

การเตรียมฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมสีได้



นางสาววลัยกร นิตยพัฒน์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6003-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF DYEABLE ORGANOCCLAY/POLYPROPYLENE
NANOCOMPOSITE FILM



Miss Walaikorn Nitayaphat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6003-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน ที่ย้อมสีได้
โดย	นางสาววลัยกร นิตยพัฒน์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีภูถักกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีภูถักกิจ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงดาว อัจจงค์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช)

วัลย์กร นิตยพัฒน์ : การเตรียมฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมสี
ได้. (PREPARATION OF DYEABLE ORGANOCLAY/POLYPROPYLENE
NANOCOMPOSITE FILM) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีภูถักิจ, 84 หน้า
ISBN 974-17-6003-5

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมพอลิพรอพิลีนที่สามารถย้อมสีได้โดยอาศัยหลักการ
ของนาโนเทคโนโลยี โดยมอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งเป็นแร่กลุ่มอะลูมิเนียมซิลิเกตถูกนำมาดัดแปรด้วย
สารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมเพื่อให้มีสมบัติที่เข้ากันได้กับสารอินทรีย์ จากนั้นนำ
ออร์กาโนเคลย์ไปเคลือบบนผิวของพอลิพรอพิลีนก่อนนำไปทำการผสมในเครื่องอัดรีดเกลียวคู่
เพื่อให้ได้นาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน แล้วนำไปขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องอัดแม่
แบบ แล้วทำการศึกษาค้นหาความสามารถในการติดสีย้อม วิเคราะห์โครงสร้างของมอนต์มอริลโล-
ไนต์ภายในนาโนคอมโพสิต ทดสอบสมบัติเชิงกลสมบัติทางความร้อน

ผลการศึกษาศมบัติการติดสีย้อมพบ ฟิล์มนาโนคอมโพสิตสามารถย้อมติดสีได้ทั้งสีแอสซิด
(สีประจุลบ) และสีเบสิก (สีประจุบวก) เนื่องจากการมีตำแหน่งที่สามารถย้อมสีได้จากประจุบวก
ของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมและประจุลบจากอนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ตามลำดับ
ความเข้มของสีพบว่า ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมและ
มอนต์มอริลโลไนต์ที่ถูกดัดแปร สมบัติความคงทนของสี เช่น ความคงทนของสีต่อการซักและ
ความคงทนของสีต่อแสงเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับที่พบในเส้นใยทั่วไป และการทดสอบ
สมบัติอื่นๆ เช่น สมบัติเชิงกลและเสถียรภาพทางความร้อน ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าพอลิพรอพิลีน
สามารถทำให้มีความสามารถย้อมสีได้โดยการเตรียมในรูปแบบนาโนคอมโพสิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2547

4572607423 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORD: dyeable polypropylene/ nanocomposite/ organoclay/ acid dyes/ basic dyes

WALAIKORN NITAYAPHAT : PREPARATION OF DYEABLE ORGANOCCLAY/POLYPROPYLENE NANOCOMPOSITE FILM. THESIS ADVISOR : Assoc. Prof. KAWEE SRIKULKIT (Ph.D), 84 pp. ISBN 974-17-6003-5.

This research aimed to prepare the dyeable polypropylene based on the fundamental of nanotechnology. Firstly, montmorillonite, the layered aluminosilicate clay; was modified with the quaternary ammonium compound to render its organophilic property. The obtained organoclay was coated onto the surface of polypropylene before mixing in the twin screw extruder to achieve the organoclay/polypropylene nanocomposite. The nanocomposite film was then prepared using compression moulding machine for further investigations including dyeability, structural analysis, mechanical and thermal properties.

The results of dyeing properties showed that the nanocomposite film was dyeable with both acid dyes (anionic dyes) and basic dyes (cationic dyes) due to the presence of dye sites, quaternary ammonium cation and anionic charge of montmorillonite particle, respectively. The color strength was found to be dependent on the amounts of quaternary ammonium compound as well as montmorillonite applied. The fastness properties such as wash fastness and light fastness were in similar fashion as found in the traditional fibers. Other properties such as mechanical and heat stability were also reported. These finding led to the conclusion that polypropylene could exhibit the marked dyeability through the preparation of nanocomposite form.

Department Materials Science

Student's signature.....

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology

Advisor's signature.....

Academic 2004

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นั้น เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทาง
ด้านวิชาการ การเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และวัสดุสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับ
การช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีภูถกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ที่ให้คำปรึกษา และการแก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงดาว อัจจงค์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ และแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์
ฉบับสมบูรณ์

นอกจากนี้ขอขอบคุณ บริษัท HMC Polymers Co.,Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติก
ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่อง
มือและสถานที่ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และมิตรสหายทุกท่านที่ให้การ
สนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ผู้ประสิทธิ์
ประสาทวิชาทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาการ จนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผล
สำเร็จตามที่มุ่งหวังไว้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ

บทที่

1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 พอลิพรอพิลีน.....	3
2.1.1 บทนำ.....	3
2.1.2 การสังเคราะห์พอลิพรอพิลีน.....	3
2.1.3 สมบัติทางกายภาพ.....	4
2.1.4 สมบัติทางเคมี.....	5
2.1.5 การใช้ประโยชน์และการดูแลรักษา.....	5
2.2 แร่ดินเหนียว.....	6
2.2.1 แร่มอนต์มอริลโลไนต์.....	9
2.2.2 การตัดแปรแร่มอนต์มอริลโลไนต์.....	10
2.2.3 ประโยชน์ของแร่มอนต์มอริลโลไนต์.....	12
2.3 วัสดุนาโนคอมโพสิต.....	12
2.3.1 คอมโพสิตทั่วไป.....	13
2.3.2 นาโนคอมโพสิตแบบแทรกสอด.....	13
2.3.3 นาโนคอมโพสิตแบบแยกจากกัน.....	13
2.4 สารทำให้นุ่ม.....	14
2.4.1 สารทำให้นุ่มประจุบวก.....	14
2.4.2 สารทำให้นุ่มประจุลบ.....	15
2.4.3 สารทำให้นุ่มไม่มีประจุ.....	16
2.4.4 สารทำให้นุ่มอิมัลชัน.....	16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.5 หลักการเชื่อมสี่สิ่งทอ.....	16
2.5.1 สี่เชื่อม.....	17
2.5.2 สี่แอซิด.....	18
2.5.3 สี่เบสิก.....	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมพอลิพรอพิลีน.....	22
3 การทดลอง.....	26
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	26
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.3 วิธีการทดลอง.....	29
3.3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำการทดลอง.....	28
3.3.2 การเตรียมออร์กาโนเคลย์.....	30
3.3.3 การเคลือบออร์กาโนเคลย์ลงบนผิวของเม็ดพลาสติก พอลิพรอพิลีน.....	31
3.3.4 การเตรียมนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	32
3.3.5 การขึ้นรูปฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	33
3.3.6 การเชื่อมสี่ฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	34
3.4 การทดสอบ.....	35
3.4.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ ภายในฟิล์มนาโนคอมโพสิต.....	35
3.4.2 การทดสอบหาค่าความสามารถในการติดสี่ของฟิล์ม นาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	38
3.4.3 การทดสอบความคงทนของสี่ต่อการซัก.....	39
3.4.4 การทดสอบความคงทนของสี่ต่อแสง.....	41
3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	42
3.4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	43
3.4.6.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC.....	43
3.4.6.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA.....	44

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	46
4.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่าง ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	46
4.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเคลย์ภายใน นาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคเอกซเรย์ ดิฟแฟรกชัน.....	47
4.3 การทดสอบฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	49
4.3.1 การทดสอบความสามารถในการติดสีของ ฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	49
4.3.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก.....	55
4.3.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง.....	58
4.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	61
4.3.5 การทดสอบสมบัติความคงทนของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนต่อความร้อน.....	65
4.3.6.1 ดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง คาลอริมิเตอร์.....	66
4.3.6.2 เทอร์โมกราวิเมตริก อะนาลิซิส.....	67
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก.....	75
ภาคผนวก ข.....	78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	84

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	การจัดเรียงตัวของ โมเลกุลพอลิพรอพิลีนที่มีโครงสร้างแบบ isotactic.....	4
รูปที่ 2.2	ก) หน่วยแผ่นซิลิการูปสี่เหลี่ยม (Silica Tetrahedron)	
	ข) สัญลักษณ์เทียบเท่า.....	6
รูปที่ 2.3	ก) หน่วยแผ่นอะลูมินารูปแปดเหลี่ยม (Alumina Octahedron)	
	ข) สัญลักษณ์เทียบเท่า.....	7
รูปที่ 2.4	แรมอนต์มอริลโลไนต์.....	8
รูปที่ 2.5	แร่กาลีนไนต์.....	8
รูปที่ 2.6	แร่อีลไลต์.....	9
รูปที่ 2.7	โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์.....	10
รูปที่ 2.8	แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ที่ยึดแผ่นโครงสร้างของเคลย์.....	11
รูปที่ 2.9	ประจุบวกที่ผิวของเคลย์.....	11
รูปที่ 2.10	ชนิดของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต.....	14
รูปที่ 2.11	ไคเมทิล ไคสเตียริล ควอเทอร์นารี แอมโมเนียม.....	15
รูปที่ 2.12	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต.....	15
รูปที่ 2.13	กลไกการดูดซึมสีของ level-dyeing.....	19
รูปที่ 2.14	พันธะระหว่างสีแอดซิดกับเส้นใย.....	19
รูปที่ 2.15	ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีเบสิก.....	21
รูปที่ 2.16	การยึดเกาะของสีเบสิกกับเส้นใย.....	22
รูปที่ 3.1	สูตรโครงสร้างทางเคมีของเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม.....	27
รูปที่ 3.2	เครื่องอัดรีดเกลียวคู่.....	32
รูปที่ 3.3	เครื่องอัดแม่แบบ.....	34
รูปที่ 3.4	แผนภูมิขั้นตอนการเชื่อม.....	34
รูปที่ 3.5	เครื่องเชื่อม.....	35
รูปที่ 3.6	อธิบายสมการแบรกก์ที่ใช้ในเทคนิค XRD.....	36
รูปที่ 3.7	แผนภาพหลักการการทำงานของเครื่อง XRD โดยสังเขป.....	37
รูปที่ 3.8	เครื่องทดสอบ X-ray diffraction.....	38
รูปที่ 3.9	เครื่องวัดสี.....	39
รูปที่ 3.10	ตัววัดสี.....	41
รูปที่ 3.11	เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสง.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.12	เครื่องทดสอบความทนแรงดึง.....	43
รูปที่ 3.13	เครื่องดีฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง คาลอริมิเตอร์.....	44
รูปที่ 3.14	เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก อะนาไลซิส.....	45
รูปที่ 4.1	เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มพอลิพรอพิลีนและฟิล์มนาโนคอมโพสิต ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	47
รูปที่ 4.2	แพทเทิร์นฟีกของการสะท้อนของ (ก) มอนต์มอริลโลไนต์ (ข) นาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน (ค) พอลิพรอพิลีน.....	48
รูปที่ 4.3	ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีแดง C.I. Acid Red 131.....	52
รูปที่ 4.4	ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีดำ C.I. Acid Black 1.....	52
รูปที่ 4.5	ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมด้วยสีเบสิกสีเหลือง C.I. Basic Yellow 28.....	53
รูปที่ 4.6	ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมด้วยสีเบสิกสีแดง C.I. Basic Red 46.....	53
รูปที่ 4.7	ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมด้วยสีเบสิกสีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41.....	54
รูปที่ 4.8	ความเค้นสูงสุดของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	63
รูปที่ 4.9	ยังสัมมอดูลัสของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	63
รูปที่ 4.10	ความเครียด ณ จุดขาดของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	64
รูปที่ 4.11	ผลของมอนต์มอริลโลไนต์และสารทำให้นิ่มต่ออุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน ของนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	66
รูปที่ 4.12	ผลของมอนต์มอริลโลไนต์ต่ออุณหภูมิการสลายตัวของนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	68

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	สีข้อมที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
ตารางที่ 3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
ตารางที่ 3.3	อัตราส่วนการผสมระหว่างมอนต์มอริลโลไนต์และสารทำให้นุ่ม.....	31
ตารางที่ 3.4	ภาวะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวคู่.....	33
ตารางที่ 4.1	ความสามารถในการติดสีข้อมของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน : ผลของออร์กาโนเคลย์ ที่มีอัตราส่วนของมอนต์มอริลโรไนต์/สารทำให้นุ่มต่างๆ.....	51
ตารางที่ 4.2	ระดับความคงทนของสีต่อการซักของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ข้อมด้วยสีแอสิดและสีเบสิก เทียบกับเกรย์สเกลสำหรับสีเปลี่ยน.....	56
ตารางที่ 4.3	ระดับความคงทนของสีต่อการซักของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ข้อมด้วยสีแอสิดและสีเบสิก เทียบกับเกรย์สเกลสำหรับสีเปื้อนติด.....	57
ตารางที่ 4.4	ระดับความคงทนของสีต่อแสงของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ข้อมด้วยสีแอสิดและสีเบสิก เทียบกับผ้าขนสัตว์มาตรฐานสีน้ำเงิน.....	59
ตารางที่ 4.5	สมบัติแรงดึงของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่าง ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน.....	62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกที่มีความแข็งแรง ทนทานการขีดถู ทนต่อสารเคมี เป็นพลาสติกที่ไม่มีปัญหาด้านไฟฟ้าสถิตย์ และข้อดีหลักอีกข้อหนึ่งของพอลิพรอพิลีนที่เหนือกว่าไนลอนและพอลิเอสเตอร์คือ ราคาถูก แต่จุดอ่อนของพอลิพรอพิลีน คือ การรับสีย้อมได้ยากเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูง ไม่มีขั้ว และเสียบรูปได้ง่ายเมื่อร้อน เช่น เมื่อสัมผัสเตารีด

พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่สามารถดูดซับสีย้อมเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูง การเตรียมพอลิพรอพิลีนที่สามารถย้อมสีได้ยังคงเป็นความท้าทายสำหรับนักพอลิเมอร์และนักเคมีทั้งหลายมาเป็นเวลาหลายทศวรรษ จากงานวิจัยในอดีตได้มีความพยายามในการพัฒนาเทคนิคต่างๆ ที่ช่วยทำให้พอลิพรอพิลีนติดสีย้อมได้ เช่น การผสมพอลิเมอร์อื่นเข้ากับพอลิพรอพิลีน การสังเคราะห์พอลิพรอพิลีนในรูปโคพอลิเมอร์ การปรับสภาพผิวด้วยเทคนิคพลาสมาและการทำกราฟท์พอลิเมอร์ไรเซชันที่ผิวพอลิพรอพิลีนด้วยพอลิเมอร์ที่ติดสีได้ การตัดแปรรโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนและการพัฒนาที่โมเลกุลสีย้อม ซึ่งวิธีการดังกล่าวก็ยังไม่ประสบความสำเร็จในการนำมาประยุกต์ในอุตสาหกรรม

ปัจจุบันแรมอนต์มอริลโลไนต์ กำลังได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้เสริมแรงพลาสติก ทำให้สมบัติของพลาสติกเสริมแรงดีขึ้น เช่น สมบัติการทนความร้อน สมบัติความแข็งแรง เป็นต้น แรมอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่กลุ่ม aluminosilicates เช่น smectite, illite, kaolinite, chlorite และ sepolite แรมอนต์มอริลโลไนต์มีโครงสร้างพิเศษแตกต่างจากแร่อื่นๆ คือ จะมีโครงสร้างเป็นชั้นๆ ซ้อนกัน คือ ชั้นของแผ่นอะลูมินาและชั้นของแผ่นซิลิกา ซึ่งซ้อนทับกันคล้ายแซนวิชโดยชั้นที่อยู่ตรงกลางจะเป็นชั้นของอะลูมินาและประกบบนและล่างด้วยชั้นซิลิกา เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า 2:1 phyllosilicate ซึ่งแต่ละชั้นจะมีความบางมาก และมีความหนาประมาณ 1 นาโนเมตร แต่มีความยาวประมาณ 1000 เท่า ทำให้มีค่า aspect ratio สูงเหมาะสมอย่างมากที่จะนำไปใช้เสริมแรงวัสดุพอลิเมอร์ ช่องว่างระหว่างชั้น เรียกว่า แกลเลอรี (gallery) พื้นผิวของชั้น aluminosilicates จะมีประจุเป็นลบ แต่ชั้นเหล่านี้สามารถยึดเกาะกันได้ด้วยประจุบวก เช่น โซเดียมไอออน และแคลเซียมไอออน ประจุบวกเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนกับเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (สารประกอบอินทรีย์) ทำให้ได้แรมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่เรียกว่า ออร์กาโนคลย์ (organoclay)

โครงสร้างของออร์กาโนเคลย์แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ intercalated clay ซึ่งเกิดจากการสอดแทรกของควอเตอร์นารีแอมโมเนียมทำให้ช่องแกลเลอริชขยายออก หรือ exfoliated clay ซึ่งเกิดการแยกของชั้น aluminosilicates ออกจากกันอย่างชัดเจนทำให้ได้อนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ขนาดเล็กลงไประดับนาโนเมตรจนเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ ด้วยสมบัติพิเศษนี้จึงได้มีผู้นำออร์กาโนเคลย์ไปผสมกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เช่น พอลิยูรีเทน ไนลอน พอลิพรอพิลีน เป็นต้น ได้เป็นนาโนคอมโพสิตที่เสริมแรงในระดับโมเลกุลทำให้คอมโพสิตที่ได้มีสมบัติดีขึ้น

นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถผลิตพอลิพรอพิลีนที่สามารถเชื่อมติดกันได้โดยการประยุกต์นาโนเทคโนโลยีมาใช้ อนุภาคของออร์กาโนเคลย์ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์มาจากมอนต์มอริลโลไนต์และส่วนที่เป็นสารอินทรีย์มาจากควอเตอร์นารีแอมโมเนียม เมื่อนำไปผสมกับพอลิพรอพิลีนจะทำให้ออร์กาโนเคลย์เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อพอลิพรอพิลีนในขณะที่ทำการหลอมเหลวเข้าด้วยกัน ประจุบวกของจากควอเตอร์นารีแอมโมเนียมมีความสามารถในการดูดซับสีแอสิดได้ดีเนื่องจากเป็นสีที่มีประจุลบ ในขณะที่เดียวกันประจุลบบนผิวเคลย์ก็จะสามารถดูดซับสีเบสิกซึ่งเป็นสีที่มีประจุบวกได้ดี ดังนั้นจึงคาดว่านาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนสามารถนำไปย้อมสีทั้งสองชนิดได้

ในงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์หลักการของนาโนเทคโนโลยีเพื่อเตรียมนาโนคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแรมมอนต์มอริลโลไนต์ มอนต์มอริลโลไนต์เป็นเคลย์ที่มีโครงสร้างพิเศษที่สามารถเกิดการสอดแทรกสารอินทรีย์ชนิดประจุบวกเข้าไปในช่องแกลเลอริชของเคลย์ทำให้ได้เป็นออร์กาโนเคลย์ซึ่งช่วยทำให้เคลย์เข้ากับพลาสติกได้ดี ออร์กาโนเคลย์ที่เตรียมได้จะถูกนำไปผสมกับพอลิพรอพิลีนโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์ทำให้ได้นาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน โดยคาดว่าออร์กาโนเคลย์จะกลายเป็นนาโนเคลย์กระจายอยู่ในเนื้อพอลิพรอพิลีนอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นจึงนำนาโนคอมโพสิตที่เตรียมได้ขึ้นรูปให้เป็นฟิล์มโดยอาศัยเครื่องอัดแม่แบบ แล้วนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบสมบัติการติดสีย้อม ซึ่งจะทำการย้อมด้วยสีแอสิด (เข้าไปจับกับสารอินทรีย์ประจุบวก) และสีเบสิก (เข้าไปจับกับเคลย์) และทดสอบสมบัติทางความร้อนของนาโนคอมโพสิต และสมบัติทางกายภาพต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) [1,2]

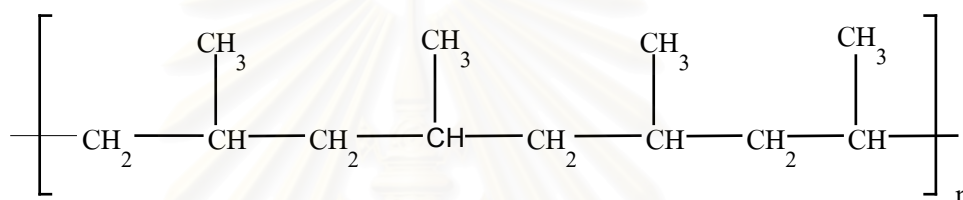
2.1.1 บทนำ

พัฒนาการของการสังเคราะห์พอลิพรอพิลีนได้เริ่มมาตั้งแต่ในช่วงปี พ.ศ. 2473 เป็นต้นมา จากการค้นพบการเกิดพอลิเมอร์ของเอทิลีนโดยศาสตราจารย์ คาร์ล ซีเกลอร์ (Prof. Karl Ziegler) ชาวเยอรมัน ภายใต้เทคนิคของการใช้ความดันต่ำ และได้พอลิเอทิลีนที่มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น แต่ยังไม่พอต่อการใช้งานในเครื่องนึ่งห่ม ต่อมาศาสตราจารย์กิลลิโอ แนตตา (Prof. Giulio Natta) ชาวอิตาลีได้ประสบความสำเร็จในการศึกษาการสังเคราะห์พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเหมาะกับการใช้งานในสิ่งทอได้ ศาสตราจารย์ทั้งสองท่านได้รับรางวัลโนเบลร่วมกันในปี พ.ศ. 2506 ในการอธิบายการเกิดพอลิเมอร์ของพอลิพรอพิลีน อีกทั้งยังได้จดลิขสิทธิ์ในการผลิตเส้นใยขึ้น แม้ในระยะแรกมีสมบัติที่จำกัด ทำให้ไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับของผู้ใช้ก็ตาม แต่ด้วยการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้เส้นใยที่ได้มีความแข็งแรง ทนทานต่อการขัดถู ทนต่อสารเคมี ราคาถูก และยังเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ไม่มีปัญหาด้านไฟฟ้าสถิตย์ด้วย

2.1.2 การสังเคราะห์พอลิพรอพิลีน

การสังเคราะห์พอลิพรอพิลีน โดยนำมอนอเมอร์ซึ่งได้มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมด้วยวิธีการกลั่นลำดับส่วน การเกิดพอลิเมอร์ของแก๊สพโรพิลีน จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เรียกว่า “ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-แนตตา” ซึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่างทิตานเนียมไตรคลอไรด์ในแนฟทา ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจากพโรพิลีนจะผ่านการกวนเพื่อให้ปล่อยตัวเร่งปฏิกิริยาออกมา จากนั้นทำการกรองให้สะอาดและได้ออกมาเป็นผงเรซิน ในระหว่างนี้อาจมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อให้เรซินที่ได้อยู่ตัวไม่เสื่อมสภาพเนื่องจากแสงและความร้อนเร็วจนเกินไป แล้วจึงนำเรซินเข้ากระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวผ่านหัวรีดได้เส้นใยออกมา เส้นใยยาวเข้าสู่กระบวนการยืดดึงให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีความเป็นระเบียบและเกิดผลึกเพิ่มขึ้น ลักษณะของเส้นใยที่พบมีหลายรูปแบบทั้งขนาดและรูปร่าง ความมัน สมบัติเฉพาะด้าน ซึ่งขึ้นกับการใช้งานที่ต้องการ

ในกระบวนการผลิตพอลิพรอพิลีนที่กล่าวมาเป็นผลจากการค้นคว้าวิจัย จากการค้นพบของศาสตราจารย์เนตตา ที่พบโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนมีลักษณะสามมิติที่มีแกนกลาง คือ อะตอมของคาร์บอนติดด้วยกลุ่มของเมทิล ลักษณะดังกล่าวหากสามารถควบคุมให้กลุ่มของเมทิลที่ยื่นออกมาจัดเรียงอยู่ข้างเดียวกับของสายโซ่โมเลกุลหลักได้หมด (isotactic) ก็จะทำให้โครงสร้างโมเลกุลเกาะติดกันแน่นและเกิดผลึกได้ ผลที่ตามมาคือ ความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่เป็นพอลิพรอพิลีนในรูปผลึกน้ำหนักโมเลกุลสูง และด้วยความที่ไม่มีกลุ่มที่เป็นขั้วในโครงสร้างที่เกาะกันด้วยผลึกทำให้การย้อมสีของพอลิพรอพิลีนมีปัญหา ต้องใช้วิธีการเติมผงสีลงในเม็ดพลาสติกโดยตรง หรือที่เรียกว่า solution dyeing ซึ่งไม่สามารถกำหนดหรือเลือกสีได้ตามต้องการเหมือนกับเทคนิคการย้อมหรือการพิมพ์ผ้า



รูปที่ 2.1 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลพอลิพรอพิลีนที่มีโครงสร้างแบบ isotactic [3]

2.1.3 สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก เมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์ มีลักษณะเป็นเส้นใยพื้นที่หน้าตัดกลมและเป็นแท่งยาวใส มีความมันหลายระดับตั้งแต่ทึบ กึ่งทึบ สว่าง และพบทั้งชนิดของเส้นใยยาวและเส้นใยสั้น

ความแข็งแรง เส้นใยพอลิพรอพิลีนมีความแข็งแรงดีมาก โดยขึ้นกับระดับขั้นของการเกิดพอลิเมอร์ หรือน้ำหนักโมเลกุล หากนำไปใช้งานทำเป็นเชือกจะมีความแข็งแรงประมาณ 9.0 กรัม/เดเนียร์ เส้นใยมีการทนต่อแรงขจัดได้ดี

สภาพยืดหยุ่น ค่อนข้างดี ใกล้เคียงกับไนลอน และถ้าได้รับแรงยืดคงที่เป็นเวลานานติดต่อกันจะเกิดผลอันเนื่องมาจากเวลาที่รับแรงทำให้เกิดการยืดตัวถาวรขึ้น

การคืนตัวจากแรงอัด เป็นสมบัติที่เด่นประการหนึ่งของพอลิพรอพิลีน ทำให้เหมาะกับการทำเป็นพรม

ความสามารถในการดูดซึมความชื้น ต่ำมากจนแทบจัดได้ว่าไม่ดูดซึมความชื้นเลย ทำให้เป็นจุดอ่อนในการใช้งานด้านเครื่องนุ่งห่ม แต่ก็ยังเป็นข้อดีในการทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่กันน้ำ ทำความสะอาดง่ายจากคราบต่างๆ

ความร้อน พอลิพรอพิลีนมีความอ่อนไหวต่อความร้อนสูงเป็นจุดอ่อนที่จำกัดการใช้งานด้านเครื่องนุ่งห่ม ต้องระวังในการใช้งาน การดูแลรักษาในภาวะที่อาจเกิดการทำให้เส้นใยเสียหายอันเนื่องจากอุณหภูมิ หรือสารเคมีด้วย

การนำไฟฟ้า อยู่ในระดับที่ดีมาก แม้ว่าการดูดซึมความชื้นต่ำ แต่ก็ไม่เกิดปัญหาของการสะสมประจุไฟฟ้าเหมือนที่เกิดกับเส้นใยสังเคราะห์อื่นๆ

การนำความร้อน นับเป็นสมบัติที่ดีอีกข้อหนึ่งที่ทำให้เส้นใยพอลิพรอพิลีนมีน้ำหนักเบา และเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีพร้อมๆ กัน ใช้ทำเป็นผ้าห่มได้ดี

ความถ่วงจำเพาะ เป็นเส้นใยที่ความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ จึงเป็นเส้นใยที่ลอยน้ำได้

2.1.4 สมบัติทางเคมี

กรด ยกเว้นเฉพาะกรดไนตริกที่อุณหภูมิสูงแล้ว พอลิพรอพิลีนทนต่อกรดส่วนใหญ่ได้ดี ต่าง พอลิพรอพิลีนทนต่อด่างได้ดีมาก สามารถซักล้างได้ด้วยสบู่ น้ำยาซักผ้า โดยไม่มีผลเสีย ความแข็งแรงในขณะเปียกไม่เปลี่ยนแปลง

สารละลายอินทรีย์ ทนต่อน้ำยาซักแห้งได้ดี สามารถซักได้ทั้งซักด้วยน้ำหรือซักแห้ง

สารซักฟอก พอลิพรอพิลีนทนต่อสารซักฟอกทั่วไปได้ดีในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 150°F (65°C) แต่ถ้าสูงกว่านั้นจะมีผลเสียทำให้ความแข็งแรงลดลง ดังนั้นการซักผ้าพอลิพรอพิลีนจึงไม่ควรซักด้วยอุณหภูมิที่สูงเกินไป

ราและแมลง ไม่มีผลต่อพอลิพรอพิลีน

แสง ภายใต้ภาวะปกติหากได้รับแสงโดยตรงเป็นเวลาดิถีต่อกัน ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง แม้มีความพยายามแก้ไขโดยการเติมสารทำให้เสถียรแล้วก็ตามก็ยังไม่อาจแก้ปัญหาได้

การย้อมสี รับสีย้อมได้ยากหรือแทบไม่ดูดซับสีย้อมเลย ทั้งนี้เนื่องจากว่า โครงสร้างของพอลิพรอพิลีนมีการจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบสูง จนไม่มีช่องว่างให้โมเลกุลสีย้อมแทรกเข้าไปได้ และโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนเองก็ไม่มีหมู่รับสีย้อมเหมือนเส้นใยชนิดอื่นๆ

2.1.4 การใช้ประโยชน์และการดูแลรักษา

พอลิพรอพิลีนใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ในงานอุตสาหกรรม เช่น เชือก อวน พรหมปูพื้นทำเลียนแบบสนามหญ้า ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟิล์มบาง (Split film) ตัดเป็นแถบเล็กๆ แล้วสานเป็นผ้าใช้คลุมหรือเป็นถุงบรรจุสารเคมี สำหรับประโยชน์ด้านเสื้อผ้า นั้น มีบางบริษัทผลิตโดยผสมกับขนแกะฝ้าย หรือเรยอนทำเป็นเสื้อผ้าถักสำหรับนักกีฬา ทำเสื้อโค้ท หรือผ้าห่ม เนื่องจากเป็นเส้นใยที่มี

ความทนทานจึงทำความสะอาดได้ง่ายด้วยสารซักฟอกทุกชนิด แต่การซักแห้งจะต้องใช้สารฟลูออโรคาร์บอน

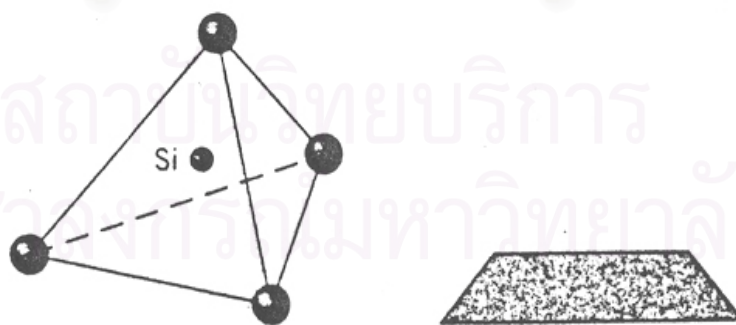
2.2 แร่ดินเหนียว (Clay Minerals) [4,5]

ดินเหนียว (clay) มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน ทำให้แร่ดินเหนียวมีพื้นที่ผิวมากจึงเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรง

แร่ดินเหนียวประกอบด้วยไฮดรอกไซด์อะลูมิเนียมซิลิเกต (Hydrous Aluminum Silicates) และหรือเหล็ก (Iron) และแมกนีเซียม (Magnesium) กับรูปแบบแร่ด่าง (Alkaline Minerals) เป็นส่วนประกอบหลัก แร่เหล่านี้จะไม่ละลายในกรด มีลักษณะซึมซับน้ำได้ดี ยึดหยุ่นเมื่อเปียก และยึดน้ำได้ดี มีความเชื่อมแน่นเมื่อแห้ง รูปลักษณะแร่ส่วนใหญ่เป็นผลึก (Crystalline) เป็นแผ่น (Sheetlike) หรือเป็น โครงสร้างเรียงชั้น (Layer) ของแร่ 2 ชนิด คือ แผ่นซิลิกา (silica sheet) และแผ่นอะลูมินา (alumina sheet)

แผ่นซิลิกา เป็นรูปสี่เหลี่ยม (tetrahedron) ประกอบจากระนาบสามเหลี่ยม 4 ด้าน มีอะตอมออกซิเจนอยู่ที่จุดยอดระยะห่างเท่ากัน และอะตอมซิลิกายู่ภายใน มีระยะห่างจากอะตอมออกซิเจนเท่ากันทุกหน่วยแผ่นซิลิกา ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แผ่นซิลิกาแต่ละหน่วยจะรวมซ้อนกันเป็นรูปหกเหลี่ยม (Hexagonal Unit) และเป็น โครงผลึกของแร่

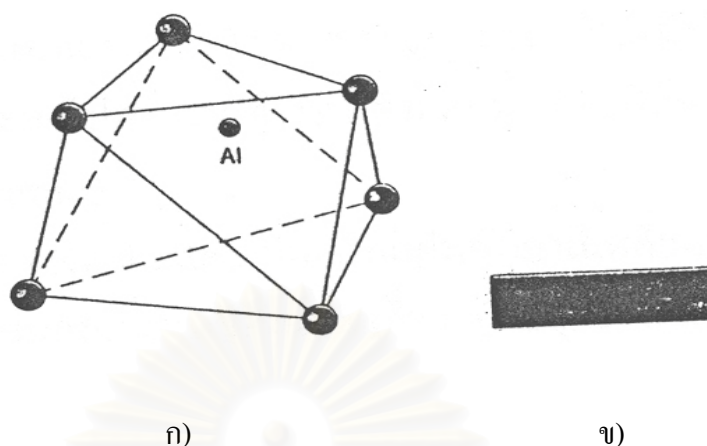
แผ่นอะลูมินา เป็นแถวเรียงสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยมีอะตอมของอะลูมินาอยู่ตรงกลางรูปแปดเหลี่ยม (Octahedron) ซึ่งมีอะตอมออกซิเจนของไฮดรอกซิล ในแนวตั้งในแถวสลับกันตามลำดับ



ก)

ข)

รูปที่ 2.2 ก) หน่วยแผ่นซิลิการูปสี่เหลี่ยม (Silica Tetrahedron) ข) สัญลักษณ์เทียบเท่า [4]



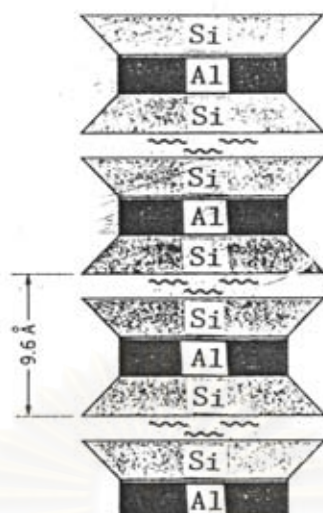
รูปที่ 2.3 ก) หน่วยแผ่นอะลูมินารูปแปดเหลี่ยม (Alumina Octahedron) ข) สัญลักษณ์เทียบเท่า [4]

แร่ดินเหนียว โดยปกติจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ซึ่งจะแยกตามลักษณะโครงสร้างการจับตัว (Lattice Structure) ของแร่ ประกอบด้วย

- กลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) มีสูตรเคมี : $(OH)_4Al_4Si_8Q_{20} \cdot n H_2O$

เป็นส่วนประกอบของแผ่นอะลูมินารูปแปดเหลี่ยม (Octahedron) ระหว่างแผ่นซิลิกา รูปแปดเหลี่ยม (Octahedron) 2 แผ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 การจับตัวกันระหว่างแผ่นแร่ที่ค่อนข้างหลวม ทำให้เป็นแร่ธาตุที่ไม่อยู่ตัว โดยเฉพาะเมื่อเปียกโดยมีลักษณะดูดซับน้ำได้มาก หลังจากนั้นจะบวมตัว (Swell) และขยายตัว (Expansion) สูง ในทางตรงกันข้าม เมื่อแห้งจะหดตัวมากซึ่งจะเห็นรอยแตกแยกได้อย่างชัดเจน

มอนต์มอริลโลไนต์เกิดจากการผุกร่อนของแร่เฟอร์โรแมกนีเซียม (Ferromagnesium Minerals) หรือเรียกว่า เฟลเลอร์เอิร์ธ (Feller Earth) และจะมีแร่ย่อยอีก 2 ตัว คือ ไบเดลไลต์ (Beidellite) และนอนไตรต์ (Nontrite) จะมีส่วนผสมอยู่ในดินเป็นส่วนใหญ่ที่รู้จักกันแพร่หลาย คือ ดินเบนโตไนต์ (Bentonite) ที่มีส่วนผสมหลักของมอนต์มอริลโลไนต์ มีคุณสมบัติพิเศษ จะบวมตัวหลายเท่าตัวเมื่อนำมาผสมน้ำ มีค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) สูงกว่า 500% ทำให้มีการนำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรม เช่นผสมน้ำนำไปอัดในชั้นดินได้ฐานแน่นให้ที่บ้น้ำ นำมาผสมน้ำเป็นน้ำโคลน เจาะดิน เจาะบ่อบาดาล เจาะบ่อน้ำมัน เจาะเสาเข็มเจาะ เจาะกำแพงพืด เป็นต้น

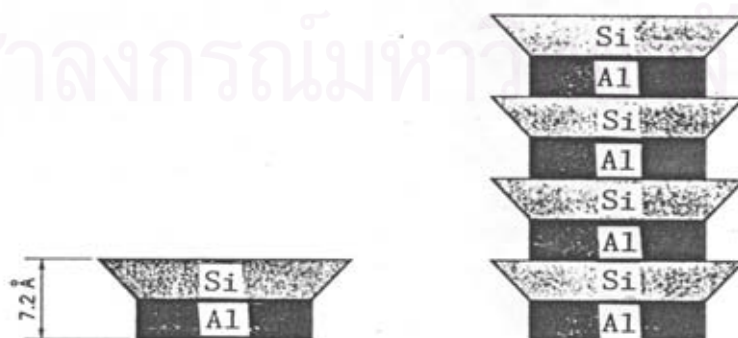


รูปที่ 2.4 แร่มอนต์มอริลโลไนต์ [4]

- กลุ่มเกาลินไนต์ (Kaolinite) มีสูตรเคมี : $(OH)_4Al_4Si_8O_{20} \cdot n H_2O$

เกิดจากแผ่นซิลิกาสี่เหลี่ยมเดี่ยว (Single Tetrahedral Silica) และแผ่นอะลูมินาแปดเหลี่ยมเดี่ยว (Single Octahedral Alumina) ซึ่งจะเกิดซ้อนกันหลายชั้นไม่มีสิ้นสุดเกิดเป็นโครงผลึกของแร่ การจัดเรียงของแร่ดังแสดงในรูปที่ 2.5

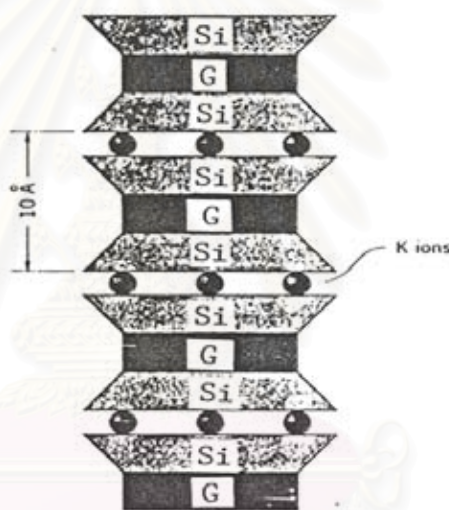
เกาลินไนต์เกิดจากการผุกร่อนของเฟลสปาร์ (Felspar) สลับชั้นกับซิลิกอนอะลูมิเนียม (Silicon Aluminium) และยังมีแร่ย่อยอีก คือ ดิกไคต์ (Dickite) นาไครต์ (Nacrite) และฮาลอยไซต์ (Halloysite) รูปหลอดแบน เกาลินไนต์มีสถานะคงตัวมาก มีคุณสมบัติเป็นโครงสร้างเชื่อมแน่นสูง ทำให้น้ำซึมเข้าไปได้ยาก และไม่ขยายตัวเมื่ออ้อมตัวด้วยน้ำ ใช้เป็นวัตถุดิบทำอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา



รูปที่ 2.5 แร่เกาลินไนต์ [4]

- กลุ่มอิลไลต์ (Illite) มีสูตรเคมี : $(\text{OH})_4\text{K}_y(\text{Al}_4\text{Fe}_4\text{Mg}_4)(\text{Si}_{8-y}\text{Al}_y)\text{O}_{20}$

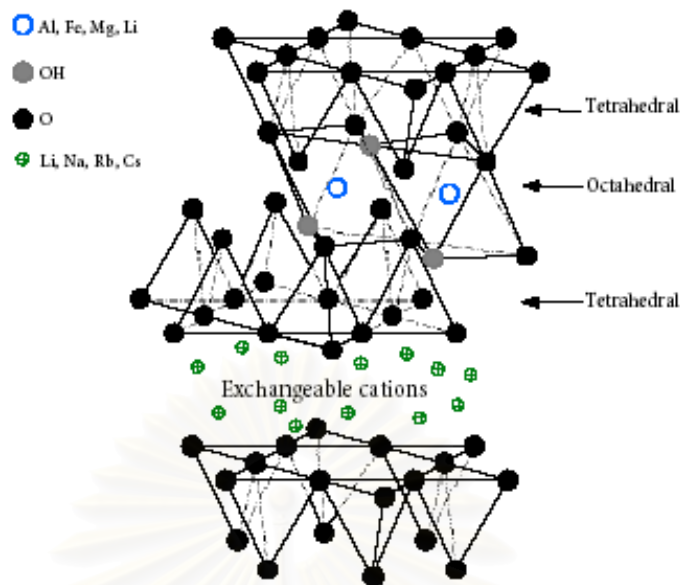
อิลไลต์มีโครงสร้างคล้ายกลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ แต่มีส่วนประกอบเคมีต่างกัน ซึ่งค่า y แปรเปลี่ยนจาก 1-1.5 รูปของอิลไลต์แสดงในรูปที่ 2.6 ส่วนประกอบพื้นฐานของอิลไลต์ประกอบด้วยแผ่นกิบบ์ไซต์รูปแปดเหลี่ยม (Gibbsite Octrahedron) ระหว่างแผ่นซิลิกาสี่เหลี่ยม (Silica Tetrahedron) 2 แผ่น มีคุณสมบัติไม่เหมือนมอนต์มอริลโลไนต์ ที่ซึมซับน้ำได้ดี และมีขนาดเล็ก แต่อิลไลต์จะรวมกันเป็นขนาดใหญ่จึงสามารถซึมซับได้น้อยกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ สามารถขยายตัวได้น้อยกว่า โดยปกติอิลไลต์เกิดในลักษณะอนุภาคเป็นแผ่นแบนเล็กๆ ปนกับแร่ดินเหนียวและแร่ที่ไม่ใช่ดินเหนียวอื่นๆ



รูปที่ 2.6 แร่อิลไลต์ [4]

2.2.1 แร่มอนต์มอริลโลไนต์ [5]

แร่มอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่มีโครงสร้างพิเศษแตกต่างจากแร่อื่นๆ คือ จะมีโครงสร้างเป็นชั้นๆ ซ้อนกัน คือ ชั้นของแผ่นอะลูมินาและชั้นของแผ่นซิลิกา ซึ่งซ้อนทับกันคล้ายแซนวิชโดยชั้นที่อยู่ตรงกลางจะเป็นชั้นของอะลูมินาและประกบบนและล่างด้วยชั้นซิลิกา เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า 2:1 phyllosilicate ดังแสดงในรูปที่ 2.7

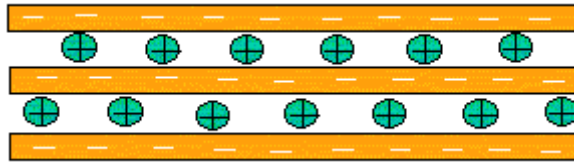


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ [6]

แต่ละชั้นจะมีความบางมาก ซึ่งจะมีความหนาประมาณ 1 นาโนเมตร แต่มีความยาวประมาณ 1000 เท่า ทำให้มีค่า aspect ratio สูงเหมาะสมอย่างมากที่จะนำไปใช้เสริมแรงวัสดุพอลิเมอร์ ช่องว่างระหว่างชั้น เรียกว่า แกลเลอรี (gallery) พื้นผิวของชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicate) จะมีประจุเป็นลบ แต่ชั้นเหล่านี้สามารถยึดเกาะกันได้ด้วยประจุบวก เช่น โซเดียมไอออน และแคลเซียมไอออน

2.2.2 การตัดแปรแรมมอนต์มอริลโลไนต์ [7]

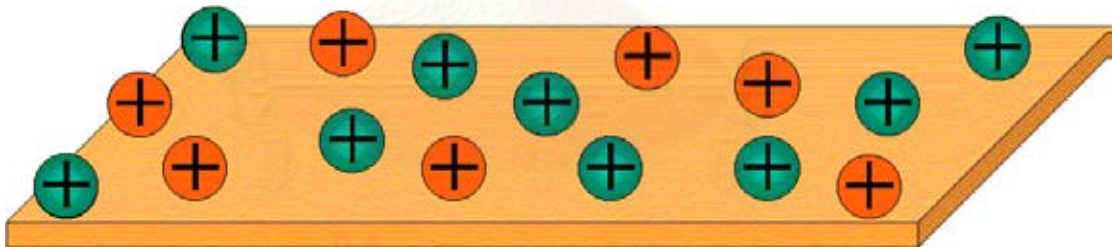
มอนต์มอริลโลไนต์และแร่ในกลุ่มของอะลูมิเนียมซิลิเกตอื่นๆ โดยธรรมชาติจะมีสมบัติชอบน้ำ ทำให้แร่ในกลุ่มนี้ยากที่จะนำไปผสมและเกิดปฏิกิริยากับเนื้อพอลิเมอร์ ยิ่งไปกว่านั้น ชั้นที่ซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบของแผ่น โครงสร้างของเคลย์ยึดกันอย่างแน่นหนาด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 คู่ไอออน (counterions) จะถูกดึงดูดด้วยประจุลบในแผ่น โครงสร้างของเคลย์ คู่ไอออนนี้สามารถดึงดูดแผ่น โครงสร้าง 2 แผ่นเข้าไว้ด้วยกัน จึงทำให้ชั้นที่ซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบของแผ่น โครงสร้างของเคลย์ยึดกันอย่างแน่นหนายิ่งขึ้น



รูปที่ 2.8 แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ที่ยึดแผ่น โครงสร้างของเคลือบ [7]

ด้วยเหตุนี้ เคลือบจึงต้องทำการตัดแปรก่อนที่จะนำเคลือบไปทำนาโนคอมโพสิต เพื่อให้ชั้นแผ่นโครงสร้างของเคลือบเกิดการแยกชั้น การทำคอมโพสิตโดยปราศจากการตัดแปรเคลือบก่อนจะทำให้ได้วัสดุคอมโพสิตที่ไม่มีประสิทธิภาพเพราะเคลือบทั้งหมดจะเกาะติดยึดอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับเนื้อพอลิเมอร์ได้

วิธีการที่นิยมและค่อนข้างจะง่ายในการตัดแปรผิวของเคลือบ ทำให้สามารถเข้ากันได้มากขึ้นกับเนื้อของสารอินทรีย์คือ การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchanging) ประจุบวกจะเกิดพันธะที่ไม่แข็งแรงกับผิวของเคลือบ ดังนั้นประจุบวกโมเลกุลเล็กๆ สามารถแทนที่ประจุบวกที่มีอยู่บนเคลือบได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ประจุบวกสีเขียวคือ โซเดียมไอออน ซึ่งโซเดียมไอออนนี้อาจมีการแทนที่ด้วยประจุบวกชนิดอื่นได้



รูปที่ 2.9 ประจุบวกที่ผิวของเคลือบ [7]

ถ้าประจุบวกสีแดงคือ คิวเทอนารีแอมโมเนียมไอออนที่ประกอบด้วยสายโซ่แอลคิลยาว เคลย์นี้ก็จะสามารถเข้ากันได้มากขึ้นกับเนื้อสารอินทรีย์ โดยการแลกเปลี่ยนไอออนของเคลย์กับประจุบวกของสารอินทรีย์ต่างๆ มอนต์มอริลโลไนต์จะสามารถเข้ากันได้กับเนื้อพอลิเมอร์ต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ในขณะที่เดียวกัน กระบวนการนี้จะช่วยแยกชั้นแผ่นโครงสร้างของเคลย์ ดังนั้นกระบวนการนี้จะช่วยทำให้เกิดการแทรกสอด (intercalation) และการแยกออกจากกัน (exfoliation) ของเคลย์ได้ง่ายขึ้น ซึ่งนาโนคอมโพสิตเกิดได้จากการ intercalated clay และ exfoliated clay จึงมีการนำกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนี้มาใช้ในการผลิตนาโนคอมโพสิตที่ใช้ทางการค้า

2.2.3 ประโยชน์ของแรมอนต์มอริลโลไนต์ [8,9,10]

เนื่องจากสมบัติพิเศษของแรมอนต์มอริลโลไนต์ที่สามารถคัดแปรจนมีขนาดอนุภาคเล็กในระดับนาโนเมตรจนสามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อพอลิเมอร์แล้ว ปัจจุบันแรมอนต์มอริลโลไนต์จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้เสริมแรงพลาสติก ได้มีผู้สนใจนำมอนต์มอริลโลไนต์ไปผสมกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เช่น พอลิยูรีเทน ไนลอน พอลิพรอพิลีน เป็นต้น ได้เป็นนาโนคอมโพสิตที่เสริมแรงในระดับโมเลกุลทำให้คอมโพสิตที่ได้มีสมบัติดีขึ้น เช่น สมบัติการทนความร้อน สมบัติความแข็งแรง เป็นต้น นอกจากนี้พบว่า แรมอนต์มอริลโลไนต์ในนาโนคอมโพสิตช่วยเพิ่มความต้านทานสารเคมี ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ลดความสามารถในการซึมผ่าน และช่วยให้วัสดุมีความสามารถในการหน่วงไฟอีกด้วย

2.3 วัสดุนาโนคอมโพสิต [11,12,13]

วัสดุนาโนคอมโพสิตคือวัสดุที่เตรียมขึ้นได้จากการนำสารตั้งแต่สองชนิดมาผสมกัน โดยมีสารอย่างน้อยหนึ่งชนิดมีขนาดนาโนเมตร (10^{-9} เมตร) โดยสารที่นำมาผสมกันนี้อาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ อัญมณี ฟิล์มหรือกึ่งฟิล์ม ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพและทางเคมี แต่เมื่อนำมาผสมกันแล้ววัสดุที่ได้จะมีสมบัติด้านความแข็งแรง และสมบัติทางด้านทนความร้อนที่ดีขึ้น

ที่ผ่านมาวัสดุหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้ในการเสริมแรงวัสดุ วัสดุที่ได้รับความนิยมที่สุดคือเส้นใย นอกจากนี้เส้นลวดและอนุภาคก็ถูกนำมาเสริมแรงเนื้อพอลิเมอร์ด้วยเช่นกัน สำหรับการนำวัสดุที่มีขนาดนาโนเมตรมาใช้เสริมแรงวัสดุ ซึ่งเรียกวัดเสริมแรงนั้นว่า วัสดุนาโนคอมโพสิต ปัจจุบันได้มีการพัฒนานำวัสดุนาโนคอมโพสิตมาใช้ทางการค้าเพิ่มขึ้น ทั้งในด้านบรรจุภัณฑ์อาหาร เครื่องสำอางค์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ขวดและภาชนะเป่าแม่แบบ

วัสดุที่ถูกนำมาใช้เสริมแรงในวัสดุนาโนคอมโพสิตที่กำลังได้รับความสนใจอีกชนิดหนึ่งคือเคลย์ เช่น มอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งคอมโพสิตของเคลย์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเคลย์ในเนื้อพอลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10

2.3.1 คอมโพสิตทั่วไป (conventional composite)

จะประกอบด้วยอนุภาคเคลย์ซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อของพอลิเมอร์ โดยที่ชั้นแต่ละชั้นในโครงสร้างยังรวมกลุ่มกันอยู่ ไม่แยกออกจากกัน

2.3.2 นาโนคอมโพสิตแบบแทรกสอด (intercalated clay nanocomposite)

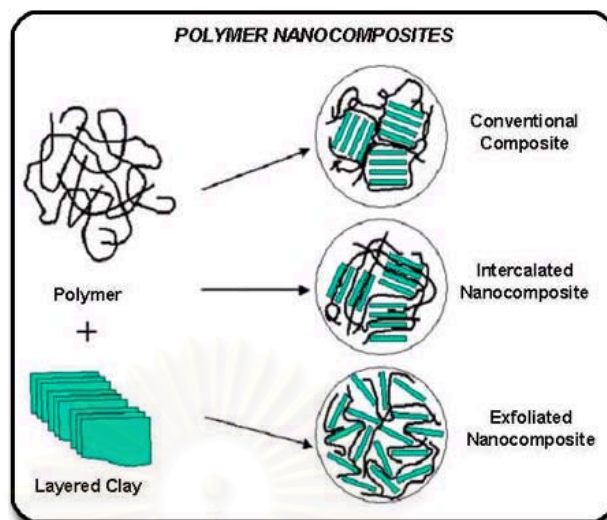
โครงสร้างของเคลย์จะเกิดการแทรกสอดจากโมเลกุลอื่น ซึ่งโมเลกุลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปที่เติมเข้าไปจะเข้าไปแทรกสอดทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นโครงสร้างของเคลย์เพิ่มขึ้น

นาโนคอมโพสิตแบบแทรกสอดสามารถสังเคราะห์ได้โดยการแทรกสอดพอลิเมอร์โดยตรง (direct polymer intercalation) และการแทรกสอดขณะการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบ in situ (in situ polymerization) ของมอนอเมอร์ในช่องว่างระหว่างชั้นของเคลย์ และเนื่องจากการมีที่ว่างที่จำกัดของพอลิเมอร์ระหว่างช่องว่างระหว่างชั้นที่หนาแน่นของเคลย์ ส่งผลให้นาโนคอมโพสิตแบบแทรกสอดมีสมบัติการเหนียวและการสกัดกั้นที่ดี

2.3.3 นาโนคอมโพสิตแบบแยกจากกัน (exfoliated clay nanocomposite)

มักจะมีเคลย์ปริมาณต่ำ โครงสร้างเป็นแบบ monolithic (monolithic structure) เกิดการแยกออกจากกันของแต่ละชั้นในโครงสร้างของเคลย์ ซึ่งการแยกของแต่ละชั้นในโครงสร้างขึ้นอยู่กับปริมาณของพอลิเมอร์นาโนในคอมโพสิต

นาโนคอมโพสิตแบบแยกจากกันเกิดขึ้นระหว่างมอนต์มอริลโลไนต์ที่เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนบวกกับสารอินทรีย์และพอลิเมอร์ เช่น ไนลอน 6 ซึ่งเคลย์ที่เจ็ดนาโนคอมโพสิตแบบแยกจากกันกับเนื้อพอลิเมอร์จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกลและสมบัติการไหลให้ดีขึ้น ทำให้การใช้งานของพอลิเมอร์นั้นๆ กว้างขวางขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เป็นการยากที่จะทำให้เคลย์เกิดการแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ในเนื้อพอลิเมอร์ เนื่องจากแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ที่แข็งแรงระหว่างชั้นซิลิเกตและประจุบวกระหว่างแกเลเลอรี



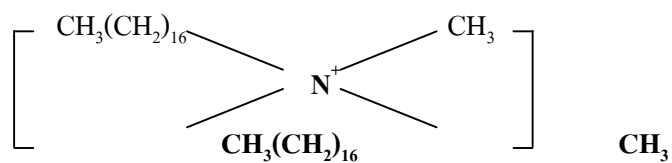
รูปที่ 2.10 ชนิดของพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต [13]

2.4 สารทำให้อ่อนนุ่ม (Softeners) [14,15]

สารทำให้อ่อนนุ่มเป็นสารเคมีในกลุ่มสารประกอบสารลดแรงตึงผิว (surfactants) ที่มีความสามารถในการเกาะติดอยู่บนผิวเส้นใยสิ่งทอได้ดี ดังนั้นสารทำให้อ่อนนุ่มส่วนใหญ่จึงเป็นสารประกอบสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (cationic surfactants) ทั้งนี้เนื่องจากผิวของเส้นใยสิ่งทอส่วนใหญ่แล้วจะมีศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ อย่างไรก็ตามสารทำให้อ่อนนุ่มก็ยังไม่ได้จำกัดอยู่แต่เฉพาะสารประกอบสารลดแรงตึงผิวประจุบวกเท่านั้น โดยมีการแบ่งกลุ่มสารเหล่านี้นี้ออกได้ดังนี้

2.4.1 สารทำให้อ่อนนุ่มประจุบวก (Cationic softeners)

โครงสร้างของสารทำให้อ่อนนุ่มประจุบวกประกอบด้วยส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และส่วนที่เป็นประจุบวกที่มาจากหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium) ในขณะที่หมู่ที่ไม่ชอบน้ำจะเป็นอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon) ที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนระหว่าง 10 อะตอม ถึง 20 อะตอม ยกตัวอย่างเช่น ไคเมทิล ไคสเตียริล ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม

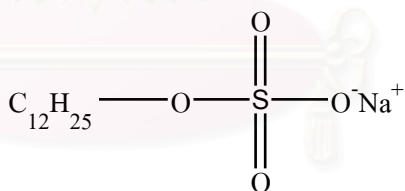


รูปที่ 2.11 ไคเมทิล ไคสเตียริล ควอเทอร์นารี แอมโมเนียม [14]

สารทำให้นุ่มประจุบวกเป็นสารทำให้นุ่มพื้นฐานที่เป็นสารประกอบในน้ำยาปรับผ้านุ่มที่มีขายตามท้องตลาดและเป็นสารทำให้นุ่มที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม เพื่อนำไปใช้ตกแต่งผ้าในกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอทั่วไป

2.4.2 สารทำให้นุ่มประจุลบ (Anionic softeners)

ลักษณะโครงสร้างเคมีของสารทำให้นุ่มประจุลบประกอบด้วยส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ที่เป็นอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon) ที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนระหว่าง 12 อะตอม ถึง 18 อะตอม และส่วนที่เป็นประจุลบ ยกตัวอย่างเช่น โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (sodium lauryl sulphate)



รูปที่ 2.12 โซเดียม ลอริล ซัลเฟต [14]

สารทำให้นุ่มประจุลบมีข้อเสียตรงที่จะเกิดกลิ่นหืนขึ้นได้ง่ายเมื่อเก็บไว้นาน จึงต้องมีการเติมสารต้านการออกซิเดชันลงในส่วนผสมของสารตกแต่ง เหมาะสำหรับการตกแต่งผ้าฝ้าย เรยอน ไหม ใช้สำหรับการตกแต่งผ้าในขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรม

2.4.3 สารทำให้นุ่มไม่มีประจุ (Nonionic softeners)

สารทำให้นุ่มไม่มีประจุจะไม่มีการแตกตัวเป็นไอออนในสารละลาย มักเป็นสารประกอบ เอสเทอร์ของกรดปาล์มมิกหรือสเตียริกกับพอลิไกลคอล สารพวกนี้ไม่มีประจุ ทำให้เกิดความนุ่ม เพราะส่วนหางของโมเลกุลของกรดไขมัน สารชนิดนี้สามารถต้านทานการสะสมประจุไฟฟ้าสถิต ไม่เกิดกลิ่น หรือทำให้สีของวัสดุเปลี่ยนแปลง

2.4.4 สารทำให้นุ่มอิมัลชัน (Emulsion type softeners)

สารตกแต่งชนิดนี้จะเป็นสารทำให้นุ่มชนิดประจุลบหรือประจุบวก หรือไม่มีประจุ นำไป ทำให้เป็นสารอิมัลชันร่วมกับน้ำมัน ไข พอลิเอทิลีน และซิลิโคน สารชนิดนี้จะใช้ตกแต่งร่วมกับ เรซินที่ตกแต่งเพื่อทำให้ผ้าทนยับ จะมีผลทำให้ผ้ามีความแข็งแรง ทนต่อการฉีกขาด ขัดสี ได้ด้วย

จะเห็นว่าสารทำให้นุ่มมีหลายชนิด ขณะนำไปใช้จะต้องเตรียมให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ได้ง่าย ที่ใช้โดยทั่วๆ ไปเป็นของเหลวที่ประกอบด้วย สารทำให้นุ่ม แอลกอฮอล์เพื่อ ละลายสารทำให้นุ่ม สารลดแรงตึงผิว (surfactant) เพื่อช่วยให้เกิดการกระจายตัวในน้ำ สารยับยั้ง แบคทีเรีย น้ำหอม สารทำให้สารละลายคงตัว เช่น เดกซ์ตริน หรือกัม

2.5 หลักการย้อมสีสิ่งทอ (Principle of Dyeing) [16]

การย้อมสีสิ่งทอ เป็นการทำให้วัสดุสิ่งทอเกิดสีขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ ได้สีตามความต้องการที่สม่ำเสมอและมีความคงทนต่อการใช้งานและทั้งกระบวนการผลิตขั้นต่อมา เช่น กระบวนการตกแต่งสำเร็จ นอกจากวัตถุประสงค์หลักแล้วยังควรคำนึงถึงด้านอื่นด้วย เช่น ความสามารถในการย้อมซ้ำ ต้นทุนการย้อม กระบวนการและวิธีการย้อมที่ถูกต้องเหมาะสม ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการย้อม

2.5.1 สีย้อม (Dyes) [16]

สีย้อมในปัจจุบันเกือบทั้งหมดเป็นสีย้อมสังเคราะห์ซึ่งสารที่จะเป็นสีย้อมที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติต่อไปนี้

2.5.1.1 มีความเข้มสูง สีย้อมที่มีค่าเฉพาะการดูดกลืนแสงสูงกว่า 10,000 (molar absorptivity Σ 10,000) จัดเป็นสีย้อมที่มีความเข้มสูง ซึ่งสีย้อมที่มีลักษณะดังกล่าวมีข้อดี คือ ต้องการสารช่วยย้อมน้อยและใช้สีสำหรับย้อมในปริมาณน้อย

2.5.1.2 มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี สีย้อมจะต้องสามารถละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของสารแขวนลอย ทั้งนี้เพราะว่าตัวกลางที่ใช้ในการย้อมสี คือ น้ำ ซึ่งหน้าที่ของน้ำคือเป็นตัวพาให้สามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้อย่างสม่ำเสมอ

2.5.1.3 มีแรงดึงดูดกับเส้นใย การย้อมวัสดุสิ่งทอแบบวิธีย้อมแช่ (exhaustion method) จัดเป็นระบบสองเฟส ประกอบด้วยวัฏภาค (phase) ของแข็งคือเส้นใย กับวัฏภาคของเหลวคือน้ำ สมดุลของการแพร่ของสีย้อมจากน้ำย้อมเข้าสู่เส้นใยหรือจากเส้นใยออกสู่น้ำย้อมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับอิทธิพลต่างๆ เช่น อุณหภูมิ สารช่วยย้อม อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำย้อมต่อน้ำหนักของเส้นใย สีย้อมที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ย้อมเส้นใยนั้นควรมีสมบัติการเกาะติดเส้นใยที่ดี คือ สมดุลการแพร่ของสีเคลื่อนไปทางเส้นใย สีย้อมที่มีสมบัติชอบเกาะติดกับเส้นใยมากกว่าชอบละลายอยู่ในน้ำย้อมจัดว่าเป็นสีที่มีความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใย (substantivity) สูง แต่ในทางกลับกัน สีที่เกาะติดกับเส้นใยได้ไม่ดี คือ สมดุลการแพร่ของสีเคลื่อนมาทางน้ำย้อม จัดเป็นสีที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี (affinity to water)

2.5.1.4 มีความคงทนต่อการซักและการนำไปใช้งาน สีที่มีค่า substantivity สูงมีข้อดี คือ สามารถย้อมสีเข้มๆ โดยใช้สีในปริมาณที่น้อยและสีประเภทนี้มีความคงทนต่อการซักได้ดีระดับหนึ่ง ซึ่งถ้าไม่คงทนต่อการซักก็ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน สีจะค่อยๆ หลุดออกมาในขณะที่ซักล้างทำความสะอาด การทำกระบวนการหลังการย้อม (after-treatment) จะช่วยเพิ่มความคงทนของสีย้อมต่อการซัก แต่ข้อเสียของสีที่มี substantivity สูง คือ เสี่ยงต่อการย้อมที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการแพร่ของสีจากน้ำย้อมไปยังเส้นใยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่การดูดซึมเข้าไปภายในเส้นใยจะต่ำ ทำให้สีที่เกาะอยู่ที่ผิวเส้นใยมีความไม่สม่ำเสมอ

2.5.1.5 มีความคงทนต่อสถานะในกระบวนการหลังการย้อม เช่น กระบวนการตกแต่งสำเร็จเพื่อเพิ่มสมบัติพิเศษให้วัสดุที่ผ่านการย้อมสีแล้ว

2.5.1.6 สีย้อมควรมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค สีย้อมที่จะนำมาใช้นั้นจะต้องไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะสีย้อมบางตัวสามารถสลายตัวให้โมเลกุลที่เล็กลงซึ่งอาจจะแทรกซึมเข้าไปในร่างกายทำให้เป็นอันตรายต่อผู้สวมใส่

สีย้อมมีหลายประเภทในที่นี่จะกล่าวถึงเฉพาะสีที่ใช้ในงานวิจัย คือ สีแอซิดและสีเบสิก

2.5.2 สีแอซิด (acid dyes) [17]

ที่มาของชื่อสีแอซิด มาจากสภาวะพีเอชที่ใช้ย้อมในภาวะพีเอชเป็นกรดเท่านั้น โครงสร้างเคมีของสีแอซิดประกอบด้วยหมู่ช่วยย้อมให้สีละลายน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหมู่ซัลโฟเนต (sulphonate groups) และส่วนให้สี (chromophore) เหตุผลที่เลือกหมู่ซัลโฟเนตเพราะหมู่นี้จะช่วยทำให้สีละลายน้ำได้ดีแม้ว่าพีเอชที่ย้อมจะต่ำมาก นอกจากนี้หมู่นี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวพาสีให้เข้าไปติดกับเส้นใยด้วย โดยทั่วไปจะมีหมู่ซัลโฟเนตในโมเลกุลสีประมาณ 1 หรือ 2 หมู่ และความคงทนของสีต่อการซักล้างของสีจะขึ้นอยู่กับจำนวนหมู่ซัลโฟเนตด้วย แต่ข้อเสียของการมีหมู่ซัลโฟเนตมากเกินไปคือจะย้อมเจดสีเข้มมากๆ ไม่ได้ เพราะตำแหน่งของหมู่ซัลโฟเนตในเส้นใยมีจำนวนจำกัด ดังนั้นสีตัวใดที่มีหมู่นี้มากต่อ 1 หมู่โมเลกุลสีเดียวกันก็จะใช้ตำแหน่งสีในเส้นใยหมดเร็วกว่าสีที่มีหมู่ซัลโฟเนตน้อย ปริมาณสีที่ดูดซึมเข้าไปในเส้นใยก็จะน้อยตามไปด้วย ระดับความเข้มของสีจึงไม่เข้มมากเท่ากับสีที่มีหมู่ซัลโฟเนตน้อยกว่า โดยทั่วไปในโครงสร้างของสีแอซิด พบว่า 2 ใน 3 ของสีจะเป็นสีเอโซ (คือมีหมู่เอโซเป็นส่วนให้สี) นอกเหนือจากสีเอโซแล้วก็อาจจะพบสี anthraquinone, triaryl methane และ nitrophenyl amine บ้างในสัดส่วนที่ลดหลั่นลงมา

การจัดจำแนกสีแอซิดสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ได้ 3 กลุ่มตามพฤติกรรมการย้อมและความคงทนของสีดังนี้

2.5.2.1 Acid Leveling Dyes

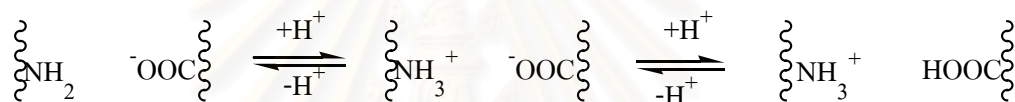
หรือบางทีจะเรียกว่า equalized dye เป็นกลุ่มที่ย้อมง่ายที่สุดในบรรดาสีแอซิด เนื่องจากสีในกลุ่มนี้จะมีโมเลกุลค่อนข้างเล็กจึงละลายน้ำได้ดี การแทรกซึมของสีจึงดี ย้อมไม่ค่อยต่าง แต่ต้องย้อมที่พีเอชต่ำประมาณ 2-3 จึงนิยมใช้กรดแก่อย่างกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ถ้าย้อมในภาวะพีเอชเป็นกลางสีจะไม่ติดหรือติดเพียงจางๆ เท่านั้น

โดยปกติความคงทนต่อการซักล้างของสีแอซิด มักจะอยู่คนละข้างกับความยากง่ายในการย้อมสี กล่าวคือสีที่ย้อมง่ายไม่ค่อยพบปัญหาการย้อมต่าง แต่จะพบว่าสีย้อมมักจะมี ความคงทนต่อการซักล้างที่ไม่ดี แต่ในทางตรงกันข้าม สีย้อมที่มีความคงทนต่อการซักล้างดีเยี่ยม จะย้อมยาก และต้องมีวิธีการย้อมที่พิถีพิถันพอสมควรเพื่อป้องกันการย้อมต่าง

สีแอซิดในกลุ่ม level dyeing หรือ equalising dyes สีกลุ่มนี้ย้อมง่าย และย้อมได้เฉดสีสม่ำเสมอตลอดเวลา แต่มีความคงทนต่อการซักต่ำมาก ลักษณะโดยทั่วไปของสีในกลุ่มนี้ คือมีขนาดเล็กประมาณ 300-500 ทำให้การแพร่กระจายของสีภายในเส้นใยเป็นไปอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับย้อมเส้นใยขนสัตว์

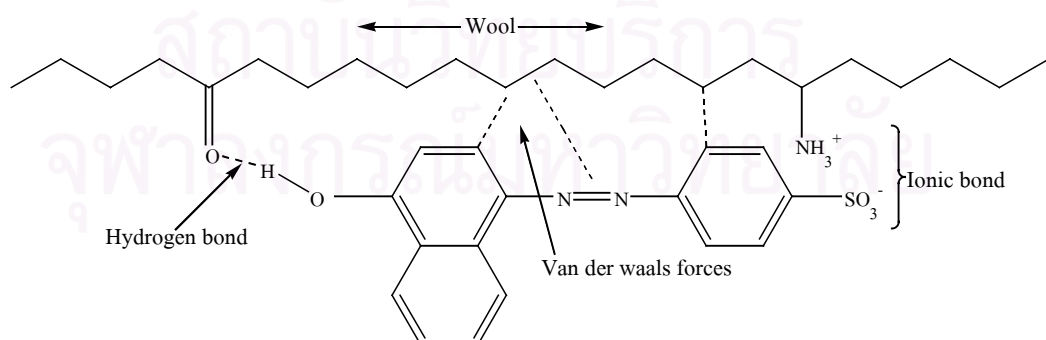
พฤติกรรมการดูดซึมของสีแอซิด

การย้อมสีแอซิดจำเป็นต้องย้อมในภาวะพีเอชเป็นกรดเสมอและสีในกลุ่ม level-dyeing จะต้องย้อมในภาวะพีเอชต่ำในช่วง 2.5-3.5 และเติมเกลือโซเดียมซัลเฟตเข้าไปช่วยทำให้การกระจายของสีภายในเส้นใยเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ กลไกการดูดซึมสีของ level-dyeing สามารถแสดงได้อย่างง่ายดังไดอะแกรมข้างล่าง



รูปที่ 2.13 กลไกการดูดซึมสีของ level-dyeing [17]

ในการย้อมเส้นใยนั้นจำเป็นต้องเติมกรดลงไปในเรื่องย้อม เพื่อกระตุ้นให้สีเกิดการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย เมื่อเส้นใยมีสมบัติของหมู่ประจุบวกเด่น ก็จะไปดึงเอาหมู่ซัลโฟเนตของสีย้อมให้เข้าไปอยู่ใกล้จึงทำให้เส้นใยติดสีแอซิด นอกจากพันธะไอออนิกที่จะช่วยทำให้สีดูดซึมเข้าไปในเส้นใยแล้วก็ยังมีพันธะอื่นๆ อีกเช่น พันธะไฮโดรเจน และพันธะแวนเดอร์วาลส์



รูปที่ 2.14 พันธะระหว่างสีแอซิดกับเส้นใย [17]

เพราะฉะนั้นความคงทนของสีแอซิดบนเส้นใยจะขึ้นอยู่กับ
 จำนวนพันธะไฮดรอกซิล
 ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะวันเดอร์วาลส์
 หน้าที่ของกรดมีข้อดีคือช่วยเร่งการดูดซึมของสีแอซิดให้เข้าไปในเส้นใยเร็วขึ้น แต่ถ้าเร็วเกินไปก็จะทำให้ได้ผลการย้อมที่ไม่สม่ำเสมอได้ ดังนั้นในกรณีที่เป็นสีย้อมต่างง่ายจึงนิยมเติมเกลือโซเดียมซัลเฟตเป็นตัวหน่วงสีย้อมไม่ให้ดูดซึมเข้าไปในเส้นใยเร็วจนเกินไป ที่อาจทำให้เกิดการต่างได้ง่าย

2.5.2.2 Acid Milling Dyes

สีในกลุ่มนี้จะมีโมเลกุลที่ใหญ่กว่าสี acid leveling การดูดติดจะรวดเร็วกว่า ย้อมได้ที่พีเอชสูงกว่าสี level-dyeing พีเอชที่ใช้ย้อมจะอยู่ระหว่าง 3.2-5.5 ดังนั้นจึงนิยมใช้กรดอ่อน เช่น กรดอะซิติก เป็นตัวปรับพีเอช ชื่อทางการค้าของสีกลุ่มนี้ได้แก่ Supramin (Bayer), Coomassie P (ICI), Sandolan P(Sandoz) เนื่องจากสีในกลุ่มนี้แพร่กระจายตัวภายในเส้นใยช้ากว่าในกลุ่มแรกจึงมีช่วงเวลาของการย้อมนานกว่า เพื่อให้การแพร่กระจายของสีสมบูรณ์ที่สุด

2.5.2.3 Neutral Dyeing Acid Dyes

หรือบางครั้งเรียกว่า super milling dyes เป็นสีโมเลกุลใหญ่ซึ่งจะทำให้ได้ความคงทนต่อการซักดีเยี่ยม สีในกลุ่มนี้สามารถย้อมได้ดีที่พีเอช 7 หรือต่ำกว่าเล็กน้อย สี super milling ละลายน้ำได้น้อยมากแต่มีความสามารถในการเกาะติดอยู่บนเส้นใยดีเยี่ยม ความคงทนต่อการซักดีกว่าสองชนิดแรก ข้อเสียก็คือย้อมต่างง่าย เพราะฉะนั้นเวลาย้อมจะต้องให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ อุณหภูมิในการย้อมจะต้องให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และจำเป็นต้องเติมสารกันต่าง (leveling agent) ลงไป ปกตินิยมใช้ แอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ หรือแอมโมเนียมอะซิเตต $\text{CH}_3\text{COO}(\text{NH}_4)$ เมื่อเติมสารกันต่างลงไปเครื่องย้อม จะได้หมู่ซัลเฟต $(\text{SO}_4)^{2-}$ หรือหมู่อะซิเตต $(\text{CH}_3\text{COO})^-$ ตามลำดับ หมู่ประจุลบประเภทนี้ซึ่งมีลักษณะมีประจุเป็นลบเหมือนกับสีแอซิด แต่มีโมเลกุลที่เล็กกว่ามากก็จะดูดซึมเข้าไปในเส้นใยก่อน ทำให้ตำแหน่งที่ย้อมถูกครอบครองก่อน สีย้อมซึ่งโมเลกุลใหญ่กว่ามากจึงดูดซึมเข้าไปในเส้นใยช้ากว่า แต่เมื่อเวลาผ่านไปสีซึ่งมีโมเลกุลใหญ่กว่าและดูดติดกับเส้นใยดีกว่า (higher substantivity) ก็ค่อยๆ ดูดซึมเข้าไป และจะไปแทนที่หมู่เหล่านี้ จึงทำให้แก้ปัญหา ย้อมต่างได้ และประโยชน์อีกอันหนึ่งก็คือในขณะที่ทำการย้อมที่อุณหภูมิที่จุดเดือดนั้น แอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4^+)_2\text{SO}_4^{2-}$ จะแตกตัวดังนี้

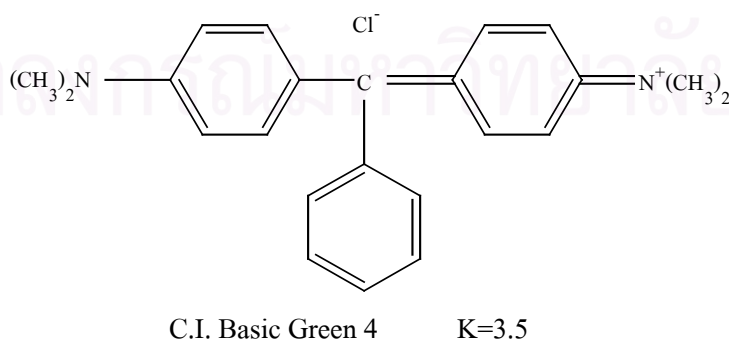
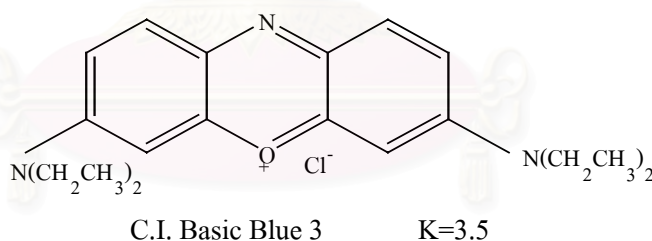


กรดซัลฟูริกที่แตกตัวออกมาจะทำให้พีเอชของน้ำย้อมลดลง ทำให้สีดูดซึมเข้าไปในเส้นใยมากขึ้น กลไกการทำงานของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ใช้ในกรณีย้อมสี super milling dye

2.5.3 สีเบสิก (Basic dyes) [17]

สีเบสิกจะแตกต่างจากสีประเภทอื่นๆ คือ จะมีประจุเป็นบวก มีความสามารถในการละลายน้ำดี สีเบสิกจึงไม่นิยมนำไปย้อมเส้นใยอื่นๆ เพราะเมื่อนำไปย้อมแล้วจะให้ความคงทนต่อแสงแดดต่ำ แต่ปรากฏการณ์กลับตรงกันข้ามเมื่อนำสีเบสิกไปย้อมบนเส้นใยอะคริลิก กล่าวคือจะให้ความคงทนต่อแสงแดดดีมาก สีเบสิกจึงเป็นสีหลักสำหรับย้อมเส้นใยอะคริลิกเท่านั้น นอกจากนี้ยังใช้ย้อมพอลิเอสเทอร์ที่มีหมู่ SO_3^- อยู่ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ได้ด้วยการใช้งานอื่นได้แก่การใช้ในหมึกพิมพ์ น้ำยาซักเงา สีทาไม้ เป็นต้น

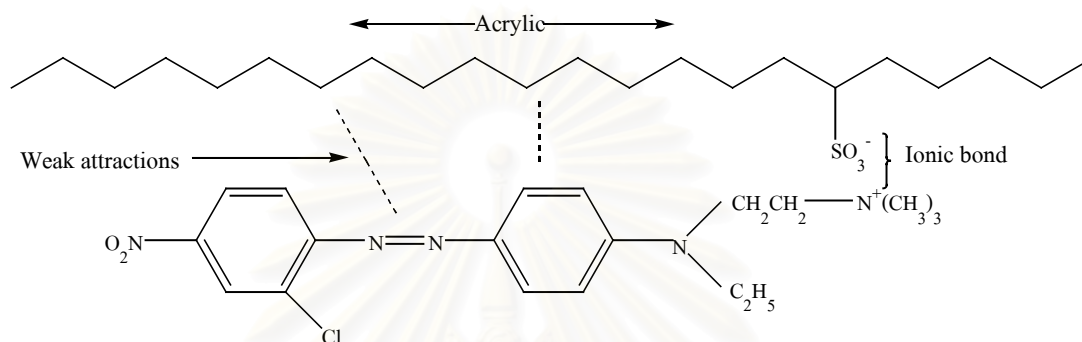
ยกตัวอย่างโครงสร้างของสีเบสิกที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.15 ตัวอย่าง โครงสร้างทางเคมีของสีเบสิก [17]

การย้อมสีเบสิก

กลไกการดูดซึมของสีเบสิกจะอาศัยแรงดึงดูดระหว่างประจุบนเส้นใยกับประจุบวกบนสีย้อม สีเบสิกจะยึดเกาะติดอยู่กับเส้นใยด้วยพันธะไอออนิกและพันธะทางกายภาพดังแสดงไว้ในรูป



รูปที่ 2.16 การยึดเกาะของสีเบสิกกับเส้นใย [17]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการย้อมพอลิพรอพิลีน

จุดอ่อนที่สุดจุดหนึ่งของพอลิพรอพิลีน คือ การรับสีย้อมได้ยาก มักแก้ปัญหาด้วยการทำเป็นแบบ solution dyeing ย้อมที่ตัวเนื้อพอลิพรอพิลีน ด้วยการเติมเม็ดสีลงในเรซินก่อนการรีดเป็นเส้นใย แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดในการย้อมสีให้หลากหลายไม่ได้ มีความพยายามในการพัฒนาด้วยการตัดแปรเทคนิคการย้อมที่เคยใช้อยู่ทำให้การรับสีเป็นไปได้มากขึ้น แต่ก็ยังมีปัญหาของการเกาะติดหรือความคงทนของสีอยู่บ้าง ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายกลุ่มสนใจที่จะศึกษาการย้อมพอลิพรอพิลีนดังต่อไปนี้

Shah และ Jain [18] ได้ศึกษาการย้อมเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ถูกตัดแปรโดยการเติมหมู่โบรมีนเข้าไปที่ผิวของพอลิพรอพิลีนด้วยเทคนิคการทำโบรมีนชัน (bromination) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะทำให้เส้นใยดูดความชื้นเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใย และทำให้เส้นใยสามารถติดสีย้อมประจุบวกได้ โดยการเกิดพันธะเกลือระหว่างเส้นใยกับสีย้อม

Dominguez และคณะ [19] ได้ศึกษาการติดสีย้อมของพอลิโอเลฟินส์พบว่า การผสมพอลิโอเลฟินส์กับพอลิโอเลฟินส์ที่ถูกทำให้มีหมู่ฟังก์ชัน (functionalized polyolefin) แล้วกราฟท์ด้วยพอลิอีเทอร์เอมีน (polyetheramine) กระบวนการผลิตจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการกราฟท์ของพอลิโอเลฟินส์ที่ถูกทำให้มีหมู่ฟังก์ชันกับพอลิอีเทอร์เอมีนก่อน จากนั้นจึงนำไปผสมกับ

พอลิโอฟีนส์ด้วยการหลอมเหลวในเครื่องผสม ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเตรียมส่วนของชิ้นส่วนของรถยนต์ที่ติดสีได้ รวมไปถึงเส้นใยพอลิโอฟีนส์ซึ่งใช้กระบวนการปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลวโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำผ้าทอ (woven) และนอนทอ (non-woven)

Burkinshaw, Froehling และ Mignanelli [20] ได้ศึกษาผลของ hyperbranched polymer ต่อการย้อมของเส้นใยพอลิพรอพิลีนพบว่า การนำ stearate-modified hyperbranched polyesteramide มาผสมกับพอลิพรอพิลีนก่อนนำไปปั่นเป็นเส้นใยจะส่งผลอย่างเห็นได้ชัดต่อความสามารถในการย้อมพอลิพรอพิลีนด้วยสีดิสเพอร์ส (C.I. Disperse Blue 56) โดยจะมีการย้อมติดสีที่ดีกว่ามากเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนที่ไม่ผ่านการดัดแปร การติดสีย้อมเป็นผลเนื่องมาจากการเติมหมู่รับสีย้อมสีดิสเพอร์สซึ่งได้แก่ stearate-modified hyperesteramide ลงไปในพอลิพรอพิลีน ทำให้เส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ได้มีความคงทนของสีต่อการซักดีมาก แต่มีความคงทนของสีต่อการแสงต่ำ โดยไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นใย

Son และคณะ [21] ได้ศึกษาวิธีการผลิตเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่สามารถย้อมสีดิสเพอร์สได้ โดยเส้นใยพอลิพรอพิลีนถูกนำมาผลิตให้เป็นเม็ดของสารประกอบเรซินพอลิพรอพิลีนโดยใช้ 100 ส่วนโดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน, semi-crystalline functional high polymer ซึ่งได้แก่ โคลิโพลิเมอร์ เอทิลีน-ไวนิลอะคริเลต (ethylene-vinylacetate copolymer) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของ 4,4-isopropylidene phenol กับ ipichlorohydrine ปริมาณ 1-10 ส่วนโดยน้ำหนัก, amorphus functional polymer ปริมาณ 0.05-5 ส่วนโดยน้ำหนัก, และสารเติมแต่งปริมาณ 0.1-3 ส่วนโดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปทำการหลอมเหลวและปั่นออกมาเป็นเม็ดสารประกอบเรซินพอลิพรอพิลีน

Calogero [22] ได้ศึกษาวิธีการย้อมเส้นใยพอลิโอฟีนส์พบว่าเส้นใยพอลิโอฟีนส์สามารถย้อมได้ด้วยอิมัลชัน ซึ่งเตรียมได้จากการผสมน้ำกับสีย้อมแอนทราควิโนน (anthraquinone) โมเลกุลยาวที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

Sheth [23] ค้นพบว่า การนำ เอทิล แอลคิล อะคริเลต (ethyl alkyl acrylate) มากราฟที่ลงบนพอลิพรอพิลีนทำให้พอลิพรอพิลีนสามารถย้อมติดสีดิสเพอร์สและสีประจวบกันได้ โดยการใช้พอลิเอสเทอร์จำนวนเล็กน้อยร่วมกับสารดัดแปรที่ชอบน้ำที่ประกอบด้วย โมโนกลีเซอไรด์และเกลือของแอลคิล (alkyl) ซึ่งสารดัดแปรที่ชอบน้ำจะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เข้ากันได้เชื่อมพอลิเอสเทอร์และพอลิพรอพิลีน สำหรับกระบวนการย้อมเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ประกอบด้วย การรวมพอลิพรอพิลีนกับโคลิโพลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกของเอทิลีนและแอลคิล อะคริเลต ซึ่งมีอะตอมคาร์บอน 1 ถึง 4 ของหมู่แอลคิลลงในเส้นใย จะทำการเติมพอลิเอสเทอร์ลงในเนื้อพอลิพรอพิลีน จากนั้นทำการปั่นเส้นใยและนำเส้นใยลงสู่อ่างย้อม ซึ่งหมู่ซัลโฟนิคจะถูกเติมในพอลิเอสเทอร์ สำหรับการย้อมเส้นใยด้วยสีประจวบ

Seves A. และคณะ [24] ค้นพบว่าการผสมพอลิพรอพิลีนชนิดไอโซแทกติกกับไฮโดรจิเนต โอลิโกไซโคลเพนเตไดอิน (Hydrogenated Oligocyclopentadiene; HOCP) ซึ่งเป็นเรซินออสัญฐานใส เพื่อเตรียมเป็นเส้นใยที่ย้อมได้ในอ่างย้อม เส้นใยที่ได้แสดงสมบัติความคงทนต่อแสง การซักและการทำความสะอาดที่ดีกว่าพอลิพรอพิลีนชนิดไอโซแทกติก ในขณะที่ยังคงรักษาสมบัติเชิงกลได้ดี

Seves A. และคณะ [25] ได้ศึกษาวิธีการทำเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่สามารถย้อมสีได้โดยการผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอไมด์ 6 โดยใช้โคพอลิเมอร์พอลิ(พอลิพรอพิลีน/มาลิก แอนไฮไดรด์) (poly(propylene/maleic anhydride copolymer) เป็นสารช่วยให้เข้ากันได้ จากนั้นนำไปอัดรีดแล้วยืดดึงให้เป็นเส้นใยยาว ซึ่งเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ได้จากวิธีนี้พบว่าสามารถย้อมได้ง่ายในอ่างย้อม มีความคงทนต่อการซักที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 90 องศาเซลเซียส มีความคงทนต่อแสง การซักและการซักแห้ง

Kotek R. และคณะ [26] ค้นพบว่าเส้นใยพอลิพรอพิลีนสามารถย้อมสีดิสเพอร์สได้โดยการทำอัลลอย (alloying) ในตอน 6 ด้วยพอลิพรอพิลีนที่ถูกกราฟต์ด้วยมาลิก แอนไฮไดรด์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารช่วยให้เข้ากันได้ขณะทำการอัดรีด ซึ่งการติดสีย้อมที่แตกต่างกันของเส้นใยขึ้นกับปริมาณการใส่ส่วนผสมดังกล่าว

Qinguo Fan และคณะ [27] ได้ค้นพบว่านาโนเคลย์จากมอนต์มอริลโลไนต์ที่ถูกดัดแปรด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียมเพื่อทำเป็นนาโนคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน สามารถย้อมติดสีได้ด้วยสีแอซิดและสีดิสเพอร์ส โดยความสามารถในการติดสีย้อมสีแอซิดเนื่องจากพันธะไฮออนิกระหว่างประจุลบของสีแอซิดและประจุบวกของเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียมโดยอาจมีแรงวันเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรเจนด้วย สำหรับการย้อมด้วยสีดิสเพอร์สจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสีดิสเพอร์สและนาโนเคลย์เนื่องจากมีแรงวันเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรเจน และพบว่าปริมาณการติดสีย้อมของนาโนคอมโพสิตขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมนาโนเคลย์ในนาโนคอมโพสิต ความสม่ำเสมอของการติดสีขึ้นกับการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของอนุภาคในเนื้อพอลิพรอพิลีนและระยะเวลาในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

จากงานวิจัยของ Qinguo Fan และคณะ การเตรียมพอลิพรอพิลีนที่สามารถย้อมสีได้โดยการเตรียมเป็นนาโนคอมโพสิตด้วยการผสมแบบ ultrasonic homogenization และขึ้นรูปฟิล์มด้วย hot plate ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ซึ่งสมบัติที่ดีอีกอย่างของนาโนคอมโพสิตคือสมบัติทนความร้อนและสมบัติเชิงกลที่ดี ซึ่ง Qinguo Fan และคณะ ไม่ได้กล่าวถึง โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาพอลิพรอพิลีนที่สามารถย้อมสีได้ และทำการศึกษาเพิ่มเติมด้านสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของนาโนคอมโพสิตที่เตรียมได้

โครงการวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการผลิตพอลิพรอพิลีนที่สามารถย้อมสีได้โดยอาศัยหลักการของนาโนเทคโนโลยีเพื่อเตรียมนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนด้วยกระบวนการ

การอัดรีด โดยมอนต์มอริลโลไนต์จะถูกนำมาตัดแปรให้เป็นออร์กาโนเคลย์ด้วยสารทำให้นุ่มจากนั้นนำไปเคลือบบนเม็ดพอลิพรอพิลีนก่อนนำไปอัดรีดในเครื่องอัดรีดเกลียวคู่ เพื่อให้ได้นาโนคอมโพสิต แล้วนำนาโนคอมโพสิตที่เตรียมได้ไปขึ้นรูปให้เป็นฟิล์มบางก่อนนำไปเชื่อมด้วยฮีแอซิดและสี่เบสิก ทำการทดสอบสมบัติการติดสีข้อม ทดสอบสมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกายภาพของนาโนคอมโพสิตต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัสดุดิบและสารเคมี

วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้ คือ

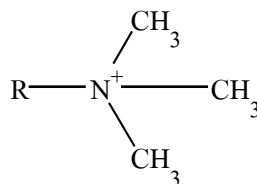
1. เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน ชื่อทางการค้า Moplen HP500N ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เอ็ช เอ็ม ซี โพลีเมอส์ จำกัด โดยมีสมบัติดังนี้

- อัตราการไหล 12 กรัม/10 นาที
- ความหนาแน่น 0.90 กรัม/ซม.³
- ความทนแรงดึง ณ จุดคราก 33 เมกะปาสคัล
- ความสามารถในการยืดดึง ณ จุดคราก 10 %
- มอดูลัสการโค้งงอ 1450 เมกะปาสคัล
- ความทนแรงกระแทก ที่ 23 °C 20 จูล/เมตร
- ความแข็งแบบร็อกเวลล์, สเกล R
- อุณหภูมิการงอโดยความร้อน ที่ 455 กิโลปาสคัล 93 °C

2. แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ชื่อทางการค้า Mac-gel เกรด WN-02 ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทไทย นิปปอน เคมีคัล อินดัสทรี จำกัด โดยส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพมีดังนี้

- ซิลิกา (SiO₂) ร้อยละ 55-60
- อะลูมินา (Al₂O₃) ร้อยละ 14-18
- โซเดียม (Na₂O₃) ร้อยละ 2.4-3.2
- แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ 2.0-2.6
- แคลเซียม (CaO) ร้อยละ 2.0-2.5
- เหล็ก (Fe₂O₃) ร้อยละ 1-3
- โพแทสเซียม (K₂O) ร้อยละ 0.4-0.6
- ไททานเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ร้อยละ 0.2-0.3
- น้ำหนักที่สูญหายหลังจากการเผา (LOI) ร้อยละ 10-12

3. สารทำให้นุ่ม (Softener) ในงานวิจัยนี้จะใช้เกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม ซึ่งแสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีอย่างง่ายดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม

4. สีย้อม (Dyestuffs) สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัย

ชนิดของสี	ชื่อทางการค้า	C.I. Number	ผู้ผลิต
สีแอซิด	Erionyl Red A-3B	C.I. Acid Red 131	Ciba-Geigy
	Moderacid Blue Black 10B	C.I. Acid Black 1	Modern Dyestuffs & Pigments Co., Ltd.
สีเบสิก	Maxilon Go'Yellow GL	C.I. Basic Yellow 28	Ciba-Geigy
	-	C.I. Basic Red 46	Modern Dyestuffs & Pigments Co., Ltd.
	-	C.I. Basic Blue 41	Modern Dyestuffs & Pigments Co., Ltd.

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างการทดลอง วิเคราะห์ และทดสอบ มีดังต่อไปนี้

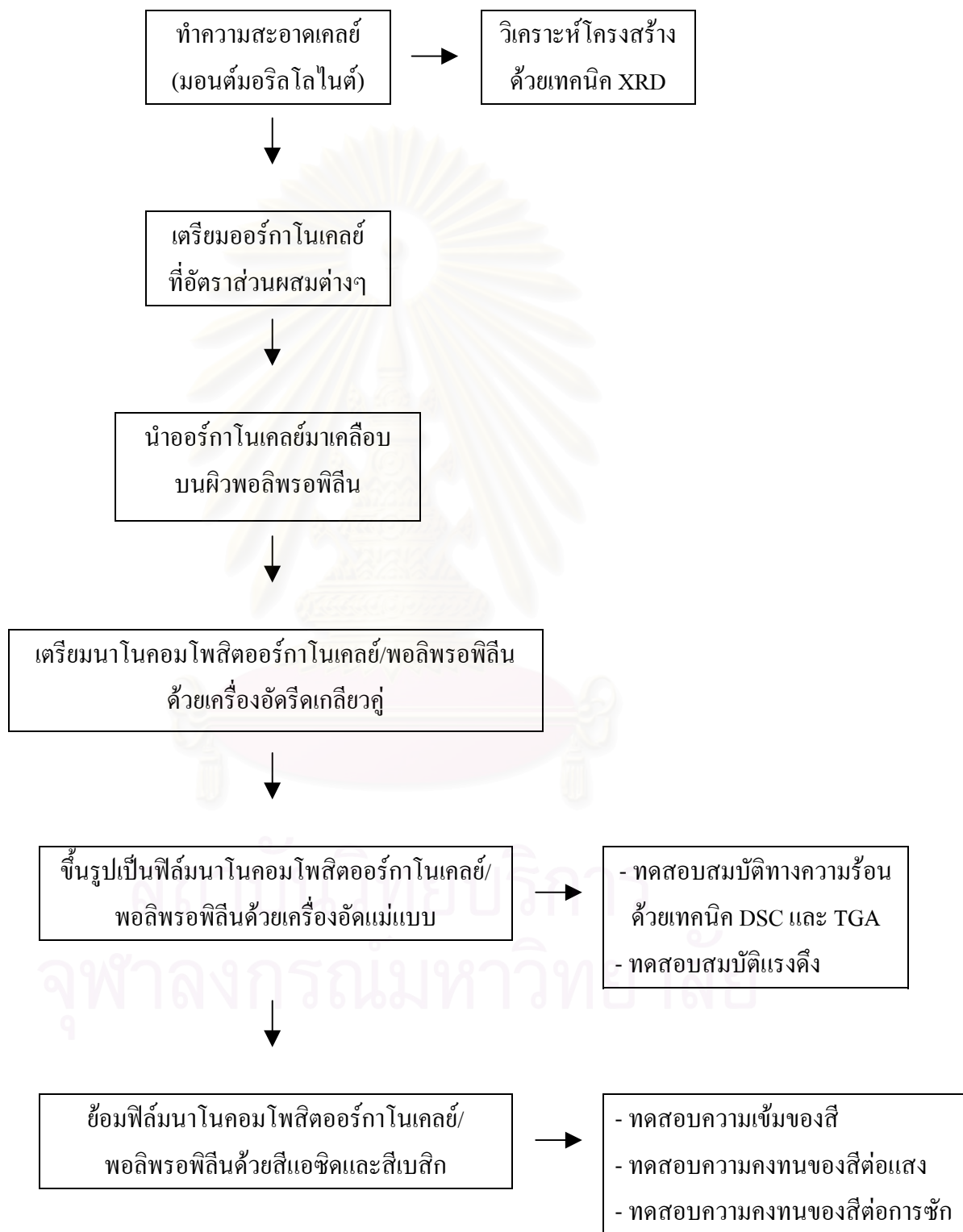
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์/เครื่องมือ	รุ่น	ผู้ผลิต
เครื่องอัดรีดเกลียวคู่ (Co-rotating twin screw extruder)	TSE Systems	Thermo Prism
เครื่องอัด (Compression moulding)	4 Hydraulic Column	-
เครื่องย้อม (Dyeing machine)	Ahiba Polymat	-
เครื่องวัดสี (Spectrophotometer)	Color-Eye 7000	MACBETH
เครื่องวัดความคงทนของสีต่อการซัก	Ahiba Polymat	-
เครื่องวัดความคงทนของสีต่อแสง	XenoTest Belta LM	-
ตู้วัดสี (Color Assessment Cabinet)	CAC 60	VeriVide
เครื่องวัดความทนแรงดึง (Universal testing machine)	LLOYD LR 5 K	LLOYD Instruments
X-Ray diffraction (XRD)	PW 3710	Phillips
Differential Scanning Calorimetry (DSC)	DSC7	Perkin-Elmer
Thermogravimetric analysis (TGA)	TGA7	Perkin-Elmer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำการทดลอง



3.3.2 การเตรียมออร์กาโนเคลย์

ทำความสะดวกเคลย์โดยนำมอนต์มอริลโลไนต์มาแช่ในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 2 N เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 10 ครั้ง จึงนำไปกรอง แล้วอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ทำความสะอาดแล้วไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค X-Ray diffraction (XRD)

ซังมอนต์มอริลโลไนต์ตามที่ต้องการนำมาผสมกับน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย กวนของผสมเพื่อให้มอนต์มอริลโลไนต์เกิดการบวมตัว จากนั้นจึงนำมาผสมสารทำให้นุ่มที่ละลายในน้ำกลั่น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในอัตราส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ทำการกวนจนมอนต์มอริลโลไนต์เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับสารทำให้นุ่ม ได้เป็นออร์กาโนเคลย์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนการผสมระหว่างมอนต์มอริลโลไนต์และสารทำให้นุ่ม

อัตราส่วนผสม มอนต์มอริลโลไนต์/สารทำให้นุ่ม	ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ (% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน)	ปริมาณสารทำให้นุ่ม (% โดยน้ำหนักพอลิพรอพิลีน)
0/0	0	0
0/6	0	6
0/7	0	7
0/8	0	8
0/9	0	9
2.5/6	2.5	6
2.5/7	2.5	7
2.5/8	2.5	8
2.5/9	2.5	9
5/6	5	6
5/7	5	7
5/8	5	8
5/9	5	9
7.5/6	7.5	6
7.5/7	7.5	7
7.5/8	7.5	8
7.5/9	7.5	9
10/6	10	6
10/7	10	7
10/8	10	8
10/9	10	9

3.3.3 การเคลือบออร์กาโนเคลย์ลงบนผิวของเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน

นำออร์กาโนเคลย์ที่เตรียมได้มาเคลือบบนเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน โดยผสมออร์กาโนเคลย์กับเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน จากนั้นทำการกวนตลอดเวลาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา

30 นาที เพื่อให้เคลย์เคลือบอยู่บนผิวเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่ผ่านการเคลือบด้วยออร์กาโนเคลย์เพื่อบันทึกหาปริมาณเคลย์ที่เคลือบบนผิวเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (clay uptake) นำเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่ผ่านการเคลือบด้วยออร์กาโนเคลย์ไปทำให้น้ำระเหยออกจากเคลย์โดยเทเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่ผ่านการเคลือบด้วยออร์กาโนเคลย์ลงในถาดอะลูมิเนียมแล้วนำไปวางบนฮอตเพลท (hotplate) กวนตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนได้เป็นออร์กาโนเคลย์เคลือบบนเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน

3.3.4 การเตรียมนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

นำเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่ผ่านการเคลือบด้วยออร์กาโนเคลย์ไปเตรียมเป็นนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวคู่ (twin screw extruder) ดังรูปที่ 3.2 โดยให้มีภาวะในการผสมดังแสดงในตารางที่ 3.4 นาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนหลังจากออกจากหัวดายจะถูกทำให้เย็นทันทีด้วยน้ำแล้วจึงผ่านเข้าเครื่องตัดเม็ดพลาสติกเพื่อเป็นเม็ดนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดรีดเกลียวคู่ (twin screw extruder)

ตารางที่ 3.4 ภาวะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวคู่

ภาวะในการผสมในเครื่องอัดรีดเกลียวคู่	อุณหภูมิในการผสม (°C)
โซน 1	50
โซน 2	160
โซน 3	190
โซน 4	190
โซน 5	180

หมายเหตุ : ความเร็วรอบสกรู 40 รอบ/นาที

3.3.5 การขึ้นรูปฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

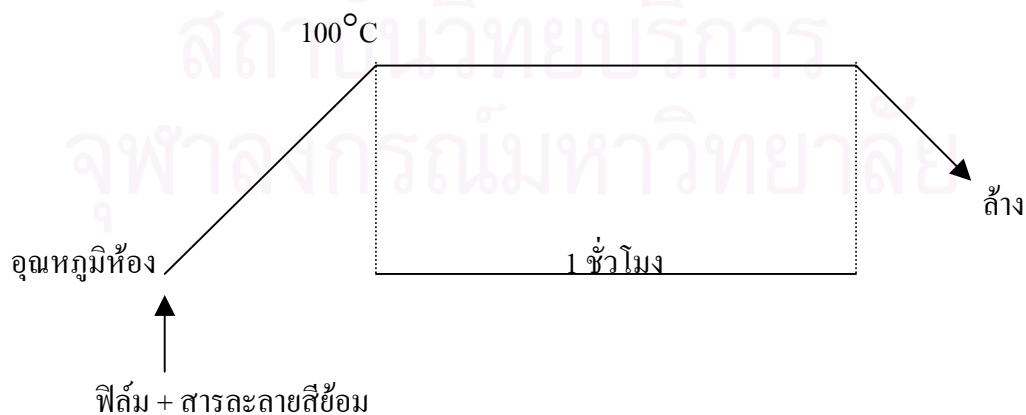
นำเม็ดนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มบางได้โดยนำไปเข้าเครื่องอัดแม่แบบ (compression moulding) ดังรูปที่ 3.3 โดยซังเม็ดนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนให้มีน้ำหนัก 2 กรัม จากนั้นนำเม็ดนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนมาวางเรียงบนแผ่นแม่แบบ แล้วนำแผ่นแม่แบบอีกแผ่นมาวางประกบบนเม็ดนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน แล้วนำเข้าเครื่องอัดที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 190 องศาเซลเซียส ความดัน 250 บาร์ ทำการอัดแม่แบบขึ้นรูปฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนเป็นเวลาสั้นๆ จำนวน 10 ครั้ง เพื่อไล่อากาศซึ่งจะทำให้เกิดฟองอากาศในฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน แล้วจึงทำการอัดค้างไว้เป็นเวลา 3 นาที เพื่อขึ้นรูปฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน นำแม่แบบออกจากเครื่องอัดทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงนำฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนออกจากแม่แบบ นำฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ได้ไปข้อมสีและทดสอบสมบัติต่อไป



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดแม่แบบ (Compression moulding)

3.3.6 การย้อมสีฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

ทำการย้อมฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนด้วยสีแอสิดเจดสีต่างๆ คือ สีแดง (C.I. Acid Red 131) สีดำ (C.I. Acid Black 1) และสีเบสิกเจดสีต่างๆ คือ สีเหลือง (C.I. Basic Yellow 28) สีแดง (C.I. Basic Red 46) สีน้ำเงิน (C.I. Basic Blue 41) ที่ระดับความเข้มข้นของสีร้อยละ 5 (%owf) ของน้ำหนักผ้าในเครื่องย้อม Ahiba Polymat ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักฟิล์มบางนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนต่อสารละลาย 1:10 ย้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำฟิล์มมาล้างเพื่อกำจัดสีที่ไม่ผนึกบนฟิล์มออก และทิ้งไว้ให้แห้ง โดยขั้นตอนการย้อมแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภูมิขั้นตอนการย้อม



รูปที่ 3.5 เครื่องข้อม

3.4 การทดสอบ

การทดสอบฟิล์มในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบหาสมบัติของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน ซึ่งการทดสอบประกอบด้วย การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเคลย์ภายในนาโนคอมโพสิต การหาค่าความสามารถในการติดสีของฟิล์ม ความคงทนของสีต่อการซัก ความคงทนของสีต่อแสง สมบัติแรงดึง และสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม

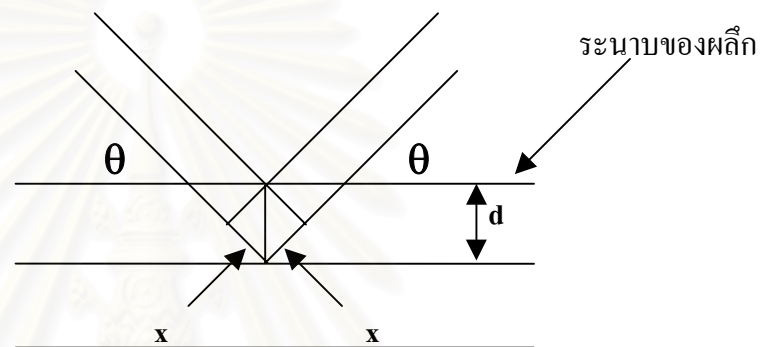
3.4.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ภายในฟิล์มนาโนคอมโพสิต

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ภายในฟิล์มนาโนคอมโพสิต สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)

ในการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกจำเป็นต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงหรือน้อยกว่าขนาดของอะตอม แสงที่มีความยาวคลื่นขนาดดังกล่าวได้แก่ รังสีเอกซ์ ซึ่งได้จากการยิงอะตอมของธาตุ (เช่น โคบอลต์ หรือ โมลิบดีนัม) ด้วยลำอิเล็กตรอน นอกจากรังสีเอกซ์แล้ว รังสีอื่นๆ ที่ใช้ก็ได้แก่ รังสีนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู รังสีซิงโครตรอน ซึ่งเป็นรังสีที่เปล่งออกมาโดยอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบอะตอมหรือไอออนภายในโครงสร้างของสารที่นำมาตรวจสอบ จะเกิดการกระเจิงประพฤติตัวคล้ายกับการสะท้อนออกจากระนาบของแลตติส

ผลึก ดังนั้นจึงสามารถใช้กฎการสะท้อนเช่นเดียวกับการสะท้อนจากกระจกเงา นั่นคือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนของแสง คลื่นแสงที่จะเกิดการรวมตัวแบบเสริมกันจะต้องเป็นคลื่นที่มีเฟสเหมือนกัน นั่นคือ ความแตกต่างของระยะทางที่คลื่นเหล่านั้นเคลื่อนที่ ต้องเท่ากับเลขจำนวนเต็มคูณด้วยความยาวคลื่น ดังแสดงในสมการแบร็ก (Bragg Equation) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.6 ข้อควรสังเกต คือ สมการแบร็กจะระบุถึงเงื่อนไขการเกิดรังสีสะท้อนแต่ไม่ได้กล่าวถึงความเข้มแสง

The Bragg equation describes X-ray diffraction



$$\text{Path different} = 2x = 2d\sin\theta$$

Thus, for diffraction to occur $n\lambda = 2d\sin\theta$

รูปที่ 3.6 อธิบายสมการแบร็กที่ใช้ในเทคนิค XRD

$$\text{สมการแบร็ก} \quad n\lambda = 2d\sin\theta \quad (3-1)$$

โดยที่ λ แทนความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

n เป็นเลขจำนวนเต็ม

d เป็นระยะห่างระหว่างระนาบผลึก

θ เป็นมุมตกกระทบของรังสีเอกซ์

จากสมการที่ (3-1) สามารถอธิบายการสะท้อนรังสีเอกซ์จากระนาบของผลึก ซึ่งระยะทางที่แสงเดินทางจากระนาบทั้งสองหรือ $2d\sin\theta$ ต้องเท่ากับ $n\lambda$

เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบบนผลึกซึ่งประกอบด้วยอะตอมที่เรียงตัวอย่างระเบียบ รังสีเอกซ์จะเกิดการสะท้อนจากอิเล็กตรอนด้วยมุมต่างๆ กัน เข้าเครื่องตรวจวัด เครื่องตรวจวัดจะวัดความเข้ม

แสงที่มุมสะท้อนต่างๆ (ซึ่งมีค่าเท่ากับมุมตกกระทบ) และให้ผลออกมาเป็นแพทเทิร์นระหว่างมุมตกกระทบกับความเข้มแสง ดังแผนภาพในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนภาพหลักการทำงานของเครื่อง XRD โดยสังเขป

จากรูปที่ 3.7 สามารถสรุปหน้าที่การทำงานของเครื่องมือแต่ละส่วนได้ดังนี้

- X-ray source เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ ภายในประกอบด้วยเป้าโลหะคอปเปอร์ (K_{α} เท่ากับ 1.5406 อังสตรอม)
- Sample เป็นสารที่นำมาใช้ตรวจสอบประเภท crystalline material โดยอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์
- Detector ใช้ตรวจวัดการหักเหของรังสีเมื่อตกกระทบสาร

ดังนั้นสิ่งที่ได้จากการทดลองประกอบด้วย

- 1) มุมหรือทิศทางของแสงสะท้อน (2θ) สำหรับคำนวณหาขนาดหน่วยเซลล์ได้
 - 2) ความกว้างของพีค (B) สำหรับคำนวณหาความเป็นผลึกของสารตัวอย่าง
 - 3) ความเข้มแสงสะท้อน (I) สำหรับคำนวณหาตำแหน่งของอะตอมภายในหน่วยเซลล์
- นอกจากนี้ยังมีค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น พารามิเตอร์การสั่น การกระจายของอิเล็กตรอน เป็นต้น

ฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนถูกนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ภายในฟิล์มนาโนคอมโพสิตด้วยเครื่อง Phillips PW 3710 X-ray diffraction โดยทำการวิเคราะห์ที่ 2θ เท่ากับ 0 ถึง 40 และผลการวิเคราะห์แสดงเป็นกราฟ



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบ X-ray diffraction

3.4.2 การทดสอบหาค่าความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

การทดสอบนี้กระทำขึ้นเพื่อวัดค่าการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่มีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์และสารทำให้หนืดที่แตกต่างกัน

ฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนหลังข้อมูถูกนำมาวัดค่าการติดสีเทียบกับฟิล์มพอลิพรอพิลีน ด้วยเครื่องวัดสี (reflectance spectrophotometer) รุ่น Macbeth แต่ละตัวอย่างจะวัดซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณโดยเครื่องวัดสี โดยค่าความเข้มของสีจะวัดที่จุดความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของสีแต่ละตัวที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละสีมีสมบัติการดูดแสงและสะท้อนแสงให้เห็นสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของค่าความยาวคลื่นสูงสุดของแต่ละสีที่ยอมรับได้ไม่ควรเกิน 10 นาโนเมตร



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดสี

3.4.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก

การทดสอบนี้กระทำขึ้นเพื่อศึกษาความคงทนของสีต่อการซักของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

ฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนหลังข้อมถูกนำมาวัดความคงทนของสีต่อการซักตามมาตรฐาน AATCC Test Method 61-2001 “Colorfastness to Laundering, Home and Commercial: Accelerated” Test No. 1A โดยใช้เครื่องข้อม (Ahiba Polymat) มีความเร็วแกนหมุน 40 ± 2 รอบต่อนาที

วิธีการทดสอบทำโดยการประกบด้านหน้าและหลังฟิล์มที่จะทดสอบด้วยผ้าฝ้ายทอที่ผ่านการกำจัดขนและไม่มี optical brightening agent (OBA) แล้วนำมาซักในน้ำสบู่มาตรฐานความเข้มข้น 0.37 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักฟิล์มต่อน้ำสบู่ 1 : 200 และใส่ลูกเหล็กสแตนเลส (stainless steel ball) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 10 ลูก อุณหภูมิที่ใช้ในการซัก 40 องศาเซลเซียส เวลาในการซัก 45 นาที เมื่อซักเสร็จแล้วให้นำชิ้นทดสอบมาล้างในน้ำกลั่น 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจึงตั้งขึ้นทดสอบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 71 องศาเซลเซียส ซึ่งการทดสอบจะกระทำ 1 ชิ้นทดสอบต่อตัวอย่างและทดสอบเพียงครั้งเดียว แล้ววัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและการเปื้อนติดสีบนผ้าประกบหลังการทดสอบในตัววัดสี ตามมาตรฐาน AATCC Evaluation Procedure 1 “Gray Scale for Color Change” และ AATCC Evaluation Procedure 2 “Gray Scale for Staining” ซึ่งเป็นมาตรฐานในการแบ่งระดับการเปลี่ยนแปลงของสีและการเปื้อนติดสีเพื่อระดับความคงทนของสีต่อการซัก

โดยที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน AATCC Evaluation Procedure 1 “Gray Scale for Color Change” แบ่งระดับออกเป็นดังนี้

ระดับ 5	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี
ระดับ 4-5	มีการเปลี่ยนแปลงสีเล็กน้อย
ระดับ 4	มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อย
ระดับ 3-4	มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยถึงปานกลาง
ระดับ 3	มีการเปลี่ยนแปลงสีปานกลาง
ระดับ 2-3	มีการเปลี่ยนแปลงสีปานกลางถึงมาก
ระดับ 2	มีการเปลี่ยนแปลงสีมาก
ระดับ 1-2	มีการเปลี่ยนแปลงสีมากถึงมากที่สุด
ระดับ 1	มีการเปลี่ยนแปลงสีมากที่สุด

และระดับการเปื้อนติดสีบนผ้าที่ประกอบตามมาตรฐาน AATCC Evaluation Procedure 2 “Gray Scale for Staining” แบ่งระดับออกเป็นดังนี้

ระดับ 5	ไม่มีการเปื้อนติดสี
ระดับ 4-5	มีการเปื้อนติดสีเล็กน้อย
ระดับ 4	มีการเปื้อนติดสีน้อย
ระดับ 3-4	มีการเปื้อนติดสีน้อยถึงปานกลาง
ระดับ 3	มีการเปื้อนติดสีปานกลาง
ระดับ 2-3	มีการเปื้อนติดสีปานกลางถึงมาก
ระดับ 2	มีการเปื้อนติดสีมาก
ระดับ 1-2	มีการเปื้อนติดสีมากถึงมากที่สุด
ระดับ 1	มีการเปื้อนติดสีมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 ตู้วัดสี

3.4.4 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

การทดสอบนี้กระทำเพื่อศึกษาความคงทนของสีต่อแสงของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

ฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนหลังย่อมถูกนำมาวัดความคงทนของสีต่อแสงตามมาตรฐาน AATCC Test Method 16-1998 “Colorfastness to Light” Option I โดยใช้เครื่อง Xenotest Belta LM และหลอดไฟซินอนรุ่น Xonstrahler มีพลังงานที่ฉายออกมาจากหลอด 48 ± 1 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิ 43 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $30 \pm 5\%$

วิธีการทดสอบกระทำโดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบกับผ้ามาตรฐานขนสัตว์สีน้ำเงิน (standard blue wool fabrics) ซึ่งมีอัตราความคงทนของสีต่อแสงจากระดับ 1 (มีความคงทนต่ำสุด) ถึงระดับ 8 (มีความคงทนสูงสุด) ซึ่งชิ้นทดสอบจะผ่านการฉายแสงพร้อมกับผ้ามาตรฐานทั้ง 8 ระดับ เมื่อชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงของสีเท่ากับระดับ 3 และหรือ 4 ของ เกย์สเกลก็ตรวจดูว่า ชิ้นทดสอบชิ้นใดที่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับผ้ามาตรฐาน ให้จัดระดับความคงทนของสีต่อแสงของชิ้นทดสอบเท่ากับผ้ามาตรฐานชิ้นนั้น ซึ่งการทดสอบจะกระทำ 1 ชิ้นทดสอบต่อตัวอย่างและทดสอบเพียงครั้งเดียว



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

การทดสอบนี้กระทำขึ้นเพื่อวัดค่าแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงไปของฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนเทียบกับฟิล์มพอลิพรอพิลีน

ฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนถูกนำทดสอบหาค่าแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 882-95a “Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting” ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

วิธีการทดสอบแรงดึงของฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนทำได้โดยตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 15 มิลลิเมตร และยาว 200 มิลลิเมตร โดยมีระยะดึง (gage length) 100 มิลลิเมตร ใช้ load cell ขนาด 100 กิโลนิวตัน อัตราเร็วที่ใช้ในการดึง 100 มิลลิเมตรต่อนาที และบันทึกค่าความเค้นสูงสุด (stress at maximum load) ความเครียด ณ จุดขาด (% strain at break) และยังสัมมอดูลัส (Young’s modulus) ทำการทดสอบ 5 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่างแล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบแรงดึง

3.4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมโพสิต

3.4.6.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง คาลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

ดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง คาลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimetry, DSC) เป็นการวัดความแตกต่างของพลังงาน (energy) หรือ การไหลของความร้อน (heat flow) ระหว่างสารทดสอบกับสารอ้างอิง เป็นฟังก์ชันกับเวลาหรืออุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่ให้แก่สารทั้งสองถูกกำหนดไว้ ณ บรรยากาศการทดสอบ กล่าวคือ DSC เป็นเทคนิคที่สามารถบอกขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของความร้อนในระบบที่สัมพันธ์กับปรากฏการณ์ต่างๆ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและหรือทางเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับความร้อน หรือถูกทำให้เย็น

เครื่องมือวิเคราะห์ DSC โดยพื้นฐานแล้วจะใช้ thermocouples เป็น sensors ทำหน้าที่ในการวัดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสารทดสอบและสารอ้างอิง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสารทดสอบได้รับความร้อน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และ/หรือทางเคมี ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิของสารทดสอบ ในขณะที่สารอ้างอิงไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ

การวิเคราะห์ด้วย DSC นั้นสัญญาณไฟฟ้าที่ตรวจสอบได้จะถูกแปลงไปเป็นการเปลี่ยนแปลงของการไหลของความร้อน (energy input per unit time) ก่อน แล้วจึงแสดงผลในลักษณะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของกระแสความร้อน (heat flow rate) กับ อุณหภูมิหรือ

เวลา ซึ่งทำให้สามารถศึกษา kinetic reaction, operating parameters ต่างๆ เพื่อการวิเคราะห์ที่เหมาะสม สามารถตรวจสอบ heat of reaction และประมาณ overall uncertainty ในการวิเคราะห์ได้

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ระหว่างสารทดสอบและสารอ้างอิงที่ได้ สามารถถูกแปลงไปเป็น differential heat flow ได้โดยอาศัยหลักการแปลง current flow ของ Ohms' Law ดังนี้

$$I = E/R \quad \Leftrightarrow \quad dq/dt = (T_s - T_r)/R \quad (3-2)$$

โดย I = current dq/dt = heat flow between sample and reference
 E = voltage (potential) T_s = temperature of sample
 R = electrical resistance T_r = temperature of reference
 R = thermal resistance of sample and reference

ฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนถูกนำมาทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Perkin-Elmer DSC7 Differential Scanning Calorimetry โดยทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ -15 ถึง -4 องศาเซลเซียส ใช้ heating rate 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และผลการวิเคราะห์แสดงเป็นกราฟ



รูปที่ 3.13 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง คาลอริมิเตอร์

3.4.6.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก อะนาลิซิส (Thermogravimetric analysis, TGA)

เทอร์โมกราวิเมตริก อะนาลิซิส (Thermogravimetric analysis, TGA) เป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิใน scanning mode หรือ กับเวลาใน isothermal mode เช่น ในการเกิด desorption, absorption, sublimation, vaporization, oxidation และ decomposition เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์ทางความร้อนที่เกิดขึ้นในบางกรณี อาจไม่มีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลเสมอไป เช่น melting, crystallization หรือ glass transition โดยการใช้งานส่วนใหญ่มักใช้ในการวิเคราะห์ decomposition และ thermal stability ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน และใช้ในการตรวจสอบ kinetic ของ physicochemical ที่เกิดขึ้นในตัวอย่าง

การแสดงผลการวิเคราะห์มักแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การเปลี่ยนแปลงของมวล (mass change; Δm) ในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ กับ อุณหภูมิ (temperature; T) หรือ เวลา (time; t) ใน scanning mode โดยที่อุณหภูมิที่ T_d หรือที่เรียกว่า procedural decomposition temperature จะแสดงอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็น onset ของเกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลที่สามารถวัดได้ และ T_f หรือ final temperature เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลได้อย่างสมบูรณ์ reaction interval ที่ได้จะไม่ใช่ค่าจำเพาะตัวของวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

ฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนถูกนำมาทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Perkin-Elmer TGA7 Thermogravimetric analysis โดยทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 0 ถึง 1000 องศาเซลเซียส ใช้ heating rate 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และผลการวิเคราะห์แสดงเป็นกราฟ



รูปที่ 3.14 เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก อะนาลิซิส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

ในงานวิจัยนี้ ในเบื้องต้นพบปัญหาเกี่ยวกับการผสมออร์กาโนเคลย์ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับเรซินพอลิพรอพิลีน การผสมออร์กาโนเคลย์ในรูปแบบกับเม็ดพอลิพรอพิลีนโดยอาศัยเครื่องอัดรีดโดยตรงนั้น พบว่าของผสมที่ได้ยังไม่สามารถทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน การแก้ไขปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยนี้คือ จะทำการเคลือบออร์กาโนเคลย์ในรูปแบบที่ยังเปียกน้ำอยู่ โดยการคลุกเคล้ากันในภาชนะที่ให้ความร้อนตลอดเวลาเพื่อระบายเอาน้ำออก จนกระทั่งได้เม็ดพอลิพรอพิลีนที่เคลือบด้วยออร์กาโนเคลย์อย่างสม่ำเสมอ ออร์กาโนเคลย์มีความสามารถยึดเกาะกับผิวของพอลิพรอพิลีนได้ดี เนื่องจากส่วนประกอบของสารทำให้นุ่มในออร์กาโนเคลย์มีหมู่อะลิฟาติกซึ่งมีสมบัติเข้ากันได้ดีกับเนื้อของพอลิพรอพิลีน เมื่อนำเอาเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่ผ่านการเคลือบด้วยออร์กาโนเคลย์ไปเข้าสู่กระบวนการอัดรีดในเครื่องอัดรีดเกลียวคู่ ก็จะได้เม็ดนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน ลักษณะของนาโนคอมโพสิตที่ได้นั้นจะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่สามารถสังเกตเห็นเฟสของเคลย์ในชิ้นงานได้เลย หลังจากนั้นนำไปอัดเพื่อขึ้นรูปเป็นฟิล์มด้วยเครื่องอัดแม่แบบ ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ได้มีลักษณะสีน้ำตาลอ่อน ชุ่มกว่าฟิล์มพอลิพรอพิลีน มองด้วยตาเปล่าเห็นเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เห็นอนุภาคของออร์กาโนเคลย์ภายในนาโนคอมโพสิตดังแสดงรูปที่ 4.1 จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพอจะสรุปในเบื้องต้นได้ว่าวิธีการดังกล่าวสามารถเตรียมนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนได้ ซึ่งฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



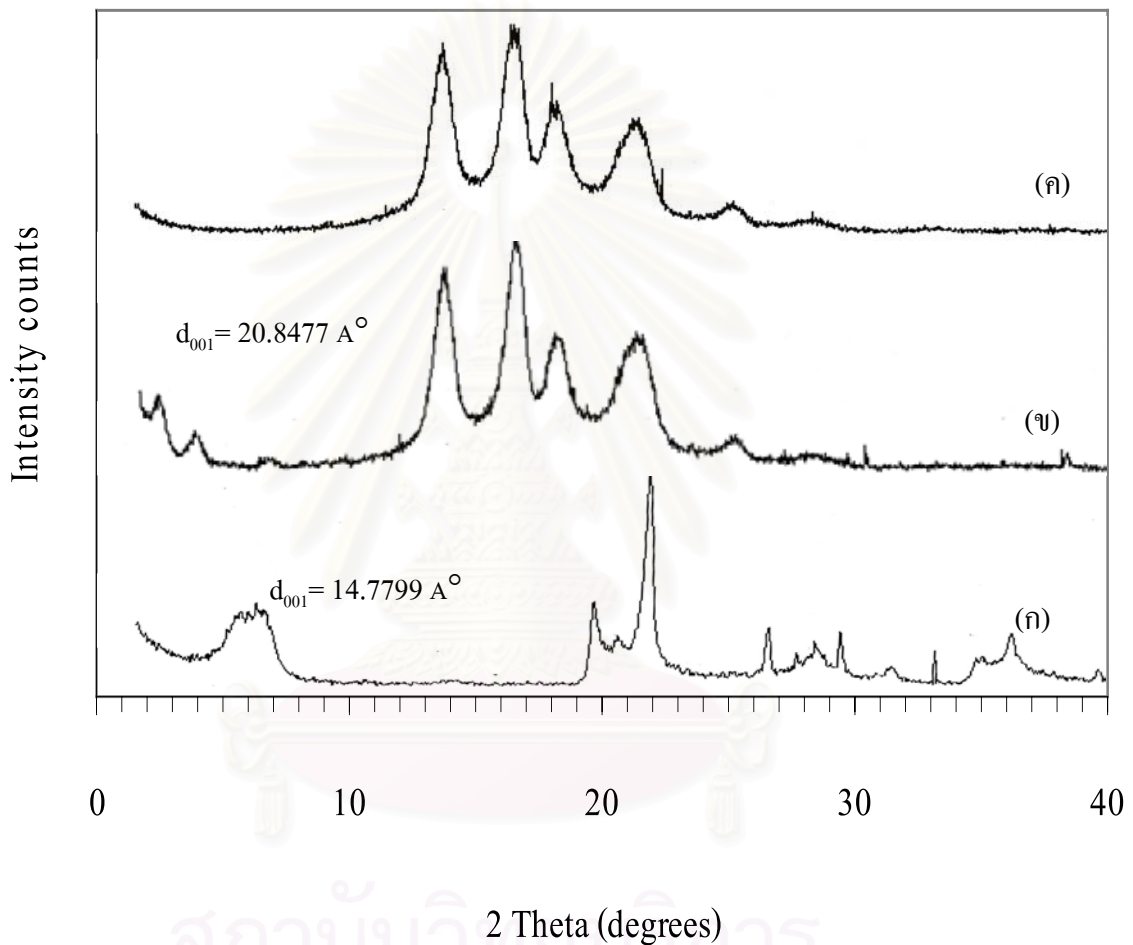
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มพอลิพรอพิลีนและฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

4.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเคลย์ภายในนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction, XRD)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ภายในนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนได้ศึกษาโดยใช้เทคนิค XRD

โดยในขั้นตอนแรก ได้ทำการวิเคราะห์หาโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์บริสุทธิ์โดยเทคนิค XRD ซึ่งเทคนิคนี้จะใช้ในการวิเคราะห์หาขนาดของช่องว่างหรือแกลเลอริระหว่างชั้นของแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกต ซึ่งคำนวณจากองศาการเบี่ยงเบนของรังสี X-ray โดยองศาการเบี่ยงเบนของรังสี X-ray จะวัดที่มุม 2θ ในรูปที่ 4.2 แสดงพิกการเบี่ยงเบนของมอนต์มอริลโลไนต์บริสุทธิ์ ซึ่งการการเบี่ยงเบนของรังสี X-ray ที่มุม 2θ มีดังนี้ 5.975° , 7.100° , 14.345° , 19.790° , 20.805° , 21.995° , 22.105° , 26.700° , 27.765° , 28.485° , 29.445° , 31.465° , 33.135° , 34.760° , 36.175° และ 39.510° จากมุม 2θ สามารถคำนวณหาช่องว่างระหว่างชั้นของแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกต โดยอาศัยสมการแบรค $n\lambda = 2d\sin\theta$ ได้ ดังตามลำดับดังนี้ 14.7799, 12.4403, 6.1695, 4.4826, 4.2661, 4.0379, 4.0181, 3.3361, 3.2105, 3.1310, 3.0310, 2.8409, 2.7014, 2.5788, 2.4811 และ 2.2790

องศา (A°) โดยที่เมื่อมีการเกิดการแยกชั้นระหว่างอะลูมิเนียมซิลิเกตเกิดขึ้น [28] จะพบการเปลี่ยนแปลงของการเบี่ยงเบนของรังสี X-ray ได้ชัดเจนที่สุดที่มุม 2θ เท่ากับ 5.975° หรือการเปลี่ยนแปลงของช่องแกลเลอรีที่มีระยะห่างเท่ากับ 14.7799 องศา ดังนั้นในการทดลองนี้จึงจะทำการยืนยันการแยกชั้นของเคลย์โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 5.975° เป็นหลัก



รูปที่ 4.2 แพทเทิร์นฟิสิกการเบี่ยงเบนของรังสี X-ray ของ (ก) มอนต์มอริลโลไนต์ (ข) นาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน (ค) พอลิพรอพิลีน

จากนั้นทำการวิเคราะห์หาโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ในนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน ที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนและมีปริมาณสารทำให้นุ่มร้อยละ 9 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนการขยายของระยะห่างของช่องแกลเลอรีของมอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งเกิดจากการสอดแทรกของสารทำให้นุ่มยืนยันได้ในรูปที่ 4.2 (ข) ซึ่งพบว่าฟิสิกการเบี่ยงเบนของรังสี X-ray ของออร์กาโนเคลย์เปลี่ยนไปจาก

ตำแหน่งเดิมที่ฟิสิกการเบี่ยงเบนของรังสี X-ray ที่มุม 2θ เท่ากับ 5.975° เปลี่ยนไปที่ฟิสิกการเบี่ยงเบนของรังสี X-ray ที่มุม 2θ เท่ากับ 4.235° และระยะห่างของช่องแกลเลอรีเพิ่มขึ้นจาก 14.7799 อังสตรอม เป็น 20.8477 อังสตรอม ในขั้นตอนนี้จะได้เคลย์ดัดแปรหรือออร์กาโนเคลย์ตามต้องการ ซึ่งมีสมบัติที่เข้ากันได้กับสารอินทรีย์ได้มากขึ้น หรือเรียกว่า organophillic และจากผลการวิเคราะห์หาโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.2 (ค) ไม่ปรากฏฟิสิกการเบี่ยงเบนของรังสี X-ray ที่มุม 2θ เท่ากับ 2° ถึง 9° จึงเป็นการยืนยันได้ว่าฟิสิกการเบี่ยงเบนของรังสี X-ray ที่มุม 2θ เท่ากับ 4.235° ในรูปที่ 4.2 (ข) เป็นของออร์กาโนเคลย์

4.3 การทดสอบสมบัติของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

ภายหลังจากที่นำนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนไปทำการอัดขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องอัดแม่แบบ ฟิล์มนาโนคอมโพสิตจะถูกนำมาทดสอบหาความสามารถในการดูดซับสีข้อม ซึ่งจะรายงานในรูปค่า K/S นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบสมบัติความคงทนของสีต่อการซัก ความคงทนของสีต่อแสง การทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมโพสิตได้ทำการทดสอบความทนแรงดึง และสมบัติเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมโพสิตได้ทำการทดสอบด้วยเทคนิค DSC และ TGA

4.3.1 การทดสอบหาความสามารถในการดูดซับสีข้อมของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

นาโนคอมโพสิตที่เตรียมขึ้นจากการผสมออร์กาโนเคลย์กับเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน มีจุดประสงค์เพื่อต้องการเตรียมพอลิพรอพิลีนที่สามารถข้อมสีได้ โดยปกติแล้วการให้สีพอลิพรอพิลีนจะทำได้โดยการเติมฟิสิกเมนทลงไปในพลาสติกโดยตรง ในการทดลองนี้พอลิพรอพิลีนที่เตรียมในรูปของนาโนคอมโพสิตจะนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มก่อนนำไปทดสอบหาความสามารถในการดูดซับสีข้อม ซึ่งโดยปกติแล้วการข้อมสีพอลิพรอพิลีนจะข้อมในรูปของเส้นใย แต่เนื่องจากผู้วิจัยขาดอุปกรณ์ในการเตรียมเส้นใยพอลิพรอพิลีน จึงขึ้นรูปนาโนคอมโพสิตในรูปของฟิล์มแทน

การขึ้นรูปนาโนคอมโพสิตในรูปฟิล์มสามารถเตรียมได้โดยอาศัยเครื่องอัดแม่แบบ และลักษณะทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่เตรียมได้ ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1 ในส่วนนี้จะทดสอบสมบัติความสามารถในการดูดซับสีข้อมของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ทำได้โดยอาศัยวิธีการข้อมสีฟิล์มนาโนคอมโพสิตในเครื่อง Ahiba Polymat ด้วยสีแอสิด (สีประจวบ) และสีเบสิก (สีประจวบ)

ตามวิธีการย้อมสีในหัวข้อ 3.3.6 ค่าการติดสีย้อมของฟิล์มนาโนคอมโพสิตซึ่งแสดงในรูปของค่า K/S ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และแยกตามชนิดของสีดังรูปที่ 4.3-4.7

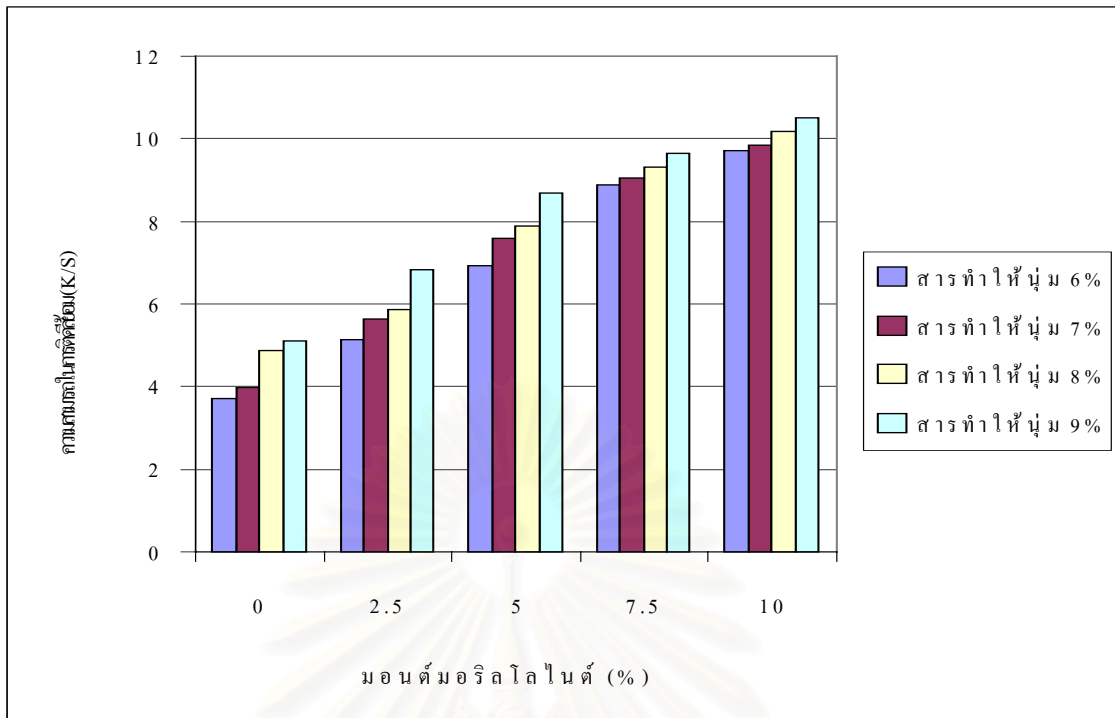
ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอสิดเจดสีต่างๆ คือ สีแดง C.I. Acid Red 131 สีดำ C.I. Acid Black 1 และสีเบสิกเจดสีต่างๆ คือ สีเหลือง C.I. Basic Yellow 28 สีแดง C.I. Basic Red 46 สีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41 ถูกนำมาหาความสามารถในการติดสีย้อมของฟิล์มเพื่อศึกษาผลของปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์และสารทำให้นุ่มในฟิล์มต่อความสามารถในการติดสีย้อม โดยเทียบกับฟิล์มพอลิพรอพิลีน ซึ่งรายงานในรูปค่า K/S และค่าที่ได้เป็นค่าที่ค่าความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของแต่ละสี โดยความแตกต่างของค่าความยาวคลื่นสูงสุดของแต่ละสีที่ยอมรับได้ไม่ควรเกิน 10 นาโนเมตร ผลการทดสอบมีดังนี้



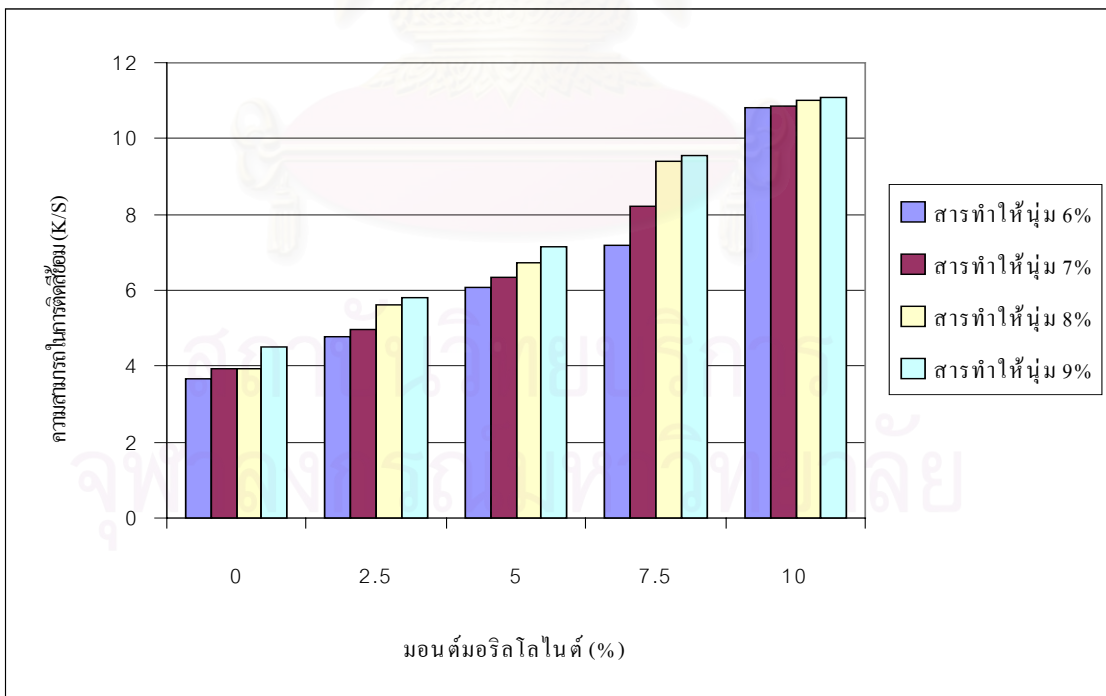
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิ-
พรอพิลีน : ผลของออร์กาโนเคลย์ที่มีอัตราส่วนของมอนต์มอริลโรไนต์/สารทำให้นุ่มต่างๆ

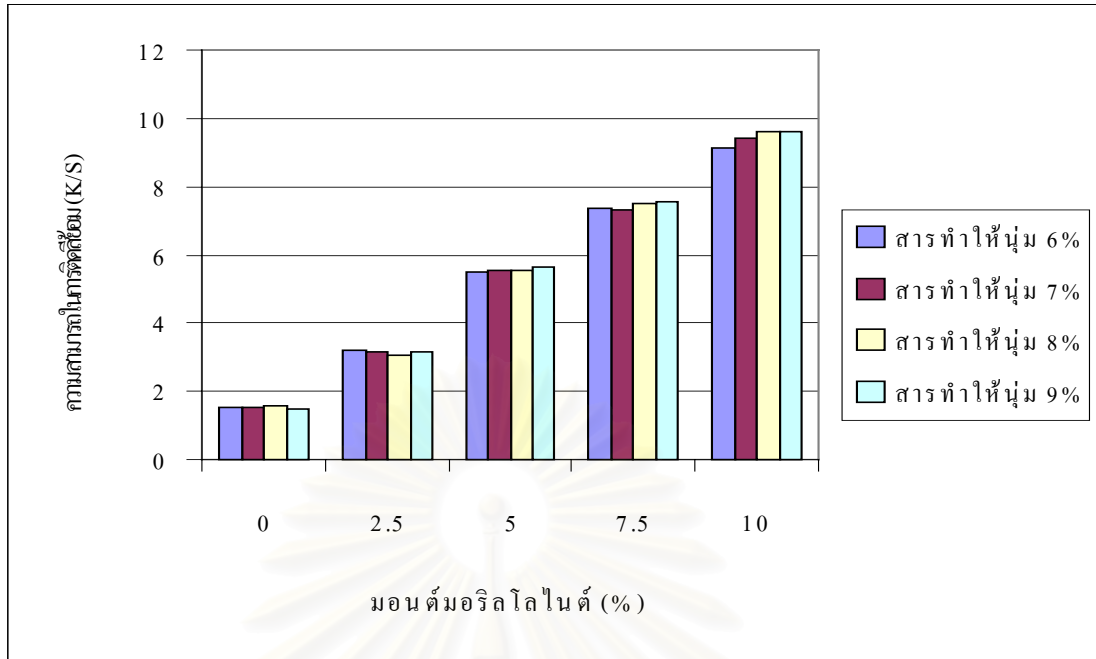
อัตราส่วน ของมอนต์ มอริลโร ไนต์/สารทำ ให้นุ่ม	ค่าความสามารถในการติดสี (K/S)				
	สีแอสิด		สีเบสิก		
	สีแดง C.I. Acid Red 131 (λ_{\max} =570 nm.)	สีดำ C.I. Acid Black 1 (λ_{\max} =630 nm.)	สีเหลือง C.I. Basic Yellow 28 (λ_{\max} =450 nm.)	สีแสด C.I. Basic Red 46 (λ_{\max} =530 nm.)	สีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41 (λ_{\max} =510 nm.)
0/6	3.717	3.663	1.543	1.728	2.192
0/7	3.971	3.925	1.526	1.768	2.223
0/8	4.899	3.932	1.569	1.749	2.214
0/9	5.102	4.504	1.494	1.736	2.170
2.5/6	5.137	4.789	3.181	3.186	6.877
2.5/7	5.621	4.974	3.174	3.182	6.699
2.5/8	5.881	5.630	3.046	3.181	6.784
2.5/9	6.821	5.804	3.157	3.175	6.855
5/6	6.935	6.059	5.514	6.059	7.451
5/7	7.578	6.363	5.556	6.363	7.580
5/8	7.883	6.709	5.543	6.709	7.539
5/9	8.678	7.143	5.656	7.143	7.433
7.5/6	8.889	7.188	7.369	8.469	8.909
7.5/7	9.040	8.222	7.334	8.493	8.873
7.5/8	9.326	9.403	7.512	8.493	8.850
7.5/9	9.639	9.566	7.540	8.481	8.886
10/6	9.725	10.798	9.120	9.363	9.203
10/7	9.830	70.845	9.441	9.350	9.257
10/8	10.181	11.000	9.609	9.353	9.269
10/9	10.518	11.082	9.622	9.358	9.270



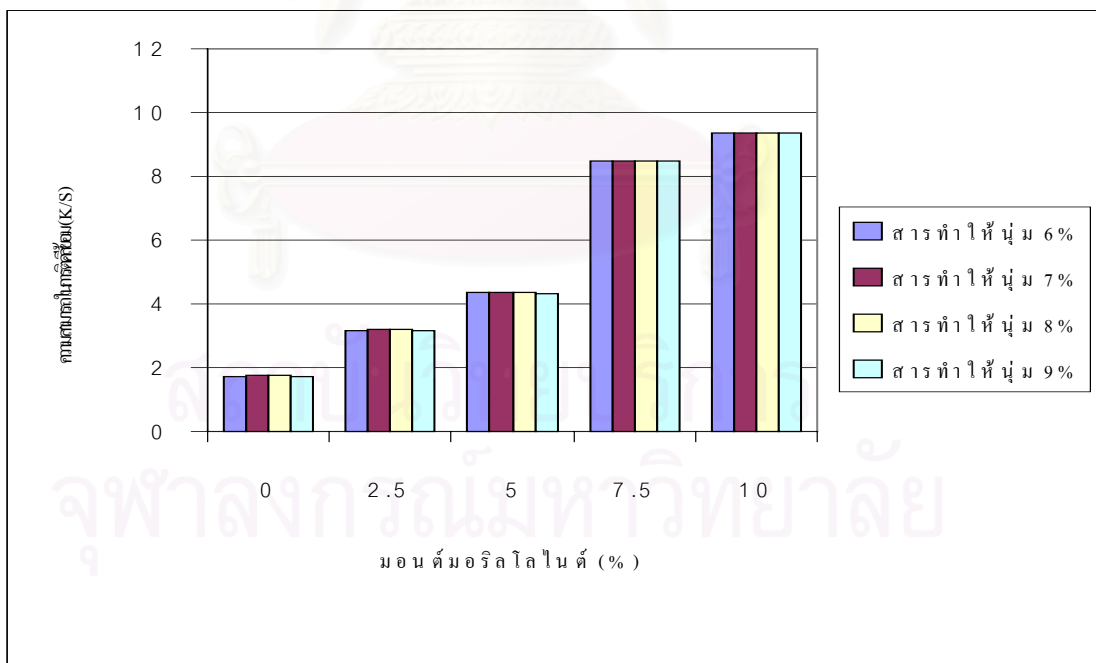
รูปที่ 4.3 ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่เชื่อมด้วยสีแอซิดสีแดง C.I. Acid Red 131



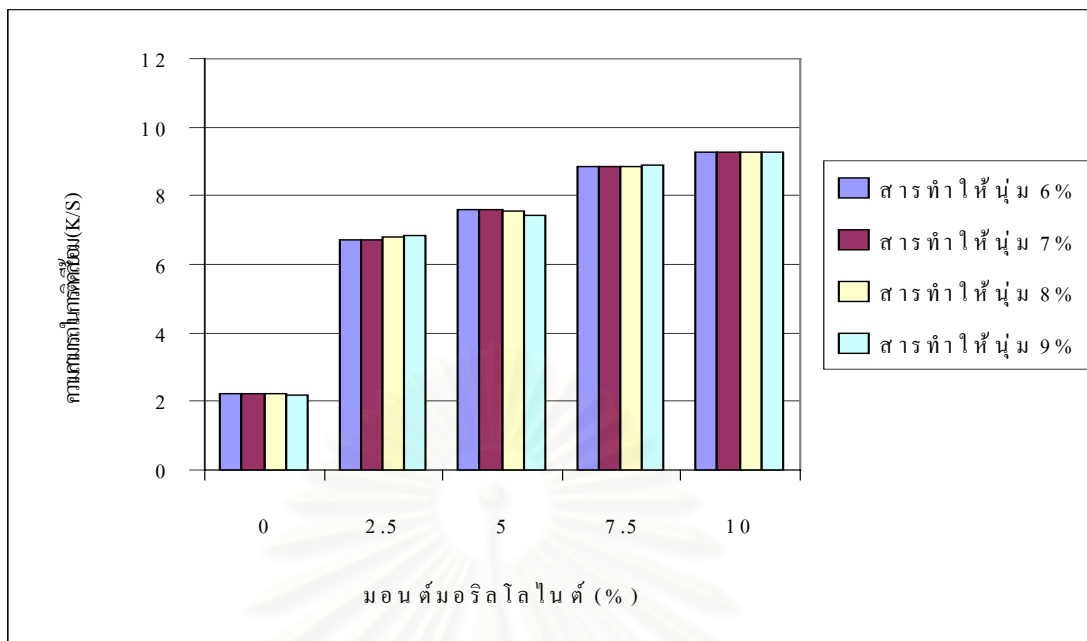
รูปที่ 4.4 ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่เชื่อมด้วยสีแอซิดสีดำ C.I. Acid Black 1



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่
ย้อมด้วยสีเบสิกสีเหลือง C.I. Basic Yellow 28



รูปที่ 4.6 ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่
ย้อมด้วยสีเบสิกสีแดง C.I. Basic Red 46



รูปที่ 4.7 ความสามารถในการติดสีของฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ ย้อมด้วยสีเบสิกสีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41

จากตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการติดสีของฟิล์ม นาโนคอมโพสิตและที่ย้อมด้วยสีแอสิดและสีเบสิก จากผลการทดสอบในตารางพบว่า ฟิล์ม นาโนคอมโพสิตที่ย้อมด้วยสีแอสิด สีแดง C.I. Acid Red 131 มีค่า K/S อยู่ในช่วง 3.717-10.518 สีดำ C.I. Acid Black 1 มีค่า K/S อยู่ในช่วง 3.663-11.082 ส่วนที่ย้อมด้วยสีเบสิก สีเหลือง C.I. Basic Yellow 28 มีค่า K/S อยู่ในช่วง 1.543-9.622 ย้อมด้วยสีแดง C.I. Basic Red 46 มีค่า K/S อยู่ในช่วง 1.728-9.358 ย้อมด้วยสีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41 มีค่า K/S อยู่ในช่วง 2.192-9.270 ซึ่งได้ นำค่าความสามารถในการติดสีมาแสดงในรูปกราฟดังรูปที่ 4.3-4.7

จากกราฟดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 จะสังเกตเห็นว่าความสามารถในการติดสีของ สีแอสิดจะแปรผันตามปริมาณของสารทำให้นุ่มที่อยู่ในฟิล์มนาโนคอมโพสิต ซึ่งฟิล์ม นาโนคอมโพสิตที่มีปริมาณสารทำให้นุ่มร้อยละ 9 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าค่า K/S ของสีแอสิดสีแดง C.I. Acid Red 131 และสีดำ C.I. Acid Black 1 มีค่าเป็น 10.518 และ 11.082 ตาม ลำดับ ซึ่งการดูดซับสีแอสิดของฟิล์มนาโนคอมโพสิตก็เนื่องมาจากสีแอสิดสามารถซึมเข้าไปใน เส้นใยได้โดยการเกิดพันธะไฮดรอกซิล นอกจากนี้ยังมีพันธะอื่นๆ อีกเช่น พันธะไฮโดรเจน และ พันธะวันเดอร์วาลส์ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของสารทำให้นุ่มนั้นเป็นการเพิ่มประจุบวกจึงเป็นการ เพิ่มความสามารถในการดูดซับสีแอสิดซึ่งเป็นสีที่มีประจุลบ

และจากกราฟดังรูปที่ 4.5-4.7 จะสังเกตเห็นว่าความสามารถในการติดสีของสีเบสิกจะแปรผันตามปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ที่อยู่ในฟิล์มนาโนคอมโพสิต ซึ่งฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าค่า K/S ของสีเบสิกสีเหลือง C.I. Basic Yellow 28, สีแดง C.I. Basic Red 46 และ สีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41 มีค่า K/S เป็น 9.622, 9.358 และ 9.270 ตามลำดับ ซึ่งการดูดติดสีเบสิกของฟิล์มนาโนคอมโพสิตก็เนื่องมาจากสีเบสิกเป็นสีประจุบวกจึงสามารถเกิดพันธะไอออนิกกับประจุลบจากมอนต์มอริลโลไนต์ที่อยู่ในฟิล์มนาโนคอมโพสิตได้ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์จึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับสีเบสิก

จากการทดลองนี้พบว่าการเตรียมพอลิพรอพิลีนในรูปของนาโนคอมโพสิตนั้นทำให้สามารถได้สมบัติการติดสีของพอลิพรอพิลีนเพิ่มเติมขึ้นมาได้อีก ซึ่งโดยปกติแล้วพอลิพรอพิลีนนั้นไม่มีความสามารถในการติดสีใดๆ เลย

4.3.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก

ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิก ถูกทดสอบหาความคงทนของสีต่อการซัก โดยวัดค่าความแตกต่างของสีของฟิล์มก่อนซักและหลังซักเทียบกับเกรย์สเกลสำหรับสีเปลี่ยน และของผ้าฝ้ายขาวประกบฟิล์มก่อนซักและหลังซักเทียบกับเกรย์สเกลสำหรับสีเปื้อนติด ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 ระดับความคงทนของสีต่อการซักของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่เชื่อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกเทียบกับเกรย์สเกลสำหรับสีเปลี่ยน

อัตราส่วน ของมอนต์ มอริลโด ไนต์/สารทำ ให้นุ่ม	ระดับความคงทนของสีต่อการซักเทียบกับเกรย์สเกลสำหรับสีเปลี่ยน				
	สีแอซิด		สีเบสิก		
	สีแดง C.I. Acid Red 131	สีดำ C.I. Acid Black 1	สีเหลือง C.I. Basic Yellow 28	สีแดง C.I. Basic Red 46	สีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41
0/6	3	2	4	3-4	3-4
0/7	3	2	4	3-4	3-4
0/8	3	1-2	4	3-4	3-4
0/9	2-3	1-2	4	3-4	3-4
2.5/6	2-3	1-2	4	3-4	3-4
2.5/7	3	1-2	4	3-4	3-4
2.5/8	3	2	4	3-4	3-4
2.5/9	3	2	4	3-4	3-4
5/6	2-3	2	4	4	3-4
5/7	2-3	2	4	4	3-4
5/8	2-3	2	4	4	3-4
5/9	2-3	2	3-4	3-4	3-4
7.5/6	2	2	4-5	4-5	3-4
7.5/7	2-3	2	4-5	4-5	4
7.5/8	2-3	2	4-5	4-5	4
7.5/9	3	1-2	4-5	4-5	4-5
10/6	3	2	4-5	4-5	4-5
10/7	3	1-2	5	4-5	4-5
10/8	3	1-2	5	5	5
10/9	3	2	5	5	5

ตารางที่ 4.3 ระดับความคงทนของสีต่อการซักของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกเทียบกับเกรย์สเกลสำหรับสีเปื้อนติด

อัตราส่วน ของมอนต์ มอริลโด ไนต์/สารทำ ให้นุ่ม	ระดับความคงทนของสีต่อการซักเทียบกับเกรย์สเกลสำหรับสีเปื้อนติด				
	สีแอซิด		สีเบสิก		
	สีแดง C.I. Acid Red 131	สีดำ C.I. Acid Black 1	สีเหลือง C.I. Basic Yellow 28	สีแดง C.I. Basic Red 46	สีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41
0/6	3-4	3-4	4-5	4-5	4
0/7	3-4	3-4	4-5	4-5	4
0/8	3-4	3-4	4-5	4-5	4
0/9	3-4	3-4	4-5	4-5	4
2.5/6	3-4	3-4	4-5	4-5	4
2.5/7	3-4	3-4	4-5	4-5	4
2.5/8	3-4	3	4-5	4-5	4
2.5/9	3-4	3	5	4-5	4
5/6	3-4	3-4	5	5	4
5/7	3-4	3-4	5	5	4
5/8	3	3	5	5	4
5/9	3	3	5	5	4
7.5/6	3	3	5	5	4
7.5/7	3	3	5	5	4
7.5/8	3	3	5	5	4
7.5/9	2-3	3	5	5	4
10/6	2-3	3	5	5	4
10/7	2-3	3	5	5	4-5
10/8	2-3	3	5	5	4
10/9	2-3	3	5	5	4

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าระดับความคงทนของสีต่อการซักของฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ ย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกโดยวัดความแตกต่างของสีฟิล์มก่อนซักและหลังซักเทียบกับเกรย์สเกล สำหรับสีเปลี่ยน และตารางที่ 4.3 แสดงค่าระดับความคงทนของสีต่อการซักของฟิล์ม นาโนคอมโพสิตที่ย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกโดยวัดความแตกต่างของผ้าฝ้ายขาวประกบฟิล์ม ก่อนซักและหลังซักเทียบกับเกรย์สเกลสำหรับสีเปื้อนติด ซึ่งถ้าค่าระดับความคงทนของสีฟิล์มมีค่า น้อยแสดงว่า ฟิล์มและผ้าฝ้ายขาวประกบฟิล์มก่อนและหลังทดสอบมีความแตกต่างของสีมากจน มองเห็นชัดเจนหมายถึงฟิล์มมีความคงทนของสีต่อการซักน้อยลง

ผลจากตารางที่ 4.2 พบว่า ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ย้อมด้วยสีแอซิดมีระดับความคงทนของ สีต่อการซักค่อนข้างน้อย คือ สีแดง C.I. Acid Red 131 อยู่ในระดับ 2-3 ถึง 3 สีดำ C.I. Acid Black 1 อยู่ในระดับ 1-2 ถึง 2 ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ย้อมด้วยสีเบสิกมีระดับความคงทนของสีต่อการซักปาน กลางถึงดีมาก คือ สีเหลือง C.I. Basic Yellow 28 อยู่ในระดับ 3-4 ถึง 5 สีแดง C.I. Basic Red 46 อยู่ใน ระดับ 3-4 ถึง 5 สีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41 อยู่ในระดับ 3-4 ถึง 5 และผลการทดสอบในตารางที่ 4.3 พบว่า ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ย้อมด้วยสีแอซิดมีระดับความคงทนของสีต่อการซักค่อนข้างน้อย ถึงปานกลาง คือ สีแดง C.I. Acid Red 131 อยู่ในระดับ 2-3 ถึง 3-4 สีดำ C.I. Acid Black 1 อยู่ใน ระดับ 3 ถึง 3-4 ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ย้อมด้วยสีเบสิกมีระดับความคงทนของสีต่อการซักดีถึงดีมาก คือ สีเหลือง C.I. Basic Yellow 28 อยู่ในระดับ 4-5 ถึง 5 สีแดง C.I. Basic Red 46 อยู่ในระดับ 4-5 ถึง 5 สีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41 อยู่ในระดับ 4 ถึง 4-5

ระดับความคงทนของสีต่อการซักของฟิล์มนาโนคอมโพสิตดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ให้ผลที่สอดคล้องกัน คือ ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ย้อมด้วยสีแอซิดที่ความคงทนของสีต่อการซัก ต่ำกว่าที่ย้อมด้วยสีเบสิก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการยึดเกาะของสีแอซิดกับประจุบวกของสารทำให้นุ่ม ไม่แข็งแรงหรือเป็นเพราะสีแอซิดเกาะอยู่ที่ผิวหน้า เวลาซักล้างจึงหลุดออกได้ง่าย ในขณะที่การยึด เกาะของสีเบสิกกับประจุลบของมอนต์มอริลโลไนต์มีความแข็งแรงมากกว่า เวลาซักจึงหลุดยาก กว่า

4.3.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

ฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์แกนอเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิก ถูกทดสอบหาความคงทนของสีต่อแสง ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ระดับความคงทนของสีต่อแสงของฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/
พอลิพรอพิลีนที่เชื่อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกเทียบกับผ้าขนสัตว์มาตรฐานสีน้ำเงิน

อัตราส่วน ของมอนต์ มอริลโด ไนต์/สารทำ ให้นุ่ม	ระดับความคงทนของสีต่อแสงเทียบกับผ้าขนสัตว์มาตรฐานสีน้ำเงิน				
	สีแอซิด		สีเบสิก		
	สีแดง C.I. Acid Red 131	สีดำ C.I. Acid Black 1	สีเหลือง C.I. Basic Yellow 28	สีแดง C.I. Basic Red 46	สีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41
0/6	4	4	3	3	3
0/7	4	4	3	3	3
0/8	4	4	3	3	3
0/9	4	4	3	3	3
2.5/6	4	4	3	3	3
2.5/7	4	4	3	3	3
2.5/8	4	4	3	3	3
2.5/9	4	4	3	3	3
5/6	4	4	3	3	3
5/7	4-5	4-5	3	3	3
5/8	5	5	3	3	3
5/9	6	5-6	3	3	3
7.5/6	6	6	3	3	3
7.5/7	6-7	6	3	3	3
7.5/8	6-7	6-7	3	3	3
7.5/9	6-7	6-7	3	3	3
10/6	6-7	6-7	3	3	3
10/7	6-7	6-7	3-4	3	4
10/8	6-7	6-7	4	4	4-5
10/9	7	7	4-5	4-5	4-5

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าระดับความคงทนของสีต่อแสงของฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่เชื่อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกโดยเทียบกับผ้าขนสัตว์มาตรฐานสีน้ำเงิน ซึ่งถ้าค่าระดับความคงทนของสีมีค่ามากหมายถึงฟิล์มที่ความคงทนของสีต่อแสงมาก

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.4 พบว่า ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่เชื่อมด้วยสีแอซิดมีความคงทนของสีต่อแสงระดับปานกลางถึงดีมาก คือ ระดับความคงทนของสีต่อแสงเทียบกับผ้าขนสัตว์มาตรฐานสีน้ำเงินของฟิล์มนาโนคอมโพสิตเชื่อมด้วยสีแอซิดสีแดง C.I. Acid Red 131 มีอยู่ในระดับ 4 ถึง 7 โดยถ้าฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 5 จะมีระดับความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 4 ถึง 6 และถ้าปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 7.5 ถึง 10 จะมีระดับความคงทนของสีต่อแสงดีขึ้นอยู่ในระดับ 6 ถึง 7 สีดำ C.I. Acid Black 1 มีระดับความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 4 ถึง 7 โดยถ้าฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 5 จะมีระดับความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 4 ถึง 5-6 และถ้าปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 7.5 ถึง 10 จะมีระดับความคงทนของสีต่อแสงดีขึ้นอยู่ในระดับ 6 ถึง 7 ฟิล์มนาโนคอมโพสิตเชื่อมด้วยสีเบสิกมีระดับความคงทนของสีต่อแสงต่ำถึงปานกลาง คือ ระดับความคงทนของสีต่อแสงเทียบกับผ้าขนสัตว์มาตรฐานสีน้ำเงินของฟิล์มนาโนคอมโพสิตเชื่อมด้วยสีเบสิกสีเหลือง C.I. Basic Yellow 28 อยู่ในระดับ 3 ถึง 4-5 โดยถ้าฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 7.5 จะมีระดับความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 3 และถ้าปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 10 จะมีระดับความคงทนของสีต่อแสงดีขึ้นเล็กน้อยอยู่ในระดับ 3 ถึง 4-5 สีแดง C.I. Basic Red 46 อยู่ในระดับ 3 ถึง 4-5 โดยถ้าฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 7.5 จะมีระดับความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 3 และถ้าปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 10 จะมีระดับความคงทนของสีต่อแสงดีขึ้นเล็กน้อยอยู่ในระดับ 3 ถึง 4-5 สีน้ำเงิน C.I. Basic Blue 41 อยู่ในระดับ 3 ถึง 4-5 โดยถ้าฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 7.5 จะมีระดับความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 3 และถ้าปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 10 จะมีระดับความคงทนของสีต่อแสงดีขึ้นเล็กน้อยอยู่ในระดับ 3 ถึง 4-5 โดยปกติสารประจุบวก คือ สารทำให้นุ่มจะทำให้ความคงทนของสีต่อแสงลดลง แต่ในกรณีนี้พบว่าสารทำให้นุ่มไม่มีผลต่อความคงทนของสีต่อแสง และชี้ให้เห็นว่าความคงทนของสีต่อแสงของสีเบสิกต่ำอยู่แล้วเนื่องจากตัวสีเบสิกมีประจุบวก ซึ่งจะซีดจางได้ง่ายเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแสงแดด

4.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/ พอลิพรอพิลีน

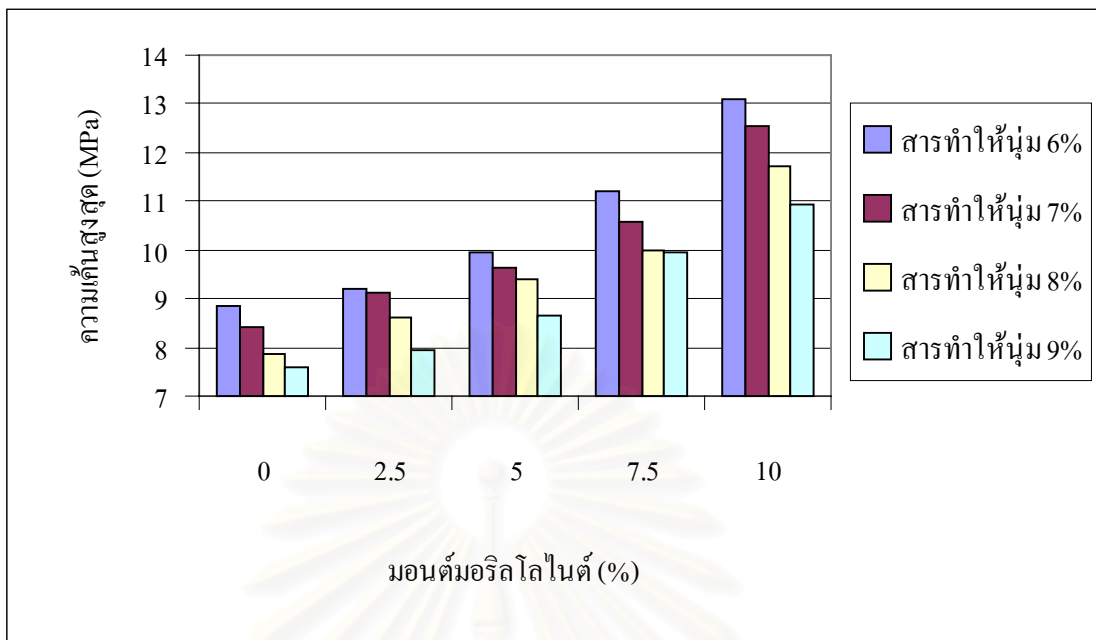
ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่เตรียมขึ้นมาได้นั้นมีโครงสร้างทางกายภาพเปลี่ยนไปจากเดิม ดังนั้นคาดว่าสมบัติเชิงกลของฟิล์มนาโนคอมโพสิตอาจเปลี่ยนแปลงไป ในการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ซึ่งฟิล์มนาโนคอมโพสิตได้ถูกนำไปทดสอบแรงดึง โดยวัดค่าความเค้นสูงสุด (stress at maximum load) ยิงส์มอดุลัส (Young's modulus) และความเครียด ณ จุดขาด (% strain at break) เปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิพรอพิลีน ผลการทดสอบมีดังนี้



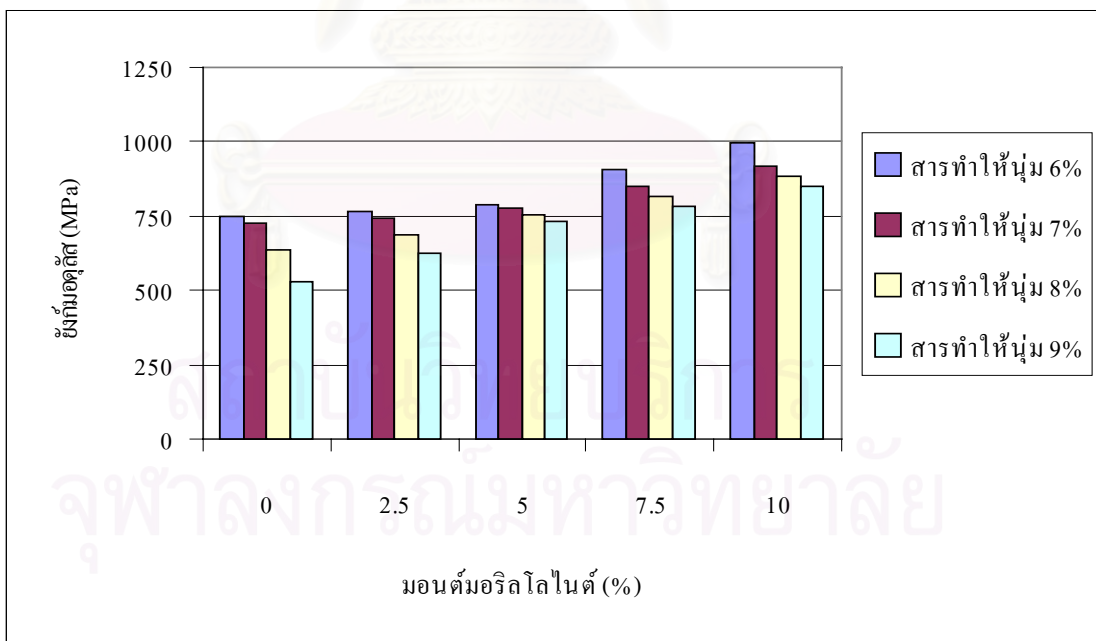
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 สมบัติแรงดึงของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

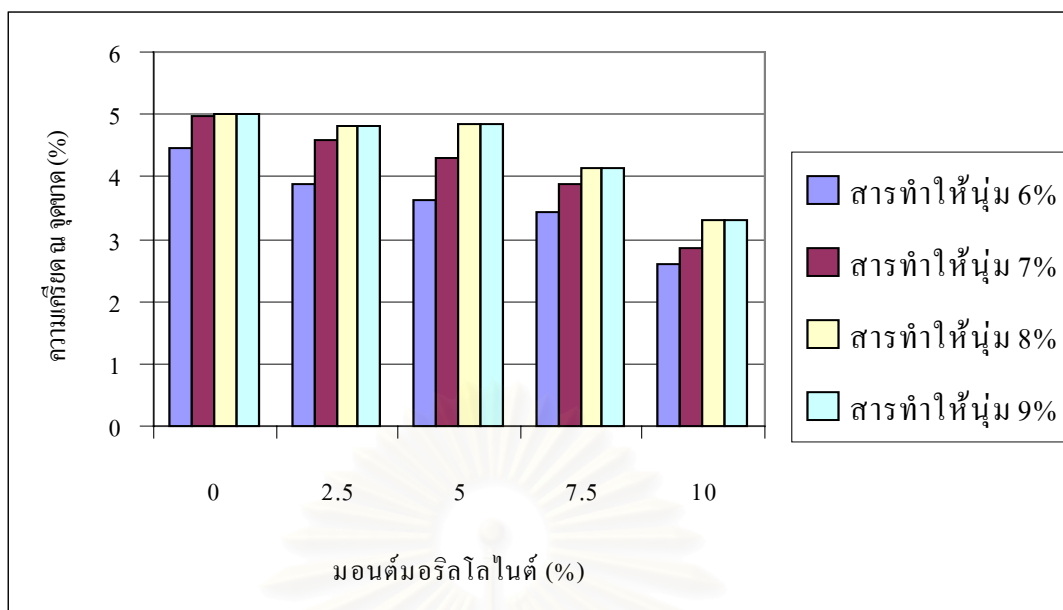
อัตราส่วนของ มอนต์มอริลโลไนต์/ สารทำให้นุ่ม	สมบัติแรงดึง		
	ความเค้นสูงสุด (MPa)	ยังส์มอดุลัส (MPa)	ความเครียด ณ จุดขาด (%)
0/0	13.8	1096.8	4.4
0/6	8.8	749.4	4.5
0/7	8.4	727.8	4.6
0/8	7.9	635.5	5.0
0/9	7.6	526.5	5.0
2.5/6	9.2	766.7	3.9
2.5/7	9.1	745.6	4.4
2.5/8	8.6	687.6	4.6
2.5/9	8.0	622.3	4.8
5/6	9.9	789.1	3.6
5/7	9.6	778.9	3.8
5/8	9.4	754.2	4.3
5/9	8.6	731.2	4.8
7.5/6	11.2	904.7	3.4
7.5/7	10.6	848.3	3.4
7.5/8	10.0	818.4	3.8
7.5/9	9.9	783.3	4.1
10/6	13.1	998.8	2.6
10/7	12.5	920.0	2.8
10/8	11.7	881.9	2.9
10/9	10.9	851.9	3.3



รูปที่ 4.8 ความเค้นสูงสุดของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน



รูปที่ 4.9 ย้งสัมมอดูลัสของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน



รูปที่ 4.10 ความเครียด ณ จุดขาดของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเค้นสูงสุด ยังสัมมอดูลัส และความเครียด ณ จุดขาด ของฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่มีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์และสารทำให้นุ่มแตกต่างกัน จากผลการทดสอบในตารางพบว่า ฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีค่าความเค้นสูงสุดอยู่ในช่วง 7.6-13.1 เมกะปาสคัล โดยฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่มีค่าความเค้นสูงสุดที่สุด คือ มีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน และมีปริมาณของสารทำให้นุ่มร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ค่ายังสัมมอดูลัสอยู่ในช่วง 526.5-998.8 เมกะปาสคัล ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่มีค่ายังสัมมอดูลัสสูงที่สุด คือ มีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน และมีปริมาณของสารทำให้นุ่มร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ค่าความเครียด ณ จุดขาดอยู่ในช่วง 2.6-5.0 เปอร์เซ็นต์ ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่มีค่าความเครียด ณ จุดขาดสูงที่สุด คือ มีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 0 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน และมีปริมาณของสารทำให้นุ่มร้อยละ 8 และร้อยละ 9 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ในขณะที่ฟิล์มพอลิพรอพิลีนมีค่าความเค้นสูงสุด 13.8 เมกะปาสคัล ค่ายังสัมมอดูลัส 1096.8 เมกะปาสคัล ค่าความเครียด ณ จุดขาด 4.4 เปอร์เซ็นต์

จากผลการวัดค่าความเค้นสูงสุด ยังสัมมอดูลัส และความเครียด ณ จุดขาดตามตารางที่ 4.5 เมื่อนำมาแสดงผลดังรูปที่ 4.6-4.8 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น ฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีค่าความเค้นสูงสุดและยังสัมมอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่มีค่าความเครียด ณ จุดขาดลดลง ในขณะที่เดียวกัน เมื่อปริมาณของสารทำให้นุ่มเพิ่มขึ้นลดลง ฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีค่าความเค้นสูงสุดและยังสัมมอดูลัสลดลง แต่มีค่าความเครียด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น ปริมาณของ

มอนต์มอริลโลไนต์และสารทำให้นุ่มมีผลต่อค่าความเค้นสูงสุด ยังสัมมอดูลัส และความเครียด ณ จุดขาด เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์จัดเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (reinforcing filler) เมื่อใส่ลงในพอลิพรอพิลีนจะเกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์และพอลิพรอพิลีน ซึ่งมีผลทำให้ค่าความเค้นสูงสุดและยังสัมมอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเครียด ณ จุดขาดลดลง ส่วนสารทำให้นุ่มจะส่งผลในทางตรงกันข้าม กล่าวคือ จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิพรอพิลีน จึงลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิพรอพิลีน มีผลทำให้เพิ่มค่าความสามารถในการยืดดึง ความอ่อนนุ่ม ความอ่อนตัว แต่ลดค่าความเค้นสูงสุดและยังสัมมอดูลัส ดังนั้นถ้าต้องการให้ฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีความทนแรงดึงที่ดีจึงควรปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์มากและสารทำให้นุ่มน้อย ซึ่งในงานวิจัยนี้ คือ มีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน และมีปริมาณของสารทำให้นุ่มร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบฟิล์มนาโนคอมโพสิตกับฟิล์มพอลิพรอพิลีน จะเห็นว่าฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีความคงทนแรงดึงต่ำกว่าฟิล์มพอลิพรอพิลีนเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์อาจน้อยและ/หรือสารทำให้นุ่มอาจมากเกินไป

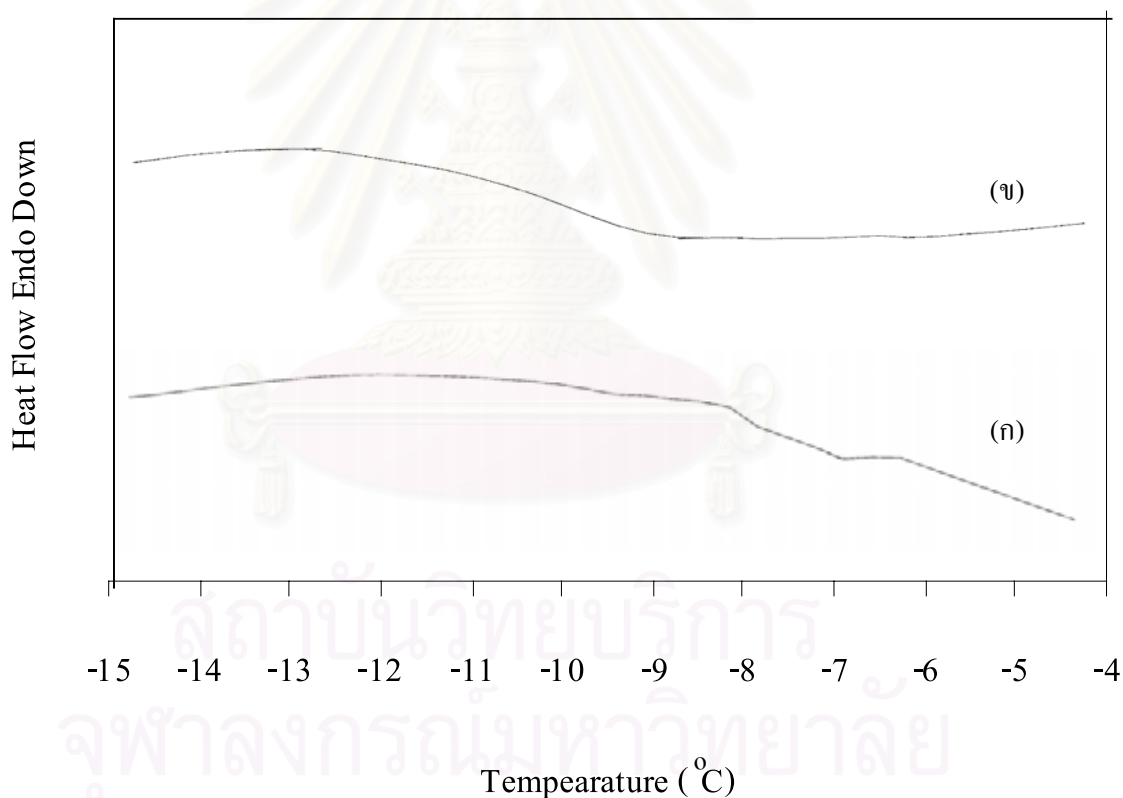
4.3.5 การทดสอบสมบัติความคงทนของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนต่อความร้อน

การใช้งานพอลิพรอพิลีนเมื่อนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอนั้นจะมีความคงทนต่อความร้อนได้ไม่ดี ทำให้เสียรูปทรงเมื่อสัมผัสกับเตารีด ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่เตรียมได้ การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมโพสิตในการทดลองนี้ได้ใช้ 2 เทคนิคในการตรวจสอบสมบัติทางความร้อน คือ ดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) และ เทอร์โมกราวิเมตริก อะนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis, TGA) ทั้งนี้เพื่อความครอบคลุมในการวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อนของนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

4.3.5.1 ดีฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง คาลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter)

นาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC เพื่อหาอุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน (glass transition temperature, T_g) โดยทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของมอนต์มอริลโลไนต์และสารทำให้นุ่มที่มีผลต่ออุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน

ผลการตรวจสอบพบว่า ในนาโนคอมโพสิตมีอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันที่ต่ำกว่าพอลิพรอพิลีน กล่าวคือ นาโนคอมโพสิตที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน และมีปริมาณสารทำให้นุ่มร้อยละ 9 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน มีอุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน -10.403 องศาเซลเซียส ในขณะที่พอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน -7.534 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.11



(ก) ฟิล์มพอลิพรอพิลีน (ข) ฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

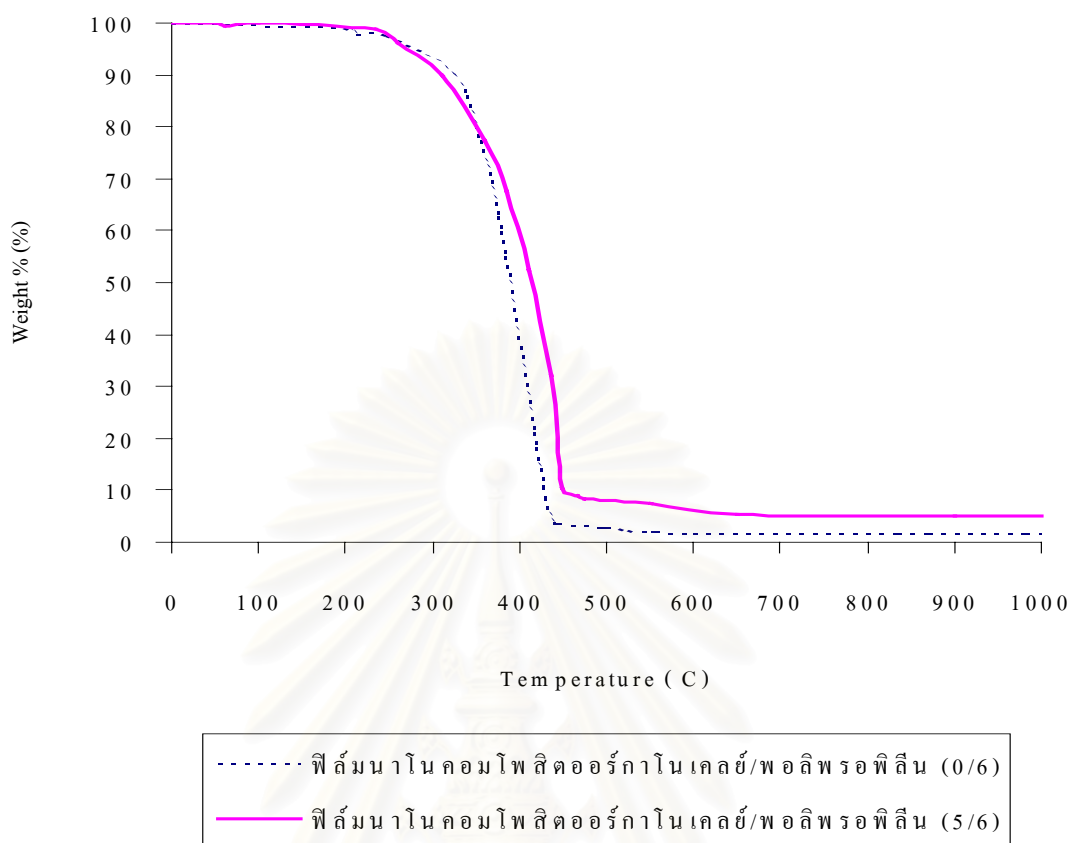
รูปที่ 4.11 ผลของมอนต์มอริลโลไนต์และสารทำให้นุ่มต่ออุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

อุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของสายโซ่โมเลกุล, น้ำหนักโมเลกุล, การมีกิ่ง/การเชื่อมขวางโมเลกุล, แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและผลของความเกาะกัน เป็นต้น ระบบนาโนคอมโพสิตในงานวิจัยนี้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสายโซ่โมเลกุลพอลิพรอพิลีนจะเกิดการขาดตอนเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ จึงทำให้สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิพรอพิลีนสามารถเคลื่อนไหวได้ อาจกล่าวได้ว่าอนุภาคระดับนาโนของมอนต์มอริลโลไนต์ทำให้เกิดความเกาะกันส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิพรอพิลีนมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันผลของความเกาะกันจากมอนต์มอริลโลไนต์นี้มีความเป็นผลึกลดลงจึงส่งผลให้นาโนคอมโพสิตมีจุดหลอมเหลวลดลงอีกด้วย และคาดว่าความเป็นผลึกลดลงเนื่องจากการเติมสารทำให้นุ่มทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุลพอลิพรอพิลีน ทำให้สายโซ่โมเลกุลพอลิพรอพิลีนสามารถเคลื่อนไหวได้มากขึ้นจึงมีผลทำให้อุณหภูมิกลาสแทรนซิชันลดลง โดยพอลิพรอพิลีนจะมีจุดหลอมเหลวที่ 210 องศาเซลเซียส ส่วนนาโนคอมโพสิตมีจุดหลอมเหลว 190 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้นาโนคอมโพสิตเสียรูปได้ง่าย อาจกล่าวสรุปได้ว่านาโนเคลย์จากมอนต์มอริลโลไนต์จะทำให้สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิพรอพิลีนมีความยืดหยุ่นและสามารถเคลื่อนไหวได้มากขึ้นจึงมีผลทำให้อุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของนาโนคอมโพสิตต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของพอลิพรอพิลีน

4.3.5.2 เทอร์โมกราวิเมตริก อะนาลิซิส (Thermogravimetric Analysis)

นาโนคอมโพสิตถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA เพื่อหาอุณหภูมิการสลายตัวเนื่องจากความร้อน (decomposition temperature, T_d) และเสถียรภาพทางความร้อน (thermal stability) โดยทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวเนื่องจากความร้อนและเสถียรภาพทางความร้อนของนาโนคอมโพสิต

ผลการตรวจสอบพบว่า ในนาโนคอมโพสิตที่มีปริมาณสารทำให้นุ่มเท่ากัน แต่มีเติมมอนต์มอริลโลไนต์จะมีอุณหภูมิการสลายตัวเนื่องจากความร้อนหรือมีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูงกว่านาโนคอมโพสิตที่ไม่มีมอนต์มอริลโลไนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ผลของมอนต์มอริลโลไนต์ต่ออุณหภูมิการสลายตัวของนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

จากกราฟ TGA ดังรูปที่ 4.12 นาโนคอมโพสิตที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน และมีปริมาณสารทำให้อนุ้มร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน มีอุณหภูมิการสลายตัวเนื่องจากความร้อนที่ 439.29 องศาเซลเซียส ในขณะที่นาโนคอมโพสิตที่ไม่มีมอนต์มอริลโลไนต์ และมีปริมาณสารทำให้อนุ้มร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน มีอุณหภูมิการสลายตัวเนื่องจากความร้อนที่ 404.684 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่ามอนต์มอริลโลไนต์มีผลทำให้นาโนคอมโพสิตมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการมีหมู่ซิลิเกตในแร่อนินทรีย์มอนต์มอริลโลไนต์ ทำให้อนุ้มมอนต์มอริลโลไนต์มีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูง โดยปกติมอนต์มอริลโลไนต์มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงถึง 700 องศาเซลเซียส [5] การมีมอนต์มอริลโลไนต์จึงเป็นการเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้กับนาโนคอมโพสิต

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมพอลิพรอพิลีนให้สามารถเชื่อมสีได้โดยอาศัยหลักการของนาโนเทคโนโลยี โดยจะทำการเตรียมในรูปแบบของนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน ออร์กาโนเคลย์เตรียมโดยการตัดแปรด้วยสารทำให้นุ่ม ทำให้ออร์กาโนเคลย์สามารถเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิพรอพิลีน การผสมจะอาศัยเครื่องอัลทริคเกิลียวคูล์ หลังจากนั้นจึงขึ้นรูปนาโนคอมโพสิตที่เตรียมได้ในรูปฟิล์มโดยอาศัยเครื่องอัดแม่แบบ ซึ่งนาโนคอมโพสิตที่เตรียมได้ถูกนำไปเชื่อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิก จากนั้นนำฟิล์มนาโนคอมโพสิตมาตรวจดูลักษณะทางกายภาพ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเคลย์ภายในนาโนคอมโพสิต ทดสอบหาค่าความสามารถในการติดสีเชื่อม ทดสอบความคงทนของสีเชื่อมต่อการซักและแสง ทดสอบสมบัติเชิงกลและทดสอบสมบัติทางความร้อนของนาโนคอมโพสิต

จากผลการทดลองและวิจารณ์การทดลองที่แสดงไว้ในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- 1) โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ภายในนาโนคอมโพสิตมีขนาดของช่องว่างระหว่างชั้นของแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกตเพิ่มขึ้นหรือถูกจับแยกออกเป็นแผ่นๆ ซึ่งเกิดจากการแทรกสอดของสารทำให้นุ่มจากออร์กาโนเคลย์
- 2) นาโนคอมโพสิตสามารถเชื่อมติดสีแอซิดได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของสารทำให้นุ่มเพิ่มขึ้น และเชื่อมติดสีเบสิกได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น
- 3) นาโนคอมโพสิตที่เชื่อมด้วยสีแอซิดมีความคงทนของสีเชื่อมต่อการซักต่ำ แต่มีความคงทนของสีเชื่อมต่อแสงดี ส่วนนาโนคอมโพสิตที่เชื่อมด้วยสีเบสิกมีความคงทนของสีเชื่อมต่อการซักดี แต่มีความคงทนของสีเชื่อมต่อแสงต่ำ
- 4) เมื่อปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น นาโนคอมโพสิตที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น กล่าวคือจะมีค่าความเค้นสูงสุดและยังสัมมอดูลัสเพิ่มขึ้นแต่ความเครียด ณ จุดขาดลดลง ในขณะที่เดียวกันเมื่อปริมาณของสารทำให้นุ่มเพิ่มขึ้น นาโนคอมโพสิตที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลลดลง คือ จะมีค่าความเค้นสูงสุดและยังสัมมอดูลัสลดลงแต่ความเครียด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น

5) การทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่า นาโนคอมโพสิตมีอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันต่ำกว่าพอลิพรอพิลีน และนาโนคอมโพสิตที่มีมอนต์มอริลโลไนต์จะมีอุณหภูมิการสลายตัวเนื่องจากความร้อนและมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่านาโนคอมโพสิตที่ไม่มีมอนต์มอริลโลไนต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) เนื่องจากพอลิพรอพิลีนที่เคลือบด้วยออร์กาโนเคลย์แล้วจะสามารถดูดความชื้นได้ ดังนั้นก่อนนำไปเข้าสู่กระบวนการอัดรีดและอัดแม่แบบจึงควรทำการอบไล่ความชื้นก่อน เพื่อป้องกันการเกิดจุดบกพร่องในชิ้นงาน

2) สารทำให้นุ่มที่ใช้ในการตัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์มีหลายชนิด สารทำให้นุ่มที่ใช้ในงานวิจัยนี้เมื่อโดนความร้อนหลอมและเรซินพอลิพรอพิลีนติดกันบริเวณช่องใส่เรซิน ทำให้เกิดปัญหาขณะทำการอัดรีด ดังนั้นจึงควรมีการนำสารทำให้นุ่มชนิดอื่นมาใช้ในการทำงานวิจัย เพื่อเป็นการพัฒนาต่อไป

3) การเลือกสารทำให้นุ่มที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงสมบัติทางความร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน เนื่องจากสารทำให้นุ่มที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสารประกอบในกลุ่มซิลิโคน ซึ่งมีกิ่งก้านทำให้ส่งผลต่อโครงสร้างของนาโนคอมโพสิต คือ ทำให้ความเป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนลดลง ทำให้อุณหภูมิกลาสแทรนซิชันลดลง ดังนั้นการเลือกสารทำให้นุ่มในกลุ่มกรดไขมันไฮโดรคาร์บอน จึงน่าจะแก้ไขปัญหาการลดลงของอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของนาโนคอมโพสิตได้

รายการอ้างอิง

1. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ 1, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
2. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, วิทยาศาสตร์เส้นใย, พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2542
3. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, สมบัติของพอลิเมอร์, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
4. สถาพร คูวิจิตรจากร, ปฏิวัติศาสตร์, ไลบรารี นาย พับลิชซิ่ง, 2542
5. ไพจิตร ยิ่งศิริวัฒน์, เนื้อดินเซรามิก, พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ไอเดียน สโตร์, 2541
6. E.P. Giannelis, R. Krishnamoorti, and E. Manias : Polymer-Silicate Nanocomposites : Model Systems for Confined Polymers and Polymer Brushes. Advances in Polymer Science, 1999, 138
7. Gilman, W. Jeffrey, et al. Nanocomposite: A Revolutionary New Flame Retardant Approach [online]. Available from:

http://www.psrc.usm.edu/macrog/mpm/composit/nano/nylon_clay.html [2004, July 23]
8. T. K. Chem, Y. I. Tien, and K. H. Wei : Synthesis and Characterization of novel segmented Polyurethane/clay nanocomposites. Polymer, 2000, 41, 1345-1353.
9. Rick D. Davis , Jeffery W. Gilman, and David L. VanderHart : Processing Degradation of Polyamide 6/Montmorillonite Clay Nanocomposites and Clay Organic modifier. Polymer Degradation and Stability, 2003, 79, 111-121
10. Xiaohui Liu and Qiuju Wu : PP/clay nanocomposites prepared by grafting-melting intercalation. Polymer, 2001, 42, 10013-10019.
11. T. J. Pinnavaia and G. W. Beall : Polypropylene-Clay Nanocomposites. Polymer-Clay Nanocomposites, 2000, 151-172.
12. Gan-Moog Chow and Kenneth E. Gonsalves : Nanotechnology Molecularly Designed Materials. American Chemical Society, 1996, 250-272.

13. Guoqiang Qian, Jae Whan Cho, and Tie Lan. Preparation and Properties of Polyolefin Nanocomposites [online]. Available from:

http://www.nanocor.com/tech_papers/properties_polyolefin.asp [2004, June 15]
14. Subodh Kumar Aggaewal : Softeners. Textile Processing and Auxiliaries, 1991,72-79
15. มณฑา จันทร์เกตุเสียด, วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมคหเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2541
16. มนตรี รัตนวิจิตรและคณะ, คู่มือวิชาการสิ่งทอ, พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ทีทีไอเอส จำกัดและมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2544
17. กาวิ ศรีภูถกิจ, หลักการย้อมสีสิ่งทอ, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544
18. C. D. Shah and D. K. Jain : Dyeing of Modified Polypropylene-Cationic Dyes on Brominated Polypropylene. Textile Research Journal, 1983, November 10, 742-748.
19. Dominguez, et al. : Dyeable polyolefin containing polyetheramine modified functionalized polyolefin. United States Patent : 6, 127, 480, 2000, October 3.
20. S. M. Burkinshaw, P. E. Froehling, and M. Mignanelli : The effect of hyperbranched polymers on the dyeing of polypropylene fibres. Dyes and Pigments, 2002, 53, 229-235.
21. Son, et al. : Disperse dyeable polypropylene fibers and its method of manufacture. United States Patent : 6, 054, 215, 2000, April 25.
22. Calogero : Method of dyeing polyolefin fibers. United States Patent : 6, 126, 701, 2000, October 3.
23. Sheth : Dyeable polyolefin compositions and method. United States Patent : 5, 576, 366, 1996, November 19.
24. A. Seves, et al. : Blending Polypropylene with Hydrogenated Oligocyclopentadiene: A New Method for the Production of Dyeable Fibers. Dyes and Pigments, 1995, 28, 19-29.
25. A. Seves, et al. : Inducing Water Bath Dyeability in Polypropylenic Fibers by their Blending with Polyamide 6. Dyes and Pigments, 1997, 35, 367-373.
26. R. Kotek, et al. : Polypropylene alloy filaments dyeable with disperse dyes. Coloration Technology, 2004,120, 26-29.
27. Qingue Fan, et al. : Nanoclay-Modified Polypropylene Dyeable with Acid and Disperse Dyes. AATCC REVIEW, 2003, 25-28.

28. T. J. Pinnavaia and G. W. Beall : Polypropylene-Clay Nanocomposites. Polymer-Clay Nanocomposites, 2000, 151-172.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD

ตารางที่ ก1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของแรมอนต์มอริลโลไนต์

Angle [1/2 2 θ]	d-value A1 [Å]	d-value A2 [Å]	Peak width [1/2 2 θ]	Peak int [counts]	Back. Int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.975	14.7799	14.8163	0.560	130	69	22.8	2.30
7.100	12.4403	12.4709	0.400	146	53	25.6	1.56
14.345	6.1695	6.1846	0.800	9	20	1.6	1.26
19.790	4.4826	4.4936	0.080	185	25	32.4	0.77
20.805	4.2661	4.2766	0.320	110	32	19.3	1.37
21.995	4.0379	4.0479	0.140	571	41	100.0	2.56
22.105	4.0181	4.0280	0.080	376	41	65.9	0.78
26.700	3.3361	3.3443	0.120	128	40	22.4	1.66
27.765	3.2105	3.2184	0.080	67	37	11.8	1.49
28.485	3.1310	3.1387	0.120	88	36	15.5	0.84
29.445	3.0310	3.0385	0.120	130	34	22.8	2.33
31.465	2.8409	2.8479	0.320	32	28	5.7	1.39
33.135	2.7014	2.7081	0.080	357	25	62.5	2.83
34.760	2.5788	2.5851	0.480	56	28	9.8	2.74
36.175	2.4811	2.4872	0.240	112	37	19.7	2.71
39.510	2.2790	2.2846	0.160	28	30	4.9	0.82

ตารางที่ ก2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของนาโนคอมโพสิตที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน และสารทำให้นุ่มร้อยละ 9 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

Angle [1/2 2θ]	d-value A1 [Å]	d-value A2 [Å]	Peak width [1/2 2θ]	Peak int [counts]	Back. Int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
2.780	31.7549	31.8330	0.360	388	102	32.6	5.76
4.235	20.8477	20.8990	0.480	177	102	14.9	6.39
7.125	12.3967	12.4272	0.720	36	102	3.0	4.83
14.030	6.3073	6.3228	0.480	967	222	81.3	15.66
16.760	5.2855	5.2985	0.520	1190	202	100.0	22.93
18.535	4.7832	4.7949	0.240	625	190	52.5	1.32
21.105	4.2062	4.2165	0.240	581	172	48.8	0.78
21.810	4.0718	4.0818	0.800	610	169	51.3	16.09
23.675	3.7551	3.7643	0.160	56	156	4.7	0.94
25.300	3.5174	3.5261	0.640	108	144	9.1	4.81
28.530	3.1261	3.1138	0.800	40	117	3.3	1.44
29.755	3.0002	3.0075	0.120	36	102	3.0	1.33
30.415	2.9365	2.9438	0.060	128	94	10.7	0.97
36.205	2.4791	2.4838	0.960	14	86	1.2	0.80
38.100	2.3600	2.3658	0.080	88	83	7.4	0.77
38.300	2.3482	2.3539	0.120	79	83	6.7	0.78

ตารางที่ ก3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของพอลิพรอพิลีน

Angle [1/2 2 θ]	d-value A1 [Å]	d-value A2 [Å]	Peak width [1/2 2 θ]	Peak int [counts]	Back. Int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.305	16.6449	16.6859	0.060	234	94	23.6	1.00
9.610	9.1960	9.1286	0.60	266	112	26.8	0.85
13.995	6.3230	6.3385	0.160	980	269	98.7	0.76
16.610	5.3329	5.3460	0.200	986	313	99.4	1.12
16.970	5.2206	5.2334	0.160	992	317	100.0	0.82
18.245	4.8585	4.8705	0.060	576	339	58.0	1.23
18.545	4.7806	4.7924	0.240	515	342	51.9	1.81
21.975	4.0416	4.0515	0.960	324	310	32.7	22.46
22.550	3.9398	3.9495	0.060	231	253	23.3	1.04
25.355	3.5099	3.5186	0.640	108	146	10.9	4.32
26.885	3.3136	3.3217	0.080	146	121	14.8	1.19
28.545	3.1245	.1322	0.480	45	108	4.5	1.08
33.450	2.6767	2.6833	0.960	12	86	1.2	1.16
38.310	2.3476	2.3534	0.480	12	83	1.2	1.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
สมบัติแรงดึงของฟิล์มนาโนคอมโพสิต

ตารางที่ ข1 ความเค้นสูงสุดของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

มอนต์มอริลโลไนต์/ สารทำให้นุ่ม	ความเค้นสูงสุด (MPa)						
	X1	X2	X3	X4	X5	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0/0	13.8	14.1	13.7	14.1	13.1	13.8	0.4
0/6	8.4	8.5	8.6	9.1	9.6	8.8	0.5
0/7	8.0	8.6	8.7	8.3	8.4	8.4	0.3
0/8	8.1	8.0	7.8	7.7	7.7	7.9	0.2
0/9	7.7	7.7	7.6	7.8	7.2	7.6	0.2
2.5/6	8.7	9.1	9.6	8.7	9.6	9.2	0.5
2.5/7	8.9	9.1	9.3	9.2	9.1	9.1	0.1
2.5/8	8.5	8.5	8.8	8.7	8.5	8.6	0.1
2.5/9	8.1	8.1	7.8	7.8	8.0	8.0	0.2
5/6	9.8	9.8	9.8	9.7	10.6	9.9	0.4
5/7	9.5	9.5	9.3	9.7	10.2	9.6	0.3
5/8	9.9	9.1	8.9	8.9	10.2	9.4	0.6
5/9	8.2	8.8	10.0	8.1	8.1	8.6	0.8
7.5/6	11.4	11.3	10.7	11.0	11.6	11.2	0.4
7.5/7	11.1	9.9	9.9	10.7	11.3	10.6	0.7
7.5/8	10.9	10.4	9.6	9.5	9.6	10.0	0.6
7.5/9	9.4	10.1	10.1	10.6	9.5	9.9	0.5
10/6	13.1	12.8	12.9	12.7	13.9	13.1	0.5
10/7	12.6	12.5	12.2	12.4	13.0	12.5	0.3
10/8	12.0	11.9	11.8	11.6	11.3	11.7	0.3
10/9	10.6	11.2	10.9	11.4	10.5	10.9	0.4

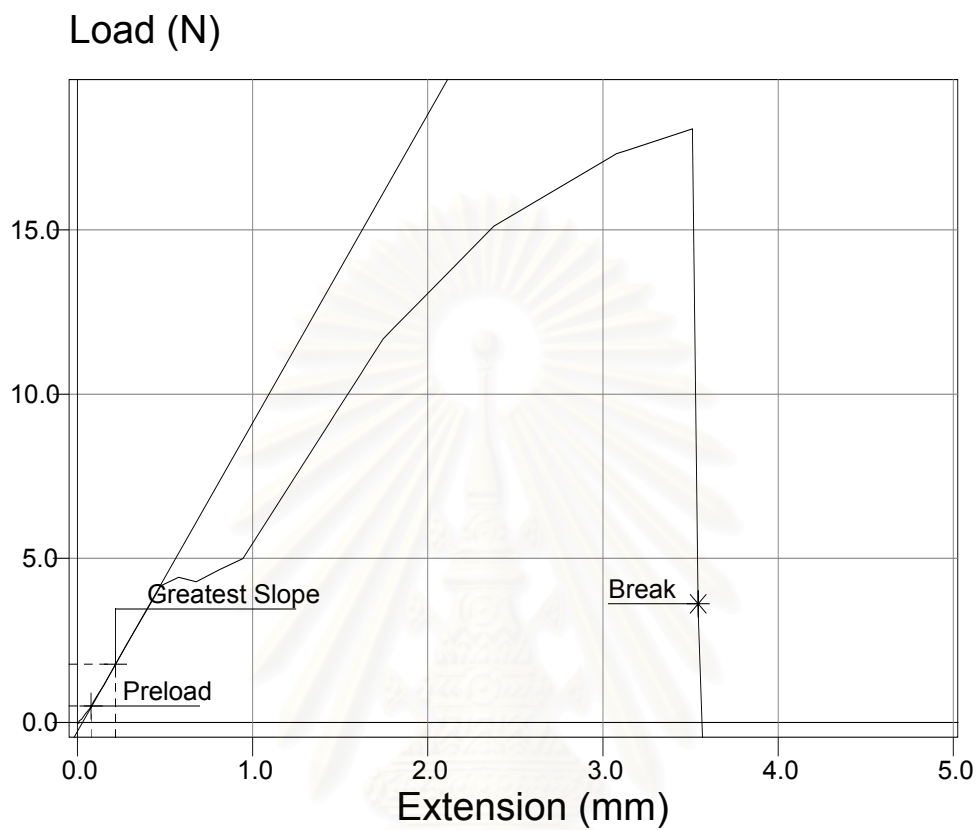
ตารางที่ ข2 ยังก้มอคูล์สของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

มอนต์มอริล โลไนต์/สาร ทำให้นุ่ม	ยังก้มอคูล์ส (MPa)						
	X1	X2	X3	X4	X5	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0/0	1104.9	1117.3	1066.2	1100.5	1095.2	1096.8	19.0
0/6	736.9	728.8	721.5	799.6	760.2	749.4	31.6
0/7	723.0	718.7	709.3	747.5	740.3	727.8	15.8
0/8	615.3	628.0	672.5	612.5	648.0	635.5	25.2
0/9	543.0	502.3	518.0	516.6	552.5	526.5	20.6
2.5/6	784.9	780.6	766.0	747.0	754.9	766.7	16.2
2.5/7	754.9	748.5	730.4	734.4	759.9	745.6	12.8
2.5/8	689.6	697.9	686.7	698.4	665.4	687.6	13.4
2.5/9	581.2	634.1	624.8	653.2	618.2	622.3	26.5
5/6	750.9	809.1	785.2	800.9	799.2	789.1	23.0
5/7	781.2	771.4	784.9	777.7	779.3	778.9	5.0
5/8	756.1	757.7	772.9	717.4	767.0	754.2	21.7
5/9	727.8	715.5	695.0	734.4	783.2	731.2	32.7
7.5/6	892.2	878.2	936.4	917.0	899.8	904.7	22.6
7.5/7	831.7	837.3	841.3	877.1	854.1	848.3	13.1
7.5/8	844.9	818.5	825.2	803.0	800.6	818.4	18.0
7.5/9	778.9	760.6	813.6	795.5	768.0	783.3	21.4
10/6	994.0	1003.7	987.8	999.2	1009.2	998.8	8.3
10/7	898.9	904.7	942.3	940.4	913.9	920.0	20.2
10/8	897.9	871.5	907.9	868.9	863.2	881.9	19.7
10/9	862.7	887.2	858.8	836.4	814.6	851.9	27.6

ตารางที่ ข3 ความเครียด ณ จุดขาดของฟิล์มนาโนคอมโพสิตระหว่างออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีน

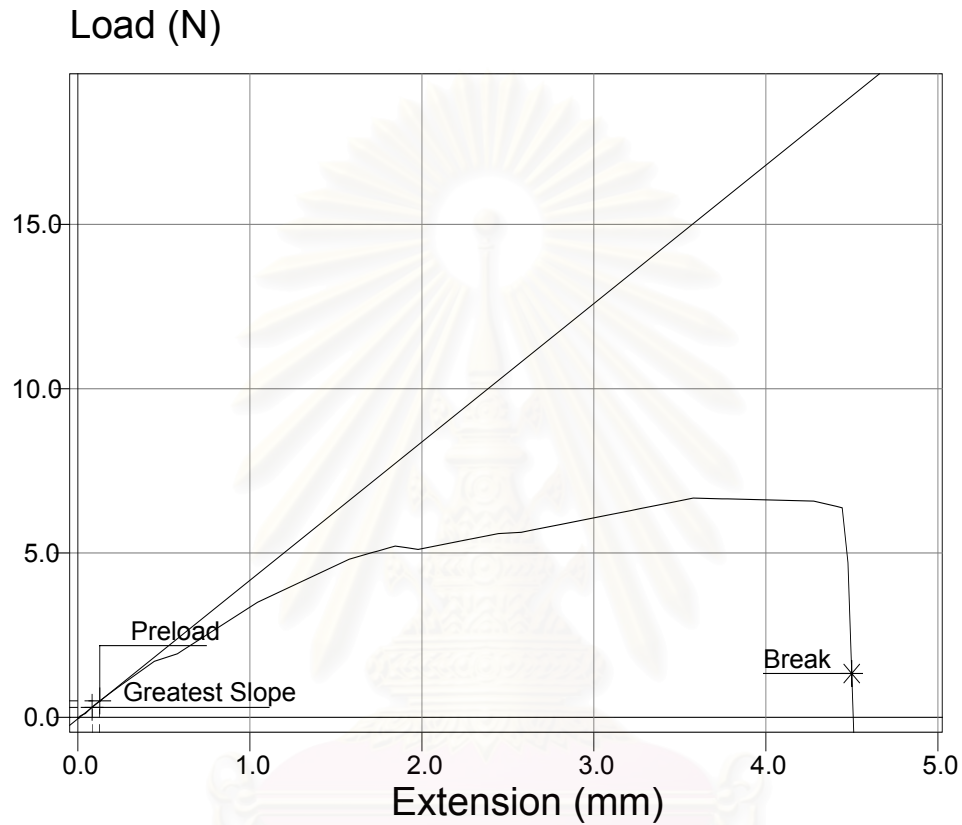
มอนต์มอริลโลไนต์/ สารทำให้นุ่ม	ความเครียด ณ จุดขาด (%)						
	X1	X2	X3	X4	X5	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0/0	4.8	4.2	4.5	4.1	4.2	4.4	0.3
0/6	3.6	5.8	3.4	5.2	4.3	4.5	1.0
0/7	4.3	4.7	4.1	4.7	5.4	4.6	0.5
0/8	4.8	4.7	5.1	4.7	5.5	5.0	0.3
0/9	4.8	4.8	4.7	5.1	5.6	5.0	0.4
2.5/6	4.0	3.9	3.6	3.9	4.0	3.9	0.2
2.5/7	4.2	4.5	4.4	5.0	4.1	4.4	0.4
2.5/8	5.0	4.6	4.2	4.3	4.8	4.6	0.3
2.5/9	4.5	4.5	4.8	5.1	5.2	4.8	0.2
5/6	3.5	3.7	3.8	3.6	3.6	3.6	0.1
5/7	4.0	4.3	3.9	3.5	3.3	3.8	0.4
5/8	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	0.0
5/9	4.7	4.1	5.0	5.0	5.4	4.8	0.5
7.5/6	3.4	3.4	3.6	3.8	3.0	3.4	0.3
7.5/7	3.4	3.3	3.4	3.6	3.5	3.4	0.1
7.5/8	4.4	3.8	3.4	4.0	3.6	3.8	0.4
7.5/9	4.3	4.6	3.7	3.7	4.7	4.1	0.4
10/6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	0.0
10/7	2.9	2.7	3.0	2.6	2.8	2.8	0.2
10/8	2.7	2.5	3.1	2.8	3.2	2.9	0.3
10/9	3.1	3.3	3.2	3.4	3.7	3.3	0.2

รูปที่ ข1 กราฟความสัมพันธ์ของ load-extension ของพอลิพรอพิลีน



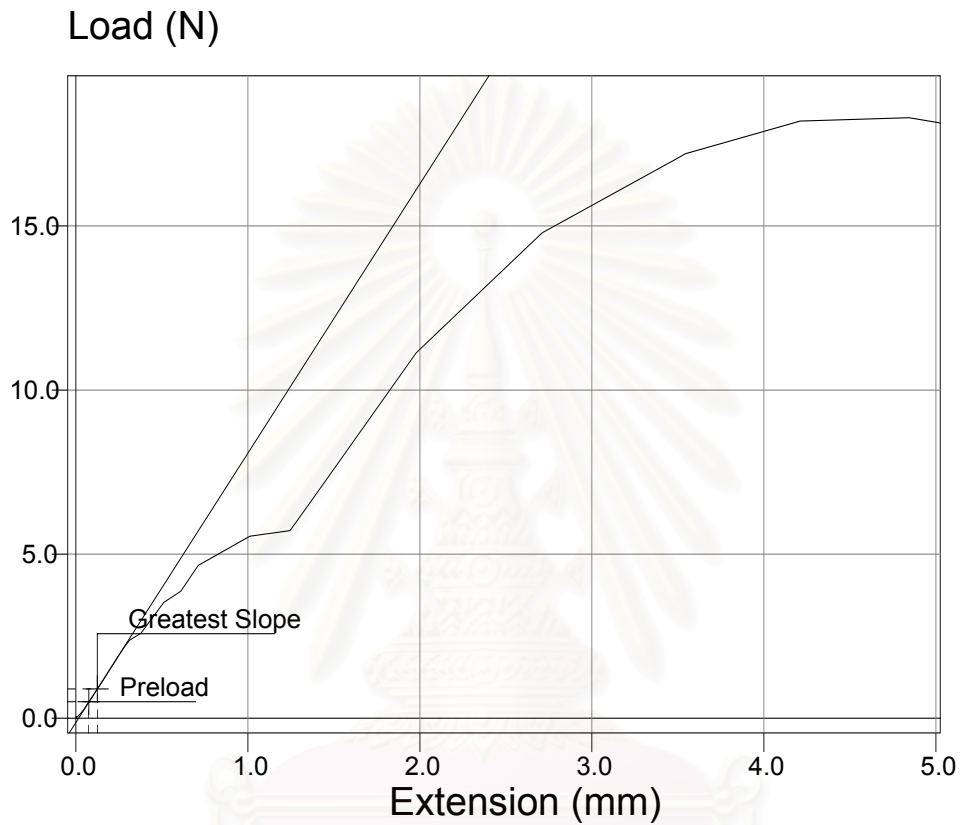
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข2 กราฟความสัมพันธ์ของ load-extension ของนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ไม่มีมอนต์มอริลโลไนต์ และมีปริมาณสารทำให้นุ่มร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข3 กราฟความสัมพันธ์ของ load-extension ของนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนและมีปริมาณสารทำให้นุ่มร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว วลัยกร นิตยพัฒน์ เกิดวันที่ 4 กรกฎาคม 2522 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนสระบุรีวิทยาคม ในปีการศึกษา 2540 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาพอลิเมอร์และสิ่งทอ จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นปีการศึกษา 2545 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้น ปีการศึกษา 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย