



การเตรียมและการศึกษาสมบัติของเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ
ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูลูโลสจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต
PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLYVINYL ALCOHOL
AND HYDROXYPROPYLMETHYLCELLULOSE BY ELECTROSPINNING

นายธนศักดิ์ ภาณุอังกูร รหัส 53364734
นายอธิวัฒน์ วิจิตรศิลป์ รหัส 53364956

ของคณะวิทยาศาสตร์
วันที่รับ..... 25 / 12 / 05
เลขทะเบียน..... 16550265
เลขเรียกหนังสือ..... 2/0
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 147

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีการศึกษา 2556



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การเตรียมและการศึกษาสมบัติของเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

ผู้ดำเนินโครงการ นายธนศักดิ์ ภาณุอังกูร รหัส 53364734
นายอธิวัฒน์ วิจิตรศิลป์ รหัส 53364956

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.นพวรรณ ไม้ทอง

ที่ปรึกษาโครงการร่วม Dr.Gareth Michael Ross


สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี


ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

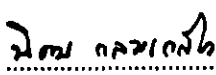
ปีการศึกษา 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)


.....กรรมการ
(ดร.อิสราวุธ ประเสริฐสังข์)


.....กรรมการ
(ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม)


.....กรรมการ
(ดร.นิคม กลมเกลี้ยง)

.....กรรมการ
(อาจารย์อากาศการณ์ จันทรปรีกษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การเตรียมและการศึกษาสมบัติของเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายธนศักดิ์	ภาณุอังกูร	รหัส 53364734
	นายอธิวัฒน์	วิจิตรศิลป์	รหัส 53364956
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.นพวรรณ	ไม้ทอง	
ที่ปรึกษาโครงการร่วม	Dr.Gareth Michael	Ross	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้สนใจทำการศึกษาสัดส่วน ความเข้มข้นสารละลาย ความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล และระยะห่างของฉากรับเส้นใยของพอลิเมอร์ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต พบว่าที่สัดส่วนของสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt ต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 และ 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ให้ลักษณะเส้นใยที่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษาและทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานที่ได้ระหว่างกระบวนการเตรียมการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตและกระบวนการหล่อฟิล์ม ซึ่งพบว่าชิ้นงานทดสอบที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตที่สัดส่วนของสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt ต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยเฉลี่ย 157 นาโนเมตร ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย 78 นาโนเมตร มีค่าความพรุนร้อยละ 64.64 และในระยะเวลา 1 เดือน ชิ้นงานได้มีน้ำหนักลดลงร้อยละ 25.17 และชิ้นงานทดสอบที่สัดส่วนของสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt ต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยเฉลี่ย 89 นาโนเมตร ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย 91 นาโนเมตร มีค่าความพรุนร้อยละ 69.19 และในระยะเวลา 1 เดือน ชิ้นงานได้มีน้ำหนักลดลงร้อยละ 21.99 และชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อขึ้นรูปที่สัดส่วนของสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt ต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ในระยะเวลา 1 เดือน ชิ้นงานได้มีน้ำหนักลดลงเป็นร้อยละ 5.55 และที่สัดส่วนของสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 2.5 %wt ต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt และในระยะเวลา 1 เดือน ชิ้นงานได้มีน้ำหนักลดลงร้อยละ 28.61 ซึ่งจะพบว่าชิ้นงานทดสอบที่ได้จากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต มีสมบัติอยู่ในช่วงที่เหมาะสมของสมบัติของโครงเลี้ยงเซลล์

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ดร.นพวรรณ ไม้ทอง และอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม Dr.Gareth Michael Ross ที่ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมทำให้ปริญญาโทฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญาโทฉบับนี้

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปใช้สถานที่และเครื่องมือสำหรับการสังเคราะห์ชิ้นงานเพื่อไปใช้ในการทำปริญญาโทฉบับนี้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้เป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบบูชาพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ และขอน้อมบูชาท่านบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้วยความรักและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดการดำเนินโครงการจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ดำเนินโครงการ

นายธนศักดิ์ ภาณุอังกูร

นายอิวัฒน์ วิจิตรศิลป์

ธันวาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงการ.....	3
1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	13
3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี.....	13
3.2 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคนิคการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต.....	16
3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานทดสอบ.....	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	22
4.1 ผลการทดลอง.....	22
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองจากภาพถ่าย SEM.....	33
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองจากการย่อยสลายในสารละลาย PBS.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก ก.....	48



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	4
2.1 เทคโนโลยีในการผลิตโครงเลี้ยงเซลล์.....	6
3.1 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ.....	16
4.1 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปของความเข้มข้นของไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	22
4.2 แสดงลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุดในสัดส่วนต่างๆ.....	30
4.3 แสดงน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต.....	37
4.4 แสดงน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อ.....	40

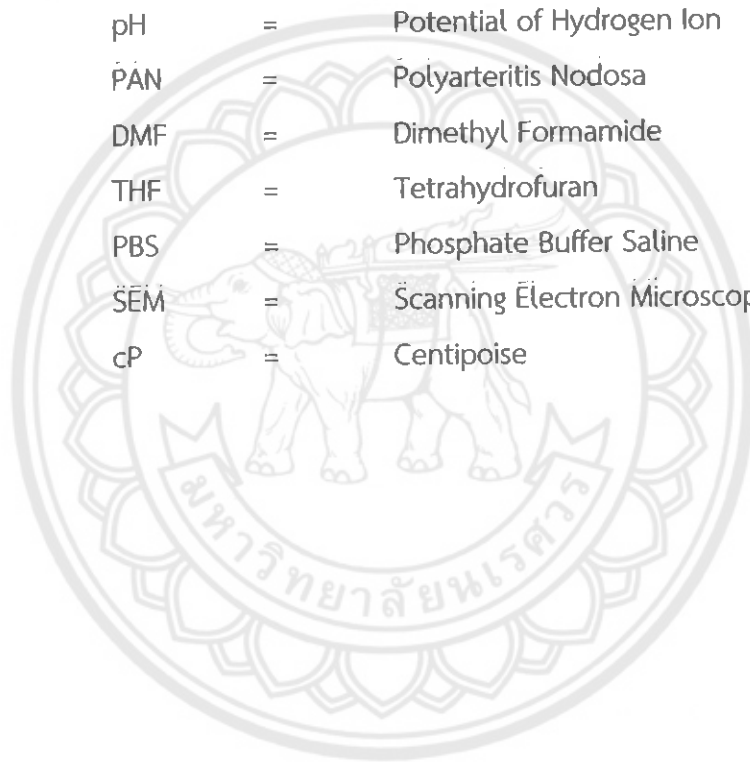


สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต.....	7
2.2 ขนาดของเส้นใยที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายพอลิเมอร์ PAN/DMF เมื่อใช้ความต่างศักย์ 5 10 และ 15 กิโลโวลต์.....	8
2.3 เส้นใยนาโนของ Polyacrylonitrile (PAN) ละลายใน Dimethylformamide (DMF)	9
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	14
3.2 เครื่องปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต.....	17
3.3 กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)	17
3.4 ขนาดชิ้นงานในการทดสอบการย่อยสลาย.....	18
3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	19
3.6 แสดงการใช้ Straight Line.....	19
3.7 แสดงการวัดความยาวของสเกลบาร์.....	19
3.8 แสดงการกำหนดค่าความยาวของสเกลบาร์.....	20
3.9 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย.....	20
3.10 แสดงการแทนที่พื้นที่รูพรุนจากโปรแกรม Image J.....	21
3.11 แสดงการคำนวณพื้นที่รูพรุน.....	21
3.12 แสดงขนาดของรูพรุนเฉลี่ยและค่าความพรุน.....	21
4.1 แสดงตำแหน่งของ Taylor Cone และ Fiber Jet.....	29
4.2 รูปขนาดของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต.....	32
4.3 รูปขนาดของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อ.....	33
4.4 ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	34
4.5 ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	35
4.6 ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	36

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

PLA	=	Polylactic Acid
PGA	=	Polyglycolic Acid
PEO	=	Polyethylene Oxide
PVA	=	Polyvinyl Alcohol
PCL	=	Poly ϵ -Caprolactone
HPMC	=	Hydroxypropyl Methyl Cellulose
MC	=	Methyl Cellulose
pH	=	Potential of Hydrogen Ion
PAN	=	Polyarteritis Nodosa
DMF	=	Dimethyl Formamide
THF	=	Tetrahydrofuran
PBS	=	Phosphate Buffer Saline
SEM	=	Scanning Electron Microscopy
cP	=	Centipoise



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

วิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Tissue Engineering) เป็นกระบวนการสร้างเนื้อเยื่อขึ้นมาเพื่อทดแทนซ่อมแซม หรือปรับปรุงการทำงานของเนื้อเยื่ออวัยวะที่สูญเสียไป หรือได้รับบาดเจ็บ ซึ่งปกติจะไม่มี การงอกใหม่เองในมนุษย์ เนื่องจากเนื้อเยื่อของร่างกายมีวัฏจักรประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น ใช้เป็นโครงสร้างเสริมแรง ได้แก่ กระดูกและกระดูกอ่อน เป็นโครงสร้างที่ใช้ปกป้องอวัยวะ ได้แก่ ผิวหนัง และทำหน้าที่เฉพาะ ได้แก่ กล้ามเนื้อหัวใจ เส้นประสาท หรือมีการผลิตสารที่ร่างกายต้องการ เช่น ตับอ่อน มีหน้าที่เฉพาะคือการผลิตอินซูลิน กระบวนการสร้างเนื้อเยื่อเหล่านี้ จึงมีรายละเอียดวิธี และความต้องการที่จำเพาะ แต่มีหลักการโดยทั่วไปที่คล้ายคลึงกับวิธีการโดยทั่วไปโดยย่อ คือ การสกัดเซลล์ออกมาจากเนื้อเยื่อของผู้ป่วย จากนั้นนำมาเพิ่มจำนวนเซลล์ในห้องปฏิบัติการจนมีจำนวน เซลล์มากพอและมีความสมบูรณ์ของเซลล์ แล้วจึงนำมาเพาะลงในโครงเลี้ยงเซลล์ (Scaffold) ที่ได้รับการออกแบบไว้อย่างเหมาะสม แล้วจึงปลูกถ่ายโครงเลี้ยงเซลล์นั้นลงในร่างกายของผู้ป่วยและปล่อยให้กลุ่มเซลล์เจริญเติบโตไปเป็นเนื้อเยื่อที่ต้องการ ในขณะที่โครงเลี้ยงเซลล์ถูกย่อยสลายไป

โครงเลี้ยงเซลล์โดยทั่วไปจะมีสมบัติที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ คือ มีค่าความเหมาะสมของรูพรุนที่ประมาณร้อยละ 78 มีขนาดของรูพรุนประมาณ 50–300 ไมครอน และรูพรุนควร เชื่อมต่อกัน เพื่อการเจริญเติบโตของเซลล์และการไหลของสารอาหาร พื้นผิวต้องเหมาะสำหรับการ ขยายและยึดเกาะของเซลล์ มีสมบัติเชิงกลที่ตรงกับลักษณะของเนื้อเยื่อบริเวณที่มีการปลูกถ่าย และ จะต้องควบคุมอัตราการย่อยสลายของโครงเลี้ยงเซลล์ให้ตรงกับการเจริญเติบโตของเซลล์เนื้อเยื่อวัสดุ ที่มีความสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นโครงเลี้ยงเซลล์ได้นั้น ในปัจจุบันมีพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ได้รับความนิยม ที่จะนิยมนำมาใช้ขึ้นรูปโครงเลี้ยงเซลล์ ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid; PLA) พอลิไกลโคลิกแอซิด (Polyglycolic Acid; PGA) พอลิเอทิลีนออกไซด์ (Polyethylene Oxide; PEO) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol; PVA) และพอลิคาร์โปลาโตน (Poly ε-Caprolactone ; PCL) เนื่องจากสามารถเข้ากับร่างกายได้ดี ไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย และมีความสามารถในการ ยึดให้เป็นเส้นใยได้ดี ส่งผลทำให้ได้โครงเลี้ยงเซลล์ที่มีพื้นที่ผิวมาก มีความพรุนสูง และรูพรุนเชื่อมต่อกันดี ซึ่งวิธีการขึ้นรูปพอลิเมอร์ให้เป็นเส้นใยวิธีหนึ่ง คือ การขึ้นรูปด้วยการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) ซึ่งเส้นใยที่ได้จะมีขนาดในระดับนาโนหรือที่เรียกว่า เส้นใยนาโน (Nanofiber) ทำให้โครงเลี้ยงเซลล์ที่ผลิตจากวิธีนี้มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยการผลิตเส้นใยนาโน นั้นสามารถทำได้หลายวิธี โดยทางผู้จัดทำได้เลือกวิธีการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตมาใช้ในงานวิจัย ซึ่ง กระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนี้เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยแรงทางไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิด ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง ทำให้สารละลายพอลิเมอร์กลายเป็นนาโนไฟเบอร์ ประกอบด้วยส่วนที่มี

ความสำคัญ 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกำลังสูง (High Voltage Dc Supply) หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (Syringe with Metal Needle) และวัสดุรองรับ (Collector) เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อย สามารถควบคุมขนาดและปริมาณการเกิดเส้นใยได้ต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น โดยการควบคุมกระบวนการและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องด้วยสมบัติที่โดดเด่นของเส้นใยนาโนทำให้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายด้าน เช่น ใช้ผลิตวัสดุทางการแพทย์ วัสดุสำหรับกรองสาร ด้านอิเล็กทรอนิกส์ เกษตรกรรม อุตสาหกรรมสิ่งทอ และทางด้านเภสัชกรรมก็มีการนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบนำส่งยา เป็นต้น

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl Methyl Cellulose; HPMC) สามารถที่จะเตรียมได้จากการนำเอาโพรพิลีนออกไซด์ (Propylene Oxide) มาเติมลงในเมทิลเซลลูโลส (Methyl Cellulose; MC) ทำให้ได้สมบัติที่ละลายได้ดีในน้ำและให้ความหนืดสูงแต่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ ค่า pH จะอยู่ระหว่าง 3-11 ในทางการค้าไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสนั้นจะมีหลายความหนืดให้เลือกใช้การเตรียมไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสจะต้องทำการปั่นด้วยแรงเล็กน้อย เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ เนื่องจากมีสมบัติลดแรงตึงผิว เป็นสารที่ใช้เคลือบเม็ดยาเพื่อกลบรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ของยา ช่วยป้องกันความชื้น ใช้เพื่อเพิ่มการเกาะตัว ใช้ในการผสมเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น และสามารถใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรมหลายอย่าง ในน้ำตาเทียมโดยไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส จะทำหน้าที่เป็นสารที่มีสมบัติยึดติดเยื่อเมือก จึงทำให้น้ำตาเทียมสัมผัสผิวบริเวณดวงตาได้นาน

ทางคณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ โดยนำพอลิเมอร์สังเคราะห์ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งมีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย สามารถเข้ากับร่างกายได้ดี และไม่มีความเป็นพิษ แล้วนำมาขึ้นรูปผ่านกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีสมบัติเหมาะสมที่จะพัฒนาต่อไปเป็นโครงเลี้ยงเซลล์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาสัดส่วน ความเข้มข้นสารละลาย ความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล และระยะห่างของฉากรับเส้นใยของพอลิเมอร์ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

1.2.2 ศึกษาและทดสอบการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานที่ได้ระหว่างกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตและกระบวนการหล่อฟิล์ม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมของสัดส่วนของไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต ที่ทำให้ชิ้นงานมีรูปทรง ค่าความพรุน และลักษณะเส้นใยที่เหมาะสม

1.3.2 ได้สมบัติทางกายภาพของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตที่เหมาะสม

1.4 ขอบเขตในการดำเนินโครงการงาน

1.4.1 ตัวแปรต้น

1.4.1.1 สัดส่วนของไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กำหนดที่ 40 ต่อ 60 50 ต่อ 50 และ 60 ต่อ 40

1.4.1.2 ปริมาณความเข้มข้นของไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส 0.5-3 %wt และของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 5-10 %wt

1.4.1.3 ความต่างศักย์ไฟฟ้าของการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต ในช่วง 15-25 กิโลโวลต์

1.4.1.4 ระยะห่างของตัวถากรับเส้นใยจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในช่วง 12-20 เซนติเมตร

1.4.2 ตัวแปรตาม

1.4.2.1 ลักษณะเส้นใยของชิ้นทดสอบ

1.4.2.2 การย่อยสลายของชิ้นทดสอบ

1.4.3 ตัวแปรควบคุม

1.4.3.1 ปริมาตรของสารละลายพอลิเมอร์ ที่ได้ถูกนำมาใช้ในการขึ้นรูปโดยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต กำหนดที่ 5 มิลลิลิตร

1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงการงาน

1.5.1 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการงาน

ตั้งแต่เดือน เมษายน พ.ศ. 2556 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2556

1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา								
		เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1.7.1	รวบรวมข้อมูล	→	→							
1.7.2	วางแผนดำเนินงาน		→	→						
1.7.3	หาเครื่องมือและวัสดุเพื่อ ทำการทดลอง			→	→					
1.7.4	ขึ้นรูปชิ้นทดสอบ					→	→	→		
1.7.5	ทดสอบชิ้นงาน						→	→		
1.7.6	วิเคราะห์ผลการทดลอง						→	→		
1.7.7	สรุปผลการทดลองและทำ รายงานวิจัย							→	→	→

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบโครงเลี้ยงเซลล์จะต้องพิจารณาถึงสมบัติที่เหมาะสมที่ใช้กับเซลล์ในแต่ละชนิด โครงเลี้ยงเซลล์จะต้องมีที่ว่างมากพอสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์ มีพื้นที่ผิวมาก และมีความพรุนสูง เพื่อเป็นที่ว่างสำหรับการสร้างของเซลล์ โดยการนำพอลิเมอร์สังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลล์ลูโลส ซึ่งมีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย สามารถเข้ากับร่างกายได้ดี ไม่มีความเป็นพิษ โดยใช้กระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงมาใช้ประดิษฐ์เส้นใยและเราจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้

2.1.1 โครงเลี้ยงเซลล์ (Scaffold) [1-7]

ในทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อส่วนประกอบที่สำคัญที่ใช้เป็นโครงเลี้ยงเซลล์เพื่อทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ให้เป็นเนื้อเยื่อบนโครงสร้างนั้น ซึ่งโครงเลี้ยงเซลล์ที่ใช้งานทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ โดยส่วนมากผลิตมาจากวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและวัสดุที่นำมาใช้เป็นโครงสร้างนั้น จะต้องสามารถขึ้นรูปเป็นขนาดโครงสร้าง 3 มิติที่มีโครงสร้างใกล้เคียงกับอวัยวะที่ทำการเพาะเนื้อเยื่อ เพื่อที่จะนำไปใช้ทดแทน และเมื่อเซลล์ที่ทำการเลี้ยง (Culture) เจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์จนมีปริมาณมากพอและมีความสมบูรณ์ของเซลล์ จึงทำการเลี้ยงเซลล์เหล่านี้บนโครงเลี้ยงเซลล์ ให้เจริญเติบโตบนโครงเลี้ยงเซลล์ที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว จากนั้นจึงทำการใส่เข้าไปแทนที่อวัยวะที่ต้องการ และปล่อยให้กลุ่มเซลล์ที่อยู่บนโครงเลี้ยงเซลล์เจริญเติบโตเป็นเนื้อเยื่อที่ทดแทนของเดิมในขณะที่เซลล์ถูกย่อยสลายไป

สมบัติของโครงเลี้ยงเซลล์ต้องมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสูงและต้องมีที่ว่างมากพอสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์ มีพื้นที่ผิวมาก และมีความพรุนสูง เพื่อเป็นที่ว่างสำหรับการสร้างของเซลล์ โดยทั่วไปโครงเลี้ยงเซลล์ที่เหมาะสมควรมีค่าความพรุน (Porosity) อยู่ประมาณร้อยละ 78 มีขนาดของรูพรุน (Pore Size) ประมาณ 50-300 ไมครอน และมีการย่อยสลายที่ 6-12 เดือน

ด้านสมบัติเชิงกลนั้นโครงเลี้ยงเซลล์ต้องมีสมบัติที่แข็งแรงและคงทนต่อแรง (Load) ที่ได้รับโดยปราศจากรอยร้าวหรือการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง ดังนั้นปัญหาที่สำคัญในการออกแบบโครงเลี้ยงเซลล์อีกประการหนึ่ง คือ โครงเลี้ยงเซลล์ที่นำมาใช้นั้นจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอและวัสดุที่นำมาใช้นั้นจะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวภายในและระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มากพอเพื่อให้โครงเลี้ยงเซลล์มีความแข็งแรง แต่วัสดุเหล่านี้จะต้องมีสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

การสร้างโครงเลี้ยงเซลล์ในปัจจุบัน ได้มีเทคโนโลยีในการผลิตโครงเลี้ยงเซลล์ให้มีรูปร่าง โครงสร้างและรูปแบบตามที่ต้องการ รวมทั้งการกำหนดสมบัติทางกายภาพของโครงเลี้ยงเซลล์ในด้าน ของพื้นที่ผิว ความพรุนของโครงเลี้ยงเซลล์ และขนาดของรูพรุนภายในโครงเลี้ยงเซลล์ซึ่งสามารถผลิต ได้จากวัสดุที่มีสมบัติ ด้านการย่อยสลายและยึดเกาะพื้นผิวของเซลล์จากการศึกษาของ Hutmacher [5, 6] พบว่าวิธีการผลิตโครงเลี้ยงเซลล์มีมากมายหลายวิธีและแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันออกไปทั้งนี้ เนื่องจากชนิด วัสดุ รูปร่าง และโครงสร้างของโครงเลี้ยงเซลล์ดังแสดงในตารางที่ 2.1

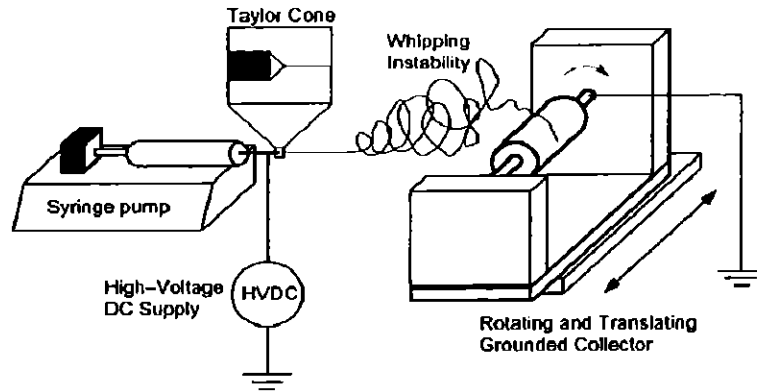
ตารางที่ 2.1 เทคโนโลยีในการผลิตโครงเลี้ยงเซลล์ [5, 6]

เทคโนโลยี	ขนาดของรูพรุน (μm)	ความพรุน (%)
การหล่อ (Solvent Casting)	30-300	20-50
เยื่อแผ่นบางแบบซ้อนทับ (Membrane Lamination)	30-300	< 85
การรีด (Extrusion)	50-500	< 80
การระเหิดแห้ง (Freeze Dry)	< 100	< 84
ของไหลเหนือวิกฤติ (Supercritical-Fluid)	< 200	< 97
	< 100	10-30

ที่มา: Hongyang Ma. (2009). Journal of Membrane Science.

2.1.2 การปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) [8, 9]

การปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นมากกว่า 80 ปี แต่ได้รับความสนใจ ศึกษากันอย่างจริงจัง ในปี ค.ศ. 1934 Formhals ได้จดสิทธิบัตรกระบวนการและเครื่องมือที่ใช้แรง ทางไฟฟ้าในการสังเคราะห์เส้นใย ในปี ค.ศ. 1969 Taylor ได้ตีพิมพ์ผลงานที่อธิบายถึงปรากฏการณ์ ที่เกิดขึ้นในขณะที่สารละลายพอลิเมอร์พุ่งออกจากเข็มโลหะที่ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงกว่ามีการเปลี่ยน รูปร่างของสารละลายจากทรงกลมเป็นลักษณะของสามเหลี่ยมคล้ายโคน โดยเมื่อแรงสนามไฟฟ้ามีค่า เท่ากับแรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งต่อมามีการเรียกลักษณะนี้ว่า Taylor Cone โดยการ เปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็น Taylor Cone จะขึ้นกับความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ ในปี ค.ศ. 1971 Baumgarten เริ่มทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงสารละลายพอลิเมอร์และพารามิเตอร์ใน กระบวนการ ทำให้รู้ว่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีผลต่อสัณฐานวิทยาของนาโนไฟเบอร์ที่ได้ ในปี ค.ศ. 1995 Reneker ได้ทำการศึกษาอย่างเป็นระบบมากขึ้น ทำให้การปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตได้รับความสนใจ จากนักวิจัยต่างๆ ทั่วโลก เห็นได้จากจำนวนผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติเรื่องต่างๆ ที่ เกี่ยวกับการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต เพิ่มจากประมาณปีละไม่ถึง 10 เรื่อง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1995 ถึงปี ค.ศ. 2000 เป็น 40 เรื่องในปี ค.ศ. 2001 และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต [8, 9]

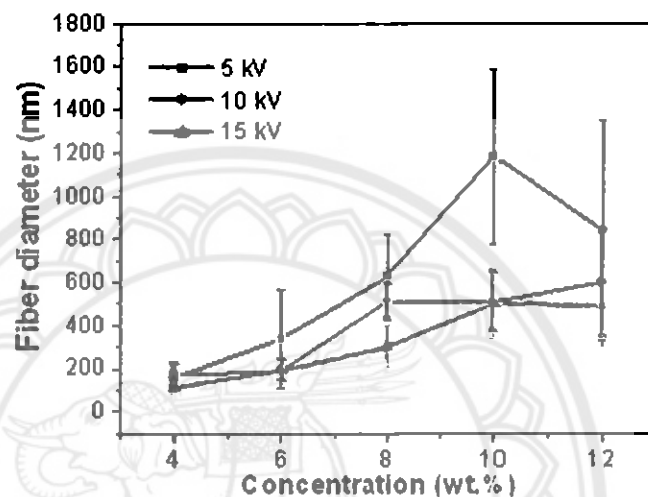
ที่มา: Nicrolas B. (2008). Acta Biomaterialia.

การทำงานของเครื่องปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยจะประกอบไปด้วย ส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (High Voltage DC Supply) หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (Syringe With Metal Needle) และวัสดุรองรับ (Collector) การทำงานของการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต เริ่มจากการให้ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงแก่สารละลายพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ที่หลอมเหลวผ่านเข็มโลหะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กทำให้แรงผลักทางไฟฟ้าในสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากหยดสารละลายรูปทรงกลมบนปลายเข็มจะเริ่มเปลี่ยนรูปร่างเป็นรูปโคนเมื่อแรงผลักทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากับแรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์ และเมื่อแรงผลักทางไฟฟ้ามีค่ามากกว่าแรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์ สารละลายจะพุ่งออกจากปลายของโคนไปยังวัสดุรองรับซึ่งต่อเข้ากับศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าต่ำ จะทำให้เกิดเป็นสนามไฟฟ้าระหว่างปลายเข็มกับวัสดุรองรับ สารละลายจะพุ่งเป็นแนวตรงในระยะหนึ่ง และจะผ่านเข้าไปในส่วนของ Whipping- Instability ซึ่งจะเกิดการระเหยของตัวทำละลาย เส้นใยของแข็งเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะตกซ้อนทับกันบนวัสดุรองรับในลักษณะที่ไม่ได้ทอ (Non-Woven) ในส่วนของเข็มฉีดยาที่บรรจุสารละลายพอลิเมอร์จะต้องมีการควบคุมให้มีอัตราการไหลที่สม่ำเสมอโดยวิธีต่างๆ เช่น แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Force) บีม (Syringe Pump) แรงดันก๊าซ (Pressure Gas) เป็นต้น ในส่วนของวัสดุรองรับก็มีหลายชนิด เช่น เพลท (Stationary Plate) ทรัม (Rotating Drum) ใช้สารละลาย เช่น น้ำ เป็นต้น [10, 11]

จากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต จะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนต่างๆ ในแต่ละขั้นตอนก็มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ในกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต ที่ส่งผลต่อสัญญาณวิทยาของเส้นใยที่ได้จากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต จะพบว่ามีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1.2.1 ศักย์ไฟฟ้า

เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้เส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง และมีแนวโน้มที่จะเกิดเม็ดพอลิเมอร์ (Bead) ในระบบเส้นใยมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากศักย์ไฟฟ้าส่งผลถึงการเกิด Taylor Cone และ Fiber Jet จึงจำเป็นต้องเลือกศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าเหมาะสม ดังในรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นเดียวกัน ขนาดของเส้นใยจากสารละลาย PAN/DMF จะลดลงเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น [12]



รูปที่ 2.2 ขนาดของเส้นใยที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายพอลิเมอร์ PAN/DMF เมื่อใช้ความต่างศักย์ 5 10 และ 15 กิโลโวลต์ [12]

ที่มา: Koch. (2002). Facial Plastic Surgery.

2.1.2.2 อัตราการไหล

ในการศึกษาเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของพอลิเมอร์จะทำให้เส้นใยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง รุมิขนาดเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเกิดเม็ดพอลิเมอร์ในระบบเส้นใยมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการระเหยของตัวทำละลายเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ [13]

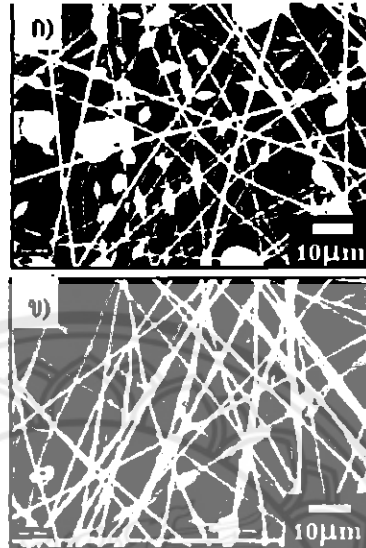
2.1.2.3 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มจนถึงวัสดุรองรับ

เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้เส้นใยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง แต่ถ้าระยะทางลดลงก็จะมีแนวโน้มที่เกิดเม็ดพอลิเมอร์มากขึ้น การเพิ่มระยะทางจะทำให้การระเหยของตัวทำละลายเกิดได้อย่างสมบูรณ์ [10]

2.1.2.4 ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์

จะส่งผลต่อความหนืดและแรงตึงผิวของสารละลาย พบว่าเมื่อความเข้มข้นของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจะทำให้เส้นใยที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ส่วนความตึงผิวของสารละลายจะส่งผลต่อการเกิดเม็ดพอลิเมอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนทรงกลมหรืออยู่บนเส้นใย หากความเข้มข้นของสารละลายมีค่าสูงจะมีผลทำให้เม็ดพอลิเมอร์ลดลง [9]

ดังตัวอย่างการประดิษฐ์เส้นใยนาโนจากสารละลาย PAN/DMF สำหรับนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมเส้นใยนาโนคาร์บอน (Carbon Nanofiber) และระบบกรองอย่างละเอียดของกลุ่มวิจัย SSMG ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เส้นใยนาโนของ Polyacrylonitrile (PAN) ละลายใน Dimethylformamide (DMF) ก) ความเข้มข้น 6 %wt และข) 10 %wt แสดงให้เห็นว่าปริมาณปุ่มคล้ายลูกปัดลดลงเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้น [9]

ที่มา: Nicolas B. (2008). Acta Biomaterialia.

2.1.2.5 ความสามารถในการระเหยของตัวทำละลาย

จากการศึกษาของ Megelski ค.ศ. 2002 ใช้ Polystyrene ละลายในส่วนผสมของตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ Tetrahydrofuran (THF) ซึ่งจะมีความสามารถในการระเหยที่ดีและ Dimethylformamide (DMF) มีความสามารถในการระเหยต่ำ ผลพบว่าเมื่อใช้ THF ร้อยละ 100 จะทำให้เส้นใยที่ได้มีความพรุนสูง ส่วนเมื่อใช้ DMF ร้อยละ 100 จะได้เส้นใยที่มีความเรียบและมีความเป็น Microtexture ดังนั้นจะต้องเลือกใช้ระบบตัวทำละลายที่มีการระเหยที่เหมาะสมด้วย [13]

ดังนั้นการนำกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตมาใช้ประดิษฐ์เส้นใยนาโนต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งหากมีระบบที่ควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ได้อย่างสะดวกและแม่นยำจะส่งผลให้การประดิษฐ์เส้นใยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.1.3 สารที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกพอลิเมอร์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส เนื่องจากว่าพอลิเมอร์เหล่านี้ได้มีการนำไปใช้งานทางด้านเภสัชกรรมและทางด้านชีวการแพทย์เป็นจำนวนมากและพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ยังสามารถย่อยสลายได้ เข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อ ไม่มีความเป็นพิษ สามารถละลายได้ในน้ำ และราคาไม่แพง จึงเหมาะที่จะนำไปปรับปรุงและพัฒนาเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับเนื้อเยื่อวิศวกรรมได้

2.1.3.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่มีสารพิษ ไม่มีกลิ่น และละลายน้ำได้ โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสมบัติการก่อฟิล์ม การละลายของเหลว และการยึดติดที่ยอดเยี่ยม อีกทั้งยังทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมัน น้ำมันหล่อลื่นชนิดหนา และตัวทำละลายได้ดี พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเค้นแรงดึง ความยืดหยุ่นสูง รวมถึงมีปริมาณออกซิเจนที่สูง และมีสมบัติป้องกันการระเหยของกลิ่น ทั้งนี้สมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นด้วย หากความชื้นสูงขึ้น น้ำก็จะถูกดูดซับได้มากขึ้น โดยน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้พลาสติกนิ่ม นั้นก็จะลดความเค้นแรงดึงลง แต่จะเพิ่มแรงยึดและแรงเฉือนให้มากขึ้น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นสามารถย่อยสลายได้หมดอย่างรวดเร็ว สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสอย่างสมบูรณ์และได้จากการไฮโดรไลซิสเป็นบางส่วน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากมันย่อยสลายได้ด้วยความร้อนอุณหภูมิสูงเท่านั้น

2.1.3.2 ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เตรียมจากเซลลูโลสละลายได้ดีในน้ำและให้ความหนืดสูงแต่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ ค่า pH อยู่ระหว่าง 3-11 ในทางการค้าไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสนั้นจะมีหลายความหนืดให้เลือกใช้ การเตรียมไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสจะต้องปั่นเบาเบา เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศเนื่องจากมีสมบัติลดแรงตึงผิวเป็นสารที่ใช้เคลือบเม็ดยาเพื่อกลบรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ของยา ช่วยกันความชื้น ใช้เพื่อเพิ่มการเกาะตัว ทั้งยังใช้ในการผสมเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น และสามารถใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรมหลายอย่าง เช่น ในน้ำตาเทียม โดยไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสจะทำหน้าที่เป็นสารที่มีสมบัติยึดติดเยื่อเมือก จึงทำให้น้ำตาเทียมสัมผัสบริเวณดวงตาได้นาน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความพรุนของชิ้นงานและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยหรือการเกิดเม็ดพอลิเมอร์นั้นซึ่ง สันฐานวิทยาของเส้นใยที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ในกระบวนการปั่นด้วย กระแสไฟฟ้าสถิต จะพบว่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล ระยะทางระหว่าง ปลายเข็มจนถึงวัสดุรองรับ ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ ความสามารถในการระเหยของตัว ทำละลาย ดังนั้นการนำวิธีการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตมาใช้ประดิษฐ์เส้นใยจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้จึงมีผู้วิจัยหลายท่านได้ทำการวิจัย และรายงานผลวิจัยไว้ดังนี้

Doshi J. และคณะ [9] ได้ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ จะส่งผลต่อความหนืด และแรงตึงผิวของสารละลาย พบว่าเมื่อความเข้มข้นของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจะทำให้ เส้นใยที่ได้มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ส่วนความตึงผิวของสารละลายจะส่งผลต่อการเกิด เม็ดพอลิเมอร์ (Beads) ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนทรงกลมหรืออยู่บนเส้นใย หากความเข้มข้นของ สารละลายมีค่าสูงจะมีผลทำให้ปริมาณเม็ดพอลิเมอร์ลดลง เช่น ตัวอย่างการประดิษฐ์เส้นใยนาโนจาก สารละลาย PAN/DMF สำหรับนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมเส้นใยนาโนคาร์บอน (Carbon Nanofiber) และระบบกรองอย่างละเอียด ของกลุ่มวิจัย SSMG

Jaeger R. และคณะ [10] ได้ศึกษาระยะทางระหว่างปลายเข็มจนถึงแท่นรองรับ โดยใช้ PEO/ Water พบว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดลดลง แต่ถักระยะทาง ลดลงก็จะมีแนวโน้มที่เกิดเม็ดพอลิเมอร์มากขึ้น การเพิ่มระยะทางจะทำให้การระเหยของตัวทำละลาย เกิดได้อย่างสมบูรณ์

Kleinmeyer J. และคณะ [12] ใช้ PEO/Water ในการศึกษา พบว่าเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้มีค่า สูงขึ้น จะทำให้เส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง และมีแนวโน้มที่จะเกิด Bead ในระบบเส้นใย มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากศักย์ไฟฟ้าส่งผลถึงการเกิด Taylor Cone และ Fiber Jet จึงจำเป็นต้อง เลือกศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าเหมาะสม

Hadjizadeh A. และคณะ [14] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปั่นไฟฟ้าสถิตของ PET โดยใช้เครื่องการ ปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลและความเข้มข้นของสารละลายว่า ตัวใดมีผลกับลักษณะทางสันฐานวิทยา สมบัติเชิงกลความร้อน และสมบัติของโครงสร้าง โดย จะใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) , Micromechanical Tester, Differential- Scanning Calorimetry (DSC) และ X-Ray Diffraction (XRD) ตามลำดับ โดยผลสรุปจะได้ว่า PET มีศักยภาพที่ดีสำหรับการใช้ทางการแพทย์ เนื่องจากมีการต้านทานแรงดึงที่สูง มีรูปพรุนที่ต่อเนื่องกัน ยึดตัวดี และสามารถทนความร้อนได้เยี่ยม

Ashraf S. และคณะ [15] ได้ทำการศึกษากการขึ้นรูปโดยเทคนิคการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต เส้นใยนาโน PVA/Collagen Type1 แสดงให้เห็นว่าการสร้างเส้นใยนาโน PVA บริสุทธิ์ ได้เส้นผ่าน ศูนย์กลางเฉลี่ย 160 นาโนเมตร PVA/n-Hap 176 นาโนเมตร PVA/Collagen 245 นาโนเมตร และ

PVA/Collagen/n-HAp 320 นาโนเมตร และจะทำการวิเคราะห์ความร้อนซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรงของ PVA/Collagen/n-HAp นอกจากนี้โครงสร้างที่มึพรุนด้วย ซึ่งขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 650 นาโนเมตร มีความพรุนที่ร้อยละ 49.5 โดยสรุปได้ว่า โครงสร้างเซลล์ที่ทดสอบนั้น เหมาะสำหรับวิศวกรรมเนื้อเยื่อ

Wang X. และคณะ [16] ได้ทำการศึกษากการเคลือบเส้นใยนาโน PVA ด้วยไฮโดรเจล PVA ที่ขึ้นรูปจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต โดยใช้สารละลาย PVA ความเข้มข้น 10 %wt ที่อัตราการไหล 2.4 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 28 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างฉากรับ 10 เซนติเมตร ผลที่ได้ คือ ได้เส้นใยนาโนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 150-300 นาโนเมตร ได้ความพรุนอยู่ที่ร้อยละ 84 พบว่าผลิตได้โครงสร้างเซลล์ร้อยละ 96 ไฮโดรไลซ์ของ PVA ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง (85,000-124,000 กรัมต่อโมล) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเชิงกลโดยรวม ทั้งก่อนและหลังตีมาก

Tang Z. และคณะ [17] ผลิต PVA/Chitosan เป็นเส้นใยนาโน การตอบสนองของเซลล์ที่ขึ้นรูปสำหรับงานวิศวกรรมเนื้อเยื่อที่มีศักยภาพ ในการศึกษา PVA/Chitosan เรียบและสม่ำเสมอ เส้นใยนาโนที่ขึ้นรูปโดยการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต ตามด้วยการเชื่อมโยงกับ Glutaraldehyde โครงสร้างและสมบัติทางกลที่เกิดขึ้นผลิตได้มีลักษณะเป็นเส้นใยยาว โดยจะใช้กล้อง Scanning Electron Microscopy (SEM) และแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการดูดซับโปรตีนจากเส้นใยนาโนได้รับการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ โครงสร้างเซลล์เส้นใยนาโนที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก (ประมาณ 160 นาโนเมตร) ความพรุนสูง ซึ่งอาจให้ประโยชน์ได้มากสำหรับการใช้งานในด้านของวิศวกรรมเนื้อเยื่อและยารักษาโรคที่เกิดใหม่

Zhang C. และคณะ [18] ใช้ PVA ละลายในน้ำและมีการเติมเกลือเพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าในปริมาณต่างๆ ผลพบว่าเมื่อเติมเกลือในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้การนำไฟฟ้ามากขึ้น ส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีค่าลดลงและมีการกระจายตัวของขนาดในช่วงที่แคบด้วย ทั้งนี้ผู้วิจัยได้อธิบายว่า เมื่อการนำไฟฟ้าในสารละลายเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการเก็บประจุของสารละลายเพิ่มขึ้น เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าจึงมีค่า Tensile Strength สูงขึ้นเส้นใยที่ได้จึงมีขนาดเล็กลง

Rao T. และคณะ [27] ได้ศึกษาการผสมของ HPMC กับ PVA โดยทั้งสองตัวสามารถละลายได้ในน้ำ ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยจะศึกษาเกี่ยวกับความเข้ากันได้และความหนืดของ HPMC กับ PVA โดยจะวัดความหนืดด้วยวิธีอัลตราโซนิกและดัชนีการหักเหของแสง ซึ่งผลที่ได้ คือ HPMC จะผสมกับ PVA ได้ดีจะต้องใช้อัตราส่วนของ HPMC มากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป และความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของ HPMC

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของชิ้นงาน ที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยวิธีการขึ้นรูปด้วยการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต ที่ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของชิ้นงานมีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาต่อไปเป็นโครงเลี้ยงเซลล์ โดยระยะเวลาในการดำเนินโครงการนั้นเป็นไปตามตารางที่ 1.1 ซึ่งการศึกษารวบรวมข้อมูลจะเป็นการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการทั้งหมดโดยแหล่งข้อมูลจะได้จากหนังสือ งานวิจัย และปริยฐานิพนธ์อื่นๆ เป็นหลัก

3.1 การเตรียมสาร

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1.1 ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มวลโมเลกุลเฉลี่ย 86,000 กรัมต่อโมล ความหนืด 4,000 cP (ที่สารละลายความเข้มข้น 2 %wt)

3.1.1.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มวลโมเลกุล 60,000 กรัมต่อโมล

3.1.1.3 น้ำกลั่น

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.2.1 เครื่องปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

3.1.2.2 กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

3.1.2.3 เครื่องชั่งสาร (ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.1.2.4 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)

3.1.2.5 เตาไฟฟ้าให้ความร้อน (Hot Plate)

3.1.2.6 หลอดฉีดยา (Syringe)

3.1.2.7 เข็มฉีดยาสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร

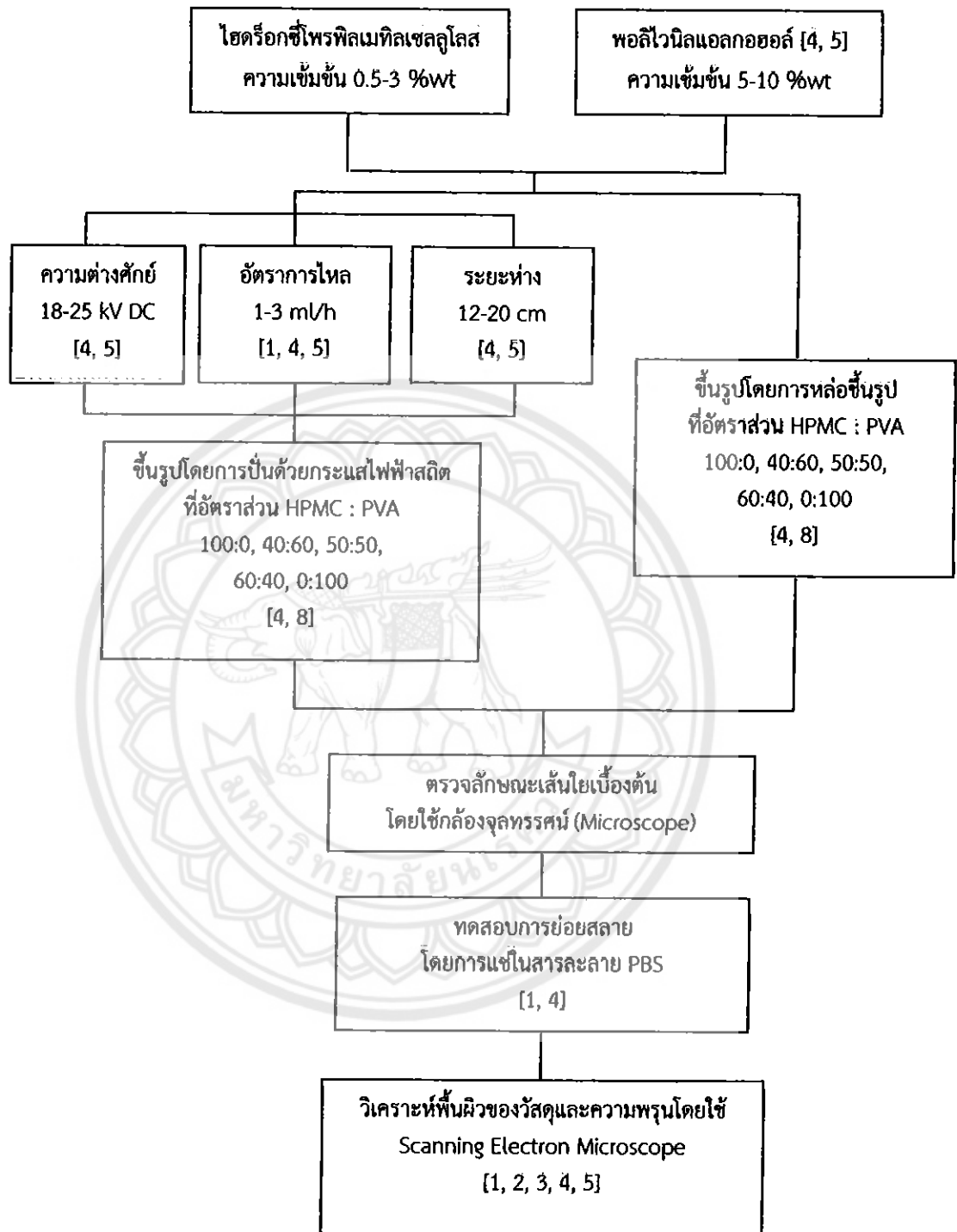
3.1.2.8 แท่งกวนสาร (Magnetic Stirrer)

3.1.2.9 ฟอยล์อะลูมิเนียม (Aluminium Foil)

3.1.2.10 บีกเกอร์ ขนาด 25 มิลลิลิตร

3.1.2.11 บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.1.3 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

3.1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในขั้นตอนดำเนินงานนั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การขึ้นรูปด้วยการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตและการขึ้นรูปด้วยการหล่อฟิล์ม

3.1.4.1 การขึ้นรูปด้วยการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

ก. นำไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมาทำการละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้น 0.5-3 %wt

ข. นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้น 5-10 %wt

ค. นำเอาสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มาขึ้นรูปด้วยการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต โดยกำหนดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล และระยะห่างของฉากรับตามที่กำหนดในแผนการดำเนินงาน ขึ้นรูปตัวอย่างขึ้นงานมาจำนวนอย่างละ 3 ชิ้นงาน

ง. ตรวจสอบลักษณะเส้นใยเบื้องต้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อเลือกสัดส่วนที่จะนำไปขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบนำไปทำการทดสอบการย่อยสลาย โดยการแช่ในสารละลาย PBS

จ. นำชิ้นงานที่มีลักษณะของเส้นใยที่เหมาะสมที่ได้จากการตรวจสอบลักษณะเส้นใยเบื้องต้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ มาวิเคราะห์พื้นผิวของวัสดุและความพรุนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) จากนั้นใช้โปรแกรม Image J ในการวิเคราะห์พื้นผิวของวัสดุและความพรุน

3.1.4.2 การขึ้นรูปด้วยการหล่อฟิล์ม

ก. นำเอาไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมาทำการละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้น 0.5-2 %wt

ข. นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มาละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้น 5-10 %wt

ค. นำเอาสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มาขึ้นรูปด้วยการหล่อฟิล์มทำให้กระจายให้ทั่วถึงตามที่กำหนดในแผนการดำเนินงาน ขึ้นรูปตัวอย่างขึ้นงานมาจำนวนอย่างละ 3 ชิ้นงาน

ง. นำไปทำการทดสอบการย่อยสลาย โดยการแช่ในสารละลาย PBS

จ. นำชิ้นงานที่มีลักษณะที่เหมาะสม มาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของชิ้นวัสดุและความพรุนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากนั้นก็ใช้โปรแกรม Image J ในการวิเคราะห์พื้นผิวของวัสดุและความพรุน

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

ชุดการทดลอง	HPMC ต่อ PVA
1	100 ต่อ 0
2	40 ต่อ 60
3	50 ต่อ 50
4	60 ต่อ 40
5	0 ต่อ 100

โดยในแต่ละชุดการทดลองจะมีชิ้นงานตัวอย่างชุดละ 3 ชิ้น โดยในหนึ่งชิ้นงานจะต้องใช้สารละลายในการขึ้นรูปปริมาตร 5 มิลลิลิตร ต่อการฉีด 1 ครั้ง เพื่อใช้ในการตรวจหาลักษณะเส้นใยเบื้องต้นของชิ้นตัวอย่างและทดสอบลักษณะของความเป็นรูพรุนของชิ้นงาน โดยจะแบ่งเป็น 5 ชุดการทดลองดังนี้

ชุดที่ 1 สัดส่วนไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ 100 ต่อ 0

ชุดที่ 2 สัดส่วนไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ 40 ต่อ 60

ชุดที่ 3 สัดส่วนไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ 50 ต่อ 50

ชุดที่ 4 สัดส่วนไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ 60 ต่อ 40

ชุดที่ 5 สัดส่วนไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ 0 ต่อ 100

ซึ่งในกระบวนการหล่อฟิล์มชิ้นงานทดสอบจะใช้สัดส่วนจากตารางที่ 3.1 ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองจะมีชิ้นงานตัวอย่างชุดละ 5 ชิ้น

3.2 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคนิคการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

ขึ้นรูปด้วยการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15-25 กิโลโวลต์ อัตราการไหล 1-3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และระยะห่างของฉากรับ 12-20 เซนติเมตร



รูปที่ 3.2 เครื่องปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

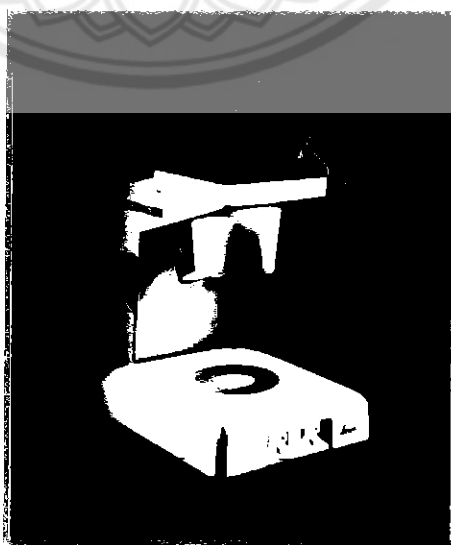
3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานทดสอบ

3.3.1 การตรวจลักษณะเส้นใยเบื้องต้น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์

เพื่อเป็นการเลือกสัดส่วนที่จะนำไปใช้เป็นชิ้นงานทดสอบ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจลักษณะเส้นใยเบื้องต้นก่อน โดยสามารถทำได้โดยในขั้นตอนที่หาความสามารถในการขึ้นรูปของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด

3.3.1.1 ซึ่งจะทำการนำกระจกสไลด์มารองเส้นใย ได้จากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

3.3.1.2 จะนำเส้นใยที่อยู่บนกระจกสไลด์ ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า จะทำให้เห็นลักษณะเส้นใยเบื้องต้นที่ต้องการ

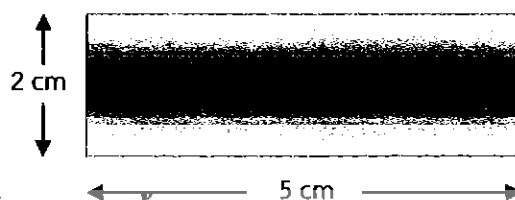


รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์

ที่มา: วภัทรดา ชูทอง (2550). ประเภทของกล้องจุลทรรศน์.

3.3.2 การทดสอบการย่อยสลาย โดยการแช่ในสารละลาย PBS

หลังจากเลือกสัดส่วนชิ้นงานทดสอบที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จากนั้นจะทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบตามที่ได้เลือกไว้ เมื่อได้ชิ้นงานทดสอบแล้ว จะมาทำการทดสอบการย่อยสลาย โดยการแช่ชิ้นงานทดสอบในสารละลาย PBS ซึ่งขนาดชิ้นงานที่กำหนด คือ กว้าง 2 เซนติเมตร และยาว 5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.4 ขนาดชิ้นงานในการทดสอบการย่อยสลาย

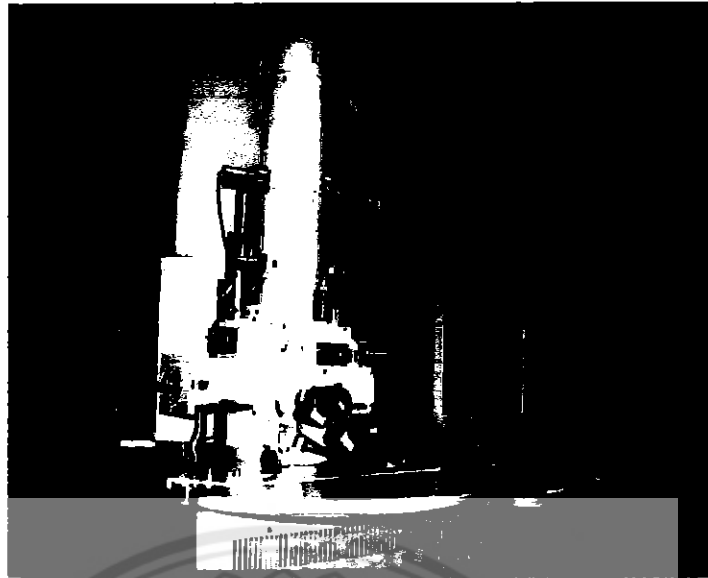
3.3.3 การทดสอบหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ขนาดรูพรุน และค่าความพรุน

ในการศึกษาชิ้นงานจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประกอบการอธิบายถึงลักษณะของชิ้นงานที่เตรียมได้ รวมถึงขนาดของเส้นใย โดยมีขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างดังนี้

3.3.3.1 นำเส้นใยซึ่งที่เตรียมได้มาตัดด้วยเครื่องเจาะ จากนั้นนำชิ้นงานไปอบในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้นออกจากชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานชนิดนี้จะสามารถดูดความชื้นได้ดีในระหว่างการเตรียม

3.3.3.2 นำชิ้นงานที่เตรียมได้จากขั้นตอนข้างต้นไปติดที่บนแท่งทองเหลือง (Stub) ด้วยเทปคาร์บอน จากนั้นนำชิ้นงานที่ติดบนแท่งทองเหลืองไปอบในตู้อบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อเป็นการกำจัดความชื้นออกไปจากชิ้นงาน

3.3.3.3 ทำการเคลือบผิวชิ้นงานที่เตรียมไว้ด้วยทองคำ โดยซึ่งจะใช้เทคนิค Sputtering เป็นเวลา 1 นาที ก่อนที่จะนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในโหมดต่างๆ ตามความเหมาะสม เพื่อทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของชิ้นงานต่อไป



รูปที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

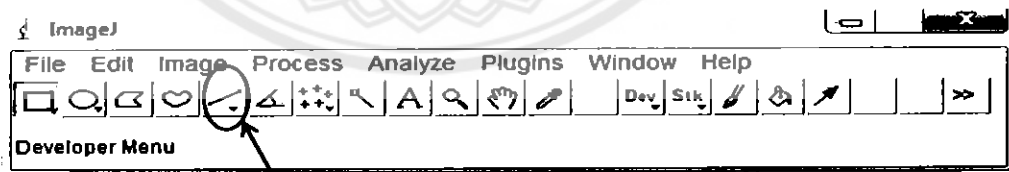
ที่มา: กนกวรรณ โพธิ์ทอง (2552). กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

โดยสามารถหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ขนาดรูพรุน และค่าความพรุนได้จากการใช้โปรแกรม Image J มาวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ก. การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

ก.1 เปิดไฟล์ที่ต้องการวัด File -> Open

ก.2 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะว่าการวัดจะถูกตั้งที่สุด ส่วนหนึ่งก็คือ การกำหนดสเกลการวัดได้ต้องสอดคล้องกับขนาดของสเกลของภาพถ่าย จากรูปที่ต้องการจะวัดสเกลที่ได้มีขนาด 5 ไมครอน กดเลือกที่ Straight Line ดังรูปที่ 3.6



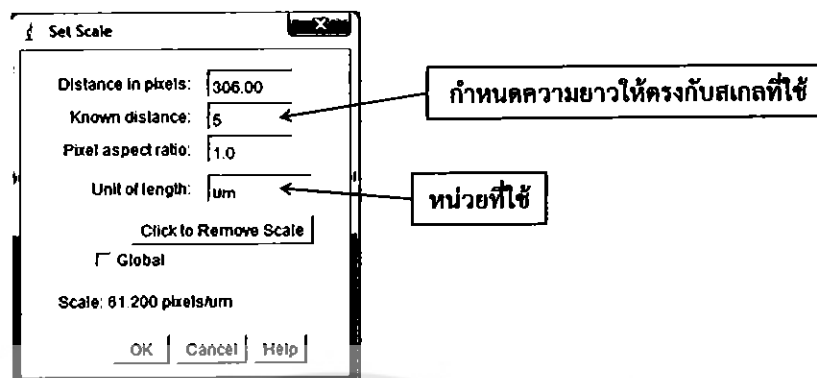
รูปที่ 3.6 แสดงการใช้ Straight Line

ก.3 ลากเส้น Straight Line ให้มีขนาดเท่ากับความยาวของสเกลบาร์



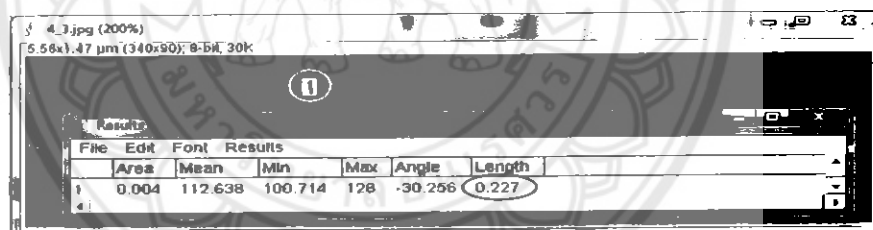
รูปที่ 3.7 แสดงการวัดความยาวของสเกลบาร์

ก.4 กำหนดความยาวของเส้น Straight Line กับสเกลบาร์ให้สอดคล้องกัน
เลือกเมนูบาร์ Analyzer -> Set Scale เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้ว กด OK



รูปที่ 3.8 แสดงการกำหนดค่าความยาวของสเกลบาร์

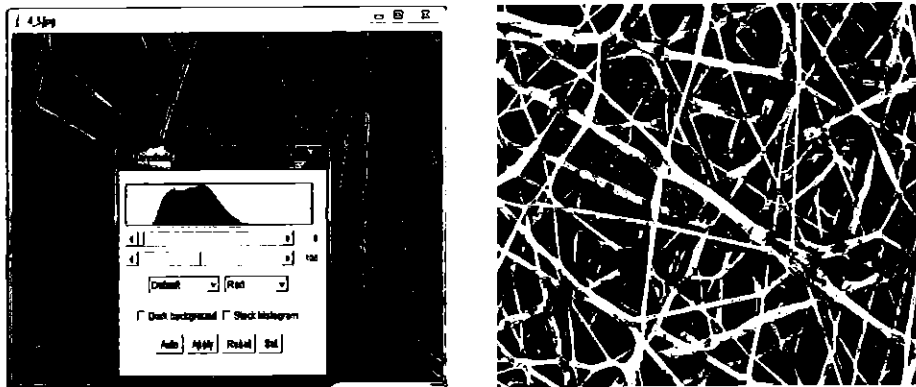
ก.5 ทำการวัดขนาดของเส้นโยนาโนโดยใช้เส้น Straight Line มาลากในตำแหน่งที่ต้องการวัด จากนั้นวัดขนาดของเส้นโยนาโน ด้วยการกดเมนูบาร์ Analyzer -> Measure และทำการใส่ตำแหน่งเส้นโย ด้วยการกดเมนูบาร์ Analyzer -> Label เก็บข้อมูลจำนวน 50 จุด แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นโยนาโน



รูปที่ 3.9 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นโย

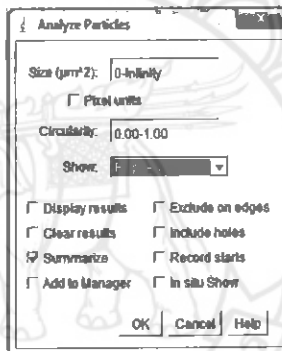
ข. การหาขนาดรูพรุนและค่าความพรุน

- ข.1 ทำซ้ำขั้นตอนที่ ก.1-ก.4 ของการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นโย
- ข.2 ทำการเลือกพื้นที่ ที่ต้องการวัดค่าความพรุนและขนาดรูพรุนเฉลี่ย โดยที่กดเลือกที่ Rectangular จากนั้นเลือกเมนูบาร์ Image -> Crop
- ข.3 เลือกเมนูบาร์ Image -> Adjust -> Threshold ก็จะได้พื้นที่รูพรุนโดยการแทนที่ของสีแดง ทำการเลือกค่าที่พีคสูงสุด กด Apply จะได้ภาพด้านขวา ดังรูปที่ 3.10



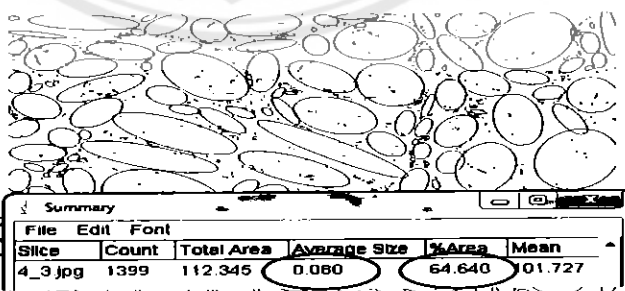
รูปที่ 3.10 แสดงการแทนที่พื้นที่รูพรุนจากโปรแกรม Image J

ข.4 จากนั้นทำการคำนวณพื้นที่รูพรุน เลือกเมนูบาร์ Analyzer -> Analyze Particles เปลี่ยนช่อง Show เป็น Ellipses กด OK



รูปที่ 3.11 แสดงการคำนวณพื้นที่รูพรุน

ข.5 ได้ภาพวาดที่เป็นขนาดของรูพรุน ค่าความพรุน และขนาดรูพรุนเฉลี่ย



รูปที่ 3.12 แสดงขนาดของรูพรุนเฉลี่ยและค่าความพรุน

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ผลจากการทดลองจากการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของชิ้นงาน ที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยวิธีการขึ้นรูปด้วยการปั้นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต โดยดำเนินงานตามรูปที่ 3.1

4.1 ผลการทดลอง

จากขั้นตอนดำเนินงานนั้นสามารถจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั้นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตและการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อฟิล์ม

4.1.1 การหาสภาวะที่ดีที่สุดของชิ้นงานจากกระบวนการปั้นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

ในการหาความสามารถในการขึ้นรูปของชิ้นงานของความเข้มข้นด้วยกระบวนการปั้นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในงานวิจัยนี้ ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปของความเข้มข้นของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

สภาวะ	การขึ้นรูป		ลักษณะเส้นใย	หมายเหตุ
	ได้	ไม่ได้		
HPMC 2.5 %wt	✓		มีลักษณะเป็นเส้นใยเล็กน้อย เกิดเม็ดบนเส้นใยน้อย	นำไปขึ้นรูปเพื่อ การทดสอบ
HPMC 2 %wt		✓	ไม่มีลักษณะเป็นเส้นใย	
PVA 5 %wt	✓		มีลักษณะ เกิดเม็ดบนเส้นใยมาก	
PVA 8 %wt	✓		มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ยาว ต่อเนื่องเกิดเม็ดบนเส้นใยน้อย	นำไปขึ้นรูปเพื่อ การทดสอบ
PVA 10 %wt	✓		มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ยาว ต่อเนื่องไม่เกิดเม็ดบนเส้นใย	นำไปขึ้นรูปเพื่อ การทดสอบ
HPMC : PVA (8, 10 %wt) ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60	✓		มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ยาว ต่อเนื่องเกิดเม็ดบนเส้นใยน้อย	นำไปขึ้นรูปเพื่อ การทดสอบ
HPMC : PVA (8, 10 %wt) ที่สัดส่วน 60 ต่อ 40	✓		ไม่มีลักษณะเป็นเส้นใย มีลักษณะ เป็นหยดพอลิเมอร์	นำไปขึ้นรูปเพื่อ การทดสอบ
HPMC : PVA (8, 10 %wt) ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50	✓		มีลักษณะเป็นเส้นใยเล็กน้อย เกิดเม็ดบนเส้นใยมาก	นำไปขึ้นรูปเพื่อ การทดสอบ

จากตารางที่ 4.1 ทำให้ได้ทราบถึงความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่สามารถนำมาขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตได้ และเนื่องจากตัวแปรของกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้น ยังมีตัวแปรอีก 3 ตัวแปรสำคัญ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหล โดยได้ทำการรวบรวมไว้ในภาคผนวก ดังตารางที่ ก.1-ก.9

จากตารางที่ ก.1 จะสามารถเห็นได้ว่าการขึ้นรูปไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt ด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้น ซึ่งสามารถขึ้นรูปได้เป็นบางสัดส่วนเท่านั้น เนื่องจากสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt นั้นมีค่าความหนืดที่สูงมากกว่า 4,000 cP จึงทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้สูงสุดของเครื่องไม่สามารถทำให้เกิดแรงที่มากกว่าแรงตึงผิวของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสได้ หยตของสารละลายที่เกาะอยู่ที่ปลายเข็มจึงไม่ออกมาเป็นเส้นใย ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จะสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยได้ เพราะว่าเมื่ออัตราการไหลที่ต่ำจะทำให้เกิด Taylor Cone ได้ช้า ทำให้มีเวลาให้เกิดการสะสมของศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณหอยตของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ศักย์ไฟฟ้ามากพอที่จะทำให้หยตสารละลายกลายเป็นเส้นใยได้ ซึ่งในการทดลองเพื่อหาความสามารถในการขึ้นรูปของชิ้นงาน ได้เริ่มจากความเข้มข้นของสารละลาย ว่าสามารถที่จะขึ้นรูปได้หรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากนั้นจะเริ่มให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าจากน้อยไปหามาก เพื่อหาความสามารถในการขึ้นรูปของชิ้นงานในแต่ละความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสารละลายและความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นตัวแปรสำคัญในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ซึ่งถ้ามีความเข้มข้นที่มากกว่า 2.5 %wt ก็จะทำให้ไม่สามารถที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตได้ เนื่องจากสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสจะมีความหนืดมากจนไม่สามารถขึ้นรูปได้ และความต่างศักย์ไฟฟ้านั้นจะเห็นว่าสามารถขึ้นรูปได้ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 18 กิโลโวลต์ เป็นต้นไป ถ้าเป็นที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 18 กิโลโวลต์ ก็จะไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ เนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้าไม่มากพอที่จะขึ้นรูปชิ้นงานได้ดังที่กล่าวมาข้างต้น ในส่วนของระยะห่างและอัตราการไหล จะส่งผลต่อความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานเพียงเล็กน้อย เนื่องจากระยะห่างจะส่งผลต่อการระเหยออกของตัวทำละลาย ซึ่งจะทำได้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่มีขนาดเล็กและอัตราการไหลจะส่งผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยของชิ้นงานที่ได้ คือ เมื่ออัตราการไหลมากจะทำให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่มาก เมื่ออัตราการไหลน้อยจะทำให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่เล็ก ซึ่งในเบื้องต้นในงานวิจัยต้องการให้สามารถขึ้นรูปของชิ้นงานได้ก่อน ดังนั้นจากการสองลักษณะเส้นใยเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยเล็กน้อย จึงเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อใช้สำหรับการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

จากตารางที่ ก.2 จะสามารถเห็นได้ว่าการขึ้นรูปพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้น สามารถที่จะขึ้นรูปได้ทุกสัดส่วน โดยสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องได้ แต่จะมีความแตกต่างภายในเส้นใย ดังที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.2 ซึ่งเราจะพบว่าที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร ของทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า พบว่ามีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก เนื่องจากระยะห่างที่น้อยจึงทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปไม่หมด และเนื่องด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไม่มากพอที่จะทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กได้ และในสัดส่วนอื่นๆ ผลของลักษณะเส้นใยจะมีผลตามตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และความต่างศักย์ไฟฟ้า ทำให้เห็นได้ว่าจะมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเพียง 3 ความต่างศักย์ เนื่องจากในการทดลองการหาความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 8 %wt พบว่า จะสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ต้องใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 20 กิโลโวลต์ แล้วก็หลังจากนั้นจึงกำหนดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดต่อลักษณะเส้นใย ซึ่งผลของลักษณะเส้นใยก็ได้กล่าวไว้ในตารางที่ ก.2 ซึ่งที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 25 กิโลโวลต์ นั้นในตอนแรกของการทดลองนั้นเครื่องให้กำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากที่สามารถให้ได้ถึง 25 กิโลโวลต์ จากนั้นก็พบว่ามีกรไหม้ของตัวต้านทานภายในเครื่อง 1 ตัว ทำให้เครื่องให้แรงดันทางไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 22 กิโลโวลต์ ในเวลาต่อมา ดังนั้นจากการส่องลักษณะเส้นใยเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์นั้น จะพบว่าสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 8 %wt ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย จึงเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อสำหรับการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

จากตารางที่ ก.3 จะสามารถเห็นได้ว่าการขึ้นรูปพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้น สามารถที่จะขึ้นรูปได้ทุกสัดส่วน โดยสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องได้ แต่จะมีความแตกต่างภายในเส้นใย ดังที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.3 ซึ่งเราจะพบว่าที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร ที่เกือบทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า จะพบว่ามีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก เนื่องจากระยะห่างที่น้อยจึงทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปได้ไม่หมดและเนื่องด้วย ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไม่มากพอที่จะทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กได้ ซึ่งในสัดส่วนอื่นๆ ผลของลักษณะเส้นใยจะมีผลตามตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งเห็นได้ว่าจะมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเพียงแค่ 3 ความต่างศักย์ เนื่องจากในการทดลองการหาความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt พบว่าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 20 กิโลโวลต์ จะไม่สามารถที่จะทำการขึ้นรูปชิ้นงานได้ จากนั้นจึงกำหนดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เพื่อศึกษาผลกระทบที่จะเกิดต่อลักษณะเส้นใย ซึ่งผลของลักษณะเส้นใยก็ได้กล่าวไว้ในตารางที่ ก.3 ดังนั้นจากการส่องลักษณะเส้นใยเบื้องต้นก็จะพบว่า สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 10 %wt ที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร และอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด จึงเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปเพื่อใช้ในการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

จากตารางที่ ก.4 ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่าการขึ้นรูปไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt สัดส่วน 40 ต่อ 60 ด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้น สามารถที่จะขึ้นรูปได้ทุกสัดส่วน โดยสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องได้ แต่จะมีความแตกต่างภายในเส้นใย ดังที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.4 ซึ่งเราจะสามารถพบได้ว่าที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร ที่เกือบทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า จะพบว่ามีความหนาแน่นของพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก เนื่องจากระยะห่างที่น้อยจึงทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปไม่หมด และเนื่องด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไม่มากพอที่จะทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กได้ และในสัดส่วนอื่นๆ ผลของลักษณะเส้นใยจะมีผลตามตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของสารละลายและความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งเมื่อนำสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt มาผสมด้วยกัน พบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นงานต่ำลง เนื่องจากเมื่อสารละลายทั้ง 2 ชนิดมาผสมกัน สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้แรงดึงของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีค่าต่ำลง เป็นผลทำให้ได้สารละลายผสมที่มีแรงดึงผิวลดลง จึงสามารถใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการขึ้นรูปขึ้นงานได้ต่ำลงไปด้วย และจะเห็นว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงที่สุดซึ่งจะอยู่ที่ 22 กิโลโวลต์ เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองส่วนนี้ได้เริ่มการทดลองหลังจากพบว่ามีการไหม้ของตัวต้านทานภายในเครื่อง 1 ตัว ทำให้เครื่องให้แรงดันทางไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 22 กิโลโวลต์ ดังนั้นจากการสังเกตลักษณะเส้นใยเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยน้อยและมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย จึงเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปขึ้นงานเพื่อใช้สำหรับการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

จากตารางที่ ก.5 ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่าการขึ้นรูปไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้น สามารถที่จะขึ้นรูปได้ทุกสัดส่วน โดยสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องได้ แต่จะมีความแตกต่างภายในเส้นใยดังที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.5 ซึ่งเราจะพบว่าที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร ที่เกือบทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า จะพบว่ามีความหนาแน่นของพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก เนื่องจากระยะห่างที่น้อยจึงทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปไม่หมด เนื่องด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไม่มากพอจึงทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดใหญ่ และในสัดส่วนอื่นๆ ผลของลักษณะเส้นใยจะมีผลตามตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของสารละลายและความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งเมื่อนำสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 2.5 %wt และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 10 %wt มาผสมกัน จะพบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบต่ำลง เนื่องจากเมื่อสารละลายทั้ง 2 ชนิดมาผสมกัน สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้แรงดึงของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีค่าต่ำลง เป็นผลทำให้ได้สารละลายผสมที่มีแรงดึงผิวลดลง แต่จะมีแรงดึงผิวมากกว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 เนื่องจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่นำมาผสมมีความเข้มข้นมากกว่า ทั้งนี้ทั้งนั้นสารละลายผสมจะไม่มีแรงตึงผิวมากไปกว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt บริสุทธิ์ จึงทำให้สามารถใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการขึ้นรูปชิ้นงานได้ต่ำลงไปด้วย ดังนั้นจากการส่องหาลักษณะเส้นใยเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อยมาก จึงเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อใช้สำหรับการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

จากตารางที่ ก.6 ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่าการขึ้นรูปไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 8 %wt สัดส่วน 50 ต่อ 50 ด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้น สามารถที่จะขึ้นรูปได้ทุกสัดส่วน โดยสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องได้ แต่จะมีความแตกต่างภายในเส้นใยดังที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.6 ซึ่งเราจะพบว่าที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร ที่ทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า พบว่ามีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมามาก เนื่องจากระยะห่างที่น้อยจึงทำให้ตัวพอลิเมอร์ระเหยออกไปไม่หมดและเนื่องด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไม่มากพอที่จะทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กได้ในสัดส่วนอื่นๆ ผลของลักษณะเส้นใยจะมีผลตามตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของสารละลายและความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งเมื่อนำสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt มาผสมกัน จะพบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานต่ำลง เนื่องจากเมื่อสารละลายทั้ง 2 ชนิดมาผสมกัน สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้แรงตึงของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีค่าต่ำลง เป็นผลทำให้ได้สารละลายผสมที่มีแรงตึงผิวลดลง แต่จะมีแรงตึงผิวมากกว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 และสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 เนื่องจากมีสัดส่วนของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่มากกว่าสารละลายทั้ง 2 สัดส่วน ทั้งนี้ทั้งนั้นสารละลายผสมจะไม่มีแรงตึงผิวมากไปกว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt บริสุทธิ์ จึงทำให้สามารถใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการขึ้นรูปชิ้นงานได้ต่ำลงไปด้วย ดังนั้นจากการส่องหาลักษณะเส้นใยเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์เกาะตามเส้นใยน้อย จึงเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อใช้สำหรับการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

จากตารางที่ ก.7 ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่าการขึ้นรูปไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50 ด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้น สามารถที่จะขึ้นรูปได้ทุกสัดส่วน โดยสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องได้ แต่จะมีความแตกต่างกันภายในเส้นใย ดังที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.7 ซึ่งเราจะสามารถพบว่าที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร ที่เกือบทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า พบว่ามีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก เนื่องจากระยะห่างที่น้อยจึงทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปไม่หมด และเนื่องด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไม่มากพอที่จะทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กได้ ในสัดส่วนอื่นๆ ผลของลักษณะเส้นใยจะมีผลตามตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของสารละลายและความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งเมื่อนำสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 2.5 %wt และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt มาผสมด้วยกัน พบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบต่ำลง เนื่องจากเมื่อสารละลายทั้ง 2 ชนิดมาผสมกัน สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้แรงดึงของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีค่าต่ำลง เป็นผลทำให้ได้สารละลายผสมที่มีแรงดึงผิวลดลง แต่จะมีแรงดึงผิวมากกว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50 เนื่องจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นมากกว่า ทั้งนี้สารละลายผสมจะไม่มีแรงดึงผิวมากไปกว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 2.5 %wt บริสุทธิ์ จึงทำให้สามารถใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการขึ้นรูปขึ้นงานได้ต่ำลงไปด้วย ดังนั้นจากการส่องลักษณะเส้นใยเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่าสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt สัดส่วน 50 ต่อ 50 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยน้อยและมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยเล็กน้อย จึงเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปขึ้นงานเพื่อใช้สำหรับการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

จากตารางที่ ก.8 ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่าการขึ้นรูปไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 8 %wt สัดส่วน 60 ต่อ 40 ด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้นสามารถที่จะขึ้นรูปได้ทุกสัดส่วน โดยสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องได้ แต่จะมีความแตกต่างกันภายในเส้นใย ดังที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.8 ซึ่งเราจะสามารถพบได้ว่าที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตรที่ทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก เนื่องจากระยะห่างที่น้อยจึงทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปไม่หมด และเนื่องด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไม่มากพอที่จะทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กได้ และในสัดส่วนอื่นๆ ผลของลักษณะเส้นใยจะมีผลตามตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของสารละลายและความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งเมื่อนำสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 2.5 %wt และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 8 %wt มาผสมกัน ซึ่งจะพบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นงานต่ำลง เนื่องจากเมื่อสารละลายทั้ง 2 ชนิดมาผสมกัน สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้แรงดึงของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีค่าต่ำลง เป็นผลทำให้ได้สารละลายผสมที่มีแรงดึงผิวลดลง แต่จะมีแรงดึงผิวมากกว่า

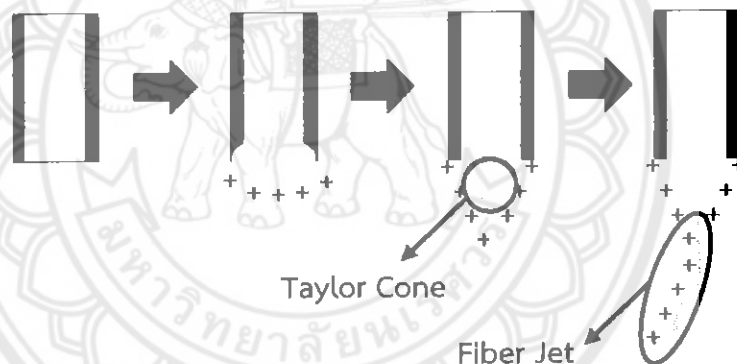
สารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50 และสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50 เนื่องจากจะมีสัดส่วนของสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ที่มากกว่าสารละลายทั้ง 2 สัดส่วน ทั้งนี้ทั้งนั้นสารละลายผสมจะไม่มีแรงตึงผิวมากไปกว่าสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้น 2.5 %wt บริสุทธิ์จึงทำให้สามารถใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า ในการขึ้นรูปขึ้นงานได้ต่ำลงไปด้วย ดังนั้นจากการส่องลักษณะเส้นใยเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่า สารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 60 ต่อ 40 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยน้อยแต่มีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก จึงเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปขึ้นงานเพื่อใช้สำหรับการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

จากตารางที่ ก.9 ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่าการขึ้นรูปไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 10 %wt สัดส่วน 60 ต่อ 40 ด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้า สลิดนั้นสามารถที่จะขึ้นรูปได้ทุกสัดส่วน โดยสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องได้ แต่จะมีความแตกต่างภายในเส้นใยดังที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.9 ซึ่งเราจะพบว่าที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร ที่เกือบทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า จะพบว่ามีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก เนื่องจากระยะห่างที่น้อยจึงทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปไม่หมด และเนื่องด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไม่มากพอที่จะทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กได้ และในสัดส่วนอื่นๆ ผลของลักษณะเส้นใยจะมีผลตามตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของสารละลายและความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งเมื่อนำสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt มาผสมกัน จะพบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นงานต่ำลง เนื่องจากเมื่อสารละลายทั้ง 2 ชนิดมาผสมกัน สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้แรงตึงของสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มีค่าต่ำลง เป็นผลทำให้ได้สารละลายผสมที่มีแรงตึงผิวลดลง แต่จะมีแรงตึงผิวมากกว่าสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วนของ 60 ต่อ 40 เนื่องจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่นำมาผสมมีความเข้มข้นมากกว่า ทั้งนี้สารละลายผสมจะไม่มีแรงตึงผิวมากไปกว่าสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2.5 %wt บริสุทธิ์ จึงทำให้สามารถใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการขึ้นรูปขึ้นงานได้ต่ำลงไปด้วย ดังนั้นจากการส่องลักษณะเส้นใยเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่าสารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 10 %wt ที่มีสัดส่วน 60 ต่อ 40 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยน้อย แต่มีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก จึงเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปขึ้นงานเพื่อใช้สำหรับการทดสอบ

จากตารางที่ ก.1-ก.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการขึ้นรูปขึ้นในการศึกษาหาสัดส่วนของพอลิเมอร์สังเคราะห์ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อขึ้นงานตามลำดับ คือ ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหล

ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์จะส่งผลต่อความหนืดและแรงตึงผิวของสารละลาย พบว่าเมื่อความเข้มข้นของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจะทำให้เส้นใยที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ส่วนความตึงผิวของสารละลายจะส่งผลต่อการเกิดเม็ดพอลิเมอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนทรงกลมหรือรียูบนเส้นใย หากความเข้มข้นของสารละลายมีค่าสูงจะมีผลทำให้ปริมาณเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยลดลง

ความต่างศักย์ไฟฟ้า เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้นจะทำให้เส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงและมีแนวโน้มที่จะเกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย (Bead) ในระบบเส้นใยมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าส่งผลถึงการเกิด Taylor Cone และ Fiber Jet จึงจำเป็นต้องเลือกศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าเหมาะสม




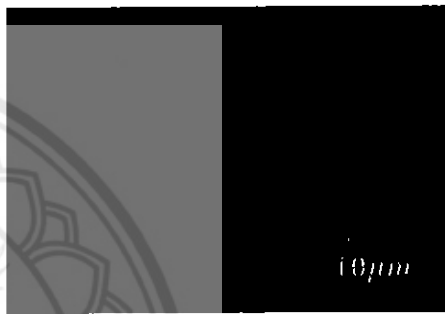
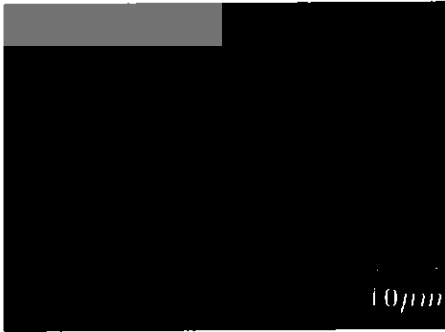
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของ Taylor Cone และ Fiber Jet

ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้เส้นใยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง แต่ถ้าระยะทางลดลงก็จะมีแนวโน้มที่จะเกิดเม็ดพอลิเมอร์มากขึ้น การเพิ่มระยะทางจะทำให้การระเหยของตัวทำละลายเกิดได้อย่างสมบูรณ์

อัตราการไหล ในการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของพอลิเมอร์จะทำให้เส้นใยมีเส้นผ่านศูนย์กลางและรูมีขนาดเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเกิดเม็ดพอลิเมอร์ในระบบเส้นใยมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการระเหยของตัวทำละลายเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์

ซึ่งจากการนำชิ้นงานที่ได้ไปส่องเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ ทำให้ได้รู้ถึงสัดส่วนที่ดีในทำการศึกษาคั้งนี้ โดยเราจะเลือกชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

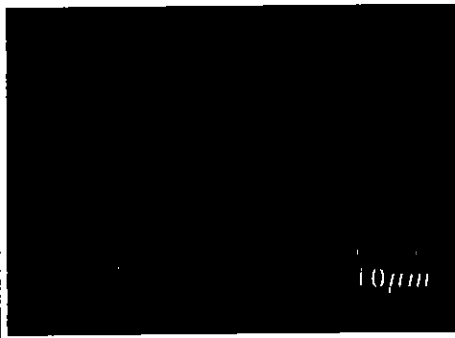
ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุดในสัปดาห์ต่างๆ

อัตราส่วน	ลักษณะเส้นใย	รูปภาพ
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ที่ความเข้มข้น 2.5 %wt ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	มีลักษณะเป็นเส้นใยแบบสั้น มีความเป็นเส้นใยน้อย มีส่วนที่เป็นเนื้อพอลิเมอร์มาก	
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	มีลักษณะเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องกัน จะพบว่ามีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์น้อยมาก	
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่ความต่างศักย์ 20 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	มีลักษณะเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องกัน จะพบว่ามีเม็ดของพอลิเมอร์เกาะตามเส้นใยเลเยลดพอลิเมอร์ที่เห็นเกิดขึ้นในช่วงแรกของการขึ้นรูป	
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	มีลักษณะเส้นใยที่ต่อเนื่องกันตลอดความยาว มีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์มาเกาะตามเส้นใยค่อนข้างน้อย	

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุดในสัดส่วนต่างๆ

อัตราส่วน	ลักษณะเส้นใย	รูปภาพ
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	มีลักษณะเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องกัน จะพบว่ามีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์มาเกาะเส้นใยน้อยมาก	
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร อัตราการไหล 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	มีลักษณะเส้นใยที่ต่อเนื่องกันตลอดความยาวของเส้นใย มีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์เกาะตามเส้นใยเล็กน้อย	
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	มีลักษณะเส้นใยที่ต่อเนื่องกัน มีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์เกาะตามเส้นใยเล็กน้อย	
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 60 ต่อ 40 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	มีลักษณะเส้นใยที่ต่อเนื่องกันตลอดความยาว มีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์มาเกาะตามเส้นใย	

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุดในสัปดาห์ต่างๆ

อัตราส่วน	ลักษณะเส้นใย	รูปภาพ
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่ สัปดาห์ 60 ต่อ 40 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	มีลักษณะเส้นใยที่ ต่อเนื่องกันตลอดความ ยาว มีความเป็นเส้นใย น้อย มีส่วนที่เป็นเนื้อ พอลิเมอร์มากมีเม็ด ของเนื้อพอลิเมอร์เกาะ เส้นใย	

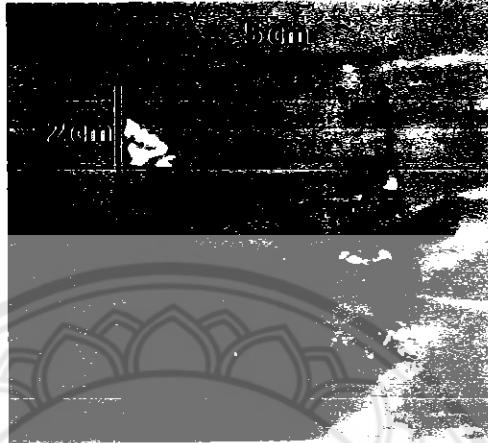
จากตารางที่ 4.2 จะทำให้เราสามารถทราบถึงสภาวะที่ดีที่สุดของแต่ละสัปดาห์ โดยภาพจากการนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปโดยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต ไปส่องเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสัปดาห์ของไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่มีสัปดาห์ 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัปดาห์ 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีที่สุด เนื่องจากมีลักษณะเส้นใยเบื้องต้นที่ดีจึงนำไปทำการขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อนำชิ้นงานที่ได้มาทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อนำภาพมาวิเคราะห์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยเฉลี่ย ขนาดรูพรุน และค่าความพรุน



รูปที่ 4.2 รูปร่างของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

4.1.2 การขึ้นรูปด้วยการหล่อฟิล์ม

ในขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการหล่อฟิล์มนี้ จะทำการเตรียมชิ้นงานในทุกที่สภาวะที่ขึ้นรูปได้ ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งเมื่อได้ชิ้นงานแล้ว ก็จะนำชิ้นงานไปทดสอบการย่อยสลายโดยการแช่ในสารละลาย PBS

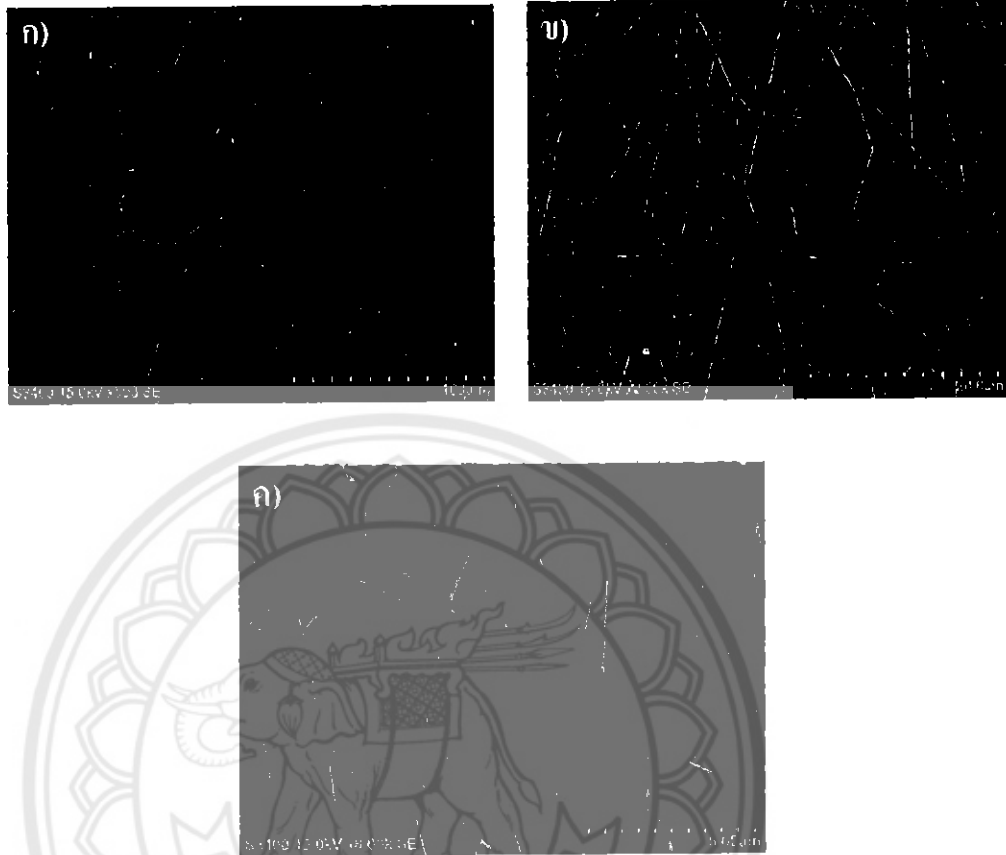


รูปที่ 4.3 รูปขนาดของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อ

4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบจากภาพถ่าย SEM

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมจากการนำชิ้นงานไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสภาวะที่ให้ลักษณะเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่มีสัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และที่ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่มีสัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จากนั้นจึงนำชิ้นงานทดสอบทั้ง 2 ที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว มาทำการส่องดูลักษณะพื้นผิวและรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและหาเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยเฉลี่ย ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย และค่าความพรุน โดยใช้โปรแกรม Image J

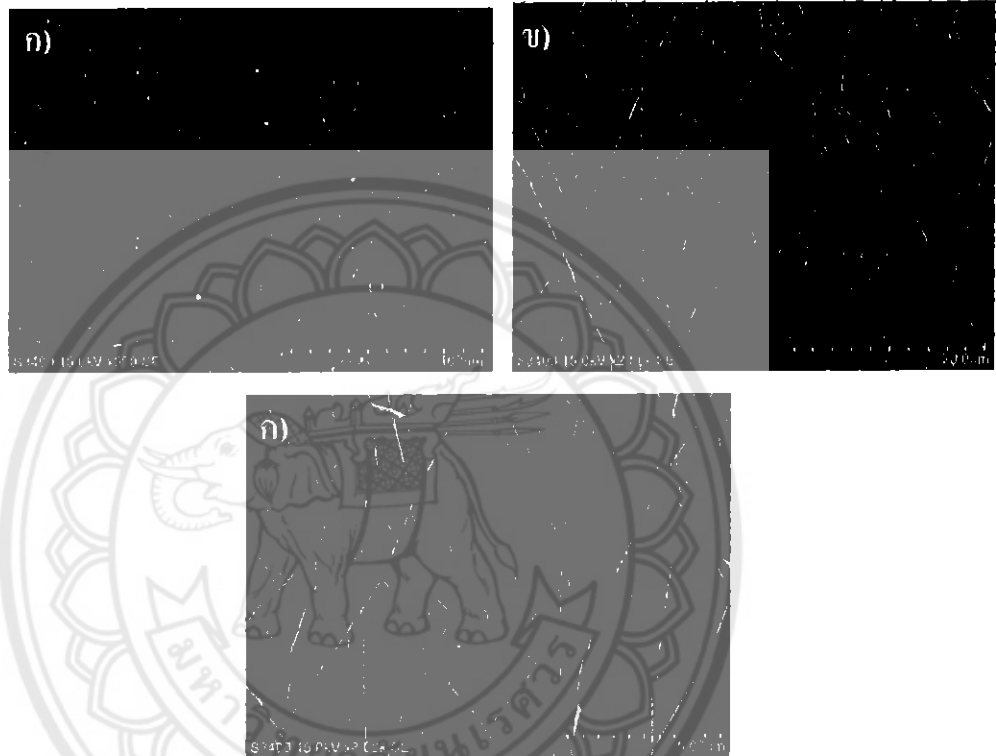
4.2.1 ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 4.4 ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย ก) 500 เท่า ข) 2500 เท่า และค) 8000 เท่า

จากรูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ภาพ ค) กำลังขยาย 8000 เท่าและสเกล 5 ไมครอน จะพบว่ามีลักษณะเส้นใยที่มีความต่อเนื่องไม่มีหยด พอลิเมอร์บนเส้นใยและไม่มีเม็ดของพอลิเมอร์บนเส้นใย ซึ่งตรงตามกับลักษณะของเส้นใยเบื้องต้นที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์ และจะเห็นว่าตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ 1.ความเข้มข้นของสารละลาย พบว่าเมื่อนำเอาสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 2.5 %wt มาผสมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ก็จะส่งผลทำให้สารละลายผสมที่ได้มีความหนืดที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต ถ้าเกิดเพิ่มสัดส่วนของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในสารละลายผสมที่มากขึ้นจะทำให้ความหนืดของสารละลายผสมมีมากขึ้นจนเกินไป จนส่งผลต่อลักษณะเส้นใย คือ จะทำให้เกิดเนื้อพอลิเมอร์บน

เส้นใยมากดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นและ 2.ความต่างศักย์ไฟฟ้า จะพบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของสถานะนี้ คือ 22 กิโลโวลต์ ซึ่งถ้าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามากกว่านี้ จะทำให้เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยได้ซึ่งผลที่ได้จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะพบว่าชิ้นงานทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยเฉลี่ย 157 นาโนเมตร ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย 78 นาโนเมตร และมีค่าความพรุนร้อยละ 64.64

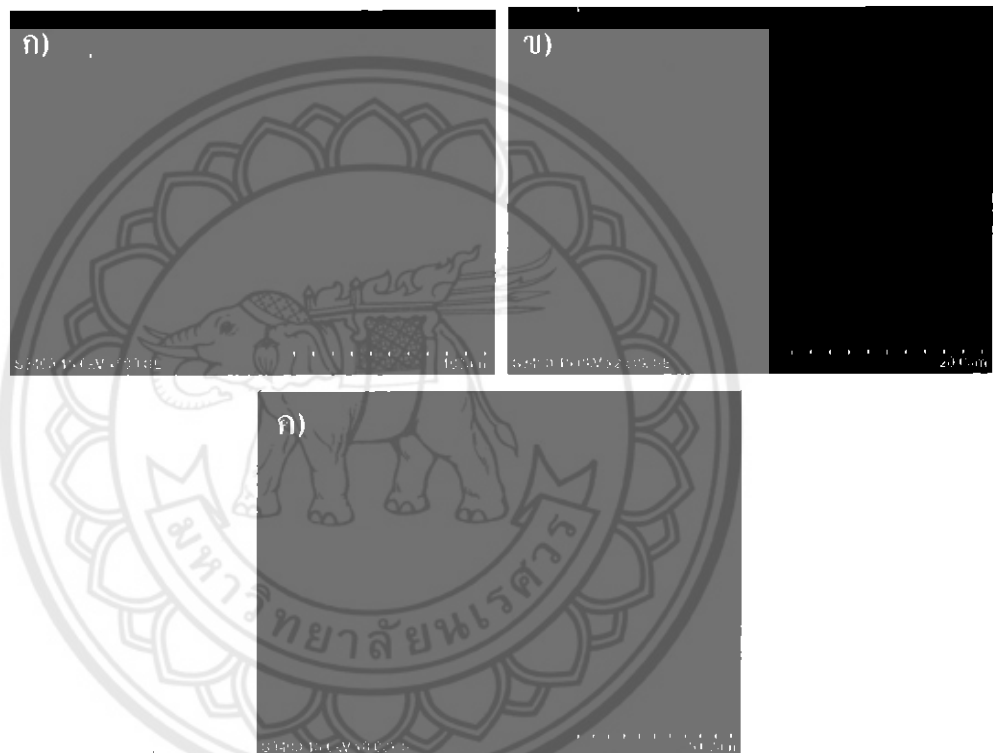


รูปที่ 4.5 ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย ก) 500 เท่า ข) 2500 เท่า และค) 8000 เท่า

จากรูปที่ 4.5 ภาพถ่ายจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ภาพกำลังขยาย 8000 เท่า และสเกล 5 ไมครอน จะพบว่ามีลักษณะเส้นใยที่มีความต่อเนื่องไม่มีหยดพอลิเมอร์บน เส้นใยแต่จะมีเนื้อของพอลิเมอร์บนเส้นใย ซึ่งตรงตามกับลักษณะของเส้นใยเบื้องต้นที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์ และจะเห็นว่าตัวแปรสำคัญ 2 ตัวแปร คือ 1.ความเข้มข้นของสารละลายพบว่าเมื่อนำเอาสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 2.5 %wt มาผสมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 จะส่งผลทำให้สารละลาย

ลายผสมที่ได้นั้นจะมีความหนืดที่มากขึ้นกว่าสัดส่วนในรูปที่ 4.4 ซึ่งจะเป็นผลทำให้มีค่าแรงดึงผิวของสารละลายผสมที่มากขึ้น ส่งผลทำให้มีการเกิดเนื้อพอลิเมอร์บนเส้นใยมากกว่าสัดส่วนในรูปที่ 4.5 และ 2.ความต่างศักย์ไฟฟ้า จะพบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของสภาวะนี้ คือ 22 กิโลโวลต์ ซึ่งถ้ามีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มากกว่านี้ จะทำให้เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยเพิ่มขึ้นอีกได้ ซึ่งผลที่ได้จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะพบว่าชิ้นงานทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยเฉลี่ย 89 นาโนเมตร ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย 91 นาโนเมตร และมีค่าความพรุนร้อยละ 69.19

4.3.2 ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการหล่อฟิล์ม











รูปที่ 4.6 ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย ก) 500 เท่า ข) 2500 เท่า และค) 8000 เท่า


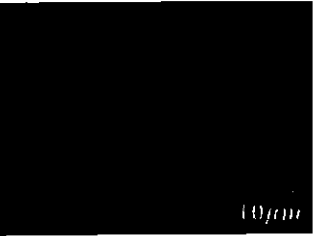

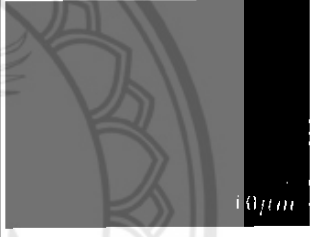


จากรูปที่ 4.6 ภาพถ่ายจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อฟิล์ม ภาพ ก) กำลังขยาย 500 เท่า และสเกล 100 ไมครอน จะเห็นว่ามี ความเข้ากันดีของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด และมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ จึงไม่เกิดรูพรุนขึ้นภายในชิ้นงาน

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองจากการย่อยสลายในสารละลาย PBS


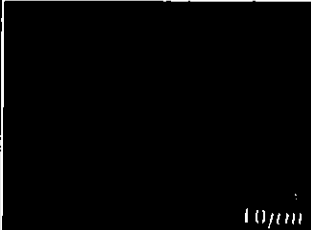
ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

อัตราส่วน	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	ร้อยละ น้ำหนักที่หายไป
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ ความเข้มข้น 8 %wt ที่ ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	 น้ำหนักเท่ากับ 0.0655	 น้ำหนักเท่ากับ 0.0591	9.72
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ ความเข้มข้น 10 %wt ที่ ความต่างศักย์ 20 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	 น้ำหนักเท่ากับ 0.0739	 น้ำหนักเท่ากับ 0.0670	9.25
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ ความเข้มข้น 8 %wt ที่ สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	 น้ำหนักเท่ากับ 0.0623	 น้ำหนักเท่ากับ 0.0466	25.17
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ ความเข้มข้น 10 %wt ที่ สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	 น้ำหนักเท่ากับ 0.0640	 น้ำหนักเท่ากับ 0.0499	21.99

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

อัตราส่วน	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	ร้อยละ น้ำหนักที่หายไป
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิล-เซลลูโลสต่อพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร อัตราการไหล 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง			11.52
	น้ำหนักเท่ากับ 0.04313	น้ำหนักเท่ากับ 0.0382	
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิล-เซลลูโลสต่อพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง			4.91
	น้ำหนักเท่ากับ 0.0421	น้ำหนักเท่ากับ 0.0401	
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิล-เซลลูโลสต่อพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 60 ต่อ 40 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง			13.16
	น้ำหนักเท่ากับ 0.0443	น้ำหนักเท่ากับ 0.0385	

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต

อัตราส่วน	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	ร้อยละ น้ำหนักที่หายไป
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 60 ต่อ 40 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	 น้ำหนักเท่ากับ 0.0413	 น้ำหนักเท่ากับ 0.0383	7.35

จากตารางที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 8 %wt สัดส่วน 40 ต่อ 60 ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยเฉลี่ย 157 นาโนเมตร ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย 78 นาโนเมตร และมีค่าความพรุนร้อยละ 64.64 และสัดส่วนไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 10 %wt ที่มีสัดส่วน 50 ต่อ 50 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยเฉลี่ย 89 นาโนเมตร ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย 91 นาโนเมตร และมีค่าความพรุนร้อยละ 69.19 จะพบว่าสัดส่วนไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีการย่อยสลายใน 1 เดือนแรกร้อยละ 25.17 และสัดส่วนไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง มีการย่อยสลายใน 1 เดือนแรกที่ร้อยละ 21.99 ซึ่งจะเห็นว่าชิ้นงานไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ถึงแม้จะมีค่าความพรุนที่มากกว่าแต่เนื่องจากมีเนื้อพอลิเมอร์ในเส้นใยมากกว่าชิ้นงานไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ความต่างศักย์ 22 กิโลโวลต์ ระยะห่าง 16 เซนติเมตร และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จึงทำให้มีอัตราการย่อยสลายที่น้อยกว่านั่นเอง

ตารางที่ 4.4 แสดงน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อ

อัตราส่วน	น้ำหนักเฉลี่ยวันแรก	น้ำหนักเฉลี่ยวันที่ 30	ร้อยละน้ำหนักที่หายไป
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt	0.0998	0.0913	8.58
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt	0.2095	0.1978	5.55
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิล-เซลลูโลสต่อพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่ สัดส่วน 40 ต่อ 60	0.1030	0.0735	28.61
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิล-เซลลูโลสต่อพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่ สัดส่วน 40 ต่อ 60	0.1433	0.1201	16.15
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิล-เซลลูโลสต่อพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่ สัดส่วน 50 ต่อ 50	0.1170	0.0961	17.87
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิล-เซลลูโลสต่อพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่ สัดส่วน 50 ต่อ 50	0.0985	0.0820	16.85
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิล-เซลลูโลสต่อพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่ สัดส่วน 60 ต่อ 40	0.0904	0.0610	32.51
ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิล-เซลลูโลสต่อพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่ สัดส่วน 60 ต่อ 40	0.1050	0.0816	22.31

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของการย่อยสลายของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตและกระบวนการหล่อ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการหายไปของน้ำหนักชิ้นงาน คือ ความเข้มข้น โดยความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มากจะทำให้มีร้อยละของน้ำหนักที่หายไปได้มากกว่าที่ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่น้อยและสัดส่วนไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยหากสัดส่วนที่มีไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมากจะทำให้มีร้อยละของน้ำหนักที่หายไปที่มาก และอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการย่อยสลาย คือ ขนาดของเส้นใย ซึ่งจะมีปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดของเส้นใย คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่าง และอัตราการไหล ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่มากนั้นจะสามารถย่อยได้ช้ากว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากชิ้นงานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยที่มีขนาดเล็กจะทำให้ชิ้นงานทดสอบนั้นมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสารละลาย PBS ที่มากขึ้น จึงทำให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการหายไปของน้ำหนักที่มากกว่าชิ้นงานทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่มาก



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาถึงสัดส่วน ความเข้มข้นสารละลาย ความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล และระยะห่างของฉากรับเส้นใยของพอลิเมอร์ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต การศึกษาและทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานที่ได้ระหว่างกระบวนการเตรียมการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตและกระบวนการหล่อฟิล์ม ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและการทำการทดลองเพื่อทำการศึกษาถึงสัดส่วน ความเข้มข้นสารละลาย ความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล และระยะห่างของฉากรับเส้นใยของพอลิเมอร์ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต ศึกษาและทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานที่ได้ระหว่างกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตและกระบวนการหล่อฟิล์ม จึงสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ศึกษาสภาวะต่างๆ

โดยศึกษาสัดส่วน ความเข้มข้นสารละลาย ความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล และระยะห่างของฉากรับเส้นใยของพอลิเมอร์ ไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต จากการศึกษาเพื่อหาความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้ได้ทราบถึงความเข้มข้นของสารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่สามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต พบว่า

5.1.1.1 สารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

สามารถขึ้นรูปได้ที่ความเข้มข้น 2.5 %wt จะมีบางความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล และระยะห่างของฉากรับเส้นใยที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้ดังที่ระบุไว้ในตารางที่ 4.2

5.1.1.2 สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

สามารถขึ้นรูปได้ที่ความเข้มข้น 8 และ 10 %wt ซึ่งสามารถขึ้นรูปได้ทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล และระยะห่างของฉากรับเส้นใยดังที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.1 และ ก.2

5.1.1.3 สารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ผสมตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ สามารถขึ้นรูปได้ทุกความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล และระยะห่างของฉากรับเส้นใยดังที่ระบุไว้ในตารางที่ ก.3-ก.9

5.1.2 ศึกษาการทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ

ชิ้นงานที่ได้รับระหว่างกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตและกระบวนการหล่อฟิล์มจากการนำชิ้นงานไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่าที่สารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 และ 10 %wt สัดส่วน 40 ต่อ 60 ที่ได้ทำการเลือกไว้ในตารางที่ 4.2 มีลักษณะเส้นใยที่เหมาะสม พบว่าไม่มีเม็ดพอลิเมอร์เกิดบนเส้นใยเลย และเมื่อนำสัดส่วนที่เลือกไปขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ แล้วนำไปทดสอบการย่อยสลายในสารละลาย PBS พบว่าชิ้นงานไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 8 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ในระยะเวลา 1 เดือนแรกชิ้นงานได้มีน้ำหนักลดลงร้อยละ 25.17 และชิ้นงานไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 %wt ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60 ในระยะเวลา 1 เดือนแรกชิ้นงานได้มีน้ำหนักลดลงร้อยละ 21.99 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตนั้นมีการย่อยสลายในแนวน้ำที่ เหมาะสม ไม่ย่อยสลายจนเร็วเกินไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้ชิ้นงานทดสอบในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดจนสามารถใช้งานได้จริง จึงควรมีการวิจัยเพิ่มเติมที่แนะนำคือ

5.2.1 ในการทดสอบการย่อยสลาย ควรเพิ่มระยะเวลาในการทำการทดลอง เพื่อหาระยะเวลาที่แน่นอนที่ชิ้นงานจะมีการย่อยสลายจนหมดไป

5.2.2 ควรมีการทดสอบการปลูกถ่ายเซลล์ทดลองลงในชิ้นงานทดสอบ เพื่อหาระยะเวลาที่เซลล์จะเจริญเติบโตเต็มที่ เมื่อชิ้นงานย่อยสลายจนหมด

5.2.3 เนื่องด้วยเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกใช้ในการทดลอง สามารถที่จะให้ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงสุดแค่ 25 กิโลโวลต์ และต่อมามีตัวต้านทานใหม่ 1 ตัว จึงทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จึงเหลืออยู่แค่ 22 กิโลโวลต์ ถ้าสามารถให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าได้สูงกว่านี้ สารละลายไฮดร็อกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มีความเป็นไปได้ที่จะมีลักษณะเส้นใยที่ยาวต่อเนื่องและสามารถขึ้นรูปได้ ที่ความเข้มข้นที่หลากหลายกว่านี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Afra Hadjizadeh, Abdellah Ajji and Martin N.Bureau. (2011). Nano/Micro Electrospun Polyethylene Terephthalate Fibrous mat Preparation and Characterization. *Journal of the mechanical behavior of biomedical material.*, Vol. 4, pp. 340-351.
- [2] Jinglei Hao, Gangtie Lei, Zhaohui Li, Lijun Wu, Qizhen Xiao and Li Wang. (2013). A Novel Polyethylene Terephthalate Nonwoven Separator Based on Electrospinning Technique for Lithium Ion Battery. *Journal of Membrane Science.*, Vol. 428, pp. 11-16.
- [3] Zuwei Ma, Masaya Kotaki, Thomas Young and Wei He. (2005). Surface Engineering of Electrospun Polyethylene Terephthalate (PET) Nanofibers Towards Development of a New Material for Blood Vessel Engineering. *Biomaterials.*, Vol. 26, pp. 2527-2536.
- [4] Xuefen Wang, Dufei Fang, Kyunghwan Yoon, Benjamin S. Hsiao and Benjamin Chu. (2006). High Performance Ultrafiltration Composite Membranes Based on Poly(vinyl alcohol) Hydrogel Coating on Crosslinked Nanofibrous Poly(vinyl Alcohol) Scaffold. *Journal of Membrane Science.*, Vol. 278, pp. 261-268.
- [5] Hongyang Ma. (2009). UV-Cured Poly(Vinyl Alcohol) Ultrafiltration Nanofibrous Membrane Based on Electrospun Nanofiber Scaffolds. *Journal of Membrane Science.*, Vol. 328, pp. 1-5.
- [6] Nguyen Tien Phong, Mohamed H. Gabr, Kazaya Okubu, Bui Chuong and Toru Fujii. (2013). Improvement in The Mechanical Performances of Carbon Fiber/Epoxy Composite with Addition of Nano Polyvinyl Alcohol Fiber. *Composite Structures.*, Vol. 99, pp. 380-387.
- [7] Maria H. Bolin, Karl Svennersten, Xiangjun Wang, Ioannis S. Chronakis, Agneta Richter-Dahlfors, Edwin and W.H. Jager. (2009). Nano-Fiber Scaffold Electrodes Based on PEDOT for Cell Simulation. *Sensors and Actuators.*, Vol. B142, pp. 451-456.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [8] Ioannis S. Chronakis. (2008). Micro/Nano-fiber by Electrospinning Technology. *Processing Properties and Applications.*, pp. 124-157.
- [9] Nicolas Blanchemain, Thomas Laurent, Feng Chai, Christel Neut and Stephan Haulon. (2008). Polyester Vascular Prostheses Coated with a Cyclodextrin Polymer and Activated with Antibiotics Cytotoxicity and Microbiological Evaluation. *Acta Biomaterialia.*, Vol. 4, pp. 1725-1733
- [10] Zheng-Ming Huang, Y.-Z. Zhang, M. Kotaki and S.Ramakrishna. (2003). A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites. *Composites Science and Technology.*, Vol. 63, pp. 2223-2253.
- [11] Santi Mansiri. (2010). Electrospinning. Department of Physics, Faculty of Science, Kkon Khaen University, *Journal Electrostatics.*, Vol. 54, pp. 1-59.
- [12] Koch,R.J. and Gorti, G.K. (2002). Tissue Engineering with Chondrocytes. *Facial Plastic Surgery.*, Vol. 18, pp. 59-68.
- [13] Boyan, B.D., Lohmann C.H., Romero J. and Schwartz Z. (1999). Bone and Cartilage Tissue Engineering. *Clinical Plastic Surgery.*, Vol. 26, pp. 629-645.
- [14] Lu,L. Zhu, X., Valenzuela, R.G., Currier, B.L. and Yaszemski, M.J. (2001). Biodegradable Poly Scaffold for Cartilage Tissue Engineering. *Clinical Orthopaedics and related research.*, Vol. 391, pp. 251-270.
- [15] Cancedda R., Dozin B., Giannoni P and Quarto R. Mini. (2003). Review Tissue Engineering and Cell Therapy of Cartilage and Bone. *Matrix Biology.*, Vol. 22, pp. 81-91.
- [16] Hutmacher. D.W. (2000). Scaffolds In Tissue Engineering Bone and Cartilage. *Biomaterials.*, Vol. 21, pp. 2529-2543.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [17] Hutmacher. D.W. (2001). Mechanical Properties and Cell Cultural Response of Polycaprolactone Scaffolds Designed and Fabricates via Fused Deposition Modeling. *Journal of Biomedical Material Research.*, Vol. 55, pp. 203-216.
- [18] Hutmacher D.W. (2003). Elastic Cartilage Engineering Using Novel Scaffold Architectures In Combination with a Biomimetic Cell Carrier. *Biomaterials.*, Vol. 25, pp. 4445-4458.
- [19] Sill TJ and von Recum HA. (2008). Electrospinning Application In Drug Delivery and Tissue Engineering. *Blomaterials.*, Vol. 29, pp. 1989-2006.
- [20] Reneker DH Doshi J. (1995). Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers. *Journal Electrostatics.*, Vol. 35, No. 2-3, pp. 151-60.
- [21] Jaeger R, Bergshoef MM, Battle CMI. (1998). Electrospinning of ultra-thin polymer fibers. *Macromolecule Symp.*, Vol. 127, pp. 50-141.
- [22] Huang Z, Zhang Y and Kotaki M. (2003). A Review on Polymer Nanofiber by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites. *Composites Science and Technology.*, Vol. 63, pp. 53-2223.
- [23] Deitzel JM, Kleinmeyer J and Harris D. (2001). The Effect of Processing Variables on The Morphology of Electrospun Nanofibers and Textiles. *Polymer.*, Vol. 42, pp. 261-72.
- [24] Megelski S, Stephens JS and Chase DB. (2002). Micro and Nanostructure Surface Morphology on Electrospun Polymer Fibers. *Macromolecules.*, Vol. 35, No. 22, pp. 35-66.
- [25] Megelski S. (2010). Polyvinyl Alcohol–Collagen–Hydroxyapatite Biocomposite Nanofibrous Scaffold Mimicking The Key Features of Natural Bone at The Nanoscale Level. *Polymer.*, Vol. 51, pp. 868–876.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [26] Stephens JS. (2011). Improved Cellular Response on Multiwalled Carbon Nanotube Incorporated Electrospun Polyvinyl Alcohol/Chitosan Nanofibrous Scaffolds. *Colloids and Surfaces B. Biointerfaces.*, Vol. 84, pp. 528–535.
- [27] Zhang CX, Yuan XY and Wu LL. (2005). Study on Morphology of Electrospun Poly Vinylalcohol mats. *European Polymer Journal.*, Vol. 41, No. 3, pp. 423-32.





ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ ก.1 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในตัวแปรความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหล ของ HPMC 2.5 %wt

ความเข้มข้น	ความต่างศักย์ (kV)	ระยะห่าง (cm)	อัตราการไหล (ml/hr)	การขึ้นรูป		หมายเหตุ
				ได้	ไม่ได้	
HPMC 2.5%wt	18	12	0.6		✓	
			1		✓	
			2		✓	
		16	0.6		✓	
			1		✓	
			2		✓	
		20	0.6	✓		เกิดเม็ดบนเส้นใยมาก
			1		✓	
			2		✓	
	20	12	0.6		✓	
			1		✓	
			2		✓	
		16	0.6	✓		เกิดเม็ดบนเส้นใยมาก
			1		✓	
			2		✓	
		20	0.6			เกิดเม็ดบนเส้นใยมาก
			1		✓	
			2		✓	
	22	12	0.6	✓		เกิดเม็ดบนเส้นใยมาก
			1		✓	
			2		✓	
		16	0.6	✓		เกิดเม็ดบนเส้นใยเล็กน้อย***
			1		✓	
			2		✓	
20		0.6	✓		เกิดเม็ดบนเส้นใยมาก	
		1		✓		
		2		✓		

ตารางที่ ก.2 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในตัวแปรความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหลของ PVA 8 %wt

ความเข้มข้น	ความต่างศักย์ (kV)	ระยะห่าง (cm)	อัตราการไหล (ml/hr)	การขึ้นรูป		หมายเหตุ
				ได้	ไม่ได้	
PVA 8 %wt	20	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		20	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดของพอลิเมอร์บนเส้นใย
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
	22	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์เล็กน้อย***
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
	25	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก

ตารางที่ ก.3 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในตัวแปรความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหลของ PVA 10 %wt

ความเข้มข้น	ความต่างศักย์ (kV)	ระยะห่าง (cm)	อัตราการไหล (mL/hr)	การขึ้นรูป		หมายเหตุ
				ได้	ไม่ได้	
PVA 10 %wt	20	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		20	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		ไม่มีเม็ดของพอลิเมอร์ ***
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
	22	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
	25	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเม็ดของพอลิเมอร์บนเส้นใยเล็กน้อย
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก และมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
20		1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก	
		2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก และมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย	
		3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก และมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย	

ตารางที่ ก.4 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในตัวแปรความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหลของ HPMC ต่อ PVA (8 %wt) ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60

ความเข้มข้น	ความต่างศักย์ (kV)	ระยะห่าง (cm)	อัตราการไหล (ml/hr)	การขึ้นรูป		หมายเหตุ
				ได้	ไม่ได้	
HPMC ต่อ PVA (8 %wt) ที่ สัดส่วน 40 ต่อ 60	18	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
		20	1	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมากและมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
	20	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยน้อย
			2	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
		20	1	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมากและมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
			3	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
	22	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยน้อย ***
			2	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
		20	1	✓		เม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมากและมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมากและมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย

ตารางที่ ก.5 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในตัวแปรความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหลของ HPMC ต่อ PVA (10 %wt) ที่สัดส่วน 40 ต่อ 60

ความเข้มข้น	ความต่างศักย์ (kV)	ระยะห่าง (cm)	อัตราการไหล (ml/hr)	การขึ้นรูป		หมายเหตุ
				ได้	ไม่ได้	
HPMC ต่อ PVA (10 % wt) ที่ สัดส่วน 40 ต่อ 60	18	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
		20	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
	20	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก และมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก และมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเม็ดของพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
	22	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
		16	1	✓		มีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์บนเส้นใย น้อยมาก***
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
20		1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก	
		2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก	
		3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก	

ตารางที่ ก.6 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในตัวแปรความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหลของ HPMC ต่อ PVA (8 %wt) ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50

ความเข้มข้น	ความต่างศักย์ (kV)	ระยะห่าง (cm)	อัตราการไหล (mL/hr)	การขึ้นรูป		หมายเหตุ
				ได้	ไม่ได้	
HPMC ต่อ PVA (8 %wt) ที่ สัดส่วน 50 ต่อ 50	18	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก และมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
		20	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก และมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก และมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
	20	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก และมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
			2	✓		มีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์เกาะตามเส้นใยน้อย
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
	22	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์เกาะตามเส้นใยน้อย ***

ตารางที่ ก.7 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในตัวแปรความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหลของ HPMC ต่อ PVA (10 %wt) ที่สัดส่วน 50 ต่อ 50

ความเข้มข้น	ความต่างศักย์ (kV)	ระยะห่าง (cm)	อัตราการไหล (mL/hr)	การขึ้นรูป		หมายเหตุ
				ได้	ไม่ได้	
HPMC ต่อ PVA (10% wt) ที่ สัดส่วน 50 ต่อ 50	18	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		20	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมากและมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
	20	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
	22	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยน้อยและมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย ***
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
20		1	✓		มีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย	
		2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก	
		3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมากและมีเนื้อพอลิเมอร์บนเส้นใยน้อย	

ตารางที่ ก.8 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในตัวแปรความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหลของ HPMC ต่อ PVA (8 %wt) ที่สัดส่วน 60 ต่อ 40

ความเข้มข้น	ความต่างศักย์ (kV)	ระยะห่าง (cm)	อัตรา การไหล (mL/hr)	การขึ้นรูป		หมายเหตุ
				ได้	ไม่ได้	
HPMC ต่อ PVA (8 %wt) ที่ สัดส่วน 60 ต่อ 40	18	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมากและ มีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
	20	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเม็ดของเนื้อพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
	22	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยน้อย แต่ มีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก ***
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมากและ มีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก

ตารางที่ ก.9 แสดงความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานจากกระบวนการปั่นด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตในตัวแปรความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างฉากรับเส้นใย และอัตราการไหลของ HPMC ต่อ PVA (10 %wt) ที่สัดส่วน 60 ต่อ 40

ความเข้มข้น	ความต่างศักย์ (kV)	ระยะห่าง (cm)	อัตราการไหล (ml/hr)	การขึ้นรูป		หมายเหตุ
				ได้	ไม่ได้	
HPMC ต่อ PVA (10 %wt) ที่ สัดส่วน 60 ต่อ 40	18	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		20	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
	20	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
		20	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		แต่มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก และมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใย
	22	12	1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
		16	1	✓		เกิดเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมากและมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก
			3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก
20		1	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยน้อย แต่มีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก ***	
		2	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมากและมีเม็ดพอลิเมอร์บนเส้นใยมาก	
		3	✓		มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่ในเส้นใยมาก	

*** หมายถึง นำไปขึ้นรูปเพื่อการทดสอบ

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายธนกศักดิ์ ภาณุอักษร
ภูมิลำเนา 125/84 หมู่ 7 ต.บางโหลง อ.บางพลี
จ.สมุทรปราการ

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพุลเจริญวิทยาคม
จ.สมุทรปราการ
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: bird_270335@hotmail.com



ชื่อ นายอริวัฒน์ วิจิตรศิลป์
ภูมิลำเนา 130 หมู่ ต.สะเตียง อ.เมือง
จ.เพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเพชรพิทยาคม
จ.เพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: monkey.d_pondkung@hotmail.com