

การเตรียมเส้นใยเซลลูโลสแอซีเตตผสมกรดแทนนิก
ด้วยการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต

**ELECTROSPINNING OF CELLULOSE ACETATE FIBERS MIXED
WITH TANNIC ACID**

วิศาล จิตต์กระจายแสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งทอ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเตรียมเส้นใยเซลลูโลสแอซีเตตผสมกรดแทนนิก
ด้วยการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต

วิศาล จิตต์กระจายแสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งทอ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิกด้วยการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต
ชื่อ-นามสกุล	ว่าที่ร้อยโทวิศาล จิตต์กระจายแสง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์นที ศรีสวัสดิ์, ปร.ค.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์รัฐพล รังกุพันธุ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

การขึ้นรูปแผ่นเส้นใยที่มีเส้นใยขนาดเล็กมาก มีหลายวิธี ทั้งการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยโดยตรงด้วยการปั่นแบบหลอมเหลว การปั่นเส้นใยด้วยเทคนิคเส้นใยสององค์ประกอบ ซึ่งต้องมีขั้นตอนการขึ้นรูปเส้นใยก่อน แล้วจึงนำมาผลิตเป็นแผ่นเส้นใยอีกขั้นตอนหนึ่ง แต่การปั่นแผ่นเส้นใยที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน คือ เทคนิคการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาการขึ้นรูปเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิกเป็นแผ่นเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต โดยใช้ความเข้มข้นของเซลลูโลสแอซีเทต ความเข้มข้นของกรดแทนนิก และอัตราส่วนของตัวทำละลายระหว่างอะซิโตนและน้ำแตกต่างกัน โดยนำสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตรี้อยละ 15 โดยน้ำหนักผสมกรดแทนนิกในสัดส่วนร้อยละ 10 30 50 70 90 110 130 และ 150 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต และทดลองขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใย

ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นต่ำที่สุดของเซลลูโลสแอซีเทตที่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยได้โดยไม่มีหยดของสารละลายคือร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในตัวทำละลายอะซิโตน และการเพิ่มสัดส่วนของน้ำในตัวทำละลายผสมส่งผลให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นและผิวเส้นใยไม่เรียบ เมื่อเติมกรดแทนนิกพบว่าในช่วงความเข้มข้นของกรดแทนนิกที่ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 70 เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นคือ 4.50 ± 0.62 ไมโครเมตร เป็น 6.33 ± 1.30 ไมโครเมตร แต่ในช่วงความเข้มข้นของกรดแทนนิกร้อยละ 90 ถึงร้อยละ 150 เส้นใยมีขนาดเล็กลง คือ 6.12 ± 1.29 ไมโครเมตร เป็น 2.59 ± 0.79 ไมโครเมตร นอกจากนี้ในด้านการวิเคราะห์ปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในเส้นใย พบปริมาณของกรดแทนนิกตั้งแต่ร้อยละ 86.95 ± 6.41 ถึงร้อยละ 99.18 ± 1.73 การปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยในน้ำกลั่น ภายในเวลา 240 นาที พบว่ามีปริมาณของกรดแทนนิกสะสมสูงสุดออกมาจากแผ่นเส้นใย 6.2993 ± 0.0854 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.94 ± 0.03 จากปริมาณที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใย

คำสำคัญ: เซลลูโลสแอซีเทต กรดแทนนิก การปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต

Thesis Title	Electrospinning of Cellulose Acetate Fibers mixed with Tannic Acid
Name - Surname	Acting Lieutenant Visan Jitkrajaisaeng
Program	Textile Engineering
Thesis Advisor	Mr. Natee Srisawat, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Mr. Ratthapol Rangkupan, Ph.D.
Academic Year	2013

ABSTRACT

Small-size fiber web could be produced by many methods. Direct melt spinning and bi-component fiber spinning are two of possible methods to spin small-size fibers. Fibers from these methods would be cut into shorter fibers and pass through web formation process. Recently, electrospinning method has become interested from scientists and researchers, because it could produce small-size fiber web directly from polymer solution.

This study was to prepare electrospun webs from cellulose acetate mixed with tannic acid by electrospinning technique with different concentrations of cellulose acetate, tannic acid and mixing ratios of acetone and water. After that, a 15% w/w CA solution was mixed with tannic acid in a range of 10 to 150% w/w of CA which was electrospun to form fiber web.

The results showed that 15% w/w of cellulose acetate (CA) in acetone were the lowest concentration to yield bead-free fibers. The addition of more water in solvent mixture resulted in bigger the fiber diameter with rough surface. In the case of tannic acid from 10 to 70% w/w of CA, fiber diameter increased which was from $4.50 \pm 0.62 \mu\text{m}$ to $6.33 \pm 1.30 \mu\text{m}$ with an increase amount of tannic acid. However, amount of tannic acid from 90 to 150% w/w of CA, the fiber diameter decreased which was from $6.12 \pm 1.29 \mu\text{m}$ to $2.59 \pm 0.79 \mu\text{m}$. Moreover, the actual amount of tannic acid in fiber was between $86.95 \pm 6.41\%$ and $99.18 \pm 1.73\%$. Tannic acid from the tannic acid-loaded cellulose acetate fiber in distilled water within 240 minutes was found to have the highest cumulative dose of tannic acid is derived from $6.2993 \pm 0.0854 \text{ mg}$ fiber mats, representing $1.94 \pm 0.03\%$ of the physical volume of the fibers mats.

Keywords: cellulose acetate, tannic acid, electrospinning

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ของ ดร.นที ศรีสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.รัฐพล รังกูพันธ์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก สังกัหนุ ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมประสงค์ ภาษาประเทศ กรรมการสอบ และ รองศาสตราจารย์ ดร.เข้มชัย หเมะจันทร ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้ให้ความกรุณา รวมทั้งได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการศึกษาวิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะพร คามภิรภาพพันธ์ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ในการทำการทดลอง และการทดสอบต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลสำเร็จของการศึกษาวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ มารดา บิดา พี่น้อง เพื่อน ๆ และ คณาจารย์ ที่ให้การสนับสนุน และประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ และเพื่อน ๆ M. Eng. (Textile) 6/55 ทุกคนที่เป็นกำลังใจให้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ ที่สนใจ หากมีความบกพร่อง หรือ ความไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขอภัยมา ณ โอกาสนี้ ด้วย

วิศาล จิตต์กระจายแสง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	13
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	14
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	14
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	15
บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
2.1 การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรือ อิเล็กโตรสปินนิง	16
2.2 เซลลูโลสเอเชียเทต	25
2.3 กรดแทนนิก	28
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	33
3.1 สารเคมี	33
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	33
3.3 การเตรียมสารละลาย	34
3.4 การเตรียมเครื่องปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	34
3.5 การปั่นเส้นใย	35
3.6 ตรวจสอบสมบัติของแผ่นเส้นใย	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	40
4.1 ผลการปั่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตในอะซิโตน	40
4.2 ผลการปั่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตในตัวทำละลายผสม	55
4.3 ผลการปั่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิกในตัวทำละลายผสม	59
4.4 ปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่ในแผ่นเส้นใย	64
4.5 หมู่ฟังก์ชันของแผ่นเส้นใย	65
4.6 ผลการปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใย	67
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการทดลอง	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	69
รายการอ้างอิง	71
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก ฮิสโตแกรมขนาดเส้นใย	79
ภาคผนวก ข การคำนวณค่าการละลายของตัวทำละลายผสม	90
ภาคผนวก ค การคำนวณหาปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใย	92
ภาคผนวก ง การปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใย	96
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	112
ประวัติผู้เขียน	136

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของพอลิเมอร์และตัวทำละลายที่ใช้สำหรับผลิตเส้นใย ขนาดนาโนเมตรโดยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต.....	24
ตารางที่ 2.2 พอลิเมอร์ที่ใช้สำหรับผลิตเส้นใยโดยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต ในรูปหลอดมเหลว	25
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลสแอซีเทต	26
ตารางที่ 2.4 ความสามารถในการละลายและการใช้งานของเซลลูโลสแอซีเทตที่ลำดับชั้น ของการแทนที่ต่างกัน	27
ตารางที่ 2.5 ปริมาณแทนนินจากเปลือกไม้ป่าชายเลนบางชนิดในท้องถิ่นต่าง ๆ ของประเทศไทยจากการสกัดที่สภาวะต่าง ๆ	28
ตารางที่ 4.1 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต	41
ตารางที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต ต่อขนาดและลักษณะ ของเส้นใย	43
ตารางที่ 4.3 ผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อขนาดของเส้นใย	47
ตารางที่ 4.4 ผลของศักย์ไฟฟ้าต่อขนาดของเส้นใย	49
ตารางที่ 4.5 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อขนาดของเส้นใย	51
ตารางที่ 4.6 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของแผ่นเส้นใยที่ตกลงบนแผ่นรองรับ	53
ตารางที่ 4.7 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต ในตัวทำละลายผสม	55
ตารางที่ 4.8 สมบัติของตัวทำละลาย	57
ตารางที่ 4.9 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อลักษณะ และขนาดของเส้นใย	57
ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณกรดแทนนิกในสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตต่อค่าความหนืด และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย	59
ตารางที่ 4.11 ผลของปริมาณกรดแทนนิกในสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตต่อขนาด ของเส้นใย	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.12 ปริมาณของกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใย เทียบกับปริมาณกรด แทนนิกที่ผสมในสารละลายก่อนการขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใย	64
ตารางที่ 4.13 ปริมาณของกรดแทนนิกสะสมที่ปลดปล่อยจากแผ่นเส้นใย ที่ช่วงเวลาต่างๆ ..	67



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การติดตั้งเครื่องอิเล็กทรอนิกส์โทรสปินนิ่ง	18
รูปที่ 2.2 ลักษณะของเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่น้ำหนักโมเลกุลต่างกัน เมื่อใช้ ความเข้มข้นของสารละลายร้อยละ 25 โดยมวล	19
รูปที่ 2.3 ลักษณะของเส้นใยเอทิลเซลลูโลสเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างกัน โดยใช้ศักย์ไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์ อัตราการไหล 0.005 มิลลิลิตรต่อนาที	20
รูปที่ 2.4 การเตรียมเซลลูโลสแอซีเทต	25
รูปที่ 3.1 เครื่องปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	35
รูปที่ 3.2 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) ปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่ ในแผ่นเส้นใย	37
รูปที่ 3.3 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) ของกรดแทนนิกในน้ำกลั่น	39
รูปที่ 3.4 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) ของกรดแทนนิกในน้ำกลั่น (ช่วงที่เป็นเส้นตรง)	39
รูปที่ 4.1 การไหลของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตที่ความเข้มข้นร้อยละ 7 ถึง ร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก	40
รูปที่ 4.2 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต	42
รูปที่ 4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต ต่อขนาดและลักษณะ ของเส้นใย	44
รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต ต่อสัณฐานวิทยา ของเส้นใย	44
รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตที่ความเข้มข้นร้อยละ 17 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้กำลังขยาย 3 เท่า (จากรูปที่ 4.4)	45
รูปที่ 4.6 กลไกการเกิดเส้นใยที่มีลักษณะแบน	46
รูปที่ 4.7 ผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อขนาดของเส้นใย	47
รูปที่ 4.8 ผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย	48
รูปที่ 4.9 ผลของศักย์ไฟฟ้าต่อขนาดของเส้นใย	49
รูปที่ 4.10 ผลของศักย์ไฟฟ้าต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย	50

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อขนาดของเส้นใย	51
รูปที่ 4.12 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อสัดส่วนวิทยาของเส้นใย	52
รูปที่ 4.13 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของแผ่นเส้นใยที่ตกลงบนแผ่นรองรับ	53
รูปที่ 4.14 ไดอะแกรมแสดงจุดเริ่มต้นของการสับคัตตัวของสายพอลิเมอร์	54
รูปที่ 4.15 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตใน ตัวทำละลายผสม	56
รูปที่ 4.16 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อขนาดของเส้นใย	58
รูปที่ 4.17 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อสัดส่วนวิทยาของเส้นใย	58
รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณกรดแทนนิกในสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตต่อค่าความหนืด และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย	60
รูปที่ 4.19 โครงสร้างของกรดแทนนิก	61
รูปที่ 4.20 ผลของปริมาณกรดแทนนิกในสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตต่อสัดส่วนวิทยา ของเส้นใย	62
รูปที่ 4.21 ผลของปริมาณกรดแทนนิก (ร้อยละ โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตต่อลักษณะของเส้นใย	63
รูปที่ 4.22 ปริมาณของกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใย เทียบกับปริมาณกรดแทนนิก ที่ผสมในสารละลายก่อนการขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใย	65
รูปที่ 4.23 สเปกตรามาจากเครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)	66
รูปที่ 4.24 ปริมาณกรดแทนนิกสะสมที่ปลดปล่อยออกมาจากแผ่นเส้นใยในน้ำกลั่น	68

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CA	เซลลูโลสแอซีเตต
DCNA	2,6-ไดคลอโร-4-ไนโตรอะนิลีน
DMAc	ไดเมทิลแอซีทาไมด์
DMF	ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์
HDPE	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง
MFI	ค่าดัชนีการไหล
MW	น้ำหนักโมเลกุล
PA-12	ไนลอน 12
PBS	ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ ซาลีน
PCL	พอลิคาร์โปลาแลคโตน
PE	พอลิเอทิลีน
PEN	พอลิเอทิลีนแนฟทาเลต
PEO	พอลิเอทิลีนออกไซด์
PET	พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต
PP	พอลิโพรพิลีน
PS	พอลิสไตรีน
PU	พอลิยูรีเทน
PVA	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์
PVC	พอลิไวนิลคลอไรด์
PVP	พอลิไวนิลไพโรลิโดน
THF	เตตระไฮโดรฟูแรน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อร่างกายมนุษย์ได้รับบาดเจ็บ ร่างกายจะมีกลไกในการทำให้เลือดหยุดไหลได้เองโดยธรรมชาติ อย่างไรก็ตามหากบาดแผลมีขนาดใหญ่หรือลึก เลือดไม่สามารถหยุดไหลเองได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องห้ามเลือดเพื่อป้องกันไม่ให้ร่างกายเสียเลือดมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อชีวิต การห้ามเลือดที่คนส่วนใหญ่รู้จัก ได้แก่ การกดแผล การกดเส้นเลือดแดงเหนือแผลและการใช้สายรัด (Tourniquet) [1] ส่วนการห้ามเลือดในทางการแพทย์ นอกจากการกดแผลและการใช้สายรัดแล้ว ยังมี การเย็บแผลและการใช้ผงหรือแผ่นปิดห้ามเลือดด้วย [2-4] ซึ่งผงหรือแผ่นปิดห้ามเลือดมีสารที่เร่งกระบวนการแข็งตัวของเลือด เหมาะกับบริเวณที่ไม่สามารถใช้สายรัดห้ามเลือดได้ หรือ กรณีที่การกดลงบนแผลใช้ไม่ได้ผล ผงห้ามเลือดในทางการค้า เช่น ผงห้ามเลือดแร่ซีโอไลต์ (zeolite) ยี่ห้อ QuikClot® [5] มีข้อเสีย คือ เมื่อผงสัมผัสกับแผลจะเกิดความร้อน ผงอาจปลิวเข้าตาและเกิดอันตรายต่อดวงตาได้ ต่อมามีการพัฒนาจากผงห้ามเลือดเป็นแผ่นปิดห้ามเลือด ซึ่งในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบทั้งในรูปแบบผ้าก๊อช แผ่นฟิล์ม แผ่นโฟม และผ้าไมทอ [3, 6] นอกจากนี้แผ่นปิดห้ามเลือดยังมีความหลากหลายในด้านชนิดของสารที่ใช้ในการห้ามเลือดด้วย เช่น แผ่นปิดห้ามเลือดที่มีสารตั้งต้นเป็นไคโตซาน เช่น HemCon® ChitoFlex® และ Celox™ ให้ผลการห้ามเลือดที่ดี แต่ไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกหอย กุ้ง ปูนั้นอาจก่อให้เกิดอาการแพ้อย่างรุนแรงในผู้บาดเจ็บที่แพ้อาหารทะเลได้ [7]

สำหรับในประเทศไทยนั้น บรรพบุรุษรู้จักการใช้สมุนไพรชนิดต่าง ๆ ในการห้ามเลือดมาตั้งแต่อดีต เช่น ใบฝรั่ง ใบชา ใบสาบเสือ และยางกล้วย [8-10] ซึ่งจากการศึกษาต่อมาพบว่าสมุนไพรเหล่านี้มีสารทำให้เลือดแข็งตัว เลือดจึงหยุดไหลได้ เช่น แคลเซียมในใบสาบเสือ แทนนินในใบชา ใบฝรั่งและยางกล้วย

แทนนิน (tannin) เป็นสารประกอบพอลิฟีนอล มีโมเลกุลใหญ่และโครงสร้างซับซ้อน เป็นกรดอ่อน และมีฤทธิ์เป็นยาฝาดสมานและตกตะกอนโปรตีนได้ อย่างไรก็ตามการใช้สมุนไพรในการห้ามเลือดก็มีข้อจำกัดในด้านความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ที่อาจแตกต่างกันตามชนิดของสมุนไพรและสภาพแวดล้อมในแต่ละท้องถิ่นได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิจัยการสกัดสารออกฤทธิ์จากสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ในรูปผงและของเหลว เช่น กรดแทนนิก (tannic acid) ซึ่งเป็นรูปของแทนนินในทางการค้า แต่การนำสารเหล่านี้ไปห้ามเลือดก็ยังคงพบความไม่สะดวกในการใช้งาน [11]

กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (electrospinning) เป็นเทคนิคผลิตเส้นใยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนาโนเมตรจนถึงไมโครเมตร ทำให้แผ่นเส้นใยที่ผลิตได้มีความเป็นรูพรุนสูง และมีค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อมวลสูง จึงเป็นเทคนิคที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการแพทย์ เช่น ผ้าปิดแผล วิศวกรรมเนื้อเยื่อ ระบบนำส่งยา และแผ่นปิดห้ามเลือด สำหรับแผ่นปิดห้ามเลือดด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตนั้น มีการศึกษาวิจัยมากมาย ดังตัวอย่างเช่น Bowlin [12] นำเดกซ์เทรน (dextran) ไฟบริโนเจน (fibrinogen) และทรอมบิน (thrombin) ผสมกันและฉีดเป็นแผ่นผ้าไม่ทอ Spasova [13] นำโคโตนานเคลือบบนแผ่นเส้นใยที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต ของพอลิแลกไทด์ (polylactide) และ พอลิแลกไทด์ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล (poly(L-lactide)/poly(ethylene glycol)) หรือ Pitt [14] นำกรดแกลลิก (gallic acid) ผสมในสารละลายพอลิแลคติกแอซิด (poly(L-lactic acid)) แล้วฉีดออกมาเป็นแผ่นเส้นใยด้วยการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาวิจัยใดที่นำกรดแทนนิกมาผสมในสารละลายพอลิเมอร์แล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใย

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการผลิตแผ่นเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย เทคนิคไม่ซับซ้อน โดยการนำเซลลูโลสแอซิเตต (cellulose acetate, CA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่เป็นพิษและเข้ากับร่างกายได้ [15-16] ผสมกับกรดแทนนิกเพื่อศึกษาพื้นฐานวิทยาของเส้นใย สมบัติของแผ่นเส้นใย ซึ่งสามารถพัฒนาไปใช้เป็นแผ่นห้ามเลือดได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเส้นใยเซลลูโลสแอซิเตต ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต

1.2.2 เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเส้นใยเซลลูโลสแอซิเตตผสมกรดแทนนิกด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติและความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปแผ่นเส้นใยจากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ของเซลลูโลสแอซิเตตผสมกรดแทนนิก โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

1.3.1 ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการขึ้นรูปและลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทต โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่

1. ความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสเอเชียเทต
2. อัตราการไหลของสารละลายในการขึ้นรูป
3. ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้
4. ระยะทางระหว่างหัวเข็มถึงวัสดุรองรับเส้นใย
5. สัดส่วนของตัวทำละลาย

1.3.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเส้นใยจากเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิก ทดสอบตัวแปร ดังนี้

1. ศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดแทนนิกต่อความเข้มข้นของเซลลูโลสเอเชียเทตที่มีต่อการขึ้นรูปและลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทต
2. ตรวจสอบสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใย
3. ทดสอบปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใยหลังการขึ้นรูป
4. ตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นเส้นใย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีความรู้ ความเข้าใจในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

1.4.2 ได้ภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทต และเซลลูโลสเอเชียเทต ผสมกรดแทนนิก

บทที่ 2

วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรือ อิเล็กโตรสปินนิง

การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นเทคนิคที่ง่ายและสะดวกในการผลิตเส้นใยระดับนาโนเมตร ซึ่งมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในงานหลายด้าน เช่น งานทางด้านอณามัยและการแพทย์ ด้านการกรอง และใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในคอมโพสิต โดยมีหลักการในการนำพอลิเมอร์ในสถานะของเหลวที่มีความหนืดเหมาะสมในการดึงยืดเป็นเส้นใยได้ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นมานานกว่า 370 ปี โดย William Gilbert ได้ทำการศึกษาการดึงยืดหยดน้ำโดยให้ประจุไฟฟ้า และในปี 1960 Taylor ได้ทำการศึกษาสภาพของหยดน้ำในสนามไฟฟ้า ซึ่งเกิดการเสีรูปร่างเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า [17]

2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กโตรสปินนิง

ในช่วงปี 1990 มีนักวิจัยหลายกลุ่มมีความสนใจในการทดลองผลิตผืนผ้าไม่ทอ (nonwoven) จากพอลิเมอร์หลายชนิดด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง ในปี 1934 Formhals [18-19] ประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กโตรสแตติก (electrostatic) โดยการต่อขั้วไฟฟ้าบวกเข้ากับอุปกรณ์รองรับเส้นใย และต่อขั้วไฟฟาลบให้กับสารละลาย และเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ระบบ ทำให้สารละลายถูกดึงยืดเป็นเส้นใยและตกลงบนวัสดุรองรับเส้นใย

ในปี 1939 Gladding [20] ได้พัฒนาอุปกรณ์สำหรับกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงให้มีความเหมาะสมและเสถียรมากขึ้น และยังพัฒนาอุปกรณ์รองรับเส้นใยโดยใช้สายพานที่มีการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง

โดยปกติกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงนั้นมีข้อด้อยคือให้ผลผลิตต่ำ ในปี 1977 Martin, Cock and Fildes [21] ได้ทำการพัฒนากระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงให้มผลผลิตที่สูงขึ้น และมีความสามารถในการผลิตได้หลากหลายมากขึ้น ด้วยการประดิษฐ์หัวฉีดเส้นใยแบบหลายหัว ซึ่งนอกจากจะทำให้มีผลผลิตที่สูงขึ้นแล้ว ในปี 1978 Martin, Cockshott and Mcaloon [22] ยังสามารถที่จะผลิตแผ่นเส้นใยที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์มากขึ้นด้วย ซึ่งทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบ และสมบัติที่แตกต่างกัน

ต่อมากระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงก็ได้รับความสนใจอีกครั้งโดยคณะนักวิจัยกลุ่มหนึ่ง นำโดย Reneker หลังจากนั้นประมาณ 15 ปี ซึ่งในปี 1995 Doshi and Reneker [23] ได้ทำการศึกษา

ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะของเส้นใยพอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) จากนั้นได้มีการศึกษากระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิตอีกมากโดยมีการทดลองใช้พอลิเมอร์หลายชนิด

2.1.2 ทฤษฎีและกระบวนการผลิต

กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรือ อิเล็กโตรสปินนิง เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการผลิตเส้นใยในระดับนาโนเมตร โดยใช้แรงจากสนามไฟฟ้าในการดึงยึดพอลิเมอร์ในสถานะของเหลวให้เป็นเส้นใย โดยทั่วไปคำจำกัดความของเส้นใยนาโน (nanofiber) หมายถึงเส้นใยที่มีขนาดเล็กในระดับ 0.4 นาโนเมตร จนถึงขนาด 5,000 นาโนเมตร หรือ 5 ไมโครเมตร แต่ในทางสิ่งทอ จะให้คำจำกัดความของเส้นใยนาโนมีขนาดอยู่ในช่วง 100 นาโนเมตร ถึง 500 นาโนเมตร [24-25]

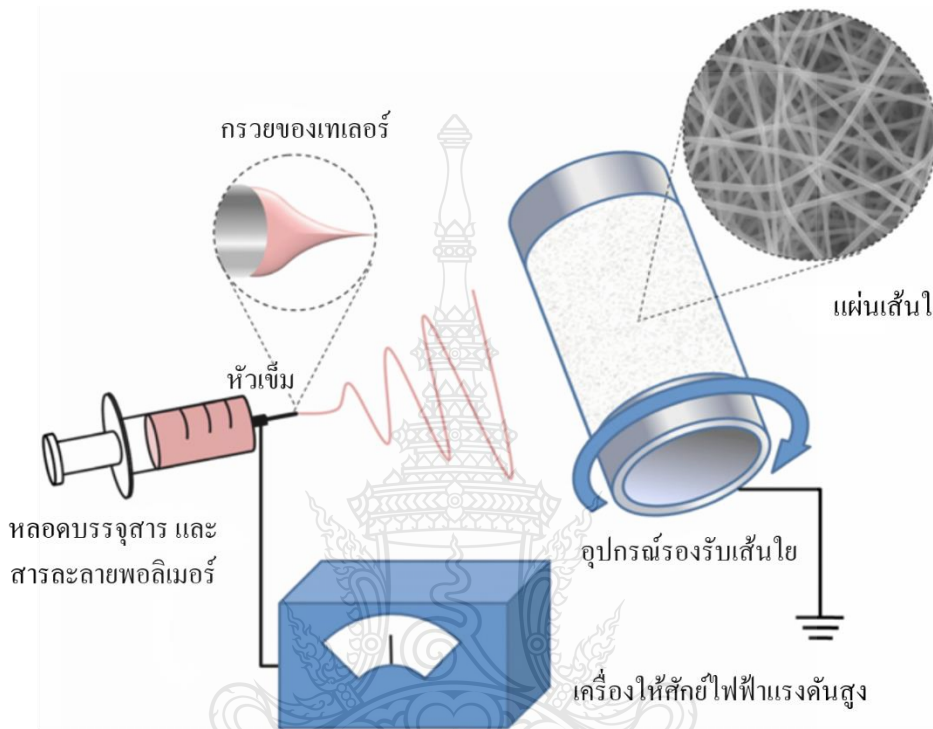
อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรือ อิเล็กโตรสปินนิง จะแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ เครื่องให้ศักย์ไฟฟ้าสูง (high voltage power supply) อุปกรณ์ใส่พอลิเมอร์เหลว (capillary connected to syringe) และวัสดุรองรับเส้นใย (collector) (รูปที่ 2.1)

ในงานวิจัยส่วนมากนิยมใช้หลอดฉีดยาประกอบกับหัวเข็มฉีดยา เป็นอุปกรณ์ในการบรรจุสารพอลิเมอร์เหลว เนื่องจากสามารถที่จะติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมการไหลของสาร (syringe pump) ได้ง่าย ในบางกรณีมีการนำหัวแตงหน้าเด็กโลหะมาประกอบใช้แทนหัวเข็ม และให้พอลิเมอร์เหลวไหลผ่านรูหัวแตงหน้าเด็กโลหะตามแรงโน้มถ่วงของโลก [26] ซึ่งในกรณีนี้จะไม่มีเครื่องควบคุมการไหลของสารในการควบคุมอัตราการไหล

อุปกรณ์รองรับเส้นใยจะเป็นโลหะ ซึ่งอาจใช้ในรูปแบบของแผ่นโลหะ ลูกกลิ้งโลหะ ทรงกระบอก ล้อโลหะ หรือสายพานโลหะ เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของแผ่นเส้นใยที่ต้องการ เส้นใยจะตกลงบนวัสดุรองรับเส้นใยและซ้อนทับกันจนเป็นแผ่นเส้นใย

ศักย์ไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต ซึ่งค่าของศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของพอลิเมอร์ และภาวะในการปั่นเส้นใย ศักย์ไฟฟ้าสูงส่งผลต่อค่าประจุไฟฟ้าของสารละลาย เมื่อยังไม่ให้ศักย์ไฟฟ้าสูงแก่ระบบ สารละลายจำนวนหนึ่งจะรวมตัวเป็นหยดครึ่งทรงกลมที่ปลายเข็มโลหะซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิวของสารละลาย (surface tension) เมื่อเริ่มให้ศักย์ไฟฟ้าสูงแก่ระบบจะเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างหัวเข็ม และวัสดุรองรับเส้นใย และจะเกิดการสะสมประจุที่ผิวของสารละลาย และเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) ผลักไปในทิศตรงข้ามกับแรงตึงผิวของสารละลาย เมื่อค่าสนามไฟฟ้ามีค่ามากกว่าแรงตึงผิวของสารละลาย หยดของสารละลายจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างจากครึ่งทรงกลมกลายเป็นทรงกรวย ซึ่งเรียกว่า “กรวยของเทลเลอร์” (Taylor's cone) และเมื่อค่าของสนามไฟฟ้ามีค่าถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่งจะเกิดแรงผลักให้สารละลายพุ่งออกมาเป็นลำ

(solution jet) และลำพอลิเมอร์นี้จะถูกดึงให้ยืดตัวออกในขณะเดียวกันจะทำให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยลดลง และเกิดการระเหยตัวออกของตัวทำละลาย หรือเกิดการแข็งตัวเป็นเส้นใย และตกลงบนวัสดุรองรับเส้นใยทับซ้อนกันจนเกิดเป็นแผ่นเส้นใยซึ่งเป็นลักษณะของผ้าไหมทอ



รูปที่ 2.1 การติดตั้งเครื่องอิเล็กโตรสปินนิง [27]

2.1.3 ตัวแปร

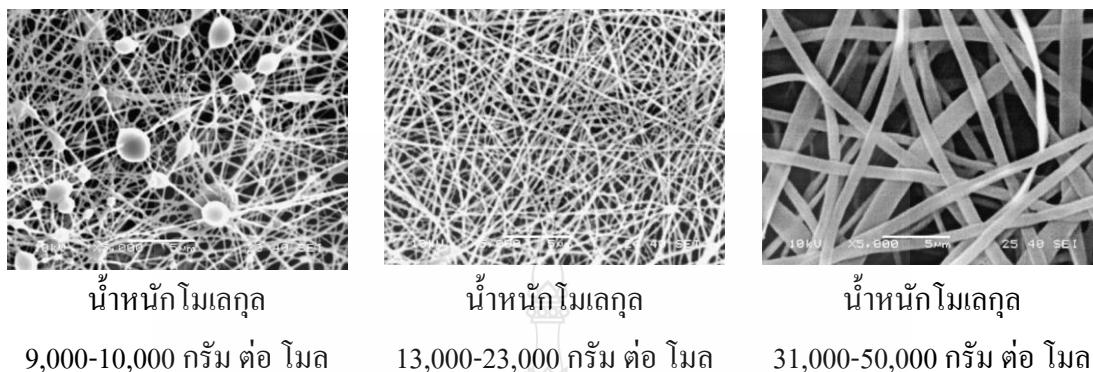
กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตประกอบด้วยตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อลักษณะของเส้นใย แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ ตัวแปรด้านพอลิเมอร์ ตัวแปรด้านภาวะในการผลิตเส้นใย และตัวแปรด้านสภาวะแวดล้อม [24, 25, 28]

1. ตัวแปรด้านพอลิเมอร์

น้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นของพอลิเมอร์

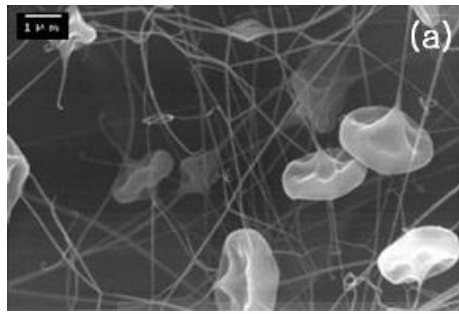
น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นค่าที่แสดงถึงความยาวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์นั้น ถ้าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะแสดงถึงความยาวของสายโซ่โมเลกุลที่ยาวกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และส่งผลถึงค่าความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์นั้นด้วย สารละลายพอลิ

เมอร์ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน หากมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าแสดงถึงมีลักษณะของสายโซ่โมเลกุลที่ยาวกว่า และสารละลายจะมีค่าความหนืดสูงกว่า ส่งผลให้เส้นใยที่ได้มีขนาดใหญ่กว่าด้วย ดังรูปที่ 2.2

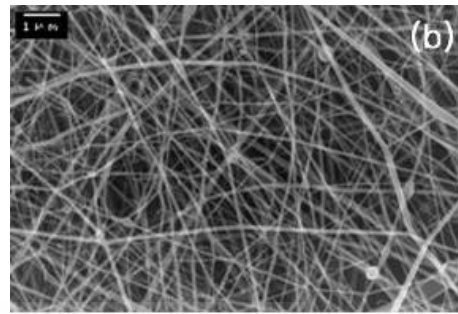


รูปที่ 2.2 ลักษณะของเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่น้ำหนักโมเลกุลต่างกัน เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายร้อยละ 25 โดยมวล [29]

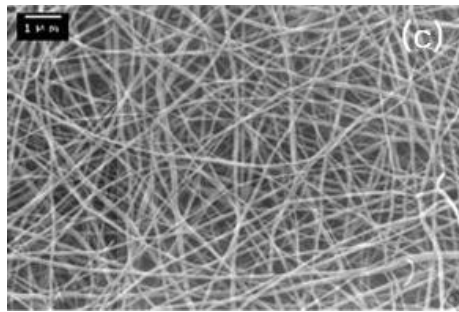
ส่วนกรณีความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์นั้นจะแสดงถึงปริมาณของพอลิเมอร์ในตัวทำละลาย ส่งผลให้เกิดโอกาสในการพันกันของสายโซ่โมเลกุลในสารละลาย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งต่อลักษณะของเส้นใย กล่าวคือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สูงจะทำให้เกิดโอกาสการพันกันของสายโซ่โมเลกุลมาก ส่งผลให้สารละลายพอลิเมอร์ถูกดึงยืดเกิดเป็นเส้นใยต่อเนื่องกันได้ดี ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ต่ำจะทำให้เกิดโอกาสการพันกันของสายโซ่โมเลกุลน้อยลง ส่งผลให้ในขณะที่สารละลายพอลิเมอร์ถูกดึงยืดเป็นเส้นใยเกิดความต่อเนื่องได้น้อย และจะทำให้พบลักษณะหยดของพอลิเมอร์แทนการเกิดเส้นใย [23] และความหนืดของสารละลายเป็นผลมาจากค่าความเข้มข้นของสารละลายด้วย เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากจะทำให้มีความหนืดมาก และส่งผลให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.3



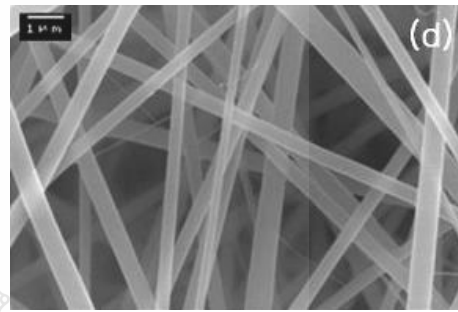
ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก



ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก



ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก



ความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก

รูปที่ 2.3 ลักษณะของเส้นใยเอทิลเซลลูโลสเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างกัน โดยใช้ศักย์ไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์ อัตราการไหล 0.005 มิลลิเมตรต่อนาที [30]

แรงตึงผิว

แรงตึงผิว คือ แรงที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของของไหลที่สัมผัสกับของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล 2 ชนิด คือ แรงยึดติด (cohesive force) คือ แรงที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสาร เช่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำ เป็นต้น แรงนี้สามารถที่จะรับความเค้นดึง (tensile stress) ได้เล็กน้อย และแรงอีกชนิดคือ แรงเชื่อมแน่น (adhesive force) คือ แรงที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสารต่างชนิดกัน เช่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับผนังแก้ว เป็นต้น ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรือ อิเล็กโตรสปินนิง สารละลายพอลิเมอร์จะรวมตัวเป็นรูปครึ่งทรงกลมที่ปลายของหัวเข็มซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากแรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์นั้น และเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ระบบจะเกิดการสะสมของประจุไฟฟ้าที่ผิวของสารละลาย และเมื่อค่าสนามไฟฟ้ามีมากกว่าแรงตึงผิวของสารละลายจะทำให้เกิดแรงผลักในทิศตรงข้ามกับแรงตึงผิว หยกครึ่งทรงกลมของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นรูปทรงกรวย และเมื่อค่าของสนามไฟฟ้ามีค่ามากจนถึงค่าวิกฤตจะทำให้สารละลายพอลิเมอร์นั้นถูกดึงยืดออกเป็นเส้นใย ซึ่งหากแรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์มีค่ามากอาจส่งผลให้เกิดหยดของสารละลาย (bead) ได้ ซึ่งการ

แก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยการเปลี่ยนตัวทำละลายอื่นแทนซึ่งมีผลทำให้สารละลายมีแรงดึงผิวต่ำลง [31] หรือ ผสมสารลดแรงดึงผิวในสารละลาย [32] Fong, Chun, and Reneker [33] ได้ทำการทดลองการฉีดเส้นใย PEO โดยใช้ น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนความเข้มข้นของเอทานอลในตัวทำละลายผสมจาก 97:0 เป็น 57:40 ส่งผลให้ค่าแรงดึงผิวของสารละลายลดลงจาก 75.8 mN/m เป็น 50.5 mN/m

สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลาย (solution conductivity)

กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรือ อิเล็กโตรสปินนิ่ง มีความเกี่ยวข้องกับการยึดตัวของสารละลายพอลิเมอร์ซึ่งเกิดจากแรงทางไฟฟ้าต่อประจุไฟฟ้าที่ผิวของสารละลาย เมื่อสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีประจุที่ผิวของสารละลายมากขึ้น การเพิ่มสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลาย สามารถทำได้โดยการเติมไอออนลงในสารละลาย เช่น การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นต้น การเกิดหยดพอลิเมอร์ (bead) นั้นเกิดได้จากการที่สารละลายพอลิเมอร์ไม่มีการยึดตัวออก ดังนั้นการเติมเกลือปริมาณเล็กน้อยในสารละลายจะส่งผลให้มีประจุที่ผิวของสารละลายเพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อการยึดตัวของสารละลายพอลิเมอร์ได้มากขึ้น เส้นใยมีความเรียบมากขึ้น และสามารถลดการเกิดหยดพอลิเมอร์ในกระบวนการปั่นเส้นใย Zong et al. [34] ได้ศึกษาผลของการเติมเกลือต่อลักษณะและสัญญาณวิทยาของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด พบว่าผลของการเติมเกลือในสารละลายส่งผลให้ได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กลง และไม่หยดเกิดขึ้น

ค่าไดอิเล็กทริกของตัวทำละลาย (dielectric effect of solvent)

ค่าไดอิเล็กทริกของตัวทำละลาย เป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ตัวทำละลายที่มีค่าไดอิเล็กทริกสูงจะลดการเกิดหยด และได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลให้กระบวนการปั่นเส้นใยดีขึ้น แต่ทั้งนี้ผลกระทบอีกประการคือความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์และตัวทำละลาย อาจส่งผลต่อกระบวนการปั่นเส้นใย

2. ตัวแปรด้านภาวะในการผลิตเส้นใย

ศักย์ไฟฟ้าที่ให้

ศักย์ไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญต่อกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ซึ่งส่งผลต่อการยึดตัวของลำพอลิเมอร์เป็นเส้นใย การกระเหยตัวของตัวทำละลาย และระยะเวลาในการเดินทางจากหัวฉีดไปตกลงบนวัสดุรองรับเส้นใย (flight time) เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าสูงจะส่งผลให้เกิดแรงในการยึดเส้นใยมาก ตัวทำละลายเกิดการกระเหยตัวเร็วขึ้น และจะเกิดความเร่งมากขึ้นในการเดินทางของเส้นใยไปสู่วัสดุรองรับ ส่งผลให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง แต่มีโอกาในการเกิดหยดพอลิเมอร์มากขึ้น Medeiros et al. [35] ทดลองฉีดเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้าต่อลักษณะ

และสัญญาณวิทยาของเส้นใยโดยใช้ศักย์ไฟฟ้าที่ 12 15 18 21 และ 25 กิโลโวลต์ ควบคุมอัตราการไหลที่ 2 ไมโครลิตร ต่อ นาที ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงวัสดุรองรับ 11.5 เซนติเมตร ได้เส้นใยที่มีขนาด 80 นาโนเมตร และมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีหยดพอลิเมอร์เกิดขึ้นในช่วงศักย์ไฟฟ้าที่ 20 และ 25 กิโลโวลต์

อัตราการไหล

อัตราการไหล คือปริมาณของสารละลายที่ไหลผ่านออกจากกรูเข็ม เมื่อใช้ศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับอัตราการไหลจะทำให้เกิดกรวยของเทเลอร์ที่มีความเสถียร เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณของสารละลายไหลผ่านรูเข็มมากขึ้น เป็นผลทำให้เกิดหยดหรือเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และจะส่งผลต่อเวลาในการระเหยของตัวทำละลายออกจากเส้นใยซึ่งต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น หากระยะทางที่เส้นใยเดินทางไปยังวัสดุรองรับน้อยเกินไป จะทำให้มีเวลาไม่เพียงพอต่อการระเหยตัวของตัวทำละลายออกจากเส้นใยจะทำให้เส้นใยที่ตกลงบนวัสดุรองรับเปียก และติดกันเป็นแพ Zargham et al. [36] ทดลองการปั่นเส้นใยในลอน 6 ในตัวทำละลายกรดฟอร์มิก พบว่าเมื่อให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น มีผลต่อขนาดของเส้นใย ลักษณะของหยด และรูปร่างของสารละลายที่ปลายเข็ม

อุณหภูมิของสารละลาย

อุณหภูมิของสารละลายจะส่งผลกระทบต่ออัตราการระเหยของตัวทำละลาย และความหนืดของสารละลาย กล่าวคือ เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิสูงจะทำให้อัตราการระเหยของตัวทำละลายมากขึ้น และสารละลายมีค่าความหนืดลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะและสัญญาณวิทยาของเส้นใย He [37] ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารละลาย ซึ่งมีผลต่อสมบัติของเส้นใยนาโน ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต Vrieze et al. [38] ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารละลายต่อลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสแอซีเตต (CA) ในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและไดเมทิลเอซิทาไมด์ (DMAc) และพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ในเอทานอล พบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้น ทำให้อัตราการระเหยของตัวทำละลายสูงขึ้น และค่าความหนืดของสารละลายมีค่าต่ำลง

ผลของวัสดุรองรับ

กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นกระบวนการที่มีสนามไฟฟ้าอยู่ระหว่างหัวฉีดเส้นใยและวัสดุรองรับเส้นใย ดังนั้นควรเลือกใช้วัสดุรองรับที่เป็นโลหะ เช่น แผ่นอลูมิเนียมหรืออุปกรณ์ที่เป็นโลหะในรูปแบบต่าง ๆ ลูกกลิ้งทรงกระบอก วงล้อโลหะ หรือ สายพานโลหะ เป็นต้น เนื่องจากความสามารถในการนำไฟฟ้าของวัสดุรองรับจะส่งผลกระทบต่อความหนาแน่น และการอัดตัวของเส้นใย

ขนาดของหัวเข็ม

ขนาดของหัวเข็ม หรือ รูของหัวฉีด มีผลต่อกระบวนการฉีดเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เนื่องจากเป็นช่องผ่านของสารละลายพอลิเมอร์ มีความสัมพันธ์กับขนาดของเส้นใยเนื่องจากปริมาตรของสารละลายที่ไหลผ่าน ขนาดหัวเข็มที่เล็กจะช่วยลดการอุดตันของสารละลายพอลิเมอร์ในระหว่างกระบวนการฉีดเส้นใย เนื่องจากการลดพื้นที่หน้าตัดในการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก แต่รูเข็มที่มีขนาดเล็กมากสารละลายอาจไม่สามารถไหลผ่านได้

ระยะทางระหว่างหัวเข็มและวัสดุรองรับ

ระยะทางระหว่างหัวเข็มถึงวัสดุรองรับเส้นใย มีผลโดยตรงต่อระยะเวลาในขณะที่ลำพอลิเมอร์เคลื่อนที่ออกจากรูหัวฉีดไปตกลงบนวัสดุรองรับ (flight time) ในช่วงเวลาดังกล่าวตัวทำละลายจะระเหยออกจากลำพอลิเมอร์ และเกิดเป็นเส้นใย หากระยะเวลาดังกล่าวไม่เพียงพอต่อการระเหยของตัวทำละลายจะส่งผลให้เส้นใยเปียกและติดกันเป็นแพบนวัสดุรองรับ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อความเข้มของสนามไฟฟ้าระหว่างหัวเข็มถึงวัสดุรองรับ ซึ่งส่งผลให้เกิดความเร่งต่อลำพอลิเมอร์ในการตกลงบนวัสดุรองรับ ทำให้สารละลายมีเวลาให้ตัวทำละลายระเหยออกได้น้อยลง

3. ตัวแปรด้านสภาวะแวดล้อม

ความชื้น

ความชื้นของกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตมีอิทธิพลต่อสารละลาย ความชื้นที่สูงมีผลกระทบต่ออัตราการระเหยของตัวทำละลาย และทำให้เกิดการควบแน่นของหยดน้ำบริเวณผิวของเส้นใย ซึ่งส่งผลต่อสัญญาณวิทยุของเส้นใย ในขณะที่ความชื้นต่ำจะส่งผลต่ออัตราการระเหยของตัวทำละลาย หากการระเหยของตัวทำละลายเร็วเกินไปจะทำให้เกิดการอุดตันของสารละลายบริเวณหัวเข็ม Vrieze et al. [38] ทำการศึกษาอิทธิพลของความชื้นต่อลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทต (CA) ในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและไดเมทิลเอซิทาไมด์ (DMAc) และพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ในตัวทำละลายเอทานอล พบว่าเมื่อมีความชื้นสูง เส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่ เส้นใยพอลิไวนิลไพโรลิโดนมีขนาดลดลง

ชนิดของบรรยากาศ

องค์ประกอบของอากาศมีผลต่อกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ก๊าซต่างชนิดกันจะมีพฤติกรรมที่ต่างกันไปเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้ากำลังสูง

ความดัน

ความดันบรรยากาศส่งผลต่อความเสถียรของลำพอลิเมอร์ที่พุ่งออกมา เมื่อความดันบรรยากาศลดลงจะเกิดความไม่เสถียรต่อลำพอลิเมอร์

2.1.4 พอลิเมอร์สำหรับอิเล็กทรอนิกส์

ในปัจจุบันนี้ มีการใช้พอลิเมอร์ที่แตกต่างกันมากกว่า 20 ชนิด สำหรับการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ซึ่งข้อดีข้อหนึ่งของกระบวนการนี้ คือ สามารถใช้กับพอลิเมอร์ในลักษณะที่เป็นสารละลายและสารหลอมเหลวได้ ดังตารางที่ 2.1-2.2

ตารางที่ 2.1 ชนิดของพอลิเมอร์และตัวทำละลายที่ใช้สำหรับผลิตเส้นใยขนาดนาโนเมตรโดยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต [39]

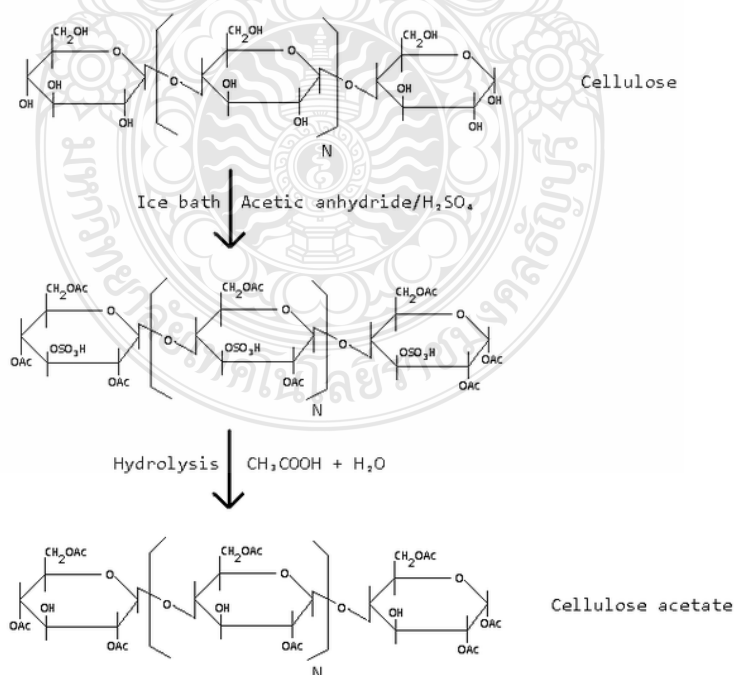
พอลิเมอร์	ตัวทำละลาย
เซลลูโลสแอซีเตต	อะซิโตน
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)	น้ำ
ไนลอน 6	กรดฟอร์มิก
พอลิยูรีเทน (PU)	ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF), เตตระไฮโดรฟูแรน (THF)
พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF), เตตระไฮโดรฟูแรน (THF)
พอลิคาร์โปแลคโตน (PCL)	อะซิโตน
พอลิสไตรีน (PS)	เตตระไฮโดรฟูแรน (THF)
สไตรีนบิวตะไดอินสไตรีน (SBS)	75% THF 25% DMF
กรดอะคริลิก	ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF)
พอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO)	น้ำ
ไหม	กรดฟอร์มิก

ตารางที่ 2.2 พอลิเมอร์ที่ใช้สำหรับผลิตเส้นใยโดยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต ในรูป
หลอมเหลว [39]

พอลิเมอร์	รายละเอียด	อุณหภูมิที่ใช้ (°C)
พอลิเอทิลีน (PE)	HDPE, MW = 1.35×10^5	200-220
พอลิโพรพิลีน (PP)	Isotactic-PP, MFI = 0.5	220-240
ไนลอน 12 (PA-12)	MW = 3.5×10^4	220
พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (PET)	MW = 4.6×10^4	270
พอลิเอทิลีนแนฟทาเลต (PEN)	MW = 4.8×10^4	290
ของผสมของ PET-PEN	75/25, 25/75 (% wt)	290

2.2 เซลลูโลสแอซีเทต

เซลลูโลสแอซีเทตเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสชนิดหนึ่ง ถูกเตรียมขึ้นครั้งแรกในปี 1865 โดย Paul Schützenberger การเตรียมเซลลูโลสแอซีเทตเริ่มต้นจากการนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับแอนไฮไดรด์ของกรดอะซิติก (acetic anhydride) และใช้กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเตรียมเซลลูโลสแอซีเทต [40]

2.2.1 สมบัติของเซลลูโลสแอซีเทต

ลักษณะของเซลลูโลสแอซีเทต คือ มีสีขาว เป็นอสัณฐาน (amorphous) ไม่มีพิษ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสและไวไฟน้อยกว่าไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) ทนต่อการครูด่อนและเสถียรต่อน้ำมัน นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพบางอย่างของเซลลูโลสแอซีเทตแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลสแอซีเทต [41]

สมบัติ	หน่วย	ไตรแอซีเทต	แอซีเทต
ความหนาแน่น	g/cm ³	1.27-1.29	1.28-1.32
ความเสถียรทางความร้อน	°C	>240	~ 230
ความทนแรงดึงของเส้นใย	kg/mm ²	14-25	16-18
ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก			
50-60 Hz		3.0-4.5	4.5-6.5
10 ⁶ Hz		n/a	4.0-5.5
ความต้านทานจำเพาะ	Ω.cm	10 ¹³ -10 ¹⁵	10 ¹¹ -10 ¹³
ความร้อนจำเพาะ	J g ⁻¹ K ⁻¹	n/a	1.46-1.88
การนำความร้อน	J m ⁻¹ h ⁻¹ K ⁻¹	n/a	0.63-1.25

ในเชิงพาณิชย์ เซลลูโลสแอซีเทตอยู่ในลักษณะของผง (powder) และเกล็ด (flake) ซึ่งสามารถใช้งานได้หลากหลาย เช่น เส้นใย พลาสติก สารเคลือบผิว และฟิล์ม ซึ่งสมบัติของเซลลูโลสแอซีเทตที่เหมาะสมกับการใช้งานด้านต่าง ๆ ขึ้นกับความหนืดของสารละลายและลำดับขั้นของการแทนที่ (degree of substitution) โดยความหนืดแสดงถึงระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization) ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ ส่วนลำดับขั้นของการแทนที่แสดงถึงความสามารถในการละลาย (solubility) และความเข้ากันได้ (compatibility) กับเรซิน (resin) สารเคลือบเงา (varnish) สารช่วยนุ่ม (softeners) และสารอื่น ๆ นอกจากนี้ลำดับขั้นของการแทนที่ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ด้วย [41 - 42] ความสามารถในการละลายและการใช้งานของเซลลูโลสแอซีเทตแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความสามารถในการละลายและการใช้งานของเซลลูโลสแอซิเตดที่ลำดับชั้นของการแทนที่ต่างกัน [42]

ร้อยละของหมู่แอซิทิล	ลำดับชั้นของการแทนที่	ตัวทำละลาย	การใช้งาน
13.0-18.6	0.6-0.9	น้ำ	-
22.2-32.2	1.2-1.8	2-methoxy ethanol	พลาสติก
36.5-42.2	2.2-2.7	อะซิโตน	เส้นใย ฟิล์มถ่ายรูป
43.0-44.8	2.8-3.0	คลอโรฟอร์ม	ผ้า พอยด์ และเส้นใย

2.2.2 การใช้งาน

เซลลูโลสแอซิเตดมีสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวจึงทำให้เหมาะสมกับการใช้งานที่หลากหลาย เช่น ผ้า ฟิล์ม แผ่นกรอง [43]

ผ้า (fabric)

เซลลูโลสแอซิเตดสามารถนำไปผสมกับเส้นใยอื่น ๆ ได้ง่ายในการผลิตเป็นเส้นด้าย ผ้าจากเซลลูโลสแอซิเตดมีลักษณะเหมือนไหม มีผิวสัมผัสนุ่มและเย็นต่อผิวหนัง ดูซึมความชื้นและระบายอากาศได้ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ชับในในเสื้อสูทหรือเสื้อโค้ท ริบบิ้น

ฟิล์ม (films)

เนื่องจากสมบัติของเซลลูโลสแอซิเตดที่ใส สามารถให้น้ำผ่านได้ ทนต่อรอยขีดข่วน และง่ายต่อการตัดจึงทำให้เซลลูโลสแอซิเตดเป็นหนึ่งในทางเลือกที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์ม ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น เทปใส ฟิล์มห่อปกหนังสือ วัสดุห่อหุ้มอาหารร้อน และการใช้ฟิล์มเซลลูโลสแอซิเตดในการผลิตจอ LCD

ตัวกรองบุหรี่ (cigarette filters)

การใช้งานหลักสำหรับเซลลูโลสแอซิเตด คือ ใช้เป็นตัวกรองควันบุหรี่ หรือ กันกรองบุหรี่ ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติการกรองที่ดีและรสชาติเฉพาะตัว นอกจากนี้เซลลูโลสแอซิเตดยังสามารถย่อยสลายได้ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีการกรอง (separation technology)

เซลลูโลสแอซิเตดเป็นหนึ่งในวัสดุที่ใช้ในเทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน (membrane separation technology) และมีประโยชน์ต่อการใช้งานด้านการกรองที่หลากหลาย ลักษณะเฉพาะของเมมเบรนจากเซลลูโลสแอซิเตด คือ ทนต่อคลอรีนและสกรปรกยาก

สินค้าแม่พิมพ์ (molded goods)

การผสมเซลลูโลสแอซีเตต สารช่วยนุ่มและสารเติมแต่งเข้าด้วยกัน ทำเป็นเม็ดหรือแผ่น แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกได้หลากหลายชนิด เช่น แปรงสีพื้น กรอบแว่นตา แว่นตานิรภัย กระดุม ซึ่งการใช้เซลลูโลสแอซีเตตช่วยให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีลักษณะที่ดี เช่น ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษ ใส ไม่เป็นฝ้า เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม ทนน้ำมันและทนต่อสภาวะอากาศได้ดี

2.3 กรดแทนนิก

กรดแทนนิก (tannic acid) เป็นชื่อสามัญของแทนนิน (tannin) พบได้ในพืชชั้นสูง โดยเฉพาะพืชใบเลี้ยงคู่ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500-3000 ทั้งยังมีหมู่ฟีนอลิกไฮดรอกซิลอิสระอยู่จำนวนมากหนึ่ง สามารถเกิดการเชื่อมโยงกับสาร โปรตีนและสารพอลิเมอร์ธรรมชาติได้

2.3.1 แหล่งที่พบ

สารประกอบแทนนินพบมากในเนื้อไม้ เปลือกไม้ และเปลือกผล ซึ่งบทบาทของสารประกอบแทนนินในพืชนั้นยังไม่สามารถอธิบายให้เข้าใจได้อย่างแน่ชัด บางครั้งมีข้อเสนอว่า สารประกอบแทนนินน่าจะเป็นของเสียในพืช หรือ เป็นสารป้องกันอันตรายจากสัตว์กินพืช เนื่องจากสารกลุ่มนี้มีรสฝาดและขม หรือ เป็นสารป้องกันอันตรายจากเชื้อราและแบคทีเรียของพืช ปริมาณแทนนินจะผันแปรตามชนิดของพืช แม้พืชชนิดเดียวกัน แต่อยู่ต่างถิ่นหรือต่างอายุกัน หรือ แม้แต่ในต้นเดียวกันแต่ต่างส่วนกันก็มีปริมาณแทนนินที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณแทนนินจากเปลือกไม้ป่าชายเลนบางชนิดในท้องที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย จากการสกัดที่สภาวะต่าง ๆ [44]

ชนิดไม้	แหล่งที่มา	อัตราส่วนเปลือกต่อน้ำ	อุณหภูมิ (°C)	แทนนิน-ฟอร์มาลดีไฮด์*	แทนนิน**
โกงกางใบเล็ก	สตูล	1:12	60	27.45	17.41
	ระนอง			28.51	18.22
	พังงา			28.35	18.10
	นครศรีธรรมราช			28.83	18.46
	จันทบุรี			26.62	16.78

ตารางที่ 2.5 ปริมาณแทนนินจากเปลือกไม้ป่าชายเลนบางชนิดในท้องถิ่นต่าง ๆ ของประเทศไทย จาก การสกัดที่สภาวะต่าง ๆ (ต่อ) [44]

ชนิดไม้	แหล่งที่มา	อัตราส่วน เปลือกต่อน้ำ	อุณหภูมิ (°C)	แทนนิน-ฟอร์มาลดีไฮด์*	แทนนิน**
โกกงางใบใหญ่	สตูล	1:12	60	26.30	16.54
	ระนอง			27.55	17.49
	พังงา			27.45	17.41
	นครศรีธรรมราช			27.63	17.55
	จันทบุรี			25.35	15.82
ลำแพน	นครศรีธรรมราช	1:6	60	25.00	15.55
	สมุทรสาคร			20.62	12.22
ถั่วดำ	นครศรีธรรมราช	1:6	70	21.84	13.15
ตาคุ่มทะเล	นครศรีธรรมราช	1:6	70	16.48	9.07

*เปอร์เซ็นต์ตะกอนแทนนิน ฟอร์มาลดีไฮด์ เทียบน้ำหนักแห้งของเปลือก

**ปริมาณของแทนนิน คำนวณจากสูตรของ Humpreys

2.3.2 ประเภทของแทนนิน [45]

แทนนินแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แทนนินแท้ (true tannins) มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 1,000 ถึง 3,000 ซึ่งแบ่งได้อีก 2 กลุ่มย่อย ได้แก่

1) แทนนินชนิดละลายตัวได้ด้วยน้ำ (hydrolyzable tannins) มีลักษณะสีน้ำตาลอมเหลือง อาจเรียกรวมกันว่า แกลโลแทนนิน (gallotannins) แทนนินชนิดนี้ละลายได้ในน้ำร้อนได้ เป็นลักษณะคอลลอยด์ ทำปฏิกิริยากับเฟอร์ริกคลอไรด์ได้สีน้ำเงิน

2) แทนนินชนิดรวมตัวแน่น (condensed tannins) แทนนินชนิดนี้เป็นพอลิเมอร์ของสารประกอบฟีนอลิก สมบัติทั่วไปคล้ายกับแทนนินชนิดละลายตัวได้ด้วยน้ำ แต่จะละลายน้ำได้น้อยกว่า และเมื่อทำปฏิกิริยากับเฟอร์ริกคลอไรด์จะให้สีเขียว

2. แทนนินเทียม (pseudotannins) แทนนินชนิดนี้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1,000 เช่น กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid)

2.3.3 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแทนนิน [46]

1. เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน ส่วนมากไม่สามารถตกผลึกได้
2. สามารถรวมตัวได้ดีกับ โปรตีนและน้ำตาล เปลี่ยนหนังสือให้เป็นหนังสือหรือหนังสือสำเร็จ
3. มีรสฝาดเนื่องจากไกลโคโปรตีน ที่อยู่ในน้ำลายตกตะกอนกับแทนนินทำให้การหล่อลื่นลดลง
4. ละลายในน้ำ แอลกอฮอล์ แอซีโตน แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม
5. มีสมบัติเป็นยาฝาดสมาน (astringent) เนื่องจากสามารถรวมตัวกับโปรตีนและเกิดเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างแบบร่างแหที่คงตัวมาก
6. เมื่อทำปฏิกิริยากับเกลือของเหล็กจะได้สีน้ำเงินหรือสีเขียว
7. สามารถตกตะกอนได้กับเกลือของโลหะหลายชนิด
8. สามารถทำให้สารแอลคาลอยด์ (alkaloids) ตกตะกอนได้และสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นด่างก็สามารถตกตะกอนได้เช่นเดียวกัน
9. แทนนินจะดูดซับออกซิเจนและเปลี่ยนเป็นสีคล้ำขึ้น เมื่อสารละลายมีสถานะเป็นด่าง

2.3.4 ประโยชน์ของแทนนินในอุตสาหกรรม [46]

1. อุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยแทนนินทำปฏิกิริยากับโปรตีนจากหนัง ทำให้หนังไม่เน่าเสียหลังการฟอก
2. อุตสาหกรรมเครื่องสำอางชนิด เช่น การทำเบียร์ให้ใสและเกิดรสขม ฝาด รวมทั้งเป็นสารให้กลิ่นในเครื่องสำอางประเภทเบียร์ ชา ไวน์ และกาแฟ ด้วย
3. การผลิตกาวไม้อัด เช่น โปรแอนโทไซยานิดินแทนนิน (proanthocyanidin tannins) สามารถใช้ผลิตไม้อัดแทนการใช้ฟีนอลสังเคราะห์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมี
4. รับประทานเป็นยาแก้ท้องเสียหรือท้องเดิน เนื่องจากแทนนินมีกลไกการจับกับโปรตีนของเชื้อรา แบคทีเรีย หรือ ไวรัส ทำให้เชื้อไม่สามารถทำอันตรายร่างกายได้
5. ยาภายนอกในการรักษาแผล แทนนินจะจับกับผิวหนังชั้นนอกและเนื้อเยื่อที่ผลิตเมือก (mucosa) ทำให้สามารถป้องกันน้ำได้ นอกจากนี้แทนนินยังทำให้เส้นเลือดหดตัวได้ ทำให้ลดการสูญเสียเลือดได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Suwantong, Opanasopit, Ruktanonchai and Supaphol [47] เตรียมเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมขมิ้นชันโดยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ผลการทดลองพบว่าการผสมขมิ้นชันลงในสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและไดเมทิลเอซิทาไมด์ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยปริมาตร ไม่ได้ส่งผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย ขนาดของเส้นใยอยู่ในช่วง 314-340 นาโนเมตร ขมิ้นชันในเส้นใยยังคงความสามารถในการจับอนุมูลอิสระได้ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังศึกษาการปลดปล่อยขมิ้นชันจากเส้นใยด้วยการแช่ (immersion) และการแพร่ผ่านผิวหนังหมู (transdermal diffusion through a pig skin) พบว่าวิธีการแช่ ขมิ้นชันถูกปลดปล่อยออกจากเส้นใยได้ร้อยละ 90-95 ของปริมาณขมิ้นชันที่ใส่เข้าไปในเส้นใย ในขณะที่การปลดปล่อยขมิ้นชันด้วยวิธีการแพร่ผ่านผิวหนังหมูมีค่าต่ำกว่า

Phiriyawirut and Phaechamud [48] ประสบความสำเร็จในการเตรียมแผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแกลลิก (gallic acid) โดยพบว่าเส้นใยที่ประกอบด้วยกรดแกลลิกร้อยละ 2.5 มีพื้นผิวเส้นใยเรียบ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกรดแกลลิกให้มากขึ้นจะพบเกล็ดของกรดแกลลิกบนพื้นผิวเส้นใย การเพิ่มปริมาณกรดแกลลิกส่งผลให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น อุณหภูมิการหลอมเหลวเริ่มต้น (onset melting temperature) ของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแกลลิกลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแกลลิกในเส้นใยมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลของแผ่นอิเล็กโตรสปินกับฟิล์ม พบว่า ฟิล์มมีความแข็งแรงมากกว่าแผ่นอิเล็กโตรสปิน ในขณะที่การยึดตัวของของแผ่นอิเล็กโตรสปินที่จุดขาดมีค่ามากกว่าฟิล์มประมาณ 10 เท่า

Thitiwongsawet, Ouykul and Khaoroppan [49] สามารถผลิตแผ่นเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิตจากสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต โดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและไดเมทิลเอซิทาไมด์ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ประกอบด้วย 2,6-ไดคลอโร-4-ไนโตรอะนิลีน (2,6-dichloro-4-nitroaniline, DCNA) ในปริมาณต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่าทั้งเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทต และเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสม DCNA มีพื้นผิวเรียบและการเติม DCNA ลงในในสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต ไม่ได้ส่งผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย ซึ่งขนาดเส้นใยโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 241-320 นาโนเมตร

Gülçin, Huyut, Elmastas and Aboul-Enein [50] พบว่า กรดแทนนิกเป็นสารประกอบที่ต้านทานสารอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพซึ่งสามารถใช้เป็นสารกันบูดในอาหารได้

Shukla, Fang, Puranam, Jensen and Hammond [1] ศึกษาการเตรียมฟิล์มห้ามเลือด (hemostatic film) ที่ประกอบด้วย ทรอมบิน (thrombin) และกรดแทนนิก (tannic acid) โดยการสเปรย์

เป็นชั้น ๆ (spray layer-by-layer) ซึ่งการสเปรย์นี้สามารถเคลือบฟองน้ำที่มีรูพรุนได้ และฟองน้ำที่ถูกเคลือบแล้วสามารถห้ามเลือดได้อย่างรวดเร็วในตัวอย่างมีามหมู



บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองในครั้งนี้เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแผ่นเส้นใยด้วยกระบวนการไฟฟ้าสถิตจากเซลลูโลสแอซีเตตผสมกรดแทนนิก และศึกษาสมบัติของแผ่นเส้นใยที่ขึ้นรูปได้ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.1 สารเคมี

- 3.1.1 เซลลูโลสแอซีเตต น้ำหนักโมเลกุล 30,000 กิโลดัลตัน (Sigma-Aldrich Co. LLC., USA)
- 3.1.2 กรดแทนนิก (HiMedia Laboratories, India)
- 3.1.3 อะซิโตน (Ajax Finechem Pty, Ltd, New Zealand)
- 3.1.4 น้ำกลั่น
- 3.1.5 เพอร์ริก คลอไรด์ (Carlo Erba Reagents, France)
- 3.1.6 ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ ซาลิน พีเอช 7.4 (Sigma-Aldrich Co. LLC., USA)

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

- 3.2.1 อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ แท่งแก้วคน ขวดใส่สารเคมีกระจกสไลด์
- 3.2.2 เครื่องชั่งไฟฟ้าศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 3.2.3 หลอดฉีดยา และเข็ม (บริษัท นิโปร (ประเทศไทย) จำกัด)
- 3.2.4 เครื่องให้ศักย์ไฟฟ้าสูง (Spellman High Voltage Electronics Corporation, USA)
- 3.2.5 เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางกระบอกฉีดยา (syringe pump) รุ่น NE-300 (บริษัท แชนแนลไคเร็ค เน็ตเวิร์ค จำกัด ประเทศไทย)
- 3.2.6 อุปกรณ์รองรับเส้นใย และอะลูมิเนียมฟอยล์
- 3.2.7 ไมโครปิเปต รุ่น Eppendorf Research 1000 (Eppendorf AG., Germany)
- 3.2.8 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (รุ่น WB 10, Memmert GmbH & Co. KG, Germany)
- 3.2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) รุ่น JSM-6400 (Joel Ltd., Japan)

3.2.10 เครื่องรีโอมิเตอร์ (rotational rheometer) รุ่น Rotovisco 1 (Thermo Fisher Scientific, Inc., Singapore)

3.2.11 เครื่องวัดความนำไฟฟ้า (conductivity meter) รุ่น Cyberscan 500 (Eutech Instruments, Singapore)

3.2.12 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น Aquamate (Thermo Fisher Scientific, Inc., USA)

3.3 การเตรียมสารละลาย

3.3.1 การเตรียมสารละลายเซลลูโลสแอซีเตตในตัวทำละลายอะซิโตน

เตรียมสารละลายเซลลูโลสแอซีเตตตั้งแต่ความเข้มข้นร้อยละ 7 ถึง ร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก ในอะซิโตน ที่อุณหภูมิห้อง จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำสารละลายไปวัดความหนืดด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (rotational rheometer) รุ่น Rotovisco 1 (Thermo Fisher Scientific Inc., Singapore) แบบโคนและแผ่นเรียบ (cone and plate) องศา ระหว่างโคนกับแผ่นเรียบ 1 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเรียบ 60 มิลลิเมตร วัดค่าที่อัตราเฉือน (shear rate) 200 วินาที⁻¹ และวัดความสามารถในการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดความนำไฟฟ้า (conductivity meter) รุ่น Cyberscan 500 (Eutech Instruments, Singapore)

3.3.2 การเตรียมสารละลายเซลลูโลสแอซีเตตในตัวทำละลายผสม

เตรียมสารละลายเซลลูโลสแอซีเตตที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในตัวทำละลายผสมของอะซิโตนกับน้ำในอัตราส่วน 100:0 90:10 85:15 และ 80:20 จากนั้นนำสารละลายไปวัดความหนืดที่อัตราเฉือน 200 วินาที⁻¹ และวัดความสามารถในการนำไฟฟ้า

3.3.3 การเตรียมสารละลายเซลลูโลสแอซีเตตผสมกรดแทนนิก

เตรียมสารละลายเซลลูโลสแอซีเตตที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปผสมกรดแทนนิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 30 50 70 90 110 130 และ 150 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเตต ในตัวทำละลายผสมของอะซิโตนกับน้ำในอัตราส่วน 90:10 จากนั้นนำสารละลายไปวัดความหนืดที่อัตราเฉือน 200 วินาที⁻¹ และวัดความสามารถในการนำไฟฟ้า

3.4 การเตรียมเครื่องปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เครื่องปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรือ อิเล็กโตรสปินนิง ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ส่วนหลัก ได้แก่

3.4.1 เครื่องให้ศักย์ไฟฟ้าแรงดันสูง (high voltage power supply) รุ่น Spellman SL60 (Gamma High Voltage Research, USA) ทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าเพื่อให้เกิดแรงดึงยัดสารละลายเป็นเส้นใย สามารถให้ศักย์ไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-40 กิโลโวลต์

3.4.2 เครื่องควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย (syringe pump) รุ่น NE-300 ทำหน้าที่ควบคุมปริมาตรของสารละลายให้เคลื่อนผ่านหัวฉีดอย่างสม่ำเสมอ

3.4.3 อิเล็กโทรด (electrode) ในการปั่นเส้นใยจะต้องต่อขั้วบวกเข้ากับอิเล็กโทรด โดยอิเล็กโทรดทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าจากเครื่องให้ศักย์ไฟฟ้าแรงดันสูงไปสู่สารละลาย ซึ่งวัสดุที่ใช้เป็นอิเล็กโทรดคือเข็มฉีดยาเบอร์ 21 (บริษัท นิโปร (ประเทศไทย) จำกัด) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.82 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.51 มิลลิเมตร [51] ตัดปลายเข็มให้เรียบ

3.4.4 อุปกรณ์บรรจุสารละลาย ใช้หลอดฉีดยา (syringe) (บริษัท นิโปร (ประเทศไทย) จำกัด) ใช้สำหรับบรรจุสารละลายพอลิเมอร์สำหรับฉีดเส้นใย

3.4.5 อุปกรณ์รองรับเส้นใย (collector) เป็นแผ่นโลหะหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยด์และต่อขั้วลบเข้ากับแผ่นโลหะ ทำหน้าที่รองรับเส้นใยที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด



รูปที่ 3.1 เครื่องปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

3.5 การปั่นเส้นใย

3.5.1 การปั่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตในตัวทำละลายอะซิโตน

นำสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตที่ละลายเป็นเนื้อเดียวแล้วจากข้อ 3.3.1 บรรจุในหลอดฉีดยาพลาสติก และประกอบเข้ากับหัวเข็มฉีดยา วางบนเครื่องควบคุมอัตราการไหลซึ่งตั้งค่าอัตราการไหลที่ 5 - 20 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง กำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 10 - 25 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 5 - 20 เซนติเมตรตรวจสอบสัญญาณวิทยาของแผ่นเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเลือกภาวะที่เหมาะสมในการปั่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทต

3.5.2 การปั่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตในตัวทำละลายผสม

นำสารละลายเซลลูโลสเอเชียเทตที่ละลายเป็นเนื้อเดียวแล้วจากข้อ 3.3.2 บรรจุในหลอดนิตยาพลาสติก และประกอบเข้ากับหัวเข็มฉีดยา วางบนเครื่องควบคุมอัตราการไหลซึ่งตั้งค่าภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในข้อ 3.5.1 ดังนี้ อัตราการไหลที่ 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 15 เซนติเมตร ตรวจสอบสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.5.3 การปั่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิกในตัวทำละลายผสม

นำสารละลายเซลลูโลสเอเชียเทตที่ละลายเป็นเนื้อเดียวแล้วจากข้อ 3.3.3 บรรจุในหลอดนิตยาพลาสติก และประกอบเข้ากับหัวเข็มฉีดยา วางบนเครื่องควบคุมอัตราการไหลซึ่งตั้งค่าภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในข้อ 3.5.2 ดังนี้ อัตราการไหลที่ 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 15 เซนติเมตร ตรวจสอบสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.6 ตรวจสอบสมบัติของแผ่นเส้นใย

3.6.1 สัณฐานวิทยาของเส้นใย

ตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเส้นใยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) รุ่น JSM-6400 (Joel Ltd., Japan) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและวัดขนาดเส้นใยด้วยโปรแกรม ImageJ

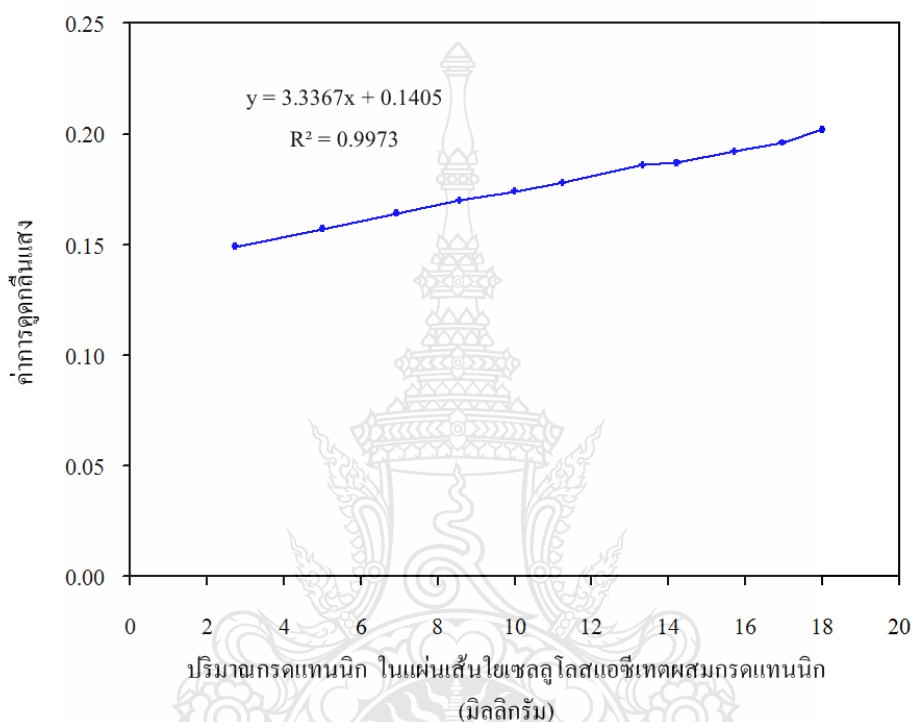
การเตรียมตัวอย่างแผ่นเส้นใยโดยตัดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ที่มีตัวอย่างเส้นใยติดอยู่ขนาดกว้าง 0.7 เซนติเมตร ยาว 0.7 เซนติเมตร ติดลงบนเทปกาวยางสองหน้าเพื่อยึดตัวอย่างกับแท่นรองรับซึ่งทำจากทองเหลือง (brass stub) จากนั้นเคลือบทองคำลงบนผิวของเส้นใยเพื่อให้มีสมบัติการนำไฟฟ้าแล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 500 เท่า

3.6.2 ปริมาณกรดแทนนิกที่อยู่ในแผ่นเส้นใย

วิเคราะห์ปริมาณกรดแทนนิกที่อยู่ในแผ่นเส้นใยโดยยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) รุ่น Aquamate (Thermo Fisher Scientific, Inc., USA.)

เตรียมตัวอย่างแผ่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิก โดยตัดแผ่นเส้นใยหนัก 30 มิลลิกรัม จากนั้นนำไปละลายในอะซิโตนปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นานประมาณ 20 นาที จนแผ่นเส้นใยละลายเป็นเนื้อเดียวกันเติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ต่อ ปริมาตร) [52] จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาว

คลื่น 574.5 นาโนเมตร (λ_{\max}) ด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) รูปที่ 3.2 โดยการแทนค่าในสมการที่ได้จากกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน และคำนวณหาปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใย และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี



รูปที่ 3.2 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) ปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่ในแผ่นเส้นใย

3.6.3 หมู่ฟังก์ชันของแผ่นเส้นใย

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก โดยใช้เครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One จาก 4000-400 เซนติเมตร⁻¹ ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6.4 การปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใย

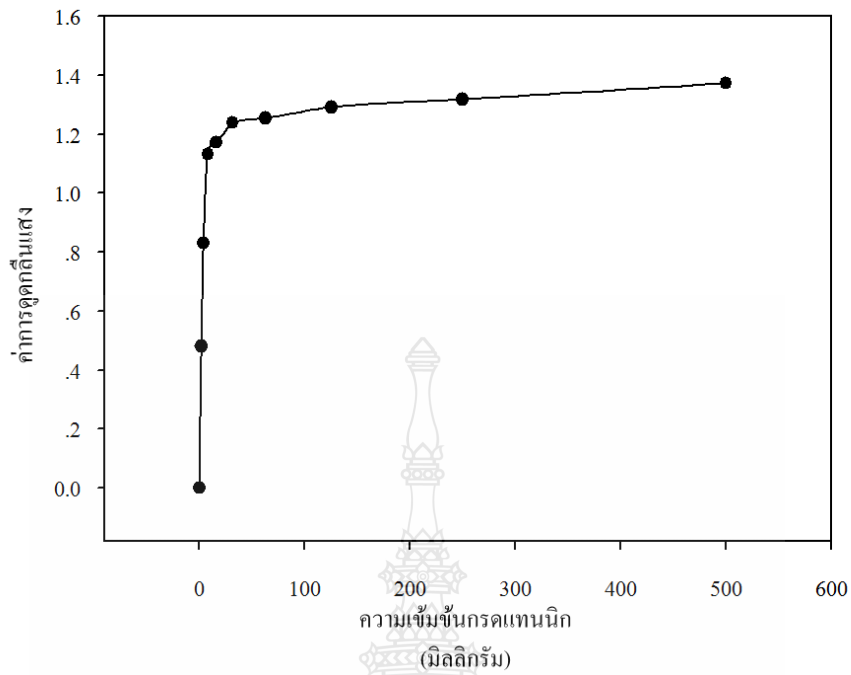
การปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยในสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ ซาลีน

วัดการปลดปล่อยกรดแทนนิกที่อยู่ในแผ่นเส้นใยโดยยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) [14] เตรียมตัวอย่างแผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก

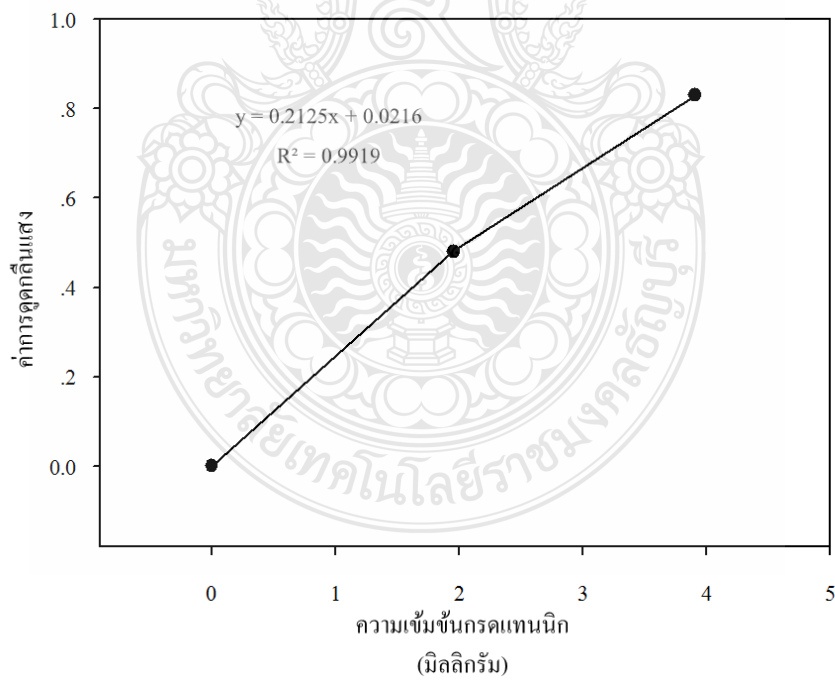
(ความเข้มข้นกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) โดยตัดแผ่นเส้นใยหนัก 800 มิลลิกรัม เติมสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ ซาลิน (PBS) พีเอช 7.4 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่าง ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่เวลา 0 5 10 30 60 120 180 และ 240 นาที เติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) 0.2 มิลลิลิตร (เตรียมเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ต่อ ปริมาตร นำมา 2 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 8 มิลลิลิตร) [52] นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 308.42 นาโนเมตร (λ_{max}) นำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve)

การปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยในน้ำกลั่น

วัดการปลดปล่อยกรดแทนนิกที่อยู่ในแผ่นเส้นใยโดยยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) เตรียมตัวอย่างแผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ความเข้มข้นกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) โดยเตรียมแผ่นเส้นใยหนัก 800 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่เวลา 0 5 10 30 60 120 180 และ 240 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 297.64 นาโนเมตร (λ_{max}) นำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) รูปที่ 3.4 โดยการแทนค่าในสมการที่ได้จากกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน และคำนวณหาปริมาณกรดแทนนิกที่ปลดปล่อยออกมาจากแผ่นเส้นใย และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี



รูปที่ 3.3 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) ของกรดแทนนิกในน้ำกลั่น



รูปที่ 3.4 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) ของกรดแทนนิกในน้ำกลั่น (ช่วงที่เป็นเส้นตรง)

บทที่ 4

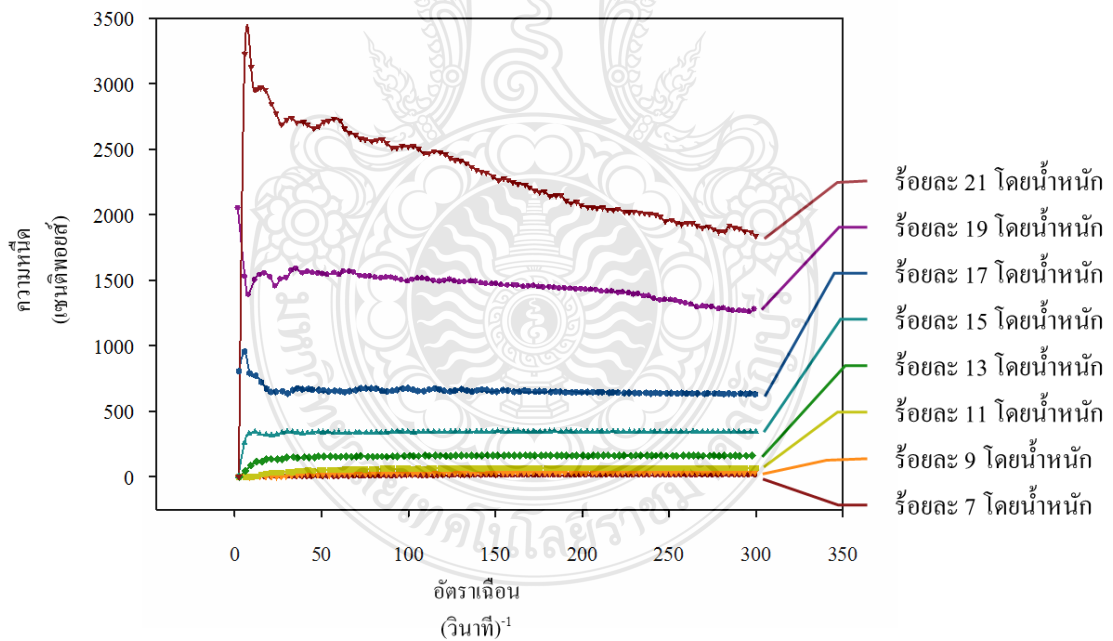
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

จากการทดลองปั่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตในอะซิโตน เซลลูโลสซีเทตในตัวทำละลายผสม เซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิกในตัวทำละลายผสม และตรวจสอบสมบัติต่างๆ ได้ผลการทดลองและวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการปั่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตในอะซิโตน

4.1.1 สมบัติการไหลของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต

นำสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตที่เตรียมได้ ตั้งแต่ความเข้มข้นร้อยละ 7 ถึง ร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก มาทดสอบสมบัติการไหล (rheology) ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์รุ่น Rotovisco 1 ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การไหลของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตที่ความเข้มข้นร้อยละ 7 ถึงร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก

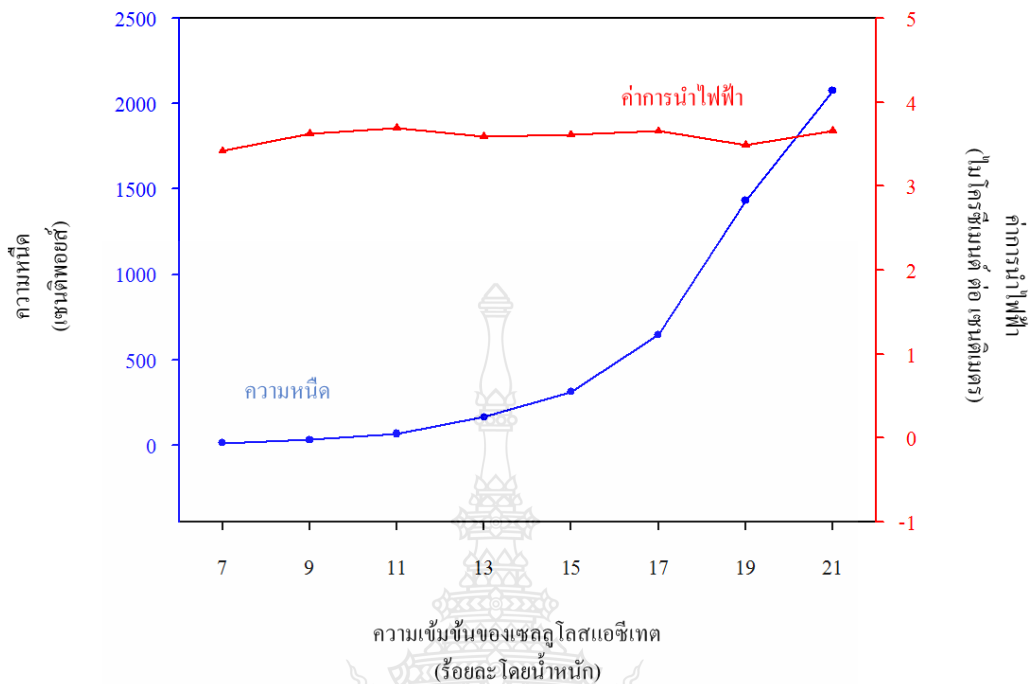
จากผลการทดลองสมบัติการไหลของสารละลายเซลลูโลสแอซีเตต รูปที่ 4.1 พบว่า สารละลายเซลลูโลสแอซีเตตในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 7 ถึงร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ค่าความหนืด (viscosity) ก่อนข้างคองที่เมื่ออัตราเฉือน (shear rate) เพิ่มขึ้น แต่ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสแอซีเตตที่ร้อยละ 17 ถึงร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก สารละลายมีค่าความหนืดลดลง เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น เป็นลักษณะของ shear thinning effect ซึ่งค่าความหนืดที่อัตราเฉือนเท่ากับ 200 วินาที⁻¹ จะเลือกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่าความหนืดที่ค่อนข้างคงที่ และสะดวกต่อการศึกษาในครั้งนี้ [53]

4.1.2 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซีเตต

นำสารละลายเซลลูโลสแอซีเตตที่เตรียมได้ ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 7 ถึงร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก มาวัดความหนืด และค่าการนำไฟฟ้า ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซีเตต

ความเข้มข้นของสารละลาย (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ค่าความหนืด (เซนติพอยต์)	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ ต่อ เซนติเมตร)
7	11.65	3.42
9	30.87	3.62
11	65.99	3.69
13	163.00	3.59
15	311.00	3.61
17	646.00	3.66
19	1432.00	3.49
21	2074.00	3.66



รูปที่ 4.2 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซีเตด

เมื่อความเข้มข้นของเซลลูโลสแอซีเตดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายค่อนข้างคงที่ (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2) ในกรณีของค่าความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์นั้น สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์มีปริมาณน้อยที่ความเข้มข้นต่ำ ดังนั้นโอกาสการพันกันของสายโซ่ (chain entanglement) จึงน้อย ส่งผลให้สารละลายมีค่าความหนืดต่ำ และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์มีค่ามากขึ้น โอกาสการพันกันของสายโซ่จึงมีมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับ Chowdhury and Stylios [54] ที่ศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยไนลอน 6 ที่เตรียมจากสารละลายในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 15 ถึง 25 โดยน้ำหนักในตัวทำละลายกรดฟอร์มิก (formic acid) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย เป็นการวัดปริมาณไอออนิก (ionic content) และการเคลื่อนที่ของไอออนิก (ionic mobility) ในสารละลาย การเพิ่มขึ้นของไอออนในสารละลายจะเพิ่มปริมาณประจุ ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของ

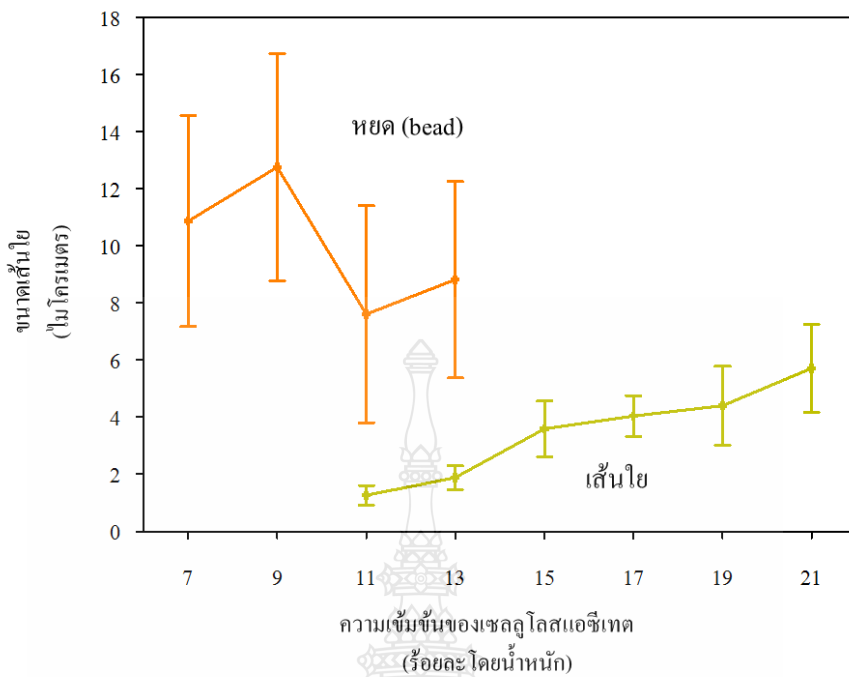
สารละลายเซลลูโลสแอซีเทตไม่ส่งผลให้ปริมาณประจุในสารละลายเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าจึงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ

4.1.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต

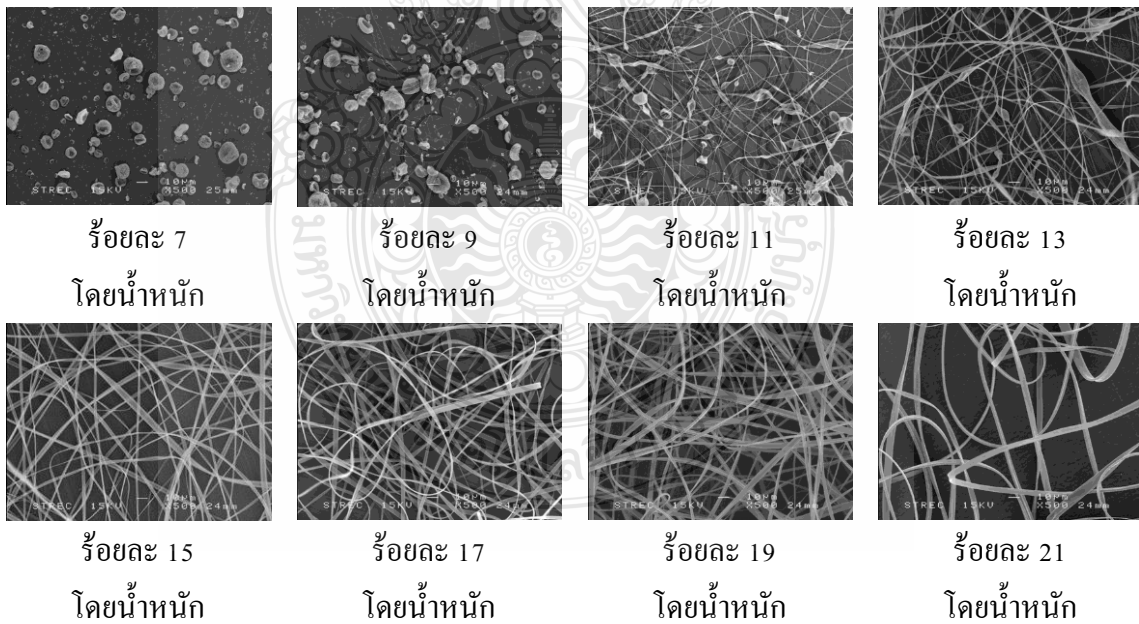
นำสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตความเข้มข้นร้อยละ 7 ถึง 21 โดยน้ำหนัก ต่อ น้ำหนัก มาปั่นเป็นเส้นใยโดยกำหนดภาวะของตัวแปรต่างๆ คือ อัตราการไหลของสารละลายที่ 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ และ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 15 เซนติเมตร ตรวจสอบพื้นฐานวิทยาของเส้นใย ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 - 4.4

ตารางที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตต่อพื้นฐานวิทยาของเส้นใย

ความเข้มข้นของสารละลาย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ขนาดของหยด (ไมโครเมตร)	ขนาดของเส้นใย (ไมโครเมตร)	ลักษณะของเส้นใย
7	10.87 ± 3.70	-	หยด (bead)
9	12.77 ± 3.93	-	หยด (bead)
11	7.61 ± 3.88	1.26 ± 0.35	หยด (bead) + เส้นใย
13	8.82 ± 3.44	1.88 ± 0.42	หยด (bead) + เส้นใย
15	-	3.59 ± 0.98	เส้นใย
17	-	4.04 ± 0.71	เส้นใย
19	-	4.40 ± 1.38	เส้นใย
21	-	5.71 ± 1.55	เส้นใย



รูปที่ 4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสแอซเตตต่อขนาดของเส้นใย



รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสแอซเตต ต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย

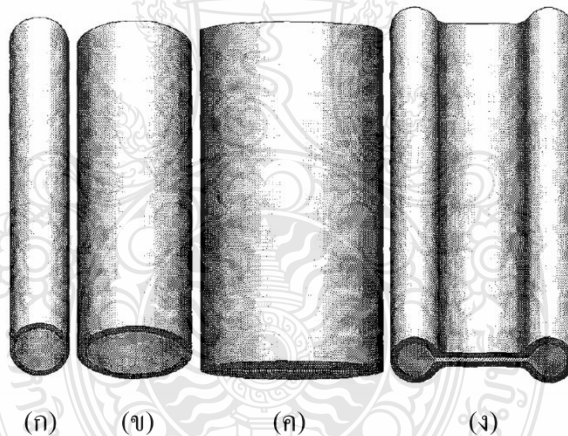
ในการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิตของสารละลายเซลลูโลสแอซิเตดในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 7 ถึง 9 โดยน้ำหนัก พบว่าไม่สามารถเกิดเป็นเส้นใยได้ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 11 ถึง 13 โดยน้ำหนัก พบว่ามีเส้นใยเกิดขึ้นร่วมกับการเกิดหยดโดยขนาดของหยดและเส้นใยที่เกิดขึ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 13 มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 11 แต่ปริมาณของหยดมีจำนวนลดลง และที่ความเข้มข้นของสารละลายตั้งแต่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักขึ้นไปพบการเกิดเส้นใยโดยปราศจากหยด (ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 - 4.4) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากในช่วงความเข้มข้นของสารละลายร้อยละ 7 ถึง ร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก มีปริมาณของสายโซ่โมเลกุลจำนวนน้อย ความหนืดของสารละลายต่ำ การพันกันของสายโซ่ไม่เพียงพอที่จะถูกดึงต่อเนื่องกันเป็นเส้นใย จึงทำให้เกิดเป็นหยด เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น สายโซ่โมเลกุลในสารละลายสามารถพันกันได้มากขึ้น จึงป้องกันการแตกตัวของลำพอลิเมอร์เป็นหยด ทำให้พบเส้นใยแทนที่จะพบหยดของสารละลาย และเมื่อเปรียบเทียบกับสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ความเข้มข้นของสารละลายตั้งแต่ร้อยละ 15 ถึงร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก พบว่าเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น ปริมาณของสายโซ่พอลิเมอร์ในสารละลายมีมากขึ้น สายโซ่พอลิเมอร์จึงเกิดการพันกันสูงขึ้น ดังนั้นสายพอลิเมอร์จึงมีแรงต้านต่อแรงทางประจุที่เข้ามากระทำมากขึ้น ทำให้สายพอลิเมอร์เกิดการยืดตัวได้ยากขึ้น เส้นใยที่ได้จึงมีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยขนาดใหญ่ [51]

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.4 พบว่าสัณฐานวิทยาของเส้นใยมีลักษณะแบน (flattened or ribbon-like fibers) (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของเส้นใยเซลลูโลสแอซิเตดที่ความเข้มข้นร้อยละ 17 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้กำลังขยาย 3 เท่า (จากรูปที่ 4.4)

กลไกการเกิดเส้นใยที่มีลักษณะแบน เนื่องมาจากตัวทำละลายอะซิโตนระเหยตัวเร็ว จึงทำให้บริเวณผิวของลำพอลิเมอร์เกิดการแข็งตัวก่อน ในขณะที่ภายในยังมีสถานะเป็นสารละลายและมีการระเหยของตัวทำละลายอยู่ ดังนั้นเมื่อตัวทำละลายภายในลำพอลิเมอร์ระเหยออก ลำพอลิเมอร์จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพื่อรักษาปริมาตรเส้นใยให้คงที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Koombhongse, Liu and Reneker [55] ที่อธิบายไว้ว่า เมื่อตัวทำละลายระเหยออกจากลำพอลิเมอร์ บริเวณผิวด้านนอกของลำพอลิเมอร์จะเกิดการแข็งตัวเป็นชั้นฟิล์มบาง ๆ ห่อหุ้มสารละลายที่ยังมีสถานะเป็นของเหลวอยู่ภายใน (รูปที่ 4.6 (ก)) จากนั้นด้วยผลของความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure) จะทำให้ลำพอลิเมอร์จะเกิดการยุบตัวลง (collapse) ควบคู่กับการระเหยของตัวทำละลายจากแกนกลางของลำพอลิเมอร์ ซึ่งในระหว่างที่ลำพอลิเมอร์เกิดการยุบตัวนั้น ส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดที่เป็นวงกลมของลำพอลิเมอร์จะเปลี่ยนเป็นรูปไข่ (elliptical shape) ดังรูปที่ 4.6 (ข) และกลายเป็นเส้นใยที่มีลักษณะแบนดังรูปที่ 4.6 (ค) นอกจากนี้ในบางกรณียังพบว่าเกิดท่อเล็ก ๆ ด้านข้างของเส้นใยที่แบนด้วย (รูปที่ 4.6 (ง))



รูปที่ 4.6 กลไกการเกิดเส้นใยที่มีลักษณะแบน [56]

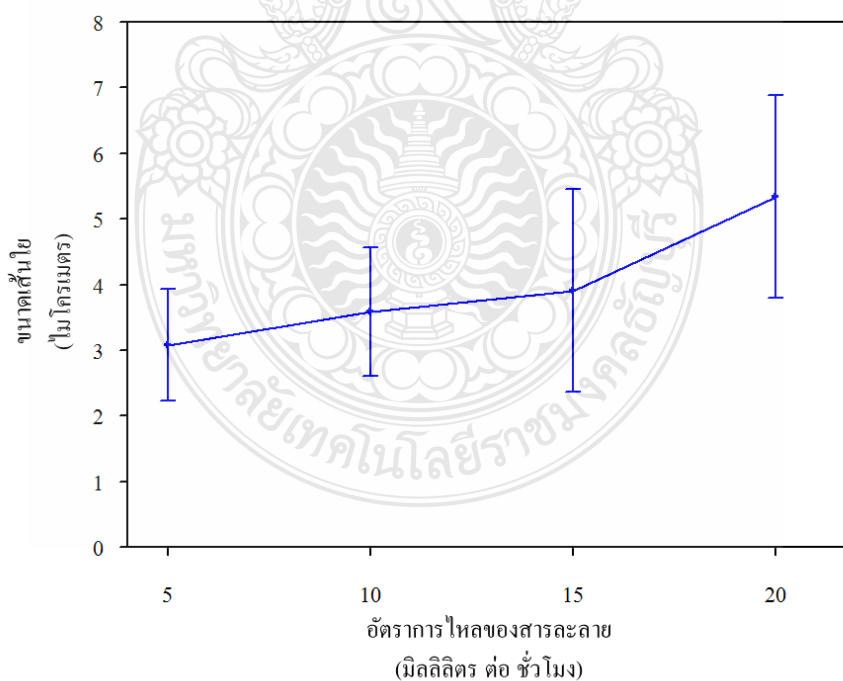
จากผลการทดลองจึงเลือกความเข้มข้นของเซลลูโลสแอซีเตดที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เพื่อใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่น้อยที่สุดในการเกิดเส้นใยโดยไม่เกิดหยดของสารละลาย และเกิดการอุดตันของสารละลายบริเวณหัวเข็มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเซลลูโลสแอซีเตดสูงขึ้น

4.1.4 ผลของอัตราการใช้ของสารละลายเซลล์โลสเอเชียเทค

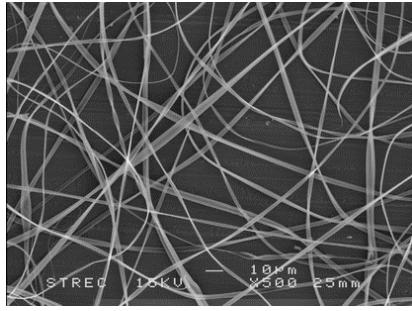
นำสารละลายเซลล์โลสเอเชียเทคความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มาปั่นเป็นเส้นใยโดยกำหนดภาวะของตัวแปรควบคุม คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ และ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 15 เซนติเมตร แปรผันอัตราการใช้ของสารละลายที่ 5 10 15 และ 20 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลของอัตราการใช้ของสารละลายเซลล์โลสเอเชียเทคต่อสัมพันธภาพของเส้นใย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.7 - 4.8

ตารางที่ 4.3 ผลของอัตราการใช้ของสารละลายต่อขนาดของเส้นใย

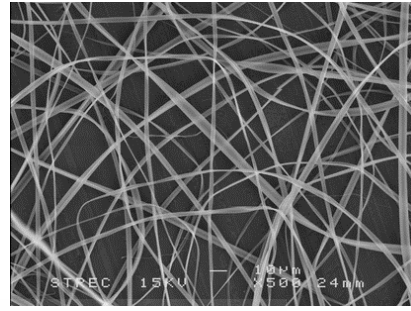
อัตราการใช้ของสารละลาย (มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง)	ขนาดเส้นใย (ไมโครเมตร)
5	3.08 ±0.85
10	3.59 ±0.98
15	3.91 ±1.54
20	5.34 ±1.55



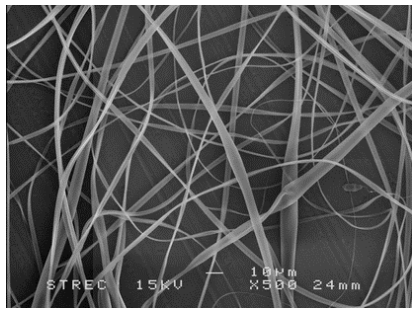
รูปที่ 4.7 ผลของอัตราการใช้ของสารละลายต่อขนาดของเส้นใย



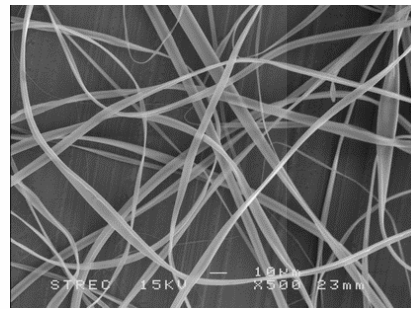
5 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง



10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง



15 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง



20 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง

รูปที่ 4.8 ผลของอัตราการไหลของสารละลายต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย

อัตราการไหลของสารละลาย (flow rate) มีผลต่อขนาดของเส้นใย กล่าวคือ เมื่ออัตราการไหลของสารละลายสูงขึ้น เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.7 - 4.8 ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาตรของสารละลายที่ถูกส่งผ่านหัวฉีดมีค่ามากขึ้น [56]

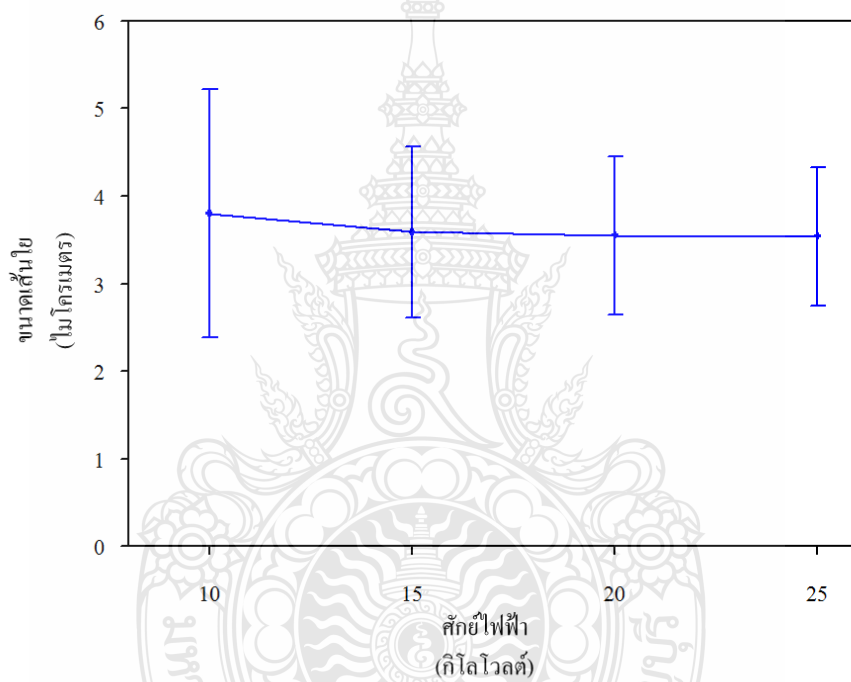
จากผลการทดลองอัตราการไหลสำหรับการทดลองในขั้นต่อไปคือที่ 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง เนื่องจากอัตราการไหลที่ 5 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง มีผลผลิตเส้นใยที่ค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ อัตราการไหลที่ 15 และ 20 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง มีขนาดเส้นใยที่ใหญ่ และ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากขึ้นด้วย

4.1.5 ผลของศักย์ไฟฟ้า

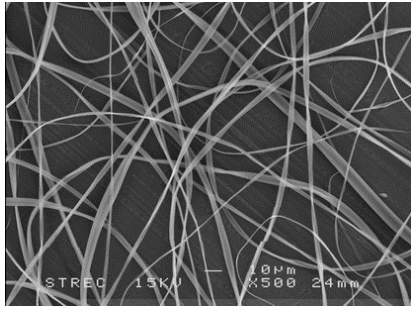
นำสารละลายเซลลูโลสแอซีเตตความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ต่อ น้ำหนัก มาปั่นเป็นเส้นใยโดยกำหนดภาวะของตัวแปรควบคุม คือ อัตราการไหลของสารละลายที่ 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง และ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 15 เซนติเมตร แปรผันศักย์ไฟฟ้าที่ 10 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ เพื่อศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้าต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.9 - 4.10

ตารางที่ 4.4 ผลของศักย์ไฟฟ้าต่อขนาดของเส้นใย

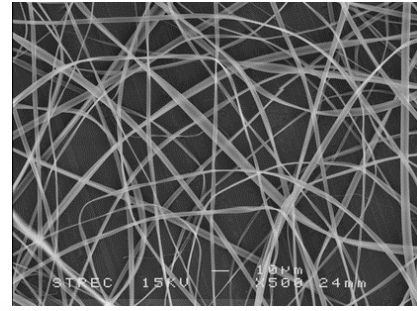
ศักย์ไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ขนาดเส้นใย (ไมโครเมตร)
10	3.80 ±1.42
15	3.59 ±0.98
20	3.55 ±0.90
25	3.54 ±0.79



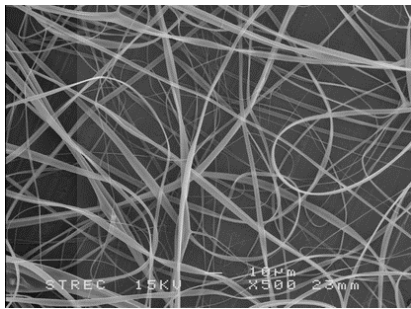
รูปที่ 4.9 ผลของศักย์ไฟฟ้าต่อขนาดของเส้นใย



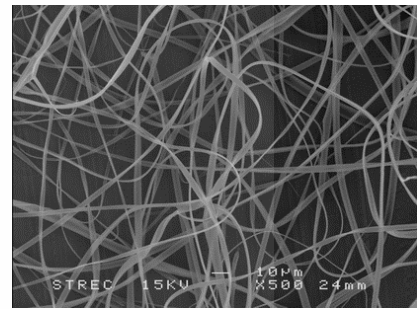
10 กิโลโวลต์



15 กิโลโวลต์



20 กิโลโวลต์



25 กิโลโวลต์

รูปที่ 4.10 ผลของศักย์ไฟฟ้าต่อลักษณะของเส้นใย

จากผลการทดลอง ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.9 - 4.10 เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง โดยเส้นใยมีขนาด 3.80 ± 1.42 ไมโครเมตร เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่ 10 กิโลโวลต์ เส้นใยมีขนาด 3.59 ± 0.98 ไมโครเมตร เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ เส้นใยมีขนาด 3.55 ± 0.90 ไมโครเมตร เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่ 20 กิโลโวลต์ และ เส้นใยมีขนาด 3.54 ± 0.79 ไมโครเมตร เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่ 25 กิโลโวลต์ การที่เส้นใยมีขนาดเล็กลงเนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากค่าสนามไฟฟ้าที่มากขึ้น ทำให้เส้นใยถูกดึงยึดมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการที่ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยมีขนาดเล็กลงจากการยึดตัว ทำให้ตัวทำละลายสามารถระเหยออกมาจากเส้นใยเร็วขึ้น ที่ศักย์ไฟฟ้า 20 และ 25 กิโลโวลต์ ขนาดเส้นใยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ [56] อาจเป็นผลมาจากการระเหยตัวของตัวทำละลายเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่ 20 และ 25 กิโลโวลต์ ทำให้ลำพอลิเมอร์เกิดแข็งตัวเป็นเส้นใย และไม่มีการยึดตัวต่อจนตกลงบนวัสดุรองรับ

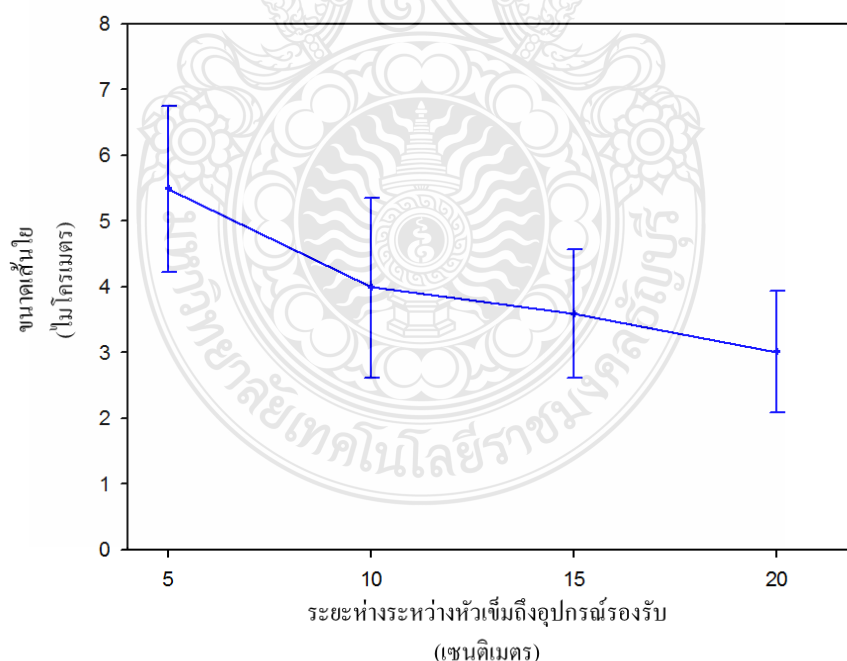
ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการทดลองในขั้นต่อไปคือที่ 15 กิโลโวลต์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้า (ที่ 20 และ 25 กิโลโวลต์) ขนาดของเส้นใยค่อนข้างคงที่

4.1.6 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย

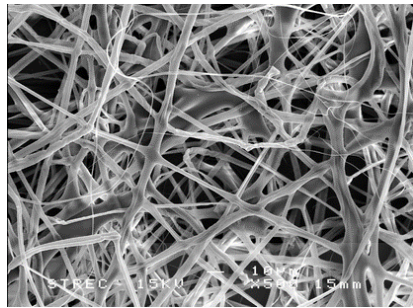
นำสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ต่อ น้ำหนัก มาปั่นเป็นเส้นใยโดยกำหนดภาวะของตัวแปรควบคุม คือ อัตราการไหลของสารละลายที่ 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง และศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ แปรผันระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 5 10 15 และ 20 เซนติเมตร เพื่อศึกษาผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.11 - 4.12

ตารางที่ 4.5 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อขนาดของเส้นใย

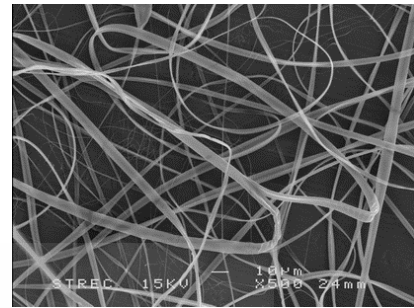
ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับ (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นใย (ไมโครเมตร)
5	5.49 ±1.26
10	3.99 ±1.37
15	3.59 ±0.98
20	3.01 ±0.93



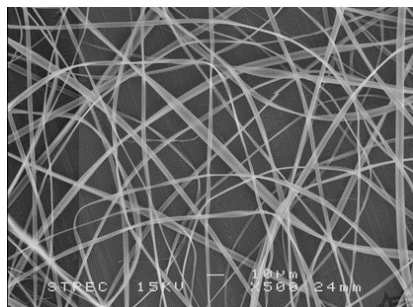
รูปที่ 4.11 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อขนาดของเส้นใย



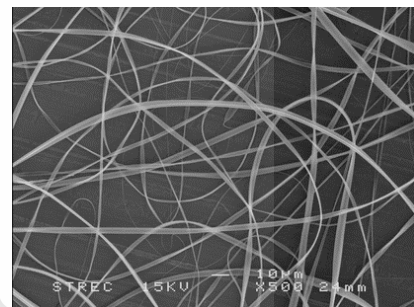
5 เซนติเมตร



10 เซนติเมตร



15 เซนติเมตร



20 เซนติเมตร

รูปที่ 4.12 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย

จากผลการทดลอง ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.11 - 4.12 เมื่อระยะห่างของหัวเข็มถึงวัสดุรองรับเส้นใยมีมากขึ้น ส่งผลให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง คือที่ ระยะห่าง 5 เซนติเมตร เส้นใยมีขนาด 5.49 ± 1.26 ไมโครเมตร ระยะห่าง 10 เซนติเมตร เส้นใยมีขนาด 3.99 ± 1.37 ไมโครเมตร ระยะห่าง 15 เซนติเมตร เส้นใยมีขนาด 3.59 ± 0.98 ไมโครเมตร และ ระยะห่าง 20 เซนติเมตร เส้นใยมีขนาด 3.01 ± 0.93 ไมโครเมตร ในขณะที่สายพอลิเมอร์เคลื่อนที่จากหัวเข็มไปยังวัสดุรองรับเส้นใย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพอลิเมอร์จะเล็กลงเรื่อย ๆ (รูปที่ 4.14) ซึ่งเกิดจากการผลัดกันของประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นและจากแรงที่เกิดจากการสับตัวในขณะที่เคลื่อนที่ไปยังวัสดุรองรับเส้นใย สายพอลิเมอร์จะแข็งตัวกลายเป็นเส้นใยได้โดยการเย็นตัวลงสำหรับการปั่นเส้นใยจากพอลิเมอร์หลอมเหลว หรือโดยการระเหยของตัวทำละลาย สำหรับการปั่นเส้นใยจากสารละลายพอลิเมอร์ [51]

การเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย ทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง (ตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.11 - 4.12) เนื่องจากระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย ส่งผลต่อความเข้มของสนามไฟฟ้า และระยะเวลาในการเดินทางของลำพอลิเมอร์ก่อนที่จะตกลงบนอุปกรณ์รองรับ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใยที่ใกล้จะมีความเข้มของสนามไฟฟ้า

มาก จึงมีอิทธิพลต่ออัตราการไหลของสารละลายให้มากขึ้น นอกจากนี้ระยะทางที่ใกล้ ทำให้ระยะเวลาในการระเหยของตัวทำละลายจากลำพอลิเมอร์มีน้อย หรือระเหยออกไม่ทัน ทำให้เส้นใยที่ตกลงบนอุปกรณ์รองรับมีขนาดใหญ่ และเส้นใยติดกัน ส่วนในกรณีที่เพิ่มระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใยให้มากขึ้น สนามไฟฟ้าบริเวณหัวเข็มมีความเข้มข้นน้อยลง จึงทำให้มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของพอลิเมอร์ภายในหัวเข็ม และตัวทำละลายมีระยะเวลามากพอที่จะระเหยออกไป เส้นใยที่ปั่นได้จึงมีขนาดเล็กลง

ตารางที่ 4.6 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเส้นใยที่ตกลงบนแผ่นรองรับ

ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับ (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเส้นใยที่ตกลงบนแผ่นรองรับ (เซนติเมตร)
5	11
10	17
15	24
20	28



ระยะห่าง 5
เซนติเมตร

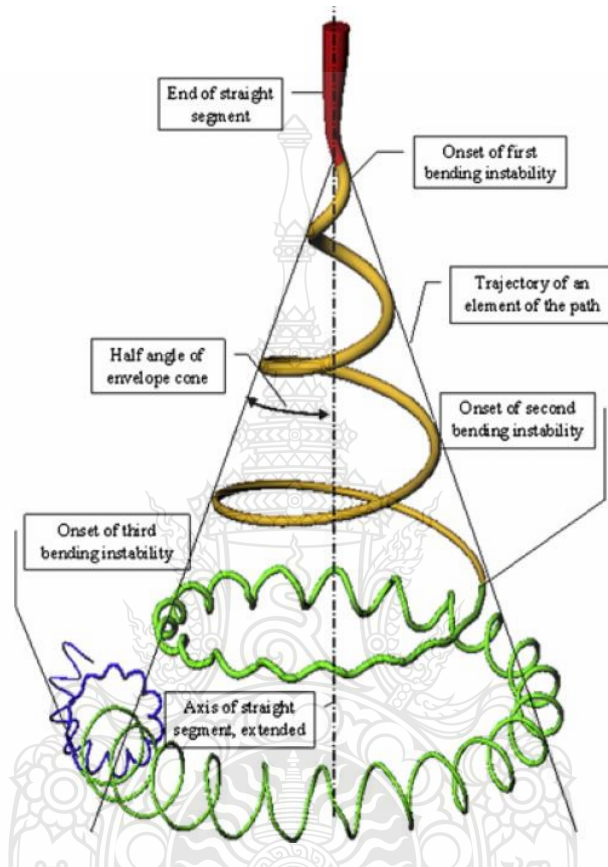
ระยะห่าง 10
เซนติเมตร

ระยะห่าง 15
เซนติเมตร

ระยะห่าง 20
เซนติเมตร

รูปที่ 4.13 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเส้นใยที่ตกลงบนแผ่นรองรับ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแผ่นเส้นใยที่ตกลงบนแผ่นรองรับ (deposit area) มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับมีมากขึ้นดังผลการทดลองในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.14 ไดอะแกรมแสดงจุดเริ่มต้นของการสับคตัวของสายพอลิเมอร์ [57]

แต่ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ระยะห่างที่ 15 เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 20 เซนติเมตร เป็นระยะที่เส้นใยมีขนาดเล็กที่สุดคือ 3.01 ± 0.93 ไมโครเมตร แต่เนื่องจากแผ่นเส้นใยมีการแห้งตัวก่อนจะตกลงบนอุปกรณ์รองรับ และพื้นที่ของเส้นใยที่ตกลงบนวัสดุรองรับยังอยู่บนแผ่นรองรับเส้นใย ในขณะที่ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 20 เซนติเมตร พื้นที่ที่เส้นใยตกลงบนอุปกรณ์รองรับมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของอุปกรณ์รองรับ ทำให้สูญเสียปริมาณเส้นใย ในกรณีที่ใช้ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 5 เซนติเมตร เส้นใยที่ผลิตมีลักษณะติดกันเนื่องจากตัวทำละลายระเหยไม่ทัน และที่ระยะห่างระหว่าง

หัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับ 10 เซนติเมตร เส้นใยที่ผลิตได้มีขนาดใหญ่กว่าที่เส้นใยที่ระยะ 15 เซนติเมตร

4.2 ผลการปั่นเส้นใยเซลลูโลสแอซิเทตในตัวทำละลายผสม

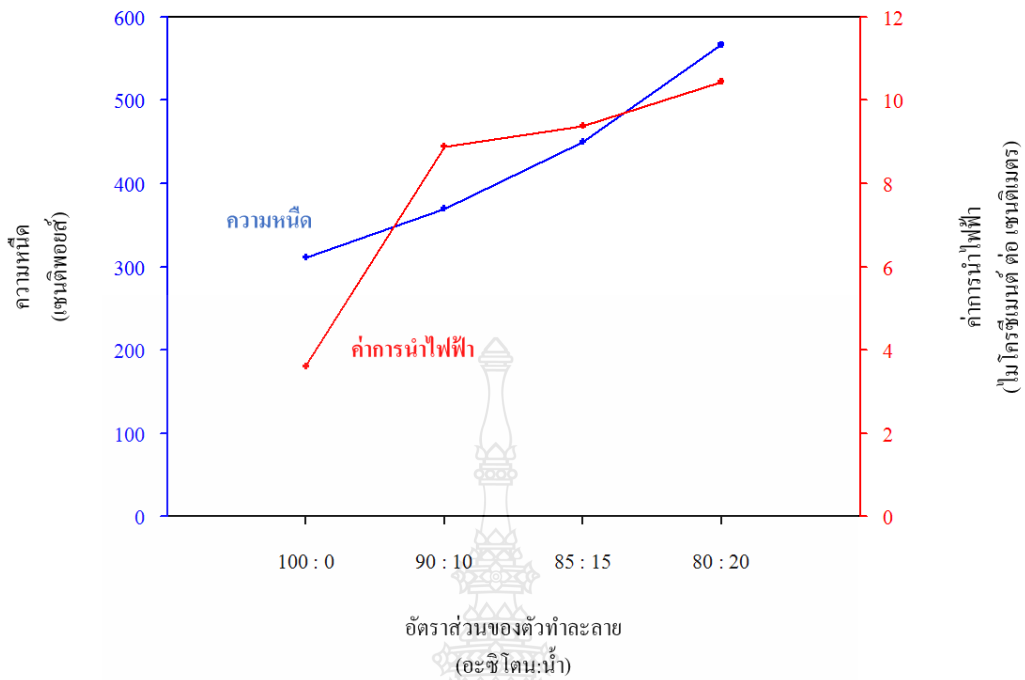
อะซิโตนเป็นตัวทำละลายหลักในการละลายเซลลูโลสแอซิเทตเพื่อให้ได้สารละลายเนื้อเดียวสำหรับกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต อย่างไรก็ตามอะซิโตนมีจุดเดือดต่ำจึงทำให้หัวเข็มอุดตันได้ง่าย [55] ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงใช้น้ำซึ่งมีจุดเดือดที่สูงกว่า ราคาถูก มีอยู่เป็นจำนวนมาก หาง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผสมกับอะซิโตนเพื่อใช้เป็นตัวทำละลายผสม

4.2.1 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซิเทตในตัวทำละลายผสม

นำสารละลายเซลลูโลสแอซิเทตความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักที่เตรียมได้ในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและน้ำในอัตราส่วน 100:0 90:10 85:15 และ 80:20 มาวัดความหนืด และค่าการนำไฟฟ้า ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.7 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซิเทตในตัวทำละลายผสม

อัตราส่วนของตัวทำละลาย (อะซิโตน:น้ำ)	ค่าความหนืด (เซนติพอยล์)	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ ต่อ เซนติเมตร)
100:0	311	3.61
90:10	370	8.89
85:15	450	9.38
80:20	567	10.45



รูปที่ 4.15 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตในตัวทำละลายผสม

ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำในตัวทำละลายเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.15) ความสามารถในการละลายของเซลลูโลสแอซีเทตในตัวทำละลายอยู่ในช่วง 9.5 ถึง 12.5 (แคลอรี ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร)^{1/2} [58] ดังนั้นจึงทำให้อะซิโตนสามารถละลายเซลลูโลสแอซีเทตได้ ในขณะที่น้ำไม่สามารถละลายเซลลูโลสแอซีเทต (ตารางที่ 4.8) และการเติมน้ำลงในสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต เป็นการเพิ่มประจุในสารละลาย จึงส่งผลให้ค่าความสามารถในการนำไฟฟ้า และค่าความหนืดสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากการผสมน้ำเข้าไปในอะซิโตนซึ่งเป็นผลทำให้ค่าการละลายของตัวทำละลายผสมเปลี่ยนไป ส่งผลให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าการละลายของตัวทำละลายผสมแสดงในภาคผนวก ข [59]

ตารางที่ 4.8 สมบัติของตัวทำละลาย

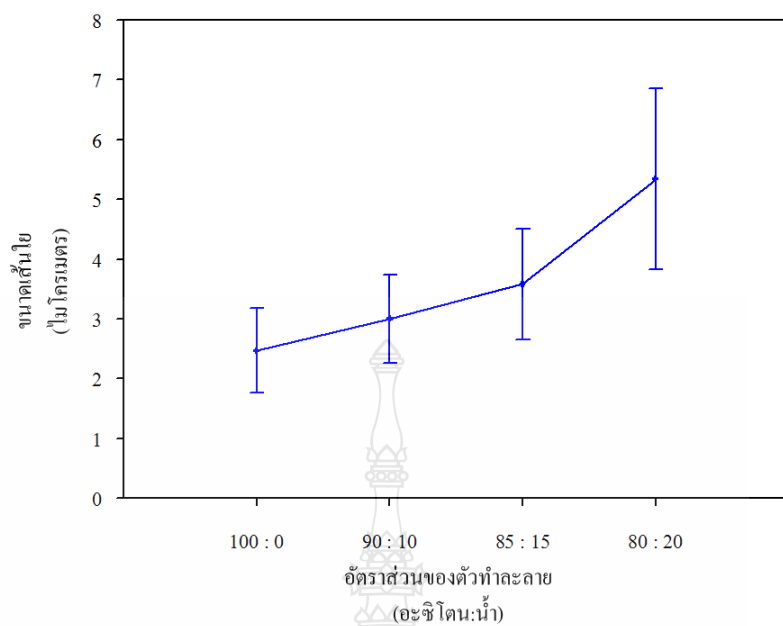
สมบัติ	หน่วย	อะซิโตน	น้ำ
จุดเดือด	องศาเซลเซียส	56.29	100
ความหนืดที่ 20 องศาเซลเซียส	เซนติพอยส์	0.36	1
ความดันไอที่ 20 องศาเซลเซียส	มิลลิเมตรปรอท	182	17.5
ค่าการละลายของฮิลเดอบรันน (Hildebrand solubility parameter)	(แคลอรี ต่อ ลูกบาศก์ เซนติเมตร) ^{1/2}	9.77	23.5
แรงตึงผิวที่ 20 องศาเซลเซียส	ดาไน์ ต่อ เซนติเมตร	23.32	72.8

4.2.2 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทต

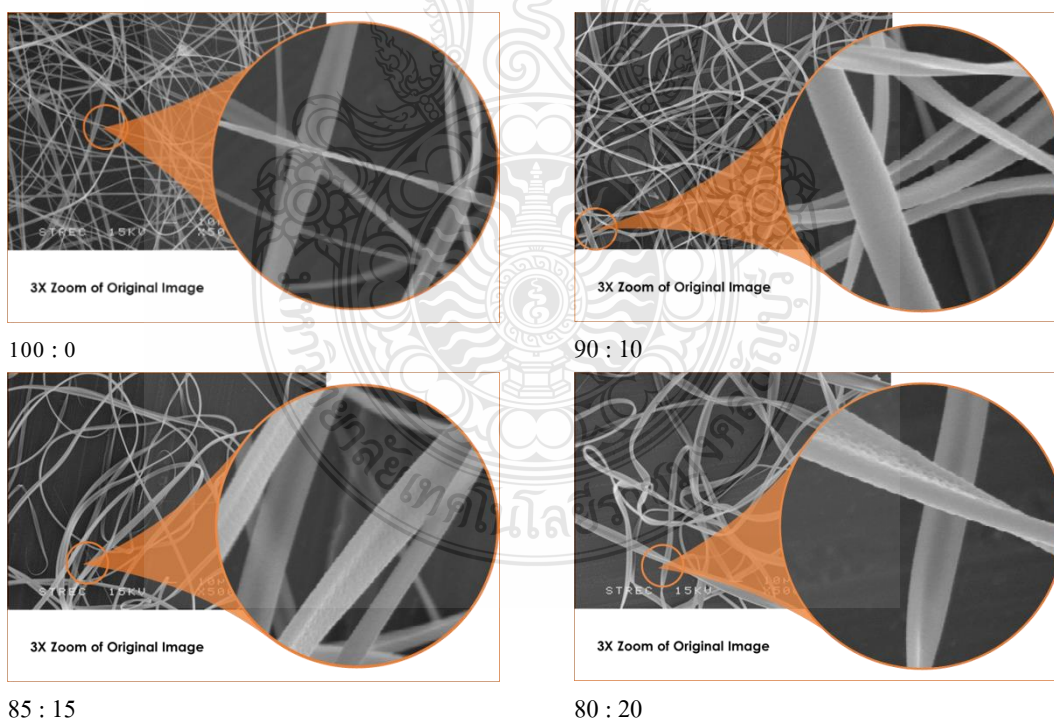
นำสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักที่เตรียมได้ในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตน และน้ำในอัตราส่วน 100:0 90:10 85:15 และ 80:20 มาปั่นเป็นเส้นใย โดยกำหนดภาวะของตัวแปรควบคุม คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ และ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 15 เซนติเมตร อัตราการไหลของสารละลายที่ 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.16 - 4.17

ตารางที่ 4.9 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย

อัตราส่วนของตัวทำละลาย (อะซิโตน:น้ำ)	ขนาดของเส้นใย (ไมโครเมตร)	ลักษณะของเส้นใย
100:0	2.47 ±0.71	แบน คล้ายริบบิ้น
90:10	3.00 ±0.76	แบน คล้ายริบบิ้น
85:15	3.58 ±0.93	แบน คล้ายริบบิ้น
80:20	5.34 ±1.51	แบน คล้ายริบบิ้น



รูปที่ 4.16 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อขนาดของเส้นใย



รูปที่ 4.17 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายระหว่างอะซิโตนและน้ำ ต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.16-4.17 พบว่า อัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นในระบบของตัวทำละลายผสม ส่งผลให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น และเส้นใยมีพื้นที่ผิวที่ไม่เรียบ เนื่องจากอะซิโตนมีค่าความดันไอ 182 มิลลิเมตรปรอท ในขณะที่น้ำมีค่าความดันไอเพียง 17.5 มิลลิเมตรปรอท (ตารางที่ 4.8) อะซิโตนจึงระเหยเร็วกว่าน้ำมาก ซึ่งอัตราการระเหยของตัวทำละลายที่แตกต่างกันส่งผลให้สัณฐานวิทยาของเส้นใยมีความแตกต่างกัน

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้สัดส่วนของตัวทำละลายผสมของ อะซิโตนและน้ำ สัดส่วน 90 ต่อ 10 เนื่องจากช่วยอุดตันของสารละลายบริเวณหัวเข็มได้ และเส้นใยที่พบมีขนาดเล็กกว่า สัดส่วน 85 ต่อ 15 และ 80 ต่อ 20

4.3 ผลการปั่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิกในตัวทำละลายผสม

4.3.1 ความหนืดและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิกในตัวทำละลายผสม

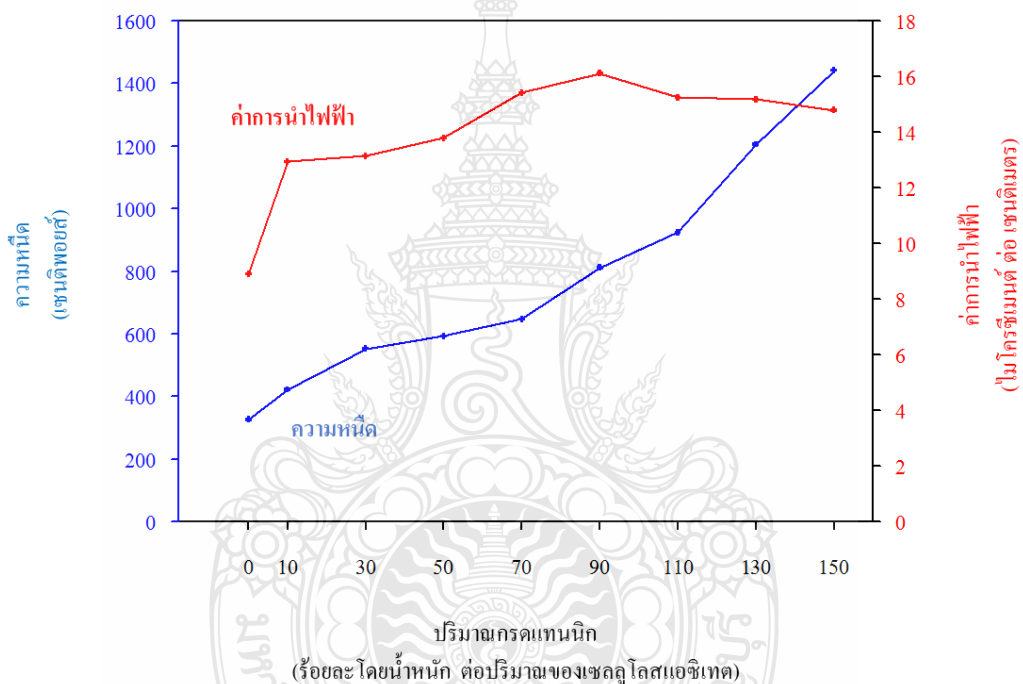
นำสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในตัวทำละลายผสมของอะซิโตนกับน้ำในอัตราส่วน 90:10 ผสมกรดแทนนิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 30 50 70 90 110 130 และ 150 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเทต มาวัดความหนืด และค่าการนำไฟฟ้า ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณกรดแทนนิกในสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตต่อค่าความหนืด และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย

ปริมาณกรดแทนนิก (ร้อยละ โดยน้ำหนัก ต่อปริมาณ ของเซลลูโลสแอซีเทต)	ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ ต่อ เซนติเมตร)
0	326	8.89
10	422	12.94
30	553	13.14
50	593	13.78
70	647	15.41
90	811	16.10
110	924	15.24

ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณกรดแทนนิกในสารละลายเซลลูโลสเอเชียเทตต่อค่าความหนืด และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (ต่อ)

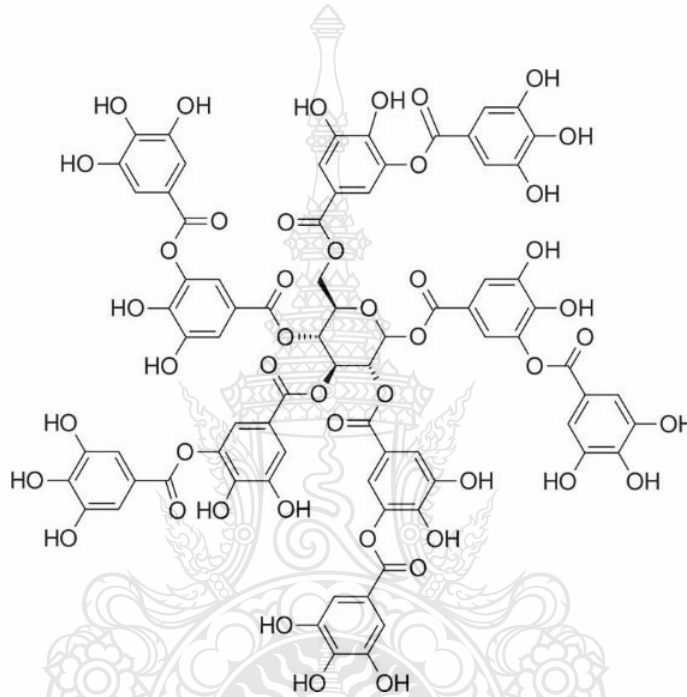
ปริมาณกรดแทนนิก (ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อปริมาณ ของเซลลูโลสเอเชียเทต)	ค่าความหนืด (เซนติพอยต์)	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ ต่อ เซนติเมตร)
130	1205	15.18
150	1441	14.78



รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณกรดแทนนิกในสารละลายเซลลูโลสเอเชียเทตต่อค่าความหนืด และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย

เมื่อปริมาณกรดแทนนิกเพิ่มขึ้น ทำให้สารละลายมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้นของกรดแทนนิกที่ร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของปริมาณเซลลูโลสเอเชียเทต ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงในทางลดลง (รูปที่ 4.18)

ค่าความหนืดของสารละลายที่สูงขึ้นเป็นผลมาจากปริมาณของกรดแทนนิกในสารละลายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกรดแทนนิกเป็นพอลิฟีนอล (polyphenol) ชนิดหนึ่งที่มีสูตรทางเคมี คือ $C_{76}H_{52}O_{46}$ น้ำหนักโมเลกุล 1,710 คัดค้น [60] (รูปที่ 4.19) การเติมกรดแทนนิกอาจส่งผลให้ค่าสมบัติการละลาย (solubility parameter) เปลี่ยนแปลงไป หรือ อาจเกิดการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสแอซีเตตเนื่องจากกรดแทนนิกมีโครงสร้างของหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงอาจเป็นผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น



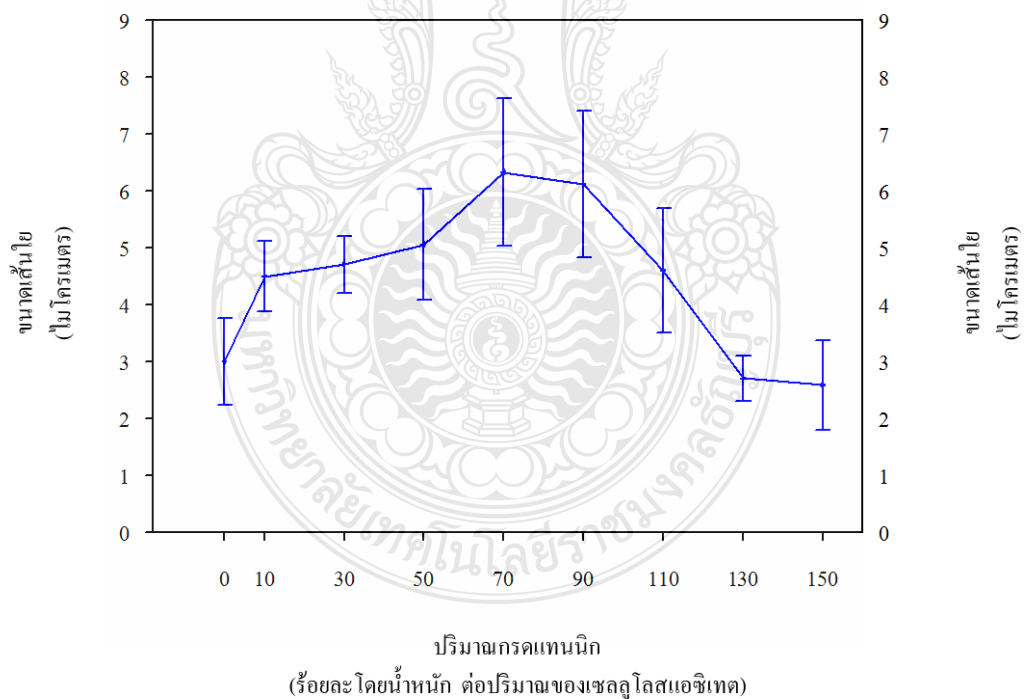
รูปที่ 4.19 โครงสร้างของกรดแทนนิก [60]

4.3.2 ผลของปริมาณกรดแทนนิกในสารละลายเซลลูโลสแอซีเตต

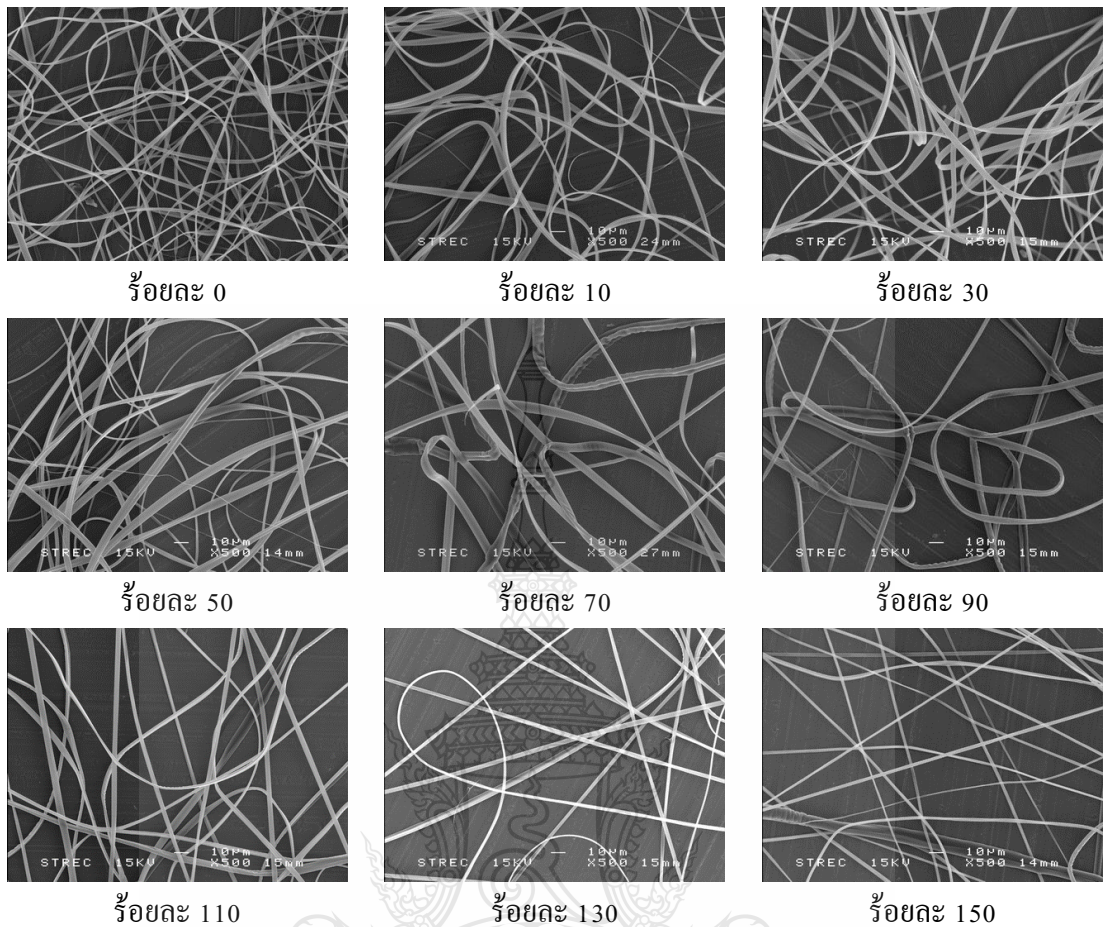
นำสารละลายเซลลูโลสแอซีเตตความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและน้ำในอัตราส่วน 90:10 ผสมกรดแทนนิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 30 50 70 90 110 130 และ 150 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเตต มาปั่นเป็นเส้นใยโดยกำหนดภาวะของตัวแปรควบคุม คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับที่ 15 เซนติเมตร และอัตราการไหลของสารละลายที่ 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลของปริมาณกรดแทนนิกต่อลักษณะวิทยาของเส้นใย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.20 - 4.21

ตารางที่ 4.11 ผลของปริมาณกรดแทนนิกในสารละลายเซลลูโลสเอเชียเทตต่อขนาดของเส้นใย

ปริมาณกรดแทนนิก (ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อปริมาณของเซลลูโลสเอเชียเทต)	ขนาดของเส้นใย (ไมโครเมตร)
0	3.00 ±0.76
10	4.50 ±0.62
30	4.71 ±0.50
50	5.06 ±0.98
70	6.33 ±1.30
90	6.12 ±1.29
110	4.60 ±1.09
130	2.71 ±0.40
150	2.59 ±0.79



รูปที่ 4.20 ผลของปริมาณกรดแทนนิกในสารละลายเซลลูโลสเอเชียเทตต่อพื้นฐานวิทยาของเส้นใย



รูปที่ 4.21 ผลของปริมาณกรดแทนนิก (ร้อยละโดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในสารละลายเซลลูโลสแอซีเทตต่อลักษณะของเส้นใย

ปริมาณของกรดแทนนิกที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นใย โดยในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 10 จนถึงร้อยละ 70 เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 90 จนถึงร้อยละ 150 เส้นใยมีขนาดเล็กลง (ตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.20 - 4.21) เนื่องจากการเติมกรดแทนนิกจะส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.18) สารละลายมีความหนืดมากขึ้น ส่งผลให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย (ในช่วงร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 70) อย่างไรก็ตามเมื่อความหนืดมีมากขึ้น (ในช่วงร้อยละ 90 ถึง ร้อยละ 150) พบว่าเส้นใยมีขนาดเล็กลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากความหนืดของสารละลายที่มากขึ้น ทำให้เกิดความต้านทานการเคลื่อนที่ภายในหัวเข็ม ส่งผลทำให้อัตราการไหลของสารละลาย ในขณะที่อัตราการดึงยึดเส้นใยจากสนามไฟฟ้าคงที่ จึงทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง [61]

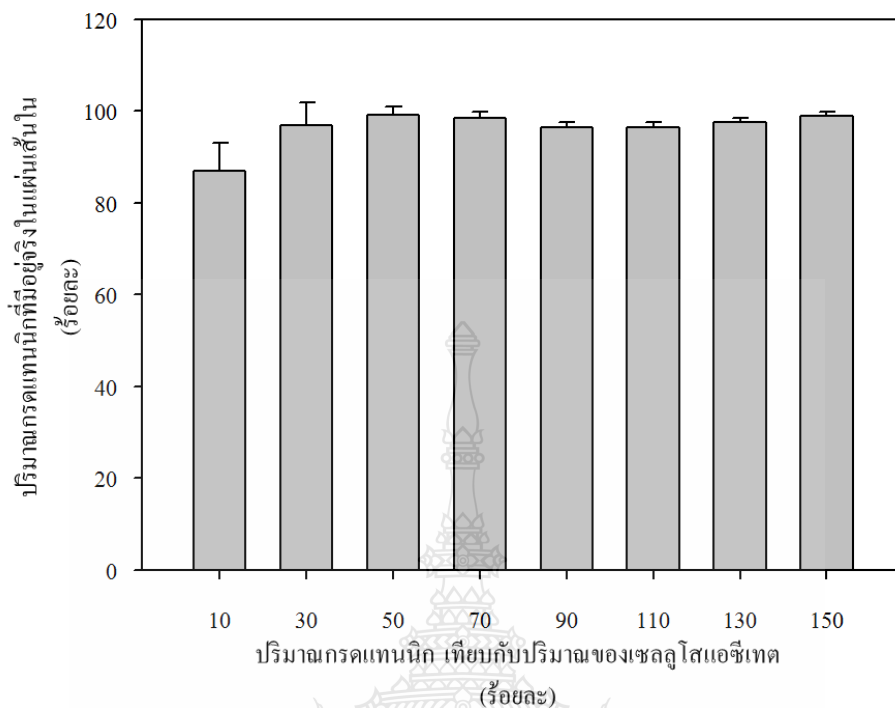
จากผลการทดลองครั้งนี้จึงเลือก ความเข้มข้นของกรดแทนนิกที่ร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของ เซลลูโลสแอซีเตต เพื่อใช้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่เกิดการปัญหา การแข็งตัวของสารละลายบริเวณหัวเข็ม

4.4 ปริมาณกรดแทนนิกที่อยู่ในแผ่นเส้นใย

วิเคราะห์ปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใยโดยยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) รุ่น Aquamate ได้ผลดังตารางที่ 4.12 และภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.12 ปริมาณของกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใย เทียบกับปริมาณกรดแทนนิกที่ผสม ในสารละลายก่อนการขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใย

ปริมาณกรดแทนนิก (ร้อยละ โดยน้ำหนัก ต่อปริมาณของเซลลูโลสแอซีเตต)	ปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่จริง (ร้อยละ)
10	86.95 ±6.41
30	96.90 ±5.02
50	99.18 ±1.73
70	98.50 ±1.40
90	96.40 ±1.22
110	96.35 ±1.10
130	97.47 ±1.02
150	98.77 ±0.96



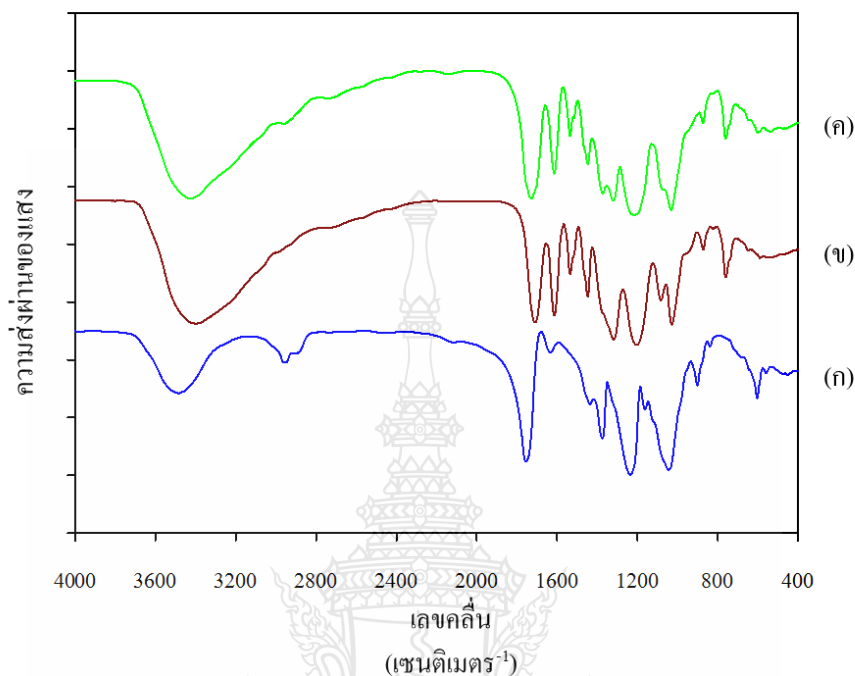
รูปที่ 4.22 ปริมาณของกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใย เทียบกับปริมาณกรดแทนนิกที่ผสมในสารละลายก่อนการขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใย

จากผลการทดลอง ปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 86.95 ± 6.41 ถึง 99.18 ± 0.96 (ตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.22) โดยค่าที่ได้มีค่าสูง และมีการสูญเสีย้น้อยมาก เนื่องจากกรดแทนนิกสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลาย จึงมีการสูญเสียระหว่างกระบวนการน้อย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Chuysinuan, Chimnoi, Techasakul and Supaphol [14] ทำการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตด้วยกรดพอลิแลคติก (poly(l-lactic) acid) ผสมกรดแกลลิก (gallic acid) พบว่าปริมาณกรดแกลลิกที่มีอยู่จริงอยู่ในช่วงร้อยละ 86 ถึง 95

4.5 หมู่ฟังก์ชันของแผ่นเส้นใย

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทต กรดแทนนิก และแผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก ที่ความเข้มข้นกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต โดยใช้เครื่องฟูริเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One จาก 4000 - 400 เซนติเมตร⁻¹ ที่ศูนย์

เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อตรวจสอบการมีอยู่ของกรดแทนนิกในแผ่นเส้นใย ดังผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.22



(ก) เซลลูโลสแอสีเทต (ข) กรดแทนนิก (ค) เซลลูโลสแอสีเทตผสมกรดแทนนิก

รูปที่ 4.23 สเปกตรากจากเครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)

สเปกตรากของกรดแทนนิก (รูปที่ 4.23 (ข)) และเซลลูโลสแอสีเทตผสมกรดแทนนิก (รูปที่ 4.23 (ค)) พบตำแหน่งการดูดกลืนที่เลขคลื่น (wave number) 1,614 และ 760 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่งแสดงถึง aromatic C-O vibration และ distortion vibration ของ C=C ในวงเบนซีน ตามลำดับ [62-63] แต่ไม่พบในสเปกตรากของเซลลูโลสแอสีเทต (รูปที่ 4.23 (ก)) เนื่องจากโครงสร้างของเซลลูโลสแอสีเทตไม่มีวงเบนซีนเป็นองค์ประกอบ

เมื่อพิจารณาสเปกตรากของเซลลูโลสแอสีเทตและเซลลูโลสแอสีเทตผสมกรดแทนนิก พบตำแหน่งการดูดกลืนที่ตำแหน่งเดียวกัน 2 ตำแหน่ง กล่าวคือ ตำแหน่งที่หนึ่ง พบที่ตำแหน่ง 1,374.69 เซนติเมตร⁻¹ ของเซลลูโลสแอสีเทต (รูปที่ 4.23 (ก)) และตำแหน่ง 1,371.43 เซนติเมตร⁻¹ ของเซลลูโลสแอสีเทตผสมกรดแทนนิก (รูปที่ 4.23 (ค)) ซึ่งแสดงถึง symmetric vibration ของ CH₃ [64]

และตำแหน่งที่สอง คือ ตำแหน่งการดูดกลืนที่ 603.38 เซนติเมตร⁻¹ ของเซลลูโลสเอซีเทต และ 589.05 เซนติเมตร⁻¹ ของเซลลูโลสเอซีเทตผสมกรดแทนนิก แสดงถึง CH vibration [65] โดยทั้งสองตำแหน่งนี้ไม่พบในสเปกตราของกรดแทนนิก

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากรดแทนนิกอยู่ในเซลลูโลสเอซีเทตจริง จากค่าสเปกตราของทั้งเซลลูโลสเอซีเทต และกรดแทนนิก ซึ่งพบอยู่ในสเปกตราของเซลลูโลสเอซีเทตผสมกรดแทนนิก

4.6 ผลการปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใย

4.6.1 การปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยในสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ ซาลีน

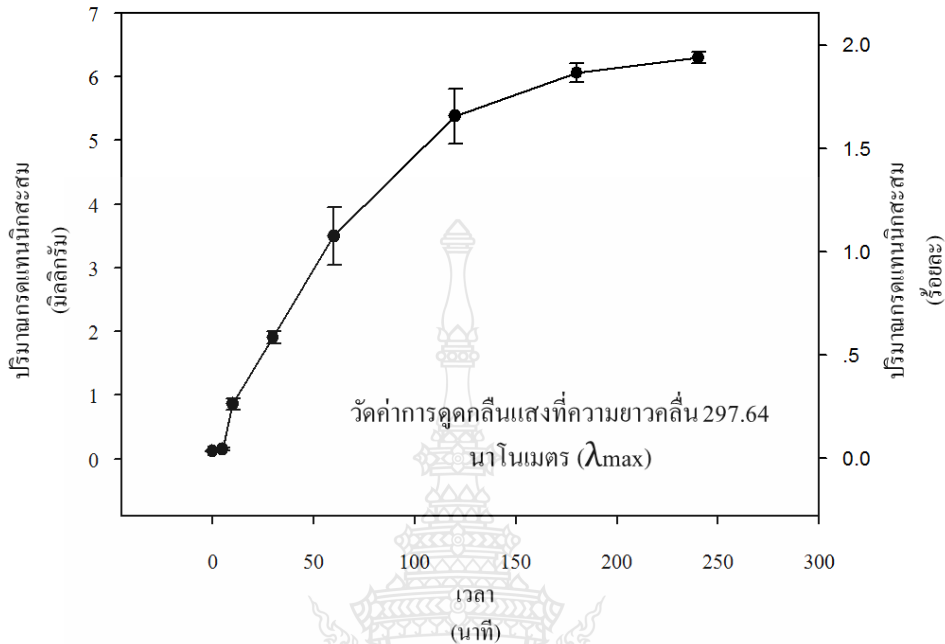
ผลการทดลองการปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยในสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ ซาลีน พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพื่อจำลองสภาวะของเหลวในร่างกายมนุษย์ อย่างไรก็ตาม ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าเมื่อเติมสารละลายเฟอร์ริก คลอไรด์ ลงในสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ ซาลีน เกิดการตกตะกอนสีเข้มขนาดเล็กในสารละลาย ซึ่งส่งผลต่อการวัดค่าการดูดกลืนแสง แต่เพื่อศึกษาการปลดปล่อยกรดแทนนิก จึงทดลองทำการศึกษาการปลดปล่อยกรดแทนนิกในน้ำกลั่นโดยตรง

4.6.2 การปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยในน้ำกลั่น

วิเคราะห์การปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยโดยยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) ได้ผลดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.24

ตารางที่ 4.13 ปริมาณของกรดแทนนิกสะสมที่ปลดปล่อยจากแผ่นเส้นใย ที่ช่วงเวลาต่างๆ

เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย	ปริมาณกรดแทนนิกสะสม (มิลลิกรัม)	ปริมาณกรดแทนนิกสะสม (ร้อยละ)
0	0.0039 ±0.0019	0.1200 ±0.0088	0.0370 ±0.0027
5	0.0094 ±0.0037	0.1489 ±0.0179	0.0459 ±0.0055
10	0.1533 ±0.0175	0.8574 ±0.0855	0.2642 ±0.0264
30	0.3592 ±0.0194	1.9065 ±0.0972	0.5876 ±0.0300
60	0.6624 ±0.0893	3.4986 ±0.4567	1.0782 ±0.1408
120	1.0071 ±0.0818	5.3788 ±0.4276	1.6577 ±0.1318
180	1.1118 ±0.0286	6.0608 ±0.1530	1.8679 ±0.0472
240	1.1296 ±0.0156	6.2993 ±0.0854	1.9414 ±0.0263



รูปที่ 4.24 ปริมาณกรดแทนนิกสะสมที่ปลดปล่อยออกมาจากแผ่นเส้นใยในน้ำกลั่น

จากผลการทดลองแผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซิเตตผสมกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซิเตตน้ำหนัก 800 มิลลิกรัม จะมีปริมาณกรดแทนนิกอยู่ 324.47 มิลลิกรัม (จากการคำนวณปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่ในเส้นใยเท่ากับร้อยละ 98.50 ดังตารางที่ 4.12) ปริมาณกรดแทนนิกที่ปลดปล่อยออกมาจากแผ่นเส้นใย แสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.24 ซึ่งพบว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นที่ 0 นาที ถึง 120 นาที เส้นกราฟมีความชันมากกว่าในช่วง 120 ถึง 180 นาที แสดงถึงในช่วงเวลาเริ่มต้น 0 นาที ถึง 120 นาที มีการปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยมากกว่าในช่วง 120 ถึง 180 นาที ซึ่งเส้นกราฟค่อนข้างคงที่ ปริมาณกรดแทนนิกสะสมที่วัดได้สูงสุดในการทดลองที่ 240 นาที คือ 6.2993 ± 0.0854 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.9414 ± 0.0263 ซึ่งมีปริมาณต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่ในแผ่นเส้นใย อาจเป็นผลมาจากเซลลูโลสแอซิเตตไม่สามารถละลายได้ในน้ำกลั่น ปริมาณกรดแทนนิกที่ออกมาจากแผ่นเส้นใยอาจเป็นกรดแทนนิกที่อยู่บริเวณผิวนอก หรือภายในเส้นใยใกล้บริเวณผิวเส้นใย อย่างไรก็ตามควรทำการทดลองการปลดปล่อยกรดแทนนิกในภาวะที่เหมาะสม เพื่อจำลองการใช้งานเป็นแผ่นห้ามเลือดกับร่างกายมนุษย์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการทดลองในครั้งนี้พบว่าแผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตสามารถเตรียมด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต ที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสแอซีเทตร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในตัวทำละลายอะซิโตนโดยเส้นใยที่ได้มีขนาด 3.59 ± 0.98 ไมโครเมตร

5.1.2 แผ่นเส้นใยที่เตรียมได้ในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและน้ำในสัดส่วน 80:20 85:15 และ 90:10 พบว่าสัดส่วนของตัวทำละลายผสมที่เหมาะสมคือ 90:10 โดยเส้นใยที่เตรียมได้มีลักษณะแบนคล้ายริบบิ้นมีขนาด 3.00 ± 0.76 ไมโครเมตร เมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำในตัวทำละลายผสมเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นและผิวเส้นใยไม่เรียบ

5.1.3 ผสมกรดแทนนิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 30 50 70 90 110 130 และ 150 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต และทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใย พบว่าสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใยได้ ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 70 เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยมีขนาดตั้งแต่ 3.00 ± 0.76 ไมโครเมตร จนถึง 6.33 ± 1.30 ไมโครเมตร แต่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 90 ถึง ร้อยละ 150 เส้นใยมีขนาดเล็กลง โดยมีขนาดตั้งแต่ 6.12 ± 1.29 ไมโครเมตร จนถึง 2.59 ± 0.79 ไมโครเมตร

5.1.4 วิเคราะห์ปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่จริงในเส้นใย พบว่ามีปริมาณกรดแทนนิกอยู่ในเส้นใยตั้งแต่ร้อยละ 86.95 ± 6.41 ถึงร้อยละ 99.18 ± 1.73

5.1.5 การปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยในน้ำกลั่น ภายในเวลา 240 นาที พบว่ามีปริมาณของกรดแทนนิกสะสมสูงสุดออกมาจากแผ่นเส้นใย 6.2993 ± 0.0854 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.94 ± 0.03 จากปริมาณที่มีอยู่จริงในแผ่นเส้นใย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาการปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยในการทดลองครั้งนี้ ใช้สารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ ซาลิน พีเอช 7.4 เป็นตัวกลาง เพื่อจำลองภาวะการใช้งานจริงกับร่างกายมนุษย์ แต่เมื่อเติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ พบการตกตะกอนขนาดเล็กสีเข้ม ทำให้ไม่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามควรทำการทดลองการปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใยในภาวะที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงกับร่างกายมนุษย์

- 5.2.2 ควรมีการทดลองวัดปริมาณตัวทำละลายที่เหลืออยู่ในแผ่นเส้นใย
- 5.2.3 ควรมีการทดสอบความระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อของแผ่นเส้นใย
- 5.2.4 ควรมีการทดลองประสิทธิภาพการห้ามเลือดในห้องปฏิบัติการ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผ่นห้ามเลือดในทางการค้า



รายการอ้างอิง

- [1] Shukla, A., Fang, J.C., Puranam, S., Jensen, F. R., & Hammond, P. T., "Hemostatic Multilayer Coating," *Advanced Materials*, vol. 24, No. 4, pp. 492-496, January 2012.
- [2] Aubourg, R., Putzolu, J., Bouche, S., Galmiche, H., Denis, C., Andon, A., ... Partensky, C., "Surgical hemostatic agents: assessment of drugs and medical devices," *Journal of Visceral Surgery*, vol. 148, No. 6, pp. e405-e408, December 2011.
- [3] Arnaud, F., Teranishi, K., Tomori, T., Carr, W., McCarron, R., Spring, S., & Bethesda, "Comparison of 10 hemostatic dressings in a groin puncture model in swine," *Journal of Vascular Surgery*, vol. 50, No. 3, pp. 632-639, September 2009.
- [4] Ong, S. Y., Wu, J., Moochhala, S. M., Tan, M. H., & Lu, J., "Development of a chitosan-based wound dressing with improved hemostatic and antimicrobial properties," *Biomaterials*, vol. 29, No. 32, pp. 4323-4332, November 2008.
- [5] Granville-Chapman, J., Jacobs, N., & Midwinter, M. J., "Pre-hospital haemostatic dressings: a systematic review," *Injury*, vol. 42, No. 5, pp. 447-459, May 2011.
- [6] Maurer, P. K., Ekholm, S. E., McDonald, J. V., Sands, M., & Kido, D. K., "Postoperative radiographic appearance of intracranial hemostatic gelatin sponge," *Surgical Neurology*, vol. 26, No. 6, pp. 562-566, December 1986.
- [7] Hiccup, *Safehouse labs (online)*, 2010, Available: www.safehouse.co.th/blog/2010/10/23/ก๊าวไปอีกชั้น-กับสารห้ำ, (11 กุมภาพันธ์ 2556).
- [8] ทีมข่าวไทยรัฐออนไลน์ (บรรณาธิการ), *ไทยรัฐ (online)*, 2555, Available: www.thairath.co.th/content/edu/291258, (11 กุมภาพันธ์ 2556).
- [9] ฝรั่ง, *สรรพคุณ...สมุนไพร (online)*, ม.ป.ป., Available: www.rspg.or.th/plants_data/herbs/herbs_07_6.htm, (11 กุมภาพันธ์ 2556).
- [10] ก๊วยน้ำว่า, *สรรพคุณ...สมุนไพร (online)*, ม.ป.ป., Available: www.rspg.or.th/plants_data/herbs/herbs_13_1.htm, (11 กุมภาพันธ์ 2556).
- [11] Akah, P. A., "Haemostatic Activity of Aqueous Leaf Extract of *Ageratum conyzoides* L.," *Pharmaceutical Biology*, vol. 26, No. 2, pp. 97-101, 1988.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [12] Bowlin, G. L., Simpson, D. G., Bowman, J. R., & Rothwell, S. W., "Electrospun dextran fibers and devices formed therefrom," US20110150973 A1, 23 June, 2011.
- [13] Spasova, M., Paneva, D., Manolova, N., Radenkov, & P., Rashkov, I., "Electrospun chitosancoated fibers of poly(L-lactide) and poly(l-lactide)/poly(ethylene glycol): preparation and characterization," *Macromolecular Bioscience*, vol. 8, No. 2, pp. 153-162, February 2008.
- [14] Chuysinuan, P., Chimnoi, N., Techasakul, S., & Supaphol, P., "Gallic acid-loaded electrospun poly(L-lactic acid) fiber mats and their release characteristic," *Macromolecular Chemistry and Physics*, vol. 210, pp. 814-822, 2009.
- [15] Taepaiboon, P., Rungsardthong, U., & Supaphol P., "Vitamin-loaded electrospun cellulose acetate nanofiber mats as transdermal and dermal therapeutic agents of vitamin A acid and Vitamin E," *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 67, No. 2, pp. 387-397, September 2007.
- [16] Rodriguez , K. Gatenholm, P., & Renneckar, S., "Electrospinning cellulosic nanofibers for biomedical applications: structure and in vitro biocompatibility," *Cellulose*, vol. 19, pp. 1583-1598, June 2012.
- [17] Kampeerapappun, P., "The Design, Characteristics, and Application of Polyurethane Dressings using the Electrospinning Process," Ph.D. Dissertation, Department of Chemistry, The University of Akron, Ohio, USA, 2008.
- [18] Anton, F., "Process and apparatus for preparing artificial threads," US 1975504 A, 2 October, 1934.
- [19] Anton, F., "Method and apparatus for spinning" US 2349950 A, 30 May, 1944.
- [20] Gladding, E. K., "Apparatus for the production of filaments, threads, and the like," US2168027 A, 1 August, 1939.
- [21] Cockshott, I. D., Fildes, F. J. T., Martin, G. E., "Fibrillar lining for prosthetic device," US4044404 A, 30 August, 1977.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [22] Cockshott, I. D., Martin, G. E., McAloon, K. T., "Porous fluoropolymeric fibrous sheet and method of manufacture," US4127706 A, 28 November, 1978.
- [23] Doshi, J., & Reneker, D. H., "Electrospinning process and application of electrospun fibers," *Journal of Electrostatics*, vol. 35, No. 2-3, pp. 151-160, August 1995.
- [24] Frenot, A., & Chronakis, I. S., "Polymer nanofibers assembled by electrospinning," *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, vol. 8, No. 1, pp. 64-75, March 2003.
- [25] Subbiah, T., Bhat, G. H., Tock, R. W., Parameswaran, S., & Ramkumar, S. S., "Electrospinning of nanofibers," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 96, No. 2, pp. 557-569, February 2005.
- [26] Hansen, L. M., Smith, D. J., Reneker, D. H., & Kataphinan, W., "Water absorption and mechanical properties of electrospun structured hydrogels," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 95, No. 2, pp. 427-434, November 2004.
- [27] Rim, N. G., Shin, C. S., & Shin, H., "Current approaches to electrospun nanofibers for tissue engineering," *Biomedical Materials (Electronic)*, vol. 8, 2013, p. 014102, Available: IOP Publishing, IOP Science (10 December 2013).
- [28] Haggi, A. K., & Akbari, M., "Trends in electrospinning of natural nanofibers," *Physica Status Solidi (a)*, vol. 204, No. 6, pp. 1830-1834, May 2007.
- [29] Koshi, A., Yim, K., & Shivkumar, S., "Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning," *Materials Letters*, vol. 58, No. 3-4, pp. 493-497, January 2004.
- [30] Lim, Y. M., Gwon, H. J., Jeun, J. P., & Nho, Y. C., "Preparation of cellulose-based nanofibers using electrospinning," *Nanofibers (Electronic)*, 2010, Available: InTech Publishing, InTech (10 December 2013).
- [31] Akatsu, H., Hoyer, R., & Ramachandran, R., "Method to minimize watermarks on silicon substrates," US5932493 A, 3 August, 1999.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [32] Salagera, J. -L., Antóna, R. E., Sabatinib, D. A., Harwellc, J. H., Acostac, E. J., & Tolosa, L. I., “Enhancing solubilization in microemulsions-state of the art and current trends,” *Journal of Surfactants and Detergents*, vol. 8, No. 1, pp. 3-21, January 2005.
- [33] Fong, H., Chun, I., & Reneker, D. H., “Beaded nanofibers formed during electrospinning,” *Polymer*, vol. 40, pp. 4585-4592, July 1999.
- [34] Zong, X., Kim, K., Fang, D., Ran, S., Hsiao, B. S., & Chu, B., “Structure and process relationship of electrospun bioabsorbable nanofiber membranes,” *Polymer*, vol. 43, No. 16, pp. 4403-4412, April 2002.
- [35] Medeiros, E. S., Mattoso, L. H. C., Ito, E. N., Gregorski1, K. S., Robertson1, G. H., Offeman, R. D., ... Wood, D. F., Orts, W. J., & Imam, H. S., “Electrospun nanofibers of poly(vinyl alcohol) reinforced with cellulose nanofibrils,” *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, vol. 2, No. 3, pp. 1-12, 2008.
- [36] Zargham, S., Bazgir, S., Tavakoli, A., Rashidi, A. S., & Damerchely, R., “The effect of flow rate on morphology and deposition area of electrospun nylon 6 nanofiber,” *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 7, No. 4, pp.42-49, 2012.
- [37] He, J. H., “Effect of temperature on surface tension of a bubble and hierarchical ruptured bubbles for nanofiber fabrication,” *Thermal Science*, vol. 16, No. 1, pp. 327-330, 2012.
- [38] Vrieze, S. D., Camp, T. V., Nelvig, A., Hagstrom, B., Westbroek, P., & Clerck, K. D., “The effect of temperature and humidity on electrospinning,” *Journal of Materials Science*, vol. 44, pp. 1357-1362, October 2008.
- [39] MacDiarmid, A. G., Jones, W. E. Jr., Norris, N. D., Gao, J., Johnson, A. T. Jr., Pinto, N. J., Hone, J., Han, B., Ko, F. K., Okuzaki, H., & Llaguno, M., “Electrostatically-generated nanofibers of electronic polymers,” *Synthesis Metals*, vol. 119, pp. 27-30, 2001.
- [40] Malburg, S. (Ed.), *Bright Hub (online)*, 2010, Available: www.brighthub.com/environment/green-living/articles/91967.aspx, (4 September, 2012).
- [41] “Cellulose acetate,” *Index of /avitabil/testi (Online)*, 2009, Available: wpage.unina.it/avitabil/testi/AcetilCellulosa.pdf, (27 June, 2013).

รายการอ้างอิง (ต่อ)

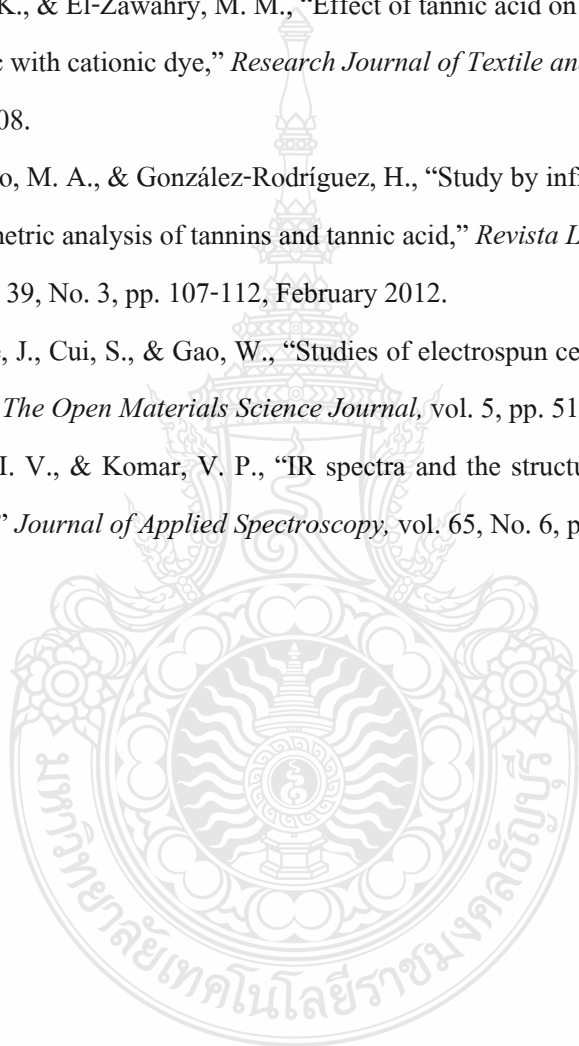
- [42] Herman, F. M., et al., *Encyclopedia of polymer science and engineering*, 2nd edition. vol. 3. New York : John Wiley & Sons Inc. 1985.
- [43] “Global acetate manufacturers association,” *Cellulose acetate polymer (Online)*, n.d., Available: www.acetateweb.com/pdf/Att.10_GAMA-article-prfl.pdf, (27 June, 2013).
- [44] สมศักดิ์ วรมงคลชัย, “การสกัดแทนนินจากเปลือกไม้โกงกางในคอลัมน์แบบพัลส์ประเภทวงแหวนกั๊บบาน,” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
- [45] สรศักดิ์ เหล็กไชยพันธุ์, *ตำราเภสัชเวทพฤกษแทนนิน*, เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2531.
- [46] รัฐพล อมรสิน, “การสกัดสารประกอบแทนนินจากใบสบู่ดำ,” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.
- [47] Suwantong, O., Opanasopit, P., Ruktanonchai, U., & Supaphol, P., “Electrospun cellulose acetate fiber mats containing curcumin and release characteristics of the herbal substance,” *Polymer*, vol. 48, pp. 7546-7557, December 2007.
- [48] Phiriyawirut, M. & Phaechamud, T., “Gallic acid-loaded cellulose acetate electrospun nanofibers: thermal properties, mechanical properties, and drug release behavior,” *Open Journal of Polymer Chemistry*, vol. 2, pp. 21-29, February 2012.
- [49] Thitiwongsawet, P., Ouykul, P., & Khaoroppan, A., “2,6-dichloro-4-nitroaniline-loaded electrospun cellulose acetate fiber mats and their release characteristics,” *Asean Journal of Chemical Engineering*, vol. 10, No. 2, pp. 41-47, December 2010.
- [50] Gülçin, I., Huyut, Z., Elmastas, M., & Aboul-Enein, H. Y., “Radical scavenging and antioxidant activity of tannic acid,” *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 3, No. 1, pp. 43-53, January 2010.
- [51] ปิยะพร คามภิรภาพพันธ์ และ นิพนธ์ พนมเขต, “การพัฒนาเส้นใยสององค์ประกอบเพื่อการปลดปล่อยปุ๋ยสำหรับการปลูกกล้วยไม้,” รายงานการวิจัย, คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, กรุงเทพมหานคร, 2554.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [52] Falcão, L., & Araújo, M. E. M., “Tannins characterization in new and historic vegetable tanned leathers fibres by spot tests,” *Journal of Cultural Heritage*, vol. 12, pp. 149-156, December 2010.
- [53] Han, T., Yarin, A. L., & Reneger, D. H., “Viscoelastic electrospun jets: Initial stresses and elongational rheometry” *Polymer*, vol. 49, pp. 1651-1658, January 2008.
- [54] Chowdhury, M. & Stylios, G., “Effect of experimental parameters on the morphology of electrospun nylon 6 fibres,” *International Journal of Basic & Applied Sciences*, vol. 10, No. 6, pp. 70-78, December 2010.
- [55] Koombhongse, S., Liu, W., & Reneker, D.H., “Flat polymer ribbons and other shapes by electrospinning,” *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, vol. 39, pp. 2598-2606, July 2001.
- [56] Ramakrishna S., Fujihara, K., Teo, W. -E., Lim, T. -C., & Ma, Z., *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*, Singapore : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005.
- [57] Garg, K. & Bowlin, G. L., “Electrospinning jets and nanofibrous structures,” *Biomicrofluidics*, vol. 5, No. 1, pp. 013403-1 – 013403-19, March 2011.
- [58] Madsen, C. G., Skov, A., Jørgensen, L., Baldursdóttir, S., & Medicott, N. J., “Effect of mixed solvents on polymer conformation – Correlation between the Hilderbrand/Hansen solubility parameters and the intrinsic viscosity of polymer solution,” *Annual Transactions of The Nordic Rheology Society*, vol. 21, pp. 347-352, 2013.
- [59] Liu, H., & Hsieh, Y. L., “Ultrafine fibrous cellulose membranes from electrospinning of cellulose acetate,” *Journal of Polymer Science B*, vol. 40, No. 18, pp. 2119-2129, September 2002.
- [60] Perron, N. R., & Brumaghim, J. L., “A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding,” *Cell Biochemistry and Biophysics*, vol. 53, No. 2, pp. 75-100, March 2009.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [61] Cengiz, F., Krucińska, F., Gliścińska, E., Chrzanowski, M., & Göktepe, F., “Comparative analysis of various electrospinning methods of nanofibre formation,” *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, vol. 17, No. 1, pp. 13-19, March 2009.
- [62] El-Gabry, L. K., & El-Zawahry, M. M., “Effect of tannic acid on the dyeing process of nylon 6 fabric with cationic dye,” *Research Journal of Textile and Apparel*, vol. 12, No. 4, pp. 21-30, 2008.
- [63] Pantoja-Castro, M. A., & González-Rodríguez, H., “Study by infrared spectroscopy and thermogravimetric analysis of tannins and tannic acid,” *Revista Latinoamericana de Química*, vol. 39, No. 3, pp. 107-112, February 2012.
- [64] Zhou, W., He, J., Cui, S., & Gao, W., “Studies of electrospun cellulose acetate nanofibrous membranes,” *The Open Materials Science Journal*, vol. 5, pp. 51-55, May 2011.
- [65] Skornyakov, I. V., & Komar, V. P., “IR spectra and the structure of plasticized cellulose acetate films,” *Journal of Applied Spectroscopy*, vol. 65, No. 6, pp. 911-918, 1998.

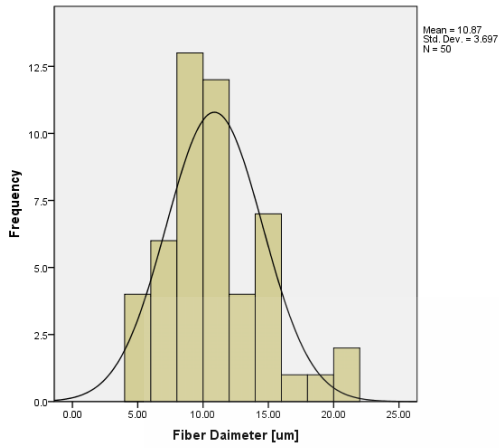


ภาคผนวก

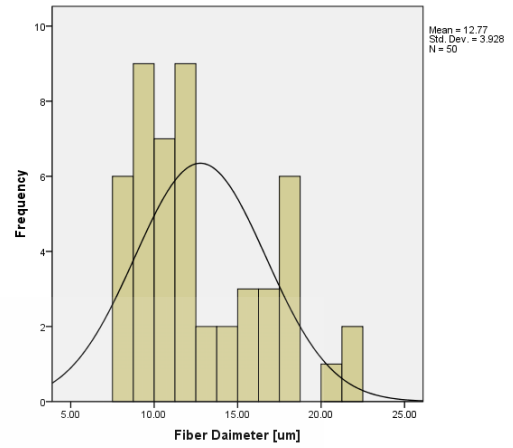




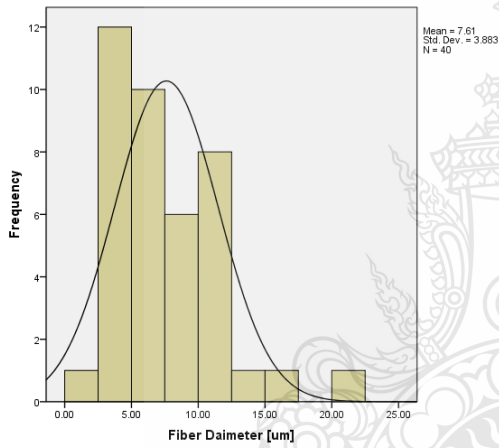
ภาคผนวก ก
อัตราค่าธรรมเนียมของเส้นใย



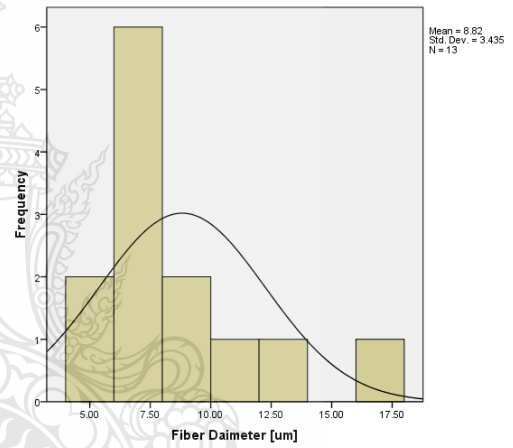
ความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก
ขนาดหยด (bead)



ความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก
ขนาดหยด (bead)

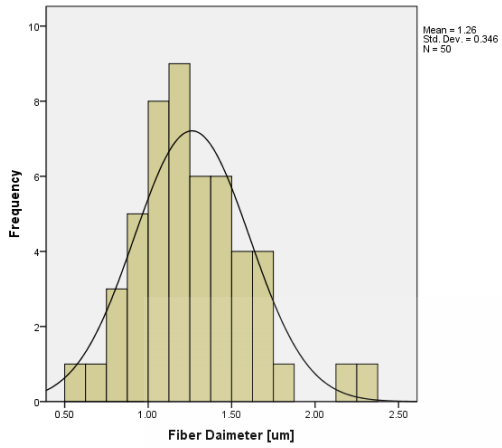


ความเข้มข้นร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก
ขนาดหยด (bead)

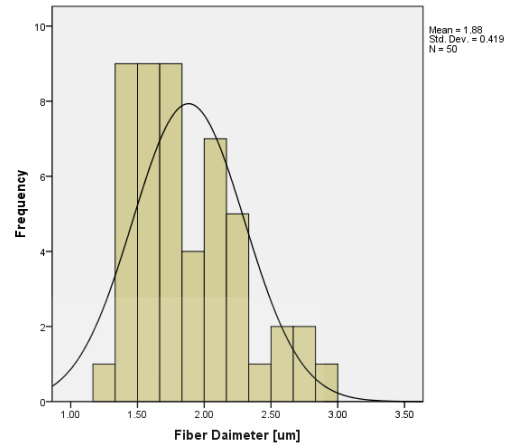


ความเข้มข้นร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก
ขนาดหยด (bead)

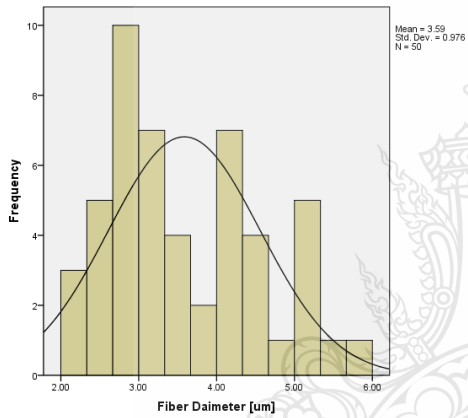
รูปที่ ก.1 ผลของความเข้มข้นของเซลล์ โคลสแอสเทตในตัวทำละลายอะซิโตน ต่อสัณฐานวิทยาและขนาดของเส้นใย ที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร



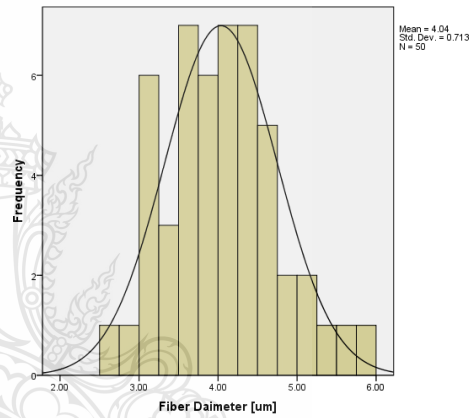
ความเข้มข้นร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก
ขนาดเส้นใย



ความเข้มข้นร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก
ขนาดเส้นใย

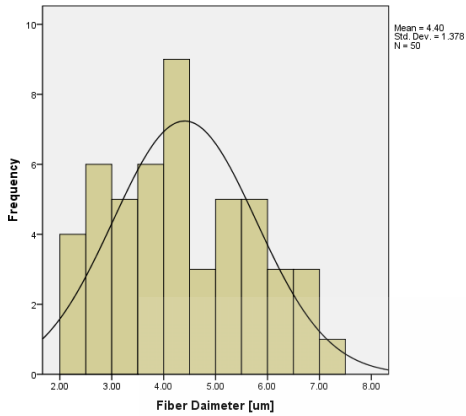


ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก
ขนาดเส้นใย

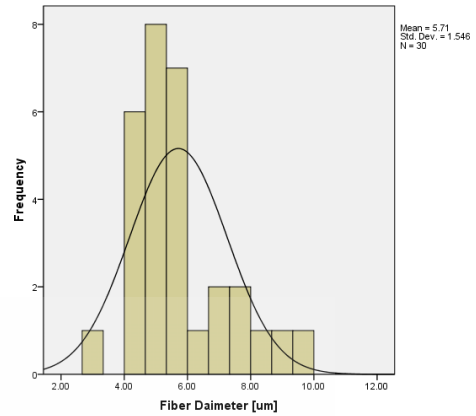


ความเข้มข้นร้อยละ 17 โดยน้ำหนัก
ขนาดเส้นใย

รูปที่ ก.1 ผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสเอซีเทตในตัวทำละลายอะซิโตน ต่อสัณฐานวิทยาและขนาดของเส้นใย ที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร (ต่อ)

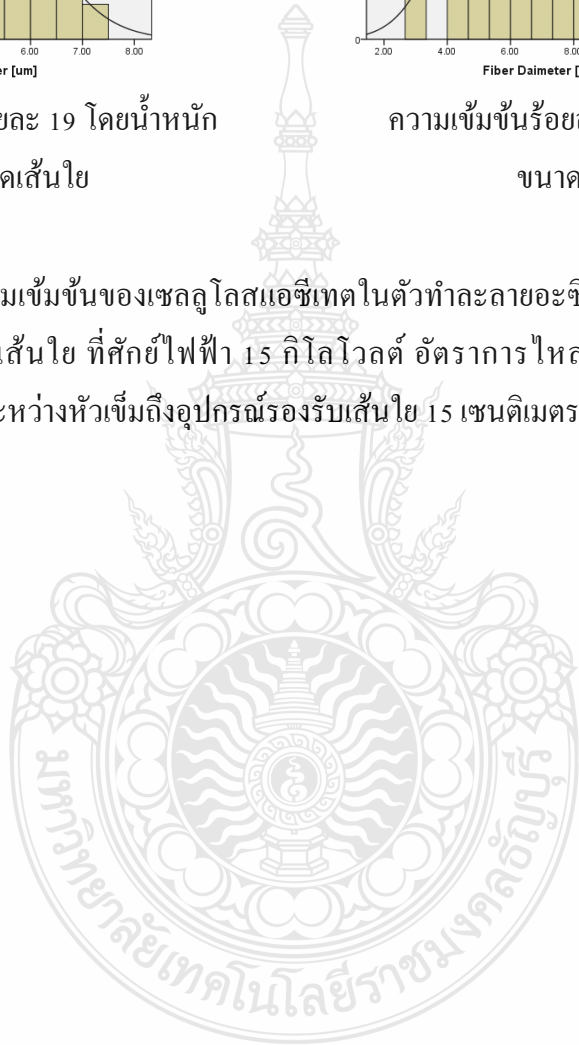


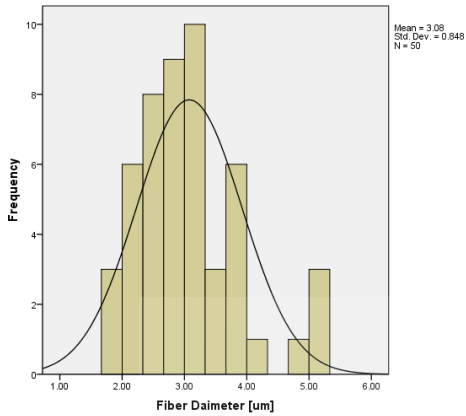
ความเข้มข้นร้อยละ 19 โดยน้ำหนัก
ขนาดเส้นใย



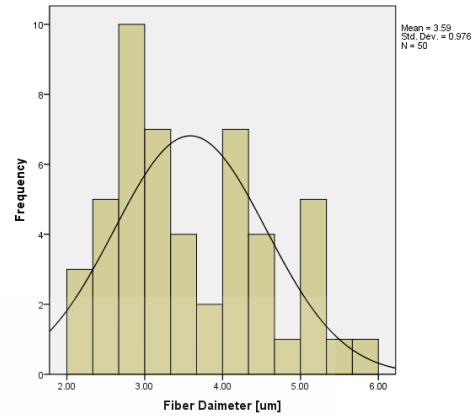
ความเข้มข้นร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก
ขนาดเส้นใย

รูปที่ ก.1 ผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสแอซีเทตในตัวทำละลายอะซิโตน ต่อสัดส่วนวิทยาและขนาดของเส้นใย ที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร (ต่อ)

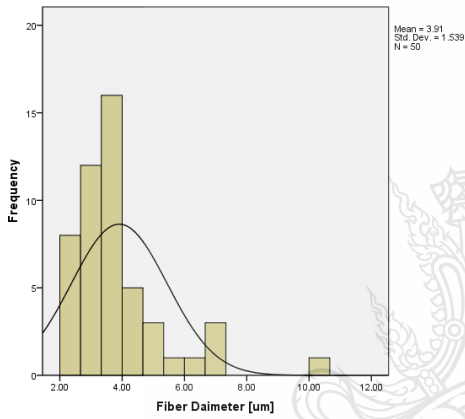




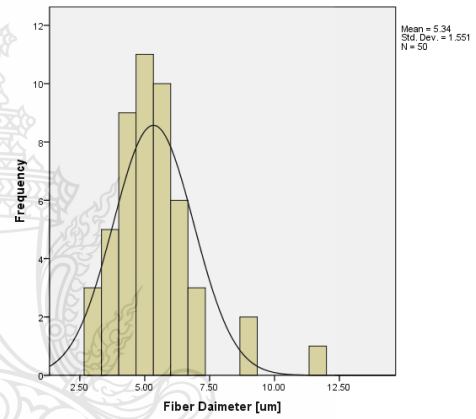
อัตราการไหล 5 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง
ขนาดเส้นใย



อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง
ขนาดเส้นใย

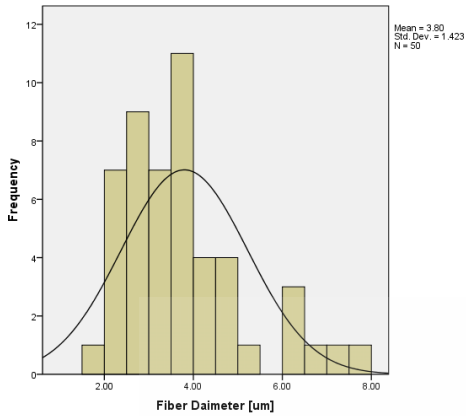


อัตราการไหล 15 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง
ขนาดเส้นใย

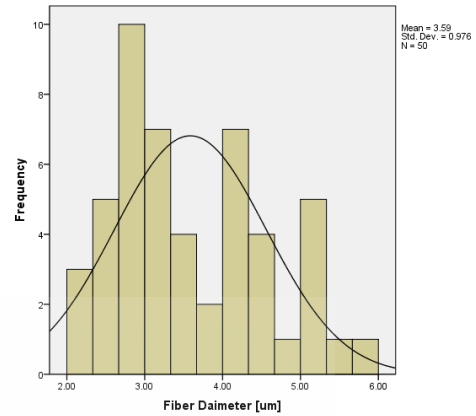


อัตราการไหล 20 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง
ขนาดเส้นใย

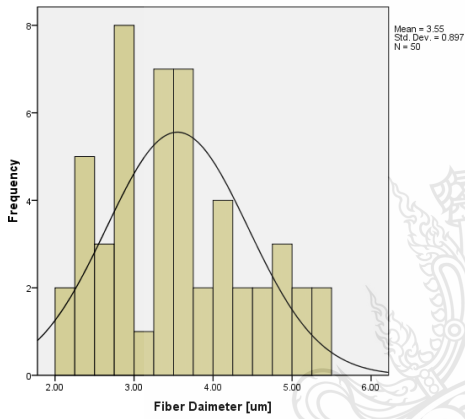
รูปที่ ก.2 ผลของอัตราการไหล ต่อสัณฐานวิทยาและขนาดของเส้นใย ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเตตในตัวทำละลายอะซิโตน ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร



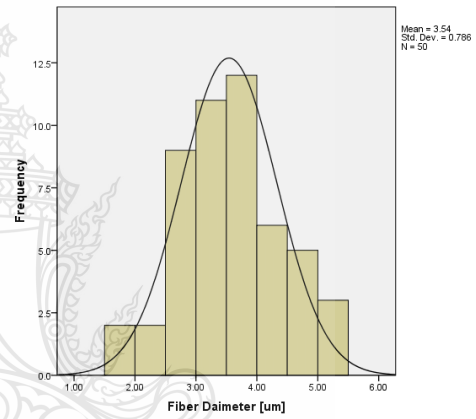
สัถย์ไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์
ขนาดเส้นใย



สัถย์ไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์
ขนาดเส้นใย

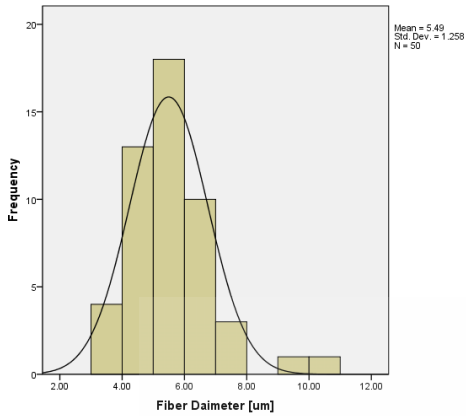


สัถย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์
ขนาดเส้นใย

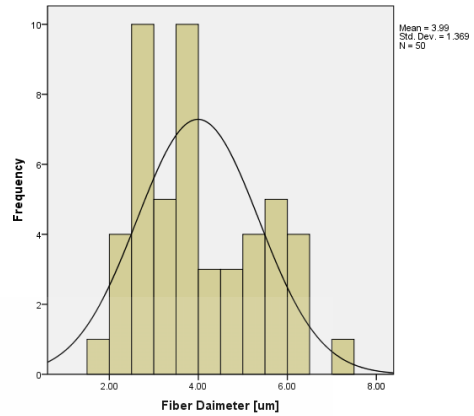


สัถย์ไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์
ขนาดเส้นใย

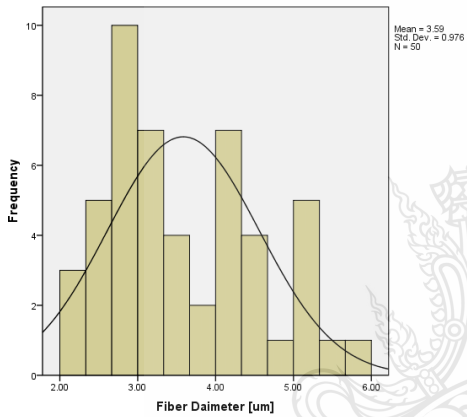
รูปที่ ก.3 ผลของสัถย์ไฟฟ้า ต่อสัถฐานวิทยาและขนาดของเส้นใย ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเทตในตัวทำละลายอะซิโตน อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร



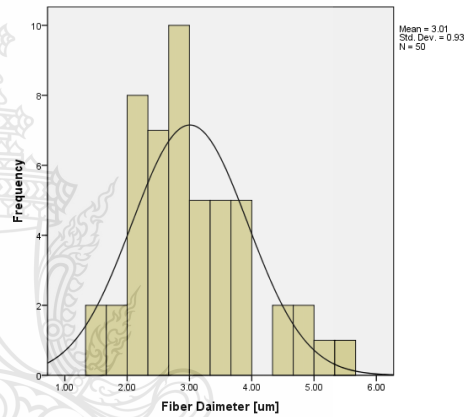
ระยะห่าง 5 เซนติเมตร
ขนาดเส้นใย



ระยะห่าง 10 เซนติเมตร
ขนาดเส้นใย

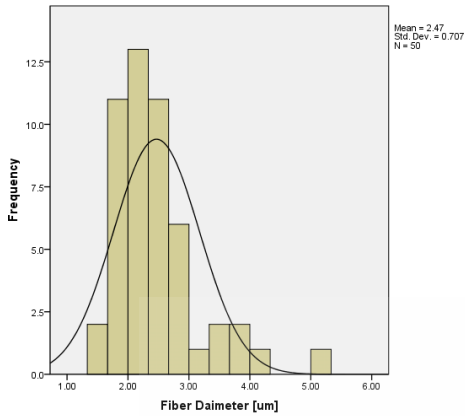


ระยะห่าง 15 เซนติเมตร
ขนาดเส้นใย



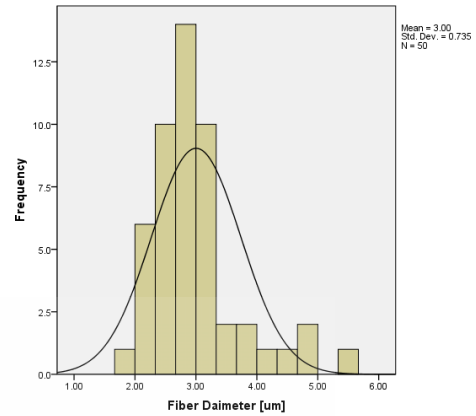
ระยะห่าง 20 เซนติเมตร
ขนาดเส้นใย

รูปที่ ก.4 ผลของระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย ต่อลักษณะทางวิทยาและขนาดของเส้นใย ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเตตในตัวทำละลายอะซิโตน ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง



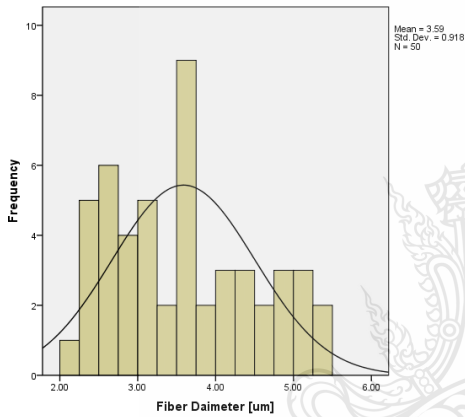
100 : 0

อะซิโตน : น้ำ



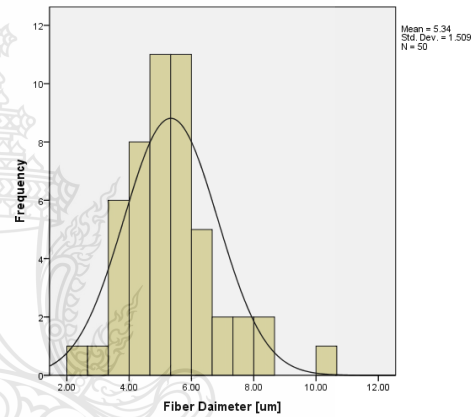
90 : 10

อะซิโตน : น้ำ



85 : 15

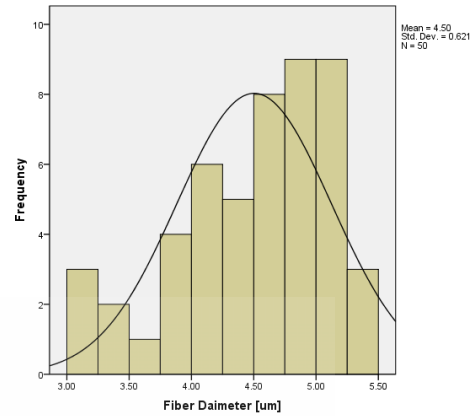
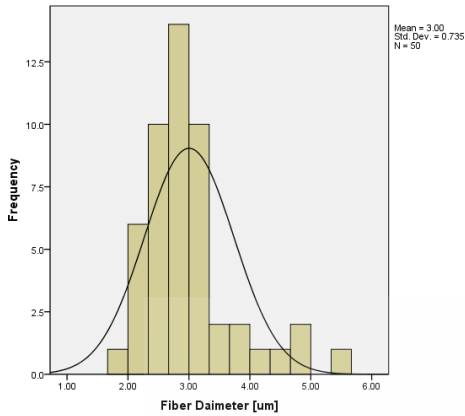
อะซิโตน : น้ำ



80 : 20

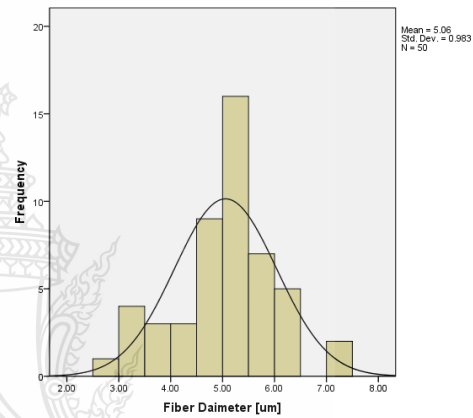
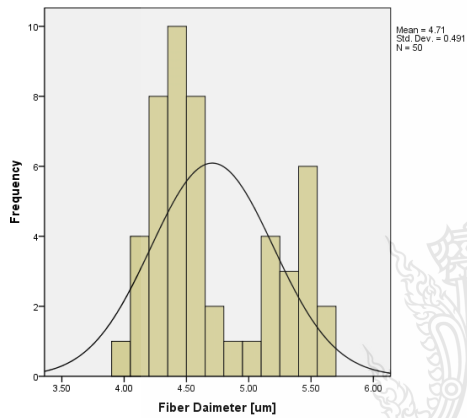
อะซิโตน : น้ำ

รูปที่ ก.5 ผลของสัดส่วนตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและน้ำ ต่อสัณฐานวิทยาและขนาดของเส้นใย ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเทต อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร



ร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเตต

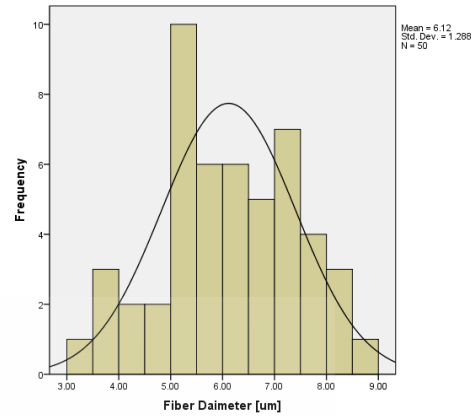
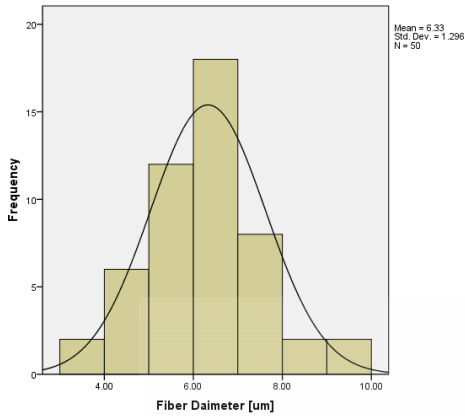
ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเตต



ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเตต

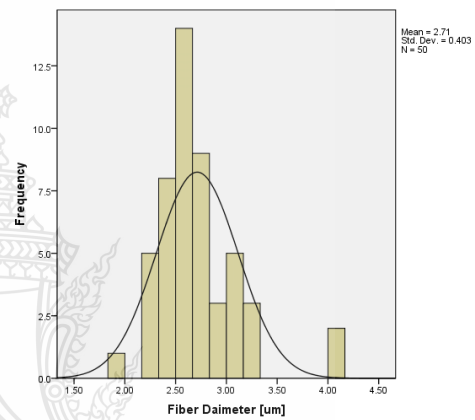
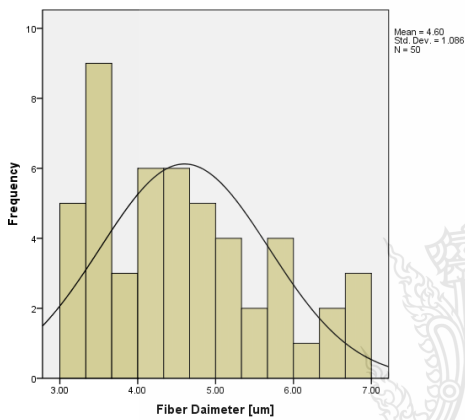
ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเตต

รูปที่ ก.6 ผลของปริมาณกรดแทนนิก ต่อสัณฐานวิทยาและขนาดของเส้นใยเซลลูโลสแอซีเตตผสมกรดแทนนิกในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตน และ น้ำสัดส่วน 90 ต่อ 10 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสแอซีเตต อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร



ร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสเอเชียเทต

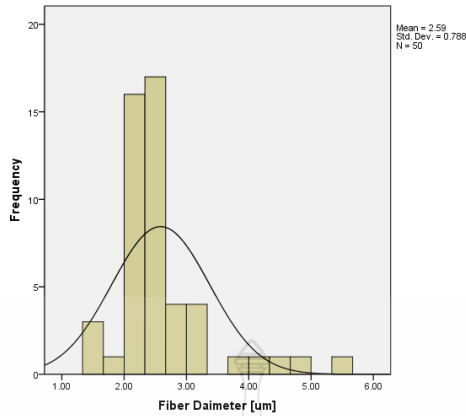
ร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสเอเชียเทต



ร้อยละ 110 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสเอเชียเทต

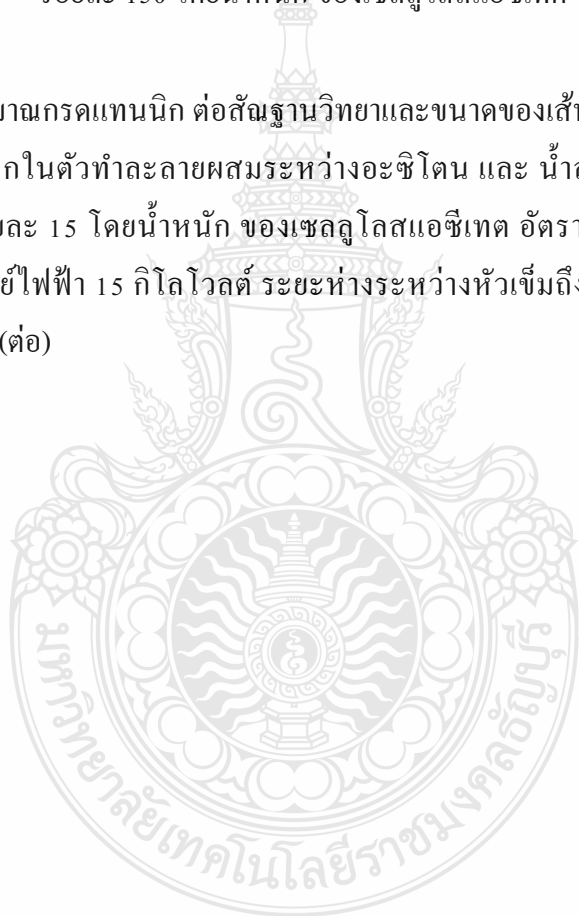
ร้อยละ 130 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสเอเชียเทต

รูปที่ ก.6 ผลของปริมาณกรดแทนนิก ต่อลักษณะวิทยาและขนาดของเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิกในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตน และ น้ำสัดส่วน 90 ต่อ 10 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสเอเชียเทต อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร (ต่อ)



ร้อยละ 150 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสเอเชียเทต

รูปที่ ก.6 ผลของปริมาณกรดแทนนิก ต่อสัณฐานวิทยาและขนาดของเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิกในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตน และ น้ำสัดส่วน 90 ต่อ 10 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ของเซลลูโลสเอเชียเทต อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร ต่อ ชั่วโมง ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างหัวเข็มถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร (ต่อ)



ภาคผนวก ข
การคำนวณค่าการละลายของตัวทำละลายผสม



สมการคำนวณค่าการละลายของตัวทำละลายผสม [59]

$$\bar{\delta} = \sum_i \phi_i \delta_i \quad (ข1)$$

- เมื่อ $\bar{\delta}$ คือ ค่าการละลายของตัวทำละลายผสม
 ϕ_i คือ สัดส่วนของตัวทำละลาย
 δ_i คือ ค่าการละลายของตัวทำละลาย

ตารางที่ ข.1 ค่าการละลายของตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนกับน้ำคำนวณจากสมการ ข1

สัดส่วนของตัวทำละลาย	ค่าการละลายของฮิลเดอบราน (Hildebrand solubility parameter) (แคลอรี ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร) ^{1/2} (cal/cm ³) ^{1/2}
อะซิโตน	9.77
อะซิโตน:น้ำ สัดส่วน 90:10	11.14
อะซิโตน:น้ำ สัดส่วน 85:15	11.83
อะซิโตน:น้ำ สัดส่วน 80:20	12.52
น้ำ	23.50



สมการจากกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) รูปที่ 3.2

$$y = 3.3367x + 0.1405 \quad (ค1)$$

เมื่อ y เท่ากับ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ (absorbent) ความยาวคลื่น 574.5 นาโนเมตร (λ_{max}) และ x เท่ากับ ปริมาณกรดแทนนิก (มิลลิกรัม) ที่ต้องการหา ทำการแทนค่า y เพื่อค่า x จะได้สมการดังนี้

$$x = \frac{y - 0.1405}{3.3367} \quad (ค2)$$

ตารางที่ ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก ที่วัดได้โดยเครื่อง ยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ร้อยละปริมาณกรดแทนนิก*	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
10	0.149	0.148	0.148	0.148
30	0.164	0.164	0.162	0.163
50	0.173	0.173	0.172	0.173
70	0.180	0.181	0.181	0.181
90	0.187	0.186	0.186	0.186
110	0.192	0.191	0.191	0.191
130	0.196	0.195	0.196	0.196
150	0.199	0.199	0.200	0.199

* ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับปริมาณของเซลลูโลสแอซีเทต

ตารางที่ ค.2 ปริมาณกรดแทนนิกโดยการแทนค่า y (ค่าการดูดกลืนแสง) เพื่อหาค่า x (ปริมาณกรดแทนนิก) จากสมการ ค2

ร้อยละปริมาณกรดแทนนิก*	ตัวอย่างที่ 1 (มิลลิกรัม)	ตัวอย่างที่ 2 (มิลลิกรัม)	ตัวอย่างที่ 3 (มิลลิกรัม)	ค่าเฉลี่ย (มิลลิกรัม)
10	2.547	2.248	2.248	2.348
30	7.043	7.043	6.443	6.843
50	9.740	9.740	9.440	9.640
70	11.838	12.138	12.138	12.038
90	13.936	13.636	13.636	13.736
110	15.434	15.135	15.135	15.235
130	16.633	16.334	16.633	16.533
150	17.532	17.532	17.832	17.632

* ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับปริมาณของเซลล์โลสเอเชียเทต

ตารางที่ ค.3 ปริมาณกรดแทนนิกจากการคำนวณเทียบกับปริมาณกรดแทนนิกจากกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน

ร้อยละปริมาณกรดแทนนิก*	ค่าจากการวัด (มิลลิกรัม)	ค่าทางทฤษฎี (มิลลิกรัม)	ปริมาณที่มีอยู่จริง (ร้อยละ)
10	2.348	2.700	86.95 ±6.41
30	6.843	6.900	99.16 ±5.02
50	9.640	10.000	96.40 ±1.73
70	12.038	12.350	97.47 ±1.40
90	13.736	14.210	96.67 ±1.22
110	15.235	15.571	96.95 ±1.10
130	16.533	16.950	97.54 ±1.02
150	17.632	18.000	97.96 ±0.96

* ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับปริมาณของเซลล์โลสเอเชียเทต

ตารางที่ ค.4 ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของกรดแทนนิกเทียบกับน้ำหนักแผ่นเส้นใย

ร้อยละปริมาณ กรดแทนนิก*	ปริมาณของ เซลลูโลสเอเชียเทต		น้ำหนักของแผ่น เส้นใยเซลลูโลส เอเชียเทตผสมกรด แทนนิก (กรัม)	ปริมาณกรด แทนนิกเทียบ กับน้ำหนัก ของแผ่นเส้น ใย (ร้อยละ)
	ร้อยละ 15 โดย น้ำหนัก ใน สารละลาย 100 กรัม (กรัม)	ปริมาณกรดแทน นิกในแผ่นเส้นใย (กรัม)		
10	15	1.5	16.5	9.09
30	15	4.5	19.5	23.08
50	15	7.5	22.5	33.33
70	15	10.5	25.5	41.18
90	15	13.5	28.5	47.37
110	15	16.5	31.5	52.38
130	15	19.5	34.5	56.52
150	15	22.5	37.5	60.00

* ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับปริมาณของเซลลูโลสเอเชียเทต



ภาคผนวก ง
การปลดปล่อยกรดแทนนิกจากแผ่นเส้นใย

สมการจากกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) รูปที่ 3.4

$$y = 0.2125x + 0.0216 \quad (ง1)$$

เมื่อ y เท่ากับ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ (absorbent) ความยาวคลื่น 297.64 นาโนเมตร (λ_{\max}) และ x เท่ากับ ปริมาณกรดแทนนิก (มิลลิกรัม) ที่ต้องการหา ทำการแทนค่า y เพื่อค่า x จะได้สมการดังนี้

$$x = \frac{y - 0.0216}{0.2125} \quad (ง2)$$

ตารางที่ ง.1 ค่าการดูดกลืนแสงของกรดแทนนิกผสมที่ปลดปล่อยจากแผ่นเส้นใย ณ เวลาต่าง ๆ วัดได้โดยเครื่อง ยูวี-วิซิบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1 (S1)	ตัวอย่างที่ 2 (S2)	ตัวอย่างที่ 3 (S3)	ค่าเฉลี่ย
0	0.0056	0.0042	0.0019	0.0039 ±0.0019
5	0.0051	0.0117	0.0114	0.0094 ±0.0037
10	0.1722	0.1499	0.1378	0.1533 ±0.0175
30	0.3810	0.3437	0.3530	0.3592 ±0.0194
60	0.5796	0.6505	0.7570	0.6624 ±0.0893
120	0.9464	0.9748	1.1001	1.0071 ±0.0818
180	1.0843	1.1096	1.1414	1.1118 ±0.0286
240	1.1197	1.1215	1.1476	1.1296 ±0.0156

ตารางที่ ง.2 ปริมาณกรดแทนนิกจากการคำนวณโดยการแทนค่า y (ค่าการดูดกลืนแสง) เพื่อหาค่า x (ปริมาณกรดแทนนิก) จากสมการ ง2

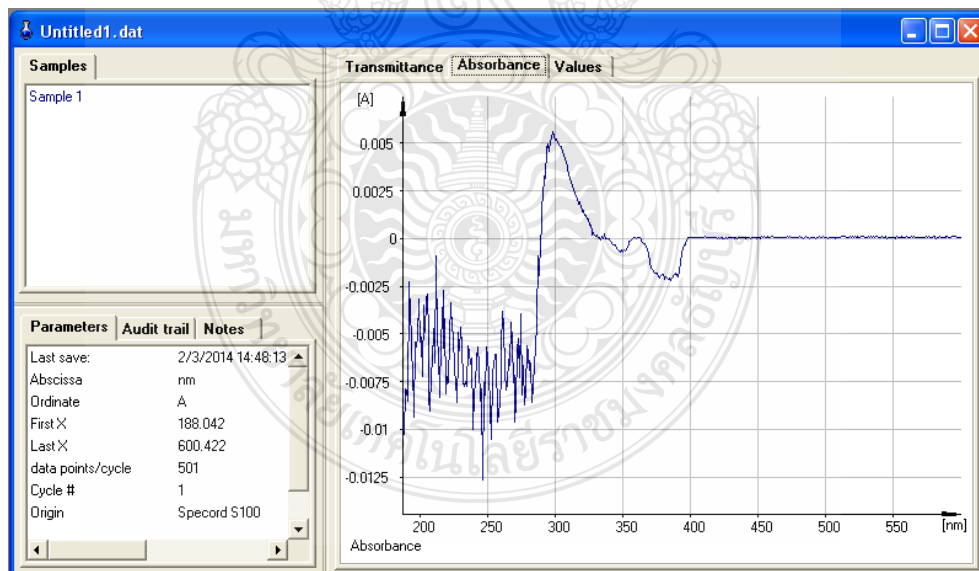
เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1 (มิลลิกรัม)	ตัวอย่างที่ 2 (มิลลิกรัม)	ตัวอย่างที่ 3 (มิลลิกรัม)	ค่าเฉลี่ย (มิลลิกรัม)
0	0.1280	0.1214	0.1106	0.1200 ±0.0088
5	0.1256	0.1567	0.1553	0.1459 ±0.0175
10	0.9120	0.8071	0.7501	0.8231 ±0.0821
30	1.8946	1.7191	1.7628	1.7922 ±0.0914
60	2.8292	3.1628	3.6640	3.2187 ±0.4202
120	4.5553	4.6889	5.2786	4.8409 ±0.3849
180	5.2042	5.3233	5.4729	5.3335 ±0.1346
240	5.3708	5.3793	5.5021	5.4174 ±0.0735

ตารางที่ ง.3 ปริมาณกรดแทนนิกสัมบูรณ์ที่วัดได้เทียบปริมาตรสารละลาย

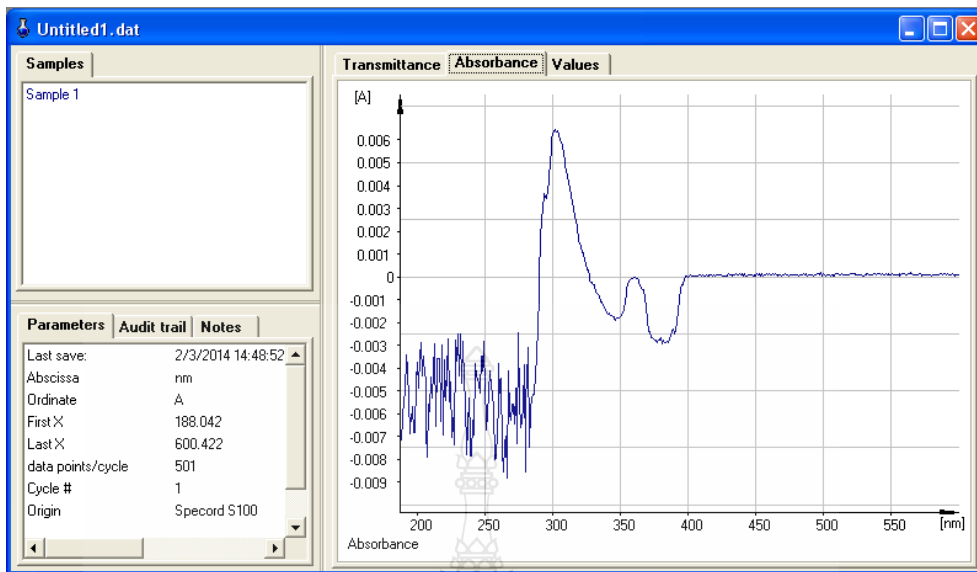
เวลา (นาที)	ปริมาตรสารละลาย (มิลลิลิตร)	ตัวอย่างที่ 1 (มิลลิกรัม)	ตัวอย่างที่ 2 (มิลลิกรัม)	ตัวอย่างที่ 3 (มิลลิกรัม)	ค่าเฉลี่ย (มิลลิกรัม)
0	100	0.1280	0.1214	0.1106	0.1200 ±0.0088
5	98	0.1282	0.1599	0.1585	0.1489 ±0.0179
10	96	0.9500	0.8407	0.7814	0.8574 ±0.0855
30	94	2.0155	1.8288	1.8753	1.9065 ±0.0972
60	92	3.0752	3.4379	3.9826	3.4986 ±0.4567
120	90	5.0614	5.2099	5.8651	5.3788 ±0.4276
180	88	5.9139	6.0492	6.2193	6.0608 ±0.1530
240	86	6.2451	6.2550	6.3978	6.2993 ±0.0854

ตารางที่ ง.4 ร้อยละของปริมาณกรดแทนนิกสัมบูรณ์ที่ปลดปล่อยจากแผ่นเส้นใยเทียบกับปริมาณกรดแทนนิกที่มีอยู่จริง (ตารางที่ 4.12) ในแผ่นเส้นใย

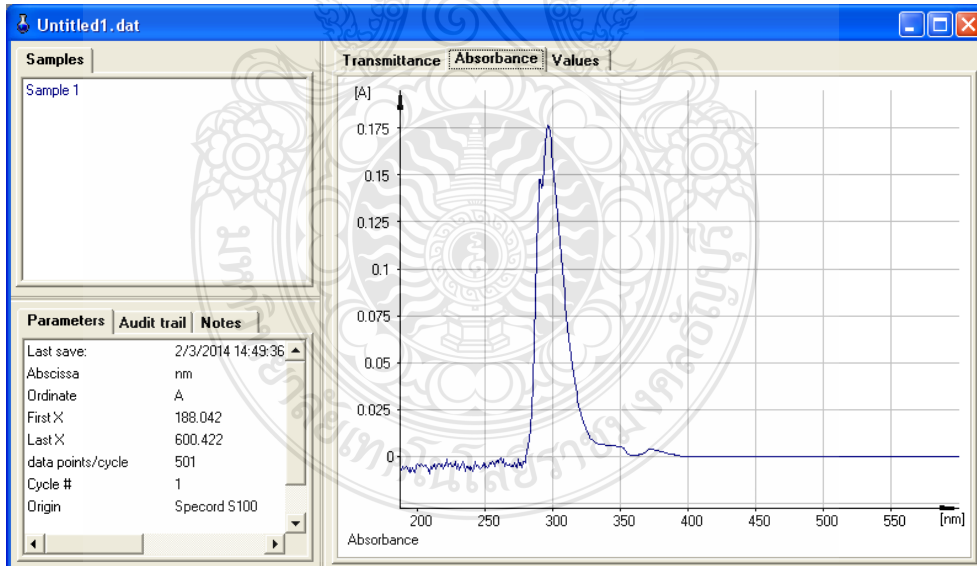
ปริมาณกรดแทนนิก					
เวลา (นาทีก)	นิกที่มีอยู่จริง (ร้อยละ (มิลลิกรัม))	ตัวอย่างที่ 1 (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่ 2 (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่ 3 (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)
0	324.47	0.0394	0.0374	0.0341	0.0370 ±0.0027
5	324.47	0.0395	0.0493	0.0488	0.0459 ±0.0055
10	324.47	0.2928	0.2591	0.2408	0.2642 ±0.0264
30	324.47	0.6212	0.5636	0.5780	0.5876 ±0.0300
60	324.47	0.9478	1.0595	1.2274	1.0782 ±0.1408
120	324.47	1.5599	1.6057	1.8076	1.6577 ±0.1318
180	324.47	1.8226	1.8643	1.9167	1.8679 ±0.0472
240	324.47	1.9247	1.9278	1.9718	1.9414 ±0.0263



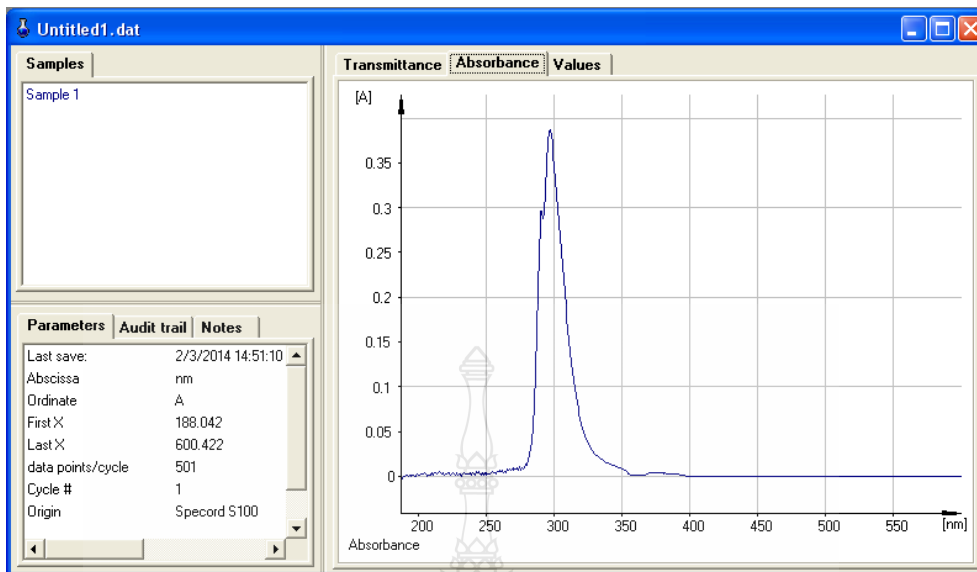
รูปที่ ง.1 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S1) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0 นาที



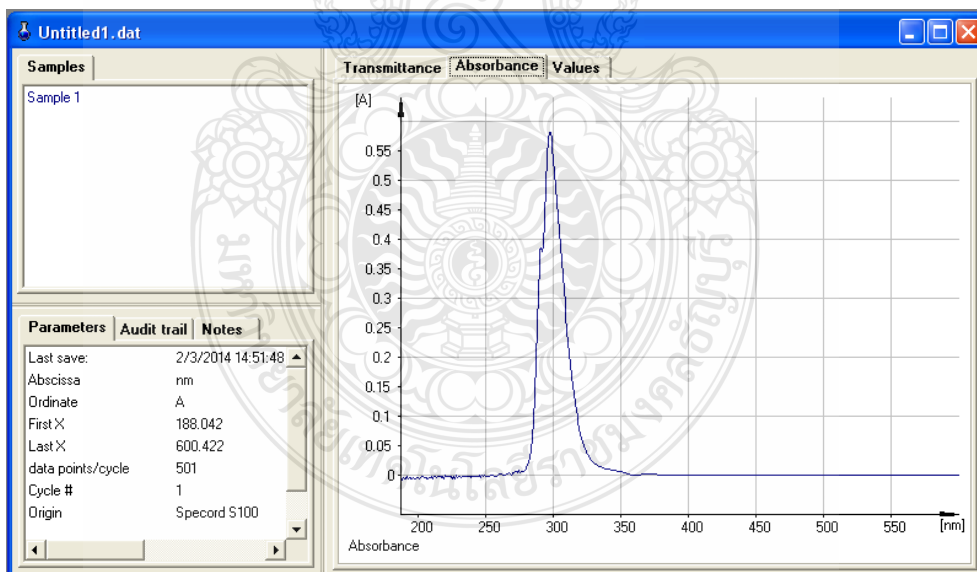
รูปที่ ง.2 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S1) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสเอเชียเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 นาที



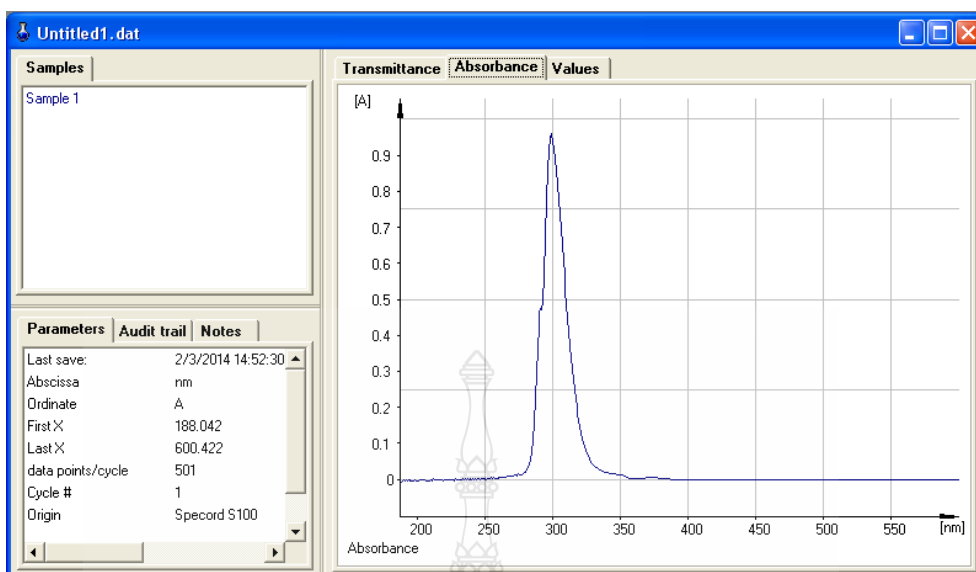
รูปที่ ง.3 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S1) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสเอเชียเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10 นาที



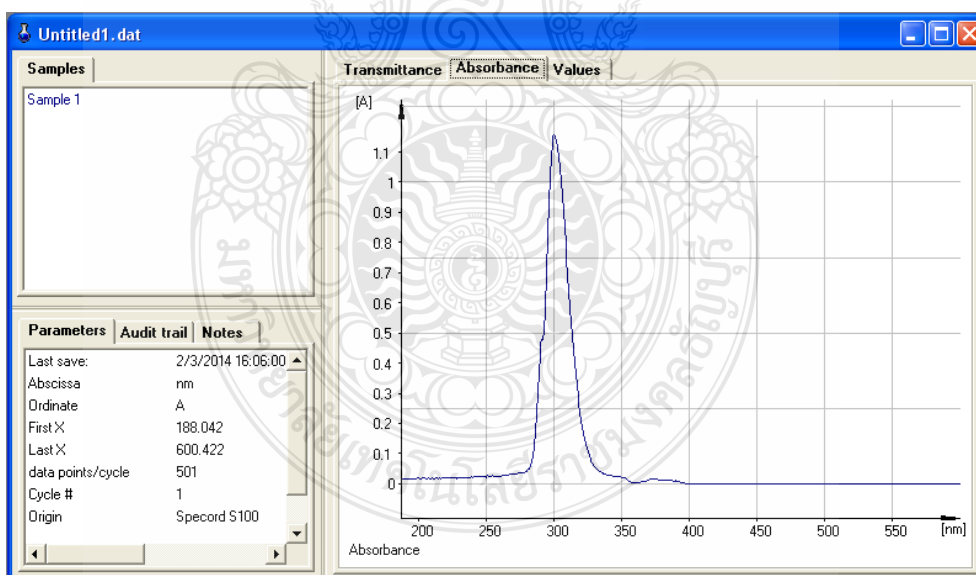
รูปที่ ง.4 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S1) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเตตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเตต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที



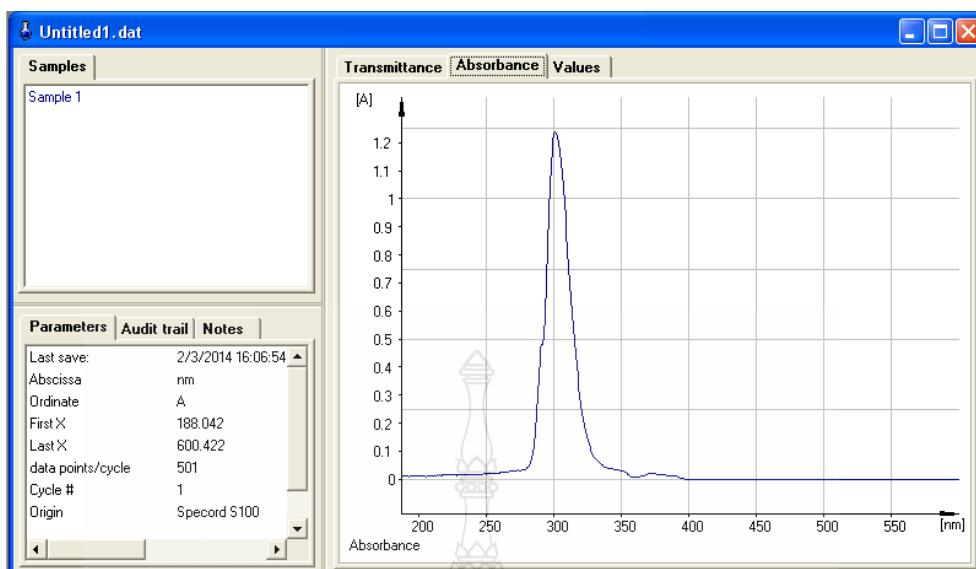
รูปที่ ง.5 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S1) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเตตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเตต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที



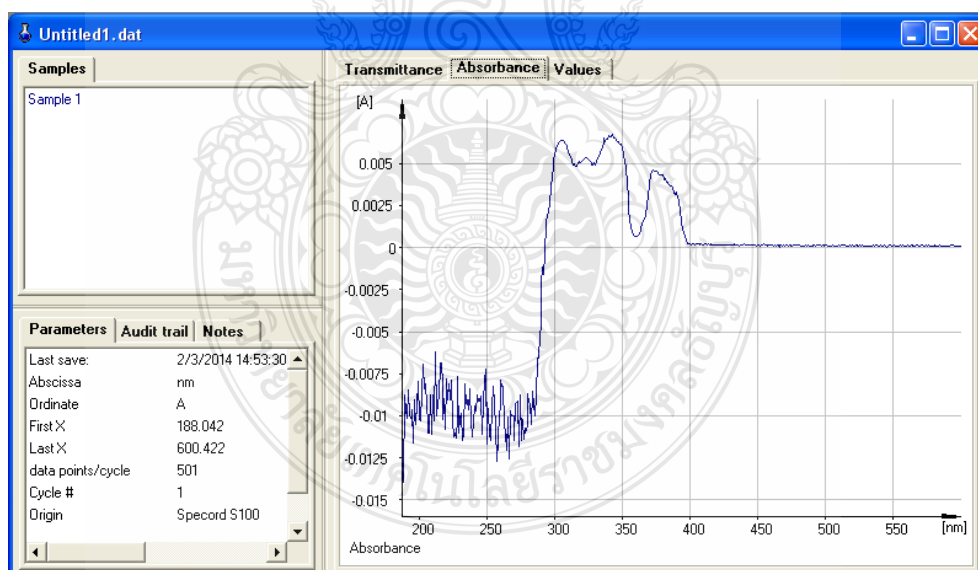
รูปที่ ง.6 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S1) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 120 นาที



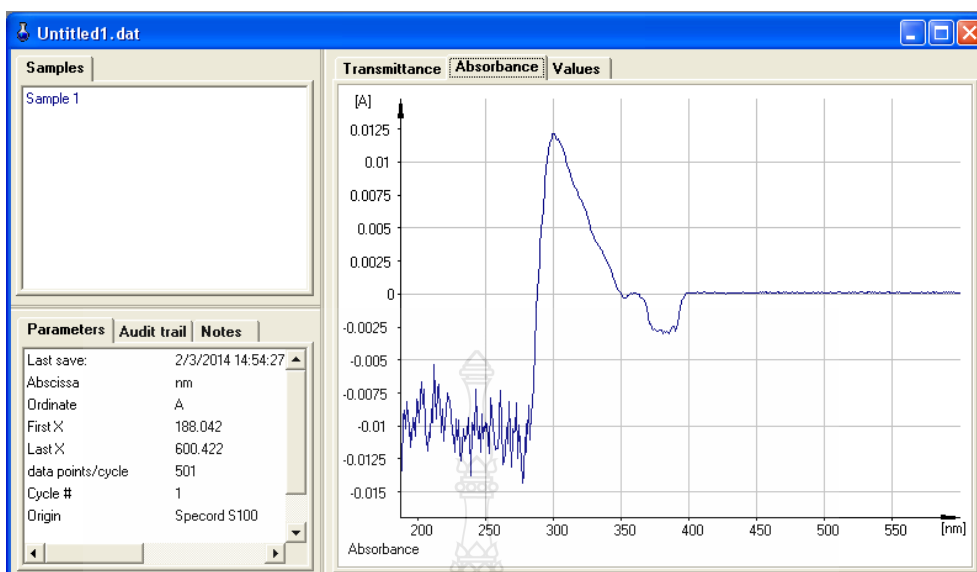
รูปที่ ง.7 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S1) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 180 นาที



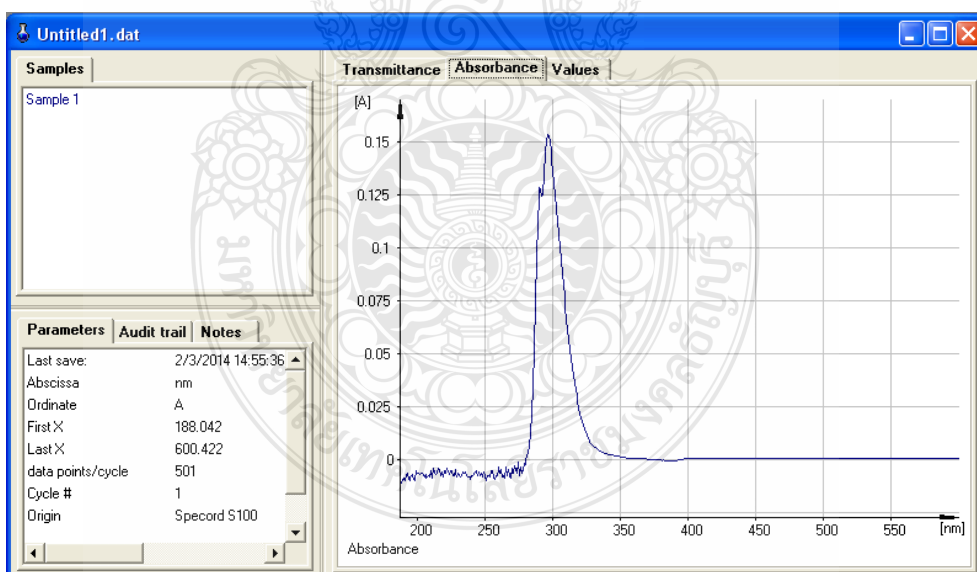
รูปที่ ง.8 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S1) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสเอเชียเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 240 นาที



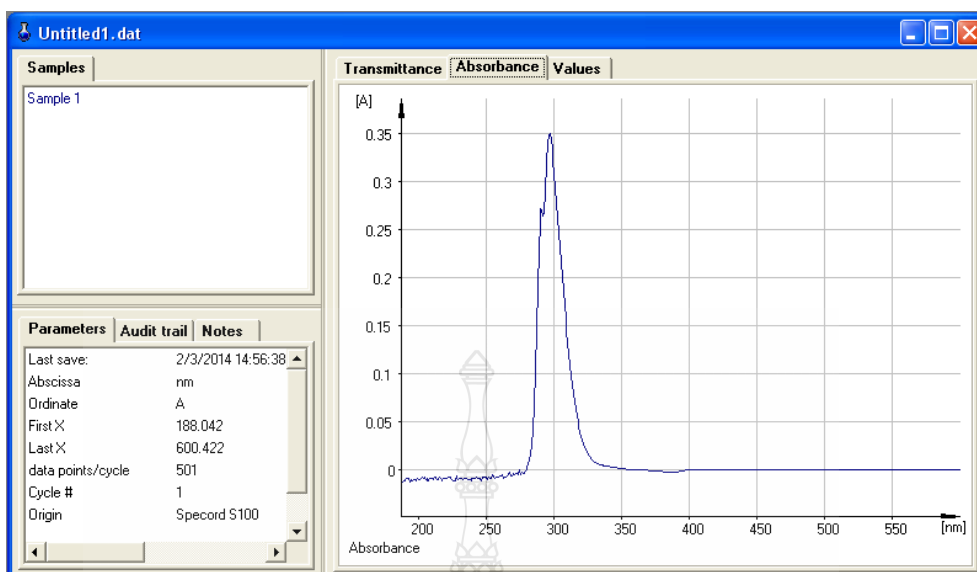
รูปที่ ง.9 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S2) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสเอเชียเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0 นาที



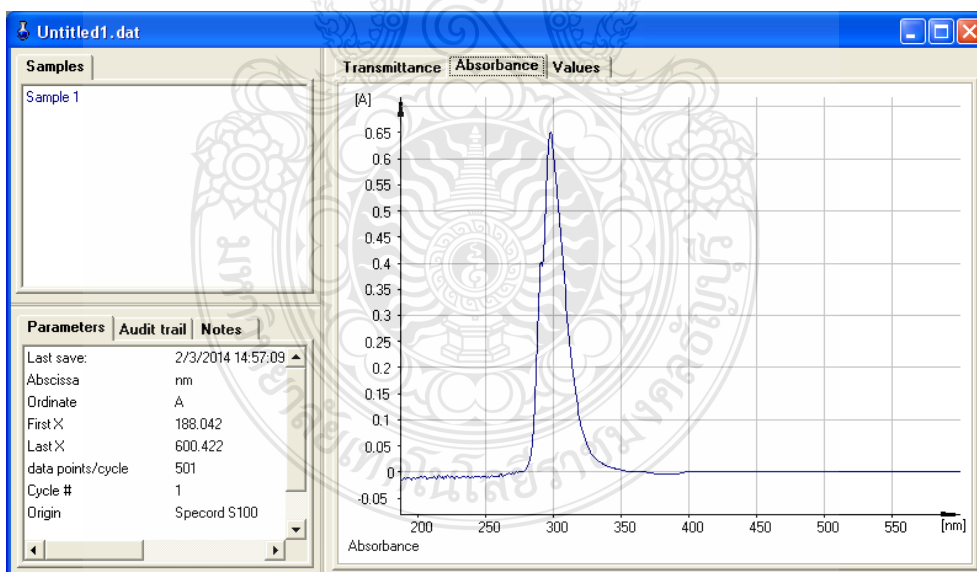
รูปที่ ง.10 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S2) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 นาที



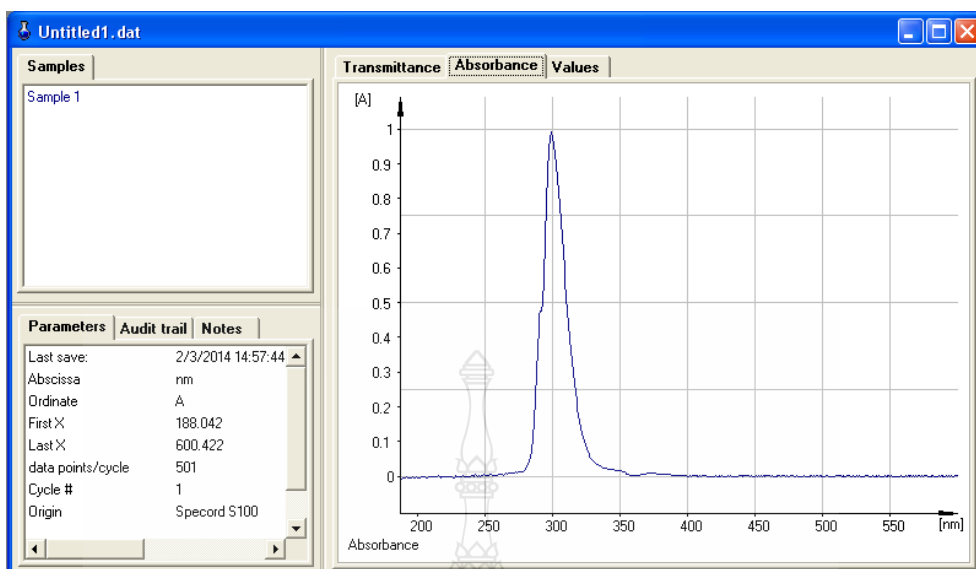
รูปที่ ง.11 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S2) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10 นาที



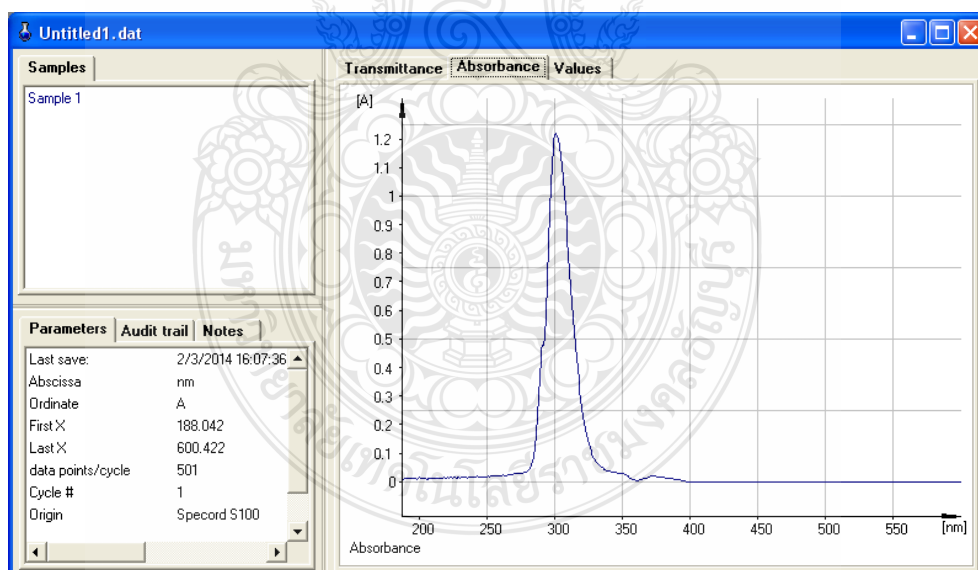
รูปที่ ง.12 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S2) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที



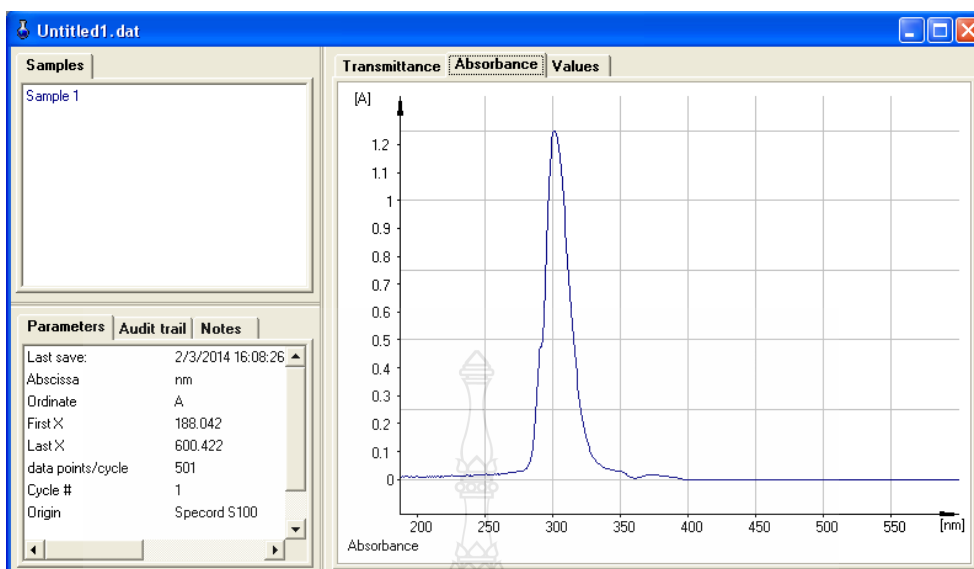
รูปที่ ง.13 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S2) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที



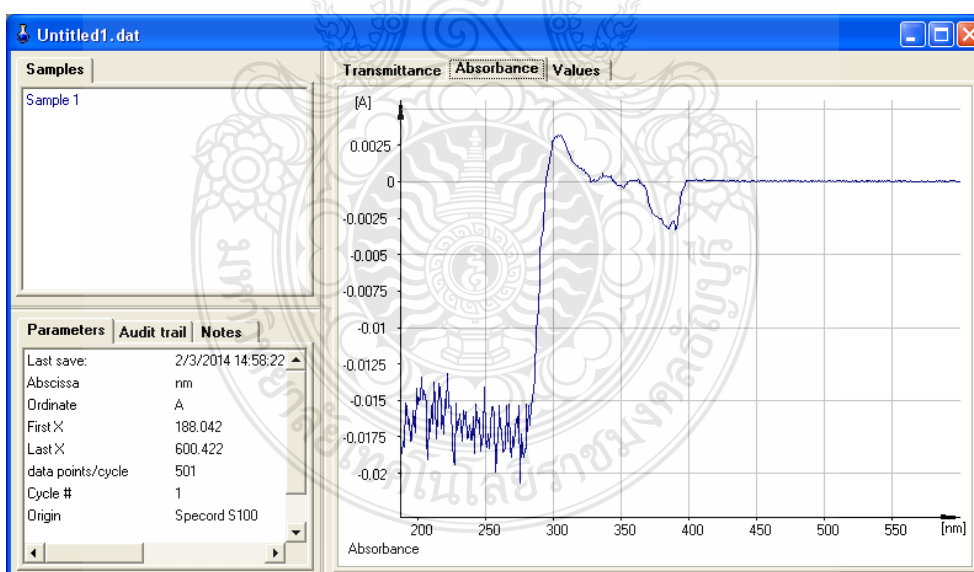
รูปที่ ง.14 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S2) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสเอเชียเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 120 นาที



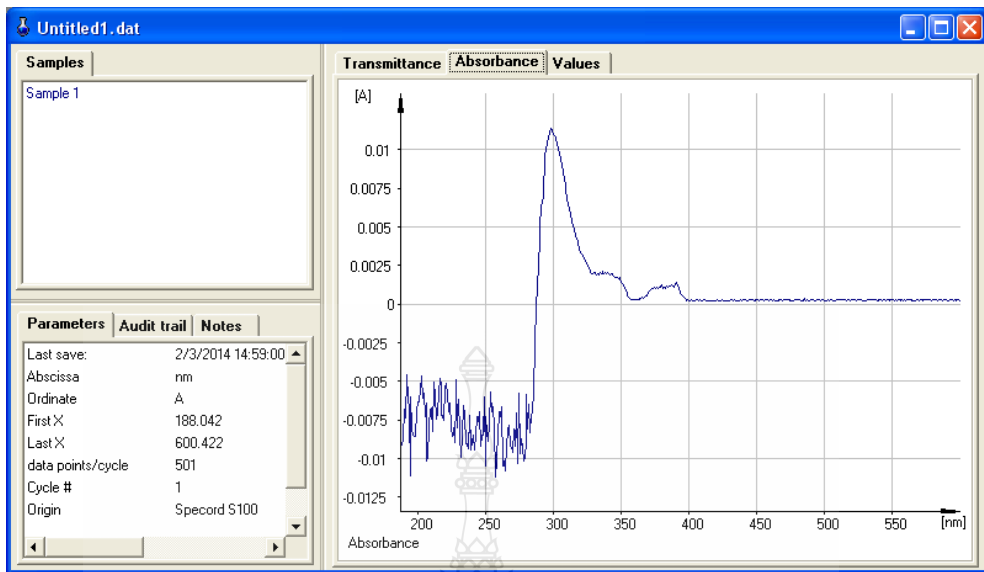
รูปที่ ง.15 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S2) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสเอเชียเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสเอเชียเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 180 นาที



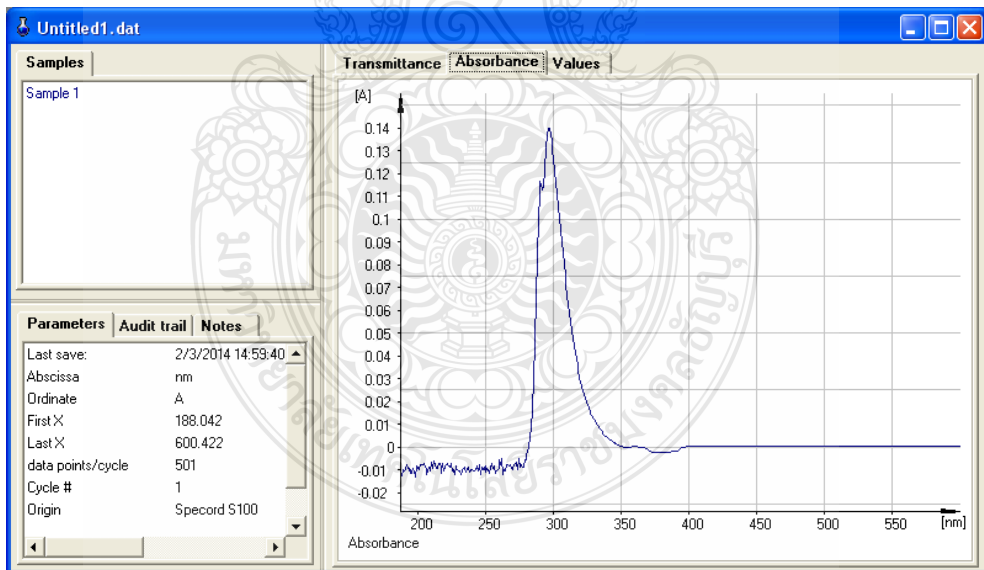
รูปที่ ง.16 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S2) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 240 นาที



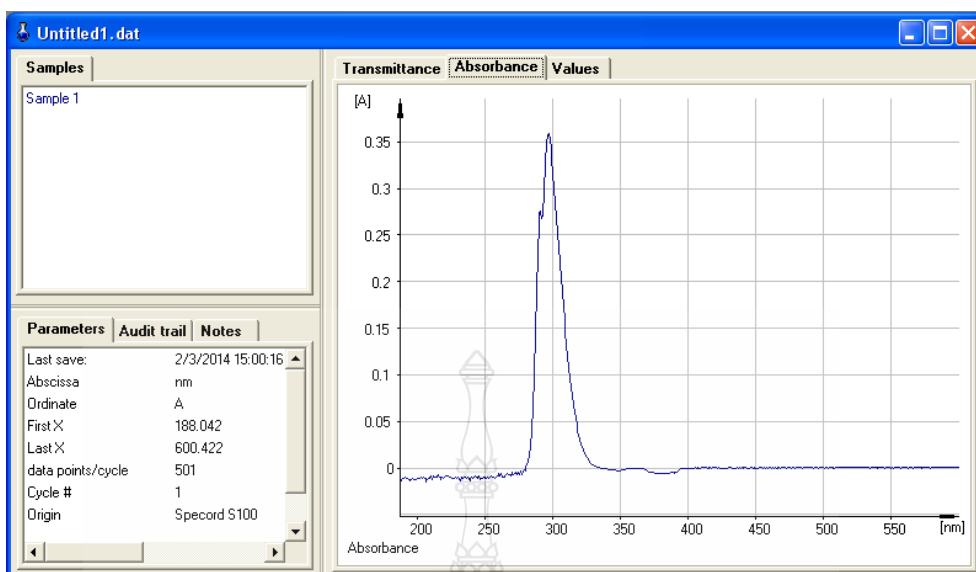
รูปที่ ง.17 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S3) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0 นาที



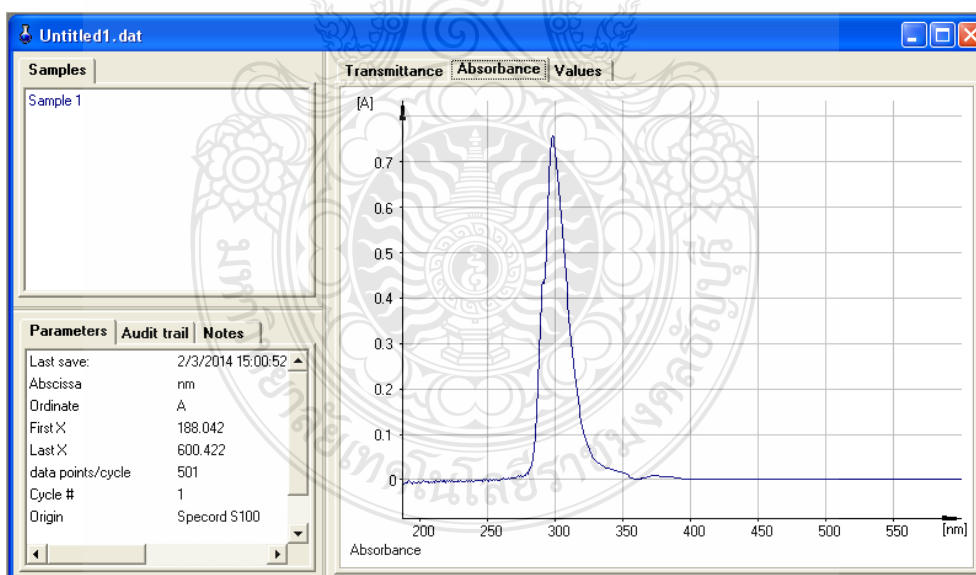
รูปที่ ง.18 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S3) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 นาที



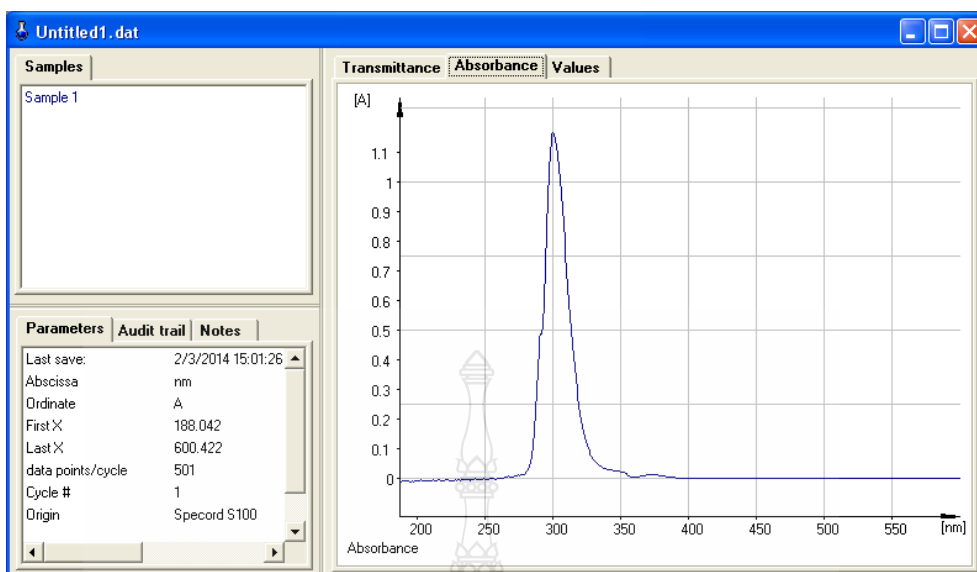
รูปที่ ง.19 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S3) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10 นาที



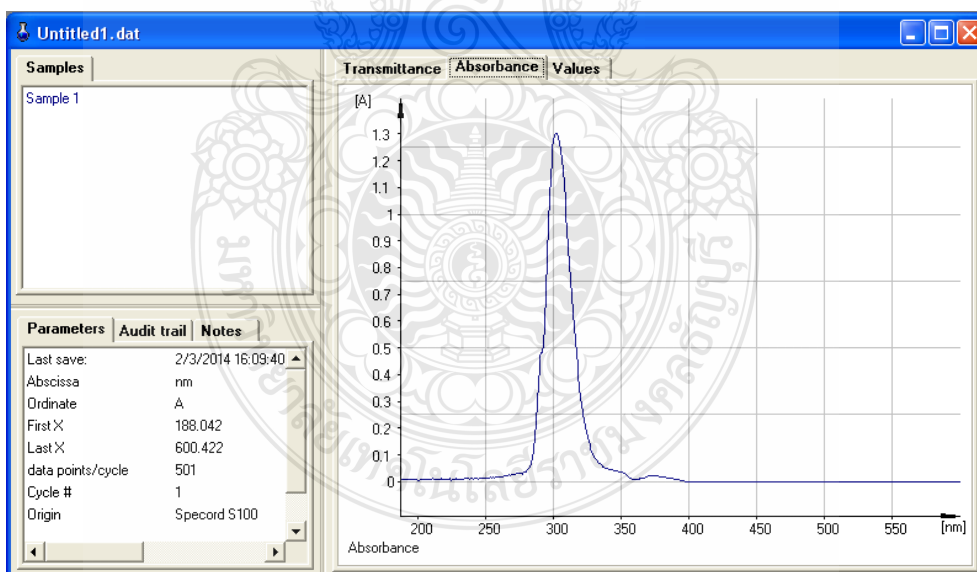
รูปที่ ง.20 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S3) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที



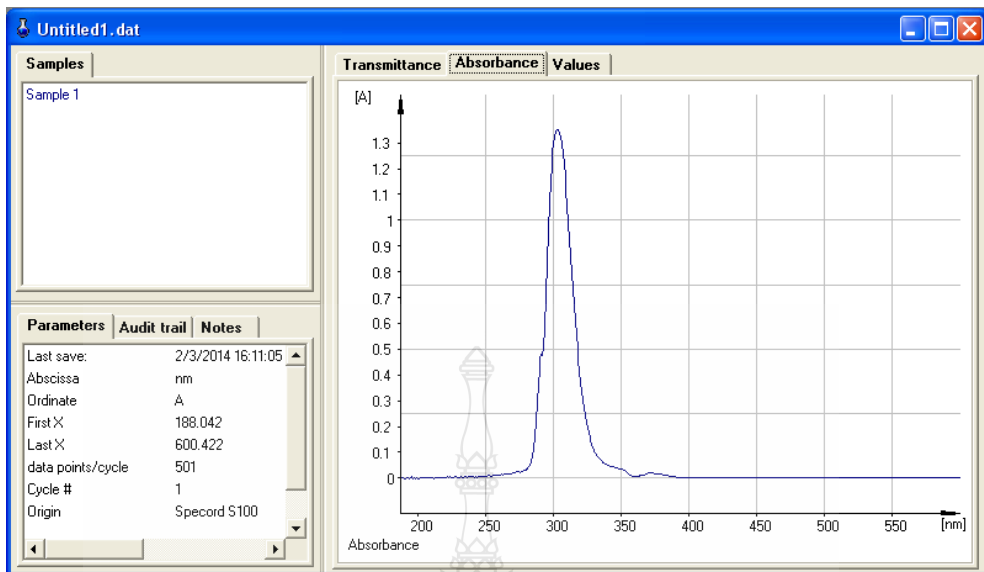
รูปที่ ง.21 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S3) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที



รูปที่ ง.22 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S3) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 120 นาที



รูปที่ ง.23 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S3) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเทตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเทต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 180 นาที



รูปที่ ง.24 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (S3) แผ่นเส้นใยเซลลูโลสแอซีเตตผสมกรดแทนนิก (ปริมาณกรดแทนนิกร้อยละ 70 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสแอซีเตต) ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลา 240 นาที





ภาคผนวก จ

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

2013 International Textiles
& Costume Congress

PROCEEDINGS

"Silk-Aesthetic, Culture, History,
Technology, Fashion and Innovation"

2013ITCC

KU /ARS TEXTRINA/CCA/CBNU/ITB
CO-Host : OKMD, THPI, Center for Excellence In Silk (KU)

October 28-29, 2013
Kasetsart University, Bangkok, Thailand

2013 ITCC

"Silk-Aesthetic, Culture, History, Technology, Fashion and Innovation"

PROCEEDINGS

Congress

Venue: Vachiranusorn Building,
Kasetsart University, Thailand
Date: October 28-29, 2013
Opening : 14:00, October 28, 2013

Exhibition

Venue: Vachiranusorn Building,
Kasetsart University, Thailand
Date: October 28-29, 2013
Opening : 17:30, October 28, 2013

Principal Organizing Institution

Kasetsart University, Faculty of Agro-Industry, Department of Textile Science, Thailand

Co-Hosts

The Costume Culture Association (CCA) Ars Textrina
Chonbuk National University (CBNU) Institute Technology Bandung (ITB)
Center for Excellence in Silk (KU) Thailand Textile Institute (THTI)
The Office of Knowledge Management and Development (OKMD)



JIM THOMPSON



Four Star Garment & Textile Co., Ltd.

บริษัท โฟร์สตาร์ การ์เมนต์ แอนด์ เท็กซ์ไทล์ จำกัด

2013ITCC

ORGANIZING COMMITTEES

Chairman

Assoc.Prof.Vudtechai Kapilakanjana

President of Kasetsart University

Advisory Committees

Assoc.Prof.Vudtechai Kapilakanjana

President of Kasetsart University

Assoc.Prof.Siree Chaiseri, Ph.D.

Vice President of Kasetsart University

Asst.Prof.Tanaboon Sajjaanantakul, Ph.D.

Dean of Faculty of Agro-Industry

Assoc.Prof.Vanee Chonhenchob, Ph.D.

Associate Dean for International Affairs

Ms.Sutthinee Poopaka

Director of Thailand Textiles Institute (TITI)

Mr. Rames Promyen

Vice President of Office of Knowledge Management and Development,

Acting President of Office of Knowledge Management and Development

International Organizing Committees

Prof.Michael A. Hann, Ph.D.

University of Leeds, UK

Prof.Biranul Anas Zaman, Ph.D.

Institute of Technology Bandung, Indonesia

Prof.Yongsook Kim, Ph.D.

Chonbuk National University, South Korea

Prof.Dr.Tipvadee Attathom, Ph.D.

Kasetsart University, Thailand

Asst.Prof. Kornthip Watcharapanyawong

Kasetsart University, Thailand

Techametheelkul, Ph.D.

Kasetsart University, Thailand

Asst.Prof.Anothai Cholachatpinyo, Ph.D.

Kasetsart University, Thailand

Local Organizing Committees

Asst.Prof. Kornthip Watcharapanyawong

Kasetsart University, Thailand

Techametheelkul, Ph.D.

Asst.Prof.Anothai Cholachatpinyo, Ph.D.

Kasetsart University, Thailand

Ms. Nitaya Tubtimthai

Kasetsart University, Thailand

Ms. Pussadee Lim

Kasetsart University, Thailand

Mr. Nattadon Rungruangkitkrai

Kasetsart University, Thailand

Ms. Pimpawan Khumpai, Ph.D.

Kasetsart University, Thailand

Ms. Pithalai Phoophat

Kasetsart University, Thailand

Mr. Rattanaphol Mongkholrattanasit, Ph.D.

Rajamangala University of Technology

Phra Nakhon, Thailand

Academic Committees

Prof.Michael A. Hann, Ph.D.	University of Leeds, UK
Prof.Ian Padgett	London Metropolitan University, UK
Prof.Ena Brown	Nottingham Trent University, UK
Prof.Yongsook Kim, Ph.D.	Chonbuk National University, South Korea
Prof.Jung-Hi Rhee, Ph.D.	Hannam University, South Korea
Prof.Sang-Moo Shin, Ph.D.	Soongsil University, South Korea
Prof.Kil-Soon Park, Ph.D.	Chungnam National University, South Korea
Prof.Ji-Hun Yoo, Ph.D.	Sangmyung University, South Korea
Prof.Jong-Suk Chun, Ph.D.	Yonsei University, South Korea
Prof.Sun-Kyung Park	Kookmin University, South Korea
Prof.Biranul Anas Zaman, Ph.D.	Institute of Technology Bandung, Indonesia
Prof.Kahfiati Kahdar	Institute of Technology Bandung, Indonesia
Prof.Tipvadee Attathom, Ph.D.	Kasetsart University, Thailand
Asst.Prof.Kornthip Watcharapanyawong	Kasetsart University, Thailand
Techametheekul, Ph.D	
Asst.Prof.Anothai Cholachatpinyo, Ph.D.	Kasetsart University, Thailand
Nitaya Tubtimthai	Kasetsart University, Thailand
Asst.Prof.Kanitta Watcharaporn	Kasetsart University, Thailand
Pussadee Lim	Kasetsart University, Thailand
Asst.Prof.Pawarin Tuntariyanond	Kasetsart University, Thailand
Nattadon Rungruangkitkrai	Kasetsart University, Thailand
Pimpawan Khumpai, Ph.D.	Kasetsart University, Thailand
Pithalai Phoophat	Kasetsart University, Thailand
Asst.Prof.Suteeluk Kraisuwan, Ph.D.	Kasetsart University, Thailand
Saranya Kasemboonyakorn, Ph.D.	Kasetsart University, Thailand
Potjanart Suwanruji, Ph.D.	Kasetsart University, Thailand
Assoc.Prof.Khemchai Hemachandra, Ph.D.	Chulalongkorn University, Thailand
Assoc.Prof.Chintana Saiwan, Ph.D.	Chulalongkorn University, Thailand
Assoc.Prof.Kawee Srikulkit, Ph.D.	Chulalongkorn University, Thailand
Asst.Prof.Pundita Tantiwong, Ph.D.	Chulalongkorn University, Thailand
Asst.Prof.Sireerat Charuchinda, Ph.D.	Chulalongkorn University, Thailand
Asst.Prof.Usa Sangwatanaroj, Ph.D.	Chulalongkorn University, Thailand
Asst.Prof.Thongdee Leksophee, Ph.D.	Thammasat University, Thailand
Prof.Penwisa Pisitsak, Ph.D.	Thammasat University, Thailand
Asst.Prof.Vitawan Chunthone, Ph.D.	Thammasat University, Thailand
Benjamas Klaykruayat, Ph.D.	Thammasat University, Thailand
Asst.Prof.Nattaya Punrattanasin, Ph.D.	Thammasat University, Thailand
Chanchai Sirikasemlert, Ph.D.	Thailand Textile Institute, Thailand Thailand Technology Center, Thailand

Mr. Monthon Nakpathom, Ph.D.	MTEC: National Metal and Materials Technology Center,Thailand
Ms. Piyaporn Kampeerapappun, Ph.D.	Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand
Asst.Prof. Khemchat Surakul	Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand
Asst.Prof.Disney Singhawuarasate, Ph.D.	Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand
Asst.Prof.Somprasong Parsapratet, Ph.D.	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Asst.Prof.Somnuk Sungnoo, Ph.D.	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Asst.Prof.Sakhon Chonsakhon	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Mr.Rattanaphol Mongkholrattanasit, Ph.D.	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand
Asst.Prof.Aruneee Kongdee, Ph.D.	Maejo University, Thailand
Ms. Usarat Ratanakamnuan, Ph.D.	Maejo University, Thailand
Asst.Prof.Pajaera Patanatabutr, Ph.D.	Silpakorn University, Thailand
Ms. Walaikorn Nitayaphat, Ph.D.	Srinakharinwirot University, Thailand
Ms. Sirinan Khaenthong, Ph.D.	Srinakharinwirot University, Thailand
Asst.Prof. Sineenart Laedpriwan, Ph.D.	Srinakharinwirot University, Thailand
Asst.Prof. Ravitep Musikapan, Ph.D.	Srinakharinwirot University, Thailand
Mr. Koraklod Kumsook, Ph.D.	Srinakharinwirot University, Thailand
Mrs.Uraiwan Paradee, Ph.D.	King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Mrs.Jarupatara Archawasmith	King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Asst.Prof.Sompit Fusakul, Ph.D.	King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Ms. Somlak Wannarumon, Ph.D.	Naresuan University, Thailand Technology Center,Thailand



PLENARY ADDRESS

KEYNOTE SPEAKERS

28 October 2013

16.00-17.30

Vachiranusorn Building, Kasetsart University

ROOM 204

TIME	TITLE	PAGE
16.00-16.30	SILK: THE STRUCTURED, THE LUSTROUS AND THE TRANSPARENT Sherry Schofield ^{1*} ¹ International Textile and Apparel Association (ITAA), USA	1
16.30-17.00	SHADOWS ALONG THE SILK ROUTE-THE SILK IKATS OF CENTRAL ASIA Michael A. Hann ^{1,2*} , C.Wang ² , S. Clarke ² ¹ Ars Textrina, UK. ² University of Leeds, UK	2
17.00-17.30	MODERN THAI SILK DEVELOPMENT PROJECT Suttinee Poopaka ^{1*} ¹ Thailand Textiles Institute, Thailand	7

GUEST SPEAKERS

29 October 2013

09.00-16.00

Vachiranusorn Building, Kasetsart University

ROOM 201

TIME	TITLE	PAGE
09.00-09.20	DEVELOPMENT OF ERI SILK IN THAILAND Tipvadee Attathom ^{1*} ¹ Kasetsart University, Thailand	11
10.20-10.40	THE TIN CHOK TEXTILE AND WEAVING OF MAE CHAEM, THAILAND Orra Serewiwattana ¹ , Ian Padgett ^{1*} ¹ London Metropolitan University, UK	17

ROOM 203

TIME	TITLE	PAGE
09.00-09.20	THE ASIAN FASHION ARENA Ena Brown ^{1*} ¹ Nottingham Trent University, UK	23

ORAL PRESENTATION SESSIONS

29 October 2013

09.00-16.00

Vachiranusorn Building, Kasetsart University

ROOM 201

THEME: SERICULTURE, SILK PROCESSING AND FINISHING

MODERATOR: PROF.KAHFIATI KAHDAR

TIME	CODE	TITLE	PAGE
09.00-09.20		DEVELOPMENT OF ERI SILK IN THAILAND Guest Speaker Tipvadee Attathom ^{1*} ¹ Kasetsart University, Thailand	11
09.20-09.40	E30	CHALLENGES AND PROSPECTS OF SERICULTURE IN KENYA Ann Mburu ^{1*} ¹ Kenya Industrial Research and Development Institute, Kenya	28
09.40-10.00	E31	ERI SILK FOR GREEN MARKET Nittaya Mahachaiwong ^{1*} ¹ Chiang Mai University, Thailand	34
10.00-10.20	E37	THE COMPARATIVE STUDY OF SILK PRODUCTION IN TRADITIONAL AND CONTEMPORARY NIGERIA AND THE NEED TO REJUVENAT AILING INDUSTRY Bridget Itunu Awosika ^{1*} ¹ Adeyemi College of Education, Ondo, Nigeria.	39

THEME: HISTORY, CULTURE AND ARCHEOLOGICAL OF TEXTILES

MODERATOR: 1. PROF.DR.MICHAEL HANN
2. PROF.IAN PADGETT

TIME	CODE	TITLE	PAGE
10.20-10.40		THE TIN CHOK TEXTILE AND WEAVING OF MAE CHAEM, THAILAND Guest Speaker Orra Serewiwattana ¹ , Ian Padgett ^{1*} ¹ London Metropolitan University, UK	17
10.40-11.00	O16	PRESERVING THE SILK TEXTILE HERITAGE OF INDIA: A SUSTAINABLE APPROACH Kirti Manek ¹ , Amita Pandya ^{1*} ¹ The Maharaja Sayajirao University of Baroda, India	43
11.00-11.20	E35	SILK EMBROIDERIES OF THE OTTOMAN EMPIRE Cigdem Cini ^{1*} ¹ Marmara University, Turkey	50
11.20-11.40	O11	COSTUME OF MUTVA: SILKEN DREAM IN DERELICT BANNI Amita Pandya ^{1*} , Vibha Kalaiya ¹ ¹ The Maharaja Sayajirao University of Baroda, India	55
11.40-12.00	O1	TEXTILE DESIGN AS SOCIAL FABRIC, INSPIRED BY "4 LAYERS OF SARI" & THE MATERIAL CULTURE OF SILK. APPLIED DESIGN THINKING LAB (ADTL) Ruth Mateus-Berr ^{1*} , Cornelia Bast ² , Klaudia Kozma ³ , László Lukács ⁴ , Marie-Theres Wakonig ⁵ ¹ University of Applied Arts Vienna, Austria	63
12.00-12.40		LUNCH BREAK	
12.40-13.40		POSTER PRESENTATION	

13.40-14.00	O28	THE MEANING OF LIPPA SABBE (SILK SARONG) FOR SOUTH CELEBES PEOPLE Kahfiati Kahdar ^{1*} ¹ Institute Technology Bandung, Indonesia	75
14.00-14.20	E7	AN ACCOUNT OF WOVEN SILK AND GOLD IN THE INDIAN IMPERIAL WARDROBE OF BARODA STATE Anjali Karolia ^{1*} , Gurvinder Gunde ¹ , Garvita Sharma ¹ ¹ The Maharaja Sayajirao University of Baroda, India	80
14.20-14.40	E6	SILK, SILK ROAD AND A SILK CITY IN TURKEY; BURSA İffet Pala ^{1*} , Saniye Fışgın ¹ ¹ Istanbul Technical University, Turkey	87
14.40-15.00	O8	THE USE OF SILK IN INDIAN ROYAL COSTUMES Vibha Kalaiya ¹ , Madhu Sharan ^{1*} ¹ The Maharaja Sayajirao University of Baroda, India	93
15.00-15.20	E50	FROM MODEST TO MODERN: DRESS ALTERATION OF MUSLIM WOMEN IN THE SOUTHERN BORDER PROVINCES OF THAILAND Thanyatorn Saipanya ^{1*} ¹ Thammasat University, Thailand	100
15.20-15.40	OK5	ANALYSIS ON CHINESE TRADITIONAL PADDY FIELD CLOTHES Zhang Shunai ^{1*} and Danqi Tang ¹ ¹ Donghua University, China	106
15.40-16.00	O19	THE HANDCRAFTED TEXTILES OF GUJARAT: A CLOSER LOOK AS SINGLE IKAT AND BROCADE WEAVING Shruti Tomar ¹ and Madhu Sharan ^{1*} ¹ Department of Clothing and Textiles, Faculty of Family and Community Sciences, India	111

ROOM 202

THEME: TEXTILE SCIENCE AND TECHNOLOGY

MODERATOR: 1. DR.CHANCHAI SIRIKASEMLERT
2. PROF.DR.NATTAYA PUNRATTANASIN

TIME	CODE	TITLE	PAGE
09.00-09.20	E39	APPLICATION OF LAYER BY LAYER DEPOSITION (LBL) OF OPPOSITELY CHARGED POLYELECTROLYTE ON SILK FIBRE Rungsima Chollakup ^{1*} , Wirasak Smitthipong ¹ , Rattana Tantatherdtam ¹ ¹ Kasetsart University, Thailand	117
09.20-09.40	E53	ENERGY EFFICIENT REDOX-SYSTEM INDUCED IMPROVED DYEING OF SILK SUBSTRATE Bipin J. Agrawal ^{1*} ¹ Department of Textile Chemistry, Faculty of Technology & Engineering, India	123
09.40-10.00	E47	OBJECTIVE ASSESSMENT OF UNIFORMITY OF FIBRE COLORATION Uzma Syed ^{*1} , R. H Wardman ² . ¹ Mehran University of Engineering and Technology, Pakistan ² Heriot-Watt University, UK	133
10.00-10.20	O6	MICROENCAPSULATION OF <i>PSIDIUM GUAJAVA</i> LINN. LEAF EXTRACT Jiraporn Ketvarporn ¹ , Arunee Kongdee ^{1*} ¹ Maejo University, Thailand	138
10.20-10.40	O12	3D PRINTING ON SILK SUBSTRATES Amanda J. Thompson ^{1*} ¹ The University of Alabama, USA	144
10.40-11.00	O14	THE DEVELOPMENT OF THAI WOVEN SILK FOR SEAMLESS BEDDING PRODUCTS USING A LOOM WITH WIDTH POTENTIAL OF 110 INCHES Sakorn Chonsakorn ^{1*} , Rattanaphol Mongkholrattanasit ² , Siriwan Teepoo ³ , Kitiyaphan Pholam ⁴ , Benjawan Bungthung ⁵ ¹ Rajamangala University of Technology, Thailand ² Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand ^{3,4} Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand ⁵ UDonThani Vocational College, Thailand	150

11.00-11.20	O17	APPLICATION OF UV-VIS DIFFUSE REFLECTANCE SPECTROSCOPY ON NATURALLY COLORED COTTON FIBER Zhirong TANG ¹ , Xuefeng HU ¹ , Dong ZHAO ² , Wenlong ZHOU ^{1*} ¹ Zhejiang Sci-tech University, China ² Silk Inspection Center, Zhejiang Entry exit Inspection & quarantine Bureau, China	155
11.20-11.40	O27	'INVENT - REINVENT ITAJIME' DIGITAL CREATED BOARD CLAMPING Kate Wells ^{1*} ¹ University of Derby, UK	160
11.40-12.00	E20	IMPACT OF STRUCTURAL VARIATIONS IN HOLLOW YARN ON THERMO-PHYSIOLOGICAL COMFORT OF SPORTSWEAR Arunangshu Mukhopadhyay ^{1*} , Devanand Uttam ² , S. M. Ishtiaque ³ ¹ National Institute of Technology, India ² Giani Zail Singh Punjab Technical University Campus, India ³ Indian Institute of Technology, India	167
12.00-12.40		LUNCH BREAK	
12.40-13.40		POSTER PRESENTATION	
13.40-14.00	E45	WICKING PROPERTIES OF CONVENTIONAL RING AND VORTEX SPUN VISCOSE YARNS Nazan Erdumlu ^{1*} , Canan Saricam ¹ ¹ Istanbul Technical University, Turkey	179
14.00-14.20	P3	ENHANCING THE UV PROTECTION PROPERTY OF SILK FABRIC DYED WITH LAC DYE BY USING PAD-BATCH TECHNIQUE Rattanaphol Mongkholrattanasit ^{1*} , Chintana Saiwan ² , Nattadon Rungruangkitkrai ³ , Nattaya Punrattanasin ⁴ , Kamolkan Sriharuksa ⁴ , and Monthon Nakpathom ⁵ ¹ Rajamangala University of Technology PhraNakhon, Thailand ² Chulalongkorn University, Thailand ³ Kasetsart University, Thailand ⁴ Thammasat University, Thailand ⁵ National Science and Technology Development Agency, Thailand	184

THEME: ECO TEXTILES AND INNOVATION

MODERATOR: PROF.DR.KHEMCHAI HEMACHANDRA

TIME	CODE	TITLE	PAGE
14.20-14.40	E16	NATURAL DYEING-AN INIMITABLE TECHNIQUE FOR DESIGNING AYURVASTRA Jyoti V. Vastrad ^{1*} , Shameembanu Byadgi ¹ , Geeta Mahale ¹ , Rajashri Kotur ¹ ¹ University of Agricultural Sciences, India.	191
14.40-15.00	O24	GREEN PRODUCTION OF NATURAL BAMBOO FIBERS FOR TEXTILES Suteera Witayakran ^{1*} , Maliwan Haruthaitanasan ¹ , Prajak Agthong ² , Techathum Thinnapatanukul ¹ ¹ Kasetsart University, Thailand ² Thailand Textile Institute, Thailand	198
15.00-15.20	E42	UTILIZATION OF AGRO BASED FIBRE FOR DESIGNING FASHION ACCESSORIES Jyoti V. Vastrad ¹ , Rajashri Kotur ^{1*} , H.B. Babalad ¹ , R.K Dhanalaxmi ¹ ¹ University of Agricultural Sciences, Dharwad, India	204
15.20-15.40	E46	NATURAL DYEING OF SILK WITH TRIDAX PROCUMBENS Kshama kalpa ^{1*} ¹ Central College Campus, India	211
15.40-16.00	O2	DYE-ABILITY, COLOR STRENGTH, COLOR COMPONENTS & LIGHT FASTNESS CHARACTERISTICS OF SOME NATURAL DYES ON SILK FABRIC Ferial Tera ^{1*} , Mohamed Marouf ² , Amal. El-Ebissy ¹ , Ameera. Mazen ² ¹ National Institute for Standards (NIS), Egypt ² Sohag University, Egypt	219

ROOM 203

THEME: TEXTILE AND FASHION CONSUMER BEHAVIOUR

MODERATOR: 1. PROF.AMANDA THOMPSON
2. PROF.SANGMOO SHIN

TIME	CODE	TITLE	PAGE
09.00-09.20		THE ASIAN FASHION ARENA Guest Speaker Ena Brown ^{1*} ¹ Nottingham Trent University, UK	23
09.20-09.40	OK1	A STUDY ON THE CLOTHING SELECTION CRITERIA BY PURSUIT OF CLOTHING BENEFIT GROUPS AND THE PREFERENCE OF CLOTHING COLOR BY MOODSTATE Ji-hun Yu ¹ , Min-kyung Kim ^{2*} ¹ Sangmyung University, South Korea ² Jangan University, South Korea	226
09.40-10.00	E9	ASSESSMENT OF CUSTOMER EXPERIENCE AND FRAGRANCE FINISHED FABRIC WITH CORRESPONDING AND NON-CORRESPONDING PRINTS Muhammad Anwaar Nazeer ¹ , Tabassum Aamir ^{1*} ¹ National Textile University, Pakistan	230
10.00-10.20	E19	PERCEPTIONS ON AN IDEAL BODY FIGURE OF A MALE IN THE CORPORATE SECTOR IN SWAZILAND KebathhokileTshepang N. ² , Zwane Pinkie E. ^{1*} ^{1,2} University of Swaziland, Swaziland	240
10.20-10.40	E43	CONSUMERS PERCEPTIONS OF APPAREL QUALITY AND PRODUCT EVALUATION Fatma Kalaoglu ^{1*} , Yasin Sercan Ozduygu ¹ , Hulya Orun ¹ , Canan Saricam ¹ ¹ Istanbul Technical University, Turkey	245
10.40-11.00	E27	ADAPTATION'S POTENTIAL OF BRIDE'S FLORAL DRESS AND ACCESSORIES FASHION Kosit Khumsap ^{1*} , Anothai Cholachatpinyo ¹ ¹ Kasetsart University, Thailand	253
11.00-11.20	E52	FACTORS INFLUENCING LUYENGO FEMALE STUDENTS' DRESSCODE Beatrice Mantyi-Ncube ^{1*} , Welile Langwenya ¹ ¹ University of Swaziland, Swaziland	262
11.20-11.40	E56	ILLUMINATING TRITIK ON WOMEN'S CLOTHING Bintan Titisari ^{1*} , Kahfiati Kahdar ¹ , Intan Rizky Mutiaz ¹ ¹ Institut Teknologi Bandung (ITB), Indonesia	268
11.40-12.00	O4	STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SYMBOLS IN IDEAL LOOK TOWARDS ATTITUDES, TASTES AND VALUES OF EACH MALE HOMOSEXUAL GROUP Somphong Kongrungruangsakun ^{1*} , Anothai Cholachatpinyo ¹ Kasetsart University, Thailand	273
12.00-12.40		LUNCH BREAK	
12.40-13.40		POSTER PRESENTATION	
13.40-14.00	OK2	COULD CONSUMER'S ETHICAL BEHAVIOR BE A SOLUTION TO FAST FASHION? Ju- Young Choi ¹ , Mi Sook Kim ^{1*} Kyung Hee University, South Korea	279
14.00-14.20	O20	FASHION TREND EFFECT IN FASHION AS MEDIA OF COMMUNICATION Vania Aqmarani Sulaiman ^{1*} , Kahfiati Kahdar ¹ ¹ Faculty of Arts and Design, Institut Teknologi Bandung, Indonesia	282

THEME: FASHION MERCHANDISING AND MANAGEMENT**MODERATOR: PROF.ENA BROWN**

TIME	CODE	TITLE	PAGE
14.20-14.40	O18	THE MARKET CRAZE OF INDONESIA'S ISLAMIC FASHION SCENE Sabrina Ilma Sakina ^{1*} , Kahfiati Kahdar ¹ ¹ Institut Teknologi Bandung, Indonesia	287
14.40-15.00	E18	BRANDING A FASHIONABLE FABRIC Ena Brown ^{1*} ¹ Nottingham Trent University, UK	292
15.00-15.20	E44	CLASSIFICATION OF DISTRIBUTION CHANNELS OF TEXTILE AND APPAREL RETAILERS IN TURKEY Canan Saricam ^{1*} , Nazan Erdumlu ¹ ¹ İstanbul Technical University, Turkey	300
15.20-15.40	OK4	MULTI-CULTURAL DESIGN AND TECHNOLOGICAL MARKETING OPPORTUNITIES FOR ENTREPRENEURS IN THE GLOBAL FASHION INDUSTRY PRESENT CHALLENGES FOR APPAREL DESIGN AND FASHION RETAILING CURRICULUM DEVELOPMENT IN UNIVERSITIES Sue M. Parker ^{1*} ¹ The University of Alabama, USA	306

ROOM 205**THEME: FASHION, TEXTILE DESIGN AND PRODUCT DEVELOPMENT****MODERATOR:** 1.PROF.DR.SHERRY SCHOFIELD
2.PROF.JARUPATARA ARCHAWASMITH

TIME	CODE	TITLE	PAGE
09.00-09.20	O15	DEVELOPMENT OF KENAF FIBRE GRADE-C AS AN ALTERNATIVE RAW MATERIAL FOR TEXTILE CRAFT Ciptandi Fajar ^{1*} , Kahdar Kahfiati ² , Sachari Agus ² ¹ Telkom Creative Industries School, Indonesia ² Bandung Institute of Technology, Indonesia	311
09.20-09.40	O13	UNISEX APPAREL DESIGN, USING CULTURALLY APPROPRIATE HAND-WOVEN COTTON, FOLLOWING THE INITIATIVE OF HER MAJESTY QUEEN SIRIKIT Chanakarn Rungrarong ^{1*} ¹ University of Technology Thanyaburi, Thailand	318
09.40-10.00	O21	MATHEMATICS-FASHION: THE IMPLEMENTATION OF FIBONACCI SEQUENCES IN FASHION DESIGN Tria Nursatiti ^{1*} , Kahfiati Kahdar ¹ , ¹ Institute Technology Bandung, Indonesia,	324
10.00-10.20	O23	PRODUCT DIVERSIFICATION OF ERI SILK FOR HOME DÉCOR Anjali Karolia ^{1*} , Falguni Patel ¹ ¹ University of Baroda, India	329
10.20-10.40	E57	TEXTILE MANIPULATION FOR CALONARANG COSTUME CHARACTER Nidiya Kusmaya ^{1*} , Kahfiati Kahdar ¹ ¹ Institute Technology Bandung, Indonesia	336
10.40-11.00	E23	ELEGANT POLY-COTTON SAREES WITH SWIVEL PATTERNS Shameembanu A. Byadgi ^{1*} , Shailaja D. Naik ¹ , Jyoti V. Vastrad ¹ ¹ University of Agricultural Sciences, Dharwad, India.	341
11.00-11.20	E12	REDESIGNING TRADITION: CONTEMPORARY DEVELOPMENTS IN HANDWOVEN SILK SARIS OF KANCHEEPURAM, INDIA Sumithra Dawson ^{1*} ¹ Stella Maris College, India	348

THEME:TEXTILE PRODUCT MANUFACTURING**MODERATOR: PROF.DR.KORAKLOD KUMSOOK**

TIME	CODE	TITLE	PAGE
11.20-11.40	E26	DYNAMICS OF LOCKSTITCH SEWING PROCESS Vinay Kumar Midha ^{1*} ¹ Dr B R Ambedkar National Institute of Technology, India	356
11.40-12.00	OK3	IN SEARCH OF THE RIGHT TROUSER PATTERN - COMPARISON OF FOUR DIFFERENT PATTEN MAKING MATTHODS IN AFFORDANCE WITH DIFFERENT BODY SHAPES Hye-Won Lim ^{1*} , Tracy Cassidy ¹ , Simeon Gill ² ¹ University of Leeds, UK ² Manchester Metropolitan University, UK	362
12.00-12.40		LUNCH BREAK	
12.40-13.40		POSTER PRESENTATION	



POSTER PRESENTATION SESSIONS

29 October 2013

12.40-13.40

Vachiranusorn Building, Kasetsart University

THEME: SERICULTURE, SILK PROCESSING AND FINISHING

CODE	TITLE	PAGE
P4	PROPERTIES OF NATIVE HAND-WOVEN SILK FABRIC BY NEW DEVELOPMENT WARP WINGING Kittisak Ariyakaure ^{1*} , Charoon Klaichoi ¹ , Taweesak Sasongkoah ¹ , Virot Phadoughud ¹ ¹ Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand	369

THEME: TEXTILE SCIENCE AND TECHNOLOGY

CODE	TITLE	PAGE
E48	PRETREATMENT OF SILK FABRIC SURFACE WITH XYLOGLUCAN FOR INK JET PRINTING Pichet Thanapongjongruay ¹ , Pornpip Chaimanee ¹ , Supanee Chayabutra ^{1*} ¹ Silpakorn University, Thailand,	376
P8	PRINTING AND FASTNESS PROPERTIES OF SILK FABRIC PRINTED WITH PIGMENT DYE AND FLOUR OF WILD TARO (COLOCASIA ESCULENTA (L.) SCHOTT) Charoon Klaichoi ^{1*} , Rattanaphol Mongkholrattanasit ¹ , Supansa Deeyoung ¹ , Sasithorn Phisuttirat ¹ , Nattadon Rungruangkitkrai ² ¹ Rajamangala University of Technology PhraNakhon, Thailand ² Kasetsart University, Thailand	382
P11	COLOUR FASTNESS PROPERTY OF HEMP FABRIC PRINTED WITH PIGMENT DYE Sarun Jankaew ^{1*} , Kittisak Ariyakuare ¹ ¹ Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand	387
P13	STUDY MORDANT OF SILK DYEING WITH LAC (LACCIFER LACCA KERR.) Dungsri Kiartiphum ^{1*} , Nillit Tassaneya ¹ ¹ Rajmangala University of Technology Isan Surin Campus, Thailand	391
PK4	DYEING EFFECT OF FINISHING AND DYEING SEQUENCE ON THE COTTON KNIT FABRICS USING CHITOSAN AND CITRIC ACID Kyung Sun, Kim ^{1*} ¹ Ewha Waman's University and Natural Colorants and Textiles Research Center, South Korea	395
E24	MESTA (HIBISCUS SABDARIFFA) FIBRE: MICRO STRUCTURAL ANALYSIS R.K Dhanalaxmi ^{1*} , Jyoti V. Vastrad ¹ ¹ University of Agricultural Sciences, Dharwad, India	398
E55	EFFECT OF CONCENTRATION AND SOLVENT SYSTEM ON MORPHOLOGY OF ELECTROSPUN CELLULOSE ACETATE FIBERS Jitkrajaisaeng, Visan ^{1*} , Rangkupan, Ratthapol ² , Kampeerapappun, Piyaporn ³ , Srisawat, Natee ¹ ¹ Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand ² Chulalongkorn University, Thailand ³ Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand	403
PK17	COLOR SENSIBILITY OF NATURALLY DYED SILK FABRICS IN BLUE AND GREEN Eunjou Yi ^{1*} ¹ Jeju National University, South Korea	409

THEME: TEXTILE PRODUCT MANUFACTURING

CODE	TITLE	PAGE
E34	BODY SHAPE CHARACTERISTICS OF AFRICAN AND CAUCASIAN FEMALE CONSUMERS Bukisile P Makhanya ^{1*} , Helena M de Klerk ¹ , Karien Adamski ¹ , Anne Mastamet-Mason ² ¹ University of Pretoria, South Africa ² Tshwane University of Technology, South Africa	413
PK15	A STUDY ON THE BODY TYPES OF ADULT WOMEN BY 3D BODY SCAN DATA Ji Won Yoon ¹ , Mi A Suh ¹ , Mi Kyung Uh ^{1*} ¹ Hanyang University, South Korea	417
PK28	CLASSIFICATION OF ADULT MEN'S TORSO SOMATOTYPE BY 3D BODY SCAN DATA Eun-Hee Hong ¹ , Mi-A Suh ¹ , Mi-Kyung Uh ^{1*} ¹ Hanyang University, South Korea	419

THEME: FASHION, TEXTILE DESIGN AND PRODUCT DEVELOPMENT

CODE	TITLE	PAGE
E13	PRODUCTION OF VARIABLE DESIGNS ON SILK FABRIC USING DIFFERENT PRINTING TECHNIQUES AND FOLDING TYPES Ferial Tera ¹ , Jolin Qutob ² , Elham Elkharadly ^{3*} ¹ National Institute for Standards, Egypt ² King Abd- EL Aziz Unviversity, Saudi Arabian Kingdom. ³ National Research Center, Egypt	422
E51	NOTIFICATION BAG FOR INDONESIAN MIDDLE AGED WOMEN CONSUMER BASED ON MOBILE PHONE SIGNAL CATCHER TECHNOLOGY Rezky Amelia Putri ^{1*} , Kahfiati Kahdar ¹ ¹ Institut Teknologi Bandung, Indonesia	427
P6	THE DEVELOPMENT OF WOMEN'S WEAR FROM HAND-WOVEN COTTON FABRIC, UTILISING BANANA LEAF FOLDING TECHNIQUES Uraivan Khumsingha ^{1*} , Teranai Chantorn ¹ , Montana Polsin ¹ ¹ Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand	433
P12	THE DEVELOPMENT OF MUDMEE THAI SILK AND THE DESIGN OF SHIRTS FOR WORKING MEN IN SURIN PROVINCE Meeprom Ratanarekha ^{1,2*} , Soyraya Budsara ¹ , Kaengpenkae Sattha ¹ ¹ Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand ² Rajmangala University of Technology Isan Surin Campus, Thailand	439
P14	AN EXPLORATION OF LACE FABRIC STRUCTURE, EMPLOYING CROCHET TECHNIQUES FOR APPLICATION TO KEBAYA COSTUME Puspitasari Citra ^{1*} ¹ Telkom University, Indonesia	445
P16	THE CREATIVE USE OF SALT SHRINKING AND THE DE-GUMMING OF SILK AS A PATTERNING TECHNIQUE Kate Wells ^{1*} ¹ University of Derby, UK	451
PK2	A STUDY ON THE GUSSET FOR THE IMPROVEMENT OF MOBILITY IN A BASIC KIMONO SLEEVE-FOCUSING ON THE STANDARD BODY TYPE IN THEIR THIRTIES – Soon Kyo Kwon ^{1*} , Jae Chul Jeong ¹ , Sun Kyung Park ¹ ¹ Kookmin University, South Korea	457
PK5	A STUDY ON THE CULTURE PRODUCT DESIGN BY UTILIZING THE KOREA LANGUAGE PATTERN Kihoon Kim ¹ , Mira Mun ^{2*} ¹ Chung-Ang University, South Korea ² Chonbuk National University, South Korea	462
PK8	EXPRESSION CHARACTERISTIC OF POP ART IN JEAN-CHARLES DE CASTELBAJAC'S WORKS Sun Young Kim ^{1*} ¹ Sunchon National University, South Korea	467

PK11	A STUDY ON THE NAIL ART DESIGN BY UTILIZING THE FOUR GRACIOUS PLANTS Mira Mun ^{1*} , Sunju Park ² ¹ Chonbuk National University, South Korea ² MBC Beauty Academy, South Korea	469
PK12	A STUDY ON APPLICATION-METHOD OF DIGITALIZATION OF TEXTILE DESIGN APPLING EXPRESSIVE CHARACTERISTICS OF AUTOMATISM Park Jungbin ^{1*} , Park sunkyung ¹ ¹ Kookmin University, South Korea	475
PK14	THE BODY EXAGGERATION IN THE WORKS OF ALEXANDER MCQUEEN So Hee Um ^{1*} ¹ Gangnung-Wonju National University, South Korea	480
PK16	INFLUENCE OF THE HOLLYWOOD STYLE UPON WOMEN'S FASHION IN THE 1950'S Youngjae Lee ^{1*} ¹ Hanyang University, South Korea	483
PK22	CHARACTERISTICS OF CAMOUFLAGE PATTERNS EXPRESSED IN MODERN FASHION Yoonee Jang ¹ , So Hee Um ^{1*} ¹ Gangnung-Wonju National University, South Korea	486
PK23	A STUDY ON THE FASHION STYLE OF 21C WOMAN POLITICAL LEADER HILLARY CLINTON - FOCUSING ON HER FOUR-YEAR TENURE AS THE UNITED STATES SECRETARY OF STATE - Younyung Cho ¹ , Sook-Hi Yang ^{1*} ¹ Sookmyung Women's University, South Korea	490
PK24	A STUDY ON METHODS TO CATEGORIZE THE DESIGN ELEMENTS OF EVENING DRESSES FOR MASS CUSTOMIZATION Jiyoung Song ¹ , Jongsuk Chun ^{1*} ¹ Yonsei University, South Korea	494
PK25	A STUDY ON CURRENT STATE OF FUNCTIONAL BRASSIERE In-Ryu Choi ¹ , Hey Kyong Bang ^{1*} ¹ Sungshin Women's University, Korea	499

THEME: ECO TEXTILES AND INNOVATION

CODE	TITLE	PAGE
E54	EXPLORATION ON CHRYSANT (CHRYSANTHEMUM) UTILIZATION AS NATURAL DYES ON SILK PAINTING TECHNIQUES Gitta Listyani, Nadia ^{1*} ¹ Institute Technology Bandung, Indonesia	501
PK13	THE EFFECT OF CONSUMER'S PROFESSIONAL KNOWLEDGE OF ECO-FRIENDLY TEXTILE MATERIAL ON FASHION PRODUCT BUYING Ha Yeon Yoon ¹ , Sangmoo Shin ^{1*} ¹ Soongsil University, South Korea	506

THEME: FASHION MERCHANDISING AND MANAGEMENT

CODE	TITLE	PAGE
P2	INVESTIGATING DIMENSIONALITY OF VIRTUAL STORE ATTRIBUTES Heekang Moon ¹ , Hyun-Hwa Lee ^{2*} , Gao Yan ² , Jieun Jung ² ¹ Pai Chai University, South Korea ² Inha University, South Korea	508
PK3	A STUDY ON CULTURAL ART STRATEGY OF CHRISTIAN DIOR-FOCUSING ON MUSEUM OF CHRISTIAN DIOR- Yu Mi Kwon ^{1*} , Sun Young Kim ² ¹ Ochanomizu University, Japan ² Suncheon National University, Korea	512
PK21	STUDY ON ACTIVATION PLAN FOR MYEONG-DONG AREA -FOCUSED ON BUSINESS OWNERS OF BEARTY STORE- Sung-kyung Im ^{1*} , Jihun Yu ¹ ¹ Sangmyung University, South Korea	515

PK29	KOREAN FEMALE CONSUMERS' EXPECTATIONS AND PERCEPTIONS OF CUSTOMER SERVICE IN APPAREL RETAIL STORES Sangwoon Byung ¹ , Choon Sup Hwang ^{1*} , Jaehee Jung ^{1,2} ¹ Kyung Hee University, South Korea ² University of Delaware, USA	519
------	--	-----

THEME: TEXTILE AND FASHION CONSUMER BEHAVIOUR

CODE	TITLE	PAGE
P1	AN ANALYSIS OF VALUES EXPRESSED IN NEWSPAPER ARTICLES FOCUSED ON THE BOTTOMLESS LOOK Sun-Jeong Whang ¹ , Yhe-Young Lee ^{1*} ¹ Korea University, South Korea	522
P7	APPARELS DESIGN FROM RE-USED DENIM Suttita Sawanaporn ^{1*} , Sarut sukawat ¹ , Suradach Chupinijrobkob ¹ ¹ Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand	524
P15	CONSUMER RESPONSES TO A LOCATION- AND CONTEXT-BASED MOBILE RECOMMENDATION SYSTEM Hyun-Hwa Lee ¹ , Hee Kang Moon ^{2*} ¹ Inha University, South Korea ² Pai Chai University, South Korea	528
PK1	IMPACTS OF FASHION BRAND'S SNS MARKETING FACTORS ON CONTINUOUS USE INTENTION Ara Ko ^{1*} , Sunhee Kim ² ¹ Ewha Womans University, South Korea ² Kimpo College, South Korea	531
PK6	EFFECTS OF MOBILE FASHION SHOPPING CHARACTERISTICS ON PURCHASE INTENTION OF MOBILE FASHION SHOPPING MALL - FOCUSED ON SMARTPHONE USERS - Minjung Kim ^{1*} , Suyun Shin ¹ ¹ Seoul Women's University, Korea	537
PK7	THE EFFECTS OF BRAND EQUITY AND RELATIONSHIP EQUITY WITH INTERNET SHOPPING MALL ON FASHION CONSUMER'S RECOMMENDATION, LOYALTY, REPURCHASE AND SWITCHING Bokyung Kim ¹ , Mi Sook Kim ^{2*} , ¹ Seokyeong University, South Korea ² Kyung Hee University, South Korea	544
PK9	HOMEMAKERS'SATISFACTION AND PURCHASE INTENTION OF CHILDREN'S INNERWEAR MADE OF HANJI Kyung-Eun Choi ¹ , Yong-Sook Kim ^{2*} ¹ National University of Education, South Korea ² Chonbuk National University, South Korea	547
PK18	THE EFFECTS OF PERCEIVED SUSTAINABILITY MANAGEMENT OF FASHION BRAND ON PERCEIVED MOTIVATION Jimin Lee ^{1*} , Sunhee Kim ² ¹ Ewha Womans University, South Korea ² Kimpo College, South Korea	550
PK19	THE RELATIONSHIP BETWEEN SKIN CARE INTERNAL CONTROL FACTOR, SKIN CARE EXTERNAL CONTROL FACTOR, SKIN CARE BEHAVIORAL INTENTION, AND SKIN CARE BEHAVIOR Kil-Soon Park ^{1*} , Ji-Young Lee ¹ ¹ Chungnam University, South Korea	554
PK20	A STUDY ON THE MOBILE FASHION COMMERCE CHARACTERISTICS AND CONSUMER GROUPS ACCORDING TO PURCHASE INTENTION Sebin Hong ^{1*} , Hyunmee Lee ² ¹ Ewha Womans University, South Korea ² Yong-In Songdam College, South Korea	558

PK26	COMPARISON OF SUBJECTIVE TACTILE SENSATIONS AND PREFERENCES FOR SUMMER SHIRT FABRICS Jongmyoung Choi ^{1*} ¹ Chungbuk National University, South Korea	563
PK27	MOUNTAIN GEAR DISSATISFACTION AND DESIGN PREFERENCE AS DETERMINED BY MOUNTAINEERING SPECIALIZATION AND PURSUED BENEFITS Heejung Han ¹ , Misook Kim ^{2*} ¹ Keimyung University, South Korea ² Kyung Hee University, South Korea	566
PK32	PURSUED IMAGES AND COLOR PREFERENCES FOR MOUNTAIN GEAR BY GENDER AND AGE Heejung Han ¹ , Mi Sook Kim ^{2*} ¹ Keimyung University, South Korea ² Kyung Hee University, South Korea	570

THEME: HISTORY, CULTURE AND ARCHEOLOGICAL OF TEXTILES

CODE	TITLE	PAGE
P18	FROM THE ORIGIN OF TAI SILK 5,000 YEARS AGO TO TAI SILK WEAVING TECHNOLOGY IN PREHISTORY Orathai Pholdi ^{1*} ¹ Kasetsart University, Thailand	575
P19	TRACEABILITY APPROACH FOR UNIQUE THAI SILK FABRIC BY USING INFORMATION TECHNOLOGY SYSTEM Siriporn Boonchoo ^{1*} , Surang Samermjai ² , Pornpom Chairuaticchai ³ ¹ The Queen Sirikit Department of Sericulture, Thailand ² Chaing Mai University, Thailand ³ National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, Thailand	578
PK10	THE CHARACTERISTICS OF MOVIE COSTUMES BASED ON THE MID-MEDIEVAL AGES IN THE HISTORICAL PLAY Kim, Ju Ae ^{1*} ¹ Gyeong Sang National University, South Korea	585
PK30	ON THE FACTORS OF TRANSFORMATION AND INHERITANCE OF THE DONG PEOPLE'S COSTUMES Shunai Zhang ^{1*} , Xin He ² ¹ Dong Hua University, China ² Dalian Polytechnic University, China	588

EFFECT OF CONCENTRATION AND SOLVENT SYSTEM ON MORPHOLOGY OF ELECTROSPUN CELLULOSE ACETATE FIBERS

Jitkrajaisaeng, Visan^{1*}, Rangkupan, Ratthapol^{2, 3},
Kampeerapappun, Piyaporn⁴, Srisawat, Natee¹

¹*Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, 12110 Thailand*

²*Metallurgy and Material Science Research Institute, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok, 10330 Thailand*

³*Center of Innovative Nanotechnology, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok, 10330 Thailand*

⁴*Division of Textile Chemical Engineering, Department of Textile Industries, Rajamangala University of Technology Krungthep, Sathorn, Bangkok 10120 Thailand*

Abstract: Electrospinning of cellulose acetate (CA) was performed from neat acetone and acetone-water mixture. The effects of solution parameters (e.g. CA concentration and solvent system) on solution properties, morphology, and diameter of CA fibers were examined. The morphology of the electrospun CA fibers from neat acetone was gradually changed by increasing CA concentration. The bead-free CA fibers were observed from solution of 15% (w/w). In the case of acetone/water solvent system, all electrospun fibers exhibited a ribbon-like structure. The diameter of the electrospun fiber increased with increasing ratio of water. In addition, the porous structure on the fiber surface was found when water was added in the CA solution.

Keywords: Cellulose acetate, Electrospinning, Solvent system

*Corresponding author: visan_xx@hotmail.com

Introduction

Electrospinning is a simple and versatile technique using electrostatic forces to produce fine fibers. Because of their larger specific surface area and smaller pore size compared to commercial nonwoven fabrics [1], electrospun mats are used in variety applications such as specialty filters, functional coatings, composite reinforcement, medical devices, tissue engineering, and wound dressing [2-4].

Recently, electrospun fibers based on cellulose and cellulose derivatives have been studied as a great opportunity for new application especially, in a pharmaceutical field [5]. Cellulose acetate (CA) is one of the most important organic esters derived from cellulose which can be electrospun into fibers by using single, binary and ternary solvent system [6-9]. The selections of polymer concentration and solvents affect electrospun fiber morphology [10].

In this study, the morphology of CA electrospun fibers in acetone and acetone-water mixture was investigated. This enabled suitable solvent system as a more environmentally-friendly solvent system for electrospinning of cellulose acetate.

Materials and Methods

2.1 Materials

Cellulose acetate was purchased from Sigma-Aldrich, USA with reported molecular weight

of 30,000 kDa. Acetone was obtained from Ajax Finechem Pty, Ltd, New Zealand. Acetone and distilled water were used as a solvent to prepare solutions. All materials were used without any further purification.

2.2 Sample preparation

Cellulose acetate (CA) concentrations were prepared in the range of 7 to 21% (w/w) in acetone by constant stirring at room temperature until a homogeneous solution was obtained. The suitable concentration was selected based on spinnability of the resulting polymer solution (bead-free). Then, the selected CA concentration was prepared in single and binary solvent systems that were acetone and the different ratios of acetone/ distilled water. Each solution was subjected to viscosity and conductivity measurement using Rotovisco 1 rotational rheometer (Thermo Fisher Scientific Inc., Singapore) at shear rate of 200 s^{-1} and Cyberscan 500 conductivity meter (Eutech Instruments, Singapore), respectively.

2.3 Electrospinning

The major portion of electrospinning set-up consists of a spinneret (a 3 ml syringe equipped with 21 gauge stainless steel needle), a high voltage power supply (Gamma High Voltage Research, USA), and a target plate covered by aluminium foil. These solutions were electrospun to obtain fibers at voltage 15 kV. The flow rate and spinneret-collector distance were fixed at 10 ml/h and 15 cm, respectively. The morphology and diameter of fibers were investigated by scanning electron microscope (SEM).

2.4 Characterization

The morphology of electrospun fibers was obtained using a 4510-Jeol scanning electron microscope (SEM, Jeol Ltd., Japan). All samples were sputter-coated with gold before SEM observation. Fiber diameters of electrospun fibers were measured by means of the ImageJ software from the SEM micrographs in their original magnification.

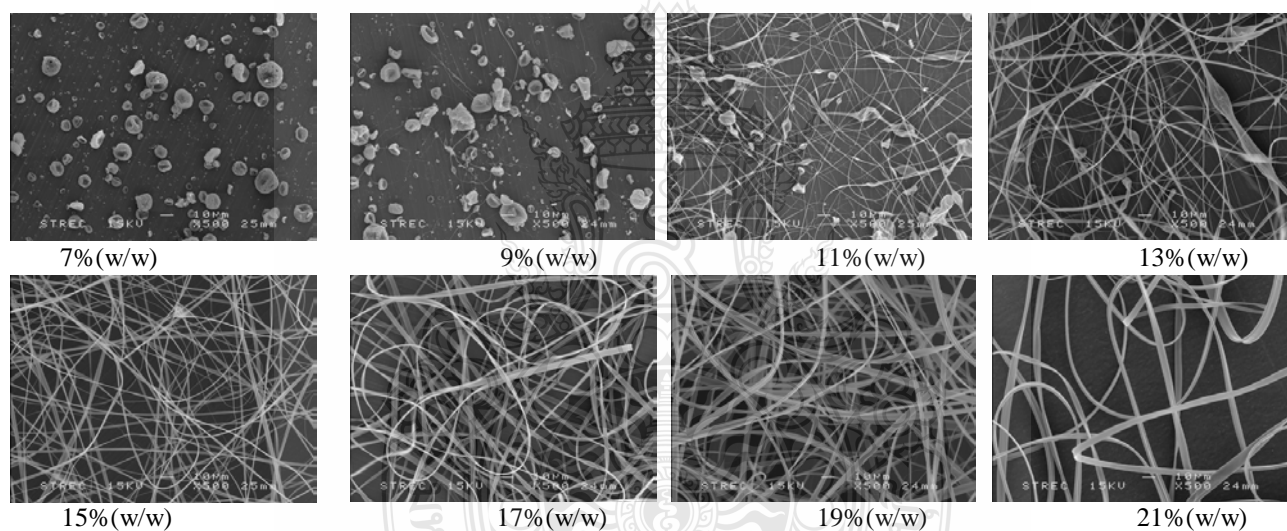
Results

3.1 Effect of CA concentration on morphology of electrospun fibers

Prior electrospinning, viscosity and conductivity of CA solutions in acetone were measured and the results are shown in Table 1. Moreover, Figure 1 shows SEM micrographs of CA fibers electrospun with various concentrations at a fixed flow rate (10 ml/h), voltage (15 kV), and distance (15 cm).

Table 1. Properties of CA solution and the resulting electrospun fibers

Concentration (% w/w)	Viscosity (cP)	Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Fiber morphology	Fiber or bead diameter (μm)
7	11.65	3.42	Beads only	10.87 ± 3.70
9	30.87	3.62	Beads only	12.77 ± 3.93
11	65.99	3.69	Beaded fibers	1.26 ± 0.35 (Fiber)
13	163.0	3.59	Beaded fibers	1.88 ± 0.42 (Fiber)
15	311	3.61	Ribbon-like bead- free fiber	2.47 ± 0.71
17	646	3.66	Ribbon-like bead- free fiber	4.04 ± 0.71
19	1432	3.49	Ribbon-like bead- free fiber	4.40 ± 1.38
21	2074	3.66	Ribbon-like bead- free fiber	5.71 ± 1.55

**Figure 1.** SEM micrographs of electrospun CA fibers at different solution concentrations

From Figure 1 and Table 1, it was found that the morphology of the electrospun CA from neat acetone was gradually changed by increasing CA concentration. An increase of CA concentration resulted in increasing viscosity of solution; however, the conductivity of solutions does not change significantly (Table 1). In the case of viscosity data, these results were explained that there were few polymer molecule chains in solution at low concentration resulting in too low entanglement of molecule chain to prevent the electrically driven jet from breaking up thus the discrete spherical droplets were formed. When concentration of polymer solution was increased, bead formation was suppressed due to enough chain entanglement to form a fiber. The measurement of conductivity is a way for determining ionic content in solution. Increasing the number of ions in solution will increase amount of charge causing increasing the conductivity. Nevertheless, concentration of CA in solution did not influence a number of ions leading to slightly changed conductivity.

3.2 Effect of solvent system on morphology of electrospun fibers

Acetone was used as the main solvent to dissolve cellulose acetate into homogenous solution for electrospinning process; however, its low boiling point can easily block the needle tip, which

ceases the electrospinning process [11]. To solve this problem, water, a higher boiling point solvent (Table 2), was chosen to mix with acetone as binary solvent because it is cheap, abundant, and safe for environment. The electrospinning of CA solution with different solvent compositions was carried out at a fixed flow rate of 10 ml/h, CA concentration of 15(%w/w), voltage at 15 kV and 15 cm in distance between needle tip and collector shown in Table 3 and Figure 2.

Table 2. Physical properties of solvents [2]

Solvent	Boiling temp (°C)	Viscosity at 20 °C (cP)	Hildebrand solubility parameter (cal/cm ³) ^{1/2}	Surface tension at 20°C (dyne cm ⁻¹)
Acetone	56.29	0.36	9.77	23.32
Water	100	1	23.5	72.8

Table 3. Properties of 15% (w/w) CA solution and the resulting electrospun fibers

Solvent	Viscosity (cP)	Conductivity (μS/cm)	Fiber morphology	Fiber or bead size (μm)
Neat acetone	311	3.61	Ribbon-like bead- free fiber	2.47 ± 0.71
90/10 acetone/water	370	8.89	Ribbon-like bead- free fiber	3.00 ± 0.74
85/15 acetone/water	450	9.38	Ribbon-like bead- free fiber	2.58 ± 0.93
80/20 acetone/water	567	10.45	Ribbon-like bead- free fiber	5.34 ± 1.51

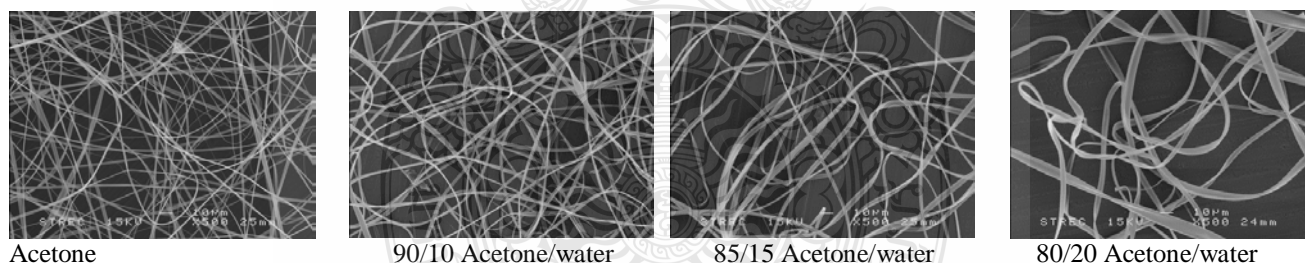


Figure 2. SEM micrographs of electrospun CA fibers at different solvent systems

The viscosity and conductivity of CA solutions increased from that of the CA solution using acetone as a solvent with an increase in water composition (Table 3). The solubility of CA in solvents ranges from the Hildebrand solubility parameters between 9.5 and 12.5 (cal/cm³)^{1/2} [12] thus, acetone can dissolve CA, while water is not (Table 2). Addition of water into CA solution gave more charged species causing an increase of solution conductivity with increasing solution concentration. In addition, it was found that the formation of flat ribbons was obtained in all conditions (Figure 2). This is because uneven evaporation of solvent between the skin and the core of the charged jet resulting in the jet to collapse [11]. The SEM images of electrospun CA fibers with higher magnifications are given in Figure 3.

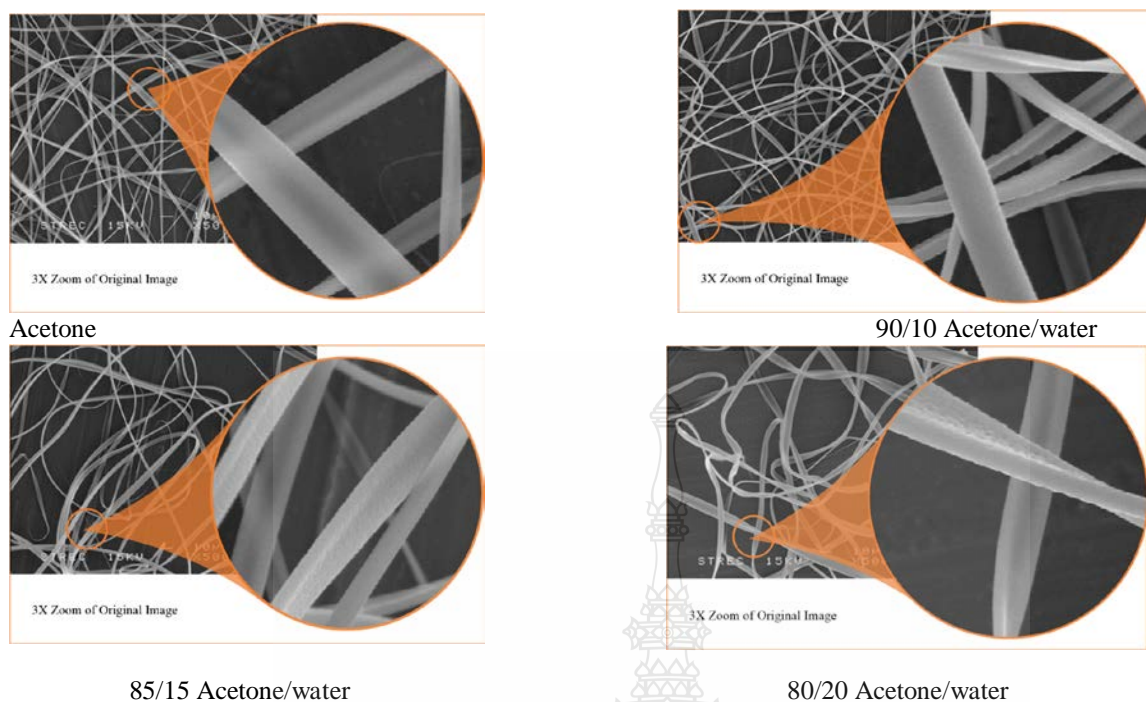


Figure 3. SEM micrographs of electrospun CA fibers with higher magnifications

From Figure 3, it was observed the higher the content of water in the solvent system, the more porous structures was obtained. It is concluded that the porous structure was due to different evaporation rate of solvents.

Conclusion

In this study, CA fibers were obtained by electrospinning from their solutions. The effects of viscosity and solvent system on the morphology of fibers were investigated. The morphology of electrospun CA fibers was impacted by polymer solution, solvent system, and acetone/water ratios.

References

- [1] Doshi, J. & Reneker, D.H. Electrospinning process an applications of electrospun fibers, **Journal of Electrostatics**, Vol. 35 (1995), pp. 151-160.
- [2] Khil, M.S., Cha, D.I., Kim, H.Y., Kim, I.S. & Bhattarai, N. Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing, **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterial**, Vol. 67B (2003), pp. 675-679
- [3] Lee, K.H., Kim, H., Ryu, Y., Kim, K. & Choi, S. Mechanical behavior of electrospun fiber mats of PVC/PU polyblends, **Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics**, Vol. 41(2003), pp. 1256-1262.
- [4] Lee, K.H., Kim, H.Y., Khil, M.S., Ra, Y.M. & Lee, D.R. Characterization of nano-structured poly(ϵ -caprolactone) nonwoven mats via electrospinning, **Polymer**, Vol. 44 (2003), pp. 1287-1294.
- [5] Lim, Y.M., Gwon, H.J., Jeun, J.P. & Nho, Y.C. Preparation of cellulose-based nanofibers using electrospinning, Available from http://cdn.intechopen.com/pdfs/8643/InTech-Preparation_of_cellulose_based_nanofibers_using_electrospinning.pdf Accessed:2013-07-07.

- [6] Supaphol, P., Neamnark, A., Taepaiboon, P. & Pavasant, P. Effect of degree of acetylation on in vitro biocompatibility of electrospun cellulose acetate based fibrous matrices, **Chiang Mai Journal of Science**, Vol. 39 (2012), pp. 209-223.
- [7] Zhou, W., He, J., Cui, S. & Gao, W. Studies of electrospun cellulose acetate nanofibrous membranes, **The Open Materials Science Journal**, Vol. 5 (2011), pp. 51-55.
- [8] Tungprapa, S., Puangparn, T., Weerasombat, M., Jangchud, I., Fakum, P., Semongkhon, S., Meechaisue, C. & Supaphol, P. Electrospun cellulose acetate fibers: effect of solvent system on morphology and fiber diameter, **Cellulose**, Vol. 14 (2007), pp. 563-575.
- [9] Celebioglu, A. & Uyar, T. Electrospun porous cellulose acetate fibers from volatile solvent mixture, **Materials Letters**, Vol. 65 (2011), pp. 2291-2294.
- [10] Lu, C., Chen, P., Li, J. & Zhang, Y. Computer simulation of electrospinning. Part I. Effect of solvent in electrospinning, **Polymer**, Vol. 47 (2006), pp. 915-921.
- [11] Koombhongse, S., Liu, W. & Reneker, D.H. Flat polymer ribbons and other shapes by electrospinning, **Journal of Polymer Science B**, Vol. 39 (2001), pp. 2598-2606.
- [12] Liu, H & Hsieh, Y.L. Ultrafine fibrous cellulose membranes from electrospinning of cellulose acetate, **Journal of Polymer Science B**, Vol. 40 (2002), pp. 2119-2129.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	ว่าที่ร้อยโทวิศาล จิตต์กระจายแสง
วัน เดือน ปีเกิด	27 มกราคม 2526
ที่อยู่	454/204 ซอยเจริญราษฎร์ 5 แยก 4-4 ถนนเจริญราษฎร์ แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร 10120
การศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ประสบการณ์การทำงาน	พฤษภาคม 2548 - ตุลาคม 2549 บริษัท เท็กซ์ไทล์ เพรสทีจ จำกัด (มหาชน) ตำแหน่ง วิศวกรประกันคุณภาพ
	ตุลาคม 2549 - กุมภาพันธ์ 2551 บริษัท วินดี เท็กซ์ จำกัด ตำแหน่ง หัวหน้าแผนกงานลามิเนต
	กุมภาพันธ์ 2551 - ปัจจุบัน สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตำแหน่ง นักวิชาการอาวุโส
เบอร์โทรศัพท์	08-4663-8916
อีเมลล์	visan_xx@hotmail.com