

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์กาวลาเท็กซ์จากพอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน-ไอโซพรีน-ไวนิลิดีนคลอไรด์ สำหรับการยึดติดยางกับโลหะ

SYNTHESIS OF LATEX ADHESIVE FROM STYRENE-ISOPRENE-VINYLDENE CHLORIDE COPOLYMER FOR RUBBER TO METAL BONDING



วรรษยา ชมเชย

WANYA CHOMCHEUY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

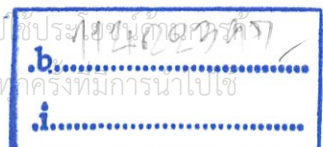
ISBN 974-15-1099-3

จพ.
๖๘๗๖ ๗
๒๕๔๗

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 58522

วัน,เดือน,ปี..... ๒๕๔๗



**SYNTHESIS OF LATEX ADHESIVE FROM STYRENE-
ISOPRENE-VINYLDENE CHLORIDE COPOLYMER FOR
RUBBER TO METAL BONDING**



WANYA CHOMCHEUY

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2004

ISBN 974-15-1099-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์กาวลาเท็กซ์จากพอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน-ไอโซพรีน-ไวนิลิดีนคลอไรด์ สำหรับการยึดติดยางกับโลหะ
นักศึกษา	นางสาววรรษยา ชมเชย
รหัสประจำตัว	43065605
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. ชลลดา ฤตวิรุพห์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์กาวลาเท็กซ์จากพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-ไอโซพรีน-ไวนิลิดีนคลอไรด์ ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสีดอิมัลชัน (Seed emulsion polymerization) ใช้เปอร์เซ็นต์โดยโมลของสไตรีน (St)/ไอโซพรีน (I)/ไวนิลิดีนคลอไรด์ (VDC) เป็น 50/50/0 (สูตรที่ 1) 45/45/10 (สูตรที่ 2) 20/80/0 (สูตรที่ 3) และ 18/72/10 (สูตรที่ 4) โดยขั้นแรกทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ มีโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่ม โซเดียมโคเดซิลซัลเฟตเป็นสารลดแรงดึงผิวที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ ทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ลดอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ลาเท็กซ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมมากที่สุด และมีปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์น้อยที่สุด จากการศึกษาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค พบว่าเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มีขนาดเล็กลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงดึงผิว จากการศึกษาปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในขั้นที่ 2 พบว่าการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ และไวนิลิดีนคลอไรด์ด้วยเข็มฉีดยาที่มีหัวล็อกดีกว่าการเติมโดยใช้บอมบ์คาลอริมิเตอร์ เนื่องจากช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันนอกอนุภาคมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ ทำให้มีปริมาณของแข็งตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์น้อยลง ศึกษาหาองค์ประกอบ และสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปีสถานะของแข็ง จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่าไอโซพรีนมอนอเมอร์ส่วนใหญ่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันอยู่บริเวณรอบนอกเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ จากนั้นทำการผสมพอลิเมอร์ลาเท็กซ์กับสารเติมแต่งต่างๆ นำกาวลาเท็กซ์ไปทำการยึดติดยางกับโลหะด้วยเทคนิค Rubber transfer mold ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดึงของกาว พบว่ากาวผสมสูตรทั้ง 4 สูตรสามารถเกิดการยึดติดได้โดยไม่ต้องทำการทาไพรเมอร์ กาวผสมสูตรซึ่งมีปริมาณพอลิไอโซพรีนมากที่สุด (สูตรที่ 3) มีค่าเปอร์เซ็นต์เจลสูงสุดทำให้สามารถทนแรงดึงได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Synthesis of Latex Adhesive from Styrene-isoprene-vinylidene chloride Copolymer for Rubber to Metal Bonding
Student	Ms. Wanya Chomcheuy
Student ID	43065605
Degree	Master of Science
Programme	Polymer Technology
Year	2004
Thesis Advisor	Dr. Chonlada Ritvirulh

ABSTRACT

In this research, latex adhesives from styrene (St)-isoprene (I)-vinylidene chloride (VDC) copolymer were prepared by seed emulsion polymerization. The mole ratios of St/I/VDC were varied i.e. 50/50/0 (Formula 1) 45/45/10 (Formula 2) 20/80/0 (Formula 3) and 18/72/10 (Formula 4). Seed PS was synthesized at the first-stage using potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) as an initiator and sodium dodecyl sulfate (SDS) with concentrations of 0.1 or 0.3 weight percent of seed PS as an emulsifier. The polymerization was performed at 80 °C for 14 hours and reduced the temperature to 50 °C for 12 hours in order to achieve the best % TSC and the less solid in seed PS. Particle sizes of seed PS, determined by Mastersizer[®], were found to be decreased when the SDS concentration increased. The addition of the isoprene and vinylidene chloride monomers in the second-stage by using a ruler lock syringe was better than using a bomb calorimeter due to the reduction of polymerization outside monomer/polymer particles resulting in the decrease of solid precipitation. The compositions and morphology of the polymer latices particles were characterized by Solid-state NMR and TEM respectively. It was indicated that isoprene was mainly polymerized on the surface of seed PS. The additives were compounded with the polymer latex. Then the adhesive was applied for bonding rubber to metal test by rubber transfer molding technique at 150 °C for 5 min. The adhesive strength was determined by universal tester. It was found that these adhesives could apply for

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bonding rubber to metal without applying a primer. The adhesive with highest isoprene content (Formula 3) exhibited the highest % gel resulting in the highest internal strength.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาของ ดร. ชลดา ฤตวิรุฬห์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ และ ผศ.ดร. อธิพิณ แจ่มชัด ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำในบางจุดที่ผู้วิจัยติดปัญหาบางอย่าง ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้ผู้วิจัยเข้าใจในปัญหานั้น และแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย ซึ่งกรุณาสละเวลาเพื่อทดสอบสารตัวอย่าง และกรุณาเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำงานวิจัย รวมทั้งคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปราณี ภิญโญชีพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่กรุณาสละเวลาที่มีค่าเพื่อช่วยเหลือให้คำแนะนำที่มีคุณประโยชน์อย่างมากแก่ผู้วิจัย และอาจารย์ภาควิชาเคมีที่ไม่สามารถกล่าวนามได้หมด

ขอขอบพระคุณ ดร.พงษ์ธร แซ่ฮุย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่กรุณาเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ Rubber transfer mold ให้ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษา ซึ่งให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษา กำลังใจ และอื่นๆ อีกมากมาย ตลอดจนเพื่อนๆ เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของทุกคนที่มีส่วนร่วมให้ผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการทำงานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วรรษยา ชมเชย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iv
สารบัญ.....	v
สารบัญตาราง.....	ix
สารบัญรูป.....	xi
คำย่อและคำอธิบายสัญลักษณ์.....	xiii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความสำคัญ ความเป็นมา และชนิดของกาว.....	3
2.1.1 ส่วนประกอบในการผลิตกาว.....	5
2.1.2 การแบ่งประเภทของกาว.....	6
2.2 ขั้นตอนในการนำกาวไปใช้งาน.....	8
2.2.1 การปรับสภาพพื้นผิว.....	8
2.2.2 การทำให้วัสดุเกิดการเปียกด้วยกาว.....	10
2.2.3 การทำให้กาวแห้ง และแข็งตัว.....	11
2.2.4 ลักษณะ และการออกแบบข้อต่อ.....	11
2.3 การทดสอบสมบัติของกาว.....	11
2.3.1 ความหนืด.....	12
2.3.2 เพลอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม.....	13
2.3.3 ระยะเวลาในการเก็บรักษา.....	14
2.3.4 อายุการใช้งาน.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.5 อัตราเกิดการเชื่อมโยง.....	14
2.3.6 ความสามารถในการซึมผ่าน.....	14
2.3.7 ความเหนียวติด.....	15
2.3.8 ค่าความเป็นกรด-เบส.....	15
2.3.9 การทดสอบความแข็งแรงดึง.....	15
2.3.10 การทดสอบความแข็งแรงดึงเหนือน.....	16
2.4 กลไกการเสียหายของกาว.....	16
2.5 พอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน.....	17
2.5.1 ส่วนประกอบของพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน.....	18
2.5.2 กลไกของพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน.....	19
2.5.3 ข้อดีของพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน.....	21
2.5.4 ความสำคัญ และลักษณะของการเกิด Core-shell.....	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 สารเคมี.....	28
3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้.....	30
3.3 วิธีการทดลอง.....	31
3.3.1 การทำให้สารบริสุทธิ์.....	31
3.3.2 การเตรียมสารละลาย.....	33
3.3.3 การเตรียมเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์.....	33
3.3.4 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันขั้นที่ 2.....	35
3.3.5 การทดสอบสมบัติของลาเท็กซ์.....	38
3.3.6 ขั้นตอนการเตรียมสารกระจายในน้ำ.....	40
3.3.7 ขั้นตอนการเตรียมกาวผสมสูตร.....	40
3.3.8 ขั้นตอนการหาเปอร์เซ็นต์เจล.....	41
3.3.9 ขั้นตอนการเตรียมยางผสมสูตร.....	42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.10 ขั้นตอนการยึดติดระหว่างยางกับ โลหะ.....	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	46
4.1 การสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์.....	46
4.2 การหาน้ำหนักโมเลกุลของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์.....	50
4.3 ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันขั้นที่ 2.....	51
4.3.1 การเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ด้วยการใช้บอมบ์กาลอริมิเตอร์.....	51
4.3.2 การเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ด้วยการใช้เข็มฉีดยาที่มีหัวล็อก.....	53
4.4 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	54
4.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโทรสโกปีสถานะของแข็ง.....	55
4.6 การหาขนาดอนุภาค และการศึกษาสัณฐานวิทยาของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ และพอลิเมอร์ ลาเท็กซ์.....	59
4.6.1 การหาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค.....	59
4.6.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	60
4.7 ความสามารถในการยึดติดระหว่างยางกับ โลหะ.....	65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	67
5.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์.....	67
5.1.1 การสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์.....	67
5.1.2 การเกิดปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันขั้นที่ 2.....	68
5.2 ความสามารถในการยึดติดยางกับ โลหะของกาวผสมสูตร.....	68
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	69
เอกสารอ้างอิง.....	70
ภาคผนวก ก การคำนวณหาปริมาณของสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์.....	74
ภาคผนวก ข เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี.....	86
ภาคผนวก ค เปอร์เซ็นต์เจลของกาวผสมสูตร.....	88

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง ค่าความแข็งแรงดึงของกาว และน้ำหนักของเนื้อกาว.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตำแหน่งที่เกิดความเสียหาย และความแข็งแรงของกาว.....	17
3.1 สัดส่วนของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ในแต่ละสูตร.....	34
3.2 สัดส่วนของสารเคมีในการทำปฏิกิริยาขั้นที่ 2.....	35
3.3 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของสไตรีน ไอโซพรีนมอนอเมอร์ และ ไวนิลดีนคลอไรด์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันขั้นที่ 2	37
3.4 การเตรียมสารกระจายในน้ำ.....	40
3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารเติมแต่งที่เติมลงในลาเท็กซ์.....	41
3.6 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมยางผสมสูตร.....	42
4.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ และปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ จากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80 °C ในเวลาต่างๆ และลดอุณหภูมิเป็น 50 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	47
4.2 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์เมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 1 และ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	48
4.3 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารลดแรงตึงผิว.....	49
4.4 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ของสูตรที่ 1 และสูตรที่ 3.....	50
4.5 ผลเจลเพอมีเอชัน โครมาโทกราฟีของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	50
4.6 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์ และปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์ หลังจากที่ต้องบอมบ์คาลอริมิเตอร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือนำบอมบ์คาลอริมิเตอร์ออกทันทีเมื่อความดันของ Autocave คงที่.....	51
4.7 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์ และปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์ เมื่อใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์เป็น 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยทำการบอมบ์คาลอริมิเตอร์กับ Autoclave ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำออก.....	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

4.8	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์ และปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์ เมื่อเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์โดยใช้บอมบ์กาลอริมิเตอร์ และเข็มฉีดยาที่ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	54
4.9	สมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีน (St)/ไอโซพรีน (I)/ไวนิลดีนคลอไรด์ (VDC) ในอัตราส่วนต่างๆ	54
4.10	ขนาดอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ และพอลิเมอร์ลาเท็กซ์จากเครื่องวัดขนาดอนุภาค.....	60
4.11	ค่าความหนืด เปอร์เซ็นต์เจล ความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์เนื้อกาวที่ติดอยู่บนโลหะของกาวผสมสูตร.....	65



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การยัดติดแบบต่างๆ.....	5
2.2 การเปียกของกาวบนพื้นผิวที่ไม่ดี และที่ดี.....	10
2.3 เครื่องวัดความหนืดชนิด Brookfield viscometer.....	12
2.4 เครื่องวัดความหนืดแบบ Flow cups.....	13
2.5 การออกแบบข้อต่อเพื่อใช้ในการทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง.....	15
2.6 การทดสอบความแข็งแรงดึงเหนือน.....	16
2.7 ตำแหน่งของกาวที่เกิดการเสียหายบริเวณเนื้อกาวหรือที่พื้นผิวของวัสดุ.....	16
2.8 กลไกการเกิดอนุภาคแบบไมเซลล์.....	20
2.9 เปรอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับเวลาของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน.....	21
3.1 การกลั่น ไอโซพรีนมอนอเมอร์.....	31
3.2 การกลั่น ไวนิลดีนคลอไรด์.....	32
3.3 เครื่องปฏิกรณ์ความดันสูง (Autoclave).....	36
3.4 Rubber transfer mold.....	43
3.5 ชิ้นงานที่ทำการยัดติดด้วยกาว.....	44
3.6 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานยัดติดระหว่างโลหะกับยาง.....	44
4.1 ตำแหน่งคาร์บอนใน โครงสร้างของพอลิสไตรีน พอลิไอโซพรีน และ ไวนิลดีนคลอไรด์.....	56
4.2 ¹³ C MAS สเปกตรัมของพอลิเมอรัลลาเท็กซ์สูตรที่ 1	57
4.3 ¹³ C MAS สเปกตรัมของพอลิเมอรัลลาเท็กซ์สูตรที่ 2.....	57
4.4 ¹³ C MAS สเปกตรัมของพอลิเมอรัลลาเท็กซ์สูตรที่ 3.....	58
4.5 ¹³ C MAS สเปกตรัมของพอลิเมอรัลลาเท็กซ์สูตรที่ 4.....	58
4.6 สันฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 30 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	61

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.7	สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้สารลดแรงตึงผิวเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์.....	61
4.8	สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 1.....	62
4.9	สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 2.....	62
4.10	สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 3.....	63
4.12	สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 4.....	63
ข-1	เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์สูตรที่ 1.....	87
ข-2	เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์สูตรที่ 3.....	87



คำย่อและคำอธิบายสัญลักษณ์

St	สไตรีนมอนอเมอร์
I	ไอโซพรีนมอนอเมอร์
VDC	ไวนิลดีนคลอไรด์
$K_2S_2O_8$	โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
SDS	โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต
PS	พอลิสไตรีน
M/P	มอนอเมอร์/พอลิเมอร์
TEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
MAA	กรดเมทาคริลิก
^{13}C MAS NMR	^{13}C Magic Angle Spinning Nuclear Magnetic Resonance
^{13}C CP/MAS NMR	^{13}C Cross Polarization/Magic Angle Spinning Nuclear Magnetic Resonance
δ	chemical shift
ppm	part per million
N	นิวตัน
cP	Centipoise

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของวิทยานิพนธ์ [1- 5]

กาวเป็นสิ่งที่อยู่รอบตัวเรา และมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน จึงได้มีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม การใช้กาวเป็นตัวกลางในการยึดติดระหว่างวัสดุอย่างกับโลหะภายใต้สภาวะการเชื่อมโยง (Vulcanization) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบภายในเครื่องซักผ้า นอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องบิน วิศวกรรมโยธา อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเครื่องตกแต่งบ้าน และอุตสาหกรรมบรรจุสิ่งของ เป็นต้น

ในการยึดติดระหว่างยางกับโลหะทำได้ลำบาก เนื่องจากยางมีความสามารถในการเปียก (Wettability) ที่ค่อนข้างต่ำ หรืออาจกล่าวได้ว่ายางเป็นวัสดุที่ไม่มีขั้ว โลหะเป็นวัสดุที่มีขั้ว ดังนั้นในการเลือกใช้กาวเพื่อยึดวัสดุทั้ง 2 ชนิด กาวที่ใช้ควรมีโครงสร้างทั้งส่วนที่มีขั้วเพื่อใช้ในการยึดติดระหว่างกาวกับโลหะ และส่วนที่ไม่มีขั้วเพื่อใช้ในการยึดติดระหว่างกาวกับยาง นอกจากนี้โลหะเป็นวัสดุที่มีขั้วจึงมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) กับออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดเป็นชั้นออกไซด์ของโลหะปกคลุมบริเวณพื้นผิวของโลหะ ส่งผลทำให้ความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างโลหะกับยางลดลงจึงจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดบริเวณพื้นผิวของโลหะเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ปกคลุมอยู่ออกให้หมด การทำความสะอาดพื้นผิวของโลหะสามารถทำได้โดยการชุบโลหะด้วยทองเหลือง วิธีนี้เป็นที่นิยมในสมัยก่อน แต่ในปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากใช้ต้นทุนที่สูง และสามารถยึดติดกับยางได้เพียงบางชนิดเท่านั้น โลหะที่ผ่านการทำความสะอาดพื้นผิวเรียบร้อยแล้วนิยมทำการทาไพรเมอร์ (Primer) เพื่อป้องกันพื้นผิว และปรับสภาพความเป็นขั้วของพื้นผิววัสดุเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างกาวกับวัสดุ แต่ไพรเมอร์ส่วนใหญ่ใช้สารอินทรีย์ที่ระเหยได้เป็นตัวทำละลายซึ่งก่อให้เกิดอันตราย และการใช้ไพรเมอร์เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

กาวที่นิยมนำมาทำการยึดติดระหว่างยางกับโลหะส่วนใหญ่มีสารอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย เมื่อนำมาใช้งานจำเป็นต้องทำการระเหยตัวทำละลาย โดยสารอินทรีย์ที่ระเหย (Volatile organic) มีความสามารถในการติดไฟได้ง่าย นอกจากนั้นยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนงานที่ได้สัมผัสกับตัวทำละลาย จึงได้มีการพัฒนากาวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเพื่อรักษาสภาพแวดล้อม ป้องกันสุขภาพของคนงานและการเกิดอุบัติเหตุ

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการสังเคราะห์กาวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย และสามารถนำมาทำการยึดติดระหว่างยางกับโลหะได้โดยไม่ต้องใช้ไพรเมอร์ เนื่องจากกาวที่ทำการสังเคราะห์มีส่วนประกอบของไวโนลิดีนคลอไรด์ซึ่งเป็นสารที่มีขั้วจึงสามารถเข้ากันได้กับโลหะ นอกจากนี้ไวโนลิดีนคลอไรด์เป็นวัสดุที่มีการซึมผ่านความชื้น ไอน้ำ และก๊าซได้น้อยจึงทำให้กาวที่ทำการสังเคราะห์ในงานวิจัยนี้มีแนวโน้มที่จะไม่ละลายในน้ำถึงแม้จะใช้น้ำเป็นตัวกลาง อีกทั้งไวโนลิดีนคลอไรด์มีความยืดหยุ่นสูงทำให้สามารถรับ และกระจายแรงได้ดี [6] ดังนั้นการสังเคราะห์กาวที่สามารถใช้ได้โดยไม่ต้องทำการทาไพรเมอร์ลงบนพื้นผิวของวัสดุก่อนที่จะทำการทากาวสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ และอาจเป็นแนวทางในการผลิตกาวใช้ได้เองภายในประเทศเพื่อลดการนำเข้ากาวจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์กาวลาเท็กซ์จากพอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน-ไอโซพรีน-ไวโนลิดีนคลอไรด์ สำหรับการยึดติดยางกับโลหะ
2. เพื่อศึกษาสมบัติของกาวที่สังเคราะห์ได้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กาว โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณสารลดแรงตึงผิว และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน
2. ศึกษาปริมาณของพอลิไอโซพรีน และพอลิสไตรีนที่มีอิทธิพลต่อการยึดติดของกาวที่สังเคราะห์ได้
3. ศึกษาสมบัติการยึดติดของกาวที่สังเคราะห์ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำกาวที่สังเคราะห์ไปประยุกต์ใช้ในงานยึดติดโลหะกับยางสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์
2. เป็นแนวทางในการผลิตกาวภายในประเทศเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานและมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญ ความเป็นมา และชนิดของกาว

กาว (Adhesive) คือสารที่สามารถใช้ยึดติดผิวหน้าของวัสดุอย่างน้อย 2 ชนิดได้อย่างแข็งแรง คงทน และต้านทานต่อการแยกตัว เช่น ซีเมนต์ แป้งเปียก เป็นต้น [7]

มนุษย์ได้มีการใช้กาวมาหลายศตวรรษ ในช่วงแรกๆ มีการนำวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ประเทศในทวีปยุโรปส่วนใหญ่ใช้กาวที่ได้มาจากสัตว์ และพืชผัก เช่น หนังสัตว์ (Hide) ยางที่ได้มาจากต้นไม้ (Tree gums) ส่วนที่เป็นโปรตีนในเลือด (Blood proteins) และกระดูก ต่อมาได้มีการพัฒนา และเลียนแบบธรรมชาติ โดยนำวัสดุต่างๆ มาพัฒนาให้มีความสามารถใช้เป็นกาวเพิ่มขึ้น แต่เป็นการพัฒนาที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งศตวรรษที่ 18 เทคโนโลยีกาวได้เข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้นในทางอุตสาหกรรม ทำให้สามารถแบ่งกาวได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ กาวที่ได้จากสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์

ในปัจจุบันได้มีการนำพอลิเมอร์ และยางมาใช้เป็นกาวเพื่อทดแทนวัสดุที่ได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งมีความสามารถในการยึดติดที่แข็งแรง และมีความทนทานสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่า จึงได้มีการพัฒนาเรื่อยมา และในปีค.ศ. 1940 ได้มีการพัฒนาโครงสร้างของกาวเพื่อใช้สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องบิน สำหรับทางทหาร แม้กระทั่งทางการแพทย์ เช่น กาวที่ทำมาจากไซยาโนอะคริเลต (Cyanoacrylate) นำมาใช้ในการปิดบาดแผล แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีการใช้กาวที่ไม่ได้ทำมาจากพอลิเมอร์กันอยู่ในปัจจุบันอย่างมากมาย โดยส่วนใหญ่นิยมใช้ในการยึดติดระหว่างวัสดุที่มีรูพรุน เช่น ไม้ หรือกระดาษ กาวที่ได้มาจากส่วนเหลือของการผลิตนม (Casein adhesive) และกาวที่ใช้วัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ และซิลิเกต (Sodium silicate adhesive) เป็นกาวที่นิยมใช้ในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ (Packaging industries)

การใช้กาวเพื่อยึดติดระหว่างวัสดุเป็นที่นิยม และยอมรับอย่างกว้างขวางในการยึดติดระหว่างวัสดุต่างๆ ทำให้กาวมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อให้ใช้งานได้ยาวนาน มีราคาถูกลง ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มากขึ้น เช่น นำมาใช้ในวงการวิศวกรรมพลาสติก และเซรามิกส์ [8]

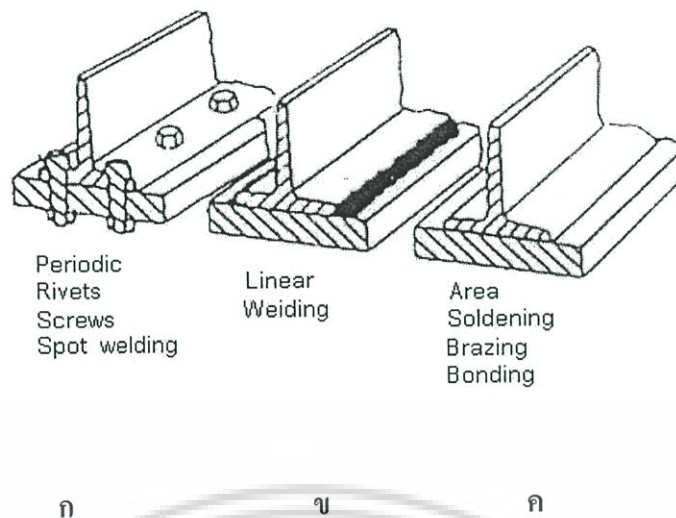
ประโยชน์ของการใช้กาวเพื่อทำการยึดติดวัสดุ [7-8]

1. กาวสามารถเกิดพันธะยึดติดที่ผิวหน้าได้อย่างรวดเร็ว สามารถทนต่อความเค้น (Stress) ได้โดยไม่เกิดการแตกหักบริเวณเนื้อวัสดุที่นำมายึดติดเหมือนกับการใช้ตะปูตอกเพื่อยึดติดเนื้อไม้ หรือการยึดด้วยหมุด (Rivet) ในโลหะแผ่นบางๆ
2. ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมทางเครื่องบิน และอุตสาหกรรมทางรถยนต์ นิยมใช้กาวเพื่อทำการยึดติดระหว่างวัสดุมากกว่าการใช้หมุด (Rivet) หรือทำการเชื่อม (Welding) เนื่องจากทั้ง 2 วิธี เป็นการเพิ่มน้ำหนักของตัวเครื่องยนต์ ทำให้เกิดสนิมขึ้นได้ง่าย และทำให้เกิดลักษณะที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกับวัสดุซึ่งยากต่อการปกปิด ส่วนกาวที่อยู่ในลักษณะที่เป็นฟิล์มมีลักษณะพิเศษสำหรับการใช้งาน คือง่ายต่อการควบคุมน้ำหนัก การกระจายตัว และทำให้มีโครงสร้างที่เหมือนกัน
3. กาวสามารถใช้ยึดติดโครงสร้างที่มีการสั่นสะเทือน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าการยึดติดด้วยหมุด เนื่องจากกาวมีค่ามอดูลัสสูง อีกทั้งสามารถเลือกใช้กาวให้มีลักษณะที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมที่ต้องการได้
4. กาวเป็นวัสดุที่ต้านทานไฟฟ้าเมื่อทำการยึดติดโลหะต่างชนิดกัน และสามารถเชื่อมวัสดุที่มีลักษณะต่างๆ ได้ ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของการเชื่อมระหว่างโลหะกับวัสดุที่ไม่ใช่โลหะได้ดี
5. สะดวก ไม่ยุ่งยาก
6. การออกแบบข้อต่อเพื่อทำการทดสอบสามารถทำได้หลายแบบเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริง เช่นการทดสอบในมุม 90° หรือ 180° หรือมีการยึดติดแบบซ้อนกันบางส่วน (Overlap)

ข้อเสียของการใช้กาวเพื่อทำการยึดติดวัสดุ

1. ข้อเสียหลักของการใช้กาว คือพื้นที่ที่เกิดพันธะไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตา และการหาค่าความแข็งแรงต้องทำลายโครงสร้าง หรือทำให้วัสดุที่เกิดการยึดติดเสียหาย วิธีการทดสอบที่ไม่มีการทำลายโครงสร้าง (Non destructive test) เช่น การทดสอบโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก (Ultrasonic techniques) สามารถบอกได้เพียงตำแหน่งที่ไม่ได้ถูกยึดติดไม่สามารถบอกระดับความแข็งแรงในการเกิดพันธะได้
2. การทำความสะอาดผิวหน้า และการควบคุมกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นได้ยาก
3. ต้องมีการกดอัด การอบ เป็นส่วนสำคัญในการยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ ซึ่งต้องใช้เวลา
4. กาวมีการเสื่อมสภาพเมื่อต้องใช้งานที่อุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การยึดติดแบบต่างๆ ก) การใช้หมุด ข) การเชื่อม และ ค) การใช้กาว [8]

2.1.1 ส่วนประกอบในการผลิตกาว [8]

กาวมีส่วนผสมหลายชนิด ดังนั้นการกำหนดสูตรทั้งปริมาณ และอัตราส่วนขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้เป็นองค์ประกอบพื้นฐาน และสมบัติที่ต้องการนำไปใช้งาน ส่วนประกอบโดยพื้นฐานของกาวประกอบด้วย

1. Binder เป็นสารที่ใช้ทำการยึดติดระหว่างวัสดุกับกาวไว้ด้วยกัน โดยทั่วไปมีส่วนประกอบคล้ายกับกาวที่นำมาทำการยึดติด เช่น กาวที่มีส่วนประกอบเป็นอีพอกซีมี Binder เป็นอีพอกซีเรซิน (Epoxy resin)
2. สารที่ช่วยทำให้เกิดการแข็งตัว (Hardener) เป็นส่วนประกอบสำคัญของกาวประเภท Two-part system โดยส่วนแรกมีองค์ประกอบเป็นกาวพื้นฐาน และส่วนที่สองเป็น Hardener กาวที่เป็นของเหลวต้องทำให้แห้ง และแข็งตัวก่อนนำไปใช้งาน ดังนั้นเมื่อนำกาวไปใช้งานจึงมีการผสม Hardener ลงในเนื้อกาวเพื่อทำให้กาวแห้ง และแข็งตัวเร็วขึ้น ในบางครั้งอาจเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ลงไปเป็นส่วนประกอบของกาวเพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาให้กาวแห้ง และแข็งตัวเร็วยิ่งขึ้น
3. ตัวทำละลาย (Solvent) เป็นสารประกอบที่ทำให้กาวเกิดการกระจายตัวได้ดี และสามารถทาได้ทั่วพื้นผิววัสดุ แล้วทำการกำจัดตัวทำละลายออกภายหลังจากการยึดติดแล้ว
4. ตัวทำละลายเจือจาง (Diluent) เป็นสารประกอบที่ทำให้ความเข้มข้นของกาวลดลงเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต และลดความหนืดของกาว โดยสารเคมีในตัวทำละลายเจือจางเกิดปฏิกิริยากับส่วนประกอบของกาวในขณะที่เกิดการเชื่อมโยง กลายเป็นส่วนหนึ่งของกาว และไม่มีภาวะระเหยหรือกำจัดทิ้งเหมือนตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สารตัวเติม (Filler) ถูกเติมลงในกาวเพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้งาน เพิ่มความแข็งแรง เพิ่มอายุการใช้งาน และลดต้นทุนในการผลิต เช่น ผงแร่ (Mineral powders) ผงโลหะออกไซด์ (Metal oxide) โดยชนิดของสารตัวเติมมีผลต่อสมบัติของกาว เช่น สมบัติการถ่ายเทความร้อน ค่าการนำไฟฟ้า การหดตัว ความหนืด การต้านทานความร้อน ดังนั้นในการเลือกสารตัวเติม จำเป็นต้องคุณสมบัติที่ต้องการนำไปใช้งาน

2.1.2 การแบ่งประเภทของกาว [9-11]

กาวสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภทโดยอาจพิจารณาจากส่วนประกอบทางเคมี การทำให้เกิดการเชื่อมโยง การนำไปใช้งาน วิธีการผลิต เป็นต้น ในทางอุตสาหกรรมสามารถแบ่งประเภทของกาวได้ดังนี้

2.1.2.1 กาวเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นของแข็งโดยการระเหย

1. กาวที่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง (Water-based adhesive)

กาวที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายส่วนใหญ่เป็นกาวที่ได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นกาวที่สามารถดูดซับน้ำ และเกิดการพองบวมเกิดเป็นลักษณะของวุ้น เรียกอีกอย่างว่า คอลลอยด์ (Colloid) กาวที่แสดงลักษณะเช่นนี้เป็นกาวประเภทที่ได้จากสัตว์ แป้ง และพืช ซึ่งเป็นกาวที่ไม่ติดไฟ และมีความเป็นพิษต่ำ กาวชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานที่ไม่ต้องสัมผัสกับน้ำ เพราะกาวสามารถเกิดการละลายได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีความเปียกชื้น ทำให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดลดลง กาวที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเป็นที่นิยม เพราะไม่เกิดอันตราย นิยมใช้กับวัสดุที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (Porous) เช่น กระดาษ ไม้ เส้นใย เป็นต้น ตัวอย่างของกาวประเภทนี้ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กาวที่ได้จากสัตว์ ปลา และพืช เป็นต้น

กาวอีกชนิดหนึ่งที่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง คืออิมัลชัน หรือลาเท็กซ์ เป็นกาวที่ไม่ละลายน้ำแต่สามารถกระจายตัวอยู่ในรูปหยดของเหลวแขวนลอยอยู่ในชั้นน้ำ ตัวอย่างของกาวประเภทนี้ได้แก่น้ำยางธรรมชาติ พอลิไวนิลอะซิเตต (PVA) อะคริลิกอิมัลชัน เป็นต้น

2. กาวที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวกลาง (Solvent-based adhesive)

ตัวทำละลาย (Solvent) หมายถึงสารอินทรีย์ที่เป็นของเหลวสามารถระเหยได้อย่างรวดเร็ว โดยตัวทำละลายอาจใช้เพียงชนิดเดียว หรือหลายชนิดผสมกันเพื่อเพิ่มความสามารถในการละลาย ควบคุมอัตราการระเหย หรือเพื่อลดต้นทุนของกาว แต่ต้องมีการระเหยตัวทำละลายซึ่งอาจใช้ระยะเวลาที่ค่อนข้างนาน ความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างวัสดุมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อทากาวในปริมาณที่มากเพียงพอ กาวประเภทนี้มีความสามารถในการต้านทานน้ำได้ดีมาก แต่อ่อนตัวเมื่อสัมผัสสารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำละลาย และไม่ทนต่อสารที่เป็นน้ำมัน ตัวอย่างของกาวประเภทนี้

ได้แก่ สารละลายพอลิस्टาไทริน สารละลายพอลิอะซิเตต สารละลายพอลิยูรีเทน และสารละลายฟีนอลิกเรซิน เป็นต้น

2.1.2.2 Hot melt adhesive

กาวประเภทนี้เป็นกาวที่ได้จากการสังเคราะห์พอลิเมอร์ มีความสามารถในการยึดติดที่ดี เกิดการอ่อนตัว และไหลได้เมื่อให้ความร้อน สามารถแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง นิยมทำให้อยู่ในลักษณะคล้ายแท่งดินสอ มีตัวที่ให้ความร้อนที่เรียกว่าปืนกาว (Glue gun) กาวส่วนที่ไม่ถูกนำไปใช้งานเมื่อเย็นตัวลงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การใช้กาวประเภทนี้เพื่อทำให้วัสดุเกิดการยึดติดกันควรทำให้เสร็จสิ้นก่อนที่กาวเย็นตัวลง ตัวอย่างของกาวประเภทนี้ ได้แก่ พอลิเมอร์ที่เป็นเทอร์โมพลาสติกต่างๆ แวกซ์ เซลลูลิก และน้ำมันดิบ เป็นต้น

2.1.2.3 One-part polymerization adhesive

กาวประเภทนี้สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ กาวที่สามารถแข็งตัวได้ภายใต้สุญญากาศ และกาวที่แข็งตัวได้โดยการเกิดปฏิกิริยากับไอน้ำที่อยู่ในอากาศ

1. แอนนาโรบิก (Anaerobic)

เป็นกาวที่แข็งตัวภายใต้สุญญากาศ ทำจากเรซินสังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่ไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในที่ที่มีออกซิเจน หรืออาจกล่าวได้ว่าออกซิเจนเป็นตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ดังนั้นในการยึดติดวัสดุด้วยกาวประเภทนี้ต้องมีการป้องกันไม่ให้มีออกซิเจน เพื่อให้กาวสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ และอาจมีการเพิ่มอัตราเร็วในการแข็งตัวโดยใช้ออกไซด์ของโลหะ (Metal oxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรซินที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพวกอะคริลิก ตัวอย่างของกาวประเภทนี้ได้แก่ อะคริลิกเอสเทอร์ และพอลิเอสเทอร์ เป็นต้น

2. ไซยาโนอะคริเลต (Cyanoacrylates)

กาวประเภทนี้อาจเรียกอีกชื่อว่า Instant เป็นกาวที่มีโครงสร้างของหมู่ไซยาเนต การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของกาวถูกริเริ่มด้วยโมเลกุลของน้ำที่อยู่ใกล้ๆ กับบริเวณที่เกิดการยึดติด นิยมใช้ในการเกิดพันธะยึดติดที่สำคัญ และทำให้เกิดการยึดติดที่มีความแข็งแรงถึงแม้ใช้กาวในปริมาณเล็กน้อย ทำให้กาวประเภทนี้มีราคาแพง กาวประเภทนี้เหมาะสำหรับการยึดติดวัสดุที่เป็นพลาสติก และยาง สถานที่สำหรับเก็บกาวชนิดนี้ต้องปิดสนิทแน่นเพื่อป้องกันความชื้นภายในบรรยากาศที่อาจแทรกเข้าไปได้ ตัวอย่างของกาวประเภทนี้ ได้แก่ ไซยาโนอะคริเลต

2.1.2.4 Two-part Polymerization

กาวประเภทนี้ประกอบไปด้วยเรซิน และ Hardener การนำมาใช้งานต้องนำทั้งส่วนที่เป็นเรซิน และ Hardener มาทำการผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันในสถานะที่เป็นลักษณะกึ่งของเหลวเพื่อให้ส่วนประกอบทั้งสองเกิดปฏิกิริยาเคมี จากนั้นจึงทำให้เกิดการแข็งตัว ปริมาณ Hardener ที่ใช้มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และเวลาในการทำให้เกิดการแข็งตัว ตัวอย่างของกาวประเภทนี้ ได้แก่ ฟีนอล/ฟอร์มาดีไฮด์ ยูเรีย/ฟอร์มาดีไฮด์ และอีพอกไซด์/เอไมด์ เป็นต้น

2.2 ขั้นตอนในการนำกาวไปใช้งาน [8, 11]

1. การทำความสะอาดหรือการปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุ
2. การทำให้บริเวณพื้นผิวของวัสดุเกิดการเปียกของกาวอย่างทั่วถึง
3. การทำให้กาวแห้งและแข็งตัว
4. ลักษณะและการออกแบบข้อต่อ (Joint) เชื่อมวัสดุทั้ง 2 เพื่อสามารถต้านทานแรงดึง และสถานะแวดล้อมต่างๆ

2.2.1 การปรับสภาพพื้นผิว

วัสดุที่นำมาทำการยึดติดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ วัสดุที่มีค่าพลังงานพื้นผิวดำไม่ชอบเกิดปฏิกิริยากับสารใดๆ จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงพื้นผิวเพื่อเพิ่มไอออนหรือหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น เช่น การปรับปรุงพื้นผิวด้วยพลาสมา (Plasma treatment) และวัสดุที่มีค่าพลังงานพื้นผิวสูงชอบเกิดปฏิกิริยากับสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่น น้ำมัน ความชื้น และออกไซด์ของโลหะจึงจำเป็นต้องทำความสะอาดพื้นผิวเพื่อให้พื้นผิวมีความพร้อมในการยึดติด เนื่องจากถ้าไม่ทำการกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ อาจทำให้ความแข็งแรงในการยึดติดของวัสดุลดลง การกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ออกจากผิวของวัสดุอาจทำได้ด้วยกัน 2 วิธี คือกระบวนการทางเชิงกล เช่น การขัดถู และกระบวนการทางเคมี เช่น การใช้กรดในการกัดกร่อน หรืออาจใช้ทั้ง 2 วิธี การเลือกกระบวนการในการทำความสะอาดพื้นผิวของวัสดุขึ้นอยู่กับชนิด และลักษณะของวัสดุที่นำมาทำการยึดติด ความแข็งแรงที่ต้องการหลังจากทำการยึดติด ระยะเวลาที่ต้องการใช้งาน สถานะแวดล้อมที่นำไปใช้งาน ปริมาณ และชนิดของสิ่งสกปรกที่เกาะบนพื้นผิว และปัจจัยในการผลิต เช่น ราคา ระยะเวลาในการผลิต ความปลอดภัย และการรักษาสภาพแวดล้อม

ลักษณะของพื้นผิวตามอุดมคติที่สามารถเกิดการยึดติดที่ดี

- พื้นผิวของวัสดุต้องสะอาดไม่มีสิ่งสกปรกอยู่ที่บริเวณพื้นผิว
- พื้นผิวที่นำมาทำการยึดติดต้องเรียบ สม่ำเสมอ และมีความสามารถในการเปียกด้วยกาวได้ดี
- พื้นผิวต้องมีเสถียรภาพ (Stability) พอสมควร

จุดประสงค์ในการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของชิ้นงาน

- เพื่อป้องกัน หรือกำจัดแผ่นฟิล์มที่เกิดการยึดติดกับบริเวณพื้นผิวของวัสดุ
- เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ และสามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้น
- เพื่อลดมุมสัมผัส (Contact angle) ระหว่างวัสดุกับกาว ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการเปียก
- บางครั้งวัสดุที่เตรียมได้ยังไม่ได้นำมาใช้งานทันที จึงจำเป็นต้องมีการปกป้องพื้นผิวก่อนนำไปใช้งาน และเก็บวัสดุไว้ในที่แห้ง ไม่มีความชื้น เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ

2.2.1.1 การขัดพื้นผิว (Abrasion)

การปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วยวิธีนี้นิยมใช้กระดาษทรายที่ทำจากซิลิกามาใช้ในการขัดพื้นผิวเพื่อให้เกิดการยึดติดเชิงกลได้ดีขึ้น นิยมใช้กับพื้นผิวที่มีค่าพลังงานต่ำมาก หรือพื้นผิวที่มีการยึดติดที่แย่มากๆ

2.2.1.2 การทำความสะอาดด้วยการใช้ตัวทำละลาย (Solvent cleaning)

การทำความสะอาดด้วยการใช้ตัวทำละลายเป็นวิธีปรับปรุงสภาพพื้นผิวอย่างง่ายสามารถทำได้โดยทำการจุ่มชิ้นงานลงในตัวทำละลาย

2.2.1.3 การกัดกร่อน (Etching treatment)

การกัดกร่อนเป็นการนำชิ้นงานใส่ลงในตัวทำละลาย เช่น กรดโครมิก (Chromic acid) การปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับวัสดุที่เป็นฟลูออโรโพลีเมอร์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างวัสดุอื่นๆ แต่ระยะเวลาทำการกัดกร่อนนั้นต้องไม่นานเกินไป เพื่อป้องกันความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นได้บริเวณพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งอาจมีผลทำให้การยึดติดระหว่างวัสดุแย่งลงไปมากกว่าเดิม การปรับปรุงด้วยวิธีนี้เหมาะกับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ และมีรายละเอียดมาก

2.2.1.4 การปรับปรุงด้วยการใช้กระแสไฟฟ้า (Electrochemical treatment)

การปรับปรุงด้วยการใช้กระแสไฟฟ้าเป็นการเพิ่มค่าพลังงานของพื้นผิวมากกว่าเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกที่อยู่บริเวณผิวหน้าของวัสดุ ข้อดีของวิธีนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีกัดกร่อนคือความหนาของวัสดุที่ได้ค่อนข้างเท่ากัน ส่วนวิธีกัดกร่อนต้องเลือกตัวทำละลาย และเวลาที่ใช้

กักร่อนต้องเหมาะสม เนื่องจากอาจทำให้พื้นผิวเกิดความเสียหายได้ถ้าใช้ตัวทำละลายที่ไม่เหมาะสม และใช้เวลานานเกินไป นอกจากนี้พื้นผิวที่ได้มีความหนาไม่แน่นอน

2.2.1.5 การปรับปรุงพื้นผิวด้วยความร้อน (Flame treatment)

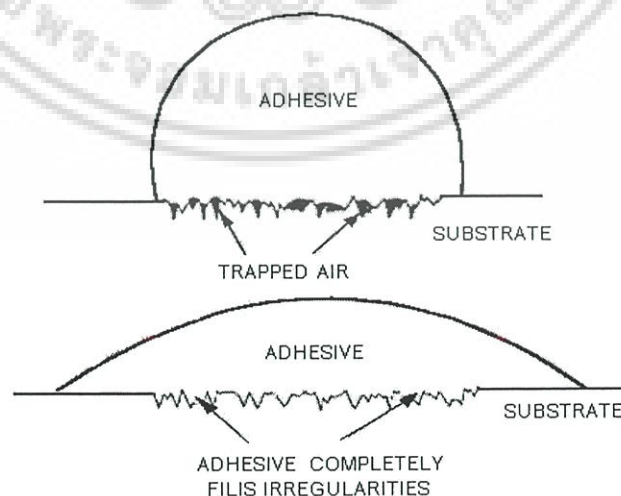
การปรับปรุงพื้นผิวด้วยความร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้กับวัสดุที่มีความหนาบริเวณพื้นผิวมาก ๆ เช่น ขวด ซึ่งการปรับปรุงพื้นผิวด้วยความร้อนสามารถช่วยทำให้น้ำหมึกที่ทำการพิมพ์ลงบนพื้นผิวของขวดมีความสามารถในการยึดติดได้ดีขึ้น โดยวัสดุต้องผ่านการเผา 1 ครั้ง หรือมากกว่านั้น โดยการเผาดังกล่าวควรมีการควบคุมส่วนผสมของก๊าซ อัตราการไหลของก๊าซ และเวลาที่ใช้ในการเผา การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีนี้ใช้ระยะเวลาสั้นเหมาะสมกับวัสดุที่มีขนาดเล็ก และต้องการปรับปรุงเฉพาะจุด

2.2.1.6 การปรับปรุงพื้นผิวด้วยพลาสมา (Plasma treatment)

การปรับปรุงพื้นผิวด้วยพลาสมาสามารถทำได้โดยกระตุ้นก๊าซเพื่อให้เกิดเป็นไอออน อะตอม อนุโมลอิสระ หรืออิเล็กตรอนอิสระ โดยอะตอมเหล่านั้นสามารถไปแทนที่สิ่งสกปรกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้พื้นผิวมีความสะอาดเพิ่มขึ้น หรือเป็นการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่มีเข้าไปบริเวณพื้นผิวได้

2.2.2 การทำให้วัสดุเกิดการเปียกด้วยกาว

กาวที่ใช้ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นของเหลวเพื่อเพิ่มความสามารถในการไหล และเข้ากันได้กับผิวของวัสดุ นอกจากนี้ยังง่ายต่อการทาลงบนพื้นผิวของวัสดุ กาวที่ทาลงบนพื้นผิวของวัสดุควรเรียบเป็นเนื้อเดียว และเปียกทั่วถึงทั้งพื้นผิวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองอากาศแทรกกระหว่างกาวกับวัสดุ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดจุดบกพร่องขึ้น มีผลทำให้เกิดการแตกหักได้เร็วกว่าที่ควร รูปที่ 2.2 แสดงถึงการเกิดการเปียกบนพื้นผิวที่ดี และไม่ดี



รูปที่ 2.2 การเปียกของกาวบนพื้นผิวที่ไม่ดี (รูปบน) และที่ดี (รูปล่าง) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การทำให้กาวแห้ง และแข็งตัว

หลังจากทา กาวบนพื้นผิวของวัสดุเรียบร้อยแล้วจึงทำการเปลี่ยนสภาพกาวจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งสามารถทำได้ 3 วิธีคือ

- การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยใช้ความร้อน ความดัน สารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง หรือตัวกระตุ้นต่างๆ เช่น แสงยูวี โดยสายโซ่พอลิเมอร์สามารถเกิดการเชื่อมโยงได้ กาวประเภทนี้สามารถเกิดการเชื่อมโยงได้ดีเมื่อมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ที่เหมาะสม
- การทำให้กาวที่เป็นของเหลวเย็นตัวลงแล้วกลายเป็นของแข็งเหนียวติดกับพื้นผิว
- การระเหยตัวทำละลาย หลังจากทำการระเหยตัวทำละลายเรียบร้อยแล้วกาวที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์ม

การทำให้กาวเปลี่ยนลักษณะจากของเหลวเป็นของแข็งสามารถเกิดได้ทั้งการระเหยตัวทำละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมีพร้อม ๆ กัน เมื่อกาวแห้ง และแข็งตัวทำให้เกิดการหดตัวเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง หรือการสูญเสียตัวทำละลาย ดังนั้นการเลือกกาวมาใช้งานควรทำการเลือกกาวที่มีการหดตัวน้อยที่สุด

2.2.4 ลักษณะ และการออกแบบข้อต่อ (Joint)

โครงสร้าง และองค์ประกอบทางเคมีของพื้นผิววัสดุที่นำมาทำเป็นข้อต่อต้องไม่ว่องไวต่อสภาพแวดล้อม เนื่องจากถ้าบริเวณพื้นผิวของวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างทำการเตรียมข้อต่อหรือระหว่างการใช้งานทำให้ความสามารถในการยึดติดของกาวเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ และในการออกแบบข้อต่อควรเป็นข้อต่อที่สามารถรับแรงเฉือน (Shear) ได้มาก มีค่าความแข็งแรงดึงสูง และสามารถกระจายแรงที่ได้รับได้อย่างทั่วถึง

2.3 การทดสอบสมบัติของกาว [7-8, 12-13]

รูปแบบการทดสอบชิ้นงานขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำการยึดติดว่ามีลักษณะอย่างไร วัสดุที่แข็งกับวัสดุที่ยืดหยุ่นใช้การทดสอบที่มีรูปแบบแตกต่างกัน การทดสอบสมบัติของกาวมีความจำเป็นเนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถใช้ทำนายความแข็งแรงของการเกิดพันธะระหว่างวัสดุกับกาวได้ เนื่องจากการดูลักษณะของกาว วัสดุ และลักษณะของข้อต่อไม่สามารถทำนายความแข็งแรงได้ ดังนั้นการหาค่าความแข็งแรงของการยึดติดสามารถหาได้จากการทดสอบเท่านั้น การทดสอบสมบัติของกาวสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือ

- การทดสอบสมบัติพื้นฐาน เป็นการทดสอบคุณภาพของกาวว่ามีสมบัติต่างๆ ตรงกับความ ต้องการหรือไม่ เช่น ความหนืด ความหนาแน่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น

- การทดสอบสมบัติการยึดติด เป็นการหาค่าความแข็งแรงของกาว และความสามารถในการ ทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่จะนำไปใช้งาน เช่น การทดสอบความแข็งแรงดึง ค่าการยึดติด ความสามารถในการต้านทานสารเคมี

2.3.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือความสามารถในการต้านทานการไหลของของเหลวมีหน่วยเป็น พอยส์ (Poise) หรือเซนติพอยส์ (Centipoise, cP) กาวส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นของเหลว และแห้งกลายเป็น แผ่นฟิล์มหลังจากเกิดการยึดติด ดังนั้นสมบัติที่สำคัญของกาวที่เป็นของเหลว คือความหนืด เพราะ ความหนืดเป็นค่าที่ใช้บอกลักษณะการไหลเมื่อทำการให้แรงเฉือน ความสามารถในการกระจายตัว ของกาวบนผิวของวัสดุ อัตราเร็วในการแห้ง ค่าแรงดึงผิว และปริมาณของเนื้อกาวที่ผสมอยู่ เครื่องมือที่นิยมใช้สำหรับหาค่าความหนืดคือ

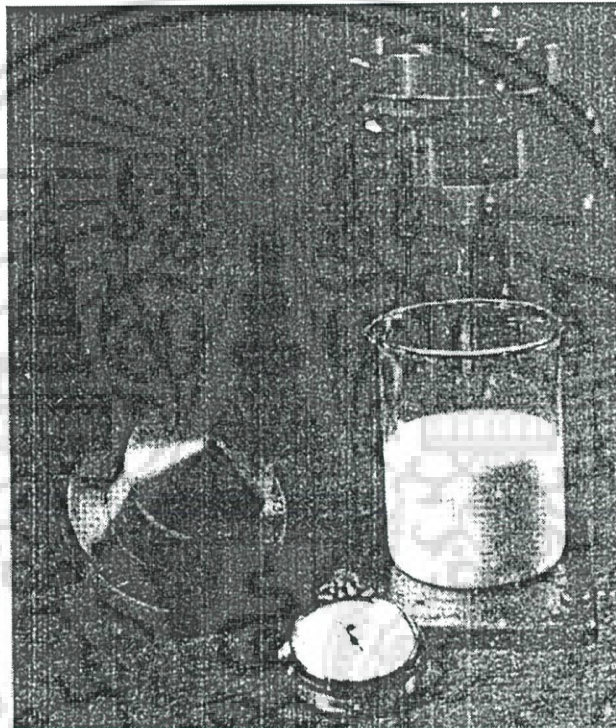
1. Rotating cylinder instrument เป็นการทดสอบที่นิยมหาค่าความหนืดที่อยู่ในช่วง 50 ถึง 200,000 cP โดยทำการให้แรงหมุนแกนน้ำหนึ่กในเนื้อกาว ซึ่งแรงที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการ หมุนของแกนน้ำหนึ่กนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความหนืด เครื่องที่นิยมใช้วัดความหนืดใน ระบบนี้คือ Brookfield viscometer ซึ่งแสดงในรูป ที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องวัดความหนืดชนิด Brookfield viscometer [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Flow cups เป็นการทดสอบความหนืดที่ขึ้นกับเวลา สามารถหาค่าความหนืดได้โดยนำของเหลวเทลงในถ้วยที่มีการเจาะรูขนาดที่แน่นอนบริเวณด้านล่าง และมีการออกแบบให้ของเหลวสามารถไหลออกได้ 50 มิลลิลิตร ต่อ 30 ถึง 100 วินาที ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ทำการบันทึกเวลาที่ของเหลวไหลออกจนหมด เนื่องจากปริมาตรของถ้วย และขนาดของรูบริเวณด้านล่างมีหลายขนาด ทำให้วิธีนี้อาจวัดค่าได้ไม่แน่นอน วิธีนี้เหมาะสมกับกาวที่มีความหนืดค่อนข้างต่ำ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสี เพื่อใช้ปรับปริมาณตัวทำละลายที่ผสมอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครื่องวัดความหนืดแบบ Flow cups [12]

2.3.2 เปอร์เซนต์ของแข็งโดยรวม (%Total solid content, %TSC)

กาวส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นของเหลวโดยมีตัวทำละลายเป็นสารอินทรีย์ หรือน้ำ และเมื่อเกิดการระเหยเพื่อทำให้กาวแห้งเหลือแต่ส่วนที่เป็นของแข็งที่เกิดพันธะการยึดติด จึงมีความจำเป็นต้องทราบปริมาณ หรือเปอร์เซนต์ของแข็งโดยรวมว่ามีอยู่ในปริมาณมากน้อยเพียงใดเพื่อทำให้เกิดการยึดติดที่แข็งแรงที่สุด นอกจากนั้นปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในสารละลายยังมีผลต่อค่าความหนืดด้วย เช่น ถ้ามีเปอร์เซนต์ของแข็งโดยรวม (%TSC) ต่ำ แสดงว่ามีปริมาณตัวทำละลายสูง ต้องใช้เวลานานในการทำให้กาวแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมสามารถหาได้โดยทำการชั่งน้ำหนักของกาวแล้วให้ความร้อน หรือ ทำให้เกิดการเชื่อมโยง (Curing) เพื่อระเหยตัวทำละลายออกจนมีน้ำหนักคงที่ ทำการชั่งน้ำหนัก อีกครั้งเพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมจากสมการ (2.1)

$$\% \text{ ของแข็งโดยรวม} = \frac{\text{น้ำหนักกาวหลังระเหยตัวทำละลาย}}{\text{น้ำหนักกาวเริ่มต้น}} \times 100 \quad (2.1)$$

2.3.3 ระยะเวลาในการเก็บรักษา (Storage life)

ระยะเวลาในการเก็บรักษา คือเวลาที่สามารถเก็บกาวไว้ใช้งานได้โดยกาวไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบระยะเวลาในการเก็บรักษากาวก่อนการนำไปใช้งาน สามารถทดสอบได้จากความหนืด หรือความแข็งแรงในการเกิดพันธะยึดติด เนื่องจากเมื่อทำการเก็บกาวไว้เป็นระยะเวลานานสมบัติต่างๆ ของกาวทั้งทางกายภาพ และทางเคมี อาจมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีผลต่อค่าความแข็งแรงของกาวในการยึดติดระหว่างวัสดุ โดยปกติ กาวมีระยะเวลาในการเก็บรักษาได้นานกว่า 6 เดือนที่อุณหภูมิห้อง แต่กาวชนิด One-component ต้องทำการเก็บรักษาในที่อุณหภูมิที่ต่ำเพื่อยืดอายุในการเก็บรักษากาวให้ยาวนานขึ้น

2.3.4 อายุการใช้งาน (Pot life)

อายุการใช้งาน คือระยะเวลาในการใช้งานหลังจากที่เกิดการยึดติดระหว่างวัสดุจนกระทั่งเกิดการเสียสภาพ อาจเรียกอีกแบบว่า Working life สามารถหาได้จากความหนืด และความแข็งแรงดึง โดยปกติบอกในหน่วยปริมาตรของกาว เพราะว่าอายุการใช้งานขึ้นกับน้ำหนัก และปริมาตรของกาว

2.3.5 อัตราการเชื่อมโยง (Cure rate)

กาวสามารถเกิดการเชื่อมโยง (Curing) ได้โดยให้ความร้อน เติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) หรือให้ความดัน ซึ่งบางครั้งอาจใช้ทั้ง 3 วิธี เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงอย่างสมบูรณ์ เวลาในการเชื่อมโยงมีผลต่อค่าความแข็งแรง สามารถหาได้จากการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน (Lap shear tensile) โดยการทดสอบนี้ต้องทำเมื่อกาวเกิดการเชื่อมโยงอย่างสมบูรณ์แล้ว

2.3.6 ความสามารถในการซึมผ่าน (Penetrating)

ความสามารถในการซึมผ่าน คือความสามารถของกาวที่สามารถซึมผ่านไปเนื้อของวัสดุ หรือช่องว่างของวัสดุได้มากน้อยเพียงใด อาจเรียกอีกอย่างว่า Wetting ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยการนำกระดาษกรองเบอร์ 4 มาทำการวางซ้อนทับกันประมาณ 4 ถึง 6 แผ่น หลังจากนั้นจึงทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยดกาวลงบนกระดาษกรอง ให้ความดันประมาณ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทิ้งไว้ประมาณ 10 ถึง 15 วินาที สังเกตความสามารถในการซึมผ่านกระดาษกรองของกาว

2.3.7 ความเหนียวติด (Tack)

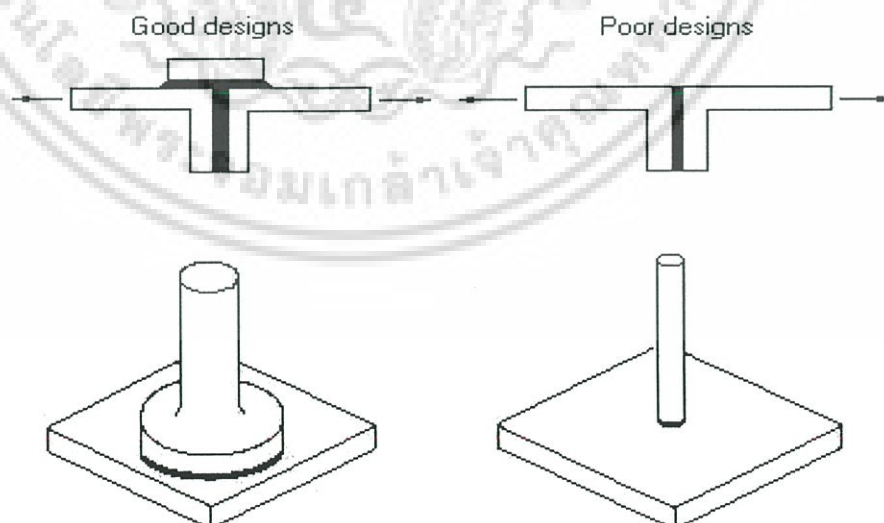
ความเหนียวติด คือความสามารถของฟิล์มกาวที่สามารถยึดติดระหว่างวัสดุได้อย่างแข็งแรงที่ความดันต่ำ อาจเรียกอีกอย่างว่า Green strength ซึ่งบอกในรูปของความเหนียวหนืด (Stickiness) ของกาว ทราบได้จากการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงบอกในหน่วยของปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยปกติกาวมีความเหนียวในการยึดติดเมื่อมีการเปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง

2.3.8 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

ความเป็นกรด-เบสในกาวอาจส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดความเสียหายแก่วัสดุที่นำมายึดติดได้ เช่น ถ้านำกาวที่มีความเป็นกรดมายึดติดวัสดุที่ไม่ทนทานต่อความเป็นกรด เมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง วัสดุอาจค่อยๆ เกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากถูกกัดกร่อนทำให้ไม่สามารถเกิดการยึดติดอยู่ได้

2.3.9 การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test)

การทดสอบความแข็งแรงดึงของกาวต้องมีการออกแบบข้อต่อให้มีความสามารถในการกระจายแรงที่ได้รับอย่างทั่วถึง แรงที่ใช้มีทิศตั้งฉากกับกาว ความแข็งแรงดึงและความสามารถในการยึดติดของกาวขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อต่อ และแรงที่ใช้ ถ้าทำการออกแบบข้อต่อไม่ดีอาจทำให้การทดสอบความสามารถในการยึดติดของกาวมีความคลาดเคลื่อนได้

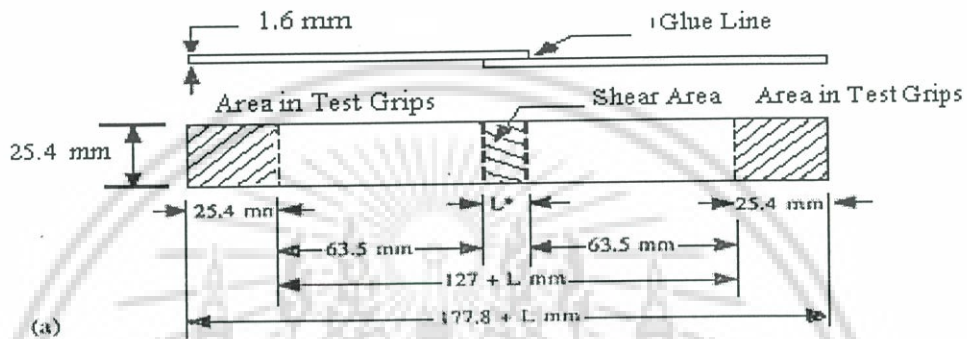


รูปที่ 2.5 การออกแบบข้อต่อเพื่อใช้ในการทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.10 การทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน (Lap shear)

การทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนเป็นวิธีที่นิยมใช้เพราะง่าย และสะดวก มีรูปแบบของชิ้นงานทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2.6 ใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดยาว 4 นิ้ว กว้าง 1 นิ้ว และส่วนที่ยึดติดกันมีความยาวประมาณ 1/2 นิ้ว ใช้แรงดึงประมาณ 800 ถึง 1400 ปอนด์ต่ออนาที ผลการทดสอบขึ้นกับอุณหภูมิขณะทำการดึง ระยะทางที่ทำการยึดติด และอัตราเร็วในการดึง

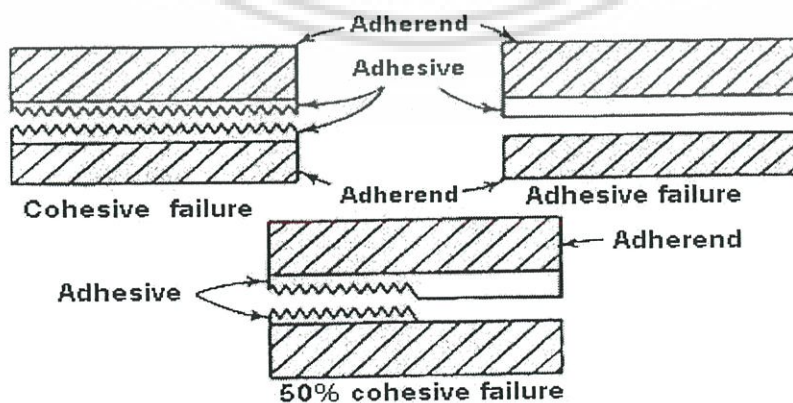


รูปที่ 2.6 การทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน [13]

2.4 กลไกการเสียหายของกาว [8]

การศึกษาความสามารถในการยึดติดของกาวสามารถทดสอบได้จากการเสียหายของกาว ซึ่งการเสียหายของกาวเกิดได้ 2 ลักษณะคือ

- Cohesive failure คือการเสียหายบริเวณชั้นของเนื้อกาวที่เป็นรอยต่อของพื้นผิวของวัสดุทั้งสอง
- Adhesive failure คือการเสียหายที่เกิดขึ้นที่ผิวด้านใดด้านหนึ่งของวัสดุกับเนื้อกาว ซึ่งการเกิดการเสียหายแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งของกาวที่เกิดการเสียหายบริเวณเนื้อกาว หรือที่พื้นผิวของวัสดุ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสียดสีภายในเนื้อกาว หรือภายในวัสดุบางครั้งถือว่าการเกิดการเสียดสีภาพที่สมบูรณ์ เนื่องจากบริเวณข้อต่อระหว่างวัสดุมีความแข็งแรงสูงสุด อย่างไรก็ตามการเสียดสีภาพไม่ได้ใช้เป็นตัวบอค่าความสามารถในการเชื่อมต่อของวัสดุเพียงอย่างเดียว เพราะลักษณะของข้อต่อก็มีผลต่อลักษณะการเสียดสีภาพเช่นกัน การวิเคราะห์การเสียดสีภาพสามารถบอค่าความแข็งแรงระหว่างวัสดุได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตำแหน่งที่เกิดความเสียดสีภาพ และความแข็งแรงของกาว

ตำแหน่งที่เกิดการเสียดสีภาพ	ความแข็งแรงของกาว
เกิดบริเวณระหว่างเนื้อกาวกับวัสดุ (Interfacial)	ความแข็งแรงภายในเนื้อวัสดุ > ความแข็งแรงบริเวณที่เกิดการยึดติด
เกิดบริเวณภายในเนื้อของวัสดุหรือในเนื้อกาว	ความแข็งแรงบริเวณที่เกิดการยึดติด > ความแข็งแรงภายในเนื้อวัสดุ
เกิดทั้ง 2 แบบผสมกัน	ความแข็งแรงบริเวณที่เกิดการยึดติด \approx ความแข็งแรงภายในเนื้อวัสดุ

2.5 พอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)

พอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันเป็นการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอนุโมลติสระ มีลักษณะเช่นเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย คือมีน้ำเป็นตัวกลาง สามารถปั่นกวนได้ง่าย และถ่ายเทความร้อนได้ดี แต่มีข้อแตกต่างกันที่สำคัญ 2 ประการด้วยกัน คือพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันตัวริเริ่มไม่ละลายในมอนอเมอร์ แต่ละลายในน้ำ มอนอเมอร์มีขนาดเล็กกว่ามาก เนื่องจากถูกปั่นกวนจนกลายเป็นหยดเล็กๆ แขวนลอยกระจายอยู่ในชั้นน้ำ และพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ไม่ตกตะกอนทันทีหลังจากการหยุดปั่นกวน เนื่องจากมีสารลดแรงตึงผิวที่เรียกว่าอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ซึ่งเป็น โมเลกุลที่มีปลายด้านหนึ่งชอบน้ำ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งไม่ชอบน้ำอยู่ที่ผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์และน้ำ ลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้เรียกว่าลาเท็กซ์ (Latex) ข้อดีของระบบอิมัลชัน คือมีความหนืดต่ำ และง่ายต่อการควบคุม ลาเท็กซ์ที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงจึงได้รับความนิยมในการสังเคราะห์พอลิเมอร์เพื่ออุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสี หรือกาว [14-15]

พอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันได้มีการพัฒนาในอเมริกาช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 สำหรับผลิตยางสังเคราะห์สไตรีน-บิวทาไดอิน ในปัจจุบันพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันเป็นที่นิยมใช้สำหรับสังเคราะห์คอนจูเกตไดอิน (Conjugate diene) เช่น บิวทาไดอิน และไอโซพรีน นอกจากนั้นยัง

สามารถทำการสังเคราะห์ไฮโปพอลิเมอร์ และโคพอลิเมอร์ของไวนิลมอนอเมอร์ เช่น สไตรีน ไวนิลิตีนคลอไรด์ ไวนิลอะซิเตต อะคริเลต และเมทาคริลิก [16]

2.5.1 ส่วนประกอบของพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน [14, 16]

1. มอนอเมอร์ (Monomer)

มอนอเมอร์เป็นตัวกำหนดสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้ มอนอเมอร์ที่ใช้ในระบบอิมัลชันควรละลายได้น้อยในตัวกลาง เพื่อให้มอนอเมอร์สามารถแพร่ผ่านตัวกลางไปยังไมเซลล์ของอิมัลซิไฟเออร์ เพื่อเป็นการเก็บสะสมมอนอเมอร์ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันภายในไมเซลล์ โดยทั่วไปการละลายของมอนอเมอร์ในตัวกลางต้องน้อยกว่า 0.004 โมล/ลิตร ถ้าไม่เช่นนั้นสารละลายตัวกลางจะกลายเป็นสารหลักในการเกิดปฏิกิริยา และทำให้ระบบไม่เป็นอิมัลชัน

2. ตัวกลาง (Dispersing media)

ตัวกลางที่นิยมใช้ คือน้ำซึ่งทำหน้าที่ในการระบายความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา และเป็นบริเวณที่เกิดการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยา น้ำที่ใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชันต้องปราศจากไอออนชนิดต่างๆ เนื่องจากไอออนที่อยู่ในน้ำสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชัน และลดประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวโดยการลดความว่องไวของประจุ นอกจากนี้ยังทำให้เปอร์ซัลเฟตซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในระบบพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชันไม่ละลายในน้ำอีกด้วย

3. สารลดแรงตึงผิว หรืออิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยปลายด้านหนึ่งที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และปลายอีกด้านหนึ่งไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) อยู่ด้วยกัน สารลดแรงตึงผิวทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างมอนอเมอร์และน้ำ ทำให้มอนอเมอร์เกิดเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่เสถียร สามารถกระจายตัวได้ดี และป้องกันไม่ให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้เกิดการเกาะกันเป็นก้อนระหว่าง และหลังปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชัน

ลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของสารลดแรงตึงผิว คือการเกิดเป็นไมเซลล์ สามารถเกิดได้เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีมากพอถึงระดับหนึ่ง ที่เรียกว่า ความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration (CMC)) ซึ่งแต่ละไมเซลล์ประกอบด้วยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวประมาณ 50 ถึง 100 โมเลกุล โดยหันส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนซึ่งไม่ชอบน้ำเข้าหากัน และหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาตัวกลาง จำนวนของไมเซลล์ และขนาดขึ้นกับปริมาณของสารลดแรงตึงผิว ถ้าสารลดแรงตึงผิวมีปริมาณมากทำให้เกิดไมเซลล์จำนวนมากแต่มีขนาดเล็กกลั่น นั่นคือพื้นที่ผิวของไมเซลล์เพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิว

4. ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator)

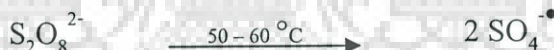
ตัวริเริ่มปฏิกิริยามีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าสารลดแรงตึงผิวในระบบพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน ตัวริเริ่มปฏิกิริยาต้องละลายน้ำ และแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งอนุมูลอิสระสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ที่ไม่อิมตัวเกิดเป็นพอลิเมอร์ ตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยา ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียม และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

5. ตัวย้ายสายโซ่ (Chain transfer)

ตัวย้ายสายโซ่เป็นสารประเภทเมอร์แคปแทน (Mercaptan, RSH) ทำหน้าที่ควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ เช่น ลอริลเมอร์แคปแทน (Lauryl mercaptan)

2.5.2 กลไกของพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน [16]

ขั้นที่ 1 ในระบบพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันประกอบไปด้วย มอนอเมอร์ น้ำ และสารลดแรงตึงผิวซึ่งกระจายอยู่ในชั้นน้ำ โดยมีการปั่นกวนอย่างรวดเร็วทำให้มอนอเมอร์เกิดเป็นหยดเล็กๆ (Monomer droplet) ขนาด 1 ถึง 10 ไมครอน ส่วนสารลดแรงตึงผิวกระจายตัวอยู่ในน้ำโดยเกิดเป็นไมเซลล์ เมื่อมีการให้ความร้อนทำให้ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต) สลายตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระของซัลเฟตไอออน (Sulfate radical ion) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้



อนุมูลอิสระของซัลเฟตเกิดปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำเกิดเป็นไอออนของอนุมูลอิสระ (Ionic free radical)

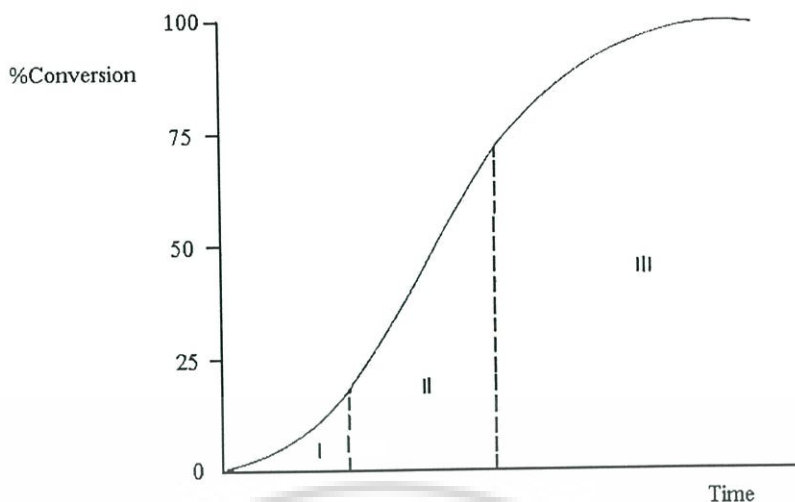


เนื่องจากไอออนของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมีทั้งส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอน (ไม่ชอบน้ำ) และส่วนที่เป็นไอออนิก (ชอบน้ำ) ทำให้ไอออนของอนุมูลอิสระประพติดัวเช่นเดียวกับสารลดแรงตึงผิว จึงเกิดการแพร่เข้าไปอยู่ในไมเซลล์ได้ การที่ไอออนของอนุมูลอิสระสามารถเข้าไปภายในไมเซลล์ได้จึงกลายเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์ที่ละลายอยู่ในไมเซลล์ เมื่อมอนอเมอร์ที่อยู่ในไมเซลล์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกลายเป็นพอลิเมอร์ ทำให้มอนอเมอร์ที่อยู่ในไมเซลล์ลดจำนวนลง ส่งผลให้หยดมอนอเมอร์ที่ละลายอยู่ในน้ำเกิดการแพร่ผ่านตัวกลางเข้าไปภายในไมเซลล์เพิ่มขึ้น ไมเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเรียกอีก

อย่างว่าอนุภาคของมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ (Monomer-polymer (M/P) particle) การเกิด

พอลิเมอไรเซชันในขั้นที่ 1 เป็นช่วงที่สั้นที่สุด เนื่องจากขั้นที่ 1 ถือเป็นขั้นที่เกิดอนุภาคนิวเคลียส

(Particle nucleation) ของพอลิเมอร์ ดังนั้นขั้นที่ 1 เสร็จสมบูรณ์ที่เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็น



รูปที่ 2.9 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับเวลาของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน [17]

2.5.3 ข้อดีของพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน [14-15]

- สามารถควบคุมการเริ่มต้นของปฏิกิริยา (Initiation) ขั้นตอนการดำเนินปฏิกิริยา (Propagation) ปฏิกิริยาถ่ายลูกโซ่ (Chain transfer) ขั้นตอนการสิ้นสุดปฏิกิริยา (Termination) ได้ง่าย และอุณหภูมิในระหว่างพอลิเมอไรเซชันไม่สูงมาก (60 ถึง 85 °C)
- อัตราเร็วของปฏิกิริยา และองศาของพอลิเมอไรเซชัน (Degree of polymerization) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอนุภาคนิวเคลียสมากกว่าความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- สามารถควบคุมระบบการสังเคราะห์ได้ง่าย เนื่องจากตัวกลางเป็นน้ำ จึงมีปัญหาในด้านการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าระบบอื่น และไม่มีปัญหาในเรื่องราคาของตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวกลาง นอกจากนี้ความหนืดของอิมัลชัน ไม่ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์

2.5.4 ความสำคัญ และลักษณะของการเกิด Core-shell [16, 18]

ในปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมสนใจองค์ประกอบของลาเท็กซ์เพิ่มมากขึ้น และได้ทำการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของลาเท็กซ์ให้มีลักษณะตามที่ต้องการ มีการนำลาเท็กซ์ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์หลายชนิดมาใช้ในงานด้านต่างๆ มากขึ้น เช่น การเคลือบรถยนต์ การปรับปรุงพลาสติกเพื่อเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก และความเหนียว เพิ่มความสามารถในการยึดติดของกาว นอกจากนี้ได้มีการเลือกพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ มาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีลักษณะตามความต้องการ เช่น คอมโพสิตลาเท็กซ์ (Latex composite) ซึ่งสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันที่ต่อเนื่อง โดยใช้พอลิเมอร์ต่างชนิดกัน ในขั้นแรกเป็นการเตรียมสตีคจากมอนอเมอร์ชนิดแรกให้เกิดการพอลิเมอไรซ์กลายเป็นพอลิเมอร์ ในขั้นที่ 2 มีการเติมมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งซึ่งไม่สามารถละลายเข้าไปในพอลิเมอร์

ชนิดแรกได้จึงเกิดการพอลิเมอไรเซชันเฉพาะบริเวณรอบนอกอนุภาคของเม็ดลาเท็กซ์ (Seed latex particle) ลาเท็กซ์ที่ได้เรียกว่า Core-shell ซึ่งมีความหมายว่า พอลิเมอร์ชนิดแรกที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาอยู่บริเวณศูนย์กลางของอนุภาค และพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งเกิดปฏิกิริยาที่บริเวณรอบนอก ทำให้มีลักษณะเป็นชั้นๆ เช่น การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพอลิเมอร์ร่วมระหว่าง สไตรีนกับบิวทาไดอีน เมื่อนำไปทำการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่าอนุภาคมีลักษณะเป็นชั้นสีขาว/ดำ ซึ่งเป็นลักษณะพื้นฐานวิทยาของอนุภาคแบบ Core-shell ลาเท็กซ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสีดอิมัลชัน (Seed emulsion polymerization) มีพื้นฐานวิทยาได้หลายลักษณะด้วยกัน เช่น เกิดเป็นแบบ Core-shell, Hemispherical และ Inverted core-shell ซึ่งการออกแบบ และควบคุมลักษณะของเม็ดลาเท็กซ์ มีประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานอย่างมาก

ลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสีดอิมัลชัน การกระจายตัวของเฟสในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับลักษณะของอนุภาค (Particle) สภาพที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ ในปัจจุบันได้ทำการศึกษาเพื่อทำการหาลักษณะพื้นฐานวิทยาที่เกิดขึ้นในขั้นที่ 2 ของปฏิกิริยา พบว่าปัจจัยสำคัญที่ควบคุมพื้นฐานวิทยาของอนุภาค คือ เทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics) และจลนศาสตร์ (Kinetics) ในการเกิดปฏิกิริยา

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

I. G. Hargis, M. A. Richard และ W. A. John [19] ได้ทำการสังเคราะห์กาวเพื่อใช้ยึดติดระหว่างยางกับโลหะ โดยใช้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสีดอิมัลชัน (Seeded emulsion polymerization) โดยใช้สไตรีนเป็นเม็ดลาเท็กซ์ และมีโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา สารที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันขั้นที่สองมีบิวทาไดอีน (Butadiene) และ ไวนิลิดีนคลอไรด์ (Vinylidene chloride) จากนั้นนำเม็ดลาเท็กซ์ไปเติมสารเติมแต่งต่างๆ เช่น สารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) เขม่าดำ (Carbon black) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) เป็นต้น นำกาวที่ได้มาทาบนพื้นผิวของโลหะทำให้แห้งโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปยึดติดกับยางธรรมชาติโดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปที่ความดัน 30000 ปอนด์ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำไปทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึงในการยึดติดของกาวตาม ASTM D 429 โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกาวที่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง และกาวที่ใช้ตัวทำละลายเป็นตัวกลาง พบว่าเกิดการฉีกขาดบริเวณยางทั้งคู่ แต่ค่าความแข็งแรงดึงของกาวที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายมีค่าสูงกว่ากาวที่มีตัวทำละลายเป็นตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W. D. He และ C. Yuan [20] ได้ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate, MMA) และสไตรีนมอนอเมอร์ (Styrene monomer) ซึ่งเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไวนิล (Vinyl) ของพอลิไซลอกเซน (Polysiloxane) ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสีดอิมัลชัน (Seeded emulsion polymerization) โดยทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิไซลอกเซนลาเท็กซ์ซึ่งมีทั้งแบบที่เป็นเส้นตรง (Linear) และแบบที่เกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) โดยพอลิไซลอกเซนที่เกิดพันธะเชื่อมโยงมีความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิสไตรีน (Polystyrene) ได้ดี ทำให้พอลิสไตรีนเกิดการแพร่บนพื้นผิวของเม็ดลาเท็กซ์ ทำให้ส่วนที่เป็น Core ของเม็ดลาเท็กซ์ คือพอลิไซลอกเซน และ Shell ของเม็ดลาเท็กซ์ คือพอลิสไตรีน แต่สำหรับการเกิดปฏิกิริยากับเมทิลเมทาคริเลต พบว่าไม่สามารถรวมตัวกับพอลิไซลอกเซนที่เกิดการเชื่อมโยง ทำให้สายโซ่ของเมทิลเมทาคริเลตไม่เกิดปฏิกิริยาบนเม็ดลาเท็กซ์ ทำให้ไม่เกิดลักษณะของ Core-shell แต่เกิดเป็นโฮโมพอลิเมอร์แทน ในกรณีที่ใช้พอลิไซลอกเซนที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงทำให้มอนอเมอร์ของสไตรีนเกิดเป็นพอลิเมอร์ร่วมกับหมู่ไวนิลของพอลิไซลอกเซน โดยที่มอนอเมอร์ของสไตรีน และสายโซ่ของพอลิสไตรีนสามารถแพร่ผ่านเข้าไปภายในเม็ดลาเท็กซ์ แล้วเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกลายเป็นพอลิเมอร์ภายในเม็ดลาเท็กซ์ ทำให้เกิดพอลิไซลอกเซนกลายเป็น Shell ของเม็ดลาเท็กซ์แทน และมีพอลิสไตรีนเป็น Core เมทิลเมทาคริเลตเกิดพอลิเมอร์ร่วมกับหมู่ไวนิลพอลิไซลอกเซน โดยเกิดปฏิกิริยารอบๆ พอลิไซลอกเซน ทำให้เมทิลเมทาคริเลตเป็น Shell ส่วนพอลิไซลอกเซนเป็น Core และเมื่อทำการลดปริมาณหมู่ไวนิลลงทำให้เกิดการเชื่อมโยงภายในเม็ดลาเท็กซ์มากขึ้น มีผลทำให้พอลิสไตรีนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นเนื้อเดียวกับเม็ดลาเท็กซ์ได้ จึงมีบางส่วนที่เกิดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ และทำให้พอลิสไตรีนบางส่วนเกิดปฏิกิริยารอบนอกเม็ดลาเท็กซ์กลายเป็น Shell และมีพอลิไซลอกเซนเป็น Core แทน แต่สำหรับเมทิลเมทาคริเลตเกิดพอลิเมอร์ร่วมกับหมู่ไวนิลของพอลิไซลอกเซนในลักษณะกราฟที่บนพื้นผิวของเม็ดลาเท็กซ์ มีผลทำให้ได้พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็น Shell มีพอลิไซลอกเซนเป็น Core

O. Karlsson, A. Hassander และ B. Wesslen [21] ได้ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ร่วมของไอโซพรีน สไตรีน และกรดเมทาคริลิก (Poly (isoprene-styrene-methacrylic acid)) เตรียมโดยการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสีดอิมัลชัน (Seeded emulsion polymerization) ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) ในการทดลองทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดเมทาคริลิกที่เติมลงไปในช่วงที่ 2 เพื่อทำการควบคุมความมีขั้วของพอลิเมอร์ที่ได้ ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ที่ได้ขึ้นอยู่กับสถานะในการเกิดปฏิกิริยา และองค์ประกอบที่เกิดเป็น

พอลิเมอร์ ถ้าในขั้นที่ 2 ของการเกิดปฏิกิริยาทำการเติมแต่ไอโซพรีนมอนอเมอร์โดยไม่มีการเติมกรดเมทาคริลิกทำให้เกิดสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เป็น Invert core-shell โดยมีพอลิไอโซพรีนเป็น Core และพอลิสไตรีนเป็น Shell และเมื่อทำการเติมเมทาคริลิกกับไอโซพรีนมอนอเมอร์ทำให้ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เปลี่ยนไปเป็นแบบแซนวิช (Sandwich) โดยมีพอลิเมอร์ร่วมระหว่างไอโซพรีนกับเมทาคริลิกอยู่ด้านนอก 2 ด้าน หรืออาจกล่าวได้ว่าพอลิสไตรีนเป็น Core ส่วนพอลิเมอร์ร่วมระหว่างไอโซพรีนกับเมทาคริลิกเป็น Shell

O. J. Karlsson, H. Hassander และ B. Wesslen [22] ได้ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและอัตราการเกิดปฏิกิริยาของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสีดอิมัลชัน (Seeded emulsion polymerization) ระหว่างสไตรีนมอนอเมอร์ (Styrene monomer) กับบิวทาไดอีนมอนอเมอร์ (Butadiene monomer) โดยทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือพอลิสไตรีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง พอลิสไตรีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และพอลิสไตรีนที่มีไดไวนิลเบนซินเป็นพอลิเมอร์ร่วม การเกิดปฏิกิริยาในขั้นที่ 2 ทำการเติมสไตรีนมอนอเมอร์ บิวทาไดอีนมอนอเมอร์ และกรดเมทาคริลิก เพื่อเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์ร่วม โดยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดเมทาคริลิกที่ใช้ในปริมาณ 1 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อใช้พอลิเมอร์ร่วมระหว่างไดไวนิลเบนซินกับสไตรีนมอนอเมอร์เป็นเม็ดลาเท็กซ์ ขนาดของเม็ดลาเท็กซ์ที่ได้มีขนาดใหญ่กว่าเม็ดลาเท็กซ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของสไตรีนมอนอเมอร์ ส่วนอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นที่ 2 ไม่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิสไตรีนที่ต่างกัน แต่ขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดที่เติมลงไป ในขั้นที่ 2 คือถ้าเติมกรดในปริมาณมากทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น และลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ที่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดมากกว่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิสไตรีน แต่เมื่อเติมกรดในปริมาณน้อยในขั้นที่ 2 ทำให้ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิสไตรีน

Y. S. Xu, C. D. Yuan, Y. J. Wang, T. Y. Cao และ P. Cao [23] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ (Graft copolymer) ระหว่างพอลิสไตรีน (Polystyrene) กับพอลิเอทิลอะคริเลต (Polyethyl acrylate) ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสีดอิมัลชัน (Seeded emulsion polymerization) ใช้พอลิเอทิลอะคริเลตเป็นเม็ดลาเท็กซ์ ใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate, KPS) เป็นตัวริเริ่มในการเกิดปฏิกิริยา และมีโซเดียมโดเดซิลเบนซิลซัลโฟเนต (Sodium dodecyl benzyl sulfonate, SDBS) เป็นสารลดแรงตึงผิว ในการเติมสไตรีนมอนอเมอร์ในขั้นที่ 2 ต้องค่อยๆ เติมน้ำลงไปให้ช้ากว่าการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเพื่อให้ออนอเมอร์เกิดการแพร่อย่างรวดเร็วบนเม็ดลาเท็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันบนพื้นผิวของเม็ดลาเท็กซ์ นอกจากนั้นยังเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดโฮโมพอลิเมอร์ขึ้นใหม่ เพราะประสิทธิภาพในการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ระหว่าง Core-shell มีค่าสูงสุดในช่วงแรก จากการทดลองพบว่าถ้าทำการเติมสไตรีนมอนอเมอร์เร็วขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาการกราฟท์ลดลง แสดงว่าการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของเม็ดลาเท็กซ์ที่เกิดปฏิกิริยากับสไตรีนมอนอเมอร์ ขณะเดียวกันประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ลดลง เมื่อความเข้มข้นของตัวริเริ่มในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เพราะว่าตัวริเริ่มทำให้เกิดอนุมูลอิสระขนาดใหญ่ (Macromolecule radicals) ของพอลิสไตรีน (PS*) เพิ่มมากขึ้นซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นโฮโมพอลิเมอร์มากกว่า

O. Karlsson และ B. Wesslen [24] ได้ทำการศึกษาการบวมตัวของพอลิเมอร์ร่วมระหว่างสไตรีนกับกรดเมทาคริลิก (Poly (styrene-co-methacrylic acid)) ด้วยไอโซพรีนมอนอเมอร์ (Isoprene monomer) เริ่มต้นทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนกับกรดเมทาคริลิก จากนั้นค่อยๆ ทำการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันขั้นที่ 2 นำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เพิ่มขึ้นขณะทำการทดลอง (O_p) ต่อปริมาณของไอโซพรีนมอนอเมอร์ที่เติมกับค่าสัดส่วนโดยปริมาตรของพอลิเมอร์ในสารละลาย (V_p) พบว่าจากกราฟที่ได้ช่วงที่ความดันมีค่าสูงสุด แสดงว่าไอโซพรีนที่เติมลงไปแสดงสมบัติเป็นสารปรับสภาพพลาสติก (Plasticizing agent) ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ของพอลิสไตรีนมีค่าลดลง ทำให้ไอโซพรีนสามารถแพร่เข้าไปในพอลิสไตรีนได้อย่างอิสระจึงทำให้อัตราการบวมตัวมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความดันเทียบกับเวลาพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงขณะที่ความดันคงที่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการหน่วงปฏิกิริยาเกิดขึ้น กล่าวคือบริเวณพื้นผิวของพอลิสไตรีนได้ดูดซับสารลดแรงดึงผิวและกรดเมทาคริลิก จึงทำให้เกิดการขัดขวางการดูดซับของไอโซพรีนมอนอเมอร์

P. S. Achary, C. Gouri และ R. Ramaswamy [25] ได้ทำการพัฒนากาวชนิดไนไตรล์-ฟีนอลิก (Nitrile-phenolic adhesive) เพื่อใช้ยึดติดระหว่างยางธรรมชาติกับโลหะโดยการเติมโทลูอีนไดไอโซไซยานต-ไนโตรโซฟีนอล (Toluene diisocyanate-nitrosophenol, TDT-NOP) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างกาวกับยาง โดยกาวชนิดนี้เตรียมได้โดยการผสมระหว่างพารา-ครีซอลฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (*p*-cresol phenol formaldehyde resin) ยางไนไตรล์ (Nitrile rubber, NBR) และสารที่ช่วยกระตุ้นให้เกิดการเชื่อมโยงในตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone) เมื่อนำกาวชนิดนี้มาทำการยึดติดระหว่างยางกับโลหะแล้วทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดึง พบว่าเกิดการขาดบริเวณพื้นผิวของยางกับกาว เนื่องจากกาวชนิดนี้มีหมู่ฟีนอลซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับพื้นผิวของโลหะ แต่ไม่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยากับพื้นผิวของยาง หลังจากที่ทำกรเติม TDT-NOP 10 phr พบว่าความสามารถในการทนต่อแรงดึงมีค่าสูงขึ้น และเกิดการขาดบริเวณเนื้ออย่างแสดงว่า TDT-NOP ช่วยให้เกิดพันธะระหว่างยางกับกาวดีขึ้น การเติม TDT-NOP ไม่มีผลต่อความเค้น และความเครียด (Stress-Strain) และการทนความร้อน แสดงว่า TDT-NOP ช่วยเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกาวกับยางธรรมชาติบริเวณพื้นผิวได้

A. Arora, E. S. Daniels และ M. S. E. Aasser [26] ได้ทำการศึกษาลักษณะของ Core-shell ของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสีดอิมัลชัน (Seeded emulsion polymerization) ที่มีพอลิสไตรีนเป็น Core ส่วน Shell เป็นพอลิเมอรร่วมระหว่างสไตรีน/บิวทิลอะคริเลต/กรดเมทาคริลิก (Styrene/n-butyl acrylate/methacrylic acid) โดยในการทดลองนี้ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างสไตรีนกับกรดเมทาคริลิก โดยใช้อัตราส่วนของสไตรีน/บิวทิลอะคริเลต/กรดเมทาคริลิกเป็น 14/56/30 และ 29/56/15 พบว่าหมู่คาร์บอกซิลกระจายตัวอยู่ที่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคโดยที่อัตราส่วน 14/56/30 มีหมู่คาร์บอกซิลมากกว่าที่อัตราส่วน 29/56/15 เนื่องจากมีการรวมตัวของไอออนิกบริเวณ Shell ทำให้มีความสามารถในการกระจายตัวในระดับจุลภาคได้ดีกว่าที่อัตราส่วน 29/56/15 จากการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงพบว่าที่อัตราส่วน 14/56/30 มีค่าสูงกว่า เพราะมีส่วนที่เป็น ไอออนิกเกิดปฏิกิริยากับพอลิสไตรีนได้ชิ้นงานที่มีลักษณะแข็งเปราะ เมื่อนำชิ้นงานไปทำให้อ้อมตัวด้วยน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าที่อัตราส่วน 14/56/30 มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากกว่าที่อัตราส่วน 29/56/15 และเมื่อนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงดึงพบว่าค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอรร่วมทั้งสองอัตราส่วนมีค่าลดลงอย่างมาก และเกิดการเปลี่ยนจากลักษณะแข็งเปราะเป็นมีความยืดหยุ่น (Elastomeric)

J.M. Widmaier และ G.C. Meyer [27] ได้ทำการศึกษาสมบัติของกาวโดยใช้พอลิเมอรร่วมแบบบล็อกของสไตรีนและไอโซพรีน (Poly (styrene-*b*-isoprene)) ใช้ลิเทียม-บิวทิลลิเทียม (n-Butyl lithium) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยทำการเปลี่ยนอัตราส่วนของสไตรีน และไอโซพรีนมอนอเมอร์ หลังจากนั้นมาทำการยึดติดกับแก้ว พบว่าถ้าใช้ไอโซพรีนน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์เกิดการฉีกขาดที่บริเวณแผ่นฟิล์มของเนื้อกาว แต่ถ้ามีไอโซพรีนมอนอเมอร์มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์เกิดการฉีกขาดระหว่างพื้นผิวของกาว และพื้นผิวของแผ่นแก้ว ในการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงดึงเฉือนมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 100 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่น้ำหนักโมเลกุล 20000 ถึง 50000 กรัม/โมล โดยมีไอโซพรีนมอนอเมอร์อยู่ 30 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากพอลิไอโซพรีนสามารถกระจายตัวได้ดีบนพื้นผิวทำให้สามารถกระจายแรงได้ดีเช่นกัน ในการทดลองได้ทำการศึกษาระยะเวลาในการยึดติด โดยทำการเก็บชิ้นงานไว้ที่อุณหภูมิ และความชื้นคงที่ พบว่าในช่วง 1 ถึง 2 เดือนแรกค่าความแข็งแรงดึงเฉือนมีค่าใกล้เคียงกับตอนแรก เมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของตอนเริ่มต้น ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนที่ลดลงไม่ได้เกิดจากการเสียหายทางเคมี แต่เกิดจากโครงสร้างของแผ่นฟิล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ทำให้การยึดติดมีค่าลดลง

T.L. Gordon และ M.E. Fakley [28] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการยึดติดของกาวชนิดอีพอกซีสำหรับการยึดติดวัสดุทั้งที่เป็นเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต การทดสอบความสามารถในการยึดติดใช้แบบความแข็งแรงดึงเฉือน โดยทำการควบคุมความหนาของกาวให้มีค่าอยู่ที่ 40 ไมโครเมตร ส่วนที่ยึดติดยาว 12.5 มิลลิเมตร ทำการเก็บวัสดุไว้ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ก่อนทำการทดสอบความสามารถในการยึดติด พบว่าค่ายังมอดูลัส และพลังงานพื้นผิวของวัสดุที่ทำกรยึดติดมีผลต่อความแข็งแรงในการยึดติด โดยกาวที่มีค่ามอดูลัสต่ำสามารถทำการยึดติดกับวัสดุที่มีค่ามอดูลัส และพลังงานพื้นผิวที่ต่ำ ส่วนกาวที่มีค่ามอดูลัสสูงสามารถทำการยึดติดกับวัสดุที่มีค่ามอดูลัส และค่าพลังงานพื้นผิวที่สูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. สไตรีนมอนอเมอร์ (St)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
2. กรดเมทาคริลิก	เกรดวิเคราะห์	Fluka
3. โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
4. โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
6. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
7. โซเดียมอีดีทีเอ (Na_2EDTA)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
8. ไอโซพรีนมอนอเมอร์ (I)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
9. ไวนิลิดีนคลอไรด์ (VDC)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
10. เมทิลเซลลูโลส (Methyl cellulose)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
11. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	เกรดการค้า	Aldrich Co., Ltd.
12. ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส (Hydroxyethyl cellulose)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
13. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
14. กรดไฮโดรฟลูออริก (HF)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
15. กรดออร์โทฟอสฟอริก	เกรดวิเคราะห์	Fluka
16. ไดอัลลิลฟทาเลต (Diallylphthalate)	เกรดวิเคราะห์	Fluka
17. เตตระเมทิลไทยูเรมโมโนซัลไฟด์ (TMTM)	เกรดการค้า	
18. เมอร์เคปโทเบนโซไทเอโซลไดซัลไฟด์ (MBTS)	เกรดการค้า	
19. เขม่าดำ (Carbon black)	เกรดการค้า	
20. ยางแผ่นรมควันชั้น 2 (RSS-2)	ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์	
21. ซิงค์ไดเมทิลไดไทโอคาร์บาเมต (ZDEC)	เกรดการค้า	
22. ซิงค์เมอเคปโทเบนโซไทเอโซล (ZMBT)	เกรดการค้า	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. แวกซ์	เกรดการค้า
24. น้ำมันเนฟทานิก	เกรดการค้า
25. กำมะถัน	เกรดการค้า
26. แอนติออกซิแดนท์ (Wingstay® 22 CP 46)	เกรดการค้า
27. กรดสเตียริก	เกรดการค้า
28. เอทิลีนไกลคอล	เกรดการค้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้

1. ชุดกลั่นลดความดัน
2. ขวดกั้นกลมแบบ 3 คอ
3. เจ็มมิตยา
4. อ่างทำความเย็นแบบหมุนเวียน (Circulating bath)
5. เครื่องปฏิกรณ์ความดันสูง (Autoclave)
6. เครื่องชั่ง (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) บริษัท Denver Instrument จำกัด รุ่น TC-254
7. เครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield บริษัท Brookfield Engineering รุ่น LVT
8. เครื่องวัด pH บริษัท Denver Instrument จำกัด รุ่น 215
9. ตู้อบสุญญากาศ บริษัท Hotpack รุ่น 273800
10. เครื่องบดแบบลูกบอล (Ball mill)
11. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) บริษัท Lab Tech Engineering Company Ltd. รุ่น LP 20
12. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) บริษัท Lab Tech Engineering Company Ltd. รุ่น LRM 200
13. เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนสเปกโทรมิเตอร์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer) บริษัท Bruker รุ่น Advanced 300 Ultra Shield
14. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal tester) บริษัท LLOYD Instrument รุ่น LR 30 K
15. เครื่องวัดสมบัติการคงรูปของยาง (Rotorless Moving Die Rheometer : Curelastomer[®]) บริษัท Nichigo Shigi Mode IIF
16. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) บริษัท Jeol รุ่น Jem 200 CX
17. เครื่องเจลเพอเมชันโครมาโทกราฟี (Gel Permeation Chromatograph, GPC) บริษัท MILLIPORE รุ่น Water 150-C
18. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizers[®]) บริษัท Malvern Instruments Limited รุ่น Mastersizer S
19. เครื่องเหวี่ยงศูนย์กลาง (Centrifuge) บริษัท Sanyo รุ่น Centaur 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

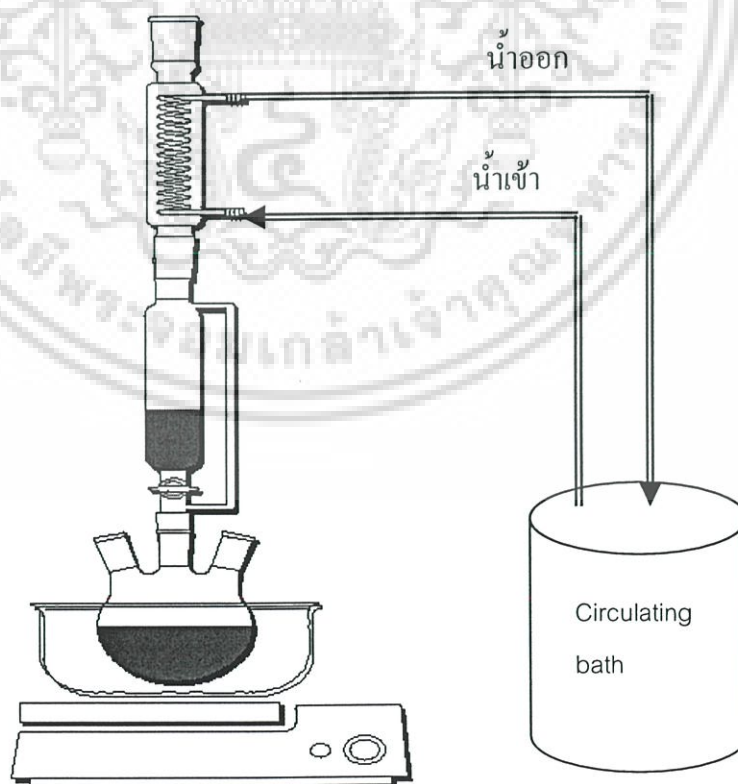
3.3.1 การทำให้สารบริสุทธิ์

3.3.1.1 การกลั่นกรดเมทาคริลิก

1. กรดเมทาคริลิกสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ด้วยวิธีการกลั่นแบบลดความดัน โดยเก็บกรดเมทาคริลิกที่กลั่นออกมาในช่วงอุณหภูมิประมาณ 50–55 องศาเซลเซียส
2. นำสารที่กลั่นได้ไปเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสก่อนการนำไปใช้งาน

3.3.1.2 การกลั่นไอโซพรีนมอนอเมอร์

1. เต็มไอโซพรีนมอนอเมอร์ลงในขวด 3 คอ ที่ต่อกับกรวยหยดสารแล้วต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น (Condenser) โดยใช้ น้ำผสมกับเอทิลีน ไกลคอลทำการหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ดังในรูปที่ 3.1
2. นำขวดสามคอแช่ในไนโตรเจนเหลว เพื่อให้ไอโซพรีนมอนอเมอร์เปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง แล้วทำการกำจัดออกซิเจนออกด้วยการผ่านก๊าซไนโตรเจน
3. นำไนโตรเจนเหลวออก ปล่อยให้ไอโซพรีนมอนอเมอร์เปลี่ยนกลับมาอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว ทำซ้ำข้อ 2 ประมาณ 3 ครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีออกซิเจนภายในขวดสามคอ
4. ให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนแบบหลุม ไอโซพรีนมอนอเมอร์ควบแน่นกลับตกลงมาภายในกรวยหยดสาร นำสารที่ได้เก็บที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสก่อนนำไปใช้งาน

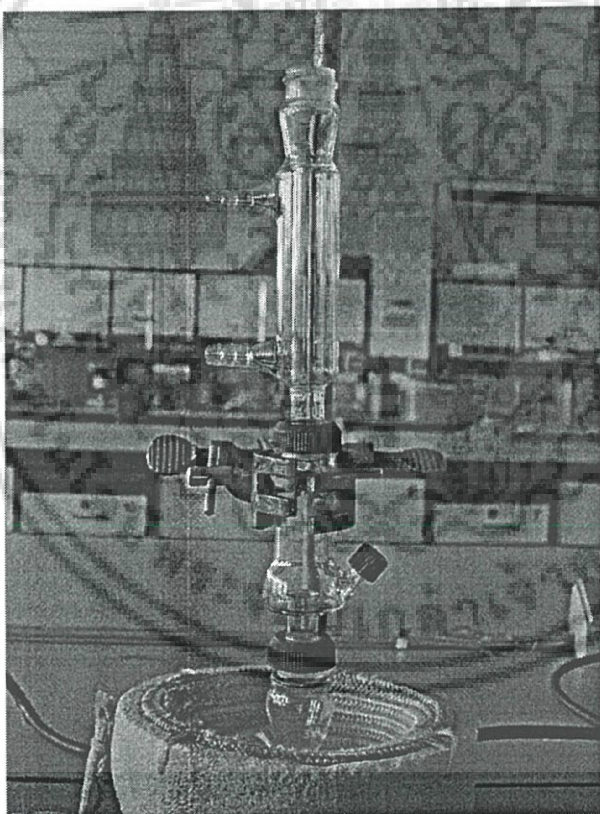


รูปที่ 3.1 การกลั่นไอโซพรีนมอนอเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 การกลั่นไวโนลิตินคลอไรด์

1. ทำการต่ออุปกรณ์การกลั่นดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยใช้ น้ำผสมเอทิลีนไกลคอลเพื่อทำการหล่อเย็นที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส เดิมไวโนลิตินคลอไรด์ลงในขวดก้นกลม
2. นำขวดก้นกลมไปแช่ในไนโตรเจนเหลว เพื่อให้ไวโนลิตินคลอไรด์เปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง แล้วทำการกำจัดออกซิเจนออกด้วยการผ่านก๊าซไนโตรเจน
3. นำไนโตรเจนเหลวออกเพื่อให้ไวโนลิตินคลอไรด์เปลี่ยนกลับมาอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว ทำซ้ำ ข้อ 2 ประมาณ 3 ครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีออกซิเจนภายในขวด
4. ให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนแบบหลุม ไวโนลิตินคลอไรด์ควบแน่นกลับตกลงมาภายในกรวยหยดสาร
5. เก็บไวโนลิตินคลอไรด์ที่กลั่นได้ด้วยเข็มฉีดยาที่มีหัวล็อก นำมาฉีดเข้าเครื่อง Autoclave ทันทีเพื่อใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์โดยไม่มีการกลั่นเก็บไว้



รูปที่ 3.2 การกลั่นไวโนลิตินคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.4 การสกัดด้วยยั้งในสไตรีนมอนอเมอร์

1. นำสไตรีนมอนอเมอร์มาทำการสกัดด้วยยั้งด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 10 % ภายในกรวยแยก 3 ครั้ง
2. ทำการล้างสไตรีนมอนอเมอร์ด้วยน้ำกลั่นจนน้ำที่ล้างสไตรีนมอนอเมอร์เป็นกลางสามารถตรวจสอบได้โดยใช้กระดาษลิตมัส
3. ทำการเติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรด์ซึ่งเป็นสารดูดความชื้น เพื่อให้แน่ใจว่าภายในสไตรีนมอนอเมอร์ไม่มีน้ำเหลืออยู่
4. ทำการเก็บสไตรีนมอนอเมอร์ที่สกัดด้วยยั้งแล้ว ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสก่อนนำไปใช้งาน

3.3.2 การเตรียมสารละลาย

1. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เพื่อใช้ในการเตรียมเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ในขั้นที่ 1 (ภาคผนวก ก)
2. เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เพื่อใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในขั้นที่ 2 (ภาคผนวก ก)
3. เตรียมสารละลายโซเดียมอิดีทีเอ เพื่อใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันขั้นที่ 2 (ภาคผนวก ก)

3.3.3 การเตรียมเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (Seed polystyrene)

1. ชั่งโซเดียมโคเคกซิลซัลเฟต 0.2672 กรัม น้ำ 57 มิลลิลิตร และสไตรีนมอนอเมอร์ 13.3 มิลลิลิตร เติมลงใน Autoclave แล้วทำการปิดฝา
2. ดูดก๊าซที่อยู่ภายในเครื่อง Autoclave ด้วยปั๊ม หลังจากนั้นเติมก๊าซไนโตรเจนเข้าไปใน Autoclave เพื่อให้ก๊าซไนโตรเจนไปแทนที่ก๊าซออกซิเจน
3. ทำซ้ำข้อ 2 ประมาณ 3 ครั้ง โดยครั้งสุดท้ายอัดความดันไว้ประมาณ 5 บาร์ เพื่อเป็นการตรวจสอบเครื่อง Autoclave ว่าไม่มีการรั่วที่วาล์วหรือข้อต่อโดยทำการปั่นสารละลายใน Autoclave ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง
4. ค่อยๆ ปล่อยความดันที่เก็บไว้จนหมด แล้วจึงทำการฉีดสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 มา 5 มิลลิลิตรด้วยเข็มฉีดยา
5. ทำการฉีดน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตรลงใน Autoclave เพื่อไล่ตัวริเริ่มที่อาจตกค้างอยู่ในในวาล์วลงไปให้หมด ทำการปั่นกวนสารละลายทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที

6. ทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ทำปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 14 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการลดอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

7. นำพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ไปชั่งน้ำหนัก ทำการแยกตะกอนส่วนที่เป็นของแข็งออกจากส่วนที่เป็นของเหลว (ลาเท็กซ์) ด้วยเครื่องเหวี่ยงสู่ศูนย์กลาง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 2500 ต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

8. ทำการชั่งน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง และลาเท็กซ์ จากนั้นทำการระเหยน้ำในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายในตู้อบสูญญากาศเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อทำการกำจัดน้ำ และมอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา

9. นำสารที่แห้งแล้วไปชั่งน้ำหนัก นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (% Conversion) เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม (%Total Solid Content, %TSC) ในเม็ด พอลิสไตรีนลาเท็กซ์ หาขนาดอนุภาค และศึกษาสัณฐานวิทยาของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์

10. ทำการทดลองซ้ำโดยการเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ ทำปฏิกิริยาตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ในแต่ละสูตร [21]

สารเคมี	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
น้ำกลั่น	77 มิลลิลิตร	77 มิลลิลิตร
สไตรีนมอนอเมอร์	13.3 มิลลิลิตร	6.1 มิลลิลิตร
โซเดียมโคเดซิลซัลเฟต	0.3 % โดย น.น. ของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์	0.3 % โดย น.น. ของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์
โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต	1×10^{-3} โมล / ลิตร ของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์	1×10^{-3} โมล / ลิตร ของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์

3.3.4 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ขั้นที่ 2

3.3.4.1 การเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ด้วยการใช้บอมบ์คาลอริมิเตอร์

1. ทำการดูดอากาศออกจากบอมบ์คาลอริมิเตอร์ด้วยปั๊ม เติมหักซ์ในโตรเจนเข้าไปแทนที่อากาศ ทำซ้ำประมาณ 3 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าภายในบอมบ์คาลอริมิเตอร์มีแต่หักซ์ในโตรเจน หลังจากนั้นจึงฉีดไอโซพรีนมอนอเมอร์ แล้วอัดหักซ์ในโตรเจนเข้าไปในบอมบ์คาลอริมิเตอร์ให้มีความดัน 7 บาร์

2. ทำการฉีดกรดเมทาคริลิก สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมอีดีทีเอ ลงใน Autoclave ที่วาล์วสำหรับเติมสาร (รูปที่ 3.3) ตามสัดส่วนในตารางที่ 3.2 ที่มีพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ขั้นที่ 1

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนของสารเคมีในการทำปฏิกิริยาขั้นที่ 2 [21]

สารเคมี	สัดส่วน
กรดเมทาคริลิก	10 % โดยน้ำหนักของไอโซพรีน
โซเดียมคาร์บอเนต	10.92 % โดยโมลของกรดเมทาคริลิก
โซเดียมอีดีทีเอ	2.14×10^{-3} % โดยโมลของน้ำ

3. นำบอมบ์คาลอริมิเตอร์จากข้อ 1 มาต่อเข้ากับเครื่อง Autoclave ที่วาล์วสำหรับเติมสาร

4. เปิดวาล์วของบอมบ์คาลอริมิเตอร์ และ Autoclave ตามลำดับ เพื่อปล่อยให้ไอโซพรีนมอนอเมอร์ที่อยู่ในบอมบ์คาลอริมิเตอร์เข้าไปในเครื่อง Autoclave นำบอมบ์คาลอริมิเตอร์ออกทันทีเมื่อความดันภายใน Autoclave คงที่ หรือต่อบอมบ์คาลอริมิเตอร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

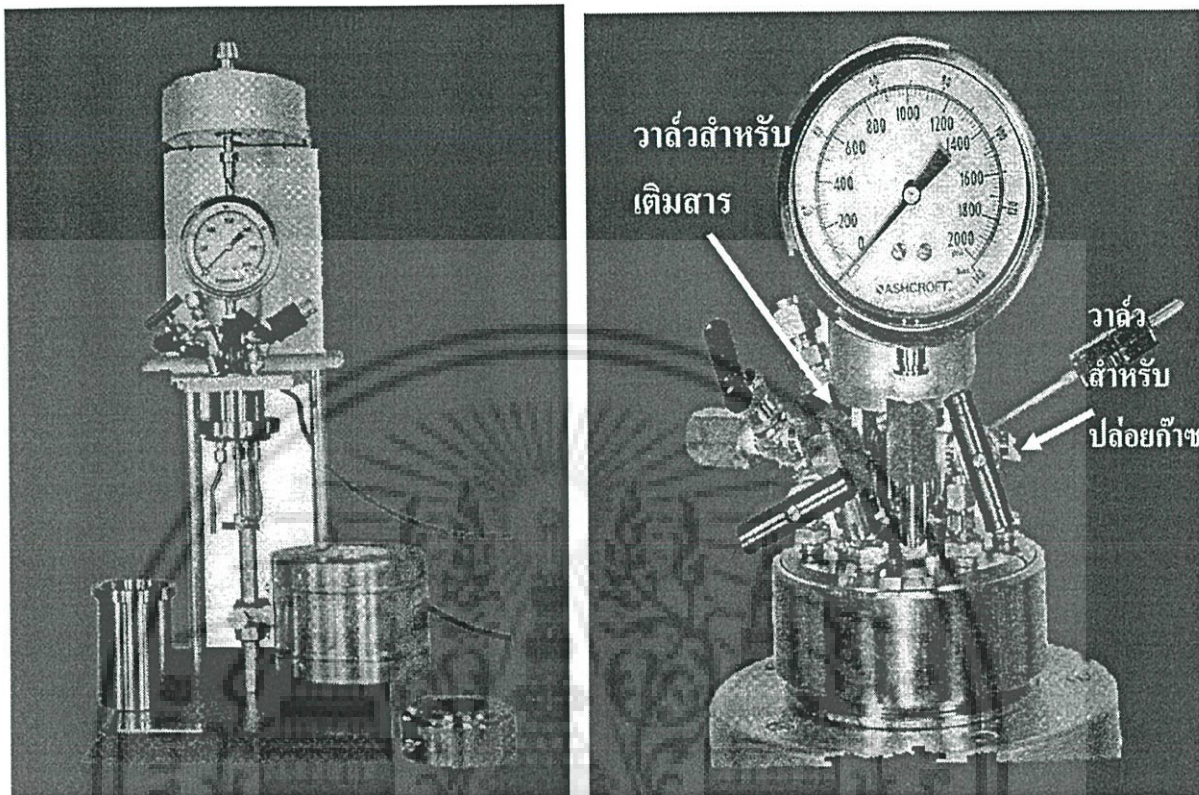
5. ทำการปั่นกวนสารทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6. นำพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ไปชั่งน้ำหนัก ทำการแยกตะกอนส่วนที่เป็นของแข็งออกจากส่วนที่เป็นลาเท็กซ์ ด้วยเครื่องเหวี่ยงสุญญากาศ (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

7. ชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้งส่วนที่เป็นลาเท็กซ์ และของแข็ง นำพอลิเมอร์ทั้ง 2 ส่วน ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำ แล้วนำไปอบที่ตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อกำจัดไอโซพรีนมอนอเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่แห้งแล้วไปชั่งน้ำหนัก นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (% Conversion) และปริมาณของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์



รูปที่ 3.3 เครื่องปฏิกรณ์ความดันสูง (Autoclave)

3.3.4.2 การเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ด้วยการใช้เข็มฉีดยาที่มีหัวล็อก

1. เมื่อทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์จากปฏิกิริยาในขั้นที่ 1 เรียบร้อยแล้ว จึงทำการฉีดกรดเมทาคริลิกลงใน Autoclave

2. แบ่งฉีดไอโซพรีนมอนอเมอร์เป็น 2 ครั้ง ในปริมาณที่เท่ากัน โดยแต่ละครั้งทำการฉีดห่างกัน 15 นาที หลังจากนั้นจึงทำการฉีดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมอีดีทีเอ และ น้ำกลั่น ตามลำดับ ลงไปใน Autoclave ทำการปั่นกวนสาร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไป เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

3. สำหรับสูตรที่ 2 และสูตรที่ 4 ทำการเติมไวนิลิตินคลอไรด์ เพื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิ-เมอไรเซชันในขั้นที่ 2 กับไอโซพรีนมอนอเมอร์โดยใช้เข็มฉีดยาที่มีหัวล็อกเช่นเดียวกับการเติม ไอโซพรีนมอนอเมอร์ โดยทำการฉีดไวนิลิตินคลอไรด์ห่างจากการฉีดไอโซพรีนมอนอเมอร์ในครั้งที่ 2 เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงทำการฉีดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมอีดีทีเอ และน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลั่น ตามลำดับ ลงไปใน Autoclave ทำการปั่นกวนสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 15 ชั่วโมง

4. ทำการชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่ได้ ทำการแยกตะกอนส่วนที่เป็นของแข็งออกจากส่วนที่เป็นลาเท็กซ์ ด้วยเครื่องเหวี่ยงสุญญากาศ (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที ชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้ง 2 ส่วน (ส่วนที่เป็นลาเท็กซ์ และของแข็ง)

5. นำพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ส่วนที่เป็นของเหลวมาหาค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield ศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และหาขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์โดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค หลังจากนั้นจึงนำทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง และส่วนที่เป็นลาเท็กซ์ที่เหลือ ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำ แล้วนำไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อกำจัดไอโซพรีนมอนอเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา

6. ทำการชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้ง 2 ส่วน นำมาคำนวณหา % Conversion, %TSC และพิสูจน์เอกลักษณ์ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่ได้โดยใช้เทคนิค Solid state NMR

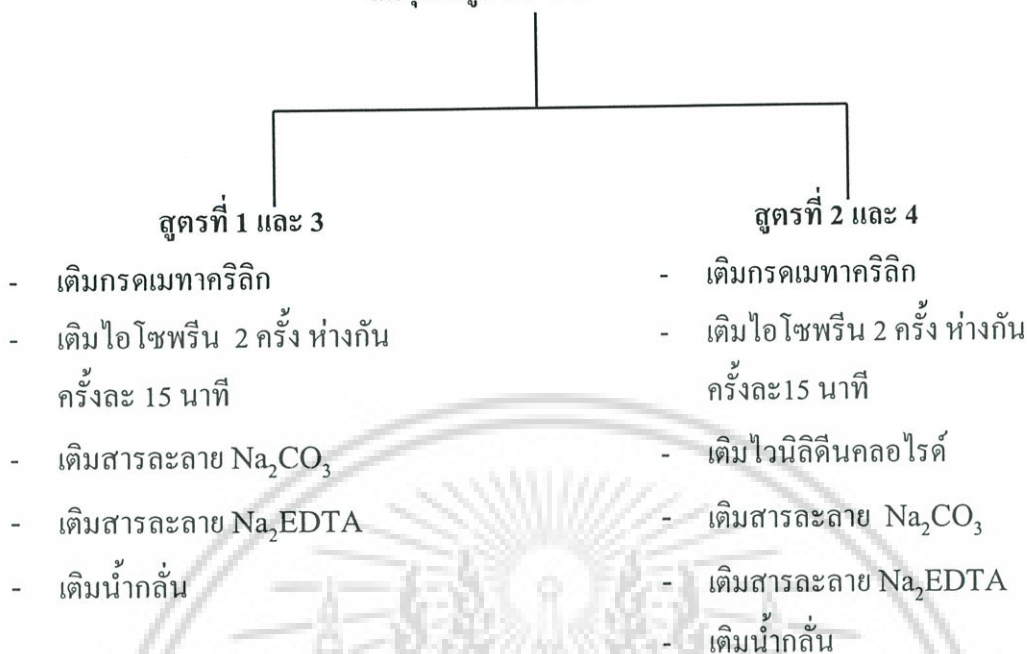
7. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยโมลของสไตรีน ไอโซพรีนมอนอเมอร์ และไวนิลิดีนคลอไรด์ ตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เปอร์เซ็นต์โดยโมลของสไตรีน ไอโซพรีนมอนอเมอร์ และไวนิลิดีนคลอไรด์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันขั้นที่ 2

สารเคมี	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
สไตรีนมอนอเมอร์	50	45	20	18
ไอโซพรีนมอนอเมอร์	50	45	80	72
ไวนิลิดีนคลอไรด์	-	10	-	10

ทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิस्टาเทอริกซ์ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 14 ชม.

ลดอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 12 ชม.



3.3.5 การทดสอบสมบัติของลาเท็กซ์

3.3.5.1 การหาเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม (% Total solid content) [12]

ทำการชั่งน้ำหนักพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ในส่วนที่เป็นลาเท็กซ์ ก่อนนำไปอบภายในตู้อบสูญญากาศ เพื่อกำจัดน้ำ และทำการชั่งน้ำหนักของลาเท็กซ์จนน้ำหนักคงที่ คำนวณค่าของแข็งโดยรวมตามสมการ

$$\% \text{ ของแข็งโดยรวม} = \frac{\text{น้ำหนักลาเท็กซ์หลังการระเหยตัวทำละลาย} \times 100}{\text{น้ำหนักลาเท็กซ์เริ่มต้น}} \quad (3.1)$$

3.3.5.2 การหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ (% Conversion)

คำนวณเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ได้ตามสมการ

$$\% \text{ การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์} = \frac{\text{น้ำหนักลาเท็กซ์หลังระเหยตัวทำละลาย} + \text{ตะกอนของแข็ง}}{\text{น้ำหนักของแข็งที่ได้ตามทฤษฎี}} \quad (3.2)$$

3.3.5.3 การหาความหนืด

วัดความหนืดของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยทำการเติมพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร นำแกนหมุนใส่กับตัวเครื่อง กดแกนหมุนลงไปในพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ให้จมลงไปจนถึงขีดของแกนหมุน เปิดเครื่องให้หมุนด้วยความเร็วรอบที่เหมาะสม ทำการบันทึกค่าที่ได้

3.3.5.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของลาเท็กซ์ด้วยเทคนิค Solid state NMR

ทำการบรรจุสารลงในเซลล์ใส่สาร (Rotor) สำหรับ Solid state NMR นำไปสปินด้วยความเร็ว 4500 Hz ตรวจสอบวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแมจิกแองเกิลสปินนิง (Magic Angle Spinning NMR, MAS NMR)

3.3.5.5 การหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี (Gel Permeation Chromatography, GPC)

GPC รุ่น Water 150-C ของบริษัท MILLIPORE วิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลในช่วง 500 ถึง 10,000,000 กรัม/โมล ใช้พอลิสไตรีนน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 5,460 ถึง 1,290,00 กรัม/โมล เป็นสารมาตรฐาน นำเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ทำการอบแห้งในตู้อบสุญญากาศมาทำการละลายใน THF หาน้ำหนักโมเลกุลด้วยเครื่อง GPC โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้

สารละลาย	: เตตระไฮโดรฟิวแรน (THF)
อัตราการไหล	: 1.0 มิลลิลิตร/นาที
ปริมาณในการฉีด	: 100 ไมโครลิตร
อุณหภูมิ Detector	: 30 °C
อุณหภูมิ Injector	: 30 °C
อุณหภูมิ Column	: 30 °C
เวลาในการวิเคราะห์	: 22 นาที

3.3.5.6 การหาขนาดของอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizer)

สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ He-Ne laser source, ความยาวคลื่น 633 nm
 Beam length : 2.40 mm
 Particle size range analysis : 0.05-900 μm
 Dispersing medium : distilled water
 Laser power = 68.4

3.3.6 ขั้นตอนการเตรียมสารกระจายในน้ำ (Dispersion)

1. นำสารเคมีต่างๆ ตามตารางที่ 3.4 ในเครื่องบดแบบลูกบอล (Ball mill)
2. โดยกัมมะถันทำการทำการปั่นกวนทิ้งไว้เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ส่วน ZDEC ZMBT และ ZnO ปั่นทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.4 การเตรียมสารกระจายในน้ำ

สารเคมี	ปริมาณ (กรัม)
สารที่เป็นของแข็ง (S ₈ , ZDEC, ZMBT, ZnO)	50
วาทาโมล (Vultamol)	1
เบนโทไนต์ (Bentonite)	1
น้ำ	48

* หมายเหตุ สารกระจายในน้ำได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

3.3.7 ขั้นตอนการเตรียมกาวผสมสูตร

1. ทำการผสมสารเคมีต่างๆ ตามตารางที่ 3.5 ภายในเครื่องบดแบบลูกบอล (Ball mill) ทำการทำการปั่นทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. แบ่งสารที่ผสมได้จากเครื่องบดแบบลูกบอลมา 25 กรัม ค่อยๆหยดพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ 15.42 กรัม ทำการปั่นกวนด้วยแท่งปั่นกวนเชิงกลจนกระทั่งรวมเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 20 นาที
3. นำกาวผสมสูตรที่ได้ไปวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield เก็บสารที่เหลือไว้ทดสอบสมบัติการยึดติดต่อไป

ตารางที่ 3.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารเติมแต่งที่เติมลงในลาเท็กซ์

สารเคมี	ปริมาณสาร (กรัม)	ปริมาณสาร/ 100 กรัม ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์
น้ำกลั่น	220	19.96
ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส	4	2.27
ไดอัลลิลพทาเลต	9.2	5.22
สารละลายเมทิลเซลลูโลส (40 wt%)	37.5	8.51
สารละลายซิงค์ออกไซด์ (60 wt%)	17	5.78
สารละลายกำมะถัน (50 wt%)	51	14.46
สารละลาย ZDEC (50 wt%)	2	0.57
สารละลาย ZMBT (50 wt%)	2	0.57

3.3.8 ขั้นตอนการหาเปอร์เซ็นต์เจล (% Gel)

1. นำกาวผสมสูตรมาทำการระเหยน้ำเป็นเวลา 16 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (ใช้สภาวะเดียวกับขั้นตอนการยัดคัตยางกับโลหะ)

2. ทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของกาวผสมสูตรที่ระเหยน้ำเรียบร้อยแล้ว ประมาณ 1 กรัม จากนั้นใส่กาวผสมสูตรลงในตะแกรงอะลูมิเนียม ทำการชั่งน้ำหนักโดยรวม โดยทำสูตรละ 2 ตัวอย่าง

3. นำตะแกรงอะลูมิเนียมไปแช่ใน โทลูอินที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. นำตะแกรงอะลูมิเนียมมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายในตู้อบสุญญากาศ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตะแกรงอะลูมิเนียมไปชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำไปแช่ใน โทลูอินเช่นเดิม

5. ทำการชั่งน้ำหนักตะแกรงอะลูมิเนียมทุกวัน จนกระทั่งน้ำหนักของตะแกรงอะลูมิเนียมคงที่

6. ทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เจลของกาวผสมสูตรตามสมการ

$$\% \text{ เจล} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนสกัดด้วยตัวทำละลาย}} \times 100 \quad (3.3)$$

3.3.9 ขั้นตอนการเตรียมยางผสมสูตร

1. นำยางแผ่นมาทำการบดย่อย (Mastication) ที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เป็นเวลา 10 นาที
2. ค่อยๆ เติมกรดสตีริก สารแอนติออกซิแดนท์ และแว็กซ์ แล้วทำการบดผสมโดยการกรีด และพับยางเพื่อให้เกิดการผสม และมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ เป็นเวลา 3 นาที
3. เติมเขม่าดำสลับกับน้ำมันเนฟทานิก พร้อมทั้งทำการกรีด และพับยาง เป็นเวลา 8 นาที
4. เติม TMTM MBTS กำมะถัน และซิงค์ออกไซด์ ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรีดแผ่นยางผสมออกให้มีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร
5. ตัดแผ่นยางผสมสูตรเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม แล้วนำไปทดสอบการเชื่อมโยงด้วยเครื่องวัดการคงรูปของยาง (Curelaster[®]) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.6 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมยางผสมสูตร

สารเคมี	ปริมาณสาร (phr)
ยาง	100
กรดสตีริก	2
สารแอนติออกซิแดนท์	0.5
แว็กซ์	1
เขม่าดำ	50
น้ำมันเนฟทานิก	5
สารเร่ง TMTM	0.3
สารเร่ง MBTS	1
กำมะถัน	2
ซิงค์ออกไซด์	5

3.3.10 ขั้นตอนการยึดติดระหว่างยางกับโลหะ

3.3.10.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดพื้นผิวโลหะ ตามมาตรฐาน ASTM D2651-90 [29]

1. เตรียมสารละลายเพื่อทำความสะอาดพื้นผิวโลหะ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 37% ปริมาณ 200 ส่วน กรดอโทฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 85% ปริมาณ 30 ส่วน และกรดไฮโดรฟลูออริกที่ความเข้มข้น 35.35 % ปริมาณ 10 ส่วน

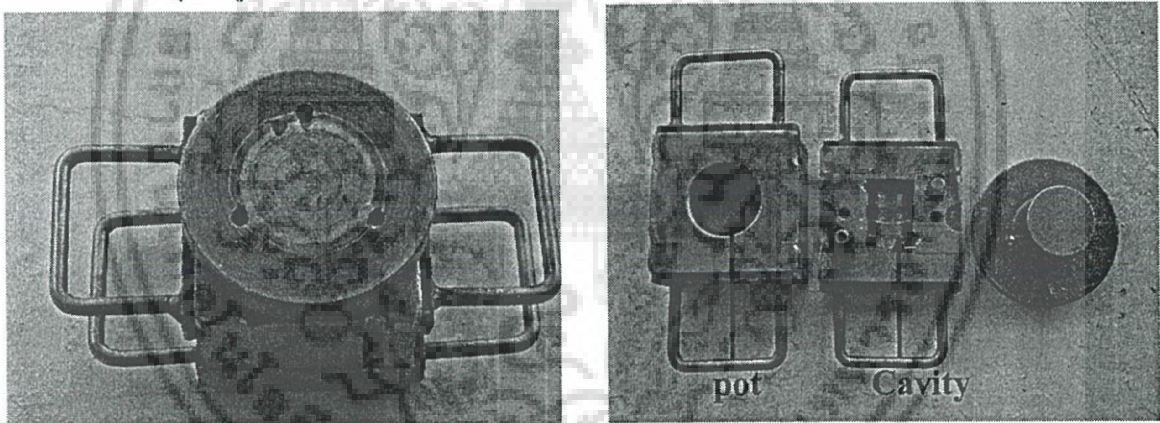
2. ให้ความร้อนกับสารละลายที่อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส นำโลหะที่เตรียมไว้

สำหรับการยึดติดแช่ในสารละลายเป็นเวลา 2 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.10.2 ขั้นตอนการยึดติดยางกับโลหะ

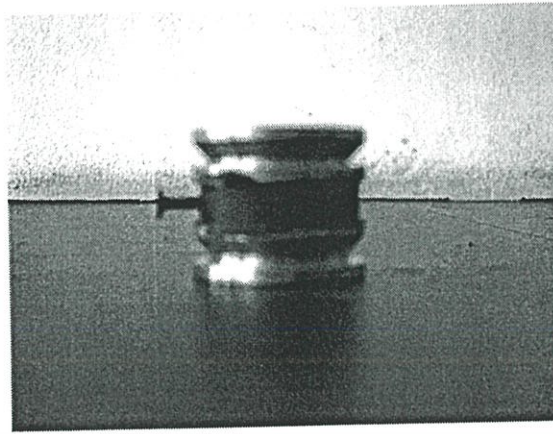
1. ทำการให้ความร้อนแม่แบบ Rubber transfer mold (รูปที่ 3.4) ในเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
2. ชั่งยางประมาณ 25 กรัม ตัดเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.5 เซนติเมตร
3. นำโลหะที่ทำความสะอาดพื้นผิวเรียบร้อยแล้วมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
4. แบ่งกาวผสมสูตรที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.6 มา 1.6 กรัม ทาบนพื้นผิวของโลหะ และปล่อยให้กาวแห้งเป็นเวลา 16 นาที
5. นำโลหะที่ทาแล้ววางบนส่วน Cavity ของ Transfer mold (รูปที่ 3.1)
6. นำยางใส่ลงในส่วน Pot ของ Transfer mold
7. ทำการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปที่ความดัน 1000-1200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.4 Rubber transfer mold

8. เก็บชิ้นงานที่ทำการยึดติดเรียบร้อยแล้ว (รูปที่ 3.5) ภายในเดซีคเคเตอร์ เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำไปทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง

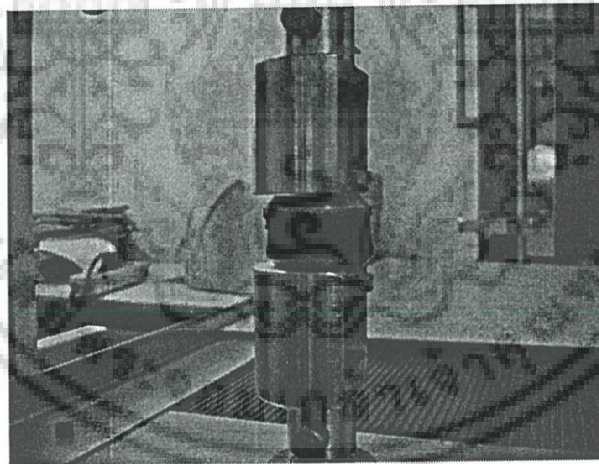
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานที่ทำการยึดติดด้วยกาว

9. ทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึงในการยึดติดระหว่างโลหะกับยางด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal tester) สูตรละ 3 ชิ้นงาน โดยกำหนดสภาวะเครื่องทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D429-81 [30]

Load cell	5	กิโลนิวตัน
ความเร็วในการดึง	24	มิลลิเมตรต่อนาที



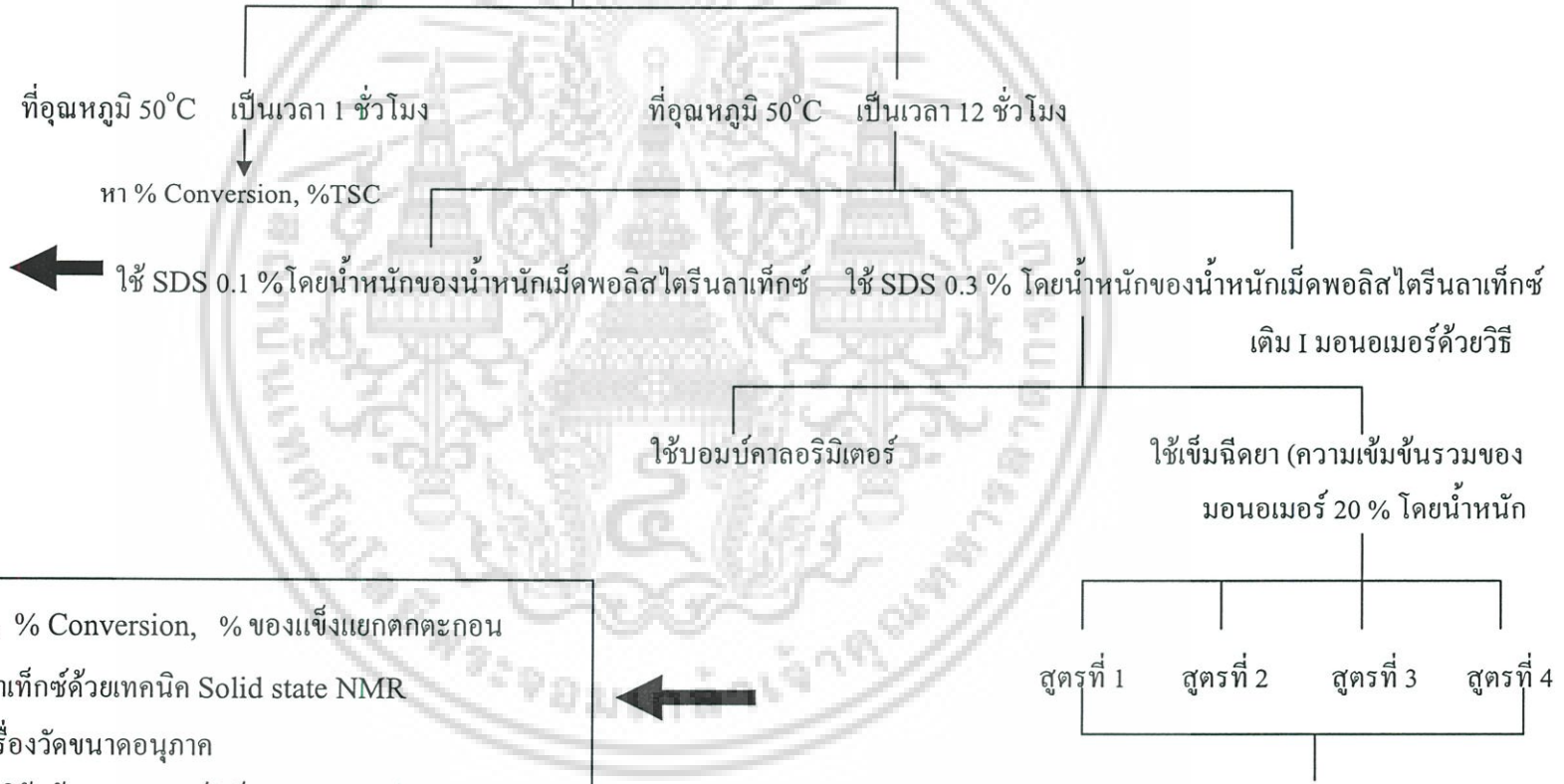
รูปที่ 3.6 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานยึดติดระหว่างโลหะกับยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเคราะห์เม็ดพอลิस्टาไดรีนลาเท็กซ์ใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 30 % โดยน้ำหนัก (ใช้ความเข้มข้นของสไตรีนมอนอเมอร์ 18 % โดยน้ำหนัก)

ใช้ SDS 0.1 % โดยน้ำหนักของน้ำหนักรวมของน้ำหนักรวมของเม็ดพอลิस्टาไดรีนลาเท็กซ์ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 14 16 ชั่วโมง

- วิเคราะห์หาค่า
- % TSC
 - % Conversion
 - % ของแข็งแยกตกตะกอน
 - น้ำหนักโมเลกุล
 - ขนาดอนุภาค



- วิเคราะห์หาค่า % TSC, % Conversion, % ของแข็งแยกตกตะกอน
- พิสูจน์เอกลักษณ์ของลาเท็กซ์ด้วยเทคนิค Solid state NMR
- หาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค
- ศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

ผสมสูตรทาว ๒๐% เจล ทำการยัดยางกับโลหะทดสอบความสามารถในการยึดติด

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การสังเคราะห์พอลิเมอร์เพื่อใช้เป็นกาวสำหรับยึดติดยางกับโลหะต้องมีโครงสร้างทั้งส่วนที่มีขั้วเพื่อใช้ในการยึดติดระหว่างกาวกับโลหะ และส่วนที่ไม่มีขั้วเพื่อใช้ในการยึดติดระหว่างกาวกับยาง งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์กาวลาเท็กซ์จากพอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน-ไอโซพรีน-ไวนิลิดีนคลอไรด์ ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสตีคิมัลชัน ซึ่งมีปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ แล้วจึงทำการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ กรดเมทาคริลิก และไวนิลิดีนคลอไรด์ในขั้นที่ 2 หลังจากนั้นนำลาเท็กซ์ที่ได้ไปผสมสูตรกาว แล้วจึงนำกาวผสมสูตรที่เตรียมได้ไปทดสอบความสามารถในการยึดติดยางกับโลหะด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal tester)

4.1 การสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์

ทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันภายในเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูง (Autoclave) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน มีน้ำเป็นตัวกลาง มีโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) เป็นสารลดแรงตึงผิว และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทำการลดอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียสปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 12 ชั่วโมง [21] นำเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (% Conversion) และเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม (% Total solid content, % TSC) ในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ มีค่าเท่ากับ 49 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับเวลาของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในรูปที่ 2.9 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ 49 อยู่ในช่วงขั้นที่ 2 แสดงว่าเวลาในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ยังไม่เพียงพอเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันในขั้นที่ 3 [17] ดังนั้นจึงทำการเพิ่มเวลาในการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 และ 16 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ได้มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ และปริมาณของแข็งโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 8 ชั่วโมง เป็น 14 และ 16 ชั่วโมง นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้เกิดตะกอนของแข็งแยกจากเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ เมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 16 ชั่วโมงมีของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มากกว่าเมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 14 ชั่วโมง ประมาณ 2 เท่า ขณะที่เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการ

เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชันในขั้นที่ 2 เป็นการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันภายในอนุภาคของมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ ทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีผลทำให้ดึงสารลดแรงตึงผิวมาเกาะที่พื้นผิวของมอนอเมอร์/พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น [16] ดังนั้นเมื่อสารลดแรงตึงผิวมีปริมาณไม่มากพอเพื่อล้อมรอบผิวอนุภาคของมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ ส่งผลทำให้อนุภาคมอนอเมอร์/พอลิเมอร์นั้นไม่สามารถแขวนลอยกระจายตัวอยู่ในชั้นน้ำได้ จึงเกิดการตกตะกอนเป็นของแข็งแยกจากลาเท็กซ์ของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์เพื่อนำมาใช้เป็นกาวต้องอยู่ในสภาวะที่เป็นอิมัลชัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (% Conversion) เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (% Total solid content, % TSC) และปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ จากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80 °C ที่เวลาต่างๆ และลดอุณหภูมิเป็น 50 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	% Conversion	% TSC	% ของแข็งตกตะกอนแยกจากเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์
8	49	9	0
14	89	15	6
16	94	15	11

หมายเหตุ ใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 30 % โดยน้ำหนัก

ใช้ความเข้มข้นของสไตรีนมอนอเมอร์ 18 % โดยน้ำหนัก

หลังจากนั้นได้ทำการพิจารณาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยทำการลดเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการทำปฏิกิริยาที่เวลา 12 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซ็นต์ของแข็ง โดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมงเป็น 12 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชันสามารถเกิดขึ้นได้สมบูรณ์เมื่อปฏิกิริยาเข้าสู่ขั้นที่ 3 ซึ่งเป็นขั้นที่ไม่มีมอนอเมอร์แพร่เข้าไปในอนุภาคมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ ทำให้อัตรากการเกิดปฏิกิริยามีค่าลดลง ดังนั้นถ้าทำการหยุดปฏิกิริยาก่อนที่ระบบเข้าสู่ขั้นที่ 3 แสดงว่ายังมีมอนอเมอร์เหลืออยู่ภายในระบบจึงมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลง

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซนต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์เมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 1 และ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	% Conversion	% TSC
1	20	3
12	89	15

หมายเหตุ ใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 30 % โดยน้ำหนัก

ใช้ความเข้มข้นของสไตรีนมอนอเมอร์ 18 % โดยน้ำหนัก

ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน คือทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 14 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากได้เวลาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์แล้ว จึงทำการศึกษาปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อเปอร์เซนต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซนต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ โดยทำการเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวจาก 0.1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เป็น 0.3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 พบว่าเปอร์เซนต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซนต์ของแข็งโดยรวมของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้เกิดอนุภาคของไมเซลล์เพิ่มขึ้น การที่จำนวนอนุภาคที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซนต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Hansen and Gelstad [31] ซึ่งได้ทำการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวโพแทสเซียมลอเรต (Potassium laurate) ในการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ พบว่าเปอร์เซนต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวของปฏิกิริยาจาก 0.0035 โมล เป็น 0.007 โมล และ 0.014 โมล ตามลำดับ นอกจากนั้นปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มีค่าลดลง และได้เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่มีความเนียนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มมากขึ้นทำให้พอลิเมอร์สามารถแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันไม่ให้เกิดการเกาะกันเป็นก้อนของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ระหว่าง และหลังเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน [14] ดังนั้นในการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์จึงได้ทำการเลือกความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเป็น 0.3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของเม็ด

พอลิสไตรีนลาเท็กซ์ และการที่ไม่ทำการเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากกว่า 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ เพื่อป้องกันไม่ให้มีสารลดแรงตึงผิวเหลืออยู่ในชั้นที่ 2 เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออาจเกิดเป็นไมเซลล์ใหม่ ทำให้มอนอเมอร์ที่เติมลงไปชั้นที่ 2 เกิดการพอลิเมอไรเซชันภายในไมเซลล์กลายเป็น Homopolymer ทำให้ไม่เกิดการพอลิเมอไรเซชันต่อบนเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ [23]

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารลดแรงตึงผิว

% โดยน้ำหนักของสารลดแรงตึงผิว	% Conversion	% TSC	% ของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์	ลักษณะของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์
0.1	89	15	6	มีเนื้อพอลิเมอร์บางส่วนเป็นก้อนของแข็งเล็กๆ
0.3	90	16	5	เนื้อเนียน

หมายเหตุ ใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 30 % โดยน้ำหนัก
ใช้ความเข้มข้นของสไตรีนมอนอเมอร์ 18 % โดยน้ำหนัก

จากผลการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่ดีที่สุดของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันเพื่อทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ คือใช้โซเดียมโคเดซิลซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยามีความเข้มข้น 1×10^{-3} โมล/ลิตร โดยทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ลดอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ในการทดลองนี้ได้ทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ 2 สูตร (สูตรที่ 1 (50/50/0) และสูตรที่ 3 (20/80/0)) โดยใช้ปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์ในสูตรที่ 3 น้อยกว่าสูตรที่ 1 แต่ทำการควบคุมปริมาณสารลดแรงตึงผิว ตัวริเริ่มปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเท่ากันทั้ง 2 สูตร การที่ใช้เวลา และปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เท่ากันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สูตรมีค่าเท่ากัน ส่วนเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ของสูตรที่ 3 มีค่าน้อยกว่าสูตรที่ 1 เนื่องจากสูตรที่ 3 ได้ทำการลดปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ลงทำให้มีมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้น้อยลง ทำให้ได้ปริมาณพอลิเมอร์ลดลง ดังแสดงในตารางที่

4.4

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในเม็ดพอลิสไตรีน
ลาเท็กซ์ของสูตรที่ 1 และสูตรที่ 3

สูตรที่	% Conversion	% TSC
1	94	11
3	94	5

หมายเหตุ ใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 20 % โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 1 ใช้ความเข้มข้นของสไตรีนมอนอเมอร์ 12 % โดยน้ำหนักรวม

สูตรที่ 3 ใช้ความเข้มข้นของสไตรีนมอนอเมอร์ 5.5 % โดยน้ำหนักรวม

4.2 การหาน้ำหนักโมเลกุลของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์

หลังจากทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ตามหัวข้อ 3.3.3 ทั้ง 2 สูตรเรียบร้อยแล้ว นำเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ไปทำการระเหยน้ำจนแห้งเพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยด้วยเครื่อง GPC พบว่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลเจลเพอมีเอชัน โครมาโทกราฟีของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

(ภาคผนวก ข)

สูตรที่	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตาม น้ำหนัก (M_w)	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตาม จำนวน (M_n)	การกระจายตัวของน้ำหนัก โมเลกุล (MWD)
1	636k	132k	4.81
3	423k	76k	5.53

หมายเหตุ ใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 20 % โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 1 ใช้ความเข้มข้นของสไตรีนมอนอเมอร์ 12 % โดยน้ำหนักรวม

สูตรที่ 3 ใช้ความเข้มข้นของสไตรีนมอนอเมอร์ 5.5 % โดยน้ำหนักรวม

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 พบว่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามน้ำหนัก และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวนของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์สูตรที่ 1 มีค่ามากกว่าสูตรที่ 3 เนื่องจากปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์ลดลงจาก 0.1162 โมล เป็น 0.0531 โมล ในขณะที่ใช้ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และปริมาณของสารลดแรงตึงผิวคงที่ มีผลทำให้เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์สูตรที่ 1 มีมอนอเมอร์ที่สามารถแพร่เข้าไปเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในอนุภาคมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ได้

มากกว่าสูตรที่ 3 ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของเม็ดพอลิस्टาไทรินลาเท็กซ์สูตรที่ 1 จึงมีค่ามากกว่าเม็ดพอลิस्टาไทรินลาเท็กซ์สูตรที่ 3

4.3 ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันขั้นที่ 2

เมื่อทำการสังเคราะห์เม็ดพอลิस्टาไทรินลาเท็กซ์ในขั้นที่ 1 เรียบร้อยแล้วจึงทำการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ กรดเมทาคริลิก ไวนิลิดีนคลอไรด์ โซเดียมอิดีทีเอ และโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อให้เกิดปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันในขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส การเติมกรดเมทาคริลิกเป็นการเพิ่มความมีขั้วให้กับไอโซพรีนมอนอเมอร์ ส่งผลทำให้ไอโซพรีนมอนอเมอร์สามารถเกิดปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันรอบอนุภาคของเม็ดพอลิस्टาไทรินลาเท็กซ์ โซเดียมอิดีทีเอมีคุณสมบัติเป็นสารคีเลต มีความสามารถในการจับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำ และโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารควบคุม pH ในระบบ โดยไอโซพรีนมอนอเมอร์สามารถเติมได้ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบแรกใช้บอมบ์กาลอริมิเตอร์ แบบที่ 2 คือใช้เข็มฉีดยาที่มีหัวล็อคเพื่อป้องกันการระเหยออกของไอโซพรีนมอนอเมอร์ และไวนิลิดีนคลอไรด์

4.3.1 การเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ด้วยการใช้บอมบ์กาลอริมิเตอร์

การเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ด้วยการใช้บอมบ์กาลอริมิเตอร์เข้าไปใน Autoclave มี 2 วิธี คือ เมื่อเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์แล้วนำบอมบ์กาลอริมิเตอร์ออกทันทีเมื่อความดันของ Autoclave คงที่ หรือต่อบอมบ์กาลอริมิเตอร์เข้ากับ Autoclave ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ปฏิกริยาดำเนินไป เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่ได้มาหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม และปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์ ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์ของแข็ง โดยรวมในลาเท็กซ์ และปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์ หลังจากที่ต่อบอมบ์กาลอริมิเตอร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือนำบอมบ์กาลอริมิเตอร์ออกทันทีเมื่อความดันของ Autoclave คงที่

การต่อบอมบ์กาลอริมิเตอร์	% Conversion	% TSC	% ของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากเม็ดพอลิस्टาไทรินลาเท็กซ์
นำออกทันที	82	27	11
ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง	92	27	31

หมายเหตุ ใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 30 % โดยน้ำหนัก

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 พบว่าถ้าทำการต่อบอมบ์คาลอริมิเตอร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์มีค่ามากกว่า ในกรณีที่น่าบอมบ์คาลอริมิเตอร์ออกทันที แต่เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์ของทั้ง 2 กรณีมีค่าคงที่ แสดงว่าไอโซพรีนมอนอเมอร์สามารถเข้าไปเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้เพิ่มขึ้น แต่อาจเป็นการเกิดปฏิกิริยาภายนอกอนุภาคมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ จึงทำให้มีของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่อยู่ในลาเท็กซ์มีเท่ากัน อาจเนื่องมาจากใช้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นมากเกินไปทำให้สารลดแรงตึงผิวไม่สามารถทำหน้าที่กระจายพอลิเมอร์ในตัวกลางได้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันนอกอนุภาคมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ เกิดเป็นของแข็งตกตะกอนแยกออกมา โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมคงที่คือ 27 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สันนิษฐานได้ว่าในระบบอิมัลชันนี้มีปริมาณพอลิเมอร์ได้ไม่มากกว่า 27 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการทดลองจึงทำการลดปริมาณความเข้มข้นรวมของสไตรีนมอนอเมอร์ และไอโซพรีนมอนอเมอร์จาก 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็น 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเลือกทำการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ด้วยวิธีการต่อบอมบ์คาลอริมิเตอร์กับ Autoclave ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนนำออก เนื่องจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่าการนำบอมบ์คาลอริมิเตอร์ออกทันทีเมื่อความดันของ Autoclave คงที่ จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และปริมาณของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์มีค่าลดลง แต่ปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์ยังคงมีค่าใกล้เคียงเดิม ทำให้สันนิษฐานได้ว่าเมื่อทำการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์โดยต่อบอมบ์คาลอริมิเตอร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ความดันใน Autoclave มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ไอโซพรีนมอนอเมอร์มีโอกาสควบแน่นกลับมาอยู่ในสถานะของเหลวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีอัตราดูดซับของไอโซพรีนมอนอเมอร์บนอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มีค่าลดลง ทำให้ไอโซพรีนมอนอเมอร์กระจายตัวอยู่ในตัวกลาง และสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันนอกอนุภาคมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ได้ นอกจากนั้นการเพิ่มความดันทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ไอโซพรีนมอนอเมอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันนอกอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ และการที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น [32] ซึ่งทั้ง 2 เหตุผลทำให้เกิดการตกตะกอนของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ ดังนั้นในการทดลองจึงได้เปลี่ยนวิธีการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์เป็นการใช้เข็มฉีดยาที่มีหัวล๊อค เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์แบบบอมบ์คาลอริมิเตอร์ โดยเลือกใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์เป็น 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.7 เปรอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปรอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์ และ ปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์ เมื่อใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์เป็น 30 และ 20 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยทำการต่อบอมบ์คาลอริมิเตอร์กับ Autoclave ที่ตั้งไว้ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนนำออก

ความเข้มข้นรวม ของมอนอเมอร์	% Conversion	% TSC	% ของแข็งที่ตกตะกอนแยกจาก เม็คพอลิสไตรีนลาเท็กซ์
30 % โดยน้ำหนัก	92	27	30
20 % โดยน้ำหนัก	80	11	48

4.3.2 การเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ด้วยการใช้เข็มฉีดยาที่มีหัวล็อก

เมื่อทำการเปลี่ยนวิธีการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์จากการใช้บอมบ์คาลอริมิเตอร์เป็นการใช้เข็มฉีดยาที่มีหัวล็อกเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการระเหยของไอโซพรีนมอนอเมอร์ จากผลการทดลองในตารางที่ 4.8 พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์มีค่าลดลง ทำให้สนับสนุนข้อสันนิษฐานในเรื่องความดัน กล่าวคือถ้าใน Autoclave มีความดันสูงทำให้ไอโซพรีนควบแน่นกลายเป็นของเหลวในปริมาณมากจึงทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างไอโซพรีนมอนอเมอร์ภายนอกไมเซลล์มากกว่าที่จะเกิดการแพร่เข้าไปในอนุภาคของเม็คพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ทำให้เกิดของแข็งแยกตกตะกอนจากลาเท็กซ์มาก [24] ในขณะที่ระบบที่มีการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์แบบใช้เข็มฉีดยานั้น ไอโซพรีนมอนอเมอร์จะค่อยๆ ควบแน่นเป็นของเหลว เนื่องจากว่าในการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์นั้นได้ทำการเติมอย่างช้าๆ จึงทำให้ไอโซพรีนมอนอเมอร์มีโอกาสในการดูดซับบนอนุภาคเม็คพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ได้มากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันภายในอนุภาคมอนอเมอร์/พอลิเมอร์จึงเกิดของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์น้อยลง [24] ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ลงไป ใน Autoclave เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในขั้นที่ 2 โดยการใส่เข็มฉีดยาที่มีหัวล็อก

ตารางที่ 4.8 เปรอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปรอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์ และ ปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์ เมื่อเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์โดยใช้บอมบ์ คาลอริมิเตอร์ และเข็มฉีดยา ที่ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 20 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

วิธีเติมไอโซพรีน มอนอเมอร์	% Conversion	% TSC	% ของแข็งที่ตกตะกอน แยกจากเม็ดพอลิสไตรีน
ใช้บอมบ์	80	11	48
ใช้เข็มฉีดยา	90	19	1

จากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่าการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์เพื่อใช้เป็นกาวสำหรับการยึดติด ยางกับโลหะสามารถทำได้โดยสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปล่อย ให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 14 ชั่วโมง แล้วทำการลดอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ในขั้นที่ 2 โดยใช้ เข็มฉีดยาที่มีหัวส้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำการปั่นกวน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงทำการเพิ่ม อุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียสปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 15 ชั่วโมง

4.4 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ

ทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ จากสภาวะของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ ลาเท็กซ์ที่ได้จากการทดลองข้างต้น ซึ่งผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 4.9 พบว่าเปอร์เซ็นต์การ เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 88 ถึง 92 เปรอร์เซ็นต์ เปรอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์อยู่ ในช่วง 18 ถึง 19 เปรอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากลาเท็กซ์อยู่ในช่วง 1 ถึง 3 % และ ความหนืดมีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 7 เซนติพอยส์

ตารางที่ 4.9 สมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีสไตรีน (St)/ไอโซพรีน (I)/ไวนิลดีนคลอไรด์ (VDC) ในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนระหว่าง St/I/VDC	% Conversion	% TSC	% ของแข็งที่ตกตะกอนแยก จากเม็ดพอลิสไตรีน	ความหนืด (cP)
50/50/0 (สูตรที่ 1)	88	18	1	1 - 3
45/45/10 (สูตรที่ 2)	89	18	3	4 - 5
20/80/0 (สูตรที่ 3)	92	18	1	4 - 5
18/72/10 (สูตรที่ 4)	92	19	2	6 - 7

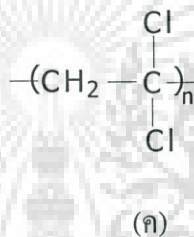
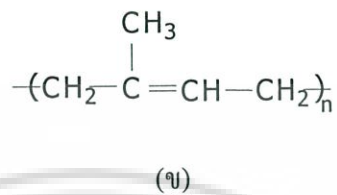
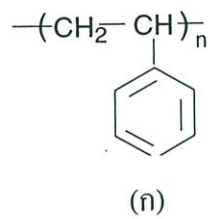
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโทรสโกปีสถานะของแข็ง (Solid-state nuclear magnetic resonance spectroscopy (Solid-state NMR))

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ต้องใช้เทคนิค Solid-state NMR เนื่องจากว่าพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ดังกล่าวไม่ละลายในคลอโรฟอร์ม หรือน้ำ ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ Solution NMR แต่อย่างไรก็ตามเทคนิค Solid-state NMR ใช้พิสูจน์เอกลักษณ์ได้ แต่ไม่สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณของพอลิสไตรีน พอลิไอโซพรีน และพอลิไวนิลดีนคลอไรด์ (โครงสร้างในรูปที่ 4.1) ในพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งสเปกตรัมของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 แสดงดังรูปที่ 4.2 4.3 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ จากตำแหน่ง δ ของ ^{13}C MAS NMR สามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่ [33-35] คือ

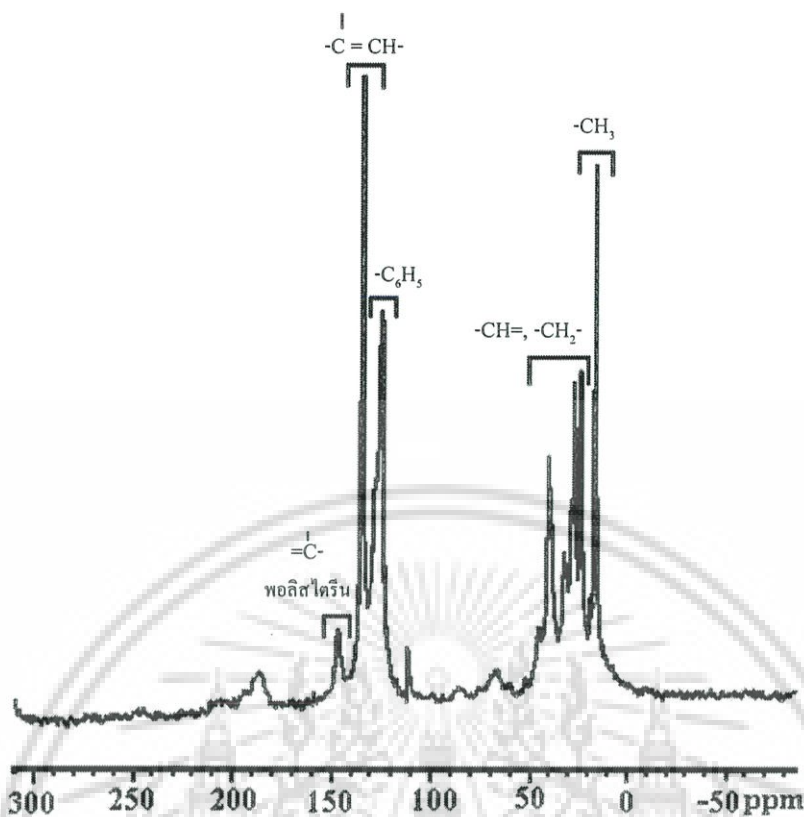
1. ตำแหน่งสเปกตรัม CH , CH_2 ของพอลิสไตรีน พอลิไอโซพรีน และไวนิลดีนคลอไรด์ (δ , ppm): 23, 39 และ 47
2. ตำแหน่งสเปกตรัมอะโรมาติกคาร์บอน (Aromatic carbon) ของพอลิสไตรีน (δ , ppm): 124
3. ตำแหน่งสเปกตรัม CH_3 ของพอลิไอโซพรีน (δ , ppm): 15
4. ตำแหน่งสเปกตรัมโอลิฟินิกคาร์บอน (Olefinic carbon) ของพอลิไอโซพรีน (δ , ppm): 134
5. ตำแหน่งสเปกตรัมคลอรีเนตคาร์บอน (Chlorinated carbon) ของไวนิลดีนคลอไรด์ (δ , ppm): 93

จากรูป ^{13}C MAS NMR สเปกตรัมของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 1 และ 3 พบพิกของอะลิฟาติกโอลิฟินิกของพอลิไอโซพรีน และพบพิกของอะลิฟาติกและอะโรมาติกคาร์บอนของพอลิสไตรีน ส่วนในพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 2 และ 4 นอกจากพบพิกของคาร์บอนต่างๆ ที่เหมือนกับสูตรที่ 1 และ 3 ยังพบพิกที่ตำแหน่ง $\delta = 93$ ppm ซึ่งเป็นของคลอรีเนตคาร์บอน (Chlorinated carbon) แสดงว่าพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 2 และ 4 มีพอลิไวนิลดีนคลอไรด์เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้งสองสูตร

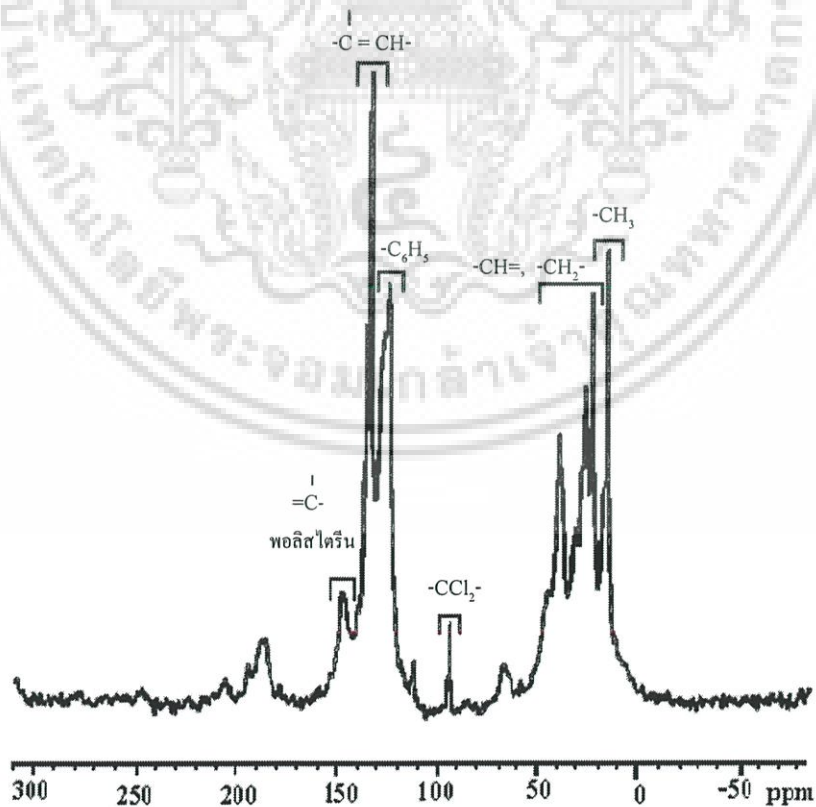


รูปที่ 4.1 ตำแหน่งคาร์บอนในโครงสร้างของ (ก) พอลิสไตรีน (ข) พอลิไอโซพรีน และ (ค) พอลิไวนิลิดีนคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

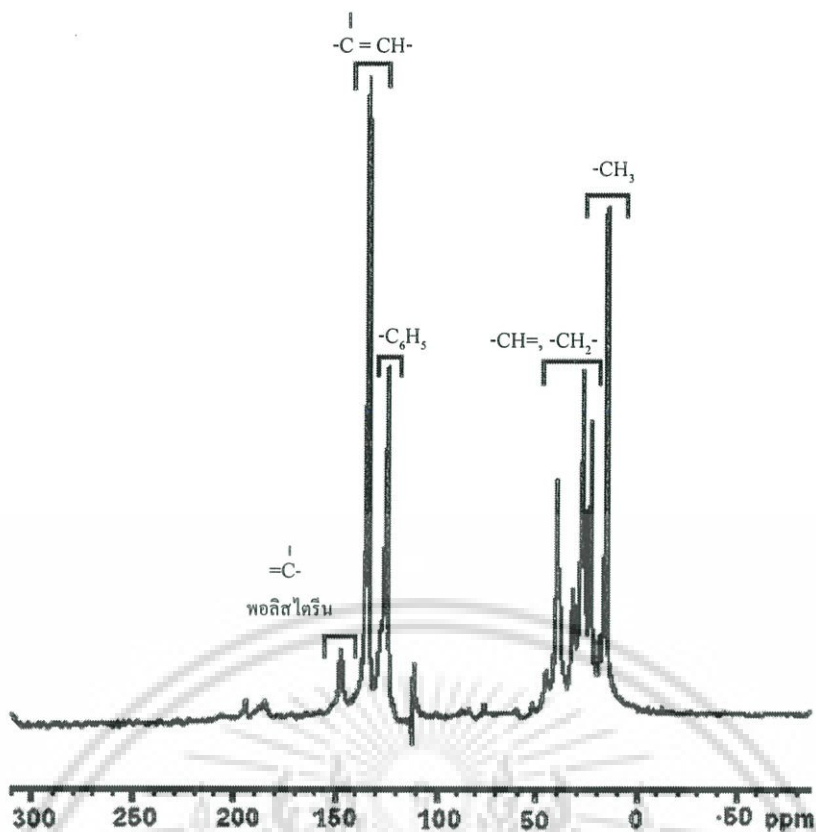


รูปที่ 4.2 ^{13}C MAS สเปกตรัมของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 1

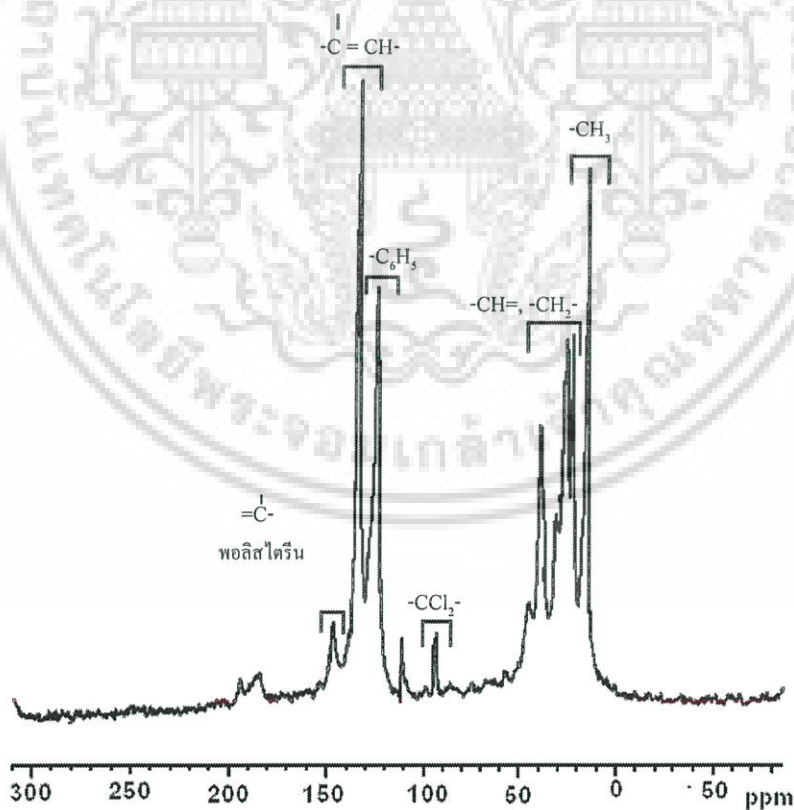


รูปที่ 4.3 ^{13}C MAS สเปกตรัมของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ^{13}C MAS สเปกตรัมของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 3



รูปที่ 4.5 ^{13}C MAS สเปกตรัมของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การหาขนาดอนุภาค และการศึกษาสัณฐานวิทยาของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ และ พอลิเมอร์ลาเท็กซ์

4.6.1 การหาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizers)

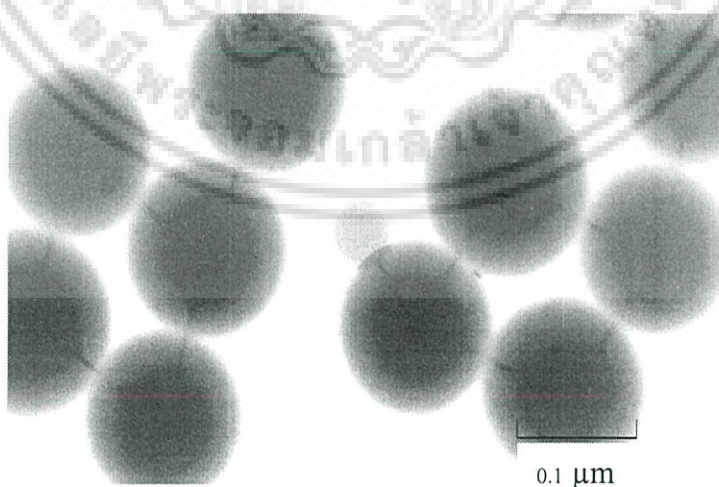
ผลการหาขนาดอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่มีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว (SDS) 0.1 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ โดยความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่มีความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักที่มีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ สูตรที่ 1-4 มีอัตราส่วนโดยโมลของสไตรีนมอนอเมอร์/ไอโซพรีนมอนอเมอร์/ไวนิลิดีนคลอไรด์เป็น 50/50/0 45/45/10 20/80/0 18/72/10 แสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าที่ความเข้มข้นของสไตรีนมอนอเมอร์ และไอโซพรีนมอนอเมอร์คงที่ ขนาดของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์เล็กลงจาก $1.78 \mu\text{m}$ เป็น $0.25 \mu\text{m}$ เมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวมีผลทำให้อนุภาคไมเซลล์เพิ่มขึ้น และทำให้อนุภาคของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์มีขนาดเล็กลง [31] แต่ขนาดอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อใช้ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ต่างกัน แสดงว่าปริมาณของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคน้อยมากเมื่อเทียบกับการปรับเปลี่ยนปริมาณสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้านสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 และเมื่อทำการพิจารณาขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้ง 4 สูตร (ตารางที่ 4.10) พบว่ามีค่าประมาณเท่ากับขนาดอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ ซึ่งตามทฤษฎีกล่าวว่าเมื่อทำการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ลงไปในพื้นที่ 2 อนุภาคควรมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ผลที่ได้จากเครื่องวัดขนาดอนุภาคมีค่าเท่าเดิม เนื่องมาจากเครื่องวัดขนาดอนุภาคสามารถวิเคราะห์อนุภาคได้ในช่วง 0.05 ถึง 900 ไมโครเมตร ดังนั้นถ้าขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นน้อยกว่า 0.05 ไมโครเมตร เครื่องวัดขนาดอนุภาคจึงไม่สามารถวัดความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากความละเอียดในการวัดขนาดอนุภาคไม่มากพอ ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าขนาดอนุภาคมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรสำหรับพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้ง 4 สูตร ดังนั้นจึงทำการหาขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

ตารางที่ 4.10 ขนาดอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ และพอลิเมอร์ลาเท็กซ์จากเครื่องวัดขนาดอนุภาค

พอลิเมอร์ลาเท็กซ์	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร, μm)
เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (SDS 0.1 %wt, St 30 %wt)	1.78
เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (SDS 0.3 %wt, St 30 %wt)	0.25
เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (SDS 0.3 %wt, St 20 %wt) สูตรที่ 1	0.24
เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (SDS 0.3 %wt, St 20 %wt) สูตรที่ 3	0.23
สูตรที่ 1 (50/50/0)	0.23
สูตรที่ 2 (45/45/10)	0.23
สูตรที่ 3 (20/80/0)	0.24
สูตรที่ 4 (18/72/10)	0.23

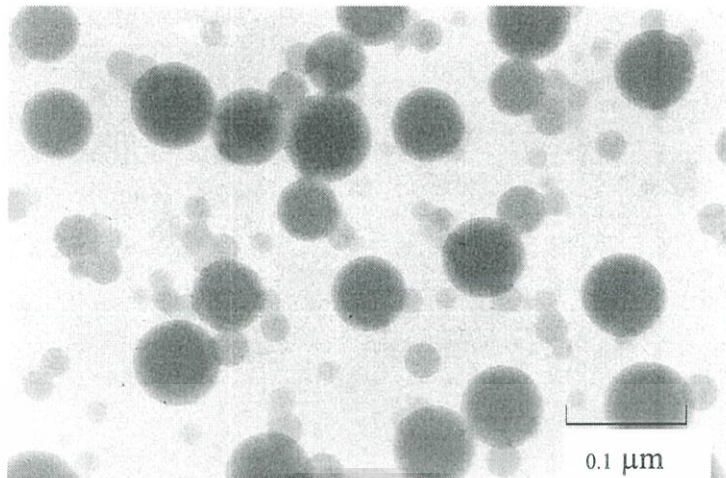
4.6.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM)

การศึกษาสัณฐานวิทยาของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ และพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน สามารถทำได้โดยนำพอลิเมอร์ลาเท็กซ์มาทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่น แล้วทำการหยดออสเมียมเตตระออกไซด์ (OsO_4) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับพันธะคู่ของพอลิไอโซพรีน ทำให้บริเวณที่มีพอลิไอโซพรีนอยู่เกิดเป็นสีดำเข้มกว่าบริเวณที่มีพอลิสไตรีน ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6 - 4.11



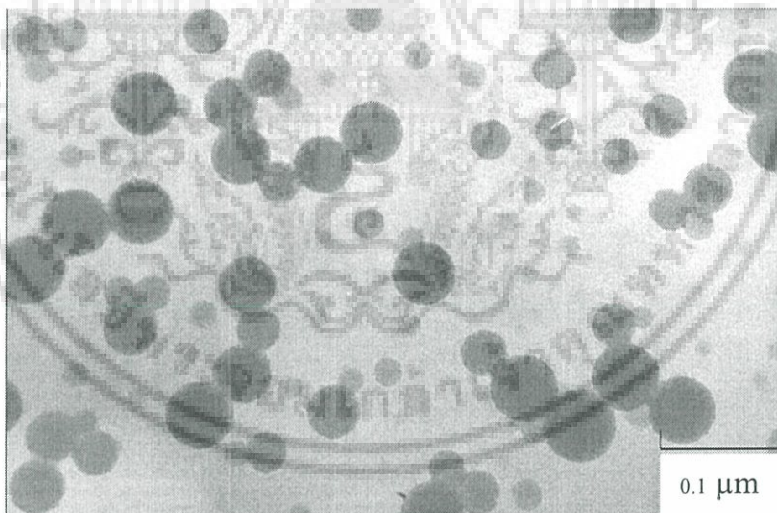
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



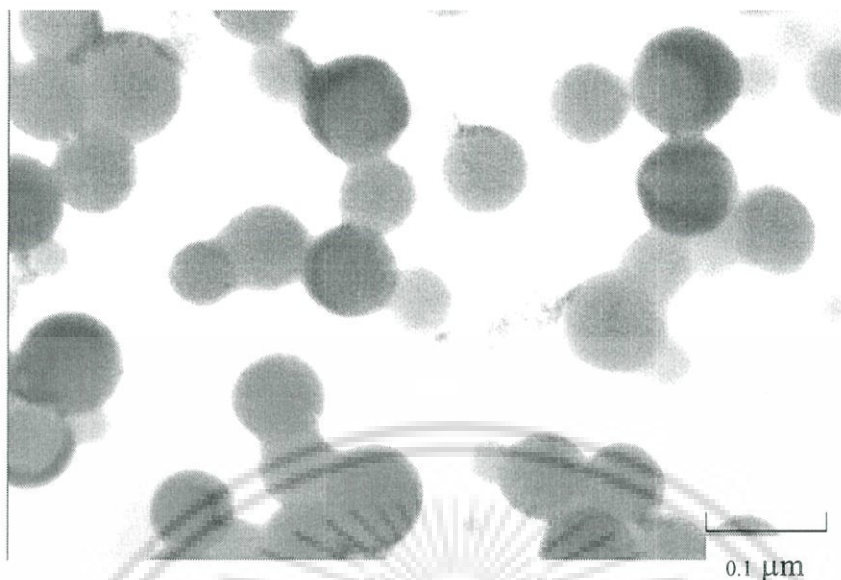
(ข)

รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของเม็ดพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ก) สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิเอทิลีนไกลคอล (ข) สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิเอทิลีนไกลคอล

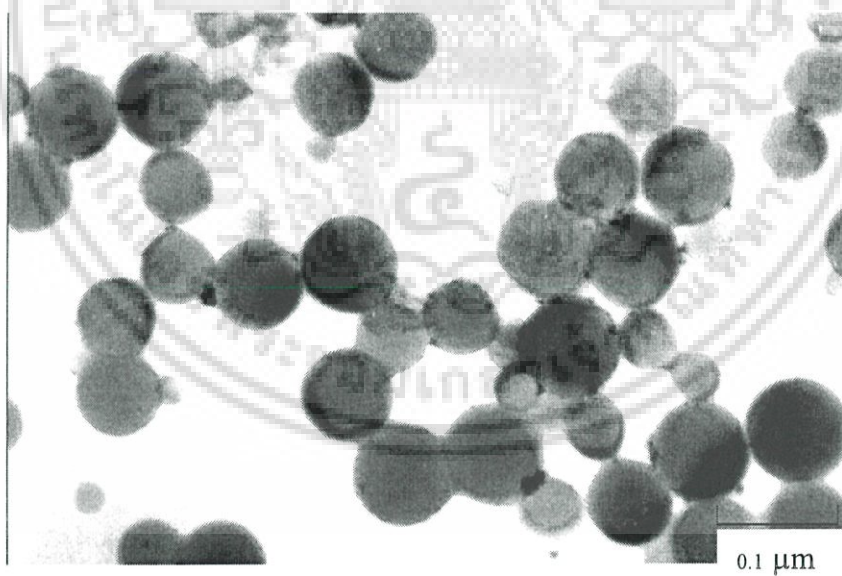


รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของเม็ดพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้สารลดแรงตึงผิวเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเม็ดพอลิเอทิลีนไกลคอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

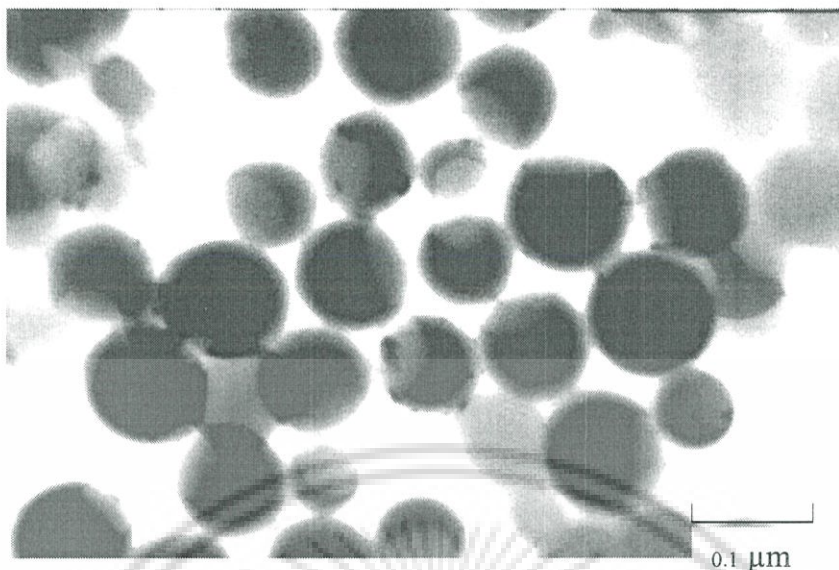


รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 1

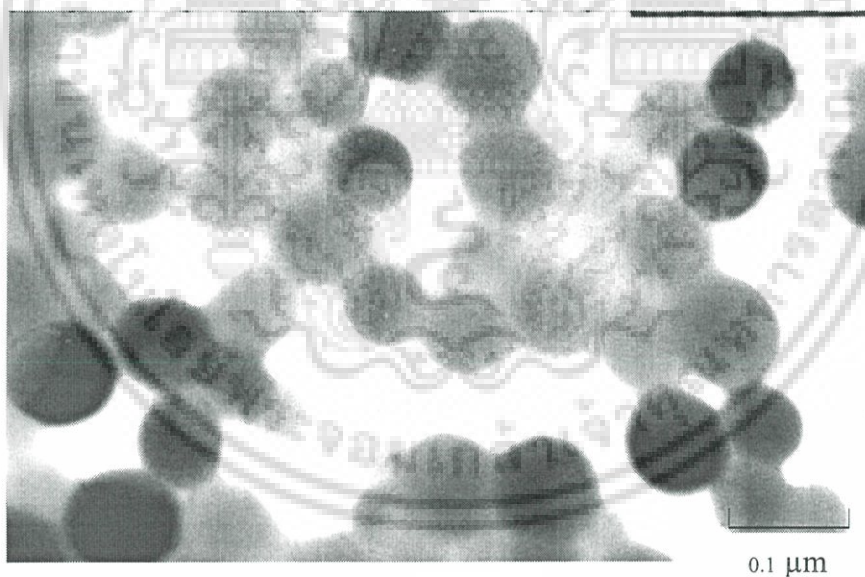


รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 3



รูปที่ 4.11 สัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 4

จากผลการศึกษาสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นจาก 0.1 เป็น 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ ส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มีขนาดเล็กลง ซึ่งสอดคล้องกับการหาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (ตารางที่ 4.10) และเมื่อทำการวัดขนาดอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (ความเข้มข้นรวมของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอนอเมอร์ 30 %) ที่มีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเป็น 0.1 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ $0.18 \mu\text{m}$ และ $0.05 \mu\text{m}$ ตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ กับพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้ง 4 สูตรที่ใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เท่ากันคือ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ถึง 4.11 พบว่าขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้ง 4 สูตรมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ และเมื่อทำการวัดขนาดอนุภาคจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ (ความเข้มข้นรวมของมอนอเมอร์ 20 %) พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $0.04 \mu\text{m}$ ในขณะที่อนุภาคของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ในสูตรที่ 1 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ $0.08 \mu\text{m}$ สูตรที่ 2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ $0.07 \mu\text{m}$ สูตรที่ 3 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ $0.09 \mu\text{m}$ และสูตรที่ 4 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ $0.08 \mu\text{m}$ ซึ่งมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าขนาดอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ เนื่องจากพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้ง 4 สูตรได้มีการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ และไวนิลิดีนคลอไรด์เพื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในขั้นที่ 2 แสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันบนเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์

โดยทั่วไปการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสตีคิมัลชันที่มีน้ำเป็นตัวกลาง โดยทำการเติมมอนอเมอร์ที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยมากลงไปในการเกิดปฏิกิริยาขั้นที่ 2 มีผลทำให้มอนอเมอร์ที่เติมลงไปเกิดการพอลิเมอไรซ์ภายในอนุภาคของเม็ดพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่ได้จึงเป็นแบบ Invert core-shell แต่ถ้าในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในขั้นที่ 2 มีการเติมกรด และมอนอเมอร์ที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยมากพร้อมกัน ทำให้เป็นการเพิ่มความมิขั้วให้มอนอเมอร์ที่เติมลงไป ทำให้มอนอเมอร์นั้นมีความสามารถในการละลายในน้ำได้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้มอนอเมอร์ที่เติมลงไปขั้นที่ 2 สามารถเกิดการพอลิเมอไรซ์รอบนอกอนุภาคของเม็ดพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ ทำให้ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่เกิดขึ้นเป็น Core-shell [21] ซึ่งในการทดลองมีการเติมกรดเมทาคริลิกลงไปขั้นที่ 2 เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายในน้ำของไอโซพรีนมอนอเมอร์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่ได้ทั้ง 4 สูตร (ดังแสดงในรูปที่ 4.8-4.11) พบว่าบริเวณขอบ หรือด้านนอกของอนุภาคเป็นสีดำเข้มกว่าบริเวณกลางอนุภาค แสดงให้เห็นว่ามีพอลิไอโซพรีนส่วนใหญ่อยู่ที่บริเวณรอบนอกดังกล่าว หรืออาจกล่าวได้ว่าไอโซพรีนมอนอเมอร์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันบนเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มากกว่าการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันภายในอนุภาคเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะสัณฐานวิทยาที่ได้ยังไม่เป็นแบบ Core-shell โดยสมบูรณ์ อาจเนื่องมาจากขนาดของอนุภาคเม็ดลาเท็กซ์ที่เล็ก (น้อยกว่า $0.15 \mu\text{m}$) จึงส่งผลทำให้ลักษณะสัณฐานวิทยาที่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) [36] และเมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 1 กับสูตรที่ 3 และสูตรที่ 2 กับสูตรที่ 4 พบว่าในสูตรที่ 3 และ

4 มีบริเวณที่เป็นสีดำมากกว่าสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ เนื่องจากพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ในสูตรที่ 3 และ 4 มีการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ในขั้นที่ 2 มากกว่าสูตรที่ 1 และ 2

4.7 ความสามารถในการยึดติดระหว่างยางกับโลหะ

นำพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่ทำการผสมกับสารเติมแต่งเรียบร้อยแล้วมาทำการวัดความหนืด หาเปอร์เซ็นต์เจล (% Gel) หลังจากนั้นนำกาวผสมสูตรไปทำการทดสอบความสามารถในการยึดติดระหว่างโลหะกับยาง และหาเปอร์เซ็นต์ของเนื้อกาวที่ติดอยู่บนโลหะ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าความหนืด เปอร์เซ็นต์เจล ความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์เนื้อกาวที่ติดอยู่บนโลหะของกาวผสมสูตร

อัตราส่วนระหว่าง St/I/VDC	ความหนืด (cP)	% เจล	ความแข็งแรงดึง (MPa)	% เนื้อกาวที่ติดอยู่บนโลหะ
50/50/0 (สูตรที่ 1)	7120	47	0.13	57
45/45/10 (สูตรที่ 2)	7150	41	0.09	60
20/80/0 (สูตรที่ 3)	7250	53	0.14	42
18/72/10 (สูตรที่ 4)	7400	44	0.10	45

ค่าความหนืดเป็นค่าที่ใช้บอกการต้านทานการไหลของกาว กล่าวคือถ้ากาวมีความหนืดสูง แสดงว่ามีการต้านทานการไหลได้ดี หรืออาจกล่าวได้ว่ากาวนั้นมีปริมาณเนื้อสารอยู่มาก และมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมมากด้วย จากผลการทดลองค่าความหนืดในตารางที่ 4.11 พบว่าค่าความหนืดที่ได้ของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 1 ถึง 4 มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม กล่าวคือค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สูตรที่ 1 ถึง 4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18 ถึง 19 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบความสามารถในการยึดติดยางกับโลหะ พบว่าพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้สามารถนำมาใช้ยึดติดยางกับโลหะได้โดยไม่จำเป็นต้องทำการทาไพรเมอร์บนพื้นผิวโลหะก่อนการทากาว เนื่องจากมีกรดเมทาคริลิกเป็นส่วนประกอบซึ่งทำให้เพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างเนื้อกาวกับโลหะได้ โดยเกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (Transfer of electrons) ข้ามระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะ [37] และพอลิไอโซพรีนที่อยู่ภายในพอลิเมอร์ลาเท็กซ์สามารถเกิดการเชื่อมโยงกับยางที่นำมายึดติดทำให้กาวผสมสูตรเกิดการยึดติดระหว่างยางกับโลหะ

จากผลการทดสอบความแข็งแรงดึงโดยใช้กาวผสมสูตรทั้ง 4 สูตร พบว่าสูตรที่ 1 มีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 มีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าสูตรที่ 4 เนื่องจากสูตรที่ 1 และ 3 มี

ปริมาณพอลิไอโซพรีนในเนื้อกาวมากกว่าสูตรที่ 2 และ 4 ส่งผลทำให้กาวทั้ง 2 สูตรมีปริมาณกรดเมทาคริลิกที่เพิ่มขึ้น (ใช้กรดเมทาคริลิก 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไอโซพรีนมอนอเมอร์) ส่งผลทำให้ความสามารถในการยึดติดระหว่างยางกับโลหะดีขึ้น อีกทั้งค่าความแข็งแรงดึงนี้ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์เจล คือกาวผสมสูตรที่มีค่าเปอร์เซ็นต์เจลเพิ่มขึ้นทำให้มีค่าความแข็งแรงดึงดีขึ้น เช่นกาวผสมสูตรที่ 1 และ 3 มีปริมาณพอลิไอโซพรีนมากทำให้สามารถเกิดการเชื่อมโยงได้มากจึงทำให้เปอร์เซ็นต์เจลมีค่ามากขึ้น ส่งผลทำให้กาวมีค่าความแข็งแรงภายในเพิ่มขึ้น และสามารถต้านทานแรงดึงได้ดี นอกจากนี้การที่ในสูตรที่ 2 และ 4 มีไวนิลดีนคลอไรด์เป็นองค์ประกอบทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง เนื่องจากว่าไวนิลดีนคลอไรด์มีความยืดหยุ่นที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงทำให้แรงดึงที่ใช้ในการดึงกาวผสมสูตรที่ 2 มีค่าน้อยกว่าสูตรที่ 1 และกาวผสมสูตรที่ 4 มีค่าน้อยกว่าสูตรที่ 3 และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์เนื้อกาวที่ติดอยู่บนชิ้นงาน โลหะพบว่าสูตรที่ 3 มีเนื้อกาวติดอยู่บนโลหะน้อยกว่าสูตรที่ 1 และกาวผสมสูตรที่ 4 มีเนื้อกาวติดอยู่บนโลหะน้อยกว่าสูตรที่ 2 เนื่องจากสูตรที่ 3 และ 4 มีปริมาณพอลิไอโซพรีนมากกว่าสูตรที่ 1 และ 2 ดังนั้นในขณะที่ทำการยึดติดยางกับโลหะกาวจึงมีโอกาสเข้ากันได้กับยางเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการยึดติดระหว่างยางกับกาวเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การทดสอบแรงดึงของกาวผสมสูตรพบว่าเกิดการฉีกขาดบริเวณเนื้อกาวทั้ง 4 สูตร แสดงว่ากาวผสมสูตรมีความแข็งแรงภายในเนื้อกาวน้อยกว่าความแข็งแรงของวัสดุ อาจทำให้ยังไม่สามารถสรุปอิทธิพลของไวนิลดีนคลอไรด์ที่มีต่อการยึดติดยางกับโลหะได้ การที่กาวผสมสูตรมีค่าความแข็งแรงน้อยอาจเนื่องมาจากสารเติมแต่งที่ใช้เติมลงในสลาเท็กซ์มีปริมาณกำมะถันมากเกินไป ทำให้เกิดการเชื่อมโยงแบบ Polysulfidic ซึ่งพันธะของ S-S มีค่าความแข็งแรงของพันธะน้อยกว่าการเกิดพันธะระหว่าง C-S จึงทำให้มีโอกาสดังกล่าวเกิดการแตกหักบริเวณพันธะ S-S ได้ง่ายกว่า นอกจากนี้การที่มีปริมาณกำมะถันมากเกินไป และภายในเนื้อกาวมีกรดเมทาคริลิกอาจทำให้เกิดการหน่วงปฏิกิริยาการเชื่อมโยงซึ่งทั้งสองเหตุผลทำให้กาวเกิดการเชื่อมโยงไม่สมบูรณ์ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์เจลของกาวมีค่าที่ต่ำ [38]

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์จากพอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน-ไอโซพรีน-ไวนิลดีนคลอไรด์ สำหรับการยึดติดยางกับโลหะ โดยใช้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเตรียมเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ แล้วเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ กรดเมทาคริลิก และไวนิลดีนคลอไรด์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาขั้นที่ 2 จากนั้นนำพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่ได้ไปทำการเตรียมกาวผสมสูตร และนำกาวผสมสูตรที่ได้ไปทดสอบความสามารถในการยึดติดยางกับโลหะซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์

5.1.1 การสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์

จากการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสตีคิมัลชันใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 1×10^{-3} โมล/ลิตร เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา และใช้โซเดียมโคเดคซิลซัลเฟตเป็นสารลดแรงตึงผิว พบว่าเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม และของแข็งที่ตกตะกอนแยกจากเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งการเกิดของแข็งตกตะกอนแยกจากเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ เนื่องจากมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวไม่เพียงพอ ส่งผลให้อนุภาคมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ไม่สามารถแขวนลอยกระจายตัวอยู่ในชั้นน้ำได้

จากการศึกษาปริมาณของสารลดแรงตึงผิว พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคเล็กลง และมีของแข็งตกตะกอนน้อยลงเนื่องจากสารลดแรงตึงผิวทำให้เกิดอนุภาคไมเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้อนุภาคของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์มีขนาดเล็ก และสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ซึ่งสภาวะที่ดีที่สุดของการสังเคราะห์เม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์คือทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียสปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

จากการศึกษาปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์ในเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ พบว่าไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ แต่มีผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณมอนอเมอร์ที่สามารถแพร่เข้า

ไปเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันในอนุภาคมอนอเมอร์/พอลิเมอร์ได้มากขึ้นซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากการหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค GPC

5.1.2 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันขั้นที่ 2

จากการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาในขั้นที่ 2 พบว่าการเติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ กรดเมทาคริลิก และไวนิลิดีนคลอไรด์โดยใช้เข็มฉีดยาที่มีหัวล็อก เหมาะสมกว่าการใช้บอมบ์คาลอริมิเตอร์ เนื่องจากการเติมโดยใช้เข็มฉีดยาที่มีหัวล็อกเป็นวิธีที่ค่อยๆ เติมไอโซพรีนมอนอเมอร์ส่งผลทำให้ไอโซพรีนมอนอเมอร์ค่อยๆ เกิดการควบแน่นกลับมาอยู่ในสถานะของเหลวสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันบนอนุภาคของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์

จากการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์โดยใช้อัตราส่วนสไตรีนมอนอเมอร์/ไอโซพรีนมอนอเมอร์/ไวนิลิดีนคลอไรด์เป็น 50/50/0 45/45/10 20/80/0 และ 18/72/10 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 88-92 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมในลาเท็กซ์อยู่ในช่วง 18-19 เปอร์เซ็นต์ และสามารถพิสูจน์เอกลักษณ์พอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีพอลิไวนิลิดีนคลอไรด์ในองค์ประกอบได้โดยใช้เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปีสถานะของแข็ง จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย TEM พบว่าพอลิไอโซพรีนส่วนใหญ่เกิดการพอลิเมอร์อยู่บริเวณรอบนอกเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ และขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ทั้ง 4 สูตรมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ แสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันในขั้นที่ 2 บนเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์

5.2 ความสามารถในการยึดติดยางกับโลหะของกาวผสมสูตร

จากการทดสอบหาค่าความสามารถในการยึดติด พบว่ากาวผสมสูตรทั้ง 4 สูตรสามารถเกิดการยึดติดได้โดยไม่ต้องทำการทาไพรเมอร์ เนื่องจากกาวผสมสูตรมีกรดเมทาคริลิกเป็นส่วนประกอบซึ่งทำให้เพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างเนื้อกาวกับโลหะได้

จากการศึกษาพบว่า กาวผสมสูตรมีค่าความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์เจลเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของพอลิไอโซพรีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากกาวมีความสามารถในการยึดติดระหว่างยางกับโลหะดีขึ้น และมีค่าความแข็งแรงภายในเพิ่มขึ้นทำให้มีความสามารถต้านทานแรงดึงได้ดี และยังพบว่า การทดสอบมีการฉีกขาดบริเวณเนื้อกาว

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้น้ำยาแทนไอโซพรีนมอนอเมอร์ เพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในขั้นที่ 2 หรือศึกษาการใช้มอนอเมอร์ชนิดอื่นเพื่อใช้แทนไวนิลิดีน-คลอไรด์ เช่น อะคริโลไนไตรล์
2. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณ และชนิดของกรดที่ใช้ในขั้นที่ 2 ที่มีผลต่อการยึดติดยางกับโลหะ
3. ศึกษาปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม และความสามารถในการยึดติด
4. ศึกษาหาค่าความเข้มข้นวิกฤตของไมเซลล์ (Critical micelle concentration) ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในขั้นที่ 1
5. ศึกษาปริมาณ และสัดส่วนของกำมะถันในสารเติมแต่ง และสัดส่วนของสารเติมแต่งที่เหมาะสมในการยึดติดยางกับโลหะ



เอกสารอ้างอิง

- [1] Jerard E. and Tallmadge V. G. “Adhesive Dip for Bonding Rubber to Bright Steel Wire.” U.S patent no. 3857726, December 31, 1974.
- [2] Gils V. and Tallmadge E. J. “Adhesive for Bonding Rubber to Steel.” U.S patent no. 3859239, July 1, 1975.
- [3] David M. W. and Donald K. E. “Evaluation of The Film and Adhesive Properties of Some Block Copolymer Polyhydroxypolyamides from Esterified Aldaric Acids and Diamines.” J. Appl. Polym. Sci, vol. 77, 1997. pp. 3085-3092.
- [4] Cook J. W., Edge S. and Packham D. E. “The Adhesion of Natural Rubber to Steel and The Use of The Peel Test to Study Its Nature.” Int. J. Adhesion and Adhesive, vol. 17, 1997. pp. 333-337.
- [5] Parker R. S. R. **Adhesion and Adhesives**. Oxford : Pergamon Press Ltd. 1966.
- [6] Li H. and Ruckenstein E. “Mutual Toughening of Vinylidene Chloride and Methyl Methacrylate in Network Composites Prepared via Concentrated Emulsion Polymerization.” Polymer, vol. 37, 1996. pp.1933-1940.
- [7] ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์. เอกสารประกอบการเรียนการสอนเทคโนโลยีแก้ว. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [8] Petrie M. E. **Handbook of Adhesives and Sealants**. New York : McGraw-Hill Companies Inc. 2000.
- [9] David L. **Adhesives and Sealants**. England : Nexus Special Interests Ltd. 1999.
- [10] Goel R. K. **Industrial Adhesives and Gums**. Delhi : Small Sunsiness Publication. 1995.
- [11] Pizzi A. and Mihal K. L. **Handbook of Adhesive Technology**. New York : Marcel Dekker Inc. 1994.
- [12] Booth K. **Industrial Packaging Adhesive**. Glasgow : Blackie and Son Ltd. 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Cagle V. C. **Handbook of Adhesive Bonding**. New York : Mc Graw-hill Book Company. 1973.
- [14] ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์. พอลิเมอร์คอลลอยด์. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2545.
- [15] มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์. เคมีพอลิเมอร์. กรุงเทพมหานคร : โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540.
- [16] Manas C. **Advanced Polymer Chemistry**. New York : Marcel Dekker, Inc. 2000.
- [17] Young R.J. and Lovell P.A. **Introduction to Polymers**. London : Chapman and Hall. 1991.
- [18] Love P.A. and El-Aasser M.S. **Emulsion Polymerization and Emulsion Polymers**. New York : John Wiley and Sons, Ltd. 1997.
- [19] Hargis I. G., Richard M. A. and John W. A. “Solventless Carboxylated Butadiene-Vinylidene Chloride Adhesive for Bonding Rubber to Metal.” U.S. patent no. 5741393, April 21, 1998.
- [20] He W. D. and Yuan C. “Influence of Reaction Between Second Monomer and Vinyl Group of Seed Polysiloxane on Seeded Emulsion Polymerization.” J. Appl. Polym. Sci., vol. 80, 2001. pp. 2752-2758.
- [21] Karlsson O., Hassander A. and Wesslen B. “Morphology of Poly (isoprene-co-styrene-co-methacrylic acid) Latex Prepared by Two-Stage Seeded Emulsion Polymerization.” J. Appl. Polym. Sci., vol. 63, 1997. pp. 1543- 1550.
- [22] Kapisson O., Hassander A. and Wesslen B. “Influence of Seed Polymer Molecular Weight on Polymerization Kinetics and Particle Morphology of Structure Styrene-Butadiene Latexes.” J. Appl. Polym. Sci., vol. 77, 2000. pp. 297-311.
- [23] Xu Y. S., Yuan C. D., Wang Y. J., Cao T. Y. and Cao P. “Mechanism and Grafting Reactions in Seeded Emulsion Polymerization with Emulsified Monomer Feeding.” J. Appl. Polym. Sci., vol. 72, 1999. pp. 1495-1499.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [24] Karlsson O. and Wesslen D. “Swelling of Poly (styrene-co-methacrylic acid) Latex by Isoprene.” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 70, 1998. pp. 2041-2051.
- [25] Achary P. S., Gouri C. and Ramaswam P. “Reactive Bonding of Natural Rubber to Metal by a Nitrile-Phenolic Adhesive.” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 81, 2000. pp. 2597-2608.
- [26] Arora A., Daniels E. S., and Aasser M. S. E. “Synthesis and Characterization of Core/Shell Ionomeric Latexes. I. Latex and Film Properties.” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 58, 1995. pp. 301-311.
- [27] Widmaier J.M. and Meyer G.C. “Adhesive Properties of ABA Poly (styrene-*b*-isoprene) Block Copolymers.” *Polymer*, vol.18, 1977. pp. 587-590.
- [28] Gordon T.L. and Fakley M.E. “The Influence of Elastic Modulus on Adhesion to Thermoplastics and Thermoset Materials.” *Int. J. Adhesion and Adhesive*, vol. 23, 2003. pp. 95-100.
- [29] ASTM D 2651-90 Committee and Standard Guide for Preparation of Metal Surfaces for Adhesive Bonding, Philadelphia : American Society for Testing and Materials 1992.
- [30] ASTM D 429-81 Committee and Standard Test Method for Rubber Property- Adhesion to Rigid Substrates, Philadelphia : American Society for Testing and Materials 1992.
- [31] George O. **Principle of Polymerization**. New York : John Wiley and Sons, Inc. 1991.
- [32] Billmeyer W.F. **Textbook of Polymer Science**. New York : John Wiley and Sons, Inc. 1984.
- [33] Hisaya S., Akihisha O. and Yasuyuki T. “Distribution of Isomeric Structures in Polyisoprene.” *Polymer*, vol. 18, 1997. pp. 580-586.
- [34] Hekmatyar S.K. “Microstructure Analysis of Poly (styrene-co-Vinylidene Chloride) Copolymer by NMR Spectroscopy.” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 79, 2001. pp. 544-554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [35] Brare A.S. and Malhotra M. “Compositional Assignments of Methyl Methacrylate-Vinylidene Chloride Copolymer by Two Dimensional NMR Spectroscopy.” *European Polymer Journal*, vol. 35, 1999. pp. 631-638.
- [36] Chen S.-A. and Lee S.-T. “Seeded Latex Polymerizations : Studies on The Particle Growth Mechanism of Latex Particles.” *Polymer*, vol.33, 1992. pp. 1437-1443.
- [37] Skeist I. **Handbook of Adhesives**. 3rd Ed. New York : Van Nostrand Reinhold Chapman and Hall. 1990.
- [38] อธิพิศ แจ่มชัด เอกสารประกอบการเรียนการสอนเทคโนโลยียาง. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาปริมาณของสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ลาเท็กซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

$G_{รวม}$	=	น้ำหนักโดยรวมของไอโซพรีนมอนอเมอร์กับสไตรีนมอนอเมอร์ (กรัม)	
G_{St}	=	น้ำหนักของสไตรีนมอนอเมอร์ (กรัม)	
G_I	=	น้ำหนักของไอโซพรีนมอนอเมอร์ (กรัม)	
MW_I	=	น้ำหนักโมเลกุลของไอโซพรีน	= 68.12 กรัม/โมล
MW_{St}	=	น้ำหนักโมเลกุลของสไตรีน	= 104 กรัม/โมล
MW_{vdc}	=	น้ำหนักโมเลกุลของไวนิลดีนคลอไรด์	= 96.94 กรัม/โมล
$MW_{K_2S_2O_8}$	=	น้ำหนักโมเลกุลของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต	= 270 กรัม/โมล
MW_{Na_2EDTA}	=	น้ำหนักโมเลกุลของโซเดียมอีดีทีเอ	= 372.24 กรัม/โมล
$MW_{Na_2CO_3}$	=	น้ำหนักโมเลกุลของโซเดียมคาร์บอเนต	= 105.99 กรัม/โมล
MW_a	=	น้ำหนักโมเลกุลของกรดเมทาอะคริลิก	= 86.09 กรัม/โมล
MW_{SDS}	=	น้ำหนักโมเลกุลของโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต	= 288.38 กรัม/โมล
ρ_I	=	ความหนาแน่นของไอโซพรีน	= 0.681 กรัม/โมล
ρ_{St}	=	ความหนาแน่นของสไตรีน	= 0.906 กรัม/โมล
ρ_{vdc}	=	ความหนาแน่นของไวนิลดีนคลอไรด์	= 1.213 กรัม/โมล
ρ_a	=	ความหนาแน่นของกรดเมทาอะคริลิก	= 1.015 กรัม/โมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ 1 อัตราส่วนระหว่างสไตรีน/ไอโซพรีน เป็น 50/50

1. การคำนวณปริมาตรของสไตรีนมอนอเมอร์ และไอโซพรีนมอนอเมอร์

$$G_{\text{รวม}} = G_{\text{St}} + G_{\text{I}}$$

$$20 = G_{\text{St}} + G_{\text{I}}$$

เนื่องจากว่า

$$G_{\text{St}} = M_{\text{wSt}} \times \text{Mol}_{\text{St}}$$

$$G_{\text{I}} = M_{\text{wI}} \times \text{Mol}_{\text{I}}$$

เนื่องจากว่า

$$\text{Mol}_{\text{St}} = \text{Mol}_{\text{I}}$$

ได้ว่า

$$20 = M_{\text{wSt}} \times \text{Mol}_{\text{St}} + M_{\text{wI}} \times \text{Mol}_{\text{St}}$$

$$= 104 \text{ Mol}_{\text{St}} + 68.12 \text{ Mol}_{\text{St}}$$

$$= 172.12 \text{ Mol}_{\text{St}}$$

$$\text{Mol} = \frac{20}{172.12}$$

$$= 0.1162 \text{ โมล}$$

ดังนั้น

$$\text{Mol}_{\text{I}} = 0.1162 \text{ โมล}$$

$$G_{\text{St}} = 104 \times 0.1162$$

$$= 12.08 \text{ กรัม}$$

$$V_{\text{St}} = \frac{G_{\text{st}}}{\rho_{\text{st}}}$$

$$= \frac{12.08 \text{ กรัม}}{0.906 \text{ กรัม/มิลลิลิตร}}$$

$$= 13.3 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$= 13.3 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$G_{\text{I}} = 68.12 \times 0.1162$$

$$= 7.9155 \text{ กรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 V_I &= \frac{G_I}{\rho_I} \\
 &= \frac{7.9155 \text{ กรัม}}{0.681 \text{ กรัม/มิลลิลิตร}} \\
 &= 11.6 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

2. การคำนวณปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต; $K_2S_2O_8$)

$$\begin{aligned}
 \text{ใช้ } K_2S_2O_8 &= 1 \times 10^{-3} \text{ โมล/ลิตรของเม็ดพอลิสไตรีน} \\
 &= 1 \times 10^{-3} \text{ โมล} \times 270 \text{ กรัม/โมล} \\
 &= 0.27 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

$$\text{น้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ทั้งหมด} = 77 + 13.3 = 90.3 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร ใช้ } K_2S_2O_8 = 0.27 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned}
 \text{สารละลายพอลิสไตรีน 90.3 มิลลิลิตร ใช้ } K_2S_2O_8 &= \frac{0.27 \times 90.3}{1000} \\
 &= 0.0244 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

ในการทดลองมีการเตรียมสารละลาย $K_2S_2O_8$ ในปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วปีเปตมาใช้ครั้งละ 5 มิลลิลิตร

$$\text{ในน้ำ 5 มิลลิลิตร มี } K_2S_2O_8 = 0.0248 \text{ กรัม}$$

$$\text{ในน้ำ 50 มิลลิลิตร ต้องใช้ } K_2S_2O_8 = \frac{0.0248 \times 50}{5} = 0.2438 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตโดยชั่งโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.2438 กรัม ละลายในน้ำ 50 มิลลิลิตร

3. การคำนวณปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ (โซเดียม โดเดซิลซัลเฟต; SDS)

$$\begin{aligned}
 &\text{ใช้ SDS } 0.3 \% \text{ โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์} \\
 &\text{น้ำหนักโดยรวมของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์} = 77 + (13.3 \times 0.906) \\
 &= 89.05 \text{ กรัม} \\
 &\text{สารละลายพอลิสไตรีนลาเท็กซ์หนัก 100 กรัม มี SDS} = 0.3 \text{ กรัม} \\
 &\text{สารละลายพอลิสไตรีนลาเท็กซ์หนัก 89.08 กรัม มี SDS} = \frac{0.3 \times 89.08}{100} \\
 &= 0.2672 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

4. การคำนวณปริมาตรของกรดเมทาคริลิก

$$\begin{aligned}
 &\text{ใช้กรดเมทาคริลิก } 10 \% \text{ โดยน้ำหนักของไอโซพรีนมอนอเมอร์} \\
 &\text{ในไอโซพรีน } 100 \text{ กรัม ใช้กรดเมทาคริลิก} = 10 \text{ กรัม} \\
 &\text{ถ้าในปฏิกิริยามีไอโซพรีน } 7.9155 \text{ กรัม ใช้กรดเมทาคริลิก} = \frac{10 \times 7.9155}{100} \\
 &= 0.7916 \text{ กรัม} \\
 &V_a = \frac{G_a}{\rho_a} = \frac{0.7916 \text{ กรัม}}{1.015 \text{ กรัม/มิลลิลิตร}} \\
 &= 0.78 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

5. การคำนวณปริมาณโซเดียมอีดีทีเอ (Na₂EDTA)

$$\begin{aligned}
 &\text{ใช้ Na}_2\text{EDTA} = 2.14 \times 10^{-3} \% \text{ โมลของน้ำ} \\
 &\text{ในสารละลายมีน้ำ} = 85 \text{ กรัม} \\
 &= \frac{85 \text{ กรัม}}{18 \text{ กรัม/โมล}} = 4.72 \text{ โมล} \\
 &\text{น้ำอยู่ } 100 \text{ โมล ใช้ Na}_2\text{EDTA} = 2.14 \times 10^{-3} \text{ โมล} \\
 &\text{สารละลายมีน้ำ } 4.72 \text{ โมล ใช้ Na}_2\text{EDTA} = \frac{2.14 \times 10^{-3} \times 4.72}{100} \\
 &= 1.0106 \times 10^{-4} \text{ โมล}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ต้องใช้ Na}_2\text{EDTA} &= 1.0106 \times 10^{-4} \text{ โมล} \times 372.24 \text{ กรัม/โมล} \\ &= 0.0376 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ในการทดลองได้ทำการเตรียมสารละลาย Na_2EDTA ในปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วทำการปิเปตมา
ครั้งละ 1 มิลลิลิตร

$$\text{ในน้ำ 1 มิลลิลิตร มี Na}_2\text{EDTA} = 0.0376 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ในน้ำ 10 มิลลิลิตร มี Na}_2\text{EDTA} &= \frac{0.0376 \times 10}{1} \\ &= 0.3762 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นเตรียมสารละลาย Na_2EDTA โดยชั่งโซเดียมอีดีทีเอ 0.3762 กรัม ละลายในน้ำ 10
มิลลิลิตร

6. การคำนวณปริมาณ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

$$\text{ในปฏิกิริยาใช้กรดเมทาคริลิก} = 0.79155 \text{ กรัม}$$

$$= \frac{0.7915 \text{ กรัม}}{86.09 \text{ กรัม/โมล}}$$

$$= 9.1944 \times 10^{-3} \text{ โมล}$$

$$\text{เพราะฉะนั้นใช้ Na}_2\text{CO}_3 = 10.92 \% \text{ โมลของกรดเมทาคริลิก}$$

$$\text{กรดเมทาคริลิก 100 โมล ใช้ Na}_2\text{CO}_3 = 10.92 \text{ โมล}$$

$$\text{กรดเมทาคริลิก } 9.1944 \times 10^{-3} \text{ โมล ใช้ Na}_2\text{CO}_3 = \frac{10.92 \times 9.1944 \times 10^{-3}}{100}$$

$$= 1.004 \times 10^{-3} \text{ โมล}$$

$$\text{เพราะฉะนั้นต้องใช้ Na}_2\text{CO}_3 = 1.004 \times 10^{-3} \text{ โมล} \times 105.99 \text{ กรัม/โมล}$$

$$= 0.1064 \text{ กรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองมีการเตรียมสารละลาย Na_2CO_3 เก็บไว้ก่อนที่จะนำมาใช้งานในปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วไปเปิดมาใช้ครั้งละ 2 มิลลิลิตร

ในน้ำ 2 มิลลิลิตร มี Na_2CO_3 = 0.1064 กรัม

ในน้ำ 10 มิลลิลิตร มี Na_2CO_3 = $\frac{0.1064 \times 10}{2}$
= 0.5320 กรัม

ดังนั้นเตรียมสารละลาย Na_2CO_3 โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 0.5320 กรัม ละลายในน้ำ 10 มิลลิลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ 2 อัตราส่วนระหว่างสไตรีน/ไอโซพรีน/ไวนิลดีนคลอไรด์ เป็น 45/45/10

1. การคำนวณปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์ไอโซพรีนมอนอเมอร์และไวนิลดีนคลอไรด์

$$G_{\text{รวม}} = G_{\text{St}} + G_{\text{I}} + G_{\text{vdc}}$$

$$20 = G_{\text{St}} + G_{\text{I}} + G_{\text{vdc}}$$

เนื่องจากว่า

$$G_{\text{St}} = M_{\text{wSt}} \times \text{Mol}_{\text{St}}$$

$$G_{\text{I}} = M_{\text{wI}} \times \text{Mol}_{\text{I}}$$

$$G_{\text{vdc}} = M_{\text{wvdc}} \times \text{Mol}_{\text{vdc}}$$

เนื่องจากว่า

$$\text{Mol}_{\text{St}} = \text{Mol}_{\text{I}}$$

$$\text{Mol}_{\text{vdc}} = 0.1 (\text{Mol}_{\text{St}} + \text{Mol}_{\text{I}})$$

$$= 0.1 (2 \text{ Mol}_{\text{St}})$$

$$= 0.2 \text{ Mol}_{\text{St}}$$

ได้ว่า

$$20 = M_{\text{wSt}} \times \text{Mol}_{\text{St}} + M_{\text{wI}} \times \text{Mol}_{\text{St}} + M_{\text{wvdc}} \times \text{Mol}_{\text{vdc}}$$

$$= 104 \text{ Mol}_{\text{St}} + 68.12 \text{ Mol}_{\text{St}} + 96.94 (0.2 \text{ mol})$$

$$= 191.508 \text{ Mol}_{\text{St}}$$

$$\text{Mol}_{\text{St}} = \frac{20}{191.51} = 0.1044$$

จะได้ว่า

$$\text{Mol}_{\text{I}} = \text{Mol}_{\text{St}} = 0.1044$$

$$G_{\text{St}} = 104 \times 0.1044$$

$$= 10.86 \quad \text{กรัม}$$

$$V_{\text{St}} = \frac{G_{\text{st}}}{\rho_{\text{st}}} = \frac{10.86 \text{ กรัม}}{0.906 \text{ กรัม/มิลลิลิตร}}$$

$$= 11.99 \text{ มิลลิลิตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_I = 68.12 \times 0.1044$$

$$= 7.1141 \quad \text{กรัม}$$

$$V_I = \frac{G_I}{\rho_I} = \frac{7.1141 \text{ กรัม}}{0.681 \text{ กรัม/มิลลิลิตร}}$$

$$= 10.45 \quad \text{มิลลิลิตร}$$

$$G_{\text{vdc}} = 96.94 (0.2 \times 0.1044)$$

$$= 2.0247 \quad \text{กรัม}$$

$$V_{\text{vdc}} = \frac{G_a}{\rho_a} = \frac{2.0247 \text{ กรัม}}{1.213 \text{ กรัม/มิลลิลิตร}}$$

$$= 1.67 \quad \text{มิลลิลิตร}$$

2. การคำนวณปริมาณของตัวรีเริ่มปฏิกิริยา (โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต; $K_2S_2O_8$)

$$\text{ใช้ } K_2S_2O_8 = 1 \times 10^{-3} \quad \text{โมล/ลิตร ของเม็ดพอลิสไตรีน}$$

$$= 1 \times 10^{-3} \quad \text{โมล} \times 270 \text{ กรัม/โมล}$$

$$= 0.27 \quad \text{กรัม}$$

$$\text{ปริมาณของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์ทั้งหมด} = 77 + 11.99 = 88.99 \quad \text{มิลลิลิตร}$$

$$\text{ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร ใช้ } K_2S_2O_8 = 0.27 \quad \text{กรัม}$$

$$\text{สารละลายพอลิสไตรีน 88.99 มิลลิลิตร ใช้ } K_2S_2O_8 = \frac{0.27 \times 88.99}{1000}$$

$$= 0.0240 \quad \text{กรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองมีการเตรียมสารละลาย $K_2S_2O_8$ ในปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วบีบมาใช้ครั้งละ 5 มิลลิลิตร

$$\text{ในน้ำ 5 มิลลิลิตร มี } K_2S_2O_8 = 0.0240 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ในน้ำ 50 มิลลิลิตร ต้องใช้ } K_2S_2O_8 &= \frac{0.0240 \times 50}{5} \\ &= 0.2403 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตโดยชั่งโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.2403 กรัม ละลายในน้ำ 50 มิลลิลิตร

3. การคำนวณปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ (โซเดียมโคคกซิลเฟลเฟต; SDS)

ใช้ SDS 0.3 % โดยน้ำหนักของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์

$$\text{น้ำหนักโดยรวมของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์} = 77 + (11.99 \times 0.906)$$

$$= 87.86 \text{ กรัม}$$

$$\text{สารละลายพอลิสไตรีนลาเท็กซ์หนัก 100 กรัม มี SDS} = 0.3 \text{ กรัม}$$

$$\text{สารละลายพอลิสไตรีนลาเท็กซ์หนัก 87.86 กรัม มี SDS} = \frac{0.3 \times 87.86}{100}$$

$$= 0.2636 \text{ กรัม}$$

4. การคำนวณปริมาตรของกรดเมทาคริลิก

ใช้กรดเมทาคริลิก 10 % โดยน้ำหนักของไอโซพรีนมอนอเมอร์

$$\text{มีไอโซพรีน 100 กรัม ใช้กรดเมทาคริลิก} = 10 \text{ กรัม}$$

$$\text{ถ้าในปฏิกิริยามีไอโซพรีน 7.1141 กรัม ใช้กรดเมทาคริลิก} = \frac{10 \times 7.1141}{100}$$

$$= 0.7114 \text{ กรัม}$$

$$V_a = \frac{G_a}{\rho_a} = \frac{0.7114 \text{ กรัม}}{1.015 \text{ กรัม/มิลลิลิตร}}$$

$$= 0.7 \text{ มิลลิลิตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การคำนวณปริมาณโซเดียมอีดีทีเอ (Na_2EDTA)

$$\begin{aligned} \text{ใช้ } \text{Na}_2\text{EDTA} &= 2.14 \times 10^{-3} \% \text{ โมลของน้ำ} \\ \text{ในสารละลายมีน้ำ} &= 85 \text{ กรัม} \\ &= \frac{85 \text{ กรัม}}{18 \text{ กรัม/โมล}} \\ &= \text{โมล} \end{aligned}$$

$$\text{มีน้ำอยู่ } 100 \text{ โมล ใช้ } \text{Na}_2\text{EDTA} = 2.14 \times 10^{-3} \text{ โมล}$$

$$\begin{aligned} \text{สารละลายมีน้ำ } 4.72 \text{ โมล ใช้ } \text{Na}_2\text{EDTA} &= \frac{2.14 \times 10^{-3} \times 4.72}{1000} \\ &= 1.0106 \times 10^{-4} \text{ โมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้องใช้ } \text{Na}_2\text{EDTA} &= 1.0106 \times 10^{-4} \text{ โมล} \times 372.24 \text{ กรัม/โมล} \\ &= 0.0376 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ในการทดลองมีการเตรียมสารละลาย Na_2EDTA เก็บไว้ก่อนที่จะนำมาใช้งานในปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วปิเปตมาใช้ครั้งละ 1 มิลลิลิตร

$$\text{ในน้ำ } 1 \text{ มิลลิลิตร มี } \text{Na}_2\text{EDTA} = 0.0376 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ในน้ำ } 10 \text{ มิลลิลิตร มี } \text{Na}_2\text{EDTA} &= \frac{0.0376 \times 10}{1} \\ &= 0.3762 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นเตรียมสารละลาย Na_2EDTA 0.3762 กรัม ละลายในน้ำ 10 มิลลิลิตร

6. การคำนวณปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

$$\begin{aligned} \text{ในปฏิกิริยาใช้กรดเมทาคริลิก} &= 0.7114 \text{ กรัม} \\ &= \frac{0.7114 \text{ กรัม}}{86.09 \text{ กรัม/โมล}} \\ &= 8.263 \times 10^{-3} \text{ โมล} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เพราะฉะนั้นใช้ } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 10.92 \% \text{ โมลของกรดเมทาคริลิก}$$

$$\text{กรดเมทาคริลิก } 100 \text{ โมล ใช้ } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 10.92 \text{ โมล}$$

$$\text{กรดเมทาคริลิก } 8.2034 \times 10^{-3} \text{ โมล ใช้ } \text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{10.92 \times 8.2034 \times 10^{-3}}{100}$$

$$= 9.0237 \times 10^{-4} \text{ โมล}$$

$$\text{เพราะฉะนั้นต้องใช้ } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 9.0237 \times 10^{-4} \text{ โมล} \times 105.99 \text{ กรัม/โมล}$$

$$= 0.0956 \text{ กรัม}$$

ในการทดลองมีการเตรียมสารละลาย Na_2CO_3 เก็บไว้ก่อนที่จะนำมาใช้งานในปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วไปเปิดมาใช้ครั้งละ 2 มิลลิลิตร

$$\text{ในน้ำ } 2 \text{ มิลลิลิตร มี } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.0956 \text{ กรัม}$$

$$\text{ในน้ำ } 10 \text{ มิลลิลิตร มี } \text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{0.0956 \times 10}{2}$$

$$= 0.4782 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นเตรียมสารละลาย Na_2CO_3 0.4782 กรัม ละลายในน้ำ 10 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก-1 สัดส่วนสารเคมีในแต่ละสูตร

สูตรที่	St (ml)	I (ml)	VDC (ml)	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (g)	SDS (g)	MAA (ml)	Na_2EDTA (g)	Na_2CO_3 (g)
1	13.30	11.60	-	0.02438	0.2672	0.78	0.03762	0.1064
2	11.99	10.45	1.67	0.02403	0.2636	0.70	0.03762	0.0956
3	6.10	21.30	-	0.02244	0.2476	1.43	0.03762	0.1946
4	5.40	18.83	1.88	0.02225	0.2457	1.26	0.03762	0.1724

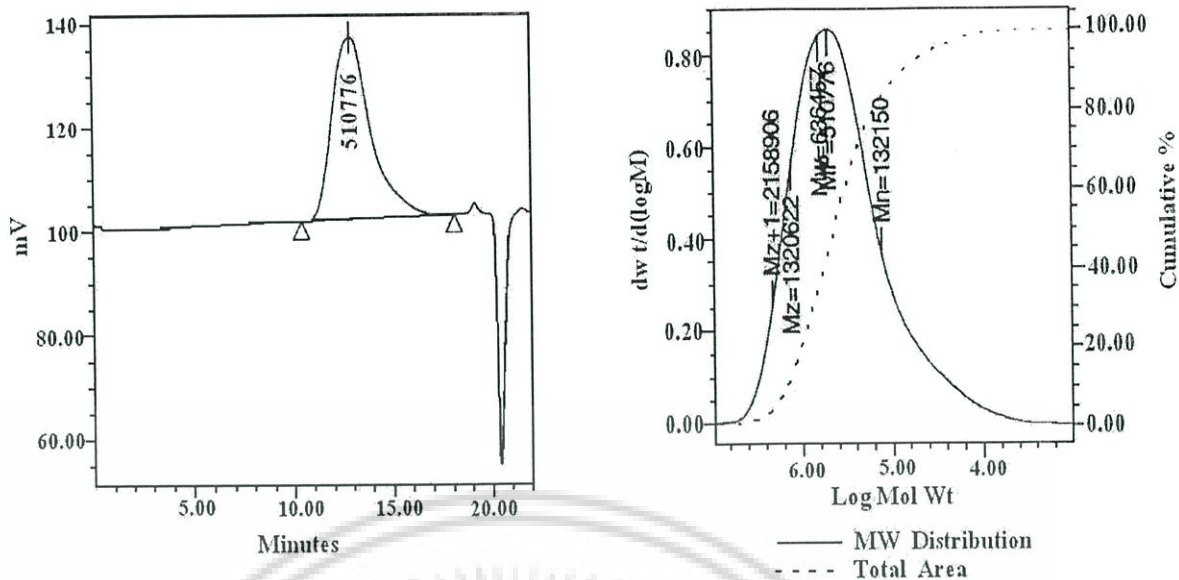
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เจดีย์เพอมีเอชันโครมาโทกราฟ

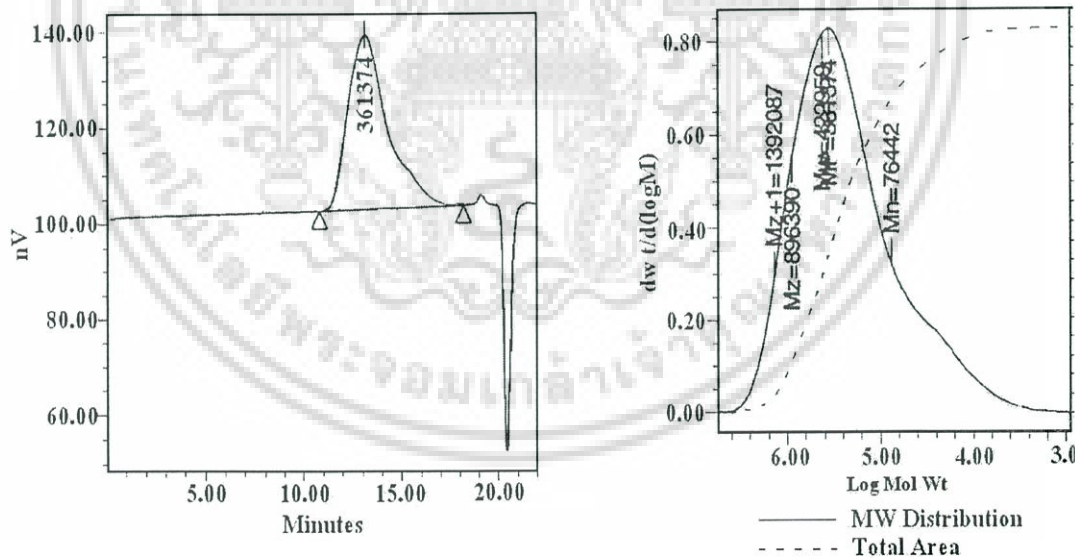


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Mn	Mw	MP	Mz	Mz+1	Polydispersity
132150	636457	510776	1320622	2158906	4.816168

รูปที่ ข-1 เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์สูตรที่ 1



Mn	Mw	MP	Mz	Mz+1	Polydispersity
76442	422959	361374	896390	1392087	5.533079

รูปที่ ข-2 เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟของเม็ดพอลิสไตรีนลาเท็กซ์สูตรที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของกาวผสมสูตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-1 น้ำหนักของ กาวผสมสูตรก่อนและหลังแช่โทลูอิน

ตัวอย่างที่	สูตรที่ 1			สูตรที่ 2			สูตรที่ 3			สูตรที่ 4		
	w ₀	w ₁	w ₁ /w ₀	w ₀	w ₁	w ₁ /w ₀	w ₀	w ₁	w ₁ /w ₀	w ₀	w ₁	w ₁ /w ₀
1	2.4869	1.1726	0.4715	2.0542	0.8375	0.4077	1.9715	1.0285	0.5217	2.0195	0.8950	0.4432
2	1.8961	0.8898	0.4693	2.0105	0.8277	0.4117	1.9436	1.0365	0.5333	1.8830	0.8321	0.4419
ค่าเฉลี่ย	-	-	0.4704	-	-	0.4097	-	-	0.5275	-	-	0.4426

กำหนดให้

w₀ = น้ำหนักของตะแกรงลวด + กาวผสมสูตรก่อนแช่โทลูอิน

w₁ = น้ำหนักของตะแกรงลวด + กาวผสมสูตรหลังแช่โทลูอิน

ภาคผนวก ง

ค่าความแข็งแรงดึงของกาว และน้ำหนักของเนื้อกาวที่ติดบนโลหะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-1 ค่าแรงดึง ระยะทางในการดึงยึดของกาวผสมสูตร และน้ำหนักของเนื้อกาวที่ติดบนโลหะ

ตัวอย่าง ที่	สูตรที่ 1			สูตรที่ 2			สูตรที่ 3			สูตรที่ 4		
	แรงดึง (N)	ระยะทาง (mm)	น้ำหนักกาว บนโลหะ (กรัม)	แรงดึง (N)	ระยะทาง (mm)	น้ำหนักกาว บนโลหะ (กรัม)	แรงดึง (N)	ระยะทาง (mm)	น้ำหนักกาว บนโลหะ (กรัม)	แรงดึง (N)	ระยะทาง (mm)	น้ำหนักกาว บนโลหะ (กรัม)
1	475.1	1.236	0.1663	380.9	2.083	0.1671	413.3	1.929	0.1268	353.6	1.002	0.1355
2	424.3	2.451	0.1714	312.5	0.9123	0.1777	533.9	1.057	0.1244	339.4	1.343	0.1294
3	544.5	1.606	0.1696	322.0	1.272	0.1685	521.7	1.024	0.1254	395.8	1.245	0.1300
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	358.4	0.9531	0.1315
ค่าเฉลี่ย	481.3	1.7643	0.1691	338.5	1.4224	0.1711	496.3	1.3367	0.1255	361.8	1.1358	0.1316

	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
น้ำหนักกาวแห้งก่อนทำการยึดติด	0.2981	0.2833	0.2994	0.2909

ประวัติผู้เขียน

นางสาววรรษยา ชมเชย เกิดวันที่ 27 เดือนเมษายน พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ
การศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีการศึกษา 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้