

แผ่นรองพรมจากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ขึ้นรูปด้วย  
กระบวนการคอตตอน แคนดี้

**CARPET BACKING FROM BIODEGRADABLE PLASTICS  
PREPARED BY COTTON CANDY PROCESS**

ประภัสสร วันนิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2561  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

แผ่นรองพรหมจากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ขึ้นรูปด้วย  
กระบวนการคอตตอน แคนดี่

ประภัสสร วันนิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แผ่นรองพรมจากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้ Carpet Backing from Biodegradable Plastics Prepared by Cotton Candy Process
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวประภัสสร วันนิจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.
ปีการศึกษา	2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีช, Ph.D.)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ประกอบ กิจไชยา, Ph.D.)

..... กรรมการ  
(อาจารย์สุนนมาลย์ เนียมกลาง, Ph.D.)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 29 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แผ่นรองพรมจากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวประภัสสร วันนิจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.
ปีการศึกษา	2561

## บทคัดย่อ

พรมปูพื้นผลิตจากพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมประเภทพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (PET) และพอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเมอร์เหล่านี้มีสมบัติที่ดีแต่ไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ จากปริมาณการผลิตพรมในประเทศไทยมากกว่า 4,000 ตันต่อปี ส่งผลต่อปริมาณของขยะจากพรมที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การใช้พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพในการผลิตชิ้นส่วนพรมจึงเป็นการแก้ปัญหามลพิษจากการจัดการขยะพรม

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการใช้พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพทดแทน PET และ PP เพื่อผลิตแผ่นรองพรมปูพื้น ชั้นที่ 2 โดยใช้พอลิแลคติกแอซิด (PLA) และศึกษาการขึ้นรูปแผ่นรองพรมแบบไม่ถักไม่ทอด้วยกระบวนการสปีนบอนด์และกระบวนการคอตตอน แคนดี้ และปรับปรุงสมบัติของ PLA เพื่อเพิ่มความเหนียวด้วยการเติมพลาสติกไซเซออร์พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่ปริมาณต่าง ๆ แผ่นรองพรม PLA ได้นำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกล และการเตรียมผ้าพอลิแลคติกแอซิดแบบไม่ถักไม่ทอด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้ ศึกษาการเติมพลาสติกไซเซออร์ในปริมาณต่าง ๆ ในการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 200 และ 230 องศาเซลเซียส

พบว่าผ้าแบบไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG เตรียมด้วยกระบวนการสปีนบอนด์แสดงสมบัติเชิงกลที่ดี มีค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น และชิ้นงานมีความหนาและน้ำหนักสูงขึ้น การเติม PEG ไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิหลอมผลึก (Tm) ของ PLA แต่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของ PLA ลดลง การเติม PEG ใน PLA สำหรับกระบวนการเตรียมผ้าแบบไม่ถักไม่ทอด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้ พบว่าทำให้สมบัติเชิงกลของ PLA เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่ปริมาณการเติม PEG ที่ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก และที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 200 องศาเซลเซียส

**คำสำคัญ :** พอลิแลคติกแอซิด พอลิเอทิลีนไกลคอล ผ้าไม่ถักไม่ทอ กระบวนการสปีนบอนด์ กระบวนการคอตตอน แคนดี้



<b>Thesis Title</b>	Carpet Backing from Biodegradable Plastics Prepared by Cotton Candy Process
<b>Name - Surname</b>	Miss Prapadsorn Wannid
<b>Program</b>	Materials Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Sommai Pivsa-Art, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2018

## ABSTRACT

Carpets are produced from petroleum-based synthetic polymers: polyethylene terephthalate (PET) and polypropylene (PP). These polymers have good properties. However, they are not biodegradable. Based on an amount of carpet production of 4,000 tons per year, waste of used carpet creates severe environmental problems. Therefore, an application of biodegradable polymers for carpet part production can be the preferred method to solve the pollution from carpet wastes.

In this research, we studied the application of a biodegradable polymer which is poly lactic acid (PLA) instead of PET and PP to produce the secondary backing part of the carpet. The non-woven fabrication process using a spunbond compared with the cotton candy method was examined. The improvement of toughness of PLA fibers was investigated by using various contents of polyethylene glycol (PEG). Moreover, the physical, thermal and mechanical properties were inspected. Addition of a plasticizer to non-woven PLA was carried out at 200 and 230 °C.

It was found that non-woven fabrics produced by a spunbond process showed good mechanical properties and tensile strength was higher. The samples had more thickness and weight. Although the addition of PEG did not affect the crystalline melt temperature ( $T_m$ ) of PLA, the glass transition temperature ( $T_g$ ) decreased. The addition of PEG (5 wt%) to PLA for the preparation of non-woven fabric using a cotton candy process resulted in an increase of mechanical properties of PLA obviously. The forming process in the cotton candy process was carried out at 200 °C.

**Keywords :** carpet, poly lactic acid, polyethylene glycol, non-woven, spunbond process, cotton candy process

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์แบบได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร.วีราภรณ์ ผิวสอาด ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการศึกษาวิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีดิ์ ประธานกรรมการสอบ ดร.สุมนมาลย์ เนียมกลาง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ กิจไชยา กรรมการสอบผู้ทรงคุณวุฒิจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำการทำวิจัยและการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิจัยและเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ ดร.தாகะ โนริ เนโกโร บริษัท ไทยเนโกโร จำกัด ดร.นที ศรีสวัสดิ์ และอาจารย์นรรจพร เรืองไพศาล ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนใช้เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ ในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ บิดา มารดา และครอบครัว เพื่อนและคณาจารย์ ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ หากวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ประภัสสร วันนิจ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	11
1.2 วัตถุประสงค์.....	12
1.3 ขอบเขต.....	12
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 พลาสติกชีวภาพ.....	15
2.2 พอลิแลคติกแอซิด Poly(Lactic Acid, PLA).....	17
2.3 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers).....	20
2.4 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG).....	22
2.5 เส้นใย.....	23
2.6 ผ้าไม่ถักไม่ทอ (Nonwoven).....	26
2.7 พรหม.....	28
2.8 กระบวนการสปันบอนด์ (Spunbond process).....	30
2.9 กระบวนการคอตตอน แคนดี้ (Cotton Candy Process).....	30
2.10 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ.....	31
2.11 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	33
2.12 การทดสอบสมบัติทางเชิงกล.....	34
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	45
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	45

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วัสดุและอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	46
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	48
3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน ทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล.....	53
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
4.1 การทดสอบสมบัติของผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลกติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีน ไกล คอลที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการสับนบอนด์.....	54
4.2 การทดสอบสมบัติของผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลกติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอลที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้.....	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	70
บรรณานุกรม .....	71
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก .....	76
ประวัติผู้เขียน.....	98

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด .....	19
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ .....	43
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	44
ตารางที่ 3.1 สภาวะในการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการสปีน บอนด์ .....	49
ตารางที่ 3.2 สภาวะในการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ คอตตอนแคนดี้ .....	50
ตารางที่ 3.3 สภาวะในการดำเนินงานของเครื่องดีฟเฟอร์เรนเซียสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ .....	54
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ .....	59
ตารางที่ 4.2 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ ที่ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 และ 230 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200 เท่า) .....	62
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ อุณหภูมิในการ ขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส .....	65
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ อุณหภูมิใน การขึ้นรูป 230 องศาเซลเซียส .....	67

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 วัฏจักรของพลาสติกชีวภาพ .....	16
รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของพอลิแลคติกแอซิด.....	18
รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดพลาสติกไซเซชัน .....	20
รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีนไกลคอล.....	22
รูปที่ 2.5 โครงสร้างในผ้าทอ (ซ้าย) และผ้าไม่ถักไม่ทอ (ขวา).....	27
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของพรหม .....	29
รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตผ้าไม่ถักไม่ทอแบบสปินบอนด์ .....	31
รูปที่ 2.8 เครื่องปั่นหลอมแบบพ่น (Melt Jet Spinning) รุ่น SR-Runder bambi.....	32
รูปที่ 2.9 การทดสอบความทนทานแรงดึงของเส้นใย .....	35
รูปที่ 2.10 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้าต่อแรงดันทะลุแบบมูลเลน .....	36
รูปที่ 2.11 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้าต่อแรงดันทะลุแบบบอล.....	37
รูปที่ 2.12 แผนภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์สปินนิ่งแบบหลอมเหลว.....	37
รูปที่ 2.13 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด ( เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 800 ไมโครเมตร).....	38
รูปที่ 2.14 แผนภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์สปินนิ่งแบบหลอมเหลวที่มีการพัฒนาอุปกรณ์เพิ่มเติมคือระบบเลเซอร์ .....	38
รูปที่ 2.15 ผลของความเข้มของแสงเลเซอร์ต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด .....	39
รูปที่ 2.16 ผลของความเข้มของแสงเลเซอร์ต่อเทอร์โมแกรมทางความร้อนของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด .....	39
รูปที่ 2.17 เครื่อง Rotary Jet-Spinning.....	40
รูปที่ 2.18 ขั้นตอนการปั่นเส้นใยด้วยเครื่อง Rotary Jet-Spinning .....	40
รูปที่ 2.19 ลักษณะเส้นใยที่ได้จากเครื่อง Rotary Jet-Spinning .....	40
รูปที่ 2.20 กระบวนการถอดตอน แคนดี้ ขึ้นรูปผ้าแบบไม่ถักไม่ทอ .....	41
รูปที่ 2.21 เส้นใยนาโนพอลิแลคติกแอซิด ที่ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และความดัน 0.2 MPa.....	41
รูปที่ 2.22 ผลของอุณหภูมิและความดันอากาศต่อขนาดของเส้นใย .....	42

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.1	เม็ดพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA)และเม็ดพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG).....	46
รูปที่ 3.2	เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder).....	46
รูปที่ 3.3	เครื่องขึ้นรูปสปันบอนด์ (Hill's Spun bond).....	47
รูปที่ 3.4	เครื่องปั่นหลอมแบบพ่น (Melt Jet Spinning) รุ่น SR-Runer bambi.....	47
รูปที่ 3.5	เครื่องต้านแรงดันทะเล.....	48
รูปที่ 3.6	กระบวนการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอแบบสปันบอนด์.....	50
รูปที่ 3.7	กระบวนการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอแบบคอตตอน แคนดี้.....	51
รูปที่ 4.1	ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....	56
รูปที่ 4.2	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ.....	57
รูปที่ 4.3	ความหนาของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ.....	57
รูปที่ 4.4	น้ำหนักมาตรฐานของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ.....	58
รูปที่ 4.5	เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ....	59
รูปที่ 4.6	ค่าการทนทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ.....	60
รูปที่ 4.7	ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิเอสเทอร์ (กำลังขยาย 200 เท่า).....	61
รูปที่ 4.8	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ ที่ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 และ 230 องศาเซลเซียส.....	63
รูปที่ 4.9	ความหนาของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ.....	64
รูปที่ 4.10	น้ำหนักมาตรฐานของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ.....	64
รูปที่ 4.11	เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส.....	66
รูปที่ 4.12	เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 230 องศาเซลเซียส.....	67
รูปที่ 4.13	ค่าการทนทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ.....	68
รูปที่ 4.14	ค่าการต้านแรงดันทะเลของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ.....	69



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันพรมปูพื้นสำเร็จรูปทำมาจากหลายชิ้นส่วนประกอบกันเป็นชั้นๆ ได้แก่ ชั้นขนพรม (Face yarn) แผ่นรองพรมชั้นที่ 1 (Primary Backing) สารช่วยยึดติด (Adhesive) และแผ่นรองพรมชั้นที่ 2 (Secondary backing) ในส่วนของแผ่นรองพรมชั้นที่ 1 และแผ่นรองพรมชั้นที่ 2 บางส่วนทำจากวัสดุที่เตรียมด้วยผ้าแบบไม่ถักไม่ทอ (Nonwoven) โดยปกติทำจากวัสดุพอลิพรอพิลีน (Polypropylene) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) หรือไนลอน (Nylon) ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เมื่อทิ้งเป็นขยะจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันสินค้าที่ผลิตจากวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือใช้คำว่า “Green Product” เป็นอีกสิ่งดึงดูดใจและเป็นอีกทางเลือกให้กับลูกค้า รวมถึงเพิ่มการแข่งขันในตลาดทั้งในและต่างประเทศด้วย เราจึงเห็นความสำคัญและประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม จึงสนใจที่จะเปลี่ยนวัสดุบางส่วนในกระบวนการผลิตเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เราจึงเลือกศึกษาพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ซึ่งเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

พอลิแลคติกแอซิดเป็นวัสดุที่มีศักยภาพทางการตลาด เนื่องจากมีกำลังการผลิตที่มากที่สุดในกลุ่มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีความทนทานต่อแรงดึงสูง แต่เปราะ ไม่เหนียวและการต้านทานต่อความร้อนต่ำ [1] จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้มีความยืดหยุ่นที่เหมาะสม เมื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะได้ไม่แตกหักง่าย [2] โดยการเติมสารเติมแต่งต่างๆ เช่น พลาสติกไซเซอร์ สารก่อผลึก เป็นต้น [3] โดยพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารที่นิยมใส่ในพอลิเมอร์หรือผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อทำให้มีสมบัติบางประการเปลี่ยนไปคือ มีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นสูง ทนต่อสภาวะความเป็นกรดต่าง ทนต่ออุณหภูมิสูง สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและยา เครื่องมือทางการแพทย์ ของเล่นสำหรับเด็ก เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับพลาสติกแต่จะไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพลาสติก ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนลง [4] โดยงานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาการเติมพลาสติกไซเซอร์เพื่อเพิ่มความนิ่มให้กับพอลิแลคติกแอซิด ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) [5-7] เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอลมีความชอบน้ำสูงทำให้สามารถนำไปผสมกับสาร



อื่นๆ ได้ดี จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ในพอลิแลคติกแอซิด เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิแลคติกแอซิดให้มีความยืดหยุ่นที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

ในงานวิจัยนี้ทำการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอเพื่อเป็นแผ่นรองพรหมชั้นที่ 2 จากกระบวนการสปินบอนด์และกระบวนการคอตตอน แคนดี้ โดยใช้พอลิแลคติกแอซิดเป็นวัสดุหลักและใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ปริมาณต่างๆ จากนั้นศึกษาผลของสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกล เพื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ กับพอลิเอสเทอร์ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเตรียมผ้าพอลิแลคติกแอซิดแบบไม่ถักไม่ทอด้วยกระบวนการสปินบอนด์และกระบวนการคอตตอน แคนดี้

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อผ้าพอลิแลคติกแอซิดแบบไม่ถักไม่ทอที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการสปินบอนด์ และกระบวนการคอตตอน แคนดี้

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของผ้าพอลิแลคติกแอซิดแบบไม่ถักไม่ทอที่เตรียมได้จากกระบวนการสปินบอนด์และกระบวนการคอตตอน แคนดี้

## 1.3 ขอบเขต

### 1.3.1 กระบวนการสปินบอนด์

1.3.1.1 ทำการผสมเม็ดพลาสติกแบบแข็งระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพลาสติกไซเซออร์โดยใช้วัตถุดิบและปริมาณพลาสติกไซเซออร์ ดังนี้

- 1) พอลิแลคติกแอซิดเกรด 6100D
- 2) พลาสติกไซเซออร์ ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอลน้ำหนักมเลกุล 20000
- 3) ปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ ได้แก่ 0.5, 1, 1.5, 2, 3 และ 4 ร้อยละโดย

น้ำหนัก

1.3.1.2 การขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอของพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ด้วยเครื่องขึ้นรูปสปินบอนด์โดยใช้สภาวะในการขึ้นรูป ดังนี้

- 1) หัวค้ายที่ใช้เป็นแบบหัวฉีดเส้นใย (Spinneret) ลักษณะหน้าตัดวงกลมตัน ซึ่งมีจำนวน 24 รู โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 0.32 มิลลิเมตรต่อรู

2) อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปจากบาร์เรลจนถึงหัวคายเป็น 190, 200, 210, 210 และ 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3) แรงดันลมที่ใช้ในการขึ้นรูป ได้แก่ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4) ความเร็วรอบของสกรู 10 รอบต่อนาที

### 1.3.2 กระบวนการคอตตอน แคนดี้

1.3.2.1 การเตรียมคอมปาวด์ระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพลาสติกไซเซออร์ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ โดยใช้วัตถุดิบและปริมาณพลาสติกไซเซออร์ ดังนี้

1) พอลิแลคติกแอซิดเกรด 6100D

2) พลาสติกไซเซออร์ ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอล 20000

3) ปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ ได้แก่ 1, 3 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก

1.3.2.2 การขึ้นรูปฝ้ายไม่ถักไม่ทอของพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ด้วยกระบวนการ คอตตอน แคนดี้ โดยใช้สภาวะในการขึ้นรูป ดังนี้

1) หัวคายที่ใช้เป็นแบบหัวถีดเส้นใย (Spinneret) ลักษณะหน้าตัดวงกลมตัน ซึ่งมีจำนวน 3 รู โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 0.4 มิลลิเมตร และรูของแรงดันลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 2 มิลลิเมตร

2) อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นงาน ได้แก่ 200 และ 230 องศาเซลเซียส

3) แรงดันลมที่ใช้ในการขึ้นรูป ได้แก่ 0.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4) ความเร็วรอบของสกรู 5 รอบต่อนาที

5) ระยะเก็บตัวอย่างจากหัวคายถึงอุปกรณ์เก็บตัวอย่างเป็น 60 เซนติเมตร

6) ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 5 นาทีต่อตัวอย่าง

1.3.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพของฝ้ายไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล

1) วัดความหนาและวัดน้ำหนักมาตรฐาน

2) วัดขนาดเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscopic, OM)

3) ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM)

1.3.4 ทดสอบสมบัติทางความร้อนของฝ้ายไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลด้วย เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

1.3.5 ทดสอบสมบัติเชิงกลของผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ได้แก่

- 1) ทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 3822 01
- 2) ทดสอบความต้านแรงฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D 3786

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สูตรในการเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิแลคติกแอซิด

1.4.2 ได้สภาวะในการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลด้วยกระบวนการสปีนบอนด์ และกระบวนการคอตตอน แคนดี้

1.4.3 ลดการใช้พอลิเมอร์ที่ไม่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยผลิตภัณฑ์แผ่นรองพรหมชั้นที่ 2 ผลิตจากพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นส่วนสำคัญในการแก้ปัญหาการจัดการขยะพลาสติก



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันเนื่องจากการใช้งานพลาสติกกันอย่างกว้างขวาง จนทำให้เกิดปัญหามลพิษต่างๆ มากมาย จึงทำให้มีการคิดค้นวัสดุที่ได้จากพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งมีความสามารถในการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้วัสดุที่ได้จากพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีความน่าสนใจและได้ทำการศึกษาวัสดุที่ได้จากพลาสติกสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพิ่มขึ้น โดยอ้างอิงจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

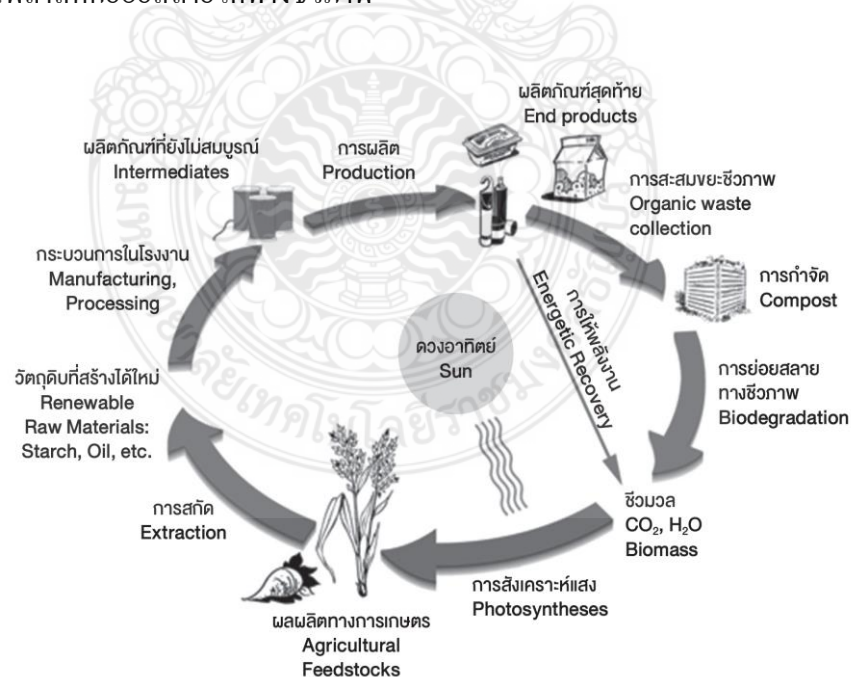
#### 2.1 พลาสติกชีวภาพ [8]

พลาสติกชีวภาพนั้นเป็นนวัตกรรมใหม่ของอุตสาหกรรมพลาสติกที่เป็นมิตรกับสภาพสิ่งแวดล้อมที่มีคุณสมบัติการใช้งานเหมือนพลาสติกทั่วไป แต่มีจุดเด่นตรงที่เป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ หรือถูกหมักเป็นปุ๋ยได้ในสภาวะที่เหมาะสม โดยมีระบบการย่อยสลายที่คล้ายคลึงกับการย่อยสลายในธรรมชาติ เริ่มจากชีวมวลหลายพันล้านตันถูกผลิตขึ้นโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชตามธรรมชาติ ซึ่งชีวมวลจำนวนที่เท่ากันนี้จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลับสู่ธรรมชาติกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งสามารถนำมาหมุนเวียนใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อใช้ในการผลิตชีวมวลใหม่ เกิดเป็นวัฏจักรของธรรมชาติอย่างครบวงจรโดยไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดขยะเข้ามาเกี่ยวข้องจึงไม่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและค่าใช้จ่ายที่ถูก หลังจากนำวัตถุดิบชนิดนี้ไปผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อนำไปใช้งานกับผู้บริโภคและถูกนำไปกำจัดด้วยการย่อยเป็นปุ๋ยเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมานั้นจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ วัฏจักรนี้ทำให้พลาสติกชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรแบบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมภายใต้ทรัพยากรที่ปลูกทดแทนได้ (Renewable resources) อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมหลังจากหมดอายุการใช้งาน

สำหรับการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากการทำงานของจุลินทรีย์นั้น โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ Endo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่

เป็นระเบียบและแบบ Exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์และเกิดการย่อยสลายต่อไปในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือพลังงานและสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน น้ำ เหลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass)

ดังนั้นวงจรหรือวัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (รูปที่ 2.1) จึงมีรูปแบบ คือมีสมบัติในการใช้งานเช่นเดียวกับพลาสติกโดยทั่วไป แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่เมื่อทิ้งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้ไปเป็นขยะและอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม คือ มีแบคทีเรียและเอนไซม์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นก็จะเกิดการย่อยสลายได้ ซึ่งผู้บริโภคบางรายที่กลัวว่าพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้จะเกิดการย่อยสลายไปในขณะที่ใช้งาน โดยทำให้อายุการใช้งานสั้นและไม่คุ้มค่าในการใช้งานนั้นไม่ต้องกังวลในจุดนี้อีกต่อไปเพราะถ้าไม่ทิ้งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้ให้เป็นขยะโดยเฉพาะเมื่อถูกฝังกลบและเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการย่อยสลาย ก็จะไม่เกิดการย่อยสลายพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีแนวโน้มการทำตลาดที่ดีและมีการผลิตเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด และพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต ซึ่งเป็นพลาสติกที่ได้จากธรรมชาติ คือ ใช้กระบวนการทางชีวเคมีในการเปลี่ยนสภาพจากแป้งที่ได้จากมันสำปะหลัง และข้าวโพดให้เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของพลาสติกชีวภาพ [8]



## 2.1.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แบ่งตามวัตถุดิบได้ 2 ชนิด คือ

### 1) แหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้

แหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ ได้แก่ พืชผลทางการเกษตรจำพวก แป้งและน้ำตาล เช่น ข้าวโพด มันฝรั่ง มันสำปะหลัง อ้อย หัวบีท ข้าวสาลีข้าวไรย์ และปาล์ม ในประเทศสหรัฐอเมริกา พืชผลทางการเกษตรหลักที่ใช้ในการผลิตสารตั้งต้น ได้แก่ ข้าวโพด ในขณะที่น้ำตาลจากหัวบีทถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป นอกจากนี้พืชผลทางการเกษตรแล้ว ยังมีการนำผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมนมโค ได้แก่ หางนม (Whey permeate) มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตมอนอเมอร์ (กรดแลคติก) เนื่องจากความต้องการในการลดต้นทุนการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จึงมีการแสวงหามวลชีวภาพประเภทอื่นที่มีศักยภาพและราคาต่ำมาใช้เป็นวัตถุดิบ นอกเหนือจากแป้งและน้ำตาล ได้แก่ เซลลูโลส และลิกโนเซลลูโลซิก ที่มีอยู่ในพืช ซึ่งสามารถนำไปย่อยเป็นน้ำตาลได้ อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีสำหรับการย่อยเซลลูโลส และลิกโนเซลลูโลซิกไปเป็นน้ำตาลในระดับอุตสาหกรรมยังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนา

### 2) แหล่งวัตถุดิบปิโตรเลียม

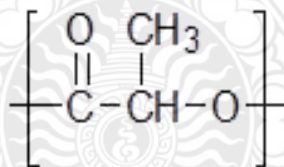
แหล่งวัตถุดิบปิโตรเลียม เช่น น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ แนพธา และถ่านหิน ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ไม่สามารถหาทดแทนได้ และถูกใช้เป็นที่ตั้งให้พลังงานและแหล่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแหล่งวัตถุดิบดังกล่าว นอกจากนี้จะใช้แล้วหมดไป กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้ยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมอีกด้วย แหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่คำนึงถึงการนำไปใช้เป็นแหล่งให้พลังงาน และแหล่งวัตถุดิบในการผลิตวัสดุ โดยเฉพาะวัสดุประเภทพลาสติกเพื่อลดการใช้วัตถุดิบปิโตรเลียมลง นอกจากนี้วัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้สามารถแก้ปัญหาเรื่องการขาดแคลนด้านวัตถุดิบแล้ว ยังช่วยบรรเทาเรื่องผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมด้วย

## 2.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) [9-11]

พอลิแลคติกแอซิด เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเตอร์ที่มีสายโซ่ตรง (Aliphatic polyester) สังเคราะห์ได้จากกรดแลคติก (Lactic acid) ซึ่งกรดแลคติกสามารถผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลีหรืออ้อย จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้ ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถสร้างขึ้นทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง

พอลิแลคติกแอซิดจัดเป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้กันทั่วไป เช่น การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) การขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming) การอัดขึ้นรูป (Compression molding) การอัดรีด (Extrusion) และการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) เป็นต้น

กระบวนการผลิตพอลิแลคติกแอซิด เริ่มต้นจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ โดยการปลูกข้าวโพดซึ่งใช้ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์และน้ำเป็นวัตถุดิบ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ได้ผลผลิตเป็นแป้ง จากนั้นจึงนำเอาแป้งข้าวโพดมาผ่านกระบวนการหมักบ่มโดยใช้จุลินทรีย์เฉพาะ เพื่อย่อยโมเลกุลขนาดใหญ่ของแป้งและน้ำตาลเป็นกรดแลคติก (Lactic acid,  $C_3H_6O_3$ ) ซึ่งใช้เป็นมอนอเมอร์ในขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ สามารถจำแนกได้เป็น 2 กระบวนการที่แตกต่างกันได้แก่ กระบวนการควบแน่น (Polycondensation) และกระบวนการเปิดวง (Ring-opening polymerization) พอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากทั้งสองกระบวนการนี้มีโครงสร้างและสมบัติต่างๆ เหมือนกันทุกประการ โดยผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการแรกจะเรียกว่า พอลิแลคติกแอซิด เนื่องจากกระบวนการนี้เริ่มต้นจากการใช้กรดแลคติกโดยตรงจนได้พอลิเมอร์ในขั้นตอนสุดท้าย ในกระบวนการที่สองจะมีการเปลี่ยนกรดแลคติก โดยปฏิกิริยาการรวมตัวของกรดแลคติก 2 โมเลกุลแล้วเกิดเป็นสารประกอบแบบวงที่มีชื่อว่า แลคไทด์ ก่อน จากนั้นจึงนำเอาวงแหวนแลคไทด์นี้มาสังเคราะห์เป็นสายโซ่ยาวพอลิเมอร์ จึงเรียกชื่อผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์จากกระบวนการนี้ว่า “ พอลิแลคไทด์ ”



## รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของพอลิแลคติกแอซิด [9]

### 2.2.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด

มีลักษณะใสและมีความแวววาวสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้พอลิแลคติกแอซิดมีสมบัติทางกลและสามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานทั่วไปที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดสามารถกักเก็บกลิ่นและรสชาติได้ดี มีความทนทานต่อน้ำมันและไขมันสูง ในขณะที่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ดี มีความทนต่อการกระแทกต่ำ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC)

ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง มีความแข็ง ความคงทนต่อการกระแทก และความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) นอกจากนี้พอลิแลคติกแอซิดยังมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) และสามารถนำไปดัดแปรให้มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) หรือพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ดังนั้นพอลิแลคติกแอซิดจึงสามารถขึ้นรูปและใช้งานได้เช่นเดียวกับพลาสติกโอเลฟินส์ที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี ซึ่งตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของพอลิแลคติกแอซิด เกรดเส้นใย

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด [12]

Physical Properties	Ingeo 6100D
Specific Gravity (g/cm <sup>3</sup> )	1.24
Relative Viscosity <sup>(2)</sup>	3.1
Melt Index (g/10 min at 210°C)	24
Melt Density (g/cm <sup>3</sup> at 230°C)	1.08
Glass Transition Temperature (°C)	55-60
Crystalline Melt Temperature (°C)	165-180
Denier per Filament (g/9000m)	≥0.5
Typical Fiber Properties	
Tenacity (g/d)	3.0-6.0
Elongation (%)	10-70
Modulus (g/d)	55-65
Boiling Water Shrinkage (%)	3-10
Hot Air Shrinkage (% at 130°C, 10 )	3-10

### 2.2.2 การนำพอลิแลคติกแอซิดไปใช้ประโยชน์

พอลิแลคติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติหลากหลายทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายด้าน ได้แก่

1) ด้านการแพทย์ เนื่องจากพอลิแลคติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทำให้สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อ (Biocompatible) และสามารถถูกดูดซึม (Bioresorbable) ได้โดยระบบชีวภาพ (Biological system) ในร่างกาย จึงทำให้พอลิแลคติกแอซิดเป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงสำหรับ



งานทางการแพทย์ และถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือทางการแพทย์มานาน เช่น ไหมเย็บแผล (Sutures) ตัวเย็บแผล (Staples) วัสดุปิดแผล (Wound dressing) อุปกรณ์ฝังในร่างกาย (Surgical implants) อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก (Orthopedic fixation devices) วัสดุสำหรับนำพาหรือปลดปล่อยตัวยา ซึ่งสามารถควบคุมอัตราและระยะเวลาในการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

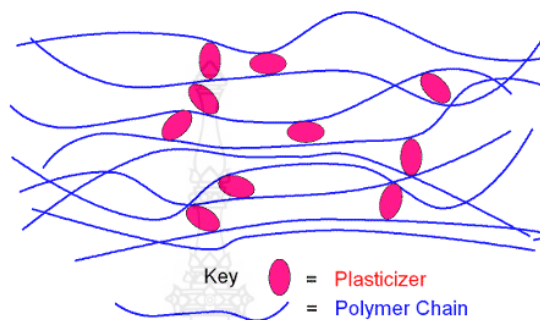
- 2) ด้านการเกษตร เช่น ภาชนะปลูกพืช วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช หรือปุ๋ยตามช่วงเวลาที่กำหนด
- 3) ด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง ภาชนะบรรจุอาหาร ขวดน้ำ กล่องโฟม ถุงพลาสติก फिल्मสำหรับหีบห่อ เม็ดโฟมกันกระแทก ตัวเคลือบภาชนะกระดาษ
- 4) ด้านเส้นใย และแผ่นผ้าแบบผ้าไม่ถักไม่ทอ (Non woven) เช่น ผลิตภัณฑ์อนามัย ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม เส้นใยสำหรับบรรจุในเครื่องนอน
- 5) ด้านยานยนต์ เช่น อุปกรณ์ลดแรงกระแทก (Bumpers) แผ่นรองพื้น (Floor mats) และอุปกรณ์ตกแต่งภายใน
- 6) ด้านอิเล็กทรอนิกส์ และการสื่อสาร เช่น แผ่นซีดี ชิ้นส่วนประกอบในโทรศัพท์เคลื่อนที่ ชิ้นส่วนประกอบในคอมพิวเตอร์
- 7) อื่นๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องเขียน บัตรพลาสติก ผลิตภัณฑ์ใช้ในบ้านเรือน สารเคลือบกระดาษ สารยึดติด ท่อพลาสติกชั่วคราว

### 2.3 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) [13]

พลาสติไซเซอร์ เป็นสารที่ใส่ในพอลิเมอร์หรือผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อลดจุดหลอมที่ทำให้เกิดการไหล (Flexing temperature) ของพลาสติก ทำให้เม็ดพลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดึง รีด ฉาบ หรือหล่อแบบ และมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อกรดด่าง น้ำมันและผงซักฟอก โดยใส่ประมาณ 20-40% พลาสติไซเซอร์จึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นำไปทำประโยชน์ได้มากมาย เช่น นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารมากถึง 65% ของปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์ทั้งหมด ถุงบรรจุเลือด น้ำเกลือ สายยางที่ต่อกับเครื่องมือแพทย์ รองเท้า กระเป๋า เสื้อผ้า กระเบื้องยางปูพื้น สายไฟ เทปพันสายไฟ ท่อน้ำ แท็งก์เก็บสารเคมี

### 2.3.1 กลไกของพลาสติกไซเซชัน (Mechanism of plasticization)

พลาสติกประกอบด้วยโมเลกุลพอลิเมอร์ แต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์โดยที่พลาสติกไซเซชันไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ แต่จะแทรกตัวเองอยู่ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์โดยไปทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์ลดลง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดพลาสติกไซเซชัน [13]

### 2.3.2 ชนิดของพลาสติกไซเซชัน

พลาสติกไซเซชันสามารถแบ่งเป็น

#### 2.3.2.1 โมโนเมอร์พลาสติกไซเซชัน (Monomeric plasticizers) มีอยู่หลายกลุ่ม ได้แก่

1) กลุ่มพทาเลทเอสเทอร์ เป็นกลุ่มที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซชันมากที่สุด เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่คาร์บอกซิเลท 2 หมู่ มีลักษณะเป็นของเหลว มีจุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ เป็นสารที่เสถียรและละลายในไขมันได้ดี พทาเลทเอสเทอร์ที่ผลิตในอุตสาหกรรมมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างพทาสิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride) กับแอลกอฮอล์ มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เช่น กรดซัลฟูริก หรือกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก พทาเลทเอสเทอร์ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซชัน เช่น

- (1) ไดเมทิลพทาเลท (dimethyl phthalate, DMP)
- (2) ไดเอทิลพทาเลท (diethyl phthalate, DEP)
- (3) ไดนอร์มัลบิวทิลพทาเลท (di-n butyl phthalate, DBP)
- (4) บิวทิลเบนซิลพทาเลท (butylbenzyl phthalate, BBP)
- (5) ไดทูเอทิลเฮกซิลพทาเลท (di-(2-ethylhexyl) phthalate, DOP(1))
- (6) ไดนอร์มัลออกทิลพทาเลท (di-n-octyl phthalate, DOP(2))
- (7) ไดไอโซโนนิลพทาเลท (diisononyl phthalate, DINP)

2) กลุ่มอดิเพท (Adipates) และอซีเลท (Azelates) ผลิตจากกรดอดิพิค (Adipic acid) หรือกรดอซีเลอิกกับแอลกอฮอล์ เช่น ไดเอทิลเฮกซิลอดิเพท (Di-2-ethylhexyl adipate, DOA), ไดไอโซเดซิลอดิเพท (Diisodecyl adipate, DIDA) และไดโนนอร์มัลออกทิลเดซิลอดิเพท (Di-n-octyldeceyl adipate, DNODA)

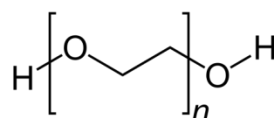
ส่วนกลุ่มอซีเลท เช่น ไดเอทิลเฮกซิลอซีเลท (Di-2-ethylhexyl azelate, DOZ), ไดไอโซออกทิลอซีเลท (Diisooctyl azelate, DIOZ) และไดเฮกซิลอซีเลท (Dihexyl azelate, DHZ) ซึ่งเป็นตัวที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหารเช่นกัน (Octyl diphenyl phosphate)

3) กลุ่มฟอสเฟต มีออกทิลไดเฟนิลฟอสเฟต (Octyl diphenyl phosphate) ตัวเดียวเท่านั้นที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร

2.3.2.2 พอลิเมอร์พลาสติกไซเซอร์ (Polymeric plasticizers) ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไดเบสิก (Dibasic acid) เช่น กรดอดิพิค หรือ กรดอซีเลอิกกับไกลคอล (Glycol) เช่น โพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol) จะได้พลาสติกไซเซอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 20 เท่าของชนิดโมโนเมอร์ริค และจะมีโอกาสหลุดจากพลาสติกได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ๆ และยังทนต่อการละลายของน้ำมันและตัวทำละลาย ส่วนราคาของพอลิเมอร์พลาสติกไซเซอร์นั้นจะสูงกว่าพวกพทาเลทเอสเทอร์ประมาณ 1.5-2 เท่า

## 2.4 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) [14 - 15]

พอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นสารเคมีสังเคราะห์ที่มีความชอบน้ำสูง ทำให้สามารถนำไปผสมกับสารอื่นๆ ให้เพิ่มความชอบน้ำได้ เช่น เครื่องสำอาง ครีม โลชั่น เป็นต้น PEG มีหลายชนิดแตกต่างกันไปตามน้ำหนักโมเลกุล เช่น PEG200, PEG300, PEG400 และ PEG600 เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้มีลักษณะใส เทียบกับ PEG3350, PEG4500 และ PEG8000 ซึ่งมีลักษณะขุ่นคล้ายเวกซ์ การที่น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น ความสามารถในการละลายน้ำ การดูดความชื้น จุดเยือกแข็งเปลี่ยนแปลงไปด้วย



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีนไกลคอล [14]

พอลิเอทิลีนไกลคอลนิยมนำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซอรันพอลิเมอร์ โดยจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทำให้ใช้พลังงานในการหมุนรอบพันธะของโมเลกุลน้อยลง ทำให้พอลิเมอร์มีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดึง รีด ฉาบ หรือหล่อแบบ และยังเป็นตัวรักษาความอ่อนนุ่มไม่ให้เสียไปโดยง่าย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อกรดด่าง น้ำมันและผงซักฟอก

## 2.5 เส้นใย [16]

เส้นใยนั้นเป็นวัสดุหรือสารใดๆ ทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้น ที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 สามารถขึ้นรูปเป็นผ้าได้และต้องเป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของผ้าไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก

### 2.5.1 องค์ประกอบทางเคมีและการเรียงตัวของโมเลกุล

โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่อยู่ในเส้นใยจะมีการเรียงตัวแตกต่างกัน เมื่อแต่ละโมเลกุลมีการเรียงตัวอย่างไร้ทิศทาง (Random) ก็จะทำให้เส้นใยบริเวณนั้นมีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ส่วนในบริเวณที่โมเลกุลมีการเรียงซ้อนขนานอย่างเป็นระเบียบก็จะเป็นผลึก (Crystalline) เกิดขึ้น เส้นใยที่มีความเป็นผลึกมากก็จะมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่มีความเป็นผลึกน้อย อย่างไรก็ตามปริมาณความเป็นผลึกไม่ใช่ปัจจัยที่กำหนดความแข็งแรงของเส้นใย หากรวมไปถึงทิศทางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านี้ด้วย ถ้าโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวอยู่ในทิศทางที่ขนานกับแกนตามความยาวของเส้นใย ก็จะช่วยให้เส้นใยมีความแข็งแรงมาก เนื่องจากโมเลกุลเรียงตัวในทิศทางเดียวกับแรงที่กระทำต่อเส้นใย (ตามความยาว) ทำให้สามารถมีส่วนช่วยในการรับแรงเต็มที่ ในอีกกรณีหนึ่งแม้เส้นใยจะมีบริเวณที่เป็นผลึกมาก แต่มีทิศทางการจัดเรียงตัวที่ไม่ขนานกับแกนตามยาวของเส้นใย โมเลกุลก็ไม่สามารถรับแรงในทิศทางการดึงเส้นใยได้เต็มที่ทำให้มีความแข็งแรงน้อยกว่าในกรณีแรก ดังนั้นในกระบวนการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ จึงต้องมีการดึงยืดเส้นใยที่ออกมาจากหัวฉีด เพื่อเพิ่มความเป็นผลึกโดยการจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบและทำการจัดเรียงโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านี้ให้อยู่ในทิศทางเดียวกับแกนตามยาวของเส้นใย กระบวนการนี้เรียกว่าการดึงยืด (Stretching หรือ Drawing)

### 2.5.2 ประเภทของเส้นใย

การแบ่งประเภทของเส้นใยนั้นสามารถแยกประเภทของเส้นใยได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการแบ่ง แต่ในกรณีนี้จะแบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใยซึ่งจะแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์

### 1) เส้นใยจากธรรมชาติ

- (1) เส้นใยจากพืช ได้แก่ เส้นใยจากเซลลูโลส ซึ่งเป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งได้จากส่วนต่างๆของพืช เช่น ป่าน ปอ ลินิน ไยสับปะรด ไยมะพร้าว ฝ้าย เป็นต้น
- (2) เส้นใยจากสัตว์ ได้แก่ เส้นใยโปรตีน เช่น ขนสัตว์ ไยไหม เป็นต้น
- (3) เส้นใยจากหินแร่ เช่น แร่ใยหิน (Asbestos)

### 2) เส้นใยสังเคราะห์

- (1) เส้นใยพอลิเอสเตอร์ เช่น เทโตรอน เป็นเส้นใยสังเคราะห์พวกพอลิเอสเตอร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Mylar มีประโยชน์ทำเส้นใยทำเชือกและฟิล์ม
- (2) เส้นใยพอลิเอไมด์ เช่น ไนลอน (Nylon) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น ไนลอน 6, 6 ไนลอน 6, 10 ไนลอน 6 ซึ่งตัวเลขที่เขียนกำกับหลังชื่อจะแสดงจำนวนคาร์บอนอะตอมในมอนอเมอร์ของเอมีนและกรดคาร์บอกซิลิก
- (3) เส้นใยอะคริลิก เช่น ใช้ในการทำเสื้อผ้า ผ่านวม พรหม ผ้าม่าน ร่มชายหาด หลังคากันแดด ผ้าขนแกะเทียม เป็นต้น
- (4) เซลลูโลสแอซิเตด ได้แก่ ผลิตเป็นเส้นใยอาร์แนล 60 ผลิตเป็นแผ่นพลาสติกที่ใช้ทำแผงสวิทช์และหุ้มสายไฟ

### 2.5.3 สมบัติของเส้นใย

สมบัติของเส้นใยจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เช่น เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงนำมาทำเป็นผ้าที่มีความทนทานต่อการฉีก เส้นใยที่มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดีเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าที่ต้องสัมผัสผิวของผู้สวมใส่เป็นผ้าเช็ดตัวหรือเป็นผ้าอ้อม เส้นใยมีสมบัติในการไม่ติดไฟหรือดับไฟได้ด้วยตัวเองเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์สำหรับเด็กอ่อน เป็นต้น

### 2.5.4 ความยาวของเส้นใย [17]

ในเส้นใยธรรมชาติโดยทั่วไปเส้นใยจะมีความยาวที่ค่อนข้างแตกต่างกันมากด้วยเหตุผลจากอิทธิพลของธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นดินฟ้า อากาศ น้ำ หรืออาหารในดิน ดังนั้นแม้ว่าจะเป็นเส้นใยฝ้ายที่ปลูกมาพร้อมๆ กันการกระจายของความยาวของเส้นใยก็ยังคงอยู่ในระดับสูงค่อนข้างสูง กล่าวกันว่าค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน หรือ Coefficient Of Variation (C.V.) ของเส้นใยเหล่านี้อาจสูงถึง 40 % ในเส้นใยฝ้ายและถึง 50 – 60 % ในเส้นใยขนสัตว์ โดยเส้นใยสิ่งทอจะแบ่งการเรียกความยาวของเส้นใย ว่าเส้นใยสั้นและเส้นใยยาวด้วยการอ้างอิงเส้นใยธรรมชาติเป็นหลัก ดังนี้



1) เส้นใยสั้น (Staple Fiber) หมายถึง เส้นใยที่มีความยาวสั้นๆ วัดกันด้วยหน่วยที่เป็นนิ้วหรือสัดส่วนของนิ้วไปจนถึงเป็นฟุต เส้นใยธรรมชาติทุกชนิดยกเว้นเส้นใยไหมล้วนแต่เป็นเส้นใยสั้นทั้งสิ้น ในขณะที่เส้นใยสังเคราะห์ทุกชนิดจากกระบวนการผลิตจะเริ่มจากเส้นใยยาวก่อนเสมอจากนั้นจึงถูกส่งต่อเข้าเครื่องตัดให้ได้ความยาวตามต้องการ เส้นใยยาวที่ถูกนำไปตัดเป็นเส้นใยสั้นในโรงงานเส้นใยสังเคราะห์เรียกว่า Filament Tow

2) เส้นใยยาว (Filament) หมายถึง เส้นใยที่มีความยาวมาก ๆ ซึ่งในเส้นใยธรรมชาติมีเพียงเส้นใยไหมเท่านั้นที่จัดเป็นเส้นใยยาวเนื่องจากความยาวของเส้นใยไหมจะมีความยาววัดได้เป็นกิโลเมตร

การผลิตเส้นใยสังเคราะห์โดยหลักการแล้วก็เพื่อใช้ทดแทนเส้นใยธรรมชาติ ดังนั้นหากต้องการใช้งานเพื่อทดแทนขนสัตว์ ฝ้าย หรือ ลินินก็ดี หรือเพื่อต้องการใช้ผสมกับเส้นใยธรรมชาติเหล่านี้ เส้นใยสังเคราะห์จะถูกผลิตในรูปแบบของเส้นใยสั้น แต่หากวัตถุประสงค์นั้นเป็นไปเพื่อใช้ทดแทนเส้นใยไหมหรือลอกเลียนสมบัติเส้นใยไหม เส้นใยสังเคราะห์ก็จะถูกผลิตมาในรูปแบบของเส้นใยยาวโดยใช้ทำเป็นเส้นด้ายชนิดเส้นใยเดี่ยว (Mono filament) หรือเส้นใยยาวควบตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป (Multi filament)

#### 2.5.5 ขนาดของเส้นใย

ขนาดของเส้นใยมีผลต่อสมรรถนะการใช้งานและสมบัติทางผิวสัมผัส (Hand Properties) เส้นใยที่มีขนาดใหญ่จะให้ความรู้สึกที่หยาบและแข็งของเนื้อผ้า แต่ในขณะเดียวกันก็ให้ความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยชนิดเดียวกันที่มีขนาดเล็กกว่า ผ้าที่ทำจากเส้นใยที่มีขนาดเล็กหรือมีความละเอียดก็จะให้ความนุ่มต่อสัมผัสและจัดเข้ารูป (Drape) ได้ง่ายกว่าเส้นใยธรรมชาตินั้น มักมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ คุณภาพของเส้นใยธรรมชาติมักจะวัดจากความละเอียดของเส้นใย เส้นใยที่มีความละเอียดมาก (ขนาดเล็ก) จะมีคุณภาพที่ดีกว่า การวัดความละเอียดมักวัดจากเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย (ภายใต้กล้องจุลทรรศน์) ในหน่วยของไมโครเมตร ( $1 \mu\text{m}$  เท่ากับ  $1/1000 \text{ mm}$ .)

สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ที่ผลิตในอุตสาหกรรม ขนาดของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ขนาดของรูในหัวฉีด (Spinneret holes) การดึงยืดขณะที่ปั่นเส้นใยและหลังการปั่นเส้นใย รวมไปถึงปริมาณและความเร็วของการอัดน้ำพลาสติกผ่านหัวฉีดในกระบวนการปั่นเส้นใย เส้นใยสังเคราะห์ที่ได้สามารถควบคุมความสม่ำเสมอได้ดีกว่าเส้นใยธรรมชาติแต่ก็ยังมีส่วนที่ไม่สม่ำเสมอบ้างเนื่องจากความไม่คงที่ (Irregularity) ของกระบวนการผลิตหน่วยที่มักใช้วัดความละเอียดของเส้นใยสังเคราะห์คือ ดีเนียร์และเท็กซ์

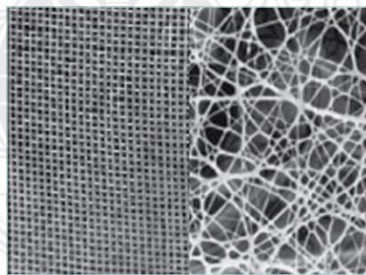
1) ดีเนียร์ (Denier) เป็นหน่วยการวัดขนาดของเส้นใย เป็นน้ำหนักในหน่วยกรัมของเส้นใยที่มีความยาว 9,000 เมตร เส้นใยที่มีค่าดีเนียร์ต่ำจึงมีความละเอียดมากกว่า เส้นใยที่มีค่าดีเนียร์สูงเนื่องจากมีน้ำหนักน้อยกว่าในความยาวที่เท่ากัน

2) เท็กซ์ (Tex) เป็นหน่วยการวัดขนาดเส้นใยคล้ายกับดีเนียร์ แต่เป็นน้ำหนักในหน่วยของเส้นใยที่มีความยาว 1,000 เมตร

ดีเนียร์ต่อฟิลาเมนต์ (Denier Per Filament, DPF) เป็นค่าที่วัดความละเอียดของเส้นใยที่อยู่ในเส้นด้ายซึ่งมีจำนวนเส้นใยตั้งแต่ 2 ขึ้นไป ดังนั้นค่าดีเนียร์ต่อฟิลาเมนต์จึงเท่ากับดีเนียร์ของฟิลาเมนต์นั้นหารด้วยจำนวนฟิลาเมนต์หรือจำนวนเส้นใยทั้งหมด โดยทั่วไปเส้นใยที่ใช้สำหรับเสื้อผ้ามีขนาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 7 ดีเนียร์

## 2.6 ผ้าไม่ถักไม่ทอ (Nonwoven) [18]

ผ้าไม่ถักไม่ทอคือ ผ้าที่เกิดจากการขึ้นรูปจากเส้นใยโดยตรง ซึ่งแตกต่างจากผ้าทอหรือผ้าถัก โดยทั่วไปที่มีการขึ้นรูปเส้นใยให้เป็นเส้นด้ายก่อนแล้วจึงนำไปขึ้นรูปเป็นผ้า ดังนั้นถ้าเรานำเอาแผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอมาส่องกล้องขยายดูโครงสร้างกัน จะเห็นเป็นเส้นใยพาดสานกันไปมาในทุกทิศทางอย่างไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างในผ้าทอ (ซ้าย) และผ้าไม่ถักไม่ทอ (ขวา) [18]

ผ้าไม่ถักไม่ทอมีข้อเด่นคือ สามารถออกแบบให้มีลักษณะและสมบัติที่หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกันไป ซึ่งลักษณะและสมบัติที่หลากหลายของผ้าไม่ถักไม่ทอนี้เกิดจากการเลือกใช้เส้นใยที่มีอยู่หลากหลายชนิดทั้งเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์ผสมผสาน

กับกระบวนการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอที่สามารถทำได้หลายเทคนิค ผ้าไม่ถักไม่ทอมีกระบวนการผลิตรวดเร็ว ผลิตได้ในปริมาณมากและต้นทุนการผลิตต่ำจึงสามารถใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง (disposable) ได้ ขั้นตอนการผลิตผ้าไม่ถักไม่ทอ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ

1) การขึ้นรูปแผ่น (Web formation) เป็นขั้นตอนการกระจายและโรยเส้นใยลงบนวัสดุรองรับเพื่อทำให้เป็นแผ่น (Web) โดยเส้นใยที่ใช้อาจอยู่ในรูปเส้นใยโดยตรง ((Dry-laid) และเว็ทเลด (Wet-laid)) หรือทำการขึ้นรูปเส้นใยจากเม็ดพลาสติกแล้วจึงโรยขึ้นรูปเป็นแผ่น (เทคนิคการปั่นหลอม (Melt spinning)) เส้นใยที่ใช้สำหรับเทคนิคทราย-เลด และเว็ท-เลด ส่วนใหญ่จะเป็นเส้นใยสั้น โดยใช้ลมและน้ำ (ตามลำดับ) เป็นตัวกลางในการกระจายเส้นใยลงบนวัสดุเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอ ส่วนเทคนิคการปั่นหลอม (Melt spinning) คือ ใช้เส้นใยยาวที่ขึ้นรูปจากเม็ดพลาสติกที่ถูกหลอมเหลวและอัดผ่านหัวฉีดจะถูกโรยอย่างต่อเนื่องลงบนสายพานที่เคลื่อนที่เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอ

2) การยึดเส้นใยในแผ่น (Bonding process) เป็นขั้นตอนการยึดตรึงเส้นใยในแผ่นไว้ด้วยกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแผ่น สามารถทำได้โดยวิธีต่างๆ ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะและความแข็งแรงของแผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอที่ได้ ดังนี้

(1) วิธีการเชื่อมยึดด้วยความร้อน (Thermal bonding) เช่น ใช้ลูกกลิ้งร้อน (Hot calendars) และลมร้อน (Hot air) เพื่อให้บางส่วนของเส้นใย (หรือเม็ดพลาสติก) มีการหลอม และยึดติดกันภายหลังทำให้เย็นตัวลง การใช้ลูกกลิ้งร้อนจะทำให้แผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นแบนที่มีความแข็งแรงแตกต่างกัน ซึ่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสของลูกกลิ้งร้อนบนแผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอ หากลูกกลิ้งที่ใช้เป็นลูกกลิ้งเรียบซึ่งสัมผัสผ้าไม่ถักไม่ทอทั่วทั้งแผ่นก็จะทำให้ได้แผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอที่แบบเรียบ มีความแข็งแรงสูง หากใช้ลูกกลิ้งที่มีพื้นที่สัมผัสน้อยลง เช่น เป็นลายนูนก็จะทำให้มีการยึดตรึงเส้นใยเฉพาะตำแหน่ง ผ้าไม่ถักไม่ทอที่ได้ก็จะมีความฟูมากขึ้น มีสัมผัสและการโค้งงอที่ดีขึ้น แต่ความแข็งแรงน้อยลง เช่นเดียวกับในกรณีที่ใช้ลมร้อนแทนการใช้ลูกกลิ้งจะทำให้ได้แผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอที่มีลักษณะฟูมากขึ้น มีสัมผัสความนุ่มและโค้งงอได้มากขึ้น แต่ความแข็งแรงก็น้อยลงเช่นกัน ดังนั้นเทคนิคที่เลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับลักษณะและสมบัติของผ้าไม่ถักไม่ทอที่ต้องการ

(2) วิธีการเชื่อมยึดด้วยเคมี (Chemical bonding) เช่น ใช้กาบทั้งในรูปของสารละลาย



ลายทาบ โฟมทาบ หรือสเปร์ยทาบ ในการเชื่อมยึดเส้นใยผ้าไม่ถักไม่ทอที่ทำการยึดด้วยสารละลายทาบ จะมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบแบนและแข็ง ในขณะที่ผ้าไม่ถักไม่ทอที่ใช้โฟมทาบหรือสเปร์ยทาบจะมีความหนาฟูมีความนุ่มและคืนตัวได้ดี

(3) วิธีการเชื่อมยึดด้วยกระบวนการทางกล (Mechanical bonding) เช่น ใช้การปักด้วยเข็มปัก (Needle punching) และการปักด้วยเข็มน้ำ (Hydroentanglement) เป็นต้น ผ้าไม่ถักไม่ทอที่ใช้เทคนิคปักด้วยเข็มปักส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแผ่นหนาและแข็ง มีความแข็งแรงสูง ในขณะที่ผ้าไม่ถักไม่ทอที่ใช้เข็มน้ำในการยึดเส้นใยจะมีความนิ่มคล้ายผ้า

3) การตกแต่งสำเร็จ (Finishing process) เป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อเพิ่มลักษณะและสมบัติพิเศษอื่นๆ ให้แผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอ เช่น การย้อมสี เพิ่มความนุ่ม กลิ่นหอม สัมผัสความนูน สมบัติหน่วงไฟ ป้องกันไฟฟ้าสถิต เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้โดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี

## 2.7 พรอม

พรอมเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ปูพื้นตามสถานที่ต่างๆ ที่ต้องการความสวยงามหรูหรา และบ่งบอกถึงควมมีรสนิยมของผู้ใช้ อาทิ ตามโรงแรม กภัตตาคาร สำนักงาน สถานบันเทิง ที่อยู่อาศัย และในรถยนต์ โดยประเภทของพรอมจะแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทได้แก่

1) พรอมทอมือ (Hand Tufted Carpet) ซึ่งส่วนใหญ่จะทอจากขนแกะ การทอลวดลายจะมีความสวยงามลายนูนเด่นชัด แต่มีราคาค่อนข้างแพง ส่วนใหญ่มักใช้ตกแต่งภายในโรงแรม บ้านเรือนที่อยู่อาศัย รวมทั้งส่งออกจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ ข้อดีของพรอมทอมือ คือมีความละเอียดลวดลายปราณีต

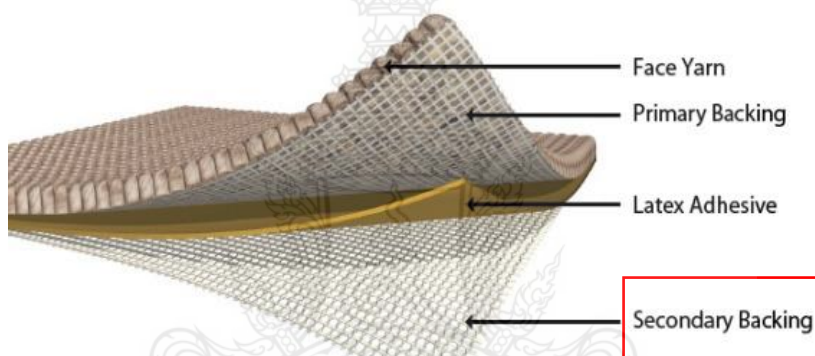
2) พรอมทอเครื่อง (Machine Tufted Carpet) ทอจากเส้นใยสังเคราะห์ ส่วนใหญ่มีลวดลายเป็นรูปทรงเรขาคณิตซ้ำๆ กัน พรอมทอเครื่องจะมีราคาต่ำกว่าพรอมทอมือ นิยมใช้ในโรงแรม กภัตตาคาร สำนักงาน ที่อยู่อาศัย รวมทั้งในรถยนต์ ข้อดีของพรอมทอเครื่อง คือ ไม่เห็นรอยต่อ มีความสวยงาม หุรรูหามีอายุการใช้งาน 7-10 ปีขึ้นอยู่กับการใช้งาน และวัสดุที่ใช้

3) พรอมอัด (Needle Punch Carpet) ผลิตขึ้นจากเส้นใยสังเคราะห์ หรือเศษของเส้นใยสังเคราะห์ นำมาอัดซ้ำๆ กันเพื่อให้พรอมแน่นทำออกมาเป็นแผ่น ซึ่งจะมีความทนทานดีแต่มีราคาต่ำกว่าสองประเภทแรก ส่วนใหญ่จะใช้ในรถยนต์หรือตามภัตตาคาร สถานบันเทิงต่างๆ รวมทั้งงานแสดงสินค้าที่มีคนมาใช้บริการเป็นจำนวนมาก ข้อดีของพรอมอัด คือ ติดตั้งง่าย ราคาไม่แพง ชับเสียงได้ดี และมีอายุการใช้งาน 2-5 ปีขึ้นอยู่กับการใช้งาน

โดยพรมขนสัตว์นิยมทอโดยใช้มือ เป็นพรมทอมือ ส่วนพรมเส้นใยสังเคราะห์นิยมทอด้วยเครื่องจักร เมื่อทอออกมาเป็นผืนแล้วความแตกต่างของพรมขนสัตว์และพรมเส้นใยสังเคราะห์ จะแตกต่างกันดังนี้ พรมขนสัตว์มีความนุ่มกว่า สวยงามกว่า เก็บเสียงและเก็บความร้อนได้ดีกว่า ส่วนพรมเส้นใยสังเคราะห์ มีความกระด้างกว่า สัมผัสได้ด้วยมือ ความกระด้างนี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของเส้นใยสังเคราะห์ที่ใช้ผลิตพรมด้วย

### 2.7.1 ส่วนประกอบของพรม

พรมส่วนใหญ่ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ ขนพรม (Face yarn) แผ่นรองพรมชั้นที่ 1 (Primary backing) สารช่วยยึดติด (Adhesive) และ แผ่นรองพรมชั้นที่ 2 (Secondary backing) ดังรูปที่ 2.6



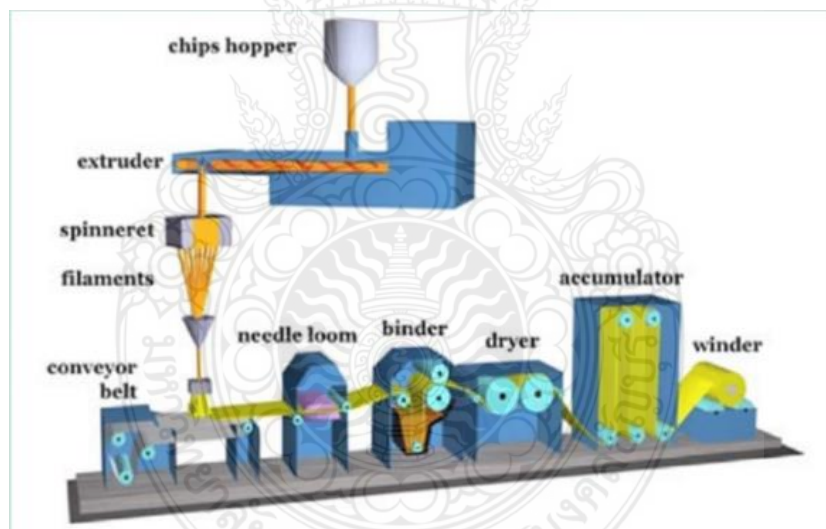
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของพรม [19]

- 1) ขนพรม (Face yarn) อาจเป็นวัสดุที่มาจากธรรมชาติหรือวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้ ไนลอน พอลีเอสเตอร์และโอเลฟิน
- 2) แผ่นรองพรมชั้นที่ 1 (Primary backing) เป็นผ้าทอหรือผ้าไม่ถักไม่ทอ ส่วนใหญ่ผลิตจากพอลิโพรพิลีน โดยส่วนของแผ่นรองพรมชั้นที่ 1 จะถูกเย็บติดกับขนพรม
- 3) สารช่วยยึดติด (Adhesive) โดยทั่วไปที่ใช้คือ น้ำยาง หรือพลาสติก เป็นต้น ทำหน้าที่ยึดส่วนของขนพรมกับแผ่นรองพรมชั้นที่ 1 และแผ่นรองพรมชั้นที่ 2 ไว้ด้วยกัน
- 4) แผ่นรองพรมชั้นที่ 2 (Secondary backing) โดยทั่วไปจะเป็นผ้าทอหรือผ้าไม่ถักไม่ทอ ที่ผลิตจากพอลิโพรพิลีน แผ่นรองพรมชั้นที่ 2 จะถูกเคลือบติดกับแผ่นรองพรมชั้นที่ 1 โดยใช้ตัวประสาน แผ่นรองพรมชั้นที่ 2 ช่วยเพิ่มเสถียรภาพเกี่ยวกับขนาดให้กับพรมและทำให้การเลื่อน

ง่ายขึ้นในขณะที่พรมถูกยึดระหว่างการติดตั้ง โดยแผ่นรองพรมชั้นที่ 2 จะช่วยยืดอายุการใช้งานของพรม และสามารถดูดซับเสียงได้

## 2.8 กระบวนการสปันบอนด์ (Spunbond process) [20]

กระบวนการนี้ใช้ผลิตผ้าไม่ถักไม่ทอ (Nonwovens) โดยการขึ้นรูปเส้นใยจากเม็ดพลาสติกโดยตรง ด้วยการหลอมเม็ดพลาสติกด้วยเครื่องหลอมอัดรีด (Extruder) แล้วทำการอัดพอลิเมอร์หลอมผ่านหัวฉีดเส้นใย (Spinneret) เพื่อให้เป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง โรยลงบนสายพานเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่น ดังรูปที่ 2.7 เทคนิคที่ใช้ในการยึดเส้นใยในแผ่นส่วนใหญ่เป็นเทคนิคการเชื่อมยึดด้วยความร้อน การเชื่อมยึดด้วยเคมี และการปักด้วยเข็มน้ำ ผ้าไม่ถักไม่ทอที่ได้จะลักษณะที่หลากหลายตั้งแต่เบาบางและโค้งงอได้ไปจนถึงแผ่นที่หนาหนักและแข็ง ผ้าไม่ถักไม่ทอที่ได้จากการผลิตโดยวิธีนี้จะมีค่าการทนต่อแรงดึง แรงฉีกสูง และบาง ตัวอย่างการใช้งานได้แก่ พื้นพรม (Carpet backing) ผ้าที่ใช้ในงานธรณี (Geotextiles) เสื้อผ้าป้องกัน (Protective Apparel) ใส้กรอง เป็นต้น



รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตผ้าไม่ถักไม่ทอแบบสปันบอนด์ [20]

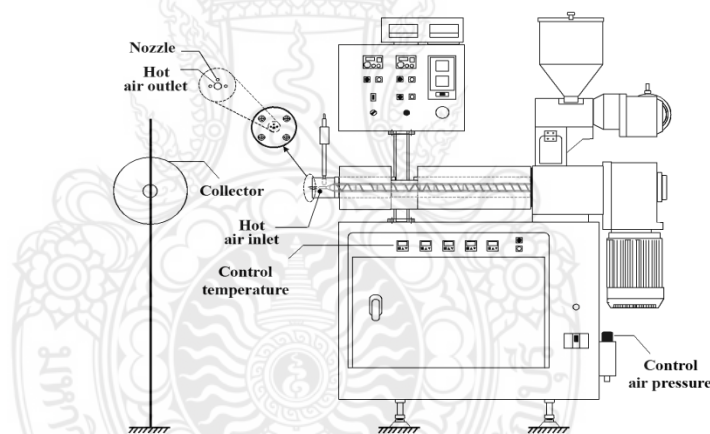
## 2.9 กระบวนการคอตตอน แคนดี้ (Cotton Candy Process) [21]

กระบวนการคอตตอน แคนดี้เป็นกระบวนการผลิตแผ่นเส้นใยหรือที่เรียกว่าผ้าไม่ถักไม่ทอที่มีลักษณะคล้ายขนมหวานที่ผลิตมาจากน้ำตาลจึงเรียกกระบวนการคอตตอน แคนดี้ สำหรับกระบวนการคอตตอน แคนดี้ เป็นวิธีการปั่นด้ายแบบใหม่ที่ใช้

เครื่องปั่นหลอมแบบพ่น (Melt jet spinning) รุ่น SR-Runder bambi สามารถผลิตเส้นใยได้ในขนาดไมโครเมตร และนาโนเมตร ซึ่งผลิตได้ในปริมาณที่มาก จึงเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมและไม่ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าสูงในกระบวนการ ทำให้ประหยัดพลังงาน พอลิเมอร์จะถูกหลอมเหลวด้วยความร้อนและถูกอัดรีดด้วยสกรู จากนั้นมันจะเคลื่อนไปยังหัวฉีดที่มีการออกแบบให้มีรูเล็ก เมื่อพอลิเมอร์หลอมเหลวถูกอัดรีดมายังหัวฉีดมันจะ ถูกยึดให้กลายเป็นเส้นใยด้วยแรงดันลมร้อนและเคลื่อนที่ไปยังอุปกรณ์เก็บตัวอย่างด้วย

ข้อดีของกระบวนการคอตตอน แคนดี้ โดยเครื่องปั่นหลอมแบบพ่น คือ

- 1) ไม่ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำให้พอลิเมอร์เหลวกลายเป็นเส้นใยขนาดนาโนเมตร
- 2) ได้ผลิตภัณฑ์ในปริมาณสูงมากกว่า 50 กรัมต่อ 10 นาที
- 3) สามารถใช้กับพอลิเมอร์เชิงพาณิชย์เป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยนาโนได้
- 4) สามารถใช้ได้กับไฟ 220 โวลต์
- 5) สกรูมีลักษณะพิเศษทำให้การผสมดีกว่าสกรูปกติ



รูปที่ 2.8 เครื่องปั่นหลอมแบบพ่น (Melt jet spinning) รุ่น SR-Runder bambi [21]

## 2.10 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.10.1 การทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM) [22]

SEM ประกอบด้วยลำอิเล็กตรอนต้องเป็นลำแสงที่มีพลังงานเดียว (ความยาวคลื่นเดียว) การออกแบบปืนยิงอิเล็กตรอนที่ใช้กับเครื่อง SEM เหมือนกับในเครื่อง TEM คือมีขดลวดทั้งสแตนรูปตัว V เป็นแหล่งกำเนิดแสง ความละเอียดของเครื่องได้รับเมื่อลำแสงอิเล็กตรอนมีความแคบสูงสุด แหล่งกำเนิด

แสงใช้เลนชานัมเฮกซะไบโรด์ (Lanthanum Hexaboride) สำหรับงานทางด้านพอลิเมอร์ ความละเอียดจะมีขีดจำกัด เนื่องจากความร้อนของลำอิเล็กตรอนอาจทำลายผิวหน้าของชิ้นงานที่ได้รับหลังจากการทดสอบแรงดึง หรือแรงกระแทก นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นต้องเคลือบชิ้นงานพอลิเมอร์ซึ่งไม่นำไฟฟ้าด้วยตัวนำไฟฟ้า เช่น คาร์บอน และทองคำ

ลำอิเล็กตรอนถูกกระตุ้นเหมือนในเครื่อง TEM โดยการยิงขดลวดติดกับศักย์ไฟฟ้าที่มีความเป็นลบสูง โดยทั่วไปค่าความเป็นลบอยู่ในช่วง 1 ถึง 5 กิโลโวลต์ ชิ้นงานหรืออาโนดถูกยึดไว้กับศักย์ไฟฟ้าที่เป็นศูนย์ลำอิเล็กตรอนผ่านรูอาโนด และถูกโฟกัสลงบนชิ้นงานโดยใช้เลนส์หรือระบบเลนส์ตรงเท่าที่ลำอิเล็กตรอนตกกระทบบนผิวของชิ้นงาน ปฏิสัมพันธ์ที่อธิบายไว้ข้างต้นจะเกิดขึ้น เครื่องรับสัญญาณต่างๆ ถูกจัดเรียงในห้องตัวอย่าง (Specimen Chamber) สำหรับการวัดสัญญาณแต่ละชนิดซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะตัวของบริเวณที่ชิ้นงานอยู่ภายใต้การบอมบาร์ด (Bombardment) ลำอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่เหนือชิ้นงานโดยการใช้สนามแม่เหล็ก ค่าต่างๆ ที่ได้จากการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าของขดลวดกวาดสัญญาณ Scan Coil เมื่อลำอิเล็กตรอน เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่คุณลักษณะของสัญญาณที่ถูกวัดโดยเครื่องรับสัญญาณต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป และแสดงผลออกมาในรูปของสัญญาณที่ถูกวัดโดยเครื่องรับสัญญาณต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป และแสดงผลออกมาในรูปของความคมชัดของภาพ ในเครื่อง SEM ลำอิเล็กตรอนถูกผลิตและเคลื่อนที่ผ่านผิวหน้าของชิ้นงานคล้ายหลักการการทำงานของแสงในจอภาพโทรทัศน์เวลาไม่มีภาพ (TV Raster) ซึ่งแสดงสัญญาณออกมาเป็นเส้นในแนวนอน ทีละเส้นๆ ภายใต้คำสั่งของขดลวดกวาดสัญญาณซึ่งถูกควบคุมคำสั่งโดย “เครื่องส่งกราดเจนเนอเรเตอร์” (Scan Generator) สัญญาณที่วัดได้จากเครื่องตรวจรับแต่ละตัวเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องพร้อมๆ กับการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเฉพาะตัวของผิวซึ่งถูกตรวจสอบโดยอิเล็กตรอน สัญญาณซึ่งถูกปรับอย่างเหมาะสมถูกใช้เพื่อควบคุมความคมชัดของจุดบนหลอดคาโทด (Cathode Ray Tube; CRT) การส่งกราดสัญญาณด้วยคาโทดถูกควบคุมโดยเครื่องส่งกราดเจนเนอเรเตอร์ตัวเดิม ซึ่งควบคุมตำแหน่งของลำแสงใน SEM ดังนั้นความเกี่ยวข้องระหว่างชิ้นงานและรูปภาพจาก CRT เกิดขึ้น โดยทั้งสัญญาณจากเครื่องรับสัญญาณเพียงตัวเดียวจะถูกแสดงออกมา แต่ในบางเครื่องมีอาจมีการแสดงภาพจากเครื่องรับสัญญาณมากกว่าหนึ่งเครื่องพร้อมๆ กัน หรือผสมสัญญาณกันก็ได้

#### 2.10.2 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) [23]

Optical Microscope เป็นกล้องจุลทรรศน์รูปแบบหนึ่งที่ใช้แสงเป็นตัวช่วยในการทำให้มองเห็นภาพ โดยแสงจะวิ่งผ่านระบบเลนส์ต่างๆ และมีการส่งไปที่วัตถุก่อนที่แสงผ่านเข้าสู่สายตา ซึ่งแสงที่อยู่ในระบบที่สะท้อนกลับเข้าสู่สายตาก็จะทำให้เห็นภาพได้โดยการมองผ่านเลนส์ Eyepiece



กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง มีหลายชนิดซึ่งส่วนใหญ่จะถูกแบ่งไปตามลักษณะการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น Biological Microscope สำหรับงานทางด้านชีววิทยา Metallogical Microscope สำหรับงานทางด้านโลหะ Stereo Microscope สำหรับงานอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ซึ่งจากการที่เราสามารถมองเห็นวัตถุจากแสงที่วิ่งสู่สายตาเรา ทำให้สามารถใช้กล้องต่างๆ มาช่วยในการถ่ายภาพได้ ซึ่งกล้องส่วนใหญ่ที่นำมาใช้จะเป็น กล้อง CCD หรือ กล้อง Digital ลักษณะตัวอย่างที่ทำการทดสอบ โดยชิ้นงานมีขนาดเล็กพอที่จะวางลงบนแท่นวางวัตถุได้ ซึ่งชิ้นงานจะผ่านการเจียรนัย (Grinding) การขัดเงา (Polishing) และการกัดกร่อน (Etching) สำหรับการประยุกต์ใช้งานจะใช้คุณลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานในรูปแบบสองมิติโดยสามารถกำหนดกำลังขยายตามความต้องการได้

## 2.11 การทดสอบสมบัติทางความร้อน [24]

ในการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบวัสดุโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนรูปผลึก การเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น โดยที่พื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่างในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานอะลูมิเนียมที่อยู่ภายในเตาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ โดยภายในเตาจะมีสารอ้างอิงซึ่งเป็นจานอะลูมิเนียมเปล่า เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างภายใต้สภาวะเดียวกัน

ความร้อนที่ไหลสารตัวอย่าง (heat flow) มีค่าสอดคล้องกับพลังงานที่ให้สารตัวอย่าง และถูกวัดในหน่วยมิลลิวัตต์ (milliwatts, mW) เมื่อนำค่าพลังงานมาคูณด้วยเวลา ผลลัพธ์ที่ได้คือปริมาณพลังงานที่ถูกแสดงในหน่วย มิลลิวัตต์วินาที (mW.s) หรือ มิลลิจูลล์ (mJ) พลังงานที่ให้สารตัวอย่างมีค่าสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy) ของสารตัวอย่าง เมื่อสารตัวอย่างดูดพลังงาน เราเรียกว่า เอนทัลปี (Enthalpy) มีการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน (Endothermic) และเมื่อสารตัวอย่างคายพลังงาน เราเรียกว่า เอนทัลปี (Enthalpy) มีการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน (Exothermic) เมื่อสารตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหลอมเหลว (Melting Furnace) ต้องให้ความร้อนแพนตัวอย่าง (Sample Pan) มากกว่าที่ให้แพนอ้างอิง (Reference Pan) เพื่อที่จะคุมอุณหภูมิของแพนตัวอย่างและแพนอ้างอิง ให้เท่ากัน ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยังแพนตัวอย่างมากกว่าหรือน้อยกว่าที่ถูกส่งผ่านไปยังแพนอ้างอิงนั้น ขึ้นอยู่กับว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นเป็น

แบบ Exothermic หรือแบบ Endothermic โดยทั่วไป Differential Scanning Calorimetry เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ตั้งแต่ในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อากาศยาน ไปจนถึงอาหารและยา โดยถูกนำไปประยุกต์ใช้ ทั้งสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ และสำหรับงานวิจัย ตัวอย่างของข้อมูลที่สามารถวัดได้จากการใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry คือ จุดหลอมเหลว (Melting Point) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, Tg) จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (Reaction Kinetics) ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Stability) หรือ ความบริสุทธิ์ (Purity) และการคำนวณร้อยละความเป็นผลึก (Percent Crystallinity) ดังสมการที่ 2.1

$$\%X_c = (\Delta H_m / \Delta H_m^0) \times 100 \quad (2.1)$$

$\Delta H_m$  แทน เอนทาลปีของการหลอม

$\Delta H_m^0$  แทน เอนทาลปีการหลอมของพอลิเมอร์ที่ปริมาณผลึก 100 เปอร์เซ็นต์

## 2.12 การทดสอบสมบัติทางเชิงกล

2.12.1 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึงของเส้นใย (Tensile Strength) โดยมาตรฐาน ASTM D3822 01 [25]

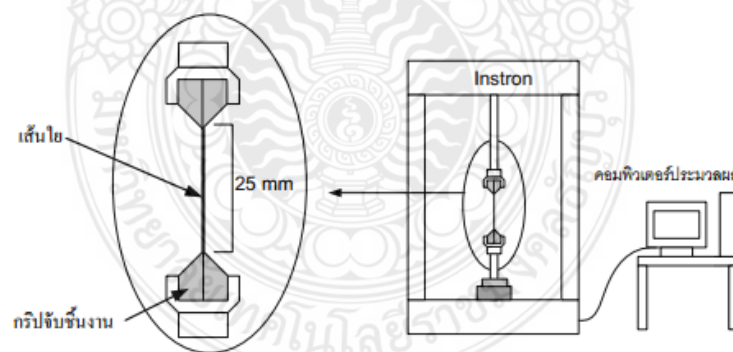
การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง หมายถึง การวัดความสามารถในการรับแรงของวัสดุด้วยการใช้แรงดึง และหาระยะที่ยืดออกไปก่อนที่วัสดุจะแตกหัก

ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) เป็นการทดสอบความทนทานแรงดึง โดยให้แรงดึงกับชิ้นงานทดสอบที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์สามารถทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก โดยอาศัยทอม 2 ทอมที่สัมพันธ์กัน คือ ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ความเค้น คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่าง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นลักษณะที่ขึ้นกับเวลา อัตราเร็วที่ความเค้นหรือแรงถูกให้กับตัวอย่างจึงมีผลต่อการยืดของตัวอย่างหรือความเครียดเป็นอย่างมาก เช่น เมื่อนำตัวอย่างประเภทเส้นใยหรือผ้าไม่ถักไม่ทอมาทดสอบ โดยใช้แรงดึงอย่างรวดเร็วจนทำให้เส้นใยหรือผ้าไม่ถักไม่ทอขาดออกโดยง่ายแต่เมื่อใช้แรงขนาดเดิมแต่ดึงอย่างช้า ๆ จะทำให้เส้นใยหรือผ้าไม่ถักไม่ทอยืดออกและทนต่อแรงดึงอยู่ได้นานก่อนที่จะขาดในทางปฏิบัติทั่วไป

โดยสมบัติของเส้นใยหรือผ้าไม่ถักไม่ทอที่ประกอบเป็นเส้นด้ายหรือแผ่นผ้าจะมีความสำคัญต่อการใช้งานและสมบัติทางความสวยงาม ซึ่งการปรับเปลี่ยนเส้นใยหรือผ้าไม่ถักไม่ทอ

เหล่านี้อาจปรับปรุงสมบัติได้ ในระหว่างการพัฒนา การทดสอบแรงดึงมักจะถูกดำเนินการเพื่อประเมินสมบัติทางกลของวัสดุหลายประเภทเพื่อศึกษาว่าสมบัติมีการเปลี่ยนแปลงเช่นไร การทดสอบแรงดึงจะถูกดำเนินการในระหว่างกระบวนการผลิตเพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพว่าวัสดุยังมีสมบัติตามข้อกำหนดและลดเศษวัสดุที่ไม่จำเป็น ซึ่งการเลือกใช้กรีปนั้นมีความสำคัญเนื่องจากจะช่วยให้ทางสามารถติดตั้งและนำชิ้นงานออกได้อย่างสะดวก ในบางกรณีการสร้างแถบวัสดุที่บริเวณปลายด้วยเทปจะช่วยให้ติดตั้งชิ้นงานได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีขนาดเล็กที่ยากต่อการมองเห็นด้วยตาเปล่า หากเลือกใช้กรีปได้อย่างเหมาะสม การเลื่อนหลุดหรือการเสียหายของชิ้นงานบริเวณจับยึดจะไม่เกิดขึ้น โดยเส้นใยเดี่ยวแต่ละเส้นจะมีความเปราะและสามารถเสียหายได้ที่แรงต่ำ การเลือกใช้โพลีเซลล์ที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถได้ผลการทดสอบที่มีความถูกต้อง จะมีกรีปหลายประเภทที่เหมาะสมต่อการทดสอบ

นอกจากนี้ยังช่วยคงแนวศูนย์ในการทดสอบของชิ้นงาน โดยการทดสอบการดึงจนขาดที่ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่ออนาที ทำการจับเส้นใยหรือผ้าไม่ถักไม่ทอกับกรีปจับชิ้นงานให้เส้นใยมีความยาวที่ 25 มิลลิเมตร และเส้นใยหรือผ้าไม่ถักไม่ทอจะถูกดึงโดยเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (UTM, Instron Model 8872) แสดงดังรูป 2.9 ซึ่งค่าแรงดึงและการยืดตัวจะถูกบันทึกเมื่อมีแรงกระทำกับเส้นใยหรือผ้าไม่ถักไม่ทอ



รูปที่ 2.9 การทดสอบความทนทานแรงดึงของเส้นใย [25]



## 2.12.2 การทดสอบความต้านแรงดันทะลุ (Bursting Strength Test, BT) [26]

การทดสอบความต้านแรงดันทะลุเป็นการทดสอบหาความแข็งแรงของผ้าโดยการ ใช้ของเหลวหรือโลหะกลมดันขึ้นทดสอบให้เกิดโป่งพองขึ้นจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบขาดแบบทะลุ ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้ทดสอบกับผ้าที่ไม่สามารถกำหนดแนวหรือทิศทางทดสอบได้ชัดเจนและ แน่นอนได้ ผ้าที่นิยมทดสอบด้วยวิธีนี้ได้แก่ ผ้าถักผ้าไม่ทอและผ้าเคลือบ เป็นต้น

### 1) การทดสอบความแข็งแรงของผ้าต่อแรงดันทะลุแบบมุลเลน

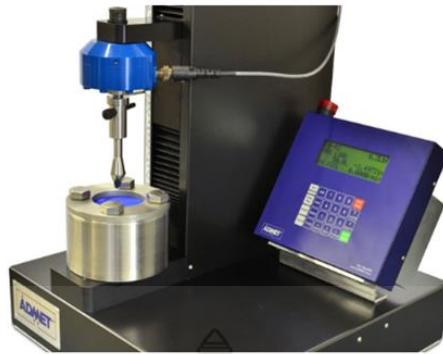
ชิ้นทดสอบถูกขึงให้ตึงอยู่บนแผ่นไดอะเฟรมที่เป็นยางซึ่งสามารถขยายตัว ได้ เมื่อถูกดันด้วยของเหลวและเมื่อผ้าถูกดันทะลุจนขาด ความดันของของเหลวจะลดลงเพื่อให้ ไดอะเฟรมยุบตัวลง และความแข็งแรงของผ้าต่อแรงดันทะลุ จะเท่ากับค่าของความดันที่ทำให้ผ้าเกิด การทะลุด้วยความดันส่วนที่ทำให้ไดอะเฟรมขยายตัวออก แรงดันที่วัดได้เป็นกิโลปาสกาลปอนด์ ต่อตารางนิ้ว และกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 2.13 เป็นเครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้า ต่อแรงดันทะลุแบบมุลเลน (Bursting Strength Test, Mullen type)



รูปที่ 2.10 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้าต่อแรงดันทะลุแบบมุลเลน [26]

### 2) การทดสอบความแข็งแรงของผ้าต่อแรงดันทะลุแบบบอล

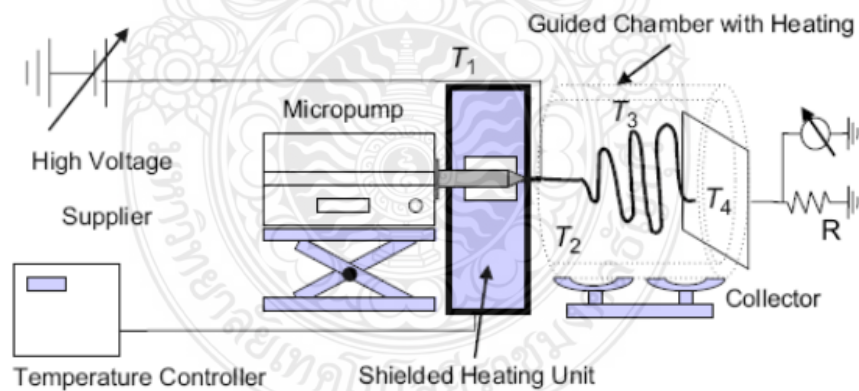
ใช้ลูกเหล็กที่มีขนาดประมาณ 1 นิ้ว ดันผ้าให้โป่งพองและแตก โดยผ้าจะถูก ยึดติดกับแคมป์วงแหวนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ดังรูปที่ 2.11 เป็นเครื่องทดสอบความแข็งแรง ของผ้าต่อแรงดันทะลุแบบบอล (Ball bursting strength tester) ชิ้นทดสอบจะต้องมีขนาดใหญ่กว่า ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนที่ใช้ยึดชิ้นทดสอบ ความเร็วของเครื่องทดสอบเท่ากับ 12 นิ้วต่อนาที ค่าที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็น แรงต่อหน่วยพื้นที่



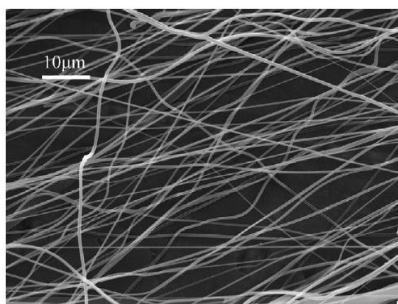
รูปที่ 2.11 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้าต่อแรงดันทะเลแบบบอล [26]

### 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Huajun Zhou และคณะ [27] ศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ปืนนิ่งแบบหลอมเหลว ดังรูปที่ 2.12 ด้วยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิหัวฉีด ( $T_2$ ) อุณหภูมิปืนเส้นใย ( $T_3$ ) ขนาดหัวฉีด อัตราการไหลและกระแสที่ป้อน ซึ่งการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ส่งผลให้ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเส้นใยลดลง ดังรูปที่ 2.13

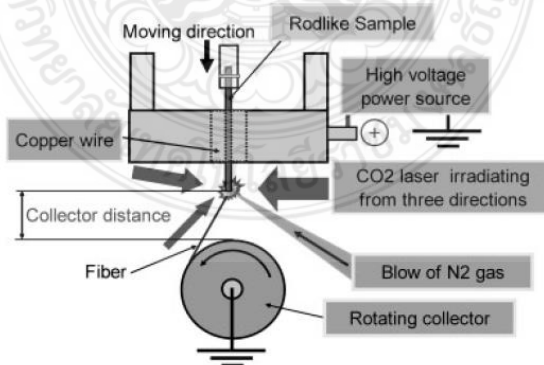


รูปที่ 2.12 แผนภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์ปืนนิ่งแบบหลอมเหลว [27]

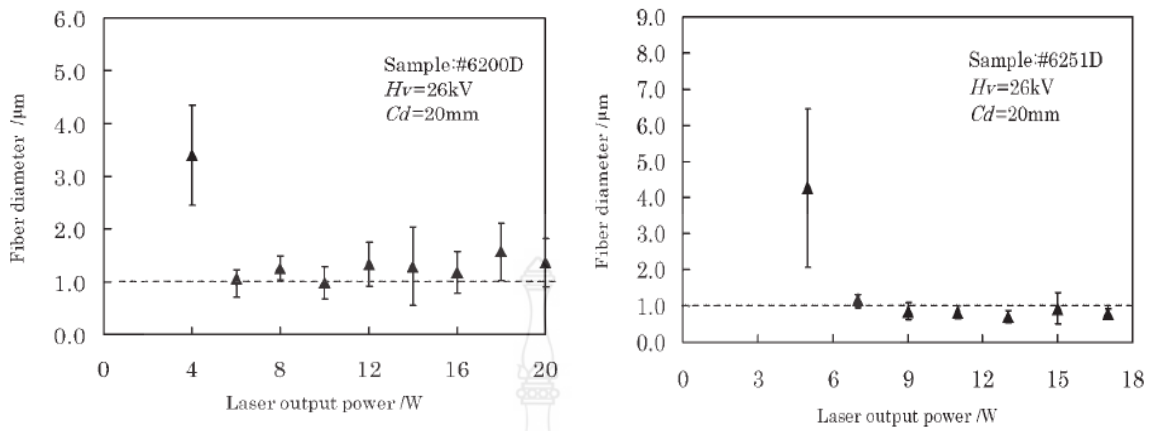


รูปที่ 2.13 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใยพอลิเอทาคีแอซิด (เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 800 นาโนเมตร) [27]

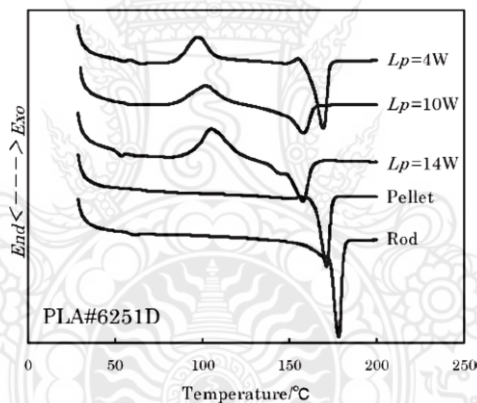
Nobuo Ogata และคณะ [28] การเตรียมเส้นใยนาโนพอลิเอทาคีแอซิด ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงแบบหลอมเหลว (Melt-electrospinning) ที่มีการพัฒนาอุปกรณ์เพิ่มเติมด้วยระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ซึ่งเป็นระบบใหม่ ดังรูปที่ 2.14 พบว่าเส้นใยพอลิเอทาคีแอซิดที่เตรียมได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร ขณะทำการทดลองทำการเพิ่มความเข้มของแสงเลเซอร์ พบว่าทำให้เส้นใยมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ได้ขนาดเล็กลงอีก ดังรูปที่ 2.15 และการเพิ่มความเข้มของแสงเลเซอร์ส่งผลให้สมบัติทางความของเส้นใยนาโนพอลิเอทาคีแอซิดนั้น แสดงความเป็นออสถฐานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มของแสงเลเซอร์ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง และทำให้อุณหภูมิการเกิดผลึกลดลง นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มของแสงเลเซอร์ ยังทำให้อุณหภูมิหลอมผลึกลดลง ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.14 แผนภาพของระบบอิเล็กโตรสปินนิงแบบหลอมเหลวที่มีการพัฒนาอุปกรณ์เพิ่มเติมคือระบบเลเซอร์ [28]

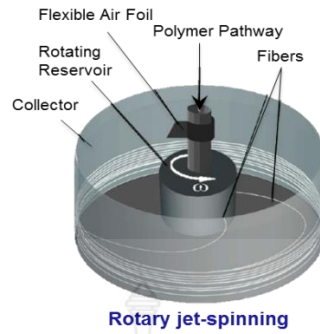


รูปที่ 2.15 ผลของความเข้มของแสงเลเซอร์ต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย PLA [28]

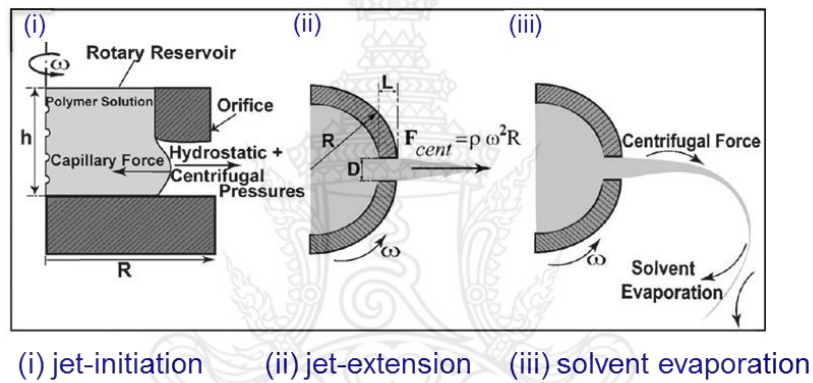


รูปที่ 2.16 ผลของความเข้มของแสงเลเซอร์ต่อเทอร์โมแกรมทางความร้อนของเส้นใย PLA [28]

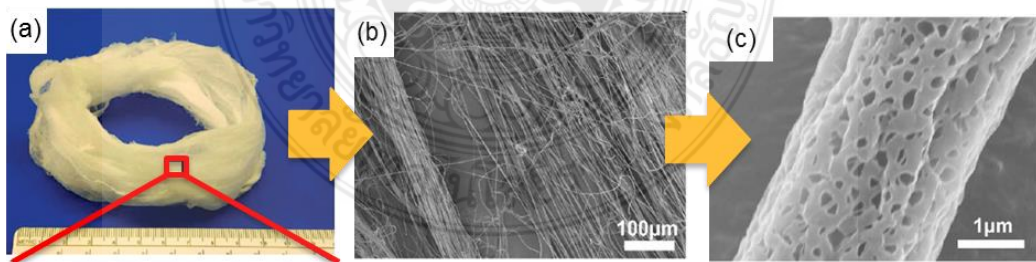
Mohammad Reza Badrossamay และคณะ [29] ศึกษาการเตรียมเส้นนาโนด้วยเครื่อง Rotary Jet-Spinning (RJS) ดังรูปที่ 2.20 เครื่อง RJS ประกอบด้วยอ่างที่ผนังด้านข้างและมีแกนตรงกลางที่มีช่องทางเข้าของพอลิเมอร์ที่ด้านบนที่ติดอยู่กับเพลลาของมอเตอร์ที่มีการควบคุมที่ความเร็วในการหมุน และมีช่องให้พอลิเมอร์ไหลเข้ามาในอ่างอย่างต่อเนื่องที่ความดันคงที่ เส้นใยที่เกิดขึ้นถูกเก็บสะสมหมุนเหวี่ยงจนเต็มอ่าง สำหรับพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องอยู่ในรูปของสารละลาย และถูกทำให้ระเหยในขณะที่เกิดการปั่นเหวี่ยง ดังรูปที่ 2.21 สำหรับลักษณะเส้นใยที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.22 การเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้นในการปั่นเหวี่ยงส่งผลให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง



รูปที่ 2.17 เครื่อง Rotary Jet-Spinning [29]



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการปั่นเส้นใยด้วยเครื่อง Rotary Jet-Spinning [29]

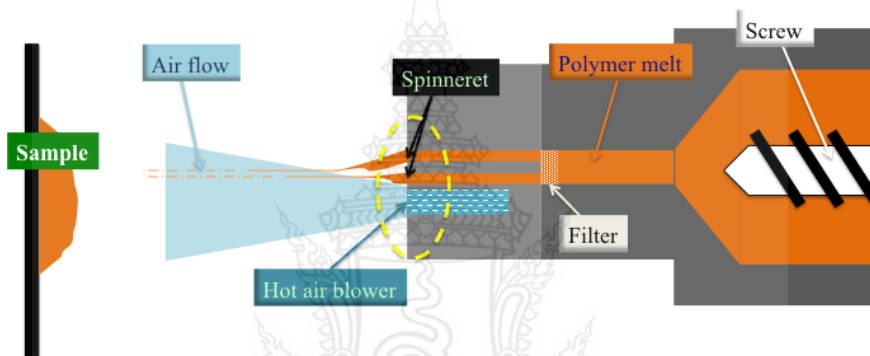


รูปที่ 2.19 ลักษณะเส้นใยที่ได้จากเครื่อง Rotary Jet-Spinning [29]

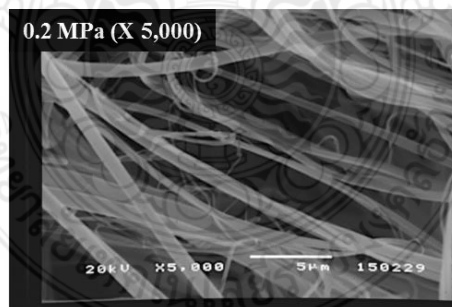
Rutchaneekorn Wongpajan และคณะ [21] ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อขนาดและสมบัติของเส้นใยนาโนพอลิแลคติกแอซิด ในงานวิจัยเตรียมเส้นใยนาโนพอลิแลคติกแอซิดแบบไม่ถักไม่ทอ



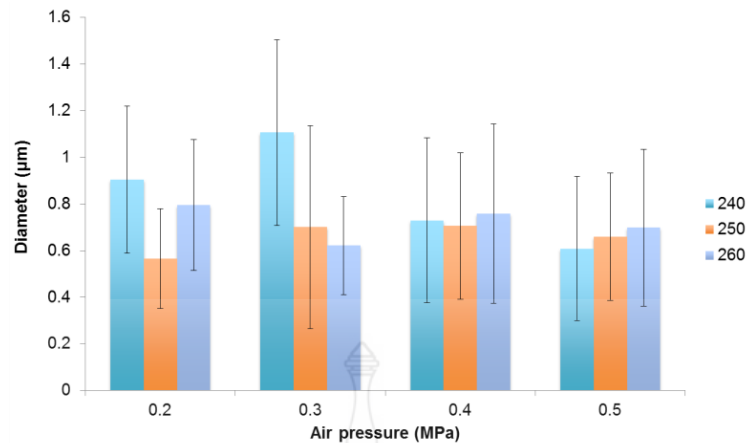
ด้วยเครื่องกดตอน แคนดี้ ดังรูปที่ 2.20 ซึ่งเครื่องที่ใช้ขึ้นรูปเส้นใยนี้ วัตถุดิบที่ใช้ไม่ต้องเตรียมในรูปของสารละลาย สามารถใช้พลาสติกเกรดการค้าขึ้นรูปได้เลย ทำการหลอมและดันเนื้อพอลิเมอร์เหลวออกมาที่หัวฉีดด้วยระบบอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) แล้วใช้ระบบการนำพาเส้นใยด้วยการควบคุมอุณหภูมิและความดันของอากาศ (Air pressure) ไปยังฉากรับชิ้นงาน เป็นการช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายของโรงงาน และผลผลิตของกระบวนการนี้ได้สูง พบว่าอุณหภูมิของกระบอกหลอมเหลว (Barrel temperature) และความดันของอากาศ (Air pressure) มีผลต่อขนาดเส้นใยที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และความดันของอากาศเป็น 0.2 MPa ให้ขนาดเส้นใยนาโนเล็กที่สุด ดังรูปที่ 2.21 และ 2.22 รวมถึงที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตมากที่สุดด้วย



รูปที่ 2.20 กระบวนการกดตอน แคนดี้ ขึ้นรูปผ้าแบบไม่ถักไม่ทอ [21]



รูปที่ 2.21 เส้นใยนาโนพอลิแลคติกแอซิด ที่ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และความดัน 0.2 MPa [21]



รูปที่ 2.22 ผลของอุณหภูมิและความดันอากาศต่อขนาดของเส้นใย [21]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น นำมาเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของแต่ละกระบวนการเตรียมเส้นใยนั้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2 พบว่ากระบวนการอิเล็กทรอนิกส์แบบสารละลายและแบบ Rotary Jet-Spinning ต้องเตรียมตัวอย่างในรูปแบบสารละลาย ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องมีการกำจัดสารเคมีและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพิ่มค่าใช้จ่ายและความยุ่งยากในการขึ้นรูประดับอุตสาหกรรม กระบวนการอิเล็กทรอนิกส์แบบสารละลาย ต้องอาศัยความต่างศักย์กำลังสูงเพื่อให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต ขับดันให้สารละลายพอลิเมอร์พุ่งออกมาเป็นลำไปยังฉากรองรับวัสดุ ส่วนอิเล็กทรอนิกส์แบบหลอมเหลว นั้น เหมือนกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์แบบสารละลาย ที่ต้องอาศัยความต่างศักย์กำลังสูงในการผลักดันให้เกิดเส้นใย แต่ไม่ต้องเตรียมตัวอย่างในรูปแบบของสารละลาย ผลผลิตที่ได้ต่ำเช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยของกลุ่ม Advanced Fibro-Science มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเกียวโตกับบริษัทยาสุดะ ซังเกียว (Yasuda Sangyo Co., Ltd.) ประเทศญี่ปุ่น ร่วมกันพัฒนาเครื่อง คอตตอน แคนดี้ ที่สามารถขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอได้เหมือนกับกระบวนการ อิเล็กทรอนิกส์ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ไม่ต้องเตรียมในรูปแบบของสารละลาย สามารถใช้พลาสติกเกรดการค้าขึ้นรูปได้เลย ไม่ต้องอาศัยความต่างศักย์กำลังสูงในการผลักดันให้เกิดเส้นใย แต่หลอมพอลิเมอร์ในสกรูแล้วใช้ระบบการนำพาเส้นใยด้วยการควบคุมอุณหภูมิและความดันของอากาศ (Air pressure) ไปยังฉากรับชิ้นงาน เป็นการช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายของโรงงาน และผลผลิตของกระบวนการนี้ได้สูง

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ

กระบวนการ	ตัวอย่างที่ใช้	ระบบรับส่งเส้นใย	ผลผลิตที่ได้
1. อิเล็กโตรสปินนิ่งแบบสารละลาย	สารละลาย	High Voltage	ต่ำ
2. อิเล็กโตรสปินนิ่งแบบ หลอมเหลว	เม็ดพลาสติก	High Voltage	ต่ำ
3. อิเล็กโตรสปินนิ่งแบบ Rotary Jet-Spinning	สารละลาย	High Voltage	ต่ำ
4. แบบคอตตอน แคนดี้ (Cotton Candy)	เม็ดพลาสติก	Air pressure/ Air temperature	สูง



ตารางที่ 2.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

	กระบวนการ	ศึกษา	ผลที่ได้
Huajun Zhou และคณะ [27]	อิเล็กโตรสปินนิงแบบหลอมเหลว	ผลของการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของการปรับเปลี่ย พารามิเตอร์ของ ด้วยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิหัวฉีด อุณหภูมิปั่นเส้นใย ขนาด หัวฉีด อัตราการไหลและ กระแสที่ป้อน	การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ส่งผลให้ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยลดลง
Nobuo Ogata และคณะ [28]	อิเล็กโตรสปินนิงแบบหลอมเหลว (พัฒนาอุปกรณ์เพิ่มเติมด้วยระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์)	การเตรียมเส้นใยนาโน PLA	เส้นใย PLA ที่เตรียมได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 $\mu\text{M}$ ขณะทำการทดลองทำการเพิ่มความเข้มของแสงเลเซอร์ พบว่าทำให้เส้นใยมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ได้ขนาดเล็กลงอีก
Mohammad Reza Badrossamay และคณะ [29]	อิเล็กโตรสปินนิงแบบ Rotary jet-spinning	การเตรียมเส้นนาโนด้วยเครื่อง Rotary jet-spinning	การเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงส่งผลให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง
Rutchaneekorn Wongpajan และคณะ [21]	คอตตอน แคนดี้	พารามิเตอร์ที่มีผลต่อขนาดและสมบัติของเส้นใยนาโนพอลิแลคติกแอซิด	อุณหภูมิของกระบวนการหลอมเหลว และความดันของอากาศ มีผลต่อขนาดเส้นใย ที่อุณหภูมิ 250 $^{\circ}\text{C}$ และความดันของอากาศเป็น 0.2 MPa ให้ขนาดเส้นใยนาโนเล็กที่สุด รวมถึงที่อุณหภูมิ 250 $^{\circ}\text{C}$ ให้ผลผลิตมากที่สุดด้วย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 แผนการดำเนินงาน

- 3.1.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 รวบรวมข้อมูลและวางแผนการดำเนินงาน
- 3.1.3 จัดหาวัสดุดิบและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
- 3.1.4 ทำการเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอของพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอลที่ปริมาณ 0.5, 1, 1.5, 2, 3 และ 4 ร้อยละโดยน้ำหนัก ด้วยกระบวนการสปีนบอนด์
- 3.1.5 ทำการเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอของพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอลที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก ด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้
- 3.1.6 ทดสอบสมบัติต่างๆ จากผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล ได้แก่
  - 1) สมบัติทางกายภาพ
    - (1) วัดความหนาและน้ำหนักมาตรฐาน
    - (2) วัดขนาดเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscopic, OM)
    - (3) ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM)
  - 2) สมบัติทางความร้อน
    - (1) วิเคราะห์หาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอรีเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)
  - 3) สมบัติเชิงกล
    - (1) ทดสอบการต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 3822 01
    - (2) ทดสอบความต้านแรงดันทะลุ (Bursting Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 3806
- 3.1.7 รวบรวมผลทดสอบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง
- 3.1.8 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน



## 3.2 วัสดุและอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### 3.2.1 วัตถุดิบ

1) เม็ดพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) เกรด 6100D จากบริษัท Nature Work จำกัด (ประเทศสหรัฐอเมริกา) และเม็ดพอลิเอทิลีน ไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) น้ำหนักโมเลกุล 20000 จากบริษัท Sanyo Chemical Industries จำกัด (ประเทศญี่ปุ่น)



รูปที่ 3.1 เม็ดพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) และเม็ดพอลิเอทิลีน ไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG)

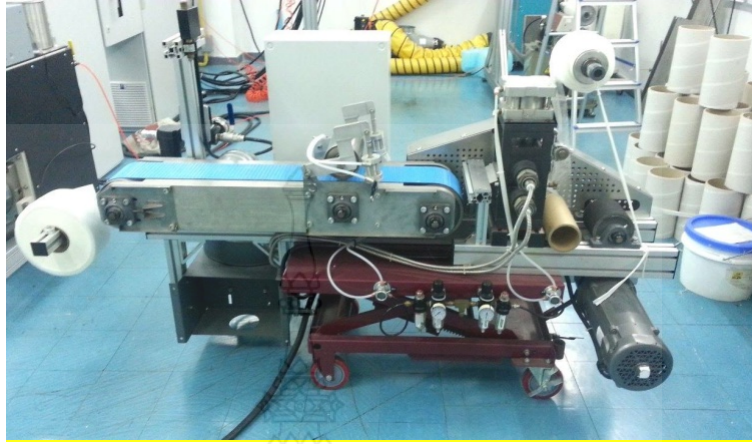
### 3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder) ยี่ห้อ ThermoHaake Polydrive รุ่น 557-8300 (ประเทศเยอรมนี) และหัวคายแบบหัวฉีดเส้นใย (Spinneret) จำนวน 24 รู หน้าตัดวงกลมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder)

2) เครื่องขึ้นรูปสปีนบอนด์ ยี่ห้อ Hill's Spun bond (ประเทศสหรัฐอเมริกา)



รูปที่ 3.3 เครื่องขึ้นรูปสปีนบอนด์ (Hill's Spun bond)

3) เครื่องปั่นหลอมแบบพ่น (Melt Jet Spinning หรือ Cotton candy) รุ่น SR-Runer bambi จากบริษัท Nihon Yuki จำกัด (ประเทศญี่ปุ่น)



รูปที่ 3.4 เครื่องปั่นหลอมแบบพ่น (Melt Jet Spinning) รุ่น SR-Runer bambi

### 3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1) เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ยี่ห้อ PERKIN ELMER รุ่น DSC 8000 (ประเทศเยอรมนี)

2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JEM-6510 (ประเทศญี่ปุ่น)

3) เครื่องต้านแรงดันทะลุ (Bursting Strength Test, BT) ตามมาตรฐาน ASTM D 3786 (ประเทศสหรัฐอเมริกา)



### รูปที่ 3.5 เครื่องต้านแรงดันทะลุ

4) เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 3822 01 ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5569 (ประเทศสหรัฐอเมริกา)

## 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 การเตรียมผ้าไม้อัดไม่ทอของพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ด้วยกระบวนการสับบอนด์ มีขั้นตอนดังนี้

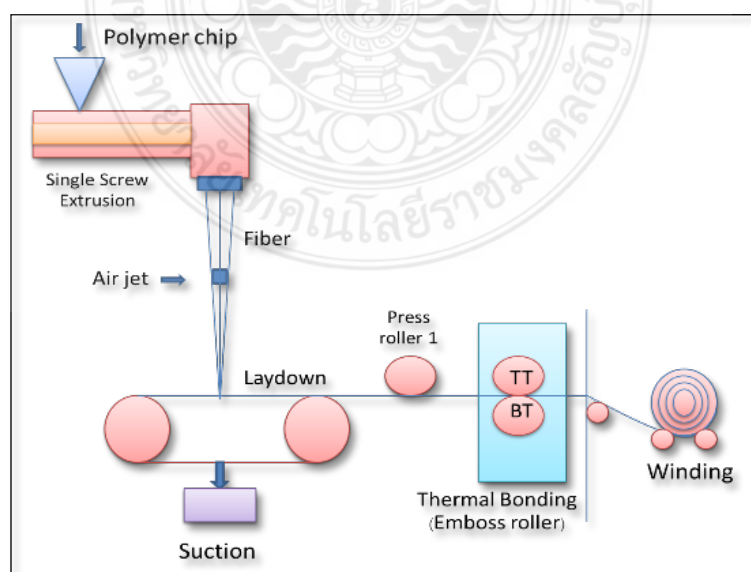
- 1) นำเม็ดพอลิแลคติกแอซิดมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 2) ชั่งน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด และพอลิเอทิลีนไกลคอล โดยแปรปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ปริมาณ 0.5, 1, 1.5, 2, 3 และ 4 ร้อยละโดยน้ำหนัก และทำการผสมแบบแห้ง จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการสับบอนด์ ดังตารางที่ 3.1

3.3.2 การเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอของพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำเม็ดพอลิแลคติกแอซิดมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 2) ชั่งน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด และพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก และทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้ ดังตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.1** สภาวะในการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการสับบอนด์

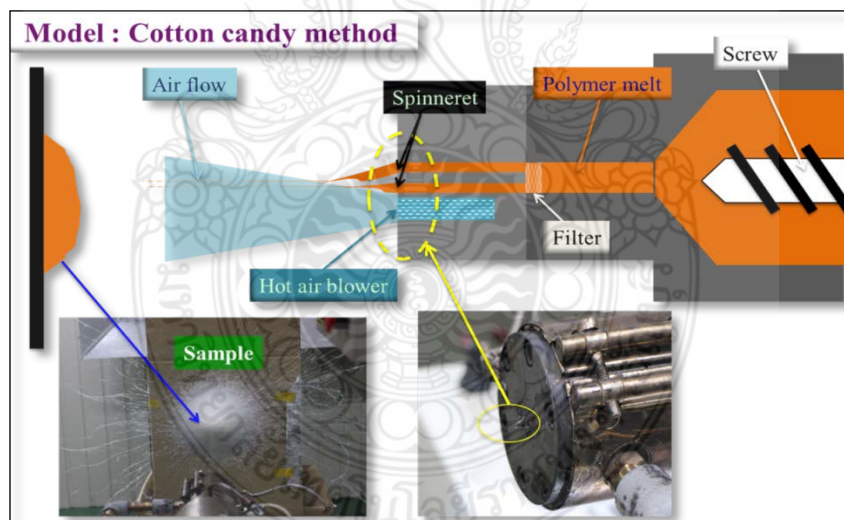
รายละเอียด		
หัวด้าย	หน้าตัดวงกลมตัน จำนวน 24 รู (Ø 0.32 มิลลิเมตร/รู)	
อุณหภูมิ (°C)	190, 200, 210, 210 และ 200	
ความเร็วรอบสกรู (รอบ/นาที)	10	
แรงดันลม (ปอนด์/ ตารางนิ้ว)	20	
ความเร็วสายพาน (เมตร/นาที)	1.5	
แรงดันของลูกกลิ้งลูกที่ 1 (ปอนด์/ ตารางนิ้ว)	10	
แรงดันของลูกกลิ้งเอ็มบอส (ปอนด์/ ตารางนิ้ว)	10	
อุณหภูมิของลูกกลิ้งเอ็มบอส (°C)	ลูกกลิ้งบน (TT)	130
	ลูกกลิ้งล่าง (BT)	160



รูปที่ 3.6 กระบวนการขึ้นรูปผ้าไมถักไม่ทอแบบสปินบอนด์

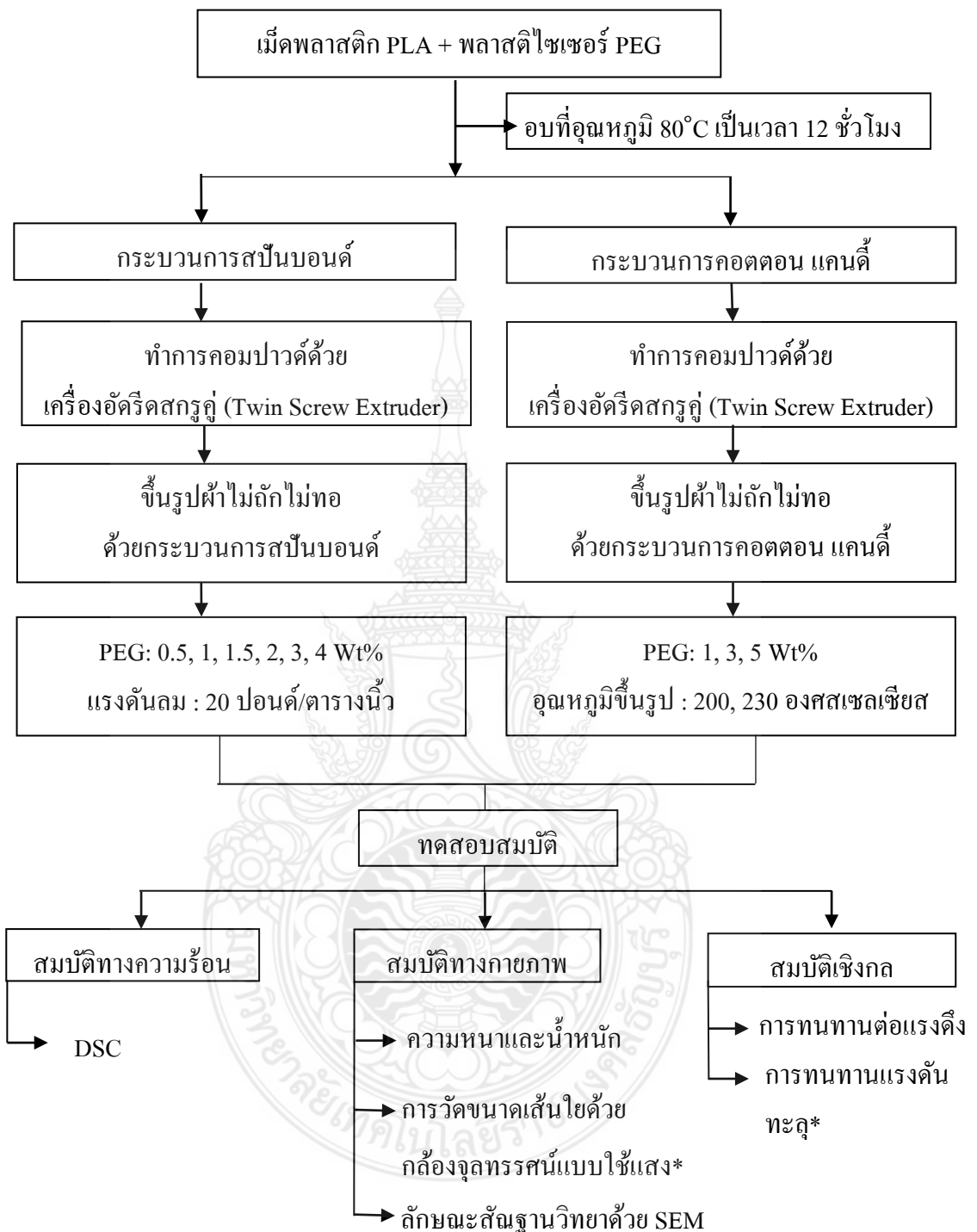
ตารางที่ 3.2 สภาวะในการขึ้นรูปผ้าไมถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้

รายละเอียด	
หัวคाय	หน้าตัดวงกลมตัน จำนวน 3 รู (Ø 0.4 มิลลิเมตร/รู)
อุณหภูมิ (°C)	200 และ 230
ความเร็วรอบสกรู (รอบ/นาที)	5
แรงดันลม (ปอนด์/ ตารางนิ้ว)	0.5
ระยะเก็บตัวอย่างจากหัวคायถึงอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง (เซนติเมตร)	60
ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที/ตัวอย่าง)	5



รูปที่ 3.7 กระบวนการขึ้นรูปผ้าไมถักไม่ทอแบบคอตตอน แคนดี้ [21]





รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการดำเนินงาน

\*หมายเหตุ การต้านทานแรงดันทะลุ และลักษณะสัณฐานวิทยาด้วย SEM ทดสอบเฉพาะชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้ เท่านั้น และการวัดขนาดเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงทดสอบเฉพาะชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการสปีนบอนด์ เท่านั้น

### 3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน ทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล

#### 3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความกายภาพ

3.4.1.1 การทดสอบการวัดความหนาและน้ำหนักมาตรฐานของผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลกติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล

นำผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลกติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ปริมาณ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3 และ 4 ร้อยละโดยน้ำหนัก วัดความหนาและน้ำหนักมาตรฐานโดยการนำผ้าไม่ถักไม่ทอที่เตรียมได้ มาตัดให้ได้ขนาด 1 x 1 เซนติเมตร จากนั้นวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนาแบบ Dial และทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง โดยทำการวัดความหนาและชั่งน้ำหนักซ้ำ 10 ตัวอย่าง/สูตร จากนั้นคำนวณหาค่าเฉลี่ย

3.4.1.2 การทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscopic, OM)

วางตัวอย่างลงบนแท่นวาง ให้แผ่นอยู่กึ่งกลางในบริเวณที่แสงส่องผ่าน มองที่เลนส์ใกล้ตาบ่อยๆ ปรับภาพหยาบให้กล้องเลื่อนขึ้นช้าๆ เพื่อหาระยะภาพเมื่อได้ระดับภาพที่ชัดแล้ว ตรวจสอบความสว่างมากหรือน้อยเกินไปหรือไม่ ให้ปรับที่ไดอะแฟรมเพื่อให้ได้แสงที่พอเหมาะ ถ้าต้องการขยายภาพให้ใหญ่ขึ้น ให้หมุนเลนส์ที่กำลังขยายสูงขึ้นเข้าสู่แนวกล้องแล้วปรับความคมชัดด้วยปุ่มปรับภาพละเอียดเท่านั้น โดยกำลังขยายที่ใช้คือ 10X และทำการถ่ายภาพในตำแหน่งที่เห็นภาพของชิ้นทดสอบได้ชัดเจนที่สุด

3.4.1.3 การทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

นำผ้าไม่ถักไม่ทอที่เตรียมได้มาตัดเป็นชิ้นขนาด 0.2 x 0.2 มิลลิเมตร และนำชิ้นงานที่ตัดมาเคลือบตัวนำไฟฟ้า เช่น ทอง ภายใต้อากาศสุญญากาศ นำไปส่องด้วยกระแสไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ทำการเลือกภาพบริเวณที่ต้องการและถ่ายภาพ

3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) มีขั้นตอนดังนี้

##### 1) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ทำการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม บรรจุสารตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Pan) ทำการอัดแน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้

##### 2) สภาวะการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะในการดำเนินงานของเครื่องดีฟเฟอร์เรนเซี่ยลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

ขั้นตอนที่	รายละเอียด
1	ให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 30-300 °C อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อ นาที
2	ให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 นาที
3	ลดอุณหภูมิจาก 300-30 °C อัตราการเย็นตัว 10 °C ต่อ นาที
4	ให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 นาที
5	ให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 30-300 °C อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อ นาที

### 3.4.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล

#### 3.4.3.1 การทดสอบการทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง โดยตัดให้ได้ขนาด 1 x 6 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.14 จากนั้นนำชิ้นงานมาทำการวัดและทำเครื่องหมายแสดงช่วงของ Gauge จากนั้นนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปทดสอบแรงดึง โดยใช้ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที และ Lode Cell ขนาด 50 นิวตัน ทำการบันทึกข้อมูล Tensile Strength Young's Modulus และ Percent Strain at Break และทำการทดสอบเช่นเดิมกับทุกชิ้นงาน ตัวอย่างละ 10 ชิ้น นำ

#### 3.4.3.2 การทดสอบการต้านแรงดันทะลุ (Bursting Strength Test, BT)

เตรียมชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบการต้านแรงดันทะลุ โดยตัดให้ได้ขนาด 10 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.15 จากนั้นนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปทดสอบการต้านแรงดันทะลุ โดยใช้อุปกรณ์ในการทดสอบเป็น M229P/5 Bell and Clamping Ring Set – 10 cm<sup>2</sup> (35.7 mm dia.) หลังจากชิ้นงานทะลุ หน้าจอของเครื่องทดสอบจะแสดงค่าการต้านแรงดันทะลุ เวลาตั้งแต่ชิ้นงานเริ่มทะลุจนชิ้นงานเกิดการทะลุ และการโป่งพองของชิ้นงาน จากนั้นบันทึกข้อมูลและทำการทดสอบเช่นเดิมกับทุกชิ้นงาน ตัวอย่างละ 5 ชิ้น

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

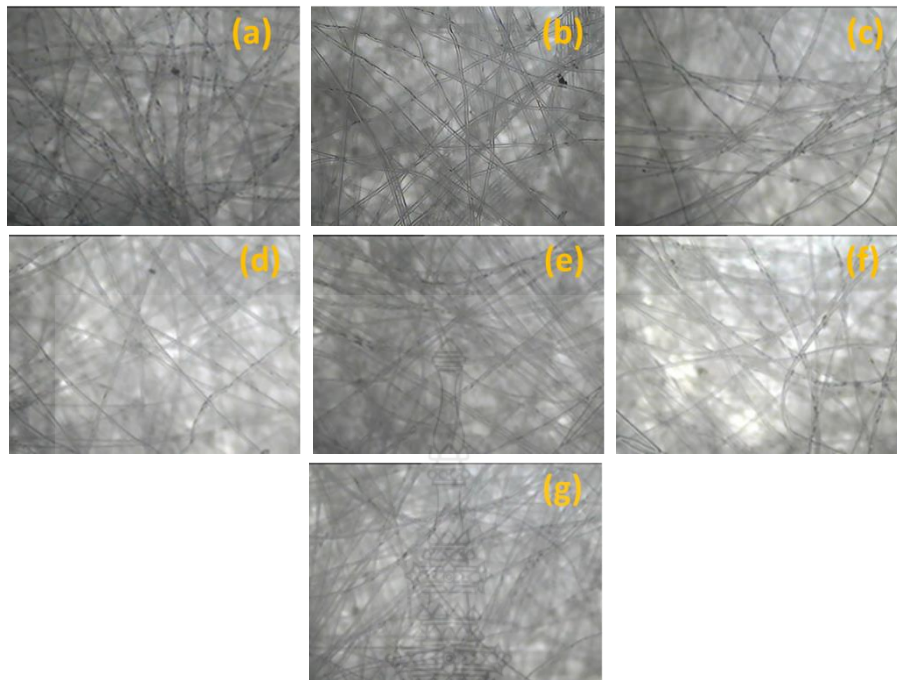
จากการเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการสับบอนด์และกระบวนการคอตตอนแคนดี้ ในโครงการวิจัยศึกษาปริมาณของ PEG และอุณหภูมิในการขึ้นรูป จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ได้ผลการทดสอบดังนี้

#### 4.1 การทดสอบสมบัติของผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการสับบอนด์

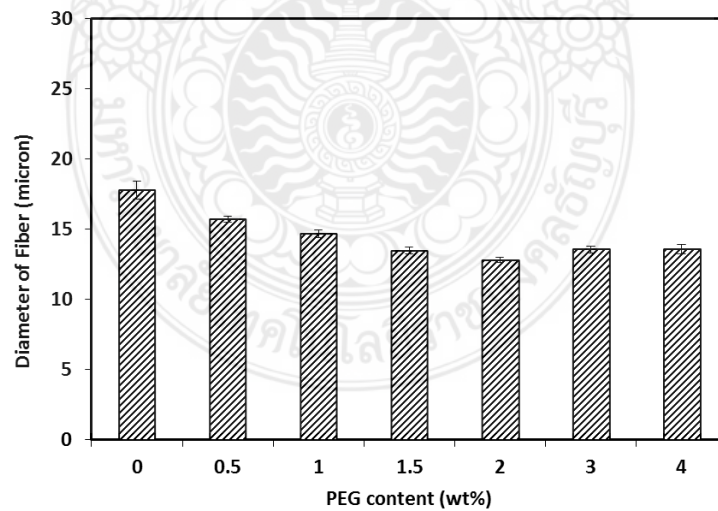
4.1.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่ปริมาณ PEG ต่างๆ

4.1.1.1 ผลการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscopic, OM)

ผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิด ( PLA) ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่ปริมาณ 0.5, 1, 1.5, 2, 3 และ 4 ร้อยละโดยน้ำหนัก นำมาทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าไม่ถักไม่ทอด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และทำการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยของผ้าไม่ถักไม่ทอจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยใช้ Axio Vision Rel.4.8 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผ้าไม่ถักไม่ทอของ PLA เท่ากับ 17.81 ไมครอน และผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ตั้งแต่ 0.5 ถึง 4 ร้อยละโดยน้ำหนัก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ลดลงเป็น 15.72, 14.70, 13.50, 12.83, 13.58 และ 13.60 ไมครอน ตามลำดับ เหตุผลที่เส้นผ่านศูนย์กลางของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ลดลงอาจเนื่องมาจาก ผลกระทบของแรงคั้นลมที่ดึงเส้นใยจากจุดที่มีการให้แรงคั้นลมไปยังสายพานลำเลียงส่งผลให้เส้นใยยืดก่อนที่จะตกลงบนสายพานลำเลียงและ อุณหภูมิพอลิเมอร์ลดลงจากหน้าดาบจนถึงอุณหภูมิห้องและสถานะของเส้นใยเปลี่ยนจากสถานะหลอมละลายไปเป็นสถานะยางและสถานะที่เป็นแก้ว ซึ่งค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, Tg) ของ PLA สูงกว่าอุณหภูมิห้อง 64.2 องศาเซลเซียส โดย PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์และช่วยลดค่า Tg ของ PLA [29,30] ดังนั้นผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG สามารถยืดได้มากกว่าผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่ไม่เติม PEG



รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของผ้าไมถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (a) ไม่เติม PEG (b) 0.5 Wt% (c) 1 Wt% (d) 1.5 Wt% (e) 2 Wt% (f) 3 Wt% (g) 4 Wt%

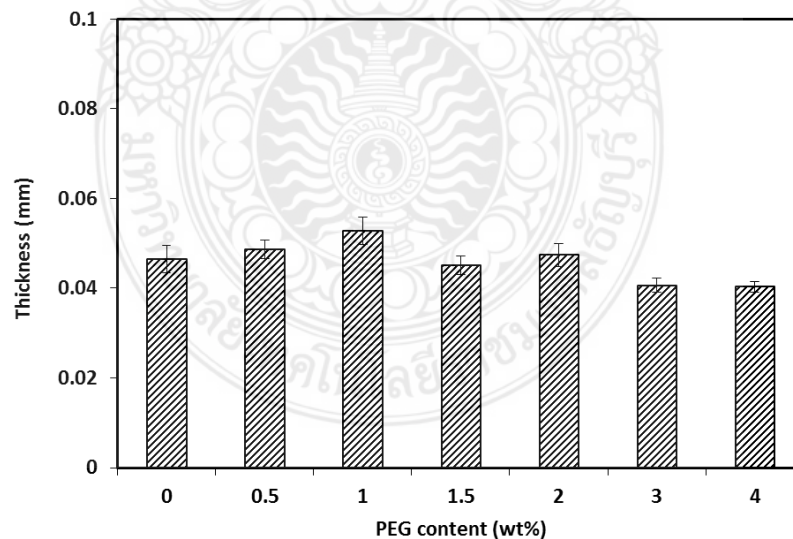


รูปที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยของผ้าไมถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ

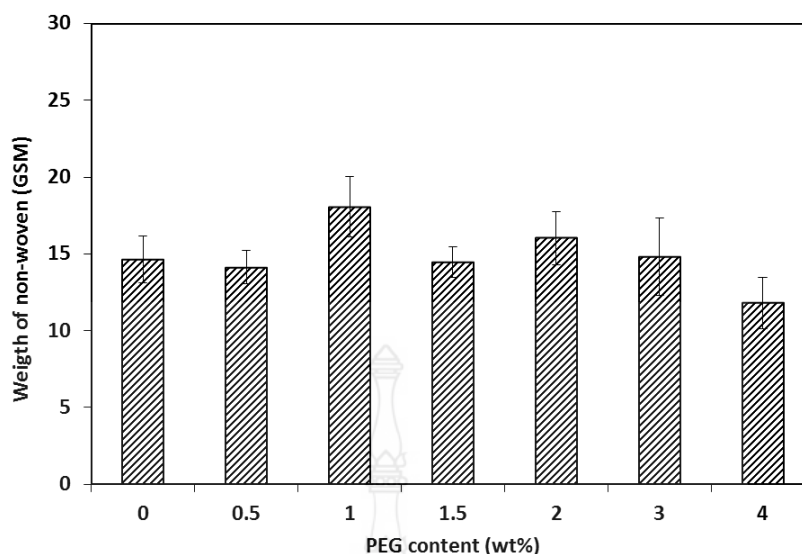


#### 4.1.1.2 ผลการวัดความหนาและน้ำหนักมาตรฐานของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG

ผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3 และ 4 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ที่นำมาวัดความหนาและน้ำหนักมาตรฐาน โดยการนำผ้าไม่ถักไม่ทอที่เตรียมได้ มาตัดให้ได้ขนาด 1 x 1 เซนติเมตร การวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนาแบบ Dial และทำการวัดซ้ำ 10 ตัวอย่าง/สูตร และทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ทำการวัดซ้ำ 10 ตัวอย่าง/สูตร พบว่าผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG มีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 1 ร้อยละโดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามความหนาของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้นจาก 1.5 เป็น 4 ร้อยละโดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ 1 ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ผิวมีค่าสูงสุด การเติมปริมาณ PEG ที่ 1 ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่งผลให้มีการกระจายตัวของ PEG ใน PLA เมทริกส์ที่ดี จากการผสมของ PLA และ PEG การเตรียมเส้นใยผสมผ้าไม่ถักไม่ทอ ทำโดยกระบวนการผสมแบบแห้ง (Dry blend process) และที่ปริมาณ PEG ผสมมีปริมาณมากขึ้น อาจกระจายตัวบนเมทริกส์ได้ไม่ดีและอาจเกิดการรวมกลุ่มและเคลือบบน PLA นอกจากนี้ Amita Bartia และคณะรายงานจากการศึกษาผิวหนังน้ำขึ้นงานจากการหัก พบว่าผิวหนังตัวอย่างที่เกิดการแปรสภาพเกิดขึ้นบริเวณผนังที่เป็นรอยต่อกับพลาสติกไซเซอร์ [31]



รูปที่ 4.3 ความหนาของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.4 น้ำหนักมาตรฐานของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ

#### 4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่ปริมาณ PEG ต่างๆ

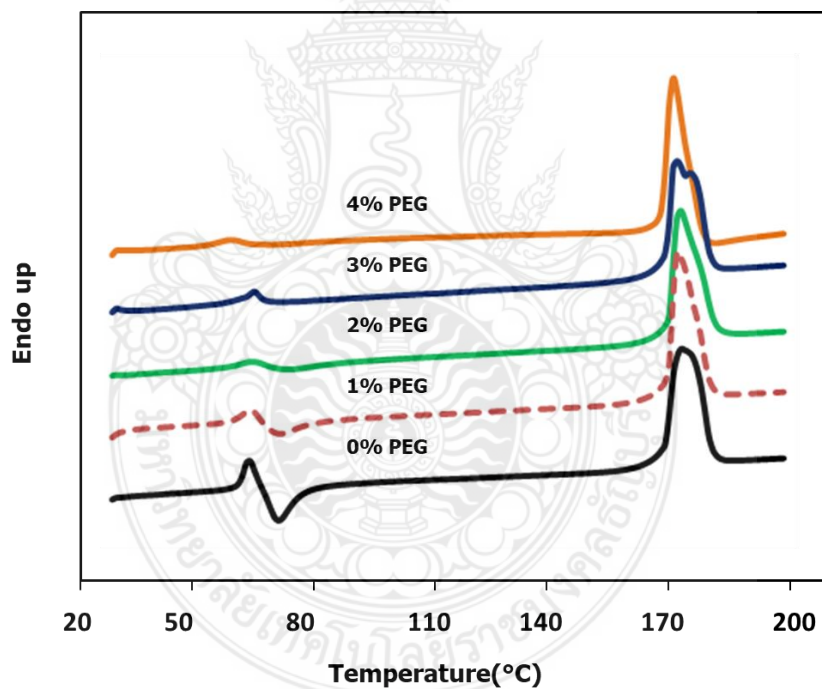
##### 4.1.2.1 ผลการทดสอบทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

(Differential Scanning Calorimeter, DSC)

ผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณ 0, 1, 2, 3 และ 4 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการสปีนบอนด์ แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.5 แสดงข้อมูลสมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณ 0, 1, 2, 3 และ 4 ร้อยละ โดยน้ำหนัก พบว่าค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature,  $T_m$ ) ของ PLA อยู่ที่ 174.1 องศาเซลเซียส และที่มีการเติมปริมาณ PEG ที่ 1 ถึง 4 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ค่า  $T_m$  ไม่เปลี่ยนแปลง และค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) ของ PLA มีค่า 63.9 องศาเซลเซียส และ PLA ที่มีการเติม PEG มีค่า  $T_g$  เป็น 63.1, 62.1, 63.6 และ 57.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดย PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เมื่อเติมลงใน PLA จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทำให้ใช้พลังงานในการหมุนรอบพันธะของโมเลกุลน้อยลง ทำให้ PLA นิ่มขึ้น เพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก [29, 30] การเติม PEG ที่ปริมาณ 1 ถึง 4 ร้อยละ โดยน้ำหนัก จะลดความเป็นผลึกของ PLA จาก 54.89 เป็น 52.70, 51.89 และ 50.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับความเป็นผลึกลดลงเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้น ผลการทดลองยืนยันว่าการเติมพลาสติกไซเซอร์ช่วยเพิ่มความคล่องตัวของสายโซ่ใน PLA [33]

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางความร้อนของผ้าไม้ถักไม้ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่างๆ

PEG content (wt%)	$T_m$ (°C)	$\Delta H_m$ (J g <sup>-1</sup> )	$T_g$ (°C)	%Xc = ( $\Delta H_m/\Delta H_{m0}$ ) × 100
0	174.1	51.12	63.9	54.56
1	172.9	51.43	63.1	54.89
2	173.4	49.38	62.1	52.70
3	172.8	48.62	63.6	51.89
4	171.9	47.48	57.8	50.67

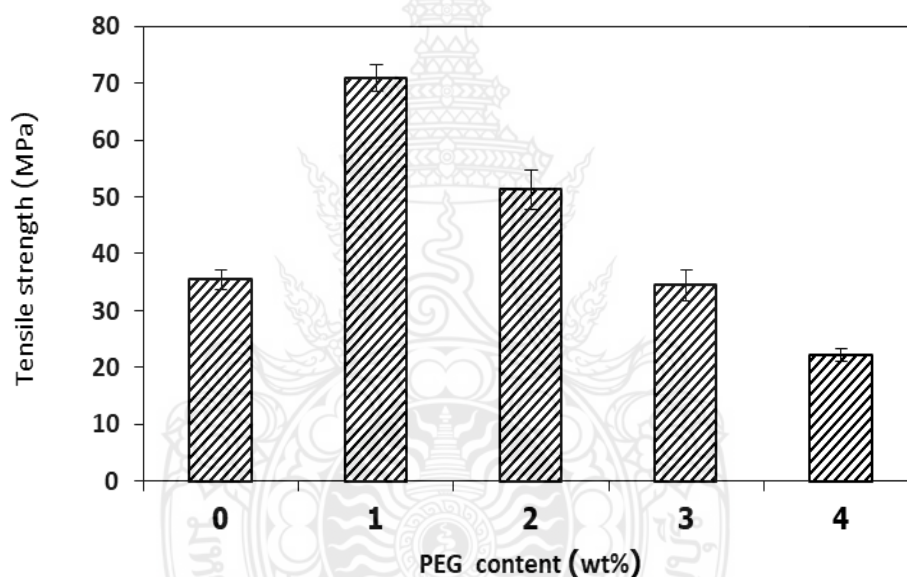


รูปที่ 4.5 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของผ้าไม้ถักไม้ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ

#### 4.1.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลผ้าไม้ถักไม้ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ

##### 4.1.3.1 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

ทำการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 3822 01 ของผ้าไหม้ไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ดังรูปที่ 4.6 ค่าการทนทานต่อแรงดึงของผ้าไหม้ไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณ 0, 1, 2, 3 และ 4 ร้อยละโดยน้ำหนัก ผลการทดสอบ พบว่าผลการทนทานต่อแรงดึงมีความสอดคล้องกับความหนาและน้ำหนักของผ้าไหม้ไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 เส้นใยมีความหนาและน้ำหนักสูงสุด ซึ่งส่งผลต่อค่าการทนทานต่อแรงดึงที่สูง โดยการเติม PEG ประมาณ 1 ร้อยละโดยน้ำหนัก จึงมีความทนทานต่อแรงดึงสูงด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณ PEG ที่สูงขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงดึงลดลง เนื่องจากเส้นใยมีความหนาแน่นของด้ายต่ำ และ PLA เปลี่ยนจากแข็งเปราะไปเป็นเส้นใยที่เหนียวหลังจากการเติม PEG ในพอลิเมอร์ [31]



รูปที่ 4.6 ค่าการทนทานต่อแรงดึงของผ้าไหม้ไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ

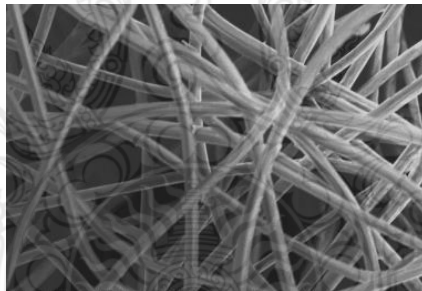
## 4.2 การทดสอบสมบัติของผ้าไหม้ไม่ทอพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้

### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผ้าไหม้ไม่ทอ PLA ที่เติม PEG

#### 4.2.1.1 ผลการทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

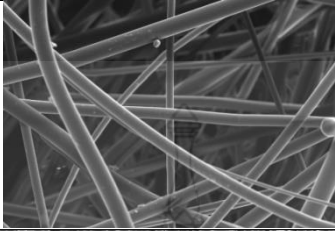
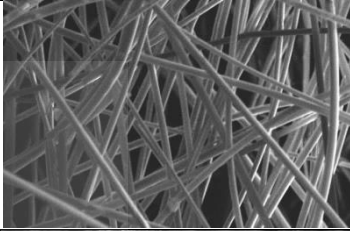
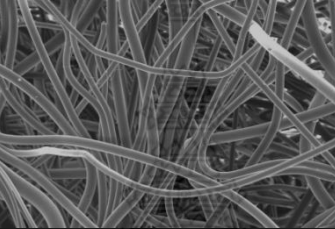
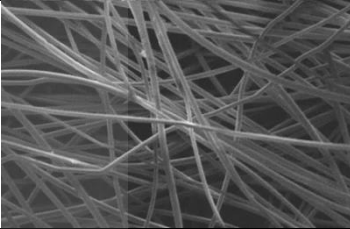
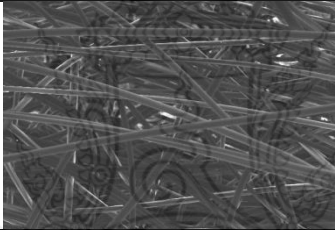
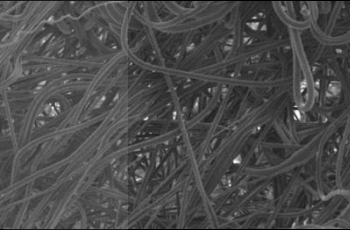
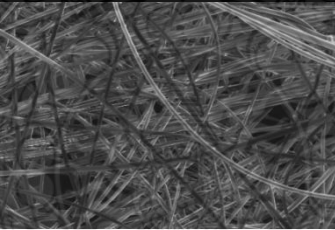
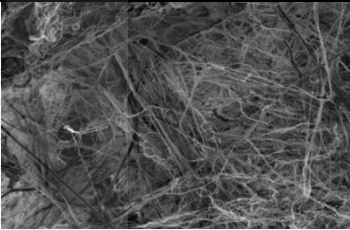
ผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก นำมาทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของผ้าไม่ถักไม่ทอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางจากภาพ SEM โดยใช้ซอฟต์แวร์ (Image J) แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก ที่ใช้ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 และ 230 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยสังเคราะห์ของพอลิเอสเตอร์ (ในรูปที่ 4.7) มีขนาดใหญ่กว่า PLA ทั้งที่ใช้ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 และ 230 องศาเซลเซียส และการเติม PEG ที่ 1, 3 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก ทำให้ขนาดเส้นใยของ PLA ลดลงตามลำดับ แต่อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 230 องศาเซลเซียส จะให้ขนาดเส้นใยที่เล็กกว่าการใช้ อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 200 องศาเซลเซียส เหตุผลที่เส้นผ่านศูนย์กลางของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ลดลงอาจเกิดจากผลกระทบของแรงดันอากาศที่ดึงเส้นใยจากจุดที่ให้แรงดันอากาศไปยังตัวเก็บชิ้นงานทำให้เส้นใยมีการยืดตัวก่อนที่จะตกลงไปบนตัวเก็บชิ้นงาน และอุณหภูมิพอลิเมอร์ลดลงจากหน้าคายจนถึงอุณหภูมิห้อง โดยผลการทดลองยืนยันว่า PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์และช่วยลดค่า  $T_g$  ของ PLA [31,33]

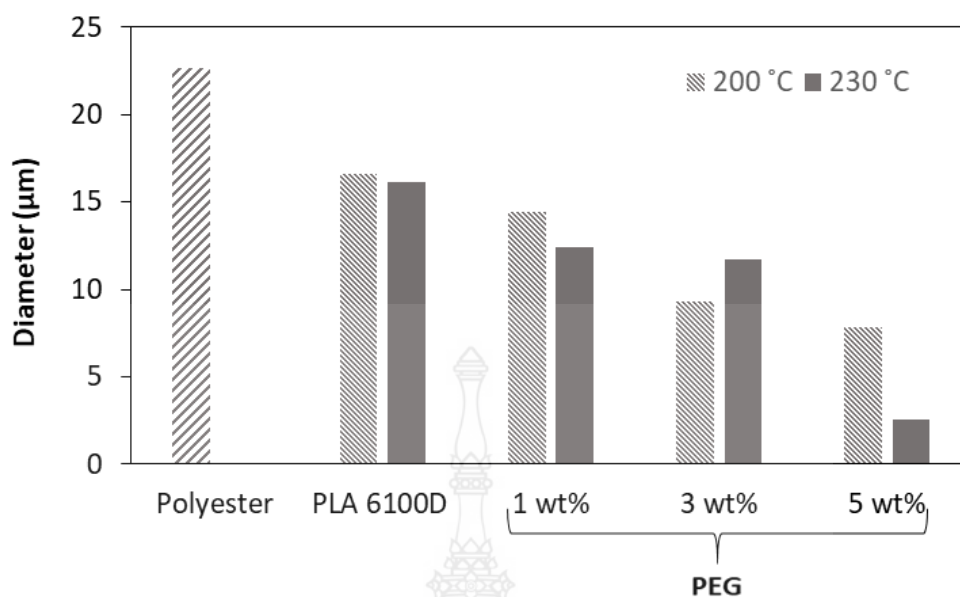


รูปที่ 4.7 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิเอสเตอร์ (กำลังขยาย 200 เท่า)



ตารางที่ 4.2 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของผ้าไม้ถักไม้ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณต่าง ๆ ใช้  
อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 และ 230 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200 เท่า)

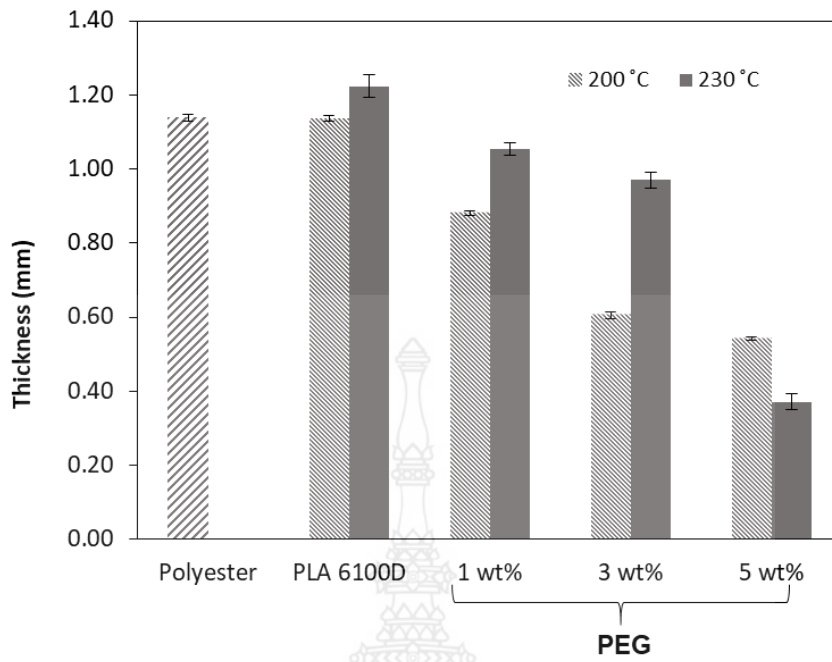
ชนิดผ้าไม้ถักไม้ทอ	อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป (หัวคาย)	
	200 องศาเซลเซียส	230 องศาเซลเซียส
PLA 6100D		
PLA / PEG 1 Wt%		
PLA / PEG 3 Wt%		
PLA / PEG 5 Wt%		



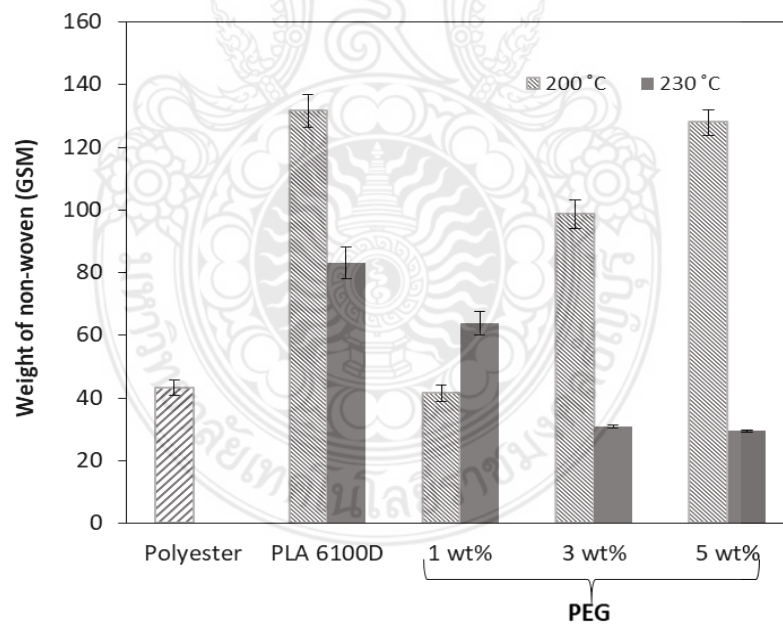
รูปที่ 4.8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่าง ๆ ที่ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 และ 230 องศาเซลเซียส

#### 4.2.1.2 ผลการวัดความหนาและน้ำหนักมาตรฐานของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ

นำมาวัดความหนาและน้ำหนักมาตรฐาน โดยการนำผ้าไม่ถักไม่ทอที่เตรียมได้มาตัดให้ได้ขนาด 1 x 1 เซนติเมตร การวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนาแบบ Dial พบว่าผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก มีความหนาลดลงเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็น 1.137, 0.881, 0.606 และ 0.543 มิลลิเมตร และอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็น 1.224, 1.054, 0.970, และ 0.372 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับ Polyester เป็น 1.1375 มิลลิเมตร เห็นได้ชัดเจนว่าความหนาของผ้าไม่ถักไม่ทอลดลงเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดของเส้นใยที่เล็กลง เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลงเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้น้ำหนักของผ้าไม่ถักไม่ทอลดลง



รูปที่ 4.9 ความหนาของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.10 น้ำหนักมาตรฐานของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ

## 4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่าง ๆ

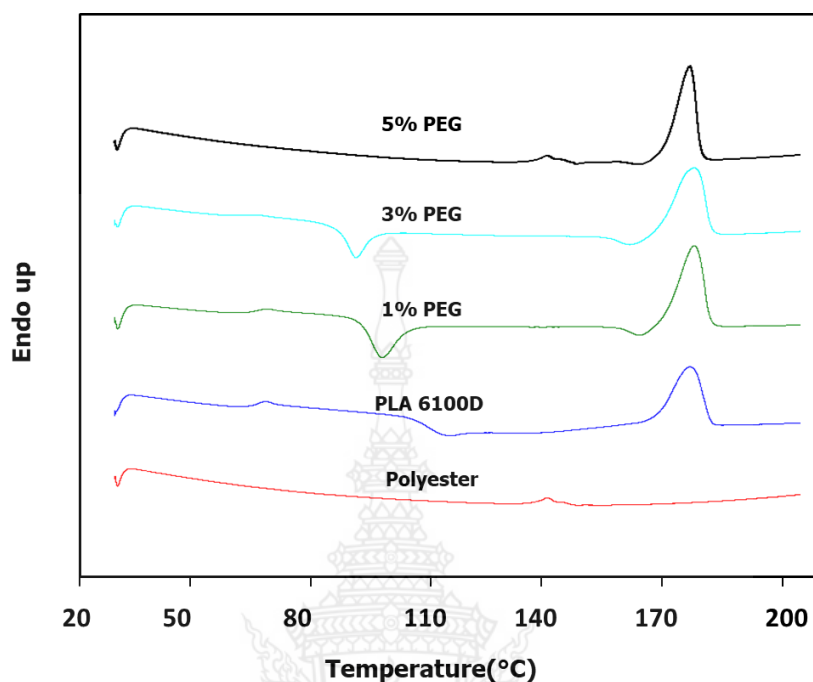
### 4.2.2.1 ผลการทดสอบทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

#### 1) ชิ้นรูปที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

ผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้ ด้วยเครื่องปั่นหลอมแบบพ่น (Melt jet spinning) ที่ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ แสดงการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.11 พบว่าค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature,  $T_m$ ) ของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA อยู่ที่ 181.65 องศาเซลเซียส และที่มีการเติมปริมาณ PEG ที่ 1, 3 และ 5 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ค่า  $T_m$  ไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) ของ PLA มีค่า 67.87 องศาเซลเซียส และ PLA ที่มีการเติม PEG มีค่า  $T_g$  เป็น 65.10, 63.03 และ 62.03 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า มีความสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่ว่าผลของ PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เมื่อเติมลงใน PLA จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทำให้ใช้พลังงานในการหมุนรอบพันธะของโมเลกุลน้อยลง ทำให้ PLA นิ่มขึ้น เพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก [30, 32] การเติม PEG ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละ โดยน้ำหนัก จะลดความเป็นผลึกของ PLA จาก 54.12 เป็น 53.92, 46.74 และ 40.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับความเป็นผลึกลดลงเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้น ผลการทดลองยืนยันว่าการเติมพลาสติกไซเซอร์ช่วยเพิ่มความคล่องตัวของสายโซ่ใน PLA [33]

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่าง ๆ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส

	$T_m$ (°C)	$\Delta H_m$ (J g <sup>-1</sup> )	$T_g$ (°C)	$X_c = (\Delta H_m / \Delta H_{m0}) \times 100$
Polyester	270	-	65	-
PLA 6100D	181.65	52.66	67.87	54.12
PEG content (Wt%)	1	178.84	65.10	53.92
	3	180.18	63.03	46.74
	5	180.76	39.75	62.13



รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่าง ๆ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส

## 2) ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส

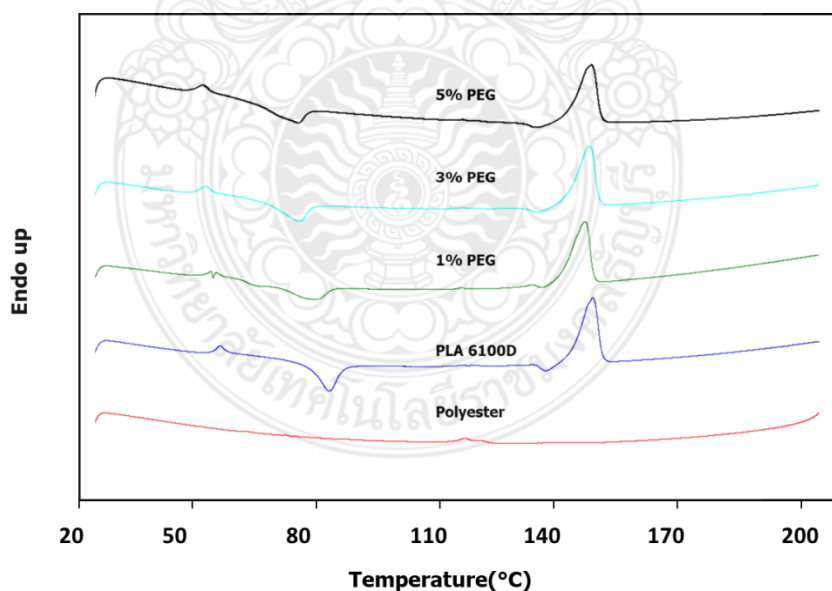
ผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณ 1, 3 และ 5 ไร่ยละ โดยน้ำหนัก ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้ ด้วยเครื่องปั่นหลอมแบบพ่น (Melt jet spinning) ที่ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ แสดงการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.12 พบว่าค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature,  $T_m$ ) ของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA อยู่ที่ 184.37 องศาเซลเซียส และที่มีการเติมปริมาณ PEG ที่ 1, 3 และ 5 ไร่ยละโดยน้ำหนัก ค่า  $T_m$  ไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) ของ PLA มีค่า 64.96 องศาเซลเซียส และ PLA ที่มีการเติม PEG มีค่า  $T_g$  เป็น 63.06, 62.09 และ 61.34 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าผลของ PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เมื่อเติมลงใน PLA จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้ใช้พลังงานในการหมุนรอบพันธะของโมเลกุลน้อยลง ทำให้ PLA นิ่มขึ้น เพิ่มความสามารถในการ



รับแรงกระแทก [29, 31] การเติม PEG ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก จะลดความเป็นผลึกของ PLA จาก 46.13 เป็น 45.99, 45.21 และ 45.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับความเป็นผลึกลดลงเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้น ผลการทดลองยืนยันว่าการเติมพลาสติกไซเซอร์ช่วยเพิ่มความคล่องตัวของสายโซ่ใน PLA [32]

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของผ้าไม้ถักไม้ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 230 องศาเซลเซียส

	$T_m$ (°C)	$\Delta H_m$ (J g <sup>-1</sup> )	$T_g$ (°C)	%Xc = ( $\Delta H_m/\Delta H_{m0}$ ) × 100
Polyester	270	-	65	-
PLA 6100D	184.37	44.89	64.96	46.13
PEG content	1	183.08	44.75	45.99
(wt%)	3	183.59	43.99	45.21
	5	181.91	43.93	45.15

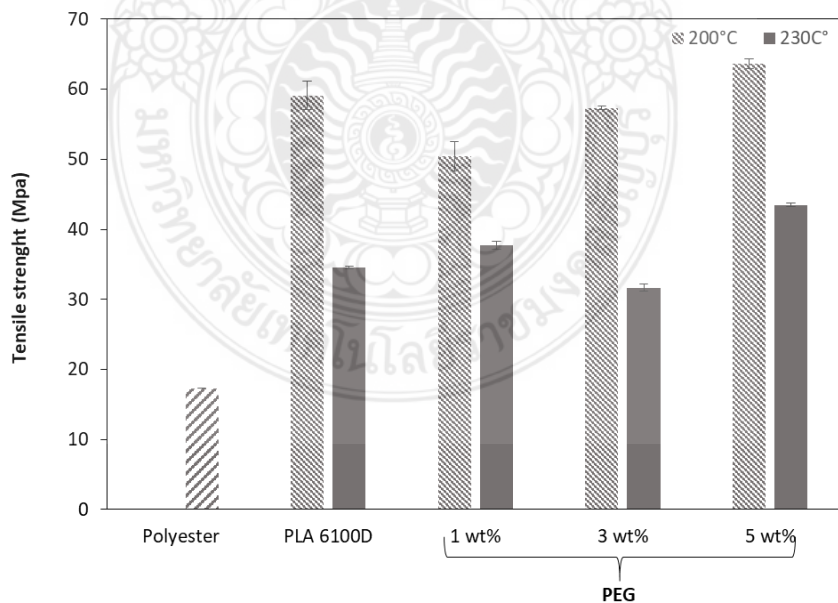


รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของผ้าไม้ถักไม้ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 230 องศาเซลเซียส

#### 4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ

##### 4.2.3.1 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

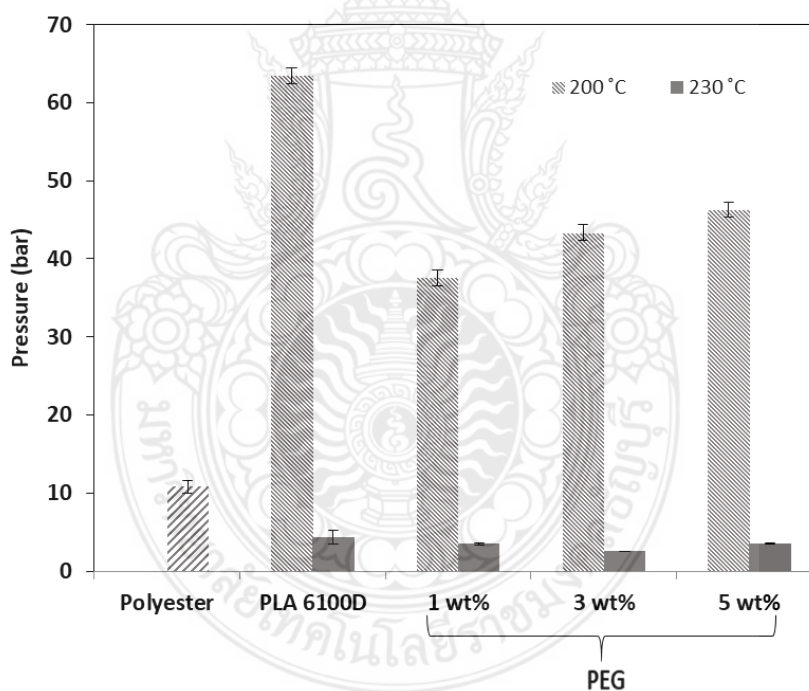
ทำการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 3822 01 ของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 และ 230 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ค่าการทนทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละ โดยน้ำหนัก พบว่าผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิเอสเทอร์ มีค่าความทนทานต่อแรงดึงเป็น 17.31 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส ผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA มีค่าความทนทานต่อแรงดึงเป็น 59.11 เมกะปาสคาล และที่เติม PEG ที่ 1, 3 และ 5 ร้อยละ โดยน้ำหนัก เป็น 50.40, 57.30 และ 63.68 เมกะปาสคาล และที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 230 องศาเซลเซียส ผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA มีค่าความทนทานต่อแรงดึงเป็น 34.53 เมกะปาสคาล และที่เติม PEG ที่ 1, 3 และ 5 ร้อยละ โดยน้ำหนัก เป็น 37.70, 31.64 และ 43.45 เมกะปาสคาล การเติม PEG ทำให้สมบัติเชิงกลของ PLA เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่ปริมาณการเติม PEG ที่ 5 ร้อยละ โดยน้ำหนัก และที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 230 องศาเซลเซียส พบว่าสมบัติเชิงกลลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับอุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 200 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับพอลิเอสเทอร์สมบัติเชิงกลของ PLA ทั้งที่เติมและไม่เติม PEG มีความการทนทานต่อแรงดึงสูงกว่ามาก



รูปที่ 4.13 ค่าการทนทานต่อแรงดึงของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ

#### 4.2.3.2 ผลการทดสอบการต้านแรงดันทะลุ (Bursting Strength Test, BT)

ทำการทดสอบการต้านแรงดันทะลุของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 และ 230 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.14 ผลการทดสอบพบว่าผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิเอสเตอร์มีค่าการต้านแรงดันทะลุเป็น 10.82 บาร์ ที่ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส มีค่าการต้านแรงดันทะลุเป็น 63.44, 37.55, 43.36 และ 43.36 บาร์ และที่ใช้ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 230 องศาเซลเซียส มีค่าการต้านแรงดันทะลุเป็น 4.345, 3.514, 2.558 และ 3.507 บาร์ เนื่องจากที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส นั้นมีค่าน้ำหนักมาตรฐานสูงกว่าพอลิเอสเตอร์ และผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 230 องศาเซลเซียส และมีความหนาที่ต่ำกว่า จึงส่งผลให้ผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น สูงกว่า



รูปที่ 4.14 ค่าการต้านแรงดันทะลุของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ปริมาณต่างๆ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ขึ้นรูปด้วยกระบวนการสปีนบอนด์

1) จากผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG พบว่าค่าความหนาและน้ำหนักมาตรฐานของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ 1 ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ผิวมีค่าสูงสุด ส่งผลให้มีการกระจายตัวของ PEG ใน PLA เมทริกซ์ที่ดี และวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยของผ้าไม่ถักไม่ทอ พบว่าการเติม PEG ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ลดลงตามปริมาณของ PEG ที่เพิ่มขึ้น

2) จากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) พบว่าค่า  $T_m$  ของ PLA ที่ปริมาณ PEG ที่ 1 ถึง 4 ร้อยละโดยน้ำหนัก ค่า  $T_m$  ไม่เปลี่ยนแปลง และค่า  $T_g$  ของ PLA มีค่าลดลงตามปริมาณ PEG ที่เพิ่มขึ้น การเติม PEG ช่วยลดความเป็นผลึกของ PLA ผลการทดลองยืนยันว่าการเติมพลาสติกไซเซอร์ช่วยเพิ่มความคล่องตัวของสายโซ่ใน PLA

3) จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ผลการทดสอบค่าการทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) พบว่าผลการทนทานต่อแรงดึงมีความสอดคล้องกับความหนาและน้ำหนักของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG โดยปริมาณ PEG ที่ 1 ร้อยละโดยน้ำหนักเส้นใยมีค่าความหนาและน้ำหนักสูงสุดส่งผลให้ความทนทานต่อแรงดึงสูง

5.1.2 ผ้าไม่ถักไม่ทอพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ขึ้นรูปด้วยกระบวนการคอตตอน แคนดี้

1) จากผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG พบว่าความหนาและน้ำหนักมาตรฐานของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG มีความหนาลดลงตามปริมาณ PEG ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลงเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้น้ำหนักของผ้าไม่ถักไม่ทอลดลง และวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยของผ้าไม่ถักไม่ทอ พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยสังเคราะห์ของพอลิเอสเทอร์มีขนาดใหญ่กว่า PLA ทั้งที่ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 และ 230 องศาเซลเซียส และการเติม PEG ที่ 1, 3 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก ทำให้ขนาดเส้นใยของ PLA ลดลงตามลำดับ

2) จากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) พบว่า ค่า Tm ของ PLA ไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่ค่า Tg ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มปริมาณ PEG ผลการทดลองพบว่า PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เมื่อเติมลงใน PLA จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้ใช้พลังงานในการหมุนรอบพันธะของโมเลกุลน้อยลง ทำให้ PLA นิ่มขึ้น

3) จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ทำการทดสอบค่าการทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) พบว่าการเติม PEG ทำให้สมบัติเชิงกลของ PLA เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่ปริมาณการเติม PEG ที่ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก และที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 230 องศาเซลเซียส พบว่าสมบัติเชิงกลลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับอุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 200 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับพอลิเอสเทอร์สมบัติเชิงกลของ PLA ทั้งที่เติมและไม่เติม PEG มีความการทนทานต่อแรงดึงสูงกว่า และจากผลการต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting Strength Test, BT) พบว่าผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 200 องศาเซลเซียส มีค่าการต้านทานแรงดันทะลุสูงกว่าผ้าพอลิเอสเทอร์และผ้าไม่ถักไม่ทอ PLA ที่เติม PEG ที่ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 230 องศาเซลเซียส

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์

5.2.2 การพัฒนาการยึดติดของแผ่นรองพรหมชั้น Primary backing และชั้น Secondary backing

5.2.3 ควรทดสอบความสามารถในการดูดซับเสียงของ Secondary backing ที่เตรียมได้จาก กระบวนการกดตอน แคนดี้



## บรรณานุกรม

- [1] M. Olivares Marín and M. M. Maroto Valer. "Preparation of a highly microporous carbon from a carpet material and its application as CO<sub>2</sub> sorbent," *Fuel Processing Technology*, Vol. 93, pp. 322-329. 2011.
- [2] C. Mihut, D. K. Captain, F. Gadala-Maria and M. D. Amiridis., "Review: recycling of nylon from carpet waste," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 41, pp. 1457–1470. 2001.
- [3] Y. Wang and D. Zhao., "Effect of fabric structures on the mechanical properties of 3-D textile composites," *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 35, pp. 239-256. 2006.
- [4] อรุณศักดิ์ โสภณธรรมภาณ. (2551). พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers): การปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์สู่อาหาร สืบค้นจาก <http://www.etm.sc.mahidol.ac.th/a1.shtml>
- [5] P. M. Subramanian., "Plastics recycling and waste management in the US," *Resources Conservation and Recycling*, Vol. 28, pp. 253-263. 2000.
- [6] Y. Lemmouchi, M. Murariu, A. Margarida, D. Santos, A. Amass, E. Schacht and P. Dubois., "Plasticization of poly(lactide) with blends of tributyl citrate and low molecular weight poly(D,L-lactide)-b-poly(ethylene glycol) copolymers," *European Polymer Journal*, Vol. 45, pp. 2839-2848. 2009.
- [7] F. Hassouna, J. M. Raquez, F. Addiego, P. Dubois, V. Toniazzo and D. Ruch., "New approach on the development of plasticized polylactide (PLA): Grafting of poly(ethylene glycol) (PEG) via reactive extrusion," *European Polymer Journal*, Vol. 47, pp. 2134-2144. 2011.
- [8] ชนาดี ลีจากภัย. (2550). พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สืบค้นจาก [www.foodindustrythailand.com](http://www.foodindustrythailand.com)
- [9] R. Chandra and R. Rustgi., "Biodegradable polymers," *Progress in Polymer Science*, Vol. 23, pp. 1273–1335. 1998.
- [10] J. C. Bogaert and Ph Coszach., "Poly: a potential solution to plastic waste dilemma," *Macromolecular Symposia*, Vol. 153, pp. 287–303. 2000.
- [11] R. E. Drumright, P. R. Gruber and D. E. Henton., "Polylactic Acid Technology," *Advanced Materials*, Vol. 12, pp. 1841-1846. 2000.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] การเขียนอ้างอิงทางวิชาการ. สืบค้นจาก [http://www.natureworksllc.com/~media/Files/NatureWorks/Technical-Documents/Technical-Data-Sheets/TechnicalDataSheet\\_6100D\\_fiber-melt-spinning\\_pdf.pdf](http://www.natureworksllc.com/~media/Files/NatureWorks/Technical-Documents/Technical-Data-Sheets/TechnicalDataSheet_6100D_fiber-melt-spinning_pdf.pdf)
- [13] สุภานี หิรัญธนกิจจากุล. (2538). ความรู้เกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ. สืบค้นจาก [http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc\\_toxic/a\\_tx\\_2\\_001c.asp?info\\_id=146](http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_2_001c.asp?info_id=146) (1 สิงหาคม 2560).
- [14] AR. Gennaro Remington., “The science and practice of pharmacy,” *Pennsylvania: Mack Publishing*, 1995.
- [15] VO. Sheftel., “Indirect Food Additives and Polymers: Migration and Toxicology,” *Lewis*, 1114-6. 2000.
- [16] Textile terms and definitions. Textile Institute (Manchester, England), The Textile Institute, 1963.
- [17] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. (2542). วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [18] จุริรัตน์ ประสาร.(2552). นอนวูฟเวน ผ้าไม่ถักไม่ทอ, สืบค้นจาก : [https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/246\\_21-27.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/246_21-27.pdf)
- [19] การเขียนอ้างอิงทางวิชาการ. สืบค้นจาก <https://www.wolfeflooring.com/blog/carpet-delamination-caused-by-goof-off/>
- [20] พงษ์สาโรจน์ นิมมานรลักษณ์. (2556). การศึกษาการลดของเสียโดยการรับตั้งเครื่องจักรและอัตราส่วนในสายการผลิตผ้าขนอนวูฟเวน. สืบค้นจาก <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/jindedu/article/viewFile/3904/3876>
- [21] W. Rutchaneekorn, T. Supaphorn, I. Hiroyuki, O. Masayuki and H. Hiroyuki, “Preparation of Poly(lactic acid) Nanofiber by Cotton Candy Method,” *Proceedings of the Asian Workshop on Polymer Processing Annual Conference (AWPP 2015)*. December 1-4, 2015, Singapore.
- [22] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และ ชาคริต สิริสิงห์. (2544). พฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวและการนำไปใช้งาน, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [23] ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล, การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์, กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2545.
- [24] เกศินี เหมวิเชียร และ พริยชาติ สุวรรณมาลา. การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ ตอนที่ 1 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Polymer Characterization I: Differential Scanning Calorimeter (DSC). กลุ่มวิจัยและพัฒนาชีวเคมีฯ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) .
- [25] ธนิษฐา ภูถาวรณ. (2557). การวิเคราะห์หาลูกประกอบในพลาสติกด้วยเทคนิคทางความร้อน, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปี 62 ฉบับที่ 194
- [26] อำนาจ ลากเกษมสุข. (2553). Testing. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [27] Z. Huajun, B. G. Thomas and L.J. Yong, “The thermal effects on electrospinning of polylactic acid melts,” *Polymer*, 47:7497-7505. 2006.
- [28] O. Nobuo, Y. Shinji, S. Naoki, L. Gang, I. Toshiharu, N. Koji and O. Takashi, “Poly(lactide) Nanofibers Produced by a Melt-Electrospinning System with a Laser Melting Device,” *Journal of Applied Polymer Science*, 104:1640–1645. 2007.
- [29] R. B. Mohammad, A. M. Holly, A. G. Josue and K. P. Kevin, ‘kNanofiber Assembly by Rotary Jet-Spinning. *Nano Lett*, 10:2257–2261. 2010.
- [30] E. Piorkowska, Z. Kulinski, A. Galeski and R. Masirek, “Plasticization of semicrystalline poly(L-lactide) with poly(propylene glycol),” *Polymer*, Vol. 47, pp. 7178-7188. 2006.
- [31] Weraporn Pivsa-Art, Kazunori Fujii, Keiichiro Nomura, Yuji Aso, Hitomi Ohara and Hideki Yamane, “The effect of poly(ethylene glycol) as plasticizer in blends of poly(lactic acid) and poly(butylene succinate),” *journal applied polymer science*, DOI: 10.1002/APP.43044.
- [32] B. Amita, K.G. Rahul, N. B. Sati and H.J. Choi, “Compatibility of biodegradable poly(lactic) (PLA) and poly(butylenes succinate) (PBS) blends for packaging application,” *Korea-Australia Rheology Journal*, Vol. 19, No. 3, pp. 125–131, 2017.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [33] Kyung-man Choi, Myeon-Cheon Choi, Dong-Hun Han, Tae-Sung Park, Chang-Sik Ha, “Plasticization of poly(lactic acid) (PLA) through chemical grafting of poly(ethylene glycol) (PEG),” *European Polymer Journal*, Vol. 49, pp. 2356–2364. 2013.









ภาคผนวก ก

ผลงานตีพิมพ์

# PROCEEDINGS IE Network Conference 2017

The Empress Hotel  
Chiang Mai, July 12th-15th 2017.

## INDUSTRY 4.0 CHALLENGES FOR THAILAND



Proceeding download link



**IE** Network  
2017

รายชื่อคณะกรรมการจัดประชุม

1. รองศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ	โสภานแดง	ประธานกรรมการจัดงาน
2. รองศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์เกษม	ระมิงค์วงศ์	ประธานกรรมการวิชาการ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กรกฎ ไยบัวเทศ	ทิพย์าวงค์	ประธานกรรมการฝ่ายพิธีการต้อนรับและสถานที่
4. รองศาสตราจารย์ ดร. เศรษฐ์	สัมพันธ์ตะกูล	ประธานกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์และสารสนเทศ
5. รองศาสตราจารย์ ดร. เสริมเกียรติ	จอมจันทร์ยอง	กรรมการ
6. รองศาสตราจารย์ ดร. นิวิธ	เจริญใจ	กรรมการ
7. รองศาสตราจารย์ ดร. วิชัย	ฉัตรทิพย์รัตน์	กรรมการ
8. รองศาสตราจารย์ ดร. วิสสนัย	วรรณฉวีริยา	กรรมการ
9. รองศาสตราจารย์ ดร. คมกฤต	เล็กสกุล	กรรมการ
10. รองศาสตราจารย์ ดร. วิมลสิน	เหล่าศิริถาวร	กรรมการ
11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรรสุดิชัย	ชีวลุทธิศิลป์	กรรมการ
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล	สมทศุบัติ	กรรมการ
13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพจน์	เสรีรัฐ	กรรมการ
14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุ่งฉัตร	ชมภูอินไหว	กรรมการ
15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วสวัชร	นาคเขียว	กรรมการ
16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันรุต	ไชยจรรุณิช	กรรมการ
17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วริษา	วิสิทธิ์พานิช	กรรมการ
18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชมพูนท	เกษมเศรษฐ์	กรรมการ
19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัญญานภาพ	อานันท์นะ	กรรมการ
20. อาจารย์ ดร. โปตี	เจ้า	กรรมการ
21. อาจารย์ ดร. สาลีณี	สันติธรรมากุล	กรรมการ
22. อาจารย์ ดร. อลงกต	สัมพันธ์เจริญ	กรรมการ
23. อาจารย์ ดร. ชนม์เจริญ	แสวงรัตน์	กรรมการ
24. อาจารย์อรรถพรพจน์	วงศ์พิงไชย	กรรมการ
25. อาจารย์ณรงค์	เพชรขารี	กรรมการ



### เลขานุการ ประสานงานและสนับสนุนการดำเนินงาน

- |                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| 1. นางสาวศศิธร ฉิมสวัสดิ์    | 6. นางสาวณัฐนรี เขื่อนแก้ว |
| 2. นางสาวสุดารัตน์ แก้วแสงใจ | 9. นายจิรวัดน์ ตีอาคม      |
| 3. นางสาววิมพิศา ปัญโญใหญ่   | 10. นายสนทยา สุขสามัคคี    |
| 4. นางสาวนัยนา อธิสิงห์สาร   | 11. นางวุฒินันท์ อินทยศ    |
| 5. นางสาวพรพรรณ คำมั่น       | 12. นายณัฐวุฒิ รินโธ       |
| 6. นางสาวลิณัฐา พรหมมีฉัตร   | 13. นายอนรินทร์ จักรปิ่น   |
| 7. นางสาวปริญากัทร ปาคำ      |                            |

### รายชื่อผู้ประเมินบทความ

#### มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

(ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา)

- |                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. ผศ.ดร. ชัยวัฒน์ นุ่มทอง    | 5. ดร. เท็ดสุลา พันฤทธิ์คำ  |
| 2. ผศ.ดร. นิภูริกา จันทร์ศรี  | 6. ผศ.ดร. บุญกร พัฒนพิบูลย์ |
| 3. ผศ.ดร. ศิริรัตน์ ชูดิษฐเดช | 7. ดร. เชาว์ธยา ชัยบาลุผล   |
| 4. ผศ.ดร. สิริวงศ์ แก้วคำสอน  | 8. ดร. จิรกรณ์ ประดับวงษ์   |

#### มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

- |                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| 1. ลอจรุงรัตน์ พันธุ์สุวรรณ | 2. อ.จิตลดา หมายมิ่ง |
|-----------------------------|----------------------|

#### มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

- |                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. ดร.กษิตชัย อธิกุลรัตน์ | 4. ดร.ธธิวัฒน์ บุญมี    |
| 2. อ.ปวีญญา พัฒนพรสันต์ภร | 5. ดร.เลิศเรखा ศรีรัตน์ |
| 3. ดร.กรรญา นื่องมัจฉา    |                         |

#### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

- |                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1. ผศ.ดร.สุรัตน์ จวรรณศรี      | 3. ผศ.ดร.พีรเดช สุวิทยารักษ์  |
| 2. รศ.ดร.ณรงค์ศักดิ์ ชวรมะโชติ | 4. ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ ศรีศิลา |

#### มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

- |                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| 1. รศ. ดร.ไพโรจน์ เนียมนาค | 4. ผศ.ดร.วิมล ชัยเทศ  |
| 2. รศ.ดร.สฤกษ์พร พรมสายใจ  | 5. ดร.เทพ เกื้อทวีกุล |
| 3. ผศ. ดร.นพคุณ ชูทัน      | 6. ดร.สุรเชษฐ์ คุ้มมี |

Code	Title	Page
ME118	Effect of Welding Parameter on Mechanical properties of Fin-Tube ASTM A192 by using the High Frequency Resistance Welding Process	668-674
ME120	Prototype Machine of the Distilled Vinegar Sugar Palm	675-681
ME123	Wear Resistance of ER420 Filler metal in Gas Metal Arc Welding	682-688
ME124	Effect of Air Jet Pressure on Carpet Backing Fabrication Process	689-695
ME125	Manufacturing Process Study of Standard Copper Crusher for Chamber Pressure Measurement	696-702
ME126	Improvement in Mechanical Properties of Diamond Like Carbon Films by Element Addition	703-708
ME129	The Analysis of Factors Effect to Effective Case Depth by Design of Experiment of Surface Hardening of Low Carbon Steel Using Cockle Shell as Energizer in Pack Carburizing Process	709-716
ME130	Tribological Properties Improvement of DLC Films by Element Addition	717-721
ME133	A Study on the Tribological Properties of Hard Coating Films	722-725
ME134	The inspection of dimensions of SS400 square steel bars of 9.525 millimeters X 9.525 millimeters of a company in Nakhonratchasima province	726-730
ME135	Variation Reduce of the Plate's Pitch in Pumps Process via DMAIC	731-737
ME136	Development of Facial Mask from Colored Rice by QFD Principle	738-743
ME137	Effect of 3D Printed Geometry on Scaffold Characterization	744-749
ME138	Fabrication of Biomaterial Filament for Fused Deposition Modeling 3D Printing	750-755
OM003	PRODUCTIVITY INCREASING FOR CHIP BOARD IN MANUFACTURING PROCESS	756-764
OM004	Mixed-Model Assembly Line Balance Design for an Auto Part Manufacturer: A Case Study of Automotive Condenser products	765-769
OM005	The Temperature of Digital printing that Affect to Quality Print	770-774





## ผลของแรงดันลมต่อกระบวนการขึ้นรูปแผ่นรองพรม Effect of Air Jet Pressure on Carpet Backing Fabrication Process

ประภัสสร วันนิจ<sup>1</sup>, วีราภรณ์ ผิวสะอาด<sup>1</sup>, นรจพร เรืองไพศาล<sup>2</sup>, ทักษะโนรี เนโกโร<sup>3</sup> และสมหมาย ผิวสะอาด<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ, <sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ,  
คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
<sup>3</sup>บริษัทไทยเนโกโร จำกัด, นิคมอุตสาหกรรมบางปู, สมุทรปราการ, ประเทศไทย  
E-mail: sommai.p@en.mutt.ac.th\*

Prapudsorn Wannid<sup>1</sup>, Weraporn Pivsa-Art<sup>1</sup>, Nanjaporn Roungpaisan<sup>2</sup>, Takanori Negoro<sup>3</sup>  
and Sommai Pivsa-Art<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical and Materials Engineering, <sup>2</sup>Department of Textile Engineering,  
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand

<sup>3</sup>Thai Negoro Co., Ltd., Bangpoo Industrial Estate, Samut Prakarn, Thailand

E-mail: sommai.p@en.mutt.ac.th \*

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการขึ้นรูปแผ่นรองพรม จากกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอด้วยเทคนิคสปินบอร์น และใช้พอลิแลคติกแอซิด (PLA) ที่เป็นพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพทดแทนพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ทำการเพิ่มสมบัติความเหนียวของ PLA ด้วยพลาสติกไซเซอรพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) โดยเติมพลาสติกไซเซอรที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในกระบวนการขึ้นรูปด้วยเทคนิคสปินบอร์น นั้น ศึกษาการเปลี่ยนแปลงแรงลมที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ โดยใช้แรงลมที่ 15, 20 และ 25 psi จากนั้นศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนของแผ่นรองพรมที่เตรียมได้ พบว่าการเติม PEG แสดงสมบัติเชิงกลที่ดี โดยให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น เนื่องจากชิ้นงานที่เตรียมได้มีความหนาและน้ำหนักสูงกว่าที่ไม่เติม การเติม PEG ไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิหลอมผลึก (Tm) ของ PLA แต่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของ PLA ลดลง และผลของแรงลมต่อกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอด้วยเทคนิคสปินบอร์น พบว่าแรงลมที่ 15 psi ให้ชิ้นงานที่หนาและน้ำหนักที่สูงกว่า 20 และ 25 psi จึงส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงของเส้นใยสูงตามไปด้วย

คำหลัก พอลิแลคติกแอซิด, พอลิเอทิลีนไกลคอล, เส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ, แผ่นรองพรม

### Abstract

This research studied the process of carpets production from the non-woven fabrication process using a spun bonded technique. Biodegradable plastic, poly(lactic acid), PLA, was use as material to replace the poly(ethylene terephthalate), PET. The toughness of PLA was improved by addition of poly(ethylene glycol), PEG, with amount of 1 weight percent. In the spun bonded process the effect of air jet power was studied for the non-woven fabrication with 15, 20 and 25 psi. The fiber products were subjected to mechanical and thermal property analysis of the carpet backing as synthesized. It was found



that PEG addition the fiber showed good mechanical property with high tensile strength. Due to high thickness and weight of samples prepared, addition of PEG showed no effect to the crystalline melting temperature ( $T_m$ ) of PLA but the glass transition temperature ( $T_g$ ) of PLA decreased. The effect of air jet pressure to the non-woven spun bonded process showed the with 15 psi resulted in higher thickness and weight than 20 and 25 psi and the tensile strength of the non-woven increased.

**Keywords:** Poly (lactic acid) (PLA), Polyethylene glycol (PEG), nonwoven, carpet backings

### 1. บทนำ

พรมปูพื้นสำเร็จรูปทำจากหลายชิ้นส่วนมาประกอบกันเป็นชั้นๆ ในส่วนของแผ่นรองด้านล่างของพรมปูพื้นนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ primary backing และ secondary backing บางส่วนทำจากวัสดุที่เตรียมด้วยเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ (non-woven) ปกติทำจากวัสดุพอลิพรอพิลีนหรือไนลอน ซึ่งเป็นวัสดุที่ย่อยสลายทางชีวภาพ เมื่อทิ้งเป็นขยะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันสินค้าที่ผลิตจากวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหรือใช้คำว่า "Green Product" เป็นอีกสิ่งดึงดูดใจและเป็นอีกทางเลือกให้กับลูกค้า รวมถึงเพิ่มการแข่งขันในตลาดทั้งในและต่างประเทศด้วย เราจึงเล็งเห็นความสำคัญและประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม จึงสนใจที่จะเปลี่ยนวัสดุบางส่วนในกระบวนการผลิตเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาพอลิแลคติกแอซิดซึ่งเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นวัสดุที่มีศักยภาพทางการตลาด เนื่องจากมีกำลังการผลิตที่มากที่สุดในกลุ่มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิด เป็นพอลิเมอร์ที่มีความทนทานต่อแรงดึงสูง แต่เปราะ ไม่เหนียวและการต้านทานต่อความร้อนต่ำ [1] จำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้มีความยืดหยุ่นที่เหมาะสม เมื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะได้ไม่แตกหักง่าย [2] โดยการนำโคพอลิเมอร์ไซเชอร์กับมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ การผสมกับพอลิเมอร์ที่มีความนิ่มกว่า หรือการเติมสารเติมแต่งต่างๆ เช่น พลาสติกไซเชอร์ สารก่อผลึก เป็นต้น [3] งานวิจัยที่ผ่านมา มีการศึกษาการเติม พลาสติกไซเชอร์ เพื่อเพิ่มความนิ่มให้กับพอลิแลคติกแอซิด ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) [4-6] พอลิพรอพิลีนไกลคอล (PPG) [7] Nobuo Ogata และคณะ ศึกษาการเตรียมเส้นใยขนาดนาโนพอลิแลคติกแอซิด ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิ่งแบบหลอมเหลว

(Melt-Electrospinning) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแสงเลเซอร์ส่งผลให้ความเป็นอสัณฐานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของแสงเลเซอร์ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง และทำให้อุณหภูมิการเกิดผลึกและอุณหภูมิหลอมผลึกลดลง [8]

Rutchaneekom Wongpajan และคณะ ศึกษาการเตรียมเส้นใยนาโนพอลิแลคติกแอซิดแบบไม่ถักไม่ทอด้วยเครื่อง Cotton Candy พบว่าอุณหภูมิของกระบอกลอมเหลว (Barrel Temperature) และความดันของอากาศ (Air pressure) มีผลต่อขนาดเส้นใย ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และความดันของอากาศเป็น 0.2 MPa ให้ขนาดเส้นใยนาโนเล็กที่สุดและให้ผลผลิตมากที่สุดด้วย [9]

งานวิจัยนี้ ศึกษากระบวนการขึ้นรูปแผ่นรองพรมจากกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอด้วยเทคนิคสปินบอร์น และใช้พอลิแลคติกแอซิดแทนพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลต ทำการเพิ่มสมบัติความเหนียวของ PLA ด้วยพลาสติกไซเชอร์พอลิเอทิลีนไกลคอลโดยเติมพลาสติกไซเชอร์ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในกระบวนการขึ้นรูปด้วยเทคนิคสปินบอร์น นั้น ศึกษาการปรับเปลี่ยนแรงลมที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ โดยใช้แรงลมที่ 15, 20 และ 25 psi ต่อผลของขนาดเส้นใย ความหนาของชิ้นงาน น้ำหนักของชิ้นงาน รวมถึงผลของสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนด้วย

### 2. ระเบียบวิธีวิจัย

#### 2.1 วัตถุดิบและการผสม

นำเม็ดพอลิแลคติกแอซิดเกรด 6100D (MFI = 24) นำเม็ดพอลิแลคติกแอซิดเกรด 6100D (MFI = 24 g/10 min, density 1.24 g/cm<sup>3</sup>) จากบริษัท NatureWorks LLC.) มาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8



ซีโมง จากนั้นทำการผสมแบบแห้งระหว่างพอลิแลคติก แอซิดและพอลิเอทธิลีนไกลคอล (Mw – 20,000 Da จากบริษัท Sanyo Chemical Industries Company Ltd.) ที่ปริมาณโพรพิลีนไกลคอลเป็น 0 และ 1 ต่อร้อยละโดยน้ำหนัก กระบวนการเตรียมเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอเป็นการนำเครื่องอัดรีดแบบ

สกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder, Thermo Haake Polydrive) มาต่อเข้ากับเครื่องขึ้นรูป สปันบอนด์ (Hill's Spun bond) เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ที่มีหัวตายจำนวน 24 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตรต่อรู ใช้อุณหภูมิที่บาร์เรลจนถึงหัวตายเป็น 190, 200, 210, 210 และ 200°C ตามลำดับและความเร็วสกรูที่ 10 รอบต่อนาที เส้นใยที่ออกจากหัวตายจะถูกพ่นด้วยแรงลมที่ 15, 20 และ 25 psi ลงบนสายพานที่มีแรงดูด เพื่อไม่ให้เส้นใยฟุ้งกระจาย เส้นใยบนสายพานจะวิ่งผ่านลูกกลิ้งที่ 1 และลูกกลิ้งที่ 2 รวมถึงมีการให้ความร้อนกับเส้นใยก่อนถูกม้วนเก็บ แสดงสภาวะดังตารางที่ 1 และรูปของกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ ดังรูปที่ 1 จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบ ตามมาตรฐานการทดสอบ โดยทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC และทำการทดสอบสมบัติเชิงกล



## 2.2 สมบัติทางกายภาพ

2.2.1 การวัดความหนา นำแผ่นเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอที่เตรียมได้ มาตัดให้ได้ขนาด 1x1 cm ทำการวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนาแบบ Dial ยี่ห้อ Telclock รุ่น

SM 112P และทำการวัดซ้ำ 10 ตัวอย่าง/สูตร

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของการเตรียมเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอ

รายละเอียด	Value	
Air Jet (psi)	15, 20, 25	
Conveyer speed (m/min)	1.5	
Pressure of roller 1 (psi)	10	
Pressure of emboss (psi)	10	
Temperature of emboss (°C)	Top (TT)	130
	Bottom (BT)	160

2.2.2 การวัดน้ำหนักมาตรฐาน นำแผ่นเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอที่เตรียมได้ มาตัดให้ได้ขนาด 1 x 1 cm ทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Adventurer AR2140 และทำการวัดซ้ำ 10 ตัวอย่าง/สูตร

2.2.3 การวัดขนาดเส้นใยด้วย Optical microscopic (OM) โดยนำแผ่นเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอที่เตรียมได้ ตัดให้ได้ขนาด 1 x 1 cm วางลงบนแผ่นสไลด์และด้วย Optical microscopic ชนิด Olympus Microscope รุ่น CX41

## 2.3 สมบัติทางความร้อน

วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning calorimetry ด้วยเครื่อง NETZSCH รุ่น DSC 200 F3 ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 10 mg ใส่ในภาชนะอลูมิเนียม ให้ความร้อนรอบแรกกับตัวอย่างที่อุณหภูมิ 30 °C ถึง 250 °C จากนั้นทำให้เย็นลงจาก 250 °C ถึง 30 °C และให้ความร้อนอีกครั้งจากอุณหภูมิ 30 °C ถึง 250 °C ซึ่งในการให้ความร้อนใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 10 °C min<sup>-1</sup> บันทึกอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T<sub>g</sub>) อุณหภูมิการหลอมผลึก (T<sub>m</sub>) และค่าเอนทัลปีของการหลอมผลึก (ΔH)





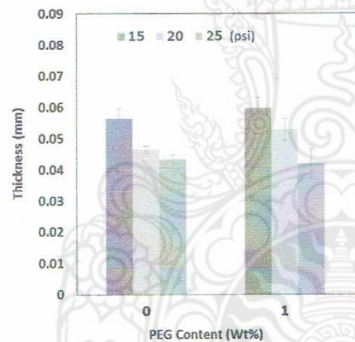
#### 2.4 สมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบความทนต่อแรงดึง โดยมาตรฐาน ASTM D3822 01(8) โดยตัดตัวอย่างชิ้นงานขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร จำนวนสุตรละ 10 ชิ้น จากนั้นนำไปทดสอบความทนต่อแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบความทนต่อแรงดึง (INSTRON รุ่น 5569) ทำการจับชิ้นงานกับคลิปจับชิ้นงานให้ชิ้นงานมีความยาวที่ 25 มิลลิเมตร โดยใช้ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที และบันทึกผลการทดสอบ

#### 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การทดสอบหาความหนาและน้ำหนักมาตรฐาน (Gram per square meter, GSM)

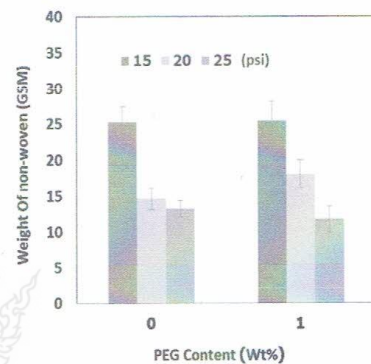
การวัดความหนาของตัวอย่างเส้นใย nonwoven fiber ของ PLA ที่เติม PEG ที่ปริมาณ 0 และ 1 ร้อยละ โดยน้ำหนัก แสดงใน รูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงความหนาของเส้นใย nonwoven PLA/PEG

พบว่าความหนาของแผ่นชีทเส้นใย nonwoven ที่เตรียมได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ PEG ที่เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 1 wt% อย่างไรก็ตามพบว่าความหนาของแผ่นตัวอย่าง nonwoven ลดลงเมื่อปริมาณแรงดันลมเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน รูปที่ 2. การเติม PEG 1 wt% ส่งผลให้ค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ผิวมีค่าสูงสุด การเติม PEG 1 wt% มีการกระจายตัวของ PEG ใน PLA matrix ที่ดี จากการผสม PLA และ PEG การเตรียมเส้นใยผสม nonwoven ทำโดยกระบวนการผสมแบบแห้ง (dry blend process) และ

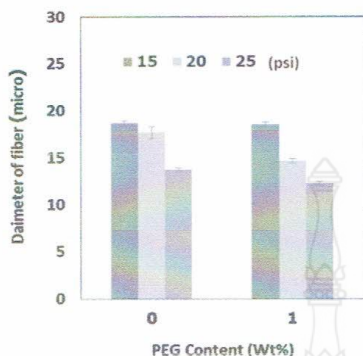
ปริมาณ PEG ผสมมีปริมาณมาก อาจกระจายตัวบนเมทริกซ์ได้ไม่ดีและอาจเกิดการรวมกลุ่มและเคลือบบน PLA นอกจากนี้ Amita Bartia และคณะ รายงานจากการศึกษาผิวหน้าชิ้นงานจากการหัก พบว่าผิวหน้าตัวอย่างที่เกิดการแปรสภาพเกิดขึ้นบริเวณผืนงที่เป็นรอยต่อกับพลาสติกไซเซอร์ [11] 3.2 Optical microscopy (OM) image และขนาดของเส้นใย



รูปที่ 3 แสดงน้ำหนักของเส้นใย nonwoven PLA/PEG



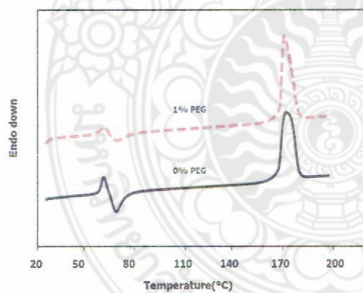
รูปที่ 4 แสดงภาพเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอด้วยเทคนิค Spunbond จาก Optical microscope ที่ปริมาณPEG แตกต่างกัน (a) ไม่เติม PEG และ (b) เติม PEG 1 wt%



รูปที่ 5 แสดงขนาดของเส้นใย nonwoven PLA/PEG

การวิเคราะห์ Optical microscopic (OM) ของ PLA/PEG nonwoven แสดงในรูปที่ 3 ทำการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอจาก OM image โดยใช้ Axio Vision Rel.4.8 และแสดงในรูปที่ 4 พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ PLA nonwoven ที่เติม PEG 1 wt% มีขนาดเล็กลง แสดงให้เห็นว่า PEG ทำหน้าที่พลาสติกไซเซอร์ทำให้โมเลกุลของ PLA เคลื่อนที่ได้มากขึ้นทำให้เกิดการยึดตัวมากขึ้นระหว่างการดึง และผลจากแรงดันลมที่เป่าขณะที่เส้นใยยึดตัวขณะที่ร้อนทำให้เห็นผลของแรงดันลมต่อขนาดของเส้นใยที่ลดลงอย่างชัดเจน

### 3.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน



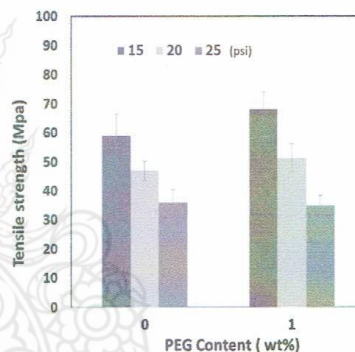
รูปที่ 6 แสดงกราฟ DSC ของเส้นใย nonwoven PLA/PEG

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลในการวิเคราะห์ผล DSC ของเส้นใย PLA แบบไม่ถักไม่ทอที่ปริมาณ PEG ที่แตกต่างกัน

PEG content (wt%)	$T_m$ (°C)	$\Delta H_m$ (J g <sup>-1</sup> )	$T_g$ (°C)	Xc (%)
0	174.1	51.12	63.9	54.56
1	172.9	51.43	63.1	54.89

จากผลการทดสอบพบว่า  $T_g$  ของ PLA มีค่าลดลงตามปริมาณการเติม PEG ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เมื่อเติมลงใน PLA จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทำให้ใช้พลังงานในการหมุนรอบพันธะของโมเลกุลน้อยลง ทำให้ PLA นิ่มขึ้น เพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก

### 3.4 การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile strength)



รูปที่ 7 แสดงความทนต่อแรงดึงของเส้นใย nonwoven PLA/PEG

รูปที่ 7 แสดงผลของการวิเคราะห์ค่าความทนต่อแรงดึงของ PLA nonwoven ที่เติม PEG ปริมาณ 0 และ 1 ร้อยละโดยน้ำหนัก และที่แรงลมที่ 15, 20 และ 25 psi พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงสอดคล้องกับค่าความหนาและน้ำหนักของ PLA nonwoven ใน รูปที่ 2 และ 3 ที่ ปริมาณ PEG 1 wt% ที่แรงดันลม 15 psi เส้นใยค่าความหนาและน้ำหนักสูงสุดซึ่งส่งผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงที่สูง อย่างไรก็ตาม ที่ปริมาณแรงดันลมต่ำ มีค่าความทนต่อแรงดึงสูง เนื่องจากความหนาที่มีค่ามาก ความหนาแน่นและความนุ่มมีค่ามาก



จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าที่ปริมาณ PEG ที่ 1 ร้อยละโดยน้ำหนักและที่แรงดันลมที่ 15 psi มีความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด เนื่องจากที่แรงดันลมที่ 15 psi มีการกระจายตัวของเส้นใยที่น้อยสุด จึงทำให้ nonwoven ที่ได้มีความหนาแน่นมากกว่าที่แรงดันลมที่ 20 และ 25 psi ส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า

#### 4. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

ผลของแรงดันลมต่อกระบวนการขึ้นรูปแผ่นรองพรม ในปริมาณการผสม PEG ที่ 0 และ 1 ส่วนต่อร้อยละโดยน้ำหนัก และที่แรงดันลมที่ 15, 20 และ 25 psi โดยกระบวนการ Spunbond Nonwoven จากนั้นทำการศึกษาความหนาแน่นหน้ามาตรฐาน ขนาดของเส้นใย อุณหภูมิ การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) อุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) และความทนต่อแรงดึง จากการศึกษาค้นคว้า การเติม PEG ลงใน PLA ส่งผลให้  $T_g$  ของ PLA มีค่าลดลง ตามปริมาณการเติม PEG ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เมื่อเติมลงใน PLA จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้ใช้พลังงานในการหมุนรอบพันธะของโมเลกุลน้อยลง ทำให้ PLA นิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก. และจากการทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพ พบว่าที่ปริมาณการเติม PEG ที่ 1 ส่วนต่อร้อยละโดยน้ำหนัก มีสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพที่สูงที่สุด และผลของแรงลมต่อกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยแบบไม่ถักไม่ทอด้วยเทคนิค Spunbond พบว่าแรงลมที่ 15 psi ให้ชิ้นงานที่หนาและน้ำหนักที่สูงกว่า 20 และ 25 psi จึงส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงของเส้นใยสูงตามไปด้วย

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) รหัสโครงการ 5910040 บริษัท ไทยเนโกโร จำกัด และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Olivares-Marin and M. M. Maroto-Valer, Preparation of a highly microporous carbon from a carpet material and its application as CO<sub>2</sub> sorbent, Fuel Processing Technology, 93 (2011) 322-329.
- [2] Mihut, C., Captain, D. K., Gadala-Maria, F., & Amiridis, M. D. (2001). Recycling of nylon from carpet waste. Polymer Engineering & Science, 41(9), 1457-1470.
- [3] Y. Wang and D. Zhao, Effect of fabric structures on the mechanical properties of 3- D textile composites, J. Ind. Text., 35 (2006) 239-256.
- [4] P. M. Subramanian, Plastics recycling and waste management in the US. Resour. Conserv. Recycl., 28 (2000) 253-263.
- [5] Y. Lemmouchi, M. Murariu, A. Margarida, D. Santos, A. Amass, E. Schacht and P. Dubois, Plasticization of poly(lactide) with blends of tributyl citrate and low molecular weight poly(D,L- lactide) - b- poly(ethylene glycol) copolymers, Eur. Polym. J., 45 (2009) 2839-2848.
- [6] F. Hassouna, J. M. Raquez, F. Addiego, P. Dubois, V. Toniazzo and D. Ruch, New approach on the development of plasticized polylactide (PLA): Grafting of poly(ethylene glycol) (PEG) via reactive extrusion, Eur. Polym. J., 47 (2011) 2134-2144.
- [7] S. Jacobsen and H. G. Fritz, Plasticizing polylactide-the effect of different plasticizers on the mechanical properties, Polym. Eng. Sci., 39 (1990) 1303-1310.
- [8] O. Nobuo, Y. Shinji, S. Naoki, L. Gang, I. Toshiharu, N. Koji and O. Takashi, Poly(lactide) Nanofibers Produced by a Melt-Electrospinning System with a Laser Melting Device, Journal of Applied Polymer Science, 104 (2007) 1640-





1645.

- [9] W. Rutchaneekorn, T. Supaphorn, I. Hiroyuki, O. Masayuki and H. Hiroyuki, Preparation of Poly(lactic acid) Nanofiber by Cotton Candy Method, AWPP, (2015)
- [10] B. Amita, K. G. Rahul, N. B. Sati and H. J. Choi, Compatibility of biodegradable poly(lactic) (PLA) and poly(butylenes succinate) (PBS) blends for packaging application, Korea-Australia Rheology Journal, 19 (2007) 125-131.





# Certificate of Attendance

Industrial Engineering Network Conference 2017

Presents to

**Miss Prapadsorn Wannid**

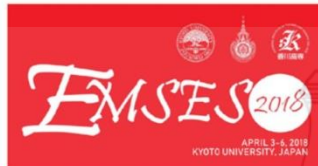
for the paper entitled

*Effect of Air Jet Pressure on Carpet Backing Fabrication Process*

12-15 July 2017, Chiang Mai, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Apichat Sopadang  
Chairman of Industrial Engineering Network  
Conference 2017

Asst. Prof. Dr. Wasawat Nakkiew  
Head of Industrial Engineering Department  
Chiang Mai University



**The 14<sup>th</sup> Eco-Energy and  
Materials Science and  
Engineering Symposium**

April 3 – 6, 2018, Kyoto University, Japan

**Proceeding Book**

**The 14<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and  
Engineering Symposium 2018**

**Session Topics:**

Environment,  
Energy Technology,  
Materials,  
Social Impact and Development and  
New Energy and Fusion

**LIST OF 14<sup>th</sup> EMSES 2018 REVIEWERS**

Boonyang	PLANGKLANG	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Surin	NGAEMNGAM	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nathabhat	PHANKONG	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Napaporn	PHUANGPORNPIITAK	Kasetsart University
Wekin	PIYARAT	Srinakharinwirot University Ongkharak
Hideaki	OHGAKI	Kyoto University
Kouchi	MIURA	Kyoto University
Krischonmne	BHUMKITTIPICH	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Uthen	KAMNARN	Rajamangala University of Technology Lanna
Boonrit	PRASARTKAEW	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pramuk	UNAHLEKHAKA	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Pimnapat	BHUMKITTIPICH	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Yuji	FUJITA	Mitsubishi Chemical Reserach
Chanchai	THONGPIN	Silpakorn University
Hiroyuki	NISHIMOTO	Takeda Pharmaceutical Company
Tomoya	TAKEDA	Taste Inc.
Nattakarn	HONGSRIPHAN	Silpakorn University
Supakij	SUTTIRUENGWONG	Silpakorn University
Natee	SRISAWAT	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Narit	TRIAMNAK	Silpakorn University
Rattikarn	KHANKRUA	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Sumonman	NIAMLANG	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Sorapong	PAVASUPREE	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Sutinee	GIRDTHEP	Silpakorn University
Anin	MEMON	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Winai	CHANPHENG	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Sommai	PIVSA-ART	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Cheewita	SUWANCHAWALIT	Silpakorn University
Wissanu	CHARERTANOM	Rajamangala University of Technology Isan
Weraporn	PIVSA-ART	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Bawornkit	NEKHAMANURAK	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Sirichai	TORSAKUL	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pajaera	PATANATHABUTR	Silpakorn University
Akinori	SEITO	Kyoto University
Hitomi	OHARA	Kyoto Institute of Technology
Nadarajah	MITHULANANTHAN	University of Queensland
Takeshi	YAO	Kayawa College
Yuichi	ANADA	Hokkaido Information University
Young	S. CHAI	Younnam University
Seonghyuk	KO	Yonsei University
Kumron	SIRATHANAKUL	Nakhon Panom University
Jakkree	SRINONCHAT	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nattapong	PHANTHUNA	Rajamangala University of Technology Pha Nakon
Sakorn	PO-NGAM	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Nattawoot	SUWANTHA	Maharakham University
Tawatthai	CHARINPANITKUL	Chulalongkorn University
Mbaitiga	ZACHAIE	National Institute of Technology, Okinawa College
Natha	KUPTASTHIEN	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pongsri	SIWARASAK	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Yuji	ASO	Kyoto Institute of Technology
Sutham	NIYOMWAS	Prince of Songkla University
Pramoch	RANGSUMVIGIT	Chulalongkorn University
Winadda	WONGWIRIYAPAN	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Nattachote	RUGTHAICHAROENCHEEP	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Suravut	CHUANGCHOTE	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Chuntip	SAKULKHAEMARUETHAI	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Putinun	UAWONGSUWAN	King Mongkut's University of Technology
Leong	YEW WEI	Institute of Materials Research and Engineering
Chatchai	SUPPITAKSAKUL	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Apisit	KOSITCHAITONG	PTT Global Chemical Public Company Limited
Atitaya	TOHSAN	King Mongkut's University of Technology
Wattanaphon	HEEWAWUTTIPONG	Rajamangala University of Technology Srivijaya
Supattana	NIRUKKANAPORN	Rangsit University
Nithiwatthn	CHOOSAKUL	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Teerin	KONGPUN	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Thirawat	MUEANSICHAI	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Taro S	ONOBE	Kyoto University
Noppawan	MOTONG	Naresuan University
Tetsuo	TEZUKA	Kyoto University
Khampone	NANTHONG	National University of Laos



CONTENT (CON'T)

	<b>Page</b>
Development Of Inverse Structure Organic Position Sensitive Detector Under Red Light Illumination <i>A. Kida, M. Miyoshi, T. Morimune and H. Kajii</i>	95
Reactive Compatibilization Of Poly(3-Hydroxybutyrate) And Polylactic Acid Blends <i>K. Jeensikhong, M. Seadan and S. Suttiruengwong</i>	100
Facile Preparation of Polylactic acid/Thermoplastic Starch Blend Improved Compatibilization <i>K. Tocuwang, M. Seadan, W. Lertwanawatana and S. Suttiruengwong</i>	105
Utilization of Rhyolite Fragment for Light-weight Cement-bonded Fiberboard Product <i>K. Suweero and P. Khamput</i>	111
Study of Light-weight Precast Concrete Wall Panel Product with Aerated Injection Technique as Core Wall <i>P. Weeranukul, I. Weranukul and K. Suweero</i>	116
Design and Construction Processes of Steel Structure of Hemisphere Pre-engineered Building with Easy Assembly Type <i>K. Suweero, P. Weeranukul and I. Weranukul</i>	122
Using Poly Ethylene Terephthalate Plastic Waste as Mixture to Produce High Strength Milk Carton Waste Artificial Wood <i>P. Weeranukul, I. Weranukul and K. Suweero</i>	128
Application On Smart Tensile Testing Machine With Ultrasonic Sensor In Strain Measurement <i>S. Chatchuenyot, D. Sukma, M. Seadan and S. Suttiruengwong</i>	134
Development Of Monte Carlo Simulation Code For Transport Of Helium Atoms In Heliotron J Edge Plasma Region <i>H. Kawazome, T. Kaneko, S. Kado, R. Yano, K. Tsunose, T. Kanazawa, N. Nisiho and T. Mizuuch</i>	140
Conceptual Model of Participatory Communication for Water Resources Management in Samut Songkhram Province, Thailand <i>N. Iamsomboon, P. Jeerapattanaorn and P. Duangpatra</i>	144
Viscose Rayon Fiber from Sugarcane Bagasse <i>N. Srisawat, S. Kaenthong</i>	149
Microfiber Nonwoven for Carpet Part from Poly(lactic acid) Using Cotton Candy Process <i>P. Wannid, W. Pivsa-Art, T. Negoro, S. Pivsa-Art</i>	154
Thermal and Mechanical Properties of Poly(lactic acid)/Pineapple Leaf Fibers/Silica Hybrid Composites <i>P. Kantipongpipat, S. Suttiruengwong, M. Seadan, T. Amornsakchai</i>	159
Application on smart tensile testing machine with ultrasonic sensor in strain measurement <i>D. Sukma, S. Chatchuenyot, S. Suttiruengwong, M. Seadan</i>	164
Development of the reactive distillation based sodium methoxide production plant <i>C. Charoenmittraphap, C. Siraworakun, S. Assabumrungrat</i>	170

## Microfiber Nonwoven for Carpet Part from Poly(lactic acid) Using Cotton Candy Process

Prapadsorn Wannid<sup>1</sup>, Weraporn Pivsa-Art<sup>2</sup>, Takanori Negoro<sup>3</sup>, Sommai Pivsa-Art<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials and Metallurgical Engineering,

<sup>2</sup>Department of Chemical and Materials Engineering,

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12110, Thailand

<sup>3</sup>Negoro Sangyo Co., Ltd., Sakai-shi, Osaka, 592-8352, Japan

\*Corresponding E-mail: [sommai.p@cn.rmutt.ac.th](mailto:sommaip@cn.rmutt.ac.th)

**Abstract**— The melt spinning process to produce a secondary backing of carpet using poly(lactic acid) (PLA) was studied. To reduce the fiber size for improvement of the surface area of the fiber, the application of high pressure spinning process, the cotton candy process, to produce PLA nonwoven was investigated. However, due to brittleness of PLA the melt spinning process was not smoothly performed and small fibers were not produced. In this research we studied the effect of addition of poly(ethylene glycol) (PEG) as plasticizer to overcome the limitation of fiber processing of PLA. The amount of PEG addition was 1, 3 and 5 wt%. The condition controlled for the cotton candy process was set up with barrel temperature 230 °C, screw speed 5 rpm and air pressure 0.5 MPa. The collector for the fibers and the extrusion die was placed with distance of 60 cm with collection time for 5 min. The fiber sheet from a collector was compressed using a compression molding process at room temperature. The morphology of PLA fiber was analyzed and the diameter of fiber was measured. The diameter of PLA without addition of PEG was 16 µm whereas addition of PEG to PLA for 1, 3 and 5 wt% the diameter of fiber reduced to 12.5, 11.7, 2.5 µm, respectively. The microfiber nonwoven PLA showed higher tensile strength than the commercial polyester.

**Keywords**—Poly(lactic acid), poly(ethylene glycol), cotton candy process, carpet secondary backing

### I. INTRODUCTION

At present, the amount of carpet used has increased significantly. With versatile utilization, carpet has potential to be applied to architecture within automotive and aircraft industries [1]. The structure of carpet comprises of primary backing, secondary backing and tuft. The structural element of the carpet is primary backing follows by the secondary backing. The structure of the primary and secondary backing of carpet is jute fiber, knitted fiber. The materials for layer fabrication are made of jute, Kraft cord, cotton and polypropylene. The secondary backing supports the whole carpet structure and helps to prevent carpet from moisture and

bacteria. It is mostly made from the same material as primary backing. In carpet structure fabrication, the primary backing is attached to the secondary backing using a bonding agent. The commonly used adhesives for binding the two backings are synthetic rubber, styrene-butadiene-rubber or polyamide [2]. Polypropylene and poly(ethylene terephthalate), are common polymers used for primary backing and secondary backing. They are non-degradable materials. From the increasing of carpet production their garbage is increasing rapidly and causing environmental problems. Carpets are mostly applied that more than 50% of all floor coverings are carpet. The amount of waste is related to the production, processing and the equipment, including the cutting and decoration of the carpet. The amount of used carpets treated in the British landfill was more than 400,000 tones [3]. Recycle of used nylon carpets is the effective method to save new petroleum-based polymers and reduce the environmental pollution of waste treatment. Furthermore, the application of environmental friendly material or "green product" as a substitute material has been studied. Poly(lactic acid) (PLA) is an eco-friendly, biodegradable polymer. PLA has high mechanical property but the PLA is a brittle and rigid polymer. These restrictions limit its applicability. To improve the flexibility and impact property of PLA for fiber, film and packaging applications, addition of plasticizers has been reported [4-10]. Mixing of high molecular weight plasticizers for PLA such as poly(ethylene glycol) (PEG) [12-14], poly(propylene glycol) (PPG) [15] have been reported. PEG has shown good plasticity for PLA. But the amount of PEG used in PLA must be equal or less than 20% due to the potential impact of PEG on glass transition temperature (T<sub>g</sub>) of PLA.

Furthermore, the process of melt spinning is an important factor to the fiber size. In this research we studied the preparation of the secondary backing of carpet using PLA as a matrix material. The effect of PEG plasticizer on improvement of ductility of PLA using a melt jet spinning process was reported.



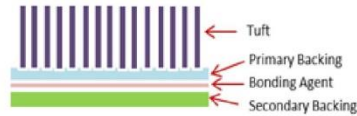


Fig. 1. Carpet component

## II. EXPERIMENTAL

### A. Materials

Poly (lactic acid) (PLA; Ingeo biopolymer grade 6100D, melt flow index (MFI) 24 g/10 min, density 1.24 g/cm<sup>3</sup>) used in this research was obtained from NatureWorks LLC. Polyethylene glycol (PEG, Mw ~ 20,000 Da) was produced by Sanyo Chemical Industries Co. Ltd.

### B. Methodology

The PLA pellets and PEG were dried in an oven at 80 °C for 8 hours before used. PEG plasticizer (1, 3, and 5 wt%) was mixed with PLA using a twin screw extruder and cut to pellets. The compounded pellets dried at the same conditions and subjected to a melt jet spinning (cotton candy method) process through a 3 holes die with diameter of 0.4 mm per hole and a hot air outlet in the center of the nozzle. The polymer melt is moved to the nozzle and to the spinneret. The spinning conditions are: barrel temperature 170, 200, 230 (extruder zone) 230 (connector) and 230 °C (die), screw speed of 5 rpm. The conditions of nonwoven fibers preparation are shown in Table 1. The sample was melted by melt extrusion of screw rotating with small diameter spinneret nozzle. To process small size fibers, the melted polymer was blown out at the nozzle by hot air blower as shown in Fig. 2.

Table I. Condition of a cotton candy process

Detail	Value
Collection time (min)	5
Screw speed (rpm)	5
Air Pressure (MPa)	0.5
Collector distance (cm)	60

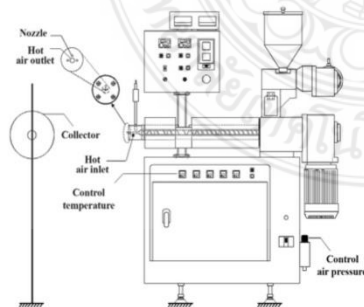


Fig. 2. Melt jet spinning machine

### C. Physical Properties

#### 1) Thickness

The non-woven sheet prepared was cut to size 1 x 1 cm for 10 pieces of each samples. The sample thickness was measured using a Telclock Dial thickness gauge SM 112P.

#### 2) Weight of nonwoven

Weight of nonwoven samples was measured using analytical balance in the unit of gram per square meter using an Ohaus model Adventurer AR2140.

#### 3) Scanning electron microscope (SEM)

The nonwoven samples were cut to 0.5 x 1 cm for each products. Morphology of PLA fibers was observed using SEM (JSM-6510) at accelerated voltage of 15 kV. The sample was coated with gold for 15 min before analysis. The diameter of fibers was measured using image analysis software (Image J).

#### 4) Burst test

The nonwoven sheet prepared was cut to size 10 x 10 cm for 5 pieces of each samples. The sample burst test was measured using a M229P PnuBurst Bursting Strength Tester.

### D. Thermal property

Thermal analysis of the microfiber nonwoven was recorded using a differential scanning calorimeter (DSC200 F3, NETZSCH) under nitrogen gas flow, with a heating rate of 10 °C min<sup>-1</sup>. The sample (~10 mg) was placed into an alumina crucible. After the first heating from 30 °C to 250 °C at a rate of 10 °C min<sup>-1</sup>, heat was maintained at 250 °C for 3 min, then cooled to 0 °C with cooling rate of 10 °C min<sup>-1</sup> before the second step heating. The thermograms of the second heating were recorded. Glass transition temperature ( $T_g$ ), cold crystallization temperature ( $T_c$ ), melting temperature ( $T_m$ ), and heat of fusion ( $\Delta H_m$ ) were determined from the second heating scans.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

### A. Physical property

The physical property was measured for the samples of PLA/PEG by measured the thickness, weight, and diameter of nonwoven fiber. The results are shown in Fig. 3 and Fig. 4.

#### 1) Thickness and standard weight (gram per square meter, GSM)

The thickness of samples prepared from nonwoven fiber of PLA with PEG addition at different ratios as shown in Fig. 3.

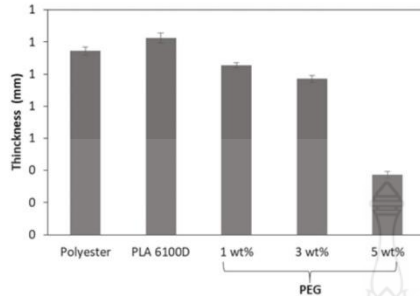


Fig. 3. Thickness of PLA/PEG nonwoven fiber

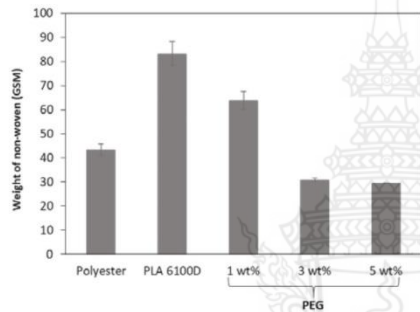


Fig. 4. Weight of nonwoven fiber PLA/PEG

It was found that thickness of nonwoven sheets prepared decreased when the content of PEG increased from 1 to 5 wt%. However, when the content of PEG was more than 5 wt%. The thickness was extremely decreased as shown in Fig. 3.

The effect of PEG on thickness and weight (gram per square meter, GSM) of nonwoven was investigated. It was found that thickness of all nonwoven sheets prepared decreased with increasing content of PEG from 1 to 5 wt%. The diameter of fibers decreased with increasing content of PEG which resulted in decreasing of sheets weight.

#### 2) Morphology

The morphology analysis of PLA/PEG nonwoven was shown in Fig. 5. The diameter analysis from SEM image using the software (Image J) was shown in Fig. 6. It was found that the diameter of nonwoven of commercial polyester and PLA was 22.63 and 16.11 micron, respectively. Addition of PEG to PLA of 1, 3 and 5 wt%, the diameter of nonwoven PLA reduced to 12.43, 11.73 and 2.51 micron, respectively. The reasons that the diameter of non-woven of PLA decreases may be due to 1) the effect of air pressure that pulled the multifilament from the air pressure point to the collector resulted in stretching of the filaments before falling on the collector, and 2) the polymer temperature decreased

from the die until reach room temperature and the state of fiber changed from melt state to rubber state and to glassy state ( $T_g$  of PLA is 64.2°C which is higher than room temperature). The results confirmed that PEG acted as a plasticizer and decreased  $T_g$  of PLA [14,15]. PEG assisted more time of the fibers to be extended.

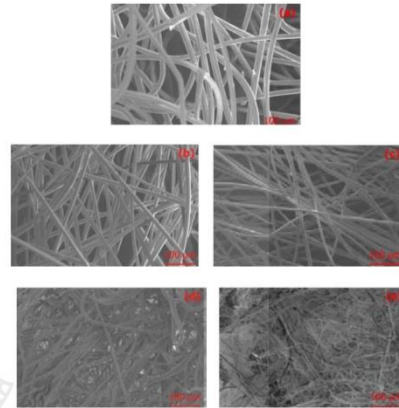


Fig. 5. SEM Image of nonwoven fiber of PLA with different PEG content (a) Polyester (b) PLA6100D (c) 1 wt% (d) 3 wt% and (e) 5 wt%

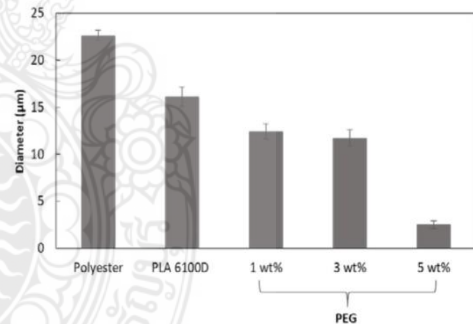


Fig. 6. Diameter of PLA/PEG fiber

#### B. Thermal property

##### 1) DSC

Fig. 7 and Table II show thermal analysis of PLA nonwoven with different PEG content. It was found that  $T_m$  of PLA was not changed whereas  $T_g$  decreased obviously with addition of PEG. The results were in agreement with the previous reports for the plasticizer effect of PEG on PLA [16, 17].

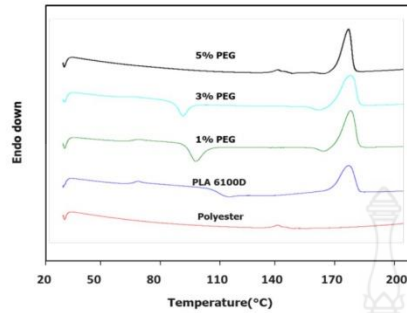


Fig. 7. DSC Thermogram of the 2<sup>nd</sup> heating scan of nonwoven of PLA with different PEG content.

Table II. Thermal Analysis of PLA/PEG nonwoven

	$T_m$ (°C)	$\Delta H_m$ (J g <sup>-1</sup> )	$T_g$ (°C)
Commercial Polyester	270	-	65
PLA	181.89	36.04	67.43
PEG content (wt%)			
1	182.99	44.77	67.23
3	182.90	43.99	62.88
5	181.91	43.93	61.34

### C. Mechanical property

#### 1) Tensile strength

Fig. 8. shows results of tensile test of nonwoven of PLA with different PEG content. Addition of PEG reduced the mechanical property of PLA. However, compared with commercial polyester the tensile strength of PLA/PEG nonwoven is higher than the commercial standard.

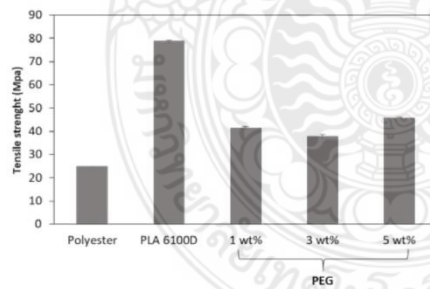


Fig. 8. Tensile strength of PLA/PEG nonwoven

#### 2) Burst test

The results from Fig. 9, the nonwoven sheets of PLA and PLA/PEG showed lower bursting strength than commercial polyester. PLA/PEG nonwoven sheets

thickness was thinner than a polyester sheet which due to smaller diameter of the cotton candy process fibers.

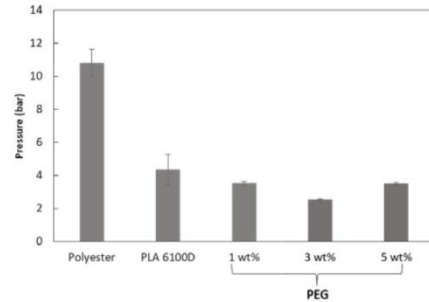


Fig. 9. Bursting strength of PLA/PEG nonwoven

### IV. CONCLUSION

The melt jet spinning or a cotton candy process has been applied to produce the secondary backing part of carpet using PLA as polymer material. PEG was added to PLA to improve the potential of melt spinning process and property of the non-woven. Addition of PEG for 1, 3 and 5 wt% to PLA showed that the size of the prepared nonwoven fiber was significantly reduced. With 5 wt% PEG the tensile strength of PLA/PEG nonwoven was higher than the commercial polyester.

### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the Research and Researchers for Industries (RRI) for research financial support (MSD5910040) and Thai Negoro Co., LTD. for materials and experimental support.

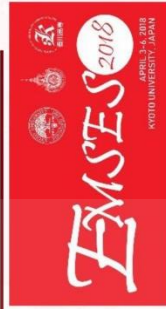
### REFERENCES

- [1] C. Mihut, D.K. Captain, F. Gadala-Maria, and M.D. Amiridis, "recycling of nylon from carpet waste," *Polym Eng Sci*, pp. 1457-1470, 2001.
- [2] M. Olivares-Marin, M.M. Maroto-Valer, "Preparation of a highly microporous carbon from a carpet material and its application as CO<sub>2</sub> sorbent," *Fuel Processing Technology*, Vol. 92, pp. 322-329, 2011.
- [3] L. Bird, "Carpet Recycling UK Conference 2014," Opening Remarks, IET Austin Court, pp. 23-24, June 2014.
- [4] M. Savioli, A.L. Jardini, R. Maciel, "Poly (lactic acid) production for tissue engineering applications," *Procedia Engineering*, Vol. 42, pp. 1402-1413, 2012.
- [5] R.E. Drumright, P.R. Gruber and D.E. Henton, "Polylactic acid technology," *Adv. Mater*, Vol. 12, pp. 1841-1846, 2000.
- [6] D.E. Henton, P. Gruber, J. Lunt and J. Randall, "Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites," Taylor & Francis, F.L. Boca Raton pp. 527-577, 2005.
- [7] S. Jacobsen and H.G. Frit, "Plasticizing polylactide-the effect of different plasticizers on the mechanical properties," *Polym Eng Sci*, Vol. 39, pp. 1303-1310, 1990.



- [8] Yahia Lemmouchi, Marius Murariu, Ana Margarida, Dos Santos, Allan J. Amass, Etienne Schacht and Philippe Dubois, "Plasticization of poly(lactide) with blends of tributyl citrate and low molecular weight poly(D,L-lactide)-b-poly(ethylene glycol) copolymers," *European Polymer Journal*, Vol. 45, pp. 2839-2848, 2009.
- [9] J.F. Kennedy, "Knill Multicomponent polymer systems Longman," Scientific and Technical, Singapore 1994.
- [10] Fatima Hassouna, Jean-Marie Raquez, Frédéric Addiego, Philippe Dubois, Valérie Toniazzo, David Ruch, "New approach on the development of plasticized polylactide (PLA): Grafting of poly(ethylene glycol) (PEG) via reactive extrusion," *European Polymer Journal*, Vol. 47, pp. 2134-2144, 2011.
- [11] S. Jacobsen and H.G. Fritz, "Plasticizing polylactide-the effect of different plasticizers on the mechanical properties," *Polym Eng Sci*, Vol. 39, pp. 1303-1310, 1999.
- [12] M. Savioli Lopes, A.L. Jardini and R. Maciel Filho, "Poly (Lactic Acid) Production for Tissue Engineering Applications," *Procedia Engineering*, Vol. 42, pp. 1402-1413, 2012.
- [13] Y. Hu, M. Rogunova, V. Topolkaev, A. Hiltner and E. Baer, "Ageing of poly(lactide)/poly(ethylene glycol) blends. Part I. Poly(lactide) with low stereoregularity," *Polymer*, Vol. 44, pp. 5701-5710, 2003.
- [14] Weraporn Pivsa-Art, Kazunori Fujii, Keiichiro Nomura, Yuji Aso, Hitomi Ohara, Hideki Yamane, "The effect of poly(ethylene glycol) as plasticizer in blends of poly(lactic acid) and poly(butylene succinate)," *journal applied polymer science*, DOI: 10.1002/APP.43044.
- [15] Kyung-man, Choi, Myeon-Cheon, Choi, Dong-Hun, Han, Tae-Sung, Park And Chang-Sik Ha, "Plasticization of poly(lactic acid) (PLA) through chemical grafting of poly(ethylene glycol) (PEG) via in situ reactive Blending," *European Polymer Journal*, pp. 2356-2364, 2013.
- [16] Amita, B., Rahul, K.G., Sati, N.B. and Choi, H.J., "Compatibility of biodegradable poly(lactic) (PLA) and poly(butylenes succinate) (PBS) blends for packaging application," *Korea-Australia Rheology Journal* : 125-151 (2017).
- [17] E. Piorkowska, Z. Kulinski, A. Galeski, R. Masirek, "Plasticization of semicrystalline poly(L-lactide) with poly(propylene glycol)," *Polymer*, Vol. 47, pp. 7178-7188, 2006.

# The 14<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium



This is to certify that

**P. WANNID, W. PIVSA-ART, T. NEGORO, S. PIVSA-ART**

Presented a paper titled

**Microfiber Nonwoven for Carpet Part from Poly(lactic acid) Using Cotton Candy Process**

At the 14<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 2018)

Held between 3<sup>rd</sup> – 6<sup>th</sup> April 2018 at Kyoto University, Japan

Prof. Dr. Hideaki OHGAKI  
Chairman

Asst. Prof. Dr. Sommai Pivsa-art  
Chairman

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวประภัสสร วันนิจ
วัน เดือน ปีเกิด	22 พฤศจิกายน 2536
ที่อยู่	138 หมู่ 9 ตำบลหนองสังข์ อำเภอนาแก จังหวัดนครพนม 48130
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	(นักศึกษาฝึกงาน) บริษัท ชัม ไฮเทคส์ จำกัด 2558
เบอร์โทรศัพท์	089-5180702
อีเมล	taetae_aa@hotmail.com

