

สมบัติเชิงกลของพรมพอลิเอสเตอร์เคลือบลาเท็กซ์เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต

นายนิติพงษ์ อมตพิทักษ์สกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MECHANICAL PROPERTIES OF POLYESTER CARPET COATED WITH
CALCIUM CARBONATE FILLED LATEX

Mr. Nitipong Amatapituksakoon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2009
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สมบัติเชิงกลของพรมพอลิเอสเตอร์เคลือบลาเท็กซ์เติมด้วย
แคลเซียมคาร์บอเนต

โดย

นายนิติพงษ์ อมตพิทักษ์สกุล

สาขาวิชา

ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์. ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ศาสตราจารย์. ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์. ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์. ดร.ภัทรพรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์. ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลรัตน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์. ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์. ดร.วิมลรัตน์ ตระการพฤษ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์. ดร.เข้มชัย เหมะจันทร์)

นิติพงษ์ อมตพิทักษ์สกุล : สมบัติเชิงกลของพรมพอลิเอสเตอร์เคลือบลาเท็กซ์เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต. (MECHANICAL PROPERTIES OF POLYESTER CARPET COATED WITH CALCIUM CARBONATE FILLED LATEX) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก: ผศ.ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ศ.ดร. สุดา เกียรติ
 กำจรวงศ์, 70 หน้า.

ขนาดของอนุภาคตัวเติมและการซึมของลาเท็กซ์ผสมตัวเติมมีผลต่อสมบัติเชิงกลของพรมพอลิเมอร์เคลือบลาเท็กซ์ งานวิจัยนี้ได้ศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลของขนาดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร และความลึกของการซึมผ่านต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มของสารเคลือบอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ และพรมพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบสารลาเท็กซ์คอมพอสิตนี้ ตรวจสอบสมบัติทางวิทยากระแและความต้านทานแรงดึง ร้อยละการยืดและความแข็งแรงต่อแรงฉีกของพอลิเมอร์คอมพอสิต เลือกปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้น เปรียบพอลิเมอร์คอมพอสิตเติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณต่าง ๆ และเคลือบลงบนพรมพอลิเอสเตอร์ ศึกษาลักษณะการซึมด้วยกล้องจุลทรรศน์ ความทนแตกหัก ร้อยละการยืด และแรงต้านการฉีกของพรมที่เคลือบ พบว่า พอลิเมอร์คอมพอสิตมีพฤติกรรมการไหลแบบแรงเฉือนลด ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 40 นาโนเมตร และขนาด 2 ไมโครเมตร ที่ทำให้ฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีความแข็งแรงมากขึ้น คือ 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยละของลาเท็กซ์ ตามลำดับ พอลิเมอร์คอมพอสิตที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ให้ความแข็งแรงของฟิล์มมากกว่าพอลิเมอร์คอมพอสิตที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาค 2 ไมโครเมตร ในทางตรงกันข้าม ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ที่เติมในลาเท็กซ์ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพรมพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบ พอลิเมอร์คอมพอสิตของแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร สามารถซึมลงในพรมได้ดีกว่าพรมพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์คอมพอสิตของแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร จึงมีสมบัติเชิงกลดีกว่าพรมที่เคลือบ พอลิเมอร์คอมพอสิตของแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร

ลายมือชื่อผู้เสนอ.....

สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4973408423: MAJOR Program of Petrochemistry and Polymer Science
 KEYWORDS: Calcium carbonate/Nanoparticles/Acrylic/Styrene latex/Polyester carpet/
 Mechanical properties

NITIPONG AMATAPITUKSAKON: MECHANICAL PROPERTIES OF
 POLYESTER CARPET COATED WITH CALCIUM CARBONATE FILLED LATEX.
 THESIS ADVISOR: SUPAPORN NOPPAKUNDILOGRAT, Ph.D., THESIS
 COADVISOR: SUDA KIATKAMJORNWONG Ph.D., 70 pp.

Particle size and penetration depth of latex composites influence mechanical properties of coated polymer carpets. This research investigated, analyzed, and compared the size effects of 2- μm vs. 40-nm calcium carbonate (CaCO_3) on the penetration depth and mechanical properties on acrylic/styrene coating latex film and the film coated polyester carpet. The rheological properties, tensile strength, elongation and tear strength of the latex composite films were investigated. The CaCO_3 content that gave the higher film strength was selected, and the CaCO_3 loadings with respect to the polymer latex were prepared and coated on the polyester carpets. The coated carpets were analyzed for penetration depth by optical microscopy. Breaking force, elongation and tearing force were also investigated. The polymer composites exhibited a shear thinning behavior. The CaCO_3 loadings that gave the higher polymer composite film strength were 30 and 50 phr for 40-nm and 2- μm CaCO_3 , respectively. The polymer composite containing 40-nm CaCO_3 produced the better film strength than that containing 2- μm CaCO_3 . In contrast, the loading of 40-nm CaCO_3 in the polymer latexes did not impose any effect on the mechanical properties of the coated polyester carpets. The polymer composite containing the 2- μm CaCO_3 penetrated deeper, and thus it produced the better mechanical properties for the coated carpets than that from the 40-nm CaCO_3 .

Student's Signature

Field of Study : Petrochemistry and Polymer Science Advisor's Signature

Academic Year : 2009..... Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสุดแต่ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณ รัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ศาสตราจารย์ ดร. สุดา เกียรติกำจรวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำสอน คำปรึกษา คำแนะนำ วิธีการการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ และตรวจสอบเนื้อหาและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลรัตน์ ตระการพุกฤษ และ รองศาสตราจารย์ ดร.เข้มชัย เหมะจันทร์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์และให้ข้อเสนอแนะ

ผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อ บริษัทสยามเคมีคอลอินดัสตรี จำกัด ที่ได้เกื้อหนุนอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำวิจัย ศูนย์วิจัยโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องรีโอมิเตอร์ นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณหลักสูตรปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยบางส่วน ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง ที่อำนวยความสะดวกระหว่างการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา คอยเป็นกำลังใจ เกื้อกูล และสนับสนุนผู้วิจัยตลอดเวลาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎี วารสารปริทัศน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ผ้าไม่ทอ.....	3
2.2 สารเคมีเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเส้นใย.....	5
2.3 พอลิเมอร์เติมแต่ง.....	13
2.4 สมบัติทางวิทยาการกระแสของพอลิเมอร์คอลลอยด์.....	15
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	21
3.2 วัสดุและสารเคมี.....	22
3.3 การเตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิตของอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์และแคลเซียมคาร์บอเนต.....	22
3.4 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบ.....	23
3.5 การตรวจสอบสมบัติ.....	24
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
4.1 สมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	28
4.2 สมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	30
4.3 สมบัติของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	41
4.4 สมบัติของพรมที่เคลือบด้วยของผสมลาเท็กซ์กับแคลเซียมคาร์บอเนต.....	48

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	66
รายการอ้างอิง.....	68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 น้ำหนักโมเลกุลและอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของอะคริลิกมอนอเมอร์และสไตรีนมอนอเมอร์.....	8
3.1 องค์ประกอบของสารเคลือบผสมของอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์และแคลเซียมคาร์บอเนต.....	23
4.1 ปริมาณการดูดซึมน้ำมันลินสีดของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	30
4.2 ความหนืดปรากฏของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	31
4.3 ค่า K และ n ของ Power law.....	32
4.4 ค่าระดับชั้นทิกโซทรอปิกของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	33
4.5 ค่า T_g และ MFFT ของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	40
4.6 ค่าความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยืดของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	44
4.7 ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	46
4.8 (ก) ค่าความทนแตกหักของพรมตามแนวเครื่องจักร.....	48
4.8 (ข) ค่าความทนแตกหักของพรมขวางแนวเครื่องจักร.....	49
4.9 (ก) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Two factor ANOVA สำหรับค่าความทนแตกหักของพรมทิศทางตามแนวเครื่องจักร.....	49
4.9 (ข) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Two factor ANOVA สำหรับค่าความทนแตกหักของพรมทิศทางขวางแนวเครื่องจักร.....	50
4.10 (ก) ค่าร้อยละการยืดของพรมตามแนวเครื่องจักร.....	52
4.10 (ข) ค่าร้อยละการยืดของพรมขวางแนวเครื่องจักร.....	53
4.11 (ก) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Two-factor ANOVA สำหรับค่าร้อยละการยืดของพรมทิศทางตามแนวเครื่องจักร.....	53
4.11 (ข) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Two-factor ANOVA สำหรับค่าร้อยละการยืดของพรมทิศทางขวางแนวเครื่องจักร.....	54
4.12 (ก) ค่าแรงด้านการฉีกของพรมตามแนวเครื่องจักร.....	56
4.12 (ข) ค่าแรงด้านการฉีกของพรมขวางแนวเครื่องจักร.....	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 (ก) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Two-factor ANOVA สำหรับค่าแรงต้านการฉีก ของพรมทิศทางตามแนวเครื่องจักร.....	57
4.13 (ข) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Two-factor ANOVA สำหรับค่าแรงต้านการฉีก ของพรมทิศทางขวางแนวเครื่องจักร.....	57

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดที่ได้จากแผ่นเส้นใยซึ่งมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยแตกต่างกัน.....	5
2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความหนืดของของเหลวแสดงพฤติกรรมแบบนิวโทเนียน.....	15
2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความหนืดของของเหลวแสดงพฤติกรรมแรงเฉือนลด.....	16
2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความหนืดของของเหลวแสดงพฤติกรรมแรงเฉือนเพิ่ม.....	16
2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความเค้นเฉือนของของเหลวแสดงพฤติกรรมสภาพพลาสติก.....	17
3.1 ขนาดชิ้นงานในการทดสอบค่าความต้านแรงดึง และ ร้อยละการยืด.....	25
3.2 ขนาดชิ้นงานในการทดสอบค่า ความแข็งแรงต่อแรงฉีก.....	26
3.3 ขนาดชิ้นงานผ้าในการทดสอบค่าความทนแตกหักและ ร้อยละการยืด.....	26
3.4 ขนาดชิ้นงานผ้าในการทดสอบค่าแรงต้านการฉีก.....	27
4.1 FT-IR spectrum ของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร.....	28
4.2 FT-IR spectrum ของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร.....	29
4.3 ผลของความเค้นเฉือนต่อมอดุลัสสูญเสียและมอดุลัสสะสมของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติม CaCO_3 ขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร.....	33
4.4 ผลของความเค้นเฉือนต่อมอดุลัสสูญเสียและมอดุลัสสะสมของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติม CaCO_3 ขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร.....	34
4.5 การเปรียบเทียบค่ามอดุลัสสะสมของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติมเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งสองขนาดอนุภาค.....	34
4.6 ผลของความเค้นเฉือนต่อมูมเฟสของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	36
4.7 ผลของความถี่ต่อมอดุลัสสูญเสียและมอดุลัสสะสมของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติม CaCO_3 ขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร.....	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 ผลของความถี่ต่อมอดุลัสสูญเสีและมอดุลัสสะสมของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติม CaCO ₃ ขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร.....	38
4.9 ผลของความถี่ต่อมมเฟสของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	39
4.10 ผลของความถี่ต่อความเหน็ดแข็งข้อของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	39
4.11 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต (ก), (ข), (ค) และ (ง) CaCO ₃ 2 ไมโครเมตร ปริมาณ 5, 30, 50 และ 90 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ตามลำดับ และ (จ), (ฉ), (ช) และ (ซ) CaCO ₃ 40 นาโนเมตร ปริมาณ 5, 30, 50 และ 90 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ตามลำดับ.....	42
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต กับค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	45
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตกับค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	47
4.14 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าความทนแตกหักของพรมที่เคลือบทิศทางตามแนวเครื่องจักร.....	51
4.14 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าความทนแตกหักของพรมที่เคลือบทิศทางขวางแนวเครื่องจักร.....	51
4.15 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าร้อยละการยืดของพรมที่ถูกเคลือบทิศทางตามแนวเครื่องจักร.....	54
4.15 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าร้อยละการยืดของพรมที่เคลือบทิศทางขวางแนวเครื่องจักร.....	55
4.16 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าแรงต้านการฉีกของพรมที่ถูกเคลือบทิศทางตามแนวเครื่องจักร.....	58
4.16 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าแรงต้านการฉีกของพรมที่ถูกเคลือบทิศทางขวางแนวเครื่องจักร.....	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 (ก) ภาพแนวภาคตัดขวางของพรมในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรที่เคลือบด้วย (ก), (ข) ลาเท็กซ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ปริมาณ 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ตามลำดับ และ (ค), (ง) ลาเท็กซ์เติมแคลเซียม คาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ปริมาณ 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของ ลาเท็กซ์ ตามลำดับ.....	59
4.17 (ข) ภาพแนวภาคตัดขวางของพรมในทิศทางตามแนวเครื่องจักรที่เคลือบด้วย (ก), (ข) ลาเท็กซ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ปริมาณ 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ตามลำดับ และ (ค), (ง) ลาเท็กซ์เติมแคลเซียม คาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ปริมาณ 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของ ลาเท็กซ์ ตามลำดับ.....	60
4.18 ภาพด้านบนของพรมด้านที่เคลือบด้วยลาเท็กซ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ปริมาณ 20 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ (ก) แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร (ข) แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร.....	61
4.19 ภาคตัดขวางของการซึมของสารเคลือบเติม CaCO_3 ปริมาณ 50 ส่วนต่อร้อยส่วน ของลาเท็กซ์ (ก) 2 ไมโครเมตร (ข) 40 นาโนเมตร ทิศทางขวางแนวเครื่องจักร, (ค) 2 ไมโครเมตร (ง) 40 นาโนเมตร ทิศทางตามแนวเครื่องจักร.....	62
4.20 การเปรียบเทียบปริมาตรระหว่างอนุภาคของ (ก) แคลเซียมคาร์บอเนตขนาด อนุภาค 2 ไมโครเมตร และ (ข) แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร...	63

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พรมที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ มีลักษณะโครงสร้างเป็นผ้าไม่ทอ (non-woven fabric) จากโครงสร้างดังกล่าวทำให้มีความแข็งแรงต่ำ จึงต้องมีขั้นตอนของการประสานเส้นใยให้เกี่ยวโยงกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรงตามการใช้งาน วิธีหนึ่งที่ได้รับค่านิยมคือ การเคลือบด้วยพอลิเมอร์สังเคราะห์ ซึ่งเรียกว่า สารยึด (binder) สารยึดที่ใช้กันทั่วไป เช่น ยางสังเคราะห์สไตรีน-บิวทาไดอีน (styrene-butadiene-rubber, SBR) และ อะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ (acrylic-styrene latex) เป็นต้น สารยึดทั้งสองชนิดมีสมบัติใกล้เคียงกัน เช่น ความแข็งแรงและความยืดหยุ่น แต่ไม่ทนต่อสภาวะอากาศ (weathering resistance) สิ่งที่แตกต่างกันคือ SBR มีราคาสูงกว่าอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ การลดต้นทุนของอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์สามารถทำได้โดยการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดไมโครเมตรซึ่งเป็นตัวเติม (filler) ที่ได้จากธรรมชาติและมีราคาถูก การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดไมโครเมตรลงในอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ โดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดต้นทุนเป็นหลัก สิ่งที่น่าสนใจศึกษาคือ การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางวิทยากระแส และสมบัติเชิงกลของฟิล์มอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ที่มีการผสมและไม่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต รวมถึงความแข็งแรงของพรมที่เคลือบด้วยฟิล์มอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของขนาดอนุภาคและปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตที่แตกต่างกันระหว่างขนาดไมโครเมตรกับนาโนเมตรต่อสมบัติทางวิทยากระแส และสมบัติเชิงกลของอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ รวมถึงสมบัติเชิงกลของพรมที่เคลือบ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ให้มีสมบัติที่ดีขึ้นในการเพิ่มความแข็งแรงของพรมและเพื่อรองรับอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ซึ่งมีการเติบโตอย่างมากต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลของขนาดอนุภาคและปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์
2. ศึกษาผลของขนาดอนุภาคและปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อสมบัติเชิงกลของพรมพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบด้วยอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์คอมพอสิต

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลผลของขนาดอนุภาคและปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์
2. ได้ข้อมูลผลของขนาดอนุภาคและปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อสมบัติเชิงกลของพรมพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบด้วยอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์คอมพอสิต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้าเอกสารอ้างอิง
2. จัดเตรียมสารเคมี
3. ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน และการดูดัชนีนำมันลินีสดีของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร
4. เตรียมลาเท็กซ์คอมพอสิตระหว่างอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์กับแคลเซียมคาร์บอเนต เตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิตที่สัดส่วนต่าง ๆ โดยเปลี่ยนขนาดอนุภาคและปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต และเตรียมลาเท็กซ์ที่ไม่มีการผสมแคลเซียมคาร์บอเนต
5. เตรียมชิ้นงานฟิล์มของลาเท็กซ์คอมพอสิต และชิ้นงานผ้าพรมไม่ทอเคลือบด้วยลาเท็กซ์คอมพอสิต
6. ตรวจสอบสมบัติทางวิทยากระแสของลาเท็กซ์คอมพอสิต สมบัติเชิงกลของฟิล์มของลาเท็กซ์คอมพอสิต
7. ตรวจสอบสมบัติเชิงกลของผ้าพรมไม่ทอที่เคลือบด้วยลาเท็กซ์คอมพอสิต
8. รวบรวมผล สรุป และเขียนวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ทฤษฎี วารสารปริทัศน์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ทฤษฎี

2.1 ผ้าไม่ทอ (non-woven fabric)

ผ้าไม่ทอตามความหมายของ ASTM คือ ผ้าฝ้ายที่ได้จากการนำเส้นใยมาผลิตโดยตรง โดยทำให้เส้นใยเกาะเกี่ยวกัน หรือทำให้เป็นแผ่น การทำให้แผ่นเส้นใยแข็งแรงทำได้โดยการยึดติดเส้นใยด้วยกระบวนการเชิงกล หรือการใช้สารเคมี หรือใช้ความร้อนหรือใช้หลาย ๆ วิธีร่วมกัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ลดขั้นตอนโดยไม่ต้องทำเส้นใยให้เป็นเส้นด้ายก่อนนำมาผ่านกระบวนการให้เป็นแผ่นผ้า

การใช้งานผ้าไม่ทออาจแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ

กลุ่มที่ 1 ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ใช้แล้วทิ้ง เช่น ผ้าอ้อมเด็ก ผ้าอนามัย ชุดผ่าตัดสำหรับศัลยแพทย์ ผ้ากรอง รวมไปถึงแผ่นกรองต่าง ๆ และเครื่องนุ่งห่มบางชนิด เป็นต้น

กลุ่มที่ 2 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้ทนนาน ใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเครื่องนุ่งห่ม เครื่องเรือน ด้านการโยธา และการเกษตร ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มีความแข็งแรง ทนทาน อายุการใช้งานยาวนาน เช่น ส่วนประกอบของรถยนต์คือ พรมพื้น วัสดุปกคลุมบริเวณลินซัทซ์ที่เก็บสัมภาระ วัสดุปกคลุมส่วนหัว และประตู ส่วนใหญ่ใช้ผ้าไม่ทอที่ผ่านกระบวนการเคมีและมีการยึดเส้นใยด้วยสารเคมีหรือความร้อน สารยึดที่นิยมใช้คือ พอลิสไตรีน-บิวทาไดอีน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิอะคริเลต โดยเฉพาะชั้นส่วนที่เป็นพรมพื้นในกระบวนการผลิตต้องผ่านการขึ้นรูปด้วยความร้อนเพื่อให้ได้รูปร่างตามโครงร่างของรถยนต์รุ่นต่าง ๆ จึงต้องใช้สารยึดมากกว่า ร้อยละ 60 เพื่อช่วยในการเพิ่มความแข็งแรง

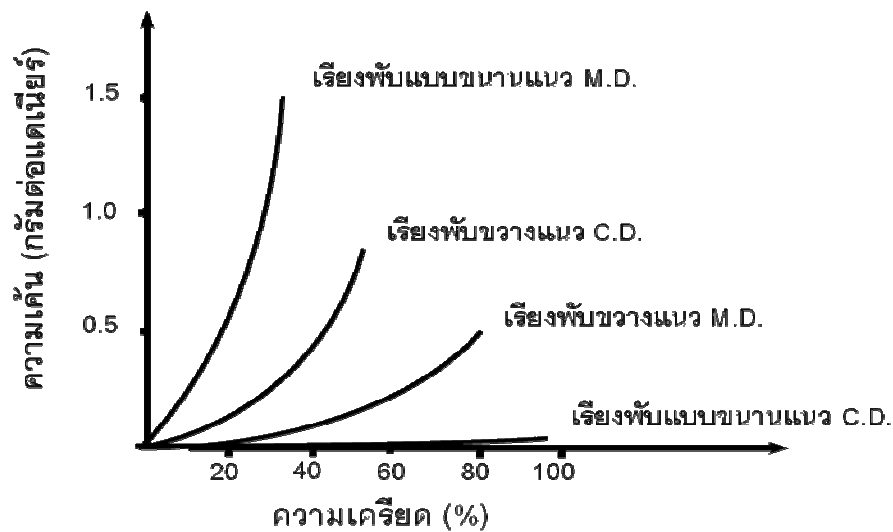
2.1.1 ขั้นตอนในการผลิตผ้าไม่ทอ

กระบวนการผลิตผ้าไม่ทอมีหลายกระบวนการ แต่ในทุกกระบวนการต้องประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญคือ [1]

2.1.1.1 การเลือกใช้เส้นใยให้เหมาะสม ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยสังเคราะห์ เช่น พอลิเอสเตอร์ พอลิโพรพิลีน ข้อดีคือ สามารถเลือกสมบัติตามต้องการได้ เช่น ความยาวของเส้นใย ความละเอียดของเส้นใย ความหนาแน่นของเส้นใย เป็นต้น

2.1.1.2 การทำให้เส้นใยเป็นแผ่นเส้นใยบาง คือ การทำให้เส้นใยแผ่กระจายออกเป็นแผ่น เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีผลต่อการกระจายตัวของเส้นใย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของผ้า การบอกความแข็งแรงของผ้าจะบอกทิศทางของเส้นใยประกอบ เพราะความแข็งแรงไม่เท่ากันในแต่ละทิศทาง ทิศทางอ้างอิงที่ใช้คือ ทิศทางขวางแนวเครื่องจักร (cross-machine direction, C.D.) และทิศทางตามแนวเครื่องจักร (machine direction, M.D.)

2.1.1.3 การเรียงซ้อนแผ่นเส้นใยบางให้ได้ความหนาตามต้องการ โดยการเรียงซ้อนแผ่นเส้นใยบางนี้ ทำให้ได้แผ่นเส้นใยที่มีความหนาและแข็งแรงเหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น วิธีในการเรียงซ้อนมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อลดข้อเสียของแต่ละวิธี เริ่มต้นจากการเรียงซ้อนแบบซ้อนโดยตรง วิธีต่อมาคือ การเรียงซ้อนแบบจัดเรียงแบบขวาง วิธีที่สามคือ การเรียงซ้อนแบบแขนแกว่ง วิธีที่ดีเป็นวิธีที่มีความนิยมคือ การเรียงซ้อนทับด้วยระบบพับขวาง ระบบการเรียงซ้อนทับในสองระบบแรกเส้นใยส่วนใหญ่มีการเรียงตัวตามแนวเครื่องจักร (M.D.) มากกว่าแนวอื่น ๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการในสองระบบนี้มีความแข็งแรงสูงสุดในทิศทางตามแนวเครื่องจักร และในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรมีความแข็งแรงน้อยที่สุด สำหรับระบบการเรียงซ้อนทับในสองระบบหลังเส้นใยส่วนใหญ่ถูกซ้อนในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรทำให้ทิศทางส่วนใหญ่ของเส้นใยอยู่ตามแนว C.D. มากกว่าแนว M.D. แต่ความแตกต่างจะไม่มากเท่ากับระบบการเรียงซ้อนแบบขนาน แต่ก็ทำให้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ในแนว C.D. ดีกว่าในแนว M.D. ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความเค้น-ความเครียดของผ้าที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดที่ได้จากแผ่นเส้นใยซึ่งมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยแตกต่างกัน [1]

2.1.1.4 การทำให้แผ่นเส้นใยแข็งแรง เนื่องจากแผ่นเส้นใยที่ผ่านกระบวนการข้างต้นยังมีความแข็งแรงไม่เพียงพอในการใช้งาน จึงต้องผ่านกระบวนการทำให้แผ่นเส้นใยแข็งแรงมากขึ้นโดยทำได้หลายวิธี เช่น วิธีใช้เข็มตี (needle punching) โดยเข็มจะทำหน้าที่ดึงหรือเกี่ยวเส้นใยให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางในแนวขวางกับโครงสร้างแผ่นเส้นใย ทำให้เส้นใยเกิดการขัดกันเองเป็นจุด ๆ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้แผ่นเส้นใยแข็งแรงด้วยแรงเชิงกล วิธีใช้สารเคมีโดยมากใช้สารยัด ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ช่วยในการยึดติดเส้นใย ส่วนใหญ่ใช้ร่วมกับความร้อน เพราะต้องทำให้สารยัดแห้งหรือเกิดการเชื่อมขวาง

2.2 สารเคมีเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเส้นใย

สารยัด คือ สารที่ใช้เพื่อยึดติดเส้นใยของผ้าไม่ทอไว้ด้วยกัน สารยัดที่ใช้มีลักษณะเป็นพอลิเมอร์ หรือมีส่วนประกอบของพอลิเมอร์ ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่ในการยึดติดเส้นใยผ้าไม่ทอแล้วยังมีผลต่อสมบัติสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ด้วย เช่น ความทนต่อแรงดึงและความทนต่อแรงอัด ความแข็งแรงและความอ่อนนุ่ม การกั้นน้ำ การต้านทานการติดไฟ เป็นต้น

การเลือกใช้สารยัดส่วนหนึ่งพิจารณาจากความสามารถในการนำกลับไปใช้ซ้ำและการย่อยสลายได้ตามธรรมชาติเมื่อหมดอายุการใช้งาน กระบวนการยึดติดเส้นใยด้วยวิธีทางเคมีได้รับความสนใจเนื่องจากความหลากหลายของสารยัด ความคงทนของผลิตภัณฑ์ สมบัติที่หลากหลาย

และสามารถใช้ปรับปรุงสมบัติทางวิศวกรรม สารยึดพอลิเมอร์สามารถละลาย กระจายหรือทำให้อยู่ในรูปอิมัลชัน ในตัวกลางที่เป็นน้ำ สารยึดที่สำคัญคือ อิมัลชันหรือลาเท็กซ์พอลิเมอร์ซึ่งเป็นระบบที่มีอนุภาคเล็ก ๆ ของพอลิเมอร์กระจายอยู่ในน้ำ สารยึดอิมัลชันสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใยที่ไม่มีการทอได้หลายวิธีเนื่องจากมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำ ทำให้สามารถซึมลงในโครงสร้างที่หนาหรือแน่นของเส้นใยที่ไม่มีการทอได้ง่าย การแห้งตัวเกิดจากน้ำระเหยเกิดเป็นฟิล์มช่วยยึดเกาะระหว่างเส้นใย ทำให้เกิดการเชื่อมขวางเป็นร่างแหด้วยฟิล์มของสารยึดทั่วทั้งบริเวณของโครงสร้างผ้าหรือบริเวณที่ต้องการ พอลิเมอร์ที่เลือกใช้นอกจากจะเป็นชนิดฮอมพอลิเมอร์แล้ว ยังสามารถเลือกใช้นิโคพอลิเมอร์ หรือการเติมแต่งด้วยตัวเติม (filler) การทำโคพอลิเมอร์ช่วยปรับปรุงสมบัติของฮอมพอลิเมอร์ เช่น เพิ่มความอ่อนนุ่ม และสารตัวเติมก็จะช่วยในเรื่องของการลดต้นทุนและช่วยเพิ่มสมบัติอื่น ๆ เช่น การทนต่อความร้อน ทนต่อการขีดถู ช่วยต้านการติดไฟ การกันน้ำ โดยทั่วไปการปรับสมบัติของผ้าโดยใช้สารตัวเติมจะเป็นสิ่งที่ทำได้ง่ายและคุ้มค่ากว่าการเปลี่ยนองค์ประกอบของเส้นใย ในทางการค้าพอลิเมอร์ลาเท็กซ์เป็นระบบสารยึดที่นิยมใช้มากที่สุดเพราะมีความหลากหลาย ใช้งานง่าย และราคาถูก

2.2.1 พอลิเมอร์ลาเท็กซ์

2.2.1.1 การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (emulsion polymerization)

กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปอนุภาคคอลลอยด์ของพอลิเมอร์กระจายตัวอยู่ในน้ำมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.01-1.0 ไมครอน โดยพอลิเมอร์ที่นิยมผลิตส่วนใหญ่เป็นชนิดอะคริเลต สไตรีน-บิวทาไดอีนโคพอลิเมอร์ อะคริไลโนไทรล์-บิวทาไดอีนโคพอลิเมอร์ และเอทิลีน-ไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น การเตรียมทำได้โดยการควบคุมอัตราการเติมขององค์ประกอบต่าง แบ่งเป็น 2 วิธี คือ แบบแบตช์ (batch) และแบบการเติมอย่างต่อเนื่อง โดยส่วนผสมประกอบด้วย น้ำ มอนอเมอร์ สารริเริ่มปฏิกิริยา (initiator) สารลดแรงตึงผิว (surfactant) และสารถ่ายโอนโซ่ (chain transfer agent) [2]

2.2.1.2 อะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์

อะคริลิกโคพอลิเมอร์แบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ พอลิอะคริเลต หรือเรียกอีกแบบว่าอะคริลิก ซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ที่ผลิตจากอนุพันธ์ของอะคริลิกแอซิดโดยเฉพาะเอสเทอร์ของอะคริลิกแอซิดและเมทาคริลิกแอซิด ส่วนประเภทที่สอง คือ อะคริลิก/สไตรีนโคพอลิเมอร์ ซึ่งต่างจากพอลิอะคริเลตตรงที่มีสไตรีนร่วมด้วย ลักษณะของสไตรีน คือ เป็นมอนอเมอร์ชนิดแข็ง ช่วยในการเพิ่มความแข็งแรงและความไม่ชอบน้ำ พอลิสไตรีนมีลักษณะแข็งและเปราะที่อุณหภูมิห้องและเป็น

ฟิล์มยาก พอลิอะคริเลตเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากอะคริเลตมอนอเมอร์ซึ่งมีหมู่เอสเทอร์และไวนิล คือคาร์บอน 2 อะตอมเกิดพันธะคู่ต่อกันและมีการเกิดพันธะกับหมู่อะคริลิลโดยตรง ความแข็งและความทนต่อตัวทำละลายจะลดลงเมื่อเพิ่มความยาวของโมเลกุลในส่วนแอลกอฮอล์ที่เกิดเป็นเอสเทอร์ พอลิเมทาคริเลตมีความแข็งของฟิล์มมากกว่าพอลิอะคริเลต การเพิ่มการเชื่อมขวางของพอลิเมอร์ทำให้ผ้าที่เคลือบมีความทนทานต่อการซักล้างในน้ำร้อนและการซักแห้งได้ดีขึ้น แต่จะส่งผลทำให้มีราคาสูงกว่าสารยัดชนิดอื่น ๆ

โดยทั่วไป การใช้เอทิลอะคริเลตและบิวทิลอะคริเลตสามารถเพิ่มความแข็งได้ด้วยการทำโคพอลิเมอร์กับเมทาคริเลต เมทิลเมทาคริเลต หรือสไตรีน ถ้าต้องการเพิ่มความสามารถในการชอบน้ำ (hydrophilic) ของพอลิเมอร์ให้เลือกใช้เมทิลอะคริเลตมอนอเมอร์ หากต้องการเพิ่มความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ให้เลือกใช้ 2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลตหรือสไตรีน อะคริลิก/สไตรีนมีสมบัติไม่ชอบน้ำ มีความเหนียว ราคาถูก ใช้เพิ่มความแข็งแรงเมื่อเปียก (wet strength) แต่จะลดความสามารถในการทนรังสียูวีและการทนต่อตัวทำละลาย การเลือกใช้มอนอเมอร์ขึ้นกับราคาและสมบัติของผ้าที่ต้องการ โดยปกติแบ่งชนิดของมอนอเมอร์เป็น ชนิดนิ่มและชนิดแข็งซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature, T_g) ของมอนอเมอร์ ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของสารยัดมีผลต่อการใช้งานและความนิ่มความแข็งของผ้า [3] การคำนวณค่าโดยประมาณของอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของสารยัดคำนวณได้จากสมการของ Fox (Fox equation) ตามสมการที่ 2.1

$$1/T_g : W_x/T_{gx} + W_y/T_{gy} \quad (2.1)$$

เมื่อ T_{gx} และ T_{gy} คือ ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของพอลิเมอร์ x และ y ตามลำดับ และ W_x , W_y เป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ x, y ตามลำดับ โดย $W_x + W_y = 1$

การเลือกมอนอเมอร์มีผลต่อสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของผ้า สมบัติความชอบน้ำของพอลิเมอร์ของสารยัดเป็นผลโดยตรงจากมอนอเมอร์ที่ใช้ เช่น บิวทิลอะคริเลต จะมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ ความสามารถในการรับน้ำของสารยัดจะใช้ในการพิจารณาการใช้งานในบางงาน เช่น งานที่ผลิตภัณฑ์เน้นในเรื่องของการดูดซับน้ำ และยังมีความสำคัญต่อการออกแบบการใช้งาน เช่น ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ใช้แล้วทิ้ง น้ำหนักโมเลกุลและอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของอะคริลิกมอนอเมอร์และสไตรีนมอนอเมอร์แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 น้ำหนักโมเลกุลและอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของอะคริลิกมอนอเมอร์และสไตรีนมอนอเมอร์

ชื่อทางเคมี	สูตรโครงสร้าง	น้ำหนัก โมเลกุล (กรัม/โมล)	อุณหภูมิเปลี่ยน สภาพแก้ว(°C)
อะคริลิกแอซิด	$\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$	72	106
เมทาคริลิกแอซิด	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$	86	185
เอทิลอะคริเลต	$\text{CH}_2=\text{CHCOOC}_2\text{H}_5$	100	-22
เฮกซิลอะคริเลต	$\text{CH}_2=\text{CHCOOC}_6\text{H}_{13}$	128	-54
เมทิลเมทาคริเลต	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	100	105
2-เอทิลเฮกซิลอะคริ เลต	$\text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_2(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CHC}_4\text{H}_9$	184	-85
สไตรีน		104	100
อิตาโคนิกแอซิด	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{COOH})\text{CH}_2\text{COOH}$	130	120

2.2.1.3 สารยึดลาเท็กซ์ชนิดอื่น ๆ

การเลือกใช้สารยึดชนิดต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับ ราคา ความกระด้าง (ความแข็งและความอ่อนนุ่มของสารยึดมีผลต่อการใช้งานของผ้า) ความเหนียว การทนน้ำและตัวทำละลาย ความคงทน สารยึดชนิดอื่น ๆ ดังนี้ [4]

ก. ไวนิลแอซิเตต มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วประมาณ 30 องศาเซลเซียส และมีสมบัติแข็งเหนียว ความแข็งแรงสามารถลดลงได้โดยการทำโคพอลิเมอร์กับอะคริเลต หรือ เอทิลีนพอลิเมอร์มีสมบัติชอบน้ำและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อได้รับความร้อน การปรับปรุงให้เกิดเป็นระบบที่สามารถเชื่อมขวางได้เองทำให้มีความทนน้ำดีขึ้นและเป็นพอลิเมอร์ที่มีราคาถูก

ข. ไวนิลคลอไรด์ เป็นพอลิเมอร์ชนิดแข็ง มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วประมาณ 80 องศาเซลเซียส จึงไม่เหมาะกับการใช้กับผลิตภัณฑ์ผ้าไม่ทอ การทำโคพอลิเมอร์กับอะคริลิกมอนอเมอร์ชนิดนี้สามารถลดความแข็งของฮอมอพอลิเมอร์ได้ ทำให้สามารถใช้งานได้กับผลิตภัณฑ์ผ้าไม่ทอ การใช้ไวนิลคลอไรด์มีจุดประสงค์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถต้านการติดไฟได้ เนื่องจากมีการปลดปล่อยแก๊สคลอรีน

ค. เอทิลีนไวนิลคลอไรด์ มีความคล้ายคลึงกับไวนิลคลอไรด์พอลิเมอร์ แต่มีการใช้เอทิลีนมอนอเมอร์เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกภายใน (internal plasticizer) ทำให้พอลิเมอร์มีความเหนียว เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถรับความแข็งแรงได้หลากหลายกว่าไวนิลคลอไรด์โดยไม่จำเป็นต้องใส่สารเสริมสภาพพลาสติกเพิ่มเติม การมีไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ทำให้มีความสามารถในการต้านการติดไฟ ยึดเหนี่ยวกับเส้นใยสังเคราะห์ได้ดี และทนต่อการขูดถู และทนกรดได้ดี

ง. ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน มีความเหนียว ยืดหยุ่น และทนต่อตัวทำละลายดีเยี่ยม ความกระด้างและความแข็งแรงสามารถเพิ่มได้ด้วยการเพิ่มปริมาณของสไตรีน นอกจากนี้ ยังมีราคาถูกกว่าอะคริเลตพอลิเมอร์และยางไนไตรล์ การทำให้เกิดการเชื่อมขวางจะทำให้มีความทนน้ำสูงแต่ไม่ทนต่อรังสียูวี และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองได้ง่าย

2.2.1.4 ลักษณะของลาเท็กซ์พอลิเมอร์

อุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ (minimum film forming temperature, MFFT) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่อิมัลชันพอลิเมอร์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้อย่างสม่ำเสมอ ปกติมีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของพอลิเมอร์นั้น ๆ อิมัลชันพอลิเมอร์ที่มีอนุภาคของพอลิเมอร์ร้อยละ 50 ในน้ำ เมื่อน้ำระเหยออกอนุภาคของพอลิเมอร์จะเคลื่อนที่เข้าชิดกัน และมีความเป็นอิสระน้อยลงจนกระทั่งเข้ามาสัมผัสกัน จินตนาการถึงชั้นของอนุภาคทรงกลมเข้ามาเกาะตัวเรียงชิดกัน การเรียงชิดกันของอนุภาคเมื่อน้ำระเหยออกไปจนเหลือเนื้อพอลิเมอร์ประมาณร้อยละ 75 น้ำที่ระเหยออกไปขณะที่อนุภาคเข้าเรียงชิดกันจะถูกแทนที่ด้วยน้ำจากชั้นที่ต่ำกว่า ชั้นบาง ๆ ของน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคส่งผลให้เกิดช่องเล็ก ๆ แรงแคพิลลารี (capillary force) จะเป็นตัวขับเคลื่อนให้น้ำระเหยไปและทำให้อนุภาคถูกอัดเข้าด้วยกัน ถ้าอนุภาคมีความแข็งและคงรูปเมื่อเข้ามารวมกันทำให้เกิดลักษณะเป็นผง ถ้าอนุภาคนิ่มแรงแคพิลลารีจะทำให้เปลี่ยนรูปร่างเป็นพอลิฮีตรอน (polyhedral) น้ำที่เหลืออยู่จะถูกบีบให้ออกไปและอนุภาคที่รวมตัวกันแบบพอลิฮีตรอนจะเข้ารวมตัวกันเกิดเป็นแผ่นฟิล์ม [5]

ความนิ่มและความแข็งของสารยึดมีผลต่อลักษณะการเกิดฟิล์มซึ่งขึ้นกับการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ภายในอนุภาค ถ้าสายโซ่ที่ไม่มีกิ่งก้านจะสามารถเรียงชิดติดกันได้ จึงทำให้มีการเคลื่อนตัวได้ยากต้องมีพลังงานช่วย เช่น ให้ความร้อนจึงทำให้สายโซ่แยกออกจากกันได้ โครงสร้างเช่นนี้เป็นโครงสร้างแบบแข็ง ถ้าสายโซ่พอลิเมอร์มีกิ่งก้านจะทำให้เรียงชิดกันได้ยาก จึงมีช่องว่างให้สายโซ่ได้เคลื่อนไหวเรียกเป็นโครงสร้างแบบนิ่ม จะเห็นได้ว่า การเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ขึ้นกับโครงสร้างและอุณหภูมิขณะที่อนุภาคเกิดการรวมตัวกันเป็นฟิล์ม

เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดที่พอลิเมอร์เริ่มเคลื่อนที่ได้ เรียกว่า อุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ ที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ อนุภาคของลาเท็กซ์จะประสานกันเกิดเป็นแผ่นฟิล์ม ซึ่งสายโซ่พอลิเมอร์ภายในอนุภาคลาเท็กซ์สามารถเคลื่อนที่เข้ามาเรียงชิดติดกัน การเกิดเป็นฟิล์มสามารถกระตุ้นให้เกิดขึ้นได้ง่ายโดยการใส่สารเสริมสภาพพลาสติกซึ่งเป็นตัวทำให้โมเลกุลพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกขึ้น น้ำสามารถทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกได้ถ้ามีโมเลกุลที่ละลายน้ำ เช่น อะคริลิกแอซิด หรือ เมทาคริลิกแอซิด รวมอยู่ในอนุภาคลาเท็กซ์ ในทางกลับกัน การสร้างการเชื่อมขวางสำหรับสายโซ่พอลิเมอร์เป็นการขีดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่ ซึ่งยับยั้งการเปลี่ยนรูปของอนุภาคที่จะรวมตัวเป็นพอลิฮีตรอน

2.2.2 กลไกการเกิดการยึดเหนี่ยวทางเคมี

ชนิดของเส้นใย พอลิเมอร์ ตัวเติม และโครงสร้างของผ้า ส่งผลต่อความแข็งแรงของผ้าไม่ทอที่มีการเสริมการยึดเหนี่ยว แต่ความแข็งแรงไม่ได้มาจากแผ่นเส้นใย หรือองค์ประกอบของเส้นใย หรือองค์ประกอบของฟิล์มของสารยึดอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวที่มีต่อกันของปัจจัยทั้งหมด ในการสร้างการยึดเหนี่ยวด้วยพันธะทางเคมีของผ้าไม่ทอจะพิจารณาลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ [6]

ก. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ของสารยึดกับเส้นใย ความแตกต่างกันของสมบัติที่พื้นผิวของเส้นใยต่างกันทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างสารยึดและเส้นใยเปลี่ยนไป

ข. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ของสารยึดกับสารเคลือบเส้นใย ระหว่างกระบวนการผลิตเส้นใย อาจต้องมีการเคลือบด้วยสารเคมีบางชนิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการนั้น ๆ จึงทำให้เส้นใยที่ได้มีสารเคมีบางชนิดเคลือบอยู่ ลักษณะทางพื้นผิวของเส้นใยที่มีการเคลือบผิวและไม่เคลือบผิวจึงแตกต่างกัน เส้นใยบางชนิดเคลือบด้วยสารที่ช่วยให้สารยึดสามารถเปียกอยู่บนเส้นใยได้ดี เส้นใยบางชนิดก็เคลือบด้วยซิลิโคนซึ่งขัดขวางการเปียกของสารยึด เป็นต้น

ค. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ของสารยึดกับตัวเติม ตัวเติมที่นิยมใช้ คือ ดินขาวคาโอลิน และแคลเซียมคาร์บอเนต

2.2.2.1 การเปียกผิว (wetting)

การเปียกของสารยึดบนเส้นใยเป็นสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการสร้างแรงยึดเหนี่ยวให้เกิดขึ้น สารยึดจะเปียกและกระจายได้อย่างทั่วถึงบนผิวของเส้นใยได้นั้น เส้นใยต้องมีพลังงานพื้นผิวสูงกว่าสารยึดพอลิเมอร์ ปัจจัยส่วนหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อพื้นผิวของเส้นใยคือ ชนิดและความสม่ำเสมอของสารเคลือบบนผิวเส้นใย และปริมาณสารยึดที่ใช้ซึ่งมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณของเส้นใย การพิจารณาการยึดเหนี่ยวจึงไม่ใช่ในลักษณะของเส้นใยที่เติมแต่งในพอลิเมอร์ เมื่อสารยึดเกิดเป็นฟิล์มทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างเส้นใยสองเส้นให้ชิดหรือสัมผัสกันเกิดการเชื่อมขวางเป็นร่างแห และทำให้ผ้าไม่ทอแข็งแรงขึ้น ในกรณีนี้การเพิ่มสมบัติเชิงกลของผ้าด้วยสารยึดจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์เอง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใย แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์กับตัวเติม และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์กับสารที่เคลือบบนเส้นใย รวมถึงความสามารถในการกระจายของสารยึดบนแผ่นเส้นใยด้วย

2.2.2.2 การยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลของสารยึดพอลิเมอร์

แรงดึงดูดภายในโมเลกุลของสารยึดที่เป็นของเหลวสามารถทำให้สารยึดเกิดการรวมตัวเป็นหยดหรือเป็นฟิล์ม การเกิดฟิล์มพอลิเมอร์จะเกิดการรวมตัวของอนุภาคสารยึดเข้าเรียงชิดกันพร้อมกับน้ำระเหย แรงแคพิลลารีเป็นปัจจัยกำหนดให้อนุภาคมีลักษณะที่รวมตัวเข้าเรียงชิดกัน เกิดเป็นผงหรือเป็นฟิล์ม การยึดเหนี่ยวที่ตื้นนั้นสารยึดต้องเกิดในลักษณะเป็นแผ่นฟิล์ม โดยอนุภาคของพอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็กสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ปัจจัยที่ขัดขวางการเกิดฟิล์มของอนุภาคลาเท็กซ์ คือ ความเป็นผลึกหรือค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วที่สูง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ขัดขวางการยึดเหนี่ยวโดยลดการไหลของพอลิเมอร์ หลังจากเส้นใยถูกเคลือบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับสารยึดจะเกิดขึ้น ถ้ามีการเติมแต่งหมู่เชื่อมขวางการให้ความร้อนจะเป็นการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์และทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มเพิ่มขึ้น

2.2.2.3 การกระจายของสารยึดและอัตราส่วนของสารยึดต่อเส้นใย

การยึดเส้นใยผ้าไม่ทอให้มีความแข็งแรงส่วนหนึ่งพิจารณาถึงปริมาณสารยึดที่ทำหน้าที่เกิดเป็นฟิล์มประสานเส้นใย ทำให้บริเวณที่เกิดการเกาะเกี่ยวมีความแข็งแรงมากขึ้น ถ้าสารยึดมีปริมาณน้อยและจุดเกาะเกี่ยวของเส้นใยมีน้อยโอกาสที่จะทำหน้าที่ประสานจุดเกาะเกี่ยวเส้นใยก็จะมีน้อยด้วย นอกจากนี้ ให้นำสารยึดลงบนแผ่นเส้นใยก็จะมีผลกับการประสานจุดเกาะเกี่ยวเช่นกัน เช่น การพ่น ถ้าละอองของสารยึดที่พ่นลงไปไม่ตกลงบริเวณจุดเกาะเกี่ยวเส้นใยก็จะทำให้ที่จุดเกาะเกี่ยวไม่ยึดเหนี่ยวกัน จะเห็นได้ว่า แรงยึดเหนี่ยวที่จุดเกาะเกี่ยวเส้นใยขึ้นกับโครงสร้างของแผ่นเส้นใย โดยเฉพาะการกระจายของเส้นใย และความหนาแน่นของผ้า ปริมาณของสารยึดที่ใช้ความสามารถในการไหลของสารยึดและวิธีการนำสารยึดลงบนผ้า การเกิดจุดยึดเหนี่ยวของโครงสร้างและของเส้นใยบริเวณใกล้เคียงมีผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของผ้า

ผ้าไม่ทอมีรูพรุนสูง พื้นที่ส่วนใหญ่จึงเป็นช่องว่าง สารยึดทำหน้าที่เป็นตัวลดช่องว่างภายในโครงสร้างร่างแหของเส้นใย การเพิ่มอัตราส่วนระหว่างสารยึดต่อเส้นใยให้สูงขึ้น ทำให้การมองลาเท็กซ์เป็นตัวประสานเส้นใยมีความสำคัญน้อยลง เมื่อมีปริมาณสารยึดมากขึ้นทำให้สามารถพิจารณาเส้นใยเป็นตัวเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์ได้มากขึ้น ดังนั้น ความแข็งแรงของผ้าจึงขึ้นกับชนิดของเส้นใยและความแข็งแรงของสารยึดพอลิเมอร์

2.3 พอลิเมอร์ที่มีสารเติมแต่ง (filled polymer)

ตัวเติม คือ ของแข็งที่ใช้เติมลงในพอลิเมอร์ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีและสัณฐานวิทยาแตกต่างกัน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ สารเพิ่มเนื้อ (extender) และสารเสริมแรง (reinforce) การเสริมแรงมีความหมายในรูปของสมบัติเฉพาะที่สนใจ เช่น ความทนแรงกระแทก หรือมอดุลัสเริ่มต้น นอกจากนี้ ความสามารถในการเสริมแรงของสารตัวเติมขึ้นอยู่กับ ขนาดอนุภาค รูปร่าง การกระจาย วิธีการทำคอมพาวนด์ มีวัสดุหลากหลายที่ใช้เป็นตัวเติม บางชนิดเป็นของเหลือ หรือของเสียจากอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรม การกำหนดราคาจึงขึ้นกับค่าขนส่งเป็นหลัก บางชนิดมีราคาสูง เพราะมีประสิทธิภาพในการใช้งานดี

การเติมสารตัวเติมในพอลิเมอร์มีผลดังนี้ [7]

- ก. เพิ่มความหนาแน่น มอดุลัสยืดหยุ่น ความทนแรงอัด ความต้านทานดัดโค้ง
- ข. ลดสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวด้วยความร้อนและการคืบ
- ค. เพิ่มความแข็ง อุณหภูมิโก่งตัวด้วยความร้อน และความคงทนต่อความร้อน
- ง. แก้ไขลักษณะของพื้นผิว
- จ. ปรับปรุงการนำความร้อน และการนำไฟฟ้า
- ฉ. มีผลอย่างมากกับสมบัติการไหล การเพิ่มความหนืด ส่งผลต่อความเค้นคราก และทิกโซทรอปี้
- ช. เปลี่ยนลักษณะของกระบวนการผลิต รูปลักษณะและราคา
- ซ. เพิ่มความต้านแรงดึง และความแข็งแรงเฉือน (shear strength) และ ความทนแตกหัก
- ฌ. ทำให้เกิดพฤติกรรมแอนไอโซโทรปีในพลาสติก
- ฎ. ปรับปรุงความทนแรงกระแทก

2.3.1 แคลเซียมคาร์บอเนต

สารตัวเติมที่ใช้มากที่สุด มีการใช้ในรูปแบบบดที่ได้จากแหล่งแร่ธรรมชาติ และ ชนิดตกตะกอน ซึ่งได้จากการสังเคราะห์ แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดแห้งใช้ในยาง กาว และสี แคลเซียมคาร์บอเนตแบบบดเปียกใช้ในงานยาแนว และสีจากลาเท็กซ์ แคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้

ในงานพอลิเมอร์มักปรับผิวด้วย สเตียเรต (stearate) ซิล็อกเซน (siloxane) พอลิเอทิลีนเติมคลอรีน (chlorinated polyethylene) เป็นต้น แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดเคลือบผิวและชนิดตกตะกอนใช้ในวัสดุยืดหยุ่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิยูรีเทน พอลิโอฟีน และเทอร์โมเซต การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตช่วยลดการติดไฟ แคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคขนาดนาโนเมตรหรือชนิดละเอียด มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 100 นาโนเมตรเตรียมได้จากกระบวนการสังเคราะห์ ตามสมการที่ (2.2)



การสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตตามสมการที่ 2.2 สามารถใช้ในการสังเคราะห์ทั่วไปได้ไม่จำเพาะสำหรับการผลิตอนุภาคขนาดนาโนเมตร แคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคขนาดนาโนเมตรนิยมใช้เสริมแรง ปรับปรุงสมบัติด้านทิกโซทรอปิกและกระแสวิทยา ส่วนใหญ่จะมีการเคลือบผิวปริมาณเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 1-3 ด้วยสารประกอบอินทรีย์ เพื่อใช้กับพอลิเมอร์ที่มีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งช่วยในการกระจายตัวและเพิ่มความเข้ากันได้กับพอลิเมอร์

2.4 สมบัติทางวิทยาการกระแสของพอลิเมอร์คอลลอยด์

สมบัติทางวิทยาการกระแสของพอลิเมอร์คอลลอยด์ที่จะกล่าวถึงในที่นี้ คือ ความหนืด [8]

2.4.1 ความหนืด หมายถึง ความต้านทานภายในเมื่อของเหลวมีการไหล สามารถแบ่งพฤติกรรมได้เป็น

2.4.1.1 พฤติกรรมแบบนิวโทเนียน (Newtonian behavior) เป็นลักษณะของความหนืดที่คงตัวไม่ขึ้นกับอัตราเฉือน (shear rate) แต่ขึ้นกับอุณหภูมิ และความดัน ดังรูปที่ 2.2 ตัวอย่างสารที่มีพฤติกรรมแบบนิวโทเนียน เช่น น้ำ และตัวทำละลาย



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความหนืดของของเหลวแสดงพฤติกรรมแบบนิวโทเนียน

2.4.1.2 พฤติกรรมแบบนอน-นิวโทเนียน (non-Newtonian behavior) เป็นลักษณะของความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราเฉือน ตัวอย่างสารที่มีพฤติกรรมแบบนอน-นิวโทเนียน เช่น สารละลายพอลิเมอร์ และอิมัลชัน เป็นต้น มีหลายลักษณะได้แก่

1. แรงเฉือนลด (shear thinning) เป็นลักษณะของความหนืดที่ลดลงเมื่อมีการเพิ่มอัตราเฉือน ดังรูปที่ 2.3

ความหนืด (พาสคัล-วินาที)



อัตราเฉือน (1/วินาที)

รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความหนืดของของเหลวแสดงพฤติกรรมแรงเฉือนลด

2. แรงเฉือนเพิ่ม (shear thickening) เป็นลักษณะของความหนืดที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราเฉือน ดังรูปที่ 2.4

ความหนืด (พาสคัล-วินาที)



อัตราเฉือน (1/วินาที)

รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความหนืดของของเหลวแสดงพฤติกรรมแรงเฉือนเพิ่ม

3. สภาพพลาสติก (plasticity) เป็นระบบที่ต้องให้ความเค้นเฉือนค่าหนึ่ง วัสดุจึงจะเริ่มไหลได้ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความเค้นเฉือนของของเหลวแสดงพฤติกรรมสภาพพลาสติก

4. ทิกไซทรอปีก เป็นพฤติกรรมนอน-นิวโทเนียนที่ขึ้นกับเวลา ใช้อธิบายพฤติกรรมของระบบที่มีโครงสร้างซึ่งถูกทำลายเมื่อปั่นกวาดด้วยแรงคงตัวทำให้ความหนืดลดลง และเมื่อหยุดให้แรง ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งซึ่งขึ้นกับเวลา

สมการที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือน ตามสมการที่ 2.3 คือ สมการ Ostwald-de Waela Power law

$$\eta = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$\eta = \text{ความหนืด}$$

$$\dot{\gamma} = \text{อัตราเฉือน}$$

$$K = \text{ค่าคงตัวดรรชนีการไหล (flow consistency index)}$$

$$n = \text{ดรรชนีการไหล (flow behavior index)}$$

ระบบที่ n มีค่าเท่ากับ 1 จะแสดงพฤติกรรมแบบนิวโทเนียน

ระบบที่ n มีค่าน้อยกว่า 1 จะแสดงพฤติกรรมแรงเฉือนลด

ระบบที่ n มีค่ามากกว่า 1 จะแสดงพฤติกรรมแรงเฉือนเพิ่ม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kwon และ Kim [9] ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล และ melt viscosity ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low density polyethylene, LLDPE) ระหว่างพอลิเมอร์ที่มีการผสมกับไม่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต ศึกษาลักษณะของช่องอากาศและผิวหน้าสัมผัสระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตกับพอลิเมอร์ด้วย SEM ส่วนความเค้นแบบดึง และ melt viscosity นั้น ได้ศึกษาเปรียบเทียบที่ draw ratio และ strain rate ต่าง ๆ กัน พบว่า ความเค้นแบบดึง และ melt viscosity ของพอลิเอทิลีนที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าสูงกว่าในระบบที่ไม่มีผสม

Jin และ Park [10] ได้ทดลองผสมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาคนาโนเมตรในยางสังเคราะห์บิวทาไดอีน (butadiene rubber) พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาคนาโนเมตรสามารถเพิ่มความเสถียรต่อความร้อนของพอลิเมอร์ เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอนุภาคนาโนเมตรมีผิวสัมผัสที่ดีกับพอลิเมอร์ ทำให้สามารถดูดกลืนความร้อนจากพอลิเมอร์ได้ดี และแคลเซียมคาร์บอเนตยังสามารถเพิ่มความต้านแรงดึงและความยืดของยางสังเคราะห์บิวทาไดอีนได้ เนื่องจากการมีอนุภาคนาโนขนาดเล็กกระจายอยู่ในพอลิเมอร์ ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์กับอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตจึงเสริมสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ได้

Jiang และ Lam [11] ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดอนุภาคไมโครเมตรและขนาดนาโนเมตรลงในอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน ด้วยวิธี melt compounding และตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวด้วย SEM พบว่า อนุภาคนาโนเมตรสามารถกระจายในพอลิเมอร์ร่วมอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนได้ดีกว่าอนุภาคขนาดไมโครเมตร อนุภาคไมโครเมตรสามารถเพิ่มความอดลู่ แต่มีผลในการลดความต้านแรงดึงและความทนแรงกระแทก ส่วนอนุภาคนาโนเมตรสามารถเพิ่มความอดลู่ได้ดีกว่าและยังทำให้ความทนแรงกระแทกคงตัว เนื่องจากอนุภาคนาโนเมตรมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่า จากการศึกษาสมบัติทางวิทยาการกระจายของพอลิเมอร์คอมพอสิตในสภาวะที่หลอมเหลว (Melt state) คงตัว พบว่า การผสมอนุภาคนาโนเมตรทำให้พอลิเมอร์มีความหนืดสูง ส่วนอนุภาคนาโนเมตรสามารถเปลี่ยนสมบัติทางวิทยาการกระจายของอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบมากขึ้น

Cai และ Li [12] ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดละเอียดมากลงในลาเท็กซ์ของยางธรรมชาติ เพื่อศึกษาผลของปริมาณต่อแรงดึงผิว ความหนืด และความคงทนต่อแรงเชิงกลและความร้อนของลาเท็กซ์ และ ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก ความต้านแรงดึงและมอดูลัสของฟิล์ม

พบว่า แรงตึงผิวของลาเท็กซ์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตน้อยกว่าร้อยละ 20 และ ความหนืดลดลงเมื่อเติมมากกว่าร้อยละ 20 ในฟิล์มแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถปรับปรุงค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก ความต้านแรงดึงและความอดุลัส สมบัติดังกล่าวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตไม่เกินร้อยละ 15 แต่เมื่อปริมาณมากกว่าร้อยละ 15 ทำให้ความต้านแรงดึงและมอดุลัสมีค่าลดลง ดังนั้น ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ผสมในลาเท็กซ์ของยางธรรมชาติร้อยละ 15 จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการเสริมแรงของฟิล์ม

Manroshan และ Baharin [13] ได้ผสมแคลเซียมขนาดนาโนเมตรลงในลาเท็กซ์ของยางธรรมชาติ พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนเมตรมากขึ้น ทำให้เวลาในการบ่มลดลง เป็นผลจากการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารตัวเติมกับพอลิเมอร์ นอกจากนี้ ยังทำให้ค่ามอดุลัส ร้อยละ 100 และร้อยละ 300 มีค่าเพิ่มขึ้น ความต้านแรงดึงและความยืดสูงสุด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนเมตรในปริมาณร้อยละ 10 แต่มีค่าลดลงเมื่อเติมปริมาณที่มากกว่านี้ และพบว่าความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาคน้อยลง เมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณมากขึ้น

Deng และ Chen [14] ได้ศึกษาการเคลือบผิวของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนเมตรที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติลาเท็กซ์ พบว่า ที่ปริมาณของสารเคลือบผิวร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของลาเท็กซ์ได้ดี และที่ระยะเวลาจนผสมระหว่างสารเคลือบผิวกับแคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อเคลือบผิวเป็นเวลา 20 นาที เมื่อเติมลงในลาเท็กซ์ปริมาณ 3 ส่วนในร้อยละ สามารถปรับปรุงความต้านทานการเกิดออกซิเดชันด้วยความร้อนของฟิล์มลาเท็กซ์ได้

Wang และ Yu [15] ได้ทดลองผสมแคลเซียมคาร์บอเนตลงในพอลิโพรพิลีน พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตมีผลต่อสมบัติทางวิทยากระแสของพอลิเมอร์คอมพอสิตอย่างมากที่อัตราความเครียดต่ำ และมีผลน้อยลงที่อัตราความเครียดสูง เนื่องจากโครงสร้างเครือข่ายของสารตัวเติมถูกทำลายลง ความคงตัวของสภาพหยุ่นหนืด (viscoelasticity) ของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีมากกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงถึงโครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อมีการเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต สมบัติทางวิทยากระแสและความเป็นทิกโซทรอปิกของพอลิเมอร์คอมพอสิตเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต แต่การเคลือบผิวของแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลให้สมบัติทางวิทยากระแสและความเป็นทิกโซทรอปิกลดลง เนื่องจากทำให้อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคน้อยลง

Davard และ Dupuis [16] ได้ศึกษาพฤติกรรมทางวิทยากระแสของสารเคลือบผ้าที่ๆเคลือบด้วยใบมีด พบว่า ความสามารถในการซึมของสารเคลือบขึ้นกับสองปัจจัยที่แข่งขันกัน คือ พฤติกรรมความยืดหยุ่นของสารเคลือบทำให้ความสามารถในการซึมลดลง และพฤติกรรมแรงเฉือนลดของสารเคลือบเป็นปัจจัยส่งเสริมให้การซึมดีขึ้น สำหรับพฤติกรรมแรงเฉือนลด พบว่า สารเคลือบที่มีค่าคงตัวของดรรชนีการไหลและดรรชนีการไหลต่ำ มีความสามารถในการซึมได้ดีกว่า

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาผลของขนาดอนุภาคและปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อสมบัติทางวิทยากระแส และสมบัติเชิงกลของฟิล์มของสารยึดอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของขนาดอนุภาคและปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อสมบัติเชิงกลของพรมพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบด้วยสารยึดอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดอนุภาคและปริมาณต่าง ๆ กัน

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.1.1 ฮอมอจีไนเซอร์ (CKL Multimix, Selangor Darul Ehsan, ประเทศมาเลเซีย)
- 3.1.2 เครื่องเคลือบผ้า รุ่น LTE-S (Werner Mathis AG, Oberhasli, สหพันธรัฐสวิสเซอร์แลนด์)
- 3.1.3 เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ รุ่น LVDV-I⁺ (Brookfield Engineering Labs Inc, Middleboro, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.1.4 รีโอมิเตอร์ รุ่น Rotonetic drive 2 (Malvern Instruments, Worcestershire, สหราชอาณาจักร)
- 3.1.5 Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น Mettler-Toledo DSC822e (Mettler-Toledo International Inc, Columbus, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.1.6 Minimum film-forming temperature bar รุ่น MFFT-90 (Rhopoint Instruments Ltd, East Sussex, สหราชอาณาจักร)
- 3.1.7 Scanning Electron Microscopy (SEM) (JEOL Model JSM: 6400 Japan: Scanning microscope, Oxford Instrument, Tokyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.1.8 Autograph รุ่น AG-ISMO (Shimadzu Scientific Instruments, Kyoto, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.1.9 กล้องจุลทรรศน์ รุ่น ABJ-20c (Yoshiden (M) Sdn. Bhd., Darul Ehsan, ประเทศมาเลเซีย)
- 3.1.10 Fourier Transform Infrared Spectroscopy รุ่น Spectrum 100 (PerkinElmer Inc., Massachusetts, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.2 วัสดุและสารเคมี

- 3.2.1 แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร (Surint Omya Chemical, ลพบุรี, ประเทศไทย)
- 3.2.2 แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตรเคลือบผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (Shandong Shengda Tech Inc, Taian, ประเทศจีน)
- 3.2.3 อะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ (Siam Chemical Industry, สมุทรปราการ, ประเทศไทย)
องค์ประกอบของมอนอเมอร์ : N-methylolacrylamide/itaconic acid/ethyl acrylate/methyl methacrylate/styrene/acrylonitrile Fox T_g: 29 °C ขนาดอนุภาค 0.1–0.3 ไมโครเมตร หรือ 100 - 300 นาโนเมตร
- 3.2.4 สารช่วยการกระจาย (Kao Corporation Industrial Thailand, สมุทรปราการ ประเทศไทย)
- 3.2.5 สารปรับความหนืดชนิดพอลิอะคริเลต (Siam Chemical Industry, สมุทรปราการ ประเทศไทย)
- 3.2.6 พรมพอลิเอสเทอร์ (Kotobukiya Feltol, ชลบุรี, ประเทศไทย)
ลักษณะของพรม
เส้นใย : พอลิเอสเทอร์บริสุทธิ์
กระบวนการผลิต : วิธีตีเข็ม (Needle punching)
น้ำหนัก : 250 กรัมต่อตารางเมตร

3.3 การเตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิตของอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์และแคลเซียมคาร์บอเนต

3.3.1 เตรียมสารช่วยกระจายของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร โดยให้อัตราส่วนของน้ำ/สารช่วยกระจายตัว/แคลเซียมคาร์บอเนต/สารลดฟองมีค่า 100/1/50/1.4 ส่วนโดยน้ำหนัก กวนพอลิเมอร์คอมพอสิตทั้งสองด้วยเครื่องฮอโมจีไนเซอร์ด้วยความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.2 เตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิตของอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ และแคลเซียมคาร์บอเนตตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.1 ที่ปริมาณการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในลาเท็กซ์ 0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70 และ 90 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ กวนพอลิเมอร์คอมพอสิตของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที สำหรับพอลิเมอร์คอมพอสิตของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร กวนด้วยความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของสารเคลือบผสมของอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์และแคลเซียมคาร์บอเนต

องค์ประกอบ	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์)								
	0	5	10	15	20	30	50	70	90
ลาเท็กซ์	150	150	150	150	150	150	150	150	150
สารกระจายของแคลเซียมคาร์บอเนต	-	5.25	10.52	15.76	21.02	31.53	52.56	73.58	94.59
น้ำ	14.64	17.61	20.58	23.56	26.55	32.49	44.38	56.30	68.22
สารลดฟอง	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

3.3.3 ปรับความหนืดของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เตรียมได้ให้อยู่ที่ 300-500 พาสคัล-วินาที (Pa-s) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยสารปรับความหนืดชนิดพอลิอะคริเลต ควบคุมค่าความเป็นกรด-เบส ที่ 7.0-9.0 และควบคุมปริมาณเนื้อสารร้อยละ 40

3.4 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบ

3.4.1 การเตรียมฟิล์มจากพอลิเมอร์คอมพอสิตในข้อ 3.3

1. เคลือบพอลิเมอร์คอมพอสิตลงบนกระดาษรีลีส (release paper) ด้วยความหนาขณะเปียกเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร

2. อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.4.2 การเตรียมชิ้นงานผ้าพรมไม้ทอที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์คอมพอสิต

1. เคลือบพอลิเมอร์คอมพอสิตจากข้อ 3.3 ลงบนพรมพอลิเอสเตอร์ ด้วยเครื่อง Mathis ซึ่งเป็นวิธีการเคลือบด้วยใบมีดวางบนลูกกลิ้ง โดยควบคุมปริมาณเนื้อของพอลิเมอร์คอมพอสิต บนผ้า 100-110 กรัมต่อตารางเมตร

2. อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

3.5 การตรวจสอบสมบัติ

3.5.1 การตรวจสอบสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนต

1. ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน ด้วยเครื่อง FT-IR โดยบดและผสมแคลเซียมคาร์บอเนตให้เข้ากับผง KBr อัดให้เป็นแผ่น ตรวจสอบในเลขคลื่น 4000-400 cm^{-1}

2. วัดความสามารถในการดูดซึมน้ำมันลินสีดตาม ASTM D281-95 โดยชั่งน้ำหนักแคลเซียมคาร์บอเนตแห้ง 1 กรัม วางลงบนแผ่นหินอ่อน หยดน้ำมันลินสีด 1 หยดจากบิวเรต ใช้พายบดน้ำมันลินสีดและแคลเซียมคาร์บอเนตให้เข้ากัน ทำต่อไปอย่างต่อเนื่องด้วยการหยดน้ำมันลินสีดทีละหยดจนแคลเซียมคาร์บอเนตดูดซึมน้ำมันลินสีดเต็มที่ จนมีลักษณะเปียกเป็นก้อนบดไม่แตกเป็นผง บันทึกปริมาตรของน้ำมันลินสีดที่ใช้จากบิวเรต คำนวณเป็นน้ำหนักน้ำมันลินสีดที่ใช้ต่อน้ำหนักแคลเซียมคาร์บอเนต 100 กรัม (ความหนาแน่นของน้ำมันลินสีด 0.93 กรัมต่อมิลลิเมตร) ทำซ้ำตัวอย่างละสองครั้ง

3.5.2 การตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิต

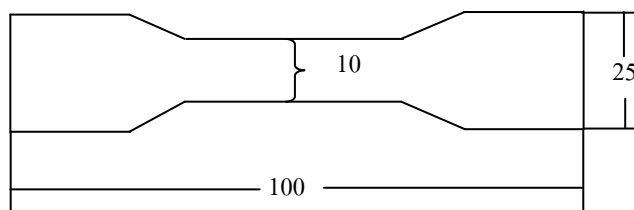
1. วัดสมบัติทางวิทยากระแส ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์การตรวจวัดใช้เข็มเบอร์ 4 อัตราในการหมุน 1.5, 3, 6, 12, 30 และ 60 รอบต่อนาที และระดับขั้นทิกโซทรอปิก (degree of thixotropic) ตาม ASTM D2196-86 โดยวัดความหนืดด้วยเข็มเบอร์ 4 อัตราการหมุน 1.5, 3, 6 และ 12 รอบต่อนาที เริ่มที่การตรวจวัดที่ความเร็วรอบต่ำสุดก่อน เพิ่มความเร็วรอบขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงความเร็วรอบสูงสุดและค่อย ๆ ลดความเร็วรอบลงอย่างต่อเนื่องจนถึงความเร็วรอบต่ำสุด การอ่านค่าความหนืดให้อ่านเมื่อเข็มหมุนครบ 10 รอบ ค่าระดับขั้นทิกโซทรอปิกเท่ากับอัตราส่วนของความหนืดที่ความเร็วรอบต่ำสุดก่อนเพิ่มความเร็วรอบต่อความหนืดที่ความเร็วรอบต่ำสุดหลังการลดความเร็วรอบ ค่าอัตราส่วนที่สูงแสดงว่า มีค่าทิกโซทรอปิกสูง และรีโอมิเตอร์ใช้หัววัดแบบแผ่นคู่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างแผ่น 1000 ไมโครเมตร

2. วัดอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสภาพแก้ว (T_g) ด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) ชั่งน้ำหนักฟิล์มของสารตัวอย่าง 5.0-10.0 มิลลิกรัม บรรจุลงในภาตอะลูมิเนียมปิดสนิท สภาวะที่ตรวจสอบ อุณหภูมิ 0-100 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส/นาที

3. วัดอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ (minimum film forming temperature, MFFT) โดยการเคลือบสารตัวอย่างลงบนแท่นควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง ด้วยความหนาแน่นเปียก 0.75 ไมโครเมตร สังเกตอุณหภูมิต่ำสุดที่ลาเท็กซ์สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้

3.5.3 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต

1. ศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยา ด้วยเครื่อง scanning electron microscopy (SEM)
2. ความต้านแรงดึง, ร้อยละการยืด ตาม ASTM D2370-98 เตรียมชิ้นงานให้มีขนาดตามรูปที่ 3.1 ตรวจสอบตัวอย่างโดยทำซ้ำกัน 5 ชิ้น การทดสอบทำโดยการใช้เครื่อง Autograph ควบคุมอัตราเร็วในการยืดเท่ากับ 20 มิลลิเมตรต่อนาที



หน่วย : มิลลิเมตร ความยาวเกจ: 20 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานในการทดสอบค่าความต้านแรงดึง และ ร้อยละการยืด

ร้อยละการยืดและความต้านแรงดึงคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

$$\text{ร้อยละการยืด} = 100 (\Delta L / L_0) \quad (3.1)$$

ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนแปลง ณ จุดขาด

L_0 = ความยาวเริ่มต้น (ความยาวเกจ)

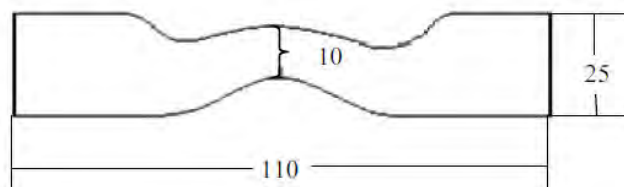
$$\text{ความต้านแรงดึง} = (P_R)/(TW) \quad (3.2)$$

P_R = แรงดึง ณ จุดขาด

T = ความหนาของชิ้นงาน

W = ความกว้างของชิ้นงาน

3. ความแข็งแรงต่อแรงฉีก ตาม ASTM D624-00 เตรียมชิ้นงานให้มีขนาดตามรูปที่ 3.2 ตรวจสอบตัวอย่างโดยการซ้ำ 5 ชิ้น การทดสอบทำโดยการใช้เครื่อง Autograph ควบคุมอัตราในการยืดเท่ากับ 500 มิลลิเมตรต่อนาที



หน่วย : มิลลิเมตร

รูปที่ 3.2 ขนาดชิ้นงานในการหาค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก

ความแข็งแรงต่อแรงฉีกคำนวณได้จากสมการที่ 3.3

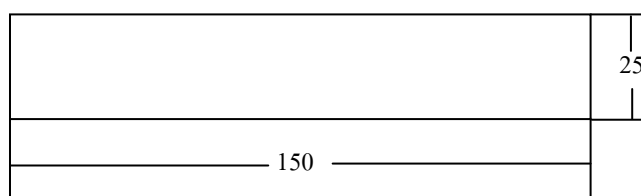
$$\text{ความแข็งแรงต่อแรงฉีก} = F / d \quad (3.3)$$

F = แรงดึงสูงสุด

d = ความหนาของชิ้นงาน

3.5.4 การตรวจสอบสมบัติของชิ้นงานผ้าที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.2

1. ความทนแตกหัก, ร้อยละการยืด ตาม ASTM D5035-06 เตรียมขนาดชิ้นงานตามรูปที่ 3.3 ตรวจสอบตัวอย่างโดยการทำซ้ำ 5 ชิ้น การทดสอบทำโดยการใช้เครื่อง Autograph ควบคุมอัตราในการยืด 200 มิลลิเมตรต่อนาที โดยตรวจสอบทั้งในทิศทางตามแนวเครื่องจักรและขวางแนวเครื่องจักร



หน่วย : มิลลิเมตร ความยาวเกจ : 75 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.3 ขนาดชิ้นงานผ้าในการทดสอบค่าความทนแตกหักและ ร้อยละการยืด

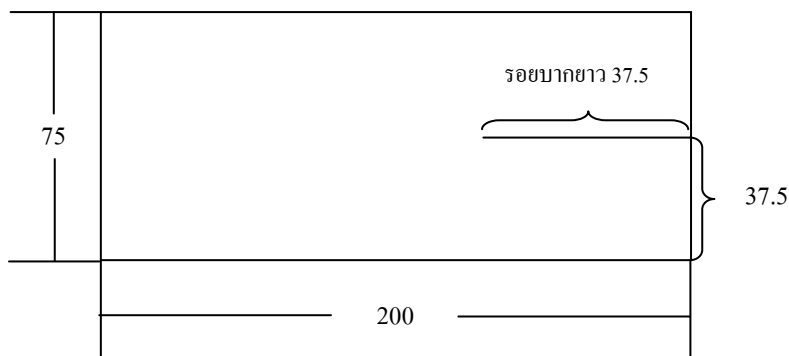
ร้อยละการยืดคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 และความทนแตกหักคำนวณได้จากสมการที่ 3.4

$$\text{ความทนแตกหัก} = F_m / W \quad (3.4)$$

F_m = แรงดึงสูงสุด

W = ความกว้างของชิ้นงาน

2. แรงต้านการฉีก ตาม ASTM D5735-95 เตรียมขนาดชิ้นงานตามรูปที่ 3.4 ตรวจสอบตัวอย่างโดยการทำซ้ำ 5 ชิ้น วัดด้วยเครื่อง Autograph ควบคุมอัตราในการยืด 200 มิลลิเมตรต่อ นาที โดยตรวจสอบทั้งในทิศทางตามแนวเครื่องจักรและขวางแนวเครื่องจักร แรงต้านการฉีกขาด คือ แรงดึงสูงสุดที่วัดได้



หน่วย : มิลลิเมตร

รูปที่ 3.4 ขนาดชิ้นงานผ้าในการทดสอบค่าแรงต้านการฉีก

3. ศึกษาลักษณะของการเคลือบและการซึมของพอลิเมอร์คอมพอสิตบนเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด transmission กำลังขยาย 20 เท่า

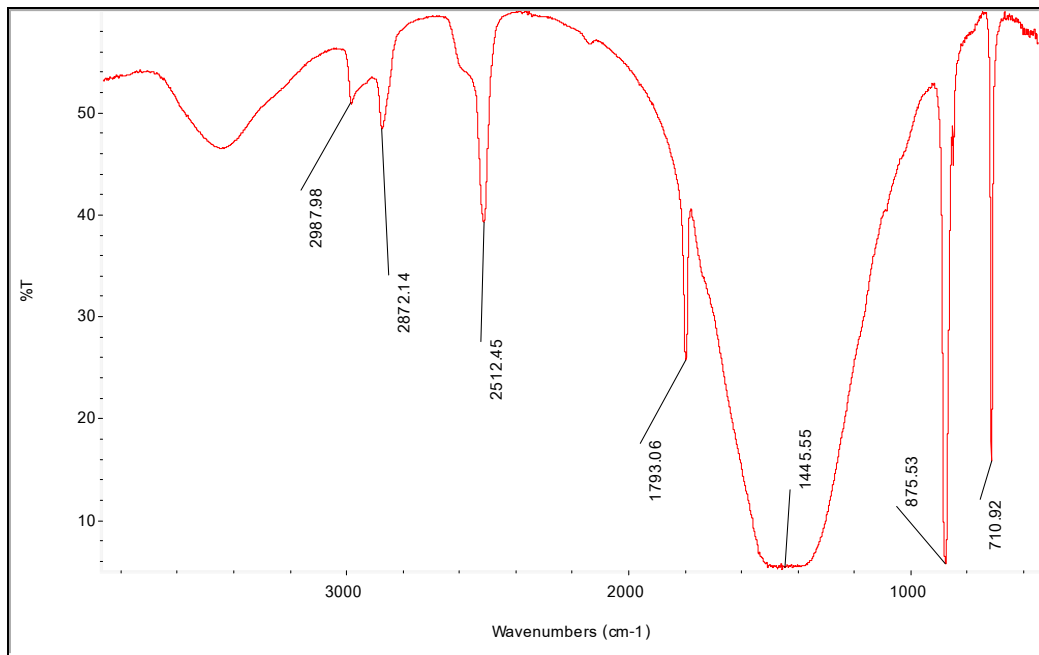
บทที่ 4

ผลการทดลอง การวิเคราะห์และการวิจารณ์ผล

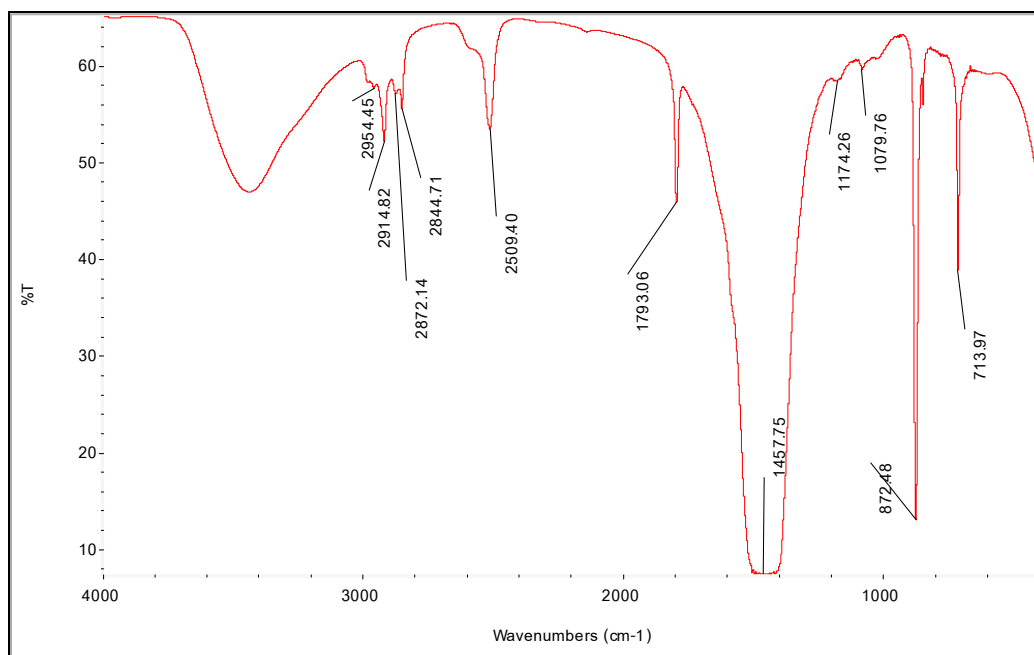
4.1 สมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนต

4.1.1 หมู่ฟังก์ชัน

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร ผลของไออาร์สเปกตรัมแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร

จากรูปที่ 4.1 ไออาร์สเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร แสดงพีกที่เป็นเอกลักษณ์ของแคลเซียมคาร์บอเนต คือ ปรากฏที่เลขคลื่น 711, 876, 1446, 1793, 2512, 2872 และ 2988 cm^{-1} ลักษณะการสั่นของคาร์บอเนตไอออนอิสระ การสั่นแบบงอของโมเลกุล (V_4) แสดงที่เลขคลื่น 711 cm^{-1} การสั่นแบบงอนอกระนาบ (V_2) แสดงที่เลขคลื่น 876 cm^{-1} การสั่นแบบยืดของโมเลกุล (V_3) แสดงที่เลขคลื่น 1446 cm^{-1} แถบคอมไบเนชันของ $V_1 + V_2$ แสดงที่เลขคลื่น 1793 cm^{-1} แถบคอมไบเนชันของ $V_1 + V_3$ แสดงที่เลขคลื่น 2512 cm^{-1} และแถบการสั่นโอเวอร์โทน (overtone) ของ V_3 แสดงที่เลขคลื่น 2872 และ 2988 cm^{-1} [17]

สำหรับไออาร์สเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร มีพีกสำคัญของแคลเซียมคาร์บอเนตเหมือนขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และมีพีกเพิ่มขึ้น ที่เลขคลื่น 1080 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Si-O-Si [18] และ 2845 และ 2915 cm^{-1} เป็นการสั่นของ $-\text{CH}_3$ และ $-\text{CH}_2$ [19] ซึ่งแสดงว่า แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตรมีการเคลือบผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ จึงทำให้มีความไม่ชอบน้ำมากกว่าอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร

4.1.2 ความสามารถในการดูดซึมน้ำมันลินสีด

การตรวจสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำมันลินสีดของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตรและ 40 นาโนเมตร ตาม ASTM D281-95 ผลแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณการดูดซึมน้ำมันลินสีดของแคลเซียมคาร์บอเนต

แคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาค ขนาด	ปริมาณน้ำมันลินสีดต่อแคลเซียมคาร์บอเนต 100 กรัม (กรัม) ค่าเฉลี่ย
2 ไมโครเมตร	30.76 ± 0.13
40 นาโนเมตร	41.51 ± 0.07

จากตารางที่ 4.1 พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร สามารถดูดซึมน้ำมันลินสีดได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากกว่า แต่ไม่ได้มากอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับขนาดที่ต่างกันประมาณ 50 เท่า ซึ่งควรมีพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันมาก

จากผลของพีทไออาร์และค่าการดูดซึมน้ำมันลินสีดของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 40 นาโนเมตร ที่เคลือบด้วยสารคู่ควบไฮดรอกซีลีน สารเคลือบผิวนี้มีความไม่ชอบสารที่มีขั้วมากกว่า ดังเช่นน้ำมันลินสีดมีหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายโซ่และมีพันธะคู่ที่ตำแหน่งคาร์บอน 9 และ 10 การดูดซึมน้ำมันนี้จึงเป็นผลรวมของขนาดของพื้นที่ผิวของอนุภาคและลักษณะของสารเคลือบผิว ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 40 นาโนเมตร ดูดซึมน้ำมันลินสีดไม่มากนัก

4.2 สมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิต

4.2.1 สมบัติทางวิทยากระแส

การตรวจสอบความเหนียวปรากฏของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างลาเท็กซ์กับแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร ที่ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตต่าง ๆ โดยการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องวัดความเหนียวแบบ

บรรจุฟิล์มโดยใช้เข็มเบอร์ 4 อัตราการหมุน 1.5, 3, 6, 12, 30 และ 60 รอบต่อนาที ได้ผลตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความหนืดปรากฏของพอลิเมอร์คอมพอสิต

ร้อยละ CaCO ₃ *		ความหนืดปรากฏ (Pa s)					
2 μ m	40 nm	1.5	3	6	12	30	60
0	0	1110	620	344	194.5	93.4	54.5
10	-	1130	624	346	194.5	93.8	55.3
20	-	1310	720	398	225	109	64.5
30	-	1030	578	327	185.5	92	55.4
50	-	1210	664	373	212.5	103.8	61.6
70	-	1740	908	475	253	117	66.5
-	10	1470	792	431	238.5	112.6	66.3
-	20	1590	884	493	272.5	132.2	78
-	30	1430	782	437	248	121.4	74
-	50	1420	798	456	264.5	131.6	80.1
-	70	1070	608	362	214.5	109.4	67.6

*เทียบกับลาเท็กซ์โดยกำหนดให้ปริมาณลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน

จากตารางที่ 4.2 เมื่อนำข้อมูลของความหนืดปรากฏและค่าอัตราในการหมุนของเข็ม คือ ค่าอัตราเฉือนในแต่ละตัวอย่างมาเขียนกราฟระหว่าง $\log \mu_{app}$ และ $\log \dot{\gamma}$ (จากสมการที่ 2.3) จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าจุดตัดแกน Y เท่ากับ $\log K$ และความชันเท่ากับ $n-1$ ซึ่งจะสามารถหาค่า K และ n ได้ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า K และ n ของ Power law

ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด*		K	n
2 μm	40 nm		
0	0	53.24	0.18
10	-	53.62	0.18
20	-	62.36	0.18
30	-	53.57	0.21
50	-	59.72	0.19
70	-	63.74	0.11
-	10	63.74	0.16
-	20	75.54	0.18
-	30	70.60	0.20
-	50	77.48	0.22
-	70	65.76	0.27

*เทียบกับลาเท็กซ์โดยกำหนดให้ปริมาณลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน

จากตารางที่ 4.3 พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตรลงในอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ ได้พอลิเมอร์คอมพอสิตที่มีค่า K น้อยกว่าการเติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร เมื่อเปรียบเทียบการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในแต่ละอัตราส่วน และในทุกตัวอย่างของพอลิเมอร์คอมพอสิตพบว่า มีค่า n น้อยกว่า 1 จาก Power law กล่าวว่าจะของเหลวที่มีค่า n น้อยกว่า 1 จะแสดงพฤติกรรมการไหลเป็นแบบแรงเฉือนลด ดังนั้น พอลิเมอร์คอมพอสิตทุกตัวอย่างจึงมีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบแรงเฉือนลด

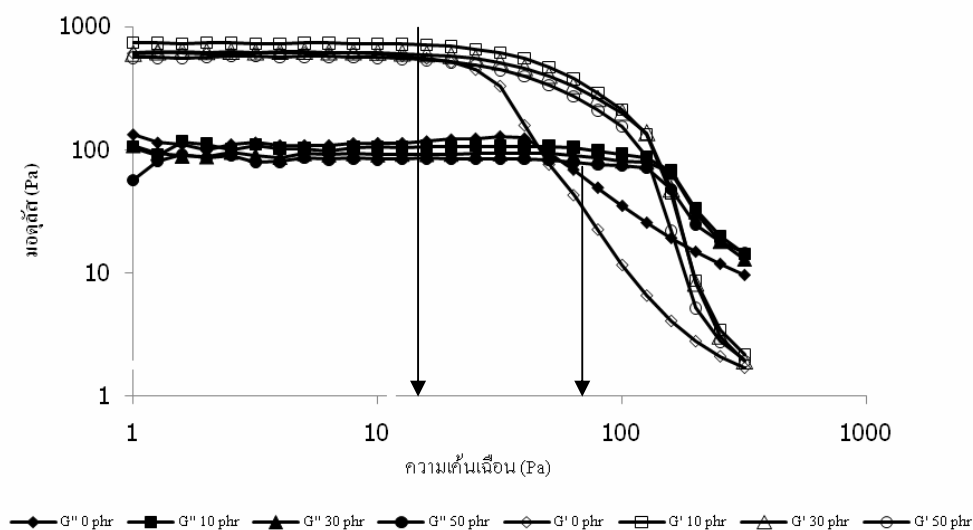
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าระดับชั้นทิกโซทรอปิกของพอลิเมอร์คอมพอสิตลาเท็กซ์กับแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตรและ 40 นาโนเมตรที่ปริมาณ 0, 10, 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ทำให้ลาเท็กซ์มีพฤติกรรมทางทิกโซทรอปิกเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ทำให้ลาเท็กซ์มีพฤติกรรมทางทิกโซทรอปิกน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณ 10 และ 30 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ พบว่า อนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร มีผลให้ลาเท็กซ์มีพฤติกรรมทางทิกโซทรอปิกมากกว่าการเติมด้วยอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ส่วนการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ พบว่า ลาเท็กซ์ที่เติมด้วยอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร มีค่าทิกโซทรอปิกมากกว่าขนาด 40 นาโนเมตร

ตารางที่ 4.4 ค่าระดับชั้นทิกโซทรอปิกของพอลิเมอร์คอมพอสิต

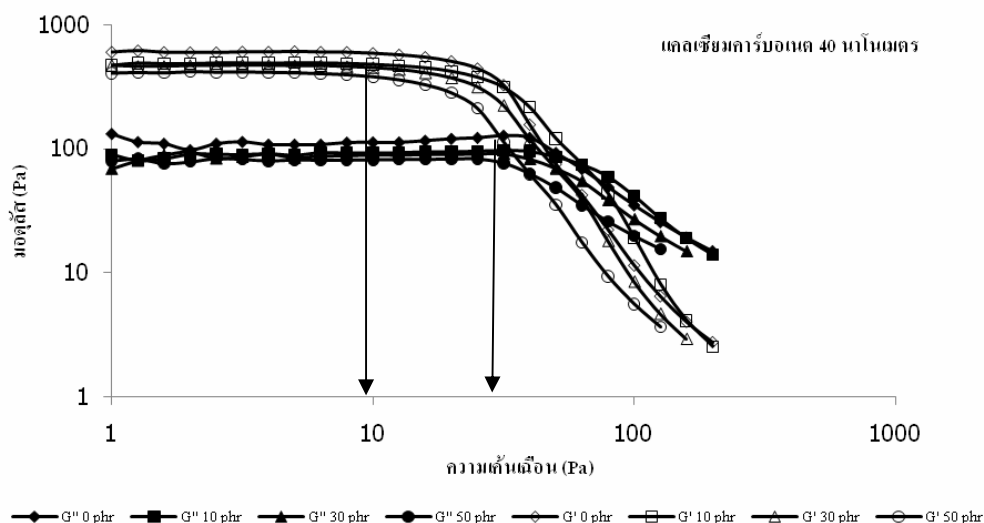
ปริมาณของ แคลเซียมคาร์บอเนต*	ระดับชั้นทิกโซทรอปิก	
	CaCO ₃ 2 ไมโครเมตร	CaCO ₃ 40 นาโนเมตร
0	1.06	1.06
10	1.05	1.18
30	1.07	1.15
50	1.12	1.07

*ให้ลาเท็กซ์มีปริมาณร้อยละ

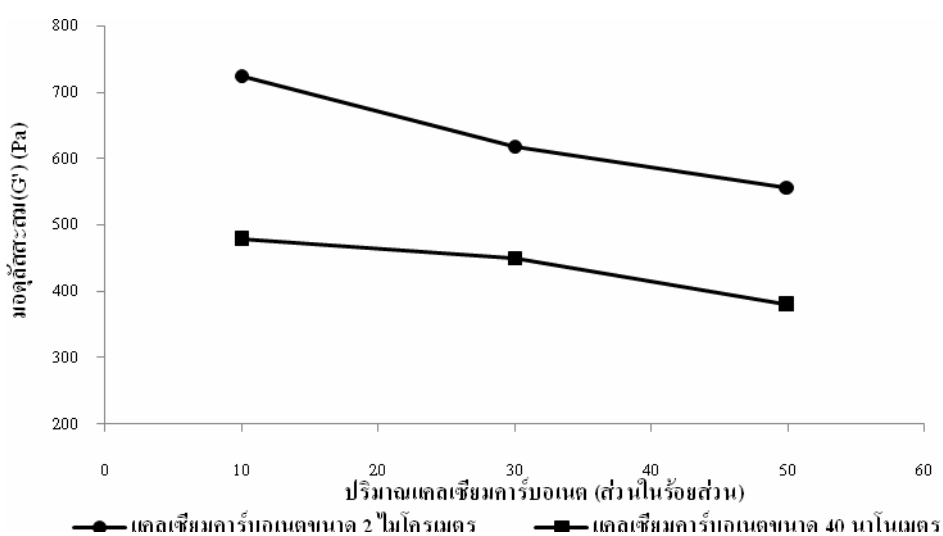
เมื่อตรวจสอบสมบัติทางวิทยากระแสของพอลิเมอร์คอมพอสิตลาเท็กซ์ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งสองขนาดอนุภาคที่ปริมาณ 0, 10, 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยละของลาเท็กซ์ ผลของความเค้นเฉือน vs. โมดูลัสสะสมหรือโมดูลัสสูญเสียของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ และเปรียบเทียบค่าโมดูลัสสะสมของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 2 ไมโครเมตรและ 40 นาโนเมตรที่ปริมาณต่าง ๆ กันแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.3 ผลของความเค้นเฉือนต่อโมดูลัสสะสมและโมดูลัสสูญเสียของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เติม CaCO₃ ขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.4 ผลของความเค้นเฉือนต่อต่อมอดูลัสสะสมและมอดูลัสสูญเสียของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เติม CaCO_3 ขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่ามอดูลัสสะสมของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอนต ทั้งสองขนาดอนุภาคที่ความเค้นเฉือน 5 พาสคัล

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 ที่ความถี่ 1 เฮิรตซ์ พบว่า ทุกตัวอย่างแสดงพฤติกรรมของมอดูลัสสะสมคงตัวในช่วงแรกเมื่อได้รับความเค้นเฉือนต่ำ ๆ และเมื่อได้รับความเค้นเฉือนมากขึ้น ทำให้มอดูลัสสะสมมีค่าลดลง แสดงถึงโครงสร้างภายในที่ถูกทำลายของสารตัวอย่างเมื่อได้รับ

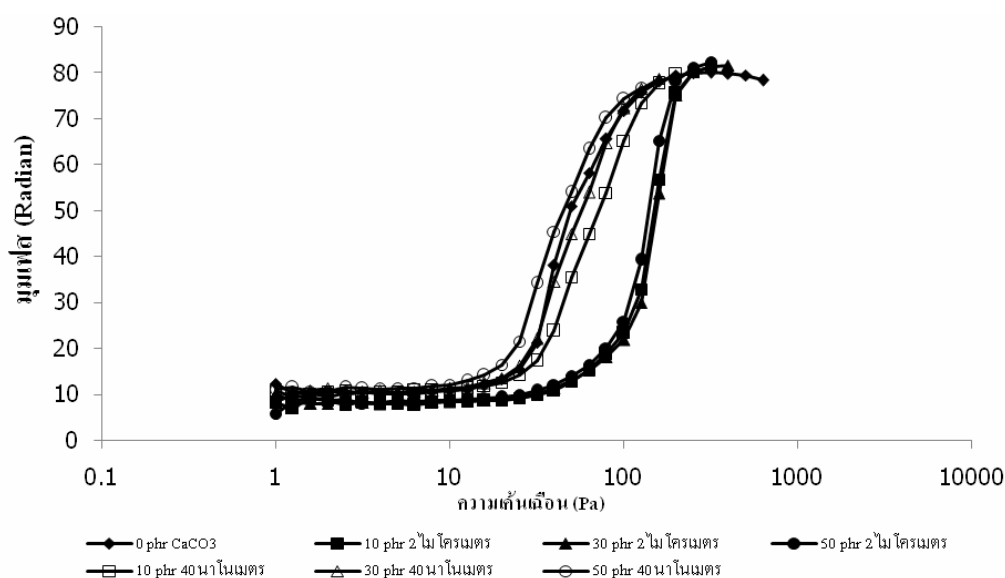
ความเค้นเฉือนมากขึ้น จากรูปที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบค่ามอดุลัสสะสมของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร โดยเลือกค่ามอดุลัสสะสมของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 10 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ที่ความเค้นเฉือน 5 พาสคัล ที่ได้จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า ที่ปริมาณการเติมเท่า ๆ กัน พอลิเมอร์คอมพอสิตเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร มีค่ามอดุลัสสะสมมากกว่าเติมด้วยอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบความคงตัวของมอดุลัสสะสมระหว่างพอลิเมอร์คอมพอสิตเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร กับอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า การเติมด้วยอนุภาค 2 ไมโครเมตร ทำให้พอลิเมอร์คอมพอสิตมีความคงตัวของมอดุลัสสะสมมากกว่าการเติมด้วยอนุภาค 40 นาโนเมตร แสดงว่าการเติมอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ทำให้พอลิเมอร์คอมพอสิตมีค่าความเค้นเฉือนวิกฤติสูงกว่า

จากงานวิจัยของ Wang และ Yu [15] พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดเคลือบผิวในพอลิโพรพิลีน ทำให้พอลิเมอร์คอมพอสิตมีค่ามอดุลัสสะสมต่ำกว่าการเติมด้วยชนิดไม่เคลือบผิว และมีค่าความเค้นเฉือนวิกฤติน้อยกว่าด้วย เพราะสารเคลือบผิวไฮดรอกซีของแคลเซียมคาร์บอเนตทำให้อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับเมทริกซ์เกิดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคชนิดไม่เคลือบผิว จึงส่งผลให้มีค่ามอดุลัสสะสมและค่าความเค้นเฉือนวิกฤติต่ำกว่า ในงานวิจัยนี้ แคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 40 นาโนเมตร เป็นชนิดมีการเคลือบผิวและเมื่อได้นำไปศึกษาปริมาณการดูดซึมน้ำมันลินสีด พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร สามารถดูดซึมน้ำมันลินสีดได้น้อยกว่าอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร แสดงว่า อนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร นี้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำมากกว่าขนาด 2 ไมโครเมตร ส่งผลให้อนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร มีอันตรกิริยาต่อเมทริกซ์ ซึ่งเป็นลาเท็กซ์พอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลที่มีขั้ว น้อยกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 2 ไมโครเมตร จึงทำให้ค่ามอดุลัสสะสมของพอลิเมอร์คอมพอสิตลาเท็กซ์/แคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 40 นาโนเมตร มีค่าน้อยกว่าและลดลงเมื่อเติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตรมากขึ้น

งานวิจัยของ Wang และ Yu [15] พบว่า ทิกโซทรอปิกของพอลิเมอร์คอมพอสิตเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาตรของแคลเซียมคาร์บอเนต และลดลงเมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดเคลือบผิวเมื่อเทียบปริมาณการเติมที่เท่ากัน สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้นี้ พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีความเป็นทิกโซทรอปิกเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเกิดจากการเพิ่มปริมาตรของแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์คอมพอสิต เมื่อเปรียบเทียบการเติมอนุภาค 2 ไมโครเมตร

ปริมาณ 10 และ 30 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ พบว่า มีความเป็นทิกโซทรอปิกน้อยกว่าการเติมอนุภาค 40 นาโนเมตร ที่การเติมปริมาณเท่ากัน เนื่องจากค่าความหนาแน่นของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร มีค่า 2.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มากกว่าอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ที่มีค่า 2.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงว่า ที่ปริมาณการเติมเท่า ๆ กัน แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร มีปริมาตรน้อยกว่าทำให้มีความเป็นทิกโซทรอปิกน้อยกว่าด้วย แต่การเติมที่ปริมาณ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ การเติมด้วยอนุภาค 40 นาโนเมตร จะมีความเป็นทิกโซทรอปิกต่ำกว่า เนื่องจากถึงแม้ว่าจะมีปริมาตรในการเติมมากกว่า แต่อิทธิพลของสารเคลือบผิวบนอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ที่ปริมาณการเติมมากขึ้น กลับทำให้ค่าทิกโซทรอปิกของพอลิเมอร์คอมพอสิตลดลง ซึ่งก็เป็นเหตุผลเดียวกับการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ที่มากขึ้นจะทำให้ความเป็นทิกโซทรอปิกของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีค่าน้อยลง

ผลของความเค้นเฉือนต่อมุมเฟส (phase angle) ของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติมแคลเซียมคาร์บอเนตแสดงในรูปที่ 4.6

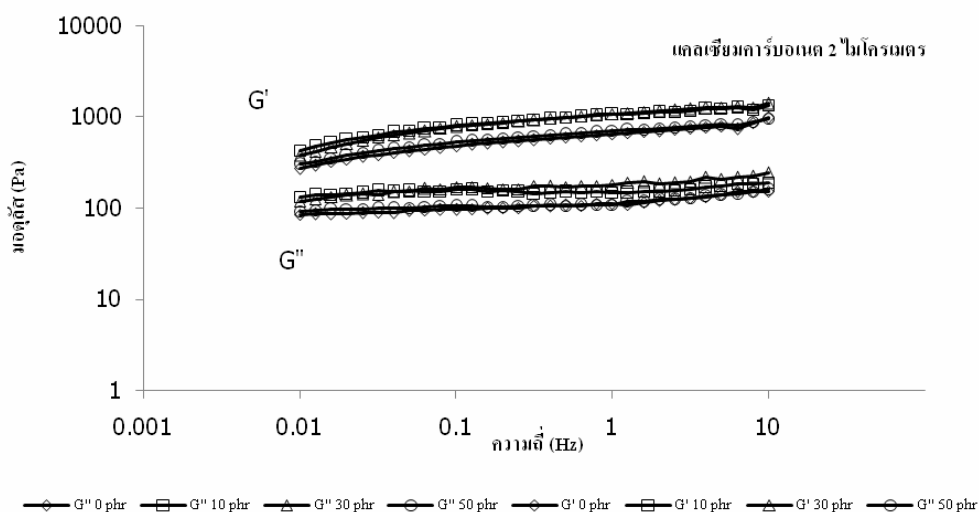


รูปที่ 4.6 ผลของความเค้นเฉือนต่อมุมเฟสของพอลิเมอร์คอมพอสิต

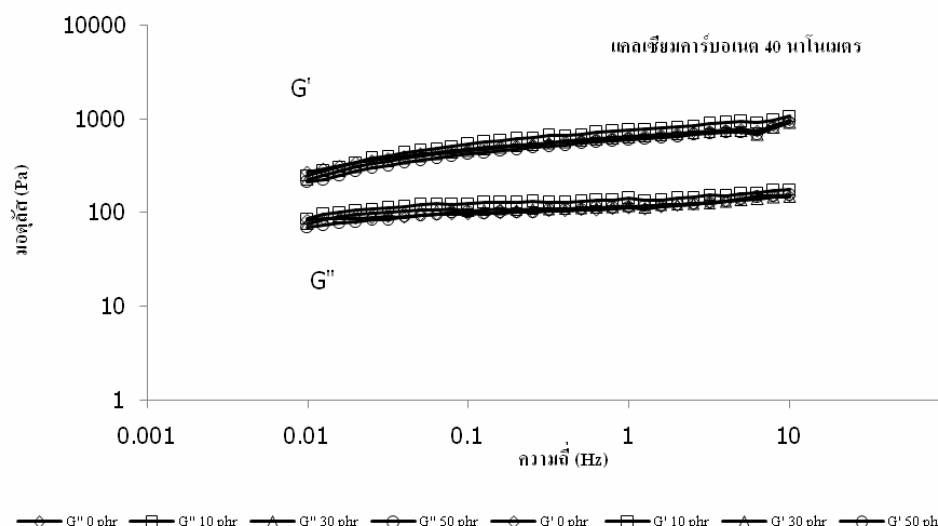
ผลของความเค้นเฉือนต่อมุมเฟส (รูปที่ 4.6) พบว่า ในทุกตัวอย่างเมื่อเพิ่มความเค้นเฉือนของพอลิเมอร์คอมพอสิต มุมเฟสมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่า พอลิเมอร์คอมพอสิตมีพฤติกรรม

เปลี่ยนจากยืดหยุ่น (elastic) เป็นของหนืด (viscous) มากขึ้น ซึ่งหมายถึง อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลถูกทำลาย พอลิเมอร์คอมพอสิตที่เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 2 ไมโครเมตร ต้องใช้ความเค้นเฉือนมากกว่าในการทำลายโครงสร้าง เพราะพอลิเมอร์คอมพอสิตของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 2 ไมโครเมตร มีค่าความเค้นเฉือนวิกฤตสูงกว่าเมื่อเทียบกับลาเท็กซ์ที่ไม่เติมและที่เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 40 นาโนเมตร เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์กับอนุภาคลาเท็กซ์มีมากกว่านั่นเอง

ผลของความถี่ต่อมอดุลัสสะสมและมอดุลัสสูญเสียของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตรและ 40 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



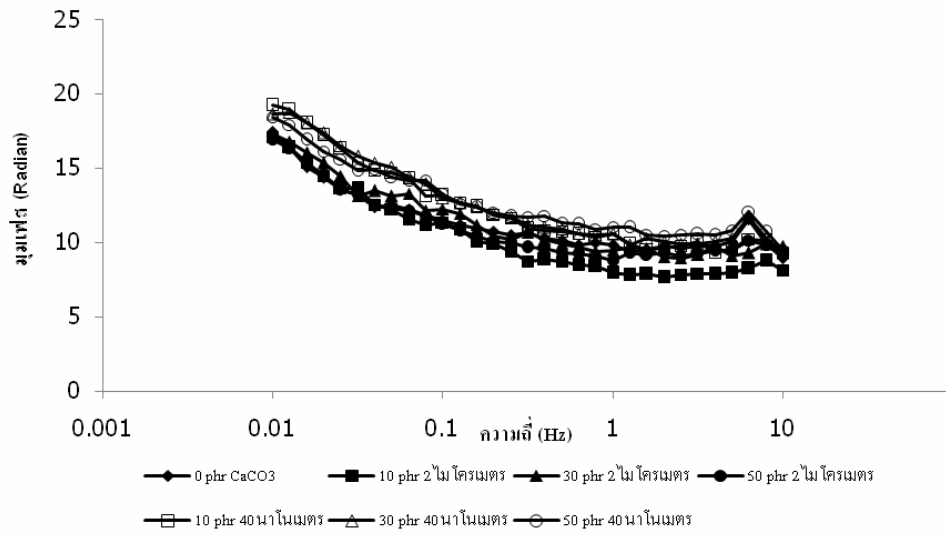
รูปที่ 4.7 ผลของความถี่ต่อมอดุลัสสะสมและมอดุลัสสูญเสียของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติม CaCO_3 ขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร



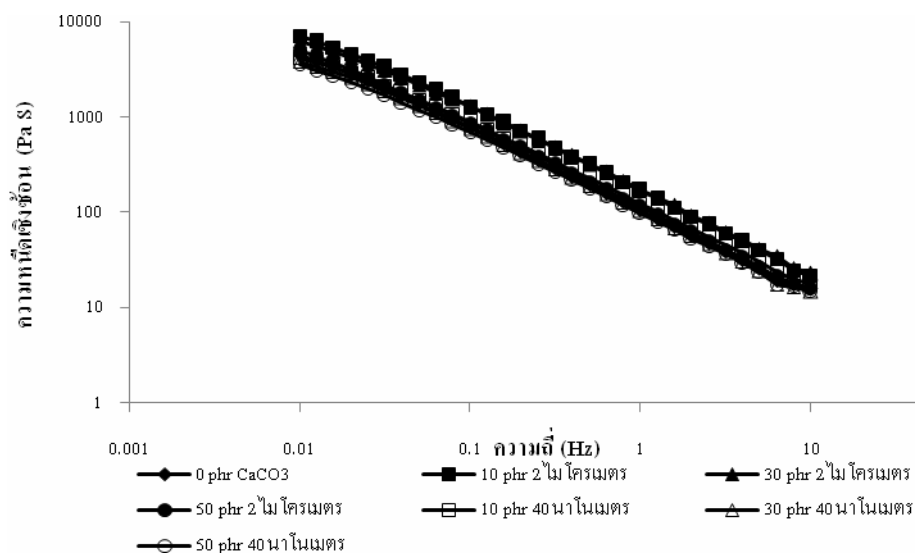
รูปที่ 4.8 ผลของความถี่ต่อมอดุลัสสะสมและมอดุลัสสูญเสียของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติม CaCO_3 ขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 ที่ความเค้นเฉือน 5 پاسคัล พบว่า พอลิเมอร์คอมพอสิตทุกตัวอย่างมีค่ามอดุลัสสะสมสูงกว่ามอดุลัสสูญเสีย แสดงว่า พอลิเมอร์คอมพอสิตทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมด้านความยืดหยุ่นเด่นกว่าด้านความหนืด การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ทำให้มีค่ามอดุลัสสะสมมากกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร พบว่า ไม่ทำให้ค่ามอดุลัสสะสมเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงว่า อนุภาคพอลิเมอร์ลาเท็กซ์และแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาค 2 ไมโครเมตร มีอันตรกิริยาต่อกันมากกว่าอนุภาคพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ที่มีต่อแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโน-เมตร เนื่องจากอิทธิพลของการเคลือบผิวของอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ทำให้อนุภาคมีความไม่ชอบน้ำมากกว่า จึงส่งผลให้มีอันตรกิริยากับเมทริกซ์น้อย

ผลของความถี่ต่อมอดุลัสเชิงซ้อน และค่าความหนืดเชิงซ้อน (complex viscosity) ของพอลิเมอร์คอมพอสิตเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ผลของความถี่ต่อมอดูลัสของพอลิเมอร์คอมพอสิต



รูปที่ 4.10 ผลของความถี่ต่อความหนืดเชิงซ้อนของพอลิเมอร์คอมพอสิต

ผลของความถี่ที่มีต่อมอดูลัส (รูปที่ 4.9) พบว่า พอลิเมอร์คอมพอสิตทุกตัวอย่างเมื่อเพิ่มความถี่ มอดูลัสมีค่าลดลง แสดงว่า เมื่อเพิ่มความถี่ของแรงกระทำต่อพอลิเมอร์คอมพอสิต ทำ

ให้พอลิเมอร์คอมพอสิตมีพฤติกรรมของความยืดหยุ่นมากขึ้น ในส่วนผลของความถี่ต่อความหนืดเชิงซ้อน (รูปที่ 4.10) พบว่า เมื่อเพิ่มความถี่ของแรงกระทำต่อพอลิเมอร์คอมพอสิต ทำให้พอลิเมอร์คอมพอสิตทุกตัวอย่างมีความหนืดลดลง แสดงว่า พอลิเมอร์คอมพอสิตทุกตัวอย่างแสดงพฤติกรรมแรงเฉือนลดซึ่งสอดคล้องกับผลจากการตรวจสอบวิธยากระแสด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3

4.2.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว และอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้

ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างลาเท็กซ์กับแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งสองขนาดอนุภาคที่ปริมาณการเติมต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่า T_g และ MFFT ของพอลิเมอร์คอมพอสิต

ปริมาณ CaCO_3^*	CaCO_3 ขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร		CaCO_3 ขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร	
	T_g^{**} (องศาเซลเซียส)	MFFT (องศาเซลเซียส)	T_g^{**} (องศาเซลเซียส)	MFFT (องศาเซลเซียส)
0	33.99	31.7	33.99	31.7
5	33.69	33.9	32.72	33.0
10	33.16	32.4	33.88	33.1
15	33.65	33.3	33.72	33.6
20	33.21	33.0	33.08	33.4
30	32.51	33.2	33.54	33.5
50	32.29	34.3	33.57	35.8
70	32.60	33.4	33.55	35.1
90	33.04	32.4	33.47	36.0

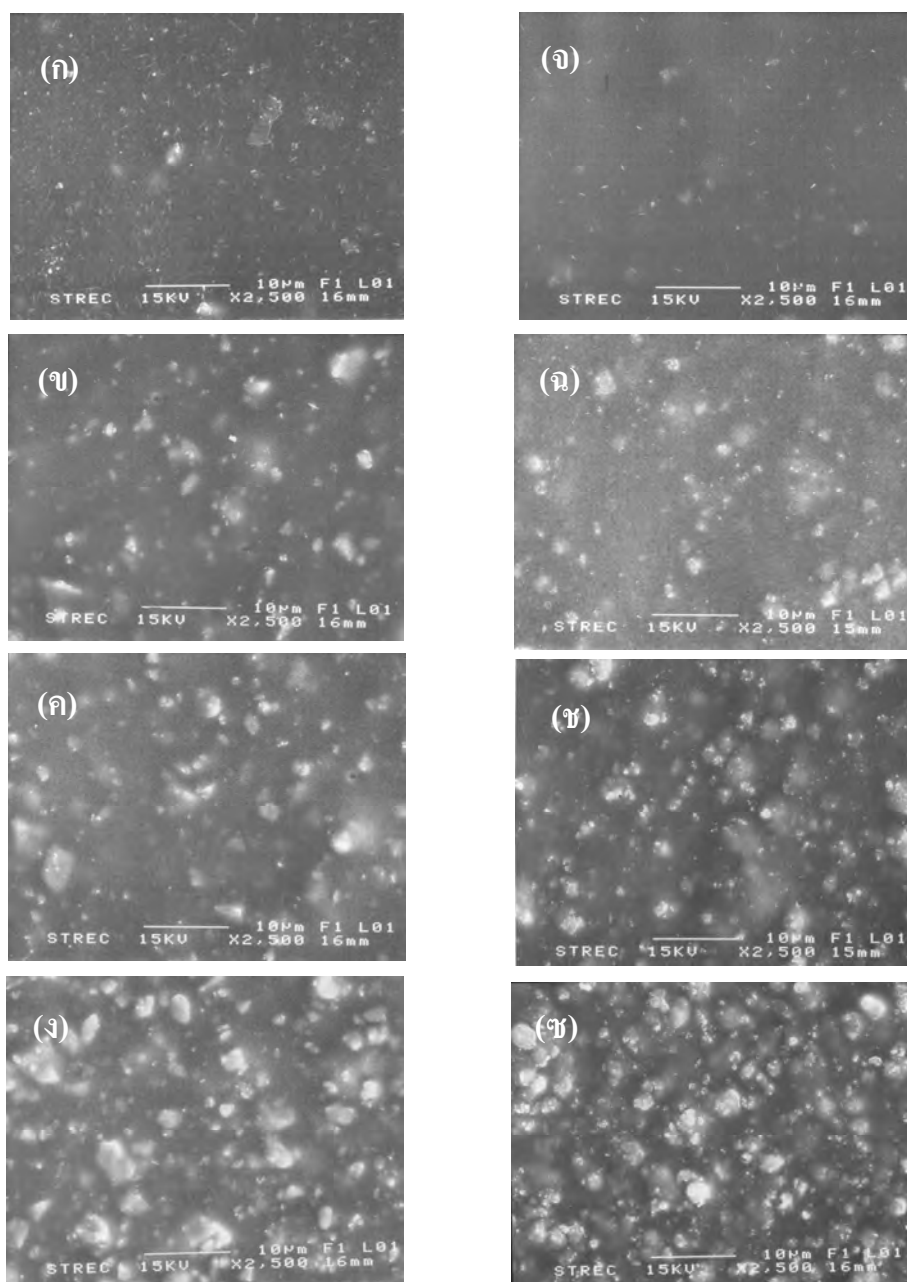
*เมื่อปริมาณของลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน ** วัดโดยใช้เทคนิค DSC และหาค่าที่จุด mid point

จากตารางที่ 4.5 พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งสองขนาดอนุภาคและการเติมทุกปริมาณไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วและอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มได้

4.3 สมบัติของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต

4.3.1 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

การตรวจสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิตลาเท็กซ์กับแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณ 5, 30, 50 และ 90 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ด้วยเครื่อง SEM แสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต (ก), (ข), (ค) และ (ง) CaCO_3 2 ไมโครเมตร ปริมาณ 5, 30, 50 และ 90 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ตามลำดับ และ (จ), (ฉ), (ช) และ (ซ) CaCO_3 40 นาโนเมตร ปริมาณ 5, 30, 50 และ 90 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.11 ก. พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร แคลเซียมคาร์บอเนตกระจายตัวอยู่ทั่วบริเวณของฟิล์ม และมีการกระจายของอนุภาคขนาด

แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร (รูปที่ 4.11 จ.) พบว่า อนุภาคกระจายตัวน้อยและเกิดการรวมตัวมากกว่า ทำให้เห็นเป็นกลุ่มของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ในบางบริเวณของฟิล์มลาเท็กซ์ ซึ่งแตกต่างจากการเติมปริมาณ 30 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ แคลเซียมคาร์บอเนตขนาด 2 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.11 ข.) เกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคขนาดใหญ่มากกว่าการเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร (รูปที่ 4.11 ฉ.) ซึ่งมีการกระจายตัวมากกว่าของอนุภาคขนาดเล็กทั่วบริเวณของฟิล์มลาเท็กซ์ แต่ยังมีบางส่วนที่รวมตัวกันจนมีขนาดใกล้เคียงกับการรวมตัวในฟิล์มของลาเท็กซ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และยังพบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร ในปริมาณมากขึ้น แคลเซียมคาร์บอเนตเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่และหนาแน่นมากขึ้น แสดงว่า พื้นที่ผิวของแคลเซียมคาร์บอเนตไม่เข้ากับลาเท็กซ์ แม้ได้มีสารเคลือบผิวไฮดรอกซีออกไซด์อยู่บนผิวของอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร แล้ว เนื่องจากมีการเปียกผิวและแรงยึดติดระหว่างผิวภาคของลาเท็กซ์กับแคลเซียมคาร์บอเนตไม่ดีและความเชื่อมแน่น (cohesion) ของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยตัวเองดีกว่า

4.3.2 ค่าความต้านแรงดึงและร้อยละการยืดของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต

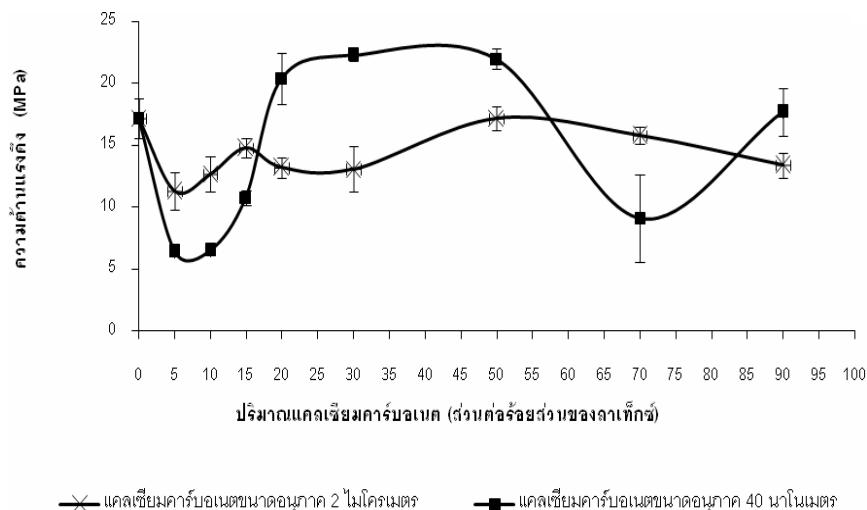
ผลการตรวจสอบค่าความต้านแรงดึงและร้อยละการยืดของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิตได้แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยึดของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต

ปริมาณ CaCO ₃ ที่มีขนาดอนุภาค		ค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์ม (MPa)	
2 μm	40 nm	ค่าเฉลี่ยของ 3 การทดลอง**	ค่าร้อยละการยึดของฟิล์ม (%)
0*	0*	17.2 ± 1.6	7.3 ± 0.6
5	-	11.3 ± 1.5	4.2 ± 0.4
10	-	12.7 ± 1.4	4.1 ± 0.6
15	-	14.8 ± 0.8	5.0 ± 0.3
20	-	13.2 ± 0.8	3.0 ± 0.4
30	-	13.1 ± 1.8	4.0 ± 0.4
50	-	17.2 ± 1.0	7.1 ± 1.3
70	-	15.7 ± 0.7	5.0 ± 0.6
90	-	13.4 ± 1.0	4.9 ± 1.9
-	5	6.4 ± 0.1	3.5 ± 0.1
-	10	6.6 ± 0.2	4.0 ± 0.5
-	15	10.8 ± 0.6	6.0 ± 1.0
-	20	20.4 ± 2.1	5.2 ± 0.2
-	30	22.3 ± 0.5	7.6 ± 0.4
-	50	22.0 ± 0.8	4.8 ± 0.4
-	70	9.1 ± 3.5	2.0 ± 0.6
-	90	17.7 ± 1.9	2.3 ± 0.2

*เมื่อปริมาณของลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน ** ใช้ Q test ตัดสินความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอนเนตกับค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต

จากรูปที่ 4.12 พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 40 นาโน-เมตร ในปริมาณ 30 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ทำให้ฟิล์มของลาเท็กซ์มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าฟิล์มของลาเท็กซ์ที่ไม่มีการเติมและฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ การเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตปริมาณ 20 30 50 และ 90 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ฟิล์มของลาเท็กซ์มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าการเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ในการเติมปริมาณที่เท่า ๆ กัน การเติมขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ที่ปริมาณ 5 และ 10 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ฟิล์มของ พอลิเมอร์คอมพอสิตมีค่าความต้านทานแรงดึงลดลง เนื่องจาก การเติมปริมาณน้อยเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร มากกว่าอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 4.11 ในส่วนของแคลเซียมคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ที่ปริมาณการเติม 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ได้ค่าความต้านทานแรงดึงมากกว่าการเติมในปริมาณอื่น ๆ แต่มีค่าน้อยกว่าฟิล์มไม่เติมแคลเซียมคาร์บอนเนต สรุปได้ว่าขนาดอนุภาคและปริมาณของแคลเซียมคาร์บอนเนตมีผลต่อความต้านทานแรงดึงของฟิล์ม

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการยืดของฟิล์มลาเท็กซ์ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอนเนตมีค่าประมาณร้อยละ 7 แสดงถึงลักษณะของฟิล์มมีความสามารถในการยืดหยุ่นน้อยมาก และเมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตลงในลาเท็กซ์ พบว่า มีค่าร้อยละการยืดที่แตกต่างกันน้อย

เช่นกัน ทำให้พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงในลาเท็กซ์ไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดหยุ่นของฟิล์ม

4.3.3 ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต

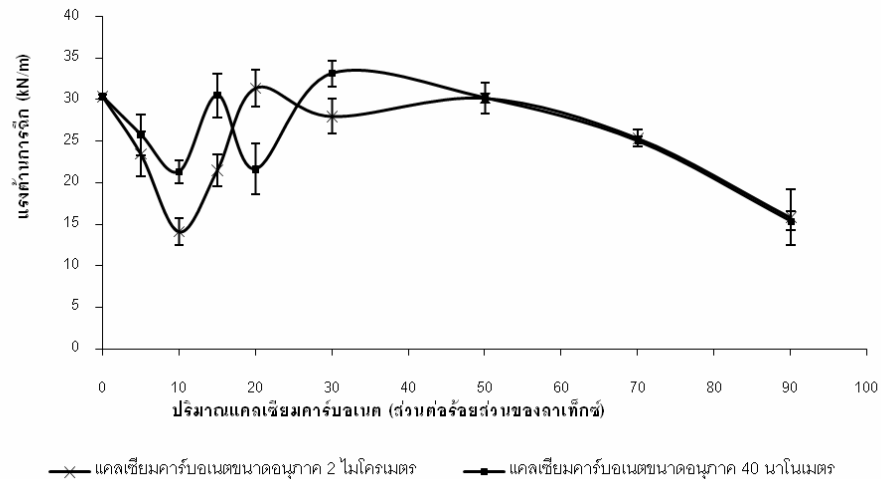
ผลการตรวจสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิตแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต

ปริมาณ CaCO ₃ ที่มีขนาดอนุภาค		ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์ม (kN/m) ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ครั้ง**
2 μ m	40 nm	
0*	0*	30.4 \pm 0.2
5	-	23.5 \pm 2.7
10	-	14.1 \pm 1.6
15	-	21.5 \pm 1.9
20	-	31.4 \pm 2.2
30	-	28.0 \pm 2.1
50	-	30.2 \pm 0.5
70	-	25.4 \pm 1.0
90	-	15.8 \pm 3.4
-	5	25.8 \pm 2.4
-	10	21.3 \pm 1.4
-	15	30.5 \pm 2.6
-	20	21.6 \pm 3.0
-	30	33.2 \pm 1.2
-	50	30.2 \pm 1.8
-	70	25.0 \pm 0.6
-	90	15.4 \pm 1.1

*เมื่อปริมาณของลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน ** ใช้ Q test ตัดสินความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเคลือบคาร์บอนเนตกับค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์มของพอลิเมอร์คอมพอสิต

จากรูปที่ 4.13 พบว่า การเติมเคลือบคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ในปริมาณ 30 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ทำให้ฟิล์มของลาเท็กซ์มีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกมากกว่าการเติมในปริมาณอื่น ๆ และมีค่ามากกว่าฟิล์มของลาเท็กซ์ที่ไม่เติมเคลือบคาร์บอนเนตเล็กน้อย รวมถึงมีค่าสูงกว่าฟิล์มที่เติมเคลือบคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณการเติมเท่า ๆ กัน และมีค่าลดลงตามลำดับ เมื่อมีการเติมเคลือบคาร์บอนเนตในปริมาณเพิ่มขึ้น ในส่วนของเคลือบคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร พบว่าไม่ช่วยปรับปรุงค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์ม แสดงว่า ขนาดอนุภาคและปริมาณของเคลือบคาร์บอนเนตมีผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์ม สำหรับค่าที่พบว่า มีการลดลงแล้วจึงเพิ่มขึ้น เกิดเนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของอนุภาคเคลือบคาร์บอนเนต คือการกระจายตัวที่ไม่ดีทำให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของฟิล์มมีค่าลดลง และเมื่อการกระจายตัวดีขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลโดยรวมของฟิล์มอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ผสมกับเคลือบคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตรและ 40 นาโนเมตร พบว่า เคลือบคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร มีสมบัติในการเสริมแรงของอะคริลิก/สไตรีนพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ได้ ในขณะที่อนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ไม่สามารถแสดงสมบัติดังกล่าว เนื่องจากที่ปริมาณการเติม 30 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ เคลือบคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร มีการกระจายของอนุภาคขนาดเล็กดีกว่าในเคลือบคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ดังผลจาก SEM ที่

กล่าวไปแล้วในรูป 4.11 จึงทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงและความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่า เนื่องจากการกระจายของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดเล็ก สามารถบรรจุเต็มบริเวณปริมาตรอิสระ (free volume) ของฟิล์มลาเท็กซ์ จึงช่วยลดการเกิดการขยายตัวของรอยแตกขนาดเล็ก นอกจากนี้ ยังเป็นการเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคพอลิเมอร์และแคลเซียมคาร์บอเนตและเพิ่มการเกาะเกี่ยวกันทางกายภาพ ช่วยเหนี่ยวรั้งการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของฟิล์มลาเท็กซ์ แต่ถ้าปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ฟิล์มของพอลิเมอร์ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อความแข็งแรงของฟิล์มคือ ทำให้ความแข็งแรงลดลง

4.4 สมบัติของพรมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ลาเท็กซ์คอมพอสิตกับแคลเซียมคาร์บอเนต

4.4.1 ค่าความทนแตกหักและร้อยละการยืดของพรมที่ได้รับการเคลือบ

การตรวจสอบค่าความทนแตกหักในทิศทางตามแนวเครื่องจักร และขวางแนวเครื่องจักรของพรมที่เคลือบด้วยสารยึดคือ พอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์กับแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งสองขนาดอนุภาคที่ปริมาณการเติม 0, 10, 20, 30, 50 และ 70 ส่วนต่อร้อยละของลาเท็กซ์ รวมทั้งพรมที่ไม่ได้รับการเคลือบ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 (ก) ค่าความทนแตกหักของพรมตามแนวเครื่องจักร

ปริมาณ CaCO ₃ ที่มีขนาดอนุภาค		ค่าความทนแตกหักของพรมตามแนวเครื่องจักร(kN/m) ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ครั้ง**
2 μm	40 nm	
พรมไม่เคลือบ	พรมไม่เคลือบ	11.1 ± 0.6
0*	0*	13.9 ± 1.1
10	-	11.2 ± 0.3
20	-	13.4 ± 0.1
30	-	12.3 ± 0.5
50	-	10.2 ± 0.2
70	-	14.2 ± 0.6
-	10	11.2 ± 0.1
-	20	10.3 ± 0.2
-	30	10.9 ± 0.3
-	50	11.1 ± 0.1
-	70	11.4 ± 1.1

*เมื่อปริมาณของลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน ** ใช้ Q test ตัดสินความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

ตารางที่ 4.8 (ข) ค่าความทนแตกหักของพรมขวางแนวเครื่องจักร

ปริมาณ CaCO ₃ ที่มีขนาดอนุภาค		ค่าความทนแตกหักของพรมขวางแนวเครื่องจักร (kN/m)
2 µm	40 nm	ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ครั้ง**
พรมไม่เคลือบ	พรมไม่เคลือบ	13.2 ± 0.3
0*	0*	5.7 ± 0.1
10	-	14.5 ± 0.2
20	-	11.9 ± 0.4
30	-	11.8 ± 0.2
50	-	11.0 ± 0.3
70	-	10.0 ± 0.6
-	10	12.7 ± 1.1
-	20	12.2 ± 0.8
-	30	11.7 ± 0.6
-	50	11.1 ± 0.1
-	70	11.9 ± 1.1

*เมื่อปริมาณของลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน ** ใช้ Q test ตัดสินความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.8 มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี two-factor ANOVA เพื่อวิเคราะห์ผลของปริมาณและขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมลงในสารยึดต่อค่าความทนแตกหักของพรมที่เคลือบผลแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 (ก) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี two factor ANOVA สำหรับค่าความทนแตกหักของพรมทิศทางตามแนวเครื่องจักร

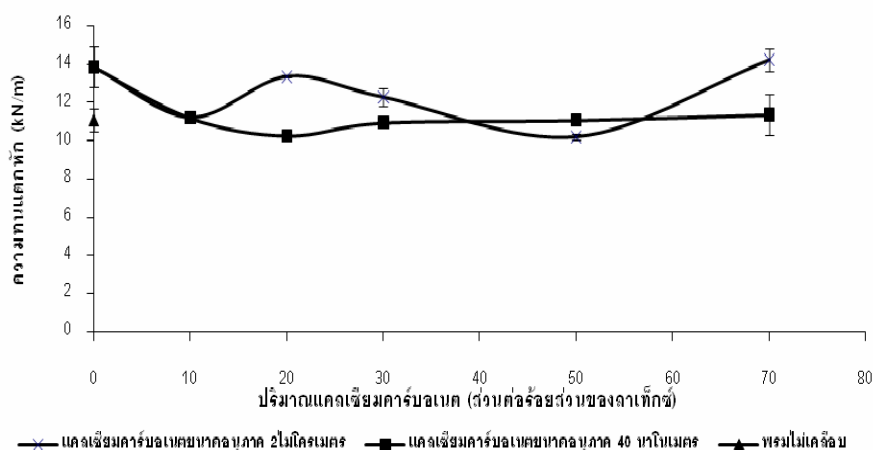
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
ปริมาณ CaCO ₃	40.24804722	5	8.049609444	21.96246495	3.06343E-08	2.620654147
ขนาดอนุภาค CaCO ₃	10.857025	1	10.857025	29.62218635	1.36113E-05	4.259677214
Interaction	22.01515833	5	4.403031667	12.01318267	6.72119E-06	2.620654147
Within	8.7964	24	0.366516667			
Total	81.91663056	35				

ตารางที่ 4.9 (ข) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี two factor ANOVA สำหรับค่าความทนแตกหักของพรมทึบทางขวางแนวเครื่องจักร

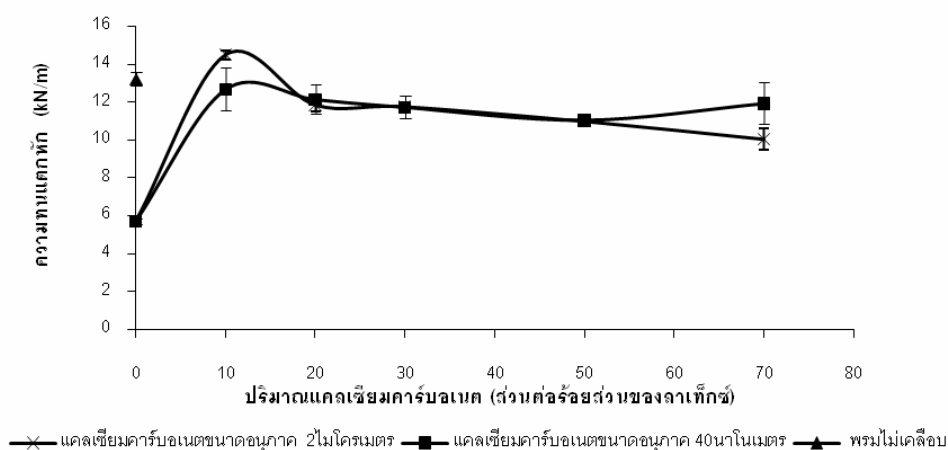
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
ปริมาณ CaCO_3	215.6505806	5	43.13011611	128.2415181	1.67679E-16	2.620654147
ขนาดอนุภาค CaCO_3	0.028336111	1	0.028336111	0.084253562	0.774107061	4.259677214
Interaction	10.36351389	5	2.072702778	6.16289903	0.00082874	2.620654147
Within	8.071666667	24	0.336319444			
Total	234.1140972	35				

จากตารางที่ 4.9 การตั้งสมมุติฐานคือ H_0 : ค่าเฉลี่ยความทนแตกหักที่ได้ ไม่แตกต่างกัน และ H_a : ค่าเฉลี่ยของความทนแตกหักที่ได้แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ และกำหนดระดับนัยสำคัญของความเชื่อมั่น (significance of confidence level) $\alpha = 0.05$ โดยการพิจารณาจากค่า P-value ของปัจจัยนั้น ๆ คือ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.05 ทำให้ปฏิเสธ H_0 (ยอมรับ H_a) แต่ถ้ามีค่ามากกว่า เป็นการยอมรับ H_0 และ H_a

เมื่อพิจารณาในส่วนของความทนแตกหักของพรมในทิศทางตามแนวเครื่องจักร พบว่าทั้งขนาดอนุภาคและปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต มีผลต่อค่าความทนแตกหักของพรมในทิศทางตามแนวเครื่องจักร แต่ในส่วนของทิศทางขวางแนวเครื่องจักร พบว่า ปัจจัยด้านปริมาณมีผลต่อความทนแตกหักของพรม แต่ปัจจัยด้านขนาดอนุภาคไม่ส่งผลต่อค่าดังกล่าว รูปที่ 4.14 แสดงผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าความทนแตกหักของพรมที่เคลือบ



รูปที่ 4.14 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอนเนตในสารเคลือบต่อค่าความทนแตกหักของพรมที่เคลือบทิศทางตามแนวเครื่องจักร



รูปที่ 4.14 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอนเนตในสารเคลือบต่อค่าความทนแตกหักของพรมที่เคลือบทิศทางขวางแนวเครื่องจักร

จากรูปที่ 4.14 ก. และ ข. พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ลงในสารเคลือบ ทำให้พรมที่เคลือบมีค่าความทนแตกหักในทิศทางตามแนวเครื่องจักรมากกว่าการเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ในปริมาณการเติมที่ 20 30 และ 70 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ และยังให้ค่ามากกว่าพรมไม่เคลือบ แต่ในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรพรมที่เคลือบด้วยสารเคลือบเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค

2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร มีค่าความทนแตกหักไม่แตกต่างกัน และยังมีค่าใกล้เคียงกับพรมไม่เคลือบด้วย สำหรับการลดลงของค่าความทนแตกหักในทิศทางตามแนวเครื่องจักรของพรมที่เคลือบด้วยสารเคลือบเติมอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ปริมาณ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ เกิดจาก พรมมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้มีค่าความทนแตกหักลดลง

การตรวจสอบค่าร้อยละการยืดในทิศทางตามแนวเครื่องจักร และขวางแนวเครื่องจักรของพรมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์กับแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งสองขนาดอนุภาคที่ปริมาณการเติม 0, 10, 20, 30, 50 และ 70 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ รวมทั้งพรมที่ไม่ถูกเคลือบ แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 (ก) ค่าร้อยละการยืดของพรมตามแนวเครื่องจักร

ปริมาณ CaCO ₃ ที่มีขนาดอนุภาค		ค่าร้อยละการยืดของพรมตามแนวเครื่องจักร (%) ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ครั้ง**
2 µm	40 nm	
พรมไม่เคลือบ	พรมไม่เคลือบ	133 ± 7
0*	0*	99 ± 11
10	-	132 ± 4
20	-	120 ± 8
30	-	126 ± 4
50	-	129 ± 2
70	-	123 ± 1
-	10	94 ± 4
-	20	96 ± 2
-	30	106 ± 1
-	50	91 ± 4
-	70	108 ± 2

*เมื่อปริมาณของลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน ** ใช้ Q test ตัดสินความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

ตารางที่ 4.10 (ข) ค่าร้อยละการยึดของพรมขวางแนวเครื่องจักร

ปริมาณ CaCO_3 ที่มีขนาดอนุภาค		ค่าร้อยละการยึดของพรมขวางแนวเครื่องจักร (%)
2 μm	40 nm	ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ครั้ง**
พรมไม่เคลือบ	พรมไม่เคลือบ	125 \pm 2
0*	0*	39 \pm 8
10	-	196 \pm 4
20	-	200 \pm 8
30	-	191 \pm 7
50	-	191 \pm 3
70	-	184 \pm 2
-	10	137 \pm 5
-	20	134 \pm 7
-	30	127 \pm 12
-	50	134 \pm 5
-	70	132 \pm 9

*เมื่อปริมาณของลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน ** ใช้ Q test ตัดสินความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.10 มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี two-factor ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 (ก) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี two-factor ANOVA สำหรับค่าร้อยละการยึดของพรมทิศทางตามแนวเครื่องจักร

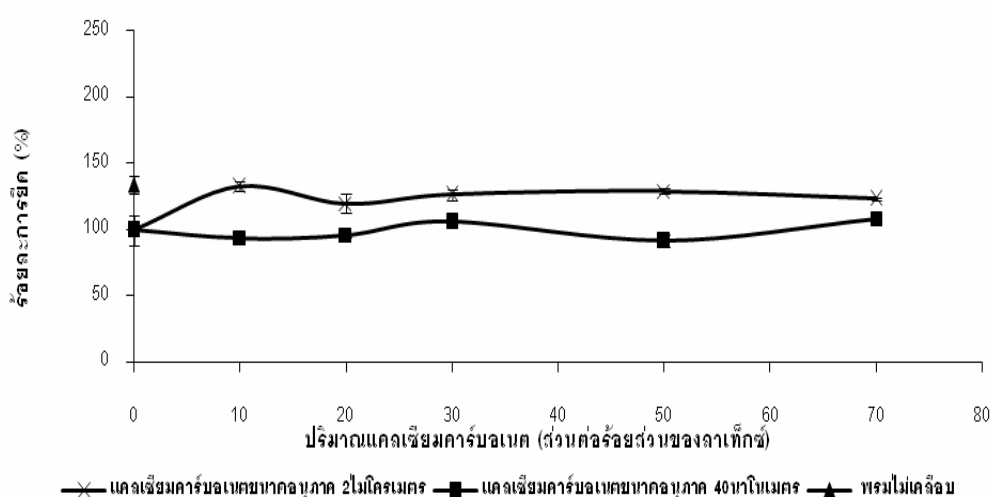
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
ปริมาณ CaCO_3	1148.220533	5	229.6441067	6.971026536	0.000377843	2.620654147
ขนาดอนุภาค CaCO_3	4576.5225	1	4576.5225	138.9239212	1.81046E-11	4.259677214
Interaction	1584.7144	5	316.94288	9.621049104	3.86801E-05	2.620654147
Within	790.6236667	24	32.94265278			
Total	8100.0811	35				

ตารางที่ 4.11 (ข) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี two-factor ANOVA สำหรับค่าร้อยละการยึดของพรมทิศทางขวางแนวเครื่องจักร

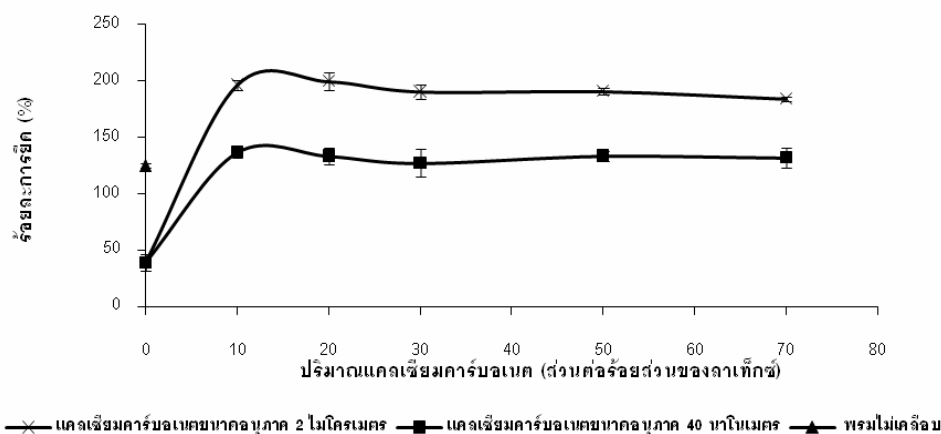
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
ปริมาณ CaCO_3	75875.48381	5	15175.09676	307.5022318	6.1685E-21	2.620654147
ขนาดอนุภาค CaCO_3	21947.92867	1	21947.92867	444.7442514	5.35958E-17	4.259677214
Interaction	4568.506681	5	913.7013361	18.51488689	1.53298E-07	2.620654147
Within	1184.3892	24	49.34955			
Total	103576.3084	35				

จากตารางที่ 4.11 การตั้งสมมุติฐานคือ H_0 : ค่าเฉลี่ยร้อยละการยึดที่ได้ ไม่แตกต่างกัน และ H_a : ค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการยึดที่ได้แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ และกำหนดระดับนัยสำคัญของความเชื่อมั่น (significance of confidence level) $\alpha = 0.05$ โดยการพิจารณาจากค่า P-value ของปัจจัยนั้น ๆ คือถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.05 ทำให้ปฏิเสธ H_0 แต่รับ H_a แต่ถ้ามีค่ามากกว่าเป็นการยอมรับ H_0

ผลการวิเคราะห์แสดงว่า ทั้งขนาดอนุภาคและปริมาณการเติมของแคลเซียมคาร์บอเนตมีผลต่อค่าร้อยละการยึดของพรมที่เคลือบทั้งในทิศทางตามแนวเครื่องจักรและขวางแนวเครื่องจักร รูปที่ 4.15 แสดงผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าร้อยละการยึดของพรมที่เคลือบ



รูปที่ 4.15 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าร้อยละการยึดของพรมที่ถูกเคลือบทิศทางตามแนวเครื่องจักร



รูปที่ 4.15 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าร้อยละการยึดของพรมที่เคลือบทิศทางขวางแนวเครื่องจักร

จากรูปที่ 4.15 ก. และ ข. พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ลงในสารเคลือบ ทำให้พรมที่เคลือบมีค่าร้อยละการยึดมากกว่าในพรมที่มีการเติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ในทั้งทิศทางตามแนวเครื่องจักรและขวางแนวเครื่องจักรของพรม แต่ในทิศทางตามแนวเครื่องจักรจะมีค่าร้อยละการยึดน้อยกว่าพรมไม่เคลือบ ในขณะที่ในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรจะมีค่าร้อยละการยึดมากกว่าพรมไม่เคลือบ ทั้งนี้ เพราะเส้นใยตามแนวเครื่องจักรมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยขวางแนวเครื่องจักร

4.4.2 ค่าแรงต้านการฉีกของพรมที่ถูกเคลือบ

การตรวจสอบค่าแรงต้านการฉีกในทิศทางตามแนวเครื่องจักร และขวางแนวเครื่องจักรของพรมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์กับแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งสองขนาดอนุภาคที่ปริมาณการเติม 0, 10, 20, 30, 50 และ 70 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ รวมทั้งพรมที่ไม่ถูกเคลือบ แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 (ก) ค่าแรงต้านการฉีกของพรมตามแนวเครื่องจักร

ปริมาณ CaCO ₃ ที่มีขนาดอนุภาค		ค่าแรงต้านการฉีกของพรมตามแนวเครื่องจักร (N) ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ครั้ง**
2 μm	40 nm	
พรมไม่เคลือบ	พรมไม่เคลือบ	181 ± 6
0*	0*	166 ± 9
10	-	194 ± 11
20	-	183 ± 14
30	-	214 ± 1
50	-	207 ± 18
70	-	186 ± 9
-	10	176 ± 7
-	20	178 ± 3
-	30	164 ± 5
-	50	185 ± 7
-	70	182 ± 3

*เมื่อปริมาณของลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน **ใช้ Q test ตัดสินผลของการทดลอง

ตารางที่ 4.12 (ข) ค่าแรงต้านการฉีกของพรมขวางแนวเครื่องจักร

ปริมาณ CaCO ₃ ที่มีขนาดอนุภาค		ค่าแรงต้านการฉีกของพรมขวางแนวเครื่องจักร (N) ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ครั้ง**
2 μm	40 nm	
พรมไม่เคลือบ	พรมไม่เคลือบ	133 ± 2
0*	0*	155 ± 9
10	-	150 ± 5
20	-	166 ± 5
30	-	151 ± 5
50	-	164 ± 4
70	-	163 ± 6
-	10	160 ± 4
-	20	155 ± 6
-	30	144 ± 4
-	50	168 ± 5
-	70	152 ± 7

*เมื่อปริมาณของลาเท็กซ์เป็น 100 ส่วน **ใช้ Q test ตัดสินผลของการทดลอง

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.12 มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี two-factor ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13(ก) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี two-factor ANOVA สำหรับค่าแรงต้านการฉีกของพรมทิศทางตามแนวเครื่องจักร

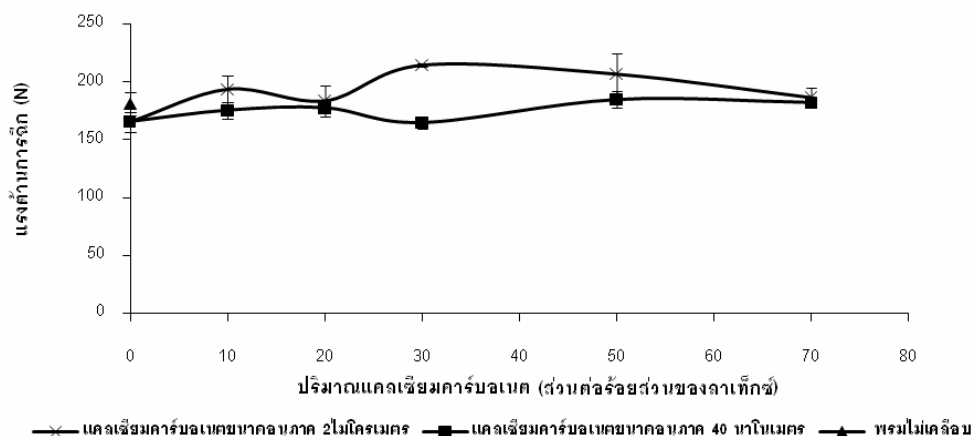
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
ปริมาณ CaCO_3	3104.138414	5	620.8276828	7.376468712	0.000259272	2.620654147
ขนาดอนุภาค CaCO_3	2459.002803	1	2459.002803	29.2170561	1.49486E-05	4.259677214
Interaction	2524.575347	5	504.9150694	5.999233467	0.000977461	2.620654147
Within	2019.918333	24	84.16326389			
Total	10107.6349	35				

ตารางที่ 4.13(ข) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี two-factor ANOVA สำหรับค่าแรงต้านการฉีกของพรมทิศทางขวางแนวเครื่องจักร

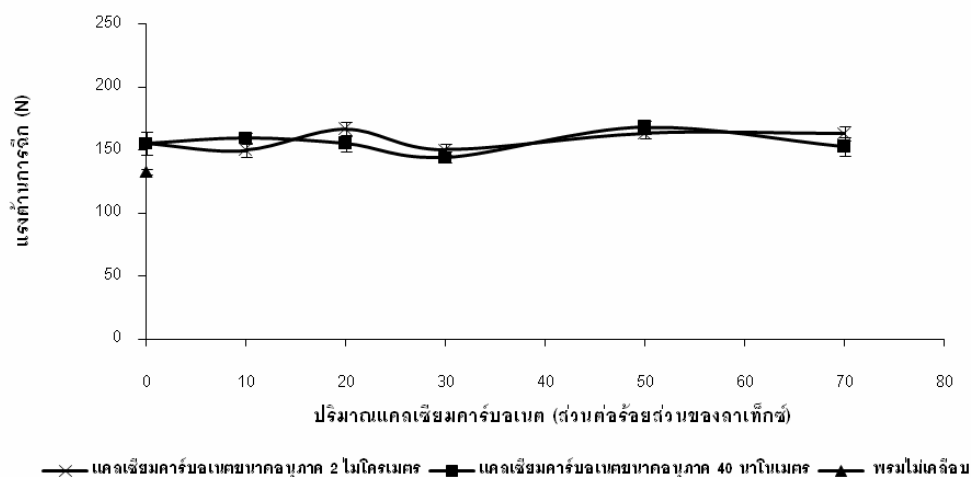
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
ปริมาณ CaCO_3	1150.968067	5	230.1936133	6.082658899	0.000898355	2.620654147
ขนาดอนุภาค CaCO_3	46.14937778	1	46.14937778	1.219455741	0.280416394	4.259677214
Interaction	565.8638556	5	113.1727711	2.990488543	0.030857708	2.620654147
Within	908.2618	24	37.84424167			
Total	2671.2431	35				

จากตารางที่ 4.13 การตั้งสมมติฐานคือ H_0 : ค่าเฉลี่ยของแรงต้านการฉีกที่ได้ไม่แตกต่างกัน และ H_a : ค่าเฉลี่ยของค่าแรงต้านการฉีกที่ได้แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ และกำหนดระดับนัยสำคัญ (significance of confidence level) $\alpha = 0.05$ โดยการพิจารณาจากค่า P-value ของปัจจัยนั้น ๆ คือ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.05 ทำให้ปฏิเสธ H_0 แต่ถ้ามีค่ามากกว่าเป็นการยอมรับ H_0

ผลการวิเคราะห์แสดงว่า ขนาดอนุภาค ปริมาณการเติมของแคลเซียมคาร์บอเนตและปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีผลต่อค่าแรงต้านการฉีกของพรมที่เคลือบในทิศทางตามแนวเครื่องจักร แต่มีปัจจัยด้านปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตเพียงปัจจัยเดียวที่มีผลในทิศทางขวางแนวเครื่องจักร ซึ่งสามารถคาดคะเนว่า นอกจากเส้นใยตามแนวเครื่องจักรมีความแข็งแรงแล้ว การเคลือบยังช่วยเสริมความแข็งแรงและทนทานต่อการฉีกขาดด้วย รูปที่ 4.16 แสดงผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารเคลือบต่อค่าแรงต้านการฉีกของพรมที่เคลือบ



รูปที่ 4.16 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอนเนตในสารเคลือบต่อค่าแรงต้านการฉีกของพรมที่เคลือบทิศทางตามแนวเครื่องจักร

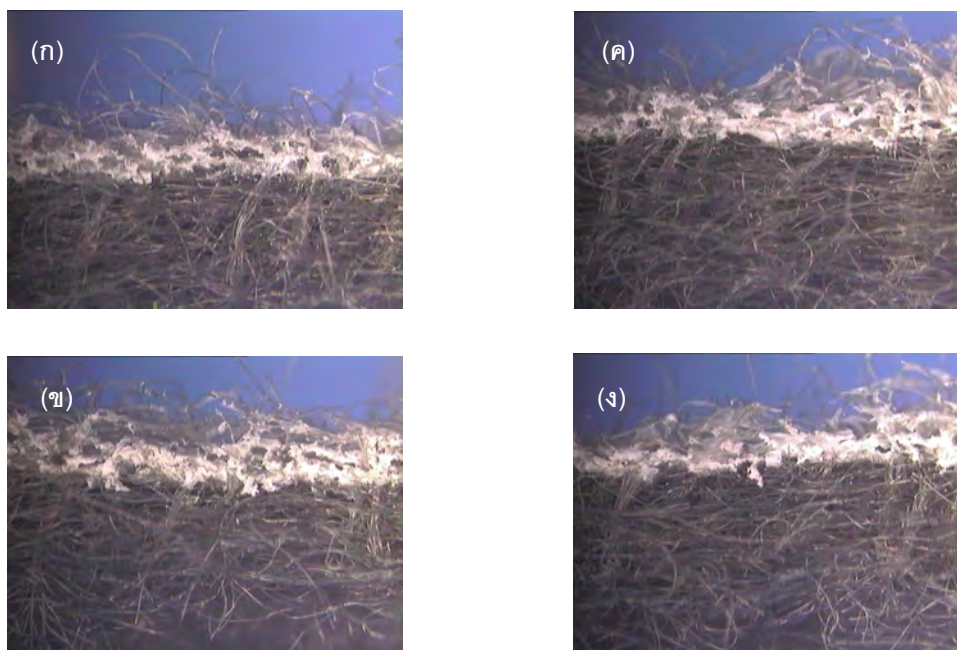


รูปที่ 4.16 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมคาร์บอนเนตในสารเคลือบต่อค่าแรงต้านการฉีกของพรมที่เคลือบทิศทางขวางแนวเครื่องจักร

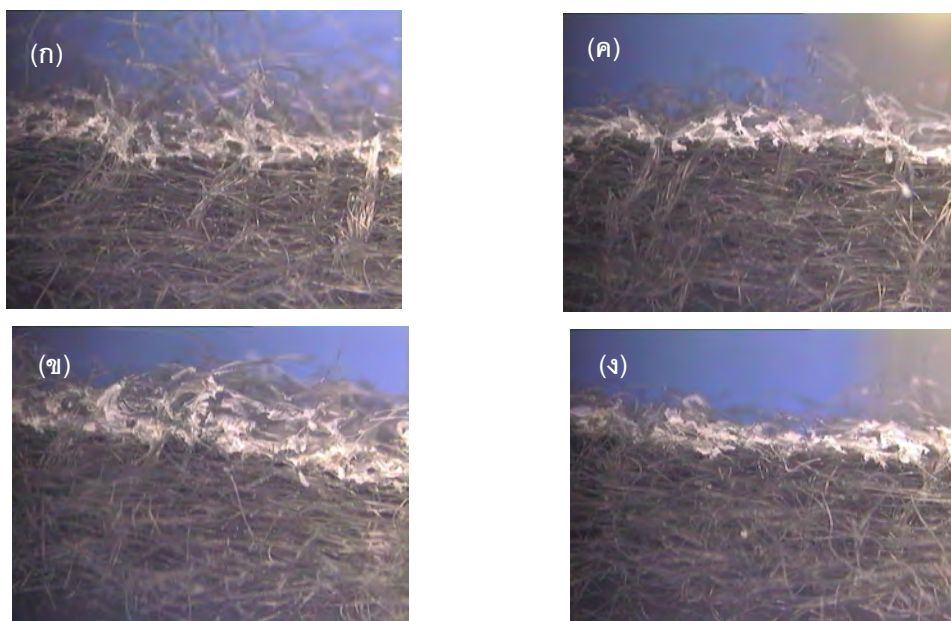
จากรูปที่ 4.16 พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ลงในสารเคลือบในปริมาณ 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ทำให้พรมที่เคลือบมีค่าแรงต้านการฉีกในทิศทางตามแนวเครื่องจักรสูงกว่าการเติมด้วยอนุภาค 40 นาโนเมตร และมีค่ามากกว่าพรมไม่เคลือบเล็กน้อย ส่วนในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรนั้น สารเคลือบเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอนเนตทั้งขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร มีผลต่อค่าแรงต้านการฉีกของพรมที่เคลือบไม่แตกต่างกัน และมีค่ามากกว่าพรมไม่เคลือบ

4.4.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์

การตรวจสอบลักษณะการซึมและการเคลือบของสารเคลือบบนพรมด้วยจุลทรรศน์ขนาดกำลังขยาย 20 เท่า ในแนวภาคตัดขวางและบนด้านที่เคลือบของพรมแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ

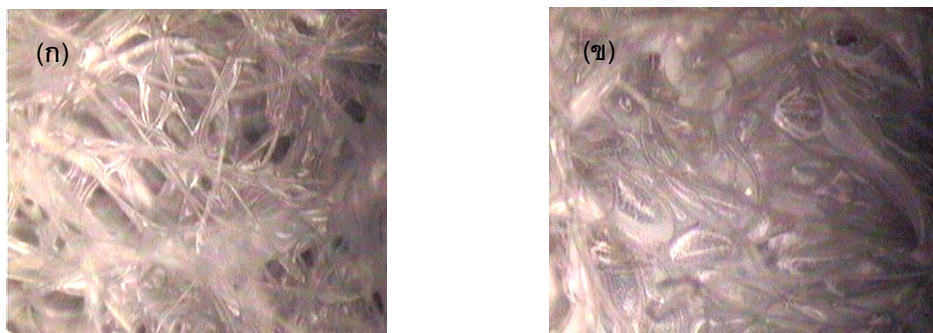


รูปที่ 4.17 (ก) ภาพแนวภาคตัดขวางของพรมในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรที่เคลือบด้วย (ก) และ (ข) ลาเท็กซ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ปริมาณ 30 และ 50 ส่วนต่อร้อย ส่วนของลาเท็กซ์ ตามลำดับ ส่วน (ค) และ (ง) ลาเท็กซ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ปริมาณ 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ตามลำดับ



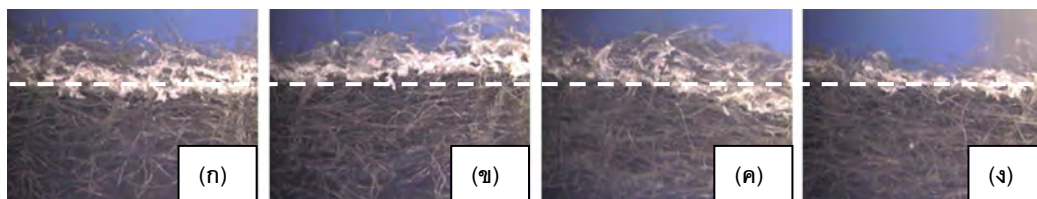
รูปที่ 4.17 (ก) ภาพแนวภาคตัดขวางของพรมในทิศทางตามแนวเครื่องจักรที่เคลือบด้วย (ก) และ (ข) ลาเท็กซ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ปริมาณ 30 และ 50 ส่วนต่อร้อย ส่วนของลาเท็กซ์ ตามลำดับ ส่วน (ค) และ (ง) ลาเท็กซ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ปริมาณ 30 และ 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.17 ก. และ ข. พบว่า มีความแตกต่างกันของลักษณะการเคลือบระหว่าง สารยัดที่ผสมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร คือ ทั้งใน ทิศทางตามแนวเครื่องจักรและขวางแนวเครื่องจักร สารยัดที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาด อนุภาค 2 ไมโครเมตร สามารถกระจายและเกาะอยู่บนเส้นใยได้สม่ำเสมอว่าสารยัดผสมด้วย อนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ที่จะรวมตัวกันอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยและเป็นชั้นบางอยู่ บริเวณผิวหน้าของพรม



รูปที่ 4.18 ภาพด้านบนของพรมด้านที่เคลือบด้วยลาเท็กซ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ปริมาณ 20 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ (ก) แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ (ข) แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร

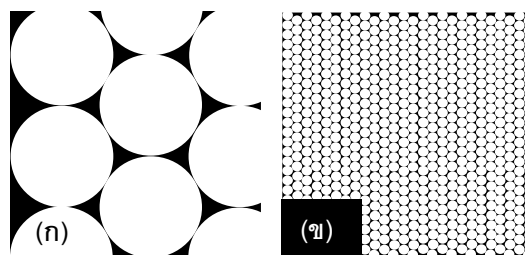
เมื่อสังเกตรูปที่ 4.18 แสดงภาพด้านบนของพรมที่ได้รับการเคลือบ พบว่า สารยึดที่ผสมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร สามารถซึมลงในแผ่นเส้นใยได้มากกว่า ในขณะที่การเติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร สารยึดจะมีการซึมที่ไม่ดี ซึ่งสังเกตได้จากที่ผิวหน้าของพรมบริเวณที่เคลือบมีลักษณะเป็นฟิล์มของสารเคลือบรวมตัวกันอยู่เป็นแผ่น รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการซึมลงในแผ่นเส้นใยตามภาคตัดขวางระหว่างสารยึดที่ผสมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร กับ แคลเซียมคาร์บอเนต 40 นาโนเมตร ที่ปริมาณการเติม 50 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ ในทิศทางตามแนวและขวางแนวเครื่องจักร ซึ่งพบว่า สารยึดเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร สามารถซึมลงในแผ่นเส้นใยได้ดีกว่าสารยึดเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร



รูปที่ 4.19 ภาคตัดขวางของการซึมของสารเคลือบเติม CaCO_3 ปริมาณ 50 ส่วนต่อร้อยละของลาเท็กซ์ (ก) ขนาด 2 ไมโครเมตร (ข) ขนาด 40 นาโนเมตร ทิศทางขวางแนวเครื่องจักร (ค) ขนาด 2 ไมโครเมตร (ง) ขนาด 40 นาโนเมตร ทิศทางตามแนวเครื่องจักร

ลักษณะการซึมที่ดีกว่าของสารเคลือบเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตรนี้ สอดคล้องกับการทดลองของ Davard และ Dupuis [15] ที่พบว่า ในการเคลือบผ้าด้วยใบมีด ของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบแรงเฉือนลดที่มีค่าคงตัวดรชนีการไหลต่ำกว่าสามารถซึมลงบนพื้นผิวได้ดีกว่า และในกรณีที่มีค่าคงตัวดรชนีการไหลเท่ากัน ของไหลที่มีค่าดรชนีการไหลสูงกว่าสามารถซึมลงบนพื้นผิวได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบจากพฤติกรรมทางวิทยากระแสของสารยัดที่ผสมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 พบว่า สารยัดทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบแรงเฉือนลด และสารยัดผสมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร มีค่าคงตัวดรชนีการไหลต่ำกว่าการผสมด้วยอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตรที่การเติมปริมาณเท่า ๆ กัน สมบัติในการซึมที่ดีกว่าของการเติมด้วยอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตรนี้ ทำให้สารยัดมีโอกาสประสานจุดเกาะเกี่ยวของเส้นใยผ้าไม่ทอได้มากกว่าสารยัดเติมด้วยอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร

แนวคิดที่สองสำหรับการอธิบายเหตุผลของการซึมที่ดีกว่าของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบปริมาตรระหว่างอนุภาคของ (ก) แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ (ข) แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร

รูปที่ 4.20 เป็นการเปรียบเทียบปริมาตรระหว่างอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากความแตกต่างระหว่างขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตรกับขนาด 40 นาโนเมตรนั้น มีความแตกต่างกันประมาณ 50 เท่า ดังรูปที่ 4.20 (ก) อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าไม่สามารถมีการเรียงตัวแบบสนิทได้เท่ากับอนุภาคขนาดเล็ก จึงทำให้มีปริมาตรระหว่างอนุภาคมากกว่า เมื่อเทียบกับอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ปริมาตรว่างระหว่างอนุภาคจึงมีมากกว่าอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ในระบบที่มีช่องไหลของพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ผสมอยู่ ปริมาตรว่างระหว่างอนุภาคจะบรรจุด้วยเนื้อลาเท็กซ์ จึงทำให้เมื่อมีการเคลือบลงบนพรมที่มีพื้นที่เท่า ๆ กัน สารเคลือบเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร จึงมีปริมาณของลาเท็กซ์ซึ่งเป็นช่องไหลอยู่ปริมาตรว่างมากกว่า ลาเท็กซ์จึงสามารถซึมลงในเส้นใยได้มากกว่าลาเท็กซ์ที่เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ซึ่งมีปริมาตรระหว่างอนุภาคน้อย

จากเหตุผลของการซึมของสารเคลือบที่แตกต่างกัน สามารถนำมาอธิบายสมบัติของพรมที่เคลือบได้ดังนี้ คือ เมื่อพิจารณาค่าความทนแตกหักของพรมไม่เคลือบ พบว่า พรมที่นำมาทดลองมีค่าความทนแตกหักในทิศทางตามแนวเครื่องจักรน้อยกว่าทิศทางขวางแนวเครื่องจักร แสดงว่า พรมถูกผลิตโดยผ่านกระบวนการจัดเรียงแผ่นเส้นใยด้วยระบบพับขวาง ทำให้เส้นใยส่วนมากจัดเรียงตัวไปตามแนวขวางเครื่องจักร โดยการจัดเรียงด้วยระบบนี้ทำให้ผ้าไม่ทอที่ได้มีค่าความทนแตกหักในทิศทางตามแนวเครื่องจักรน้อยกว่าทิศทางขวางแนวเครื่องจักร

จากผลการทดลองข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว พบว่า พรมที่เคลือบด้วยสารยึดพอลิเมอร์ลาเท็กซ์ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร มีค่าความทนแตกหักในทิศทางตามแนวเครื่องจักรสูงกว่าสารยึดผสมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร และสูงกว่าพรมไม่เคลือบ เนื่องจากการซึมที่มากกว่าทำให้สารยึดสามารถประสานจุดเกาะเกี่ยวของเส้นใยผ้าไม่ทอได้มากกว่า เกิด

บริเวณเกาะเกี่ยวที่มีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้น เมื่อถูกแรงดึงจึงสามารถเกิดแรงต้านได้มากกว่า พรมไม่เคลือบซึ่งจุดเกาะเกี่ยวยังมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ และเนื่องจากสามารถประสานจุดเกาะเกี่ยวของเส้นใยได้มากกว่า ทำให้สารยึดเติมอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร มีค่าความทนแตกหักมากกว่าการเติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร แต่ในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรนั้น การซึมที่มากกว่าของสารยึดไม่ส่งผลต่อค่าความทนแตกหัก เนื่องจากเส้นใยส่วนมากมีการจัดเรียงตัวตามแนวขวางเครื่องจักร ดังนั้น แรงต้านการดึงส่วนใหญ่ในทิศทางนี้จึงเกิดจากการดึงเส้นใยเป็นหลัก ส่งผลให้ค่าความทนแตกหักในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรของพรมที่เคลือบกับพรมไม่เคลือบมีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับค่าร้อยละการยึดนั้น สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเกี่ยวกับการซึมเช่นกัน เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการยึดในทิศทางตามแนวเครื่องจักร การเคลือบด้วยสารยึดพอลิเมอร์ผสมอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ทำให้พรมที่เคลือบมีความสามารถในการยึดตัวใกล้เคียงกับพรมไม่เคลือบ เนื่องจากการกระจายตัวที่สม่ำเสมอของสารเคลือบบนเส้นใย แตกต่างจากสารยึดที่เติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ซึ่งทำให้พรมที่เคลือบมีความสามารถในการยึดตัวลดลงเมื่อเทียบกับพรมไม่เคลือบ เนื่องจากความสามารถในการซึมลงในเส้นใยน้อย จึงเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบริเวณผิวหน้า ทำให้ความสามารถในการยึดหยุ่นของพรมที่เคลือบลดลง สำหรับความสามารถในการยึดตัวของพรมในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรนั้น สารยึดผสมอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร สามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของพรมได้ ในขณะที่ความยืดหยุ่นของพรมที่เคลือบด้วยสารยึดเติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร มีค่าใกล้เคียงกับพรมไม่เคลือบ เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากการจัดเรียงตัวของเส้นใยส่วนใหญ่เป็นไปในทิศทางขวางแนวเครื่องจักร ดังนั้น ในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรนี้ จะมีความสามารถในการยึดหยุ่นได้ต่ำ เพราะอิทธิพลส่วนใหญ่เกิดจากการดึงเส้นใยซึ่งมีความสามารถในการยึดหยุ่นน้อย แต่การซึมได้มากกว่าของสารยึดส่งผลให้จุดเกาะเกี่ยวมีความแข็งแรงขึ้นเปรียบเสมือนพอลิเมอร์ที่เกิดโครงสร้างร่างแหที่เหมาะสม ซึ่งนอกจากจะแข็งแรงแล้วยังมีความสามารถในการยึดหยุ่นที่ดีด้วย แต่สำหรับสารยึดที่มีความสามารถในการซึมไม่ดีก็เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบริเวณผิวหน้า ส่งผลให้ความสามารถในการยึดตัวของพรมไม่แตกต่างจากพรมไม่เคลือบ เนื่องจากความสามารถในการยึดตัวส่วนใหญ่ในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรนี้ได้รับอิทธิพลจากเส้นใยเป็นหลัก

ในส่วนแรงต้านการฉีกขาดของพรม เนื่องจากพรมมีการเรียงตัวของเส้นใยในแนวทิศทางขวางแนวเครื่องจักร ดังนั้น ค่าแรงต้านการฉีกขาดของพรมไม่เคลือบในทิศทางตามแนวเครื่องจักร จึงมีค่ามากกว่าในทิศทางขวางแนวเครื่องจักร ในทิศทางตามแนวเครื่องจักรพรมที่เคลือบด้วยสารยึดเติมแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร มี

ค่าแรงต้านการฉีกขาดที่ใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับพรมไม่เคลือบ แต่มีบางส่วนสำหรับพรมที่เคลือบด้วยสารยึดติดด้วยอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ที่ให้ค่าแรงต้านการฉีกขาดมากกว่าการเติมด้วยอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร อาจเป็นเพราะผลจากความแข็งแรงของจุดเกาะเกี่ยวที่มีมากกว่า เนื่องมาจากการซึมที่ต่ำกว่าแต่อย่างไรก็ตาม แรงต้านการฉีกขาดในทิศทางตามแนวเครื่องจักรนี้ จะเกิดจากอิทธิพลของเส้นใยเป็นหลัก แต่สำหรับในทิศทางขวางแนวเครื่องจักรนั้น ผลการทดลอง พบว่า การเคลือบด้วยสารยึดที่เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร สามารถเพิ่มความต้านการฉีกขาดของพรมได้เหมือนกัน ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องมาจากลักษณะทิศทางในการดึงแตกต่างกับการดึงเพื่อหาค่าความทนแตกหัก จึงทำให้ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการเกิดฟิล์มที่ผิวหน้า หรือการซึมที่ต่ำกว่า ก็สามารถส่งผลทำให้เส้นใยทนต่อแรงฉีกขาดได้เช่นกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร และ 40 นาโนเมตร ลงในสารยึดอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์มีผลต่อสมบัติทางวิทยากระแสะ กล่าวคือ การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร ทำให้สารยึดมีความยืดหยุ่นและมีค่าความเค้นเฉือนวิกฤติมากขึ้นและมากกว่าการเติมอนุภาค 40 นาโนเมตร เกิดจากผลของการเคลือบผิวด้วยสารค้ำควบไซเลนของอนุภาค 40 นาโนเมตร ซึ่งทำให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำมากขึ้นส่งผลให้อนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร มีอันตรกิริยากับเมทริกซ์ซึ่งเป็นอนุภาคลาเท็กซ์น้อยกว่าอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ซึ่งไม่ถูกเคลือบ สำหรับสมบัติทางทิกโซทรอปิกของสารยึด การเติมอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ทำให้สารยึดมีความเป็นทิกโซทรอปิกมากขึ้น และน้อยกว่าการเติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ที่ปริมาณการเติมเท่ากัน เนื่องจากปัจจัยทางปริมาตรของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมลงในอะคริลิก/สไตรีนลาเท็กซ์ถ้ามีมากทำให้สารยึดมีความเป็นทิกโซทรอปิกมาก แต่สำหรับการเติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ทำให้ความเป็นทิกโซทรอปิกสูงขึ้นและมีค่าลดลงเมื่อเติมในปริมาณมากขึ้นซึ่งเป็นผลจากสารเคลือบผิวของอนุภาค นอกจากนี้สารยึดยังแสดงสมบัติแรงเฉือนลดในทุกตัวอย่างสำหรับสมบัติของฟิล์มลาเท็กซ์ที่เติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร และ 2 ไมโครเมตร การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ปริมาณ 30 ส่วนต่อร้อยส่วนของลาเท็กซ์ สามารถปรับปรุงค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มได้ ในขณะที่อนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร ไม่สามารถปรับปรุงได้ เนื่องจากความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ในฟิล์มของอะคริลิก/สไตรีนพอลิเมอร์ดีกว่าอนุภาคขนาดไมโครเมตร แต่เมื่อนำพอลิเมอร์คอมพอสิตดังกล่าวข้างต้นเคลือบบนพรมพอลิเอสเตอร์ สารยึดผสมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร มีแนวโน้มที่ทำให้พรมที่ถูกเคลือบมีค่าความทนแตกหัก ร้อยละการยึด และค่าแรงต้านการฉีกสูงกว่าการเคลือบด้วยสารยึดผสมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร สารยึดที่ผสมด้วยอนุภาคขนาด 2 ไมโครเมตร มีความสามารถในการซึมลงบนพรมพอลิเอสเตอร์ได้ดีกว่าพอลิเมอร์ลาเท็กซ์เติมอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร เพราะวิทยากระแสะของสารยึดที่ต่างกันระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งสองขนาดซึ่งมีสารเคลือบผิวและไม่มีสารเคลือบผิว

ข้อเสนอแนะ

1. ขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตให้เพิ่มขึ้นมากกว่าขนาด 2 ไมโครเมตร
2. ใช้ลาเท็กซ์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากชนิดทางเคมีของมอนอเมอร์ สารลดแรงตึงผิว เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางวิทยากระแผลลาเท็กซ์
3. ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 40 นาโนเมตร ชนิดไม่มีสารเคลือบผิว เปรียบเทียบกับอนุภาคขนาด 40 นาโนเมตร ชนิดที่มีสารเคลือบผิว เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบผิวต่อสมบัติทางวิทยากระแผลของลาเท็กซ์คอมพอสิต
4. เปลี่ยนสารปรับความหนืดเป็นชนิดอื่น ๆ เช่น สารปรับความหนืดชนิดพอลิยูรีเทน สารปรับความหนืดชนิดเซลลูโลส เพราะสารปรับความหนืดมีผลต่อสมบัติทางวิทยากระแผลของลาเท็กซ์คอมพอสิต

รายการอ้างอิง

- [1] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. *อุตสาหกรรมสิ่งทอไทย*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544
- [2] G. Odian. *Principles of polymerization*. 4th ed. New York: Wiley-Interscience, 2004.
- [3] D. Robert. *Emulsion polymer technology*. New York: Marcel Dekker, Inc, 1991.
- [4] W. Albrechet. *Nonwoven fabrics*. Weinheim: Wiley-VCH, 2003.
- [5] H. Warson. *The applications of synthetic resin emulsion*. London: Ernest Benn Limited, 1972.
- [6] S.J. Russell. *Handbook of nonwoven*. New York: Woodhead Publishing, 2007.
- [7] I.S. Miles, S. Rostami. *Multicomponent polymer systems*. New York: Longman Scientific & Technical, 1992.
- [8] L. Rosen. *Fundamental principles of polymeric materials*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1993.
- [9] S. Kwon, K.J. Kim, H. Kim. Tensile property and interfacial dewetting in the calcite filled HDPE, LDPE, and LLDPE composites. *Polymer* 43(2002): 6901-6909.
- [10] F. Jin and S. Park. Thermo-mechanical behaviors of butadiene rubber reinforced with nano-sized calcium carbonate. *Materials Science and Engineeri: A* 478(2008): 406-408.
- [11] L. Jiang, Y.C. Lam. Strengthening acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) with nano-sized and micron-sized calcium carbonate. *Polymer* 46(2005): 243-252.
- [12] H.H. Cai, S.D. Li. Reinforcement of natural latex film by ultrafine calcium carbonate. *Journal Applied Polymer Science* 87(2003): 982-985.
- [13] S. Manroshan and A. Baharin. Effect of nanosized calcium carbonate on the mechanical properties of latex films. *Journal Applied Polymer Science* 96(2005): 1550-1556.
- [14] C.M. Deng, M. Chen. CaCO₃/Natural rubber latex nanometer composite and its properties. *Journal Applied Polymer Science* 101(2006): 3442-3447.
- [15] Y. Wang, M.J. Yu. Effect of volume loading and surface treatment on the thixotropic behavior of polypropylene filled with calcium carbonate. *Polymer Composites* 21(2000): 1-12.

- [16] F. Davard and D. Dupuis. Blade coating of fabrics: rheology and fluid penetration. *Color Technol* 118(2002): 69-73.
- [17] M. Gilbert. Characterization of coated particulate fillers. *J. Material science* 36 (2000): 391-397.
- [18] H.S. Mansur. Improvement of viral recombinant protein-based immune assays using nanostructured hybrids as solid support. *J. Mater Sci: Mater Mad* 20(2009): 513-519.
- [19] J. Gu, Q Xiong. Effect of unsaturated hydroxyl-fatty acid modified nano-CaCO₃ on the morphological and rheological behavior of PP. *Front. Chem. China* 4(2009): 75–82.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนิติพงษ์ อมตพิทักษ์สกุล เกิดเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2523 กรุงเทพฯ สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ (ภาคนอกเวลาราชการ) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549 ในขณะที่ศึกษาต่อนี้ได้ทำงานอยู่ที่ บริษัทสยามเคมี คอล อินดัสตรี จำกัด ในตำแหน่งนักเคมี แผนก Industrial Resin & Emulsion งานวิจัยนี้ได้เสนอ ในงานประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษา สาขาโพลีเมอร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 21-22 พฤษภาคม 2552 ณ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร