

การสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVA โดยวิธีการทางไฟฟ้าสถิตภายใต้
เงื่อนไขที่แตกต่างกัน

SYNTHESIS OF PVA NANOFIBERS BY ELECTROSPINNING
UNDER VARIOUS CONDITION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVA โดยวิธีการทางไฟฟ้าสถิตภายใต้
เงื่อนไขที่แตกต่างกัน

SYNTHESIS OF PVA NANOFIBERS BY ELECTROSPINNING
UNDER VARIOUS CONDITION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYNTHESIS OF PVA NANOFIBERS BY ELECTROSPINNING
UNDER VARIOUS CONDITION



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)

DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVA โดยวิธีการทางไฟฟ้าสถิตภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน
Synthesis of PVA Nanofibers by Electrospinning under Various Condition

ชื่อนักศึกษา นางสาวพินภรณ์ พิมพา รหัสนักศึกษา 57051006
นางสาวพิมพ์ชนก ดั่งประสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 57051008

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สาทร่าย เล็กชะอุ่ม ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVA โดยวิธีการทางไฟฟ้าสถิตภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพัฒนภรณ์ พิมพา	รหัสนักศึกษา 57051006
	นางสาวพิมพ์ชนก ด่วงประสิทธิ์	รหัสนักศึกษา 57051008
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2560	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผ.ศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส	

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยและผลการสังเคราะห์เส้นใยนาโนโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) บนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ด้วยเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยจาก 20 เซนติเมตร ถึง 40 เซนติเมตร และความเข้มข้นของสารละลายจาก 4%wt ถึง 16%wt โดยสมบัติของเส้นใยนาโน PVA จะถูกตรวจสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (FTIR) และเครื่องมือวัดมุมสัมผัส จากผลของภาพที่ได้จากเครื่องมือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง (FESEM) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยนาโน PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะ 20 เซนติเมตร และ 40 เซนติเมตร มีขนาดอยู่ที่ 123.44 นาโนเมตร และ 177.90 นาโนเมตรตามลำดับ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยนาโน PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้นจาก 4%wt ถึง 16%wt มีขนาดอยู่ที่ 266.41 นาโนเมตร และ 806.15 นาโนเมตรตามลำดับ ผลของการตรวจสอบสมบัติของเส้นใย PVA จากเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (FTIR) ลักษณะของกราฟที่ได้เป็นไปตามลักษณะโดยทั่วไปของกราฟที่ได้จากการตรวจสอบ PVA ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของเส้นใยนาโน PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะ 35 เซนติเมตรและที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ 7%wt มีค่ามุมสัมผัสที่มากที่สุดคือ 123.19° ซึ่งผลการทดสอบนี้ได้แสดงให้เห็นถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำที่สูงที่สุดสำหรับเส้นใยนาโน PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยนี้

คำสำคัญ : PVA, เส้นใยนาโน, การสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต, มุมการสังเคราะห์เส้นใย

Title	Synthesis of PVA Nanofibers by Electrospinning Under Various Condition		
Student	Miss Pinnaporn Pimpa	Student ID	57051006
	Miss Phimchanok Duangprasit	Student ID	57051008
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)		
Department	Physics		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2017		
Advisor	Asst.Prof.Dr. Nathaporn Promros		

Abstract

This research was concerned to synthesize of polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers by electrospinning process with adjustable distance of the syringes' tip to the collector plate and the results of the electrospun PVA nanofibers. The PVA nanofibers were spun on the aluminum foil using electrospin system with adjustable distance between the tip of syringe and the collector plate from 20 to 40 cm. with solution concentration of 4 – 16 %wt. The properties of the PVA nanofibers were studied by using field emission scanning electron microscopy (FESEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and the contact angle measurement (CA). From FESEM images, the average diameter of the electrospun PVA nanofibers, at the distance of 20 and 40 cm were 123.44 and 177.90 nm, respectively. At the PVA concentration of 4 and 16 %wt, the average diameter of the electrospun nanofibers were 266.41 and 806.15 nm. The analyzed FTIR spectrum showed the typical peaks of the PVA nanofibers. The highest CA, 123.19 was exhibited. At the distance of syringe – collector plate of 35 cm and PVA concentration of 7 %wt. This obtained results showed the hydrophobicity of the electrospun PVA nanofibers.

Keywords : Polyvinyl Alcohol, Nanofiber, Electrospinning, Contact angle

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานพิเศษ ที่อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดี ซื่อสัตย์สุจริต ตั้งใจทำงาน อ่อนน้อมถ่อมตน รับฟังความคิดเห็นคนอื่น เชื่อฟังคำสั่งสอนของครูอาจารย์และพ่อแม่ เป็นคนมีน้ำใจช่วยเหลือผู้อื่น เห็นแก่ประโยชน์ส่วนรวม มีน้ำใจนักกีฬา กตัญญู รู้คุณพ่อแม่ครูอาจารย์ ที่มอบหมายหัวข้อโครงการงานพิเศษเรื่องนี้ให้กับผู้วิจัย ทั้งยังสนับสนุนในเรื่องต่างๆ ทั้งในเรื่องอุปกรณ์และสถานที่ปฏิบัติงาน รวมไปถึงคำแนะนำและความรู้ใหม่ๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปใช้ประยุกต์ในการปฏิบัติงานแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด อีกทั้งคำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขส่วนต่างๆ ภายในระบบการทำโครงการงานพิเศษเรื่องนี้ให้สำเร็จลุล่วงผ่านไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการคุมสอบโครงการงานพิเศษ รศ.สาทร่าย เล็กชะอุ่ม ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ และ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ที่ได้สละเวลาอันมีค่าเข้ารับฟังการนำเสนองานวิจัย รวมถึงการให้คำแนะนำในการปรับปรุงข้อบกพร่องของโครงการงานพิเศษนี้ รวมถึง คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยทำให้ผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการงานวิจัยได้อย่างดี

ขอขอบคุณ นายอดิสร นพรัจกุล นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นายวีรศรุต แก่นไร่ นายธนชัย แจงเจริญ นายพีรศิลป์ เจริญยืนยาว นางสาววิวรรณ เฉลียวพงษ์ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คอยให้คำปรึกษาตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนนักศึกษาปริญญาตรีทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาตลอดการวิจัย ในครั้งนี้อันมีผลให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวของข้าพเจ้า ตลอดจนเพื่อนสนิทของข้าพเจ้า ที่คอยเป็นกำลังใจ แร่งผลักดัน ให้ข้าพเจ้าทำงานวิจัยโครงการงานพิเศษฉบับนี้จนสำเร็จ

พินภรณ์ พิมพา

พิมพ์ชนก ดั่งประสิทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	4
2.1.1 หลักการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	6
2.1.2 ผลึกเหลว	7
2.1.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	9
2.2 เส้นใยนาโน	12
2.2.1 จุดเด่นของเส้นใยนาโน	13
2.2.2 การประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน	13
2.3 PVA	15
2.3.1 คุณสมบัติการละลายในน้ำ	15
2.3.2 PVA ที่ไม่ละลายในน้ำ	15
2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)	15
2.5 เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy)	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 การดุดกลืนรังสีอินฟราเรด	17
2.5.2 การประยุกต์ใช้งาน	18
2.6 มุมสัมพันธ์	18
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.7.1 งานวิจัยภายในประเทศ	19
2.7.2 งานวิจัยต่างประเทศ	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย	22
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานและเตรียมการทดลอง	24
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย	24
3.2.2 การสังเคราะห์เส้นใย PVA ด้วยระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการ	24
3.3 การตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์เส้นใยโดยวิธีการทางไฟฟ้าสถิต	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	29
4.1 ผลกระทบที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยจากการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็ม	29
4.1.1 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่าง 20 cm	31
4.1.2 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่าง 25 cm	31
4.1.3 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่าง 30 cm	32
4.1.4 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่าง 35 cm	32
4.1.5 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่าง 40 cm	33
4.2 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm)	33
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มที่ 20 cm	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มที่ 25 cm	35
4.2.3 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มที่ 30 cm	36
4.2.4 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มที่ 35 cm	37
4.2.5 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มที่ 40 cm	38
4.3 การตรวจสอบผิวสัมผัสของเส้นใยที่สังเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์มุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่สร้างจากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm)	40
4.3.1 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 20 cm	41
4.3.2 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 25 cm	42
4.3.3 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 30 cm	43
4.3.4 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 35 cm	44
4.3.5 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 40 cm	45
4.4 การทดสอบลักษณะการส่งผ่านและพันธะเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด	47
4.4.1 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 20 cm	47
4.4.2 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 25 cm	49
4.4.3 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 30 cm	50
4.4.4 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 35 cm	52
4.4.5 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 40 cm	53
4.5 ผลกระทบที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยจากการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย	55
4.5.1 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 4%wt	57
4.5.2 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 7%wt	57
4.5.3 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 10%wt	58
4.5.4 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 13%wt	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.4 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 16%wt	59
4.6 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้ความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt)	59
4.6.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 4%wt	60
4.6.2 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 7%wt	61
4.6.3 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 10%wt	62
4.6.4 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 13%wt	63
4.6.5 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 16%wt	64
4.7 การตรวจสอบผิวสัมผัสของเส้นใยที่สังเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์หุ้มสัมผัสของเส้นใย PVA ที่สร้างจากความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt)	67
4.7.1 ความเข้มข้น 4%wt	68
4.7.1 ความเข้มข้น 7%wt	69
4.7.1 ความเข้มข้น 10%wt	70
4.7.1 ความเข้มข้น 13%wt	71
4.7.1 ความเข้มข้น 16%wt	72
4.8 การทดสอบลักษณะการส่งผ่านและพันธะเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด	74
4.8.1 ความเข้มข้น 4%wt	74
4.8.1 ความเข้มข้น 7%wt	76
4.8.1 ความเข้มข้น 10%wt	77
4.8.1 ความเข้มข้น 13%wt	79
4.8.1 ความเข้มข้น 16%wt	80

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	83
5.1 สรุปผลการวิจัย	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารอ้างอิง	85
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก	88
ภาคผนวก ข	90
ภาคผนวก ค	92
ภาคผนวก ง	95
ภาคผนวก จ	96
ภาคผนวก ฉ	97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
2.1 เปรียบเทียบขนาดและพื้นที่ผิวต่อมวลของเส้นใยชนิดต่างๆ	4
2.2 พอลิเมอร์และตัวทำละลายที่ใช้ในเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	10
2.3 แสดงมุมสัมผัสค่าต่าง ๆ	19
3.1 แสดงค่าตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองของสารละลาย PVA	27
3.2 แสดงค่าตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองของสารละลาย PVA	27
4.1 ตัวแปรที่ถูกกำหนดไว้ใน การทดลอง	30
4.2 ตารางแสดงขนาดโดยเฉลี่ยของเส้นใยและช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใยที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm)	39
4.3 ตารางแสดงค่ามุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบในจุดสัมผัสที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน	46
4.4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบพื้นผิวของเส้นใย PVA ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่แตกต่างกัน	46
4.5 ตัวแปรที่ถูกกำหนดไว้ใน การทดลอง	56
4.6 ตารางแสดงขนาดโดยเฉลี่ยของเส้นใยและช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใยที่ความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt)	65
4.7 ตารางแสดงค่ามุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบในจุดสัมผัสที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน	73
4.8 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบพื้นผิวของเส้นใย PVA ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เส้นใยลักษณะต่างๆ ที่ใช้เทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	6
2.2 แสดงการติดตั้งของระบบในกระบวนการการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	7
2.3 การประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้ากับการจัดเรียงตัวในของเหลวของเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	8
2.4 ภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงภาพพื้นผิวของเส้นใย PVP/ZnO	13
2.5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	16
2.6 แสดงสเปกตรัม FTIR ของ ZnO(A) PVA/ZnO(B) และ PVA(C)	17
2.7 แสดงแสดงมุมสัมผัส (θ) มุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างระนาบ	18
3.1 ภาพอุปกรณ์ในการใช้เตรียมสารละลาย	22
3.2 รูปส่วนประกอบย่อยต่างๆ สำหรับการเตรียมสารละลาย	23
3.3 ภาพแสดงขั้นตอนและเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมสาร	24
3.4 ภาพส่วนประกอบเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	25
3.5 (ก) เครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย	25
3.5 (ข) เครื่องให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง	25
3.6 การปรับระยะของแผ่นรองรับ	26
3.7 (ก) ปรับระยะมุมในการสังเคราะห์เส้นใย	26
3.7 (ข) ต่อขั้วไฟฟ้าขั้วลบและขั้วบวก	26
3.8 ตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์เส้นใย	28
4.1 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 20 cm	31
4.2 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 25 cm	31
4.3 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 30 cm	32
4.4 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 35 cm	32
4.5 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 40 cm	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 20 cm ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	34
4.7 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 25 cm ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	35
4.8 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 30 cm ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	36
4.9 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 35 cm ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	37
4.10 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 40 cm ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	38
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใย	39
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย	40
4.13 ภาพถ่ายชิ้นงานที่อยู่ในถุงเก็บชิ้นงานซึ่งถูกตัดเป็นชิ้นเล็กเพื่อเตรียมนำไปทดสอบสมบัติ	40
4.14 รูปแสดงผลการทดสอบมัมส์ของเส้นใย PVA ที่ได้จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 20 cm	41
4.15 รูปแสดงผลการทดสอบมัมส์ของเส้นใย PVA ที่ได้จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 25 cm	42
4.16 รูปแสดงผลการทดสอบมัมส์ของเส้นใย PVA ที่ได้จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 30 cm	43
4.17 รูปแสดงผลการทดสอบมัมส์ของเส้นใย PVA ที่ได้จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 35 cm	44
4.18 รูปแสดงผลการทดสอบมัมส์ของเส้นใย PVA ที่ได้จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 40 cm	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับมุมสัมผัส	47
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ 20 cm	48
4.21 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ 20 cm	48
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ 25 cm	49
4.23 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ 25 cm	50
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ 30 cm	51
4.25 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ 30 cm	51
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ 35 cm	52
4.27 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ 35 cm	53
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ 40 cm	54
4.29 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ 40 cm	54
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการส่งผ่านของเส้นใย PVA จากระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยทั้งหมด 5 ระยะ	55
4.31 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 4%wt	57
4.32 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 7%wt	57
4.33 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 10%wt	58
4.34 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 13%wt	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.35 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 16%wt	59
4.36 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 4%wt ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	60
4.37 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 7%wt ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	61
4.38 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 10%wt ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	62
4.39 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 13%wt ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	63
4.40 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 16%wt ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	64
4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย	66
4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย	66
4.43 ภาพถ่ายชิ้นงานที่อยู่ในถุงเก็บชิ้นงานซึ่งถูกตัดเป็นชิ้นเล็กเพื่อเตรียมนำไปทดสอบสมบัติ	67
4.44 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากความเข้มข้น 4%wt	68
4.45 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากความเข้มข้น 7%wt	69
4.46 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากความเข้มข้น 10%wt	70
4.47 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากความเข้มข้น 13%wt	71
4.48 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากความเข้มข้น 16%wt	72
4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับมุมสัมผัส	74
4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 4%wt	75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.51 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 4%wt	75
4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่เข้มข้น 7%wt	76
4.53 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 7%wt	77
4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 10%wt	78
4.55 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 10%wt	78
4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่เข้มข้น 13%wt	79
4.57 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 13%wt	80
4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 16%wt	81
4.59 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 16%wt	81
4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการส่งผ่านของเส้นใย PVA จากความเข้มข้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยทั้งหมด 5 ค่า	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เส้นใยขนาดเล็กเป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งเป็นโครงสร้างของวัสดุสังเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ระดับไมโครเมตรไปจนถึงระดับนาโนเมตร ทั้งนี้เส้นใยขนาดเล็กมีสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย อาทิ เช่น มีความแข็งแรงของโครงสร้าง มีพื้นที่ผิวสัมผัสขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับปริมาตร มีความทนทานสูง และมีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งสมบัติเฉพาะเหล่านี้ของเส้นใยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น นำไปเคลือบอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยการนำเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโนไปเคลือบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโซลาร์ นำไปใช้ทางการแพทย์ โดยการนำเส้นใยนาโนมาทำเป็นผ้าปิดแผลส่งผลให้อัตราการรักษาของตัวแผลรวดเร็วขึ้น และนำไปใช้ในการทำฉนวนกันความร้อน ในปัจจุบันเส้นใยขนาดเล็กถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งกระบวนการผลิตเส้นใย ขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต[1] หรือที่เรียกกันโดยแพร่หลายว่า กระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning process) ถือเป็นอีกหนึ่งวิธีในการผลิตเส้นใยขนาดเล็กที่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันเนื่องจากสามารถสังเคราะห์เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กในระดับนาโนได้ รวมถึงลักษณะการจัดเรียงตัวที่ไม่มีแบบแผนของเส้นใยซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะและซึ่งถือว่าเป็นข้อดีสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ ด้าน โดยจากงานวิจัยของ นายธนชัย แจงเจริญ ได้ศึกษาการเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์ได้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับมุมฐานรองที่ 90 องศา จะได้ค่ามุมสัมผัสมากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาต่อเนื่องจากงานดังกล่าวโดยเลือกใช้มุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยที่ 90 องศา และเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยและความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อลักษณะมุมสัมผัสและขนาดของเส้นใย รวมทั้งพันธะทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol ; PVA) โดยต้องการพัฒนาให้พื้นผิวของ PVA มีความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด กล่าวคือ มีค่ามุมสัมผัสมากกว่า 150° และนำเส้นใยที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาลักษณะเฉพาะของเส้นใยที่สังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) สังเคราะห์เส้นใยนาโน PVA ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินที่มีมุมฐานรอง 90 องศาที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย (20 cm ถึง 40 cm) และความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (4%wt ถึง 16%wt)
- 2) ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของเส้นใย PVA

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) สังเคราะห์เส้นใย PVA ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปิน
- 2) ศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยนาโน PVA ที่สังเคราะห์ได้ ด้วยเงื่อนไขแตกต่างกันที่มีมุมฐานรอง 90 องศา ได้แก่ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยจาก 20 cm ถึง 40 cm และความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วน 4%wt ถึง 16%wt และนำเส้นใยที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาลักษณะเฉพาะ
- 3) ศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยนาโน PVA ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ขนาดของเส้นใย หมู่ฟังก์ชันของเส้นใย และสมบัติความชอบและไม่ชอบน้ำ

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←→									
ศึกษาเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์			←→							
สังเคราะห์เส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใย (20 cm ถึง 40 cm) และความเข้มข้นของสารละลาย (4%wt ถึง 16%wt)						←→				
ตรวจสอบคุณสมบัติลักษณะทางกายภาพขนาดของเส้นใย หมู่ฟังก์ชันของเส้นใย และสมบัติความชอบและไม่ชอบน้ำ								←→		
วิเคราะห์และสรุปผล									←→	

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงวิธีการและเครื่องมือในการสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVA ด้วยเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์
- 2) ทราบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของเส้นใยนาโน PVA
- 3) ทราบถึงผลของการปรับระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับและความเข้มข้นของสารละลายที่มีต่อคุณสมบัติของเส้นใย PVA

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยอธิบายกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต นิยามเบื้องต้นของเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโน สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย เทคนิคกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของเส้นใย

2.1 กระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

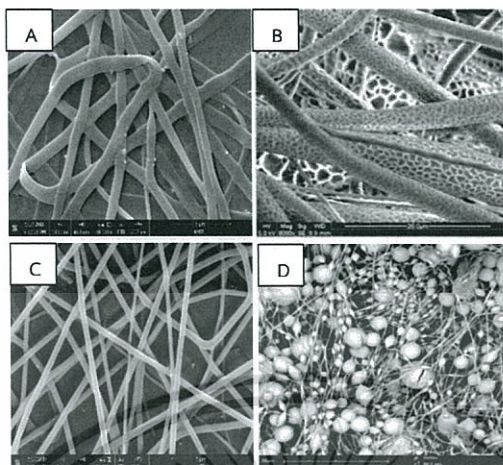
กระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตเป็นเทคนิคที่สามารถสร้างหรือสังเคราะห์เส้นใยที่มีขนาดเล็กซึ่งเตรียมได้จากสารละลายหรือสารหลอมเหลวของพอลิเมอร์ เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 nm ถึงมากกว่า 1 μm และมีข้อดีดังต่อไปนี้

1) เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีอัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรสูง (surface to volume ratio) และมีความเป็นรูพรุนสูง ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของเส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีความเหมาะสมในการใช้งานหลากหลายด้าน เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการขึ้นรูปเส้นใยด้วยเทคนิคอื่นๆ ดังแสดงที่ตารางที่ 2.1 จะพบว่าเส้นใยที่สังเคราะห์ได้จากเทคนิคกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมีขนาดเล็กกว่าอย่างมาก

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบขนาดและพื้นที่ผิวต่อมวลของเส้นใยชนิดต่าง ๆ

ชนิดของเส้นใย	ขนาดของเส้นใย (μm)	พื้นที่ผิวต่อมวลของเส้นใย (m^2/g)
เส้นใยจากเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	0.05	80.00
เส้นใยสปันบอนด์ (spunbond fiber)	20.00	0.20
เส้นใยที่ได้จากกระบวนการ melt blown	2.00	2.00

- 2) สามารถเลือกวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นแผ่นเส้นใยได้หลากหลาย อาทิเช่น พอลิเมอร์ เซรามิกส์ หรือแม้กระทั่งโลหะ
- 3) สามารถประยุกต์รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ได้หลากหลายเพื่อสนองต่อความต้องการในการผลิตเส้นใยในหลากหลายรูปแบบ ทั้งการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยภายหลังการสังเคราะห์เส้นใยหรือการประยุกต์การติดตั้งเพื่อใช้ในการผลิตเส้นใยแบบแกนใน - เปลือกนอก (core - shell fiber)
- 4) สะดวกและง่ายต่อการรวมวัตถุดิบตั้งต้นหลายชนิดเข้าด้วยกันเพื่อเตรียมเป็นสารละลายเพื่อใช้เทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต
- 5) เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ การสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต จะใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ เป็นกระบวนการที่ง่าย ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์และติดตั้งถูก สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ระดับห้องปฏิบัติการถึงในระดับอุตสาหกรรม
- 6) สามารถสังเคราะห์เส้นใยลงบนวัสดุรองรับหลากหลายชนิด เช่น โลหะ แก้ว เส้นใยไมโคร และน้ำ
- 7) มีกำลังการผลิตสูง ทำให้หลายบริษัทเลือกใช้เทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตในการผลิตเส้นใยนาโนระดับอุตสาหกรรมและสามารถผลิตเส้นใยได้หลากหลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.1
- 8) เส้นใยที่สังเคราะห์ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในหลายด้าน เช่น ใช้ผลิตวัสดุทางการแพทย์ วัสดุสำหรับกรองสาร ด้านอิเล็กทรอนิกส์ เกษตรกรรม อุตสาหกรรมสิ่งทอ การนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบนำส่งยา และอื่น ๆ

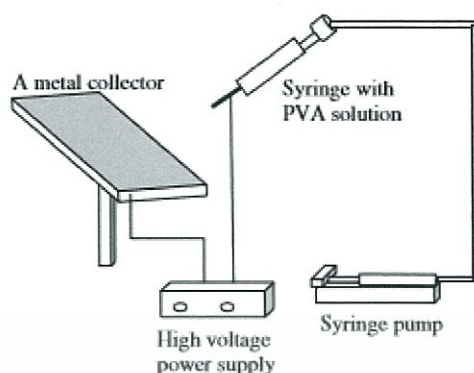


รูปที่ 2.1 เส้นใยลักษณะต่างๆ ที่ใช้เทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต [2]

- A) เส้นใยแบบแบน
- B) เส้นใยแบบหลุม
- C) เส้นใยแบบเรียบ
- D) เส้นใยแบบมีลูกปัด

2.1.1 หลักการของการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

กระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตจะอาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากการให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบ ในระบบพื้นฐานของกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage power supply) หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (syringe with needle) และวัสดุรองรับที่เป็นโลหะ (metal collector) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงระบบในกระบวนการการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต [3]

เมื่อยังไม่มีการให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบ สารละลายจะรวมตัวกันเป็นหยดที่มีรูปร่างครึ่งทรงกลมที่บริเวณปลายเข็มเนื่องจากแรงตึงผิวของสารละลาย (surface tension) แต่เมื่อให้ความต่างศักย์แก่ระบบ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าครอบคลุมส่วนปลายเข็มและมีประจุเกิดขึ้นที่ผิวของสารละลาย เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) ในทิศตรงกันข้ามกับแรงตึงผิว ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดแรงผลักมากกว่าแรงตึงผิวจะส่งผลให้รูปร่างครึ่งทรงกลมของสารละลายที่อยู่ปลายเข็มยืดออกเป็นรูปร่างทรงกรวยที่เรียกว่า กรวยเทเลอร์ (Taylor's cone) และเมื่อสนามไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่ามากขึ้นจะเกิดแรงขับเคลื่อนให้สารละลายพุ่งออกมาเป็นลำ (solution jet) โดยลำของสารละลายนี้จะยืดออกจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงถึงระดับนาโนเมตร แล้วตกลงบนวัสดุรองรับ

2.1.2 ผลึกเหลว

ผลึกเหลว [4] คือสารที่อยู่ในสถานะพิเศษระหว่างของแข็งกับของเหลวนั่นเอง กล่าวคือผลึกเหลวจะมีความเป็นระเบียบในการจัดเรียงโมเลกุลในบางทิศทางคล้ายกับของแข็ง แต่ขณะเดียวกันสามารถไหลไปได้ในบางทิศทางคล้ายกับของเหลว นักพฤกษศาสตร์ชาวออสเตรีย ชื่อ ฟรีดริช ไรนิตเซอร์ (Friedrich Reinitzer) เป็นผู้ค้นพบผลึกเหลวเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1860 ในสารอินทรีย์คอสเตรี เบนโซเอท (Cholesteryl benzoate) เมื่อให้ความร้อนกับสารนี้ จะเกิดการจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นก้อนยุ่งเหยิงที่มีลักษณะคล้ายหมอกซึ่งก็คือผลึกเหลว และเมื่อให้ความร้อนต่อไปก็จะกลายเป็นของเหลว ปัจจุบันผลึกเหลวที่พบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ออกไซด์ของโลหะบางชนิดที่มีน้ำอยู่ด้วย เช่น สนิมเหล็ก ($Fe_2O_3 \cdot xH_2O$) ก็จัดว่าเป็นผลึกเหลวชนิดหนึ่ง ผลึกเหลวสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามวิธีการเกิด

1) ผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิก (thermotropic liquid crystal) เกิดจากการให้ความร้อนอย่างเช่น คอเลสตรีน เบนโซเอท เป็นต้น ผลึกเหลวชนิดนี้ยังแบ่งได้เป็นอีก 2 ชนิด คือ ชนิดเส้นด้าย (nematic) และชนิดไซหรือเมือก (smetic)

2) ผลึกเหลวไลโอโทรปิก (lyotropic liquid crystal) ทำให้เกิดขึ้นโดยการผสมสารบางชนิด เช่น สบู่หรือผงซักฟอก, กรดไขมัน, เกลือของกรดไขมัน ฯลฯ ลงในน้ำหรือตัวทำละลายที่มีขั้ว สมบัติที่น่าสนใจอย่างมากของผลึกเหลวก็คือเมื่อให้พลังงานจากภายนอก เช่น ความร้อน, แรงดัน หรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กับผลึกเหลวจะทำให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลของผลึกเหลวเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลทำให้สมบัติทางแสง เช่น สี, ความโปร่งแสง รวมถึงการยอมให้แสงที่มีขั้ว (polarized light) ผ่านได้เปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ที่เรารู้จักกันดีก็คือใช้ทำเป็นจอแสดงผลในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือที่เราเรียกกันติดปากว่าจอ LCD นอกจากนั้นแล้วผลึกเหลวยังสามารถใช้งานทางการแพทย์เพื่อตรวจความผิดปกติในร่างกาย รวมถึงในการตรวจสอบชิ้นส่วนโลหะแบบไม่ทำลาย (nondestructive testing) ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้ากับการจัดเรียงตัวของผลึกเหลวของเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

2.1.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต [5]

1) **น้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของสารละลาย** สมบัติของสารละลายเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยนาโนอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดและรูปร่างของเส้นใย น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นขึ้นกับความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ หากสารละลายนั้นมีความเข้มข้นที่เท่ากัน น้ำหนักโมเลกุลจะเป็นตัวแปรสำคัญที่จะกำหนดความหนืดของสารละลาย เนื่องจากพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีส่วนเกี่ยวข้องกัน (entanglement) ของสายโซ่พอลิเมอร์มาก ทำให้ในสารละลายพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเคลื่อนไหวสายโซ่ได้ยาก แรงผลักรังไฟฟ้าจึงมีปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้อาร์ละลายพอลิเมอร์ถูกผลักรออกจากปลายของเข็มโลหะ ทั้งนี้เมื่อลดความหนืดของสารละลายลงจะส่งผลทำให้เส้นใยที่ได้มีเม็ดลูกปัดบนเส้นใยน้อย อาจจะได้เส้นใยที่มีลักษณะเป็นเส้นใยที่เรียบร่วมด้วย (smooth fibers) โดยความหนืดต่ำที่สุดของสารละลายที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต คือ ความหนืดที่ไม่ทำให้เส้นใยที่ได้มีเม็ดลูกปัด

2) **แรงตึงผิว (Surface Tension)** เม็ดลูกปัดที่เกิดขึ้นบนเส้นใยในการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตนั้นจะขึ้นกับปัจจัยเรื่องแรงตึงผิวของสารละลาย โดยการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตในช่วงแรกสารละลายพอลิเมอร์ที่อยู่บริเวณปลายของเข็มโลหะจะมีลักษณะเป็นทรงกลม ทั้งนี้เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ระบบจะส่งผลให้เกิดประจุทางไฟฟ้าขึ้นบริเวณหยดของสารละลาย เมื่อประจุไฟฟ้ามากพอที่จะเอาชนะแรงตึงผิวของสารละลายได้ หยดของพอลิเมอร์จะเกิดการยืดออกกลายเป็นเส้นใย ตัวทำละลายที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตส่วนใหญ่มีแนวโน้มเป็นตัวทำละลายที่มีแรงตึงผิวต่ำ แต่ในกรณีที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายน้ำจะเป็นตัวทำละลายที่มีแรงตึงผิวสูง เทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะส่งผลให้ลำของสารละลายพอลิเมอร์เกิดการแตกออก ทำให้พบลักษณะของเม็ดลูกปัดบนเส้นใย การแทนที่น้ำด้วยตัวทำละลายอื่นๆ หรือการผสมด้วยตัวทำละลายที่มีแรงตึงผิวต่ำจะส่งผลทำให้แรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ลดลง ทำให้เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเส้นใยที่เรียบขึ้น

3) **ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (Solution Conductivity)** การยืดออกของสารละลายพอลิเมอร์ในเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตจะขึ้นกับปริมาณประจุที่อยู่บนสารละลาย กล่าวคือเมื่อสารละลายที่เตรียมได้มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น จะทำให้เกิดประจุในสารละลายพอลิเมอร์มาก ซึ่งส่งผลให้ลำของสารละลายพอลิเมอร์เคลื่อนที่ออกจากปลายเข็มได้ นอกจากนี้ตัวทำละลายที่นำมาเตรียมเป็นสารละลายพอลิเมอร์หากมีค่าการนำไฟฟ้าสูงจะส่งผลให้ได้เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณเม็ดลูกปัดที่พบบนเส้นใยน้อยกว่าเส้นใยที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ โดยพอลิเมอร์และตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการเตรียมสารละลายสำหรับกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พอลิเมอร์และตัวทำละลายที่ใช้ในเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

พอลิเมอร์	ตัวทำละลาย
เรยอน (rayon)	อะซิโตน และ แอลกอฮอล์ (alcohol)
อะคริลิกเรซิน (acrylic resin)	ไดเมทิลฟอมาไมด์ (dimethyl formamide:DMF)
สไตรีน-บิวตะไดอิน-สไตรีน ไตรบล็อก (styrene-butadiene-styrene triblock)	72:25 เตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran:THF)/ ไดเมทิลฟอมาไมด์ (dimethyl formamide:DMF)
พอลิอะคริโรไนไตรด์ (PAN)	ไดเมทิลฟอมาไมด์ (dimethyl formamide:DMF)
พอลิอะคริโรไนไตรด์ (PAN), พอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO)	คลอโรฟอร์ม

โดยการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายจะเป็นการเพิ่มคุณภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์ได้ในกรณีที่เส้นใยมีลักษณะเป็นลูกปัดบนเส้นใยนั้น การกระตุ้นสารละลายด้วยเกลือจะทำให้ลักษณะของเม็ดลูกปัดที่พบบนเส้นใยลดลง เนื่องจากสารละลายพอลิเมอร์มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การเติมเกลือจะทำให้ลำของสารละลายพอลิเมอร์มีการยึดตัวออกที่ดีขึ้น

4) อุณหภูมิของของสารละลาย (Temperature of Solvent) เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดของสารละลายลดลง และเมื่อความหนืดของสารละลายลดลงเส้นใยที่ประดิษฐ์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามขีดจำกัดในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่สารละลายกลับส่งผลในอีกแง่หนึ่งด้วย กล่าวคือเมื่อสารละลายมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ตัวทำละลายมีอัตราการระเหยที่เร็วมากขึ้น ทำให้ลำของสารละลายพอลิเมอร์เกิดการยึดตัวออกได้ไม่มากพอ เส้นใยที่ได้จึงมีลักษณะเป็นลูกปัดบนเส้นใย ทั้งนี้นอกจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลต่อขนาดของเส้นใยแล้ว ยังส่งผลต่อลักษณะของเส้นใยที่ประดิษฐ์ได้อีกด้วย

5) ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) ศักย์ไฟฟ้ามีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมาก โดยปกติค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบของการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตควรมีค่ามากกว่า 6 kV เพื่อทำให้หยดของสารละลายบริเวณปลายเข็มฉีดยาเปลี่ยนรูปร่างจนมีลักษณะเป็นกรวยเทเลอร์ ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีอิทธิพลอย่างมากในกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ตั้งแต่ผลกระทบต่อจำนวนประจุที่ให้กับสารละลาย ถ้าอัตราเร็วในการฉีดสารละลายถูกควบคุมให้คงที่การปรับเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้กรวยเทเลอร์มีขนาดเล็กลงและมีความเสถียรน้อย โดยจะทำให้ประจุเกิดบนสารละลาย

มากขึ้น ซึ่งเป็นการลดเวลาการเคลื่อนที่ของสารละลายจากปลายเข็มไปยังวัสดุรองรับ แต่มีแนวโน้มทำให้เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะของเม็ดลูกปัดบนเส้นใยมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าแก่ระบบจะส่งผลให้ระยะเวลาในการยึดออกมีมากพอ และในระบบที่มีการให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีปริมาณต่ำจนเกินไป ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของสารละลายมีมากพอ ความเร็วในการเปลี่ยนจากหยดของสารละลายเป็นลำของพอลิเมอร์จะลดต่ำลงทำให้ไม่พบลักษณะของเส้นใยของพอลิเมอร์บนวัสดุรองรับ

6) อัตราการไหลของสารละลาย (Feed Rate) โดยทั่วไปอัตราการไหลของสารละลายจะไม่ส่งผลต่อเส้นใยที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมากนัก อย่างไรก็ตามอัตราการไหลของสารละลายควรมีความสมดุลกับการอัตราการระเหยออกของตัวละลายในระหว่างที่สารละลายเคลื่อนที่จากปลายเข็มโลหะสู่วัสดุรองรับ การเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายจะทำให้ขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายเสมือนกับเป็นการเพิ่มปริมาณของสารละลายที่ออกจากปลายเข็มและเพิ่มรัศมีของลำพอลิเมอร์ซึ่งนำไปสู่การลดความเสถียรทำให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น

7) ชนิดของวัสดุรองรับ (Type of Collector) วัสดุรองรับที่ใช้ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณของเส้นใยที่ได้รับและการจัดเรียงของเส้นใย สำหรับวัสดุรองรับที่นำไฟฟ้าไม่ดีจะส่งผลทำให้ปริมาณเส้นใยที่เคลื่อนตัวไปยังวัสดุรองรับมีปริมาณไม่มากพอ ทำให้เส้นใยที่พบบริเวณวัสดุรองรับมีปริมาณน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้วัสดุรองรับที่นำไฟฟ้าได้ดีจะทำให้เกิดการส่งผ่านของประจุไฟฟ้าได้ดีขึ้น เส้นใยที่ถูกพบบนวัสดุรองรับจะมีมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากความสามารถในการนำไฟฟ้าของวัสดุรองรับแล้วการเลือกใช้งานวัสดุรองรับแบบหมุนยังส่งผลทำให้เส้นใยที่ทำการสังเคราะห์มีการจัดเรียงตัวที่ดีกว่าวัสดุรองรับแบบตั้งฉากอีกด้วย

8) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับวัสดุรองรับ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับวัสดุรองรับเป็นปัจจัยที่ส่งผลถึงเวลาในการเคลื่อนที่ของลำพอลิเมอร์ก่อนที่จะตกลงสู่วัสดุรองรับ ถ้าให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่ ความเข้มของสนามไฟฟ้าจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างปลายเข็มโลหะกับวัสดุรองรับ โดยทั่วไปเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตจะจัดให้ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับวัสดุรองรับมีระยะความกว้างประมาณ 10-15 cm. ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมที่ทำให้ตัวทำละลายเกิดการระเหยออกและเกิดเป็นเส้นใยขึ้นบนวัสดุรองรับ ถ้าระยะห่างระหว่างปลายเข็มโลหะกับวัสดุรองรับน้อยจนเกินไปตัวทำละลายจะมีเวลาไม่มากพอที่จะระเหยออกจากลำพอลิเมอร์จนหมด เส้นใยที่ได้จึงเกิดการหลอมติดกันและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่มาก

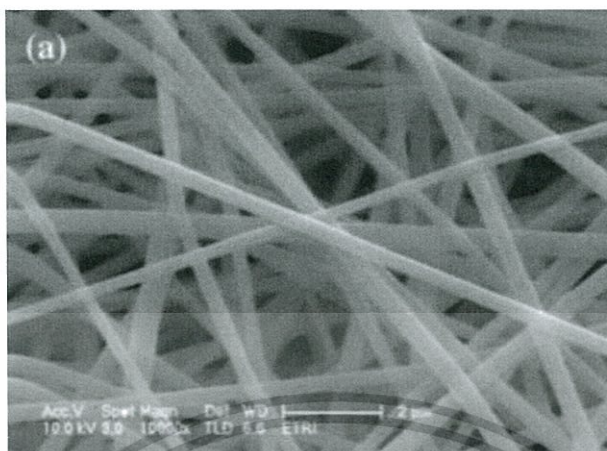
9) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มโลหะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดของเส้นใยที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการ

ทางไฟฟ้าสถิต ทั้งนี้การเลือกใช้เข็มโลหะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กย่อมส่งผลทำให้เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการเลือกใช้เข็มโลหะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจนเกินไปมักจะเกิดปัญหาในการผลึกสารละลายพอลิเมอร์เคลื่อนที่ออกจากเข็มโลหะไปยังวัสดุรองรับเนื่องจากหยดของสารละลายที่มีขนาดเล็กจะมีแรงตึงผิวสูงทำให้แรงทางไฟฟ้าไม่มากพอจะผลักให้สารละลายเคลื่อนที่ออกจากปลายเข็ม จึงมักทำให้เกิดการอุดตันของสารละลายพอลิเมอร์บริเวณเข็มโลหะได้ง่าย

10) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ สภาพแวดล้อมมีผลต่อสารละลายที่เตรียมได้และทำให้ลักษณะของเส้นใยที่สังเคราะห์ผ่านเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตเปลี่ยนแปลงไป โดยอุณหภูมิและความชื้นในสิ่งแวดล้อมจะส่งผลต่ออัตราการระเหยของตัวทำละลายและลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่เตรียมได้ ทั้งนี้จะพบลักษณะเม็ดลูกปัดบนเส้นใยที่เตรียมภายใต้สภาวะที่มีความชื้นที่มากกว่า 50% เมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เท่ากัน ความชื้นที่มากกว่าจะส่งผลให้เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีรูพรุนบนพื้นผิวของเส้นใย เนื่องจากในกระบวนการเกิดการควบแน่นของหยดน้ำขนาดเล็กบริเวณพื้นผิวบริเวณของลำพอลิเมอร์ ดังนั้น การนำกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมาใช้สังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งหากมีระบบที่ควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ได้เป็นอย่างดีและแม่นยำแล้ว จะส่งผลให้การสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กด้วยเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

2.2 เส้นใยนาโน

เส้นใยนาโน [6] เป็นโครงสร้างนาโนของวัสดุสร้างที่มีลักษณะเป็นเส้นใยของของแข็งที่อยู่ในกลุ่มของสารอินทรีย์ และมีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร โดยเส้นใยนาโนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตรถึงหลายไมโครเมตร มีลักษณะซ้อนทับกัน ดังรูปที่ 2.4 โดยโครงสร้างที่อยู่ในลักษณะของเส้นใยนี้จะเป็นลักษณะของโครงสร้างพื้นฐานที่ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวที่มีความจำเพาะสูง จึงเป็นโครงสร้างที่มีความสามารถในการยึดหยุ่นได้ดีมีความแข็งแรงและความทนทานที่สูง ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน ได้อย่างหลากหลายด้าน



รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงภาพพื้นผิวของเส้นใย PVP/ZnO [7]

2.2.1 จุดเด่นของเส้นใยนาโน

เนื่องจากเป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร จึงทำให้เส้นใยนาโนมีจุดเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นผิวต่อปริมาตรสูง (surface-to-volume ratio) และมีขนาดรูพรุนที่เล็กมากส่งผลให้มีสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า หรือสมบัติทางชีวภาพที่ดีมากเหมาะสำหรับงานเฉพาะด้านซึ่งต้องการความได้เปรียบของขนาดที่เล็กมากโดยจุดเด่นที่ได้ของเส้นใยนาโนจะต้องขึ้นอยู่กับวิธีและสารที่นำมาใช้สังเคราะห์

2.2.2 การประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เส้นใยนาโนทางด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น การประยุกต์ใช้งานของเส้นใยนาโนพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ ไม่เป็นพิษ และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ สำหรับงานทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ ผ้าปิดแผล ระบบนำส่งยา ระบบการกรองอย่างละเอียด เป็นต้น ตัวอย่างในการประยุกต์ใช้งานเส้นใยนาโนในแต่ละด้าน มีดังนี้

1) **ด้านการแพทย์** เส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นจากพอลิเมอร์ในธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน (chitosan) ไหม (silk) คอลลาเจน (collagen) รวมทั้งพอลิเมอร์บางประเภทสามารถนำมาประยุกต์ใช้ด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (tissue engineering) และด้านการแพทย์เนื่องจากการมีสมบัติทางชีวภาพ (biocompatibility) และมีสมบัติการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) เส้นใยเหล่านี้จึงย่อยสลายตัวเองภายในร่างกายได้เหมือนไหมเย็บแผลที่ใช้ในปัจจุบัน รวมทั้งยังมีการศึกษาเพื่อนำเส้นใยนาโนมาใช้เป็นระบบนำส่งยา (drug delivery system) รวมถึงเครื่องสำอาง

2) **ด้านวัสดุศาสตร์** เส้นใยนาโนบางชนิดถูกนำมาใช้กับวัสดุอื่นเพื่อทำให้มีสมบัติที่ดีขึ้น เช่น เส้นใยนาโนคาร์บอน (carbon nanofiber) ซึ่งมีค้ำยั่งมอดูลัส (Young's modulus) และ

ความแข็งแรงสูง (strength) อีกทั้งค่าแรงต้านทานแรงดึงตามยาว (tensile strength) ที่สูงกว่าเหล็ก ในขณะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเหล็ก จึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมโครงสร้างในวัสดุคอมโพสิต เพื่อให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น นอกจากนี้เส้นใยนาโนเฟอโรอิเล็กทริกเซรามิก (ferroelectric ceramic) เช่น เส้นใยนาโนแบเรียมสตรอนเตียมไททาเนต ((Ba, Sr) TiO₃, BST) [8] สามารถใช้เป็นวัสดุเสริมในวัสดุคอมโพสิตทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น และสามารถเพิ่มหน้าที่ความเป็นเฟอโรอิเล็กทริกเซรามิกให้แก่วสดุอีกทางหนึ่งด้วย

3) **ด้านสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีชีวภาพ** โดยปัจจุบันจากการศึกษาเส้นใยนาโน ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเสื้อผ้า สิ่งทอ ซึ่งผ้าที่ได้เหล่านี้จะมีความละเอียดและมีขนาดช่องว่างเล็กกว่าผ้าที่ทอจากเส้นใยขนาดใหญ่ อีกทั้งแผ่นเส้นใยที่ถักทอจากเส้นใยที่เล็กในระดับนาโนเมตร สามารถกรองอนุภาคได้จำนวนมาก จึงสามารถนำมาใช้สร้างระบบกรองที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อลดมลภาวะทั้งทางอากาศและทางน้ำ หรือพัฒนาเป็นระบบกรองน้ำจืดจากน้ำทะเล หรือแม้กระทั่งการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสีย สำหรับการประยุกต์ใช้ในด้านเทคโนโลยีชีวภาพได้มีการนำเส้นใยนาโนมาใช้เป็นแผ่นเมมเบรนคัดแยก (affinity membrane) สำหรับการแยกโมเลกุลให้บริสุทธิ์โดยอาศัยสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี หรือหน้าที่เฉพาะทางชีวภาพของโมเลกุลนั้น แผ่นเมมเบรนคัดแยกจะทำการแยกโมเลกุลโดยอาศัยคุณสมบัติความเลือกจำเพาะของเมมเบรนทำให้เกิดระบบคัดแยกที่มีข้อดีว่าการใช้คอลัมน์โครมาโตกราฟีแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ยังมีการนำเส้นใยนาโนมาเคลือบบนชุดเครื่องแบบทหาร เพื่อป้องกันอาวุธทางชีวภาพ สารพิษทางเคมี สารพิษจากนิวเคลียร์

4) **ด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และพลังงาน** ในกรณีที่เส้นใยมีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดี หรือสมบัติของสารกึ่งตัวนำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะเทคโนโลยีด้านตัวตรวจจับต่าง ๆ เช่น ตัวตรวจจับก๊าซ (gas sensor) ตัวตรวจจับความร้อน (thermal sensor) เป็นต้น นอกจากนี้เส้นใยนาโนเซรามิกบางชนิดสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทน เช่น การนำเส้นใย TiO₂ ไปเป็นส่วนประกอบหนึ่งในเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อม (dye-sensitized solar cell) หรือการนำเส้นใยโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์ (NaCo₂O₄) ซึ่งเป็นวัสดุประเภทเทอร์โมอิเล็กทริกส์ (วัสดุที่สามารถสร้างไฟฟ้าจากความร้อน) ไปประยุกต์ใช้ทางแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนได้ และเส้นใยนาโนที่มีการสังเคราะห์ขึ้นมานั้นโดยมากจะถูกสร้างเพื่อนำมาใช้ทางด้าน การนำไฟฟ้าและคุณสมบัติเชิงกลของโครงสร้าง เช่น การสร้างเส้นใยนาโนพอลิเมอร์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อจะนำมาใช้ในการผลิตและสร้างอุปกรณ์ระดับนาโนทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น การใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า สร้างตัวเก็บประจุทรานซิสเตอร์ไดโอด และนำมาผลิตหน่วยความจำ และชิปสำหรับคอมพิวเตอร์ รวมทั้งการนำเส้นใยนาโนมาใช้งานด้านเทคโนโลยีการแปลงรูปพลังงาน และการเก็บพลังงานเช่น แบตเตอรี่หรือในเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) การใช้เส้นใยนาโนเป็นส่วนผสมในโครงสร้างสำหรับงานด้านเทคโนโลยีการบินทั้งในอากาศและในอวกาศ

โดยเส้นใยนาโนเหล่านี้มีวิธีการประดิษฐ์ได้หลายวิธีส่วนวิธีที่นิยมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

2.3 PVA

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือสามารถย่อยสลายได้โดยวิธีการทางชีวภาพและติดไฟ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้ จุดหลอมเหลวที่ต่ำ การใช้งานของ PVA แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะได้แก่

2.3.1 คุณสมบัติการละลายในน้ำ

เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชันและแขวนลอยต่างๆ เข้มข้นและใช้แผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษ โดยจะทำให้มีความใสเหนียวและทนต่อการขีดข่วน

2.3.2 PVA ที่ไม่ละลายในน้ำ

สามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็นอย่างดี (ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก) จึงใช้เป็นเส้นใยแทนผ้าใยได้ ผ้าที่ทำด้วยเส้นใย PVA จะสามารถสวมใส่ได้สบาย ชักง่ายทนทานต่อการสึกหรอและสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดี PVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ PVA มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.298 g/cm^3 มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature : T_g) ประมาณ 85 องศาเซลเซียส หมายความว่าที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของ PVA จะเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว PVA มีความเสถียรทางด้านเคมีที่ดีสามารถเตรียมเป็นเยื่อเลือกผ่านได้ และมีความชอบน้ำสูง (High Hydrophilicity) สามารถละลายน้ำและสารละลายผสมระหว่างน้ำกับแอลกอฮอล์ได้ แต่จะไม่ละลายหรือละลายได้เพียงเล็กน้อยในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป ความสามารถในการละลายของ PVA จะผันตามตึกรีการเกิดพอลิเมอร์โรเซชันและไฮโดรไลซิส โดยที่ PVA จะสามารถละลายในน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ร้อยละ 88 ในโมเลกุล แต่ถ้ามีร้อยละของหมู่ไฮดรอกซิลสูงกว่านี้ ความสามารถในการละลายจะลดต่ำลงตามลำดับ เพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับ [9]

2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

กล้องจุลทรรศน์มีความสำคัญและบทบาทเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถใช้ศึกษาลักษณะของสารตัวอย่างในระดับที่เล็กลงไปมากกว่าที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่า และจำแนกรายละเอียดได้ดังจะเห็นได้ กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical or light microscopes) เป็นอุปกรณ์สำคัญของห้องปฏิบัติการเกือบทุกแห่ง ไม่ว่าจะเป็นห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ ชีววิทยา เคมี วัสดุศาสตร์ และอื่นๆ อีกจำนวนมากใน

ขณะที่ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์มีการพัฒนามากขึ้น นักวิทยาศาสตร์ยังมีความต้องการที่จะศึกษาในรายละเอียดที่ระดับเล็กลงไปเรื่อยๆ แต่ก็ประสบปัญหาตามมาเนื่องจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสงไม่สามารถตอบสนองความต้องการ ทำให้นักวิทยาศาสตร์คิดค้นและประดิษฐ์เครื่องมือนี้มาเพื่อทดแทนกล้องจุลทรรศน์แบบแสง นั่นเป็นเหตุผลทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดถูกพัฒนาขึ้นมาใช้แทนที่ สาเหตุก็เนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงเอง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 5 ส่วนคือ

- 1) ระบบอิเล็กทรอนิกส์ออปติค (Electron optics system)
- 2) ระบบสุญญากาศ (Vacuum system)
- 3) ระบบระบายความร้อน (Cooling system)
- 4) ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power supply system)
- 5) ระบบสร้างและบันทึกภาพ (Image translating and photo recording)



รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเหมาะกับการสร้างภาพของกลุ่มสัญญาณในการ ศึกษาโครงสร้างของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่าง การสร้างภาพจะต้องป้อนอิเล็กตรอนด้วยเลนส์ออปติคที่มีลักษณะเป็นอิเล็กตรอนโพรบ (Electron probe) โฟกัสลงบนชิ้นตัวอย่าง สัญญาณอิเล็กตรอนจึงเกิดเฉพาะจุดที่ปลาย Electron probe ตกกระทบการสร้างภาพไมโครซึ่งไม่สามารถฉายไปบนฉากเรืองแสง จึงจำเป็นต้องอาศัยระบบส่องกราดบนที่กำหนดบนชิ้นตัวอย่างและเลือกรับสัญญาณอิเล็กตรอนชนิดใดๆ จุดต่อจุดที่ปลาย Electron probe เลื่อนไปเพื่อนำไปสร้างภาพขยายที่เข้าจังหวะกัน (Synchronize) บนพื้นที่ของจอภาพแคโทดเรย์ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงต้องมีชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

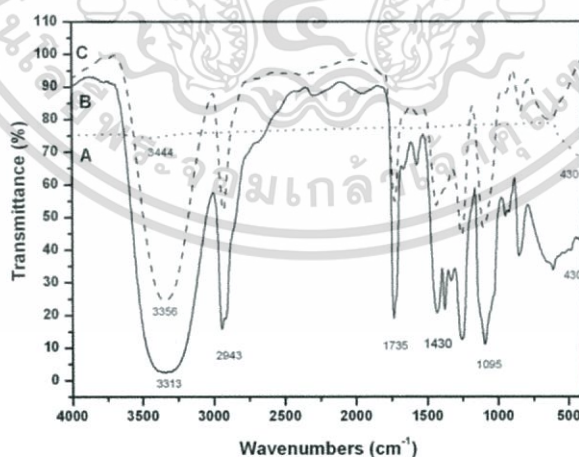
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมการส่องกราด (Scanning coil) และชุดกำเนิดภาพเพิ่มขึ้นชุดควบคุมการส่องกราดจะทำหน้าที่บังคับให้ Electron probe เคลื่อนในแนวแกนนอนและแกนตั้งบนระนาบของตัวอย่างเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าคล้ายระบบสแกนของโทรทัศน์

2.5 เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด : Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดเป็นหนึ่งในเทคนิคทางด้านอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy) ที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด ใช้เวลาในการตรวจสอบน้อยกว่าเทคนิคอื่นๆ ทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส FTIR ได้เข้ามาแทนที่เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบกระจาย (Dispersive Infrared Spectrometer) เมื่อไม่นานมานี้เพื่อใช้ในงานที่ต้องการความรวดเร็วและความไวสูง นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถวิเคราะห์สารในช่วงกระจายตัว (Dispersive) ซึ่งวิเคราะห์ได้ยากหรือเกือบจะเป็นไปไม่ได้

2.5.1 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ อะตอมทุกตัวในโมเลกุลจะมีการสั่นอยู่ตลอดเวลา เมื่อความถี่ของการสั่นมีค่าเท่ากับความถี่ของรังสีอินฟราเรดที่ฉายมายังโมเลกุล โมเลกุลก็จะดูดกลืนรังสี จำนวนแถบการดูดกลืนทั้งหมดที่สังเกตได้จะมีค่าไม่เท่ากับการสั่นมูลฐานของโมเลกุลทั้งหมด โดยจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะจะมีบางแถบพลังงานที่ไม่มีการตอบสนองต่อพลังงานในช่วงรังสีอินฟราเรด



รูปที่ 2.6 แสดงสเปกตรัม FTIR ของ ZnO(A) PVA/ZnO(B) และ PVA(C) [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การประยุกต์ใช้งาน โดยทั่วไป IR/FTIR นั้นจะใช้ในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ทุกประเภทและสารประกอบอนินทรีย์บางประเภท รวมถึงหมู่ฟังก์ชันในสารตัวอย่าง เช่น อินทรีย์วัตถุ สี โลหะ พอลิเมอร์ พลาสติก เรซิน สารเคลือบ ยา หรือสารปนเปื้อน เป็นต้น โดยทำการจับคู่สเปกตรัมของสารประกอบที่ต้องการเข้ากับสเปกตรัมอ้างอิง IR/FTIR ยังใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างและสัณฐานของไอโซเมอร์ ใช้ในการบ่งบอกองค์ประกอบของสารที่เป็นตัวเกิดปฏิกิริยาหรือใช้ในการศึกษาการเคลื่อนไหวของปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังใช้ในการตรวจสอบปริมาณของสารผสม สารที่ไม่บริสุทธิ์หรือสารที่เติมเข้าไปประมาณ 1 % และในบางกรณีนั้นสามารถตรวจสอบได้ต่ำถึง 0.01 %

2.6 มุมสัมผัส (Contact Angle)

ความสำคัญในการยึดติดกันของวัสดุสองชิ้น แรยงกตัว หรือ capillary effect ก็เป็นผลมาจากภาวะการเปียกและแรงพื้นผิวที่กำหนดภาวะการเปียก รูปร่างของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็งจะมีรูปร่างเป็นรูปทรงหยดน้ำค้าง



รูปที่ 2.7 แสดงมุมสัมผัส (θ) ซึ่งกระจายตัวบนพื้นผิว

มุมสัมผัสนี้ก็จะบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นที่ผิวเรียบของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว

มุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90° โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมากและของเหลวจะกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง มุมสัมผัสที่มากกว่า 90° โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อยและจะ ก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง

สำหรับกรณีของของเหลวที่เป็นน้ำพื้นผิวที่มีการกระจายตัวได้ดีจะถูกเรียกว่า ชอบน้ำ (hydrophilic) และพื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดีจะถูกเรียกว่า ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) พื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดียิ่งยวด (Super hydrophobic) จะให้มุมสัมผัสที่มากกว่า 150° ทำให้มีหน้าสัมผัส

ระหว่างของเหลวและของแข็งน้อยมากๆ ซึ่งกรณีนี้บางครั้งถูกเรียกว่า "Lotus effect" หรือ "ปรากฏการณ์ใบบัว"

ตารางที่ 2.3 แสดงมุมสัมผัสค่าต่าง ๆ

มุมสัมผัส	ระดับของมุมสัมผัส
$\theta = 0$	ชอบน้ำแบบยิ่งยวด
$0 < \theta < 90^\circ$	ชอบน้ำ
$90^\circ \leq \theta < 150^\circ$	ไม่ชอบน้ำ
$\theta > 150^\circ$	ไม่ชอบน้ำแบบยิ่งยวด

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยภายในประเทศ

A. Thongphud และคณะวิจัย ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของเส้นใย PVA ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตด้วยการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้พลาสมาของแก๊สซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) พบว่าเส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตได้ถูกเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้น 5, 7 และ 10 %w/v เมื่อสารละลาย PVA ได้ถูกเตรียมสำเร็จแล้วจะถูกนำไปผ่านกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ความต่างศักย์ 15 kV ระยะห่าง 15 cm อัตราการไหล 1 ml/hr. และเป็นเวลา 5 ชั่วโมง สมบัติทางกายภาพของเส้นใย PVA ถูกทำไปตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM, FE-SEM และ เครื่องวัดมุมสัมผัส มุมสัมผัสของเส้นใยสร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 54.5° ซึ่งเป็นลักษณะความชอบน้ำโดยธรรมชาติของเส้นใย โดยลักษณะความชอบน้ำ-ไม่ชอบน้ำของเส้นใยถูกปรับปรุงด้วยการปรับปรุงพื้นผิวด้วยพลาสมาโดยใช้คลื่นความถี่แบบอินดักทีฟที่พร้อมกับการคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Inductively Coupled Plasma : RF-ICP) การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยได้ดำเนินการโดยใช้แก๊สซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ที่ความดัน 0.5 ทอร์ กำลังไฟ RF 30 วัตต์และเวลาในการปรับปรุงพื้นผิว 30, 60, 90 และ 120 วินาที ผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลาย PVA ที่ใช้ในการสร้างเส้นใย และระยะเวลาของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยพลาสมาที่มีต่อความชอบน้ำของเส้นใย PVA ได้ถูกระบุด้วยมุมสัมผัส โดยที่ผลการวัดพบว่ามุมสัมผัสของเส้นใยที่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวและมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสร้างเส้นใยเพิ่มขึ้น

ศุภวัธย์ โดเกียรติวงศ์ชัย [11] ได้ศึกษาการปั่นเส้นใยโคพอลิเมอร์แบบสามช่วงแบบสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน ด้วยไฟฟ้าสถิตและการประยุกต์ใช้เส้นใยในวัสดุเชิงประกอบที่มีพอลิสไตรีนเป็นวัสดุหลัก โดยศึกษาเส้นใยพอลิเมอร์แบบสามช่วงประเภทสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน ที่ได้จากการบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตและประยุกต์ใช้เส้นใยในวัสดุเชิงประกอบที่มีพอลิสไตรีนเป็นวัสดุเนื้อหลัก สารละลายโคพอลิเมอร์แบบสามช่วงถูกเตรียมในตัวทำละลายผสมระหว่างเตตระไฮโดรฟอรั่นและไดเมทิลฟอร์มาไมด์ในอัตราส่วน 75:25 ที่ความเข้มข้น 10 12 14 16 17 และ 20 % โดยน้ำหนัก ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตคือ 10 12 14 16 18 และ 20 kV จากการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ขนาดของเส้นใยโคพอลิเมอร์แบบสามช่วงมีขนาดตั้งแต่ 0.6 ถึง 9 μm โดยลักษณะของเส้นใยที่ได้มีลักษณะเป็นลูกบิดและมีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งลักษณะที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นใยที่เรียบสม่ำเสมอและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะมีขนาดเล็กลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ในการประยุกต์ใช้เส้นใยในวัสดุเชิงประกอบที่มีพอลิสไตรีนเป็นวัสดุเนื้อหลักได้เลือกปั่นเส้นใยโคพอลิเมอร์แบบสามช่วงที่มีความเข้มข้น 20 % โดยน้ำหนักลงบนแผ่นฟิล์มพอลิสไตรีนที่ใช้เป็นตัวรองรับเส้นใยแล้วนำแผ่นฟิล์มนี้มาตัดซ้อนทับกันและนำไปอบอ่อน (Anneal) ด้วยเครื่องอัดร้อน (compression molding machine) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงเพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลที่ได้กับแผ่นฟิล์มที่เป็นพอลิสไตรีนที่ผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบ มีความเหนียวและมีความสามารถของวัสดุที่จะดูดซับพลังงานไว้โดยไม่เกิดการแตกหักมากกว่าแผ่นฟิล์มพอลิสไตรีนที่ไม่มีเส้นใยผสมอยู่

วีรศรุต แก่นไร่ [12] ได้ศึกษาการสร้าง PVA/ZnO นาโนไฟเบอร์ที่มีความเข้มข้นต่างกันด้วยเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตเพื่อนำมาใช้เป็นก๊าชเซ็นเซอร์ โดยได้สร้างเส้นใยนาโนด้วย PVA ลงบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ด้วยเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ภายใต้เงื่อนไขความต่างศักย์ 15 kV ระยะระหว่างแผ่นสะสม 15 cm โดยเส้นใยชุดแรกสร้างขึ้นด้วยความเข้มข้น 2.5%wt, 5%wt, 7.5%wt, 10%wt ที่อัตราการไหล 1.0 ml/hr. และ 1.5 ml/hr. เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เส้นใยชุดที่สองถูกสร้างขึ้นโดยการเพิ่มซิงค์ออกไซด์ 1%wt ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับชุดการทดลองแรก หลังจากเตรียมเส้นใยดังกล่าวแล้ว นำมาตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ทดสอบคุณสมบัติได้ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดและเครื่องมือวัดมุมสัมผัส โดยผลการทดลองพบว่าลักษณะกายภาพของเส้นใยชุดแรกจะมีลักษณะแบบเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-200 nm ชุดที่สองมีซิงค์ออกไซด์แทรกตัวในเส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นและอัตราการไหล มีการส่องผ่านแสงน้อยลงเมื่อเติมซิงค์ออกไซด์ ไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีระหว่าง PVA และ ZnO มีค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุดคือ PVA/ZnO 10%wt และ PVA 7.5%wt ที่อัตราการไหล 1.0 ml/hr. โดยเงื่อนไขที่เหมาะสมนำไปประยุกต์ใช้มากที่สุดคือ PVA/ZnO 10%wt

ธนชัย แจงเจริญ [13] ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบได้โดยใช้อะคริลิกเป็นวัสดุหลักและผลการสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVA บนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ด้วยเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบได้จาก 0° ถึง 90° ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยสมบัติของเส้นใยนาโน PVA จะถูกตรวจสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ FTIR และเครื่องมือวัดมุมสัมผัสจากผลของภาพที่ได้จาก FESEM ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยนาโน PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0° และ 90° มีขนาดอยู่ที่ 265.5 นาโนเมตร และ 197.5 นาโนเมตรตามลำดับ ผลของการตรวจสอบสมบัติของเส้นใย PVA จาก FTIR พบว่าลักษณะของกราฟที่ได้เป็นไปตามลักษณะโดยทั่วไปของกราฟที่ได้จากการตรวจสอบ PVA ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของเส้นใยนาโน PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 90° มีค่ามุมสัมผัสที่มากที่สุดคือ 94.72° ซึ่งผลการทดสอบนี้ได้แสดงให้เห็นถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำที่สูงที่สุดสำหรับเส้นใยนาโน PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยนี้

2.7.2 งานวิจัยต่างประเทศ

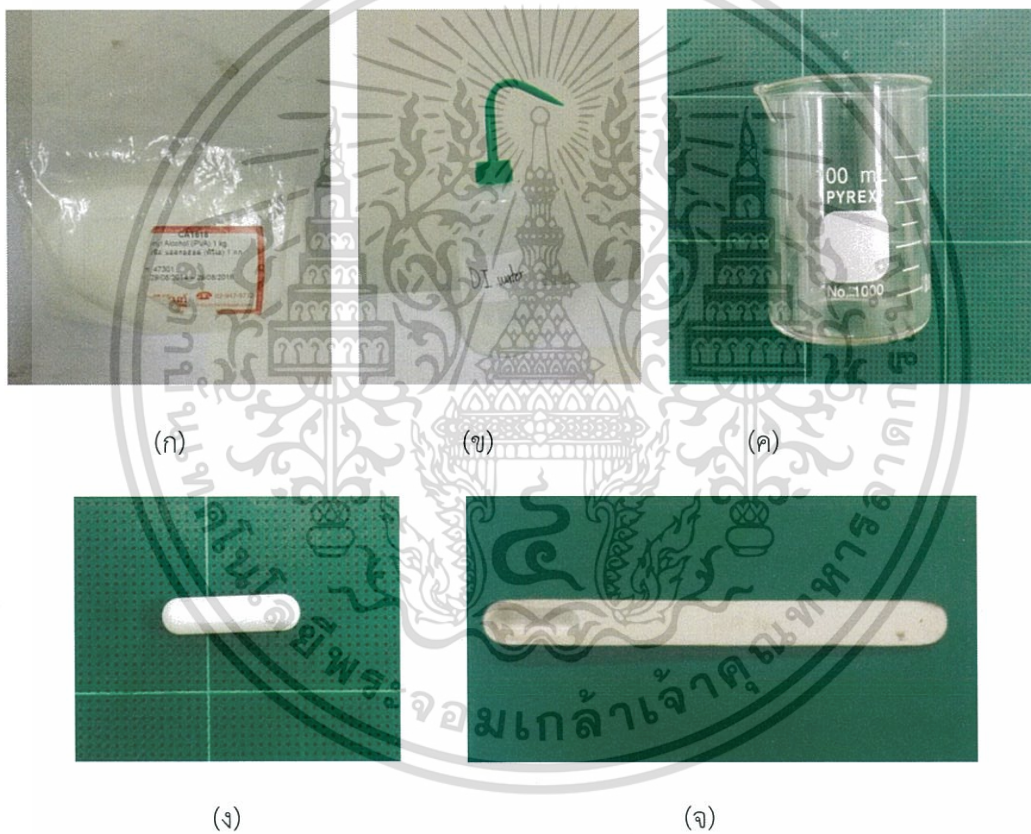
Ritu Goyal คณะวิจัย [14] ได้ศึกษาอนุภาคนาโนและเส้นใยนาโนสำหรับการจัดส่งยาเฉพาะจุด ในงานนี้นำเสนอภาพรวมแรกเกี่ยวกับการใช้ทั้งอนุภาคนาโนและเส้นใยนาโนสำหรับการจัดส่งยาเฉพาะจุด นักวิจัยได้สำรวจการใช้นาโนเทคโนโลยีโดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคนาโนและเส้นใยนาโนเป็นระบบการจัดส่งยาสำหรับการประยุกต์ใช้งานเฉพาะที่และผิวหนัง วิธีนี้ใช้ความเข้มข้นยาที่เพิ่มขึ้นในตัวส่งยาเพื่อเพิ่มอัตราการแทรกซึมของยาผ่านเนื้อเยื่อและผิวหนัง ทั้งอนุภาคนาโนและเส้นใยนาโนสามารถใช้ในการลำเลียงยาทั้งแบบที่มีความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ และสามารถที่จะควบคุมอัตราการปลดปล่อยยาสำหรับการยืดระยะเวลาหรือควบคุมเวลาที่ใช้ในการให้ยา ตัวอย่างที่น่าเสนอเป็นเอกลักษณ์ที่แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของงานวิจัยนี้และที่มีผลกระทบในเชิงลึกทั้งในด้านการรักษาและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVA ที่มุม 90° ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตจากการเปลี่ยนตัวแปรคือระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่แตกต่างกัน (20 cm ถึง 40 cm) และความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt) และสุดท้ายจะเป็นวิธีการตรวจสอบผลการทดลองที่ได้จากการสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVA

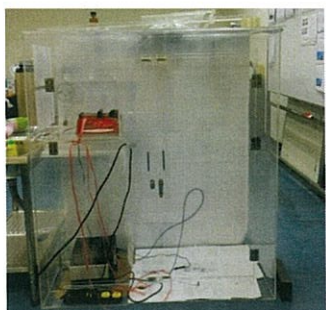
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย



รูปที่ 3.1 ภาพอุปกรณ์ในการใช้เตรียมสารละลาย

- ก) ผง PVA
- ข) น้ำปราศจากประจุ (Deionized Water)
- ค) บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
- ง) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Stirrer) ขนาด 1 นิ้ว
- จ) ช้อนตักสารเคมี (Spatula)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



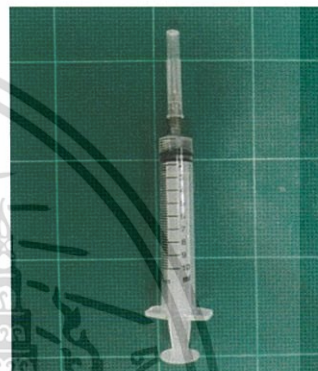
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 3.2 รูปส่วนประกอบย่อยต่างๆ สำหรับการเตรียมสารละลาย

ก) เครื่องปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ข) แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 30 x 30 เซนติเมตร

ค) กระจกสไลด์

ง) เครื่องชั่งสารเคมี (Analytical Balance)

จ) เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)

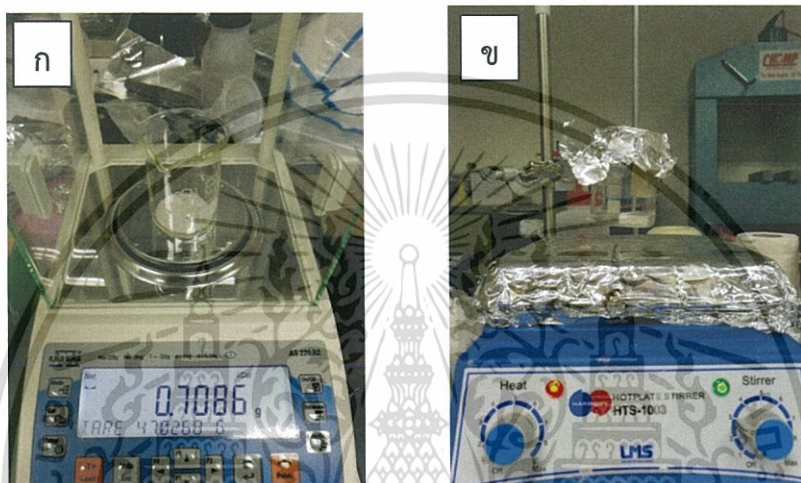
ฉ) กระจกบอกรีตยา (Disposable Syringe) ขนาด 10 มิลลิลิตรและเข็มรีตยา (Hypodermic Needle) ขนาด 0.7 x 40 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานและเตรียมการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

ในการเตรียมสารละลาย PVA โดยการเตรียมผง PVA มาละลายกับตัวทำละลาย ซึ่ง PVA จะละลายในน้ำซึ่งในการทดลองผู้วิจัยได้เลือกใช้น้ำปอดประจุเป็นตัวทำละลายเพื่อรักษาความสะอาดและป้องกันสารปนเปื้อน นำ PVA มาชั่งน้ำหนักเพื่อนำมาทำละลายกับน้ำปอดประจุในอัตราส่วน 4, 7, 10, 13 และ 16 %wt. ดังรูปที่ 3.20 (ก) ผ่านการให้อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส และกวนสารต่อเนื่องตลอดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กดังรูปที่ 3.20 (ข)

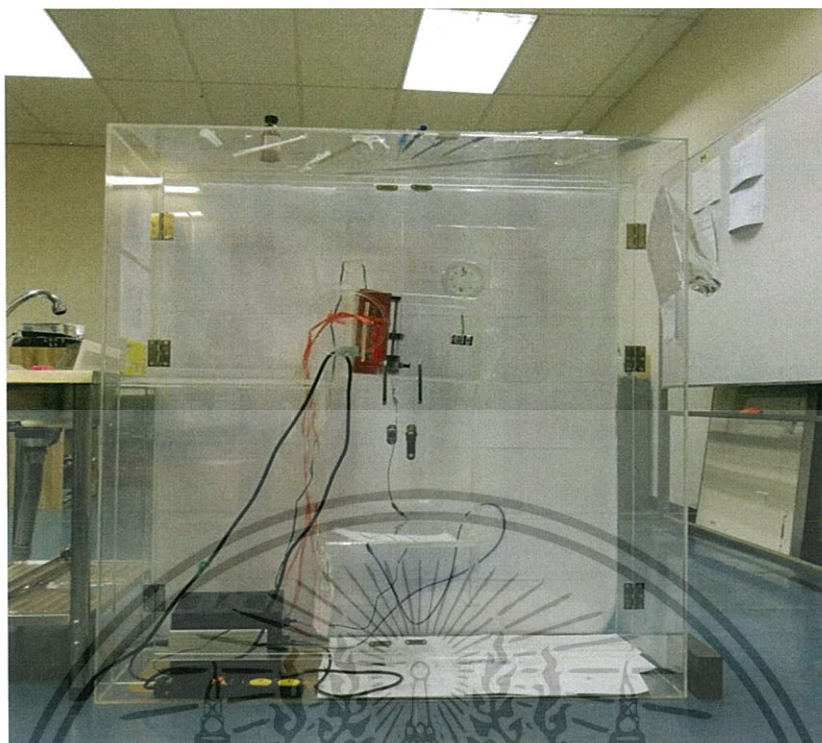


รูปที่ 3.3 ภาพแสดงขั้นตอนและเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมสาร

- ก) ภาพแสดงกระบวนการชั่งสาร PVA ที่ทำการชั่งอยู่บนเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- ข) ภาพแสดงการกวนสารโดยใช้แม่เหล็กที่อยู่บนเครื่องกวนแม่เหล็ก

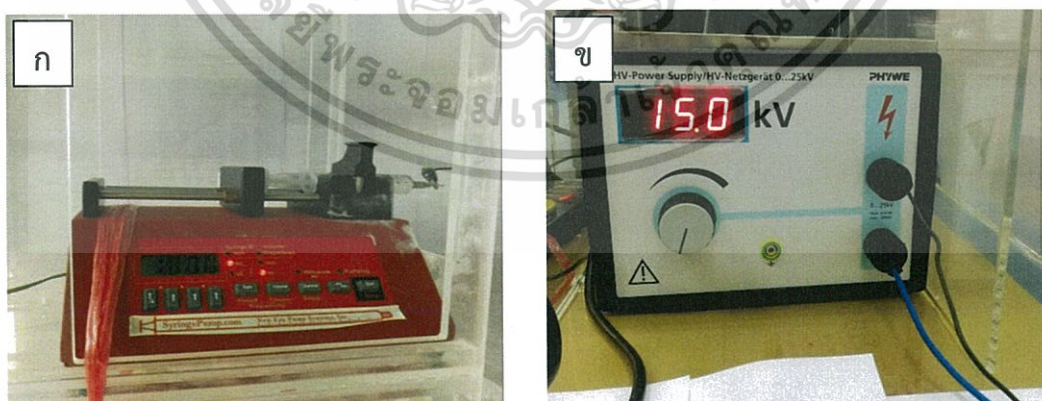
3.2.2 การสังเคราะห์เส้นใย PVA ด้วยระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

เมื่อได้สารละลาย PVA แล้ว นำสารละลายที่ได้บรรจุลงในกระบอกฉีดขนาด 10 ml และต่อเข้ากับเครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย เชื่อมต่อเครื่องให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงโดยใช้ศักย์ไฟฟ้าที่ 15 kV ที่มุม 90°



รูปที่ 3.4 ภาพส่วนประกอบเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

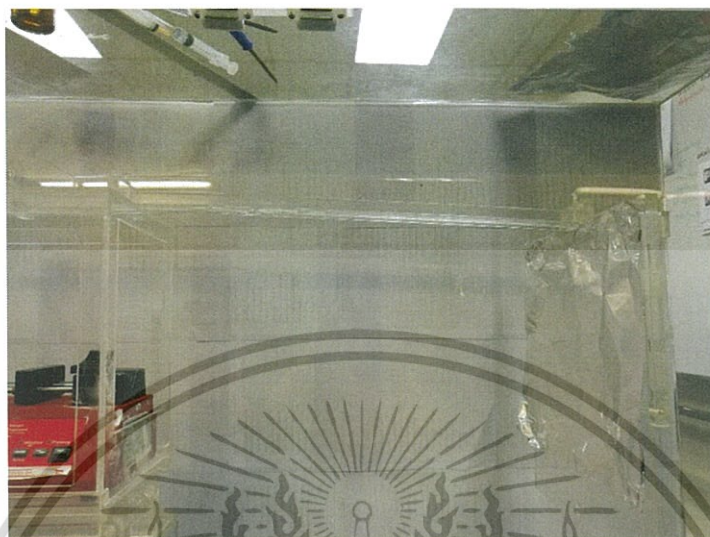
ในการใช้เครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ขั้นตอนแรกใส่เข็มฉีดยา ขนาด 10 ml ต่อเข้ากับเครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย ตั้งค่าเครื่องควบคุมการไหลโดยกดปุ่ม “rate” เพื่อเลือก syringe ID เป็น mL และกดปุ่ม “volume” เพื่อเลือก volume dispensed เป็น hr จากนั้นตั้งค่าอัตราการไหลที่ 1 mL ดังรูป ก) และปรับศักย์ไฟฟ้าไปที่ 15 kV ดังรูป ข)



รูปที่ 3.5 ก) เครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย
ข) เครื่องให้ศักย์ไฟฟ้าที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูง

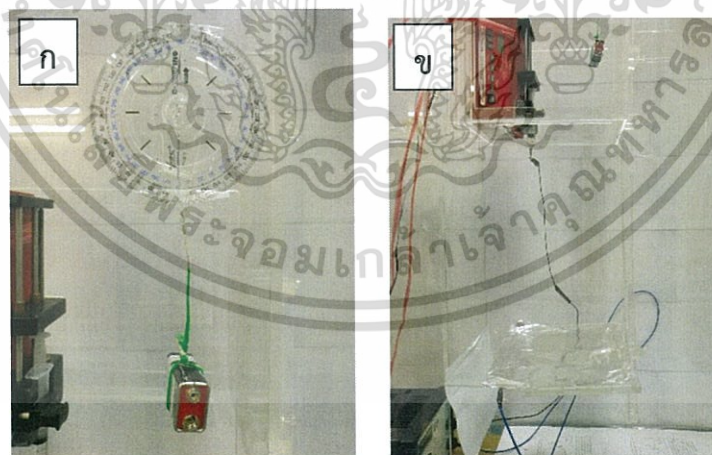
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยึดแผ่นพอยล์เข้ากับฐานรองรับเส้นใย จากนั้นปรับระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยตามระยะที่ต้องการ



รูปที่ 3.6 การปรับระยะของแผ่นรองรับ

ปรับมุมการสังเคราะห์เส้นใยไปที่ 90° ดังรูป ก) จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าขั้วลบเข้ากับปลายเข็มฉีดยาและต่อขั้วไฟฟ้าขั้วบวกเข้ากับแผ่นพอยล์ที่ยึดไว้กับฐานรองรับเส้นใย ดังรูป ข)



รูปที่ 3.7 ก) ปรับระยะมุมในการสังเคราะห์เส้นใย
ข) ต่อขั้วไฟฟ้าขั้วลบและขั้วบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตั้งค่าทุกอย่างเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม “start” ที่เครื่องควบคุมการไหลสารละลาย แล้วรอให้เครื่องทำการสังเคราะห์เส้นใยเป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยจับเวลาเองนับตั้งแต่กดปุ่ม start เมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วให้กดปุ่ม “stop” เพื่อหยุดการสังเคราะห์เส้นใย แล้วเริ่มทำที่ละเงื่อนไขจนครบ โดยในการทดลองจะศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับและความเข้มข้นของสารละลายดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองของสารละลาย PVA

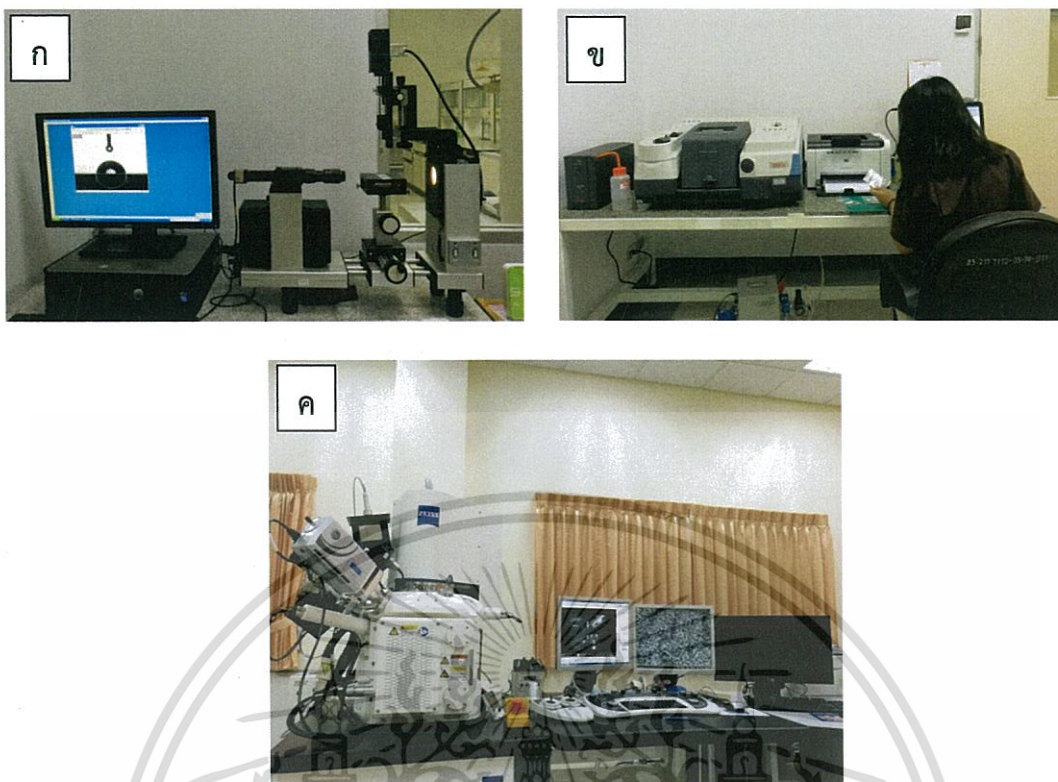
ตัวแปรที่ศึกษา	ระยะห่าง (cm)
ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ	20 , 25 , 30 , 35 , 40

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองของสารละลาย PVA

ตัวแปรที่ศึกษา	ความเข้มข้น (%)
ความเข้มข้นของสารละลาย	4 , 7 , 10 , 13 , 16

3.3 การตรวจสอบคุณสมบัติของแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธีการทางไฟฟ้าสถิต

การศึกษาทางสัณฐานวิทยาของเส้นใย PVA ได้แก่ ลักษณะการเรียงตัวและการกระจายของเส้นใยโดยใช้กล้องโทรทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) และหาขนาดของเส้นใยโดยใช้โดยใช้โปรแกรม ImageJ และการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเส้นใย PVA ตรวจสอบโครงสร้างของเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และสารปนเปื้อนในเส้นใยด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (FTIR) รวมทั้งการศึกษาสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของแผ่นเส้นใย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยใช้เครื่องวัดมุมสัมผัส



รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องมือตรวจสอบสมบัติของแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์เส้นใย

- ก) เครื่องวัดมุมสัมผัส
- ข) เครื่อง FTIR
- ค) เครื่อง SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้คือการสังเคราะห์เส้นใยโดยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ด้วยการสังเคราะห์เส้นใยจากสารละลาย PVA ที่เงื่อนไขการปรับระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย จาก 20 cm ถึง 40 cm และการปรับความเข้มข้นของสารละลายจาก 4%wt ถึง 16%wt โดยจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm)
2. การตรวจสอบคุณสมบัติทางสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์จากการใช้ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm)
3. การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้ความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt)
4. การตรวจสอบคุณสมบัติทางสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์จากการใช้ความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt)

4.1 ผลกระทบที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยจากการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ

จากการทดลองที่ได้ทำการกำหนดตัวแปรทั้งหมดดัง ตารางที่ 4.1 และได้ทำการเปลี่ยนตัวแปรระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm) ซึ่งจะเป็นในส่วน of ผลกระทบจากการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่แตกต่างกันในการสังเคราะห์เส้นใย โดยที่ระยะห่างนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 5 ค่าด้วยกัน คือ 20 cm , 25 cm , 30 cm , 35 cm และ 40 cm

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ถูกกำหนดไว้ใน การทดลอง

ตัวแปรในการทดลอง	เงื่อนไข
สารที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย	PVA
ตัวทำละลาย	น้ำปลอดประจุ
อัตราส่วนของน้ำปลอดประจุ : PVA	100 : 7
แรงดันไฟฟ้า	15 kV
อุณหภูมิของสารละลาย	80 °C
ระดับความเร็วเครื่องทอเส้นใยด้วยแม่เหล็ก	ระดับ 3
ระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย	1 hr
ระยะเวลาที่ใช้ในการทอเส้นใย	2 hr
อุณหภูมิขณะทำการทดลอง	25°C
อัตราการไหลของสารละลาย	1.0 ml/hr.
ขนาดของหลอดไซริง	nm 10 ml
ขนาดและความยาวของปลายเข็มฉีดยา	0.7 mm, 1 cm
ชนิดและขนาดของแผ่นรองรับ	อลูมิเนียมฟอยล์, 30 cm x 30 cm
ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ	20, 25, 30, 35, 40 cm
มุมระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ	90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่าง 20 cm

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 20 cm พบว่า มีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์มากที่สุด โดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยกระจายคล้ายรูปวงกลมดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 20 cm

4.1.2 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่าง 25 cm

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 25 cm พบว่า มีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์มาก แต่น้อยกว่าที่ระยะ 20 cm โดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยคล้ายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.2

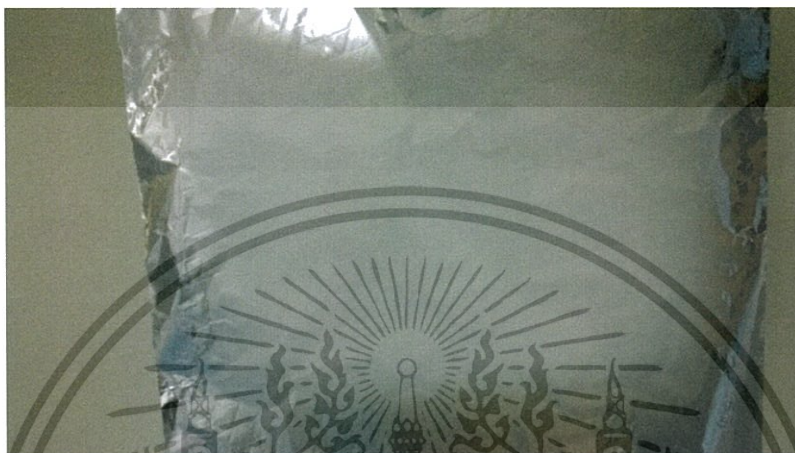


รูปที่ 4.2 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 25 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่าง 30 cm

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 30 cm พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์น้อยกว่าระยะห่าง 25 cm โดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยคล้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 30 cm

4.1.4 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่าง 35 cm

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 35 cm พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์น้อยกว่าระยะห่าง 30 cm โดยมีลักษณะการกระจายคล้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 35 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่าง 40 cm

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 40 cm พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ที่หัวแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เป็นอยู่น้อยกว่าระยะห่าง 35 cm โดยมีการสะสมของเส้นใยอยู่เป็นกลุ่มโดยมีลักษณะการกระจายคล้ายรูปวงรี และได้มีการหยุดของสารละลายลงบนชิ้นงานอยู่เล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการกำหนดอัตราการไหลของสารละลายที่มากเกินไปจนความจำเป็นเล็กน้อยและมุมของระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยซึ่งจะส่งผลให้ตัวเข็มที่ใช้ในการปล่อยสารละลายพอลิเมอร์อยู่เหนือแผ่นรองรับเส้นใย และส่งผลให้ตัวชิ้นงานมีลักษณะดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.5



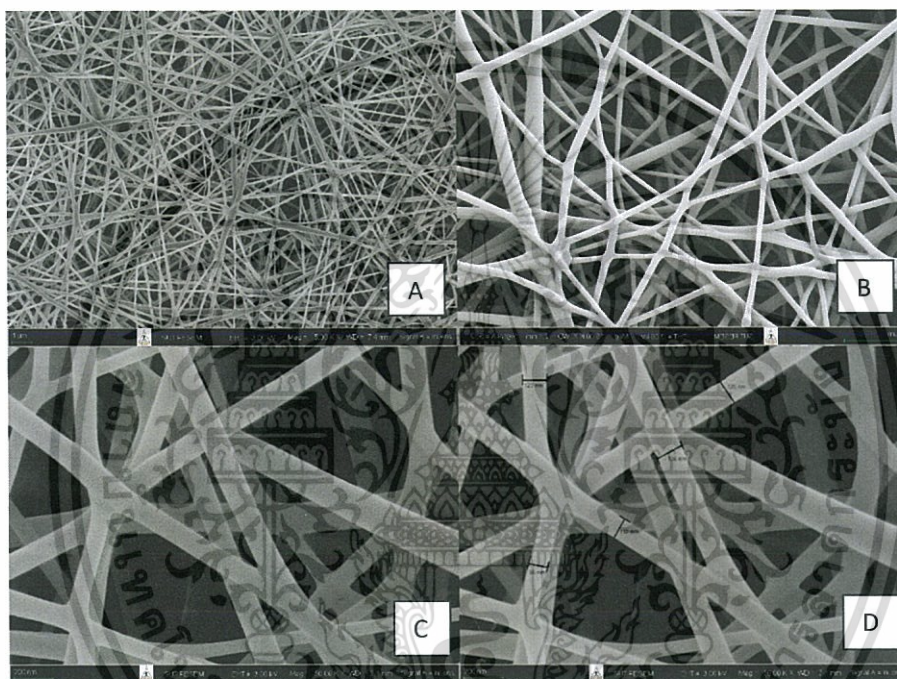
รูปที่ 4.5 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากระยะห่าง 40 cm

4.2 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm)

จากการทดลองสังเคราะห์เส้นใย PVA ในหัวข้อที่ 4.1 ได้ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm) โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงโดยที่ขนาดของเส้นใยจะแตกต่างกันในแต่ละระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยขึ้นมา ความหนาแน่นและการจัดเรียงตัวของเส้นใยจะมีความคล้ายกันในแต่ละระยะห่างที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยขึ้นมา

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 20 cm

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 20 cm พบว่า เส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 96.00 nm, 112.85 nm, 123.62 nm, 126.74 nm และ 136.52 nm ตามลำดับ โดยมีขนาดเส้นใยที่มีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 40.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.6

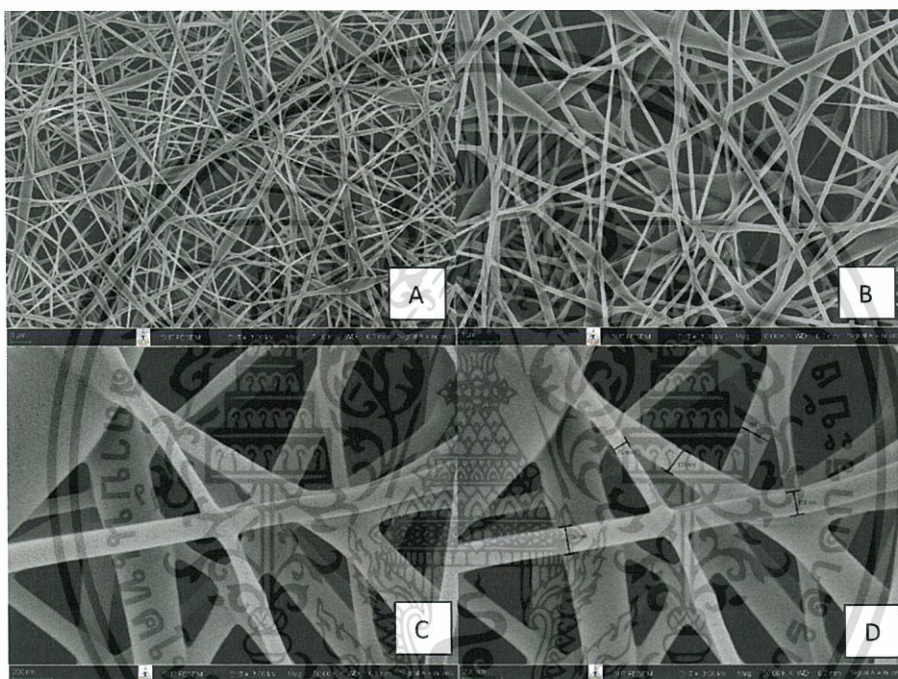


รูปที่ 4.6 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 20 cm ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 5k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ

4.2.2 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 25 cm

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 25 cm พบว่าเส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 75.56 nm, 118.69 nm, 133.80 nm, 135.56 nm และ 156.02 nm ตามลำดับ โดยมีขนาดเส้นใยที่มีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 80.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.7

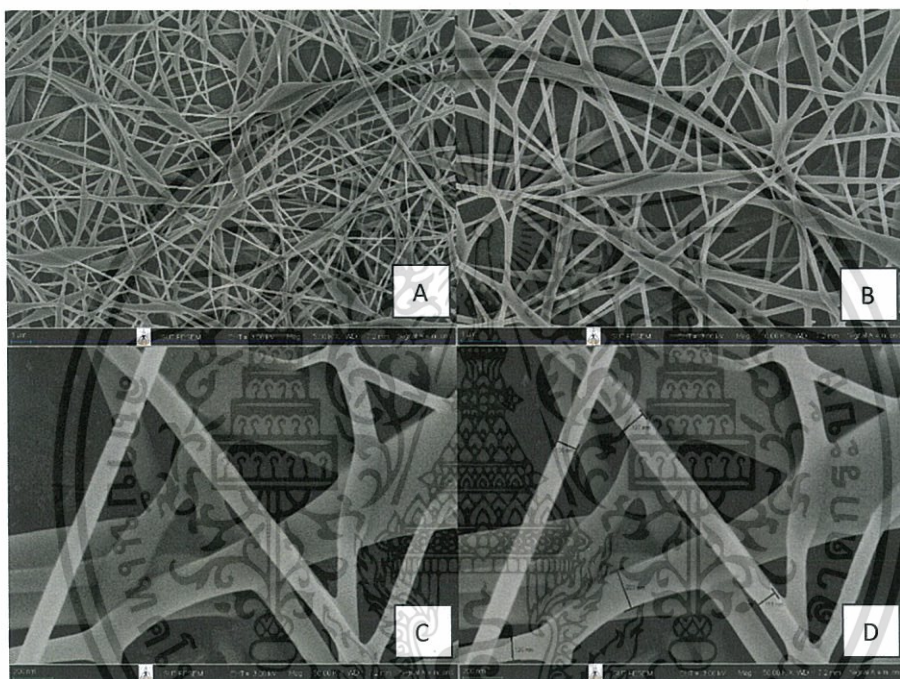


รูปที่ 4.7 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 25 cm ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 5k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ

4.2.3 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 30 cm

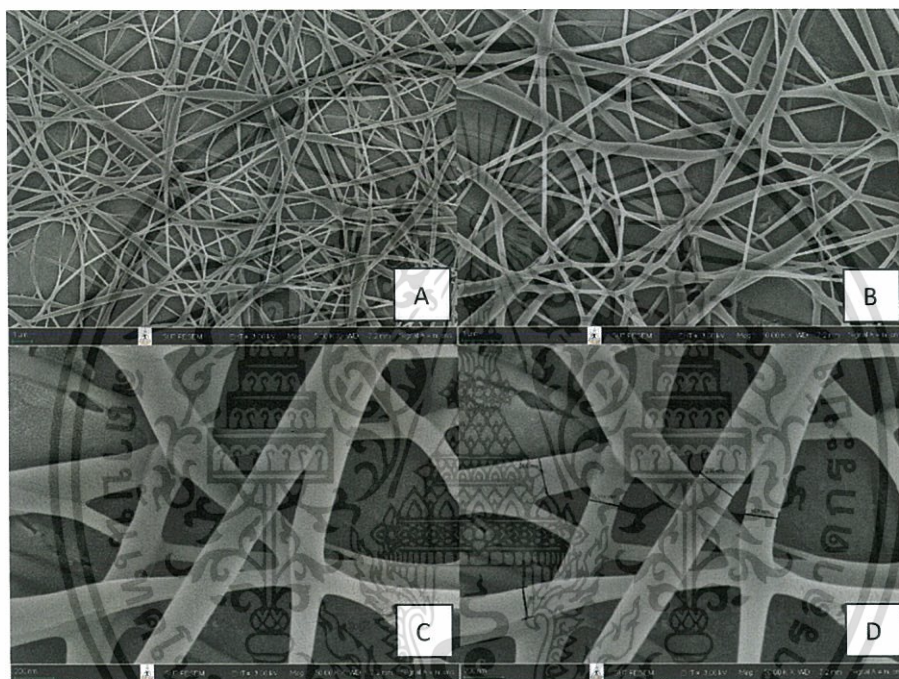
จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 30 cm พบว่าเส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 106.58 nm, 111.01 nm, 126.04 nm, 127.78 nm และ 203.33 nm ตามลำดับ โดยมีขนาดเส้นใยที่มีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 90.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 30 cm ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM
 A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 5k
 B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
 C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
 D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ

4.2.4 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 35 cm

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 35 cm พบว่าเส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 156.89 nm, 168.73 nm, 169.24 nm, 206.04 nm และ 216.49 nm ตามลำดับโดยมีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 60.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.9

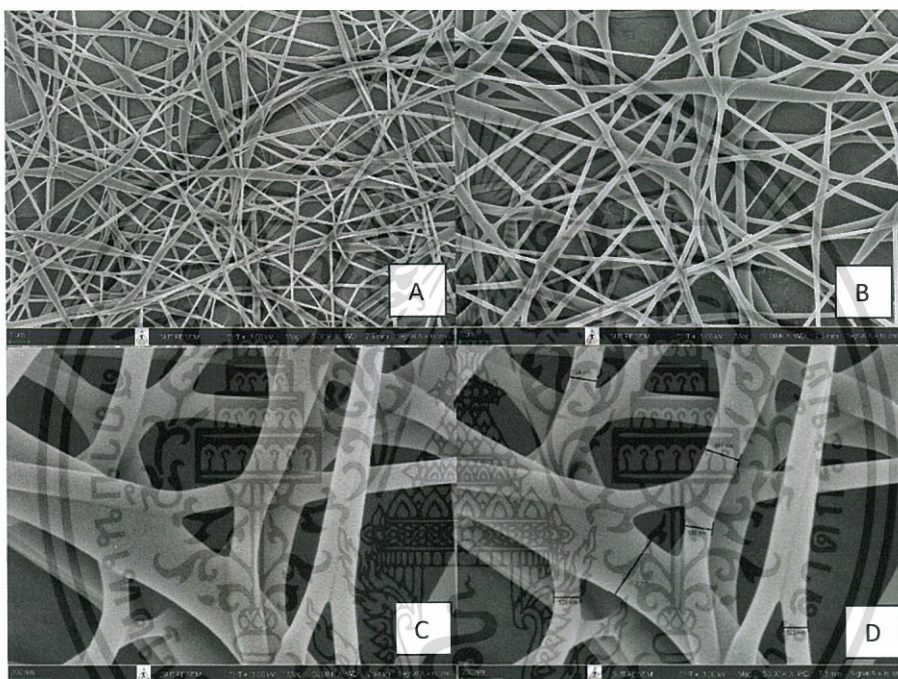


รูปที่ 4.9 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 35 cm ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 5k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ

4.2.5 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 40 cm

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 40 cm พบว่าเส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 123.93 nm, 128.11 nm, 136.34 nm, 154.94 nm, 184.76 nm และ 339.33 nm ตามลำดับโดยมีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 200.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.10



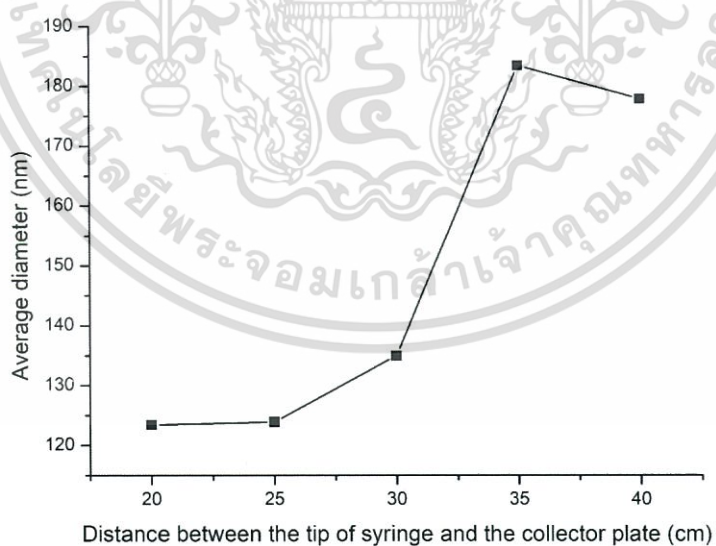
รูปที่ 4.10 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยที่ 40 cm ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 5k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ

จากข้อมูลขนาดของเส้นใยที่ได้จากภาพของเส้นใยที่ได้จากรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.10 สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยและช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ที่สุดกับเส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุดได้ดัง ตารางที่ 4.2 และสามารถนำมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

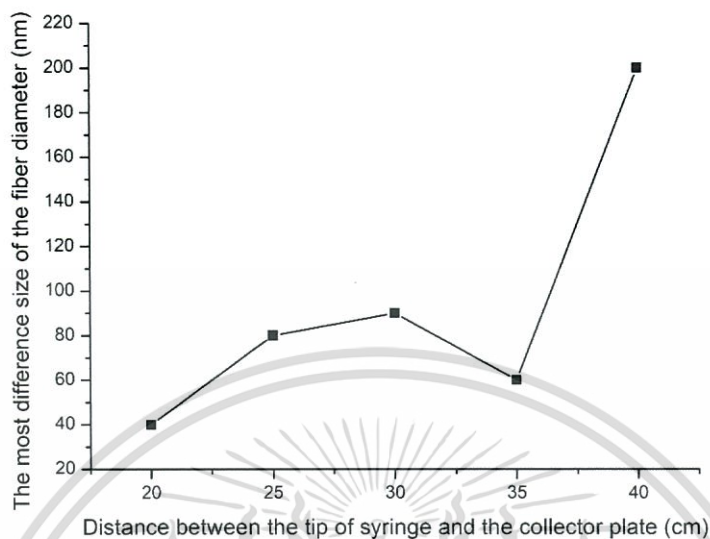
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงขนาดโดยเฉลี่ยของเส้นใยและช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใยที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm)

ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย (cm)	ขนาดเฉลี่ยของเส้นใย (nm)	ช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใย (nm)
20	123.44	40.00
25	123.91	80.00
30	134.95	90.00
35	183.48	60.00
40	177.90	200.00



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใย

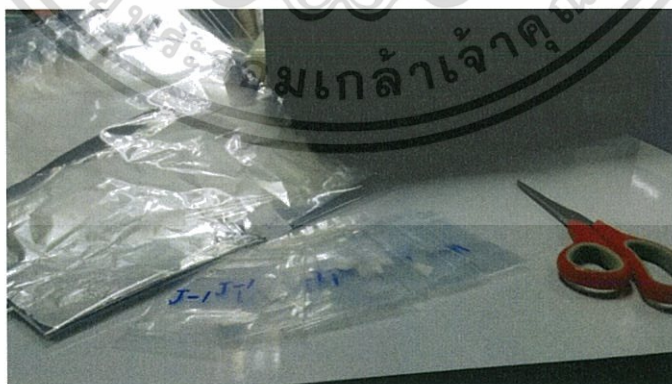
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

4.3 การทดสอบผิวสัมผัสของเส้นใยที่สังเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติของเส้นใย PVA ที่สร้างจากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm)

จากการทดลองสังเคราะห์เส้นใย PVA ในหัวข้อที่ 4.1 ได้ผลการทดสอบสมบัติของตัวอย่างเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากการสังเคราะห์โดยใช้ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่แตกต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm)

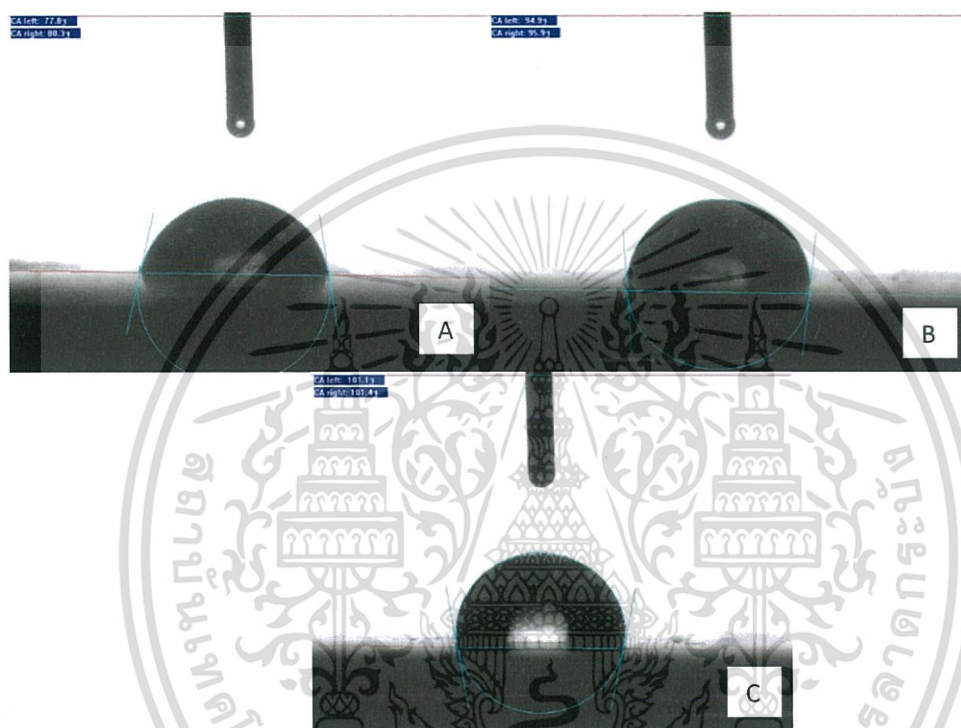


รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายชิ้นงานที่อยู่ในถุงเก็บชิ้นงานซึ่งถูกตัดเป็นชิ้นเล็กเพื่อเตรียมนำไปทดสอบสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการนำเส้นใยที่ได้จากการทดลองไปทดสอบพบว่าผลการทดสอบผิวสัมผัสของเส้นใยจากการเปลี่ยนตัวแปรระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ต่างกัน (จาก 20 cm ถึง 40 cm) ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งผลการทดสอบจะได้มุมสัมผัส

1) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 20 cm

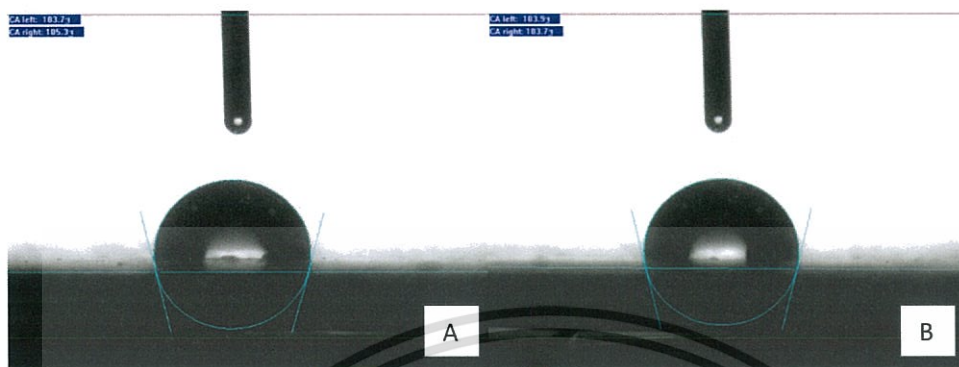


รูปที่ 4.14 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 20 cm

- A) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 1
- B) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 2
- C) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

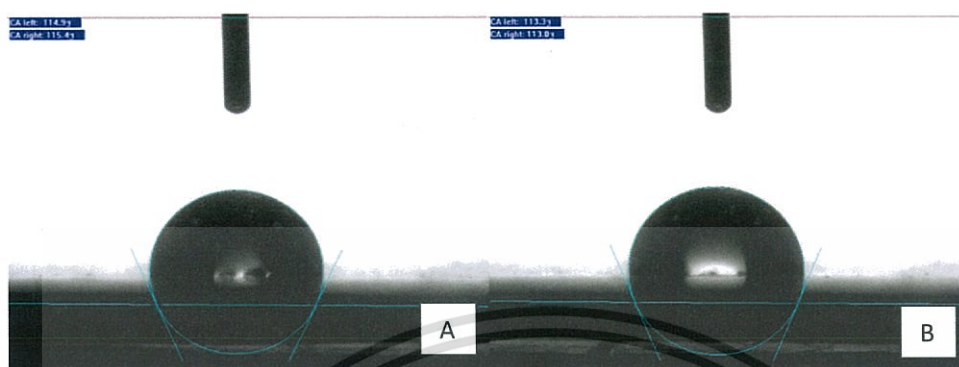
2) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 25 cm



รูปที่ 4.15 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 25 cm

- A) ทดสอบมุมสัมผัสสุดที่ 1
- B) ทดสอบมุมสัมผัสสุดที่ 2
- C) ทดสอบมุมสัมผัสสุดที่ 3

3) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 30 cm

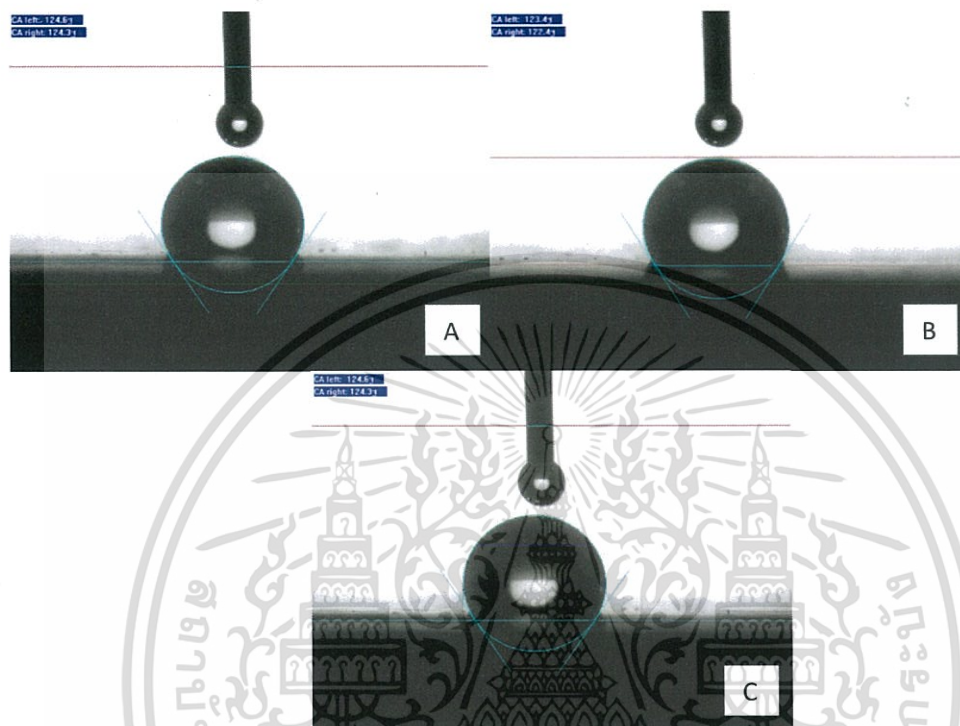


รูปที่ 4.16 รูปแสดงผลการทดสอบมมสัมพันธ์ของเส้นใย PVA ที่ได้จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 30 cm

- A) ทดสอบมมสัมพันธ์สุดที่ 1
- B) ทดสอบมมสัมพันธ์สุดที่ 2
- C) ทดสอบมมสัมพันธ์สุดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 35 cm

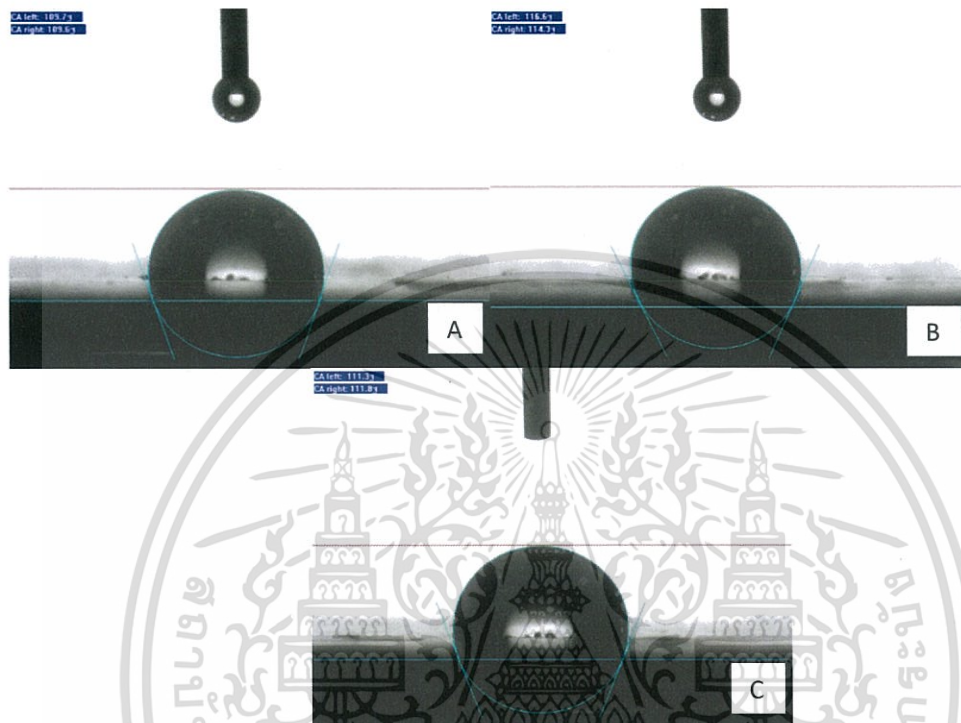


รูปที่ 4.17 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 35 cm

- A) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 1
- B) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 2
- C) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 40 cm



รูปที่ 4.18 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 40 cm

- A) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 1
- B) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 2
- C) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 3

โดยในการวัดค่ามุมสัมผัสสามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้จากหลากหลายจุดบนชิ้นงาน โดยได้มีการแสดงค่าการวัดมุมสัมผัสในตารางที่ 4.3 หาค่าเฉลี่ยจากจุดสัมผัสที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันดังที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.4 และได้แสดงผลค่าแถบคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 4.19

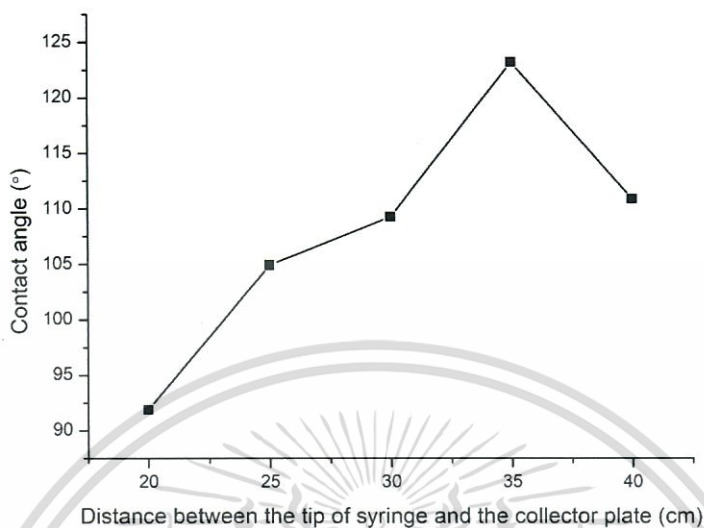
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่ามุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบในจุดสัมผัสที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

ระยะห่างระหว่างปลาย เชื่อมกับแผ่น รองรับ (cm)	จุดที่ 1		จุดที่ 2		จุดที่ 3		เฉลี่ย	
	ขอบซ้าย	ขอบขวา	ขอบซ้าย	ขอบขวา	ขอบซ้าย	ขอบขวา	ขอบซ้าย	ขอบขวา
20	77.8	80.3	94.9	95.9	101.1	101.4	91.27	92.53
25	103.7	105.3	103.9	103.7	107.3	105.6	104.97	104.87
30	114.9	115.4	113.3	113.0	100.2	98.8	109.47	109.07
35	124.6	124.3	123.4	122.4	122.4	122.0	123.47	122.90
40	109.7	109.6	111.5	111.4	111.3	111.8	110.83	110.93

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบพื้นผิวของเส้นใย PVA ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับที่แตกต่างกัน

ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับ (cm)	ค่ามุมสัมผัส
20	91.90°
25	104.92°
30	109.27°
35	123.19°
40	110.88°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



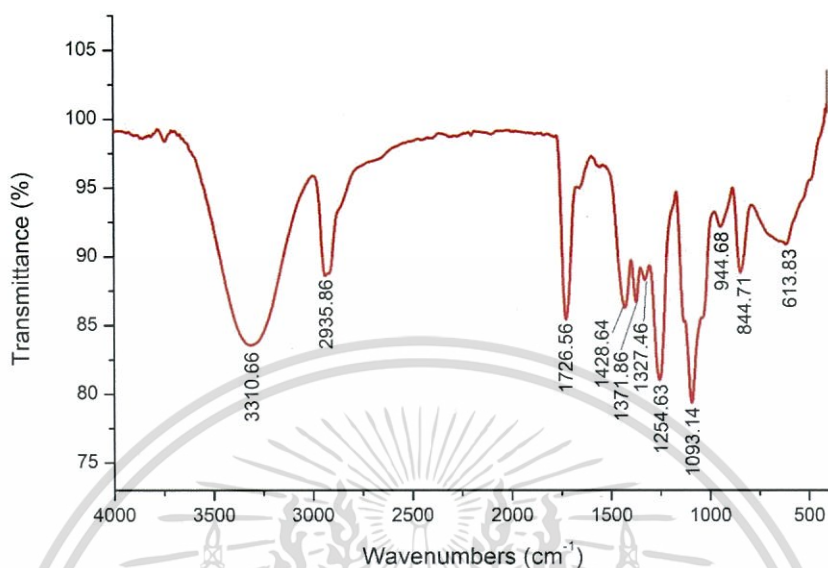
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับมุมสัมผัส

4.4 การทดสอบลักษณะการส่งผ่านและพันธะเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด

จากการนำเส้นใยที่ได้จากการทดลองไปทดสอบพบว่าผลการทดสอบการส่งผ่านและพันธะเคมีของเส้นใยจากการเปลี่ยนตัวแปรระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่แตกต่างกันด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดพบว่าผลที่ได้จากตัวอย่างเส้นใยที่นำไปทดสอบมีคุณสมบัติในการส่งผ่านดังนี้

4.4.1) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 20 cm

จากกราฟแสดงการส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 20 cm จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการส่งผ่าน พบว่า เส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 20 cm มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.20 และ 4.21 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3310.66, 2935.86, 1726.56, 1428.64, 1371.86, 1327.46, 1254.63, 1093.14, 944.68, 844.71, 613.83 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ซึ่งเป็นผลที่ได้มาจากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดโดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาเป็นไปตามลักษณะของ PVA



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 20 cm

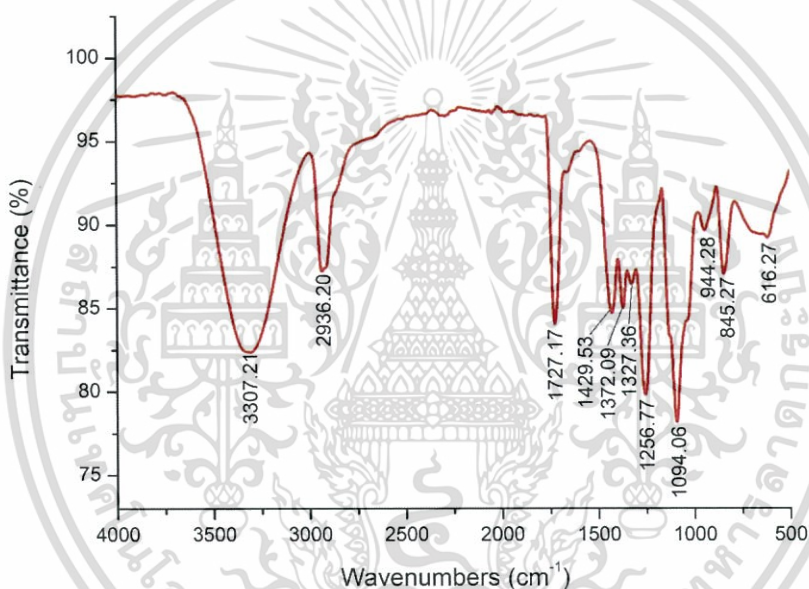


รูปที่ 4.21 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 20 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 25 cm

จากกราฟแสดงการส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 25 cm จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการส่งผ่านพบว่าเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 25 cm มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่างๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.22 และ 4.23 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3307.66, 2936.20, 1727.17, 1429.53, 1372.09, 1327.36, 1256.77, 1094.06, 944.28, 845.27, 616.27 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่โดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาเป็นไปตามลักษณะของ PVA



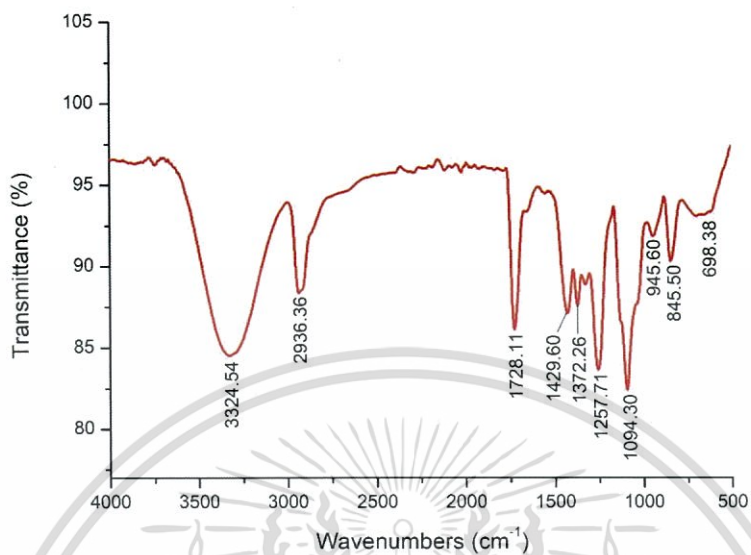
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 25 cm



รูปที่ 4.23 กราฟการส่งผ่านแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 25 cm

4.4.3) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 30 cm

จากกราฟแสดงการส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 30 cm จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการส่งผ่าน พบว่าเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 30 cm มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่างๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.24 และ 4.25 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3324.21, 2936.36, 1728.11, 1429.60, 1372.26, 1257.71, 1094.30, 925.60, 845.50, 698.38 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่โดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาเป็นไปตามลักษณะของ PVA



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 30 cm

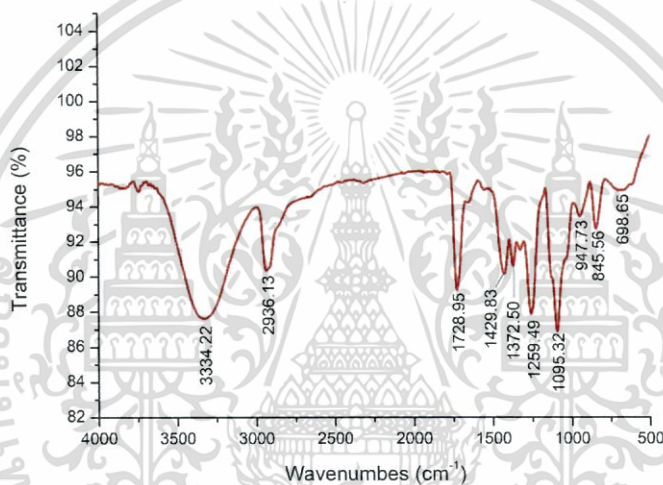


รูปที่ 4.25 กราฟการส่งผ่านแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 30 cm

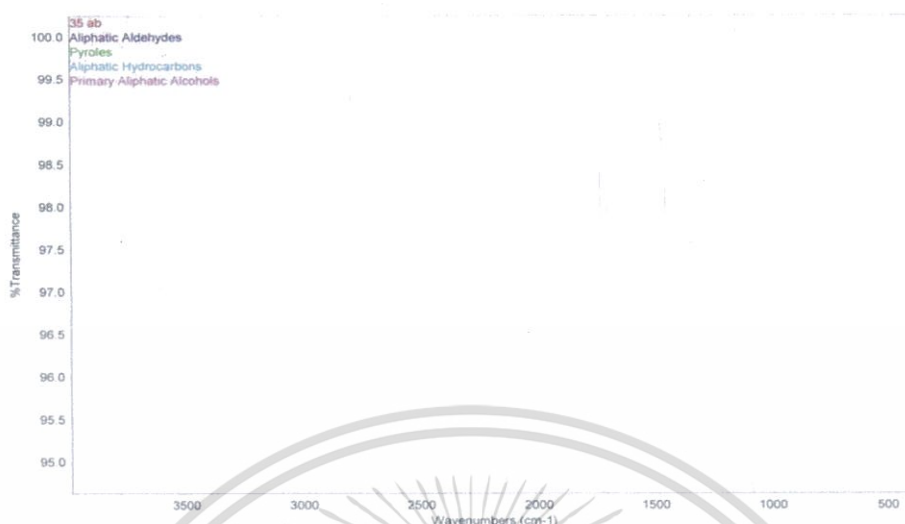
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 35 cm

จากกราฟแสดงการส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 35 cm จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการส่งผ่าน พบว่าเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 35 cm มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่างๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.26 และ 4.27 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3334.22, 2936.13, 1728.95, 1429.83, 1372.50, 1259.49, 1095.32, 947.73, 845.56, 698.65 และจากกราฟการส่งผ่านแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่โดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาเป็นไปตามลักษณะของ PVA



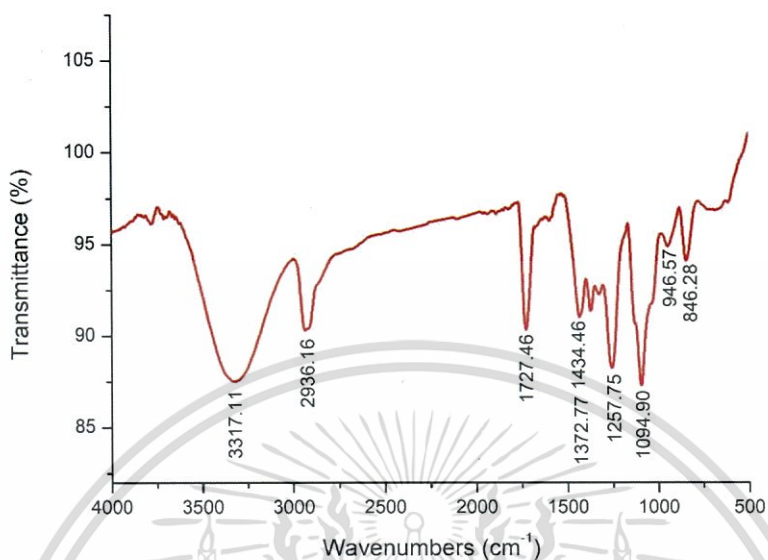
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 35 cm



รูปที่ 4.27 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 35 cm

4.4.5) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 40 cm

จากกราฟแสดงการส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 40 cm จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการส่งผ่าน พบว่าเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 40 cm มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่างๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.28 และ 4.29 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3317.11, 2936.16, 1727.46, 1434.46, 1372.77, 1257.75, 1094.90, 946.57, 846.28 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่โดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้เป็นไปตามลักษณะของ PVA



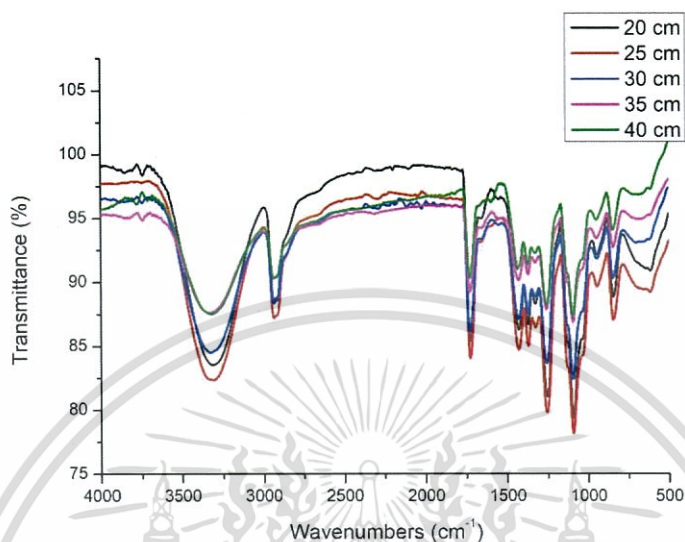
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 40 cm



รูปที่ 4.29 กราฟการส่งผ่านแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ 40 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้ในส่วนของการส่งผ่านดังรูปที่ 4.20 4.22 4.24 4.26 และ 4.28 สามารถนำมาเปรียบเทียบกับได้ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการส่งผ่านของเส้นใย PVA จากระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยทั้งหมด 5 ระยะ

ระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยทั้งหมด 5 ระยะ เริ่มจากที่ระยะ 20 cm มีอัตราการส่งผ่านของแสง 84% ที่ระยะ 25 cm มีอัตราการส่งผ่านของแสงน้อยที่สุดอยู่ที่ 83% ที่ระยะ 30 cm มีอัตราการส่งผ่านของแสง 85% ที่ระยะ 35 cm มีอัตราการส่งผ่านของแสงมากที่สุดอยู่ที่ 89% และที่ระยะ 40 cm มีอัตราการส่งผ่านของแสงอยู่ที่ 88.9%

4.5 ผลกระทบที่ส่งต่อการสังเคราะห์เส้นใยจากการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย

จากการทดลองที่ได้ทำการกำหนดตัวแปรทั้งหมดดัง ตารางที่ 4.5 และได้ทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt) ซึ่งจะเป็นในส่วนของผลกระทบจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในการสังเคราะห์เส้นใย โดยที่อัตราส่วนนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 5 ค่าด้วยกัน คือ 4%wt, 7%wt, 10%wt, 13%wt และ 16%wt

ตารางที่ 4.5 ตัวแปรที่ถูกกำหนดไว้ในกาทดลอง

ตัวแปรในการทดลอง	เงื่อนไข
สารที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย	PVA
ตัวทำละลาย	น้ำปลอดประจุ
อัตราส่วนของน้ำปลอดประจุ : PVA	100 : 4, 7, 10, 13, 16
แรงดันไฟฟ้า	15 kV
อุณหภูมิของสารละลาย	80°C
ระดับความเร็วเครื่องทอเส้นใยด้วยแม่เหล็ก	ระดับ 3
ระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย	1 hr
ระยะเวลาที่ใช้ในการทอเส้นใย	2 hr
อุณหภูมิขณะทำการทดลอง	25°C
อัตราการไหลของสารละลาย	1.0 ml/hr.
ขนาดของหลอดไซริง	nm 10 ml
ขนาดและความยาวของปลายเข็มฉีดยา	0.7 mm, 1 cm
ชนิดและขนาดของแผ่นรองรับ	อลูมิเนียมฟอยล์, 30 cm x 30 cm
ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ	35 cm
มุมระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ	90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 4%wt

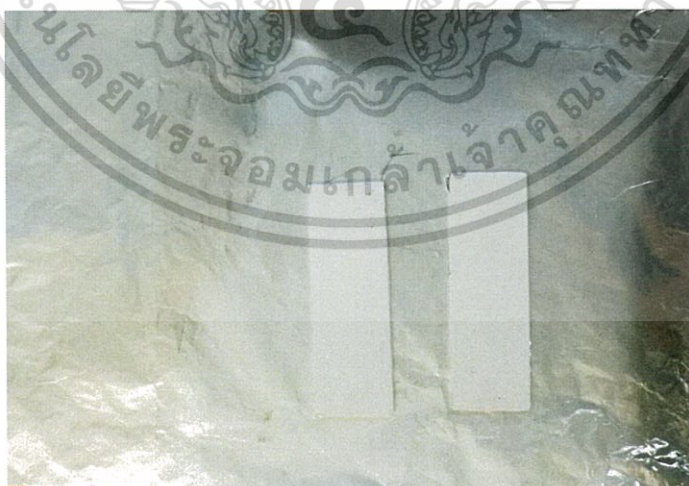
จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 4%wt พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ที่บริเวณริมแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ โดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยกระจายตัวบางมาก จนแทบมองไม่เห็น ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 4%wt

4.5.2 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 7%wt

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 7%wt พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ที่บริเวณกลางแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ โดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยกระจายตัวหนาแน่นมาก ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 7%wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 10%wt

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 10%wt พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ที่บริเวณริมแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ โดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยกระจายตัวหนาน้อยกว่าที่ความเข้มข้น 7%wt และได้มีการหยดของสารละลายลงบนชิ้นงานอยู่เล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการกำหนดอัตราการไหลของสารละลายที่มากเกินไปจนเป็นเล็กน้อย ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 10%wt

4.5.4 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 13%wt

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 13%wt พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ที่บริเวณริมแผ่นอลูมิเนียมพอยล์ โดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยกระจายตัวหนาน้อยกว่าที่ความเข้มข้น 10%wt และมีการหยดของสารละลายปรากฏอยู่บนชิ้นงานเล็กน้อยดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 13%wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.5 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 16%wt

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 16%wt พบว่า มีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ที่บริเวณริมแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ โดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยกระจายตัวบางมากจนแทบมองไม่เห็น ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.35



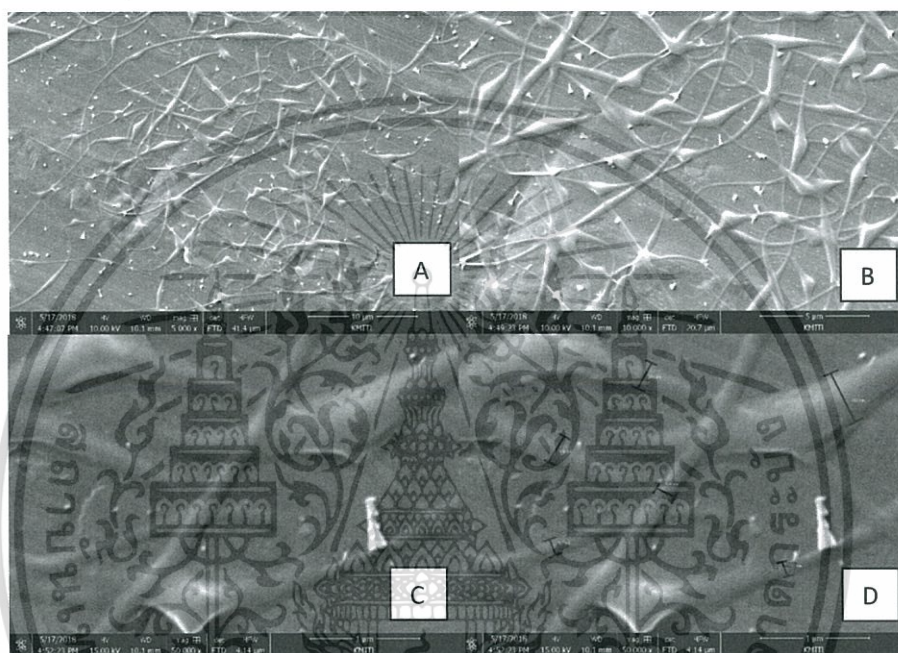
รูปที่ 4.35 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากความเข้มข้น 16%wt

4.6 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้ความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt)

จากการทดลองสังเคราะห์เส้นใย PVA ในหัวข้อที่ 4.5 ได้ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้ความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt) โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงโดยที่ขนาดของเส้นใยจะแตกต่างกันในแต่ละความเข้มข้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยขึ้นมา ความหนาแน่นและการจัดเรียงตัวของเส้นใยจะมีความคล้ายกันในแต่ละระยะห่างที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยขึ้นมา

4.6.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 4%wt

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 4%wt พบว่าเส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 139.84 nm, 143.23 nm, 168.87 nm, 211.40 nm และ 468.73 nm ตามลำดับ โดยมีขนาดเส้นใยที่มีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 320.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.36

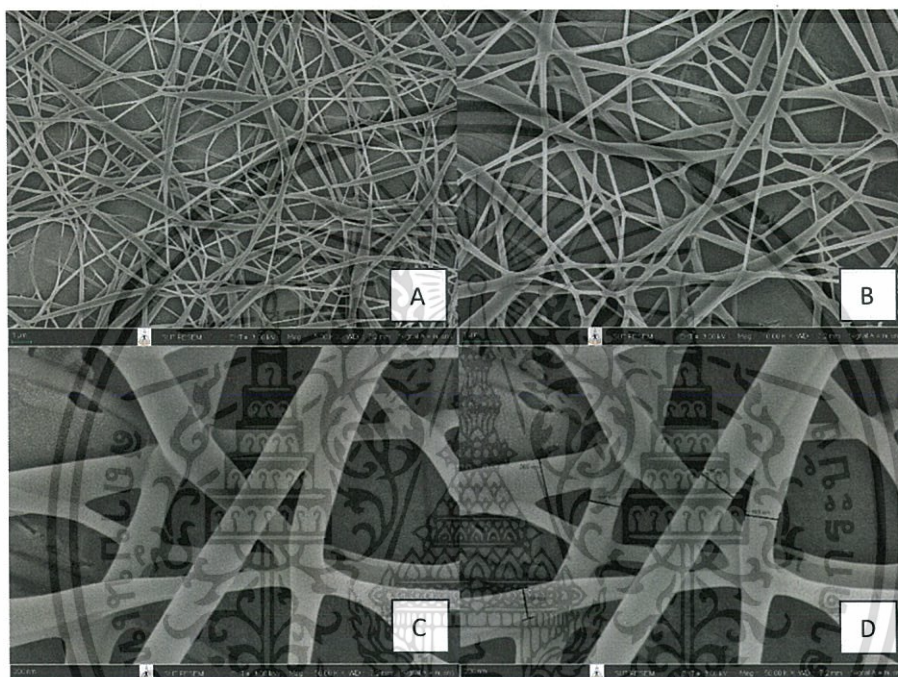


รูปที่ 4.36 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 4%wt ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 5k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ

4.6.2 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 7%wt

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 7%wt พบว่าเส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 156.89 nm, 168.73 nm, 169.24 nm, 206.04 nm และ 216.49 nm ตามลำดับโดยมีขนาดแตกต่างกันที่สุดอยู่ที่ประมาณประมาณ 60.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.37

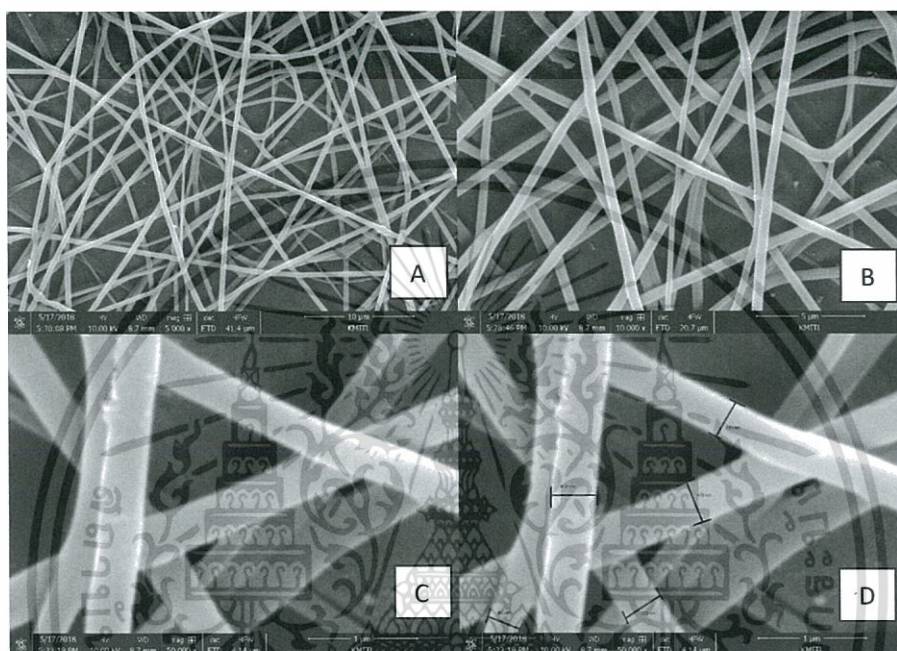


รูปที่ 4.37 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 7%wt ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 5k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ

4.6.3 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 10%wt

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 10%wt พบว่าเส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 303.24 nm, 384.32 nm, 410.27 nm, 411.08 nm และ 415.41 nm ตามลำดับโดยมีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณประมาณ 110.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.38

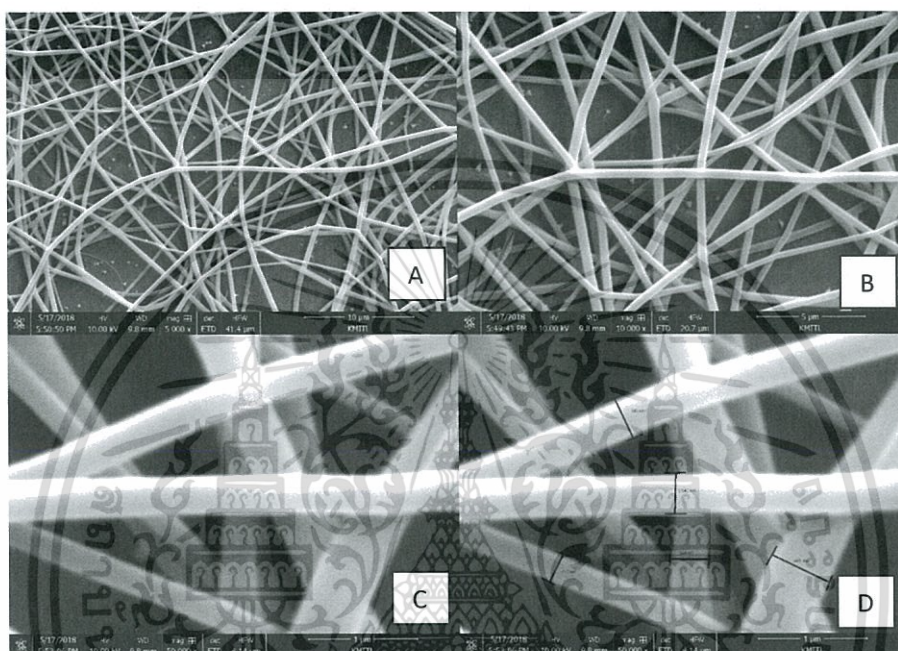


รูปที่ 4.38 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 10%wt ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 5k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ

4.6.4 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 13%wt

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 13%wt พบว่าเส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 242.97 nm, 340.00 nm, 340.54 nm, 324.59 nm และ 581.35 nm ตามลำดับโดยมีขนาดแตกต่างกันที่สุดอยู่ที่ประมาณประมาณ 330.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.39

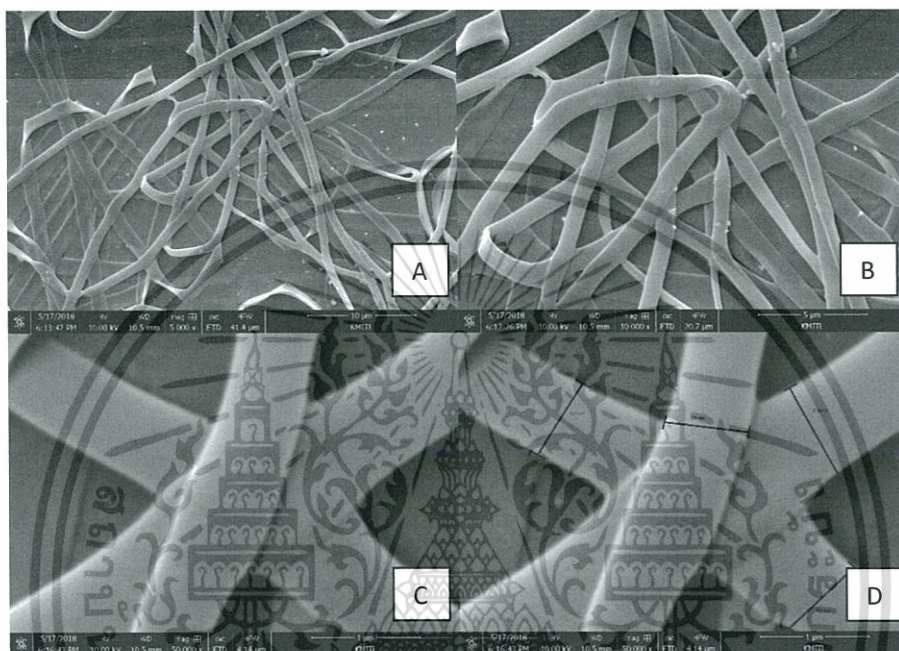


รูปที่ 4.39 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 13%wt ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 5k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ

4.6.5 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 16%wt

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 16%wt พบว่าเส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 763.24 nm, 770.00 nm, 814.05 nm และ 877.30 nm ตามลำดับ โดยมีขนาดแตกต่างกันที่สุดอยู่ที่ประมาณประมาณ 110.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้น 16%wt ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

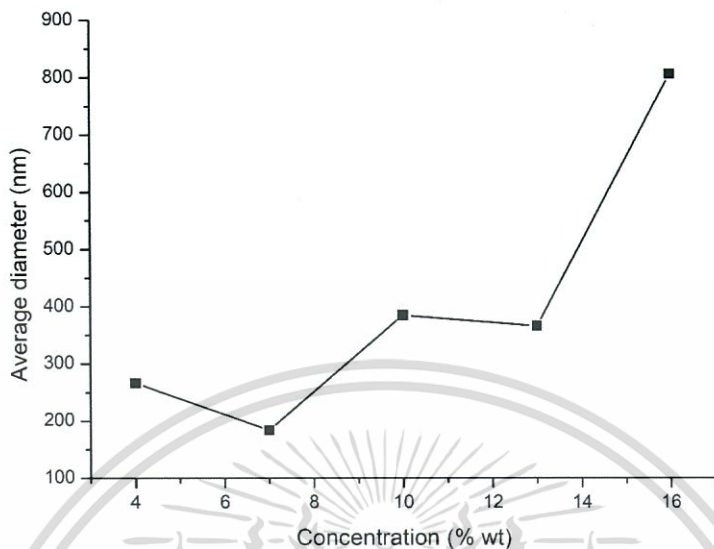
- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 5k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใยโดยใช้โปรแกรม ImageJ

จากข้อมูลขนาดของเส้นใยที่ได้จากภาพของเส้นใยที่ได้จากรูปที่ 4.36 ถึงรูปที่ 4.40 สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยและช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ที่สุดกับเส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุดได้ดังตารางที่ 4.6 และสามารถนำมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 4.41 และ 4.42 ตามลำดับ

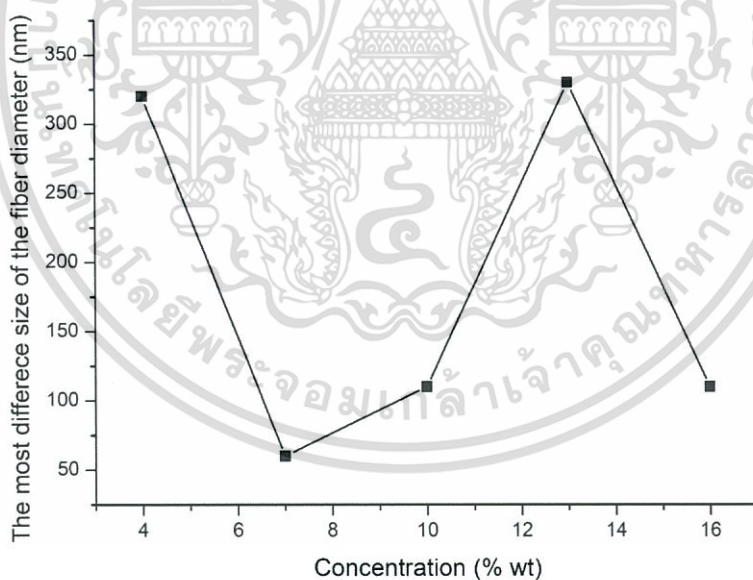
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงขนาดโดยเฉลี่ยของเส้นใยและช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใยที่ความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt)

ความเข้มข้นของสารละลาย (%wt)	ขนาดเฉลี่ยของเส้นใย (nm)	ช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใย (nm)
4	266.41	320.00
7	183.48	60.00
10	384.86	110.00
13	365.89	330.00
16	806.15	110.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

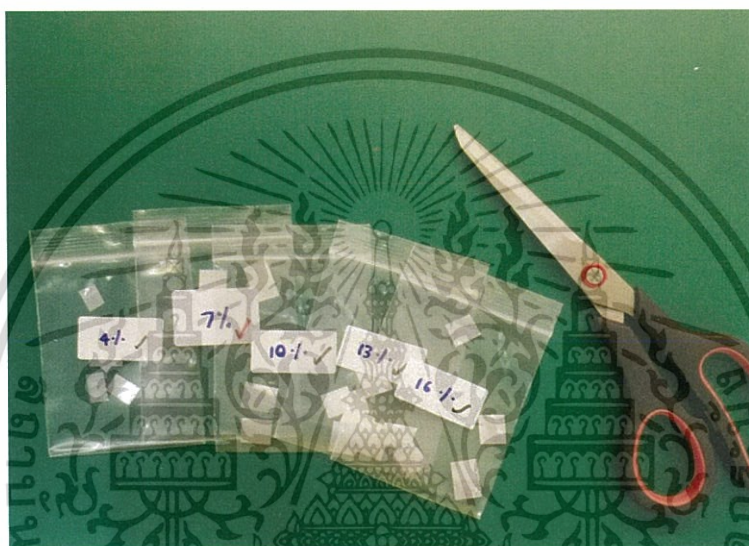


รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดสอบผิวสัมผัสของเส้นใยที่สังเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์มุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่สร้างจากความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt)

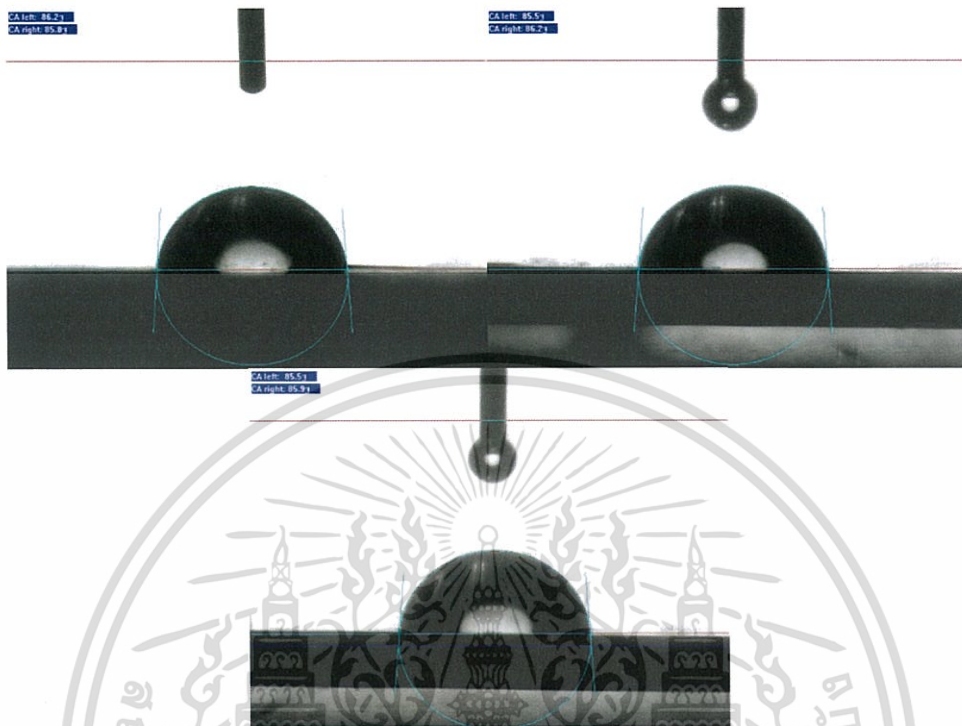
จากการทดลองสังเคราะห์เส้นใย PVA ในหัวข้อที่ 4.5 ได้ผลการทดสอบสมบัติของตัวอย่างเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากการสังเคราะห์โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt)



รูปที่ 4.43 ภาพถ่ายชิ้นงานที่อยู่ในถุงเก็บชิ้นงานซึ่งถูกตัดเป็นชิ้นเล็กเพื่อเตรียมนำไปทดสอบสมบัติ

จากการนำเส้นใยที่ได้จากการทดลองไปทดสอบพบว่าผลการทดสอบผิวสัมผัสของเส้นใยจากการเปลี่ยนตัวแปรความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (จาก 4%wt ถึง 16%wt) ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งผลการทดสอบจะได้มุมสัมผัส

1) ความเข้มข้น 4%wt



รูปที่ 4.44 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากความเข้มข้น 4%wt

- A) ทดสอบมุมสัมผัสครั้งที่ 1
- B) ทดสอบมุมสัมผัสครั้งที่ 2
- C) ทดสอบมุมสัมผัสครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความเข้มข้น 7%wt

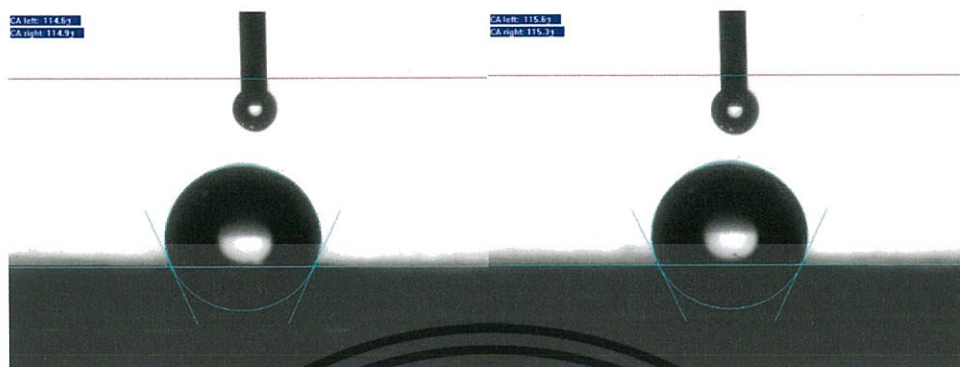


รูปที่ 4.45 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากความเข้มข้น 7%wt

- A) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 1
- B) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 2
- C) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความเข้มข้น 10%wt

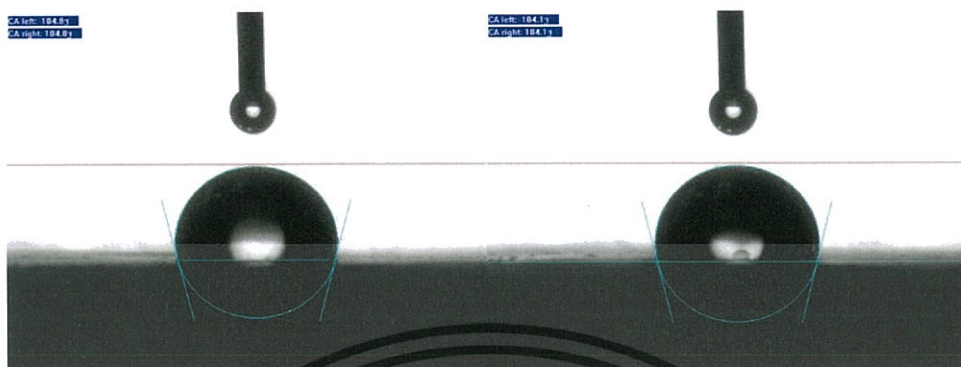


รูปที่ 4.46 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากความเข้มข้น 10%wt

- A) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 1
- B) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 2
- C) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ความเข้มข้น 13%wt

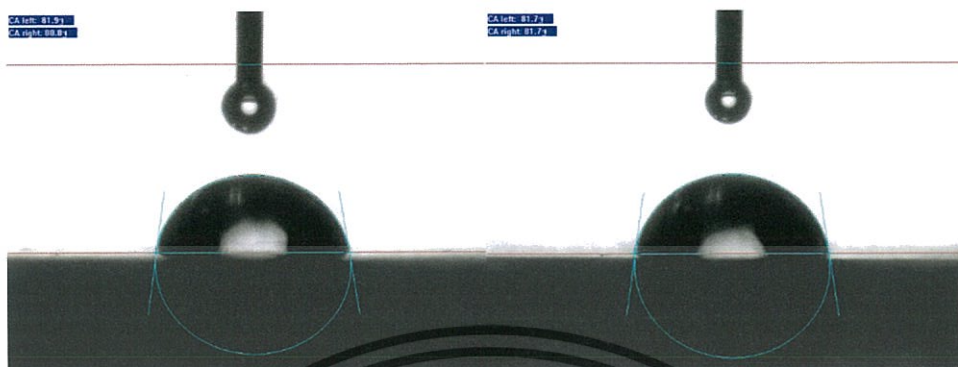


รูปที่ 4.47 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากความเข้มข้น 13%wt

- A) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 1
- B) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 2
- C) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ความเข้มข้น 16%wt



รูปที่ 4.48 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากความเข้มข้น 16%wt

- A) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 1
- B) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 2
- C) ทดสอบมุมสัมผัสจุดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการวัดค่ามุมสัมผัสสามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้จากหลากหลายจุดบนชิ้นงาน โดยได้มีการแสดงค่าการวัดมุมสัมผัสในตารางที่ 4.7 หากค่าเฉลี่ยจากจุดสัมผัสที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันดังที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.8 และได้แสดงผลค่าแถบคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 4.49

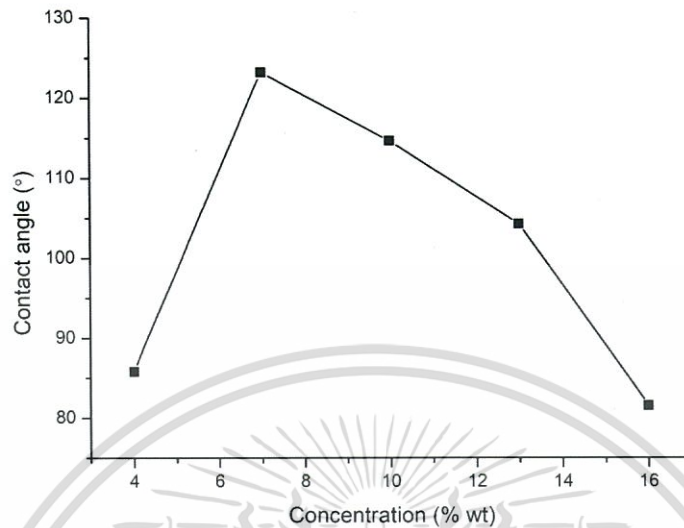
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่ามุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบในจุดสัมผัสที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

ความเข้มข้นของสารละลาย (%wt)	จุดที่ 1		จุดที่ 2		จุดที่ 3		เฉลี่ย	
	ขอบซ้าย	ขอบขวา	ขอบซ้าย	ขอบขวา	ขอบซ้าย	ขอบขวา	ขอบซ้าย	ขอบขวา
4	86.2	85.8	85.5	86.2	85.5	85.9	85.73	85.97
7	124.6	124.3	123.4	122.4	122.4	122.0	123.47	122.90
10	114.6	114.9	115.6	115.3	113.9	113.5	114.70	114.57
13	104.8	104.8	104.1	104.1	104.1	103.6	104.33	104.17
16	81.9	80.8	81.7	81.7	81.8	81.5	81.80	81.33

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบพื้นผิวของเส้นใย PVA ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของสารละลาย (%wt)	ค่ามุมสัมผัส
4	85.85°
7	123.19°
10	114.64°
13	104.25°
16	81.57°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



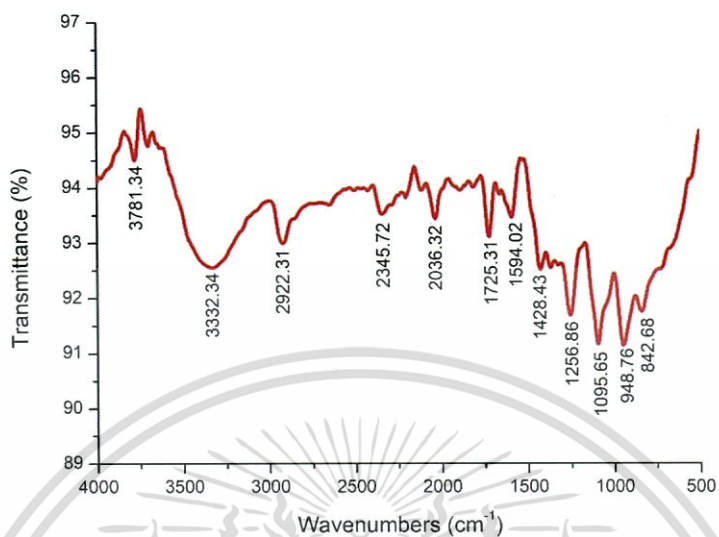
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับมุมสัมผัส

4.8 การทดสอบลักษณะการส่งผ่านและพันธะเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด

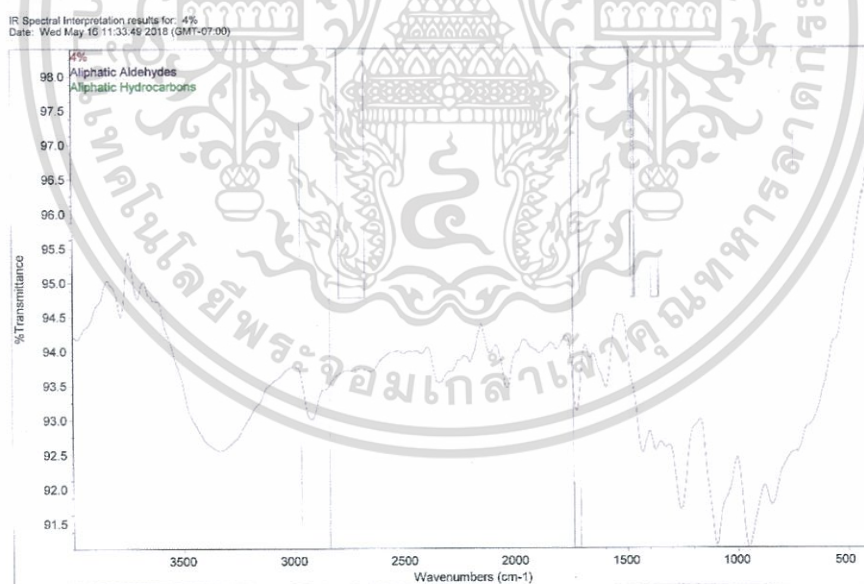
จากการนำเส้นใยที่ได้จากการทดลองไปทดสอบพบว่าผลการทดสอบการส่งผ่านและพันธะเคมีของเส้นใยจากการเปลี่ยนตัวแปรความเข้มข้นของสารละลายในอัตราส่วนที่แตกต่างกันด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดพบว่าผลที่ได้จากตัวอย่างเส้นใยที่นำไปทดสอบมีคุณสมบัติในการส่งผ่านดังนี้

4.8.1) ความเข้มข้น 4%wt

จากกราฟแสดงการส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 4%wt จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการส่งผ่าน พบว่า เส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 4%wt มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.50 และ 4.51 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3781.34, 3332.60, 2922.31, 2345.72, 2036.32, 1725.31, 1594.02, 1428.43, 1256.86, 1095.65, 948.76, 842.68 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่โดยประกอบไปด้วย Aliphatic Aldehydes และ Aliphatic Hydrocarbons โดยที่ผลที่ได้ออกมาเป็นไปตามลักษณะของ PVA



รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 4%wt

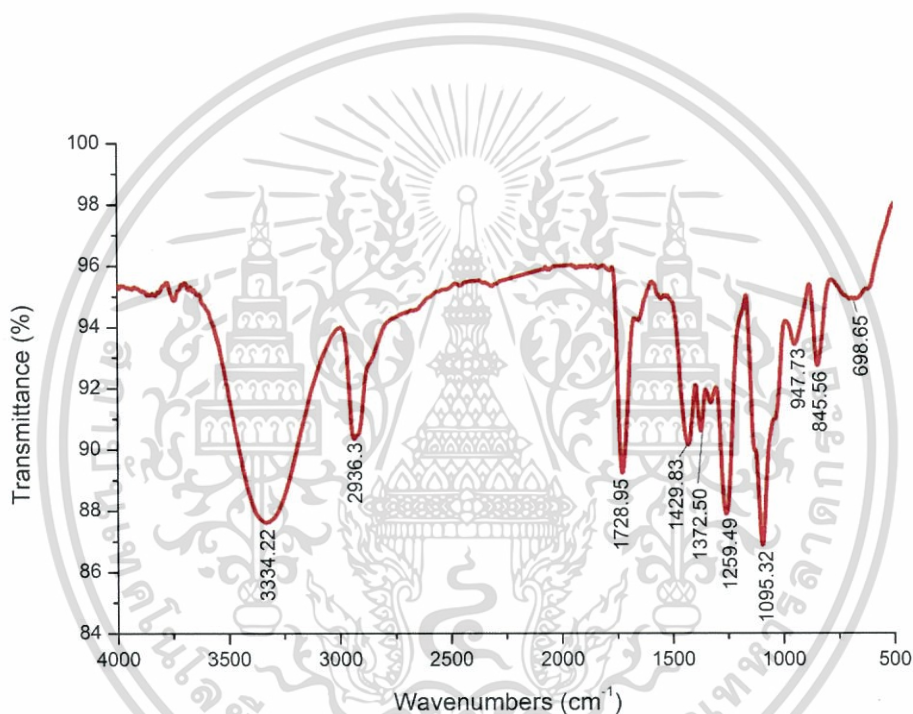


รูปที่ 4.51 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 4%wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2) ความเข้มข้น 7%wt

จากกราฟแสดงการส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 7%wt จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการส่งผ่าน พบว่า เส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 7%wt มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.52 และ 4.53 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3334.22, 2936.13, 1728.95, 1429.83, 1372.50, 1259.49, 1095.32, 947.73, 845.56, 698.65 และจากกราฟการส่งผ่านแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่โดยประกอบไปด้วย Aliphatic Aldehydes, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาเป็นไปตามลักษณะของ PVA



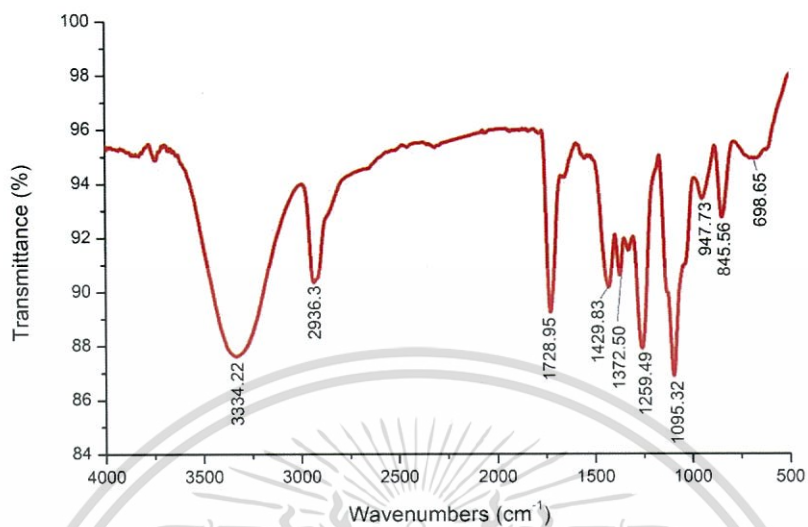
รูปที่ 4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 7%wt



รูปที่ 4.53 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 7%wt

4.8.3) ความเข้มข้น 10%wt

จากกราฟแสดงการส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 10%wt จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการส่งผ่าน พบว่า เส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 10%wt มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.54 และ 4.55 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3313.11, 2926.28, 1725.36, 1429.16, 1371.65, 1255.15, 1093.36, 944.00, 841.66, 643.86 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่โดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาเป็นไปตามลักษณะของ PVA



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 10%wt

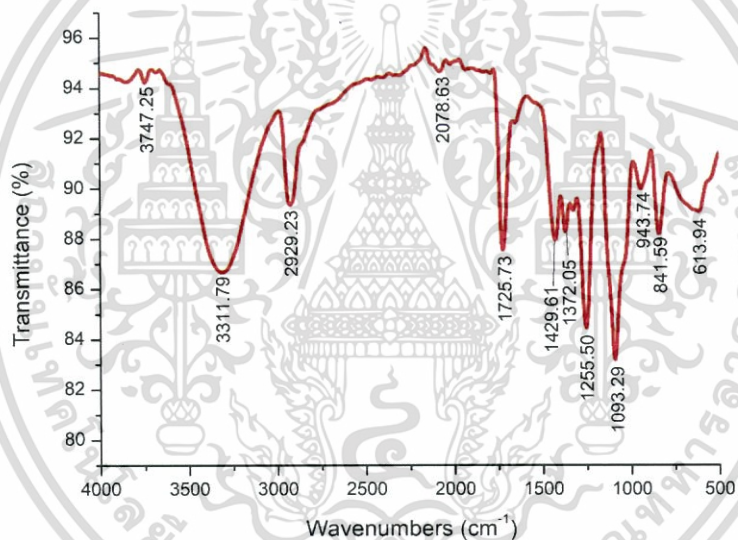


รูปที่ 4.55 กราฟการส่งผ่านแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 10%wt

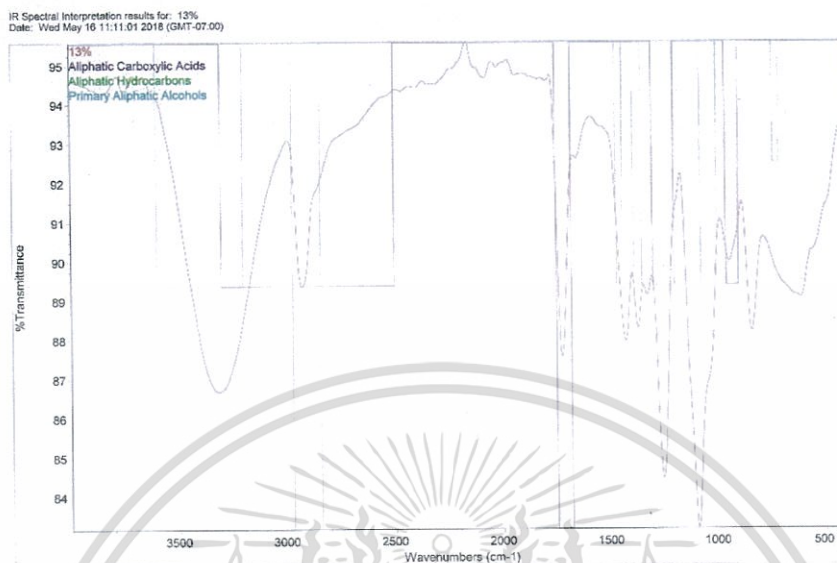
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.4) ความเข้มข้น 13%wt

จากกราฟแสดงการส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 13%wt จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการส่งผ่าน พบว่า เส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 13%wt มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.56 และ 4.57 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3747.25, 3311.79, 2929.23, 2078.63, 1725.73, 1429.61, 1372.05, 1255.50, 1093.29, 943.74, 841.59, 613.94 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่โดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาเป็นไปตามลักษณะของ PVA



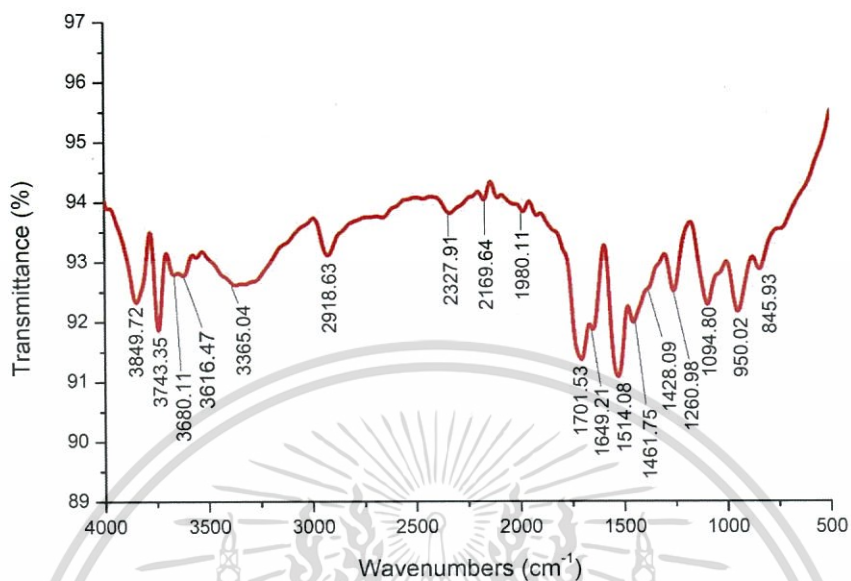
รูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 13%wt



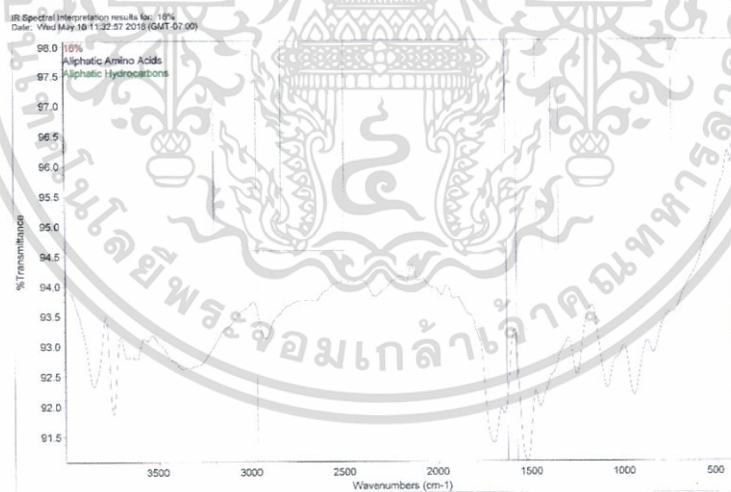
รูปที่ 4.57 กราฟการส่งผ่านแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 13%wt

4.8.5) ความเข้มข้น 16%wt

จากกราฟแสดงการส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 16%wt จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการส่งผ่าน พบว่า เส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 16%wt มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.58 และ 4.59 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3849.72, 3743.35, 3680.11, 3616.47, 3365.04, 2918.63, 2327.91, 2169.64, 1980.11, 1701.53, 1649.21, 1514.08, 1461.75, 1428.09, 1260.98, 1094.80, 950.02, 845.93 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่โดยประกอบไปด้วย Aliphatic Amino Acids และ Aliphatic Hydrocarbons โดยที่ผลที่ได้ออกมาเป็นไปตามลักษณะของ PVA



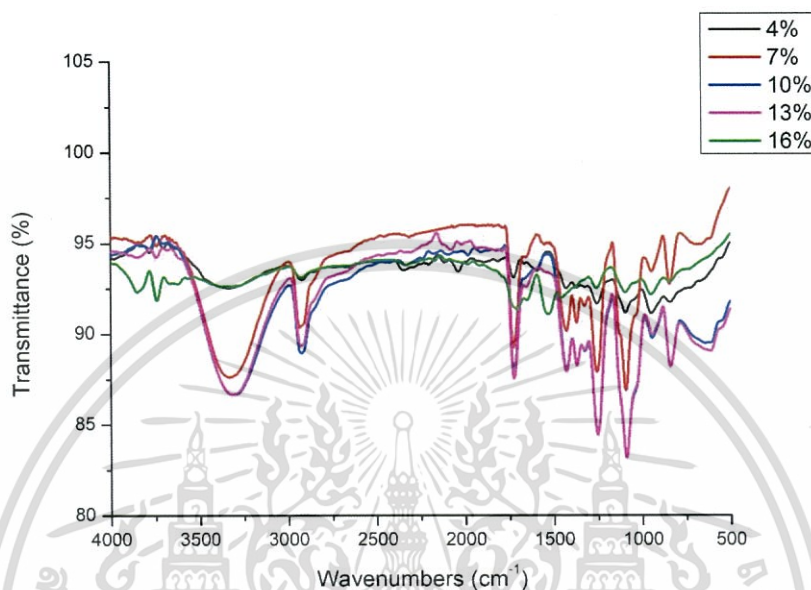
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 13%wt



รูปที่ 4.59 กราฟการส่งผ่านของแสงที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ของเส้นใย PVA ที่ความเข้มข้น 16%wt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้ในส่วนของการส่งผ่านดังรูปที่ 4.50 4.52 4.54 4.56 และ 4.58 สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ดังรูปที่ 4.60



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการส่งผ่านของเส้นใย PVA จากความเข้มข้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยทั้งหมด 5 ค่า

จากความเข้มข้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยทั้งหมด 5 ค่า เริ่มที่ความเข้มข้น 4%wt มีความเข้มข้นที่น้อยมากจนไม่สามารถนำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันได้ ที่ความเข้มข้น 7%wt มีอัตราการส่งผ่านของแสงมากที่สุดถึง 89% ที่ความเข้มข้น 10%wt มีอัตราการส่งผ่านของแสง 83% ที่ความเข้มข้น 13%wt มีอัตราการส่งผ่านของแสง 83% และที่ความเข้มข้น 16%wt อาจมีความเข้มข้นของสารละลายมากเกินไปจนทำให้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันได้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์เส้นใยโดยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ที่เงื่อนไขขบวนการปรับระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใยจาก 20 cm ถึง 40 cm และเงื่อนไขที่สองคือการนำมัมส์ที่ดีที่สุดมาปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายจาก 4 %wt ถึง 16 %wt โดยผลการศึกษาจากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง พบว่า การจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์ เส้นใยที่ระยะต่าง ๆ มีรูปแบบการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ใกล้เคียงกันและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยใกล้เคียงกัน ที่ระยะการสังเคราะห์ 20, 25, 30, 35 และ 40 ในหน่วย cm จะมีขนาดเฉลี่ยของเส้นใยอยู่ที่ 136.52 156.02 203.33 216.49 และ 184.76 ในหน่วย nm ตามลำดับ แต่จะมีช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแตกต่างกันคือ 40, 80, 90, 60 และ 200 ในหน่วย nm ตามลำดับ โดยจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการเพิ่มระยะระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใย

จากผลการทดสอบค่ามัมส์ของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากระยะที่แตกต่างกันพบว่าเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะ 20 cm มีค่ามัมส์น้อยที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 91.27° ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมบัติความชอบน้ำที่มากที่สุดและเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะ 35 cm มีค่ามัมส์มากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 123.47° ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำที่มากที่สุดจากตัวอย่างทั้งหมดที่นำไปตรวจสอบจากผลการทดสอบลักษณะการดูดกลืนแสง การสะท้อนของแสง ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดของเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้นจากระยะที่แตกต่างกัน พบว่ามีพีคหลักอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3334.22, 2936.13, 1728.95, 1429.83, 1372.50, 1259.49, 1095.32, 947.73, 845.56 และ 698.65 ซึ่งจะประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชัน N-H(stretching, Free NH) \equiv C-H O-H (stretching, H-bonded OH), C-H, C=O (stretching, saturated or alicyclic), C-H (-CH₃(bending)) และ C-O (Ether, Ester, Carboxylic acids, Anhydrides) ตามลำดับ โดยที่เส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ระยะ 35 cm มีค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุดรวมไปถึงมีค่าการสะท้อนของแสงมากที่สุด และเมื่อปรับเปลี่ยนความเข้มข้นที่ระยะ 35 cm เป็น 4, 7, 10, 13 และ 16 ในหน่วย %wt พบว่าการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ความเข้มข้น 4%wt และ 16%wt มีการจัดเรียงตัวในลักษณะที่มีการกระจายตัวของเส้นใยค่อนข้างบาง ไม่สมบูรณ์จะมีขนาดเฉลี่ยของเส้นใยอยู่ที่ 226 และ 644 ใน

หน่วย nm มีค่ามุมสัมผัสอยู่ที่ 85.85° และ 81.57° ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมบัติความชอบน้ำที่มากที่สุด และที่ความเข้มข้น 7%wt 10%wt และ 13%wt มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยหนาที่บดตรงเร็วว ไกล่เคียงกันโดยมีขนาดเฉลี่ยของเส้นใยอยู่ที่ 183.48 384.86 และ 365.89 ในหน่วย nm มีค่ามุมสัมผัสอยู่ที่ 123.19° 114.64° และ 104.25° ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำที่มากที่สุดจาก ตัวอย่างทั้งหมดที่นำไปตรวจสอบจากผลการทดสอบลักษณะการดูดกลืนแสง การสะท้อนของแสง ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดของเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้นที่ความเข้มข้นแตกต่างกันพบว่าที่ ความเข้มข้น 7%wt มีสมบัติความไม่ชอบน้ำมากที่สุดสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.60 พบว่าค่าการ ดูดกลืนแสงมากที่สุด เมื่อนำพิกที่มีตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3,000-3,500 ไปวิเคราะห์การดูดกลืน รังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งตรงกันกับหมู่ O-H และที่ความเข้มข้น 4%wt มีการผสมของ สารละลายน้อยเกินไป ส่วนที่ความเข้มข้น 16%wt อาจมีการผสมของสารละลายที่มากเกินไป จนทำ ให้ที่ความเข้มข้นทั้งสองไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ผู้ศึกษาควรที่จะศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของตัวแปรที่มีผลต่อเส้นใยอาทิเช่น แรงดันไฟฟ้า ขนาดของเข็มฉีดยา และอัตราการ ซึ่งยังมีอีกหลายตัวแปรที่จะส่งผลต่อคุณภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้น
- 2) สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายด้านควรที่จะทดลองในเรื่องของตัวแปรมุมการสังเคราะห์ เส้นใยเพิ่มเติมสำหรับการใช้สารที่แตกต่างออกไป
- 3) ผู้ศึกษาควรจะใส่สารที่มีความไม่ชอบน้ำสูงๆ ผสมลงไปเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ เส้นใยให้มีความไม่ชอบน้ำมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร.รัฐพล รังกุพันธ์. 2003. การผลิตเส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต. [ออนไลน์].
แหล่งที่มา : <http://www.material.chula.ac.th/RADIO47/January/radio1-1.htm>
- [2] Wee-Eong Teo, Seeram Ramakrishna. 2009. “Electrospun nanofibers as a platform for multifunctional, hierarchically organized nanocomposite” *Composites Science and Technology*. 69 (2009):1804–1817
- [3] A. Thongphud, B. Paosawatanyong, P. Visalathaphand, and P. Supaphol, 2008. “Improvement of Hydrophobic Properties of the Electrospun PVA fabrics by SF₆ Plasma Treatment”. *Advanced Materials Research*. Vols. 55-57 (2008):625-628
- [4] สุรศักดิ์ ไวยวงค์สกุล. 2016. พลิกเหลว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.material.chula.ac.th/RADIO45/April/radio4-3.htm>
- [5] sarawuth labuayai. 2010. ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์เส้นใย [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://coolpeetunk.blogspot.com/2010/10/nanofiber.html>
- [6] ญัฐรา คักดีศิลาพร และคณะ. 2553. “การผลิตเส้นใยนาโนทั้งสแตนออกไซด์ด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง” *หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
- [7] Jin-Ah Park, Jaehyun Moon, Su-Jae Lee, Sang-Chul Lim, Taehyoung Zyung. 2009. “Fabrication and characterization of ZnO nanofibers by electrospinning” *Current Applied Physics*. 9 (2009):S210–S212
- [8] Sati Maensiri, Wiwat Nuansing, Jutharatana Klinkaewnarong, Paveena Laokul, Jinda and Khemprasit. 2006. “Nanofibers of barium strontium (BST) by sol-gel processing and electrospinning” *Journal of Colloid and Interface Science*. 297 (2006):578-583
- [9] ปรียาภรณ์ ตริวานิชย์, จุฑารัตน์ แม่นมาตย์. 2556. “การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยนาโนของโพลีเมอร์ผสมระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และสารสกัดจากเปลือกเงาะ.” *รายงานโครงการของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.*
- [10] บริษัท นาโน แมททีเรียลส์ เทคโนโลยี จำกัด. 2008. ZnO หรือซิงค์ออกไซด์คืออะไร. [ออนไลน์].
แหล่งที่มา : <http://www.nanomaterials.co.th/index2.asp?CType=3>

- [11] ศุภวัลย์ โตเกียรติวงศ์ชัย, 2553 “การปั่นเส้นใยโคพอลิเมอร์แบบสามช่วงแบบสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีนด้วยไฟฟ้าสถิตและการประยุกต์ใช้เส้นใยในวัสดุเชิงประกอบที่มีโพลีสไตรีนเป็นวัสดุเนื้อหลัก”
- [12] วีรศรุต แก่นไร่, 2558 “การสังเคราะห์ PVA/ZnO นาโนไฟเบอร์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน ด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปิน เพื่อนำมาใช้เป็นก๊าสเซ็นเซอร์”
- [13] ธนชัย แจงเจริญ, 2559 “การออกแบบและพัฒนาระบบการสร้างเส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบได้เพื่อสรรคสร้างเส้นใยขนาดเล็กในระดับ นาโน”
- [14] Ritu Goyal , Lauren K. Macri , Hilton M. Kaplan, Joachim Kohn (2015) “Nanoparticles and nanofibers for topical drug delivery” Journal of Controlled Release Vols. 240, 28 October 2016, 77–92
- [15] ปิยะรัตน์ พรหมณี. 2545. ฟิสิกส์มหาลัย ไฟฟ้า-แม่เหล็ก.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สนามไฟฟ้า

กฎของคูลอมบ์ กล่าวว่า ขนาดของแรงไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดประจุ (Point charge) แปรผันตรงกับผลคูณของค่าประจุทั้งสอง และแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างประจุนั้น ซึ่งสามารถเขียนขนาดของแรง F ระหว่างสองจุดประจุ คือ q_1 และ q_2 ที่อยู่ห่างกันเป็นระยะ r ได้เป็น

$$F = \frac{k q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่สัดส่วน Proportionality constant ในระบบเอสไอมักเขียนค่า k เป็น $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ เมื่อ ϵ_0 เป็นค่าคงที่ เรียกว่า permittivity constant ซึ่งจะเขียนกฎของคูลอมบ์ได้เป็น

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{ก.2})$$

ซึ่งค่า

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} 9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \quad (\text{ก.3})$$

เนื่องจากแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ ในการใช้กฎของคูลอมบ์จึงต้องพิจารณาทิศทางของแรงด้วย ถ้า q_1 และ q_2 เป็นประจุชนิดเดียวกันจะเกิดแรงผลักซึ่งกันและกัน ทิศทางของแรงแต่ละประจุชี้เข้าหากัน

สนามไฟฟ้า (Electric field) หมายถึง บริเวณโดยรอบประจุไฟฟ้า ซึ่งประจุไฟฟ้า สามารถส่งอำนาจไปถึงหรือบริเวณที่เมื่อนำประจุไฟฟ้าเข้าไปวางแล้ว จะเกิดแรงกระทำบนประจุไฟฟ้านั้นตามจุดต่าง ๆ ในบริเวณสนามไฟฟ้า ย่อมมีความเข้มของสนามไฟฟ้าต่างกัน จุดที่อยู่ใกล้ประจุไฟฟ้าจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงกว่าจุดที่อยู่ห่างออกไป นอกจากนั้น ณ จุดต่าง ๆ ในบริเวณสนามไฟฟ้า ย่อมจะมีความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าต่าง ๆ กันด้วย ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าชนิดเดียวกับศักย์ไฟฟ้าอันเกิดจากประจุไฟฟ้าที่เป็นเจ้าของสนามไฟฟ้า จุดที่อยู่ใกล้ประจุไฟฟ้าจะมีศักย์สูงกว่าจุดที่อยู่ไกลออกไป นิยามได้ว่า สนามไฟฟ้าเป็นแรงต่อประจุ 1 คูลอมบ์ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C) ในระบบเอสไอ

สนามไฟฟ้า = แรง/ประจุ

$$E = \frac{F}{q} \quad (\text{ก.4})$$

$$E = k \frac{F}{r^2} \hat{a}_E \quad (\text{ก.5})$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า

เมื่อประจุ q_0 วางอยู่ในสนามไฟฟ้า E ประจุจะถูกแรงกระทำจากสนามไฟฟ้าด้วยขนาดของแรง $F = q_0E$ ทำให้ประจุเคลื่อนที่จากระยะห่างอนันต์มายังจุด P ทำให้เกิดงานและมีพลังงานศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้น พลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยประจุที่วางไว้ ณ จุดใด ๆ คือ ศักย์ไฟฟ้า (Electric potential) เขียนสมการได้เป็น

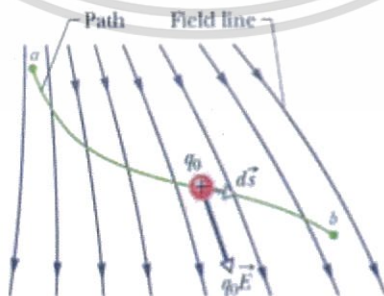
$$E = \frac{F}{q} \quad (\text{ข.1})$$

เราสามารถหาศักย์ไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้าที่จุด P ใด ๆ ได้จาก

$$V_P = \int_{\infty}^P \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (\text{ข.2})$$

ศักย์ไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น จูลต่อคูลอมบ์ (J/K) ซึ่งเรียกว่า โวลต์ (V)

ความต่างศักย์ไฟฟ้า (potential difference) ของศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุด มีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานเมื่อประจุไฟฟ้าบวกหนึ่งหน่วยเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในสนามไฟฟ้า หน่วยของความต่างศักย์ไฟฟ้า คือ โวลต์ (Volt) พลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนไป 1 จูล เมื่อประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ เคลื่อนที่ระหว่างจุดสองจุดที่มีความต่างศักย์ 1 โวลต์ ซึ่งส่วนใหญ่มีการกำหนดจุดอ้างอิงจุดหนึ่งให้มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0 (ทำการต่อลงดิน)



รูปแสดงการเคลื่อนที่ของประจุ q_0 จากจุด a ไปยังจุด b ในสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ E [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทั้งหมดหรือพลังงานศักย์ที่ต้องใช้ในการเคลื่อนที่ประจุจาก a ไปยัง b สามารถเขียนได้เป็น

$$W = -q_0 \int_{\infty}^b \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (\text{ข.3})$$

ความต่างศักย์ระหว่างจุด a กับ b เขียนสมการได้เป็น

$$V_{ab} = V_b - V_a = \frac{W}{q_0} = - \int_{\infty}^b \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (\text{ข.4})$$

ถ้า V_{ab} เป็นลบจะเกิดการสูญเสียพลังงานศักย์ที่เคลื่อนที่ประจุจาก a ไปยัง b แสดงว่าสนามไฟฟ้าเป็นตัวกระทำงาน ถ้า เป็นบวก (ทิศทางที่ประจุเคลื่อนที่สวนทางกับทิศของสนามไฟฟ้า) คือ เมื่อมีพลังงานศักย์ในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าแรงภายนอกเป็นตัวกระทำงาน



ภาคผนวก ค

ความหนืด

ความหนืด (viscosity) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหลเมื่อมีแรงมากระทำ (ของไหล คือ สสารที่สามารถไหลได้ เช่น ก๊าซ และของเหลว) ของไหลที่มีความหนืดสูงจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง ของไหลที่มีความหนืดต่ำจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำ ของไหลธรรมดาสามารถที่จะแสดงค่าความหนืดสมบูรณ์ได้ แต่ในขณะที่ของไหลมีส่วนผสมของสสารหลายตัวจะมีลักษณะการไหลที่ซับซ้อนและไม่สามารถแสดงค่าความหนืดค่าเดียวได้

การวัดความหนืดสามารถทำได้โดยการวัดแรงต้านทานการไหลภายในของของไหล เมื่อมีแรงมากระทำ (F) ในแนวขนานกับพื้นผิว เรียกแรงต้านที่เกิดขึ้นว่า แรงเฉือน (Shear force) เมื่อพิจารณาถึงก้อนของไหลซึ่งประกอบด้วยแผ่นโมเลกุลที่ขนานกัน ชั้นที่อยู่ล่างสุดของของไหลจะถูกยึดไว้ ถ้าแผ่นด้านบนของของไหลได้รับแรงกระทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แผ่นด้านล่างถดถอยไปจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากแผ่นของไหลชั้นล่างสุดที่ไม่เคยเคลื่อนที่ ความแตกต่างของความเร็ว (∂v) ระหว่างของไหลสองแผ่นกับระยะทางที่เปลี่ยนไป (∂x) คือ อัตราเฉือน (Shear rate) ที่อยู่ในเทอมของ velocity gradient ($\partial v/\partial x$, s) ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่ที่ทำให้เกิดการไหล เรียกว่า แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่ (Shear stress, F) ถ้าของไหลมีความหนืดสูงขึ้นก็ต้องใช้แรงเฉือนที่สูงขึ้นเพื่อให้อัตราส่วนเฉือนเท่าเดิม ดังนั้น อัตราเฉือนจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเฉือน สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{\partial v}{\partial x} \quad (\text{ค.1})$$

η คือ สัมประสิทธิ์ของความหนืด (Coefficient of viscosity) สัมประสิทธิ์ของความหนืดสามารถเขียนเป็นสามการคณิตศาสตร์ได้เป็น

$$\eta = \frac{F}{S} \quad (\text{ค.2})$$

เมื่อ F คือ แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น dynes/cm² หรือปาสคัล (Pascal, Pa)

S คือ อัตราเฉือน มีหน่วยเป็น sec⁻¹

กฎของสโตกส์ (Stokes' law) กล่าวว่า เมื่อปล่อยวัตถุทรงกลมตันให้เคลื่อนที่อยู่ในของไหล ความหนืดของของไหล จะทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ เรียกว่า แรงหนืด (Viscous force) เมื่อวัตถุทรงกลมรัศมี r เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ผ่านของไหลที่มีสัมประสิทธิ์ความหนืด η จะมีแรงหนืดต้านการเคลื่อนที่ จะสามารถเขียนสมการของแรงหนืดได้เป็น

$$F = 6\pi\eta r v \quad (\text{ค.3})$$

หน่วยของความหนืด คือ $\text{dyne}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ หรือ $\text{gram}/\text{cm}^1\cdot\text{sec}^1$ เรียกเป็น poise

โดยที่ 1 poise คือ แรงที่ใช้ทำให้ของเหลวที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 cm^2 หนา 1 cm เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 cm/s ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1 \text{ dyne}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ หรือ 10^{-1}



รูปแสดงแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุทรงกลมตันที่เคลื่อนที่ในของเหลว

เนื่องจากแรงหนืดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของวัตถุทรงกลม ดังนั้นตอนเริ่มต้นแรงหนืดเป็นศูนย์ วัตถุทรงกลมจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง แต่ในขณะเดียวกัน แรงหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราเร็วด้วย ทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อลูกกลมจะมีคาลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเป็นศูนย์ ทรงกลมจะเคลื่อนที่ลงด้วยอัตราเร็วคงที่ตลอด เรียกว่า อัตราเร็วสุดท้าย (Terminal velocity, v_t) และสามารถหา η ที่อัตราเร็วสุดท้ายได้จากสมการ

$$\text{แรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ} \quad F = 6\pi\eta r v \quad (\text{ค.4})$$

$$\text{แรงลอยตัวของวัตถุ} \quad B = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g \quad (\text{ค.5})$$

$$\text{น้ำหนักของวัตถุทรงกลม} \quad W = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g \quad (\text{ค.6})$$

$$\text{ที่ภาวะสมดุล} \quad W = F + B \quad (\text{ค.7})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดังนั้น} \quad 6\pi\eta r v = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \sigma) \quad (\text{ค.8})$$

$$\eta = \frac{2r^2 g}{9v_T} (\rho - \sigma) \quad (\text{ค.9})$$

เมื่อ σ คือ ความหนาแน่นของของเหลว

ρ คือ ความหนาแน่นของลูกทรงกลม

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

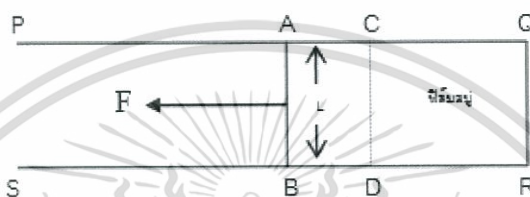


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ความตึงผิว

ความตึงผิว (Coefficient of surface tension, γ) คือ ความพยายามในการยึดผิวของของเหลว เท่ากับอัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำไปตามผิวต่อความพยายามของผิวที่ถูกแรงกระทำ ความยาวนี้ต้องตั้งฉากกับแรงด้วย



รูปแสดงกรอบฟิล์มสบู่

ในรูป PQRS เป็นโครงลวดที่มีลวด AB ปิดอยู่อีกด้านหนึ่ง ในตอนแรกเส้นลวด AB ในตอนอยู่ติดกับลวด QR หลังจากแช่โครงลวดนี้ลงในน้ำสบู่ และดึงลวด AB ไปทางซ้ายด้วยแรง F ก็จะทำให้เกิดฟิล์มสบู่ในบริเวณ AQRB และให้ L เป็นความยาวของเส้นลวดที่เลื่อนเข้าออก เพราะฉะนั้นจึงได้สมการความตึงผิว (γ) เป็น

$$\gamma = \frac{F}{L} \quad (\text{ง.1})$$

หน่วยของความตึงผิว คือ นิวตันต่อเมตร (N/m)

ผลคูณระหว่างความตึงผิว (γ) กับพื้นที่ผิวที่เปลี่ยนแปลง (Δs) จะได้ งานตึงผิว (surface tension work, W) เขียนเป็นสมการได้เป็น

$$W = \gamma \cdot \Delta s \quad (\text{ง.2})$$

หน่วยของงาน คือ จูล (Joule)

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด

ตารางแสดงความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่พบจากผลการตรวจสอบสมบัติการดูดกลืน

Type of Vibration			Frequency (cm ⁻¹)	Intensity
C-H	Alkanes	(stretching)	3000-2850	s
		-CH ₃ (bending)	1450 and 1375	m
		-CH ₂ - (bending)	1465	m
≡C-H	Alkynes		3300	s
C=O	Ketone	(stretching, saturated or alicyclic)	1725-1705	S
		(stretching, C=C conjugation)	1690-1675	
	Carboxylic Acid	(stretching, saturated or alicyclic)	1725-1700	s
		(stretching, C=C or aryl conj.)	1705-1680	
	Ester	(stretching, C=C or aryl conjugation)	1730-1717	s
C-O	Ether, Ester, Carboxylic acids, Anhydrides	(stretching)	1300-1000	s
	Alcohols	(stretching, primary alcohol)	1050	
		(stretching, secondary alcohol)	1100	
		(stretching, tertiary alcohol)	1150	
O-H	Alcohol, Phenol	(stretching, H-bonded OH)	3500-3200	m
		(bending, 1° and 2° alcohol)	1350-1260	
		(bending, 3° alcohol and phenol)	1410-1310	
N-H	1° and 2° Amines	(stretching, Free NH) and Amides	3500-3100	m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ประวัติย่อผู้วิจัย



ชื่อ - สกุล : นางสาวพินภรณ์ พิมพา
 วัน/เดือน/ปีเกิด : 12 ธันวาคม พ.ศ. 2538
 สถานที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 118 หมู่ที่ 1 ตำบลวัดป่า อำเภอห่มสั๊ก จังหวัด
 เพชรบูรณ์ 67110
 ประวัติการศึกษา :
 พ.ศ. 2550 : โรงเรียนห่มสั๊กวิทยาคม
 พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ในปัจจุบันมีความสนใจอย่างมากในด้านวัสดุศาสตร์ระดับนาโน
 ประสบการณ์ : ฝึกงานที่ บริษัท บางกอก โซลาร์ พาวเวอร์ จำกัด "BSP"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ - สกุล : นางสาวพิมพ์ชนก ต้วงประสิทธิ์
 วัน/เดือน/ปีเกิด : 13 สิงหาคม พ.ศ. 2538
 สถานที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 283 หมู่ที่ 7 ตำบลบ้านโฮ้ง อำเภอบ้านโฮ้ง
 จังหวัดลำพูน 51230
 ประวัติการศึกษา :
 พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ในปัจจุบันมีความสนใจอย่างมากในด้านวัสดุศาสตร์ระดับนาโน
 ประสบการณ์ : ฝึกงานที่ บริษัท บางกอก โซลาร์ พาวเวอร์ จำกัด "BSP"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 4 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า นางสาวพินภรณ์ พิมพา รหัสประจำตัว 57051006
นางสาวพิมพ์ชนก ด่วงประสิทธิ์ รหัสประจำตัว 57051008

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย .การสังเคราะห์เส้นใยพอลิเมอร์ PVA โดยวิธีการทางไฟฟ้าสถิตภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน.....

ชื่อภาษาอังกฤษ .Synthesis of PVA Nanofibers by Electrospinning under Various Condition.....

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น และได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์..... 0.76 % หรือโปรแกรม Turnitin..... %

ลงชื่อ..... พินภรณ์ พิมพา ลงชื่อ..... พิมพ์ชนก ด่วงประสิทธิ์.....

(นางสาวพินภรณ์ พิมพา)

(นางสาวพิมพ์ชนก ด่วงประสิทธิ์)

ข้าพเจ้า ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ ของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

(ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้