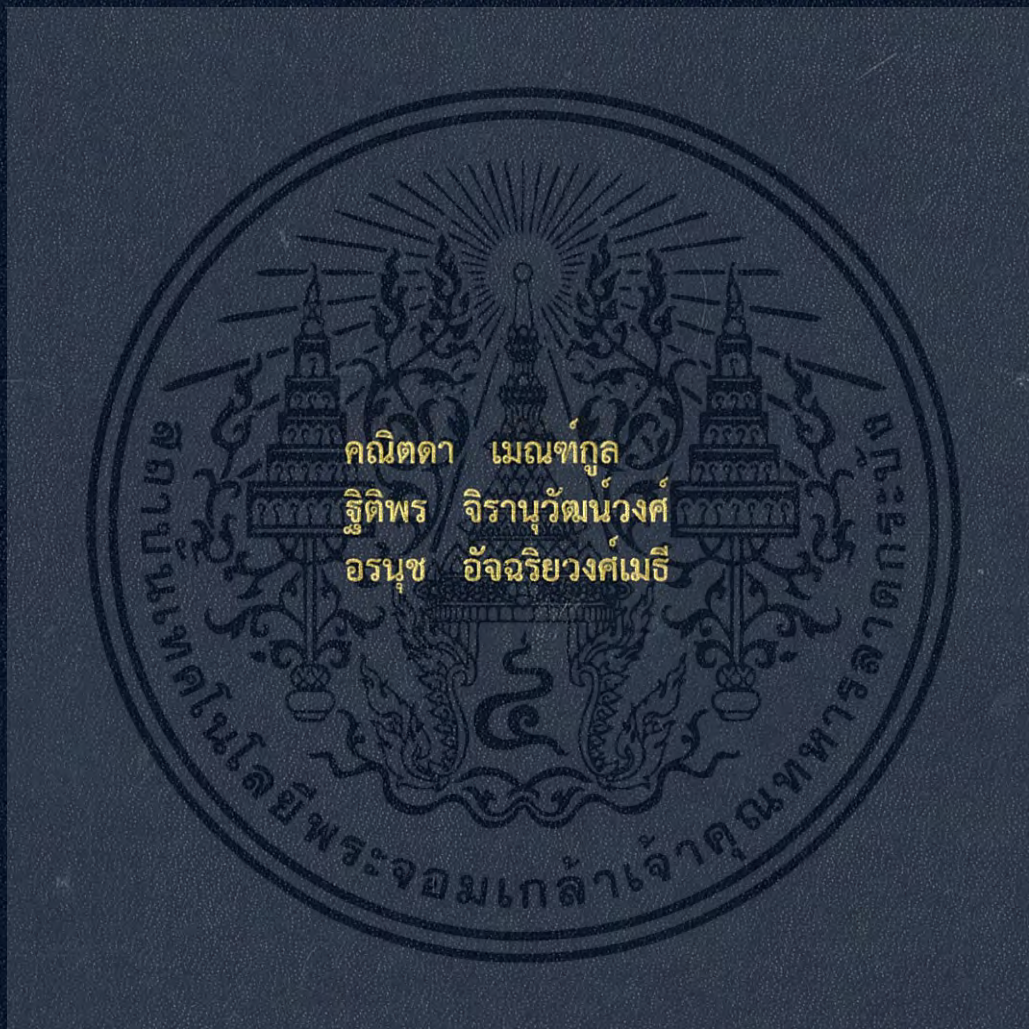


วัสดุทดแทนยางรักในงานศิลปะจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วง
หิมพานต์ดัดแปร

REPLACEMENT OF ORIENTAL LACQUER IN ARTWORKS
BY USING MODIFIED CASHEW NUT SHELL LIQUID



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

วัสดุทดแทนยางรักในงานศิลปะจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วง
หิมพานต์ดัดแปร

REPLACEMENT OF ORIENTAL LACQUER IN ARTWORKS
BY USING MODIFIED CASHEW NUT SHELL LIQUID



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REPLACEMENT OF ORIENTAL LACQUER IN ARTWORKS
BY USING MODIFIED CASHEW NUT SHELL LIQUID



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Replacement of Oriental Lacquer in Artworks by Using Modified Cashew Nut Shell Liquid

ชื่อนักศึกษา	นางสาว คณิดดา เมณท์กุล	รหัสนักศึกษา	57050384
	นางสาว จุติพร จิรานุวัฒน์วงศ์	รหัสนักศึกษา	57050403
	นางสาว อรณข อัจฉริยวงศ์เมธี	รหัสนักศึกษา	57050555

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.วรา ชัยนิตย์ วิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์
ดร.วิวัฒนา คล้ายรัศมี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี
อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ	
ประธานกรรมการ	
ดร.ณัฐธิดา นุ่มวงศ์	
กรรมการ	
อ.สนั่น รัตนะ	
กรรมการ	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
อ.วรา ชัยนิตย์	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	
ดร.วัฒนา คล้ายวิเศษ	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ วัสดุทดแทนยางรักในงานศิลปะจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
ดัดแปร

ชื่อนักศึกษา นางสาว คณิตดา เมณท์กุล รหัสนักศึกษา 57050384

นางสาว ฐิติพร จิรานุวัฒน์ รหัสนักศึกษา 57050403

นางสาว อรุณ อัจฉริยวงศ์เมธี รหัสนักศึกษา 57050555

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.วรา ชัยนิตย์ วิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์
ดร.วัฒนา คล้ายรัศมี

บทคัดย่อ

ยางรักเป็นหนึ่งในสารเคลือบจากธรรมชาติที่นิยมใช้มากที่สุดในงานศิลปกรรมไทย อย่างไรก็ตามยางรักที่ใช้ทั่วไปในท้องตลาดไม่ได้มีคุณสมบัติของยางรักแท้ 100% ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งานและการประยุกต์ใช้ เช่น มีกลิ่นเหม็นเนื่องจากสิ่งที่เป็นเปื้อน หาซื้อได้ยากและมีราคาแพง ยิ่งไปกว่านั้นองค์ประกอบเคมีในยางรักอาจก่อให้เกิดอาการการแพ้ที่รุนแรงต่อผิวหนังของผู้ใช้งานบางรายได้ ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการหาสิ่งทดแทนยางรักในงานลงรักปิดทอง โดยใช้สารเคลือบชนิดดัดแปรแบบไฮบริดจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยงานวิจัยเริ่มจากนำน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylated cashew nut shell liquid, DCNSL) มาทำการดัดแปรด้วยระบบไฮบริด ศึกษาชนิดของไซเลนที่มีผลต่อการแห้งตัวของ DCNSL จากไซเลน 3 ชนิด จากการทดลองพบว่าสารเคลือบระบบไฮบริดที่ใช้เมทอกซีไซเลนที่อัตราส่วน DCNSL: ไซเลน: อีพอกซี 10: 5: 20 (โดยน้ำหนัก) ให้ระยะเวลาในการแห้งตัวที่เร็วที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไซเลนชนิดอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าสมบัติการยึดติดบนไม้ของสารเคลือบผิว DCNSL ระบบไฮบริดที่อัตราส่วนข้างต้นอยู่ที่ระดับ 5B (ไม่พบการหลุดลอก) ส่วนการปิดทองบนสารเคลือบผิวระบบไฮบริดที่ใช้เมทอกซีไซเลนอัตราส่วน 5 พบว่าต้องทำการปิดทองบนสารเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน 1 ชั่วโมงและที่เมทอกซีไซเลนอัตราส่วน 2 1 0.5 และ 0.25 พบว่าต้องทำการปิดทองบนสารเคลือบให้เสร็จภายใน 3 ชั่วโมงหลังจากทาบนชิ้นงาน นอกจากนี้ยังพบว่าทุกอัตราส่วนมีความมันเงาของทองคำเปลวที่ปิดได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ยางรัก ในขณะที่ผลทดสอบการทนน้ำร้อนและความชื้นของทองที่ปิดบนสารเคลือบทั้งสองให้ผลที่เหมือนกัน จากการทดลองพบว่าความมันเงาของทองคำเปลวที่ปิดบนสารเคลือบลดลงเมื่อแช่ชิ้นงานลงในน้ำร้อน ส่วนการทดสอบความทนทานต่อความชื้นพบว่าสารเคลือบทั้งสอง DCNSL และยางรักไม่พบความเงาของทองคำเปลวที่ลดลง ส่วนการทดสอบการเคลือบบนไม้ที่มีการเตรียมพื้นผิวที่ต่างกันพบว่าสารเคลือบที่ทาบนพื้นไม้ที่มีการโป้วก่อนทาสารเคลือบมีระยะเวลาการแห้งตัวที่ช้ากว่าเมื่อเทียบกับพื้นผิวที่ไม่โป้ว นอกจากนี้ยังพบว่าสารเคลือบ DCNSL ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดมีอัตราเร็วในการแห้งตัวของฟิล์มที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับยางรัก ส่วนผลการยึดติดของทองคำเปลวบนสารเคลือบ DCNSL ชนิดดัดแปรแบบไฮบริดพบว่าการยึดติดที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับยางรัก ส่วนการเพิ่มสีลงในสารเคลือบ DCNSL พบว่าสามารถทำได้ โดยการเติมคาร์บอนแบล็ค จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าฟิล์มสารเคลือบดังกล่าวสามารถปิดพื้นผิวของไม้ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ใส่คาร์บอนแบล็ค ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารเคลือบ DCNSL ระบบไฮบริด มีประสิทธิภาพสูง สามารถใช้งานในเชิงพาณิชย์และใช้แทนยางรักในงานศิลปกรรมไทยได้

คำสำคัญ : น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปร ยางรัก การลงรักปิดทอง สารเคลือบไม้ไฮบริด อีพอกซีไซเลน

Title	Replacement of Oriental Lacquer in Artworks by Using Modified Cashew Nut Shell Liquid	
Students	Miss Kanitda Menkul	Student ID 57050384
	Miss Thitiporn Jiranuwatwong	Student ID 57050403
	Miss Oranut Ajcharyawongmeti	Student ID 57050555
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2017	
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Ittipol Jangchud	
Co-advisor	Mr. Vara Chaianit College of Fine Arts Dr. Watthana Klairutsamee	

Abstract

Oriental lacquer (Ruk) is one of the most popular natural coatings used in Thai artworks. However, lacquer sap generally used in market does not contain with oriental lacquer 100%, and expensive. It resulted in limit of utilizing and applying, such as, offensive odor from contaminant, difficulty seeking buying, it can cause severe allergy to human skin. Moreover, it can also cause severe allergy to human skin of user. In this work, feasibility and comparative studies of modified cashew nut shell liquid (CNSL) in hybrid system (silane-epoxy) were carried out in order to replace oriental lacquer for fixing gold foils. First, Decarboxylated cashew nut shell liquid, DCNSL was modified in hybrid system. Study type of silanes affected on drying property of DCNSL from 3 silanes. It was found that methoxy silane with DCNSL: silane: epoxy ratio of 10: 5: 20 (by weight) yielded the quickest drying time compared to others. Adhesion of modified DCNSL wood coating hybrid system was in a range of 5B (Not observe peel off). In the fixing gold foils on DCNSL wood, silane ratio of 5 could fix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

gold foils within 1 hour. Meanwhile, silane ratios of 2, 1, 0.5 and 0.25 could fix gold foils within 3 hours. In addition to, all ratios of used silane, gloss of gold on DCNSL surfaces was higher than that on oriental lacquer. It was found that all formulas showed similar results in hot water and humidity test. Gloss reduction of gold was found when fix gold foils was immersed in hot water. Humidity resistance testing, gloss of gold on both DCNSL and oriental lacquer was not reduced. The results show that these lacquer good resistance to humidity. When the coatings were applied on different wood surface treatment, it was found that DCNSL on putty wood had longer drying time. Modified DCNSL wood coating hybrid system has drying time less than oriental lacquer. Adhesion of gold that attach with modified DCNSL hybrid resin higher than gold that attach with oriental lacquer. Possibility of coloring the hybrid resins was also prepared by adding carbon black pigment. It was revealed can good cover wood surface than formula without carbon black. Therefore, the results were carried out from researching. It exposed that DCNSL in hybrid system, it has good performance. It is able to utilize in commercial and replace oriental lacquer in Thai artworks.

Keywords : Modified cashew nut shell liquid (CNSL), Oriental lacquer, Fixing gold foils, Hybrid epoxy silane CNSL wood coating

กิตติกรรมประกาศ

เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่คอยให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษา แนะนำชี้แนะ รวมถึงช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทำให้โครงงานพิเศษนี้ดำเนินไปได้อย่างราบรื่น เรียบร้อย และสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ประธานกรรมการสอบโครงงานพิเศษ และดร.ณัฐธิดา นุ่มวงศ์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบโครงงานพิเศษ โดยได้ให้ข้อชี้แนะเพื่อแก้ไขปรับปรุงและคำแนะนำเพื่อให้โครงงานพิเศษนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ วรา ชัยนิตย์ อาจารย์ สนั่น รัตนะ และบุคลากรทุกท่าน ณ วิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์ ที่คอยให้การสนับสนุนในเรื่องอุปกรณ์ คอยให้คำแนะนำ ปรึกษา และให้ความรู้เพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานพิเศษนี้จนสมบูรณ์สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ ดร.วัฒนา คล้ายรัศมี ที่คอยช่วยสนับสนุนในเรื่องสารเคมีจากบริษัท แคททาไลต์ จำกัด (Catalite Co. Ltd.) เครื่องมือการทดลอง ตลอดจนคำปรึกษาและแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง พร้อมทั้งให้ความรู้เพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก รวมไปถึงสถานที่ที่ใช้ในการจัดทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ ในภาควิชาเคมี ที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือ และชี้แนะให้คำปรึกษาจนโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ให้การสนับสนุนตลอดการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

คณิตดา เมณท์กุล

ฐิติพร จิรานุวัฒน์วงศ์

อรนุช อัจฉริยวงศ์เมธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ต
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 สารเคลือบผิว.....	7
2.1.1 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว.....	7
2.1.2 ประเภทของสารเคลือบผิว.....	8
2.1.2.1 แบ่งตามแหล่งที่มาของสารเคลือบ.....	8
2.1.2.2 แบ่งตามโครงสร้างของพอลิเมอร์.....	10
2.1.3 องค์ประกอบของสารเคลือบผิว.....	11
2.1.4 การแห้งของสารเคลือบผิว.....	12
2.2 มะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut).....	14
2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....	15
2.2.2 การสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....	16
2.2.3 ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ของ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....	19
2.2.4 ประโยชน์ของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 อีพอกซีเรซิน (Epoxy resins).....	22
2.3.1 สมบัติและข้อดีของอีพอกซีเรซิน.....	22
2.3.2 อีพอกซีเรซินชนิดสองส่วน.....	23
2.4 ซิเลน (Silane).....	23
2.4.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของซิเลน.....	24
2.5 รัก.....	24
2.5.1 ประเภทและลักษณะของต้นรัก.....	25
2.5.2 การกรีดและเก็บยางรัก.....	25
2.5.3 ชนิดของต้นรัก.....	25
2.5.4 ส่วนประกอบในยางรัก.....	27
2.5.5 กระบวนการแห้งตัวของยางรัก.....	29
2.5.6 การแพ้แลคเกอร์.....	30
2.5.7 การรักษาอาการแพ้ด้วยยา.....	31
2.5.8 การรักษาอาการแพ้ด้วยภูมิปัญญาท้องถิ่น.....	32
2.5.9 ยางรักกับงานศิลปะไทย.....	32
2.5.10 ศาสตร์แห่งงานลายรดน้ำ.....	34
2.5.11 น้ำยาหรรดา.....	35
2.6 ทฤษฎีการยึดติด.....	36
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	47
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	47
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	48
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	49
3.3.1 ตอนที่ 1 การศึกษาผลของชนิดซิเลนในการเตรียมสารเคลือบผิวจากน้ำมัน เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดสำหรับพื้นไม้.....	51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1.1 การทดสอบลักษณะและสมบัติของสารเคลือบ.....	52
3.3.1.1.1 การทดสอบเวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบ.....	52
3.3.1.1.2 การวัดความหนืดด้วยถ้วยอีวาทะเบอร์สอง.....	53
3.3.1.1.3 การวัดความหนาของสารเคลือบ.....	53
3.3.1.1.4 การทดสอบการทนน้ำร้อน.....	54
3.3.1.1.5 การทดสอบการยึดติดของสารเคลือบ.....	54
3.3.1.1.6 การทดสอบการทนความชื้น.....	55
3.3.1.1.7 การทดสอบความมันเงา.....	55
3.3.2 ตอนที่ 2 การศึกษาเชิงเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของสารเคลือบผิวจาก น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและยางรัก ด้วยวิธีการทำลายรดน้ำ.....	56
3.3.2.1 การศึกษาปริมาณของไซเลนที่มีผลต่อระยะเวลา ในการปิดทอง.....	56
3.3.2.2 การศึกษาผลของการปิดทองด้วยสารเคลือบผิว จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปร ระบบไฮบริดบนพื้นไม้ที่มีการเตรียมพื้นผิว.....	58
3.3.2.3 การศึกษาการเติมคาร์บอนแบล็คเพื่อปรับปรุงสี ของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วง หิมพานต์ดัดแปรระบบไฮบริดสำหรับพื้นไม้.....	59
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	60
4.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันและปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยา ดีคาร์บอกซิเลชัน.....	60
4.2 การศึกษาผลของชนิดไซเลนในการเตรียมสารเคลือบผิวจากน้ำมัน เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดสำหรับพื้นไม้.....	64
4.3 การศึกษาเชิงเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของสารเคลือบผิวจากน้ำมัน เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและยางรักด้วย วิธีการทำลายรดน้ำ.....	65
4.3.1 การศึกษาปริมาณของไซเลนที่มีผลต่อระยะเวลาในการปิดทอง.....	65

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1.1 การวัดความมั่นคง.....	65
4.3.1.2 ลักษณะของทองที่หลุดที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน.....	66
4.3.1.3 การยึดติด.....	68
4.3.1.4 การทดสอบการทนน้ำร้อน.....	69
4.3.1.5 การทดสอบการทนความชื้น.....	70
4.3.2 การศึกษาผลของการปิดทองด้วยสารเคลือบผิวจากน้ำมัน เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดบนสารเคลือบ พื้นไม้ที่แตกต่างกัน.....	70
4.3.2.1 เวลาในการแห้งตัว.....	71
4.3.2.2 การวัดความหนา.....	76
4.3.2.3 ความมั่นคง.....	77
4.3.2.4 การยึดติด.....	78
4.3.3 การศึกษาการเติมคาร์บอนแบล็คเพื่อปรับปรุงสีของสารเคลือบผิว จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด สำหรับพื้นไม้.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	81
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	81
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
เอกสารอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก.....	88
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ.....	93

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สัดส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วง หิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดโดยใช้สารประกอบไฮเลนที่ต่างชนิดกัน.....	52
3.2 การจัดลำดับความบกพร่องของสารเคลือบจากการกริดเป็นตาราง.....	55
3.3 สัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วง หิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดโดยปรับปริมาณเมทอกซีไฮเลนและระยะเวลาในการ ปิดทอง.....	57
3.4 เกณฑ์การระบุผลการยึดเกาะหลังการทดสอบ.....	57
4.1 ผลการตรวจสอบค่าพีเอช ของน้ำมัน CNSL และ DCNSL ในงานวิจัย.....	61
4.2 สรุบทุณหภูมิฟังก์ชันจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ของ CNSL และ DCNSL.....	63
4.3 ผลของชนิดไฮเลนที่มีผลต่อเวลาในการแห้งตัวและการยึดเกาะของสารเคลือบ.....	64
4.4 ผลจากปริมาณของไฮเลนที่มีต่อค่าความมันเงาที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน.....	66
4.5 ผลจากปริมาณไฮเลนที่มีต่อลักษณะของทองที่หลุดที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน.....	67
4.6 ผลจากปริมาณของไฮเลนที่มีต่อค่าการยึดติดที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน.....	68
4.7 ผลจากปริมาณของไฮเลนที่มีต่อลักษณะทองหลังการทดสอบการทนน้ำร้อน.....	69
4.8 ผลจากปริมาณของไฮเลนที่มีต่อลักษณะทองหลังการทดสอบการทนความชื้น.....	70
4.9 ผลของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและ การเตรียมพื้นที่มีผลต่อเวลาในการแห้งตัว.....	71
4.10 ตารางความหนาของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปร ระบบไฮบริด.....	76
4.11 ผลของการปิดทองด้วยสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปร ระบบไฮบริดที่มีผลต่อค่าความมันเงา.....	77
4.12 ผลของการปิดทองด้วยสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปร ระบบไฮบริดที่มีผลต่อค่าการยึดติด.....	78

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีหลักของยางรักและการกระจายตัวในแถบต่างๆ ของเอเชียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้.....	2
1.2 ลายรดน้ำรอบหน้าต่างพระอุโบสถ วัดโพชนัดพลเสพย์ จ.สมุทรปราการ.....	3
1.3 แสดงลักษณะและโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันที่พบในเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....	4
1.4 โครงสร้างเคมีของอนุพันธ์ฟีนอลที่พบในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew Nut Shell Liquid, CNSL) ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการดัดแปรด้วยกระบวนการความร้อน.....	5
2.1 โครงสร้างโมเลกุลทั่วไปของไตรกลีเซอไรด์.....	8
2.2 โครงสร้างของกรดลิโนเลอิก.....	9
2.3 โครงสร้างของกรดปาล์มมิติก.....	9
2.4 ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันของอัลคิลเรซิน.....	10
2.5 กลไกปฏิกริยาเชื่อมโยงของฟีนอลิกเรซิน.....	14
2.6 ก) ผลมะม่วงหิมพานต์และ ข) เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....	14
2.7 สูตรโครงสร้างและสัดส่วนโดยประมาณของสารที่เป็นองค์ประกอบของ CNSL.....	16
2.8 กลไกการเกิดปฏิกริยาดีคาร์บอกซิเลชัน.....	19
2.9 ปฏิกริยาที่เป็นไปได้ของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....	20
2.10 วงอีพอกไซด์.....	22
2.11 โครงสร้างของอีพอกซีเรซินที่ได้จากอีพิกลอโรไฮดรินและบิสฟีนอลเอ.....	22
2.12 โครงสร้างพื้นฐานของไซเลน.....	23
2.13 กลไกการเกิดปฏิกริยาของไซเลน.....	24
2.14 แสดงสีของอูรูซียอล แลคคอลล ทิตซียอล.....	26
2.15 แสดงองค์ประกอบและโครงสร้างของยางรัก.....	27
2.16 แสดงโครงสร้างของเอนไซม์แลคเคส.....	28
2.17 แสดงกลไกการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันของคอปเปอร์ไอออนในเอนไซม์แลคเคส.....	28
2.18 กลไกการแพ้ของอูรูซียอล.....	30
2.19 การเหนี่ยวนำให้ว่องไวต่อการแพ้ของอูรูซียอล.....	31
2.20 แสดงรูปร่างของหินหรรดาล.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.21 แสดงโครงสร้างของหินทราย.....	35
2.22 กัมมะราบิค (กาวกระถินเทศ).....	35
2.23 ผักส้มป่อย.....	36
2.24 ก) การยึดติดบนพื้นผิวขรุขระของวัตถุ 2 ชนิด ที่มีการยึดติดเพียงบางส่วน ข) มุมสัมผัส (Contact angle) และแรงตึงผิว (Surface tension) ของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง.....	37
2.25 กลไกการยึดติดรูปแบบต่างๆ ก) การแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion) ข) แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction) ค) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุลบและประจุบวก ง) พันธะเคมี (Chemical bonding) จ) การยึดติดเชิงกล (Mechanical Adhesion หรือ Mechanical Interlocking).....	38
2.26 กลไกของปฏิกิริยาระหว่างอูรูซียอลและหมู่อะมิโนของอ็อกแซนิกโซเลน.....	39
2.27 การสังเคราะห์ไฮโดรอูรูซียอล.....	40
2.28 การสังเคราะห์ Hydronenhol.....	40
2.29 การสังเคราะห์ Monoenyl urushiol.....	41
2.30 การสังเคราะห์ส่วนอะโรมาติกของอูรูซียอล.....	42
2.31 การสังเคราะห์อูรูซียอลด้วยปฏิกิริยา Wittig.....	43
2.32 กระบวนการสังเคราะห์ในขั้นตอนเดียว (One-pot synthesis) ของการแทนที่แคทีคอล.....	43
2.33 การสังเคราะห์ C ₁₅ ; 4-alkenylcatechols.....	44
3.1 การตั้งชุดอุปกรณ์การปรับปรุงโครงสร้าง CNSL.....	49
3.2 ตัวอย่างชิ้นงานไม้อัดที่ขัดด้วยกระดาษทราย.....	50
3.3 ตัวอย่างชิ้นงานไม้อัดที่ทำการโป้ว.....	51
3.4 ถ้วยอิวาตะเบอร์สอง.....	53
3.5 ก) เครื่อง Coating thickness gauge ข) ตัวอย่างแผ่นเหล็กที่ใช้ในการตรวจสอบความหนาของฟิล์มสารเคลือบ.....	53
3.6 เครื่อง Specular gloss meter.....	56
4.1 การเปรียบเทียบสเปกตรัม FT-IR ของ CNSL และ DCNSL.....	62
4.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน.....	63
4.3 ลำดับการหลุดร่อนของทองบนสารเคลือบ.....	67
4.4 ความบกพร่องของสารเคลือบจากการกรีดเป็นตาราง.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงวนไวสำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ก) สเปกตรัมของ DCNSL ข) สเปกตรัมของอีพอกซี ค) สเปกตรัมของไซเลน ง) สเปกตรัมของอีพอกซีผสมไซเลน จ) สเปกตรัมของ DCNSL ผสมไซเลน และ ฉ) สเปกตรัมของ DCNSL ผสมไซเลน ผสมอีพอกซี.....	74
4.6 สมมติฐานกลไกที่คาดว่าจะเกิดปฏิกิริยาของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด.....	75
4.7 แสดงสีของสารเคลือบ ก) สูตร 10: 5: 20 ข) สูตร 10: 5: 20 ผสมคาร์บอนแบล็ค และ ค) ยางรัก.....	79



คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/ สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CNSL	น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell liquid)
FT-IR	เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform-infrared spectrometer)
DCNSL	น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylated cashew nut shell liquid)
TF	Tack free dry
HD	Harden dry



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

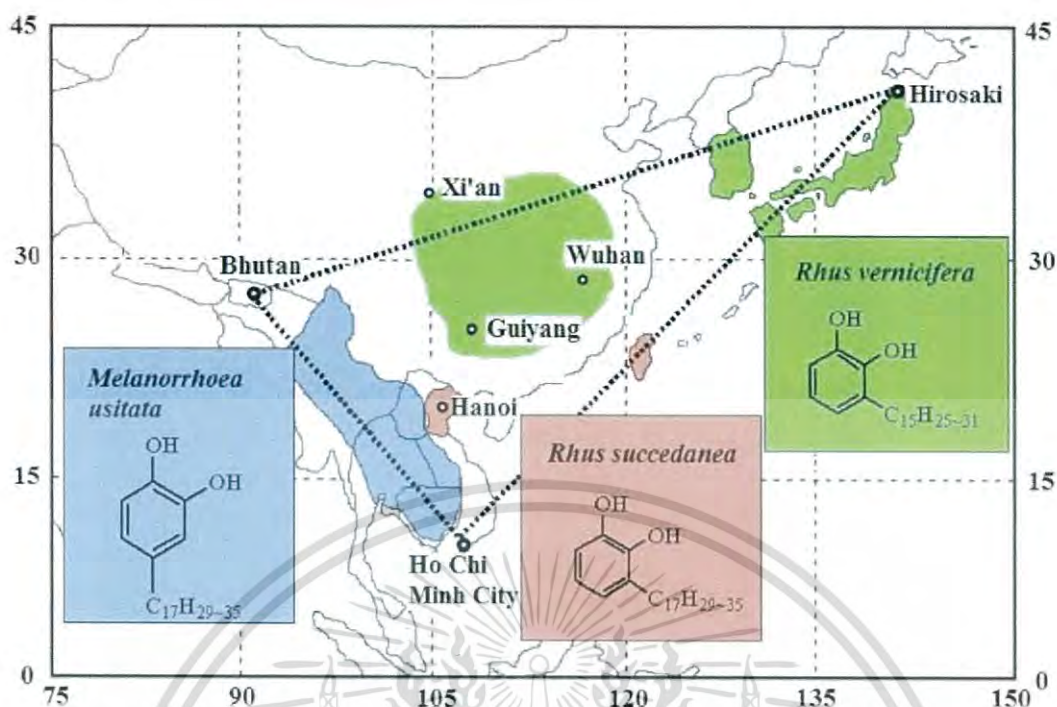
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

สารเคลือบผิวถูกนำมาใช้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมให้กับวัสดุที่ถูกเคลือบผิว ป้องกันรอยขีดข่วน และทำให้ผิวของวัสดุมีความสวยงาม วัสดุดิบที่นำมาใช้ผลิตมอนอเมอร์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์เรซินสำหรับผลิตสารเคลือบผิว ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นที่ทราบกันดีว่าวัสดุดิบดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะหมดไปและมีราคาแพงขึ้น ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทั้งในส่วนของภาคอุตสาหกรรมและแวดวงวิชาการได้ให้ความสำคัญและสนใจการพัฒนาและปรับปรุงสารเคลือบผิวโดยใช้วัสดุดิบที่มาจากธรรมชาติ (Bio-based coatings) มากขึ้น [1] เนื่องจากวัสดุดิบดังกล่าวเป็นทรัพยากรที่ยั่งยืน (Sustainable resources) และมีใช้ไม่หมดสิ้น (Renewable resources) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเป็นเวลามากกว่า 4,000 ปีที่ประชาชนในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นิยมใช้สารเคลือบผิวหรือแลคเกอร์ที่ได้จากธรรมชาติ (Natural lacquer) เพื่อใช้ในการตกแต่ง เคลือบผิวและปกปิดผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องกับงานประณีตศิลป์และงานหัตถศิลป์เพื่อให้ชิ้นงานที่ได้มีความสวยงามและคงทนต่อสภาวะแวดล้อม จากการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งต่างๆ พบว่าแลคเกอร์ที่ได้จากธรรมชาติดังกล่าวมีชื่อเรียกได้หลายชื่อ ได้แก่ ยางรัก (Lacquer sap) หรือโอเรียนทัลแลคเกอร์ (Oriental lacquer) มีสีและสมบัติในการแห้งตัวแตกต่างกันไปตามโครงสร้างทางเคมีและแหล่งที่มา โดยสามารถจำแนกชนิดยางรักตามชื่อทางพฤกษศาสตร์ แหล่งที่มาและโครงสร้างทางเคมีตามรายละเอียดที่สรุปไว้ด้านล่างนี้ [2-3]

- 1) รักจีนหรือรักญี่ปุ่น ชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Rhus vernicifera* Wall. มีแหล่งกำเนิดในประเทศจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ที่พบ คือ อูรูชิโอล (Urushiol)
- 2) รักแกนมอ ชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Rhus succedanea* Linn. มีแหล่งกำเนิดในประเทศเวียดนามและไต้หวัน องค์ประกอบหลักทางเคมี คือ แลคคอล (Laccol)
- 3) รักใหญ่หรือรักหลวง ชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Melonorrhoea usitata* มีแหล่งกำเนิดในประเทศเมียนมาร์ กัมพูชา ลาว และไทย โครงสร้างสารเคมีหลักที่พบ คือ ทิตชิโอล (Thitsiol) [4]



รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีหลักของยางรักและการกระจายตัวในแถบต่างๆของเอเชียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [2]

ยางรัก หรือ รักไทย เป็นแลคเกอร์ธรรมชาติในกลุ่มของรักใหญ่ ได้จากน้ำยางของต้นรัก ชื่อทางพฤกษศาสตร์ คือ *Melanorrhoea usitata* มีสมบัติเป็นกาวเหนียว ทนความร้อน เมื่อทาจะทำให้ผิววัสดุดูเหมือนใหม่อยู่เสมอ รวมถึงมีสมบัติป้องกันแมลงกัดกินได้อีกด้วย กลไกการแห้งตัวของสารเคลือบผิวดังกล่าวเริ่มจากการพอลิเมอร์ไรซ์ (Polymerized) มอนอเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบหลักให้กลายเป็นฟิล์มเคลือบบนผิวชิ้นงาน โดยมีเอนไซม์แลคเคส (Enzyme laccase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [2] คนไทยรู้จักนำยางรักมาใช้ประโยชน์อย่างยาวนาน คาดว่าเริ่มมีการใช้ตั้งแต่ในปลายสมัยอยุธยา โดยนำมาทำเป็นสารเคลือบภาชนะต่างๆ เพื่อความสวยงามและคงทนในงานศิลปกรรม งานประติมากรรม งานประณีตศิลป์และงานหัตถกรรม โดยใช้ทาไม้เพื่อให้มีความคงทนและสวยงาม รวมทั้งการใช้ยางรักเช็ดก่อนปิดทองคำเปลว (เพื่อให้เกิดความกระชับในการรายงานและอภิปรายผล ในครั้งต่อไปจะขอใช้คำว่าทองแทนคำว่าทองคำเปลวตลอดงานวิจัยนี้) หรือที่เราคุ้นเคยกับคำว่า การลงรักปิดทอง (Fixing gold foils) เช่น การปิดทองพระพุทธรูป การปิดทองรดน้ำลายจิตรกรรมฝาผนังตามวัดต่างๆ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

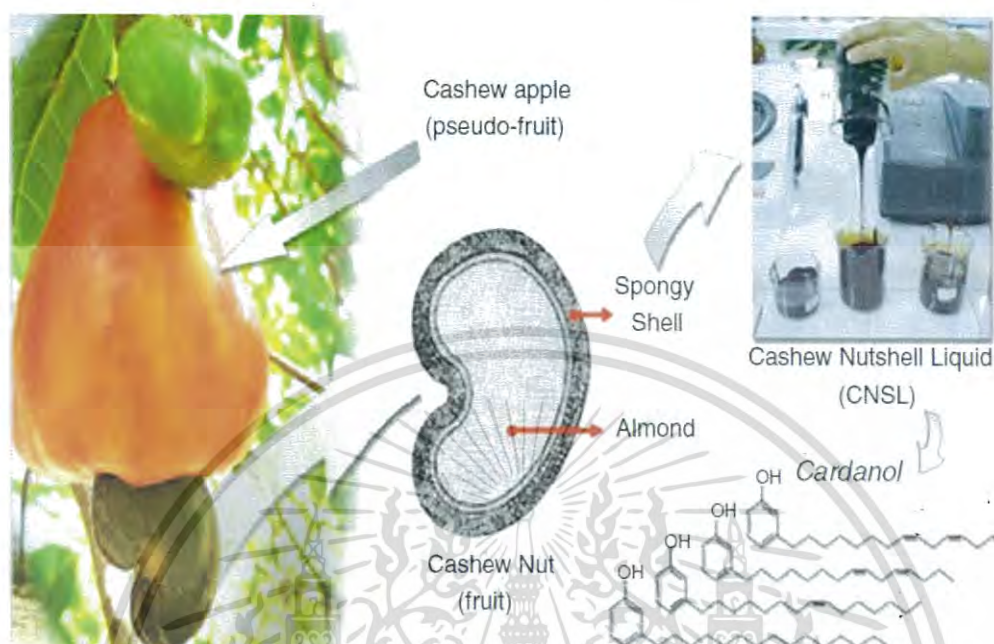


รูปที่ 1.2 ลายรดน้ำรอบหน้าต่างพระอุโบสถ วัดโพชนัดพลเสพย์ จ.สมุทรปราการ [5]

ปัจจุบันยางรักที่ใช้ทาถูกจำหน่ายและบรรจุใส่กระป๋องโลหะ มีราคาสูง และพบว่ามีส่วนผสมของวัสดุอื่นๆ ทำให้ไม่ใช่ยางรักแท้ 100% เนื่องจากผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีการต่างๆ จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบและกำหนดคุณภาพที่แน่นอนได้ นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังทำให้มีการปนเปื้อนของสารอื่นในยางรักก่อให้เกิดกลิ่นที่เหม็น โดยยางรักแท้ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงใดๆ จะไม่มีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ยังพบว่าสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบหลักในยางรักยังสามารถทำให้เกิดอาการแพ้ (Allergy) กับผู้ใช้บางรายได้อีกด้วย ในสมัยโบราณจะเก็บยางรักในเครื่องปั้นดินเผาหรือถังไม้เพื่อให้เครื่องปั้นดินเผาคูดซึมน้ำออกจากยางรัก จากการศึกษาพบว่ายางรักที่สัมผัสกับอากาศและบรรจุลงในกระป๋องโลหะมักจะมีสีดำทำให้มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติต่างๆ โดยเฉพาะเรื่องของเฉดสี นอกจากนี้ยังพบว่ายางรักไทยมีการแห้งตัวที่ช้าเนื่องจากข้อจำกัดด้านโครงสร้างและส่วนประกอบทางเคมี รวมถึงต้องใช้ตัวทำละลายที่มีกลิ่นฉุน พบว่ายางรักจะแห้งได้อย่างรวดเร็วในสภาพการใช้งานที่มีความชื้นสูง ดังนั้นเวลาการใช้งานจึงมักนำชิ้นงานที่ทายางรักเข้าตู้อบรักที่มีน้ำหล่อเลี้ยงหรือในสมัยโบราณจะทารักในขุม (หลุม) [6] ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้สารที่มีโครงสร้างทางเคมีและมีสมบัติที่คล้ายกับยางรัก จากการศึกษาพบว่าน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew Nut Shell Liquid, CNSL) เป็นหนึ่งในแลคเกอร์จากธรรมชาติที่มีสมบัติและโครงสร้างเคมีคล้ายคลึงกับยางรัก โดยน้ำมันดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นน้ำมันที่ไม่สามารถนำไปใช้รับประทานได้ (Non-edible)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

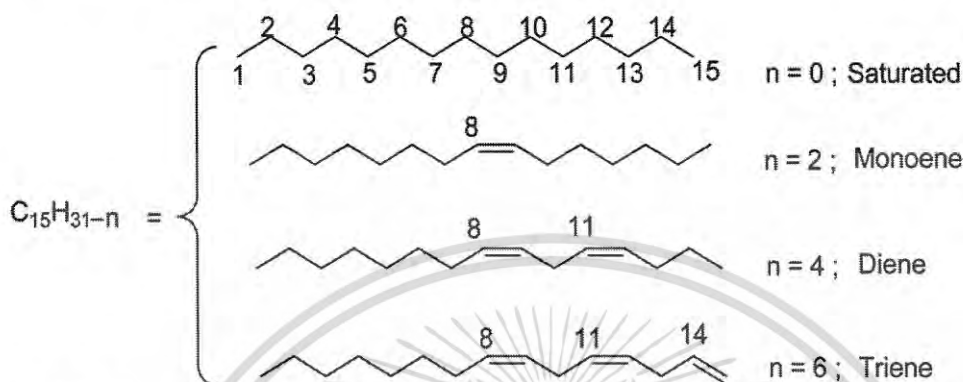
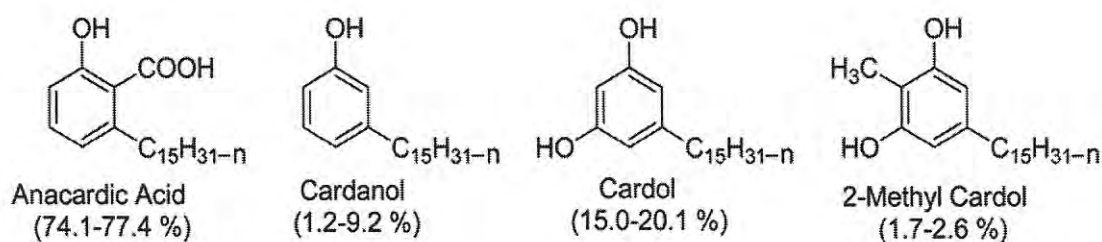
มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลเข้ม โดยพบว่าโครงสร้างทางเคมีในน้ำมันดังกล่าวเป็นอนุพันธ์ของฟีนอลคล้ายคลึงกับยางรัก ดังแสดงรายละเอียดไว้ในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะและโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันที่พบในเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ [7]

จากการศึกษาวิจัยต่างๆ พบว่า น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew Nut Shell Liquid, CNSL) ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการตัดแปรด้วยความร้อนจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอลอยู่ 4 ชนิด ได้แก่ กรดอนาคาร์ดิก (Anacardic acid) คาร์ดานอล (Cardanol) คาร์ดอล (Cardol) และ 2-เมทิลคาร์ดอล (2-Methyl cardol) ดังแสดงรายละเอียดโครงสร้างเคมีไว้ในรูปที่ 1.4 พบว่าหมู่ฟีนอลและสายโซ่ข้างเคียงที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัวสามารถตัดแปรหรือปรับปรุงด้วยปฏิกิริยาเคมีเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ได้แก่ ใช้ผสมสีทาป้องกันเชื้อรา ผสมสีที่ใช้ในการพิมพ์ธนบัตร ผ้าเบรค ทากระเบื้องปูพื้น ทำกาวชนิดพิเศษ รวมถึงใช้เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิต ยาง สารเคลือบผิว และเป็นสารมัธยันต์ (Intermediate) ของกระบวนการผลิตเคมีภัณฑ์อื่นๆ เป็นต้น [7-8] ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดแทนยางรักสำหรับงานลงรักปิดทองที่ใช้สำหรับงานศิลป์ โดยใช้สารเคลือบชนิดตัดแปรแบบไฮบริดจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่ใกล้เคียงกับยางรัก รวมถึงศึกษาผลของปริมาณโซเลนที่ใช้ที่มีต่อระยะเวลาในการปิดทองและสมบัติการยึดเกาะของสารเคลือบบนวัสดุที่ใช้สำหรับงานลงรักปิดทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 โครงสร้างเคมีของอนุพันธ์ฟีนอลที่พบในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew Nut Shell Liquid, CNSL) ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการตัดแปรด้วยกระบวนการความร้อน [8]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาวัสดุเทียบเคียงยางรักจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดตัดแปรระบบไฮบริด เป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบเพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาใช้ทดแทนยางรักสำหรับใช้ในงานศิลป์ โดยตัดแปรโครงสร้างให้เป็นแบบไฮบริด เน้นศึกษาปัจจัยบางประการ ได้แก่ การศึกษาชนิดและปริมาณของ ไซเลนที่มีผลต่อการแห้งตัว ศึกษาปริมาณของไซเลนที่มีผลต่อความแข็งแรงและสมบัติการยึดติด การทนความชื้น รวมทั้งความสามารถในการปิดทองเพื่อให้ได้สูตรผสมที่ใช้งานได้จริง ไม่มีกลิ่นรุนแรง และก่อให้เกิดอาการแพ้เนื้อน้อยกว่ายางรัก

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ทำการเตรียมน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดตัดแปรระบบไฮบริด (DCNSL)
- 1.3.2 เตรียมสารเคลือบเทียบเคียงยางรักด้วย DCNSL ผสมกับไซเลนและอีพอกซี
- 1.3.3 ทดลองเคลือบวัสดุ (แผ่นพลาสติกอะคริลิก) และทำการปิดทอง
- 1.3.4 ทดลองเคลือบวัสดุ (ไม้อัด) และการปิดทอง
- 1.3.5 ทดลองปรับสูตร เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่

- ชนิดของไซเลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณของไซเลน

- อัตราส่วน DCNSL: ไซเลน: อีพอกซี = 10: 5: 20 10: 2: 20 10: 1: 20 10: 0.5: 20 10:

0.3: 20

1.3.6 ศึกษาสมบัติต่างๆ ของสารเคลือบ ได้แก่ สมบัติการแห้งตัว สมบัติการยึดติด ระหว่างสารเคลือบกับทองและระหว่างสารเคลือบกับวัสดุที่ใช้ให้ใกล้เคียงกับการลงรักปิดทอง ความหนืด ความหนา ความมันเงาที่ผิว ความมันเงาของทอง ความทนทานต่อน้ำร้อน การทนความชื้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถพัฒนาสารเคลือบจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดให้มีสมบัติใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับยางรักได้

1.4.2 สารเคลือบที่ถูกพัฒนาขึ้นมีราคาและต้นทุนที่ถูกกว่าเมื่อเทียบกับยางรัก

1.4.3 สารเคลือบที่พัฒนาขึ้นมีสมบัติเด่นกว่ายางรัก เช่น มีกลิ่นน้อยกว่า ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้อย่างรุนแรงหรือแพ้บ่อยกว่าในคนที่ใช้ในงานศิลป์เมื่อเทียบกับสูตรสารเคลือบจากยางรักแท้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารเคลือบผิว

สารเคลือบผิว คือ ของผสมที่เตรียมจากองค์ประกอบหลายชนิด โดยจำแนกส่วนประกอบที่สำคัญออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ เรซิน หรือ สารยึด (Resin or binder) ผงสี ตัวทำละลายและสารเติมแต่ง ในทางอุตสาหกรรมพบว่ามีการใช้งานหลายรูปแบบ ได้แก่ เพส ผงสี ของเหลวชนิดทั้งแบบที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย (Water base) และตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent base) วัตถุประสงค์ของการใช้งานเพื่อทำให้เกิดฟิล์มเคลือบบนพื้นผิวชิ้นงาน ทำให้พื้นผิวดังกล่าวที่มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมและการใช้งานต่างๆ รวมถึงยังสามารถตกแต่งพื้นผิวให้มีความสวยงามและสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับชิ้นงานได้อีกด้วย [8]

2.1.1 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว

ในการเคลือบผิวชิ้นงานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นส่วนเกี่ยวกับภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า บรรจุภัณฑ์ รวมถึงการก่อสร้าง งานศิลปกรรม งานประติมากรรม งานประณีตศิลป์ และงานหัตถกรรม แต่ละส่วนมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการใช้งาน ฟังก์ชันและสมบัติต่างๆที่ต้องการ เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนในส่วนของวัตถุประสงค์การเคลือบผิวสามารถสรุปออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

- เพื่อป้องกันพื้นผิววัสดุจากมลภาวะและสภาวะที่เกิดจากการการใช้งานซึ่งบางสภาวะสามารถก่อให้เกิดความเสียหายและเสื่อมสภาพ เพื่อยืดระยะเวลาการใช้งานของวัสดุ เช่น สารเคลือบไม้จะช่วยป้องกันพื้นผิวไม้จากเชื้อราและความชื้น สารเคลือบโลหะช่วยป้องกันโลหะจากการกัดกร่อนไม่ให้มีสนิมเกาะ อีกทั้งสารเคลือบยังช่วยเพิ่มความแข็งแรง ทนต่อการขีดข่วนขีดข่วน ทนความร้อนให้กับวัสดุได้อีกด้วย [8]

- เพื่อเพิ่มมูลค่าและความสวยงามให้กับวัสดุ โดยสารเคลือบผิวช่วยเพิ่มสีสันให้กับวัสดุเพิ่มความมันเงา ลวดลายต่างๆ และความสว่าง ทำให้วัสดุมีความสวยงามน่าใช้และมีราคาที่สูงขึ้น [8]

- เพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษ โดยจะเพิ่มสมบัติตามวัตถุประสงค์ที่เราต้องการใช้งานกับวัสดุ เช่น การนำไฟฟ้าที่พื้นผิว การทำให้พื้นผิววัสดุมีความนิ่มคล้ายหนังเมื่อสัมผัส (Soft touch) สมบัติการหน่วงไฟ และอื่นๆ [8]

2.1.2 ประเภทของสารเคลือบผิว

การจำแนกสารเคลือบที่ใช้งานในปัจจุบันทั้งในแวดวงอุตสาหกรรมและวิชาการมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยวิธีการที่นิยมใช้สามารถสรุปได้ตามรายละเอียดดังนี้

2.1.2.1 แบ่งตามแหล่งที่มาของสารเคลือบ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท

สารเคลือบจากธรรมชาติ คือสารเคลือบที่อาจจะเป็นเรซินหรือยางไม้จากธรรมชาติที่ได้จากพืชหรือสัตว์ เช่น จากน้ำเลี้ยงของต้นไม้หรือจากของเหลวที่แมลงผลิตได้ ตัวอย่างเช่น [10]

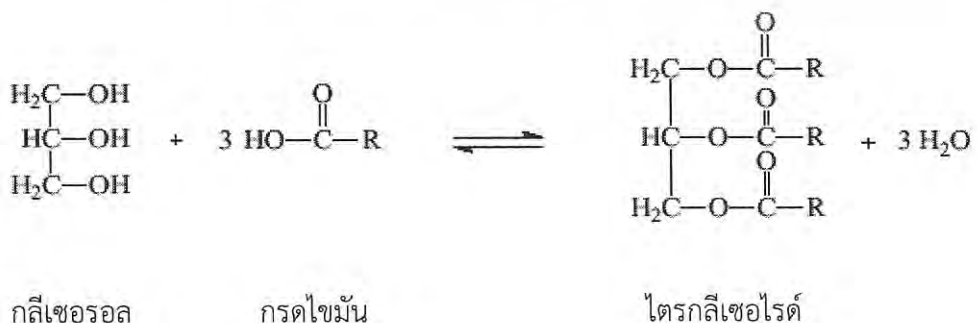
ชันสน (Rosin หรือ Colophony) ได้จากไม้ประเภทสน ส่วนประกอบหลักคือกรดโรซิน 90% ส่วนที่เหลือคือสารประกอบที่เป็นกลาง สารประกอบเทอร์พีนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แอนไฮไดรด์ และเอสเทอร์ ชันสนมีกลิ่นฉุน มีความเหนียวหนืด ละลายได้ในน้ำมันแอลกอฮอล์ และน้ำมันที่มีส่วนประกอบของเบนซีน อีกทั้งสามารถสกัดเป็นน้ำมันสน (Pine oil) ได้โดยน้ำมันสนนิยมนำมาใช้เป็นตัวทำละลายในการผสมสีน้ำมัน [10]

เซลแลค (Shellac) เป็นเรซินที่ได้จากแมลงที่มีชื่อเรียกว่า ครั่ง มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีแดงม่วง เป็นของแข็งไม่มีพิษ กันน้ำได้ นิยมนำมาทาแผ่นเสียง ทำเครื่องประดับตรา [10]

น้ำมันแห้งเร็ว (Drying oil) คือ น้ำมันที่สามารถแห้งตัวได้เองเมื่อสัมผัสกับอากาศเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและเกิดการเชื่อมโยงที่พันธะคู่ของน้ำมันจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนกลายเป็นฟิล์มเคลือบที่ผิวชิ้นงาน เช่น น้ำมันลินสีด (Linseed oil) น้ำมันทัง (Tung oil) น้ำมันวอลนัท (Walnut oil) และอื่นๆ [8]

ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำมันแห้งเร็ว

น้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ ที่ประกอบด้วยกรดไขมันสามโมเลกุลรวมตัวกับกลีเซอรอลหนึ่งโมเลกุล ชนิดของกรดไขมันและปริมาณพันธะคู่ในโครงสร้างเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดอัตราเร็วและระยะเวลาในการแห้งตัวของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้น้ำมันดังกล่าวเป็นส่วนประกอบของสารเคลือบผิว



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลทั่วไปของไตรกลีเซอไรด์ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) คือกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่บนสายโซ่อย่างน้อย 1 พันธะ โดยแต่ละชนิดจะมีตำแหน่งและปริมาณของพันธะคู่ที่แตกต่างกัน ยิ่งกรดไขมันมีพันธะคู่อยู่บนสายโซ่ในปริมาณมากและมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่สูงเป็นองค์ประกอบในน้ำมัน ปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลทำให้น้ำมันหรือสารเคลือบที่ใช้น้ำมันดังกล่าวเป็นส่วนประกอบมีอัตราการแห้งตัวที่สูง โดยกรดไขมันที่สำคัญได้แก่ กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก เป็นต้น ตัวอย่างโครงสร้างเคมีของกรดไขมันไม่อิ่มตัวแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดลิโนเลอิก [11]

2. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) คือกรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง ปริมาณกรดไขมันชนิดนี้หากมีมากในน้ำมันจะส่งผลทำให้สารเคลือบที่ใช้น้ำมันดังกล่าวเป็นส่วนประกอบ มีสมบัติไม่สามารถแห้งตัวได้เองเมื่อทิ้งให้สัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่าง กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก เป็นต้น [8] (รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัว)

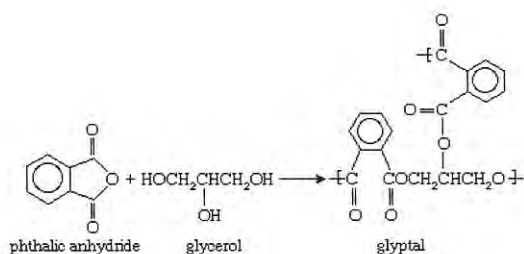


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของกรดปาล์มมิติก [12]

สารเคลือบสังเคราะห์ คือสารเคลือบที่ถูกสังเคราะห์โดยมนุษย์ด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมเพราะผลิตได้ในปริมาณมาก และควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบสารเคลือบที่มาจากธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น

อัลคิเดเรซิน (Alkyd resin) เป็นเรซินอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว เนื่องจากมีราคาถูก รักษาความมันเงาได้ดี ทนต่อตัวทำละลาย อัลคิเดเรซินจัดอยู่ในประเภทพอลิเอสเตอร์เรซิน ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างของพอลิไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) กับพอลิเบสิกแอซิด (Polybasic acid) โดยในทางอุตสาหกรรมนิยมนำไปดัดแปรกับน้ำมันหรือกรดไขมัน ก่อนนำไปใช้งานเพื่อให้สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ ไป รวมถึงลดความเปราะของฟิล์มที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอัลคิเดเรซิน [13]

ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resin) เป็นเรซินที่มีสมบัติความเป็นฉนวนดีเยี่ยม ทนความร้อน ทนความชื้น และทนทานการกัดกร่อนจากสารเคมีต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านปฏิกิริยาครอสแอลดอลคอนเดนเซชัน (Crossed aldol condensation) ได้เป็นเมทิลลอลฟีนอล (Methylol phenol) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

1. โนวแลกเรซิน (Novolac resin) เกิดขึ้นเมื่อใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณที่น้อย ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีหมู่เมทิลลอลเหลืออยู่เลย จึงมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และสามารถหลอมเหลวได้เมื่อให้ความร้อน

2. รีโซลเรซิน (Resole resin) ต่างจากโนวแลกเรซินที่มีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์มากเกินไปจนทำให้หมู่เมทิลลอลเหลืออยู่ ทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ เชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างร่างแห ไม่หลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน และมีความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์

อะคริลิกเรซิน (acrylic resin) พิล์มที่เตรียมจากเรซินประเภทนี้จะมีความทนต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต ทนแรงกระแทก ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี ความมันเงาสูง เข้ากับผงสีต่างๆ ได้ดี จึงนิยมใช้ในงานเคลือบผิว พอลิเมอร์ของอะคริลิกเรซินเตรียมได้จากการดอะคริลิก (Acrylic acid) หรืออนุพันธ์และเอสเทอร์ของกรดเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น กรดเมทาคริเลต (Methacrylic acid) เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate) เอทิลเมทาคริเลต (Ethyl methacrylate) และอื่นๆ สารเคลือบที่ได้จากพอลิเมอร์ชนิดนี้ทั้งที่เป็นเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต ในทางอุตสาหกรรมสามารถเตรียมได้หลายลักษณะ ทั้งของแข็งที่เป็นเม็ด สารละลายและอิมัลชัน [9]

2.1.2.2 แบ่งตามโครงสร้างของพอลิเมอร์ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท

สารเคลือบแบบเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic coating) สารเคลือบชนิดนี้จะแข็งตัวเป็นฟิล์มเมื่อตัวทำละลายที่เป็นส่วนประกอบระเหยออกไปหมด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวลงและมีสภาพเป็นของเหลว มีความยืดหยุ่นและง่ายต่อการเจือจางเป็นสารละลาย

สารเคลือบแบบเทอร์โมเซต (Thermosetting coating) สารเคลือบนี้จะแห้งและเกิดเป็นฟิล์มที่แข็งแรงด้วยความร้อนหรือเกิดปฏิกิริยาเคมี เปลี่ยนจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ มีสมบัติทนตัวทำละลายสูงและไม่กลับมาอยู่ในสภาพของเหลวอีกเมื่อมีการให้ความร้อน [8]

2.1.3 องค์ประกอบของสารเคลือบผิว

สามารถจำแนกองค์ประกอบและหน้าที่สำคัญออกได้เป็น 4 ชนิด

1. สารยึด (Binder) หรือ เรซิน (Resin) มีบทบาทสำคัญทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มยึดแน่นที่พื้นผิวชิ้นงานหรือวัสดุ รวมถึงทำหน้าที่ในการช่วยยึดองค์ประกอบอื่นๆ ในสารเคลือบผิวเข้าด้วยกัน

2. ผงสี (Pigment) ทำให้เกิดสีในสารเคลือบ และช่วยปกปิดพื้นผิว ผงสีแบ่งออกเป็น

- ผงสีอินทรีย์ (Organic pigment) มีทั้งที่มาจากได้จากธรรมชาติหรือกระบวนการสังเคราะห์ มีประสิทธิภาพสูง สีสดใสสวยงาม แวววาว แต่มีราคาสูง อย่างไรก็ตามผงสีชนิดนี้บางชนิดเมื่อโดนแสงแดดเป็นเวลานานเฉดสีจะจางลงและไม่ทนอุณหภูมิสูง ได้แก่ ผงสีที่เป็นสารประกอบกลุ่มเอโซ (Azores) กลุ่มออร์แกโนเมทัลลิก (Organometallic) เป็นต้น

- ผงสีอนินทรีย์ (Inorganic pigment) เป็นผงสีที่มีประสิทธิภาพในเรื่องของเฉดสีและความสดของสีที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับผงสีอินทรีย์ มีความทึบแสง ต้องใช้ในปริมาณมาก ราคาค่อนข้างต่ำแต่ทนอุณหภูมิสูงและแสงแดดได้ดี ติดทนนาน เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะต่างๆ เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) สารประกอบโครมสีเหลือง (Chrome yellow compound) เป็นต้น

3. ตัวทำละลาย (Solvent) ถูกใช้เพื่อเจือจางตัวยึดให้มีความหนืดลดลง ง่ายต่อการใช้งานรวมถึงใช้เพื่อช่วยกระจายสีและส่วนประกอบต่างๆ ให้เข้ากันดี การเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตสารเคลือบผิว โดยตัวทำละลายต้องมีค่าพารามิเตอร์การละลาย (Solubility parameter, δ) ใกล้เคียงกับค่าพารามิเตอร์การละลายพอลิเมอร์ที่เป็นสารยึดจึงจะละลายพอลิเมอร์นั้นได้ สมบัติอื่นๆ ที่สำคัญในการเลือกตัวทำละลาย มีดังนี้ ความสามารถในการละลาย (Solvency) อัตราการระเหย (Evaporation rate) จุดติดไฟที่เกิดขึ้นเอง (Spontaneous ignition temperature) จุดวาบไฟ (Flash point) เสถียรภาพทางเคมี (Chemical stability) สี กลิ่น สมบัติการกัดกร่อนและราคา

4. สารเติมแต่ง (Additives) ถูกใส่เพื่อเพิ่มสมบัติบางอย่างกับเรซิน รวมถึงแก้ไขปัญหบางอย่างที่เกิดจากสูตรและการใช้งานสารเคลือบผิว เช่น

สารลดฟอง (Defoaming agent) ทำหน้าที่ลดและกำจัดฟองที่อยู่บริเวณผิวหน้า

ของของเหลวและในเนื้อของสารยึดหรือเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidant) ช่วยลดหรือยับยั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารเคลือบที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการใช้งานจริงในสภาวะแวดล้อมต่างๆ [8]

สารช่วยการกระจาย (Dispersing agent) ทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคเพื่อให้กระจายเป็นเนื้อเดียวกัน ป้องกันการรวมตัวอีกเป็นกลุ่มก้อนครั้งของผงสีและสารตัวเติม [14]

2.1.4 การแห้งของสารเคลือบผิว

การแห้งของสารเคลือบผิวแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ (Physical drying)

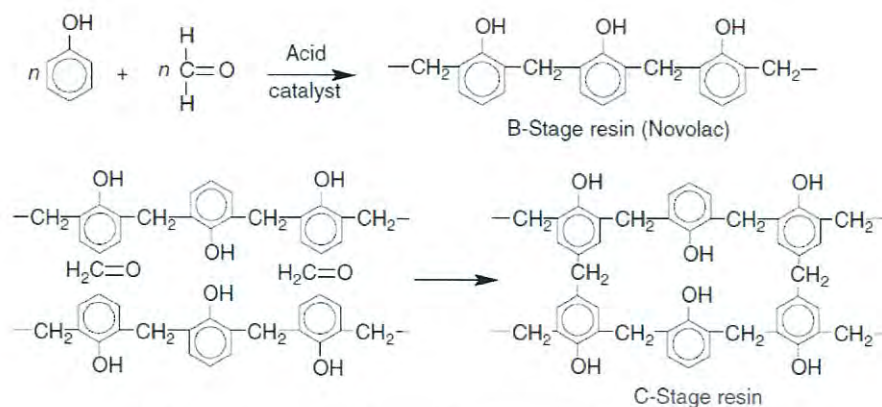
สารเคลือบผิวชนิดนี้แห้งได้ เนื่องจากเกิดการระเหยของตัวทำละลายที่เป็นส่วนประกอบได้เป็นฟิล์มติดกับผิวหน้าชิ้นงาน โดยฟิล์มสารเคลือบที่ได้เป็นแบบเทอร์โมพลาสติกทำให้สามารถละลายได้เมื่อเจอกับตัวทำละลายที่ดี (Good solvent) ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยกรรมวิธีนี้ได้แก่ ไนโตร-เซลลูโลส สีที่ทำจากยางคลอรีเนต (Chlorinated rubber) และอะคริลิกเทอร์โมพลาสติกเรซิน เป็นต้น

2. แห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (Chemical drying)

วิธีการนี้จะทำให้ได้ฟิล์มที่ยึดติดกับผิวหน้ามีโครงสร้างร่างแหแบบ 3 มิติ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเคมี ฟิล์มที่ได้จึงมีความแข็งแรงและทนทานต่อตัวทำละลาย กลไกการแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมีมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่

2.1 แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การแห้งด้วยวิธีการนี้เกิดจากการใช้ออกซิเจนในอากาศเพื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ของโครงสร้างเรซินกลายเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของสารเคลือบที่ผิวชิ้นงานมีขนาดใหญ่ขึ้นจนรวมตัวกลายเป็นฟิล์มที่แข็งแรง เช่น สีน้ำมันทาบ้านผลิตจากวานิชซึ่งประกอบด้วยน้ำมันชนิดต่างๆ ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว อัลคิเดเรซิน (Alkyd resin) ที่ปรับปรุงด้วยน้ำมัน เป็นต้น ในกรณีที่ต้องการเร่งให้ฟิล์มของสารเคลือบแห้งเร็วขึ้นสามารถใส่สารเร่งแห้ง (Drier) [9] เป็นคะตะลิสต์ (Catalyst) กลไกการแห้งตัวของสารเคลือบเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน มี 3 ขั้นตอนสำคัญดังนี้



รูปที่ 2.5 กลไกการปฏิกิริยาเชื่อมโยงของฟีนอลิกเรซิน [15]

2.2 มะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut)

มะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut) มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Anacardium occidentale* วงศ์ *Anacardiaceae* ต้นมะม่วงหิมพานต์เจริญเติบโตในสภาพอากาศที่ชื้นและอบอุ่น พบในภูมิภาคเขตร้อน ประเทศไทยพบในภาคใต้และมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไป ต้นมะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ไม่ผลัดใบ ลำต้นสูง 10-12 เมตร ใบเป็นผิวน้ำมัน ขอบใบเรียบ ใบยาว 4-22 เซนติเมตร มีดอก ดอกมีสีแดงจัด 5 กลีบ ดอกมีความยาว 7-15 มิลลิเมตร [16] ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ก) ผลมะม่วงหิมพานต์และ ข) เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ [17-18]

ประโยชน์ของมะม่วงหิมพานต์ ได้แก่

- เมล็ดใน นำมาคั่วหรืออบ เพื่อใช้เป็นอาหารทานเล่น หรือใช้ทำอาหารคาว หวานได้
- เปลือกหุ้มเมล็ดและเยื่อหุ้มเมล็ดใน นำมาสกัดจะได้น้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สามารถทำเป็นวารินิชสำหรับใช้ทาไม้และเฟอร์นิเจอร์ที่ทำจากไม้ ใช้ในอุตสาหกรรมสีหรืออุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์อื่นๆ
- ผล สามารถนำมาหมักเป็นไวน์ได้ ใช้ทำอาหารคาวหรือหวาน ใช้เป็นยารักษาโรคฟัน โรค

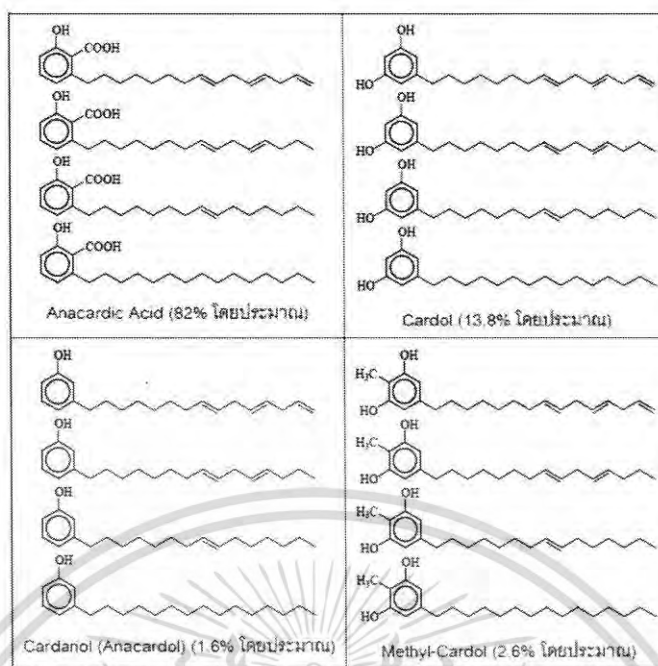
กระเพาะ โรคบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เนื้อไม้ ใช้ทำของใช้และทำเป็นพื้นบ้าน
- เปลือกลำต้นจะมียางสีน้ำตาลใส ใช้ทำกาวหรือทำยาได้
- ใบและยอดอ่อนใช้รับประทานหรือทำปุ๋ยหมัก
- ราก มียาง ซึ่งใช้ประโยชน์ได้เหมือนกับยางในลำต้น [19]
- ผลของมะม่วงหิมพานต์ มี 2 ส่วน คือ ผลเทียม มีลักษณะเนื้อนิ่ม ฉ่ำน้ำ มีรสเปรี้ยว ผลแท้มีลักษณะเป็นรูปไตหรือรูปนวมนั้กมวย เมล็ดถูกห่อหุ้มด้วยเปลือก 2 ชั้น อยู่บริเวณใต้ผลเทียม เนื้อภายในเมล็ดนิยมนำมาทำเป็นอาหารว่าง ส่วนเปลือกนำมาสกัดจะได้ของเหลว เรียกว่า น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew Nut Shell Liquid, CNSL) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย [16]

2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell liquid, CNSL) เป็นของเหลวที่อยู่ระหว่างเปลือกของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell) ต้องทำการสกัดน้ำมันออกจากเปลือกจึงจะได้น้ำมันออกมา มีสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นฉุน หากสัมผัสเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดอาการแพ้ ผื่นแดงอาจเปื่อย หากได้รับไอรระเหยของน้ำมันจากการให้ความร้อนอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองตาและจมูกได้ เนื่องจากกรดอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบ แต่ถ้าน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันแล้วจะทำให้เกิดอาการแพ้ต่อผู้ใช้งานที่น้อยลง ส่วนประกอบหลักของน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) มี 4 ส่วน คือ กรดอโนคาร์ดิก (Anacardic acid) คาร์ดานอล (Cardanol) คาร์ดอล (Cardol) และ 2-เมทิลคาร์ดอล (2-Methyl Cardol) ซึ่งมีโครงสร้างและสัดส่วนโดยประมาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างและสัดส่วนโดยประมาณของสารที่เป็นองค์ประกอบของ CNSL [8]

น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะเล็ดลอดออกมาบางส่วนระหว่างกระบวนการกระเทาะเปลือก แต่ปริมาณที่ได้ไม่มากนัก และยังเหลือน้ำมันอยู่ในเปลือกอีกปริมาณมาก ดังนั้นกระบวนการสกัดที่จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันที่มากขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้มีรายละเอียดดังนี้ [8]

2.2.2 การสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew Nut Shell Liquid, CNSL)

การสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มี 3 วิธีหลัก คือ การสกัดด้วยความร้อน (Thermal extraction) การสกัดทางเชิงกล (Mechanical extraction) และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ถูกแบ่งเป็นน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ธรรมชาติ (Natural CNSL) ที่ยังไม่ปรับปรุง (Cashew nutshell liquid) และน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกระบวนการทางความร้อน ด้วยกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylated cashew nutshell liquid; DCNSL หรือ (Technical CNSL) โดยส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่ใช้ในการแยกและปรับปรุง น้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการปรับปรุงทางความร้อนแล้วจะมีปริมาณคาร์ดานอล (Cardanol) ในปริมาณที่สูงขึ้น ส่วนน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ธรรมชาติ (Natural CNSL) ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยความร้อนจะมีปริมาณกรดอนาคาร์ดิก (Anacardic acid) อยู่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การสกัดด้วยความร้อน (Thermal extraction)

1.1 การสกัดด้วยการอบ (Roasting method)

การสกัดด้วยการอบเป็นวิธีเก่าแก่ในการสกัดเอาน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออก โดยทำการอบเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในถังหรืออ่าง กระบวนการอบไม่เพียงแค่เอาน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีฤทธิ์กักความร้อนออกมา แต่ยังทำให้เปลือกแตกออกด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงเกิดกระบวนการแตกที่เปลือก วิธีนี้ทำให้เกิดการสูญเสียของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จำนวนมาก เพื่อที่จะทำการสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่กักเอาไว้ในผลปloom เมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะถูกนำไปอบในอ่างที่อุณหภูมิ 180-185 องศาเซลเซียส วิธีนี้ได้ของเหลวกลับคืนมา 85-90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากนำมาใส่ในเครื่องแล้วหมุน โดยภายในเครื่องจะมีทรายและเหล็กฟอยให้ความร้อนที่ 100-300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นอบที่ 400-700 องศาเซลเซียสในบรรยากาศที่เฉื่อย เพื่อนำน้ำมันที่เหลืออยู่ออกมา

1.2 การสกัดด้วยการทอดในน้ำมันร้อน (Hot oil bath method)

การสกัดด้วยการทอดในน้ำมันร้อนเป็นวิธีทั่วไปของการสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทางการค้าที่ทำกันในปัจจุบัน เทคนิคจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้เป็นเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบหรือเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ขั้นแรกนำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เก็บรวบรวมไว้ในภาชนะทรงกระบอก โดยมีการให้น้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200-250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 นาที น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะออกมาจากเปลือกหลังจากนั้นทำการบดกากนี้ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้จากวิธีนี้มีประมาณ 7-12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อมนำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบใส่ลงในอ่างที่มีน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ร้อนจากขั้นตอนแรก เมื่อส่วนด้านนอกของเปลือกแตกออก น้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะออกมา วิธีนี้ผลิตน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ประมาณ 6-12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

1.3 การใช้เตาแสงอาทิตย์หรือเตาสุริยะ (Using Solar Cooker)

น้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ถูกสกัดโดยใช้เตาแสงอาทิตย์ที่มีกำลังไฟฟ้า 1.4 กิโลวัตต์และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.4 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางจุดรวมแสงของเตาแสงอาทิตย์คือ 30 เมตร ถูกใช้รวบรวมความร้อนที่สะท้อนจากตัวสะท้อน มีอุณหภูมิ 225-300 องศาเซลเซียส ข้อจำกัดของเตาแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับการสกัดน้ำมันออกมาได้ดังนี้ ต้องใช้ชนิดพาราโบลาโคลิก (Parabolic solar cooker) รูปแบบ S K-14 ตัวสะท้อนเป็นแผ่นอลูมิเนียม (การสะท้อนกลับมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์) เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 เมตร พื้นที่ของตัวสะท้อน 2.2 ตารางเมตร อุณหภูมิ 200-215 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพทางความร้อน 40 เปอร์เซ็นต์ Cooking capacity 13×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดย Damodhar J.G. และคณะ [20] สามารถสกัดน้ำมันเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ โดยปรับสภาวะดังนี้ 550×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรจาก 5 กิโลกรัมของเปลือกใน 5 นาที

2. การสกัดด้วยเครื่องบีบอัดแบบเกลียว (Screw press method)

เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบถูกบีบอัดด้วยเครื่องบีบอัดระบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) โดยที่เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ถูกรวบรวมไว้บนตัวบีบอัดแบบเกลียว หลังจากนั้นใช้ความดันสูง เพื่อทำให้น้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไหลออกมาจากเปลือก วิธีนี้ไม่ยุ่งยากและรวดเร็วกว่าวิธีอื่น การสกัดน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ใช้สกรูบีบอัดที่มีช่องแคบลง ใช้ลูกกลิ้งชนิดพื้นผิวเป็นรูปตัว Z แนวขวาง และกรอบภายนอกทรงกระบอกมีรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วสกรู 7-13 รอบต่อนาทีและใช้อัตรา 54-95 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สกัดออกมาได้อยู่ที่ประมาณ 20.65-21.04 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บริสุทธิ์อยู่ที่ 85.53-87.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและอัตราของการสกัด คือ 11.93-14.90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามหากที่ได้จากวิธีนี้ยังคงมีน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อยู่ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งไปกว่านั้นวิธีนี้เป็นการสกัดที่มีสิ่งปนเปื้อนสูงกว่า ความหนืดสูงกว่า เสถียรภาพทางความร้อนและการเกิดออกซิเดชันต่ำกว่า และอุณหภูมิการเดือดต่ำกว่า น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้มาโดยกระบวนการนี้มีคาร์บอน 42 เปอร์เซ็นต์ กรดอนุคาร์บิก 47 เปอร์เซ็นต์ และคาร์ดานอล 3 เปอร์เซ็นต์

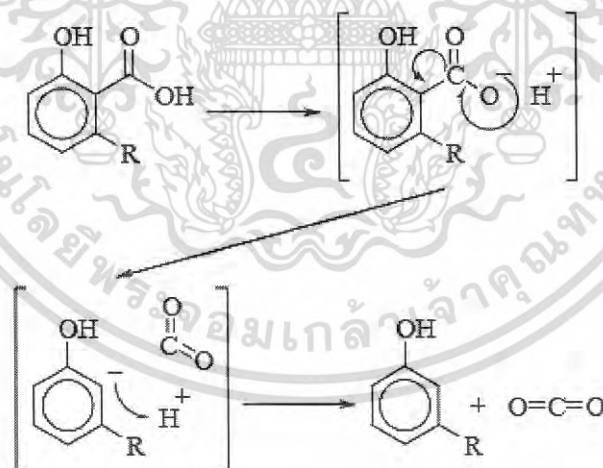
3. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

วิธีนี้ได้ปริมาณน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น น้ำมันที่ยังเหลืออยู่ในกากมีน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การสกัดด้วยตัวทำละลายถูกจัดเป็น 2 กลุ่ม คือ ตัวทำละลายที่หนาแน่นน้อยกว่าน้ำและตัวทำละลายที่หนาแน่นกว่าน้ำ การสกัดด้วยตัวทำละลายที่ใช้กันทั่วไปเป็นกลุ่มแรกประกอบด้วย ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl Ether) เป็นสารที่ใช้ทั่วไปในการสกัดด้วยตัวทำละลาย เอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate) และไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons) เช่น ปิโตรเลียมเบา (Light petroleum) เฮกเซน (Hexane) หรือโทลูอิน (Toluene) กลุ่มที่สองประกอบด้วยสารทำละลายที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Chlorinated Solvents) เช่น ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) และคลอโรฟอร์ม (Chloroform) นิยมใช้ไดคลอโรมีเทนมากกว่า เพราะว่าไดคลอโรมีเทนมีความเป็นพิษต่ำกว่า อย่างไรก็ตามสารทำละลายที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบมีแนวโน้มที่จะอยู่ในรูปอิมัลชัน (Emulsions) ได้ดีกว่าสารทำละลายที่ไม่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Non Chlorinated Solvents) อิมัลชัน คือ การลอยตัวของหยดขนาดเล็กของของเหลวชนิดหนึ่งที่ผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกันในสารอื่น สมบัติ เช่น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric

Constant) จุดเดือดความสามารถในการติดไฟและความเป็นพิษของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สกัดออกมามีความหลากหลายขึ้นอยู่กับประเภทของตัวทำละลายที่ใช้สำหรับการสกัด [20]

2.2.3 ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

CNSL ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยการนำไปต้ม ทำให้องค์ประกอบหลักใน CNSL คือ กรดอนุคาร์ดิกเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน โดยหมู่คาร์บอกซิลิกบนกรดอนุคาร์ดิกสลายตัวเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยาจะเกิดเมื่อกรดอนุคาร์ดิกได้รับความร้อนที่เหมาะสม โปรตอนที่อยู่ปลายสายโซ่ของหมู่คาร์บอกซิลิกจะถูกกระตุ้นให้เกิดเป็นไอออน จากนั้นอิเล็กตรอนอิสระของออกซิเจนจะไปเกิดเป็นพันธะคู่กับคาร์บอนที่อยู่ติดกัน ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระใหม่ขึ้นที่อะตอมของคาร์บอนและเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งไปที่วงเบนซินที่มีเสถียรภาพมากกว่า แล้วเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น สุดท้ายอิเล็กตรอนอิสระที่วงเบนซินได้จับกับโปรตอนเป็นคาร์ดานอลตามกลไกปฏิกิริยาในรูปที่ 2.8 [8] น้ำมันที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงแล้วด้วยความร้อนจะมีการระคายเคืองและการกัดกร่อนที่ลดลง มีความปลอดภัยในการใช้งานมากขึ้น มีการกระจายความร้อนดี สามารถนำไปปรับปรุงหมู่ฟังก์ชันด้วยปฏิกิริยาอื่นโดยไม่มีฟองแก๊สพล่งผ่านขณะทำปฏิกิริยา [8]



รูปที่ 2.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ประโยชน์ของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

องค์ประกอบส่วนมากของน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หลังทำปฏิกิริยาดีคาร์บอก-ซีเลชัน คือ คาร์ดานอล สามารถนำไปปรับปรุงด้วยปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน (Sulfonation) ไนเตรชัน (Nitration) เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ฮาโลจีเนชัน (Halogenation) อีเทอร์ริฟิเคชัน (Etherification) อีพอกซิเดชัน (Epoxydation) เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีหมู่ฟังก์ชันที่หลากหลาย สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ [7]

การปรับปรุงหมู่ฟังก์ชันของคาร์ดานอลโดยใช้แนวคิดของกลไกที่แสดงในรูป 2.9 ทำให้สามารถดัดแปรและปรับปรุงให้เหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น

1. อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) Kim และคณะ [7] สามารถสังเคราะห์พอลิคาร์ดานอล (Polycardanol) ที่มีวงอีพอกซี (Epoxy) ได้โดยใช้เอนไซม์ 2 ชนิดคือไลเปส (Lipase) และเปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) อีพอกซีเรซินสามารถนำไปผลิตเป็นกาวบุกระเบื้องและกาวไพรเมอร์ติดรถยนต์ได้

2. ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resin) Mahanwar และคณะ [7] ใช้ไขมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แทนฟีนอลในการสังเคราะห์โนโวแลกและรีโซลเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารต้านจุลชีพ (Antimicrobials) Choi และคณะ [7] ทำการสังเคราะห์พอลิไดเมทิลไซลอกเซน (Polydimethylsiloxane) จากอูรีเอซอลและของผสมระหว่างคาร์ดอลและคาร์ดานอลได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถต้านจุลชีพได้

4. สารกันไฟ (Fire retardant material) Ravichandran และคณะ [7] ได้ทำการสังเคราะห์พอลิคาร์ดานอล (Polycardanol) แล้วทำการทดสอบพบว่ามีความเสถียรภาพทางความร้อนสูง ปลดปล่อยความร้อนต่ำ สามารถเป็นสารกันไฟที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

5. สารยึดติด (Adhesives) Kim และคณะ [7] ได้ทำการพัฒนา CNSL-formaldehyde (CF) และของผสมของ CF กับโพลีไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl acetate) โดยใช้เรซิน CF แทน ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde) ที่เป็นพิษ เพื่อใช้ทาปิดผิวไม้เมเปิ้ล

6. พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) Greco และคณะ [7] ได้สังเคราะห์คาร์ดานอลให้มีสมบัติความเป็นพลาสติไซเซอร์จากกระบวนการทางเคมีต่างๆ ได้แก่ ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของคาร์ดานอลอะซิเตต (Cardanol acetate) และปฏิกริยาอีพอกซิเดชันที่พันธะคู่ของโซ่กิ่งของคาร์ดานอลอะซิเตตหรือ Epoxidated cardanol acetate แล้วทดลองกับ PVC พบว่าคาร์ดานอลอะซิเตตสามารถผสมเข้ากับ PVC ได้เพียงบางส่วน ในขณะที่ Epoxidated cardanol acetate สามารถผสมและเข้ากับ PVC ได้เป็นอย่างดี

7. สารให้สี (Colorants and dyes) Thamyongkit และคณะ [7] สังเคราะห์สีย้อมสี bis (azo) ได้จากปฏิกริยาคู่ควบ (Coupling) ของคาร์ดานอลกับชุดของ Diazotized aromatic amine และไดเอมีน (Diamine) สีย้อมสีที่ได้สามารถละลายในตัวทำอินทรีย์ได้หลากหลายและละลายในแก๊สโซลีน (gasoline) จึงใช้สารนี้เป็นสารให้สีในแก๊สโซลีนได้

8. พอลิออลและพอลิยูรีเทน (Polyols and polyurethane) Suresh และคณะ [1] ได้สังเคราะห์พอลิออลจากคาร์ดานอลที่มีค่าไฮดรอกซีต่างกัน พอลิออลที่ได้มีความหนืดต่ำ มีเสถียรภาพทางชีวภาพที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไตรกลีเซอไรด์ เมื่อนำมาเตรียมเป็นพอลิยูรีเทนพบว่ามีความเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น

9. สารคู่ควบ (Coupling agents) Tanaka และคณะ [7] พัฒนาคาร์ดานอลที่ปรับแต่งโดยใช้สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) ซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียวของสารเคลือบ โดยเพิ่มสมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างสารตัวเติม (Fillers) กับเรซินเซลลูโลส (Cellulose resin)

10. สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidants) Rios และคณะ [1] ได้สังเคราะห์อัลคิลฟีนอล (Alkylphenol) จากปฏิกริยาอัลคิลเลชัน (Alkylation) ของไฮโดรจีเนตคาร์ดานอล (Hydrogenated cardanol) แล้วทำการศึกษา Thermo-oxidative พบว่าการเกิดออกซิเดชันใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันหล่อลื่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารประกอบดังกล่าวเป็นสารต้านออกซิเดชันที่มีประสิทธิภาพสำหรับใช้น้ำมันหล่อลื่น โดยนักวิจัยกลุ่มนี้ยังได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสมบัติการต้านออกซิเดชันของ CNSL-based organophosphate ที่เติมลงในน้ำมันมิเนอร์ล (Mineral oils) พบว่าสามารถแสดงความเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ดี มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง

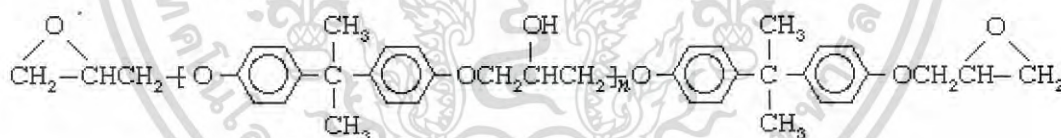
2.3 อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin)

อีพอกซีเรซินเป็นพอลิเอสเทอร์ (Polyester) ได้จากมอนอเมอร์ที่มีหมู่อีเทอร์ (Ether) ประกอบเป็นวงสามเหลี่ยม รู้จักในชื่อวงอีพอกไซด์ (Epoxide ring) [21] ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงอีพอกไซด์ [21]

มีการใช้งานอีพอกซีเรซินในรูปแบบที่หลากหลาย แต่ที่นิยมใช้แพร่หลายคืออีพอกซีที่ได้จากอีพิกโลโรไฮดริน (Epichlorohydrin) และบิสฟีนอลเอ (Bisphenol A) สองมอนอเมอร์นี้จะทำให้เกิดพรีพอลิเมอร์ (Prepolymer) ของอีพอกซีที่มีวงอีพอกไซด์อยู่ในโมเลกุลสองวง [21] ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของอีพอกซีเรซินที่ได้จากอีพิกโลโรไฮดรินและบิสฟีนอลเอ [21]

2.3.1 สมบัติและข้อดีของอีพอกซีเรซิน

โดยปกติการเกิดปฏิกิริยาของอีพอกซีเรซิน พรีพอลิเมอร์จะถูกพอลิเมอร์ไรซ์ต่อไปผ่านการเปิดวงอีพอกไซด์ที่ปลายสายโซ่ด้วยเอมีน (Amines) หรือแอนไฮไดรด์ (Anhydrides) กระบวนการนี้เรียกว่าการบ่ม (Curing) เกิดเป็นพอลิเมอร์โครงสร้างร่างแหสามมิติหรือเทอร์โมเซต (Thermosetting polymer) ที่มีหน่วยซ้ำ คือหมู่อีเทอร์สายโซ่ตรงที่เชื่อมต่อกัน ด้วยความเป็นโครงสร้างร่างแห รวมทั้งมีหมู่ที่มีขั้วสูง ทำให้อีพอกซีเรซินมีสมบัติความเป็นกาวที่ดีเยี่ยม ยิ่งไปกว่านั้นกระบวนการบ่มยังเริ่มต้นได้ง่ายและสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิห้อง อีพอกซีจึงมีประโยชน์อย่างมากในการผลิตเป็นสารเคลือบผิว โดยพบว่าอีพอกซีเรซินที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ชนิดสองส่วน ในส่วนของอีพอกซีชนิดหนึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

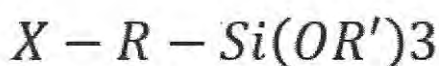
ส่วนเป็นพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีหมู่เอมีนและมีวงอีพอกไซด์เป็นหมู่ปลายสายโซ่ นอกจากนี้อีพอกซีเรซินยังสามารถนำไปขึ้นรูปผลิตเป็นชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานโครงสร้างได้ เช่น แผ่นวงจรบาง (Laminated circuit boards) วัสดุประกอบ (Composites) สำหรับโครงสร้างรถยนต์ ยานพาหนะต่างๆ และวัสดุที่ใช้ทำพื้นห้อง โดยการใช้งานของอีพอกซีที่กล่าวมาแล้วสามารถเสริมแรงอีพอกซีให้มีความแข็งแรงและรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นด้วยการเสริมแรงกับเส้นใยชนิดต่างๆ ได้แก่ เส้นใยแก้ว อะรามิด (aramid) และเส้นใยคาร์บอน (carbon) [21]

2.3.2 อีพอกซีเรซินชนิดสองส่วน (Two-package epoxy coating)

โดยปกติในอุตสาหกรรมสารเคลือบผิว อีพอกซีเรซินเพียงตัวเดียวไม่สามารถใช้งานได้ดี เนื่องจากเป็นเรซินน้ำหนักโมเลกุลต่ำ อย่างไรก็ตาม ยังมีวิธีอื่นที่จะทำให้อีพอกซีเรซินเกิดเป็นพอลิเมอร์โครงสร้างตาข่ายได้ด้วยสารหลายชนิด จึงเป็นที่มาของอีพอกซีเรซินที่จัดประเภทว่า อีพอกซีเรซินชนิดสองส่วน คือ มีสองส่วนแยกกัน ส่วนหนึ่งคืออีพอกซีเรซินและอีกส่วนหนึ่งคือสารทำให้แข็ง (Hardener) ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่าย เมื่อต้องการใช้งานอีพอกซีเรซินชนิดนี้ ต้องทำการผสมส่วนประกอบทั้งสองเข้าด้วยกัน และต้องใช้ของผสมให้หมดอย่างรวดเร็ว อายุการใช้งานหลังผสม (Pot-life) ของอีพอกซีเรซินขึ้นอยู่กับชนิดของสารบ่มที่ใช้ โดยส่วนมากจะบ่มอีพอกซีเรซินที่อุณหภูมิห้อง [8]

2.4 ซิลเลน (Silane)

คือสารประกอบกลุ่มออร์แกโนซิลิกอนที่มีโครงสร้างหลักเป็นซิลิกอน (แสดงตัวอย่างโครงสร้างทั่วไปๆ ดังรูปที่ 2.12) มีหมู่อินทรีย์อยู่ที่ปลายสองหมู่ หมู่หนึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้ ใช้สัญลักษณ์เป็น R เช่น เมทอกซี (Methoxy) เอทอกซี (Ethoxy) ด้านนี้จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxyl) หรือซิลานอลที่ผิวสารตัวเดิม (แก้ว โลหะและฟิลเลอร์ที่มาจากสินแร่ต่างๆ) หรือพอลิเมอร์ที่มีหมู่แอลกอฮอล์อิสระโดยมีน้ำหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในกรณีของสารคู่ควบทำหน้าที่เป็นสะพานที่ทำให้เกิดการยึดติดที่แข็งแรงระหว่างพอลิเมอร์และสารตัวเดิม ในขณะที่หมู่ X เป็นพวกออร์แกโนฟังก์ชันนัล (Organo functional) ได้แก่ หมู่อะมิโน (Amino) เมทาอะคริเลต (Methacryloxy) และอีพอกซี (Epoxy) โดยมักจะทำปฏิกิริยากับหมู่ต่างๆ บนพอลิเมอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานของซิลเลน [22] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

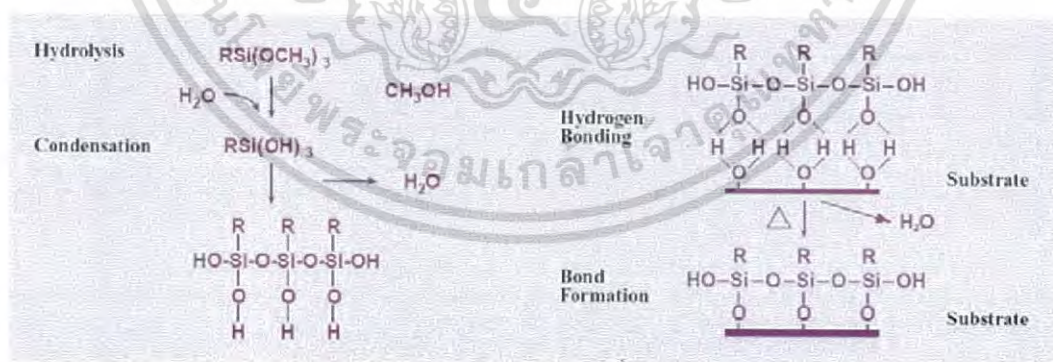
จากโครงสร้างของไซเลนที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ระหว่างพอลิเมอร์และสารอินทรีย์ หรือระหว่างสารอินทรีย์กับสารที่เป็นพอลิเมอร์ ทำให้ไซเลนถูกนำมาประยุกต์ใช้หลากหลาย เช่น สารคู่ควบ (Coupling agents) สารช่วยเรื่องการยึดเกาะ (Adhesion promoter) สารเชื่อมโยง (Crosslinking agents) และอื่นๆ

2.4.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของไซเลน

การใช้งานอแกโนไซเลน โมเลกุลของไซเลนจะต้องเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญ 2 ส่วนคือ

1. ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยหมู่อัลคอกซี (Alkoxy) ต่างๆ ที่ติดกับซิลิกอนในโครงสร้างไซเลนจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสามารถถูกไฮโดรไลซ์ ได้โดยทำปฏิกิริยากับน้ำในอากาศหรือที่เติมลงไปกลายเป็นไซลานอล (Silanol (Si-OH)) จากนั้นทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันที่สามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ เช่น หมู่ไฮดรอกซิลบนแก้ว หรือหมู่ไฮดรอกซีที่อยู่ติดบนโครงสร้างสารประกอบคาร์บอน อยู่ในฟิลเลอร์หรือจากอากาศแล้ว จากนั้นทำปฏิกิริยากับพื้นผิวของวัสดุที่มีหมู่ไฮดรอกซี เช่น แก้ว สีนแร่ หรือโลหะ เกิดเป็นพันธะออกเซน (Oxane bond, M-O-Si (M = Si, Al, Fe อื่นๆ) ที่เสถียรขึ้น

2. ปฏิกิริยาควบนั่น (Condensation) เกิดหลังจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดย ไซลานอลทำปฏิกิริยากับไซลานอลอีกตัวเกิดเป็นพันธะซิลอกเซน (Siloxane) (-Si-O-Si-) โดยหมู่ปลายที่เหลือ เช่น หมู่ X จะเกิดปฏิกิริยาแทนที่หรือควบนั่นกับพอลิเมอร์กลายเป็นพันธะเชื่อมโยงที่แข็งแรงระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์แสดงกลไกสำคัญที่เกิดขึ้น [22] ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของไซเลน [22]

2.5 รัก

ในประเทศไทยสมัยโบราณมีรักอยู่ 3 แห่ง คือ รักเชียงใหม่ รักอุบล และรักไชยา โดยรักไชยา

ปัจจุบันไม่มีการนำयरักมาใช้แล้วเนื่องจากความเป็นพิษของมัน จึงถูกโค่นแล้วเกษตรกรหันไปปลูก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปาล์มแทน นอกจากนี้ลำต้นของรักไยยังมีวลตายที่สวยงามจึงถูกนำไปทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ ดังนั้นรักที่ใช้ในปัจจุบันจึงใช้ยางรักเชิงใหม่ซึ่งพบมากในภาคเหนือ เรียกตามภาษาท้องถิ่นว่า ฮัก โดยต้นรักที่นำมากรีดยางมีอยู่ 2 ชนิดคือ รักใหญ่หรือรักหลวง (*Gluta usitata*) และรักขี้หมูหรือรักน้ำ (*Buchanania latifolia*) ยางรักส่วนใหญ่ที่ได้มาจากรักหลวง ส่วนรักขี้หมูนั้นให้น้ำยางน้อยและมีไม่มากนักในธรรมชาติ จึงไม่นิยมกรีดยางมาใช้ [4, 6]

2.5.1 ประเภทและลักษณะของต้นรัก

รักสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือรักดอก และรักต้น

1. รักดอก มีดอกสีขาวหรือสีขาวปนม่วง พุ่มดก ใบหนา นิยมนำมาเป็นไม้ประดับ
2. รักต้น หมายถึงรักใหญ่ที่สามารถกรีดเอาน้ำยางจากต้นมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Melanorrhoea usitata* รักใหญ่สามารถขึ้นและเจริญได้ดีในป่าโปร่งแล้ง ดินปนทรายที่ละลายน้ำได้ดี มีลักษณะเป็นไม้ผลัดใบ ต้นตรง เปลือกบางสีเทาแก่ เปลือกด้านในมีสีแดงคล้ำ เนื้อไม้มีสีแดงเข้ม เมื่อโตเต็มที่ลำต้นจะมีความสูง 15-20 เมตร วัตรอบลำต้นได้ความยาว 3 เมตร ผลัดใบระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อผลัดใบแล้วจะเห็นช่อดอกเป็นพุ่มสีขาวเล็กๆ บานเต็มต้น และจะเริ่มผลัดใบใหม่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน [4, 23]

2.5.2 การกรีดและเก็บยางรัก

การเก็บยางรักนั้นโดยปกตินิยมเก็บในช่วงปลายฤดูฝนถึงปลายฤดูหนาว ซึ่งจะเป็นช่วงที่ต้นรักให้ปริมาณยางรักมากที่สุด ไม่นิยมเก็บยางรักในฤดูร้อนเพราะจะได้ปริมาณยางรักน้อยมาก โดยจะต้องหาต้นรักใหญ่ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้น้ำยางที่มีคุณภาพดีและได้ปริมาณมาก ขนาดลำต้นควรโตประมาณ 1 เมตร ทำการกรีดโดยกรีดเปลือกของยางรักให้เฉียงคล้ายกับการกรีดยางพารา หรือใช้วิธีที่นิยมมากกว่าคือการกรีดเป็นรูปตัววี (V) แล้วใช้กระบอกล้างไม้ไผ่หรือวัสดุที่เป็นพลาสติกตอกไว้ตรงรอยที่กรีดยาง ยางรักจะค่อยๆ ไหลออกมาเป็นสีใส และจะเปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน ทั้งไว้ 1-2 อาทิตย์แล้วจึงกลับมาเก็บ ยางรักที่ได้นี้จะมียางเจือปนอยู่หลายอย่าง ก่อนนำไปใช้งานจะต้องทำการปั่นหรือเคียวให้น้ำระเหยออกไป และต้องกรองให้สะอาดก่อน [4, 23]

2.5.3 ชนิดของต้นรัก

ยางรักถูกใช้เป็นกาสำหรับติดทองคำเปลว ซ่อมเครื่องลายครามที่บิ่น และใช้ติดหัวลูกศร เข้ากับเพลไม้เป็นครั้งแรก ในเรื่องสมบัติทางวัฒนธรรมและเครื่องเขียนยังรักษาความสวยงามของพื้นผิวแม้ว่าเวลาจะผ่านไปกว่า 2,000 ปี การเก็บของเหลวที่ออกมาจากเนื้อไม้เนื้อนั้นเหมือนกับการเก็บน้ำยางจากต้นยาง ของเหลวที่ได้จากต้นรักนี้มีลักษณะเป็นอิมัลชันประเภทน้ำในน้ำมัน เรียกว่า รักดิบ โดยรักดิบมักจะถูกใช้เป็นสารปรับสภาพผิว (Surface Treatments) กับวัตถุที่ถูกเคลือบ ต้นรัก ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางครั้งอาจเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่าต้นรักภูเขา โดยหลักจะเป็นตระกูลอะนาคาร์ดิเอซี (*Anacardiaceae*) และท็อกซิโคเดนดอน (*Toxicodendron*) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า มีต้นรัก 3 ชนิดเท่านั้นที่ให้น้ำยางรักออกมา โดยลักษณะของยางรักที่ได้จากแหล่งต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.14

1. รักจีนหรือรักญี่ปุ่น ชื่อทางพฤกษศาสตร์ คือ *Rhus vernicifera* มีแหล่งกำเนิดในประเทศจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี องค์ประกอบสารเคมีส่วนใหญ่ คือ อูรูชิออล (Urushiol)
2. รักแกนมอ ชื่อทางพฤกษศาสตร์ คือ *Rhus succedanea* Linn. มีแหล่งกำเนิดในประเทศเวียดนามและไต้หวัน องค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ แลคคอล (Laccol)
3. รักใหญ่หรือรักหลวง ชื่อทางพฤกษศาสตร์ คือ *Melonorrhoea usitata* มีแหล่งกำเนิดในประเทศเมียนมาร์ กัมพูชา ลาว และไทย องค์ประกอบหลัก คือ ทิตชิออล (Thitsiol)



รูปที่ 2.14 แสดงสีของอูรูชิออล แลคคอล ทิตชิออล [2]

ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน องค์ประกอบหลักของยางรัก (อูรูชิออล แลคคอล หรือทิตชิออล) จะถูกเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์แลคเคส (Laccase) กลายเป็นควิโนนแรดิคัล หลังจากนั้นแรดิคัลจะถ่ายโอนและเกิดปฏิกิริยาควบ หลังจากที่มีความเข้มข้นของมอนอเมอร์น้อยกว่า 30% จะเกิดปฏิกิริยา Auto-oxidation ที่ตำแหน่งของโซ่กิ่งที่ไม่อิ่มตัว ในงานวิจัยเมื่อไม่นานมานี้ ผู้เขียนและคณะ [2] ได้อธิบายถึงประวัติศาสตร์ของยางรักและความก้าวหน้าในงานวิจัยเรื่องยางรัก รวมไปถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะของพอลิแซคคาไรด์ในยางรัก การวิเคราะห์ฟิล์มของยางรัก กลไกปฏิกิริยาทางเคมีของเอนไซม์ การแก้ไขปรับปรุงและการทำระบบไฮบริดของยางรัก การสังเคราะห์รักและเทคโนโลยีของรัก [2]

2.5.4 ส่วนประกอบในยางรัก

1. องค์ประกอบเคมีหลักของยางรัก

ในปี 1992 Majima [2] ร่างโครงสร้างอูรูชิโอลว่ามีลักษณะเป็นแบบไดไฮดริก ฟีนอล (Dihydric phenol) โดยมีโซ่กิ่งที่มีจำนวนคาร์บอน 15 อะตอม และสารประกอบที่คล้ายกันจำนวน 3 ตัว จากการศึกษเพิ่มเติมเปิดเผยว่าอะตอมของโซ่กิ่งที่เป็นส่วนประกอบอาจมีคาร์บอนได้ถึง 17 อะตอม โดยมีพันธะคู่หลายตำแหน่งบนโครงสร้าง โดยมีสัดส่วนของพันธะคู่และตำแหน่งที่แตกต่างกันไปในแต่ละชนิด อูรูชิโอลเป็นอนุพันธ์แคทีคอลที่มีโซ่ตรงของหมู่แอลคิล (Alkenyl group) ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอมต่อกับวงเบนซีน ขณะที่แลคคอลมีคาร์บอน 17 อะตอม หาก R หมู่แอลคิล อยู่ที่ตำแหน่ง 3 ของโครงสร้างจะเป็นแคทีคอล ในขณะที่ทิตซียอลจำนวนคาร์บอนในโครงสร้าง 17 อะตอม โดยมีหมู่ R อยู่ตำแหน่ง ที่ 4 ของวงเบนซีน โดยตำแหน่งนี้สายโซ่จะมีคาร์บอน 17 อะตอม จากโครงสร้างในรูปที่ 2.15 อูรูชิโอลมีสายโซ่แอลคิลหรือหมู่ R อยู่ตำแหน่งที่ 3 ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม ขณะที่แลคคอลพบสายโซ่ของหมู่แอลคิลได้ทั้งตำแหน่งที่ 3 และ/หรือ ตำแหน่งที่ 4

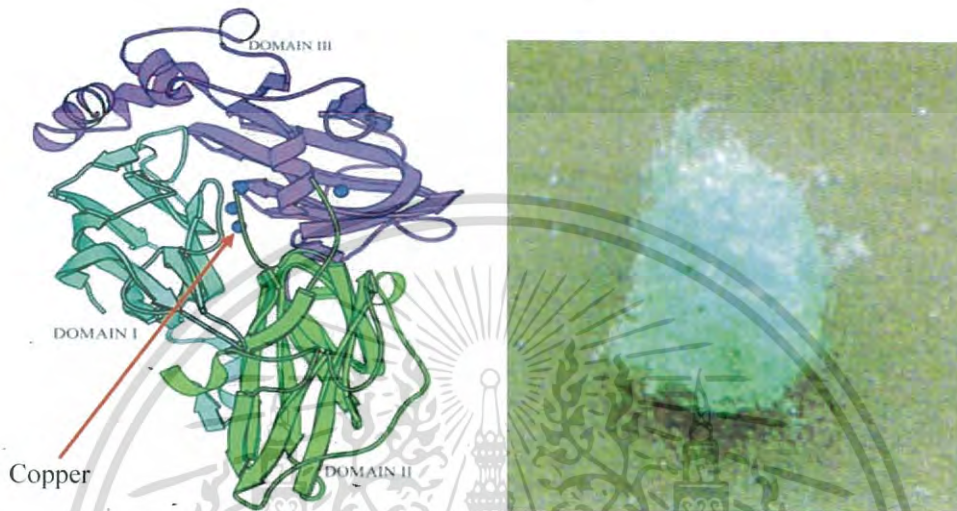
Components and structures of oriental lacquer sap			
<i>Rhus vernicifera</i>	<i>Rhus succedanea</i>	<i>Melanorrhoea usitata</i>	
Urushiol	Laccol	Thitsiol	
C_{15}	C_{15}	R^a	
4.5	1.3	3.9	
15.0			7.5
1.5			0.35
4.4	54.9		36.0
6.5	4.9		
55.4	15.6	R_1	0.73
1.7	1.9		20.0
7.4	17.2		20.6
C_{17}	2.4		0.73
	1.8		1.13
1.5			3.63
1.8		R_2	0.69
Unidentified components	0.3		2.1
		R_3	1.38
			1.03
		R_4	0.23
		Unidentified components	

รูปที่ 2.15 แสดงองค์ประกอบและโครงสร้างของยางรัก [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

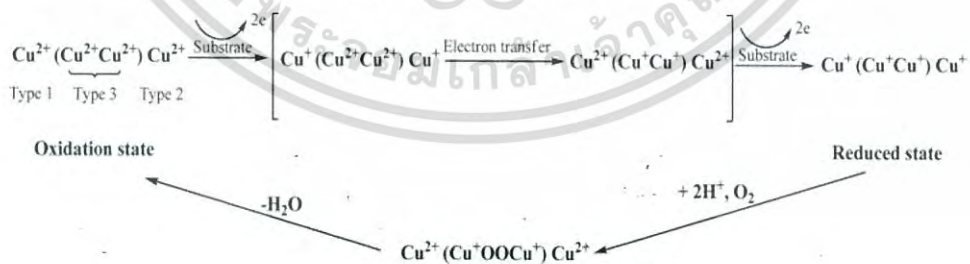
2. เอนไซม์แลคเคส (Laccase enzyme)

เอนไซม์แลคเคสที่พบในแลคเกอร์จากธรรมชาติจะมีคอปเปอร์ (Copper) ไอออนอยู่ในโครงสร้าง โดยโครงสร้างดังกล่าวประกอบด้วย โปรตีน 55% คาร์โบไฮเดรต 45% ความเข้มข้นของคอปเปอร์ประมาณ 0.23% (แสดงโครงสร้างดังรูปที่ 2.16)



รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของเอนไซม์แลคเคส [2]

เอนไซม์แลคเคสเป็นหนึ่งในสารเคมีที่มีความสำคัญสำหรับริเริ่มการเกิดพอลิเมอร์เรซินของยางรักร่วมกับคอปเปอร์ไอออนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาดังกล่าวจะกระตุ้นให้ยางรักมีอัตราการแห้งตัวเร็วขึ้น แสดงกลไกปฏิกิริยาในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอปเปอร์ไอออนในเอนไซม์แลคเคส [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พอลิแซคคาไรด์

พอลิแซคคาไรด์ในยางรักเป็นสารประกอบที่เมื่อละลายน้ำจะอยู่ในรูปไมเซลล์ โดยทำหน้าที่เป็นสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agents) พอลิแซคคาไรด์ในยางรักเป็นกรดของพอลิแซคคาไรด์ที่มีสีขาวภายหลังจากการ Freeze drying โดยถูกแยกออกจากส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ ในการพิสูจน์โครงสร้างทางเคมีนิยมใช้ Nuclear Magnetic Resonance (NMR) ในการตรวจสอบ เนื่องจากต้นรักนั้นไวต่อสภาพแวดล้อมที่เจริญเติบโตจึงส่งผลทำให้โครงสร้าง องค์ประกอบและระยะเวลาในการแห้งตัวเปลี่ยนแปลง

4. ไกลโคโพรตีน

ไกลโคโพรตีนพบอยู่ในรูปผง ไม่เพียงแต่ไม่ละลายในอะซิโตนเท่านั้น ยังไม่ละลายในน้ำอีกด้วย ความเข้มข้นประมาณ 1 ~ 5% ในแลคเกอร์ทั้งหมด มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ $0.78 \sim 4.7 \times 10^4$ Kumanotani และคณะ [2] ได้รายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบน้ำตาลของไกลโคโพรตีนโดยใช้เทคนิค ^{13}C -Cross Polarization Magic Angle Spinning (^{13}C -CP/MAS) อินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared Spectra) และการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อทดสอบการจัดเรียงองค์ประกอบของโพรตีน ผลลัพธ์ที่ได้คือ มีคาร์โบไฮเดรต 10% และ โพรตีน 90% ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 15 หน่วย เนื่องจากไกลโคโพรตีนนั้นเกือบทั้งหมดไม่ละลายน้ำหรือตัวทำละลายออร์แกนิก ดังนั้นผลการตรวจสอบโครงสร้างของไกลโคโพรตีนจึงมีรายละเอียดน้อยจึงทำให้ไม่สามารถระบุโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีได้อย่างชัดเจน [2]

2.5.5 กระบวนการแห้งตัวของยางรัก

1. Laccase Catalyzed Oxidation

องค์ประกอบของลิปิดในรัก (อูรูซียอล แลคคอล และทิตซียอล) ถูกเร่งโดยเอนไซม์แลคเคสที่ถูกออกซิเจนออกซิไดส์เกิดเป็นคอปเปอร์ไอออนแล้วทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันฟีนิลกลายเป็นควิโนนแรดิคัลและเกิดเรโซแนนซ์ภายในวงเบนซีน ได้เป็นสารประกอบควิโนน จากนั้นจึงไปทำปฏิกิริยากับอูรูซียอลตัวอื่น เกิดเป็นไดเมอร์ ไตรเมอร์ โอลิโกเมอร์ และพอลิเมอร์ตามลำดับ มีโครงสร้างเป็นร่างแหบนสายโซ่ตรง และสายโซ่กึ่งที่ไม่อิมิดัวจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Auto-oxidation)

2. ออกซิเดชัน

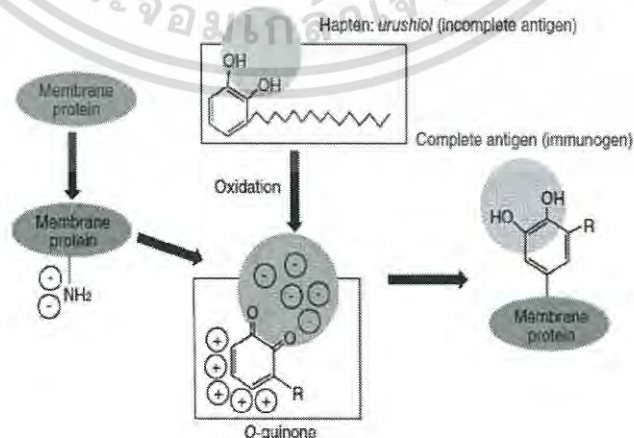
มอนอเมอร์ของอูรูซียอลถูกสลายไปโดยปฏิกิริยาการเร่งของเอนไซม์แลคเคส เมื่อมอนอเมอร์ของอูรูซียอลมีความเข้มข้นน้อยกว่า 30% จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สายโซ่กึ่งพันธะคู่ที่โซ่กึ่งถูก Auto-oxidized โดยออกซิเจน ที่มาจากอัลลิลแรดิคัล และ/หรือแรดิคัลที่ถูกถ่ายโอนมาจากพันธะคู่แล้วทำให้แรดิคัลมีความเสถียรขึ้น แรดิคัลจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์ออกซีเรดิคัล และปฏิกิริยาโครงสร้างร่างแหจะเกิดขึ้นเมื่อเปอร์ออกซีเข้าไปในพันธะคู่หรืออัลลิลเรดิคัลที่สายโซ่กิ่ง สรุปได้ว่า พอลิเปอร์ออกไซด์ค่อนข้างเสถียรแต่บางครั้งก็สลายตัวได้ด้วยความร้อนหรือแสงกลายเป็นออกซีเรดิคัล โดยปกติปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางรักจะเกิดหลังจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยใช้เอนไซม์ [2]

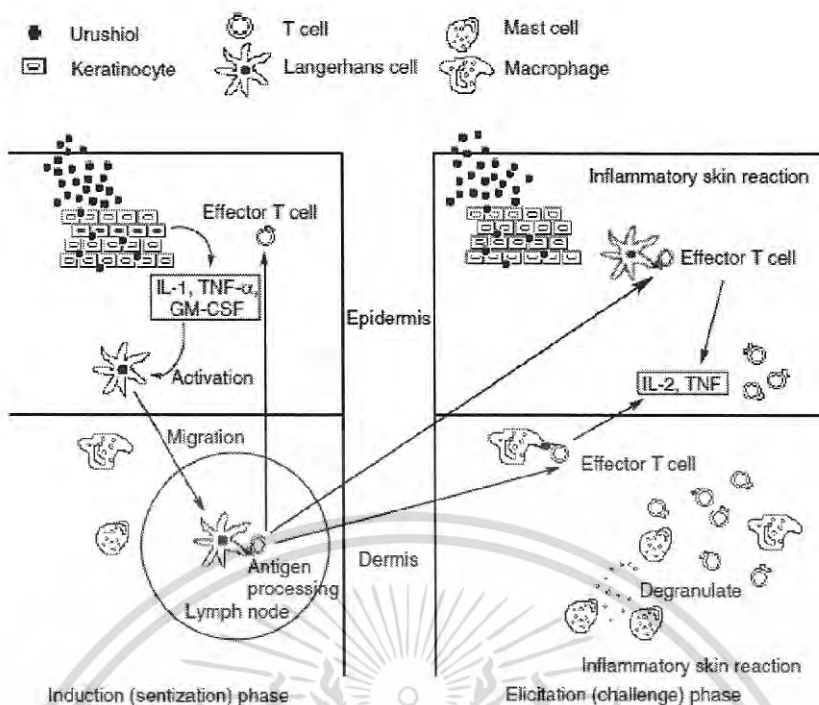
2.5.6 การแพ้แลคเกอร์

ส่วนประกอบไขมันของแลคเกอร์ ได้แก่ อูรูซิโอล แลคคอลล และทิตซิโอล ไมใช่อิเล็กโตรไฟล์ (Electrophiles) จึงไม่สามารถทำปฏิกิริยากับอิเล็กโตรฟิลิกโปรตีน (Electrophilic proteins) เพื่อเกิดเป็นแอนติเจน (Antigen) ได้ เมื่อโมเลกุลไขมันเหล่านี้แทรกซึมเข้าไปในผิวหนัง จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งมีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง (Enzyme catalyzes oxidation reaction) และเปลี่ยนไขมันเป็น O-quinones ซึ่งเป็นอิเล็กโตรไฟล์ จากนั้นทำปฏิกิริยากับเคราติน (Keratin) หรือโปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์ เพื่อเกิดเป็นแอนติเจนที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 อูรูซิโอลแอนติเจนนี้ จะถูกจับโดยแลงเกอฮานเซลล์ (Langerhans cells) แล้วส่งข้อมูลของแอนติเจนไปยังทีลิมโฟไซด์ (T lymphocytes) และชักนำให้ทีเซลล์ (T cell) ไวต่อสิ่งกระตุ้น ในช่วงแรกของกระบวนการที่ไวต่อสิ่งกระตุ้น ในขณะที่ Interleukin-1 β (IL-1 β) ถูกสร้างโดยแลงเกอฮานเซลล์ Major Histocompatibility Complex (MHC) class II ถูกส่งไปที่พื้นผิวเซลล์ของแลงเกอฮานเซลล์และถูกจำโดยทีเซลล์ผ่านตัวรับทีเซลล์ (T cells receptor : TCR) พร้อมด้วยส่วนของแอนติเจนเคราตินโนไซด์ (Keratinocytes) สร้าง urushiol-generated cytokines เช่น Tumor Necrosis Factor α (TNF- α), IL-1 α และ Granulocyte/Macrophage Colony-Stimulating Factor (GM-CSF) ซึ่งจะไปเสริมการกระตุ้นแลงเกอฮานเซลล์ หลังจากทำให้ว่องไวต่ออูรูซิโอลแล้ว ผิวหนังอักเสบที่เกิดจากการสัมผัสจะเกิดขึ้นเนื่องจากการบุกรุกของอูรูซิโอลแอนติเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.19 [24]



รูปที่ 2.18 กลไกการแพ้อูรูซิโอล [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การเหนี่ยวนำให้ว่องไวต่อการแพ้ยูริชชีอล [24]

2.5.7 การรักษาอาการแพ้ด้วยยา

มีรายงานเป็นจำนวนมากที่พูดถึงการรักษาอาการแพ้จากไอวี (Ivy) และต้นโอ๊คที่มีพิษ เนื่องจากการแพ้ไอวีหรือต้นโอ๊คที่มีพิษซึ่งมีโครงสร้างเหมือนกับยูริชชีอล วิธีการรักษาและยาที่ใช้รักษาผิวหนังอักเสบที่เกิดจากยูริชชีอลได้เช่นเดียวกัน Guin มองไปที่การใช้ครีมป้องกัน การใส่เสื้อผ้าป้องกันและการใส่ถุงมือไวนิลสำหรับใช้ครั้งเดียวว่ามีประโยชน์สำหรับลดการได้รับพิษ วิธีนี้ไม่ใช่แค่ได้ผลดีสำหรับคนที่ทำอาชีพนอกบ้าน เช่น นักดับเพลิงป่า แต่ได้ผลดีกับคนที่ทำงานเกี่ยวกับแลคเกอร์ด้วยเช่นกัน แลคเกอร์จากธรรมชาติของประเทศจีนญี่ปุ่นและเกาหลีมียูริชชีอลเป็นองค์ประกอบ ขณะที่แลคเกอร์ในบริเวณประเทศเวียดนามและไต้หวันมีองค์ประกอบเป็นแลคคอล ส่วนแลคเกอร์ของประเทศเมียนมาร์ ไทยและลาวมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นทิตชีอล ในปี 1590 ราชวงศ์หมิงของประเทศจีน Li Shizhen พบว่าชุปัวจิ้น ชุปงาดำ Sealwort soup และชูปูมีประโยชน์สำหรับการรักษาผิวหนังอักเสบ เนื่องจากการสัมผัสแลคเกอร์ที่ได้จากของเหลวของต้นไม้ Santucci และคณะ [24] พบว่า หลังจาก 0.01% α -methylen- χ -Butyrolactone ในสถานะของเหลวถูกนำมาใช้ในการรักษาผิวหนังอักเสบเนื่องจากการสัมผัส *Alstroemeria ligtu* พบว่าทำให้อาการดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด คนที่ทำงานในป่าในประเทศไทยค้นพบว่ายาที่ทำการสกัดจากใบต้นสักที่นำไปต้มใช้ได้ผลดี Baldwin และคณะ [24] แสดงให้เห็นว่า ความว่องไวในการตอบสนองต่อยูริชชีอลด้วยการสัมผัสถูกควบคุมให้ลดลงได้ด้วยการรักษาด้วย มอนอโคลนอลแอนติบอดี (Monoclonal antibody) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ต้นฉบับการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองกับสารที่ทำให้เกิดการแพ้หรือช็อกได้ ปรากฏการณ์นี้ถูกสังเกตแค่ในหนูเท่านั้นจนถึงปัจจุบันนี้ Yarbrough และคณะ [24] ได้พัฒนายาโดยใช้เอทอกซีเลท (Ethoxylate) รวมกันกับโซเดียมลอริลซาร์โคซิเนท (Sodium lauryl sarcosinate) และเชื่อว่าการรวมกันนี้จะไปจับกับตัวรับฮิสทีน ทำให้ตัวรับฮิสทีนไม่ทำงาน ถึงแม้ว่าแอนติฮิสตามีน (Antihistamines) อนุพันธ์ของเบนโซเคน (Benzocaine derivatives) และคอร์ติโคสเตอรอยด์ (Corticosteroids) จะทำให้เกิดการยับยั้งอาการคันอย่างอ่อนๆ ในบางกรณีของการเกิดผื่นหนังอักเสบเมื่อใช้กับผื่นหนัง ในคนหลายคนสารเหล่านี้สามารถทำให้เกิดอาการข้างเคียงของการเกิดผื่นหนังอักเสบเนื่องจากการสัมผัสได้ และไม่เป็นที่แนะนำของผู้เชี่ยวชาญทางโรคผิวหนัง ดังนั้นถ้าผื่นคันมีอาการแย่ลงหลังจากการรักษา คนที่ได้รับผลนั้นควรจะสงสัยว่าเป็นปฏิกิริยาการแพ้จากการรักษาและควรไปพบแพทย์ [24]

2.5.8 การรักษาอาการแพ้ด้วยภูมิปัญญาท้องถิ่น

1. ใช้น้ำสารสัมผัสบริเวณผื่นคันและบวม
2. ทาหรืออาบด้วยน้ำชาจีนแก้จัดหลายๆครั้ง
3. อาบด้วยน้ำใบเหียงอกปลาหมอต้มหลายๆครั้ง
4. นำดินสอพองมาผสมกับน้ำใบขี้เหล็กที่ได้จากการโขลกแล้วคั้นเอาแต่น้ำ นำทาบริเวณที่มีเม็ดผื่นคัน
5. อาบด้วยน้ำไม้สักต้มหลายๆครั้ง โดยใช้ไม้สักที่สดมาต้มเคี่ยว
6. ทาด้วยน้ำจากปูที่ได้จากการทุบปูทะเลสดๆ
7. ทาบริเวณที่ขึ้นเม็ดผื่นคันด้วยเปลือกกล้วยน้ำว้าสุก [25]

2.5.9 ย่างรักกับงานศิลปะไทย

ช่างสิบหมู่ เป็นกลุ่มช่างกรรมหนึ่ง คาดว่ามีมาตั้งแต่สมัยอยุธยา โดยคำว่า “สิบ” มาจากคำว่า “สิบปะ” ที่เป็นภาษาบาลี และตรงกับคำว่า “ศิลปะ” ในภาษาสันสกฤต ซึ่งหมายถึง มีจำนวนมาก สมเด็จพระบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้ากรมพระยานริศรานุวัดติวงศ์ก็ได้ทรงแสดงมติเกี่ยวกับคำว่า “ช่างสิบหมู่” ได้ให้ใจความว่าไม่ได้มีความหมายอย่างตายตัวว่ามีเพียงสิบหมู่เท่านั้น เพียงแต่ว่าในระยะแรกอาจจัดไว้เพียงสิบหมู่ ต่อมาภายหลังจึงรวมกันเข้ามาตามความจำเป็นของงาน เพราะในงานช่างบางอย่างไม่ได้มีงานตลอดทั้งปี แต่จะมีงานต่อเมื่อมีโอกาสพิเศษ ช่างรัก เป็น 1 ในช่างสิบหมู่ ในงานศิลปะไทยมักจะมีช่างรักแทรกอยู่ในหมู่ช่างต่าง ๆ เช่น ร่วมกับช่างมุกในงานประดับมุก หรือในการลงรักปิดทองประดับกระจก นอกจากนี้ งานช่างรักยังรวมถึงการทำเครื่องเงินและหัตถ์ทองต่างๆ อีกด้วย [26] ด้วยคุณสมบัติของช่างรักที่หลากหลาย ประเทศไทยส่วนใหญ่จึงมีการนำช่างรักมาใช้ในการงานศิลปะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทยหลายแขนงตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน สร้างสรรค์เป็นงานศิลปะที่สวยงาม ทรงคุณค่า โดยน่ายารักมาสร้างงานศิลปะได้หลายประเภท เช่น

1. ยางรักในงานสถาปัตยกรรม

ปลายสมัยอยุธยา มีหลักฐานถึงการใช้อย่างรักในงานสถาปัตยกรรมเป็นคำบอกเล่าหรือเอกสาร โดยมีใจความโดยสังเขปว่า พระตำหนักทอง ฝาผนังลงรักเขียนลวดลายด้วยน้ำยาปิดทองรดน้ำ โดยพระตำหนักทองหลังนี้ตั้งอยู่ที่ริมคลอง หน้าวัดไทร เขตบางขุนเทียน ธนบุรี หอไตรวัดบ้านกลิ้ง ฝาผนังภายในหอไตรลงรักเขียนภาพจิตรกรรมด้วยน้ำยาปิดทองรดน้ำ ในสมัยรัตนโกสินทร์ พระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกมหาราชโปรดให้สร้างพระอุโบสถเป็นที่ประดิษฐานพระพุทธมหามณีรัตนปฏิมากร ณ วัดพระศรีรัตนศาสดาราม โปรดให้ตกแต่งฝาผนังนอกพระอุโบสถ 4 ด้านลงพื้นรักแดง เขียนลายน้ำยาปิดทองรดน้ำลายพุ่มทรงข้าวบิณฑ์

2. ยางรักในงานประติมากรรม

แบ่งออกได้หลายประเภท เช่น การใช้อย่างรักผสมกับสมุก เรียกว่ารักสมุก ใช้ลงพื้นพระพุทธรูปที่ปั้นด้วยปูน พระพุทธรูปไม้ พระพุทธรูปหล่อด้วยโลหะเพื่อปิดทอง การทารักน้ำเกลี้ยงเพื่อรองพื้นงานปั้นปูน แกะสลักไม้ให้มีลวดลาย และการใช้รักเช็ดเพื่อปิดทองคำเปลว

3. ยางรักในงานจิตรกรรม

ในงานจิตรกรรมเขียนน้ำยาหรรดาลปิดทองรดน้ำ เรียกสั้นๆว่า “ลายรดน้ำ” มีลักษณะเป็นลายบานประตุน้ำต่างตามศาสนสถาน ทึบและผาสุพระธรรมต่างๆ โดยจะใช้อย่างรักผสมสมุกทารองพื้นก่อนเขียนน้ำยาและเช็ดรักด้วยรักเช็ดเพื่อปิดทองและรดน้ำให้ลวดลายผุดขึ้น ส่วนงานจิตรกรรมเขียนสีกำแพงจะใช้อย่างรักผสมกับสีฝุ่นแล้วระบายเป็นลวดลายหรือรูปภาพ

4. ยางรักในงานประณีตศิลป์

มีการใช้อย่างรักทำเป็น “รักติลาย” เพื่อตีพิมพ์ทำเป็นลวดลายติดประดับหัวโขน มงกุฎ ชฎา เป็นต้น และใช้รักติลายนี้พอกปั้นขึ้นส่วนใบหน้าหัวโขนและหัวหุ่นเป็นอวัยวะส่วนใบหน้าในงานประดับมุก ประดับกระຈก จะใช้อย่างรักทำ “เทือก” ทาพื้นเพื่อประดับมุก ประดับกระຈก และใช้รักน้ำเกลี้ยงถมพื้นและใช้รักเช็ดในการเก็บเงาที่ผิว ในส่วนของยุทธโศภรณ์ของกองทัพมีการใช้อย่างรักตกแต่งให้สวยงามและเพิ่มความแข็งแรง รวมไปถึงเครื่องป้องกันพาหนะและเครื่องราชพาหนะต่างๆ ก็ยังมีการใช้อย่างรักในการสร้างขึ้นด้วย

5. ยางรักในงานหัตถกรรม

งานหัตถกรรมประเภทเครื่องเงินและงานหัตถกรรมประเภทจักสาน จะใช้อย่างรักเป็นส่วนสำคัญในการผลิตเพื่อเคลือบผิวภายในและภายนอกภาชนะ และเพื่อให้มีความมั่นคงแข็งแรงสามารถนำไปใส่สิ่งของต่างๆได้ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.10 ศาสตร์แห่งงานลายรดน้ำ

1. นำไม้กระดานมาขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อกำจัดเสี้ยนไม้
2. เริ่มทลายรัก โดยทลายรักชั้นที่ 1 ใช้แปรงจุ่มและทาทีละน้อย ใช้แปรงขี้ไก่ทำให้เข้าร่องไม้ให้มากที่สุด และทาบบริเวณที่เป็นขอบด้วย
3. นำไม้กระดานที่ทาด้วยยางรักไปใส่ในตู้บ่มรัก ให้มีระยะเวลาในการแห้ง 1 สัปดาห์ ทารักอย่างน้อย 3-4 ครั้ง ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน นำน้ำใส่ถ้วยเข้าไปในตู้เพื่อให้ยางรักแห้งไวขึ้น
4. เขียนแบบลายรดน้ำลงในกระดาษ
5. นำฝารองกระดาษที่มีลายแบบ ใช้เข็มปรุตามลายเส้น โดยวางเข็มให้ตั้งฉาก แล้วกดลงไปให้เข็มติดกันและเห็นแนวเส้น
6. ทำความสะอาดโดยใช้วิธีการสอพื้น โดยการใช้นิ้วสอฟองเปียกเลาะให้ทั่วกระดาษ วนให้ทั่ว ดินสอพองจะหลุดออกมาพร้อมๆ กับไขมันที่อยู่บนผิวหน้าโดยที่ไม่ต้องนำไม้กระดานไปล้างน้ำ
7. นำลายไปลอกโรยแบบโดยใช้ลูกประคบที่ทำจากดินสอพอง ให้ฝุ่นดินสอพองจากลูกประคบผ่านรูลงบนกระดาษ ภูส่นๆ จับหลวมๆ ให้ฝุ่นดินสอพองลงมา ดินสอพองที่นำมาทำลูกประคบ
8. นำกระดาษที่เขียนลายแบบมาลงด้วยน้ำยาหรดาล โดยเริ่มเขียนน้ำยาหรดาล ใช้พู่กันหัวเล็กจุ่มน้ำยา ลับปลายให้คมแล้วค่อยๆ ลากเส้นโดยเริ่มจากข้างนอกแล้วค่อยลงรายละเอียด ถ้าเขียนผิดให้ใช้ดินสอพองเปียกน้ำใส่ลงไป ปล่อยให้หมดแล้วเช็ดออกให้สะอาด
9. ลงรักที่เคยใช้โดยนำยางรักไปเคี้ยวไฟเอาน้ำออกก่อน ป้ายลงไปในแผ่นกระดาษ ใช้ผ้าทำเป็นลูกประคบป็น เก็บชายผ้าให้หมด ถ้ามีขุยผ้าหล่นลงไปจะกลายเป็นขนติดที่ผิวชิ้นงาน ใช้ผ้าหมุนวนยางรักในส่วนที่มีสีดำ เรียกรักในขั้นตอนนี้ว่า “รักเซ็ด”
10. ถอนรักครั้งที่ 1 โดยใช้ผ้าอีกผืนหนึ่งวนรักออก ถอนครั้งที่ 2 3 และ 4 ไปเรื่อยๆ แล้วผ้าจะขาวขึ้น เฉลี่ยให้ความหนียวเท่าๆ กันจนผ้ามีสีขาว
11. ทำการปิดทอง โดยหยิบทองทีละปึก วางทองลงไปในพื้นที่สีดำ (ทำในที่ที่ไม่มีลม) วางทองเป็นลายตามตารางหมากรุก จากนั้นปิดทับเป็นชั้นที่ 2 ทับชั้นที่ 1 ความกว้างเท่ากับ 1 ก้านไม้ขีด
12. ปิดรูดำให้หมด โดยใช้นิ้วกดๆ วนๆ บนทอง จากนั้นกดด้วยสำลีสอบสุดท้ายให้มันใจว่าทองติดแน่นดีแล้ว
13. นำกระดาษทองที่ใช้แล้วจุ่มน้ำแล้วแปะบนชิ้นงาน เคลื่อนกระดาษให้รวมตัวกันแล้วถูน้ำยาหรดาลจะละลายหลุดออก เรียกขั้นตอนนี้ว่า การ “รดน้ำ” [6, 27]

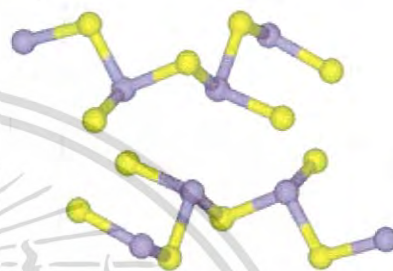
2.5.11 น้ำยาหრดาล

ประกอบด้วยวัสดุ 3 ชนิด

1. หินหรดาล มีชื่อทางเคมีว่า อาร์เซนิกไตรซัลไฟด์ (Arsenic trisulfide) มีสีเหลือง สามารถละลายน้ำได้ พบมากบริเวณลุ่มแม่น้ำเหลือง ประเทศจีน ทำหน้าที่เป็นสารทำให้มีสีในการเขียนลาย



รูปที่ 2.20 แสดงรูปร่างของหินหรดาล [32]



รูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างของหินหรดาล [32]

2. กาวกระถินเทศ หรือกัมอะราบิก เป็นยางที่ได้จากต้นอะเคเซีย (acacia) สามารถละลายน้ำได้ ทำหน้าที่ช่วยยึดเกาะ อาจใช้ยางสะเดา ยางมะขวิดหรือยางมะตูมแทนได้



รูปที่ 2.22 กัมอะราบิก (กาวกระถินเทศ) [32]

3. ฝักส้มป่อย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Acacia concinna* (Willd.) DC. นำฝักส้มป่อยมาต้มและกรองเอากากออก ทำหน้าที่ปรับให้น้ำยาหรดาลมีความเป็นกลาง [32]

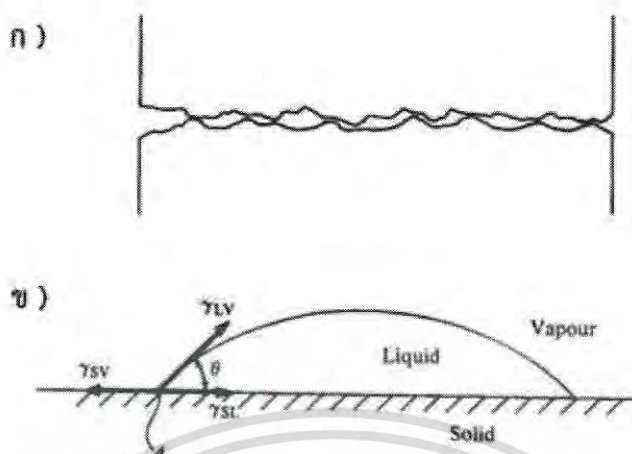


รูปที่ 2.23 ฝักส้มป่อย [32]

2.6 ทฤษฎีการยึดติด

สารเคลือบผิวที่นำมาเคลือบผิววัสดุมีกลไกการยึดติดหลายแบบระหว่างชั้นผิวของวัสดุและสารเคลือบผิว รวมถึงระหว่างสารเคลือบผิวกับวัสดุที่นำมาติด และระหว่างสารเคลือบผิวเอง ซึ่งกลไกที่เกิดขึ้นอาจเกิดเพียงกลไกเดียวหรือหลายกลไกร่วมกัน กลไกการยึดติดที่สำคัญมีดังนี้

1. การดูดซับและการเปียก (Adsorption and Wetting) เมื่อทั้งสองพื้นผิวไม่มีประจุที่อยู่ใกล้กันมากพอจะเกิดแรงดึงดูดเชิงกล (Physical attraction) เช่นการเปียกของของเหลวบนพื้นผิวที่เป็นของแข็ง ถ้าเป็นกรณีของของแข็ง 2 ชนิดที่อยู่ใกล้กันมากถึงระดับไมครอนหรือระดับอะตอมนั้น ความขรุขระ (Roughness) บนพื้นผิวจะเป็นตัวขัดขวางไม่ให้เกิดการยึดติด จะมีเพียงบางตำแหน่งเท่านั้นที่สามารถยึดติดกันได้ (รายละเอียดในรูป 2.24) ส่วนในกรณีที่เป็นของเหลวบนพื้นผิวของแข็งนั้นสามารถเกิดการเปียกได้ง่าย การเปียกจะสามารถเกิดได้มากขึ้นหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่ามุมสัมผัส (Contact angle) ถ้าของเหลวมีความสามารถในการเปียก (Wettability) บนพื้นผิวของแข็งต่ำ ของเหลวไม่ชอบที่จะสัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง กระจายตัวได้น้อย ส่งผลให้มุมสัมผัสมีค่ามาก ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากของเหลวมีความสามารถในการเปียกมาก กระจายตัวบนของแข็งได้ดี จึงทำให้มุมสัมผัสมีค่าน้อย แสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ก) การยึดติดบนพื้นผิวขรุขระของวัตถุ 2 ชนิด ที่มีการยึดติดกันเพียงบางส่วน ข) มุมสัมผัส (Contact angle) และแรงตึงผิว (Surface tension) ของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง [28]

2. การแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion) สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่บริเวณพื้นผิวสัมผัสทั้ง 2 ชนิดเกิดการแพร่เข้าหากัน (Diffusion) ดังรูปที่ 2.25 ก) โดยความแข็งแรงในการยึดติดจะขึ้นกับปริมาณการพันของสายโซ่โมเลกุล (Molecular entanglement) ว่ามีปริมาณมากหรือน้อย และยังขึ้นอยู่กับนชนิดและจำนวนของสายโซ่ที่พันกันอีกด้วย เนื่องจากความสามารถในการแพร่และการพันกันของสายโซ่จะขึ้นอยู่กัความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่ของโมเลกุล (Molecular motion) ดังนั้น สามารถเพิ่มการยึดติดแบบแพร่เข้าหากันได้โดยใช้ตัวทำละลาย (Solvents) ทาบนพื้นผิวหรือใช้สารเติมแต่ง (Additives) ทำให้สายโซ่โมเลกุลขยับได้ง่ายขึ้น

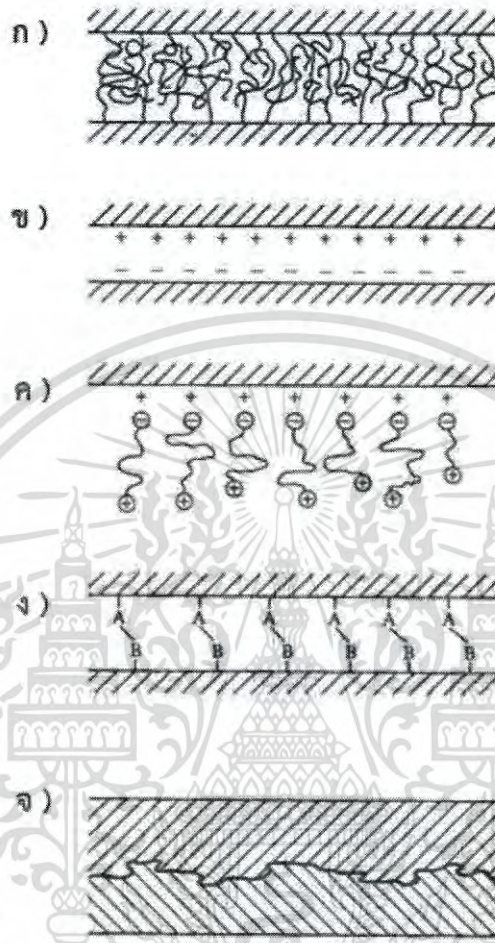
3. แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction) เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวทั้ง 2 ชนิดมีประจุต่างกันและมาอยู่ใกล้กัน คือพื้นผิวหนึ่งมีประจุเป็นบวก (Net positive charge) ส่วนอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุเป็นลบ (Net negative charge) แสดงดังรูปที่ 2.25 ข) และ ค) ความแข็งแรงของการยึดติดนี้จะขึ้นอยู่กัความหนาแน่นของประจุ (Charge density) ที่มีส่วนร่วมกักลไกการยึดติดวัสดุชนิดอื่นๆ ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีขึ้น

4. พันธะเคมี (Chemical bonding) เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันทางเคมี (Functional groups) บนพื้นผิวที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ พันธะเคมีเป็นกลไกการยึดติดที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง ความแข็งแรงของการยึดติดจะขึ้นกัจำนวนและชนิดของพันธะเคมีที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.25 ง)

5. การยึดติดเชิงกล (Mechanical Adhesion หรือ Mechanical Interlocking) เกิดขึ้นเมื่อวัสดุหนึ่งเป็นของไหลแทรกไปตามพื้นผิวที่มีความขรุขระของวัสดุอีกชนิดหนึ่ง เกิดการเชื่อมโยงและแข็งตัวขึ้น ทำให้ของเหลวถูกล็อกแข็งติดอยู่บนพื้นผิวที่ขรุขระ ทั้งนี้ความแข็งแรงจะขึ้นอยู่กัความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขรุขระบนพื้นผิวที่ทำให้เกิดการแทรกตัวและปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนืดของของเหลว เป็นต้น ดังรูปที่ 2.25 จ) [28]



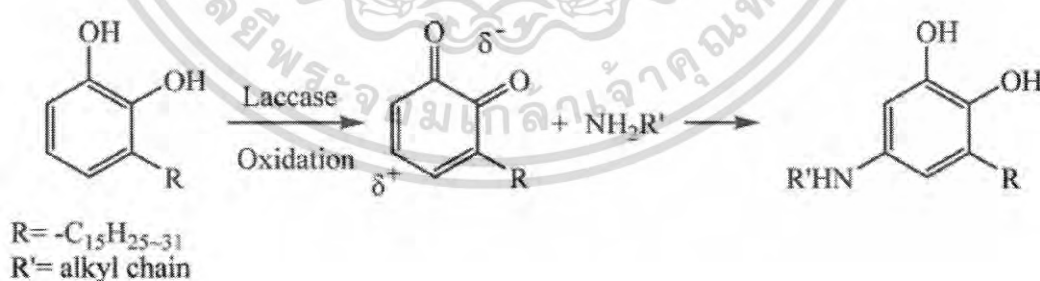
รูปที่ 2.25 กลไกการยึดติดรูปแบบต่างๆ ก) การแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion) ข) แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction) ค) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุลบและประจุบวก ง) พันธะเคมี (Chemical bonding) จ) การยึดติดเชิงกล (Mechanical Adhesion หรือ Mechanical Interlocking) [28]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rong Lu และคณะ [2] ได้ศึกษาเรื่องไฮบริดแลคเกอร์ (Hybrid Lacquer) ไว้ว่า ส่วนประกอบที่เป็นไลปิดของแลคเกอร์จากของเหลวจากต้นไม้ซึ่งได้แก่อูรูชิโอล (Urushiol) แลคคอล (Laccol) และทิตชีโอล (Thitsiol) ถูกกระตุ้นด้วยแลคเคส (Laccase) ทำให้เกิดเป็นฟิล์มที่มีความทนทาน ถ้าในแลคเกอร์มีแลคเคสในปริมาณที่มากจะสามารถเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้และทำให้ลดเวลา

การแห้งตัวของแลคเกอร์ กรณีที่ความแรงในการเกิดปฏิกิริยาแอนติออกซิเดชัน (Anti-oxidation) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

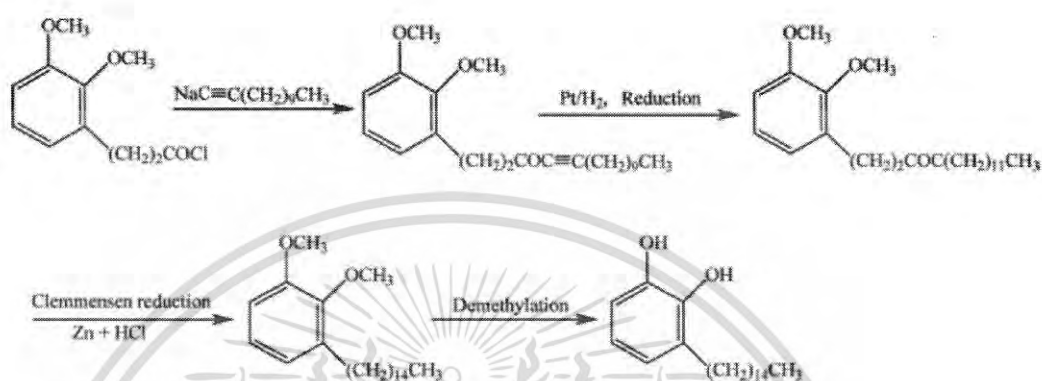
จากหมู่ฟีนอลบนสารฟีนอลิก (Phenolic) ต่ำ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Auto-oxidation) ที่พันธะคู่ในโซ่กิ่งของแลคเกอร์ได้ ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถเพิ่มการทำงานของแลคเกอร์ได้แต่สามารถลดความว่องไวต่อความแรงในการเกิดปฏิกิริยาแอนติออกซิเดชันของอูรีซอลได้ โดยการใส่สารเคมีลงไป (Chemical reagent) เช่น ซิเลน (Silane) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของอูรีซอลเพื่อลดความเข้มข้นของมอนอเมอร์อูรีซอล แลคเกอร์ที่ทำการไฮบริดด้วยอแกนิคซิเลนทั้งที่เป็นแลคเกอร์ดิบและแลคเกอร์ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว จะถูกคำนึงถึงข้อเท็จจริงที่ว่าอนุมูลอิสระคลอรีน (Chlorine radical) และอนุมูลอิสระเมอร์แคปโต (Mercapto radical) ในสารอแกนิคซิเลนอาจจะทำให้การทำงานของแลคเกอร์อ่อนแอลงได้ ในงานวิจัยนี้เลือกซิเลนมา 10 ชนิดที่ไม่มีคลอรีนและ/หรือเมอร์แคปโตเหลืออยู่ เพื่อเตรียมไฮบริดแลคเกอร์และเปิดเผยกลไกของปฏิกิริยาระหว่างอูรีซอลและอแกนิคซิเลนให้เห็น หลังจากวิเคราะห์ด้วยการวัด IR NMR และ TGA/DSC ได้ผลว่าอะมิโนซิเลนและอีพอกซีซิเลนที่มีโครงสร้าง ดังนี้ $N-(\beta\text{-amino ethyl})-\gamma\text{-amino propyl trimethoxy silane}$ และ $\beta\text{-(3,4-epoxy cyclohexyl ethyl trimethoxy silane)}$ เกิดปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis reaction) อย่างรวดเร็วกับอูรีซอลและเข้าใจได้ว่าช่วยให้การเกิดพอลิเมอร์เกิดได้ดีขึ้นอย่างมาก ยิ่งกว่านั้นยังเป็นไปได้ที่อะมิโนในส่วนที่เหลือสามารถทำให้เกิดการเปิดวงของอีพอกซีส่วนที่เหลือ เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหด้วยการแทรกซึมซึ่งกันและกัน เนื่องจากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิสเกิดขึ้นระหว่างอแกนิคพอลิซิลอกเซน (Organic polysiloxane) และอูรีซอล จึงคาดเดาได้ว่าฟิล์มของแลคเกอร์ที่เกิดขึ้นสูงถูกขึ้นรูปจากโครงสร้าง 3-dimensional bridge โดยการรวมกันของซิลิกา-ออกซิเจน (Si-O) ที่เกิดขึ้นซ้ำๆ รูปภาพแสดงปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิสระหว่างอูรีซอลซิเลนและอแกนิคซิเลนถูกแสดงในรูปที่ 2.26 [2]



รูปที่ 2.26 กลไกของปฏิกิริยาระหว่างอูรีซอลและหมู่อะมิโนของอแกนิคซิเลน [2]

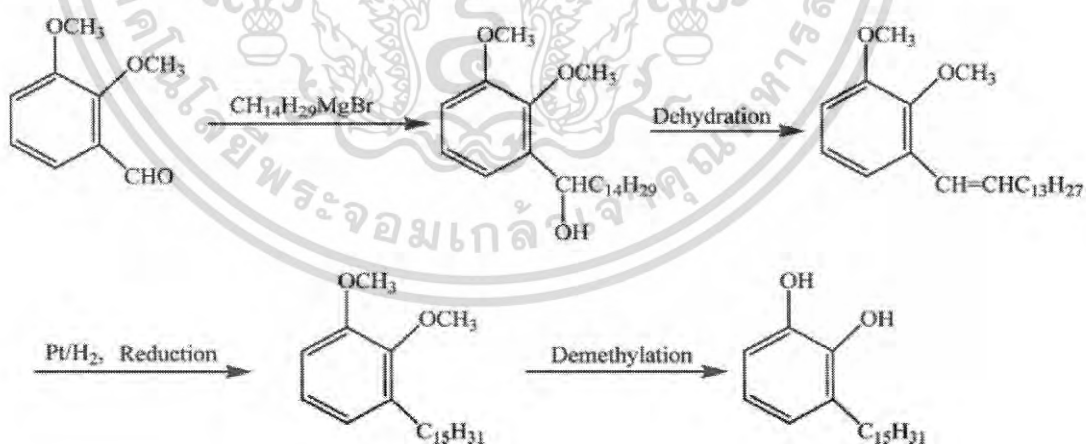
Rong Lu และคณะ [2] ได้เขียนเรื่องวิธีการสังเคราะห์ในการเตรียมแลคเกอร์ (Synthetic Methods in Preparing Lacquer) ไว้ว่า ส่วนประกอบหลักของแลคเกอร์จากของเหลวของต้นไม้ คือ อนุพันธ์แคทีคอล (Catechol derivative) ที่มีโซ่กิ่งที่ไม่อิ่มตัวซึ่งมีจำนวนของคาร์บอน 15 อะตอม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ 17 อะตอม การเชื่อมโยงของอูรูชิออล (แลคคอล ทิตชิออล) ถูกเร่งด้วยแลคเคสภายใต้อากาศและความชื้น เพื่อผลิตฟิล์มพอลิเมอร์ที่ไม่ละลาย ในการศึกษาโครงสร้างของแลคเกอร์จากของเหลวของต้นไม้ในสมัยก่อน Majima และ Tahara สังเคราะห์ไฮโดรอูรูชิออลจาก 2,3-dimethoxyphenylpropionic acid chloride ดังแสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 การสังเคราะห์ไฮโดรอูรูชิออล [2]

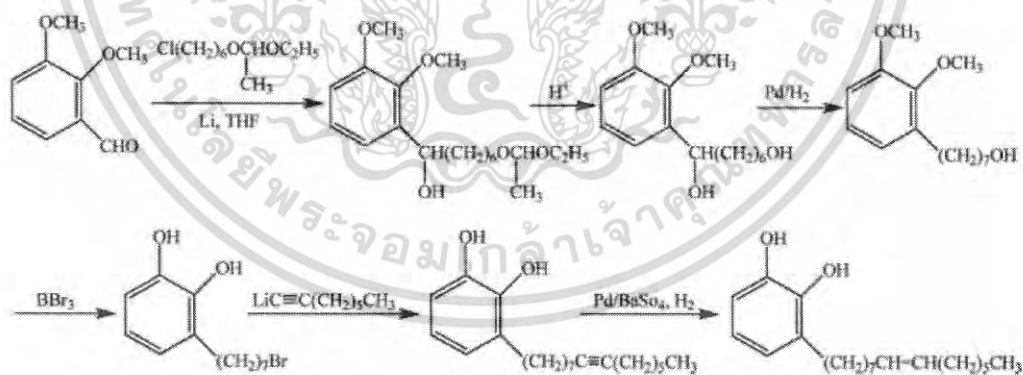
ประมาณ 20 ปีต่อมา เพื่อที่จะระบุโครงสร้างของ Renghol ซึ่งเกิดใน Renghas fruit Backer และ Haack ได้สังเคราะห์ hydrorenghol (hydrourushiol) สำเร็จ โดยใช้ Grignard reaction ซึ่งยัด 2,3-dimethoxybenzaldehyde เป็นหลัก แสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การสังเคราะห์ Hydrorenghol [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mason Dawson และคณะ [2] ได้ทำการปรับปรุงวิธีการสังเคราะห์ของ Backer และ Haack ซึ่งทำให้สังเคราะห์ไฮโดรอุริชอลได้ปริมาณผลผลิตที่ดีขึ้น ด้วยกระบวนการดีเมทิลเลชัน (Demethylation) โดยรีเอเจนต์ที่ใช้คือกรดที่มีฤทธิ์ค่อนข้างรุนแรง (Strong acid reagents) เช่น Dry hydrogen chloride, Aluminum chloride, Pyridine hydrochloride, Boron tribromide และ Iodotrimethylsilane พบว่าไม่มีปัญหาใดในการดีโพรเทค (Deprotect) หมู่เมทิลในอุริชอลที่มีโซ่กิ่งที่อึดตัว อย่างไรก็ตามในกรณีของอุริชอลที่มีโซ่กิ่งไม่อึดตัว ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) และการเกิดไอโซเมอร์ (Isomerization) ของพันธะคู่จะเกิดขึ้นในโซ่กิ่งที่ไม่อึดตัว ทำให้ปฏิกิริยาดีเมทิลเลชันเกิดยากขึ้น ดังนั้นในการสังเคราะห์ของอุริชอลด้วยมอนออิน (monoenes) ไดอิน (dienes) และ/หรือไตรอิน (trienes) ที่โซ่กิ่ง จึงจำเป็นต้องพิจารณาการใช้หมู่ป้องกัน (Protecting group) ที่สามารถคงโครงสร้างที่เกะกะของพันธะคู่ไว้ได้ Love และ Dawson ได้เลือกเบนซิลอีเทอร์ (Benzyl Ether) ซึ่งสามารถดีโพรเทคได้ง่ายเช่นเดียวกันกับการเป็นหมู่ป้องกันไฮดรอกซิล (Hydroxyl-protecting group) เพื่อสังเคราะห์อุริชอลด้วยมอนออินที่โซ่กิ่ง ในทางตรงกันข้าม Tyman และคณะ [2] ใช้ไดเมทอกซีเบนซีน แอลดีไฮด์ (Dimethoxybenzene aldehyde) เป็นวัสดุตั้งต้นเพื่อสังเคราะห์ Monoenyl urushiol โดยวิธีขยายโซ่กิ่งด้านที่มีหมู่แอลดีไฮด์ให้ยืดยาวออกไป ทำให้เกิดเป็น 3-(7-bromoheptyl) catechol และหลังจากนั้นทำปฏิกิริยากับ 1-octyl lithium acetylene เพื่อเกิดเป็น Monoenyl urushiol แสดงในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 การสังเคราะห์ Monoenyl urushiol [2]

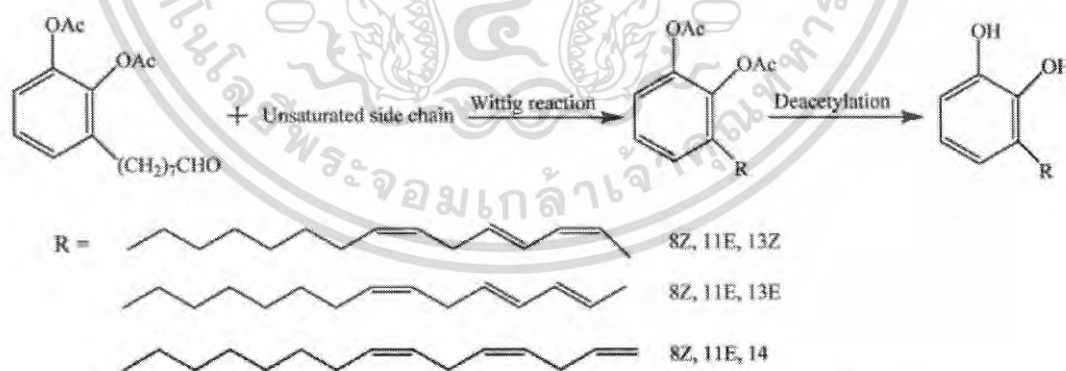
ส่วนประกอบไดอินหลักในอุริชอล คือ 3-(8'Z,11'Z-pentadecadienyl) catechol ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ วิธีการสังเคราะห์ที่ใช้จะต้องพิจารณาถึงตำแหน่งและโครงสร้างที่เกะกะของพันธะคู่ในโซ่กิ่ง นอกจากนี้ยังเน้นความสำคัญในการเลือกหมู่ป้องกันไฮดรอกซิลในวงแคทีคอล (Catechol ring) ปฏิกิริยา Wittig เหมาะในการสังเคราะห์สารประกอบ (Compound) ด้วยโซ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

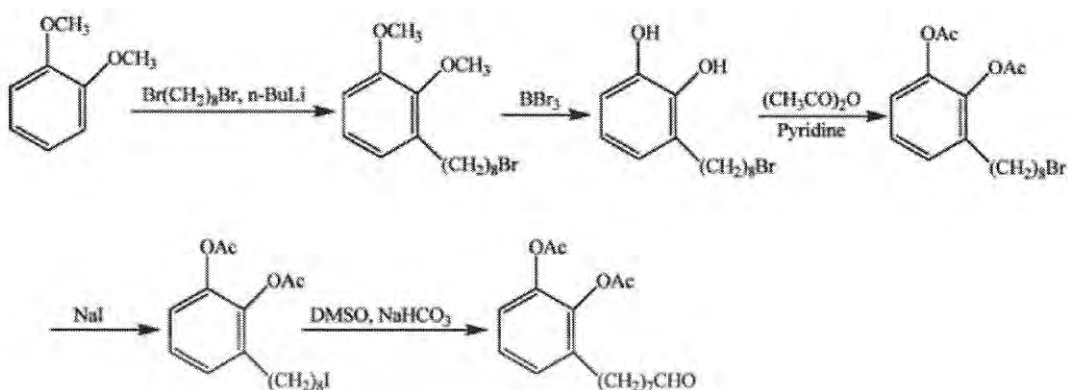
Bestmann และ Hessenauer ได้รายงานวิธีการสังเคราะห์ 3-(8'Z, 11'Z-pentadecadienyl) catechol โดยใช้เอทอกซีเอทิล (Ethoxyethyl) เป็นหมู่ป้องกันของไฮดรอกซิลของวงแคทีคอลในทางตรงข้าม Sargent และคณะ [2] รายงานการสังเคราะห์ 4-(8'Z, 11'Z-hexadecadienyl) catechol ด้วยปฏิกิริยา Wittig เช่นกัน

Trienyl urushiol คือ ส่วนประกอบหลักของแลคเกอร์จากของเหลวของต้นไม้และเป็น 3-(8'Z, 11'E, 13'Z-pentadecatrienyl) catechol, 3-(8'Z, 11'E, 13'E-pentadecatrienyl) catechol และ 3-(8'Z, 11'Z, 14-pentadecatrienyl) catechol เกือบจะทั้งหมด ส่วนประกอบ Trienyl เหล่านี้แสดงบทบาทที่สำคัญมากในการสร้างฟิล์มแลคเกอร์ เพราะฉะนั้นจึงสำคัญในการสร้างวิธีเพื่อสังเคราะห์ Trienyl urushiol ที่สามารถถูกใช้ในการวิเคราะห์ของฟิล์มแลคเกอร์และการวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในกระบวนการแห้งตัวของแลคเกอร์ เช่นเดียวกันกับวัสดุมาตรฐานและแลคเกอร์สังเคราะห์

ก่อนหน้านี้ห้องปฏิบัติการของ Rong Lu และคณะ [2] ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์ Trienyl urushiol โดยผ่านกระบวนการทั้งหมด 3 ขั้นตอน ขั้นแรก Aromatic moiety ถูกสังเคราะห์โดยใช้ 1, 2-dimethoxybenzene เป็นวัสดุตั้งต้น แสดงในรูปที่ 2.30 ในขั้นที่ 2 โซ่กิ่งที่ไม่อิ่มตัวถูกสังเคราะห์ตามความเกะกะของโครงสร้างที่แตกต่างกันของแต่ละตัว ขั้นสุดท้าย Aromatic moiety และโซ่กิ่งที่ไม่อิ่มตัวถูกรวมเข้าด้วยกัน โดยใช้ปฏิกิริยา Wittig ได้ Trienyl urushiol แสดงในรูปที่ 2.31



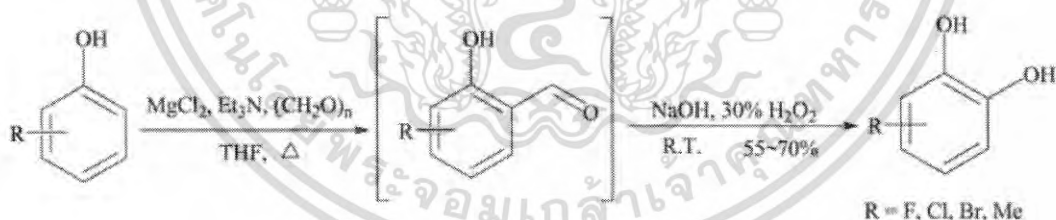
รูปที่ 2.30 การสังเคราะห์ส่วนอะโรมาติกของอูรูชิโอล [2]



รูปที่ 2.31 การสังเคราะห์อูรูซ็อลด้วยปฏิกิริยา Wittig [2]

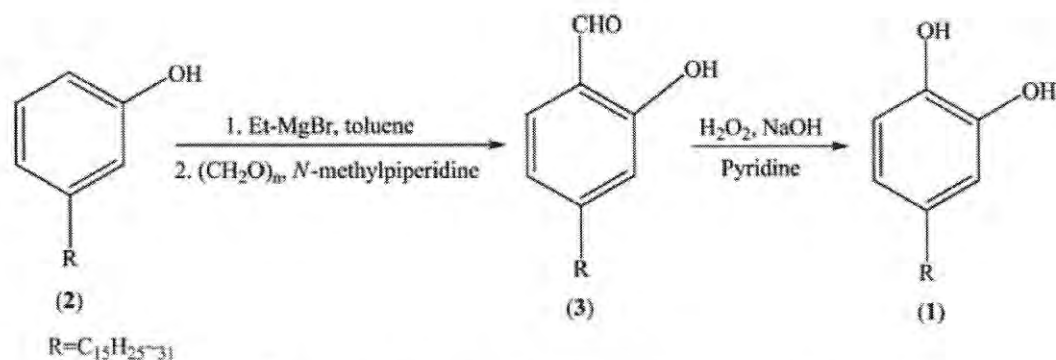
เพื่อวิเคราะห์และระบุส่วนประกอบของแลคคอลของแลคเกอร์จากของเหลวของต้นไม้ชนิด *Rhus succedanea* จึงสังเคราะห์ Monoenyl, Dienyl และ Trienyl laccol และอนุพันธ์ฟีนอล อย่างเป็นระบบด้วยปฏิกิริยา Wittig จะต้องประกอบและโครงสร้างของส่วนประกอบแลคคอล

ถึงแม้ว่ากระบวนการสังเคราะห์ในขั้นตอนเดียว (One-pot synthesis) ของการแทนที่แคทีคอล จากฟีนอลที่เหมือนกันจะมีประสิทธิภาพได้ถูกรายงานไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.32 แต่ผลิตภัณฑ์ของวิธีนี้ ไม่สามารถถูกเรียกว่าเป็นอนุพันธ์ของอูรูซ็อลได้



รูปที่ 2.32 กระบวนการสังเคราะห์ในขั้นตอนเดียว (One-pot synthesis) ของการแทนที่แคทีคอล [2]

เมื่อเร็ว ๆ นี้มีการสังเคราะห์ 4-alkenylcatechol จากคาร์ดานอล (Cardanol) ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยกระบวนการสังเคราะห์ 2 ขั้นตอน (Two-step synthesis) ซึ่งได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สูง วิธีการสังเคราะห์ถูกแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 การสังเคราะห์ $\text{C}_{15};4$ -alkenylcatechols [2]

4-Alkenylcatechol ถูกเตรียมโดยการทำฟอร์มิลเลชัน (Formylation) ของคาร์ดานอลด้วย paraformaldehyde และ Ethylmagnesium bromide ใน THF ตามด้วย Dakin oxidation ด้วย Hydrogen peroxide และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในสถานะของเหลว จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 70%

ในการสังเคราะห์จะได้ 4-alkenylcatechol, 3-alkenylcatechol เป็นเหมือนผลิตภัณฑ์ร่วมมีปริมาณผลิตภัณฑ์ประมาณ 4% การสังเคราะห์ 4-alkenylcatechol จากน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นปฏิกิริยาใหม่ เพราะว่าเป็นวิธีการสังเคราะห์ที่ใช้เอนเจนท์ที่ถูกกว่าและได้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูง เมื่อเปรียบเทียบกับ โดยที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่สั้นและเป็นวิธีการสังเคราะห์จากสารเคมีทางธรรมชาติที่มีประโยชน์ในมุมมองของอุตสาหกรรม [2]

กันทามาศ โพชนา และคณะ [29] ได้ทำการศึกษาสารเคลือบไม้โดยวิธีการดัดแปรน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ทำการปรับปรุงโดยให้ความร้อนแก่น้ำมัน (Heat treatment) พบว่าวิธีนี้สามารถปรับปรุงน้ำมันได้ ทำให้มีค่าพีเอช (pH) เพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรดลดลง หมู่คาร์บอนิลหลุดออกจากโครงสร้าง ทราบได้โดยการใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) จากนั้นทำการเปรียบเทียบการแห้งตัวของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) ก่อนและหลังให้ความร้อน (Treated CNSL, TCNSL) โดยใส่สารเร่งแห้ง แต่ทั้งสองสูตรไม่สามารถเกิดเป็นฟิล์มเคลือบบนไม้ได้ เมื่อให้ความร้อนกับทั้งสองสูตรฟิล์มที่ได้มีลักษณะการแห้งตัวที่ไม่ดี จึงมีการทดลองทำสารเคลือบยูรีเทนดัดแปร ที่อัตราส่วนของกลีเซอรอลและไอโซไซยาเนตที่แตกต่างกัน แล้วใส่สารเร่งแห้งพบว่า การแห้งตัวของฟิล์มใช้เวลานานไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมเล่มที่ 327 พ.ศ. 2532 จึงได้ทำการทดลองเตรียมสารเคลือบไฮบริดอีพอกซีไซเลน สารเคลือบสามารถแห้งตัวใน 1 ชั่วโมงและแห้งสมบูรณ์ในเวลา 18 ชั่วโมง ทำการทดสอบการทนน้ำพบว่าสัดส่วนโดยน้ำหนักที่ดีที่สุดคือ TCNSL: ไซเลน: อีพอกซี เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10: 5: 20 และ 20: 10: 20 แต่ทั้งสองสูตรไม่สามารถทนน้ำร้อนที่ 100 องศาเซลเซียสได้ จึงมีการพัฒนาโดยใช้เซลลูโลสอะซิเตตบิวทีเรต (Cellulose acetate butyrate, CAB) และ/หรือสารเร่งแห้งพบว่าสารเคลือบที่ได้สามารถทนน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียสได้เนื่องจากเซลลูโลสอะซิเตตมีความเป็นผลึกทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) สูงขึ้น อีกทั้งยังเกิดพันธะไฮโดรเจนกับไม้ได้ทำให้สารเคลือบแข็งแรงขึ้น สารเร่งแห้งทำให้ความหนาแน่นของการเชื่อมโยง (Cross-linked density) มากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่หมู่แทนที่ของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถทนน้ำร้อนได้ เมื่อนำมาทดสอบสมบัติคือความหนา การยึดติด การทนกรด-ด่าง การทนแรงกระแทก และการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา จากผลการทดลองทั้งหมดสัดส่วนโดยน้ำหนักที่ดีที่สุดคือ สัดส่วน 10: 5: 20 เนื่องจากมีค่าการยึดติดแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 4B สามารถทนกรดได้ดี แต่ทนด่างได้ไม่ดี สารเคลือบสูตรที่ใช้สารเร่งแห้งจะทนด่างได้ดีที่สุด [29]

Takayuki และคณะ [30] ได้ทำการศึกษาโครงสร้าง กลไกการเกิดปฏิกิริยา และสมบัติต่างๆ ของสารผสมระหว่างอูรีซอลและทิตซอล โดยอัตราส่วนที่ทำให้ได้สารเคลือบที่ดีที่สุดคือ ผสมทิตซอล 30% โดยน้ำหนักลงในอูรีซอลเป็นสารเคลือบที่มีความหนืดเหมาะสมในการเคลือบผิว มีเวลาแห้งตัวเท่ากับสารเคลือบที่ใช้เพียงอูรีซอลความวาวสูง ทนแสง UV สารเคลือบที่มีการผสมกันระหว่างอูรีซอลและ ทิตซอล เกิดเป็นหน่วยไบฟีนิล (Biphenyl unit) แล้วเกิดการต่อกันหลายๆ หน่วยเป็นพอลิเมอร์ ปริมาณของพอลิเมอร์ขึ้นกับปริมาณของทิตซอลในสารผสม [30]

Takashi Tsujimoto และคณะ [31] ได้อธิบายถึงกระบวนการแห้งตัวด้วยเอนไซม์แลคเคสของอูรีซอล แลคคอล และทิตซอลที่ได้จากต้นรัก กระบวนการแห้งตัวของอูรีซอลและแลคคอลด้วยเอนไซม์แลคเคสดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากมีโครงสร้างของสายโซ่ที่ไม่อึดตัว มีโปรตีนไฮโดรไลเซต (Protein hydrolysate) เกิดการเชื่อมโยงเป็นฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีความมันเงาที่ผิวสูง และมีค่าความแข็งที่ผิวสูงมาก การวิเคราะห์ Dynamic viscoelasticity analysis และ FT-IR ของการเชื่อมโยงนั้นคล้ายคลึงกับอูรีซิจาธรรมชาติ ส่วนทิตซอลนั้นเกิดการเชื่อมโยงด้วยเอนไซม์แลคเคสในอัตราที่ช้ากว่า ความแข็งที่ผิวมีค่าต่ำกว่า โดยระบบการเชื่อมโยงนี้ทำภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรงในอากาศที่ไม่มีตัวทำละลายอินทรีย์ [31]

วารุณี รอดเรืองศรี และคณะ [8] ทำการศึกษาสารเคลือบไม้ธรรมชาติจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell liquid, CNSL) แบบไม่ใช้สารเร่งแห้งโดยโลหะ เริ่มโดยการปรับปรุงโครงสร้าง CNSL เป็นน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปรชนิดดีคาร์บอกซิเลต (Decarboxylate, DCNSL) พบว่าที่สภาวะอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทำให้ DCNSL มีปริมาณคาร์บอนอลสูงที่สุด จากนั้นทำการทดลองเตรียมไฮบริดอีพอกซีไซเลน ผลที่ได้คือเมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสอะซิเตตบิวทีเรต (Cellulose acetate butyrate, CAB) มากขึ้น ทำให้สาร

เคลือบแห้งตัวดีขึ้น มีค่าการยึดติดที่สูงขึ้น ปริมาณ CAB ที่ดีที่สุดคือ 20 phr แต่สารเคลือบไม่สามารถทนกรดและเบสได้ดี จึงทำการศึกษาปริมาณของอีพอกซี พบว่าปริมาณอีพอกซีที่ 150 phr ทำให้สารเคลือบมีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงสูงที่สุด ทำให้สารเคลือบสามารถทนกรดและเบสได้ดีขึ้น แต่ยังคงมีความมันเงาสูง จึงทำการศึกษาผลของปริมาณออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax, OPE Wax) ผลการทดลองพบว่า ปริมาณ OPE Wax ที่ 100 phr ทำให้ได้สารเคลือบที่เมื่อเคลือบแล้ว ฟิล์มที่ได้มีลักษณะเหมือนเนื้อไม้จริง เมื่อทดสอบการขัดถู ก่อนและหลังการขัดถู พบว่าความมันเงาลดลงเพียง 4% สารเคลือบที่ได้จึงมีสมบัติทนทานต่อการขัดถู สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารเคลือบที่ดีที่สุดคือ DCNSL: ไซเลน: อีพอกซี: CAB: OPE Wax เท่ากับ 10: 5: 15: 2: 10 เป็นสารเคลือบที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหมือนไม้จริง ทนน้ำและการขัดถู [8]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (DCNSL) สำหรับใช้เป็นสารเคลือบในงานลายรดน้ำพื้นและปิดทอง โดยแบ่งประเด็นศึกษาในงานวิจัยออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาชนิดและปริมาณไซเลนที่มีต่อการแห้งตัวของฟิล์มสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด

ตอนที่ 2 ศึกษาเชิงเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและยางรักด้วยวิธีการทำลายรดน้ำ

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) เกรดเชิงพาณิชย์: บริษัท MAH BOONKONG SIRICHAL 25 INDUSTRIAL PRODUCTS จำกัด (มหาชน)
2. ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) เกรดอุตสาหกรรม: บริษัท LAB SYSTEM จำกัด
3. อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin; DER671-X75) เกรดอุตสาหกรรม: บริษัท SIAM CHEMICAL จำกัด
4. เอ็น-(เบต้า-อะมิโนเอทิล)-แกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรโพรพอกซีไซเลน (N-(beta-aminoethyl)-gamma-aminopropyltripropoxysilane) เกรดอุตสาหกรรม: บริษัท DOW CHEMICAL (THAILAND) จำกัด จัดจำหน่ายโดย บริษัท KOVENTURE จำกัด
5. เอ็น-(เบต้า-อะมิโนเอทิล)-แกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (N-(beta-aminoethyl)-gamma-aminopropyltriethoxysilane) เกรดอุตสาหกรรม: บริษัท ONICHEM SPECIALITIES จำกัด จัดจำหน่ายโดย บริษัท CATALYTE จำกัด
6. เอ็น-(เบต้า-อะมิโนเอทิล)-แกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (N-(beta-aminoethyl)-gamma-aminopropyltrimethoxysilane) เกรดอุตสาหกรรม: บริษัท ONICHEM SPECIALITIES จำกัด จัดจำหน่ายโดย บริษัท CATALYTE จำกัด
7. อะซีโตน (Acetone) เกรดเชิงพาณิชย์: บริษัท CARLO ERBA REGENTS QUALITY SINCE 1853 จำกัด
8. บิวทิลอะซิเตต (Butyl Acetate) เกรดอุตสาหกรรม: บริษัท TOP SOLVENT จำกัด
9. ยางรักอย่างดี 100% สูตร 1 จากร้าน นานาภัณฑ์ ท่าพระจันทร์
10. น้ำมันพาราฟิน (Paraffin oils) เกรดเชิงพาณิชย์ บริษัท ERBA REGENTS QUALITY SINCE 1853 จำกัด
11. ทองคำเปลว จากร้าน สยามทองคำเปลว 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. คาร์บอนแบล็ค (Carbon black) เกรดการค้า บริษัท Eastman จำกัด
13. น้ำยาหรดาล (หินหรดาล ฝักส้มป่อย กาวยางกระถินหรือกัมอะราบิก)
14. ดินสอพองบดละเอียด
15. กาวลาเท็กซ์ ทีโอเอ LA-22S บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
16. ไดไอโซบิวทิลคีโตน (Di Isobutyl Ketone) เกรดอุตสาหกรรม: บริษัท TOP SOLVENT จำกัด
17. เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (Methyl Isobutyl Ketone) เกรดอุตสาหกรรม: บริษัท TOP SOLVENT จำกัด
18. โซเวสซอลเอ 150 (Sovessol A 150) เกรดอุตสาหกรรม: บริษัท TOP SOLVENT จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดก้นกลมสามคอ (Three-necked round bottom flask)
2. คอนเดนเซอร์ไส้ตรง (Condenser)
3. เทอร์โมมิเตอร์ 200 องศาเซลเซียส
4. บริภัณฑ์เครื่องแก้ว
5. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร (Graduated cylinder)
6. กรวยกรองสาร (Filtering funnel)
7. จุกยาง
8. อ่างน้ำ (Water bath) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
9. หลอดหยดสาร (Dropper)
10. ช้อนปากแบนกว้างและทำสำหรับตักและปาดสาร (Spatula)
11. ช้อนตักสาร
12. กระบอกฉีดยาน้ำกลั่น
13. กระจกนาฬิกา (Watch glass)
14. ข้อต่อ 3 ทาง (T Joint)
15. แผ่นให้ความร้อนและชุดควบคุมอุณหภูมิ (Hotplate and Thermostat)
16. กระจกทรายเบอร์ 4 สำหรับขัดไม้
17. กระจกทรายเบอร์ 400 สำหรับขัดเหล็ก
18. แปรงขนสังเคราะห์ขนาด 2 นิ้ว
19. แผ่นเหล็กวัดความหนา
20. เครื่องวัดความมันเงา (Gloss meter)
21. เครื่องวัดความหนืดแบบถ้วยอิวาตะ (Iwata cup) เบอร์ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR)
23. ไม้กระดาน (ไม้อัด)
24. แผ่นพลาสติกอะคริลิกสีดำ ความหนา 1 มิลลิเมตร
25. เครื่องสแตนเลส ขนาด 2.5 นิ้ว

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

การปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน

วิธีการทดลอง

นำน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) ใส่ในขวดก้นกลม 3 คอ จากนั้นปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที (rpm) บนอ่างใส่น้ำมันพาราฟินพร้อมแผ่นให้ความร้อนและชุดควบคุมอุณหภูมิ โดยให้ความร้อน 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แสดงรายละเอียดวิธีการจัดอุปกรณ์การทดลองได้ดังรูปที่ 3.1 โดยนำน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเทคนิคการให้ความร้อน หรือ DCNSL ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีเพื่อตรวจสอบผลของการดีคาร์บอกซิเลชัน ระหว่าง CNSL และ DCNSL โดยใช้การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) และวัดค่าพีเอช (pH) ทั้งก่อนและหลังการดีคาร์บอกซิเลชันของน้ำมันด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)



รูปที่ 3.1 การตั้งชุดอุปกรณ์การปรับปรุงโครงสร้าง CNSL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมพื้นผิวชิ้นงานไม้เพื่อทำการตรวจสอบการแห้งตัวและสมบัติการยึดติด

วิธีการทดลอง

นำไม้กระดาน (ไม้อัด) ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 4 เพื่อให้ขอบเรียบและไม่มีเสี้ยนไม้ จากนั้นขัดหน้าไม้เพื่อให้หน้าไม้มีผิวเรียบมากขึ้น โดยใช้กระดาษทรายสำหรับขัดเหล็กเบอร์ 400 ก่อนนำไม้ไปหาสารเคลือบต้องทำความสะอาดโดยการเช็ดด้วยตัวทำละลายไอโซโพรพานอลเพื่อกำจัดคราบไขมันและสิ่งสกปรกบนไม้ รวมทั้งแผ่นพลาสติกอะคริลิกที่จะนำมาทำการทดสอบต้องใช้ไอโซโพรพานอลเช็ดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างชิ้นงานไม้อัดที่ขัดด้วยกระดาษทราย

การโป้วไม้

วิธีการทดลอง

1. เตรียมไม้อัดให้ได้ขนาดตามต้องการ
2. ผสมดินสอพองกับน้ำเล็กน้อย คนให้เข้ากันเป็นเนื้อครีม
3. นำดินสอพองในข้อ 2. ผสมกับกาวลาเท็กซ์ในอัตราส่วนคือ ดินสอพอง 70: กาวลาเท็กซ์ 30 ส่วน คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน
4. นำมาโป้วลงบนพื้นไม้ โดยใช้เกรียงสแตนเลสปาดลงบนผิวไม้ให้สารโป้วตั้งขึ้นเล็กน้อย ปาดให้เรียบทั่วชิ้นงาน
5. ทิ้งไว้ให้แห้ง (ประมาณ 30 นาที)
6. ใช้กระดาษทรายสำหรับขัดไม้เบอร์ 4 ขัดบนผิวที่โป้วให้เรียบ
7. ใช้กระดาษทรายสำหรับขัดเหล็กเบอร์ 400 ขัดให้ขึ้นเงาเล็กน้อยถึงปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างชิ้นงานไม้อัดที่ทำการปิว

การเตรียมพื้นผิวเพื่อทำลายรดน้ำ

วิธีการทดลอง

นำชิ้นงานมาเขียนลายโดยใช้ฟู่กันจุ่มน้ำยาหรดาลาลงบริเวณที่ไม่ต้องการให้ปิดทอง รองนกว่าน้ำยาหรดาลแห้ง แล้วจึงทำการขีดด้วยสารเคลือบสำหรับสูตรขีด หลังจากนั้นทำการปิดทอง วิธีการทำลายรดน้ำอย่างละเอียดดูได้ที่หัวข้อ 2.5.10

3.3.1 ตอนที่ 1 การศึกษาผลของชนิดไซเลนที่มีผลต่อการแห้งตัวของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด

วิธีการทดลอง

1. ชั่ง DCNSL จำนวน 10 กรัม และอีพอกซีจำนวน 20 กรัม
2. ทำการปั่นของผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่น ความเร็ว 400-500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
3. เติมน้ำมัน-เบต้า-อะมิโนเอทิล-แกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (เพื่อให้เกิดความกระชับในการรายงานและอภิปรายผล ในครั้งต่อไปจะขอใช้คำว่าเมทอกซีไซเลนแทนคำว่า เอ็น-เบต้า-อะมิโนเอทิล-แกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลนตลอดงานวิจัยนี้) 5 กรัม แล้วปั่นจนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
4. ใช้แปรงจุ่มสารที่เตรียมไว้แล้วทาลงบนไม้ โดยทาในแนวนอน 1 รอบ และแนวตั้งอีก 1 รอบ สังเกตการแห้งตัวโดยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ผล และเปรียบเทียบผล
5. เก็บชิ้นงานไว้ 7 วัน แล้วนำมาทดสอบการยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำซ้ำข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนชนิดของไซเลนเป็น เอ็น-(เบต้า-อะมิโนเอทิล)-แกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (เพื่อให้เกิดความกระชับในการรายงานและอภิปรายผล ในครั้งต่อไปจะขอใช้คำว่าเอทอกซีไซเลนแทนคำว่าเอ็น-(เบต้า-อะมิโนเอทิล)-แกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลนตลอดงานวิจัยนี้) และเอ็น-(เบต้า-อะมิโนเอทิล)-แกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรโพรพอกซีไซเลน (เพื่อให้เกิดความกระชับในการรายงานและอภิปรายผล ในครั้งต่อไปจะขอใช้คำว่าโพรพอกซีไซเลนแทนคำว่าเอ็น-(เบต้า-อะมิโนเอทิล)-แกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรโพรพอกซีไซเลนตลอดงานวิจัยนี้) ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดโดยใช้สารประกอบไซเลนที่ต่างชนิดกัน

สูตรที่	ชนิดของไซเลน	ปริมาณของไซเลน (กรัม)	ปริมาณของ DCNSL (กรัม)	ปริมาณของอีพอกซี (กรัม)
1	เมทอกซีไซเลน	5	10	20
2	เอทอกซีไซเลน	5	10	20
3	โพรพอกซีไซเลน	5	10	20

3.3.1.1 การทดสอบลักษณะและสมบัติของสารเคลือบ

3.3.1.1.1 การทดสอบเวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบ

วิธีทดสอบเวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบที่ใช้มาเป็นเวลานาน ทำได้โดยใช้นิ้วแตะที่ผิวของฟิล์มเบาๆ การแห้งของฟิล์มของสารเคลือบที่แห้งได้เองในอากาศ จะมีชื่อระยะเวลาการแห้งที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. แห้งฝุ่นไม่ติด (Dust-free stage or dust dry) คือการแห้งชั้นที่ฝุ่นไม่ติดอยู่บนผิวของฟิล์ม หากใช้นิ้วแตะลงไปบนผิวฟิล์มเบาๆ สารเคลือบจะไม่ติดนิ้วขึ้นมา
2. แห้งที่ผิว (Surface dry) คือการแห้งเฉพาะผิวหน้าของฟิล์ม แต่ข้างล่างยังคงนิ่มและเหนียวอยู่
3. แห้งแตะได้ (Touch dry) คือการแห้งชั้นที่เมื่อนำนิ้วมือแตะเบาๆ บนผิวฟิล์มแล้วไม่มีรอยนิ้วมือเหลืออยู่

4. แห้งแต่ไม่ติด (Tack-free dry) คือการแห้งชั้นที่เมื่อใช้แรงกดลงไปบนผิวฟิล์มแล้วฟิล์มไม่อยู่ในสภาพเหนียวติด และไม่มีรอยนิ้วมือบนผิวฟิล์ม

5. แห้งแข็ง (Hard dry) คือชั้นที่ฟิล์มแห้งแข็ง ทดสอบโดยกดนิ้วหัวแม่มือลงบนผิวฟิล์มแล้วหมุน แล้วฟิล์มไม่แตกร้าวหรือเสียหาย แสดงว่าสารเคลือบนั้นแห้งแข็งแล้ว [9]

3.3.1.1.2 การวัดความหนิดด้วยถ้วยอิวตะเบอร์สอง (Iwata cup No. 2)

เริ่มต้นจากใช้นิ้วมือปิดท่อทางออกของถ้วย แล้วจึงเทตัวอย่างลงไปถ้วยอิวตะให้ล้น ใช้พายปาดหรือกระจกปาดส่วนที่ล้นออก จากนั้นนำนิ้วที่ปิดท่อทางออกพร้อมกับจับเวลา โดยหยุดจับเวลาเมื่อการไหลขาดสาย เวลาที่วัดได้มีหน่วยเป็นวินาที การทดสอบนี้เป็นการหาเวลาที่ตัวอย่างไหลออกจากถ้วยอิวตะ [8]

รูปที่ 3.4 ถ้วยอิวตะเบอร์สอง [8]

3.3.1.1.3 การวัดความหนาของสารเคลือบ

การวัดความหนาของสารเคลือบจะใช้เครื่อง Coating thickness gauge โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก วิธีการวัดคือนำเครื่อง Coating thickness gauge วางลงบนแผ่นเหล็กที่ทาสารเคลือบ จากนั้นวัดความหนาทั้งหมดสามครั้ง [8]



ก)



ข)

รูปที่ 3.5 ก) เครื่อง Coating thickness gauge ข) ตัวอย่างแผ่นเหล็กที่ใช้ในการตรวจสอบความหนาของฟิล์มสารเคลือบ

3.3.1.1.4 การทดสอบการทนน้ำร้อน (Hot-water resistance)

วิธีการทดสอบคือ แช่ชิ้นงานตัวอย่างอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของความยาวของชิ้นงานตัวอย่างลงในน้ำกลั่นที่ถูกควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่อุณหภูมิ 45 ± 5 องศาเซลเซียสในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ถ้ามีชิ้นงานที่จะทดสอบหลายชิ้นให้แยกออกจากกัน อย่าให้ชิ้นงานแต่ละชิ้นสัมผัสกันในระหว่างการทดสอบ หลังจากแช่ครบ 24 ชั่วโมงแล้ว ให้นำชิ้นงานออกมาจากอ่างน้ำและเช็ดหยดน้ำกับสิ่งสกปรกออกด้วยผ้าสะอาด หลังจากนำออกมาแล้วให้ทำการตรวจสอบลักษณะของสารเคลือบทันที (ภายใน 10 นาที) รายละเอียดที่ตรวจสอบ ได้แก่ การย่นของฟิล์ม สี รอยแตก การพอง การลอกออก ความมันเงาที่ลดลง การเกิดสีดกและเป็นตุ่ม โดยวิธีการทดสอบนี้ยึดตามมาตรฐาน TSH1505G (Class: C2)

3.3.1.1.5 การทดสอบการยึดติดของสารเคลือบ (Adhesion)

ในการทดสอบนี้จำเป็นต้องกรีดให้ถึงชั้นของแผ่นทดสอบ ดังนั้นใบมีดที่ใช้ต้องมีความคม วิธีที่ใช้ทดสอบนั้นจะทดสอบแบบ Cross-cut test ตามมาตรฐาน มอก. 285-2540 วิธีการทดสอบเริ่มจากนำแผ่นไม้ที่ต้องการทดสอบวางบนพื้นที่ที่เรียบและแข็ง จากนั้นกรีดใบมีดลงบนแผ่นไม้ทำมุม 45 องศา กับทิศทางของเส้นไม้ให้ลึกถึงผิวของแผ่นทดสอบเป็นจำนวน 11 เส้นในแต่ละแนว โดยแต่ละเส้นต้องห่างกัน 1 มิลลิเมตร ได้เป็นตาราง ซึ่งการกรีดนั้นต้องกรีดด้วยแรงกดและอัตราเร็วที่สม่ำเสมอ จากนั้นนำเทปกาวใสยี่ห้อ Nichiban ติดลงบนตารางที่กรีดเอาไว้ ใช้นิ้วมือหรือยางลบช่วยถูให้เทปกาวใสติดแน่นสนิทจนไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่แล้วดึงเทปกาวใสโดยดึงเข้าหาตัวโดยทำมุมประมาณ 60 องศา ตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นแล้วรายงานโดยเปรียบเทียบกับตารางที่ 3.2 [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การจัดลำดับความบกพร่องของสารเคลือบจากการกริดเป็นตาราง [8]

เกรด	ลักษณะของฟิล์ม	ภาพ
5B	ขอบของรอยตัดเรียบ ไม่มีส่วนเสียหาย	
4B	เกิดการหลุดลอกของส่วนที่ติดกัน แต่ความเสียหายต้องไม่เกิน 5%	
3B	เกิดการหลุดลอกตามขอบและส่วนที่ติดกัน ความเสียหายมากกว่า 5% แต่ไม่เกิน 15%	
2B	เกิดการหลุดลอกตามขอบและตามแนวยาวของส่วนที่ถูกตัด ความเสียหายมากกว่า 15%	
1B	เกิดการหลุดลอกตามขอบและตามแนวยาวของส่วนที่ถูกตัด ความเสียหายมากกว่า 35% แต่ไม่เกิน 65%	
0B	เกิดการหลุดลอกมากและเกิดทุกจุดบนสารเคลือบผิวจนไม่สามารถจัดอยู่ในเกรด 1B ได้	

3.3.1.1.6 การทดสอบการทนความชื้น (Humidity)

วิธีการทดสอบคือ วางชิ้นงานตัวอย่างใน Humid chamber ที่อุณหภูมิ 50 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 95% เป็นเวลา 240 ชั่วโมง (10 วัน) จากนั้นนำชิ้นงานออก ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน บันทึกผลของการทดสอบ วิธีการทดสอบที่ใช้เป็นไปตามมาตรฐาน TSH3130G (Class: C1)

3.3.1.1.7 การทดสอบความมันเงา (Gloss)

ความสามารถในการสะท้อนแสงออกไป เนื่องจากผิวของสารเคลือบมีความเรียบ เรียกว่า ความมันเงา โดยการวัดความมันเงาจะวัดเทียบกับ Standard glass surface ที่มีมุมต่างกัน เช่น 20 60 และ 85 องศา ตามมาตรฐาน ASTM D523-89

เครื่องมือที่ใช้วัด คือ Specular gloss meter ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไฟ (LED) โดยมุมที่เลือกวัดในงานวิจัยนี้จะเลือกมุม 60 และ 85 องศา [8]



รูปที่ 3.6 เครื่อง Specular gloss meter [8]

3.3.2 ตอนที่ 2 การศึกษาเชิงเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและยางรักด้วยวิธีการทำลายรดน้ำ

3.3.2.1 การศึกษาปริมาณของไซเลนที่มีผลต่อระยะเวลาในการปิดทองวิธีการทดลอง

1. ชั่ง DCNSL จำนวน 10 กรัม และอีพอกซีจำนวน 20 กรัม
2. ทำการปั่นของผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องปั่นกวนที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
3. เติมน้ำมันทอกซีไซเลน 5 กรัม แล้วปั่นกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
4. นำแผ่นพลาสติกอะคริลิกมาเช็ดด้วยไอโซโพรพานอล แล้วนำมาเขียนด้วยน้ำยาหารดาล โดยเขียนเป็นช่องสี่เหลี่ยมจำนวน 7 ช่อง รอให้น้ำยาหารดาลแห้ง (วิธีการลงน้ำยาหารดาลอย่างละเอียด ดูได้ที่หัวข้อ 2.5.10)
5. เช็ดด้วยสารเคลือบจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่ผสมได้ทั้ง 7 ช่องพร้อมกัน แล้วใช้ผ้าขาวบางถูวนบนชิ้นงานเพื่อให้ชั้นสารเคลือบมีความบางมาก
6. ปิดทองตามระยะเวลาในตารางที่ 3.3 บนช่องที่วาดไว้ แล้วระบุผลหลังการทดสอบ
7. เก็บชิ้นงานไว้ 7 วัน แล้วนำมาระบุลักษณะของทอง โดยระบุผลตามเกณฑ์ในตารางที่ 3.4 ทดสอบการยึดติด การทนน้ำร้อน การทนความชื้น และความมันเงา

8. ทำซ้ำข้อ 1-7 แต่เปลี่ยนปริมาณของไซเลน ตามตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์สารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วง
หิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดโดยปรับปริมาณเมทอกซีไซเลนและระยะเวลาในการ
ปิดทอง

สูตรที่	ปริมาณ DCNSL : อีพอกซี (กรัม)	ปริมาณไซเลน (กรัม)	ระยะเวลาในการปิดทอง (นาที)						
			0	30	60	90	120	150	180
1	10 : 20	5	0	30	60	90	120	150	180
2	10 : 20	2	0	30	60	90	120	150	180
3	10 : 20	1	0	30	60	90	120	150	180
4	10 : 20	0.5	0	30	60	90	120	150	180
5	10 : 20	0.25	0	30	60	90	120	150	180

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์การระบุผลการยึดเกาะหลังการทดสอบ

เกณฑ์	ลักษณะของทอง
A	ทองหลุดลอกประมาณ 0-10 เปอร์เซ็นต์
B	ทองหลุดลอกประมาณ 11-20 เปอร์เซ็นต์
C	ทองหลุดลอกประมาณ 21-30 เปอร์เซ็นต์
D	ทองหลุดลอกประมาณ 31-40 เปอร์เซ็นต์
E	ทองหลุดลอกประมาณ 41-50 เปอร์เซ็นต์
F	ทองหลุดลอกประมาณ 51-60 เปอร์เซ็นต์
G	ทองหลุดลอกประมาณ 61-70 เปอร์เซ็นต์
H	ทองหลุดลอกประมาณ 71-80 เปอร์เซ็นต์
I	ทองหลุดลอกประมาณ 81-90 เปอร์เซ็นต์
J	ทองหลุดลอกประมาณ 91-100 เปอร์เซ็นต์

3.3.2.2 การศึกษาผลของการปิดทองด้วยสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดบนพื้นไม้ที่มีการเตรียมพื้นผิว

วิธีการทดลอง

1. ทำการแบ่งครึ่งแผ่นไม้อัด ครึ่งหนึ่งทำการเตรียมพื้นผิว ส่วนอีกครึ่งหนึ่งทำการโป๊ว
2. ชั่ง DCNSL จำนวน 10 กรัม และอีพอกซี จำนวน 20 กรัม
3. ทำการปั่นของผสมให้เข้ากันด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
4. เติมนเมทอกซีไซเลน 5 กรัม แล้วปั่นจนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
5. จากนั้นตวงและผสมตัวทำละลายเข้าด้วยกัน ได้แก่ บิวทิลอะซิเตต ไดไอโซบิวทิลคีโตน เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน และโซลเวซอล เอ150 ในอัตราส่วน 40 : 25 : 25 : 10 โดยน้ำหนัก
6. นำตัวทำละลายที่เตรียมได้มาผสมกับส่วนน้ำมันที่เตรียมไว้ โดยปรับความหนืดของสารประกอบให้มีความหนืดอยู่ในช่วง 64-66 วินาที โดยทดสอบด้วยถ้วยอีวาคูเบอร์ 2 ปั่นจนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
7. ใช้แปรงจุ่มสารที่เตรียมไว้แล้วทาลงบนไม้ โดยทาในแนวนอน 1 รอบ และแนวตั้งอีก 1 รอบบริเวณที่ทำการโป๊วแล้ว อีกครึ่งหนึ่งที่ทำการเตรียมพื้นผิว ทาสารเคลือบในแนวนอน 1 รอบ และแนวตั้งอีก 1 รอบ ทิ้งไว้ 5 นาทีแล้วทาสารเคลือบครั้งที่ 2 สังเกตเวลาการแห้งตัว
8. เขียนลายบนชิ้นงานเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ด้วยน้ำยาหารดาล (วิธีการลงน้ำยาหารดาลอย่างละเอียด ดูได้ที่หัวข้อ 2.5.10) จำนวน 3 ช่อง
9. เตรียมสารเคลือบสำหรับเช็ดปิดทอง 3 สูตร ดังนี้ สูตรเมทอกซีไซเลน 5 กรัม โดยผสมเหมือนข้อ 2-4 สูตรเมทอกซีไซเลน 0.5 กรัม โดยผสมเหมือนข้อ 2-4 แต่เปลี่ยนปริมาณไซเลนเป็น 0.5 กรัม และสุดท้ายสูตรยางรัก ที่ผ่านการเคี้ยวแล้ว (เพื่อกำจัดตัวทำละลาย)
10. นำสูตรเช็ดแต่ละสูตรหยดบนช่องที่วาดไว้ตามลำดับ จากนั้นใช้ผ้าถูวนเช็ดสารเคลือบออกให้เหลือสารเคลือบบางที่สุด แล้วปิดทองบนช่องที่วาดไว้
11. เก็บชิ้นงานไว้ 7 วัน แล้วนำมาวัดความหนา ค่าความมันเงา และทดสอบการยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 การศึกษาการเติมคาร์บอนแบล็คเพื่อปรับปรุงสีของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปรระบบไฮบริดสำหรับพื้นไม้

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำมัน DCNSL มาประมาณ 98.97 กรัม
2. ชั่งสารช่วยกระจายตัว (Dispersing Agents) มาประมาณ 0.03 กรัม
3. ปั่นกวนสารทั้งสองให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที ด้วยเครื่องปั่นกวน
4. ใส่สารให้สีคือ เขม่าดำ (Carbon blacks) ปริมาณ 1 กรัมลงไปในสารผสม

ที่ปั่นกวนแล้วข้างต้น

5. ปั่นกวนสารให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
6. ใส่เม็ดลูกแก้ว (Glass Beads) จำนวน 50 กรัม
7. ปั่นกวนสารเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที
8. ชั่งสารที่ได้ปริมาณ 10 กรัม และอีพอกซีปริมาณ 20 กรัม คนให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่น ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
9. เติมเมทอกซีไซเลน 5 กรัม แล้วปั่นกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
10. จากนั้นตวงและผสมตัวทำละลายเข้าด้วยกัน ได้แก่ บิวทิลอะซิเตต ไดไอโซบิวทิลคีโตน เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน และไซลีนโซล เอ150 ในอัตราส่วน 40: 25: 25: 10 โดยน้ำหนัก
11. นำตัวทำละลายที่เตรียมได้มาผสมกับส่วนน้ำมันที่เตรียมไว้ โดยปรับความหนืดของสารประกอบให้มีความหนืดอยู่ในช่วง 64-66 วินาที โดยทดสอบด้วยถ้วยอีวาคูเบอร์ 2 ปั่นกวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
12. ใช้แปรงจุ่มสารที่เตรียมไว้แล้วทาลงบนไม้ โดยทาในแนวนอน 1 รอบ และแนวตั้งอีก 1 รอบ ทิ้งไว้ 5 นาทีแล้วทาสารเคลือบครั้งที่ 2 โดยทาในแนวนอน 1 รอบ และแนวตั้งอีก 1 รอบ สังเกตการแห้งตัวโดยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตสีที่ได้ วิเคราะห์ผล และเปรียบเทียบผล
13. เก็บชิ้นงานไว้ 7 วัน แล้วสังเกตสีของสารเคลือบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องจากโครงการพิเศษเรื่องการศึกษาสารเคลือบไม้จากน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปร และการพัฒนาสารเคลือบไม้จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปรไฮบริดอีพอกซีไซเลนแบบไม่ใช้สารเร่งแห้งแบบโลหะ ภาควิชาเคมี สจร. ปีการศึกษา 2557 [29] และ 2558 [8] ตามลำดับ โดยนำผลการศึกษาที่ได้มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นสารเคลือบในงานศิลปะด้านงานลายรดน้ำ ในงานวิจัยนี้ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนที่เกี่ยวกับอัตราส่วนของไซเลนและน้ำมันที่ผ่านการดีคาร์บอกซีเลชัน (Decarboxylation) รวมถึงชนิดของไซเลนที่มีต่อสมบัติการแห้งตัว สมบัติการยึดติด สี และความมันเงา เพื่อให้ได้สารเคลือบที่มีสมบัติเทียบเคียงยางรัก โดยแบ่งประเด็นศึกษาออกเป็น 2 หัวข้อ คือ ศึกษาผลของชนิดไซเลนที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและการศึกษาเชิงเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและยางรักด้วยวิธีการทำลายรดน้ำ

4.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันและปรับปรุงโครงสร้างโดยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [8, 29] พบว่าการให้ความร้อน CNSL ที่สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที ทำให้กรดอนุคาร์ดิกที่มีปริมาณมากใน CNSL กลายเป็นคาร์ไดนอลผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน

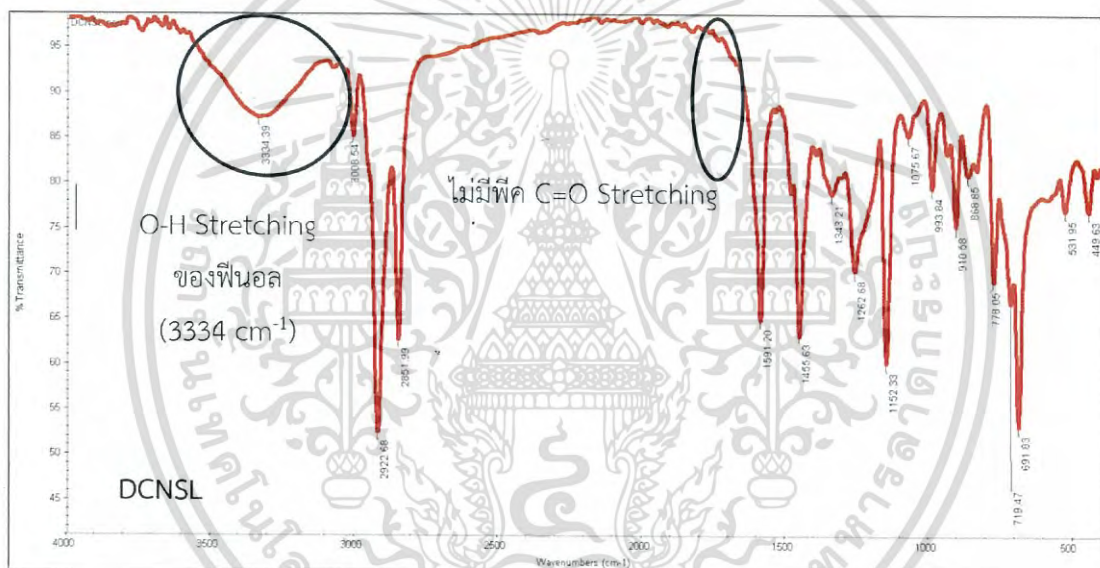
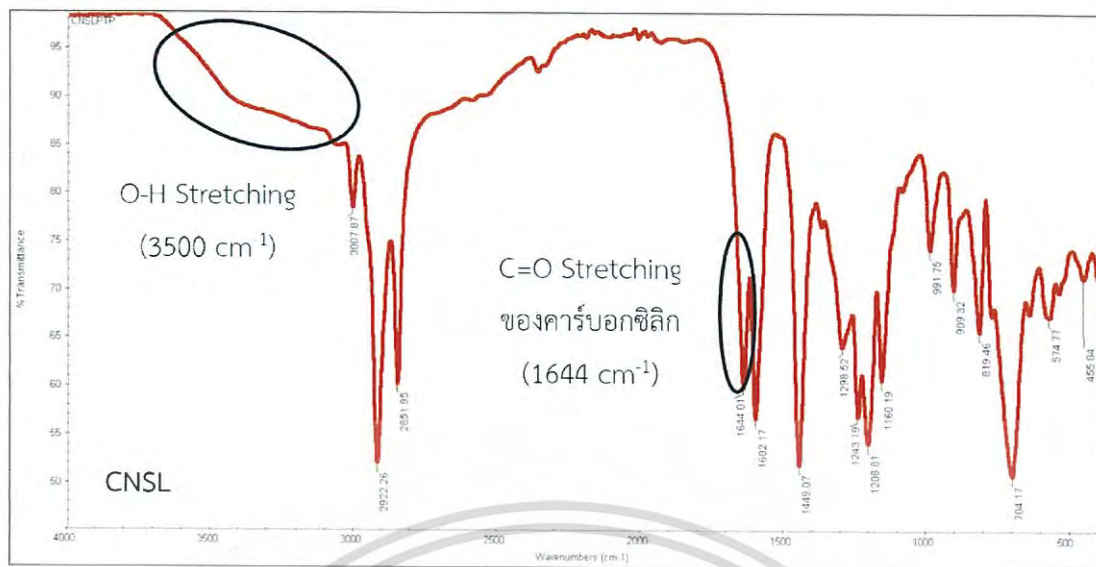
ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้นำ CNSL ไปทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันโดยใช้สภาวะ 160 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที เพื่อปรับปรุงคุณภาพของ CNSL จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพ DCNSL โดยการวัดค่าพีเอชและวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR

จากการตรวจสอบคุณภาพของ CNSL และ DCNSL ด้วยการวัดค่าพีเอชพบว่า DCNSL มีค่าพีเอชที่สูงขึ้นดังตารางที่ 4.1 เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน ส่งผลให้หมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอนุคาร์ดิกหลุดออกเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขณะให้ความร้อน จึงทำให้ค่าพีเอชที่วัดได้มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันที่ยังไม่ผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัย [8, 29]

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบค่าพีเอชของน้ำมัน CNSL และ DCNSL ในงานวิจัย

น้ำมัน	ค่าพีเอชที่อุณหภูมิห้อง
CNSL	2.88
DCNSL	7.45

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกตรัมของ CNSL พบพีก O-H Stretching ที่ความยาวคลื่น 3500 ซม.⁻¹ ในขณะที่สเปกตรัมของ DCNSL พบพีก O-H Stretching ที่ความยาวคลื่น 3334 ซม.⁻¹ จากการทดลองพบว่าสเปกตรัม CNSL และ DCNSL มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดที่ CNSL ตรวจพบพีก C=O Stretching ของคาร์บอกซิลิกที่ความยาวคลื่น 1644 ซม.⁻¹ ในขณะที่สเปกตรัมของ DCNSL ไม่ปรากฏพีกของ C=O Stretching ของคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นผลมาจากการที่หมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอนุคาร์ดิกใน CNSL เกิดกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซี ซึ่งเป็นโครงสร้างเดียวกับคาร์ดานอลที่พบในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ รายละเอียดของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ CNSL และ DCNSL ที่ได้จากเทคนิค FT-IR รวมถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

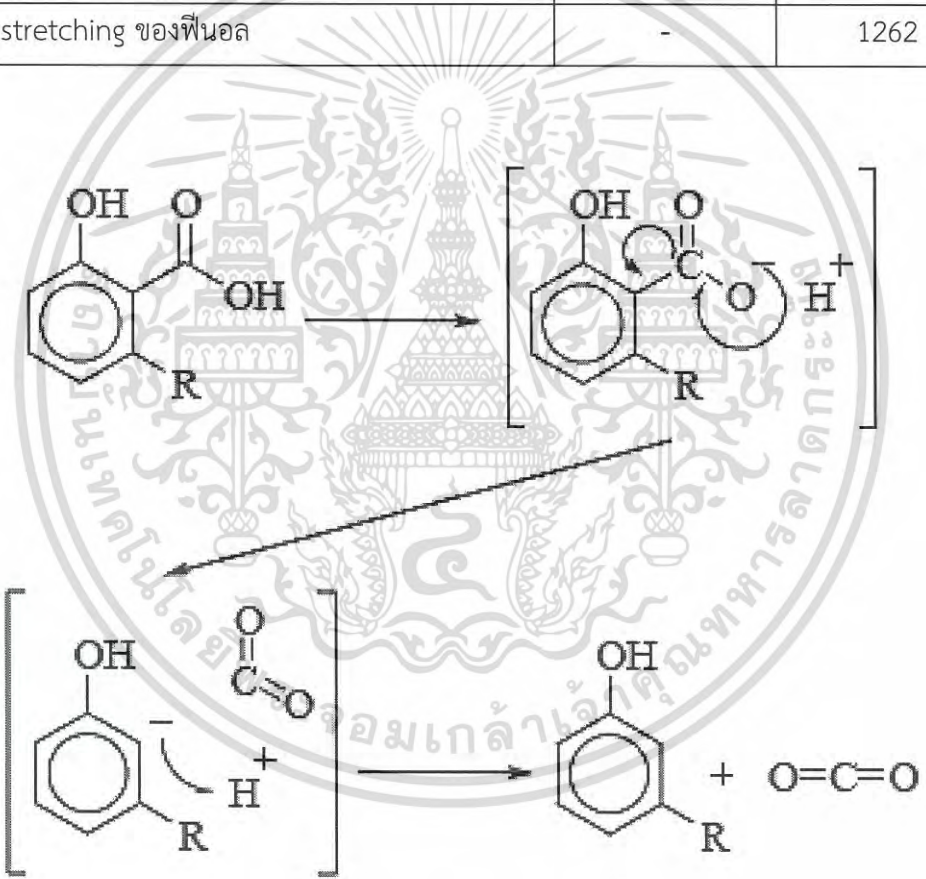


รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบสเปกตรัม FT-IR ของ CNSL และ DCNSL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สรุปหมู่ฟังก์ชันที่ตรวจพบจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ของ CNSL และ DCNSL

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่น 3500 (cm ⁻¹)	
	CNSL	DCNSL
O-H stretching ของคาร์บอกซิลิก	3500	-
O-H stretching ของฟีนอล	-	3334
C-H stretching ของวงอะโรมาติก	3007	3008
C-H stretching ของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน	2851-2922	2851-2922
C=O stretching ของคาร์บอนิล	1644	-
C=C stretching ของวงอะโรมาติก	1449,1602	1455,1591
C-O stretching ของฟีนอล	-	1262



รูปที่ 4.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอกซีเลชัน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาผลของชนิดไซเลนในการเตรียมสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดสำหรับพื้นไม้

DCNSL มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกับยางรัก แต่โครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนข้างเคียงไม่เป็นแบบคอนจูเกตจึงไม่เพียงพอที่จะช่วยทำให้เกิดการแห้งหรือแข็งตัว ในอากาศได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการเติมไซเลนเพื่อช่วยให้เกิดการแห้งตัว จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [29] พบว่ามีการใช้เมทอกซีไซเลนเพื่อช่วยในเรื่องการแห้งตัวโดยผสมสารเคลือบในอัตราส่วน DCNSL: ไซเลน: อีพอกซี คือ 10: 5: 20 (โดยน้ำหนัก) ซึ่งเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดทั้งในเรื่องของการแห้งตัว สมบัติการยึดติด สี และความมันเงา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีความสนใจในการศึกษาชนิดไซเลนเพื่อหาไซเลนชนิดที่มีอัตราการแห้งตัวเร็วที่สุด โดยได้เลือกไซเลน 3 ชนิดคือ เมทอกซีไซเลน เอทอกซีไซเลน และโพรพอกซีไซเลน มาทำการทดลอง โดยปัจจัยที่นำมาศึกษา ได้แก่ เวลาในการแห้งตัวและการยึดติด ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของชนิดไซเลนที่มีผลต่อเวลาในการแห้งตัวและการยึดเกาะของสารเคลือบ

สูตร ที่	ชนิดของ ไซเลน	ปริมาณ ของไซเลน (กรัม)	ปริมาณของ DCNSL (กรัม)	ปริมาณของ อีพอกซี (กรัม)	เวลาในการแห้งตัว (นาที)		การ ยึดติด
					TF ¹	HD ²	
1	Methoxy silane	5	10	20	38	74	5B
2	Ethoxy silane	5	10	20	69	204	5B
3	Propoxy silane	5	10	20	มากกว่า 24 ชั่วโมง	มากกว่า 24 ชั่วโมง	-

หมายเหตุ : ¹ TF = Tack-free dry คือการแห้งชั้นที่เมื่อใช้แรงกดลงไปบนผิวฟิล์มแล้วฟิล์มไม่อยู่ในสภาพเหนียวติด และไม่มีรอยนิ้วมือบนผิวฟิล์ม

² HD = Hard dry คือชั้นที่ฟิล์มแห้งแข็ง ทดสอบโดยกดนิ้วหัวแม่มือลงบนผิวฟิล์มแล้วหมุน แล้วฟิล์มไม่แตกร้าวหรือเสียหาย

จากตารางแสดงให้เห็นว่า เมทอกซีไซเลนมีอัตราการแห้งตัวที่เร็วที่สุด สมบัติการยึดติดเท่ากับ 5B เอทอกซีไซเลนมีอัตราการแห้งตัวที่ช้ากว่าเมทอกซีไซเลน แต่มีสมบัติการยึดติดเท่ากับเมทอกซีไซเลน ส่วนโพรพอกซีไซเลนไม่เกิดการแห้งตัว ทั้งนี้เนื่องจากหมู่เมทอกซีมีขนาดเล็กกว่าหมู่เอทอกซีและหมู่โพรพอกซี จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็ว ส่งผลให้ใช้เวลาในการแห้งตัวสั้นกว่า

4.3 การศึกษาเชิงเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและยางรักด้วยวิธีการทำลายรดน้ำ

4.3.1 การศึกษาปริมาณของไซเลนที่มีผลต่อระยะเวลาในการปิดทอง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [4] พบว่ายางรักสามารถใช้ในงานศิลปะได้หลายแขนง หนึ่งในนั้นคือ งานลายรดน้ำ และจากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ [6] เสนอว่า การทำลายรดน้ำใช้เวลาค่อนข้างนาน เนื่องจากต้องใช้ความประณีตสูง ดังนั้นสารเคลือบที่ใช้ในงานศิลปะแขนงนี้จะต้องมีระยะเวลาในการแห้งตัวที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ถ้าแห้งเร็วเกินไปก็จะไม่สามารถทำงานลายรดน้ำได้ทันเวลา อย่างไรก็ตาม การแห้งช้ามากก็จะทำให้ทองจม และเกิดรอยตำหนิบนชิ้นงานได้ง่าย

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองปิดทองหลังจากเช็ดด้วยสารเคลือบ ที่ระยะเวลาในการปิดทองและปริมาณไซเลนที่แตกต่างกันเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการเช็ดเพื่อปิดทอง โดยกำหนดปริมาณของไซเลน ดังนี้ 5 2 1 0.5 และ 0.25 กรัม ที่ระยะเวลาต่างกัน ดังนี้ 0 30 60 90 120 150 และ 180 นาที และเพื่อเป็นการลดขั้นตอนในการลงพื้นด้วยยางรัก ซึ่งใช้เวลาในการแห้งตัวช้า จึงนำแผ่นพลาสติกอะคริลิกสีดามาใช้ในการทดสอบแทนพื้นไม้ที่มีการลงรัก

4.3.1.1 การวัดความมันเงา

ในงานศิลปะโดยเฉพาะงานลายรดน้ำ ความมันเงาของทองมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสวยงามของชิ้นงาน ซึ่งความหนาของสารเคลือบที่ใช้เช็ดปิดทองมีผลโดยตรงกับความมันเงาของทองบนสารเคลือบ จึงจำเป็นที่จะต้องเช็ดสารเคลือบให้บางที่สุด

งานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบวัดความมันเงา (Gloss ที่ 60 และ 85 องศา) ของทองที่เช็ดด้วยสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่มีปริมาณไซเลนและระยะเวลาในการปิดทองที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลจากปริมาณของไซเลนที่มีต่อค่าความมั่นคงที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน

สูตร ที่	DCNSL : อีพอกซี	ปริมาณ ไซเลน (กรัม)	มุม	ความมั่นคงที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน (นาท)						
				0	30	60	90	120	150	180
1	10 : 20	5	60°	544.5	546.5	448	539.5	390.5	449	447.5
			85°	118	113.5	112.5	109	110	108.5	112.5
2	10 : 20	2	60°	615	546.5	588	449	520.5	573.5	566
			85°	121.5	117	124	104.5	111	113.5	117.5
3	10 : 20	1	60°	587.5	551	486	502	543.5	512	375
			85°	124	123.5	142	118.5	121.5	119	109
4	10 : 20	0.5	60°	546	538.5	479.5	603	466	467	451.5
			85°	119	116	114	123.5	109.5	110	107.5
5	10 : 20	0.25	60°	492.5	627	444	497	598.5	464.5	425.5
			85°	121.5	128	119	120	121	118	112
ยางรัก			60°	400	455.5	525.5	517.5	378	384	139.3
			85°	112	107.3	106.5	117.5	106.45	80.75	72.4

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าทุกสูตรมีความมั่นคงลดลงเมื่อระยะเวลาในการปิดทองเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับยางรักกับสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด สารเคลือบมีค่าความมั่นคงที่สูงกว่ายางรัก คาดว่ามีสาเหตุจากผลิตภัณฑ์ร่วมที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของยางรักกับทองเนื่องจากในยางรักมีสิ่งเจือปนปริมาณมากซึ่งอาจมีสารประกอบบางตัวที่ทำปฏิกิริยากับทอง แล้วทำให้ความมั่นคงของทองลดลง

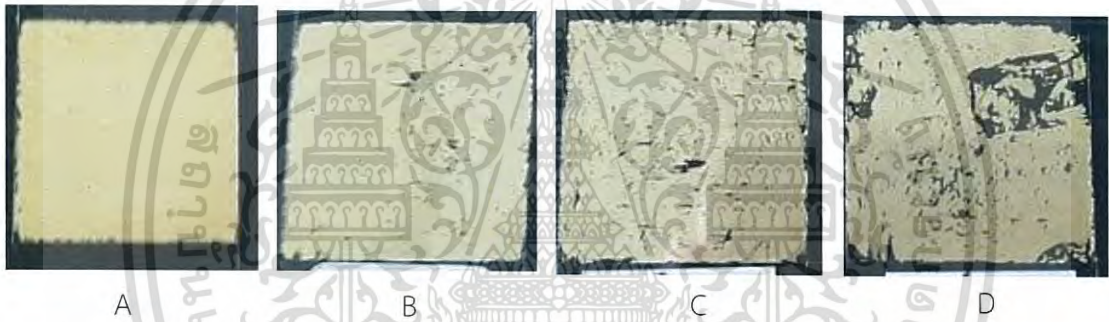
4.3.1.2 ลักษณะของทองที่หลุดที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน

งานลายรดน้ำที่สวยงาม จะต้องใช้ความประณีตสูงทำให้ใช้ระยะเวลานานในการทำงาน เพื่อให้เกิดลวดลายของทองที่มีความสมบูรณ์ ดังนั้นสารเคลือบที่ใช้ในการปิดทองควรที่จะสามารถปิดทองได้ตลอดระยะเวลาการทำงาน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของปริมาณไซเลนที่สามารถทำให้ปิดทองได้ตลอดระยะเวลาการทำงาน โดยได้ระบุเกณฑ์ลักษณะทองขึ้นมา เพื่อระบุผล ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลจากปริมาณไซเลนที่มีผลต่อลักษณะของทองที่หลุดที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน

สูตรที่	DCNSL : อีพอกซี	ปริมาณ ไซเลน (กรัม)	ลักษณะของทองที่หลุดที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน (นาท)						
			0	30	60	90	120	150	180
1	10 : 20	5	A	A	A	B	B	C	D
2	10 : 20	2	A	A	A	A	A	A	A
3	10 : 20	1	A	A	A	A	A	A	A
4	10 : 20	0.5	A	A	A	A	A	A	A
5	10 : 20	0.25	A	A	A	A	A	A	A
ยางรัก			A	A	A	A	A	B	C



รูปที่ 4.3 ลำดับการหลุดร่อนของทองบนสารเคลือบ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสูตรที่ 1 สามารถปิดทองโดยที่ยังมีลักษณะของทองสมบูรณ์ได้ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากมีปริมาณไซเลนมาก ทำให้มีระยะเวลาในการแห้งตัวที่เร็ว ทำให้หลังจากผ่านไปเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ทองจึงไม่สามารถติดบนสารเคลือบสูตรนี้ได้ ส่วนสูตรที่ 2 3 4 และ 5 สามารถปิดทองได้ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง เนื่องจากมีปริมาณไซเลนที่น้อยลง จึงทำให้สารเคลือบที่ใช้เซ็ดแห้งตัวช้าลง จึงสามารถปิดทองได้ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง ในส่วนของยางรักนั้นสามารถปิดทองได้ภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง คาดว่าเป็นผลจากการให้ความร้อนแก่ยางรักเพื่อกำจัดตัวทำละลายและน้ำ ทำใหยางรักเกิดเป็นพรีพอลิเมอร์บางส่วนและความหนืดเพิ่มขึ้น ยางรักที่ผ่านความร้อนนี้จึงมีอัตราการแห้งตัวที่เร็วกว่า 3 ชั่วโมง เมื่อยางรักแห้งตัวจึงทำให้ทองยึดติดอยู่บนยางรักได้ยากขึ้น ทำให้เกิดการหลุดร่อนของทอง แสดงให้เห็นว่าสูตรที่ 2 3 4 และ 5 เหมาะสมต่อการทำงานลายรดน้ำภายใน 3 ชั่วโมงเพราะมีระยะเวลาในการปิดทองมากกว่ายางรัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.3 การยัดติด

ในอุตสาหกรรมสารเคลือบ สมบัติการยัดติดเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาปริมาณของไซเลนที่มีผลต่อการยัดติด และบันทึกผลตามเกณฑ์ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 4.6 ผลจากปริมาณของไซเลนที่มีต่อค่าการยัดติดที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน

สูตรที่	DCNSL : อีพอกซี	ปริมาณ ไซเลน (กรัม)	ค่าการยัดติดที่ระยะเวลาในการปิดทองต่างกัน (นาท)						
			0	30	60	90	120	150	180
1	10 : 20	5	OB	OB	OB	OB	OB	OB	OB
2	10 : 20	2	OB	OB	OB	OB	OB	OB	OB
3	10 : 20	1	OB	OB	OB	OB	OB	OB	OB
4	10 : 20	0.5	OB	OB	OB	OB	OB	OB	OB
5	10 : 20	0.25	OB	OB	OB	OB	OB	OB	OB
ยางรัก			OB	OB	OB	OB	OB	OB	OB



OB

รูปที่ 4.4 ความบกพร่องของสารเคลือบจากการกริดเป็นตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ผลการทดลองคือ ทุกสูตรมีค่าการยึดติดเท่ากับ OB เนื่องจากแผ่นพลาสติกอะคริลิกมีพื้นผิวที่เรียบ สภาพผิวต่ำ ทำให้สารเคลือบไม่สามารถยึดติดกับแผ่นพลาสติกอะคริลิกได้ ดังนั้นไม่สามารถสรุปได้ว่า สารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดกับยางรักมีค่าการยึดติดที่แตกต่างกันบนพื้นแผ่นพลาสติกอะคริลิก

4.3.1.4 การทดสอบการทนน้ำร้อน

ชิ้นงานศิลปะต่างๆ ในบางครั้งมีโอกาสสัมผัสกับความร้อนและน้ำ ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพบนชิ้นงาน เช่น ความมันเงาลดลง ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการทนน้ำร้อนของสารเคลือบที่ส่งผลต่อลักษณะของทองบนสารเคลือบ ผลการทดสอบดังตาราง 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลจากปริมาณของโซเลนที่มีต่อลักษณะทองหลังการทดสอบการทนน้ำร้อน

สูตร ที่	DCNSL : อีพอกซี	ปริมาณ โซเลน (กรัม)	ลักษณะทองหลังการทดสอบการทนน้ำร้อน (นาที่)						
			0	30	60	90	120	150	180
1	10 : 20	5	ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความมันเงาลดลง						
2	10 : 20	2	ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความมันเงาลดลง						
3	10 : 20	1	ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความมันเงาลดลง						
4	10 : 20	0.5	ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความมันเงาลดลง						
5	10 : 20	0.25	ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความมันเงาลดลง						
ยางรัก			ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความมันเงาลดลง						

จากผลการทดสอบทำให้ทราบว่าลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลงแต่มีความมันเงาที่ลดลงในทุกๆ สูตรของสารเคลือบ คาดว่าเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจากการแช่ชิ้นงานในน้ำที่มีอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เกิดผลลิตภัณฑ์ร่วมที่อาจจะส่งผลต่อความมันเงา และทำให้ความมันเงาของทองลดลง

4.3.1.5 การทดสอบการทนความชื้น

ชิ้นงานลายรดน้ำที่เป็นงานจิตรกรรมต่างๆ เช่น ลายรดน้ำบนประติมากรรม มีโอกาสสัมผัสกับความชื้น เช่น จากน้ำฝน ซึ่งสามารถทำให้ชิ้นงานลายรดน้ำเกิดความเสียหาย ยกตัวอย่างเช่น ทองบนชิ้นงานเกิดการหลุดลอก ความมันเงาลดลง

งานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบการทนความชื้น โดยการนำชิ้นงานที่ปิดทองด้วยสารเคลือบแล้ว วางไว้ในห้องที่อิ่มตัวด้วยความชื้น เป็นเวลา 240 ชั่วโมง ที่สภาวะ 50 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 95% ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ในการใช้งานจริงของชิ้นงานลายรดน้ำ โดยการทดสอบนี้สังเกตที่ลักษณะของทอง ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลจากปริมาณของไซเลนที่มีต่อลักษณะทองหลังการทดสอบการทนความชื้น

สูตรที่	DCNSL : อีพอกซี	ปริมาณไซเลน (กรัม)	ลักษณะทองหลังการทดสอบการทนความชื้น (นาท)						
			0	30	60	90	120	150	180
1	10 : 20	5	ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง						
2	10 : 20	2	ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง						
3	10 : 20	1	ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง						
4	10 : 20	0.5	ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง						
5	10 : 20	0.25	ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง						
ยางรัก			ลักษณะของทองไม่เปลี่ยนแปลง						

จากการทดสอบ พบว่าลักษณะของทองหลังการทดสอบการทนความชื้นไม่แตกต่างกับชิ้นงานก่อนทำการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าความชื้นไม่มีผลกับสารเคลือบและทอง

4.3.2 การศึกษาผลของการปิดทองด้วยสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดบนสารเคลือบพื้นไม้ที่ต่างกัน

ในงานลายรดน้ำนิยมทำบนพื้นไม้ ซึ่งพื้นไม้มีพื้นผิวที่ขรุขระและมีรูพรุนสูง จึงนิยมทำการขัดหรือปิวไม้เพื่อเตรียมพื้นผิวให้เรียบก่อนการทาสารเคลือบ ในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาความแตกต่างของการเตรียมพื้นไม้ระหว่างการขัดกับการปิวไม้ที่มีผลต่อสารเคลือบที่ใช้ลงพื้นและปิดทอง

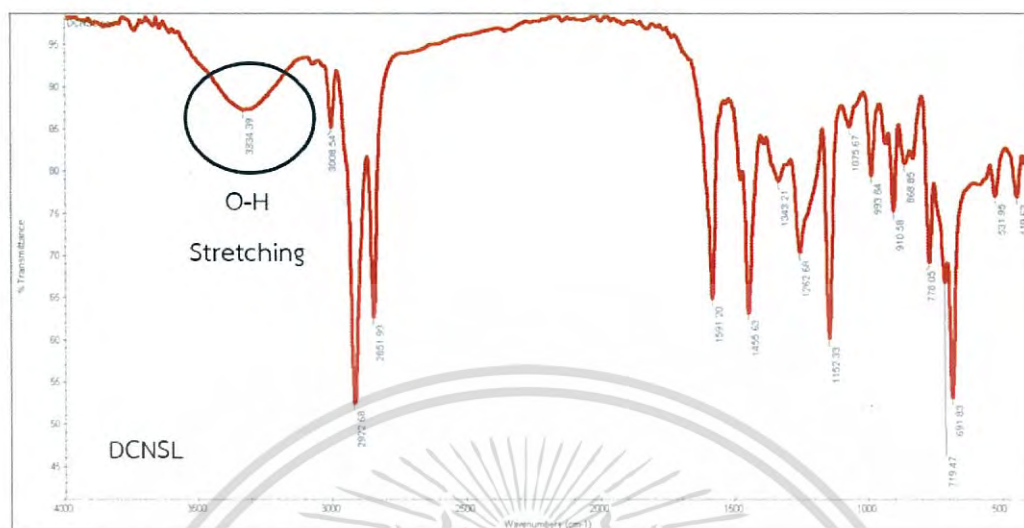
4.3.2.1 เวลาในการแห้งตัว

จากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ [6] กล่าวว่ายางรักใช้เวลาในการแห้งตัวนานและควรทายางรักบนชิ้นงานในฤดูฝนซึ่งมีความชื้นสูง สอดคล้องกับงานวิจัย [2] ซึ่งกล่าวถึงเอนไซม์แลคเคสที่ทำให้ยางรักแห้งตัว เอนไซม์แลคเคสทำงานได้ดีในบรรยากาศที่มีความชื้นสูง ถ้ามีความชื้นสูงจะทำให้ยางรักแห้งตัวได้เร็ว เพื่อลดระยะเวลาในการทำงานเนื่องจากยางรักแห้งตัวช้า จึงทำการโป้วไม้เพื่อลดจำนวนชั้นของการทายางรัก และลดเวลาในการแห้งตัวของยางรักให้น้อยลง แต่อย่างไรก็ตามยางรักยังคงใช้ระยะเวลาหนึ่งในการแห้งตัว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดเพื่อลดระยะเวลาในการทำงานลายรดน้ำ และทำการศึกษาความแตกต่างระหว่างสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดกับยางรักบนพื้นไม้ที่ทำการเตรียมพื้นไม้ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.9 ผลของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและการเตรียมพื้นไม้ที่มีผลต่อเวลาในการแห้งตัว

DCNSL : ไซเลน : อีพอกซี	การเตรียมพื้น	เวลาในการแห้งตัว (นาทีก)	
		TF	HD
10 : 5 : 20	ไม้โป้ว	56	100
	โป้ว	67	117
ยางรัก	ไม้โป้ว	~ 5760 (4 วัน)	~ 7200 (5 วัน)
	โป้ว	~ 2880 (2 วัน)	~ 4320 (3 วัน)

จากผลการทดลองพบว่า สารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดแห้งตัวได้เร็วกว่ายางรัก เนื่องจากยางรักแห้งตัวด้วยการทำงานของเอนไซม์แลคเคสและเอนไซม์แลคเคสทำงานได้ดีในสภาวะที่มีความชื้นเท่านั้น จึงทำให้มีข้อจำกัดในการแห้งตัว แต่สารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดแห้งตัวผ่านการทำปฏิกิริยาระหว่าง DCNSL ไซเลน และอีพอกซี งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด ที่ได้ด้วยเทคนิค FT-IR เพื่อคาดเดาโครงสร้างของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดโดยได้สเปกตรัมของสารแต่ละตัว ดังรูปที่ 4.5

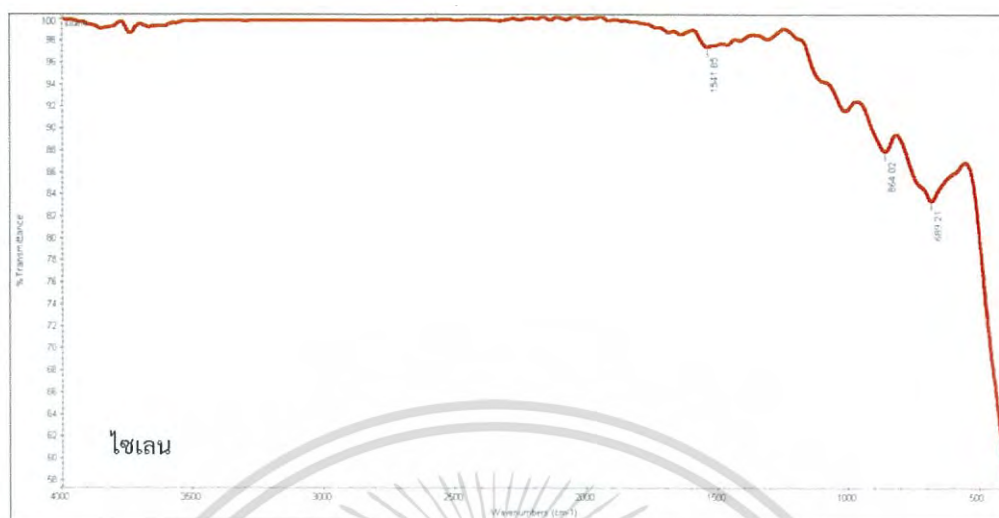


ก) สเปกตรัมของ DCNSL



ข) สเปกตรัมของอีพอกซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

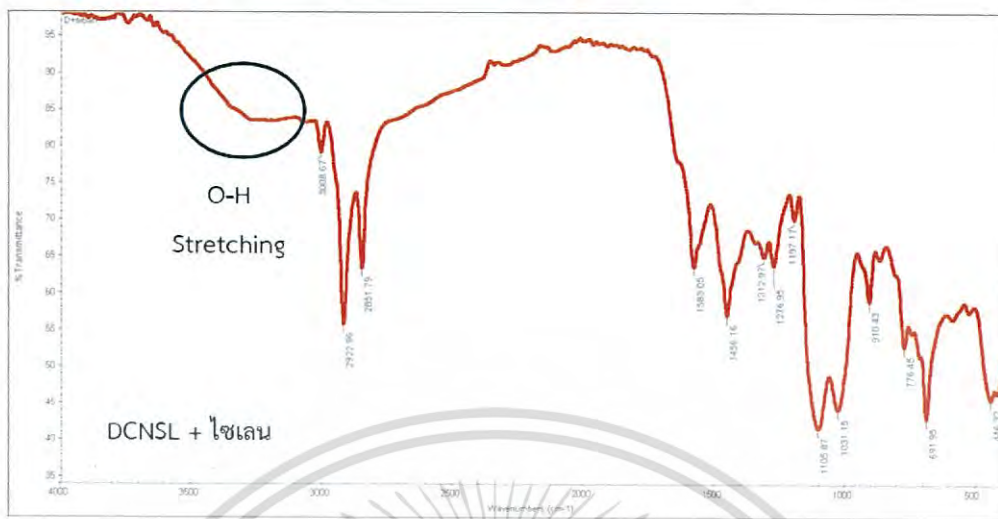


ค) สเปกตรัมของไหมเส้น

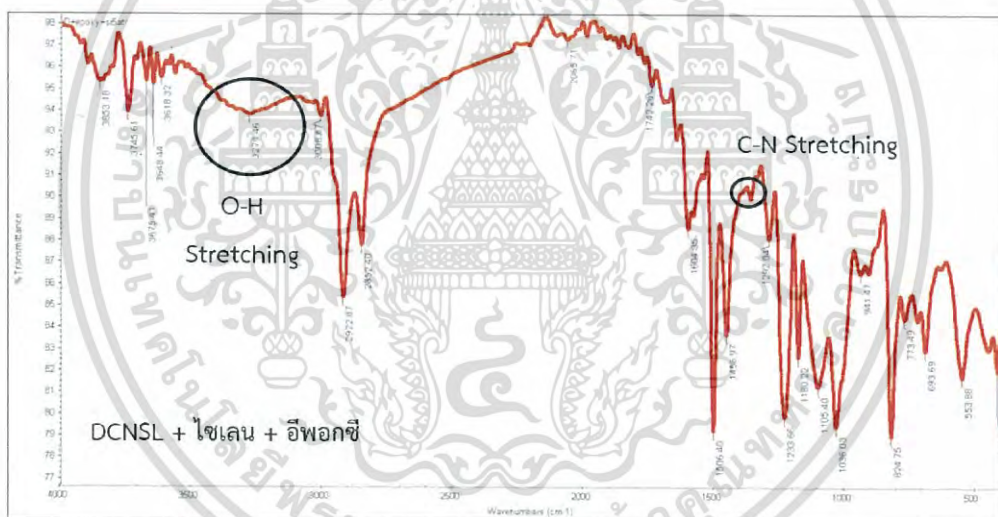


ง) สเปกตรัมของอีพอกซีผสมไหมเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จ) สเปกตรัมของ DCNSL ผสมไซเลน



ฉ) สเปกตรัมของ DCNSL ผสมไซเลน ผสมอีพอกซี

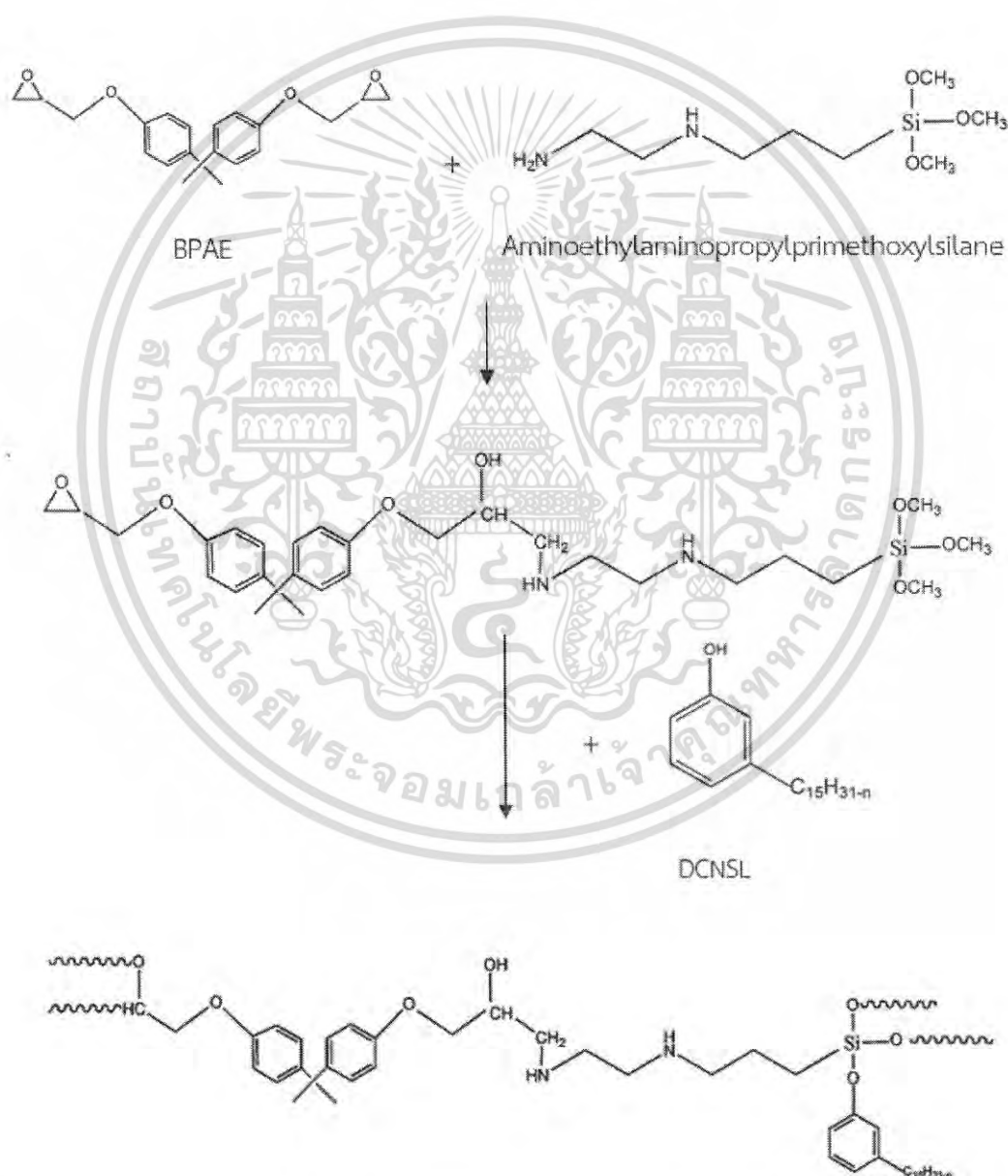
รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ก) สเปกตรัมของ DCNSL ข) สเปกตรัมของอีพอกซี ค) สเปกตรัมของไซเลน ง) สเปกตรัมของอีพอกซีผสมไซเลน จ) สเปกตรัมของ DCNSL ผสมไซเลน และ ฉ) สเปกตรัมของ DCNSL ผสมไซเลน ผสมอีพอกซี

จากรูปที่ 4.5 (ง) ซึ่งแสดงสเปกตรัมของอีพอกซีผสมไซเลน พบพีก C-N Stretching ที่ความยาวคลื่น 1360 cm^{-1} คาดได้ว่าเกิดพันธะคาร์บอน-ไนโตรเจน โดยการเปิดวงของหมู่อีพอกไซด์ที่ปลายของอีพอกซีกับหมู่เอมีนของไซเลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากรูปที่ 4.5 (จ) ซึ่งแสดงสเปกตรัมของ DCNSL ผสมไซเลน พบว่าที่พีคของ O-H Stretching ที่ความยาวคลื่นประมาณ 3300 cm^{-1} มีความชัดเจนลดลง เมื่อเทียบกับสเปกตรัมของ DCNSL (รูป 4.5 (ก)) แสดงให้เห็นว่าปริมาณของหมู่ไฮดรอกซีของ DCNSL มีปริมาณลดลง เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซีของคาร์ดานอลที่เป็นองค์ประกอบหลักของ DCNSL ทำปฏิกิริยากับปลายด้านหมู่ไตรเมทอกซีไซเลน

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดทำให้ทราบว่าเป็นไปตามสมมติฐานของงานวิจัย [8] ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 สมมติฐานกลไกที่คาดว่าจะเกิดปฏิกิริยาของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วง

หิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.9 สารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปร ระบบไฮบริดที่ทำการเตรียมพื้นไม้ด้วยการโป้วมีเวลาการแห้งตัวที่ช้ากว่าการเตรียมพื้นไม้ที่ไม่โป้ว เนื่องจากส่วนผสมที่ใช้ในการโป้วไม้ประกอบด้วยดินสอพอง กาวลาเท็กซ์ และน้ำ คาดว่าน้ำเข้าไป ชัดขวางการแห้งตัวผ่าน Free Radical ทำให้สารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดแห้งตัวช้าลง นอกจากนี้อาจเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไซเลน ชัดขวางการเกิดปฏิกิริยาของอีพอกซี ไซเลน และ DCNSL ส่งผลให้เวลาการแห้งตัวของสารเคลือบผิว จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดนานขึ้น ในส่วนของยางรักการเตรียม พื้นไม้ด้วยการโป้วมีเวลาในการแห้งตัวที่เร็วกว่าการเตรียมพื้นไม้ที่ไม่โป้ว คาดว่าเป็นผลจากความชื้น ในชั้นโป้ว ทำให้เอนไซม์แลคเคสทำงานได้ดีขึ้น จึงทำให้ยางรักแห้งตัวเร็ว

4.3.2.2 การวัดความหนา

ความหนาของสารเคลือบมีผลต่อสมบัติของสารเคลือบ จึงต้องทำการวัดและควบคุม ความหนาของสารเคลือบด้วยเครื่องวัดความหนาหรือ Coating thickness gauge ซึ่งใช้หลักการ เหนี่ยวนำของแม่เหล็ก ความหนาของสารเคลือบที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงความหนาของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิด ดัดแปรระบบไฮบริดบนชิ้นงานที่มีการเตรียมพื้นผิวแบบโป้วและไม่โป้ว

สูตรพื้น DCNSL : ไซเลน : อีพอกซี	การเตรียมพื้นผิว	ความหนา (μm)
10: 5: 20	ไม่โป้ว	142-143
	โป้ว	251-253

ในงานวิจัยนี้ได้ทำสารเคลือบบนไม้ที่มีการเตรียมพื้นผิวแบบไม่โป้วด้วยวิธีการทา ด้วยแปรงจำนวน 2 รอบ โดยรอบแรกเป็นการทาเพื่ออุดรูพรุนบนเนื้อไม้ แล้วทาครั้งที่ 2 เป็นการเพิ่มความหนาให้กับสารเคลือบ ส่วนบนไม้ที่มีการเตรียมพื้นผิวแบบโป้วจะทา 1 รอบ เพราะมีการใช้สาร โป้วเป็นชั้นที่อุดรูพรุนบนเนื้อไม้แล้ว โดยมีการปรับความหนืดของสารเคลือบให้ใกล้เคียงกันด้วยตัวทำ ละลายผสม บิวทิลอะซิเตต ไดไอโซบิวทิลคีโตน เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน และโซลเวซอล เอ150 เพื่อให้ สารเคลือบมีความหนาเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความหนาเฉลี่ย 142-143 ไมโครเมตรบนไม้ที่ไม่โป้ว และมีความหนาเฉลี่ย 251-253 ไมโครเมตร บนไม้ที่โป้ว

4.3.2.3 ความมั่นคง

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.2.1 แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่มีอัตราส่วน DCNSL : โซเลน : อีพอกซี คือ 10: 5: 20 ใช้เวลาในการแห้งตัวเร็วกว่ายางรัก งานวิจัยนี้จึงนำอัตราส่วนนี้มาใช้ในการลงพื้นไม้และทำการศึกษาผลของการปิดทองด้วยสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่มีผลต่อค่าความมั่นคง

ตารางที่ 4.11 ผลของการปิดทองด้วยสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่มีผลต่อค่าความมั่นคง

สูตรพื้น DCNSL : โซเลน : อีพอกซี	สูตรของสารเคลือบที่ใช้ในการปิดทอง DCNSL : โซเลน : อีพอกซี	การเตรียมพื้นผิว	ค่าความมั่นคง	
			60°	85°
10: 5: 20	สูตร 10: 5: 20	ไม่โป้ว	380.5	96.85
		โป้ว	340	79.05
	สูตร 10: 0.5: 20	ไม่โป้ว	495	105
		โป้ว	538	113.5
	ยางรัก	ไม่โป้ว	383	88.45
		โป้ว	383	81.5

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สูตรของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่ใช้ในการปิดทอง สูตรที่มีอัตราส่วน DCNSL : โซเลน : อีพอกซี คือ 10: 0.5: 20 เขียนแทนด้วยสูตร 10: 0.5: 20 มีค่าความมั่นคงสูงกว่าสูตรของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่ใช้ในการปิดทองสูตรที่มีอัตราส่วน DCNSL : โซเลน : อีพอกซี คือ 10: 5: 20 เขียนแทนด้วยสูตร 10: 5: 20 และยางรักตามลำดับ

เนื่องจากสูตร 10: 0.5: 20 ใช้เวลาในการแห้งตัวช้า ฟิล์มที่เกิดขึ้นจึงมีความเรียบทำให้ปิดทองแล้วส่งผลให้ทองมีความมั่นคงสูง ส่วนสูตร 10 : 5: 20 และยางรักใช้เวลาในการแห้งตัวเร็ว ฟิล์มที่เกิดขึ้นมีการหดตัวสูง ทำให้มีพื้นผิวที่ขรุขระ เมื่อปิดทองแล้วส่งผลให้ทองมีความมั่นคงต่ำ ส่วนผลของการเตรียมพื้นที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าความมั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.4 การยึดติด

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.1.3 พบว่าทองไม่สามารถยึดติดบนแผ่นอะคริลิกเนื่องจากแผ่นอะคริลิกมีพื้นผิวที่เรียบ จึงทำการทดลองหาค่าการยึดติดของทองบนสารเคลือบ DCNSL ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด บนพื้นผิวไม้ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวก่อนทาสารเคลือบ (โป๊วและไม่โป๊ว) ได้ผลดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลของการปิดทองด้วยสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่มีผลต่อค่าการยึดติด

สูตรพื้น DCNSL : ไสเลน : อีพอกซี	สูตรของสารเคลือบที่ใช้ใน การปิดทอง DCNSL : ไสเลน : อีพอกซี	การเตรียม พื้นผิว	ค่าการยึดติด
10: 5: 20	สูตร 10: 5: 20	ไม่โป๊ว	1B
		โป๊ว	1B
	สูตร 10: 0.5: 20	ไม่โป๊ว	1B
		โป๊ว	1B
	ยางรัก	ไม่โป๊ว	0B
		โป๊ว	0B
ยางรัก	สูตร 10: 5: 20	ไม่โป๊ว	1B
		โป๊ว	1B
	สูตร 10: 0.5: 20	ไม่โป๊ว	1B
		โป๊ว	1B
	ยางรัก	ไม่โป๊ว	0B
		โป๊ว	0B

จากผลการทดลองพบว่าการใช้สารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดในการปิดทองทำให้ทองมีการยึดติดที่สูงกว่าการใช้ยางรักปิดทองเห็นได้จากทองที่ไม่หลุดลอกหลังการทดสอบ คาดว่าเป็นเพราะในสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด มีพันธะเมทอกซีที่หมู่ปลายของไสเลนเหลืออยู่ ทำปฏิกิริยากับทองทำให้เกิดพันธะโลหะ (Metal bond) กับทอง ทำให้ระหว่างทองและสารเคลือบ DCNSL ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดมีการยึดติดสูงกว่าการยึดติดระหว่างทองและยางรัก โดยบนพื้นที่ทาด้วยสารเคลือบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและยางรักมีค่าการยึดติดของทองที่ไม่แตกต่างกัน

4.3.3 การศึกษาการเติมคาร์บอนแบล็คเพื่อปรับปรุงสีของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดสำหรับพื้นไม้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [4] และคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ [6] กล่าวไว้ว่ายางรักภายหลังจากการกรีดน้ำยางออกมาจากต้นรัก เมื่อสัมผัสกับอากาศและถูกบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่เป็นโลหะนั้น ส่งผลให้น้ำยางรักมีสีดำ ในงานวิจัยจึงทำการผสมสีให้กับสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดให้มีสีดำเหมือนกับยางรักโดยใช้คาร์บอนแบล็คซึ่งเป็นสารตัวเติม (Fillers) ในโรงงานอุตสาหกรรม ให้ผลดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงสีของสารเคลือบ ก) สูตร 10: 5: 20 ข) สูตร 10: 5: 20 ผสมคาร์บอนแบล็ค และ ค) ยางรัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองสามารถระบุได้ว่า สารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดมีข้อได้เปรียบในการใส่สี สามารถทำให้มีสีดำนเรียบแบร็กได้ โดยใส่คาร์บอนแบล็คและสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agents) แต่คาร์บอนแบล็คกระจายตัวไม่ดี สีที่ได้จึงมีความดำไม่เพียงพอ คาดว่าปริมาณของคาร์บอนแบล็ค และเครื่องปั่นกวนที่ใช้ไม่เหมาะสม กล่าวคือ มีแรงเฉือน (Shear force) ที่ไม่มากพอสำหรับการปั่นกวนให้เข้ากัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นได้ในการใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดเพื่อทดแทนหรือปรับปรุงสมบัติให้เที่ยงเคียงกับยางรัก สำหรับใช้เป็นสารเคลือบในงานลายรดน้ำเพื่อลงพื้นและปิดทอง โดยประเด็นศึกษาในงานวิจัยนี้มีอยู่ 2 หัวข้อ ได้แก่ การศึกษาผลของชนิดไซเลนที่มีต่อสมบัติของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด และการศึกษาเชิงเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและยางรักด้วยวิธีการทำลายรดน้ำ โดยสามารถสรุปผลการทดลองที่ได้ในแต่ละประเด็นศึกษาดังนี้

การตรวจสอบคุณภาพของ CNSL ที่นำไปผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน เป็น DCNSL พบว่า มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นและจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าไม่ปรากฏพีก C=O Stretching ของหมู่คาร์บอกซิลิก ใน DCNSL และพบความเข้มของพีกของ O-H Stretchig เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ CNSL แสดงให้เห็นว่าการดองคาร์ดิกที่เป็นองค์ประกอบหลักของ CNSL ถูกเปลี่ยนเป็นคาร์ดานอลด้วยกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน

จากการศึกษาผลของชนิดไซเลนในการเตรียมสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดสำหรับพื้นไม้ โดยทำการผสมสารเคลือบในอัตราส่วน DCNSL: ไซเลน: อีพอกซี คือ 10: 5: 20 (โดยน้ำหนัก) พบว่าไซเลนชนิดเมทอกซีไซเลน ทำให้ได้สารเคลือบที่มีระยะเวลาในการแห้งตัวแบบ Hard dry (HD) ที่ 74 นาทีและมีอัตราการแห้งตัวที่เร็วกว่าไซเลนในกลุ่มของเอทอกซีและโพรพอกซี โดยพบว่าความแข็งแรงในการยึดติดบนชิ้นงานอยู่ที่ระดับ 5B

จากการศึกษาผลของปริมาณไซเลนที่แตกต่างกันเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการใช้เพื่อปิดทองในงานลายรดน้ำ พบว่าสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่ใช้ปริมาณไซเลนที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 2 1 0.5 และ 0.25 กรัมตามลำดับ สามารถปิดทองทับบนสารเคลือบได้ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยที่ลักษณะแผ่นของทองสมบูรณ์และไม่จม และยังพบว่าสารเคลือบดังกล่าวมีระยะเวลาที่สามารถปิดทองได้มากกว่ายางรักที่ต้องทำการปิดทองให้เสร็จภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมงเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าทุกอัตราส่วนของไซเลนที่ใช้ในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริด ความมันเงาของทองที่ใช้ปิดบนผิวฟิล์มมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับความมันเงาของทองที่ปิดบนยางรัก การทดสอบการยึดติด ทดสอบการทนน้ำร้อนและทดสอบการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทนความชื้นของทองที่ปิดบนสารเคลือบ พบว่าสารเคลือบทุกสูตรรวมถึงยางรักที่ทาบนแผ่นอะคริลิก พบว่ามีค่าการยึดติด OB (ทองไม่สามารถยึดติดกับผิวฟิล์มของสารเคลือบได้) ผลทดสอบการทนน้ำร้อนพบว่าสารเคลือบทุกสูตรรวมถึงยางรัก ไม่สามารถทนน้ำร้อนได้สังเกตได้จากความมันเงาที่ลดลงของทอง และจากการทดสอบการทนความชื้นพบว่าสารเคลือบทุกสูตรรวมถึงยางรักสามารถทนความชื้นได้

จากการศึกษาผลของการปิดทองระหว่างสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดและยางรักบนพื้นไม้ ทั้งการเตรียมพื้นผิวไม้แบบโป๊วกับไม่โป๊ว พบว่าบนพื้นไม้ที่มีการเตรียมผิวแบบไม่โป๊ว สารเคลือบจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่อัตราส่วน DCNSL :ไซเลน : อีพอกซี เท่ากับ 10: 5: 20 มีระยะเวลาในการแห้งตัวแบบ Hard dry (HD) ที่ 100 นาที และมีระยะเวลาในการแห้งตัวแบบ Hard dry (HD) ที่ 117 นาที บนพื้นไม้ที่มีการเตรียมพื้นผิวแบบโป๊ว โดยพบว่าสารเคลือบดังกล่าวมีระยะเวลาการแห้งตัวเร็วกว่ายางรัก นอกจากนี้ยังพบว่า การเตรียมพื้นผิวแบบโป๊วบนชิ้นงานไม้ก่อนนำไปเคลือบด้วยสารเคลือบ มีผลต่อระยะเวลาการการแห้งตัวของสารเคลือบ โดยพบว่าสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่ทาบนไม้ที่มีการเตรียมผิวชิ้นงานด้วยการโป๊วให้อัตราการแห้งตัวที่ช้ากว่าสารเคลือบที่ทาบนพื้นไม้แบบไม่โป๊ว จากการเตรียมสารเคลือบมีการควบคุมความหนืดของสารเคลือบให้มีความหนืดใกล้เคียงเพื่อให้สารเคลือบบนพื้นไม้ที่ไม่โป๊วมีความหนา 142-143 ไมโครเมตร บนพื้นไม้ที่โป๊วมีความหนา 251-253 ไมโครเมตร จากการศึกษาผลความมันเงาของทองที่ติดบนน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่อัตราส่วนของไซเลนที่แตกต่างกัน พบว่า สูตร 10: 0.5: 20 มีค่าความมันเงาสีสูงกว่าสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดสำหรับเซตเพื่อปิดทองสูตร 10: 5: 20 และสูงกว่ายางรัก โดยการเตรียมพื้นผิวที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าความมันเงา จากผลการทดสอบการยึดติดพบว่าทองที่ติดด้วยสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดมีค่าการยึดติดสูงกว่าทองที่ติดด้วยยางรัก โดยให้ผลที่ไม่แตกต่างกันบนพื้นไม้ที่ทาด้วยสารเคลือบจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดที่อัตราส่วน DCNSL :ไซเลน : อีพอกซี เท่ากับ 10: 5: 20 และบนพื้นไม้ที่ทาด้วยยางรัก และจากผลการทดลองใส่สีลงในสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดพบว่าสามารถทำได้ นอกจากนี้ยังพบว่า การทดลองใส่สีลงในสารเคลือบผิวจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดพบว่าสามารถทำได้แต่เครื่องมือที่ใช้ในการบดคาร์บอนแบล็คยังมีแรงเฉือนและเวลาที่ไมเพียงพอที่จะทำให้คาร์บอนแบล็คมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอนเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้บดมีแรงเฉือนที่ต่ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สีของสารเคลือบที่ผสมคาร์บอนแบล็คยังมีความดำไม่เพียงพอไม่เท่ากับยางรัก ควรใส่ปริมาณคาร์บอนแบล็คเพิ่มขึ้นและใช้เครื่องปั่นกวนที่มีแรงเฉือน (Shear force) สูงๆ เพื่อสามารถปั่นกวนสารให้เข้ากันได้อย่างดี
2. ปรับปรุงสารทำความสะอาดแรงที่ใช้หาสารเคลือบให้สามารถล้างแปรงได้สะอาด
3. ปรับปรุงให้สามารถใช้สารเคลือบสูตรสำหรับพื้นไม้ และสูตรสำหรับเช็ดเพื่อปิดทองเป็นสูตรเดียวกัน เช่นเดียวกับยางรัก
4. ปรับปรุงสมบัติให้เกิดการยึดติดระหว่างทองกับสารเคลือบดีขึ้น
5. ปรับปรุงระบบตัวทำละลาย (solvents) ไม่ให้มีกลิ่นฉุน
6. ศึกษาและวิจัยให้ละเอียดมากขึ้นในเรื่องความหนาของสารเคลือบสูตรพื้นและสูตรเช็ด



เอกสารอ้างอิง

- [1] Coline Voirin, Sylvain Caillol, Nilakshi V. Sadavarte, Bhausahab, Tawade, Bernard Boutevin and Prakash P. Wadgaonkar. 2557. **Functionalization of cardanol: towards biobased polymers and additives.** Polymer Chemistry. 5 : 3142-3162.
- [2] Rong Lu, Takashi Yoshida and Tetsuo Miyakoshi. 2556. **Oriental Lacquer: A Natural Polymer.** Taylor & Francis Group. 53 : 153-191.
- [3] วิชาญ เอียดทอง. 2561. **ความหลากหลายชนิดของพรรณไม้ให้ยางรัก.** [Online]. Available : www.oamc.ku.ac.th/knowledge/02-june/01.pdf.
- [4] กรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม. 2551. **สัมมนาวิชาการ ศึกษายางรักเพื่ออนุรักษ์ภูมิปัญญาไทยอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. พิมพ์ครั้งแรก. : บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).**
- [5] 2561. **ลายน้ำทอง11.** [Online]. Available : https://sites.google.com/site/phrathirsakdi/_/rsrc/1467126708735/sthapatykrmm-wad-phi-chynt/%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%97%E0%B8%AD%E0%B8%8711.jpg?height=667&width=408.
- [6] สนั่น รัตนะ. ให้สัมภาษณ์, 28 ธันวาคม 2560. คณิตดา เมณฑกุล, ฐิติพร จิรานุวัฒน์วงศ์, อรุณฯ อัจฉริยวงศ์เมธี ผู้สัมภาษณ์. **ประวัติยางรัก, วัตถุดิบและวิธีการทำลายรดน้ำ.** วิทยาลัยช่างศิลป์ ลาดกระบัง.
- [7] Dinesh Balgude, Anagha S. Sabins. 2557. **CNSL: an environment friendly for the modern coating industry.** J. Coat. Technol. Res., 11(2) 169-183.
- [8] วารุณี รอดเรืองศรี, ศิริวรรณ ถาวรพฤกษ์ และสุชัยญา เตโชพิพัฒน์. 2558. **การพัฒนาสารเคลือบไม้จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปรไฮบริดอีพอกซีไซเลนแบบไม่ใช้สารเร่งแห้งโลหะ. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.**
- [9] อรุษา สรวารี. 2539. **สารเคลือบผิว (สี วานิช และแลคเกอร์).** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] ภัทราวุธ มนต์วิเศษ. 2560. **Biopolymer.** คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] 2561. **Linoleic acid shorthand formula**. [Online]. Available :
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linoleic_acid_shorthand_formula.PNG.
- [12] 2561. **Palmitic acid shorthand formula**. [Online]. Available :
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palmitic_acid_shorthand_formula.PNG.
- [13] The Editors of Encyclopædia Britannica. 2561. **Alkyd resin**. [Online]. Available :
<https://www.britannica.com/science/alkyd-resin>.
- [14] 2561. **Dispersant**. [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org/wiki/Dispersant>.
- [15] Chanda, M. Roy, S.K. 2549. **Plastic Technoogy Handbook**. 4th ed. Newyork :
 CRC Press.
- [16] พจน์ สัจจะ. 2560. **มะม่วงหิมพานต์**. [Online]. Available :
<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%AB%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C>.
- [17] 2559. **ผลมะม่วงหิมพานต์**. [Online]. Available :
<https://hottopic.postjung.com/data/651/651126.rqv6qknn5.n3.jpg>.
- [18] 2554. **เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์**. [Online]. Available :
<https://www.bloggang.com/data/plaipanpim/picture/1298713300.jpg>.
- [19] สัมฤทธิ์ เพื่องจันทร์ และ อารัง เปรมปรีดิ์. 2532. **การผลิตมะม่วงหิมพานต์**. [Online].
 Available : https://home.kku.ac.th/rdi/media/m_res_pub/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%AB%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C_wi.pdf.
- [20] Damodhar J Garkal and Ramesh S Bhande. **REVIEW ON EXTRACTION AND ISOLATION OF CASHEW NUT SHELL LIQUID**. NOVATEUR PUBLICATIONS. 2557(1).
- [21] Rodriguez, F. Kauffman, G. B. Bierwagen, G. P. Stevens, M. P. Gent, A. N. and Preston J. 2561. **Major industrial polymers**. [Online]. Available :
<https://www.britannica.com/topic/industrial-polymers-468698/Unsaturated-polyesters#ref608761>.

[22] Materne, T. Buyl, F.d. Witucki G.L. 2561. **Organosilane Technology in Coating**

Application : Review and Perspectives. [Online]. Available :

http://www.academia.edu/10140050/Organosilane_Technology_in_Coating_Applications_Review_and_Perspectives.

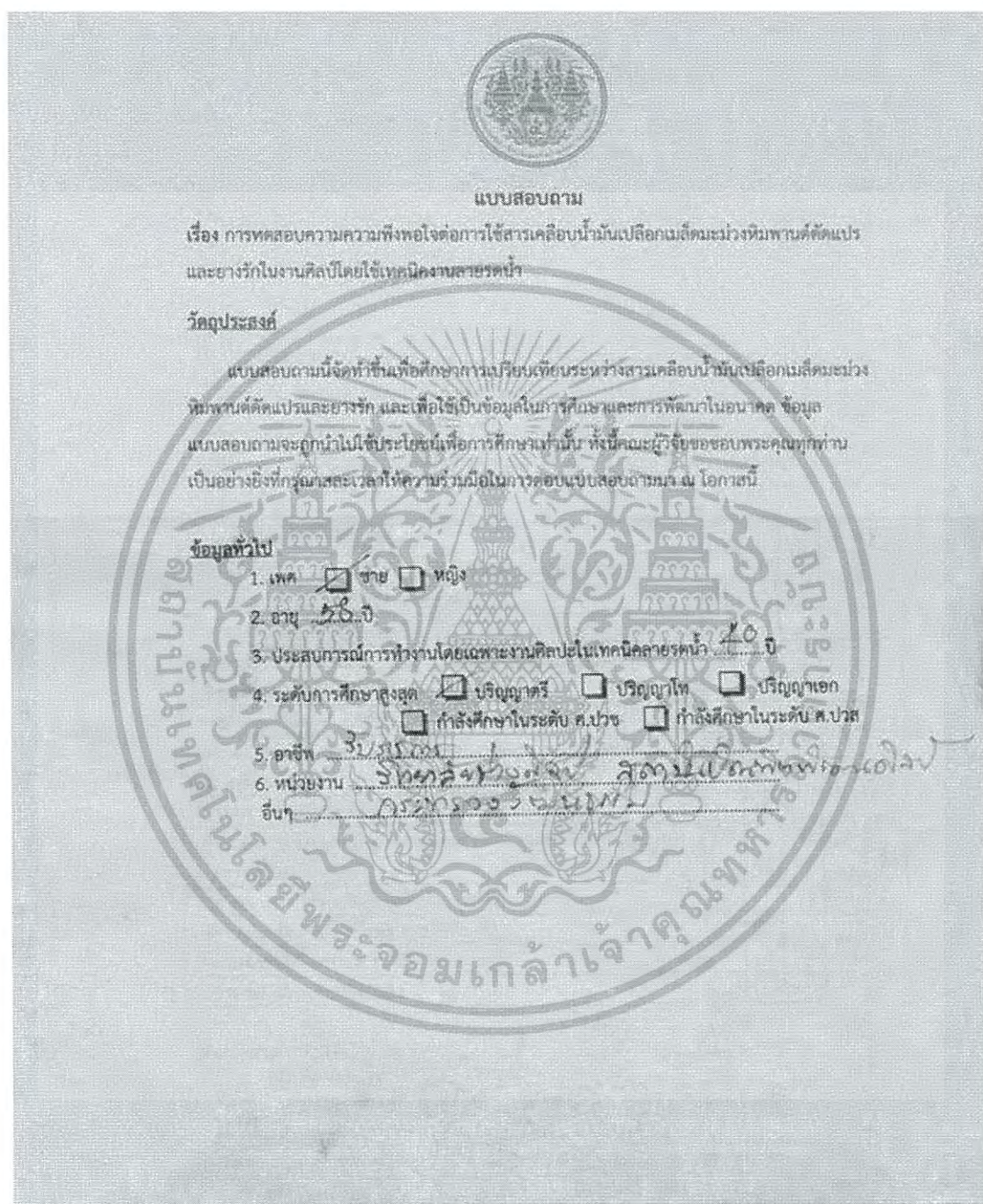
- [23] ประพิศ ประคุณหังสิต. 2560. “รัก” ต้นไม้มหัศจรรย์. [Online]. Available : lib.dss.go.th/fulltext/dss_j/2537_42_135_p12-14.pdf.
- [24] Ma, X. Lu, R. and Miyakoshi, T. Recent Advances in Research on Lacquer Allergy. Allergology International. 2555(61) : 45-50.
- [25] กมล สุวฒโฑ, พัทธี ผลานุรักษา, สนั่น รัตนะ, นเรศวร ฤชมงคล, นิมิตร รอดรับบุญ, สิขเรศ ศิริไพบุลย์,บุญพาด ชั่งคะมะโน, บุญนาย ซาเฮียง, จริญญา หนองบัว, บดินทร์ สิงห์เสนี, วิรัตน์ พูลศิริ, พจมาลย์ จิตติวงศ์สมาน และจริยา ธรรมบุญ. 2548. ลายรดน้ำกับพัฒนาการ. กรุงเทพฯ : รุ่งศิลป์การพิมพ์ (๑๙๗๗).
- [26] 2561. ช่างสิบหมู่. [Online]. Available : <https://guru.sanook.com/15868/>.
- [27] ไทยรัฐ. 2557. ศาสตร์แห่งงานลายรดน้ำ. วิถีทัศน์. กรุงเทพฯ : ไทยรัฐ.
- [28] อิทธิพล แจ่มชัด. 2561. อินเทอร์เน็ตระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์. วัสดุคอมโพสิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [29] กันทามาศ โพนนา, ชนิกานต์ จันทร์จิรานนท์ และชุตินณชน สุวดีกุล. 2557. การศึกษาสารเคลือบไม้จากน้ำมันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ชนิดดัดแปร. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [30] Honda, T. Ma, X. Lu, R. Kanamori, D. and Miyakoshi, T. Preparation and Characterization of a New Lacquer Based on Blending Urushiol with Thitsiol. Journal of Applied Polymer Science. 2554(121) : 2734-2742.
- [31] Takashi Tsujimoto, Nobuyuki Ando, Hiroshi Uyama และ Shiro Kobayashi. 2550. Laccase - Catalyzed Curing of Natural Phenolic Lipids and Product Properties. Taylor & Francis Group. 44. 1055-1060.
- [32] 2561. น้ำยาหรดาล. [Online] Available : <https://www.doctor.or.th/article/detail/7528>).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1



แบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบความพึงพอใจต่อการใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์คัดแปร
และยางรักในงานศิลป์โดยใช้เทคนิคงานลายรดน้ำ

วัตถุประสงค์

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างสารเคลือบน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วง
หิมพานต์คัดแปรและยางรัก และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาและการพัฒนาในอนาคต ข้อมูล
แบบสอบถามจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ทั้งนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่าน
เป็นอย่างยิ่งที่กรุณาเสียเวลาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามนี้ ขอการสนัน

ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ ☒ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ ๕๖ ปี

3. ประสบการณ์การทำงานโดยเฉพาะงานศิลปะในเทคนิคลายรดน้ำ ๔๐ ปี

4. ระดับการศึกษาสูงสุด ☒ บริญญาตรี ☐ บริญญาโท ☐ บริญญาเอก
☐ กำลังศึกษาในระดับ ค.บวช ☐ กำลังศึกษาในระดับ ศ.บวช

5. อาชีพ 31/11/2561

6. หน่วยงาน วัดมหาธาตุยุวราชรังสฤษฎิ์ราชวรมหาวิหาร กรุงเทพมหานคร

อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำชี้แจง

1. กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ท่านต้องการเลือกและเติมข้อความหรือตัวเลขลงในช่องว่างที่กำหนดให้

5 มากที่สุด 4 มาก 3 ปานกลาง 2 น้อย 1 น้อยที่สุด

หัวข้อที่ประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ด้านกายภาพ					
- ความพึงพอใจต่อกลิ่นของสารเคลือบ	✓				
- ความพึงพอใจต่อสีของสารเคลือบ	✓				
- ความพึงพอใจต่อความหนืดของสารเคลือบ เช่น สามารถปรับความหนืดให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานได้ง่าย	✓				
- ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ต่อผู้ใช้งาน			✓		
- ความยากง่ายในการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำมันสนหรือตัวทำละลายได้		✓			
2. ด้านคุณสมบัติการปฏิบัติงานสายร่นน้ำ					
- ความยากง่ายในการทาสารเคลือบ		✓			
- สามารถควบคุมการแห้งตัวของยางรักให้เหมาะสมกับการใช้งานในการเตรียมพื้น และการเชื่อมเพื่อปิดทอง			✓		
- การยึดติดเนื้อทองคำเปลวกับวัสดุผิวมัน	✓				
- ความสวยงามของสารเคลือบบนพื้น (ความเรียบ ความสม่ำเสมอ รอยแปรง ฯลฯ)			✓		
- ความเงาแวววาวของเนื้อทองคำเปลว			✓		
- ความยากง่ายคือความสามารถหลุดออกพร้อมกับน้ำยาหาคาลเมื่อถูกน้ำหรือความชื้นสูง			✓		
- ทองคำเปลวสามารถยึดติดได้กับวัสดุผิวมันที่มีรายละเอียด	✓				
- สารเคลือบมีการแห้งตัวหลังปิดทองแล้ว			✓		
- ความพึงพอใจในการปิดพื้นไม้ (Shielding)			✓		
- ความคมชัดของลายที่ปิดทอง	✓				

ข้อเสนอแนะ / ข้อคิดเห็นอื่น ๆ

เครื่องวัดอุณหภูมิ
 ① แบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานสั้น / ใช้งานได้นานกว่า
 ② หากทาสารเคลือบแล้ว ควรใช้กระดาษทรายขัดพื้นก่อน
 ③ วัสดุผิวมันบางชนิด อาจมีปัญหาในการติดทองคำเปลวได้
 ④ วัสดุผิวมันบางชนิด อาจมีปัญหาในการติดทองคำเปลวได้
 ⑤ วัสดุผิวมันบางชนิด อาจมีปัญหาในการติดทองคำเปลวได้
 ⑥ วัสดุผิวมันบางชนิด อาจมีปัญหาในการติดทองคำเปลวได้
 ⑦ วัสดุผิวมันบางชนิด อาจมีปัญหาในการติดทองคำเปลวได้
 ⑧ วัสดุผิวมันบางชนิด อาจมีปัญหาในการติดทองคำเปลวได้
 ⑨ วัสดุผิวมันบางชนิด อาจมีปัญหาในการติดทองคำเปลวได้
 ⑩ วัสดุผิวมันบางชนิด อาจมีปัญหาในการติดทองคำเปลวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 2



แบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบความพึงพอใจต่อการใช้สารเคลือบน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปรและยางรักในงานศิลป์โดยใช้เทคนิคงานลายรดน้ำ

วัตถุประสงค์

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างสารเคลือบน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดัดแปรและยางรัก และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาและการพัฒนาในอนาคต ข้อมูลแบบสอบถามจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ทั้งนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่งที่กรุณาสละเวลาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามมา ณ โอกาสนี้

ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ ☐ ชาย ☒ หญิง
2. อายุ 27 ปี
3. ประสบการณ์การทำงานโดยเฉพาะงานศิลปะในเทคนิคลายรดน้ำ 12 ปี
4. ระดับการศึกษาสูงสุด ☐ ปริญญาตรี ☒ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก
กำลังศึกษาในระดับ ศ.บวช ☐ กำลังศึกษาในระดับ ศ.บส
5. อาชีพ อาจารย์ ☐ ครู ☒ ศิลปิน
6. หน่วยงาน วิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำชี้แจง

1. กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ท่านต้องการเลือกและเติมข้อความหรือตัวเลขลงในช่องว่างที่กำหนดให้

5 มากที่สุด 4 มาก 3 ปานกลาง 2 น้อย 1 น้อยที่สุด

หัวข้อที่ประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ด้านกายภาพ					
- ความพึงพอใจต่อกลิ่นของสารเคลือบ		✓			
- ความพึงพอใจต่อสีของสารเคลือบ		✓			
- ความพึงพอใจต่อความหนืดของสารเคลือบ เช่น สามารถปรับความหนืดให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานได้ง่าย	✓				
- ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ต่อผู้ใช้งาน	✓				
- ความยากง่ายในการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำมันสนหรือตัวทำละลายได้	✓				
2. ด้านคุณสมบัติการปฏิบัติงานลายรดน้ำ					
- ความยากง่ายในการทาสารเคลือบ	✓				
- สามารถควบคุมการแห้งตัวของยางรักให้เหมาะสมกับการใช้งานในการเตรียมพื้น และการขีดเพื่อปิดทอง	✓				
- การยึดติดเนื้อทองคำเปลวกับวัสดุผิวมัน	✓				
- ความสวยงามของสารเคลือบบนพื้น (ความเรียบ ความสม่ำเสมอ รอยแปรง ฯลฯ)	✓				
- ความเงาแวววาวของเนื้อทองคำเปลว					
- ความยากง่ายต่อความสามารถหลุดออกพร้อมกับน้ำยาทำความสะอาดเมื่อถูกน้ำหรือความชื้นสูง	✓				
- ทองคำเปลวสามารถยึดติดได้ในวัสดุลายที่มีรายละเอียด					
- สารเคลือบมีกาวแห้งตัวหลังปิดทองคำเปลว					
- ความพึงพอใจในการปิดพื้นไม้ (Shielding)	✓				
- ความคมชัดของลายที่ปิดทอง	✓				

ข้อเสนอแนะ / ข้อคิดเห็นอื่นๆ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

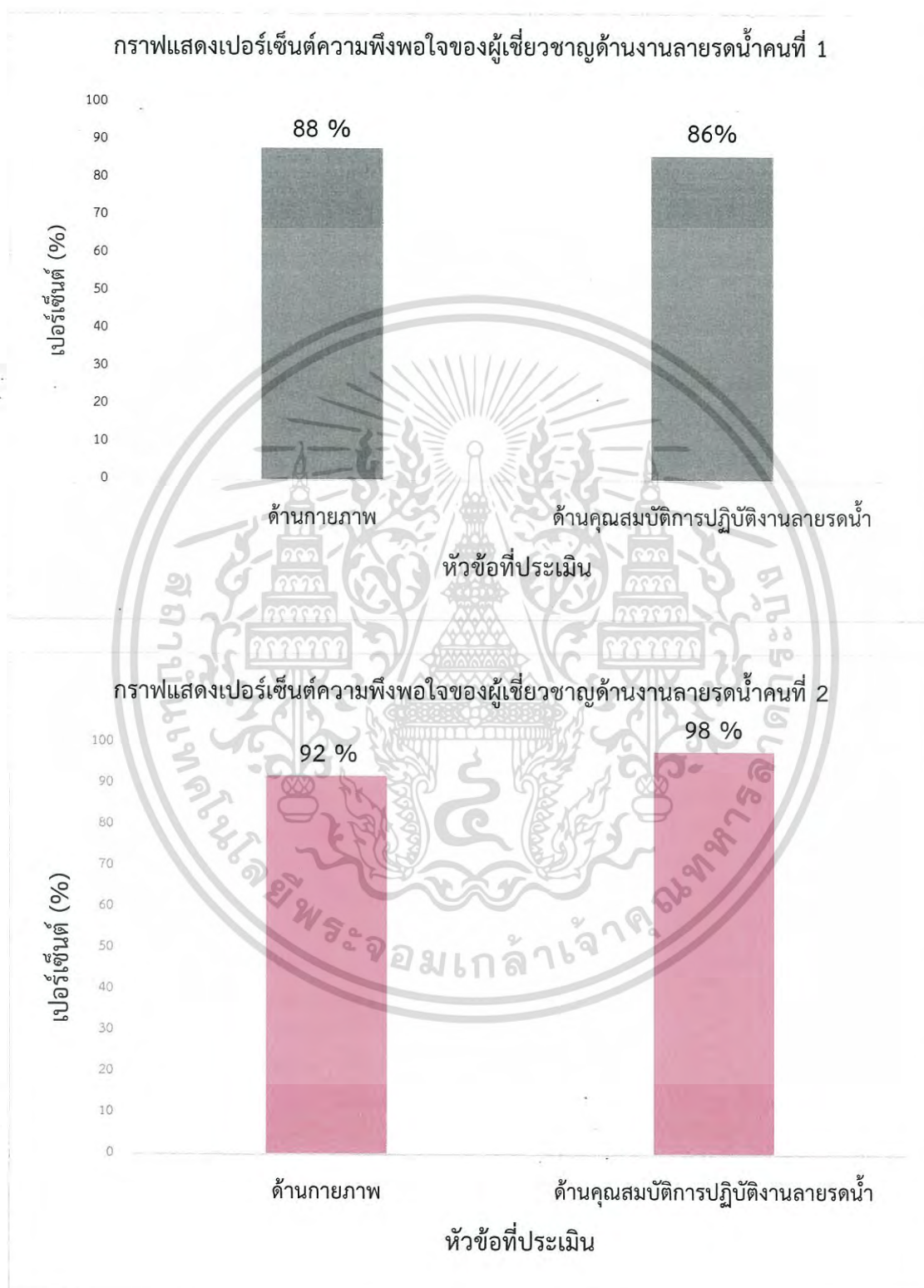
.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลแสดงเปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจในการใช้งานสารเคลือบผิวจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ชนิดดัดแปรระบบไฮบริดในงานศิลปะโดยใช้เทคนิคงานลายรดน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 12 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า	นางสาวคณิตดา	เมณฑกุล	รหัสนักศึกษา 57050384
	นางสาวจิตติพร	จิรานุวัฒน์วงศ์	รหัสนักศึกษา 57050403
	นางสาวอรนุช	อัจฉริยวงศ์เมธี	รหัสนักศึกษา 57050555

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย วัสดุทดแทนยางรักในงานศิลปะจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
ดัดแปร

ชื่อภาษาอังกฤษ Replacement of Oriental Lacquer in Artworks by Using Modified
Cashew Nut Shell Liquid

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้
แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.00 %

ลงชื่อ..... <u>คณิตดา เมณฑกุล</u>	ลงชื่อ..... <u>จิตติพร จิรานุวัฒน์วงศ์</u>	ลงชื่อ..... <u>อรนุช อัจฉริยวงศ์เมธี</u>
(นางสาวคณิตดา เมณฑกุล)	(นางสาวจิตติพร จิรานุวัฒน์วงศ์)	(นางสาวอรนุช อัจฉริยวงศ์เมธี)
นักศึกษา	นักศึกษา	นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้น
แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ..... <u>[Signature]</u>	ลงชื่อ..... <u>[Signature]</u>	ลงชื่อ..... <u>K Wattana</u>
(รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด)	(อ.วรา ชัยนิตย์)	(ดร.วัฒนา คล้ายรัศมี)
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้