

การเตรียมและสมบัติเชิงกลของผ้าฝ้าย/เซลลูโลสคอมพอสิต

นางสาวขวัญชีวา แก้วอินทร์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION AND MECHANICAL PROPERTIES OF  
COTTON FABRIC/CELLULOSE COMPOSITES

Miss Kwuncheewa Kaew-in



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile  
Technology  
Department of Materials Science  
Faculty of Science  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2014  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและสมบัติเชิงกลของผ้าฝ้าย/เซลลูโลสคอมพอสิต
โดย	นางสาวขวัญชีวา แก้วอินทร์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โปธิยะราช
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. สุภโชค ตันพิชัย

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ ทารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา)  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โปธิยะราช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(อาจารย์ ดร. สุภโชค ตันพิชัย)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีภูถักกิจ)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

ขวัญชีวา แก้วอินทร์ : การเตรียมและสมบัติเชิงกลของผ้าฝ้าย/เซลลูโลสคอมพอสิต (PREPARATION AND MECHANICAL PROPERTIES OF COTTON FABRIC/CELLULOSE COMPOSITES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ประณัฐ โพธิยะราช, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร. สุภโชค ตันพิชัย, 78 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะศึกษาวิธีการเตรียมคอมพอสิตโดยใช้ผ้าฝ้ายทอเป็นสารเสริมแรงโดยการใช้สารละลายจากไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่เตรียมได้จากการนำไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสมาแช่ใน น้ำกลั่น แอซีโตน และ เอ็นเอ็นไดเมทิลอะเซทาไมด์ แต่ละชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง และเตรียมสารละลายโดยใช้ลิเทียมคลอไรด์ปริมาณ 8 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตรของ เอ็นเอ็นไดเมทิลอะเซทาไมด์ หลังจากนั้นนำไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่เตรียมไว้มาละลายในสารละลายผสมระหว่างลิเทียมคลอไรด์และ เอ็นเอ็นไดเมทิลอะเซทาไมด์ เป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้ได้สารละลายเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นสารละลายใส โดยสารละลายใสนี้จะทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ในคอมพอสิต จากนั้นจึงผ้าฝ้ายที่ขอบผ้าด้านบนและด้านล่างเพื่อยึดผ้าฝ้ายกับเฟรมแก้ว แล้วเทสารละลายเซลลูโลสที่ขอบด้านบนของผ้าที่ขึงไว้ ใ้ลูกกลิ้ง wire bar coater กลิ้งสารละลายเซลลูโลสลงบนผ้า ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และนำคอมพอสิตที่เตรียมได้ไปแช่ในเมทานอล เพื่อกำจัดสารละลายที่ตกค้างเคลือบบนพื้นผิวผ้าฝ้ายทอ ต่อจากนั้นเตรียมคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าสองชั้น โดย วางมุมมองผ้า 0 45 และ 90 องศา และศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และเสถียรภาพทางความร้อนของคอมพอสิตที่เตรียมได้ ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน พบว่าคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอชั้นเดียวและสองชั้น มีค่าความทนแรงดึงและมอดูลัสของยังที่ต่ำกว่าของฟิล์ม การยึดตัวออก ณ จุดขาดของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชั้นทอแน่นและผ้าทอหลายสอง ให้ค่าที่สูงกว่าของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชั้นทอห่างและฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส ความเหนียวคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชั้นมีค่าสูงกว่าฟิล์ม เพราะมีเส้นใยช่วยดูดซับแรงดึงได้ดีกว่าฟิล์ม ส่วนเสถียรภาพทางความร้อนของคอมพอสิตนั้นมีค่าลดลง เนื่องจากเมทริกซ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ และได้มาจากการเปลี่ยนโครงสร้างของเซลลูโลสจากเซลลูโลส I เป็นเซลลูโลสแบบอสัญฐาน

ภาควิชา	วัสดุศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และ เทคโนโลยีสิ่งทอ	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

ปีการศึกษา 2557

# # 5672155423 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS: WOVEN FABRIC / CELLULOSE COMPOSITES / COTTON FABRIC / MICROCRYSTALLINE CELLULOSE

KWUNCHEEWA KAEW-IN: PREPARATION AND MECHANICAL PROPERTIES OF COTTON FABRIC/CELLULOSE COMPOSITES. ADVISOR: ASSOC. PROF. PRANUT POTIYARAJ, Ph.D., CO-ADVISOR: SUPACHOAK TANPICHAI, Ph.D., 78 pp.

This research aims to study all-cellulose composites using woven cotton fabric as the reinforcement. Microcrystalline cellulose (MCC) was immersed in distilled water, acetone, *N,N*-dimethylacetamide (DMAc) each for 24h respectively at room temperature and then dissolved with 8wt% lithium chloride (LiCl)/DMAc until the transparent cellulose solution was obtained. The obtained cellulose solution was used as the matrix for all-cellulose composites. The woven cotton fabric was fixed on the glass frame then poured the cellulose solution on the fabric. The wire bar coater was used to impregnate the solution into the fabric and remove the excessive solution. The coated fabric was left and dried at the room temperature. The composites were washed by methanol to remove DMAc and LiCl. Two-layer composites were also prepared using 2 pieces of woven cotton fabrics with various orientations (0 degree, 45 degree and 90 degree) as the reinforcement. Mechanical properties and morphology of the composites were investigated using tensile testing, scanning electron microscopy and thermogravimetric analyser. The results of mechanical properties showed that the cellulose films have higher tensile strength and modulus than the all-cellulose composites. Composite reinforced with plain and twill weave have higher elongation at break were than plain thin weave and cellulose film. All-cellulose composites have higher toughness than cellulose film due to the fact that fibers are able to absorb more energy than the cellulose film. However, thermal stability of all-cellulose composites were decreased due to the matrix has lower thermal stability since the matrix which is the cellulose I, was changed into amorphous cellulose.

Department: Materials Science Student's Signature .....

Field of Study: Applied Polymer Science Advisor's Signature .....

and Textile Technology Co-Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โปธิยะราช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. สุภโชค ตันพิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้โอกาสผู้วิจัยในการทำวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งการให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และสนับสนุนทุนในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทำงานวิจัย ตลอดจนถึงการเอาใจใส่ดูแลและเสียสละเวลาในการตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์เป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา ที่สละเวลามาเป็นประธานสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ และรองศาสตราจารย์ไพพรรณ สันติสุข (กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก) ที่สละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำทางด้านวิชาการ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และการอบรมสั่งสอนแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในระหว่างการทำเนิงานวิจัย

และขอขอบคุณพี่ๆป.เอกและเพื่อนๆป.โทร่วมรุ่น รวมถึงรุ่นน้อง ที่คอยช่วยเหลือทั้งร่างกายแรงใจและคอยให้คำปรึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน และคอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดมา

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.1 คอมพอสิตหรือวัสดุเชิงประกอบ.....	2
2.2 เซลลูโลส.....	4
2.3 ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส.....	6
2.4 ฝ้าย.....	8
2.4.1 สมบัติทางกายภาพ.....	10
2.4.2 สมบัติทางเคมี.....	11
2.5 กระบวนการทอผ้า.....	12
2.5.1 เครื่องทอ.....	12
2.5.2 หลักการทอผ้า.....	14
2.5.3 โครงสร้างลายทอพื้นฐานของผ้าทอ.....	15
2.5.4 จำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวผ้าทอ.....	15

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินการทดลอง.....	20
3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	20
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	21
3.4 การเตรียมเซลลูโลสคอมพอสิต.....	22
3.4.1 การเตรียมสารละลายเซลลูโลส.....	22
3.4.2 การเตรียมผ้าฝ้าย.....	23
3.4.3 การเตรียมเซลลูโลสคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้าย 1 ชั้น (single-layer cellulose composite).....	23
3.4.4 การเตรียมเซลลูโลสคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้าย 2 ชั้น (two-layer cellulose composite).....	24
3.5 การทดสอบสมบัติของเซลลูโลสคอมพอสิตที่เตรียมได้.....	25
3.5.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล.....	25
3.5.2 ปริมาณผลึกของเซลลูโลสคอมพอสิต .....	25
3.5.3 สันฐานวิทยา.....	26
3.5.4 สมบัติทางความร้อน .....	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	28
4.1 สันฐานวิทยา .....	28
4.2 สมบัติเชิงกล.....	31
4.2.1 ความทนแรงดึง (tensile strength).....	31
4.2.2 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (elongation at break) .....	34
4.2.3 มอดุลัสของยัง (Young's modulus).....	36
4.2.4 ความเหนียว (toughness) .....	39



4.3 สมบัติทางความร้อน.....	42
4.4 โครงสร้างผลึก.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	46
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	47
รายการอ้างอิง .....	48
ภาคผนวก ก ความทนแรงดึง.....	51
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของสมบัติเชิงกล ด้วยเทคนิค ANOVA .....	67
ภาคผนวก ค TGA Thermogram ของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส, ฟ้าฝ้ายทอและคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยฟ้าฝ้ายทอ.....	71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	78

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 การนำไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ .....	8
ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย .....	9
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเส้นใยฝ้าย .....	12
ตารางที่ 2.4 แสดงระยะทดสอบต่ำสุด.....	16
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสและคอมพอสิต ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลาย สอง .....	44



## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 คอมพอสิตแบบต่างๆ .....	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส .....	4
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนรูปแบบโครงร่างผลึกของเซลลูโลสในรูปแบบต่างๆ .....	6
รูปที่ 2.4 ความเป็นผลึกของเซลลูโลสทั้ง 4 ประเภทจากการกระจายของรังสีเอ็กซ์ .....	6
รูปที่ 2.5 การเตรียมจุลผลึกอิสระขนาดเล็ก .....	7
รูปที่ 2.6 ลักษณะของดอกฝ้าย .....	9
รูปที่ 2.7 ภาพตามยาวของเส้นใยฝ้าย (ซ้าย) และภาพตัดขวางของเส้นใยฝ้าย (ขวา) .....	10
รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของกึ่งทอผ้า .....	13
รูปที่ 2.9 ขั้นตอนของการเตรียมด้ายพุ่งและด้ายยืนก่อนนำไปทอ.....	14
รูปที่ 2.10 โครงสร้างผ้าทอ .....	15
รูปที่ 2.11 ภาพตัดขวางที่ถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของ (a) กระจดาชกรอง และ (b) คอมพอสิตเซลลูโลสที่ได้จากการแช่กระจดาชกรองในสารละลายผสมระหว่าง lithium chloride และ N,N-dimethylacetamide เป็นเวลา 12 ชม. ....	18
รูปที่ 3.1 เซลลูโลสผลึกระดับจุลภาคแช่ในสารละลายผสมระหว่างลิเทียมคลอไรด์และ เอ็น เอ็น ไดเมธิลอะเซตาไมด์เป็นระยะเวลา 7 วัน .....	22
รูปที่ 3.2 การเตรียมผ้าฝ้าย .....	23
รูปที่ 3.3 การเตรียมคอมพอสิต 1 ชั้น (one-layer cellulose composite) .....	24
รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ของ LLOYD รุ่น LR100K .....	25
รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์เลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ของ Bruker AXS รุ่น D8 .....	26
รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของ JEOL รุ่น JSM-6480LV .....	26
รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851.....	27

รูปที่ 4. 1 ภาพสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของ (ก) ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (ข) ผ้าทอลายขัด ทอห่าง (ค) ผ้าทอลายขัดทอแน่น และ (ง) ผ้าทอลายสอง.....	29
รูปที่ 4. 2 สัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของ (ก) फिल्मที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส และ คอมพอลิิตที่เสริมแรงด้วย (ข) ผ้าทอลายขัดทอห่าง (ค) ผ้าทอลายขัดทอแน่น และ (ง) ผ้าทอลาย สอง .....	29
รูปที่ 4. 3 สัณฐานวิทยาตามขวางของ फिल्मที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส และคอมพอลิิต ที่เสริมแรงด้วย (ข) ผ้าทอลายขัดทอห่าง (ค) ผ้าทอลายขัดทอแน่น และ (ง) ผ้าทอลายสอง.....	30
รูปที่ 4.4 ความทนแรงดึงของ फिल्मไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้า ฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสองและคอมพอลิิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียว ด้วย ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง, ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนว เส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า.....	31
รูปที่ 4.5 ความทนแรงดึงของ फिल्मไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส คอมพอลิิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียว ด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง, ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง และ คอมพอลิิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอ แน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบ ทำมุม 0 องศา.....	32
รูปที่ 4.6 ความทนแรงดึงของ फिल्मไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส คอมพอลิิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียว ด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง, ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง และ คอมพอลิิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอ แน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบ ทำมุม 45 องศา.....	33
รูปที่ 4.7 ความทนแรงดึงของ फिल्मไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส คอมพอลิิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียว ด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง, ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง และ คอมพอลิิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอ แน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบ ทำมุม 90 องศา.....	33
รูปที่ 4.8 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ของ फिल्मไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอ ห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสองและคอมพอลิิตแบบชั้นเดียว ที่	





รูปที่ 4. 21 กราฟ XRD ของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสบริสุทธิ์ (Avicel PH-101) และฟิล์มที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส..... 45



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เซลลูโลสเป็นวัสดุที่มีข้อดีหลายอย่าง เช่น สามารถหาได้ง่ายตามธรรมชาติ สามารถปลูกทดแทนได้ มีความหนาแน่นต่ำ และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอ โดยเส้นใยที่ผลิตจากเซลลูโลสธรรมชาตินั้น ได้แก่ ฝ้าย ป่าน และลินิน เป็นต้น ประกอบกับเส้นใยเซลลูโลสจากธรรมชาติมีความแข็งแรงสูง ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยเซลลูโลสมาใช้เป็นสารเสริมแรงในคอมพอสิต เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ แต่การนำเส้นใยเซลลูโลสมาเสริมแรงในพอลิเมอร์นั้นมักมีปัญหาความเข้ากันไม่ได้ระหว่างพอลิเมอร์และเซลลูโลส เพราะสภาพผิวที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงมีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาการเตรียมคอมพอสิตที่มีสารเสริมแรงเป็นเซลลูโลส ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เล็งเห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเส้นใยเซลลูโลสในรูปแบบของผ้าทอมาเสริมแรงในเมทริกซ์ที่เตรียมได้จากเซลลูโลสเช่นเดียวกัน เพื่อลดปัญหาความเข้ากันไม่ได้ระหว่างเมทริกซ์และสารเสริมแรง นอกจากนี้การใช้เมทริกซ์ซึ่งเป็นเซลลูโลสยังเป็นการลดปริมาณการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์จากแหล่งทรัพยากรปิโตรเลียมซึ่งใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน และก่อให้เกิดปัญหาการตกค้างของขยะซึ่งนับวันปัญหาเหล่านี้จะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาอิทธิพลของการใช้ผ้าทอที่มีโครงสร้างแตกต่างกันต่อสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตที่เตรียมได้อีกด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผ้าทอมาเสริมแรงในเมทริกซ์ที่เตรียมจากเซลลูโลส
2. ศึกษาผลของโครงสร้างผ้าทอต่อสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตที่เตรียมได้

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้คอมพอสิตฟิล์มที่มีทั้งเมทริกซ์และสารเสริมแรงเป็นเซลลูโลส โดยมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่มีการเสริมแรง



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 คอมพอสิตหรือวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุคอมพอสิต (Composite materials) เป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบหลักตั้งแต่ 2 ประเภทขึ้นไป โดยที่วัสดุทั้ง 2 ประเภทนั้นจะต้องไม่ละลายซึ่งกันและกัน โดยที่มีวัสดุชนิดหนึ่งเป็นวัสดุหลักหรือที่เรียกว่า เมทริกซ์ (matrix) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีความต่อเนื่อง (continuous phase) โดยเมทริกซ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ พอลิเมอร์ หรือโลหะ และส่วนเสริมแรง (reinforcement phase) เป็นส่วนที่ทำให้คอมพอสิตมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น โดยมักเป็นองค์ประกอบที่ไม่ต่อเนื่อง (discontinuous phase) ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นผง เส้นใย หรือโครงสร้างสิ่งทอ คอมพอสิตสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลักตามประเภทของเมทริกซ์ [1] ดังต่อไปนี้

- คอมพอสิตที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ (polymer matrix composite; PMC) ถูกคิดขึ้นเพื่อทำการปรับปรุงสมบัติที่ไม่ดีของพอลิเมอร์ ปรับปรุงความสามารถในการทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ ปรับปรุงสมบัติด้านความสามารถในการนำไฟฟ้า
- คอมพอสิตที่มีเซรามิกเป็นเมทริกซ์ (ceramic matrix composite; CMC) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองกับความต้องการทางด้านวัสดุที่สามารถทนทานต่อความร้อนได้สูง มีความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) และการเสื่อมสภาพ (degradation) ที่อุณหภูมิสูง การเตรียมวัสดุเชิงประกอบที่มีโครงสร้างเซรามิกนั้นต้องคำนึงถึงสมบัติต่อความทนทานการแตกหัก ได้มีการปรับปรุงสมบัติการแตกหักโดยการใช้เส้นใยวิสเกอร์ของเซรามิกชนิดหนึ่งเข้าไปฝังในเมทริกซ์ของวัสดุเซรามิกอีกชนิดหนึ่ง ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความต้านทานการแตกหักเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยวิสเกอร์ไปยับยั้งการขยายตัวของรอยแตก ทำให้รอยแตกไม่ขยายตัวหรือโตขึ้น ตัวอย่าง เช่น คอนกรีตเสริมเหล็ก
- คอมพอสิตที่มีโลหะเป็นเมทริกซ์ (metal matrix composite; MMC) วัสดุผสมที่มีเนื้อโลหะเป็นเนื้อหลัก ส่วนใหญ่มักจะพบการใช้งานในอากาศยานพาหนะ

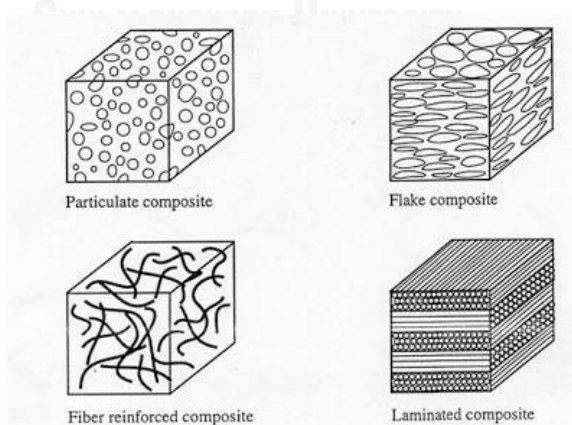
นอกจากนี้คอมพอสิตยังสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของสารเสริมแรง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

- คอมพอสิตเสริมแรงด้วยอนุภาค (particle reinforced composites) อนุภาคมีทั้งขนาดใหญ่ และขนาดเล็กมีลักษณะทรงกลม หรือเป็นแผ่น เป็นวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงได้ทั้งอนุภาคเล็กและอนุภาคใหญ่ สำหรับวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยอนุภาคใหญ่นั้น

วัตถุประสงค์เพื่อทดแทนเนื้อของเมทริกซ์ซึ่งราคาสูง หรือ ปรับปรุงสมบัติ โดยอนุภาคที่ใช้ในการเสริมแรงนั้นปกติจะมีรูปทรงที่แตกต่างกัน แต่ถ้ามีรูปทรงที่เท่ากันจะทำให้มีประสิทธิภาพที่ดี และยังคงคำนึงถึงการกระจายตัวที่สม่ำเสมอเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง และยิ่งสำคัญไปกว่านั้นก็คือสัดส่วนปริมาตรของเฟสทั้งสองจะส่งผลต่อพฤติกรรมของวัสดุ เช่น ถ้ามีการเพิ่มปริมาณของสารเสริมแรงชนิดผงมากขึ้น สมบัติเชิงกลของวัสดุก็จะสูงขึ้น

ส่วนวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยอนุภาคขนาดเล็ก สามารถพบได้มากในวัสดุเชิงประกอบประเภทโลหะหรือ โลหะผสมที่เรียกกันว่า alloy เพื่อที่จะปรับปรุงความแข็งและความแข็งแรง อนุภาคที่มีขนาดเล็ก มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ จึงสามารถที่จะทำให้สามารถเพื่อสมบัติดังกล่าวได้ ซึ่งสารเสริมแรงในกลุ่มนี้เป็นได้ทั้งที่เป็นโลหะหรือโลหะก็ได้

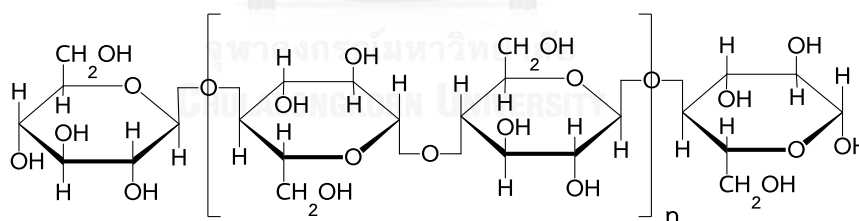
- คอมพอสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย (fiber reinforced composites) มีหลายรูปแบบ ได้แก่ เส้นใยยาวต่อเนื่อง เส้นใยสั้น ผืน หรือแผ่นทอ วัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใย อาจจะได้ว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบที่มีเฟสกระจายตัวในรูปของเส้นใยนั้น จุดประสงค์ในการเสริมแรงด้วยเส้นใย นั้นคือเพื่อต้องการแข็งแรงหรือ มอดุลัสความยืดหยุ่นต่อน้ำหนักโมเลกุลที่สูง สมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนั้นมีอิทธิพลเนื่องจากความยาว การจัดเรียงตัวของเส้นใย และปริมาณหรือความเข้มข้นเส้นใย
- คอมพอสิตโครงสร้าง (structural composites) ได้แก่ วัสดุเสริมแรงแบบลามิเนต และแบบแซนด์วิช



รูปที่ 2.1 คอมพอสิตแบบต่างๆ [2]

## 2.2 เซลลูโลส

เซลลูโลส (cellulose) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ปรากฏในธรรมชาติเป็นจำนวนมาก เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของพืช โดยมีประมาณ 40 – 50 % ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช โดยตามธรรมชาติจะไม่พบเซลลูโลสบริสุทธิ์อยู่ แต่จะมีการปะปนไปด้วยสารประกอบอื่นๆ เช่น ลิกนิน เพกทิน หรือซีลิ่งเซลลูโลส คือคาร์โบไฮเดรตชนิดพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เกิดจากมอนอเมอร์แอนไฮโดรกลูโคไพราโนส (anhydroglucopyranose) ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยย่อยของ D-glucose ในรูปของบีต้าดีกลูโคไพราโนส ( $\beta$ -D-glucopyranose) เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) ที่ C ตำแหน่งที่ 1 กับ C ตำแหน่งที่ 4 ในโมเลกุลถัดไป โดยมีสูตรทางเคมีคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  และต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่ C ตำแหน่งที่ 3 กับ O ในวงแหวนของโมเลกุลถัดไปและระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่ C ในตำแหน่งที่ 6 กับ O ที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของ D-glucose ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เซลลูโลสถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้เป็นเส้นใย เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เช่น ผ้า ยาน ปอ และลิกนิน เซลลูโลสมีข้อดีหลายประการ เช่น เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถสร้างทดแทนใหม่ได้ มีความแข็งแรงสูงเนื่องจากความเป็นผลึกในโครงสร้าง ไม่ละลายในน้ำหรือกรดอ่อน และละลายได้ยากในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป เช่น คลอโรฟอร์ม แต่สามารถละลายได้เล็กน้อยในโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 5 [3-5]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

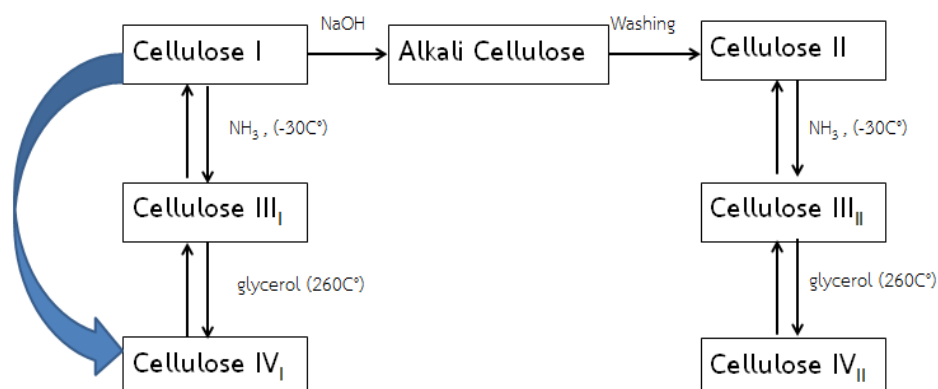
โครงสร้างของเซลลูโลสนั้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่โมเลกุลจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ หรือการจัดเรียงตัวแบบสัณฐาน (crystalline region) ในส่วนนี้โมเลกุลมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันมาก (hydrogen bond) ทำให้มีความทนทานต่อตัวทำละลายเคมีที่ดี ในขณะที่ส่วนที่มีการจัดเรียงตัวกันของโมเลกุลที่ไม่เป็นระเบียบ หรือแบบอสัณฐาน (amorphous region) นั้นสามารถถูกทำลายได้ด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ได้ง่ายกว่าบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ

สมบัติต่างๆของเซลลูโลสตามธรรมชาติ

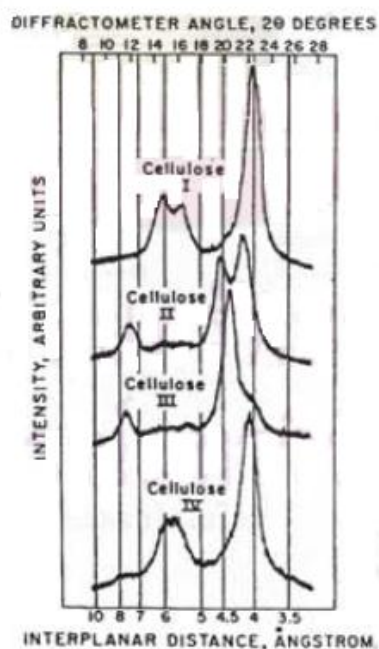
- เป็นพอลิแซคคาไรด์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$  -1,4 glycosidic linkage
- เกิดได้จากการประกอบกันด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดเดียว คือ กลูโคส
- เป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลที่สูง และมีองศาในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ที่สูง (degree of polymerization, DP)
- เซลลูโลสนั้นจะมีลักษณะเป็นเส้นด้ายยาว เรียกว่า ไมโครไฟบริล (microfibril)
- เซลลูโลสมีสมบัติที่เหมือนกันทั้งกับใน ไม้เนื้ออ่อน (soft wood) และในเนื้อแข็ง (hard wood)
- เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่เป็นเส้นตรงไม่มีแขนงหรือกิ่ง (side chain)

เซลลูโลสสามารถแบ่งรูปแบบของโครงสร้างของผลึกได้เป็น 4 รูปแบบ ดังนี้ เซลลูโลส I III และ IV โดยที่เซลลูโลส I สามารถพบได้ตามธรรมชาติทั่วไป ในขณะที่เซลลูโลส II นั้นสามารถเตรียมได้จากการนำเซลลูโลส I มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นประมาณ

17 – 20% โดยที่กระบวนการนี้ถูกเรียกว่ากระบวนการเมอร์เซอร์เซชัน (mercerization process) โดยที่กระบวนการนี้จะเป็กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปแบบของเซลลูโลส I ให้เป็นเซลลูโลส II, การเปลี่ยนเซลลูโลส I หรือ เซลลูโลส II เป็นเซลลูโลส III ทำได้โดยการแช่เซลลูโลส I หรือ เซลลูโลส II ในแอมโมเนียเหลว โดยที่ในระบบจะต้องไม่มีน้ำอยู่ จะได้ เซลลูโลส III และการเปลี่ยนเซลลูโลส I หรือ เซลลูโลส II ให้เป็นเซลลูโลส IV ทำได้โดยให้ความร้อนกับเซลลูโลส I หรือ เซลลูโลส II ที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส ภายใต้น้ำและความดัน หรือเตรียมได้จากการให้ความร้อนเซลลูโลส I หรือ เซลลูโลส III ในกลีเซอรอลที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส โดยกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสนั้น แสดงในรูปที่ 2.3 และมีรูปแบบของความเป็นผลึกของเซลลูโลสทั้ง 4 ชนิดนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสในรูปแบบต่างๆ

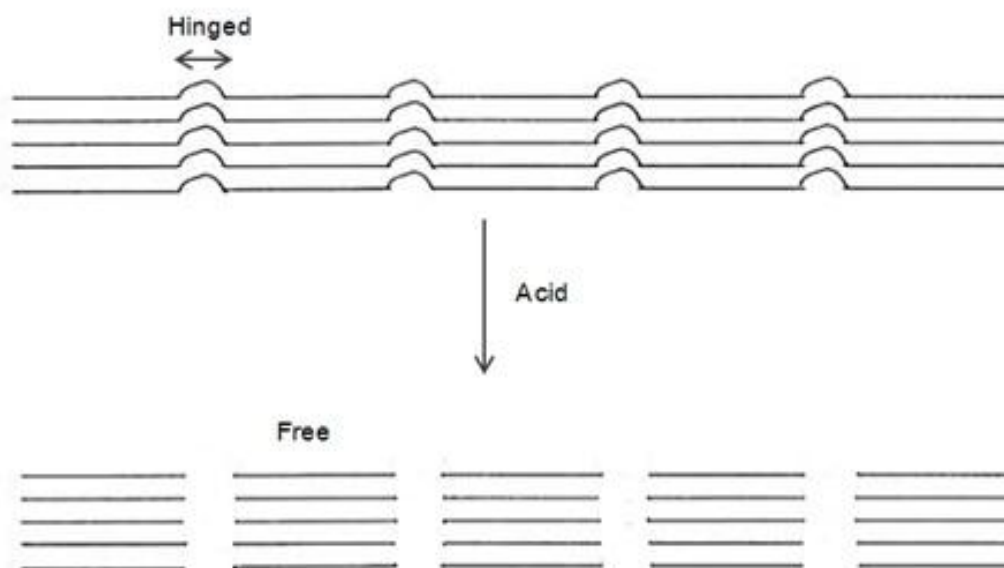


รูปที่ 2.4 ความเป็นผลึกของเซลลูโลสทั้ง 4 ประเภทจากการกระจายของรังสีเอ็กซ์ [6]

## 2.3 ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส

ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส (microcrystalline cellulose, MCC) ผลิตได้จากกระบวนการลดขนาดของอนุภาคของเซลลูโลส หรือกระบวนการเสื่อมสลายโดยใช้สารละลายกรด ในช่วงแรกๆ นั้นการนำไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสมาใช้งานยังไม่ค่อยประสบผลสำเร็จมากนัก แต่อย่างไรก็ตามได้มีการนำเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์ในทางการค้าเพิ่มมากขึ้น และเริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายและกว้างขวางมากยิ่งขึ้น [7] โดยทั่วไปแล้วเซลลูโลสจะประกอบด้วยมัดของเส้นใย (ไฟบริล) จำนวนมาก

มารวมตัวกันอยู่ แต่เมื่อทำการทำลายส่วนที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบจะได้ในส่วนที่เป็นผลึกอิสระขนาดเล็ก [8] ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเตรียมจุลผลึกอิสระขนาดเล็ก [9]

ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสนั้นถูกนำไปใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เช่น ในทางอุตสาหกรรม ยายอมให้สามารถใช้ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสชนิดที่สามารถเตรียมเพื่อสำหรับการตอกอัดเม็ดยา และรับประทานเท่านั้น และยังมีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ อย่างเช่น ใช้ในการควบคุมการเจริญเติบโตของผลึกน้ำแข็งในกระบวนการของการแช่ผลไม้ นอกจากนี้ ยังสามารถนำไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อีกมากมาย ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การนำไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ [8]

Application	Role of microcrystalline cellulose
Reinforcing filler	Thermosetting resins, Thermosetting laminates
Tableting	Inert binder, Diluent, Disintegrant, Lubricant, Sugar-coating, Additive
Suspensions	Suspending agent, Stabilizer, Thickening agent
Emulsions	Emulsifier, Stabilizer
Chromatography	TLC, Column chromatography and Ion exchange
Color vehicle	Dry and Pigment transport
Cellulose raw material	Controlled-particle-size cellulose derivatives
Derivatives	Controlled-particle-size MCC derivatives
Ceramics	Plasticity rapid prefired glaze hardening
Food	Nonnutritive filler reduces caloric value
Herbicide emulsion	Sole emulsifier, Stabilizer, Thixotropy, Aqueous Dispersibility
Latex emulsions	Emulsifier, Stabilizer, Thixotropy, Prevents “Strike through”, Adhesion
Cosmetics	Retains volatile principles
Paints	Flow control, Brush control, Viscosity control
Wax-in-water emulsion	Sole emulsifier, Shear stability, Freeze-thaw stability, pH stability, Aqueous-solvent Miscibility, Thixotropy
Water-base-paint formulation	Flow control, Brush control, Viscosity control, Bubble leveling, Sagging control

## 2.4 ฝ้าย

ฝ้าย (cotton) เป็นเส้นใยเก่าแก่ชนิดหนึ่งที่มนุษย์รู้จักและใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณ จนกระทั่งถึงปัจจุบัน แม้จะมีเส้นใยชนิดใหม่ๆ เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากแต่ฝ้ายก็ยังคงเป็นเส้นใยที่ถูกใช้กันมากที่สุด โดยสามารถพบผ้าฝ้ายหรือผ้าผสมใยฝ้ายอยู่ทั่วไป เช่น เสื้อ กระโปรง ผ้าปูที่นอน ผ้าห่ม ผ้าเช็ดตัว ผ้าเช็ดหน้า หรือผ้าปูที่นอน เป็นต้น

ฝ้าย (cotton) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Gossypium* spp ฝ้ายเป็นเส้นใยสั้น (Staple) ที่มีความทนทาน แข็งแรง ดูดซึมน้ำได้ดีจึงทำให้สวมใส่สบาย ระบายอากาศ และระบายความร้อนได้ดี ทำให้ฝ้ายถูกนำมาผลิตใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ปัจจุบันประเทศที่ผลิตฝ้ายที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียต สาธารณรัฐประชาชนจีน อินเดีย ตุรกี ปากีสถาน บราซิล และใน

ประเทศไทยนั้นมีการปลูกฝ้ายกันมากทางแถบภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง [10] ฝ้ายมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีมากถึงร้อยละ 94 โดยน้ำหนัก และส่วนประกอบอื่นๆ ในฝ้ายที่ไม่ใช่เซลลูโลสนั้นมีเพียงปริมาณเล็กน้อย เช่น ขี้ผึ้ง (wax) สารพวคเพกทิน (pectin) และสารประกอบพวกไนโตรเจน ดังแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.6 ลักษณะของดอกฝ้าย [11]

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย

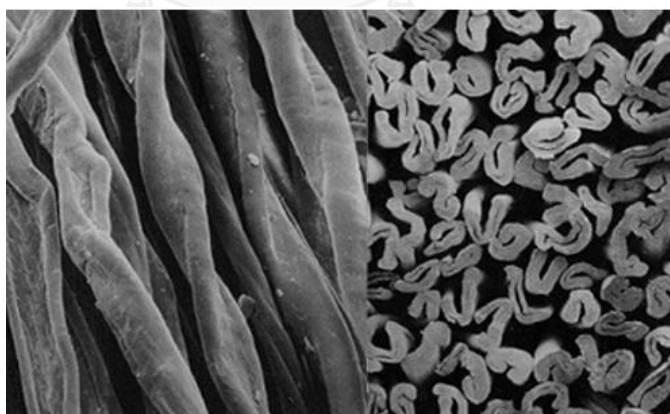
ส่วนประกอบ	ส่วนประกอบเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง	
	ค่าจำเพาะ	ค่าที่เป็นช่วงขอบเขต
เซลลูโลส	94.0	88.0 – 96.0
โปรตีน (%N X 6.25) <sup>a</sup>	1.3	1.1 – 1.9
สารจำพวกเพคติน	1.2	0.7 – 1.2
เถ้า	1.2	0.7 – 1.6
ไขมัน	0.6	0.4 – 1.0
น้ำตาลทั้งหมด	0.3	-
เม็ดสี	Trace	-
อื่นๆ	1.4	-

หมายเหตุ <sup>a</sup> มาตรฐานในการประมาณค่าร้อยละของโปรตีนของไนโตรเจน (%N) [12]



#### 2.4.1 สมบัติทางกายภาพ

โดยทั่วไปฝ้ายดิบจะมีสีออกไปทางขาวนวล ขาวเหลือง และในบางชนิดอาจจะมีสีออกไปทางขาวน้ำตาลได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งเพาะปลูก สภาพภูมิอากาศ อาหารและน้ำ ซึ่งคุณภาพของฝ้ายที่ได้นั้นจะขึ้นกับความยาวและความยาวของเส้นใยฝ้าย โดยปกติแล้วเส้นใยฝ้ายจะมีความยาวอยู่ในช่วงระหว่าง 1,000 – 3,000 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของฝ้ายนั้นๆ ส่วนความกว้างของเส้นใยฝ้ายนั้นจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันออกไปเริ่มตั้งแต่ 16 – 20 ไมครอน ความยาวโดยประมาณของเส้นใยคือ 0.3 -5.5 ซม (1/8 -2 ¼ นิ้ว) เส้นใยฝ้ายที่ยาวนั้นจะแสดงถึงคุณภาพของเส้นใยที่ดีด้วย และรูปร่างภาคตัดขวางของเส้นใยนั้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตของฝ้าย [13-15]เมื่อนำเส้นใยมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นรูปร่างภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้ายนั้นมีลักษณะคล้ายกับเมล็ดถั่ว ซึ่งมีช่องตรงกลางของเส้นใยที่กลวงเรียกว่า lumen ซึ่งเป็นช่องสำหรับลำเลียงน้ำ เส้นใยในระยะแรกของฝ้ายจะมีลักษณะภาคตัดขวางเป็นรูปตัวยู (U) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แต่เมื่อเส้นใยฝ้ายเริ่มมีการเจริญเติบโตมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเติบโตเต็มที่ผนังเซลล์จะมีความหนามากขึ้นและมีภาคตัดขวางที่ค่อนข้างจะมีลักษณะกลมมากยิ่งขึ้น ทำให้มองเห็นช่องตรงกลางของเส้นใยเล็กและแคบลงและผนังที่หนาขึ้นแต่ละชั้นของความหนาจะประกอบไปด้วยสายโซ่โพลีเมอร์ของเซลลูโลสมาจัดเรียงตัวต่อกัน และลักษณะของการจัดเรียงตัวนั้นจะเรียงในทิศทางที่สลับสวนทางกันทำให้เห็นการบิดเกลียวของสายโซ่ เรียกว่า เกลียวฝ้าย



รูปที่ 2.7 ภาพตามยาวของเส้นใยฝ้าย (ซ้าย) และภาพตัดขวางของเส้นใยฝ้าย (ขวา) [15]

ความเงาของฝ้ายนั้นโดยปกติแล้วจะมีความเงาเพียงเล็กน้อย การสะท้อนแสงไม่ตมมากนัก แต่เมื่อผ่านกระบวนการเมอร์ซิไรซ์ หรือการชุบมัน เส้นใยจะพองกลม ทำให้มีความมันเงาเพิ่มมากขึ้น โดยเส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงปานกลาง โดยมีความเหนียว (tenacity) ของเส้นใยประมาณ 26.5

-44.1 cN/tex (3.0 – 5.0 g/den) และมีค่าทนแรงดึง (tensile strength) ประมาณ 2,800 – 8,400 kg/cm<sup>2</sup> (40,000 – 120,000 lb/in<sup>2</sup>) แต่เมื่อผ้าฝ้ายเปียกน้ำเส้นใยฝ้ายจะมีความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 10 – 20 % และเมื่อเส้นใยฝ้ายผ่านกระบวนการเมอร์เซอร์เซชันจะทำให้มีค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนการยืดตัวของเส้นใยฝ้ายนั้นมีการยืดตัวออกได้เล็กน้อย โดยมีความยืดตัวสูงสุด ณ จุดขาด (elongation at break) ประมาณ 5 – 10% แต่เส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการคืนตัวกลับ (elastic property) ภายหลังเมื่อได้รับแรงกระทำที่ต่ำ โดยเมื่อมีการยืดดึงออก 2% เส้นใยฝ้ายจะมีการคืนตัวกลับ 74% ส่วนถ้ามีการยืดดึงออกที่ 5% เส้นใยฝ้ายจะมีการคืนตัวกลับมาเพียง 45% นอกจากนี้เส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 65% เส้นใยฝ้ายสามารถดูดความชื้นได้ 6 -8% และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% จะสามารถดูดซึมความชื้นได้ถึง 25 - 27% และเส้นใยฝ้ายสามารถทนต่อความร้อนได้สูงถึง 204 – 208 °C

#### 2.4.2 สมบัติทางเคมี

กรดอ่อน เช่น กรดแอสติก ไม่สามารถที่จะละลายเส้นใยฝ้ายได้ เพราะจะทำให้เส้นใยฝ้ายอ่อนตัวลง ในขณะที่กรดแก่ เช่น กรดซัลฟูริกเข้มข้น สามารถละลายเส้นใยฝ้ายได้ โดยจะไปละลายเส้นใยฝ้ายให้กลายเป็นลักษณะยางเหนียว ส่วนสารละลายต่างนั้นไม่สามารถที่จะละลายเส้นใยฝ้ายได้ เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความคงทนต่อสารละลายต่างได้ดี ส่วนตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถละลายเส้นใยฝ้ายได้ โดยเส้นใยฝ้ายสามารถละลายได้ในตัวทำละลายเพียงบางชนิด ยกตัวอย่างเช่น สารประกอบคอปเปอร์คิวปรามโมเนียมไฮดรอกไซด์ (copper cuprammonium hydroxide) นอกจากนี้สารฟอกขาวไม่สามารถทำละลายเส้นใยฝ้ายได้ ยกเว้นสารฟอกขาวประเภทที่เป็นตัวออกซิไดซ์รุนแรง เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite) และ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (potassium permanganate) เป็นต้นทำให้เส้นใยฝ้ายกลายเป็นสีเหลือง

นอกจากนี้แสงแดดที่มีรังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถเปลี่ยนโครงสร้างของเส้นใยฝ้ายได้ ทำให้ความเหนียวและความแข็งแรงของเส้นใยมีค่าลดลง เนื่องจากโมเลกุลของเส้นใยนั้นได้ถูกทำลายและยังสามารถเปลี่ยนสีให้เส้นใยฝ้ายเป็นสีเหลืองได้ เส้นใยฝ้ายมีสมบัติความทนต่อราและแมลงที่ต่ำ เพราะเส้นใยฝ้ายมีการลงแป้ง ทำให้ราสามารถเจริญเติบโตได้ เมื่อเส้นใยเปียกชื้นและอับ ทำให้เกิดราขึ้นได้ง่าย

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเส้นใยฝ้าย [10]

สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเส้นใยฝ้าย	ค่าระดับ
ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยธรรมชาติ	16 - 20 ไมโครเมตร
ความเหนียว (แห้ง)	3.5 – 4.0 (กรัม/เดนิเยอร์)
ความเหนียว (เปียก)	4.5 – 5.0 (กรัม/เดนิเยอร์)
การดูดความชื้น	7 – 11 (%)
เปอร์เซ็นต์การยืดได้มาตรฐานปกติ	3.7 (%)
เปอร์เซ็นต์การยืดได้เมื่อเปียก	9.5 (%)
เปอร์เซ็นต์ความสามารถหดกลับที่เดิมหลังจากจับยืดออก 2.5	75 (%)
เปอร์เซ็นต์	
ความถ่วงจำเพาะ	1.50 – 1.55

## 2.5 กระบวนการทอผ้า

กระบวนการทอผ้า (weaving process) เป็นกรรมวิธีในการผลิตผืนผ้าที่เกิดจากการนำเส้นด้าย 2 ชุดมาขัดสานกันได้เป็นผืนผ้า เส้นด้ายชุดที่วิ่งไปตามความยาวของผ้า เรียกว่า เส้นด้ายยืน (warp) และเส้นด้ายชุดที่วิ่งไปตามความกว้างของผ้า เรียกว่า เส้นด้ายพุ่ง (weft) ด้วยเครื่องมือในการทอ ที่เรียกว่า ทูก หรือก็ ลักษณะการทอนั้นมีด้วยกันหลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการนำมาใช้ประโยชน์ของผ้าที่ต้องการ [16]

### 2.5.1 เครื่องทอ

เครื่องทอ (loom) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการทอ โดยเป็นการนำเส้นด้ายยืนมายึดติดเข้ากับส่วนประกอบของทอ และนำเส้นด้ายพุ่งมาพุ่งในแนวขวางกับเส้นด้ายยืนทำให้เกิดการขัดกัน

แกนม้วนเส้นด้ายยืน (warp beam) เป็นส่วนที่ม้วนเส้นด้ายยืน เพื่อที่จะไว้ใช้ทอตามความยาวที่ต้องการ โดยที่เส้นด้ายยืนเส้นแรกจะอยู่ทางด้านซ้ายมือของด้านหน้าทอผ้า

ตะกอก (harness หรือ heald shafts) เป็นกรอบของตะกอกที่มี ลวดตะกอกหรือเชือกตะกอก (heddle หรือ heald) ซึ่งมีรูของตะกอก (heddle eyes) อยู่ตรงกลาง ตะกอกเป็นส่วนที่ทำหน้าที่บังคับเส้นด้ายยืนที่ถูกร้อยอยู่ในรูของตะกอกให้ขึ้นลงสลับกันไปตามลักษณะของลวดลายโครงสร้าง เส้นด้าย

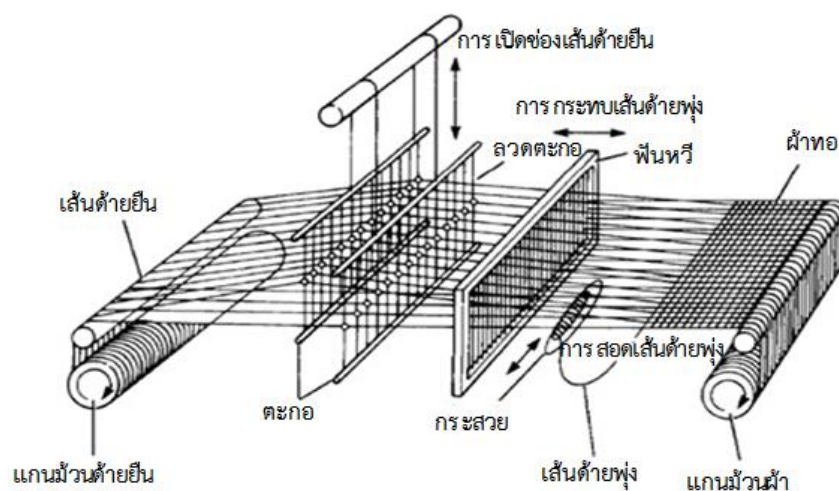
ยีนที่มีการเคลื่อนที่ที่เหมือนกันจะถูกร้อยผ่านตะกอกที่อยู่ในดับของตะกอกเดียวกัน และจำนวนดับของตะกอกที่ใช้จะขึ้นกับโครงสร้างของลวดลายในการทอที่ได้กำหนดไว้ เช่น 2 ตะกอก 3 ตะกอก หรือ 10 ตะกอก

ฟันหวี (reed) หรือพิมพ์ทำหน้าที่เป็นตัวบังคับเส้นด้ายที่ร้อยเข้าไปในช่องว่างระหว่างฟันหวีให้อยู่ในระยะห่างที่ต้องการ จะได้ความถี่ห่างหรือความหนาแน่นของเนื้อผ้าที่ได้กำหนดไว้ เบอร์ของฟันหวี จะเรียกตามจำนวนของเส้นด้ายยืนต่อหน่วยความกว้างเป็นนิ้วหรือเป็นเซนติเมตร เช่น ฟันหวีเบอร์ 30 จะมีช่องฟันหวี 15 ช่องต่อนิ้ว นอกจากนี้แล้วฟันหวียังทำหน้าที่เป็นตัวกระทบเส้นด้ายพุ่งให้ชิดติดกับผ้าที่ได้ทอเอาไว้แล้วอีกด้วย

แกนม้วนผ้า (cloth beam) ทำหน้าที่เป็นตัวม้วนเก็บผ้าที่ทอเสร็จแล้ว

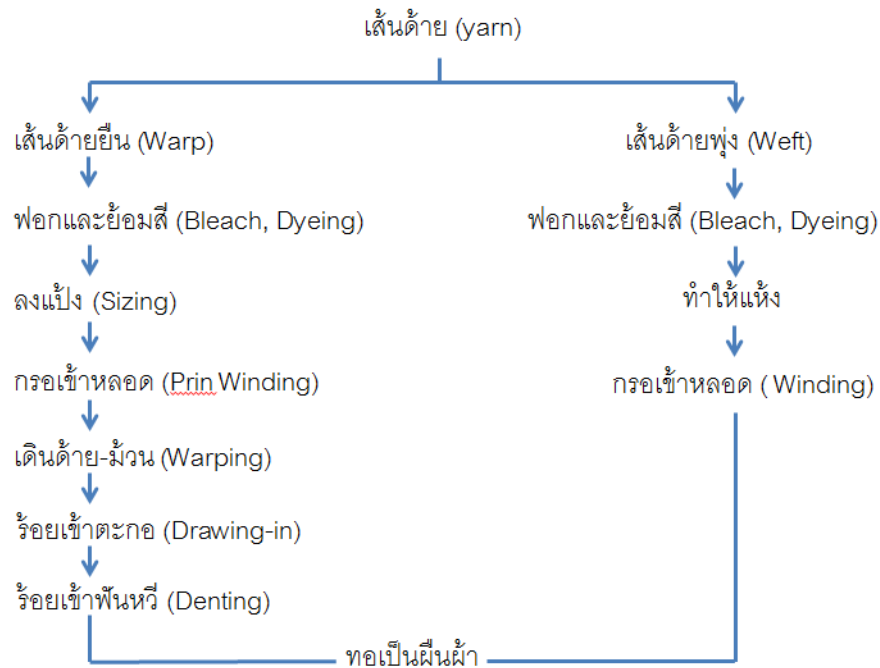
กระสวย (shuttle) ใช้สำหรับเก็บด้ายพุ่ง และยังทำหน้าที่เป็นตัวพุ่งนำเส้นด้ายพุ่งเข้าไปใน ระยะช่องว่างของเส้นด้ายยืนที่เกิดจากการสับตะกอกให้เส้นด้ายยืนแยกออกจากกันเกิดเป็นช่องว่างให้กระสวยพุ่งผ่าน

โดยกี่ทอมีส่วนประกอบหลักต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของกี่ทอผ้า [17]

### การเตรียมเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืน (Weft and Warp Preparation)



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนของการเตรียมด้ายพุ่งและด้ายยืนก่อนนำไปทอ

#### 2.5.2 หลักการทอผ้า

การสอดเส้นด้ายพุ่งแต่ละครั้งให้ทอขัดกันกับเส้นด้ายยืน จะเกิดจากการทำงานของกี่ทอผ้า 4 ขั้นตอนหลัก และสลับหมุนเวียนกันดังนี้

การเปิดช่องเส้นด้ายยืน เป็นการแยกเส้นด้ายยืนออกเป็นช่องว่าง เพื่อให้เส้นด้ายพุ่งสอดขัด ด้วยการสับตะกอกให้ด้ายยืนแยกออกจากกัน

การสอดเส้นด้ายพุ่ง เป็นการนำเส้นด้ายพุ่งเข้าไปในช่องว่างของเส้นด้ายยืน ที่เปิดช่องว่างไว้แล้ว

การกระทบเส้นด้ายพุ่ง โดยการปล่อยตะกอกให้ด้ายยืนรวมเป็นหมู่เดียวกันตามเดิม แล้วกระทบฟันหวีโดยแรง เพื่อให้ฟันหวีได้นำเส้นด้ายพุ่งเข้าไปให้ชิดกับเส้นด้ายพุ่งก่อนหน้า

การคลายเส้นด้ายยืนและการม้วนเก็บผ้าเป็นการทำงานของเครื่องทอที่ช่วยทำให้การทอดำเนินต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง

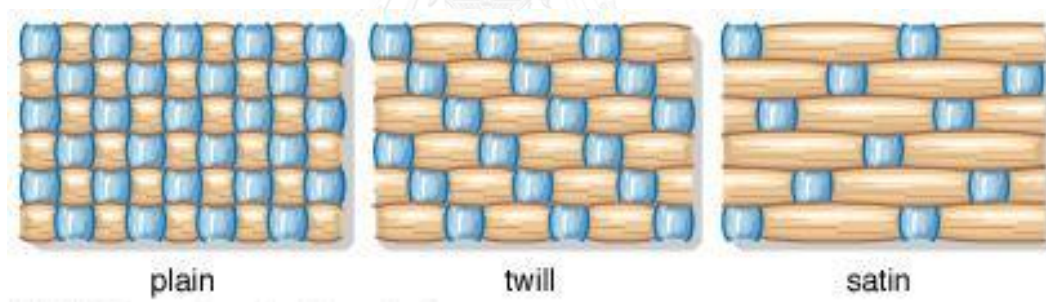
### 2.5.3 โครงสร้างลายทอพื้นฐานของผ้าทอ

ลายทอที่เป็นโครงสร้างพื้นฐาน (elementary weave) ของผ้าทอนั้นมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ ลายขัด (plain weave) ลายสอง (twill) และ ลายต่วน (satin/sateen) ดังแสดงในรูปที่ 2.10

ลายขัด เป็นโครงสร้างที่ง่ายที่สุด เนื่องจากเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืนเกิดการขัดสานกันขึ้นลงสลับไปมา มีจุดขัดกันมากที่สุด และแข็งแรงที่สุด

ลายสอง เป็นโครงสร้างที่มีเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืนขัดกันในลักษณะที่ลัดหรือข้ามทีละหลายเส้น ตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป ด้ายพุ่งเส้นถัดมาจะลัดหรือข้ามด้ายยืนเหลื่อมขึ้นไปในแนวทแยงมุมเหมือนขั้นบันได ลายสองมีความแข็งแรง และทึงตัวได้ดีกว่าลายขัด

ลายต่วน เป็นลายทอที่มีเส้นด้ายยืนหรือเส้นด้ายพุ่งอย่างใดอย่างหนึ่งลอยเด่นชัดบนผิวผ้าตามความต้องการที่จะให้เป็น โครงสร้างผ้าต่วนเป็นเส้นทแยงมุมแบบไม่ต่อเนื่อง เส้นด้ายแต่ละเส้นจะขัดกันเพียงหนึ่งครั้งในหนึ่งหน่วยซ้ำ และไม่มีจุดขัดสานที่ต่อเนื่องติดกัน มีโครงสร้างที่หลวม จุดเด่นของลายต่วนคือ ผ้ามีความเงามัน และสามารถทึงตัวได้ดี



รูปที่ 2.10 โครงสร้างผ้าทอ [18]

### 2.5.4 จำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวผ้าทอ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 121 เล่ม 13-2553

มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดวิธีการทดสอบจำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของผ้าทอไว้ 3 วิธี เลือกตามความเหมาะสมของลักษณะของผ้า

1. วิธีเลาะเส้นด้ายจากผ้าและนับ (dissection)
2. วิธีใช้แว่นขยายสำหรับนับเส้นด้าย (counting glass)
3. วิธีใช้เครื่องนับเส้นด้ายแบบปรับเปลี่ยนได้ (traversing thread counter)

ระยะทดสอบ ระยะทดสอบต่ำสุด (minimum measuring distance) ตามที่กำหนด

ตารางที่ 2.4 แสดงระยะทดสอบต่ำสุด

จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตร	ระยะทดสอบต่ำสุด (เซนติเมตร)	จำนวนเส้นด้ายต่อชิ้นทดสอบ	ความคาดเคลื่อน เป็นร้อยละ (นับให้ละเอียดถึง 0.5 เส้น)
ต่ำกว่า 10	10	ต่ำกว่า 100	มากกว่า 0.5
10 ถึง 25	5	50 ถึง 125	1.0 ถึง 0.4
25 ถึง 40	3	75 ถึง 120	0.7 ถึง 0.4
มากกว่า 40	2	มากกว่า 80	ต่ำกว่า 0.6

สำหรับผ้าหน้าแคบที่มีความกว้างเต็มหน้าผ้าไม่เกิน 10 เซนติเมตร ให้ใช้ผ้าทั้งชิ้นในการทดสอบโดยให้นับจำนวนเส้นด้ายยืนทุกเส้นรวมริมผ้าด้วย รายงานผลการทดสอบเป็นจำนวนเส้นด้ายยืนต่อความกว้างเต็มหน้าผ้า สำหรับผ้าที่มีลายผ้าที่มีความหนาแน่นของเส้นด้ายแตกต่างกันเป็นช่วงกว้าง ให้เลือกผ้าที่มีลายที่อย่างน้อยหนึ่งรอบลายทอ (one weave repeat)

#### วิธีที่ 1 วิธีเลาะเส้นด้ายจากผ้าและนับ

1. ใช้เข็มของตัวหนีบยึดแท่งทะลุชิ้นทดสอบ โดยให้ห่างจากชิ้นทดสอบ 0.2 เซนติเมตร ถึง 0.3 เซนติเมตร
2. เลาะเส้นด้ายที่เส้นที่อยู่นอกเข็มทั้งสองออกไป (เส้นที่อยู่ในแนวการนับจำนวน)
3. เลาะเส้นด้ายที่ต้องการนับจำนวนและเป็นเส้นด้ายที่อยู่ระหว่างเข็มทั้งสอง
4. ให้ทดสอบจำนวนเส้นด้ายยืนต่อเซนติเมตรและจำนวนเส้นด้ายพุ่งต่อเซนติเมตรอย่างน้อย แนวละ 5 ค่า

#### วิธีที่ 2 วิธีใช้แว่นขยายสำหรับนับเส้นด้าย

1. วางผ้าตามแนวนอนบนพื้นผิวเรียบ วางแว่นขยายบนผ้า ให้ขอบของด้านหนึ่งของแว่นขยายขนานไปกับแนวเส้นด้ายยืนหรือเส้นด้ายพุ่งที่ต้องการนับ
2. นับจำนวนเส้นด้ายยืนหรือรอบลายทอ หรือจำนวนของหน่วยเส้นด้ายยืน (warp thread units) และเศษส่วนของหน่วย นับจากช่องเปิดแว่นขยายไปยังอีกด้านหนึ่ง
3. นับจำนวนเส้นด้ายพุ่ง ตามวิธีแบบข้อ 2.

4. ถ้าด้านหน้าของผ้าประกอบด้วยเส้นด้ายหนึ่งชุดเป็นส่วนใหญ่ เช่น ผ้าลายสอง ผ้าลายตัวน ให้นับจำนวนเส้นด้ายจากด้านที่มองเห็นชัดเจนกว่า

วิธีที่ 3 วิธีใช้เครื่องนับเส้นด้ายแบบปรับเลื่อนได้

1. วางผ้าบนพื้นราบ ไม่มีรอยยับและแรงดึง วางเครื่องนับเส้นด้ายแบบปรับเลื่อนเว้นขยาย โดยเคลื่อนเครื่องวัดผ่านผ้าในแนวตั้งฉากกับเส้นด้ายที่จะนับจำนวนเส้นด้ายในแนวระยะทดสอบ ทั้งเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง

การคำนวณ

1. คำนวณจำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตร ตามตำแหน่งต่างที่นับจำนวน
2. คำนวณค่าเฉลี่ยจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งต่อเซนติเมตร
3. คำนวณค่าเฉลี่ยจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งต่อตารางเซนติเมตร จากผลบวกของค่าเฉลี่ยจากข้อ 2

กรณีผ้ามีลายซึ่งความหนาแน่นของเส้นด้ายแตกต่างกัน ให้คำนวณจำนวนเส้นด้ายจากแต่ละพื้นที่ลายทอ รายงานตามจำนวนของลายทอที่ต่างกันต่อเซนติเมตร

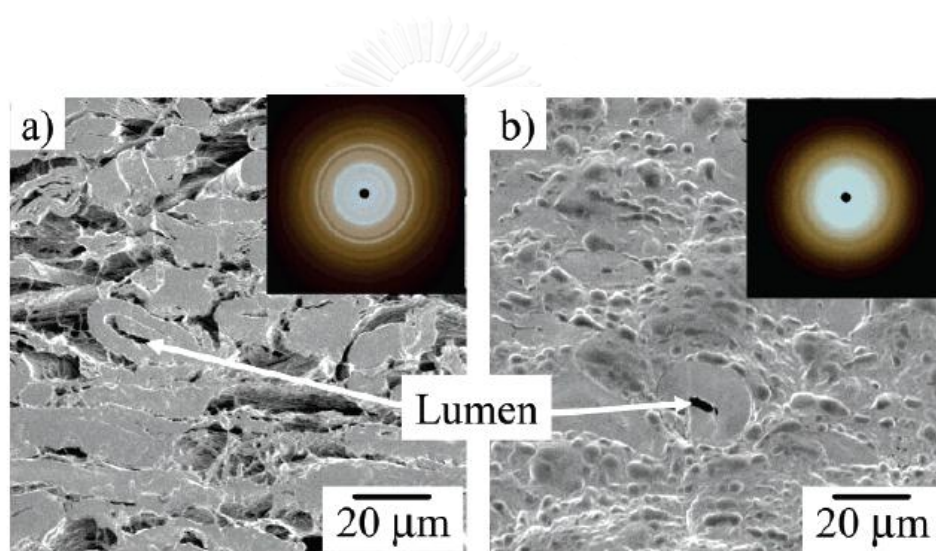
## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แม้ว่าจะมีความสนใจในการนำเส้นใยเซลลูโลสมาใช้เป็นสารเสริมแรง แต่การนำเส้นใยเซลลูโลสมาเสริมแรงในพอลิเมอร์นั้นมักเกิดปัญหาความเข้ากันไม่ได้ เพราะเซลลูโลสมีความเป็นขั้วค่อนข้างสูงและแตกต่างจากพอลิเมอร์โดยทั่วไปมาก ในปัจจุบันจึงมีความสนใจที่จะเตรียมคอมพอสิตที่มีทั้งเมทริกซ์และสารเสริมแรงเป็นเซลลูโลส เพื่อลดปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างเมทริกซ์และสารเสริมแรง โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

Nishino และคณะ [19] ศึกษาผลของเวลาการแช่ในตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียมต่อสมบัติของคอมพอสิตเซลลูโลสที่เตรียมได้ โดยการนำกระดาษกรองมาแช่ในสารละลายผสมระหว่าง lithium chloride และ N,N-dimethylacetamide โดยสารละลายจะเปลี่ยนสภาพผิวรอบนอกของเส้นใยให้เป็นของเหลวหนืด และเมื่อนำไปแช่ในน้ำ ของเหลวหนืดจะเปลี่ยนสภาพกลับมาเป็นของแข็งอีกครั้งหนึ่ง จากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบว่า เซลลูโลสคอมพอสิตที่เตรียมโดยการแช่กระดาษกรองในสารละลายผสมระหว่าง lithium chloride และ N,N-



dimethylacetamide เป็นเวลา 12 ชั่วโมงนั้น พื้นผิวรอบนอกของเส้นใยเกิดการเชื่อมติดกัน แต่ยังคงมีเส้นใยหลงเหลืออยู่ สังเกตได้จากลุ่มนของเส้นใยที่ยังเหลืออยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และเมื่อนำคอมพอสิตเซลลูโลสที่เตรียมโดยการนำกระดาษกรองไปแช่ในสารละลายผสมระหว่าง lithium chloride และ N,N-dimethylacetamide ที่เวลาแตกต่างกันมาทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า เมื่อเวลาในการนำกระดาษกรองมาแช่ในสารละลายผสมเพิ่มสูงขึ้น เซลลูโลสคอมพอสิตมีสมบัติเชิงกลสูงขึ้น เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับเส้นใย (fiber-fiber adhesion) ที่ดีขึ้น แต่มีปริมาณของผลึก (degree of crystallinity) ลดลง เนื่องจากเมื่อแช่เซลลูโลสในสารละลายผสมนานขึ้น เซลลูโลสจะกลายเป็นเมทริกซ์มากขึ้น ซึ่งเมทริกซ์นี้มีการจัดเรียงตัวกันของสายโซ่ที่ไม่เป็นระเบียบทำให้มีความเป็นอสัณฐาน (amorphous) มากขึ้น



รูปที่ 2.11 ภาพตัดขวางที่ถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของ (a) กระดาษกรอง และ (b) คอมพอสิตเซลลูโลสที่ได้จากการแช่กระดาษกรองในสารละลายผสมระหว่าง lithium chloride และ N,N-dimethylacetamide เป็นเวลา 12 ชม.

ต่อมา Soykeabkaew และคณะ [20] ศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการเตรียมคอมพอสิตเซลลูโลส โดยการแช่เส้นใยป่านในสารละลายผสมระหว่าง lithium chloride และ N,N-dimethylacetamide แล้วทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกล พบว่า ระยะเวลาในการแช่เส้นใยป่านนานขึ้นทำให้ผลึกมีปริมาณลดลงและส่งผลให้ขนาดของผลึกลดลงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nishino และคณะ หลังจากนั้นทดสอบสมบัติเชิงกลของเซลลูโลสคอมพอสิตที่เตรียมได้โดยยึดตั้งตามแนวขนานกับการจัดเรียงตัวของเส้นใย พบว่าการแช่เส้นใยป่านในสารละลายผสมระหว่าง lithium chloride และ N,N-dimethylacetamide เป็นเวลา

2 ชั่วโมงนั้นให้คอมพอสิตเซลลูโลสที่มีสมบัติเชิงกลสูงที่สุด เนื่องจากพื้นผิวชั้นนอกของเส้นใยเกิดการละลายมากพอที่จะสร้างเป็นเมทริกซ์เชื่อมเส้นใยไว้ด้วยกัน แต่หากเวลาที่นำเส้นใยไปแช่ในสารละลายผสมนานกว่า 2 ชั่วโมง สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตที่เตรียมได้นั้นมีแนวโน้มลดลง เพราะมีปริมาณของเมทริกซ์ในคอมพอสิตเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีการทดสอบแรงดึงของคอมพอสิตที่เตรียมได้ตามแนวขวางของเส้นใย พบว่า เวลาในการแช่สารละลายนานมากขึ้นทำให้เกิดการเชื่อมกันของเส้นใยมากขึ้น ทำให้ได้คอมพอสิตที่มีความทนแรงดึงตามแนวขวางของเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น

Pullawan และคณะ [21] เตรียมเซลลูโลสคอมพอสิตจากไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (microcrystalline cellulose) และเสริมแรงโดยเซลลูโลสนาโนวิสเกอร์ (cellulose nanowhisker) พบว่าความทนแรงดึงของเซลลูโลสคอมพอสิตสูงขึ้นไปเป็น 111 และ 128 MPa เมื่อมีการเติมเซลลูโลสนาโนวิสเกอร์ในอัตราส่วน 0.5 และ 1.0 %wt ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอมพอสิตเซลลูโลสที่ไม่มีการเติมเซลลูโลสนาโนวิสเกอร์ซึ่งมีความทนแรงดึง 91 MPa

Zhao และคณะ [22] ศึกษาการเตรียมคอมพอสิตที่นำไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสมาละลายในสารละลายระหว่าง lithium chloride และ N,N-dimethylacetamide เพื่อเตรียมเป็นเมทริกซ์ และใช้สารเสริมแรงเป็นเยื่อไม้เนื้ออ่อนที่เตรียมให้มีขนาดในระดับนาโนเมตร พบว่าคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสในระดับนาโนเมตรนั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเกี่ยวพันกันของเส้นใยและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ขึ้น โมดูลัสของคอมพอสิตมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการใส่เส้นใยในระดับนาโนเมตรเพิ่มมากขึ้น แต่ความยืดกลับมีค่าลดลงเมื่อมีการใส่เส้นใยปริมาณมากขึ้นเพราะเกิดการเกาะกลุ่มกันของเส้นใย

Porras และคณะ [23] ศึกษาลามิเนตคอมพอสิตจากพอลิแล็กติกแอซิดซึ่งทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ โดยมีผ้าทอจากเส้นใยไผ่เป็นสารเสริมแรง นำลามิเนตคอมพอสิตที่เตรียมขึ้นมาทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าผ้าทอลายขาดจากเส้นใยไผ่ที่ผ่านการดึง ทั้งตามแนวเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืนของผ้าทอ ผ้าทอจากเส้นใยไผ่ที่ใช้เป็นสารเสริมแรงตามแนวด้ายพุ่งของผ้าจะมีความแข็งแรงกว่าผ้าทอที่เสริมแรงตามแนวเส้นด้ายยืนของผ้า จึงส่งผลทำให้คอมพอสิตที่เสริมแรงจากผ้าทอลายขาดจากเส้นใยไผ่ตามแนวเส้นด้ายพุ่งของผ้ามีค่าความแข็งแรงสูงกว่าพอลิแล็กติกแอซิดบริสุทธิ์คิดเป็นร้อยละ 30 และการ

ยี้ ด ตั ว ข อ ง ค อ ม พ อ ส อ ส ต เ พื ม ชื น ร ้อ ย ล ะ 2.74

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินการทดลอง

- 3.1.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี และสืบค้นรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 วางแผนงานของการวิจัย กำหนดขั้นตอน และวิธีการทดลอง
- 3.1.3 เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และอุปกรณ์การทดลอง
- 3.1.4 ศึกษาการวิเคราะห์เครื่องมือขึ้นรูปและเครื่องมือทดสอบ
- 3.1.5 เตรียมการเตรียมเซลล์โพลีโพรพิลีน
- 3.1.6 ทดสอบสมบัติของเซลล์โพลีโพรพิลีนที่เตรียมได้
- 3.1.7 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

#### 3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (microcrystalline cellulose, Avicel PH-101) ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.2.2 ผ้าฝ้ายทอลายขัดและลายสอง จากร้าน Sumet สำเพ็ง (ประเทศไทย)  
โดยมีโครงสร้างของผ้าฝ้ายทอลายต่าง ๆ ดังนี้  
ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง น้ำหนัก 53 กรัมต่อตารางเมตร จำนวนเส้นด้ายยืน 59 เส้นต่อนิ้ว  
จำนวนเส้นด้ายพุ่ง 49 เส้นต่อนิ้ว ขนาดเบอร์เส้นด้าย เบอร์ 40  
ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น น้ำหนัก 116 กรัมต่อตารางเมตร จำนวนเส้นด้ายยืน 64 เส้นต่อนิ้ว  
จำนวนเส้นด้ายพุ่ง 47 เส้นต่อนิ้ว ขนาดเบอร์เส้นด้าย เบอร์ 20  
ผ้าฝ้ายทอลายสอง น้ำหนัก 303 กรัมต่อตารางเมตร จำนวนเส้นด้ายยืน 107 เส้นต่อนิ้ว จำนวน  
เส้นด้ายพุ่ง 58 เส้นต่อนิ้ว ขนาดเบอร์เส้นด้ายยืน เบอร์ 20 ขนาดเบอร์เส้นด้ายพุ่ง เบอร์ 10
- 3.2.3 ลิเทียมคลอไรด์ (lithium chloride; LiCl) จากบริษัท Lab scan (ประเทศไทย)
- 3.2.4 เอ็น เอ็น ไดมethylอะเซตาไมด์ (N, N-dimethylacetamide; DMAc) จากบริษัท Lab scan (ประเทศไทย)

- 3.2.5 เมทานอล (methanol) จากบริษัท Lab scan (ประเทศไทย)
- 3.2.6 แอซีโตน (acetone) จากบริษัท Lab scan (ประเทศไทย)
- 3.2.7 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide;  $H_2O_2$ ) จากบริษัท Lab scan (ประเทศไทย)
- 3.2.8 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) จากบริษัท Lab scan (ประเทศไทย)
- 3.2.9 โซเดียมซิลิเกต (sodium silicate;  $Na_2Si_3O_7$ ) จากบริษัท Lab scan (ประเทศไทย)

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.3.1 ปีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร
- 3.3.2 กระจกตวง (graduated cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3.3.3 แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar) ขนาด 5 เซนติเมตร
- 3.3.4 กระจกตวง (graduated cylinder) ขนาด 200 มิลลิลิตร
- 3.3.5 หลอดปั่นเหวี่ยง (centrifuge tubes) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 3.3.6 ปีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
- 3.3.7 เครื่องชั่งตวงน้ำหนัก (analytical balance) ของ Mettler Toledo รุ่น AB204-S/FACT
- 3.3.8 งานเพาะเชื้อขนาด 150 มิลลิเมตร
- 3.3.9 เครื่องกวนให้ความร้อน (hot plate stirrer) พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) ของ IKA รุ่น C-MAG HS7
- 3.3.10 wire bar coater ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร
- 3.3.11 เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ของ Kubota รุ่น behchickung-loading model 100-800
- 3.3.12 ขวดเก็บสารเคมี (laboratory bottle) ขนาด 200 มิลลิลิตร
- 3.3.13 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.3.14 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ของ LLOYD รุ่น LR100K
- 3.3.15 เครื่องวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (thermogravimetric analyser, TGA) ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851

3.3.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ของ JEOL รุ่น JSM-6480LV

3.3.17 เครื่องมือวิเคราะห์เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในผลึก (X-Ray Diffraction Analysis, XRD) ของ Bruker AXS รุ่น D8

### 3.4 การเตรียมเซลล์โพลีเมอร์คอมพอสิต

#### 3.4.1 การเตรียมสารละลายเซลล์โพลีเมอร์

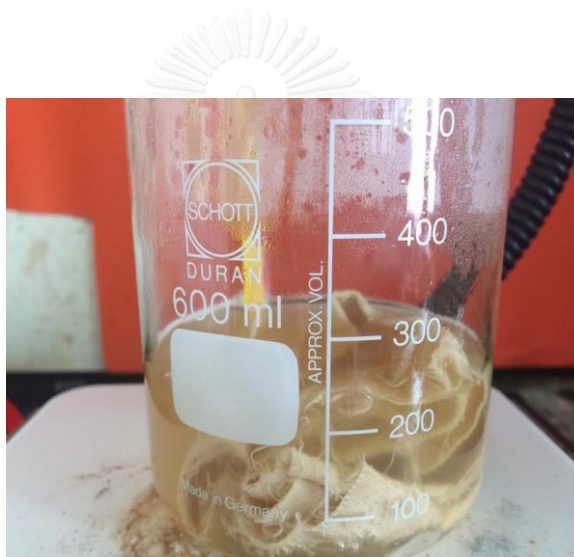
นำไมโครคริสตัลลีนเซลล์โพลีเมอร์ 2 กรัม มาแช่ใน น้ำกลั่น แอซีโตน และ เอ็น เอ็น ไดเมธิลอะเซตาไมด์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง และเตรียมสารละลายโดยใช้ลิเทียมคลอไรด์ ปริมาณ 8 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตรของ เอ็น เอ็น ไดเมธิลอะเซตาไมด์ และทำการปั่นสารจนกระทั่งได้ สารละลายใส หลังจากนั้นนำไมโครคริสตัลลีนเซลล์โพลีเมอร์ที่เตรียมไว้มาแช่ในสารละลายผสมระหว่างลิเทียมคลอไรด์และ เอ็น เอ็น ไดเมธิลอะเซตาไมด์ เป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้ได้สารละลายเซลล์โพลีเมอร์ที่มีลักษณะสารละลายใสดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยสารละลายใสนี้จะทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ในคอมพอสิต



รูปที่ 3.1 เซลล์โพลีเมอร์ระดับจุลภาคแช่ในสารละลายผสมระหว่างลิเทียมคลอไรด์และ เอ็น เอ็น ได เมธิลอะเซตาไมด์เป็นระยะเวลา 7 วัน

### 3.4.2 การเตรียมผ้าฝ้าย

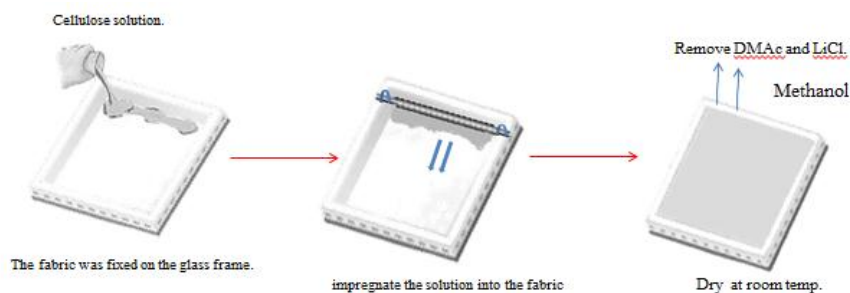
เริ่มจากการนำผ้าฝ้ายดิบมาฟอก เพื่อกำจัดแป้งและสิ่งสกปรกออกจากเส้นใย โดยนำผ้าฝ้ายไปแช่ในสารละลายผสมระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ที่มีความเข้มข้น 5% owf โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 0.4% owf โซเดียมซิลิเกต ( $Na_2Si_3O_7$ ) ที่มีความเข้มข้น 2.5% owf ที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของเส้นใยต่อปริมาตรของสารละลาย คือ 1 กรัม ต่อ 10 มิลลิลิตรดังแสดงในรูปที่ 3.2 แต่ในการทดลองนี้ได้ใช้ผ้าฝ้ายทอผืนใหญ่ที่ผ่านกระบวนการฟอกจากโรงงานพิมพ์ย้อมผ้าไทยจำกัด(มหาชน) เพื่อให้แน่ใจว่าได้กำจัดแป้งและสิ่งสกปรกที่อยู่บนผ้าออกหมดทั่วทั้งผืน และผ่านการตรวจสอบการดูดซึมน้ำจากโรงงานเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 3.2 การเตรียมผ้าฝ้าย

### 3.4.3 การเตรียมเซลลูโลสคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้าย 1 ชั้น (single-layer cellulose composite)

ซึ่งผ้าฝ้ายที่ขอบผ้าด้านบนและด้านล่างเพื่อยึดผ้าฝ้ายกับเฟรมแก้ว โดยผ้าฝ้ายที่ถูกซึ่งไว้ นั้นต้องไม่มีรอยย่น แล้วเทสารละลายเซลลูโลสที่เตรียมได้ที่ขอบด้านบนของผ้าที่ซึ่งไว้ โดยใช้ลูกกลิ้ง wire bar coater กลิ้งสารละลายเซลลูโลสจากขอบบนของผ้าลงมาที่ขอบล่าง และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนสารละลายเซลลูโลสเกิดการเปลี่ยนสภาพกลายเป็นฟิล์มแข็ง จึงนำคอมพอสิตที่เตรียมได้ไปแช่ในเมทานอลเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารละลายที่ตกค้าง สุดท้ายจะได้เซลลูโลสคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอ 1 ชั้นดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การเตรียมคอมพอสิต 1 ชั้น (one-layer cellulose composite)

#### 3.4.4 การเตรียมเซลลูโลสคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้าย 2 ชั้น (two-layer cellulose composite)

กระบวนการเตรียมคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้าย 2 ชั้นนั้นมีความใกล้เคียงกับการเตรียมคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้าย 2 ชั้น โดยการนำผ้าทอ 2 ชั้นมาวางในสารละลายเซลลูโลสโดยมีมุมของการเรียงตัวของเส้นด้ายทำมุมขนานเครื่องระหว่างผืนผ้า (machine direction) ที่แตกต่างกัน ดังนี้  $0^\circ$   $45^\circ$  และ  $90^\circ$  ตามลำดับ

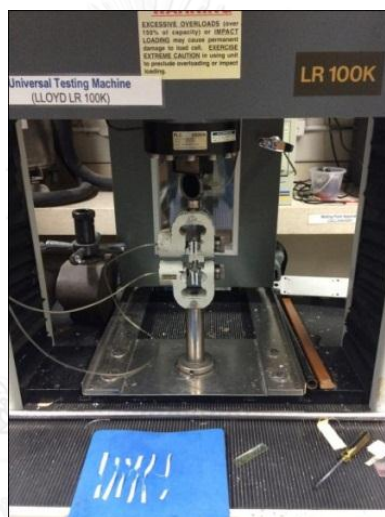
- มุม  $0^\circ$  จะซึ่งวางผ้าชั้นแรกกับเฟรมกระจกยึดมุมด้านบนและล่างไว้ และชั้นที่ 2 จะวางประกบกับผ้าชั้นแรกในแนวเดียวกันพอดี
- มุม  $45^\circ$  จะซึ่งวางผ้าชั้นแรกกับเฟรมกระจกยึดมุมด้านบนและล่างไว้ จากนั้นนำผ้าชั้นที่ 2 ประกบกันในแนวทำมุม  $45^\circ$  กับผ้าชั้นแรก
- มุม  $90^\circ$  จะซึ่งวางผ้าชั้นแรกกับเฟรมกระจกยึดมุมด้านบนและล่างไว้ จากนั้นนำผ้าชั้นที่ 2 ประกบกันในแนวทำมุม  $90^\circ$  กับผ้าชั้นแรก

หลังจากนั้นกลิ้งสารละลายเซลลูโลสจากขอบบนของผ้าลงมาที่ขอบล่าง และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากสารละลายเซลลูโลสเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพกลายเป็นของแข็ง จึงนำคอมพอสิตที่เตรียมได้ไปแช่ในเมทานอลเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารละลายที่ตกค้าง สุดท้ายจะได้เซลลูโลสคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอ 2 ชั้น ได้เป็นคอมพอสิตแบบลามิเนต

### 3.5 การทดสอบสมบัติของเซลลูโลสคอมพอสิตที่เตรียมได้

#### 3.5.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติด้านแรงดึง ได้แก่ ความทนแรงดึง (tensile strength) โมดูลัสของยัง (Young's modulus) และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (elongation at break) โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D882 Standard Test Method for Tensile Properties of thin film ด้วยเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (universal tensile testing machine, UTM) ของ LLOYD รุ่น LR100K จากเมือง Fareham ประเทศอังกฤษ ใช้ load cell 100 นิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยใช้ อัตราเร็วในการทดสอบขึ้นงานที่ 5 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดของตัวอย่าง 5X50 มิลลิเมตร โดยทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้นงานเพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละชั้นทดสอบ



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ของ LLOYD รุ่น LR100K

#### 3.5.2 ปริมาณผลึกของเซลลูโลสคอมพอสิต

วิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างผลึกของคอมพอสิตที่เตรียมได้ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Analysis, XRD) ของ Bruker AXS รุ่น D8 จากเมือง Karlsruhe ประเทศเยอรมันนี ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยศึกษาช่วงองศาของคอมพอสิตที่เตรียมได้ในช่วงระหว่าง 10 – 50 องศา





รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์เลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ของ Bruker AXS รุ่น D8

### 3.5.3 สัณฐานวิทยา

การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ทั้งก่อนและหลังการแตกหัก เทียบกับสภาพของฟิล์มเซลลูโลสและผ้าฝ้ายเพียงอย่างเดียวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของ JEOL รุ่น JSM-6480LV จากเมือง Tokyo ประเทศญี่ปุ่น ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยใช้กำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของ JEOL รุ่น JSM-6480LV

### 3.5.4 สมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิการสลายตัว (thermal degradation temperature, Td) ของคอมพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ ทดสอบโดยเครื่องวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (thermogravimetric analyzer) ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851 จากเมือง Greifensee ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ โดยให้ความร้อนตั้งแต่ 50 – 700 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851

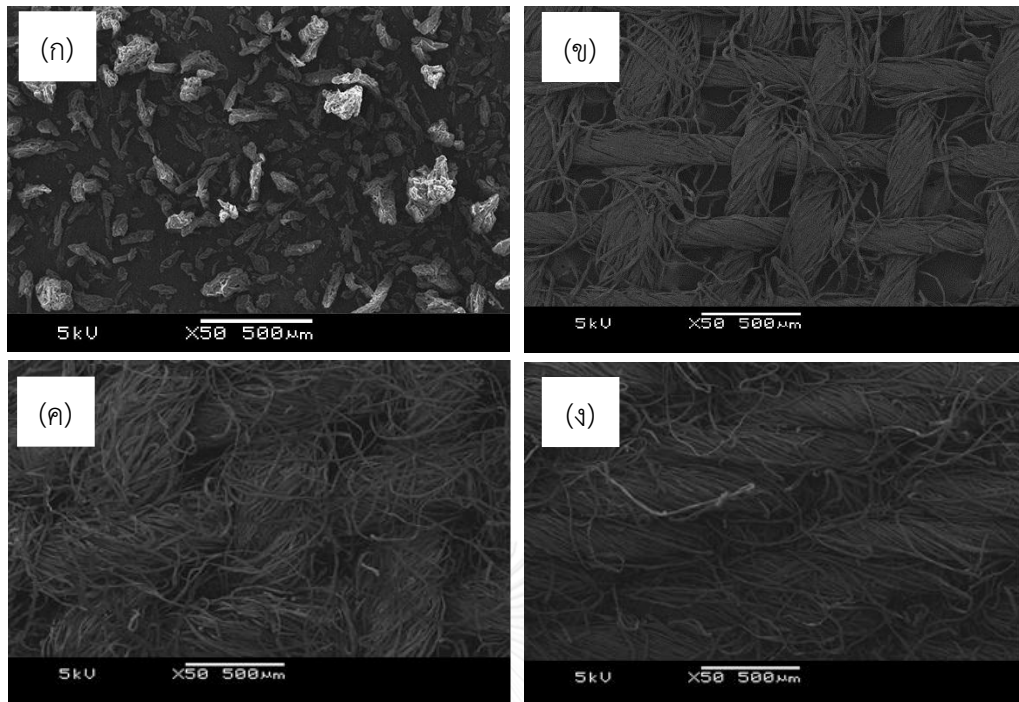
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 สันฐานวิทยา

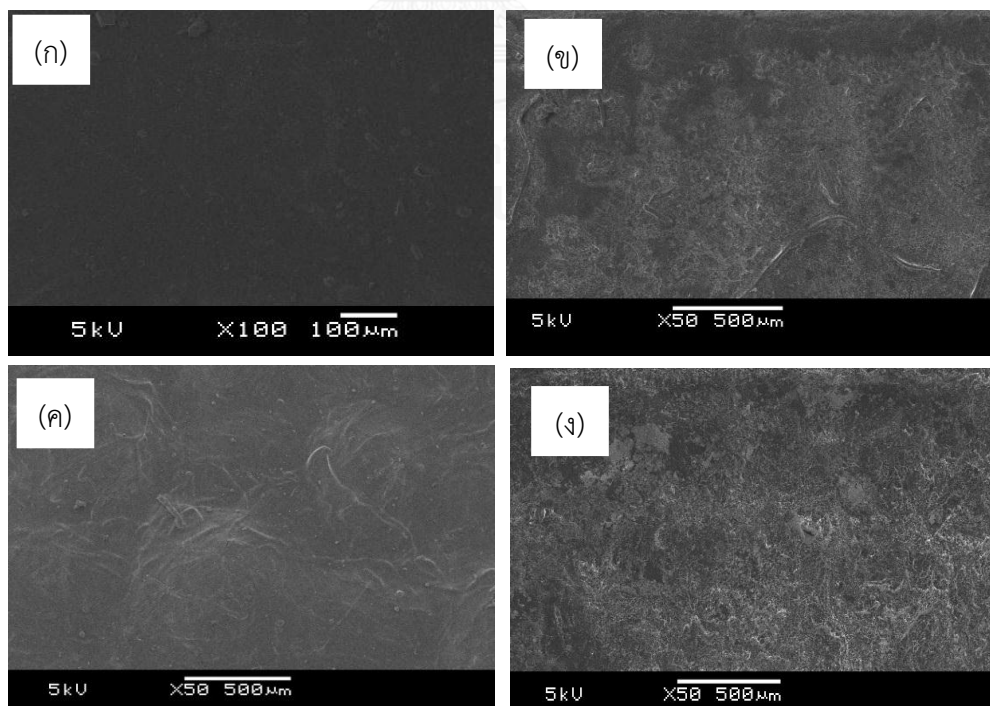
รูปที่ 4.1 แสดงภาพสันฐานวิทยาที่ถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าพื้นผิวของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสก่อนที่จะถูกละลายด้วยสารละลายไดเมทิลอะเซตาไมด์และลิเทียมคลอไรด์มองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นลักษณะผงละเอียดสีขาว แต่เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะมองเห็นเป็นลักษณะของไฟบริล ส่วนลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายทอแสดงในรูปที่ 4.1 (ข) (ค) และ (ง) พบว่าผ้าฝ้ายทอลายขัดห่ามมีช่องว่างระหว่างจุดขัดสานกันระหว่างเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืนที่มีระยะห่างที่มากกว่าในผ้าฝ้ายทอลายขัดทอแน่น ประกอบกับการหลุดของเส้นใยฝ้ายออกมาจากเส้นด้ายเนื่องจากในกระบวนการปั่นเส้นด้ายนั้นต้องนำเส้นใยฝ้ายที่เป็นเส้นใยสั้นมาปั่นและตีเกลียวเพื่อทำเป็นเส้นด้ายก่อนกระบวนการทอผ้า ด้วยเหตุนี้จึงเกิดการหลุดของเส้นใยได้ นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างลายทอลายขัดของผ้าฝ้ายนั้นมีการขัดสานกันของเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืนขึ้นลงสลับกันไปมา ส่วนโครงสร้างลายทอของผ้าฝ้ายที่ทอลายสองมีลักษณะเป็นขั้นบันได

จากการตรวจสอบลักษณะทางสันฐานวิทยาของพื้นผิวของฟิล์มที่เตรียมโดยการแช่ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสในสารละลายของลิเทียมคลอไรด์และเอ็น เอ็น ไดมेटิลอะเซตาไมด์เป็นเวลา 7 วัน (รูปที่ 4. 2 (ก)) พบว่าฟิล์มเซลลูโลสจะมีพื้นผิวที่เรียบ ส่วนพื้นผิวของผ้าทอลายขัดทอห่าม ผ้าทอลายขัดทอแน่นและ ผ้าทอลายสองที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการแคสสารละลายเซลลูโลสลงบนผืนผ้า แสดงดังรูปที่ 4.2 (ข) (ค) และ (ง) ตามลำดับ นั้นไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างลายทอและเส้นใยของผ้าทอได้ แสดงว่ากระบวนการเตรียมวัสดุในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในเคลือบสารละลายเซลลูโลสบนผืนผ้าได้ดี

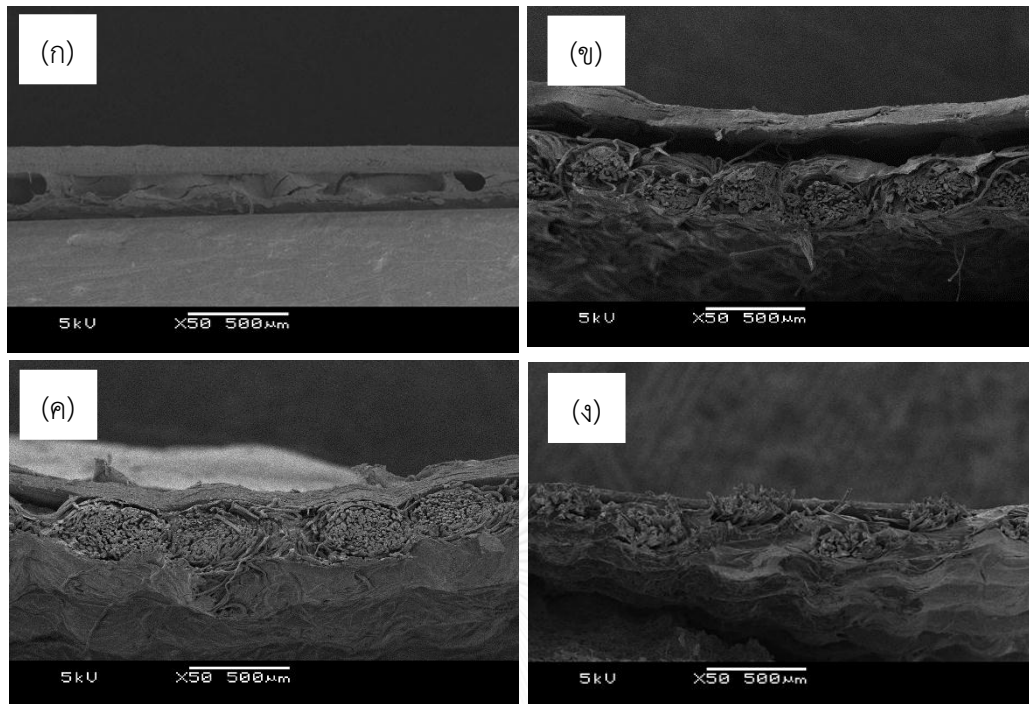


รูปที่ 4. 1 ภาพสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของ (ก) ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (ข) ผ้าทอลายขัดทอ  
ห้าง

(ค) ผ้าทอลายขัดทอแน่น และ (ง) ผ้าทอลายสอง



รูปที่ 4. 2 สัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของ (ก) फिल्मที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส และคอม  
พอสิตที่เสริมแรงด้วย (ข) ผ้าทอลายขัดทอห้าง (ค) ผ้าทอลายขัดทอแน่น และ (ง) ผ้าทอลายสอง



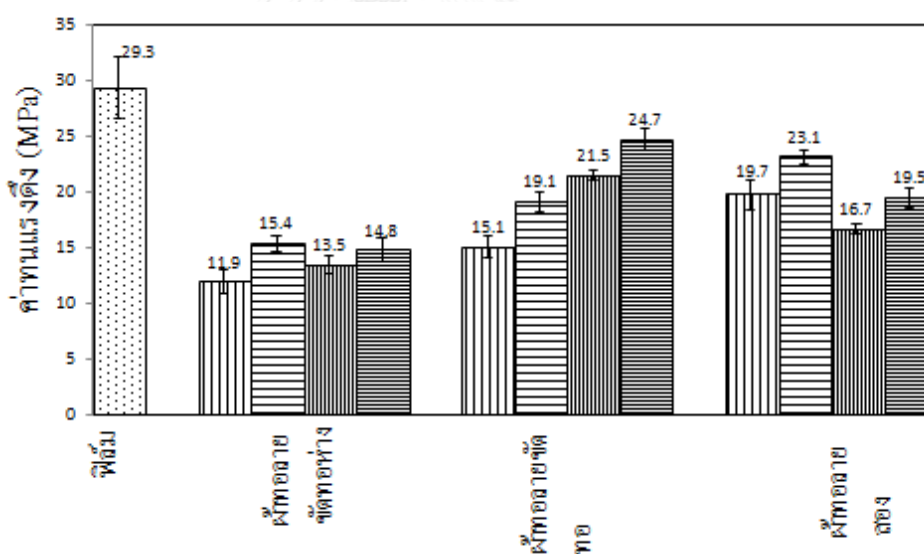
รูปที่ 4. 3 สัณฐานวิทยาตามขวางของฟิล์มที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส และคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วย (ข) ผ้าทอละลายขัดทอห่าง (ค) ผ้าทอละลายขัดทอแน่น และ (ง) ผ้าทอละลายสอง

รูปที่ 4.3 แสดงภาพสัณฐานวิทยาตามขวางของฟิล์มที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส และคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอละลายแบบต่างๆ พบว่าเห็นผ้าฝ้ายได้ถูกแทรกเข้าไปในชั้นเมทริกซ์ของฟิล์มเซลลูโลส แต่ยังมีช่องว่างระหว่างผ้าทอและชั้นฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ซึ่งบ่งชี้ถึงความไม่เข้ากันระหว่างเมทริกซ์และสารเสริมแรง มีความเป็นไปได้เนื่องมาจากสารละลายที่เตรียมจากเซลลูโลสนั้นไม่สามารถเคลือบเส้นด้ายที่อยู่ภายในผ้าทอได้ ทำให้มีแค่การเคลือบเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวด้านนอกของผ้าทอเท่านั้น ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตที่เตรียมได้

## 4.2 สมบัติเชิงกล

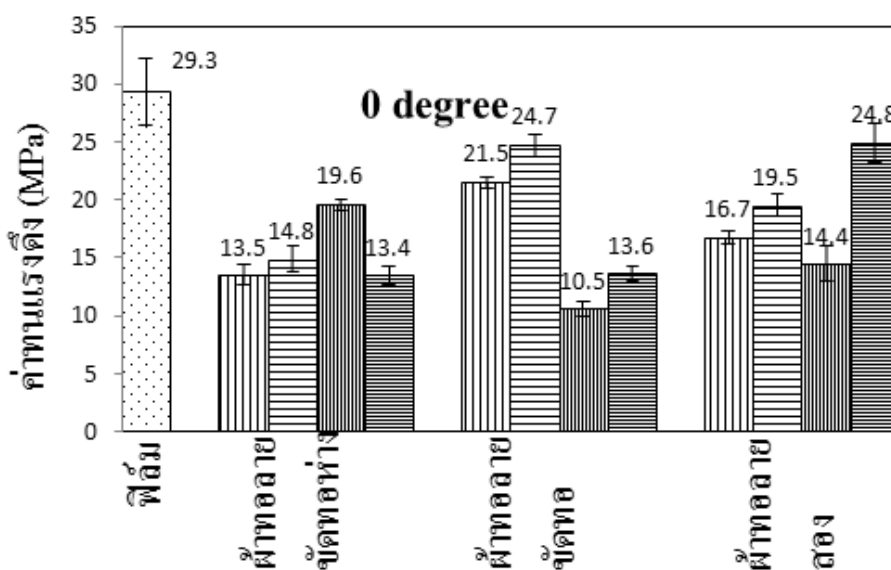
### 4.2.1 ความทนแรงดึง (tensile strength)

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่่าง ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายสอง และคอมพอลิิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอแบบต่างๆ ดังรูปที่ 4.4 โดยกราฟแท่งที่เป็นจุดคือฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส กราฟแท่งลายตรงคือผ้าตามแนวเส้นด้ายยืน และกราฟแท่งตามขวางผ้าตามแนวเส้นด้ายพุ่ง ส่วนกราฟแท่งอีกสองแท่งคือคอมพอลิิตตามแนวด้ายยืนและด้ายพุ่งตามลำดับ โดยจะศึกษากลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่มนั้นคือ ผ้าทอหลายชนิดแบบทอห่่าง ผ้าทอหลายชนิดแบบทอแน่นและผ้าทอหลายสอง พบว่า ฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสมีค่าความทนแรงดึงสูงที่สุด ส่วนคอมพอลิิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่่างและคอมพอลิิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอหลายสองไม่ได้ช่วยทำให้ค่าความทนแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น แต่คอมพอลิิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่นกลับช่วยปรับปรุงสมบัติความทนแรงดึงให้สูงขึ้น โดยมีค่าความทนแรงดึง 21.5 MPa ตามแนวด้ายยืนผ้า 24.7 MPa ตามแนวด้ายพุ่งของผ้า ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น 15.1 MPa ตามแนวด้ายยืนผ้า 19.1 MPa ตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

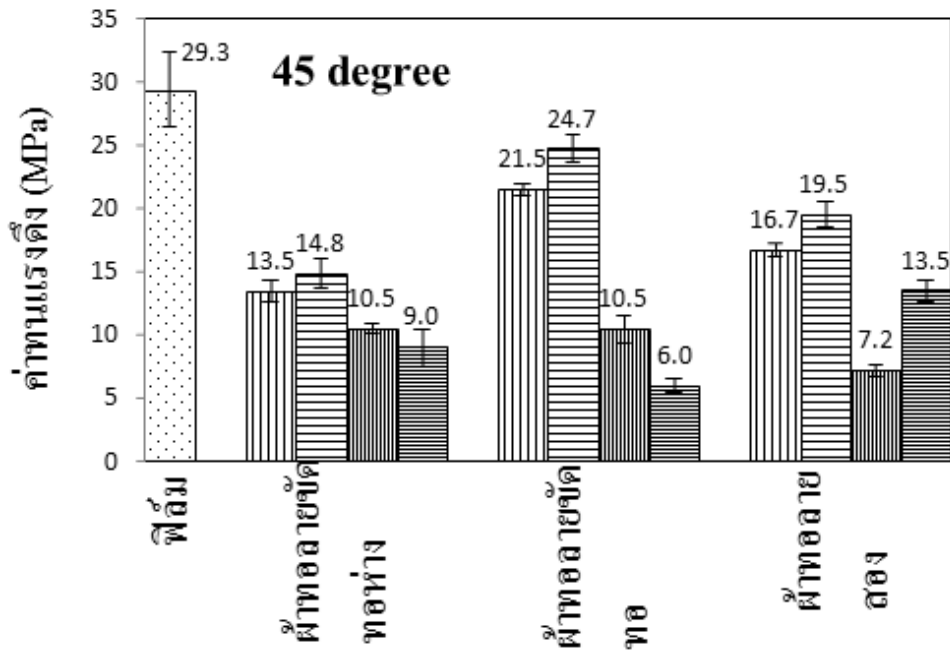


รูปที่ 4.4 ความทนแรงดึงของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่่าง ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายสองและคอมพอลิิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียว ด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่่าง, ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า

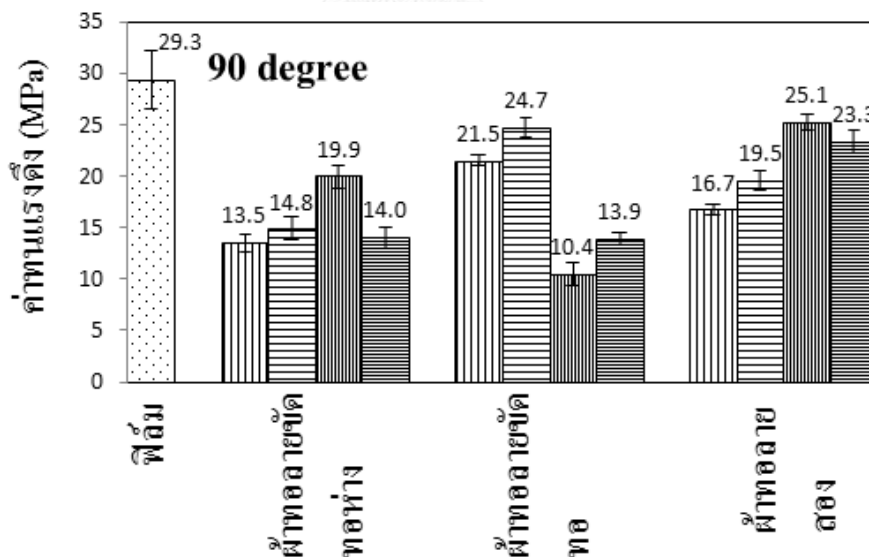
ความทนแรงดึงของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่นและผ้าฝ้ายทอลายสอง กับคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอแบบต่างๆ ที่วางประกบกันทำมุม 0 45 และ 90 องศาตามแนวเส้นด้ายยืนและพุ่ง ผ้าทั้งสองผืน แสดงดังรูปที่ 4.5 4.6 และ 4.7 โดยกราฟแท่งที่เป็นจุดคือฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส กราฟแท่งลายตรงคือผ้าตามแนวเส้นด้ายยืน และกราฟแท่งตามขวางผ้าตามแนวเส้นด้ายพุ่ง ของคอมพอสิตแบบชั้นเดียว ส่วนกราฟแท่งอีกสองแท่งคือคอมพอสิตแบบสองชั้นตามแนวด้ายยืนและด้ายพุ่งตามลำดับ โดยจะศึกษากลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่มนั้นคือ ผ้าทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าทอลายขัดแบบทอแน่นและผ้าทอลายสอง พบว่าฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส มีค่าสูงที่สุด คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอต่างๆแบบชั้นเดียว คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอแบบสองชั้น ผ้าทั้งสองผืนวางประกบกันทำมุม 0 องศา 45 องศา และทำมุม 90 องศา ไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติความทนแรงดึงได้ เนื่องจากการเข้ากันได้ที่ไม่ดีของเมทริกซ์และสารเสริมแรง จึงส่งผลทำให้ค่าความทนแรงดึงมีค่าต่ำลง



รูปที่ 4.5 ความทนแรงดึงของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง, ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง และคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 0 องศา



รูปที่ 4.6 ความทนแรงดึงของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง, ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง และคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 45 องศา

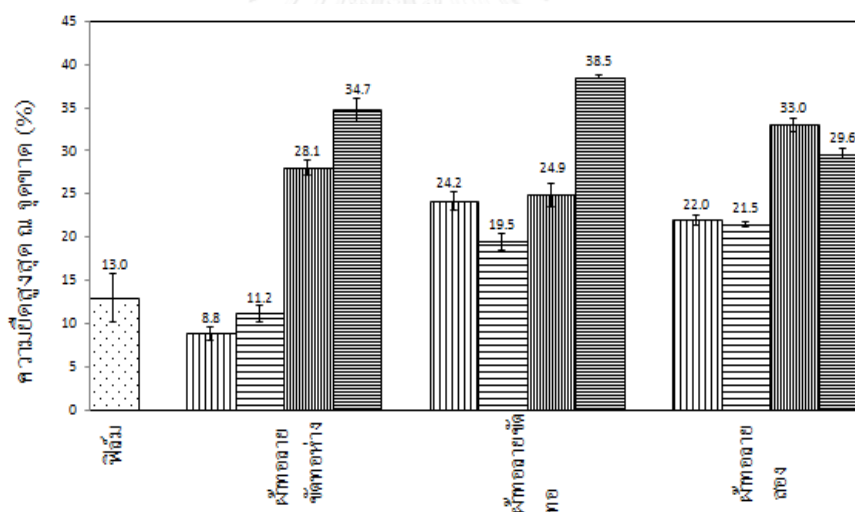


รูปที่ 4.7 ความทนแรงดึงของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง, ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง และคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 90 องศา

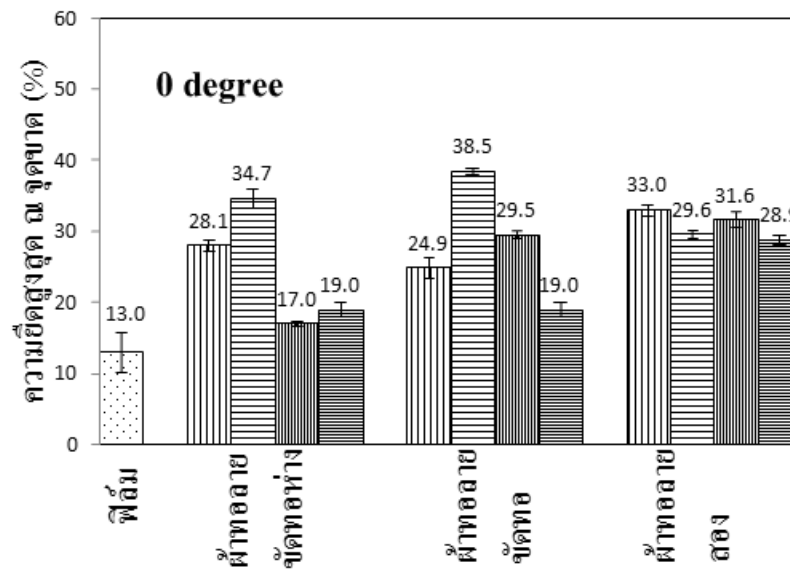


#### 4.2.2 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (elongation at break)

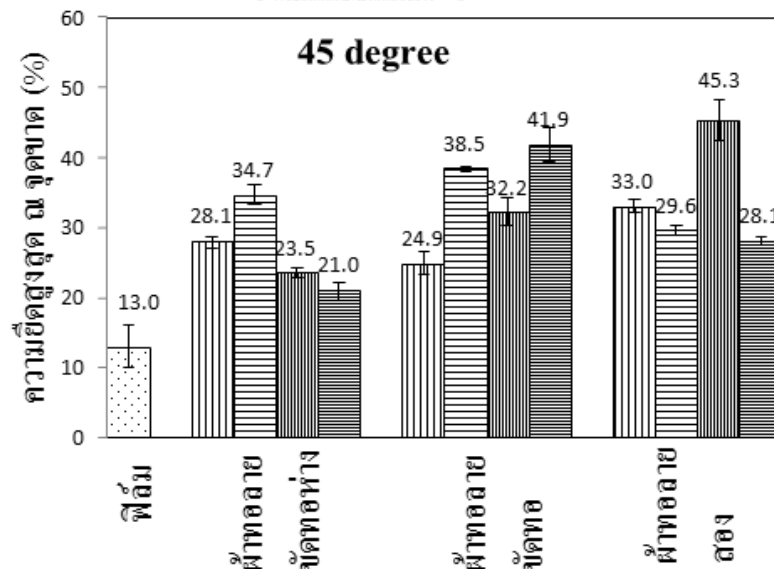
คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น และ ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอตามแนวด้ายพุ่งและด้ายยืนของผ้ามีค่าความยืด ณ จุดขาดสูงกว่าของผ้าฝ้ายทอและฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากกับสารละลายจาก ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่ไปเคลือบบริเวณพื้นผิวของผ้าฝ้ายทอช่วยทำให้คอมพอสิตเกิดการยืดออก ที่ดีขึ้น โดยที่ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง มีค่าความยืดออก ณ จุดขาด 28.06 % ตามเส้นด้ายยืนกับ 34.7 % ตามเส้นด้ายพุ่งของผ้า มีค่าสูงกว่าของผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่างที่มี ค่าความยืดออก ณ จุดขาด 8.8 % ตามเส้นด้ายยืนกับ 11.2 % ตามเส้นด้ายพุ่งของผ้า นอกจากนี้ พบว่าคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอแบบสองชั้น ด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอ หลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายชนิด ตามแนวด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า โดยที่ผ้าทั้งสอง ผืนวางประกบทำมุม 0 45 และ 90 องศาตามลำดับ (รูปที่ 4.9 4.10 และ 4.11) มีค่าความยืด ณ จุดขาดดีกว่าผ้าฝ้ายทอปกติ แต่เมื่อเทียบกับคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอแบบชั้นเดียวก็มีค่า ลดลง เนื่องจากความเข้ากันได้ที่ไม่ดีของเมทริกซ์และสารเสริมแรง



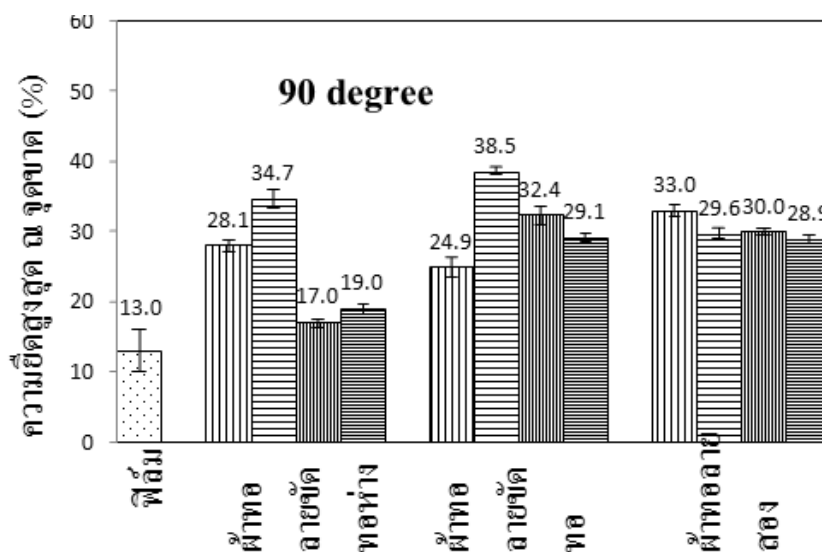
รูปที่ 4.8 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายชนิดและคอมพอสิตแบบชั้นเดียว ที่เสริมแรงด้วยผ้า ฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายชนิด ตามแนวเส้นด้าย ยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า



รูปที่ 4.9 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสองและคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 0 องศา



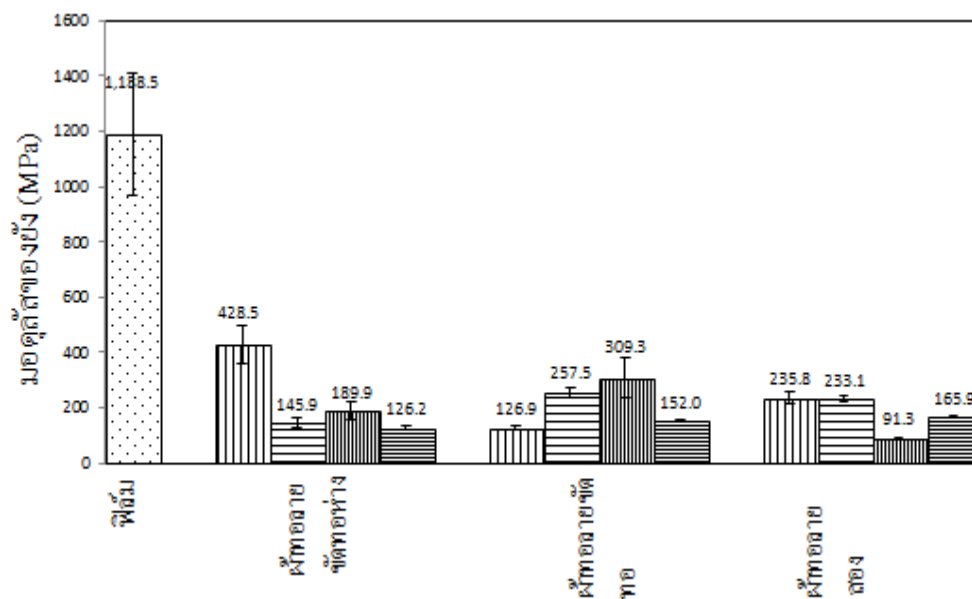
รูปที่ 4.10 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสองและคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 45 องศา



รูปที่ 4.11 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วยผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสองและคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 90 องศา

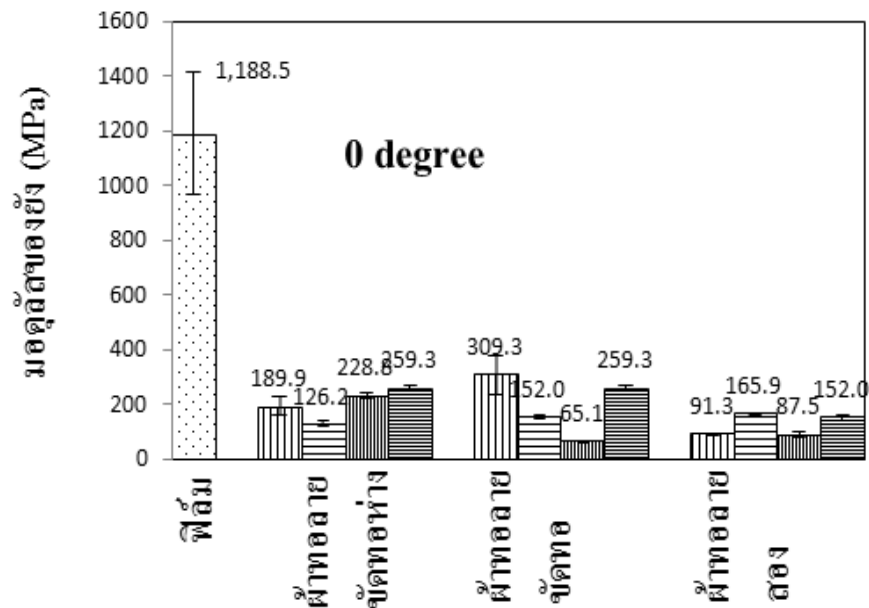
#### 4.2.3 โมดูลัสของยัง (Young's modulus)

จากการศึกษาค่าโมดูลัสของค่าโมดูลัสของฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลาย และคอมพอสิตแบบชั้นเดียว ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายพุ่งและด้ายยืนของผ้า ตามรูปที่ 4.12 พบว่าค่าโมดูลัสของฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลาย มีค่าสูงกว่าของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอแบบชั้นเดียวทั้งตามแนวเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืน ดังนั้นแสดงว่าฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส และผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขีดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายมีความแข็งที่มากกว่าคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้า เนื่องจากค่าโมดูลัสของยังเป็นตัวบอกความสามารถคงรูปและบอกระดับความแข็งแรงแรงของวัสดุ วัสดุนั้นมีการเปลี่ยนแปลงความยาวนานยในขณะที่มีความเค้นมาก ทั้งสารละลายลิเทียมคลอไรด์ และเอ็น เอ็น ไดเมธิลอะเซทาไมด์เข้าไปทำลายโครงสร้างของผ้าและทำลายผลึกไปบางส่วน ทำให้ค่าโมดูลัสมีค่าต่ำลง

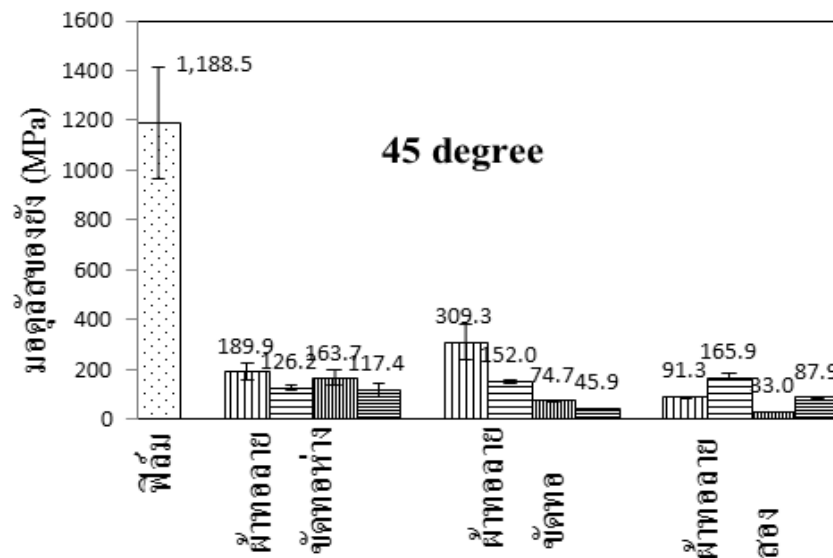


รูปที่ 4.12 มอดุลัสของยัง ของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอละลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอละลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอละลายและคอมพอสิตแบบชั้นเดียว ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอละลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอละลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอละลายสอง ตาม แนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า

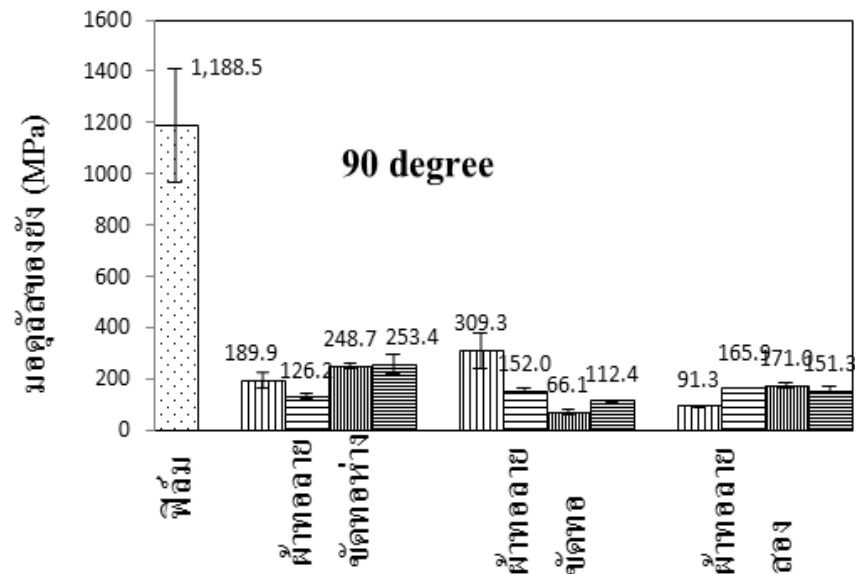
จากการศึกษาความอดุลัสยังของค่ามอดุลัสยังของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอละลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอละลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอละลาย และคอมพอสิตแบบสองชั้นที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอละลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอละลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอละลายสอง ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุมต่างกันที่ 0, 45 และ 90 องศา ตามแนวเส้นด้ายพุ่งและด้ายยืนของผ้าเปรียบเทียบกับฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส กับคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอชั้นเดียว ดังรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 สามารถบอกได้ว่า ค่ามอดุลัสยังของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสสูงกว่าของผ้าทอและคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอแบบสองชั้นทุกตัว ที่คอมพอสิตมีค่ามอดุลัสของยังที่น้อยกว่าของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส เนื่องมาจากสารละลายลิเทียมคลอไรด์ และเอ็น เอ็น ไดเมธิลอะเซตาไมด์เข้าไปทำลายโครงสร้างของผ้าและทำลายผลึกไปบางส่วน ทำให้ค่ามอดุลัสมีค่าต่ำลง



รูปที่ 4.13 มอดุลัสของยังของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอถายชุดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอถายชุดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอถายและคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอถายชุดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอถายชุดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอถายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 0 องศา



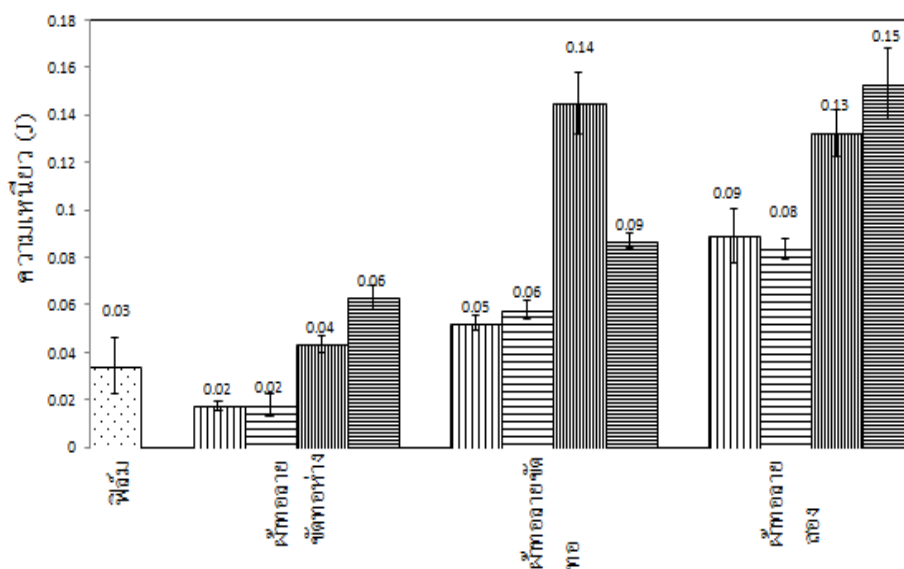
รูปที่ 4.14 มอดุลัสของยังของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วยผ้าฝ้ายทอถายชุดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอถายชุดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอถายสองและคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอถายชุดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอถายชุดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอถายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 45 องศา



รูปที่ 4. 15 มอดุลัสของยังของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วย ผ้าฝ้ายทอวางขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอวางขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอวางสองและคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอวางขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอวางขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอวางสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 90 องศา

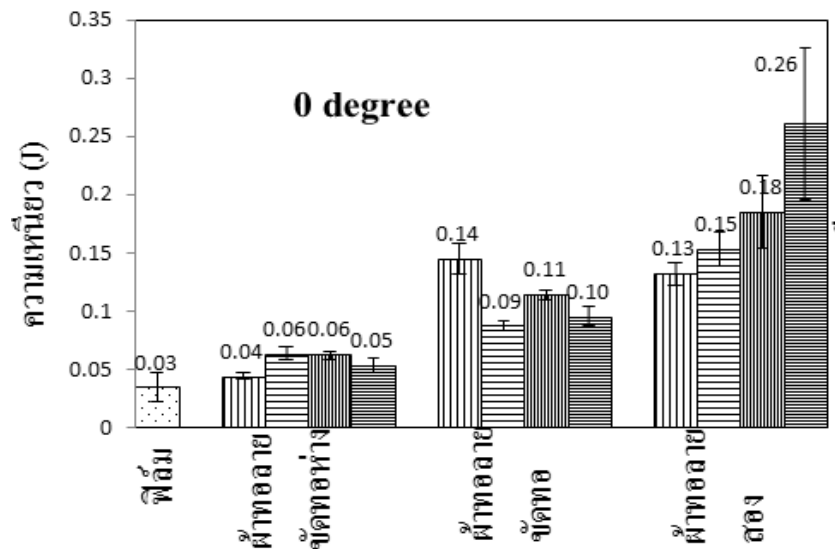
#### 4.2.4 ความเหนียว (toughness)

จากการศึกษาความเหนียวของค่าความเหนียวของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอวางขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอวางขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอวางสองและคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียว ด้วยผ้าฝ้ายทอวางขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอวางขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอวางสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ดังแสดงดังรูปที่ 4.16 พบว่า คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอมีความเหนียวที่สูงกว่าทั้งของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส และของผ้าฝ้ายทอวางต่างๆ เนื่องจากผ้าฝ้ายทอเกิดการยึดตัวที่ตึกกว่าของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส เพราะคอมพอสิตมีเส้นใยช่วยดูดซับแรงดึงจึงทำให้เหนียวกว่าฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ซึ่งผลสอดคล้องกับผลการยึดตัว ณ จุดขาด ฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสแข็งและเปราะกว่าคอมพอสิต

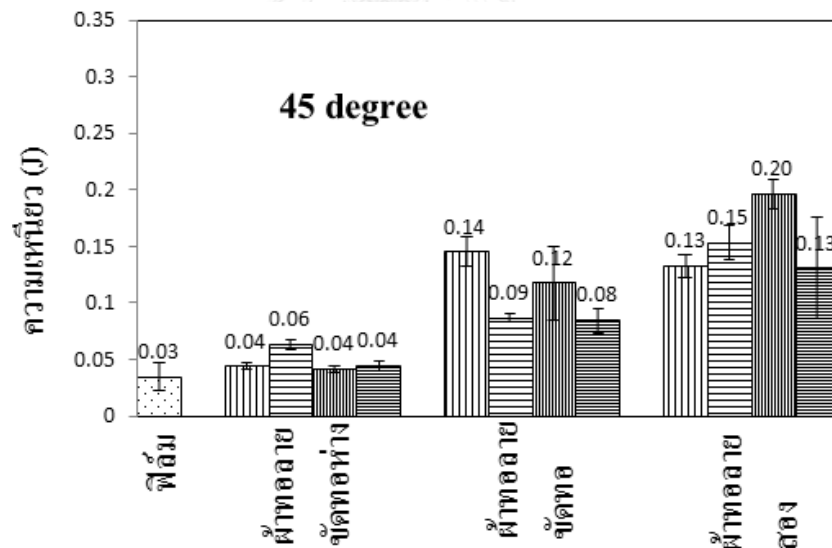


รูปที่ 4.16 ค่าความเหนียวของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสองและคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียว ด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า

ศึกษาถึงความเหนียวของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอแบบชั้นเดียว คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอแบบสองชั้น และฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสพบว่า ฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสมีค่าความเหนียวต่ำกว่าของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสองทั้งตามแนวด้ายยืนและด้ายพุ่งของผ้า โดยผลปรากฏว่าค่าความเหนียวของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอแบบสองชั้นมีค่าสูงกว่าของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส เหมือนกับคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอแบบชั้นเดียว เนื่องจากเส้นใยในผ้าฝ้ายเกิดการจัดเรียงตัวในแนวแรงได้ดีกว่าฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสทำให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้นกว่าฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส และพบว่าคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอสองแบบสองชั้นจะมีค่าความเหนียวที่มากที่สุด ผลเนื่องมาจากน้ำหนักของผ้าต่อตารางเมตรและจำนวนเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืนที่มากกว่าผ้าชนิดอื่นๆ

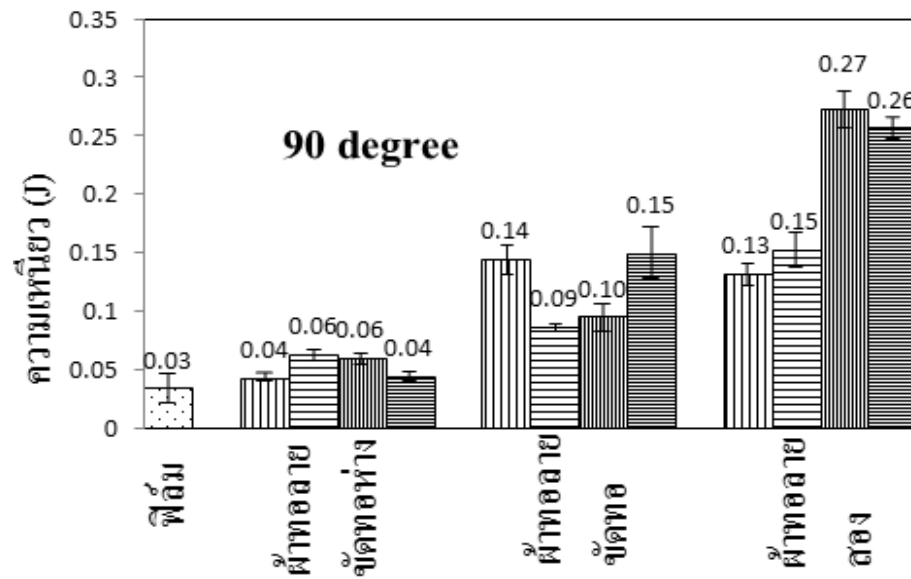


รูปที่ 4.17 ค่าความเหนียวของฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสองและคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 0 องศา



รูปที่ 4.18 ค่าความเหนียวค่าความเหนียวของฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง และคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอลายสอง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 45 องศา

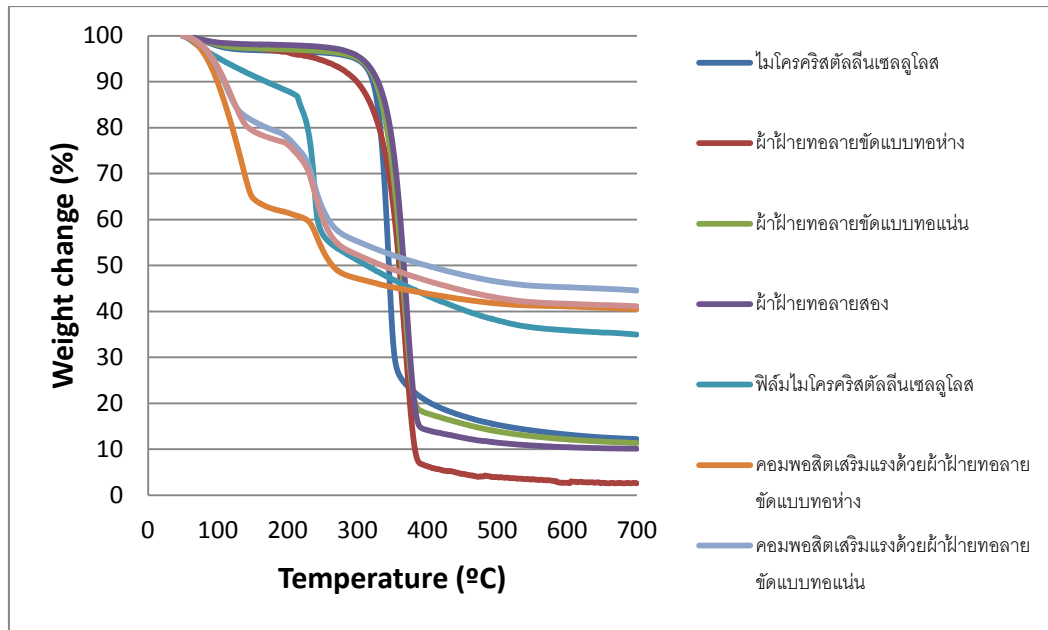




รูปที่ 4.19 ค่าความเหนียวค่าความเหนียวของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส คอมพอสิตที่เสริมแรงแบบชั้นเดียวด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง และคอมพอสิตที่เสริมแรงแบบสองชั้นด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งของผ้า ผ้าทั้งสองผืนวางประกบทำมุม 90 องศา

#### 4.3 สมบัติทางความร้อน

ตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ใยขัดแบบทอแน่น ผ้าฝ้ายทอหลายชนิด ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่ยังไม่ได้ผ่านการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม รวมถึงฟิล์มที่เตรียมได้จากไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส และคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอแบบชั้นเดียวพบว่า เมื่อไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสบริสุทธิ์ขึ้นรูปเป็นฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ทำให้อุณหภูมิเริ่มการสลายตัว (onset) ลดลงจากเดิม เนื่องจากโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสได้ถูกทำลายไป ดังผลจากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ส่วนคอมพอสิตที่มีสารเสริมแรงเป็นผ้าฝ้ายทอทำให้มีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวที่ลดลงจากผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ใยขัดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายชนิด เพราะฟิล์มเซลลูโลสที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ต่ำ และยังมีอุณหภูมิสุดท้ายที่สารสลายตัว (endset) ลดลงจากเดิม เนื่องจากผลึกส่วนที่มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบของเซลลูโลสถูกทำลายไปแล้วเหลืออสัณฐานทำให้ง่ายต่อการสลายตัว



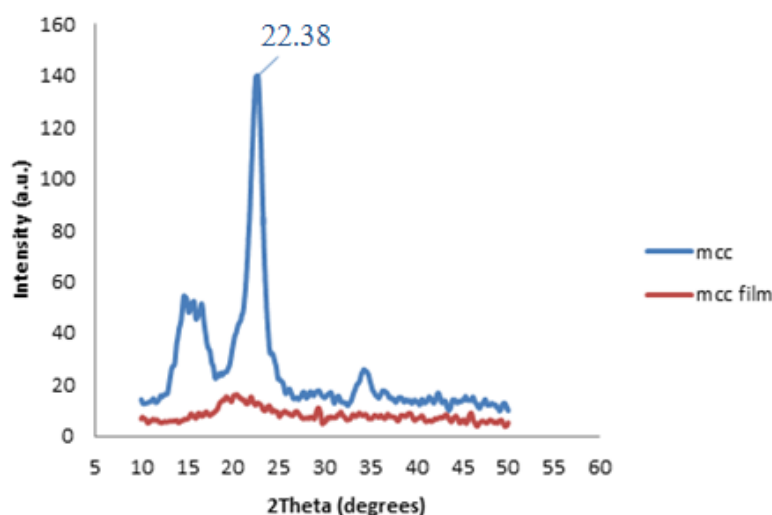
รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสและคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอสอง

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสและคอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายสอง

ตัวอย่าง	อุณหภูมิเริ่มการสลายตัว (°C)	อุณหภูมิสุดท้ายการ สลายตัว (°C)
ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส	328.33	354.10
ฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส	228.21	251.30
ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง	340.16	383.52
ผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอแน่น	340.15	380.82
ผ้าฝ้ายทอหลายสอง	345.38	382.96
คอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลาย ชนิดแบบทอห่าง (ขั้นแรก)	94.63	149.91
คอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลาย ชนิดแบบทอห่าง (ขั้นที่สอง)	229.57	266.85
คอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลาย ชนิดแบบทอแน่น (ขั้นแรก)	86.76	127.21
คอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลาย ชนิดแบบทอแน่น (ขั้นที่สอง)	221.45	278.44
คอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลาย สอง (ขั้นแรก)	82.63	137.44
คอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลาย สอง (ขั้นที่สอง)	220.6	277.95

#### 4.4 โครงสร้างผลึก

โครงสร้างผลึกของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสบริสุทธิ์และฟิล์มที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD) แสดงดังรูปที่ 4.17 ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสบริสุทธิ์แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส I ซึ่งเป็นเซลลูโลสที่มาจากธรรมชาติ แต่เมื่อนำไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสบริสุทธิ์มาละลายด้วยสารละลายลิเทียมคลอไรด์ และเอ็น,เอ็น ไดเมธิลอะเซตาไมด์ และทิ้งไว้ 7 วันเพื่อทำเป็นฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสพบว่ามีการสร้างที่แตกต่าง ซึ่งสอดคล้องกับผลจากงานวิจัยของ [24] พบว่าสารละลายลิเทียมคลอไรด์ และเอ็น,เอ็น ไดเมธิลอะเซตาไมด์ได้ทำลายผลึกของเซลลูโลสไปทำให้จึงมองไม่เห็นผลึกอีกเห็นเพียงแบบอสัณฐาน



รูปที่ 4. 21 กราฟ XRD ของฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสบริสุทธิ์ (Avicel PH-101) และฟิล์มที่เตรียมจากไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะศึกษาวิธีการเตรียมคอมพอสิตโดยใช้ผ้าฝ้ายทอเป็นสารเสริมแรงโดยใช้สารละลายจากไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสไปแคสลงบนพื้นผิวผ้าฝ้ายทอหลายชนิด ท่าง ผ้าทอหลายชนิดทอแน่นและผ้าทอหลายสอง และทำการเตรียมคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดท่าง ผ้าทอหลายชนิดทอแน่นและผ้าทอหลายสองแบบชั้น โดยศึกษาสมบัติเชิงกลและเสถียรภาพทางความร้อนของคอมพอสิตที่เตรียมได้เทียบกับผ้าฝ้ายทอ โดยพบว่าคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดท่าง ผ้าทอหลายชนิดทอแน่นและผ้าทอหลายสอง

ศึกษาสมบัติเชิงกล ของคอมพอสิตที่เตรียมได้เทียบกับฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส โดยพบว่าคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดท่าง ผ้าทอหลายชนิดทอแน่นและผ้าทอหลายสองแบบชั้นเดียว พบว่า ฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสมีค่าความทนแรงดึงที่สูงที่สุด ส่วนคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดทอแน่นมีค่าความทนแรงดึงที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับของผ้าทอ ส่วนคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอหลายต่าง ๆ แบบสองชั้นนั้นไม่ปรับปรุงค่าความทนแรงดึงได้เนื่องจากการเข้ากันได้ไม่ดีของเมทริกซ์และสารเสริมแรง

การยืดตัวออก ณ จุดขาดของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดทอแน่นและผ้าทอหลายสอง ให้ค่าที่สูงกว่าของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดท่างและฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส

มอดูลัสของยังของคอมพอสิตที่เตรียมได้เทียบกับฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส พบว่าฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสมีค่ามอดูลัสของยังที่สูงที่สุด ส่วนคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดท่าง ผ้าทอหลายชนิดทอแน่นและผ้าทอหลายสองแบบชั้นเดียวกับสองชั้น มีค่ามอดูลัสของยังที่ต่ำกว่าฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเนื่องมาจากสารละลายลิเทียมคลอไรด์ และเอ็น เอ็น ไดเมธิลอะเซตาไมด์เข้าไปทำลายโครงสร้างของผ้าและทำลายผลึกไปบางส่วน ทำให้ค่ามอดูลัสมีค่าต่ำลง

ความเหนียวคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดท่าง ผ้าทอหลายชนิดทอแน่นและผ้าทอหลายสองแบบชั้นเดียวกับสองชั้นแบบชั้นเดียวหรือสองชั้น มีค่าที่สูงกว่าฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส แต่คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายสองแบบสองชั้นมีค่าความเหนียวที่สูงที่สุดเนื่องจากจำนวนเส้นด้ายที่มากที่สุด และมีน้ำหนักของผ้าที่สูงที่สุด

ส่วนเสถียรภาพทางความร้อนของคอมพอสิตนี้มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าของผ้าฝ้ายทอ เนื่องจากเมทริกซ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องมาจากการเปลี่ยนโครงสร้างของเซลลูโลสจากเซลลูโลส I เป็นเซลลูโลสแบบอสัณฐาน

ปริมาณผลึกของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสและคอมพอสิตที่มีสารเสริมแรงเป็นผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง หลายชนิดแบบทอแน่น และผ้าฝ้ายทอหลายสอง ทั้งแบบชั้นเดียวและแบบสองชั้น เนื่องจากไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่มาจากธรรมชาติ มีปริมาณผลึกที่สูงกว่าตอนถูกละลายด้วยสารละลายสารละลายลิเทียมคลอไรด์ และเอ็น เอ็น ไดมethylอะเซตาไมด์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงกระบวนการเตรียมคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าทอ ให้เรซินหรือสารละลายเซลลูโลสสามารถเข้าไปเคลือบเส้นด้ายภายในผ้าทอได้ หรือศึกษาผลของปริมาณเส้นด้ายในผ้าทอต่อสมบัติของคอมพอสิตที่เตรียมได้
2. ศึกษาการใช้สารช่วยยึดติดหรือสารเชื่อมขวางระหว่างเมทริกซ์และสารเสริมแรงที่เป็นเซลลูโลส เพื่อปรับปรุงการยึดติดระหว่างเมทริกซ์และสารเสริมแรง ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น
3. ศึกษาการใช้สารเสริมแรงที่เตรียมจากเซลลูโลสในรูปแบบอื่น เช่น เซลลูโลสขนาดนาโน

## รายการอ้างอิง

- [1] ปรีชา พหลเทพ. พอลิเมอร์. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2547.
- [2] Structural composite Materials Activity Available from: <http://materialsworld.utep.edu/Modules/Composite/Composite%20Materials/Activity%201/activity%201.htm> [25 may]
- [3] กมลวรรณ บุญอารีย์. การดัดแปรฝ้ายจากเศษผ้าเพื่อใช้เป็นตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [4] รังสิณี โสธรวิทย์. เคมีและจุลชีววิทยาเบื้องต้นของอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- [5] รัตนาพนนท์, น. เคมีอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2549.
- [6] O'Connor, R.T. Instrumental analysis of cotton cellulose and modified cotton cellulose. M. Dekker, 1972.
- [7] วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. การผลิตอนุภาค Microcrystalline Cellulose จากเส้นใยฝ้ายเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ. 2546.
- [8] Battista, O.A. Cellulose, Microcrystalline. Polymer Science and Engineering 3(1986): 86-90. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [9] Battista, O.A. Microcrystal polymer science. McGraw-Hill, 1975.
- [10] นवलแข ปาลิวนิช. ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542.
- [11] Naturally colored cotton and sally fox Available from: <http://journal.alabamachanin.com/tag/cotton/>
- [12] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ส.ก. เอกสารวิชาการเรื่องฝ้าย. 2536. 168.
- [13] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [14] อภิชาติ สนธิสมบัติ. กระบวนการทางสิ่งทอ. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2545.
- [15] มณฑา จันทร์เกตุเลียด. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: สมาคมทศเศรษฐกิจศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชินูปถัมภ์, 2542.

- [16] ปวริน ตันตริยานนท์. เอกสารประกอบการสอนวิชา weaving process ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [17] ประณัฐ โพธิยะราช. เอกสารประกอบการสอนวิชา Technical Textiles ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [18] Weaving Available from:  
<http://www.britannica.com/technology/weaving/images-videos/Three-types-of-weaves-plain-twill-and-satin/110567>.
- [19] Nishino, T. and Arimoto, N. All-cellulose composite prepared by selective dissolving of fiber surface. Biomacromolecules 8(9) (2007): 2712-2716.
- [20] Soykeabkaew, N., Arimoto, N., Nishino, T., and Peijs, T. All-cellulose composites by surface selective dissolution of aligned ligno-cellulosic fibres. Composites Science and Technology 68(10) (2008): 2201-2207.
- [21] Pullawan, T., Wilkinson, A., and Eichhorn, S. Discrimination of matrix–fibre interactions in all-cellulose nanocomposites. Composites Science and Technology 70(16) (2010): 2325-2330.
- [22] Zhao, J., et al. Reinforcement of all-cellulose nanocomposite films using native cellulose nanofibrils. Carbohydrate polymers 104 (2014): 143-150.
- [23] Porras, A. and Maranon, A. Development and characterization of a laminate composite material from polylactic acid (PLA) and woven bamboo fabric. Composites Part B: Engineering 43(7) (2012): 2782-2788.
- [24] Gindl-Altmutter, W., Keckes, J., Plackner, J., Liebner, F., Englund, K., and Laborie, M.-P. All-cellulose composites prepared from flax and lyocell fibres compared to epoxy–matrix composites. Composites Science and Technology 72(11) (2012): 1304-1309.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ภาคผนวก ก**  
**ความทนแรงดึง**

ตาราง ก-1 ค่าความทนแรงดึงของผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่้างตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	10.2	8.0	341.1	0.02
2	12.2	8.0	371.8	0.02
3	12.1	9.1	448.8	0.02
4	12.3	9.4	486.8	0.02
5	12.9	9.5	493.8	0.02
AVG	12.0	8.8	428.5	0.02
SD	1.0	0.8	68.8	0.0

ตาราง ก-2 ค่าความทนแรงดึงของผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่้างตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	14.3	10.2	126.2	0.01
2	15.2	10.2	138.4	0.01
3	15.5	11.3	142.3	0.02
4	15.7	11.9	153.3	0.02
5	16.1	12.4	169.4	0.02
AVG	15.4	11.2	145.9	0.02
SD	0.7	1.0	16.3	0.0

ตาราง ก-3 ค่าความทนแรงดึงของผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่นตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	13.7	23.0	118.1	0.05
2	14.8	23.5	124.5	0.05
3	14.9	24.1	129.0	0.05
4	15.8	24.8	129.2	0.05
5	16.3	25.6	133.5	0.05
AVG	15.1	24.2	126.9	0.0
SD	1.0	1.0	5.8	0.0

ตาราง ก-4 ค่าความทนแรงดึงของผ้าฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่นตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	18.0	18.1	230.4	0.05
2	18.7	19.0	253.7	0.06
3	19.1	19.9	254.1	0.06
4	19.6	20.0	273.9	0.06
5	20.3	20.5	275.2	0.06
AVG	19.1	19.5	257.5	0.06
SD	0.9	1.0	18.3	0.0

ตาราง ก-5 ค่าความทนแรงดึงของผ้าฝ้ายทอหลายสองตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	18.8	21.2	201.8	0.08
2	18.8	21.8	234.2	0.08
3	18.9	21.9	244.6	0.09
4	20.4	21.9	249.1	0.1
5	21.8	22.9	249.1	0.1
AVG	19.7	22.0	235.8	0.1
SD	1.3	0.6	19.9	0.0

ตาราง ก-6 ค่าความทนแรงดึงของผ้าฝ้ายทอหลายสองตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	22.4	21.0	223.2	0.08
2	22.8	21.5	223.6	0.08
3	22.9	21.6	232.2	0.08
4	23.8	21.7	240.6	0.09
5	23.8	21.8	246.1	0.09
AVG	23.1	21.5	233.1	0.08
SD	0.6	0.3	10.2	0.0

ตาราง ก-7 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าใฝายทอหลายขีดแบบทอห่างแบบชั้นเดียวตามแนวตั้ยยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	12.5	26.9	145.0	0.04
2	12.8	27.5	184.7	0.04
3	13.7	28.4	186.5	0.04
4	14.1	28.5	209.0	0.04
5	14.2	28.9	224.1	0.05
AVG	13.5	28.1	189.9	0.04
SD	0.8	0.8	29.9	0.003

ตาราง ก-8 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าใฝายทอหลายขีดแบบทอห่างแบบชั้นเดียวตามแนวตั้ยพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	13.2	33.2	120.9	0.06
2	14.6	34.2	121.7	0.06
3	14.8	34.7	123.9	0.06
4	15.6	34.8	129.9	0.06
5	15.8	36.8	134.9	0.07
AVG	14.8	34.7	126.2	0.06
SD	1.0	1.3	6.0	0.01

ตาราง ก-9 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าใฝายทอหลายขีดแบบทอแน่นตามแบบชั้นเดียวแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	21.0	23.4	246.3	0.1
2	21.5	23.7	247.4	0.1
3	21.6	24.6	295.0	0.2
4	21.6	25.9	342.0	0.2
5	22.0	26.7	416.0	0.2
AVG	21.5	24.9	309.3	0.2
SD	0.4	1.4	71.5	0.1

ตาราง ก-10 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าใฝายทอหลายขีดแบบทอแน่นแบบชั้นเดียวตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	23.5	37.2	145.6	0.1
2	23.9	38.3	151.6	0.1
3	25.1	38.8	152.8	0.1
4	25.2	39.1	153.8	0.1
5	26.0	39.2	156.2	0.1
AVG	24.7	38.5	152.0	0.1
SD	1.0	0.8	4.0	0

ตาราง ก-11 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายสองแบบชั้นเดียวตามแนว  
ด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	16.1	32	87.3	0.1
2	16.2	32.6	89.6	0.1
3	17.0	33.1	90.4	0.1
4	17.1	33.5	92.0	0.1
5	17.1	34.0	97.3	0.1
AVG	16.7	33.0	91.3	0.1
SD	0.5	0.8	3.7	0.0

ตาราง ก-12 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายสองแบบชั้นเดียวตามแนว  
ด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	18.6	28.9	161.1	0.1
2	18.6	29.2	164.4	0.1
3	19.6	29.8	166.2	0.1
4	20.3	30.1	166.7	0.2
5	20.4	30.2	171.0	0.2
AVG	19.5	29.6	165.9	0.1
SD	0.9	0.6	3.6	0.1

ตาราง ก-13 ค่าความทนแรงดึงของฟิล์มไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	25.2	9.9	842.9	0.02
2	28.6	10.9	1148.1	0.03
3	29.3	12.3	1194.5	0.04
4	30.8	15.3	1374.2	0.04
5	32.8	16.4	1383.0	0.05
AVG	29.3	13.0	1188.5	0.03
SD	2.8	2.8	219.9	0.01

ตาราง ก-14 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขีดแบบทอห่างแบบสองชั้น ทำมุม 0 องศาตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	19.0	16.7	218.1	0.06
2	19.7	17.2	227.6	0.06
3	19.9	17.3	230.0	0.06
4	20.3	17.3	231.9	0.07
5	20.9	17.8	236.4	0.07
AVG	20.0	17.3	228.8	0.06
SD	0.7	0.3	6.1	0.01



ตาราง ก-15 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขีดแบบทอห่่างแบบสองชั้น  
ทำมุม 0 องศาตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	12.8	17.9	248.1	0.04
2	13.5	18.0	251.0	0.05
3	13.3	19.7	259.0	0.05
4	13.9	19.3	264.1	0.06
5	14.5	20.2	274.5	0.07
AVG	13.4	19.0	259.3	0.05
SD	0.7	1.0	10.6	0.01

ตาราง ก-16 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขีดแบบทอแน่นแบบสอง  
ชั้นทำมุม 0 องศา ตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	9.7	29.0	60.1	0.1
2	10.3	29.1	62.6	0.1
3	10.7	29.3	62.8	0.1
4	10.9	29.6	68.0	0.1
5	11.2	30.2	71.9	0.1
AVG	10.5	29.5	65.1	0.1
SD	0.6	0.5	4.8	0.0

ตาราง ก-17 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขีดแบบทอแน่นแบบสองชั้นทำมุม 0 องศา ตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	12.8	17.9	248.1	0.1
2	13.3	18.0	251.0	0.1
3	13.5	19.3	259.0	0.1
4	13.9	19.7	264.1	0.1
5	14.5	20.2	274.5	0.1
AVG	13.6	19.0	259.3	0.1
SD	0.6	1.0	10.6	0.0

ตาราง ก-18 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายสองแบบสองชั้นทำมุม 0 องศา ตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	13.0	30.5	81.8	0.2
2	13.7	30.7	82.3	0.2
3	13.8	31.8	83.2	0.2
4	14.8	31.9	93.3	0.2
5	16.7	33.2	96.8	0.2
AVG	14.4	31.6	87.5	0.2
SD	1.4	1.1	7.1	0.0

ตาราง ก-19 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายสองแบบสองชั้นทำมุม 0 องศา ตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	22.4	28.3	144.3	0.3
2	24.5	28.5	145.9	0.3
3	24.8	28.8	150.4	0.3
4	26.2	29.6	153.3	0.4
5	26.3	29.7	166.1	0.4
AVG	24.8	29.0	152.0	0.4
SD	1.6	0.7	8.7	0.1

ตาราง ก-20 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขัดแบบทอห่างแบบสองชั้นทำมุม 45 องศา ตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	10.0	22.9	125.1	0.04
2	10.5	23.1	151.6	0.04
3	10.7	23.6	164.3	0.04
4	10.8	23.7	187.7	0.04
5	10.9	24.4	190.0	0.04
AVG	10.6	23.5	163.7	0.04
SD	0.4	0.6	27.0	0.00

ตาราง ก-21 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขีดแบบทอห่างแบบสองชั้น  
ทำมุม 45 องศา ตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	67.9	19.0	966.8	0.04
2	70.1	20.8	1038.2	0.04
3	73.4	21.1	1115.8	0.04
4	73.6	21.8	1396.2	0.05
5	74.8	22.5	1633.0	0.05
AVG	71.9	21.0	1230.0	0.04
SD	2.9	1.3	278.0	0.00

ตาราง ก-22 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขีดแบบทอแน่นแบบสอง  
ชั้นทำมุม 45 องศา ตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	9.1	30.1	68.5	0.1
2	9.8	31.6	70.8	0.1
3	10.5	31.1	74.6	0.1
4	11.5	33.6	77.6	0.1
5	11.7	34.6	82.0	0.2
AVG	10.5	32.2	74.7	0.1
SD	1.1	1.8	5.4	0.0

ตาราง ก-23 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขีดแบบทอแน่นแบบสองชั้นทำมุม 45 องศา ตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	5.3	38.9	39.8	0.1
2	5.5	39.9	42.1	0.1
3	6.3	42.6	42.8	0.1
4	6.4	43.3	51.3	0.1
5	6.5	44.6	53.5	0.1
AVG	6.0	41.9	45.9	0.1
SD	0.6	2.4	6.1	0.0

ตาราง ก-24 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายสองแบบสองชั้นทำมุม 45 องศา ตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	6.5	42.4	31.4	0.1
2	7.1	43.1	33.2	0.1
3	7.3	45.5	33.2	0.1
4	7.3	45.9	33.5	0.1
5	7.7	49.5	33.7	0.1
AVG	7.2	45.3	33.0	0.1
SD	0.4	2.8	0.9	0.0

ตาราง ก-25 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายสองแบบสองชั้นทำมุม 45 องศา ตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	12.7	27.5	81.8	0.2
2	12.8	27.8	86.6	0.2
3	13.3	28.0	86.9	0.2
4	14.2	28.4	90.6	0.2
5	14.6	28.9	93.4	0.3
AVG	13.5	28.1	87.9	0.2
SD	0.8	0.5	4.4	0.0

ตาราง ก-26 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขัดแบบทอห่างแบบสองชั้นทำมุม 90 องศา ตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	18.8	16.5	238.2	0.1
2	19.1	16.5	241.0	0.1
3	19.7	16.9	250.1	0.1
4	20.6	17.5	250.1	0.1
5	21.6	17.6	264.0	0.1
AVG	19.9	17.0	248.7	0.1
SD	1.1	0.6	10.1	0.0

ตาราง ก-27 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขีดแบบทอห่างแบบสองชั้น  
ทำมุม 90 องศา ตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	12.6	18.3	197.4	0.04
2	13.3	18.5	254.0	0.04
3	14.5	18.8	264.7	0.04
4	14.8	19.2	272.4	0.05
5	15.0	20.1	278.6	0.05
AVG	14.0	19.0	253.4	0.04
SD	1.0	0.7	32.6	0.00

ตาราง ก-28 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขีดแบบทอแน่นแบบสอง  
ชั้นทำมุม 90 องศา ตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	9.3	30.2	58.1	0.1
2	9.9	32.1	60.4	0.1
3	10.1	33.0	67.7	0.1
4	11.5	33.2	70.7	0.1
5	11.6	33.4	73.5	0.1
AVG	10.4	32.4	66.1	0.1
SD	1.0	1.3	6.6	0.0

ตาราง ก-29 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายขีดแบบทอแน่นแบบสองชั้นทำมุม 90 องศา ตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	13.2	28.5	107.1	0.1
2	13.7	28.8	110.2	0.1
3	13.8	29.3	111.4	0.1
4	14.2	29.3	114.6	0.2
5	14.6	29.6	118.7	0.2
AVG	13.9	29.1	112.4	0.2
SD	0.6	0.5	4.4	0.0

ตาราง ก-30 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายสองแบบสองชั้นทำมุม 90 องศา ตามแนวด้ายยืนของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	24.5	29.5	164.0	0.3
2	24.7	29.8	167.4	0.3
3	25.0	29.9	168.3	0.3
4	25.0	30.3	174.1	0.3
5	26.4	30.4	181.2	0.3
AVG	25.1	30.0	171.0	0.3
SD	0.7	0.4	6.7	0.0



ตาราง ก-31 ค่าความทนแรงดึงของคอมพอสิตเสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายสองแบบสองชั้นทำมุม 90 องศา ตามแนวด้ายพุ่งของผ้า

No.	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)	Toughness (J)
1	22.3	28.3	143.8	0.2
2	22.3	28.6	149.1	0.3
3	23.3	28.7	149.5	0.3
4	24.1	29.1	156.5	0.3
5	24.4	29.7	157.6	0.3
AVG	23.3	28.9	151.3	0.3
SD	1.0	0.5	5.7	0.0





ตารางที่ ข-5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความทนแรงดึงของคอมพอลิเมอร์แบบสองชั้น

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1			.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.981	.000	.000	.000	.000	.000
2	.000		.000	1.000	.182	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.858	.000	.481	.000	.834	.000	.000
3	.000	.000		.000	.000	.000	.979	.945	.945	.000	.000	.000	.000	.000	.882	.000	.000	.000
4	.000	1.000	.000		.182	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.858	.000	.481	.000	.834	.000	.000
5	.000	.182	.000	.182		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.130	.000	.548	.000	.387	.000	.000
6	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.817	.007
7	.000	.000	.979	.000	.000	.000		.986	.986	.000	.000	.000	.000	.000	.883	.000	.000	.000
8	.000	.000	.234	.000	.000	.000	.244		.282	.000	.000	.000	.000	.000	.308	.000	.000	.000
9	.000	.000	.945	.000	.000	.000	.986	.282		.000	.000	.000	.000	.000	.918	.000	.000	.000
10	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.040	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
11	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.040			.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
12	.000	.858	.000	.858	.130	.000	.000	.000	.000	.000			.000	.359	.000	.511	.000	.000
13	.981	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000			.000	.000	.000	.000	.000
14	.000	.481	.000	.481	.548	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.359	.000		.000	.794	.000	.000
15	.000	.000	.882	.000	.000	.000	.883	.308	.918	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000
16	.000	.834	.000	.834	.387	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.511	.000	.794	.000		.000	.000
17	.000	.000	.000	.000	.000	.817	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.002
18	.000	.000	.000	.000	.000	.007	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	

ตารางที่ ข-6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ของคอมพอลิเมอร์แบบสองชั้น

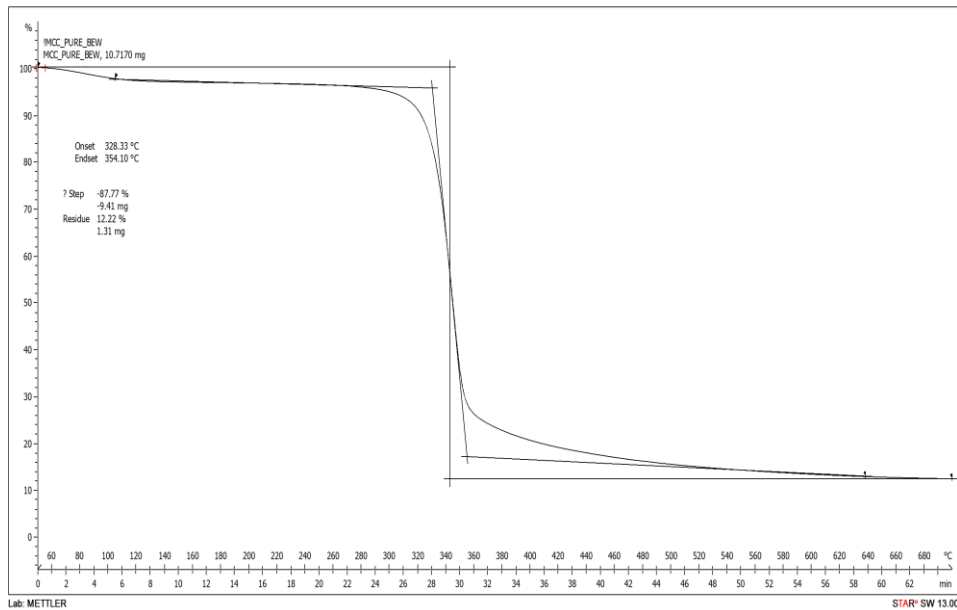
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		.027	.000	.027	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.030	.000	.000	.000	.000
2	.027		.000	1.000	.000	.000	.000	.012	.000	.000	.000	.000	.235	.963	.000	.000	.000	.000
3	.000	.000		.000	.007	.524	.000	.000	.001	.000	.000	.093	.000	.000	.000	.647	.510	.469
4	.027	1.000	.000		.000	.000	.000	.012	.000	.000	.000	.000	.235	.963	.000	.000	.000	.000
5	.000	.000	.007	.000		.001	.000	.000	.458	.000	.000	.000	.000	.000	.341	.002	.037	.001
6	.000	.000	.524	.000	.001		.000	.000	.000	.000	.000	.292	.000	.000	.000	.858	.197	.930
7	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.002	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
8	.000	.012	.000	.012	.000	.000	.002		.000	.000	.000	.000	.170	.010	.000	.000	.000	.000
9	.000	.000	.001	.000	.458	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.832	.000	.005	.000
10	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
11	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
12	.000	.000	.093	.000	.000	.292	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.218	.021	.333
13	.001	.235	.000	.235	.000	.000	.000	.170	.000	.000	.000	.000		.217	.000	.000	.000	.000
14	.030	.963	.000	.963	.000	.000	.000	.010	.000	.000	.000	.000	.217		.000	.000	.000	.000
15	.000	.000	.000	.000	.341	.000	.000	.000	.832	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.003	.000
16	.000	.000	.647	.000	.002	.858	.000	.000	.000	.000	.000	.218	.000	.000	.000		.265	.790
17	.000	.000	.510	.000	.037	.197	.000	.000	.005	.000	.000	.021	.000	.000	.003	.265		.169
18	.000	.000	.469	.000	.001	.930	.000	.000	.000	.000	.000	.333	.000	.000	.000	.790	.169	



## ภาคผนวก ค

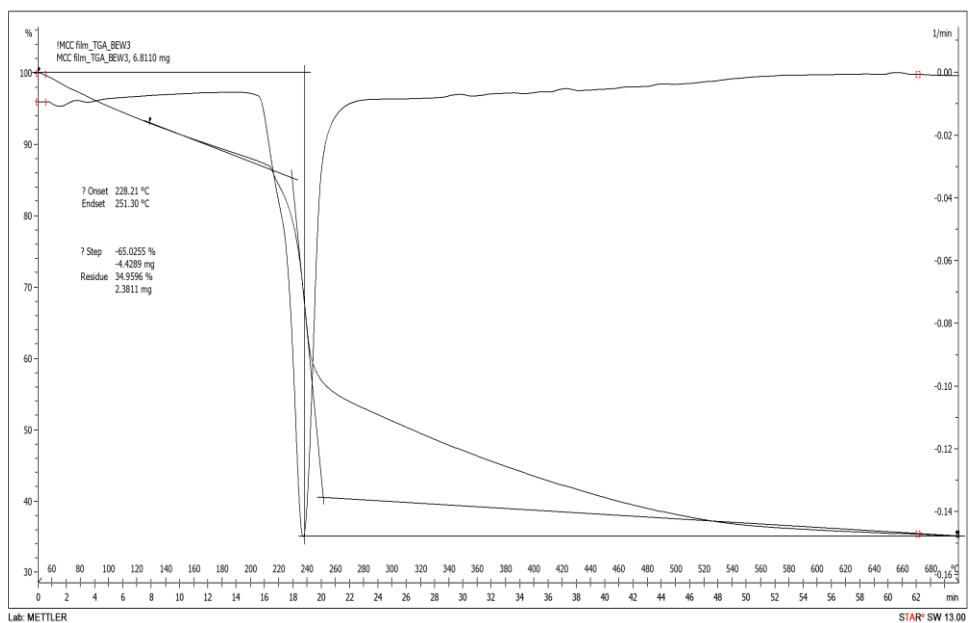
## TGA Thermogram ของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส, ฝ้ายฝายทอและคอมพอลิทีที่เสริมแรงด้วยฝ้ายฝายทอ

## 1. ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส



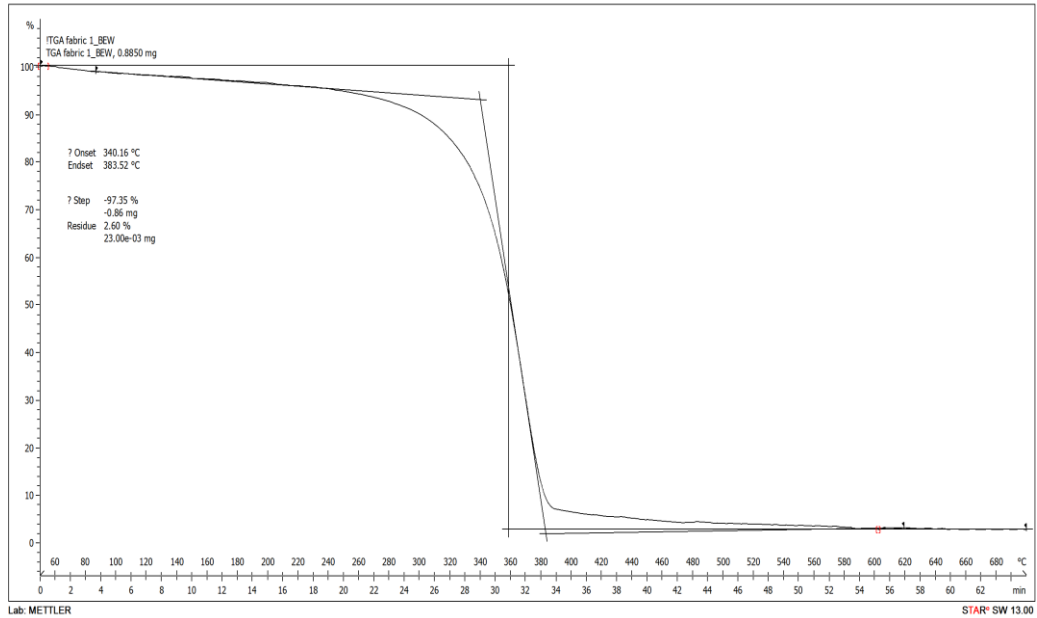
รูปที่ ค -1 เทอร์โมแกรมของ ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส

## 2. ฟิล์มไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส



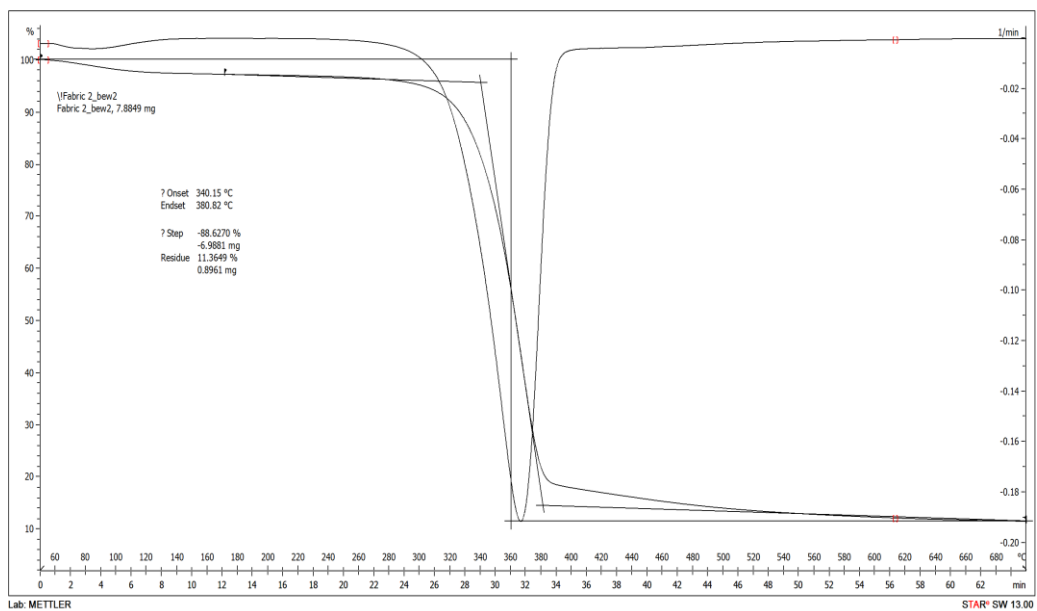
รูปที่ ค -2 เทอร์โมแกรมของ ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส

### 3. ผ้าฝ้ายทอละลายชนิดแบบทอห่าง



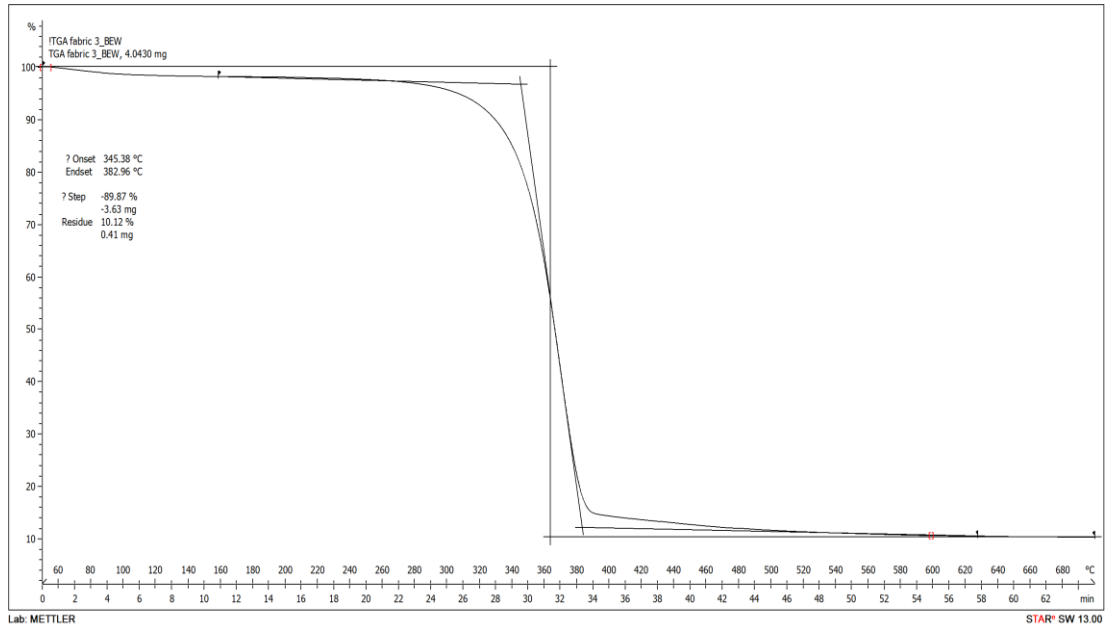
รูปที่ ค -3 เทอร์โมแกรมของ ผ้าฝ้ายทอละลายชนิดแบบทอห่าง

### 4. ผ้าฝ้ายทอละลายชนิดแบบทอแน่น



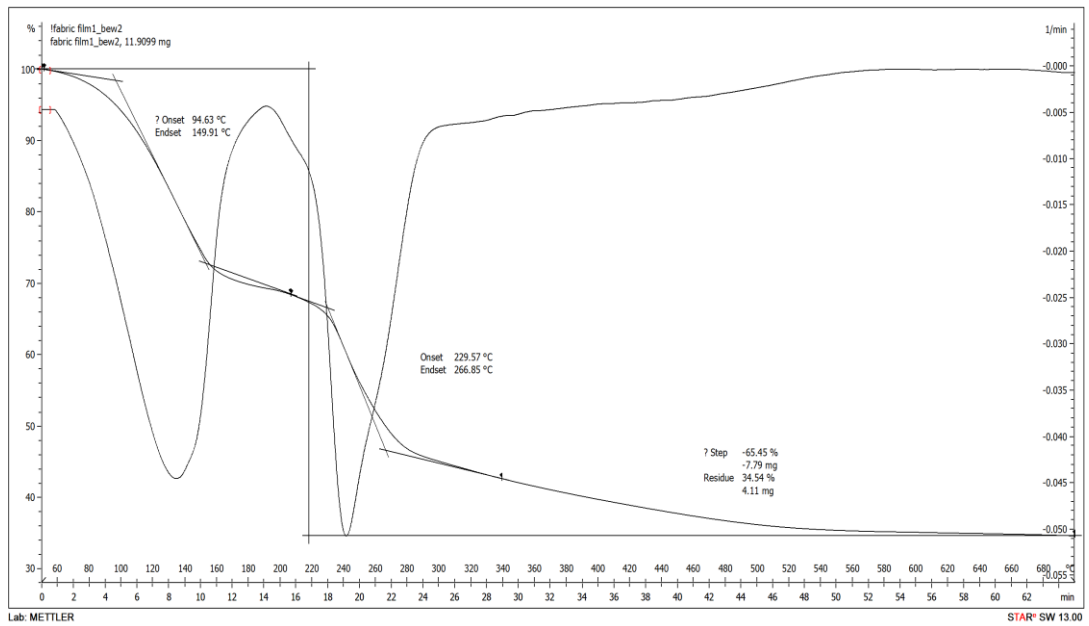
รูปที่ ค -4 เทอร์โมแกรมของ ผ้าฝ้ายทอละลายชนิดแบบทอแน่น

## 5. ฝ้าฝ้ายทอลายสอง



รูปที่ ค -5 เทอร์โมแกรมของ ฝ้าฝ้ายทอลายสอง

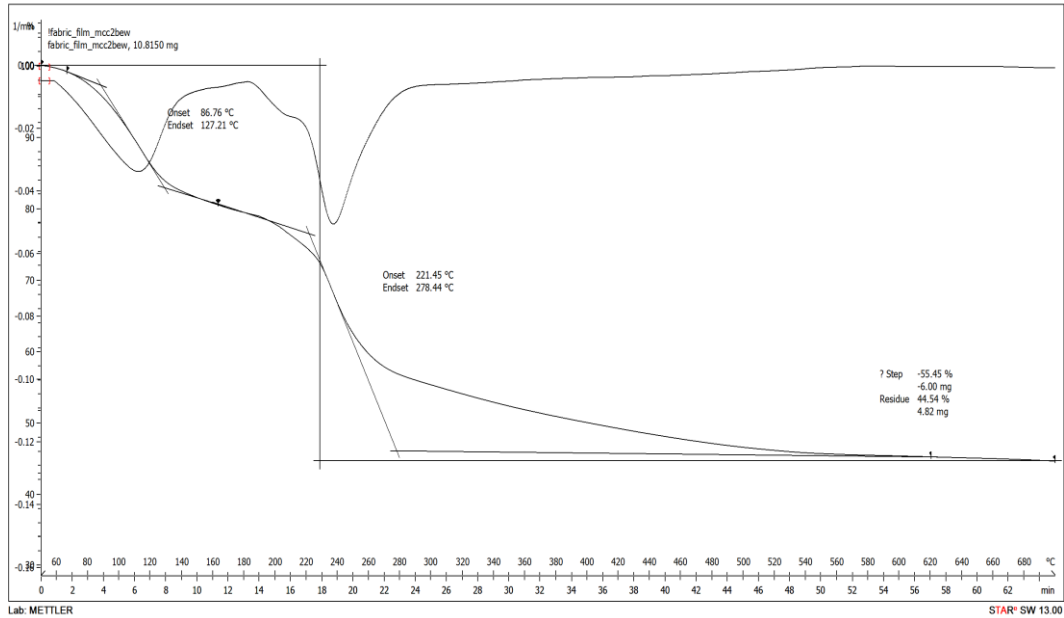
## 6. คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยฝ้าฝ้ายทอลายชนิดแบบทอห่าง



รูปที่ ค -6 เทอร์โมแกรมของ คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยฝ้าฝ้ายทอลายชนิดแบบทอห่าง

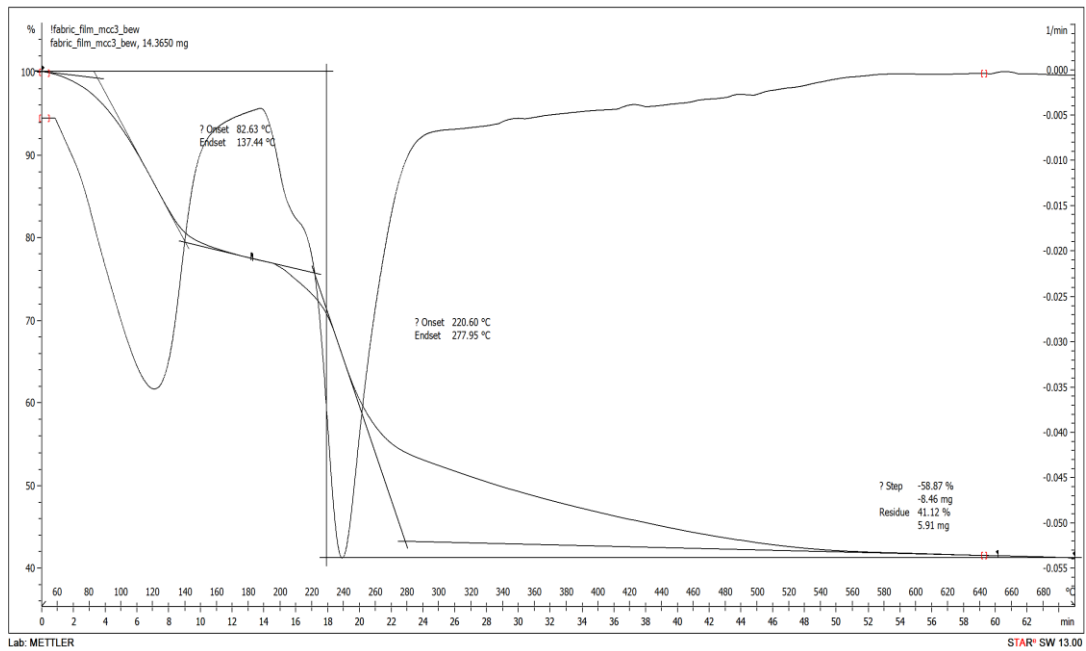


### 7. คอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอละลายขัดแบบทอแน่น



รูปที่ ค -7 เทอร์โมแกรมของ คอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอละลายขัดแบบทอแน่น

### 8. คอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอละลายสอง

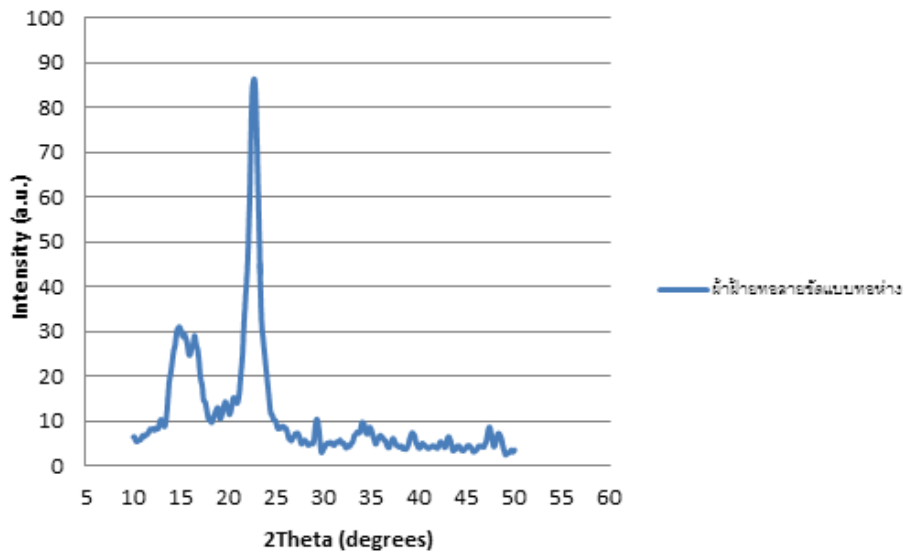


รูปที่ ค -8 เทอร์โมแกรมของ คอมพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอละลายสอง

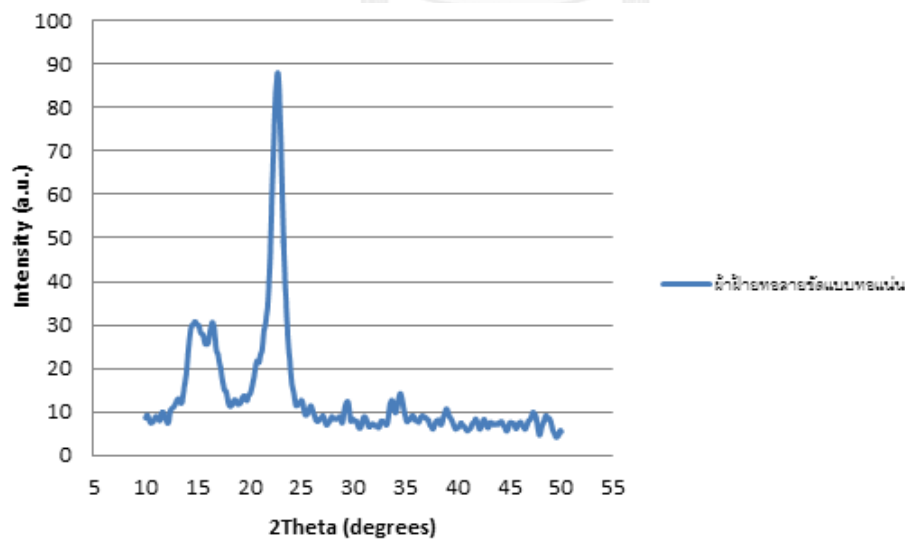
## ภาคผนวก ง

## ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

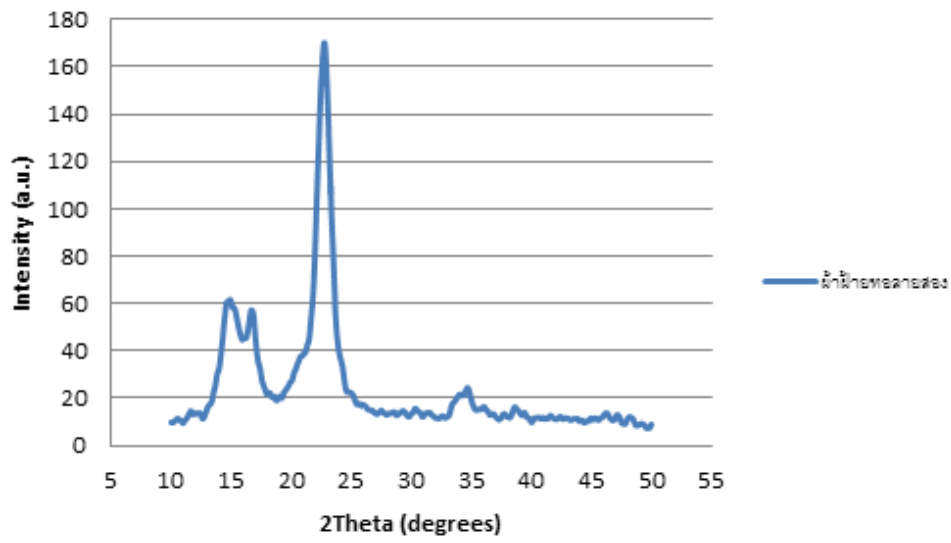
ฝ้ายทอด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction)



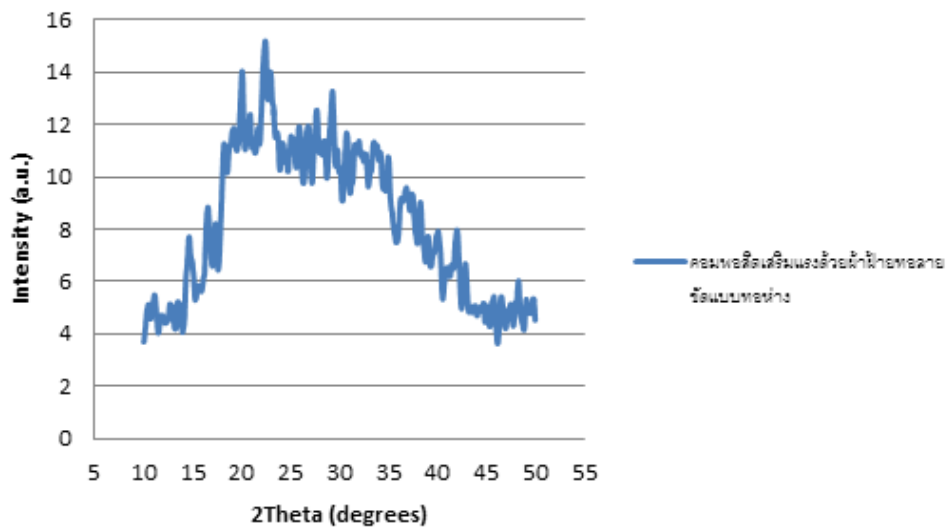
รูปที่ ง-1 กราฟ XRD ของ ฝ้ายทอลายขัดแบบทอห่าง



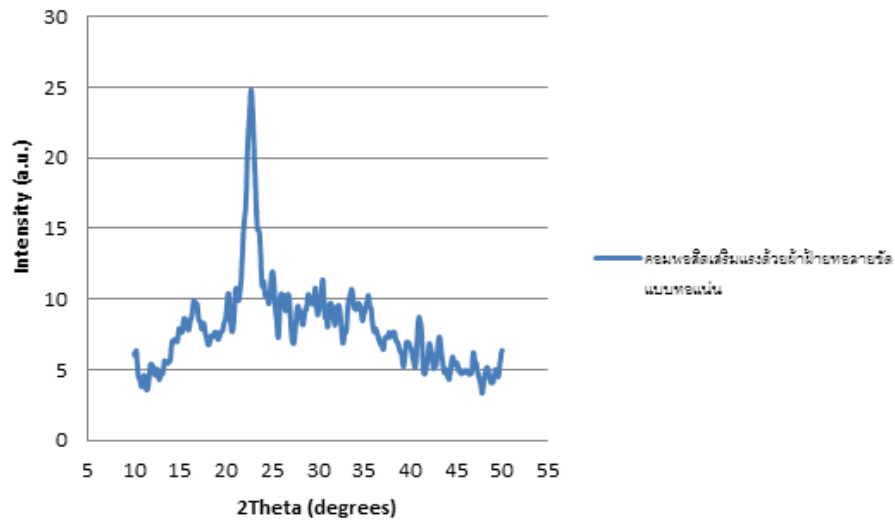
รูปที่ ง-2 กราฟ XRD ของ ฝ้ายทอลายขัดแบบทอแน่น



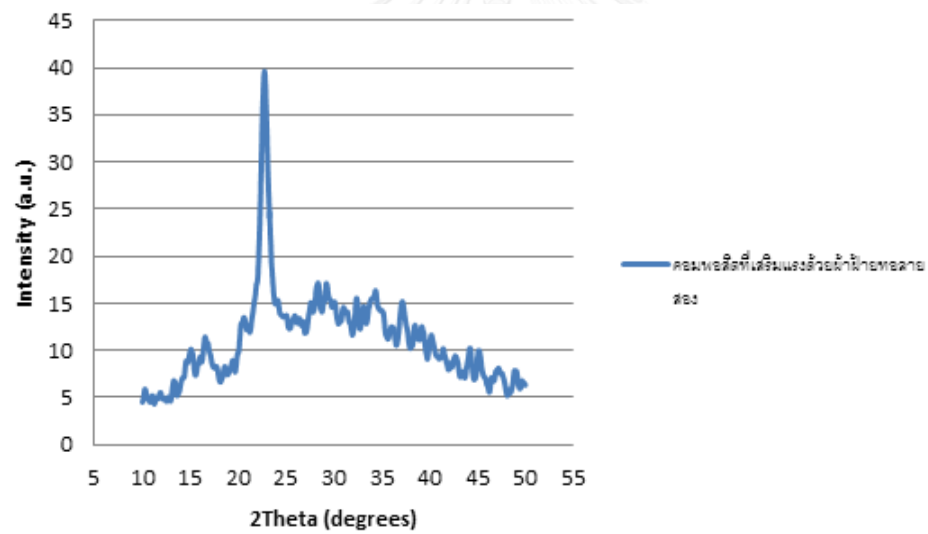
รูปที่ ง-3 กราฟ XRD ของ ผ้าฝ้ายทอหลายสอง



รูปที่ ง-4 กราฟ XRD ของ คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอหลายชนิดแบบทอห่าง



รูปที่ ง-5 กราฟ XRD ของ คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอละลายชนิดแบบทอแน่น



รูปที่ ง-6 กราฟ XRD ของ คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าฝ้ายทอละลายสอง

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวขวัญชีวา แก้วอินทร์ เกิดเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ.2532 สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2554 หลังจากนั้นเข้าทำงานในตำแหน่ง Visual merchandiser ในแบรนด์เสื้อผ้า GUESS ต่อมาได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคต้นในปีการศึกษา 2556 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลาย ปีการศึกษา 2557

