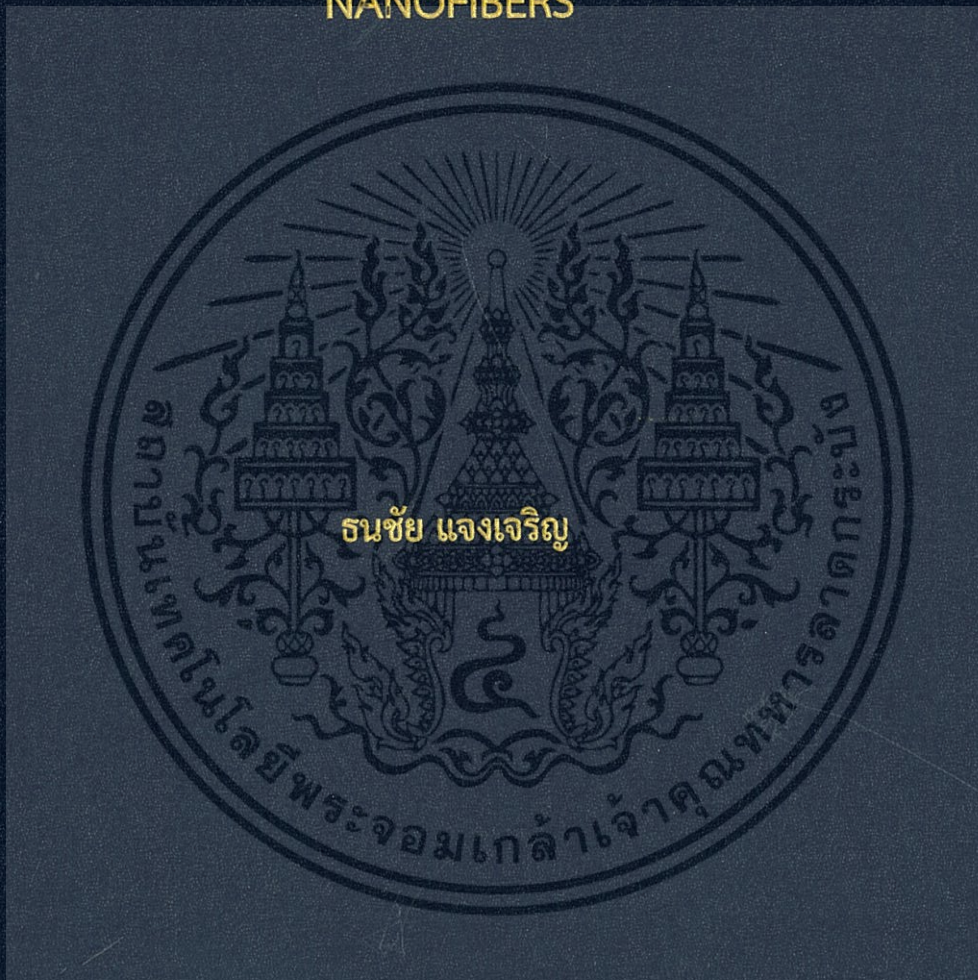


การออกแบบและพัฒนาระบบการสร้างเส้นใยขนาดเล็กด้วย
กระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุม
ของฐานวางระบบได้เพื่อสร้างเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโน

DEVELOPMENT OF ELECTROSPIN SYSTEM WITH
ADJUSTABLE ANGLE OF PLATFORM FOR SYNTHESIS
NANOFIBERS

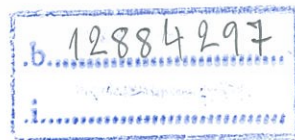


โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การออกแบบและพัฒนาระบบการสร้างเส้นใยขนาดเล็กด้วย
กระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุม
ของฐานวางระบบได้เพื่อสร้างเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโน
DEVELOPMENT OF ELECTROSPIN SYSTEM WITH
ADJUSTABLE ANGLE OF PLATFORM FOR SYNTHESIS
NANOFIBERS



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 149498
รับเดือนปี :- ธ. ค.ศ. 2561



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2559

DEVELOPMENT OF ELECTROSPIN SYSTEM WITH
ADJUSTABLE ANGLE OF PLATFORM FOR SYNTHESIS
NANOFIBERS



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 THECNOLGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ACADEMIC YEAR 2016

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบและพัฒนาระบบการสร้างเส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบได้เพื่อสร้างเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโน

Development of Electrospinning System with Adjustable Angle of Platform for Synthesis Nanofibers

ชื่อนักศึกษา นายธนชัย แจงเจริญ รหัสนักศึกษา 57050976

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ประธานกรรมการ	
ดร.รัชนก สมพรเสน่ห์ กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบและพัฒนาระบบการสร้างเส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบได้เพื่อสร้างเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโน	
ชื่อนักศึกษา	นายธนชัย แจงเจริญ	รหัสนักศึกษา 57050976
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2559	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส	

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาระบบสร้างเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบได้โดยใช้อะคริลิกเป็นวัสดุหลัก และผลการสังเคราะห์เส้นใยนาโนโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) บนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ด้วยเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบได้จาก 0° ถึง 90° ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยสมบัติของเส้นใยนาโน PVA จะถูกตรวจสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (FTIR) และเครื่องมือวัดมุมสัมผัส จากผลของภาพที่ได้จากเครื่องมือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง (FESEM) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยนาโน PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0° และ 90° มีขนาดอยู่ที่ 265.5 นาโนเมตร และ 197.5 นาโนเมตรตามลำดับ ผลของการตรวจสอบสมบัติของเส้นใย PVA จากเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (FTIR) ลักษณะของกราฟที่ได้เป็นไปตามลักษณะโดยทั่วไปของกราฟที่ได้จากการตรวจสอบ PVA ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของเส้นใยนาโน PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 90° มีค่ามุมสัมผัสที่มากที่สุดคือ 94.72° ซึ่งผลการทดสอบนี้ได้แสดงให้เห็นถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำที่สูงที่สุดสำหรับเส้นใยนาโน PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยนี้

คำสำคัญ : PVA มุมการสังเคราะห์เส้นใย การสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

Title	Development of Electrospin System with Adjustable Angle of Platform for Synthesis Nanofibers	
Student	Mr.Thanachai Changcharoen	Student ID 57050976
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2016	
Advisor	Asst.Prof.Dr. Nathaporn Promros	

Abstract

This work was related to the electrospin system with adjustable angle of platform designed and developed by using acrylic as the main material and the result of the synthesized of nanofibers. Polyvinyl alcohol (PVA) on aluminum foil using the electrospin system with adjustable angle of platform from 0° to 90° . The properties of the PVA nanofibers were studied by using field emission scanning electron microscopy (FESEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and a contact angle analyzer. The results of the studying by using FESEM was that the average diameter of the PVA nanofibers synthesized at angles of 0° and 90° were 265.5 nm and 197.5 nm respectively. By the studying of spectrum of PVA nanofibers using FTIR, the major peaks of PVA were clearly revealed. The average contact angle of the PVA nanofibers synthesized at an angle of 90° exhibited a maximum value of 94.72° . This result showed the highest hydrophobic property of the PVA nanofibers synthesized in this experiment.

Keywords : Polyvinyl Alcohol, Angle of Platform, Electrospin

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้มอบหมายหัวข้อโครงการพิเศษเรื่องนี้ให้กับผู้วิจัย สนับสนุนในด้านอุปกรณ์ สถานที่ปฏิบัติงานและให้คำแนะนำในด้านความรู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงาน อันมีส่วนส่งผลทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วง

ผศ.ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์รยง หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ให้ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการเพื่อที่จะนำมาใช้ในโครงการพิเศษนี้อันมีส่วนส่งผลทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วง

รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ดร.รัชก สมนพรเสนต์ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สละเวลาอันมีค่าของพวกท่านและให้เกียรติอย่างมากในการเป็นคณะกรรมการสอบวิชาโครงการพิเศษนี้แก่ผู้วิจัย รวมถึงให้คำแนะนำในการปรับปรุงเนื้อหาและเล่มโครงการพิเศษนี้

คณาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้มอบวิชาความรู้ต่าง ๆ ด้านฟิสิกส์ให้แก่ผู้วิจัยเพื่อนำมาใช้ในโครงการพิเศษในครั้งนี้และนำไปใช้ประกอบวิชาชีพ

นายอดิศร นพรุจิกุล นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คอบให้คำปรึกษาตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

นายพงศภัก สิทธิมาตร นายวีรศรุต แก่นไร่ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คอบให้คำปรึกษาตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

เพื่อนนักศึกษาปริญญาตรีทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาตลอดการวิจัยในครั้งนี้ อันมีผลให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง

มารดา ครอบครัว และญาติพี่น้องที่คอยสนับสนุนในหลายด้านตลอดการวิจัยในครั้งนี้

หน่วยงาน AUN/SEED-Net JICA ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยโครงการพิเศษนี้

ธนชัย แจงเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	4
2.1.1 หลักการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	6
2.1.2 ผลึกเหลว	6
2.1.3 ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	7
2.2 เส้นใยนาโน	11
2.2.1 จุดเด่นของเส้นใยนาโน	12
2.2.2 การประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน	12
2.3 PVA	13
2.3.1 คุณสมบัติการละลายน้ำ	13
2.3.2 PVA ที่ไม่ละลายในน้ำ	13
2.4 โปรแกรม SolidWorks	14
2.4.1 ประสิทธิภาพการทำงาน	14

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.4.2 ลักษณะการทำงาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 อะคริลิก	16
2.5.1 ประเภทของอะคริลิก	16
2.5.2 การใช้ประโยชน์	16
2.5.3 แผ่นอะคริลิกหรือพลาสติกอะคริลิก	17
2.5.4 การผลิตแผ่นอะคริลิก	17
2.5.5 สารเคมีที่มีผลต่ออะคริลิก	17
2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)	18
2.7 เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด : Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy	19
2.7.1 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด	19
2.7.2 การประยุกต์ใช้งาน	20
2.8 มุมสัมผัส	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
2.9.1 งานวิจัยภายในประเทศ	21
2.9.2 งานวิจัยต่างประเทศ	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	24
3.1 การออกแบบและสร้างระบบ	24
3.1.1 จัดหาวัสดุและอุปกรณ์	24
3.1.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ	26
3.1.3 การประกอบสร้างระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็ก ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	54
3.2 ทดสอบระบบ	54
3.2.1 การเตรียมสารละลายเพื่อใช้สังเคราะห์เส้นใย	54
3.2.2 การสังเคราะห์เส้นใย PVA ด้วยระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วย กระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	55
3.3 การตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใย	56
3.3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใย	56

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3.3.2 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเส้นใย ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านใด ๆ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 ศึกษาสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ	56
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	57
4.1 เครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ได้ออกแบบ สร้างฐานวางระบบ	57
4.2 ผลกระทบที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยจากการปรับเปลี่ยนมุมของ ฐานวางระบบและลักษณะของชิ้นงานเส้นใยที่ตกกระทบแผ่นรับ	60
4.2.1 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0°	61
4.2.2 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 15°	61
4.2.3 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 30°	62
4.2.4 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 45°	62
4.2.5 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 60°	63
4.2.6 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 75°	63
4.2.7 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 90°	64
4.3 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์หลังจาก การใช้มุมที่กระทำต่อพื้นโลกของระบบแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°)	65
4.3.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0°	65
4.3.2 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ที่มุม 15°	66
4.3.3 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 30°	67
4.3.4 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 45°	68
4.3.5 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 60°	69
4.3.6 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 75°	70
4.3.7 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 90°	71
4.4 การทดสอบผิวสัมผัสของเส้นใยที่สังเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ มุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่สร้างจากการใช้มุมที่ กระทำต่อพื้นโลกของระบบ แตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°)	73
4.5 การทดสอบลักษณะการดูดกลืนแสง การสะท้อนของแสง และพันธะเคมี ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด	79
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	95

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	96
เอกสารอ้างอิง	97
ภาคผนวก	99
ภาคผนวก ก	100
ภาคผนวก ข	102
ภาคผนวก ค	104
ภาคผนวก ง	107
ภาคผนวก จ	108



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	3
2.1	4
2.2	9
2.3	21
3.1	55
4.1	60
4.2	72
4.3	77
4.4	78
4.5	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เส้นใยลักษณะต่าง ๆ ที่ใช้เทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	5
2.2 แสดงการติดตั้งของระบบในกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	6
2.3 การประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้ากับการจัดเรียงตัวในของเหลวของเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	7
2.4 ภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงภาพพื้นผิวของเส้นใย PVP/ZnO	11
2.5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	19
2.6 แสดงสเปกตรัม FTIR ของ ZnO(A) PVA/ZnO(B) และ PVA(C)	20
2.7 แสดงมุมสัมผัส (contact angle:θ) มุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างระนาบ	20
3.1 ไชริงป้อม NE-300	25
3.2 PHYWE Power supply, high voltage DC : ± 25 kV, 0,5 mA	25
3.3 แผนภาพแสดงอุปกรณ์ของฐานวางระบบ.	28
3.4 ภาพแสดงฐานวางไชริงป้อม NE-300	30
3.5 ภาพแสดงฐานปรับมุมระบบ	31
3.6 ภาพแสดงกล่องใส่ไชริงป้อม	35
3.7 ภาพแสดงฐานกล่องใส่ไชริงป้อม	36
3.8 ภาพแสดงแกนปรับระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรับ	37
3.9 ภาพแสดงแท่นเลื่อนแผ่นรับเส้นใย	39
3.10 ภาพแสดงแผ่นรองรับเส้นใย	40
3.11 ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไชริงป้อม NE-300	41
3.12 ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไชริงป้อม NE-300	42
3.13 ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไชริงป้อม NE-300	43
3.14 ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไชริงป้อม NE-300	44
3.15 ภาพแสดงล้อคแกนปรับมุมฐานวางไชริงป้อม NE-300	45
3.16 ภาพแสดงแกนอุปกรณ์วัดมุม	46
3.17 ภาพแสดงน็อต	47
3.18 ภาพแสดงรายละเอียดและขนาดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกล่องควบคุมสภาพแวดล้อม	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 ภาพแสดงระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ได้สร้างขึ้นเสร็จสมบูรณ์แล้ว	54
3.20 ภาพแสดงขั้นตอนและเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมสาร	55
3.21 ภาพแสดงการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่มุม 75°	56
4.1 รูปถ่ายแสดงตู้ควบคุมสภาพแวดล้อมและฐานวางระบบที่ถูกสร้างขึ้นมา	58
4.2 ภาพถ่ายของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต	59
4.3 ภาพถ่ายของชิ้นงานเส้นใยที่อยู่บนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์	59
4.4 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสร้างเส้นใย 0°	61
4.5 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสร้างเส้นใย 15°	61
4.6 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสร้างเส้นใย 30°	62
4.7 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสร้างเส้นใย 45°	62
4.8 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสร้างเส้นใย 60°	63
4.9 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสร้างเส้นใย 75°	64
4.10 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสร้างเส้นใย 90°	64
4.11 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	65
4.12 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 15° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	66
4.13 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 30° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	67
4.14 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 45° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	68
4.15 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 60° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	69
4.16 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 75° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	70
4.17 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสร้างขึ้นที่มุม 90° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใย	72
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย	73
4.20 ภาพถ่ายชิ้นงานที่อยู่ในถุงเก็บชิ้นงานซึ่งถูกตัดเป็นชิ้นเล็กเพื่อเตรียมนำไปทดสอบคุณสมบัติ	73
4.21 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 0°	74
4.22 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 15°	74
4.23 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°	75
4.24 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°	75
4.25 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 60°	76
4.26 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 75°	76
4.27 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°	77
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับมุมสัมผัส	78
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 0°	79
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 0°	80
4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 0°	80
4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 15°	81
4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 15°	82
4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย	82
4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°	84
4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°	84
4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°	85
4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°	86
4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°	86
4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 60°	87
4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 60°	88
4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 60°	88
4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 75°	89
4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 75°	90
4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 75°	90
4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°	91
4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°	92
4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.50	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA จากมุมการสังเคราะห์เส้นใยทั้งหมด 7 มุม	93
4.51	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA จากมุมการสังเคราะห์เส้นใยทั้งหมด 7 มุม	93



คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
PVA	polyvinyl alcohol
SolidWorks	โปรแกรมออกแบบผลิตภัณฑ์จำลองใน Computer
μl	ปริมาตร มีหน่วยเป็น ไมโครลิตร
ml	ปริมาตร มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร
%wt	อัตราส่วนต่อปริมาตรทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เส้นใยขนาดเล็กเป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งเป็นโครงสร้างของวัสดุสังเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ระดับไมโครเมตรไปจนถึงระดับนาโนเมตร ทั้งนี้เส้นใยขนาดเล็กมีสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย อาทิเช่น มีความแข็งแรงของโครงสร้าง มีพื้นที่ผิวสัมผัสขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับปริมาตร มีความหนาแน่นสูง และมีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งสมบัติเฉพาะเหล่านี้ของเส้นใยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ในหลายรูปแบบ เช่น นำไปเคลือบอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยการนำเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโนไปเคลือบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ นำไปใช้ทางการแพทย์ โดยการนำเส้นใยนาโนมาทำเป็นผ้าปิดแผล ส่งผลให้อัตราการรักษาตัวของแผลรวดเร็วขึ้น และนำไปใช้ในการทำฉนวนกันความร้อน ในปัจจุบันเส้นใยขนาดเล็กถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งกระบวนการผลิตเส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต [1] หรือที่เรียกกันโดยแพร่หลายว่า Electrospinning process ที่ย่อมาจาก Electrostatic spinning process ถือเป็นอีกหนึ่งวิธีในการผลิตเส้นใยขนาดเล็กที่เป็นที่นิยมนำมาใช้กันในปัจจุบันเนื่องจากสามารถสังเคราะห์เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กในระดับนาโนได้ รวมถึงลักษณะการจัดเรียงตัวที่ไม่มีแบบแผนของเส้นใย ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะซึ่งถือว่าเป็นข้อดีสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ ด้าน แต่เครื่องมือที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตเพื่อสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็ก เส้นใยขนาดเล็กถูกสังเคราะห์โดยการจัดวางตำแหน่งและทิศทางการปล่อยเส้นใยของอุปกรณ์ไว้ในสภาพที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางการปล่อยเส้นใยและระยะห่างระหว่างจุดปล่อยเส้นใยกับแท่นรับเส้นใยตามความต้องการได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบและพัฒนาระบบการสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบได้เพื่อสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโน เพื่อใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยได้ตรงตามสมบัติของเส้นใยที่ต้องการ โดยสภาพการจัดเรียงตัวและขนาดของเส้นใยจะเปลี่ยนไปตามค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตรวมถึงอัตราการไหลของสารละลายที่จะถูกกำหนดไว้ในกระบวนการและตัวแปรอีกมาก ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นจะสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่จะได้ผลผลิตหรือผลการทดลองให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ในรูปแบบที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้น และทดสอบระบบที่สร้างขึ้นด้วยการสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโนจากพอลิเมอร์ชนิด PVA ที่ทิศทางการปล่อยเส้นใยที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ออกแบบและพัฒนาระบบการสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของแท่นวางโซริงป้อมได้
- 2) ใช้ระบบที่สร้างขึ้นโดยการสังเคราะห์เส้นใย PVA ที่ปรับเปลี่ยนมุมของแท่นวางโซริงป้อม
- 3) ศึกษาสมบัติพื้นฐานของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ใช้วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าในการสร้างแท่นวางโซริงป้อมและที่วางแผ่นรองรับเพื่อให้มีผลกระทบต่อสนามไฟฟ้าของระบบน้อยที่สุด
- 2) ออกแบบสร้างแท่นวางและระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตให้สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางการปล่อยของสารละลายจากปลายเข็มฉีดยาและระยะห่างในการปล่อยของสารละลายได้
- 3) ทดสอบระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สร้างขึ้นในการสังเคราะห์เส้นใย PVA จากการปรับทิศทางการปล่อยของสารละลายในมุมต่าง ๆ ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา
- 4) ตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใย PVA ที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นโดยการปรับทิศทางการปล่อยสารละลายในมุมต่าง ๆ เช่น
 - ลักษณะพื้นผิว ลักษณะการจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของเส้นใย รวมทั้งขนาดของเส้นใยโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
 - หมู่ฟังก์ชันของเส้นใย การดูดกลืนแสง และการส่องผ่านของแสงด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด
 - ความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำโดยการวัดมุมสัมผัสของน้ำ

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ

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	←→									
จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย PVA		←→								
ออกแบบสร้างแท่นวางโซริงบีมที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมได้ และออกแบบที่วางแผ่นรองรับ		←→								
สร้างแท่นวางโซริง และที่วางแผ่นรองรับ				←→						
ใช้แท่นวางโซริงบีมที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมได้ ทำการสังเคราะห์เส้นใย PVA ที่มุมตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา						←→				
ตรวจสอบสมบัติพื้นฐานของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ได้จากมุมในการยิงตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา								←→		
วิเคราะห์และสรุปผล									←→	

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ได้ทักษะและความรู้ในการออกแบบโดยการใช่โปรแกรม SolidWorks และวาดด้วยมือเพื่อออกแบบสร้างระบบของเครื่องมือสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต
- 2) ได้เครื่องมือสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางการปล่อยเส้นใยได้
- 3) ได้ทักษะความรู้เกี่ยวกับการสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโนด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตจากระบบเครื่องมือสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สร้างขึ้น
- 4) ได้ความรู้และทักษะในการตรวจสอบสมบัติโครงสร้างของเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นจากระบบเครื่องมือสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยอธิบายกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต นิยามเบื้องต้นของเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโน สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย เทคนิคกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ที่ใช้ใน งานวิจัย รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของเส้นใย

2.1 กระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

กระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต เป็นเทคนิคที่สามารถสร้างหรือสังเคราะห์เส้นใยที่มีขนาดเล็กซึ่งเตรียมได้จากสารละลายหรือสารหลอมเหลวของพอลิเมอร์ได้มากกว่า 200 ชนิด เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 nm ถึงมากกว่า 1 μm และมีข้อดีต่าง ๆ ดังนี้

1) เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีอัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรสูง (surface to volume ratio) และมีความเป็นรูพรุนสูง ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของแผ่นเส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีความเหมาะสมในการใช้งานหลากหลายด้าน เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการขึ้นรูปเส้นใยด้วยเทคนิคอื่น ๆ ดังแสดงที่ตารางที่ 2.1 พบว่าเส้นใยที่สังเคราะห์ได้จากเทคนิคกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมีขนาดเล็กกว่าอย่างมาก

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) สามารถเลือกวัสดุวัตถุดิบที่ใช้สังเคราะห์เป็นแผ่นเส้นใยได้หลากหลาย เช่น พอลิเมอร์ เซรามิกส์ หรือแม้กระทั่งโลหะ

3) สามารถประยุกต์รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ได้หลากหลายเพื่อสนองต่อความต้องการในการผลิตเส้นใยในหลากหลายรูปแบบ ทั้งการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยภายหลังการสังเคราะห์เส้นใยหรือการประยุกต์การติดตั้งเพื่อใช้ในการผลิตเส้นใยแบบแกนใน - เปลือกนอก (core - shell fiber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

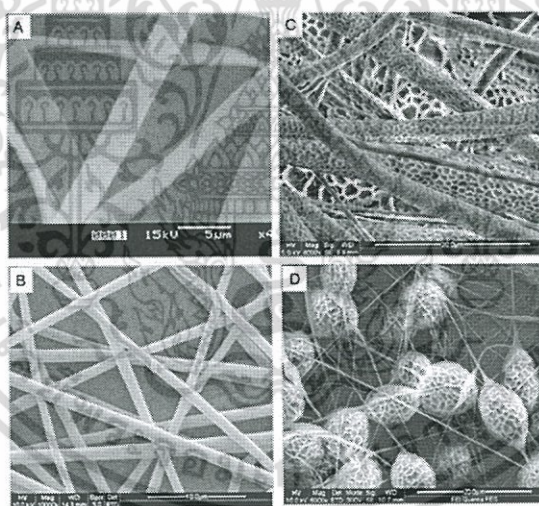
4) สะตวกและง่ายต่อการรวมวัตถุดิบตั้งต้นหลายชนิดเข้าด้วยกันเพื่อเตรียมเป็นสารละลาย เพื่อใช้เทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

5) เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ การการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ เป็นกระบวนการที่ง่าย ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์และติดตั้งถูก สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ระดับห้องปฏิบัติการถึงในระดับอุตสาหกรรม

6) สามารถสังเคราะห์เส้นใยลงบนวัสดุรองรับหลากหลายชนิด เช่น โลหะ แก้ว เส้นใยไมโครและน้ำ

7) มีกำลังการผลิตสูง ทำให้หลายบริษัทเลือกใช้เทคนิคกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตในการผลิตเส้นใยนาโนระดับอุตสาหกรรมและสามารถผลิตเส้นใยได้หลากหลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.1

8) เส้นใยที่สังเคราะห์ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในหลายด้าน เช่น ใช้ผลิตวัสดุทางการแพทย์ วัสดุสำหรับกรองสาร ด้านอิเล็กทรอนิกส์ เกษตรกรรม อุตสาหกรรมสิ่งทอ การนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบนำส่งยา และอื่น ๆ



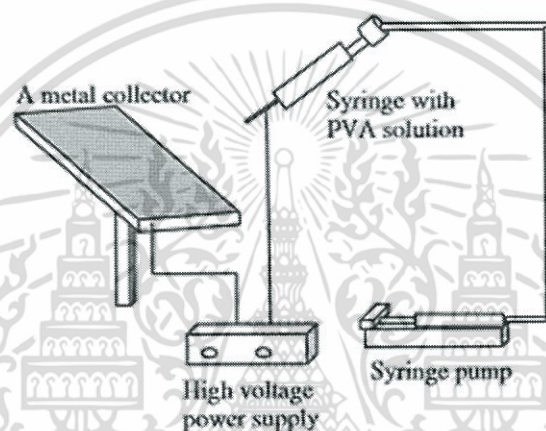
รูปที่ 2.1 เส้นใยลักษณะต่าง ๆ ที่ใช้เทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต [2]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 หลักการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

การทำงานของกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตหรือกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต จะอาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากการให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบ ในระบบพื้นฐานของกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage power supply) หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (syringe with needle) และวัสดุรองรับที่เป็นโลหะ (metal collector) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการติดตั้งของระบบในกระบวนการการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต [3]

เมื่อยังไม่ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบ สารละลายจะรวมตัวกันเป็นหยดรูปร่างครึ่งทรงกลมที่บริเวณปลายเข็มโลหะเนื่องจากแรงตึงผิวของสารละลาย (surface tension) แต่เมื่อให้ความต่างศักย์กำลังสูงแก่ระบบ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าครอบคลุมส่วนปลายของเข็มโลหะและมีประจุเกิดขึ้นที่ผิวของสารละลาย เกิดแรงผลักรังทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) ในทิศตรงกันข้ามกับแรงตึงผิว ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดแรงผลักรังมากกว่าแรงตึงผิวจะส่งผลให้รูปร่างครึ่งทรงกลมของสารละลายที่อยู่ปลายเข็มยืดออกเป็นรูปร่างทรงกรวยที่เรียกว่ากรวยเทเลอร์ (Taylor's cone) และเมื่อสนามไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่ามากขึ้นจะเกิดแรงขับเคลื่อนให้สารละลายพุ่งออกมาเป็นลำ (solution jet) โดยลำของสารละลายนี้จะยืดออกจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงถึงระดับ nm แล้วตกลงบนวัสดุรองรับ

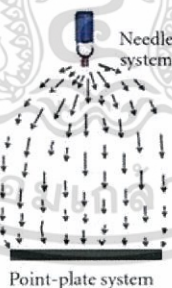
2.1.2 ผลึกเหลว

ผลึกเหลว [4] ก็คือสสารที่อยู่สถานะพิเศษระหว่าง ของแข็งกับของเหลวนั่นเอง กล่าวคือ มันจะมีความเป็นระเบียบในการจัดเรียงโมเลกุลในบางทิศทาง คล้ายกับของแข็ง แต่ขณะเดียวกันก็สามารถไหลตัวไปได้ในบางทิศทาง คล้ายกับของเหลว นักฟิสิกส์ชาวออสเตรีย ชื่ออาร์คัว เอกส์แมนน์ ได้ค้นพบว่าทุกสสารที่ผ่านจุดหนึ่งซึ่งเรียกว่าอุณหภูมิวิกฤตแล้วจะกลายเป็นของเหลวใส และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอีกจะกลายเป็นของเหลวใส และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอีกจะกลายเป็นของเหลวใส และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอีกจะกลายเป็นของเหลวใส

ฟรีดริช ไรนิตเซอร์ (Fredrich Reinitzer) เป็นผู้ค้นพบผลึกเหลวเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1860 ในสารอินทรีย์ คอเลสตรี เบนโซเอท (Cholestery benzoate) เมื่อความร้อนกับสารนี้ มันจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็ง ไปเป็นก้อนยุ่งเหยิงคล้ายหมอก ซึ่งก็คือผลึกเหลวนั่นเอง และเมื่อให้ความร้อนต่อไปก็จะกลายเป็นของเหลว ปัจจุบันผลึกเหลวที่พบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ออกไซด์ของโลหะบางชนิดที่มีน้ำอยู่ด้วย เช่น สนิมเหล็ก ($Fe_2O_3 \cdot xH_2O$) ก็จัดว่าเป็นผลึกเหลวชนิดหนึ่งเช่นเดียวกัน ผลึกเหลวแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามวิธีการเกิด

1) ผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิก (thermotropic liquid crystal) เกิดจากการให้ความร้อน อย่างเช่น คอเลสตรี เบนโซเอท เป็นต้น ผลึกเหลวชนิดนี้ยังแบ่งได้เป็นอีก 2 ชนิด คือ ชนิดเส้นด้าย (nematic) และชนิดไซหรือเมือก (smectic)

2) ผลึกเหลวชนิดไลโอโทรปิก (lyotropic liquid crystal) ทำให้เกิดขึ้นโดยการผสมสารบางชนิด เช่น สบู่หรือผงซักฟอก, กรดไขมัน, เกลือของกรดไขมัน ฯลฯ ลงในน้ำหรือตัวทำละลายที่มีขั้ว สมบัติที่น่าสนใจอย่างมากของผลึกเหลวก็คือ เมื่อให้พลังงานจากภายนอก เช่น ความร้อน, แรงดัน หรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กับผลึกเหลว จะทำให้การจัดเรียงตัวของ โมเลกุลของผลึกเหลวเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลทำให้สมบัติทางแสง เช่น สี, ความโปร่งแสง รวมถึงการยอมให้แสงที่มีขั้ว (polarized light) ผ่านได้เปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ที่เรารู้จักกันดีก็คือ ใช้ทำเป็นจอแสดงผลในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือที่เราเรียกกันติดปากว่าจอ LCD นอกจากนั้นแล้วผลึกเหลวยังสามารถใช้งานทางการแพทย์ เพื่อตรวจความผิดปกติในร่างกาย รวมถึงในการตรวจสอบชิ้นส่วนโลหะแบบไม่ทำลาย (nondestructive testing) ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้สนามไฟฟ้ากับการจัดเรียงตัวในของเหลวของเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใย ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

2.1.3 ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

1) น้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของสารละลาย สมบัติของสารละลายเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยนาโนอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดและรูปร่างของเส้นใย

น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นขึ้นกับความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ หากสารละลายนั้นมีน้ำหนักโมเลกุลสูงเกินไปจะทำให้การไหลของสารละลายช้าลง และอาจเกิดการอุดตันที่หัวฉีดได้ นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลที่สูงเกินไปยังอาจทำให้เส้นใยที่ได้มีคุณสมบัติทางกลที่ไม่ดีนัก ดังนั้น การเลือกใช้น้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการสังเคราะห์เส้นใยนาโน

ความเข้มข้นที่เท่ากัน น้ำหนักโมเลกุลจะเป็นตัวแปรสำคัญที่จะกำหนดความหนืดของสารละลาย เนื่องจากพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีส่วนเกี่ยวข้องกัน (entanglement) ของสายโซ่พอลิเมอร์มาก ทำให้ในสารละลายพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเคลื่อนไหวสายโซ่ได้ยาก แรงผลักดันทางไฟฟ้าจึงมีปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้สารละลายพอลิเมอร์ถูกผลักออกจากปลายของเข็มโลหะ ทั้งนี้เมื่อลดความหนืดของสารละลายลง จะส่งผลทำให้เส้นใยที่ได้มีเม็ดลูกปัดบนเส้นใยน้อย อาจจะได้เส้นใยที่มีลักษณะเป็นเส้นใยที่เรียบพร้อมด้วย (smooth fibers) โดยความหนืดต่ำที่สุดของสารละลายที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต คือ ความหนืดที่ไม่ทำให้เส้นใยที่ได้มีเม็ดลูกปัด

2) แรงตึงผิว (surface tension) เม็ดลูกปัดที่เกิดขึ้นบนเส้นใยในกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตนั้นจะขึ้นกับปัจจัยเรื่องแรงตึงผิวของสารละลาย โดยการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ในช่วงแรกสารละลายพอลิเมอร์ที่อยู่บริเวณปลายของเข็มโลหะจะมีลักษณะเป็นทรงกลม ทั้งนี้เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ระบบจะส่งผลให้เกิดประจุทางไฟฟ้าขึ้นบริเวณหยดของสารละลาย เมื่อประจุไฟฟ้ามากพอที่จะเอาชนะแรงตึงผิวของสารละลายได้ หยดของพอลิเมอร์จะเกิดการยืดออกกลายเป็นเส้นใย ตัวทำละลายที่ถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตส่วนใหญ่มีแนวโน้มเป็นตัวทำละลายที่มีแรงตึงผิวต่ำ แต่ในกรณีที่ใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย น้ำจะเป็นตัวทำละลายที่มีแรงตึงผิวสูง เทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะส่งผลให้ลำของสารละลายพอลิเมอร์เกิดการแตกออก ทำให้พบลักษณะของเม็ดลูกปัดบนเส้นใย การแทนที่น้ำด้วยตัวทำละลายอื่น ๆ หรือการผสมด้วยตัวทำละลายที่มีแรงตึงผิวต่ำ จะส่งผลทำให้แรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ลดลง ทำให้เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเส้นใยที่เรียบขึ้น

3) ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (solution conductivity) การยืดออกของสารละลายพอลิเมอร์ในเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตจะขึ้นกับปริมาณประจุที่อยู่บนสารละลาย กล่าวคือเมื่อสารละลายที่เตรียมได้มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น จะทำให้เกิดประจุในสารละลายพอลิเมอร์มาก ส่งผลให้ลำของสารละลายพอลิเมอร์เคลื่อนที่ออกจากปลายเข็มโลหะได้ นอกจากนี้ตัวทำละลายที่นำมาเตรียมเป็นสารละลายพอลิเมอร์หากมีค่าการนำไฟฟ้าสูงจะส่งผลให้ได้เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณเม็ดลูกปัดที่พบบนเส้นใยน้อยกว่าเส้นใยที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ โดย พอลิเมอร์และตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการเตรียมสารละลายสำหรับกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พอลิเมอร์และตัวทำละลายที่ใช้ในเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

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

โดยการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายจะเป็นการเพิ่มคุณภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์ได้ในกรณีเส้นใยมีลักษณะเป็นลูกบิดบนเส้นใยนั้น การกระตุ้นสารละลายด้วยเกลือจะทำให้ลักษณะของเม็ดลูกบิดที่พบบนเส้นใยลดลง เนื่องจากสารละลายพอลิเมอร์มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การเติมเกลือจะทำให้ค่าของสารละลายพอลิเมอร์มีการยึดตัวออกที่ดีขึ้น

4) อุณหภูมิของของสารละลาย (Temperature of Solvent) เป็นที่เข้าใจกันดีว่าเมื่อสารละลายมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ความหนืดของสารละลายลดลง และเมื่อความหนืดของสารละลายลดลงเส้นใยที่ประดิษฐ์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามขีดจำกัดในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่สารละลายกลับส่งผลในอีกแง่หนึ่งด้วย กล่าวคือเมื่อสารละลายมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ตัวทำละลายมีอัตราการระเหยที่เร็วมากขึ้น ทำให้ค่าของสารละลายพอลิเมอร์เกิดการยึดยาวออกได้ไม่มากพอ เส้นใยที่ได้จึงมีลักษณะเป็นลูกบิดบนเส้นใย ทั้งนี้นอกจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลต่อขนาดของเส้นใยแล้ว ยังส่งผลต่อลักษณะของเส้นใยที่ประดิษฐ์ได้อีกด้วย

5) ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) ศักย์ไฟฟ้ามีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมาก โดยปกติค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบของการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตควรมีค่ามากกว่า 6 kV เพื่อให้หยดของสารละลายบริเวณปลายเข็มฉีดยาเปลี่ยนรูปร่างมีลักษณะเป็นกรวยเทเลอร์ ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีอิทธิพลอย่างมากในกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ตั้งแต่กระทบต่อจำนวนประจุที่ให้กับสารละลาย ถ้าอัตราเร็วในการฉีดสารละลายถูกควบคุมให้คงที่การปรับเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้กรวยเทเลอร์มีขนาดเล็กลง และมีความเสถียรน้อย โดยจะทำให้ประจุเกิดบนสารละลายมากขึ้น ซึ่งเป็นการลดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของสารละลายจากปลายเข็มโลหะไปยังวัสดุรองรับ แต่มีแนวโน้มทำให้เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะของเม็ดลูกบิดบนเส้นใยมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าแก่ระบบจะส่งผลให้การคายประจุที่ปลายเข็มเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาในการยึดออกมีมากพอ และในระบบที่มีการให้ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีปริมาณต่ำจนเกินไป ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของสารละลายมีมากพอ ความเร็วในการเปลี่ยนจากหยดของสารละลายเป็นลำของพอลิเมอร์จะลดต่ำลงทำให้ไม่พบลักษณะของเส้นใยของพอลิเมอร์บนวัสดุรองรับ

6) อัตราการไหลของสารละลาย (Feed Rate) โดยทั่วไปอัตราการไหลของสารละลายจะไม่ส่งผลต่อเส้นใยที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมากนัก อย่างไรก็ตามอัตราการไหลของสารละลายควรมีความสมดุลกับการอัตรากระเหยออกของตัวละลายในระหว่างที่สารละลายเคลื่อนที่จากปลายเข็มโลหะสู่วัสดุรองรับ การเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายจะทำให้ขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายเสมือนกับการเพิ่มปริมาณของสารละลายที่ออกจากปลายเข็มโลหะและเพิ่มรัศมีของลำพอลิเมอร์ซึ่งนำไปสู่การลดความเสถียรทำให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น

7) ชนิดของวัสดุรองรับ (Type of Collector) วัสดุรองรับที่ใช้ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณของเส้นใยที่ได้รับและการจัดเรียงของเส้นใย สำหรับวัสดุรองรับที่นำไฟฟ้าไม่ดี จะส่งผลทำให้ปริมาณเส้นใยที่เคลื่อนตัวไปยังวัสดุรองรับมีปริมาณไม่มากพอ ทำให้เส้นใยที่พบบริเวณวัสดุรองรับมีปริมาณน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้วัสดุรองรับที่นำไฟฟ้าได้ดีจะทำให้เกิดการส่งผ่านของประจุไฟฟ้าได้ดีขึ้น เส้นใยที่ถูกพบบนวัสดุรองรับจะมีมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากความสามารถในการนำไฟฟ้าของวัสดุรองรับแล้ว การเลือกใช้งานวัสดุรองรับแบบหมุนยังส่งผลทำให้เส้นใยที่ทำการสังเคราะห์มีการจัดเรียงตัวที่ดีกว่าวัสดุรองรับแบบตั้งฉากอีกด้วย

8) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มโลหะกับวัสดุรองรับ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มโลหะกับวัสดุรองรับเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลถึงระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของลำพอลิเมอร์ก่อนจะตกลงสู่วัสดุรองรับ ถ้าให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่ ความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างปลายเข็มโลหะกับวัสดุรองรับ โดยทั่วไปเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตจะจัดให้ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับวัสดุรองรับมีระยะความกว้างประมาณ 10-15 cm ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมที่ทำให้ตัวทำละลายเกิดการระเหยออกและเกิดเป็นเส้นใยขึ้นบนวัสดุรองรับ ถ้าระยะห่างระหว่างปลายเข็มโลหะกับวัสดุรองรับน้อยจนเกินไป ตัวทำละลายจะไม่มีเวลาไม่มากพอที่จะระเหยออกจาก ลำพอลิเมอร์จนหมด เส้นใยที่ได้จึงเกิดการหลอมติดกันและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่มาก

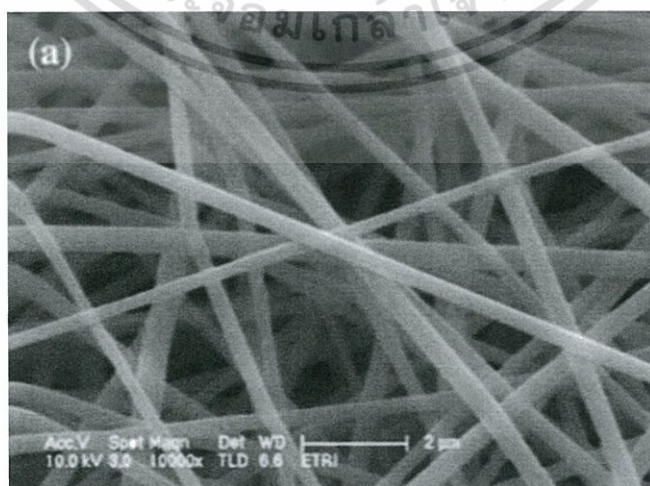
9) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มโลหะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มโลหะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดของเส้นใยที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ทั้งนี้การเลือกใช้เข็มโลหะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กย่อมส่งผลทำให้เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการเลือกใช้เข็มโลหะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจนเกินไปมักจะเกิดปัญหาในการผลึกสารละลายพอลิเมอร์เคลื่อนที่ออกจากเข็มโลหะไปยังวัสดุรองรับ เนื่องจากหยดของสารละลายที่มีขนาดเล็กจะมีแรงดึงดูด

สูง ทำให้แรงทางไฟฟ้าไม่มากพอจะผลักให้สารละลายเคลื่อนที่ออกจากปลายเข็มโลหะ จึงมักจะทำให้เกิดการอุดตันของสารละลายพอลิเมอร์บริเวณเข็มโลหะได้ง่าย

10) **ค่าความชื้นสัมพัทธ์** สภาพแวดล้อมมีผลต่อสารละลายที่เตรียมได้และทำให้ลักษณะของเส้นใยที่สังเคราะห์ผ่านเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตเปลี่ยนแปลงไป โดยอุณหภูมิและความชื้นในสิ่งแวดล้อมจะส่งผลต่ออัตราการระเหยของตัวทำละลาย และลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่เตรียมได้ ทั้งนี้จะพบลักษณะเม็ดลูกปัดบนเส้นใยที่เตรียมภายใต้สภาวะที่มีความชื้นที่มากกว่า 50% เมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เท่ากัน ความชื้นที่มากกว่าจะส่งผลให้เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีรูพรุนบนพื้นผิวของเส้นใย เนื่องจากในกระบวนการควบแน่นของหยดน้ำขนาดเล็กบริเวณพื้นผิวบริเวณของลำพอลิเมอร์ ดังนั้น การนำกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมาใช้สังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ซึ่งหากมีระบบที่ควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ได้อย่างสะดวกและแม่นยำแล้ว จะส่งผลให้การสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กด้วยเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

2.2 เส้นใยนาโน

เส้นใยนาโน [5] เป็นโครงสร้างนาโนของวัสดุสร้างที่มีลักษณะเป็นเส้นใยของแข็งที่อยู่ในกลุ่มของสารอินทรีย์ และมีขนาดเล็กระดับ nm โดยเส้นใยนาโนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อยู่ในระดับ nm ถึงหลาย μm มีลักษณะซ้อนทับ ดังรูปที่ 2.4 โดยโครงสร้างที่อยู่ในลักษณะของเส้นใยนี้จะ เป็นลักษณะของโครงสร้างพื้นฐานที่ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวที่มีความจำเพาะสูง จึงเป็นโครงสร้างที่มีความสามารถในการยึดหยุ่นได้ดีมีความแข็งแรงและความทนทานที่สูง ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน ได้อย่างหลากหลายด้าน



รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงภาพพื้นผิวของเส้นใย PVP/ZnO [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 จุดเด่นของเส้นใยนาโน

เนื่องจากเป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กในระดับ nm จึงทำให้เส้นใยนาโนมีจุดเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นผิวต่อปริมาตรสูง (surface-to-volume ratio) และมีขนาดรูพรุนที่เล็กมาก ส่งผล ทำให้มีสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า หรือสมบัติทางชีวภาพที่ดีมาก เหมาะสำหรับงานเฉพาะด้านซึ่งต้องการความได้เปรียบของขนาดที่เล็กมากโดยจุดเด่นที่ได้ของเส้นใยนาโนจะต้องขึ้นอยู่กับวิธีและสารที่นำมาใช้ประดิษฐ์

2.2.2 การประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน

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

1) **ด้านการแพทย์** เส้นใยนาโนที่ประดิษฐ์ขึ้นจากพอลิเมอร์ในธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน (chitosan) ไหม (silk) คอลลาเจน (collagen) รวมทั้งพอลิเมอร์สร้างบางประเภท สามารถนำมาประยุกต์ใช้ด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (tissue engineering) และด้านการแพทย์เนื่องจากการมีสมบัติทางชีวภาพ (biocompatibility) และมีสมบัติการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) เส้นใยเหล่านี้จึงย่อยสลายตัวเองภายในร่างกายของเราได้เหมือนไหมเย็บแผลที่ใช้ในปัจจุบัน รวมทั้งยังมีการศึกษาเพื่อนำเส้นใยนาโนมาใช้เป็นระบบนำส่งยา (drug delivery system) รวมถึงเครื่องสำอางอีกด้วย

2) **ด้านวัสดุศาสตร์** เส้นใยนาโนบางชนิดถูกนำมาใช้กับวัสดุอื่นเพื่อทำให้มีสมบัติที่ดีขึ้น เช่น เส้นใยนาโนคาร์บอน (carbon nanofiber) ซึ่งมีค่า Young's modulus และความแข็งแรงสูง (strength) อีกทั้งค่าแรงต้านทานแรงดึงตามยาว (tensile strength) ที่สูงกว่าเหล็ก ในขณะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเหล็ก จึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมโครงสร้างในวัสดุคอมโพสิตเพื่อให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น นอกจากนี้เส้นใยนาโนเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิก (ferroelectric ceramic) เช่น เส้นใยนาโนแบเรียมสตรอนเตียมไททาเนต ((Ba, Sr) TiO₃, BST) [7] สามารถใช้เป็นวัสดุเสริมในวัสดุคอมโพสิตทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น และสามารถเพิ่มหน้าที่ความเป็นเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกให้แก่วัสดุอีกทางหนึ่งด้วย

3) **ด้านสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีชีวภาพ** โดยปัจจุบันจากการศึกษาเส้นใยนาโนได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเสื้อผ้า สิ่งทอ ซึ่งผ้าที่ได้เหล่านี้จะมีความละเอียด และมีขนาดช่องว่าง เล็กกว่าผ้าที่ทอจากเส้นใยขนาดใหญ่ อีกทั้งแผ่นเส้นใยที่ถักทอจากเส้นใยที่เล็กในระดับ nm สามารถกรองอนุภาคได้จำนวนมาก จึงสามารถนำมาใช้สร้างระบบกรองที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดมลภาวะทั้งทางอากาศ และทางน้ำ หรือพัฒนาเป็นระบบกรองน้ำจืดจากน้ำทะเล หรือแม้กระทั่งการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสีย สำหรับการประยุกต์ใช้ในด้านเทคโนโลยีชีวภาพได้ มีการนำเส้นใยนาโนมาใช้เป็นแผ่นเมมเบรนคัดแยก (affinity membrane) สำหรับการแยกโมเลกุลให้บริสุทธิ์

โดยอาศัยสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี หรือหน้าที่เฉพาะทางชีวภาพของโมเลกุลนั้น แผ่นเมมเบรนคัดแยกจะทำการแยกโมเลกุลโดยอาศัยคุณสมบัติความเลือกจำเพาะของเมมเบรน ทำให้เกิดระบบคัดแยกที่มีข้อดีกว่าการใช้คอลัมน์โครมาโตกราฟีแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ยังมีการนำเส้นใยนาโนมาเคลือบบนชุดเครื่องแบบทหาร เพื่อป้องกันอาวุธทางชีวภาพ สารพิษทางเคมี สารพิษจากนิวเคลียร์

4) **ด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และพลังงาน** ในกรณีที่เส้นใยมีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีหรือสมบัติของสารกึ่งตัวนำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะเทคโนโลยีด้านตัวตรวจจับต่าง ๆ เช่น ตัวตรวจจับก๊าซ (gas sensor) ตัวตรวจจับความร้อน (thermal sensor) เป็นต้น นอกจากนี้เส้นใยนาโนเซรามิกบางชนิดสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทน เช่น การนำเส้นใย TiO_2 ไปเป็นส่วนประกอบหนึ่งในเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อม (dye-sensitized solar cell) หรือการนำเส้นใยโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์ ($NaCo_2O_4$) ซึ่งเป็นวัสดุประเภทเทอร์โมอิเล็กทริกส์ (วัสดุที่สามารถสร้างไฟฟ้าจากความร้อน) ไปประยุกต์ใช้ทางแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนได้ และเส้นใยนาโนสร้างที่มีการสร้างขึ้นมานั้นโดยมากจะถูกสร้างเพื่อนำมาใช้คุณสมบัติพิเศษทางด้าน การนำไฟฟ้า และคุณสมบัติเชิงกลของโครงสร้างเช่น การสร้างเส้นใยนาโนพอลิเมอร์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำมาใช้ในการผลิตและสร้างอุปกรณ์ระดับนาโนทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น การใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า สร้างตัวเก็บประจุทรานซิสเตอร์ไดโอด และนำมาผลิตหน่วยความจำ และชิปสำหรับคอมพิวเตอร์ รวมทั้งการนำเส้นใยนาโนมาใช้ทางด้านเทคโนโลยีการแปลงรูปพลังงาน และการเก็บพลังงานเช่น แบตเตอรี่หรือในเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) การนำเส้นใยนาโนเป็นส่วนผสมในโครงสร้างสำหรับงานด้านเทคโนโลยีการบินทั้งในอากาศและในอวกาศ โดยเส้นใยนาโนเหล่านี้มีวิธีการประดิษฐ์ได้หลายวิธีส่วนวิธีที่นิยมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ เทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

2.3 PVA

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือสามารถย่อยสลายได้โดยวิธีการทางชีวภาพและติดไฟ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้ จุดหลอมเหลวที่ต่ำ การใช้งานของ PVA แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะได้แก่

2.3.1 คุณสมบัติการละลายในน้ำ

เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชันและแขวนลอยต่าง ๆ เข้มข้นและใช้แผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษโดยจะทำให้มีความใสเหนียวและทนต่อการขีดข่วน

2.3.2 PVA ที่ไม่ละลายในน้ำ

สามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็นอย่างดี (ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก) จึงใช้เป็นเส้นใยแทนฝ้ายได้ ผ้าที่ทำด้วยเส้นใย PVA จะสามารถสวมใส่ได้สบาย ชักง่ายทนทานต่อการสึกหรอ และ

เอกสารสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดี PVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ PVA มีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นเท่ากับ 1.298 g/cm^3 มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature : T_g) ประมาณ 85 องศาเซลเซียส หมายความว่าที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของ PVA จะเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว PVA มีความเสถียรทางด้านเคมีที่ดี สามารถเตรียมเป็นเยื่อเลือกผ่านได้และมีความชอบน้ำสูง (High Hydrophilicity) สามารถละลายน้ำและสารละลายผสมระหว่างน้ำกับแอลกอฮอล์ได้ แต่จะไม่ละลายหรือละลายได้เพียงเล็กน้อยในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป ความสามารถในการละลาย ของ PVA จะผันตามตึกกริการเกิดพอลิเมอร์โรเซชันและไฮโดรไลซิส โดยที่ PVA จะสามารถละลายในน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ร้อยละ 88 โมเลกุล แต่ถ้ามีร้อยละของหมู่ไฮดรอกซิลสูงกวานี้ ความสามารถในการละลายจะลดต่ำลงตามลำดับ เพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับ [8]

2.4 โปรแกรม SolidWorks [9]

SolidWorks พัฒนาขึ้นในปี 1995 โดยบริษัท Dassault System ในฝรั่งเศส เป็นซอฟต์แวร์เพื่อให้แก่ออกแบบใช้ เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองใน Computer ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล CAD (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบงานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) เพื่อนำไปสร้างเป็น 2D Standard Engineering (CADD = Computer Aided Design and Drafting) โปรแกรม Solidworks เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงมาก คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น solid หรือ surface ก็มีเครื่องที่รองรับเป็นอย่างดี เมื่อสร้างชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้วสามารถที่จะประกอบชิ้นงานได้ใน Mode ของชุดคำสั่ง Assembly รวมทั้งผู้ต้องการ Drawing ของชิ้นงาน ก็เพียงลากชิ้นงานมาวางในใบงานแล้วขนาด จะมองเห็นได้ว่าผู้ใช้งาน สามารถที่จะประหยัดเวลาในการทำงานและสนุกกับการทำงานอีกด้วย

2.4.1 ประสิทธิภาพการทำงาน

ประสิทธิภาพของ SolidWorks เป็นการเจาะลึกให้แก่ออกแบบสามารถสร้างชิ้นงานจำลองทางด้าน Mechanical Engineering Design ได้อย่างสมบูรณ์แบบ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรม และการตรวจสอบความผิดพลาดของ 3D Solid Models เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และลดระยะเวลาการทำงานในการออกแบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในบริษัทและองค์กร

2.4.2 ลักษณะการทำงาน

SolidWorksแบ่งหมวดการทำงานหลักออกเป็น 3 หมวดคือ Part, Assembly และ Drawing โดยรูปแบบการทำงานทั้ง 3 หมวดมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1) Part Mode เป็นหมวดการทำงานเริ่มต้นก่อนที่จะก้าวสู่การทำงานในหมวดเอกส Assembly และ Drawing ในขั้นนี้จะมีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การใช้ 2D Sketch ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Interaction Drafting** คือการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวาง Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting การทำงานในหมวดนี้สามารถใช้คำสั่งจาก Annotation Command และ Drawing Command เพื่อสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดได้โดยอัตโนมัติ

2.5 อะคริลิก [10]

เป็นผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม สำหรับเป็นสารตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ส่งจำหน่ายแก่ภาคครัวเรือน หรือภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ทั้งในรูปอะคริลิกเหลวสำหรับภาคอุตสาหกรรม และแผ่นอะคริลิกหรือพลาสติกอะคริลิกสำหรับงานในด้านต่าง ๆ

อะคริลิก หรือ อะคริลิกเรซิน (Acrylic Resins) เป็นพอลิเมอร์ และโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากกรดอะคริลิก และอนุพันธ์ของกรดอะคริลิก และเอสเทอร์ของกรดอะคริลิก มีสูตรโครงสร้างคือ $CH_2=CHR$ โดยใช้สารตั้งต้น ได้แก่ Methyl Acrylate, Ethyl Acrylate และ Methyl Methacrylate ผลิตออกมาเป็นอะคริลิกที่นิยมใช้มากคือ Polymethyl Methacrylate (PMMA)

2.5.1 ประเภทของอะคริลิก

1) **อะคริลิกของแข็ง** เป็นเทอร์โมพลาสติกเรซินที่อยู่ในรูปของแข็ง อาจเป็นเม็ดอะคริลิกหรือขึ้นรูปเป็นแผ่น เช่น แผ่นอะคริลิกหรือพลาสติกอะคริลิก ถือเป็นโฮโมพอลิเมอร์ของเมทาคริเลตเอสเทอร์ หรือโคพอลิเมอร์ของเมทาคริเลต ได้แก่

- เมทิลเมทาคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COOCH_3$
- เอทิลเมทาคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COOC_2H_5$
- นอร์มอล-บิวทิลเมทาคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COO-(n-C_4H_9)$
- ไอโซบิวทิลเมทาคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COO-(i-C_4H_9)$
- ลอริลเมทาคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COOC_{12}H_{25}$
- เมทิลอะคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COOCH_3$
- นอร์มอล-บิวทิลอะคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COOC_4H_9$

2) **อะคริลิกเหลว** เป็นอะคริลิกที่อยู่ในรูปสารละลายที่ผลิตได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลาย

3) **อะคริลิกอิมัลชัน** ใช้เป็นส่วนผสมของสีทาบ้าน มักผลิตในลักษณะของลาเท็กซ์

2.5.2 การใช้ประโยชน์

เป็นผลิตภัณฑ์ของอะคริลิกของแข็งที่ถูกขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นแผ่น อาจเป็นแผ่นใสหรือแผ่นมีสีต่าง ๆ นิยมใช้งานมากในภาคครัวเรือน เช่น ทำป้าย ทำเครื่องตกแต่งบ้าน วัสดุตกแต่งบ้าน ชั้นโชว์ ตู้เลี้ยงปลา ถังขยะ ของเด็กเล่น กรอบรูป กล้อง เป็นต้น

สำหรับภาคอุตสาหกรรมมีการใช้ประโยชน์จากแผ่นอะคริลิก เช่น อุตสาหกรรมประกอบเอกสารย่นต์ อุตสาหกรรมขึ้นรูป และผลิตชิ้นส่วนพลาสติก เป็นต้นนั้น ไม่นอญญาตให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาซื้อสามารถซื้อได้ตามร้านเครื่องเขียน ร้านพลาสติก ทั่วไป หรือสั่งซื้อจากร้านค้าที่ประกาศตามอินเทอร์เน็ต มีราคาตั้งแต่หลักสิบบาทถึงหลักพันบาท ขึ้นอยู่กับขนาด สี ลักษณะเฉพาะของพลาสติกอะคริลิกแต่ละผลิตภัณฑ์

- อะคริลิกเหลว และอิมัลชันอะคริลิก มักใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับพลาสติก และใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น สี สารเคลือบวัสดุ เป็นต้น

- แผ่นอะคริลิกหรือพลาสติกอะคริลิก

2.5.3 แผ่นอะคริลิกหรือพลาสติกอะคริลิก

การผลิตแผ่นอะคริลิกด้วยเทคนิคนี้ สามารถผลิตได้ในหลายลักษณะทั้งผลิตภัณฑ์ที่โปร่งแสงและทึบแสง สามารถผลิตได้หลากหลายสี และมีผิวหน้าหลายรูปแบบทั้งมันและไม่มัน

- สมบัติทั่วไปของแผ่นอะคริลิก
- มีความโปร่งใสคล้ายกระจก
- ทนทานต่อแรงกระแทก แรงกด และสภาพแวดล้อมดินฟ้าอากาศ
- ทนทานต่อสารเคมีหลายชนิด ยกเว้นสารตัวทำละลาย และกรดที่ส่วนมากมีผลต่ออะคริลิก รวมถึงต่างแก่ทุกชนิด
- สามารถเติมแต่งด้วยสี ให้มีสีสันทัดตามความต้องการ
- มีจุดอ่อนตัวต่ำ ทนต่อความร้อน และมีความเหนียว
- มีสภาพคงรูปที่ดี และทนต่อการขีดข่วน
- เป็นฉนวนไฟฟ้า และฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี
- ไม่ดูดความชื้น

2.5.4 การผลิตแผ่นอะคริลิก

แผ่นอะคริลิกหรือพลาสติกอะคริลิก ผลิตได้จากอะคริลิกของแข็งด้วยกระบวนการหล่อสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่

- กระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting Process)
- กระบวนการหล่อแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Casting Process) เช่น กระบวนการหล่อแบบเซลล์ (cell casting process)

ความแตกต่างของทั้งสองวิธี คือ กระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องจะเกิดในขั้นตอนลำเลียงของสายพานสองเส้นที่กำลังเคลื่อนที่ ส่วนกระบวนการหล่อแบบไม่ต่อเนื่องจะเกิดในบ้ำหล่อหรือในแม่พิมพ์

2.5.5 สารเคมีที่มีผลต่ออะคริลิก

1) สารเคมีที่มีผลรุนแรงอะคริลิก

- กรดไฮโดรคลอริก 40%
- กรดไฮโดรฟลูออริก 40%

- กรดไนตริก 40%
- กรดซัลฟูริก 98%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต่างแก่ทุกชนิด
 - ไตคโลโรอีทิลีน
 - คาร์บอนเตตระคลอไรด์
 - เมทิล
 - คีโตน
 - คลอโรฟอร์ม
 - เมทิลีนคลอไรด์
 - อะซิโตน
 - เอทิล
 - โทลูอีน
- 2) สารเคมีที่มีผลน้อยต่ออะคริลิค
- กรดอะซิติก 5%
 - กรดซิติริก 10%
 - กรดไนตริก 10%
 - แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 28%
 - โซเดียมไฮดรอกไซด์ 60%
 - กรดโครมิก 40%
 - กรดไฮโดรฟลูออริก 10%
 - กรดซัลฟูริก 30%
 - โซเดียมคาร์บอเนต 20%

2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

ในการศึกษาและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์นั้น กล้องจุลทรรศน์มีความสำคัญและบทบาทเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถใช้ศึกษาลักษณะของสารตัวอย่างในระดับที่เล็กลงไปมากกว่าที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่า และจำแนกรายละเอียดได้ดังจะเห็นได้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical or light microscopes) เป็นอุปกรณ์สำคัญของห้องปฏิบัติการเกือบทุกแห่ง ไม่ว่าจะเป็นห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ ชีววิทยา เคมี วัสดุศาสตร์ และอื่น ๆ อีกจำนวนมากในขณะความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ มีการพัฒนาขึ้นนักวิทยาศาสตร์ยังมีความต้องการที่จะศึกษาในรายละเอียดที่ระดับเล็กลงไปเรื่อย ๆ แต่ก็ประสบปัญหาตามมาเนื่องจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสงไม่สามารถตอบสนองความต้องการ ทำให้นักวิทยาศาสตร์คิดค้นและประดิษฐ์เครื่องมือขึ้นมาเพื่อทดแทนกล้องจุลทรรศน์แบบแสง นั้นเป็นเหตุผลทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดถูกมาพัฒนาขึ้นมาใช้แทนที่สาเหตุก็เนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงเอง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 5 ส่วนคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

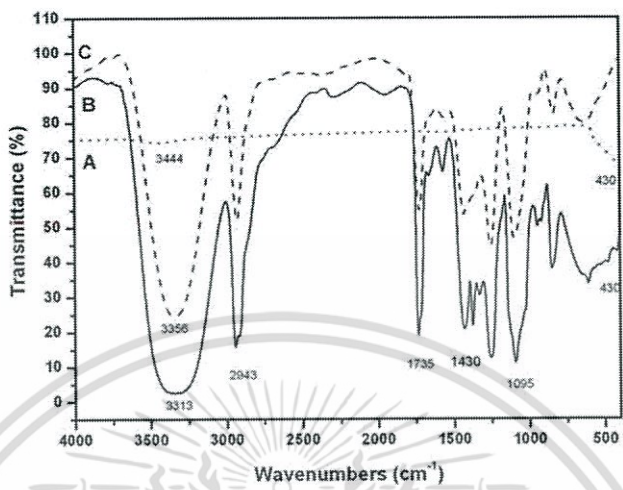
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเหมาะกับการสร้างภาพของกลุ่มสัญญาณในการศึกษาโครงสร้างของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่าง การสร้างภาพจะต้องบีบลำอิเล็กตรอนด้วยเลนส์ออปเจกทีฟจนมีลักษณะเป็น Electron probe โฟกัสลงบนชิ้นตัวอย่าง สัญญาณอิเล็กตรอนจึงเกิดเฉพาะจุดที่ปลาย Electron probe ตกกระทบการสร้างภาพไมโครไม่สามารถฉายไปบนฉากเรืองแสง จึงจำเป็นต้องอาศัยระบบส่องกราดบนที่กำหนดบนชิ้นตัวอย่างและเลือกรับสัญญาณอิเล็กตรอนชนิดใด ๆ จุดต่อจุดที่ปลาย Electron probe เลื่อนไปเพื่อนำไปสร้างภาพขยายที่เข้าจังหวะกัน (Synchronize) บนพื้นที่ของจอภาพแคโทดเรย์ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงต้องมีชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าควบคุมการส่องกราด (Scanning coil) และชุดกำเนิดภาพเพิ่มขึ้นชุดควบคุมการส่องกราดจะทำหน้าที่บังคับให้ Electron probe เคลื่อนในแนวแกนนอนและแกนตั้งบนระนาบของตัวอย่างเป็นพื้นที่ สี่เหลี่ยมผืนผ้าคล้ายระบบสแกนของโทรทัศน์

2.7 เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด : Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดเป็นหนึ่งในเทคนิคทางด้าน Infrared Spectroscopic ที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด ใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบน้อยกว่าเทคนิคอื่น ๆ ทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส FTIR ได้เข้ามาแทนที่ Dispersive Infrared Spectrometer เมื่อไม่นานมานี้ เพื่อใช้ในงานที่ต้องการความรวดเร็วและความไวสูง นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถวิเคราะห์สารในช่วงที่ Dispersive วิเคราะห์ได้ยากหรือเกือบจะเป็นไปไม่ได้

2.7.1 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ อะตอมทุกตัวในโมเลกุลจะมีการสั่นอยู่ตลอดเวลา เมื่อความถี่ของการสั่นมีค่าเท่ากับความถี่ของรังสีอินฟราเรดที่ฉายมายังโมเลกุล โมเลกุลก็จะดูดกลืนรังสี จำนวนแถบการดูดกลืนทั้งหมดที่สังเกตได้จะมีค่าไม่เท่ากับจำนวนความถี่ใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่นมูลฐานของโมเลกุลทั้งหมด โดยจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะจะมีบางแถบพลังงานที่ไม่มี การตอบสนองต่อพลังงานในช่วงรังสีอินฟราเรด

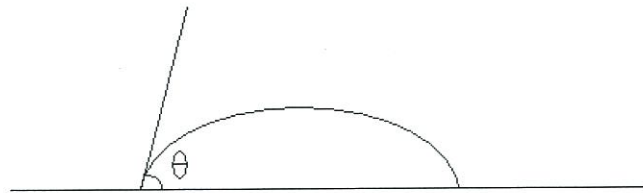


รูปที่ 2.6 แสดงสเปกตรัม FTIR ของ ZnO(A) PVA/ZnO(B) และ PVA(C) [11]

2.7.2 การประยุกต์ใช้งาน โดยทั่วไป IR/FTIR นั้นจะใช้ในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ ทุกประเภทและสารประกอบอินทรีย์บางประเภท รวมถึงหมู่ฟังก์ชันในสารตัวอย่าง เช่นอินทรีย์วัตถุ สี โลหะ พอลิเมอร์ พลาสติก เรซิน สารเคลือบ ยา ยาฆ่าแมลง หรือสารปนเปื้อน เป็นต้น โดยทำการ จับคู่สเปกตรัมของสารประกอบที่ต้องการเข้ากับสเปกตรัมอ้างอิง IR/FTIR ยังใช้ในการตรวจวัด โครงสร้างและสัณฐานของไอโซเมอร์ ใช้ในการบ่งบอกองค์ประกอบของสารที่เป็นตัวเกิดปฏิกิริยาหรือ ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนไหวของปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังใช้ในการตรวจสอบปริมาณของสารผสม สาร ที่ไม่บริสุทธิ์หรือสารที่เติมเข้าไปประมาณ 1 % และในบางกรณีนั้นสามารถตรวจสอบได้ต่ำถึง 0.01 %

2.8 มุมสัมผัส (Contact Angle)

ความสำคัญในการยึดติดกันของวัสดุสองชิ้น แรงยกตัว หรือ capillary effect ก็เป็นผล มาจากภาวะการเปียก และแรงพื้นผิวที่กำหนดภาวะการเปียก รูปร่างของหยดของเหลวบนพื้นผิว ของแข็ง จะมีรูปร่างเป็นรูปทรงหยดน้ำค้าง



รูปที่ 2.7 แสดงแสดงมุมสัมผัส (θ) มุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมสัมผัสนี้ก็จะบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นที่ผิวเรียบของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว

มุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90° โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก และของเหลวจะกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง มุมสัมผัสที่มากกว่า 90° โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อยและจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง

สำหรับกรณีถ้าของเหลวนั้นเป็นน้ำ, พื้นผิวที่มีการกระจายตัวได้ดีจะถูกเรียกว่า hydrophilic และพื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดีจะถูกเรียกว่า hydrophobic พื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดีอย่างยิ่งวด (Super hydrophobic) จะให้มุมสัมผัสที่มากกว่า 150° ทำให้มีหน้าสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งน้อยมาก ๆ ซึ่งกรณีนี้บางครั้งถูกเรียกว่า "Lotus effect" หรือ "ปรากฏการณ์ใบบัว"

ตารางที่ 2.3 แสดงมุมสัมผัสค่าต่าง ๆ

มุมสัมผัส	ระดับของมุมสัมผัส
$\theta = 0$	ชอบน้ำมาก
$0 < \theta < 90^\circ$	ชอบน้ำ
$90^\circ \leq \theta < 180^\circ$	ไม่ชอบน้ำ
$\theta = 180^\circ$	ไม่ชอบน้ำมาก

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 งานวิจัยภายในประเทศ

A. Thongphud, B. Paosawatyanong, P. Visalathaphand and P. Supaphol ได้ศึกษา การปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของเส้นใย PVA ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตด้วยการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้พลาสมาของแก๊สซิลเฟอร์เฮกซาฟลูออไรด์ (SF_6) พบว่า เส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตได้ถูกเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้น 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-ไม่ชอบน้ำของเส้นใยถูกปรับปรุงด้วยการปรับปรุงพื้นผิวด้วยพลาสมาโดยใช้คลื่นความถี่แบบอินดักทีฟร่วมกับคลื่นความถี่วิทยุ (RF-ICP) การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยได้ดำเนินการโดยใช้แก๊สซิลเฟอร์เฮก

ซาลฟูออไรด์ (SF₆) ที่ความดัน 0.5 ทอร์ กำลังไฟ RF 30 วัตต์และเวลาในการปรับปรุงพื้นผิว 30, 60, 90 และ 120 วินาที ผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลาย PVA ที่ใช้ในการสร้างเส้นใย และระยะเวลาของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยพลาสมาที่มีต่อความชอบน้ำของเส้นใย PVA ได้ถูกระบุด้วยมุมสัมผัส โดยที่ผลการวัดพบว่ามุมสัมผัสของเส้นใยที่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวและมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสร้างเส้นใยเพิ่มขึ้น

ศุภวัทย์ โตเกียรติวงศ์ชัย [12] ได้ศึกษาการปั่นเส้นใยโคพอลิเมอร์แบบสามช่วงแบบ สไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน ด้วยไฟฟ้าสถิตและการประยุกต์ใช้เส้นใยในวัสดุเชิงประกอบที่มีพอลิสไตรีนเป็นวัสดุหลัก โดยศึกษาเส้นใยพอลิเมอร์แบบสามช่วงประเภทสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน ที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตและประยุกต์ใช้เส้นใยในวัสดุเชิงประกอบที่มีพอลิสไตรีนเป็นวัสดุเนื้อหลัก สารละลายโคพอลิเมอร์แบบสามช่วงถูกเตรียมในตัวทำละลายผสมระหว่างเตตระไฮโดรฟอรั่นและ ไดมethylฟอร์มาไมด์ในอัตราส่วน 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 โดยสัญญาณของเส้นใยที่ได้มีลักษณะเป็นลูกปัดและมีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งสัญญาณที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นใยที่เรียบสม่ำเสมอและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะมีขนาดเล็กลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ในการประยุกต์ใช้เส้นใยในเชิงวัสดุ เชิงประกอบที่มีพอลิสไตรีนเป็นวัสดุเนื้อหลัก ได้เลือกปั่นเส้นใยโคพอลิเมอร์แบบสามช่วงที่มีความเข้มข้น 20 % โดยน้ำหนักลงบนแผ่นฟิล์มพอลิสไตรีนที่ใช้เป็นตัวรองรับเส้นใยแล้วนำแผ่นฟิล์มนี้มาตัด ซ้อนทับกัน และนำไปอบอ่อน (Anneal) ด้วยเครื่องอัดร้อน (compression molding machine) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลที่ได้กับแผ่นฟิล์มที่เป็นพอลิสไตรีนที่ผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบ มีความเหนียวและมีความสามารถของวัสดุที่จะดูดซับพลังงานไว้โดยไม่เกิดการแตกหักมากกว่าแผ่นฟิล์มพอลิสไตรีนที่ไม่มีเส้นใยผสมอยู่

วีรศรุต แก่นไร่ [13] ได้ศึกษา การสร้าง PVA/ZnO นาโนไฟเบอร์ที่มีความเข้มข้นต่างกันด้วยเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต เพื่อนำมาใช้เป็นก๊าซเซ็นเซอร์ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1%wt ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับชุดการทดลองแรก หลังจากเตรียมเส้นใยดังกล่าวแล้ว นำมาตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ทดสอบคุณสมบัติด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด และเครื่องมือวัดมุมสัมผัส โดยผลการทดลองคือ ลักษณะกายภาพของเส้นใยชุดแรกจะมีลักษณะแบบเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-200 nm ชุดที่สองมีซิงค์ออกไซด์แทรกตัวในเส้นใยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นและอัตราการไหล คุณสมบัติมีการส่องผ่านแสงน้อยลงเมื่อเติมซิงค์ออกไซด์ ไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และซิงค์ออกไซด์ มีค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุดคือ PVA/ZnO 10%wt และ PVA 7.5%wt ที่อัตราการไหล 1.0 ml/hr. โดยเงื่อนไขที่เหมาะสมนำไปประยุกต์ใช้มากที่สุดคือ PVA/ZnO 10%wt

2.9.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Ritu Goyal, Lauren K. Macri, Hilton M. Kaplan and Joachim Kohn [14] อนุภาคนาโนและเส้นใยนาโน สำหรับการจัดส่งยาเฉพาะจุด ในงานนี้นำเสนอภาพรวมแรกเกี่ยวกับการใช้ทั้งอนุภาคนาโนและเส้นใยนาโนสำหรับการจัดส่งยาเฉพาะจุด นักวิจัยได้สำรวจการใช้นาโนเทคโนโลยี โดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคนาโนและเส้นใยนาโนเป็นระบบการจัดส่งยาสำหรับการประยุกต์ใช้งานเฉพาะที่และผิวหนัง วิธีนี้ใช้ความเข้มข้นยาที่เพิ่มขึ้นในตัวส่งยา เพื่อเพิ่มอัตราการแทรกซึมของยาผ่านเนื้อเยื่อและผิวหนัง ทั้งอนุภาคนาโนและเส้นใยนาโนสามารถใช้ในการลำเลียงยาทั้งแบบที่มีความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ และสามารถที่จะควบคุมอัตราการปลดปล่อยยาสำหรับการยืดระยะเวลาหรือควบคุมเวลาที่ใช้ในการให้ยา ตัวอย่างที่น่าเสนอเป็นเอกลักษณ์ที่แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของงานวิจัยนี้และกำลังที่จะมีผลกระทบในเชิงลึกทั้งในด้านการรักษาและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตซึ่งจะรวมการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ การออกแบบสร้างฐานวางระบบและการจัดวางอุปกรณ์ ในส่วนถัดมาจะเป็นการอธิบายถึงการทดสอบระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นมาด้วยการสังเคราะห์เส้นใยที่มุมแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°) และสุดท้ายจะเป็นการตรวจสอบผลการทดลองที่ได้จากการสังเคราะห์เส้นใย PVA

3.1 การออกแบบและสร้างระบบ

ในส่วนของการออกแบบและสร้างระบบจะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบได้ ซึ่งจะเป็นการปรับเปลี่ยนมุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยขึ้น ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ การจัดหาวัสดุและอุปกรณ์สำหรับนำมาประกอบเป็นระบบของเครื่อง และส่วนของการออกแบบสร้างฐานวางระบบที่มีโครงสร้างแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของอุปกรณ์ในระบบและสามารถปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบได้

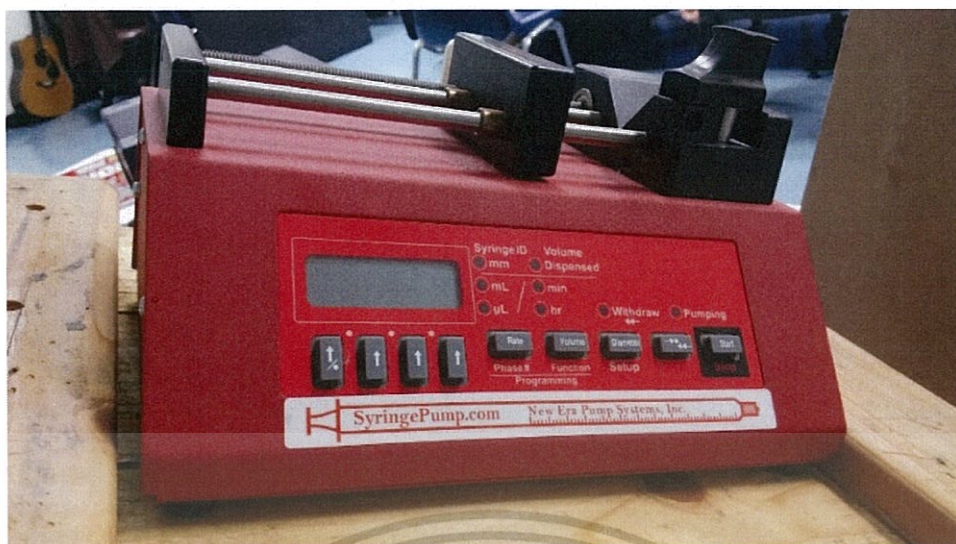
3.1.1 จัดหาวัสดุและอุปกรณ์

เป็นส่วนของการจัดหา วัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาประกอบกันเป็นระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต ซึ่งจะประกอบไปด้วยไซริงค์และเพาเวอร์ซัพพลาย

1) ไซริงค์ New Era รุ่น NE-300

มีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) อยู่ที่ 14.605 cm x 22.86 cm x 11.43 cm โดยมีสมบัติดังนี้

- รองรับขนาดของหลอดไซริงค์ได้ถึง 140 ml
- สามารถกำหนดอัตราการไหลได้จาก 0.73 $\mu\text{L/hr}$. ด้วยหลอดไซริงค์ขนาด 1 ml ถึง 1500 ml/hr. ด้วยไซริงค์ขนาด 60 ml
- มีหน้าจอบนแสดงข้อมูลการตั้งค่าปริมาตร ชนิดของไซริงค์และอัตราการไหล
- โหมดเริ่มทำงานต่อหลังจากถูกตัดพลังงานชั่วคราว



รูปที่ 3.1 ไซริงปั๊ม NE-300

2) เพาเวอร์ซัพพลาย

รุ่น “PHYWE Power supply, high voltage DC : ± 25 kV, 0.5 mA” มีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) อยู่ที่ 23 cm x 23.6 cm x 16.8 cm โดยมีสมบัติในการให้ศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง ตั้งแต่ 0 kV ไปจนถึง ± 25 kV โดยมีค่าอัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 0.5 mA

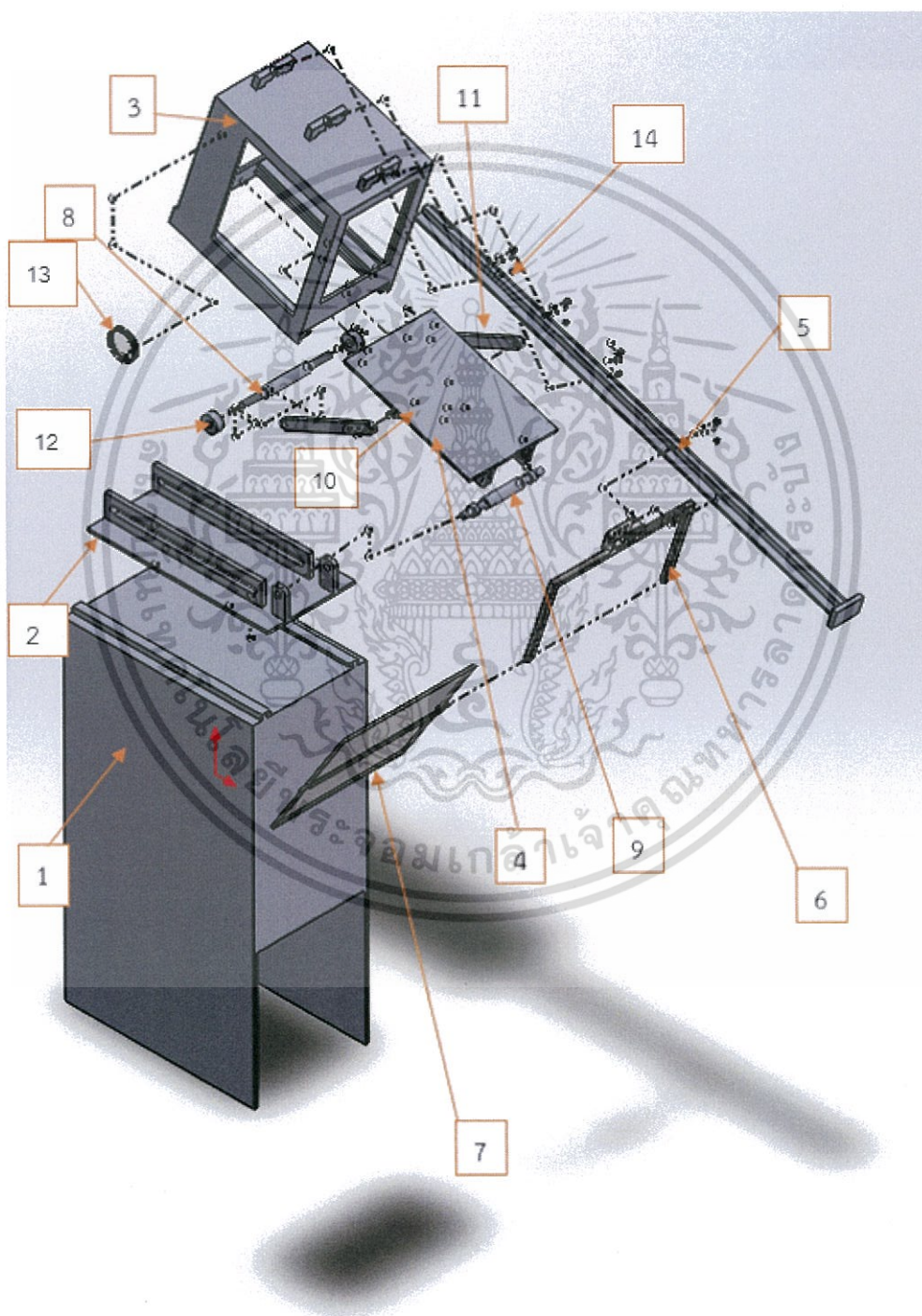


รูปที่ 3.2 PHYWE Power supply, high voltage DC : ± 25 kV, 0,5 mA

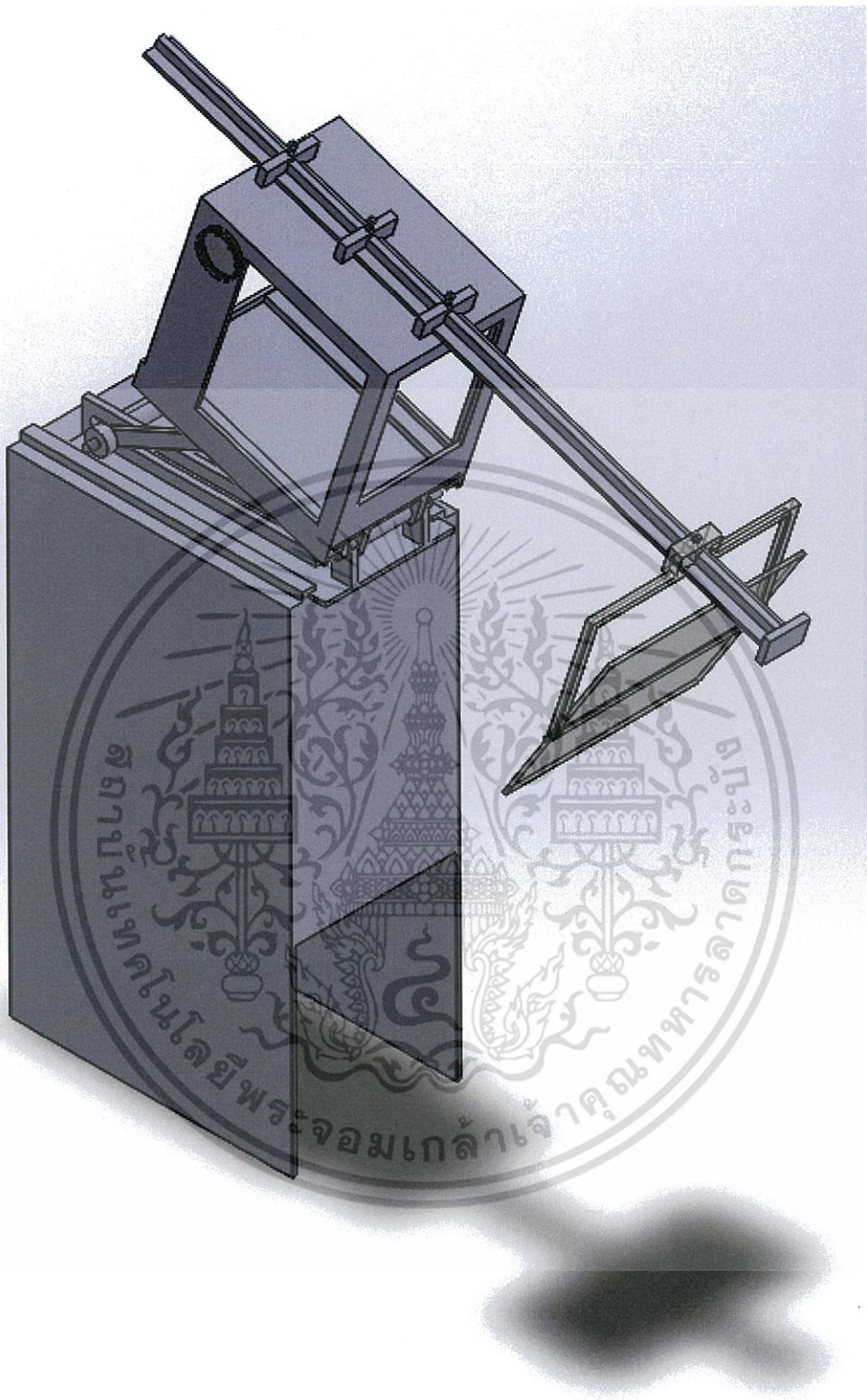
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบและพัฒนาแบบ

เป็นส่วนของการออกแบบ พัฒนาแบบเพื่อที่จะมารองรับตัวระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยโดยใช้โปรแกรม Solid Works ในการออกแบบและพัฒนาระบบเพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของเส้นใยที่ได้จากการปรับมุมระหว่างฐานรองรับเส้นใยกับตัวเข็มและฐานวางระบบกับพื้นที่ขนาดมุมต่าง ๆ

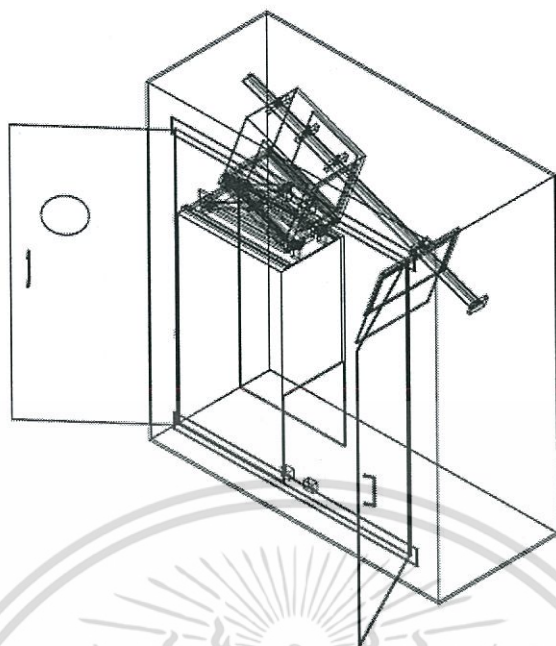


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ (ก) ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงอุปกรณ์ของฐานวางระบบ

(ก) ภาพแสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของฐานวางระบบ

(ข) ภาพแสดงลักษณะของฐานวางระบบที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้วในมุมมองไอโซเมตริก

(ค) ภาพแสดงลักษณะของฐานวางระบบที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้วพร้อมกับกล่องควบคุมสภาพแวดล้อมในมุมมองไอโซเมตริก

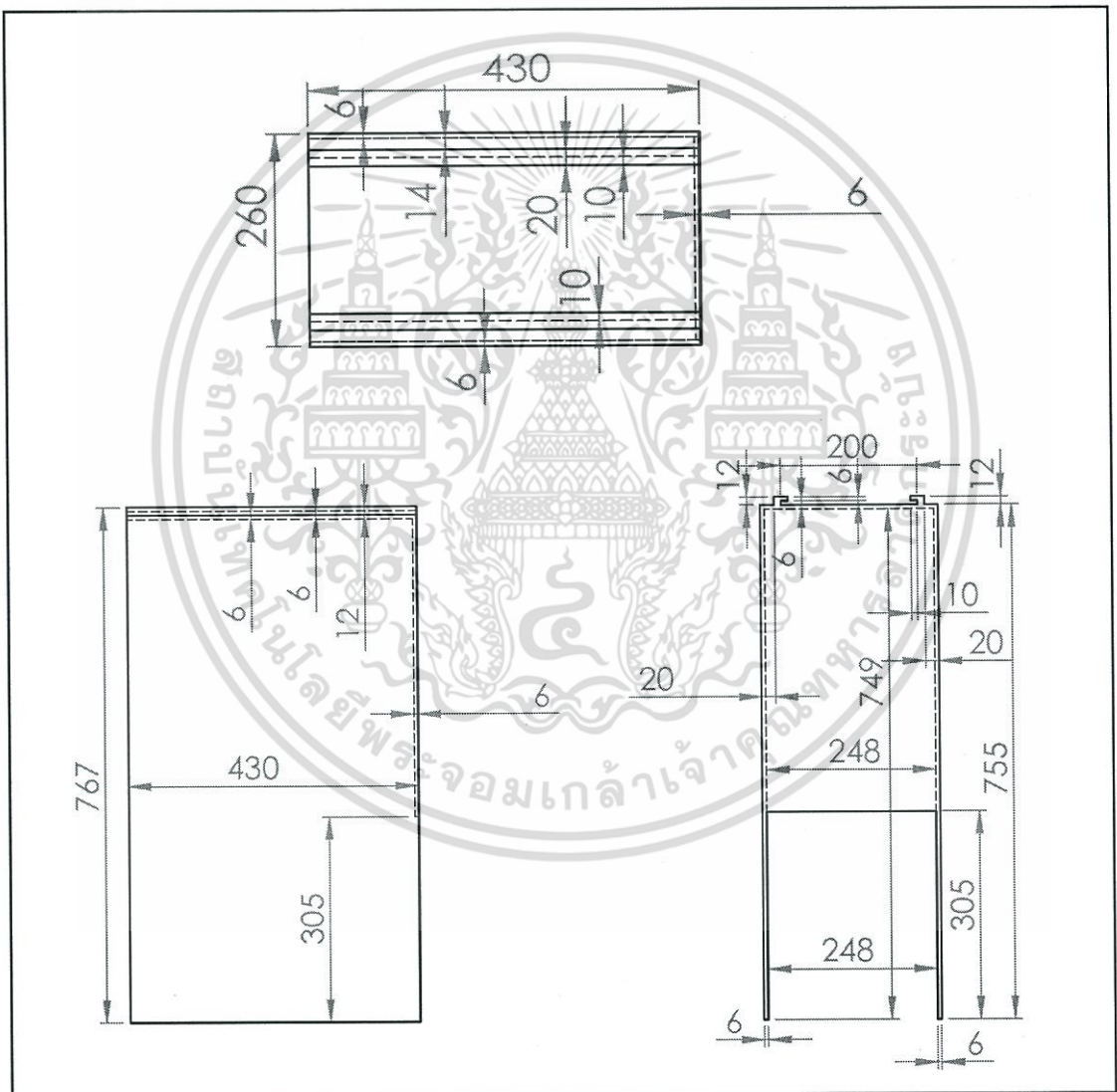
จากรูปที่ 3.3 (ก) ได้แสดงส่วนประกอบของฐานวางระบบที่ได้แสดงไว้ตามหมายเลขต่าง ๆ ดังนี้

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1. กล่องฐานวางระบบ | 2. ฐานปรับมุมระบบ |
| 3. กล่องใส่โซริงปัม | 4. ฐานกล่องโซริงปัม |
| 5. แกนปรับระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรับ | 6. แท่นเลื่อนแผ่นรับเส้นใย |
| 7. แผ่นรองรับเส้นใย | 8. แกนปรับมุมฐานวางโซริงปัมชิ้นที่ 1 |
| 9. แกนปรับมุมฐานวางโซริงปัมชิ้นที่ 2 | 10. แกนปรับมุมฐานวางโซริงปัมชิ้นที่ 3 |
| 11. แกนปรับมุมฐานวางโซริงปัมชิ้นที่ 4 | 12. น็อตล็อคแกนปรับมุมฐานวาง |
| 13. อุปกรณ์วัดมุม | 14. น็อตพลาสติก |
| 15. กล่องควบคุมสภาพแวดล้อม | |

โดยแบบของฐานวางระบบทั้งหมดที่ถูกพัฒนาและปรับปรุงขึ้นมาจนมีลักษณะดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.3 (ค) ที่ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนมากมาย ซึ่งทำมาจากอะคริลิกทั้งหมดโดยจะเอกสออธิบายถึงลักษณะของส่วนประกอบต่าง ๆ ดังน้การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

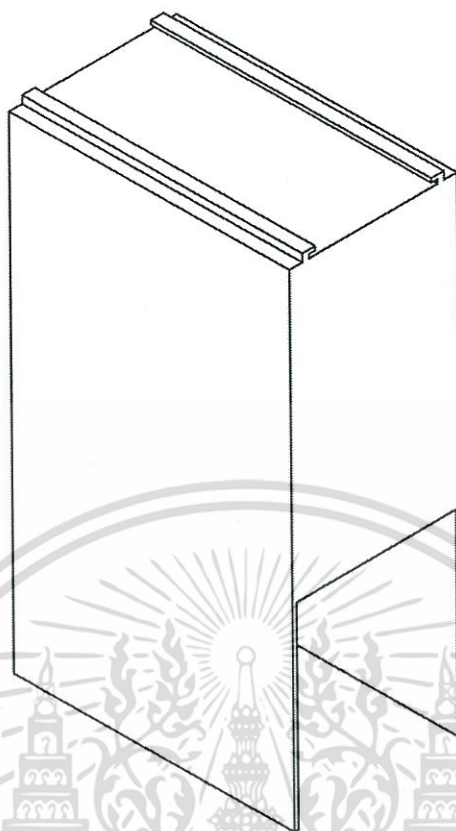
1. กล่องฐานวางระบบ

กล่องฐานวางระบบเป็นส่วนหลักที่จะใช้ในการรองรับน้ำหนักของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของฐานวางระบบที่ได้ออกแบบมา โดยจะมีลักษณะคล้ายกับกล่องที่มีช่องว่างเพียงด้านหน้าเท่านั้น เพื่อนำไปติดตั้งภายในกล่องควบคุมสภาพแวดล้อม ดังรูปที่ 3.3 (ค) ตัวกล่องทำจากแผ่นอะคริลิกหนา 6 mm โดยมีความกว้าง 260 mm ยาว 430 mm และสูง 767 mm ด้านบนของกล่องจะมีลักษณะเป็นสล็อตที่มีขนาดช่องกว้าง 200 mm ร ยาว 430 mm และสูง 6 mm สำหรับใส่ฐานปรับมุมระบบที่จะเชื่อมต่อกับส่วนต่าง ๆ ของฐานวางระบบในส่วนถัดไป ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 3.4



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.4 ภาพแสดงฐานวางไซริงปั๊ม NE-300

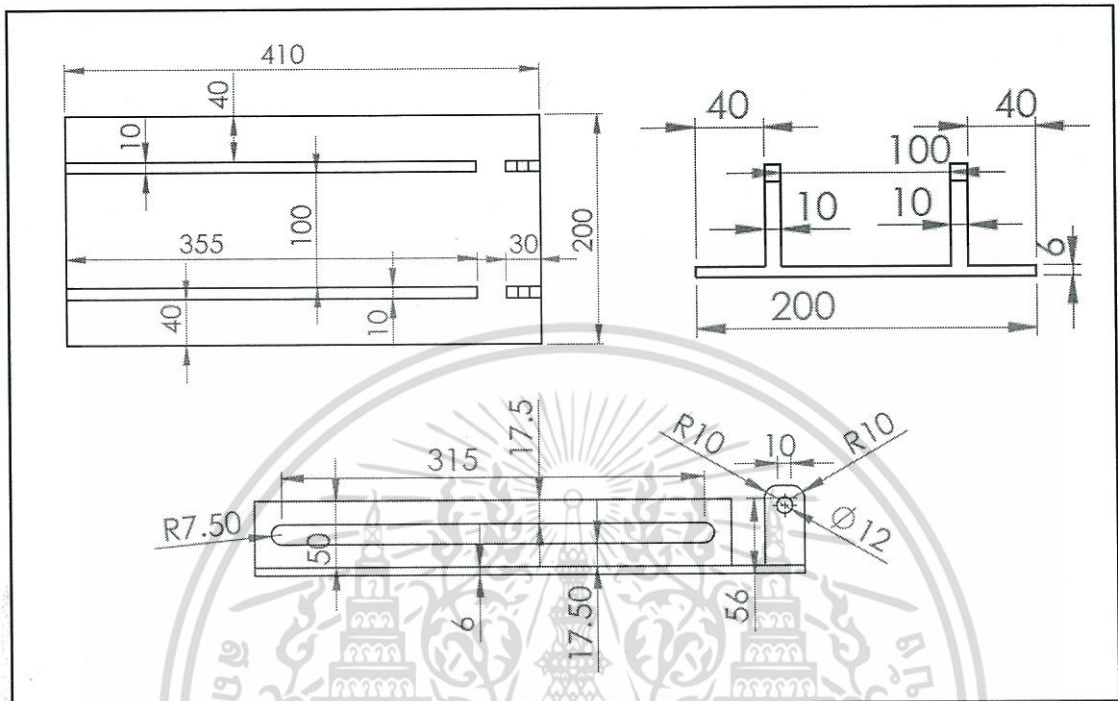
(ก) ภาพแสดงขนาดฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองต่าง ๆ

(ข) ภาพแสดงฐานวาง NE-300 ในมุมมองไอโซเมตริก

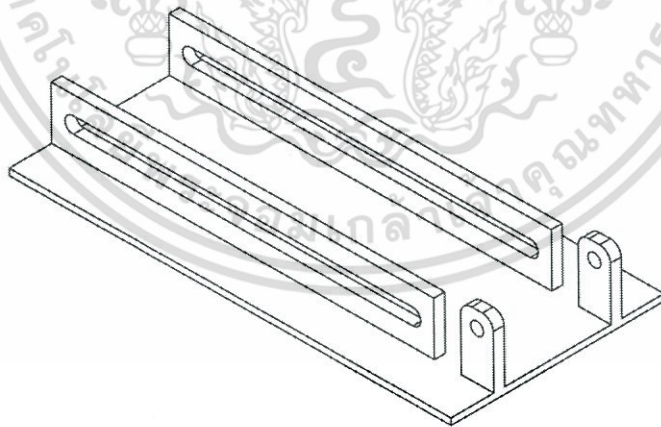
2. ฐานปรับมุมระบบ

ฐานปรับมุมระบบเป็นชิ้นส่วนหลักที่จะทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนมุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตได้ โดยมีฐานล่างเป็นแผ่นอะคริลิกบางที่มีความหนา 6 mm กว้าง 200 mm และยาว 410 mm ส่วนด้านบน จะมีลักษณะเป็นช่องสำหรับใส่แกนปรับมุมต่าง ๆ ที่จะใช้ในการเลื่อนเพื่อปรับเปลี่ยนมุมของระบบ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ด้วยกัน โดยส่วนแรกเป็นแผ่นอะคริลิกหนา 10 mm ยาว 355 mm และสูง 50 mm สองแผ่น ส่วนกลางของแต่ละแผ่นจะมีลักษณะเป็นสล็อตตรง ขนาดกว้าง 15 mm ยาว 315 mm และมีรัศมีอยู่ที่ 7.5 mm เชื่อมติดให้ชิดกับขอบทางด้านซ้ายของฐานปรับมุมระบบโดยตั้งห่างจากกัน 100 mm และจะห่างจากขอบริมทั้งสองด้านเข้ามาด้านละ 40 mm ส่วนที่สองเป็นแผ่นอะคริลิกหนา 10 mm กว้าง 30 mm และสูง 66 mm สองแผ่น ส่วนบนของแต่ละแผ่นถูกเจาะให้มีลักษณะเป็นช่องวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ซึ่งจะมีตำแหน่งสูงจากพื้นของฐานปรับมุมระบบ 50 mm และมีจุดศูนย์กลางห่างจากด้านหน้าของฐานปรับมุมอยู่ที่ 15 mm ส่วนที่สองนี้จะเชื่อมติดให้ชิดกับขอบ

ทางด้านขวาของฐานปรับมุมระบบ ตั้งห่างจากกันอยู่ที่ 100 mm ห่างจากขอบในแนวยาวของฐานปรับมุมระบบอยู่ที่ 40 mm ตามที่ได้แสดงอยู่ดังรูปที่ 3.5



(ก)



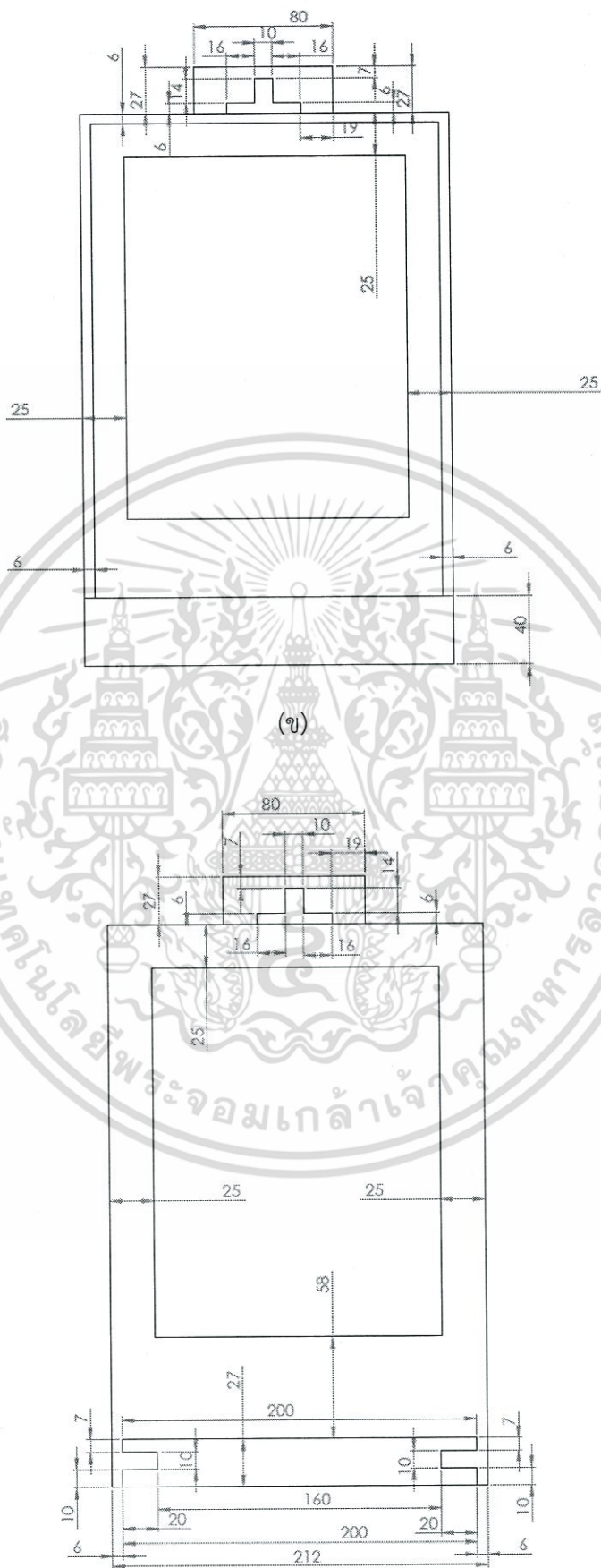
(ข)

รูปที่ 3.5 ภาพแสดงฐานปรับมุมระบบ

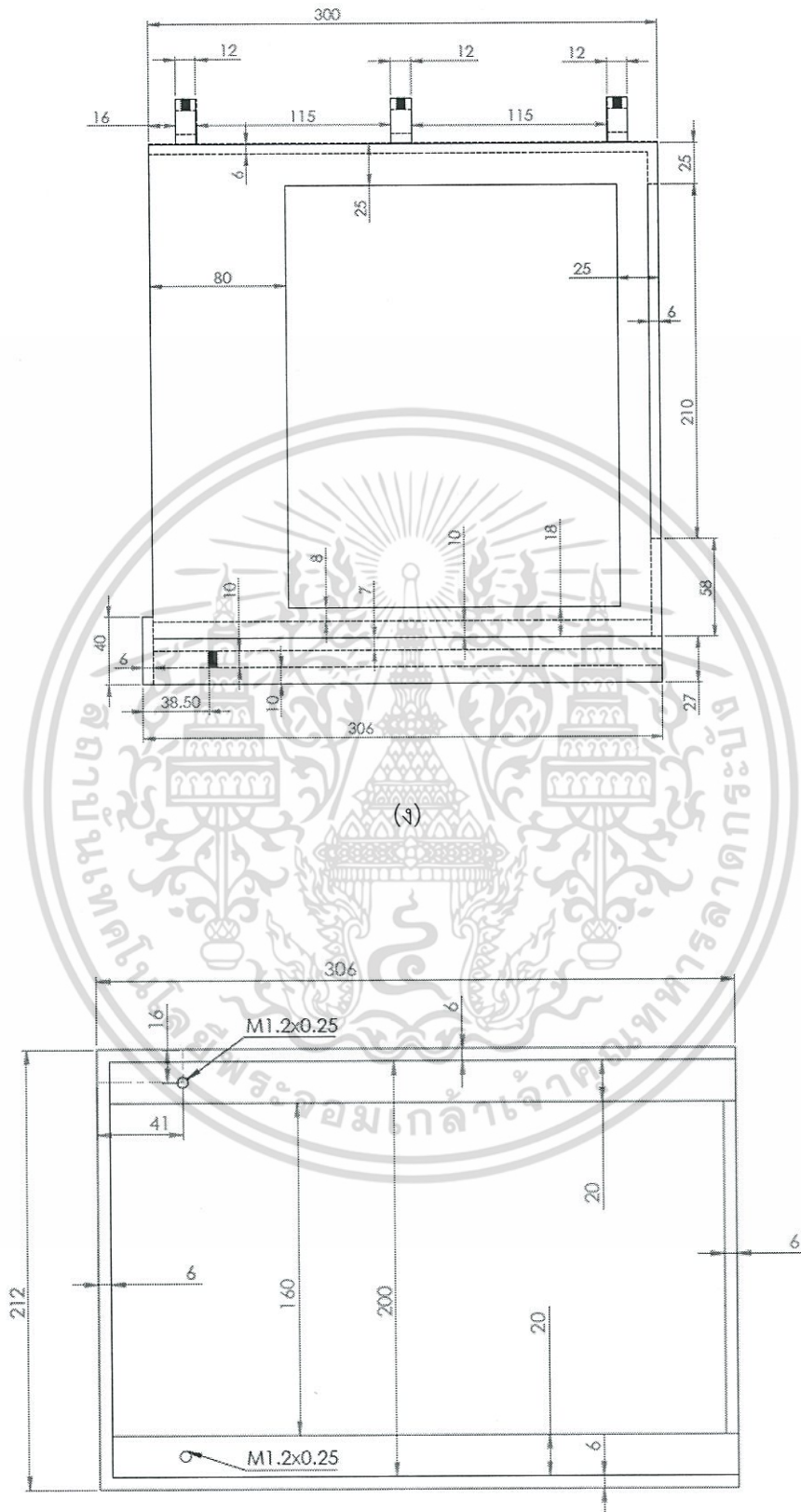
(ก) ภาพแสดงขนาดฐานปรับมุมระบบในมุมมองต่าง ๆ

(ข) ภาพแสดงฐานปรับมุมระบบในมุมมองไอโซเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

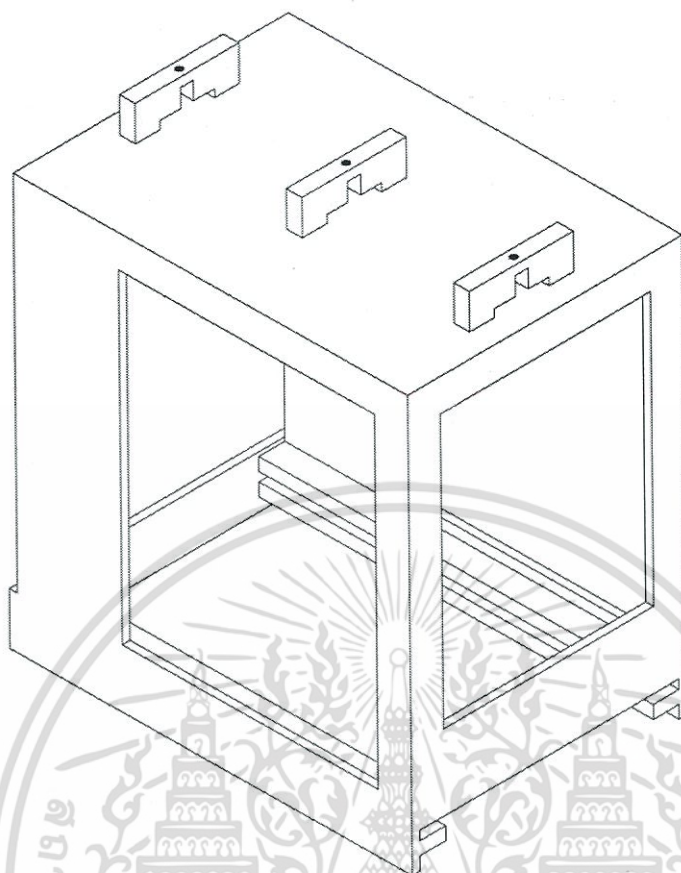


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

รูปที่ 3.6 ภาพแสดงกล่องใส่ไซริงค์

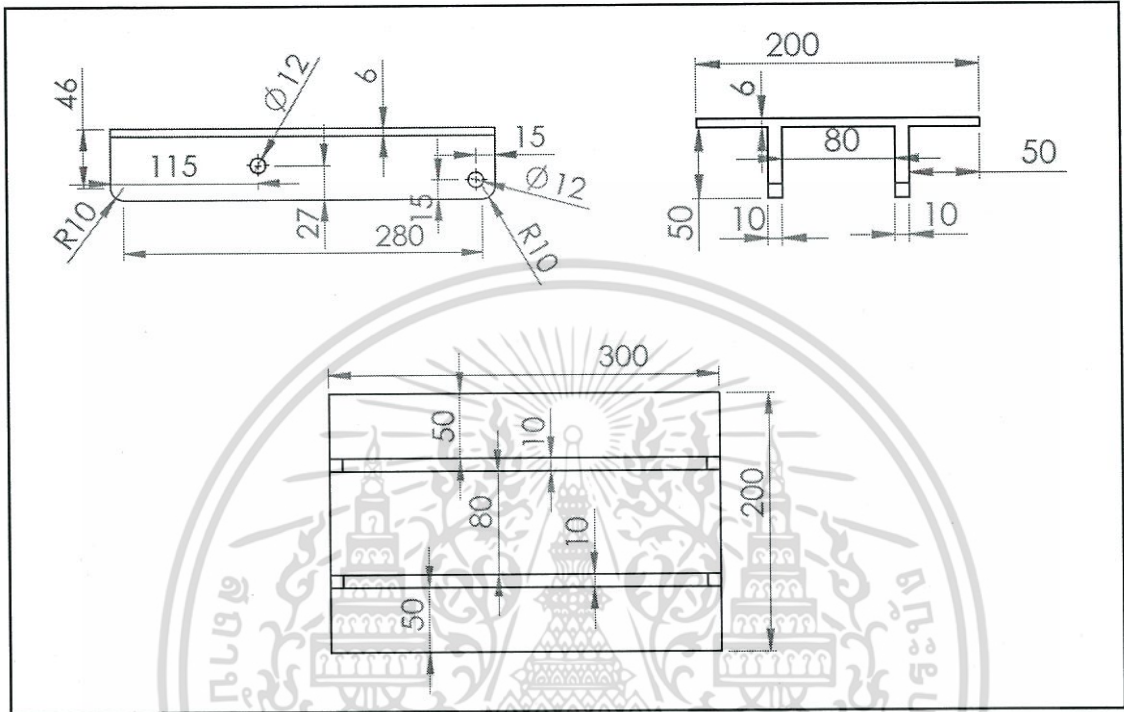
- (ก) ภาพแสดงขนาดกล่องใส่ไซริงค์ในมุมมองจากด้านบน
- (ข) ภาพแสดงขนาดกล่องใส่ไซริงค์ในมุมมองจากด้านหน้า
- (ค) ภาพแสดงขนาดกล่องใส่ไซริงค์ในมุมมองจากด้านหลัง
- (ง) ภาพแสดงขนาดกล่องใส่ไซริงค์ในมุมมองจากด้านข้าง
- (จ) ภาพแสดงขนาดกล่องใส่ไซริงค์ในมุมมองจากด้านล่าง
- (ฉ) ภาพแสดงกล่องใส่ไซริงค์ในมุมมองไอโซเมตริก

4. ฐานกล่องใส่ไซริงค์

ในส่วนของฐานกล่องใส่ไซริงค์จะมีลักษณะเป็นแผ่นอะคริลิกบางมีความกว้าง 200 mm ยาว 300 mm และหนา 6 mm วางอยู่บนแผ่นอะคริลิกหนาซึ่งยาว 300 mm สูง 50 mm และหนา 10 mm สองแผ่น เมื่อมองจากทางด้านขวาแผ่นอะคริลิกหนาทั้งสองมีลักษณะสมมาตรโดยจะตั้งห่างจากขอบทางด้านซ้ายและขวาของแผ่นอะคริลิกบางอยู่ 50 mm ช่วงกลางห่างกัน 80 mm เมื่อมองจากทางด้านหน้าแผ่นอะคริลิกหนาแนวตั้งจะมีช่องว่างสองช่องสำหรับใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวงวิชาการที่ควรตีพิมพ์เท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใส่แกนที่ใช้หมุนปรับมุมซึ่งตัวช่องว่างวงกลมช่องแรกจุดศูนย์กลางจะอยู่ห่างจากทางด้านขวา และด้านล่างอยู่ที่ 15 mm และช่องที่สองจุดศูนย์กลางอยู่ห่างจากด้านขวา 115 mm และห่างจากด้านล่าง 27 mm ดังที่ได้แสดงรายละเอียดอยู่ในรูปที่ 3.7



(ข)

รูปที่ 3.7 ภาพแสดงฐานกล่องใส่ไซริงปั๊ม

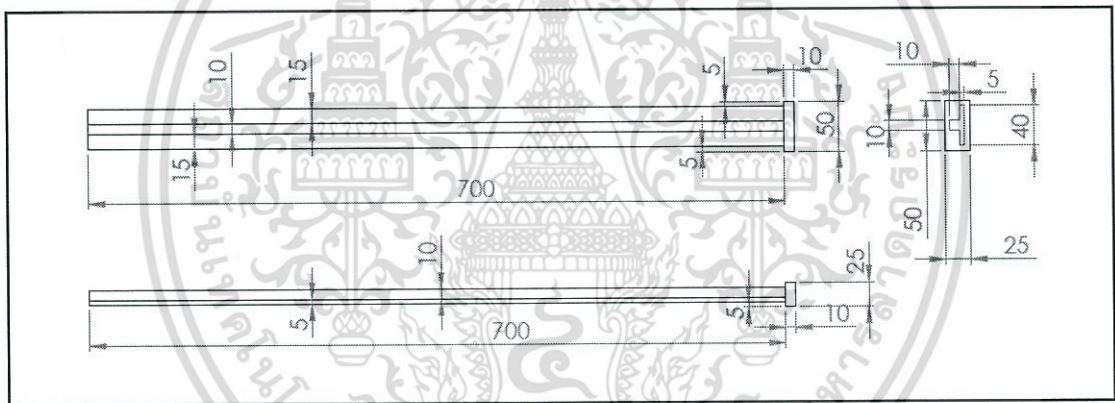
(ก) ภาพแสดงขนาดฐานกล่องใส่ไซริงปั๊มในมุมมองต่าง ๆ

(ข) ภาพแสดงฐานกล่องใส่ไซริงปั๊มในมุมมองไอโซเมตริก

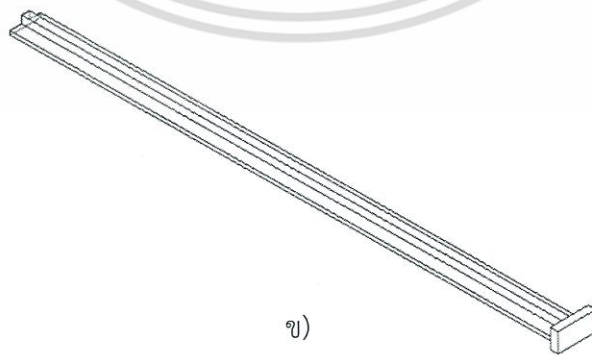
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แขนปรับระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรับ

เป็นส่วนที่จะเชื่อมต่อกับกล่องโซริงบีบตามช่องที่มีและจะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับแท่นเลื่อนแผ่นรับเส้นใยที่จะเลื่อนไปตามแนวยาวของแกนปรับระยะห่างเพื่อใช้ในการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นรับเส้นใยและปลายเชื่อมในการทดลองที่ระยะต่าง ๆ โดยจะมีความยาวของแกนอยู่ที่ 700 mm แกนปรับระยะจะมีลักษณะคล้ายรูปตัวทีกลับหัวเพื่อการรับน้ำหนักของแท่นปรับระยะแผ่นรับเส้นใยรวมกับแผ่นรับเส้นใย ซึ่งฐานรองจะใช้แผ่นอะคริลิกหนา 5 mm กว้าง 50 mm ยาว 700 mm โดยมีแท่งอะคริลิกสูง 10 mm กว้าง 10 mm และยาว 700 mm เชื่อมต่อที่บริเวณกึ่งกลางของแผ่นอะคริลิกที่เป็นฐานรอง ด้านหัวต่ออยู่กับแผ่นอะคริลิกหนา 10 mm ขนาดกว้าง 40 mm สูง 25 mm เพื่อใช้ในการป้องกันการเคลื่อนของแท่นปรับระยะแผ่นรับเส้นใยที่จะหลุดออกจากแกนเมื่อไม่มีการล๊อคยึดติดกับตัวแกนปรับระยะไว้ซึ่งใยจะติดอยู่ที่ด้านขวาของแกนปรับระยะ และจะติดอยู่กึ่งกลางของแกนปรับระยะพอดีโดยจะมีระยะห่างจากแกนปรับระยะด้านละ 5 mm ดังที่ได้แสดงรายละเอียดอยู่ในรูปที่ 3.8



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 ภาพแสดงแกนปรับระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรับ

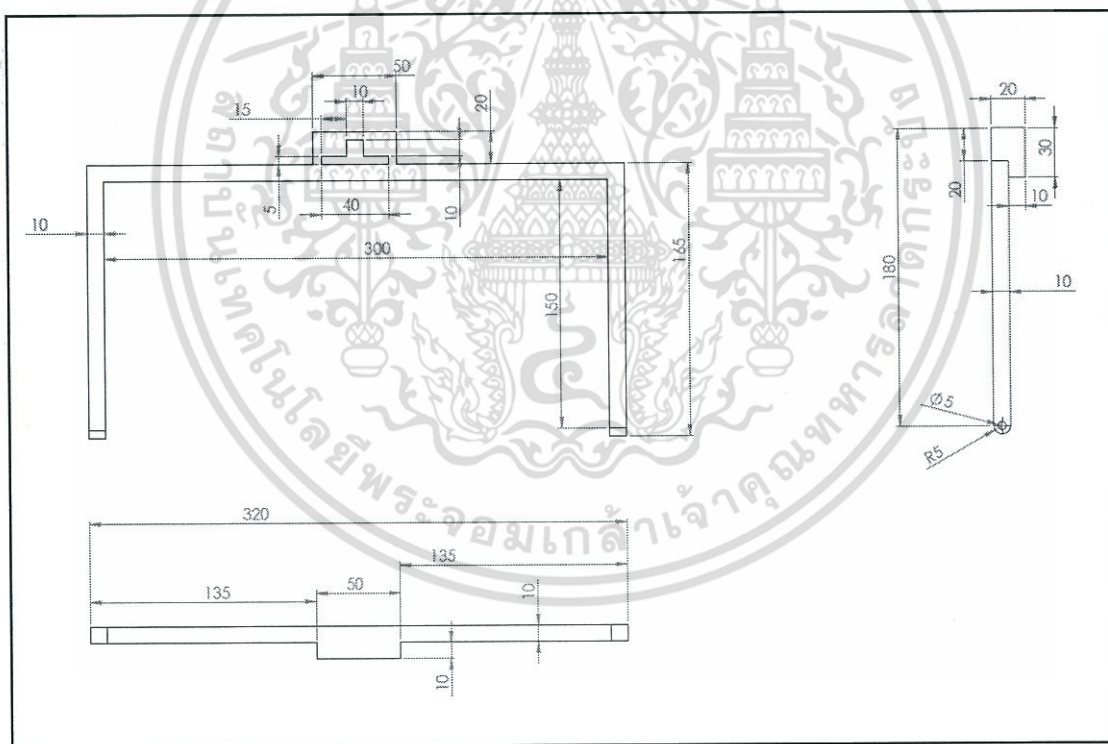
(ก) ภาพแสดงขนาดของแกนปรับระยะห่างในมุมมองต่าง ๆ

(ข) ภาพแสดงแกนปรับระยะห่างในมุมมองไอโซเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

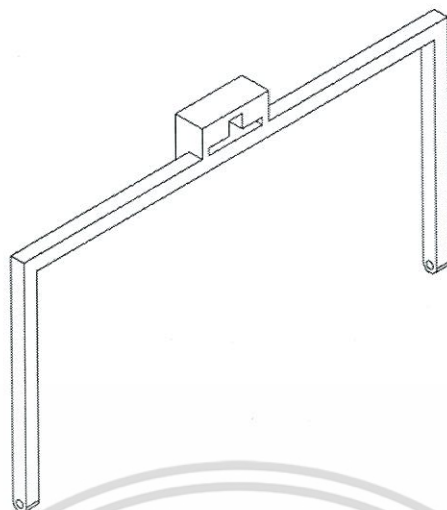
6. แท่นเลื่อนแผ่นรับเส้นใย

เป็นส่วนของแท่นที่จะเชื่อมต่อกับแผ่นรับเส้นใยและมีช่องสำหรับใส่ประกอบเข้ากับแกนปรับระยะแผ่นรับเส้นใย ซึ่งช่องว่างสำหรับใส่แกนปรับระยะจะมีขนาดพอดีกัน อยู่ที่สูง 5 mm ยาว 40 mm สำหรับช่องด้านล่าง และมีช่องตรงกลางสูงขึ้นไป 10 mm กว้าง 10 mm และเมื่อมองจากทางด้านบนจะมีช่องเกลียวสำหรับใส่สกรูขนาด M1.2 x 0.25 อยู่ตรงกลางของแท่งอะคริลิกที่มีความกว้าง 50 mm หนา 20 mm สูง 20 mm ประกอบอยู่กับแท่งอะคริลิกที่ถูกสร้างขึ้นมาสำหรับการใส่ส่วนของแกนหมุนแผ่นรับเส้นใยโดยจะมีลักษณะเป็นแท่งกว้าง 10 mm สูง 10 mm ยาว 320 mm ตามแนวนอนเมื่อมองจากทางด้านหน้าติดอยู่กับแท่งอะคริลิกตามแนวตั้งที่มีความกว้าง 10 mm ยาว 10 mm สูง 150 mm และมีส่วนล่างของแท่งลักษณะเป็นครึ่งวงกลมรัศมี 5 mm เชื่อมติดกับมุมด้านซ้ายและขวาของแท่งอะคริลิกในแนวนอน ในส่วนช่องใส่แกนหมุนของแผ่นรองรับเส้นใยจะเป็นช่องวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm มีจุดศูนย์กลางห่างจากด้านล่างของแท่งอะคริลิกในแนวนอนอยู่ที่ 150 mm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.9



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

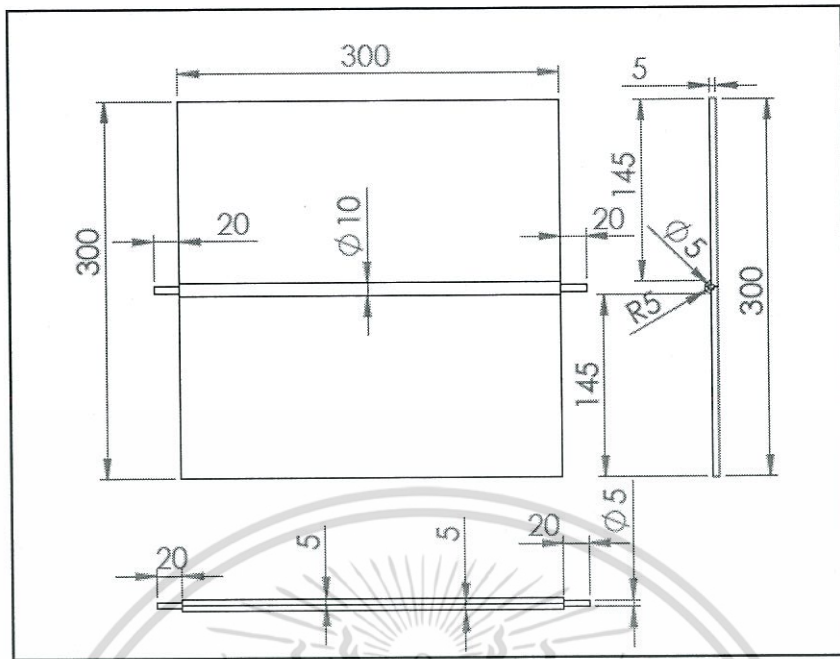
รูปที่ 3.9 ภาพแสดงแท่นเลื่อนแผ่นรองรับเส้นใย

(ก) ภาพแสดงขนาดของแท่นเลื่อนแผ่นรองรับเส้นใยในมุมมองต่าง ๆ

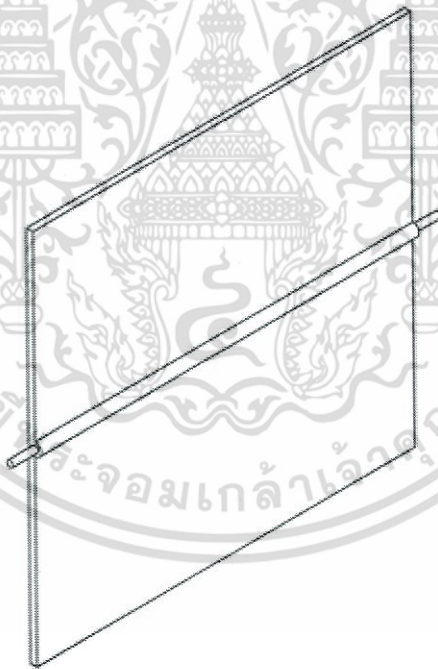
(ข) ภาพแสดงแท่นเลื่อนแผ่นรองรับเส้นใยในมุมมองไอโซเมตริก

7. แผ่นรองรับเส้นใย

ในส่วนของแผ่นรองรับเส้นใยจะเป็นชิ้นส่วนของแผ่นอะคริลิกที่จะนำไปใช้ในการวางวัตถุที่ใช้ในการสะสมเส้นใย แผ่นรองรับเส้นใยสร้างขึ้นมาจากแผ่นอะคริลิกมีความหนา 5 mm กว้าง 300 mm สูง 300 mm ที่กึ่งกลางแผ่นจะมีช่องสำหรับใส่แกนหมุนในแนวนอนมีลักษณะคล้ายหลอดที่มีรัศมี 5 mm อยู่ห่างจากด้านล่างและด้านบนของแผ่นรองรับเส้นใยด้านละ 145 mm และถูกเจาะช่องตรงกลางมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm ซึ่งจะถูกรวมติดกับแกนหมุนที่ทำมาจากแท่งอะคริลิกทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm มีความยาว 340 mm ซึ่งจะถูกรวมติดกับแผ่นรองรับเส้นใยในลักษณะสมมาตรมีระยะห่างระหว่างปลายแกนหมุนกับขอบทางด้านซ้ายและขอบทางด้านขวาของแผ่นรองรับเส้นใย 20 mm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.10



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.10 ภาพแสดงแผ่นรองรับเส้นใย

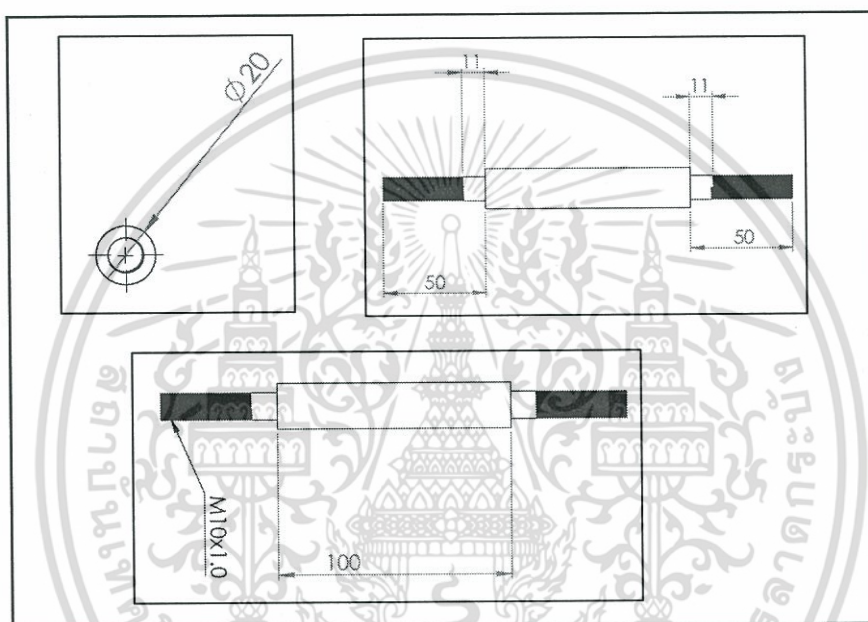
(ก) ภาพแสดงขนาดของแผ่นรองรับเส้นใยในมุมมองต่าง ๆ

(ข) ภาพแสดงแผ่นรองรับเส้นใยในมุมมองไอโซเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. แกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊มชั้นที่ 1

ในส่วนของแกนปรับมุมฐานวางชั้นที่ 1 จะมีลักษณะเป็นแท่งอะคริลิกทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ยาว 100 mm และมีแท่งอะคริลิกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ต่อกออกมาจากตัวแท่งอะคริลิกขนาดใหญ่ โดยแท่งขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ที่ยื่นออกมาจากทั้งสองฝั่งยาว 50 mm จะมีการทำเกลียวขนาด M10 x 0.1 เข้าไปจากด้านนอกฝั่งละ 40 mm โดยประมาณ เป็นส่วนหนึ่งจาก 4 ชั้นที่จะถูกนำไปประกอบกันเป็นระบบปรับมุมของฐานวางระบบดังที่ได้แสดงให้เห็นอยู่ในรูปที่ 3.11



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.11 ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300

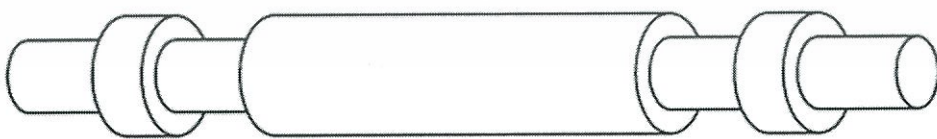
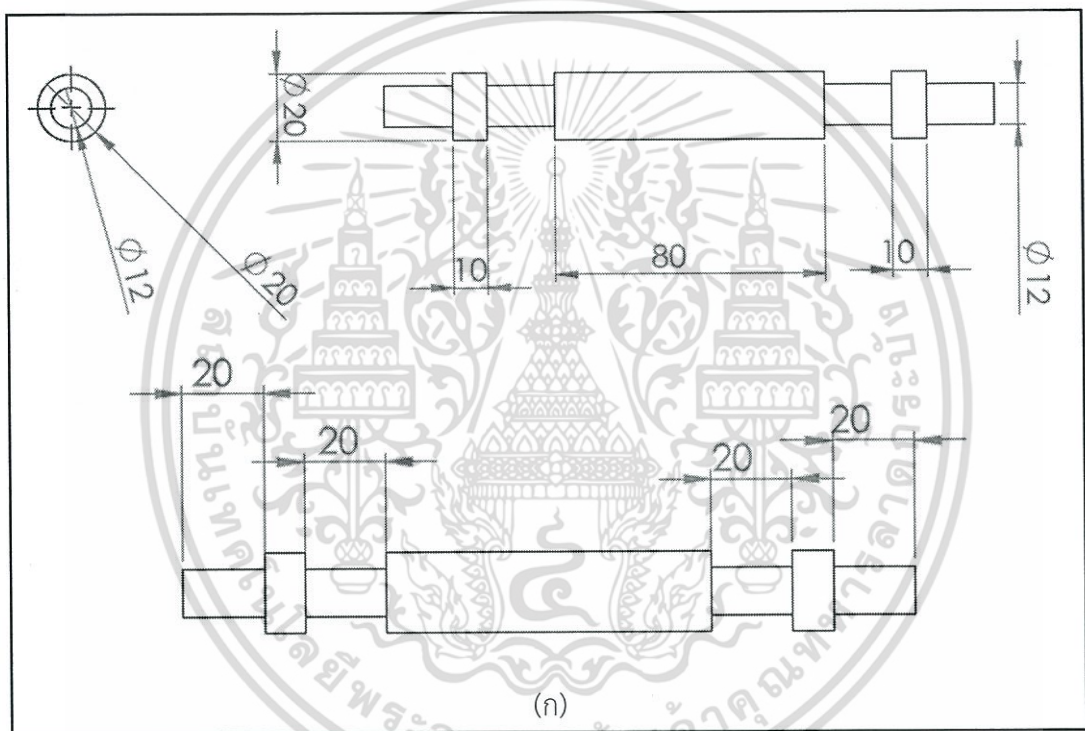
(ก) ภาพแสดงขนาดของแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองต่าง ๆ

(ข) ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองไอโซเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. แกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊มชั้นที่ 2

แกนชิ้นส่วนนี้จะมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกสมมาตรเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm และ 20 mm ยาวทั้งหมด 180 mm ในส่วนกลางจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นขนาด 20 mm ยาว 80 mm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ต่อจากทรงกระบอกตรงกลางด้านละ 20 mm ต่อด้วยทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ทั้งสองด้านเป็นระยะ 10 mm และต่อด้วยทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ทั้งสองด้านเป็นระยะ 20 mm เป็นส่วนหนึ่งจาก 4 ชิ้นที่จะถูกนำไปประกอบกันเป็นระบบปรับมุมของฐานวางระบบดังที่ได้แสดงให้เห็นอยู่ในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300

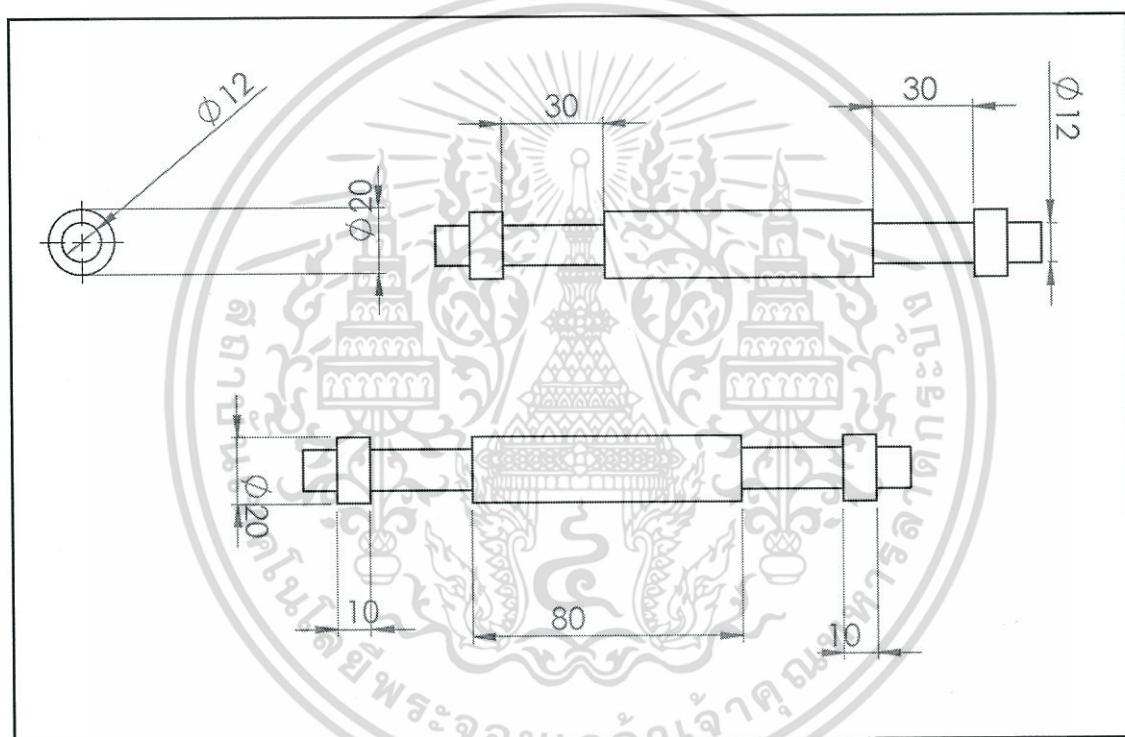
(ก) ภาพแสดงขนาดของแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองต่าง ๆ

(ข) ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองไอโซเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. แกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊มชั้นที่ 3

แกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊มชั้นที่ 2 มีลักษณะเป็นทรงกระบอกสมมาตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm และ 20 mm ยาวทั้งหมด 180 mm โดยตรงกลางจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขอบนอก 20 mm ยาว 80 mm และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขอบใน 12 mm ต่อจากทรงกระบอกตรงกลางด้านละ 30 mm ต่อด้วยทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ทั้งสองด้านเป็นระยะ 10 mm และต่อด้วยทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ทั้งสองด้าน เป็นระยะ 10 mm เป็นส่วนหนึ่งจาก 4 ชิ้น ที่จะถูกนำไปประกอบกันเป็นระบบปรับมุมของฐานวางระบบดังที่ได้แสดงให้เห็นอยู่ในรูปที่ 3.13



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300

(ก) ภาพแสดงขนาดของแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองต่าง ๆ

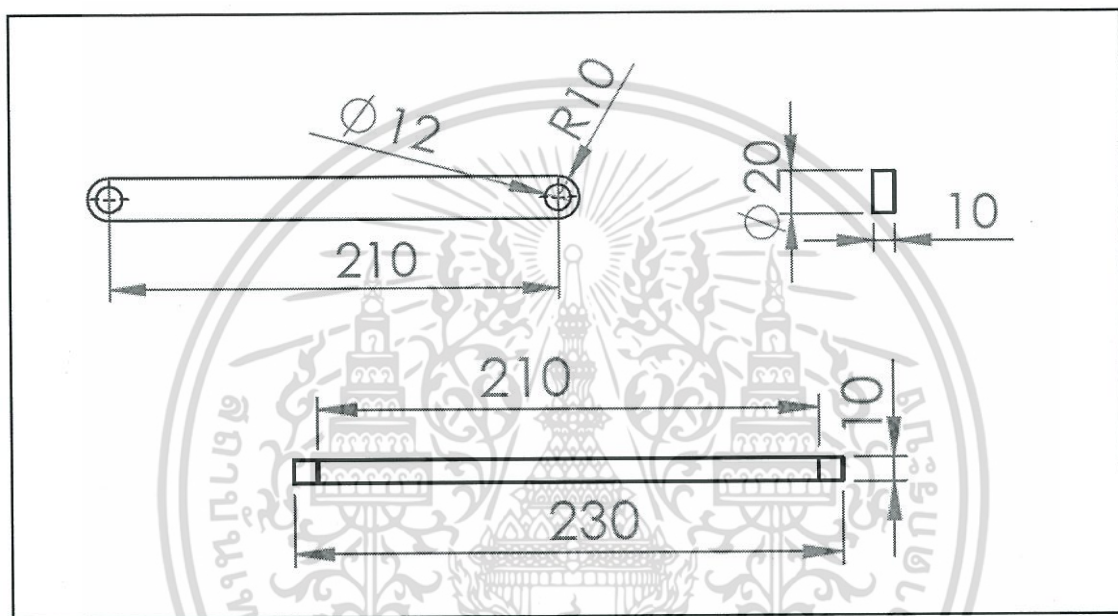
(ข) ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองไอโซเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการค้า การบริการ การศึกษา การวิจัย การพัฒนา การฝึกอบรม การประชาสัมพันธ์ การเผยแพร่ การโฆษณา การบริการลูกค้า การบริการผู้ถือหุ้น การบริการสื่อมวลชน การบริการหน่วยงานราชการ การบริการหน่วยงานต่างประเทศ การบริการหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง การบริการลูกค้า การบริการผู้ถือหุ้น การบริการสื่อมวลชน การบริการหน่วยงานราชการ การบริการหน่วยงานต่างประเทศ การบริการหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. แกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊มขั้นที่ 4

มีลักษณะเป็นแท่งอะคริลิกขนาดกว้าง 10 mm ความยาวทั้งหมด 230 mm และสูง 20 mm โดยจะมีช่องวงกลมทรงกระบอกขนาดรัศมี 12 mm สำหรับนำไปประกอบเป็นระบบปรับมุม ซึ่งจะมีระยะห่างระหว่างกันอยู่ 210 mm ในส่วนปลายของแท่งอะคริลิก จะถูกทำให้เป็นปลายรูปครึ่งทรงกลมมีจุดศูนย์กลางเดียวกันกับช่องที่ถูกเจาะมีรัศมีอยู่ที่ 10 mm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.14



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.14 ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300

(ก) ภาพแสดงขนาดของแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองต่าง ๆ

(ข) ภาพแสดงแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองไอโซเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. น็อตล็อคแกนปรับมุมฐานวาง

เป็นชิ้นส่วนสำหรับใช้ในการล็อคระยะของแกนปรับมุมฐานวางชั้นที่ 1 ที่ใส่อยู่ในช่องเลื่อนของฐานปรับมุมระบบที่ประกอบอยู่กับแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊มชั้นที่ 4 ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 mm หนา 15 mm และมีช่องขนาด 12 mm โดยประมาณที่ถูกทำเกลียวขนาด M10 x 1.0 ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ภาพแสดงล็อคแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300

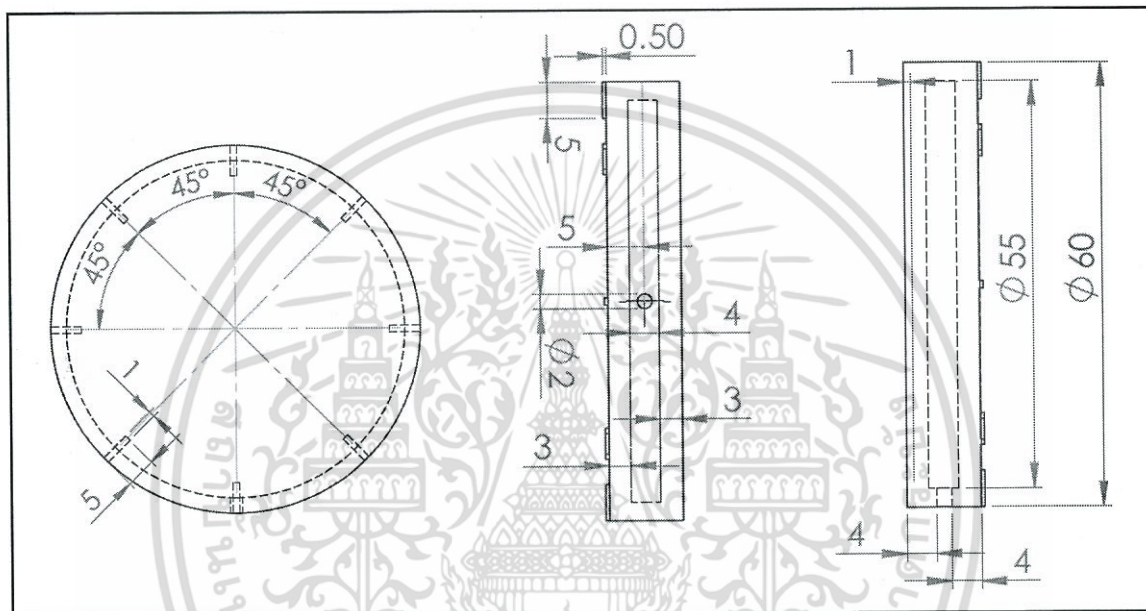
(ก) ภาพแสดงขนาดของล็อคแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองต่าง ๆ

(ข) ภาพแสดงล็อคแกนปรับมุมฐานวางไซริงปั๊ม NE-300 ในมุมมองไอโซเมตริก

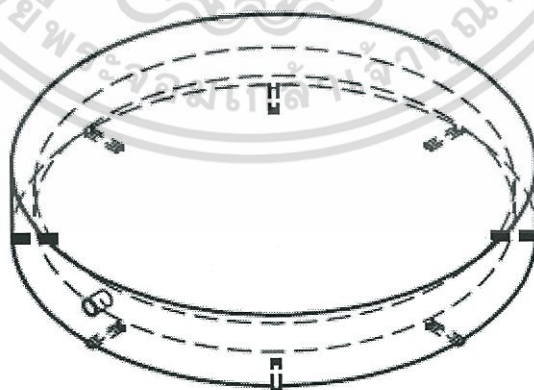
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. อุปกรณ์วัดมุม

เป็นชิ้นส่วนเสริมที่ช่วยในการวัดมุมของฐานวางระบบซึ่งจะติดอยู่กับตัวกล่องไซริงปัม มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm หนา 10 mm มีช่องว่างมีลักษณะเป็นทรงกระบอกอยู่ภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 mm หนา 4 mm และเมื่อมองจากด้านบนจะมีช่องที่ถูกเจาะสำหรับใส่น้ำเข้าไปในช่องว่าง และเมื่อมองจากด้านหน้าจะมีการ ลงเส้นสำหรับวัดมุม ความยาว 5 mm อยู่โดยรอบทั้งหมด 8 เส้น ทำมุมต่อกัน 45° ดังรูปที่ 3.16



(ก)



(ข)

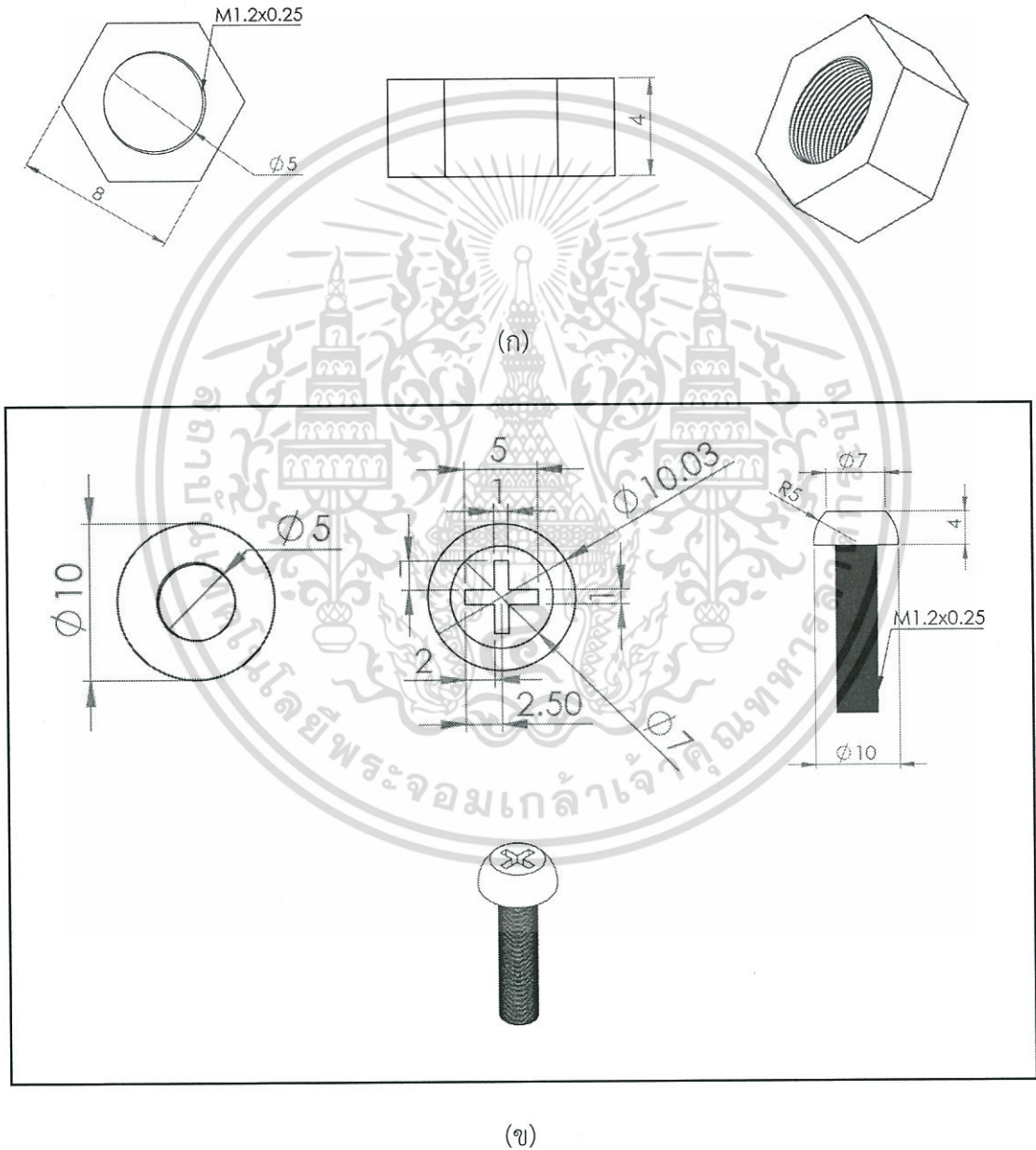
รูปที่ 3.16 ภาพแสดงแกนอุปกรณ์วัดมุม

(ก) ภาพแสดงอุปกรณ์วัดมุมในมุมมองต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (ข) ภาพแสดงอุปกรณ์วัดมุมในมุมมองไอโซเมตริก ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. น็อตพลาสติก

ในส่วนของน็อตจะแบ่งเป็นน็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย โดยน็อตตัวผู้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีหัวคล้ายครึ่งทรงกลมที่ถูกตัดออกมีความยาว 20 mm และน็อตตัวเมียมีลักษณะเป็นหกเหลี่ยมที่มีระยะห่างระหว่างสองด้านอยู่ที่ 8 mm มีความหนาอยู่ที่ 4 mm ดังที่ได้แสดงรายละเอียดอยู่ในรูปที่ 3.17

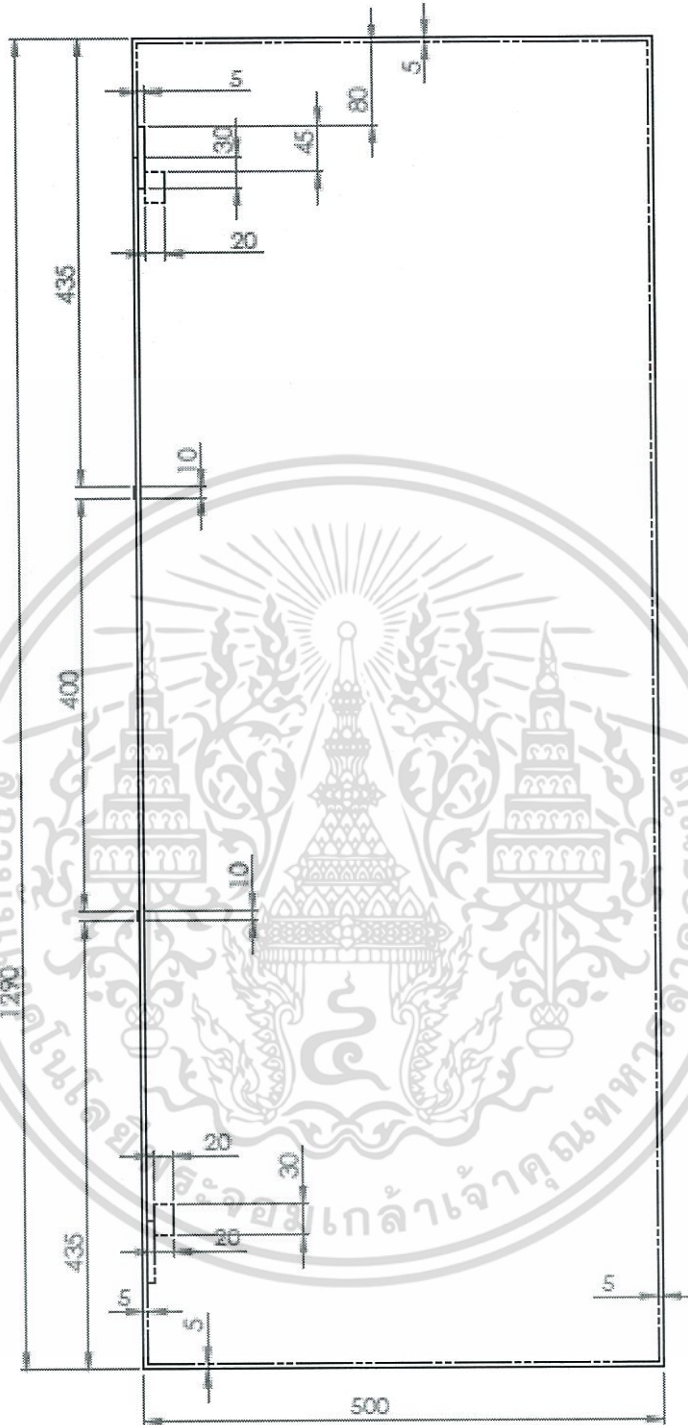


รูปที่ 3.17 ภาพแสดงน็อต

(ก) น็อตตัวเมีย

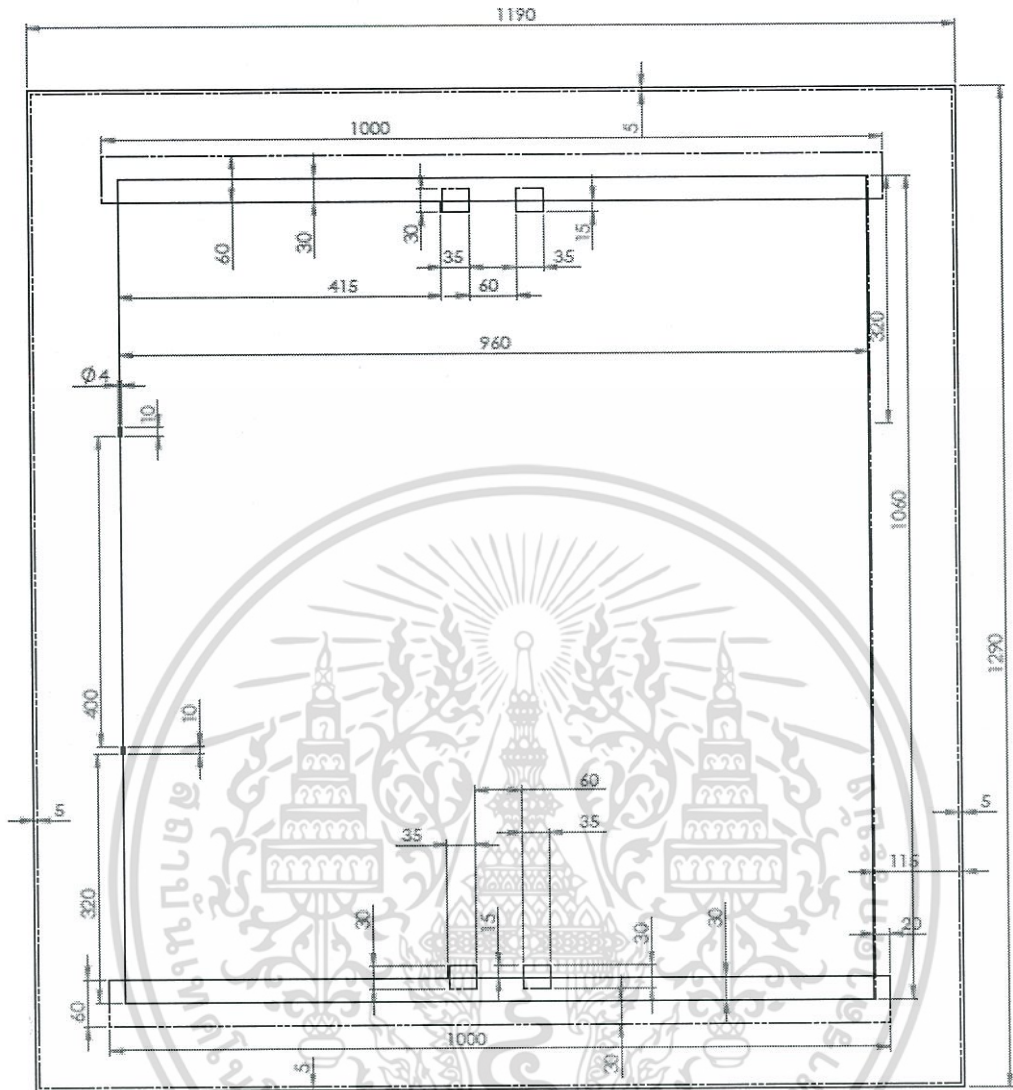
(ข) น็อตตัวผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

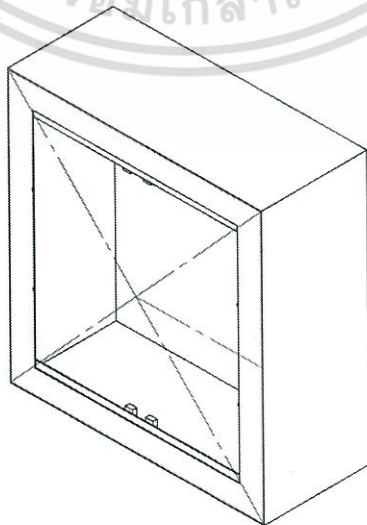


(ข)

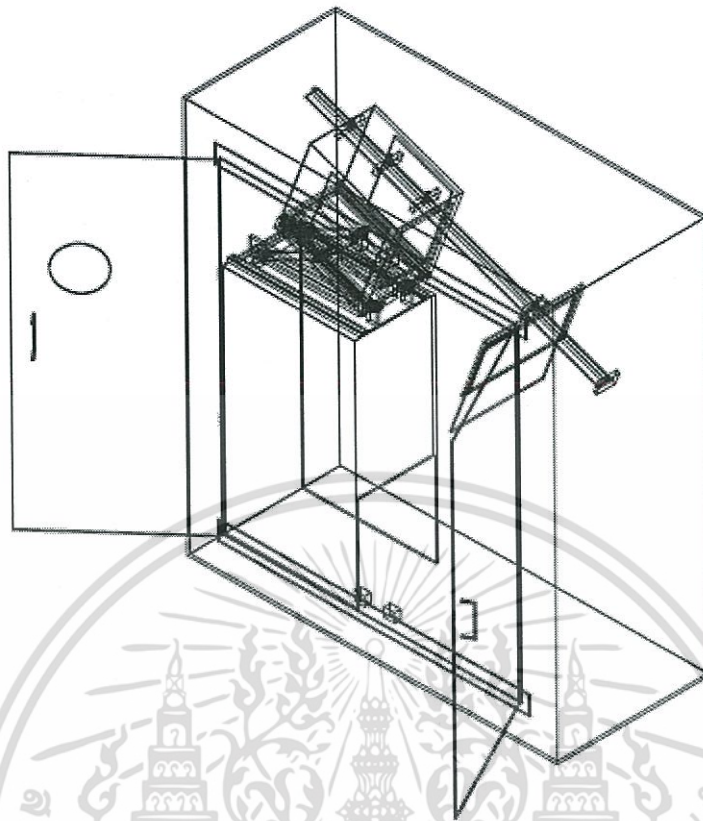
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ณ)

- รูปที่ 3.18 ภาพแสดงรายละเอียดและขนาดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกล้องควบคุมสภาพแวดล้อม
- (ก) ภาพของกล้องควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีการระบุขนาดในมุมมองจากด้านบน
 - (ข) ภาพของกล้องควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีการระบุขนาดในมุมมองจากด้านขวา
 - (ค) ภาพของกล้องควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีการระบุขนาดในมุมมองจากด้านหน้า
 - (ง) ภาพของกล้องควบคุมสภาพแวดล้อมในมุมมองไอโซเมตริก
 - (จ) ภาพระบุขนาดของประตูฝั่งขวาของกล้องจากมุมมองต่าง ๆ
 - (ฉ) ภาพประตูฝั่งขวาของกล้องในมุมมองไอโซเมตริก
 - (ช) ภาพระบุขนาดของประตูฝั่งซ้ายของกล้องจากมุมมองต่าง ๆ
 - (ซ) ภาพประตูฝั่งซ้ายของกล้องในมุมมองไอโซเมตริก
 - (ณ) ภาพของฐานวางระบบทั้งหมดที่เสร็จสมบูรณ์แล้วประกอบเข้ากับกล้องควบคุมสภาพแวดล้อมที่เสร็จสมบูรณ์แล้วในมุมมองไอโซเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การประกอบสร้างระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

ในขั้นตอนนี้จะเป็นส่วนของการนำอุปกรณ์ที่ได้จัดหาในหัวข้อที่ 3.1.1 มาประกอบกันกับฐานวางระบบและตู้ควบคุมสภาพแวดล้อมที่ได้ทำการออกแบบสร้างขึ้นมาเป็นระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตดังที่ได้แสดงให้เห็นอยู่ในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ภาพแสดงระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ได้สร้างขึ้นเสร็จสมบูรณ์แล้ว

3.2 ทดสอบระบบ

จัดเตรียมการทดลองเพื่อทดสอบระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ได้ออกแบบระบบมาสร้างเส้นใย PVA ออกมาจากมุมการสร้างที่แตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°)

3.2.1 การเตรียมสารละลายเพื่อใช้สังเคราะห์เส้นใย

ในการเตรียมสารละลาย PVA โดยการเตรียมนั้นเบื้องต้นจากบริษัทผู้ผลิต จะได้เป็นผง PVA ซึ่งต้องนำมาละลายกับตัวทำละลาย ซึ่ง PVA จะละลายในน้ำสะอาดซึ่งในการทดลองผู้วิจัยได้เลือกได้น้ำปอดประจุเป็นตัวทำละลายเพื่อรักษาความสะอาดและป้องกันสารปนเปื้อนที่มากับแหล่งน้ำอื่น นำ PVA มาชั่งน้ำหนักเพื่อนำมาทำละลายกับน้ำปอดประจุในอัตราส่วน 7%wt ดังรูปที่ 3.20 (ก) ผ่านการให้อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส และกวนสารต่อเนื่องตลอดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กดังรูปที่ 3.20 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.20 ภาพแสดงขั้นตอนและเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมสาร

(ก) ภาพแสดงกระบวนการชั่งสาร PVA ที่ทำการชั่งอยู่บนเครื่องชั่งตวงถนียม 4 ตำแหน่ง

(ข) ภาพแสดงการกวนสารโดยใช้แม่เหล็กที่อยู่บนเครื่องกวนแม่เหล็ก

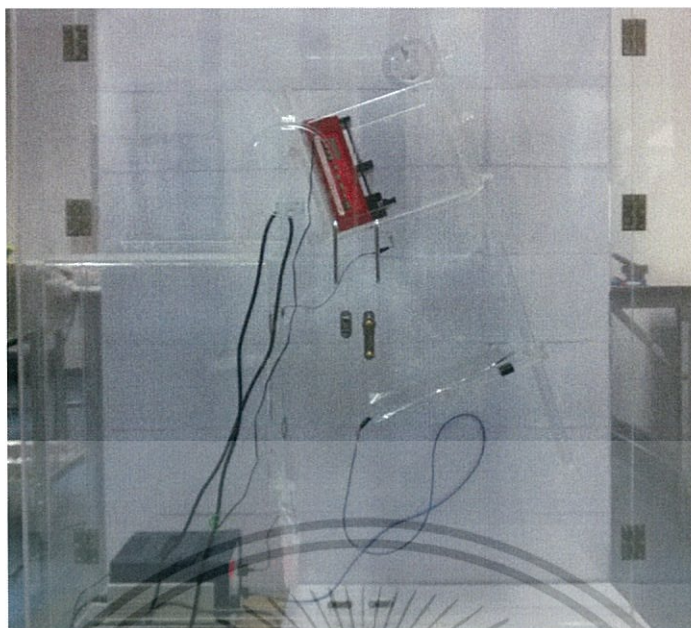
3.2.2 การสังเคราะห์เส้นใย PVA ด้วยระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต

เมื่อได้สารละลาย PVA แล้ว นำสารละลายที่ได้บรรจุลงในกระบอกฉีดยาขนาด 10 ml และต่อเข้ากับเครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย เชื่อมต่อเครื่องให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงโดยใช้ศักย์ไฟฟ้าที่ 15 kV สารละลาย PVA ความเข้มข้น 7% ที่อัตราการไหล 1.0 ml/hr.

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองของสารละลาย PVA

ตัวแปรที่ศึกษา	ค่ามุมที่ศึกษา
มุมของฐานวางระบบ	0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ภาพแสดงการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่มุม 75°

3.3 การตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใย PVA

3.3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใย

เช่น ลักษณะพื้นผิว ลักษณะเส้นใย การจัดเรียงตัวของเส้นใย การกระจายตัวของเส้นใย และขนาดของเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์เล็กตรอนแบบส่องกราด

3.3.2 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเส้นใย

เพื่อศึกษาความแตกต่างของหมู่ฟังก์ชันของเส้นใย PVA และผลกระทบจากการเตรียมสารละลาย ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ การดูดกลืนแสง และการส่องผ่านของแสง

3.3.3 ศึกษาสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ

ศึกษาด้วยเทคนิคการวัดมุมสัมผัสของน้ำ โดยนำชิ้นงานมาค่อย ๆ หยดด้วยน้ำกลั่น และถ่ายภาพของหยดน้ำหลังจากผ่านไป 1 วินาที

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้คือฐานวางระบบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตและการทดสอบการทำงานของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตด้วยการสังเคราะห์เส้นใยจากสารละลาย PVA ที่เจือไนซิมมการยิงที่ทำกับพื้นโลกจาก 0° ถึง 90° จากการปรับมุมของฐานวางระบบที่ทำกับพื้นโลก โดยจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. เครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ได้ออกแบบสร้างฐานวางระบบ
2. ผลกระทบที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยจากการปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบและลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ตกกระทบแผ่นรับ
3. การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้มุมที่กระทำต่อพื้นโลกของระบบแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°)
4. การตรวจสอบคุณสมบัติทางสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์จากการใช้มุมที่กระทำต่อพื้นโลกของระบบแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°)

4.1 เครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ได้ออกแบบสร้างฐานวางระบบ

โครงสร้างของฐานวางระบบได้มีการปรับแก้ไขและปรับปรุงจนสามารถนำมาใช้งานในการสังเคราะห์เส้นใยได้ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1 เป็นภาพถ่ายแสดงตู้ควบคุมสภาพแวดล้อมและฐานวางระบบที่ถูกสร้างขึ้น



รูปที่ 4.1 รูปถ่ายแสดงตู้ควบคุมสภาพแวดล้อมและฐานวางระบบที่ถูกสร้างขึ้นมา

- (ก) ภาพแสดงตู้ควบคุมสภาพแวดล้อมและฐานวางระบบที่ถูกสร้างขึ้นมาในสถานที่ที่มีการใช้งานจริง
- (ข) ภาพแสดงตู้ควบคุมสภาพแวดล้อมและฐานวางระบบที่ถูกสร้างขึ้นมาในมุมมองจากทางด้านบน
- (ค) ภาพแสดงตู้ควบคุมสภาพแวดล้อมและฐานวางระบบที่ถูกสร้างขึ้นมาในมุมมองจากทางด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากผู้ควบคุมสภาพแวดล้อมและฐานวางระบบที่ถูกสร้างขึ้นมาแล้วเสร็จก็ได้ถูกนำมาปรับปรุงโดยการเพิ่มอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดมุมการยิงเส้นใยของพื้นโลกที่เท่ากับพื้นโลกและได้มีการนำไปใช้ในการวางระบบรวมไปถึงการใช้งานสังเคราะห์เส้นใยดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.2 เป็นภาพถ่ายของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่ได้ออกแบบฐานวางระบบและการจัดวางอุปกรณ์ที่กำลังทำงาน และได้ขึ้นงานเส้นใยบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ออกมาดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายของชิ้นงานเส้นใยที่อยู่บนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลกระทบที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยจากการปรับเปลี่ยนมุมของฐานวางระบบและลักษณะของชิ้นงานเส้นใยที่ตกกระทบแผ่นรับ

จากการทดลองที่ได้ทำการกำหนดตัวแปรทั้งหมดดัง ตารางที่ 4.1 และได้ทำการเปลี่ยนตัวแปรมุมการสังเคราะห์เส้นใยของระบบที่กระทำกับพื้นโลกของระบบแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°) ซึ่งจะเป็นในส่วนของผลกระทบจากการเปลี่ยนมุมการสังเคราะห์เส้นใยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวชิ้นงานเนื่องมาจากค่าแรงโน้มถ่วงของโลกที่เปลี่ยนไปจากการปรับเปลี่ยนมุมของระบบการสังเคราะห์เส้นใย โดยที่มุมการยิงนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 7 ค่าด้วยกัน คือ 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° และ 90°

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ถูกกำหนดไว้ใน การทดลอง

ตัวแปรในการทดลอง	เงื่อนไข
สารที่ใช้	PVA
ตัวทำละลาย	น้ำปอดประจุ
การเจือสาร	ไม่มี
อัตราส่วนของสารละลาย (น้ำปอดประจุ : PVA)	100 : 7
อุณหภูมิของสารละลาย	80°C
ระดับความเร็วเครื่องทอเส้นใยด้วยแม่เหล็ก	ระดับ 3
ระยะเวลาที่ใช้ในการทอเส้นใย	2 ชั่วโมง
อุณหภูมิขณะทำการทดลอง	25°C
ขนาดของหลอดไซริง	nm 10 ml
ขนาดและความยาวของปลายเข็มฉีดยา	0.7 mm, 1 cm
ชนิดและขนาดของแผ่นรองรับ	อลูมิเนียมฟอยล์, 30 cm x 30 cm
ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ	30 cm
อัตราการไหลของสารละลาย	1.0 ml/hr.
ค่าความต่างศักย์	15 kV
มุมระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ	90°
ระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย	1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0°

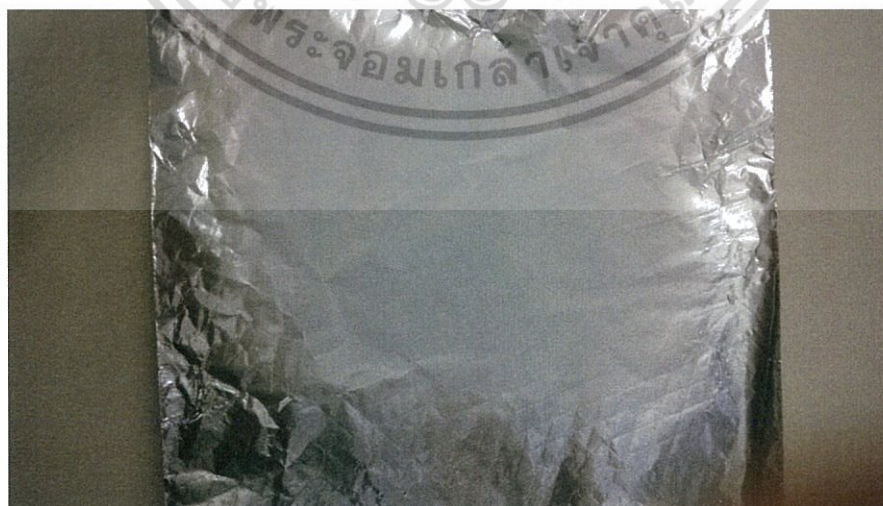
จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 0° พบว่า มีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์มากที่สุดโดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยกระจายคล้ายรูปวงกลมดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 0°

4.2.2 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 15°

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 15° พบว่า มีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์มากที่สุดโดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยคล้ายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 15°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 30°

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 30° พบว่า มีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์น้อยกว่ามุม 15° โดยมีลักษณะการสะสมของเส้นใยคล้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°

4.2.4 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 45°

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 45° พบว่า มีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์น้อยกว่ามุม 30° โดยมีลักษณะการกระจายคล้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 60°

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 60° พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เป็นอยู่น้อยกว่ามุมการสังเคราะห์เส้นใย 45° โดยมีการสะสมของเส้นใยอยู่เป็นกลุ่มโดยมีลักษณะการกระจายคล้ายรูปวงรี และได้มีการหยดของสารละลายลงบนชิ้นงานอยู่เล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการกำหนดอัตราการไหลของสารละลายที่มากเกินไปจนความจำเป็นเล็กน้อยและมุมของระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยซึ่งจะส่งผลให้ตัวเข็มที่ใช้ในการปล่อยสารละลายพอลิเมอร์อยู่เหนือแผ่นรองรับเส้นใย และส่งผลให้ตัวชิ้นงานมีลักษณะดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 60°

4.2.6 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 75°

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 75° พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์น้อยกว่ามุมการสังเคราะห์เส้นใย 60° โดยมีลักษณะการกระจายคล้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และได้มีการหยดของสารละลายลงบนชิ้นงานอยู่มากกว่ามุมการสังเคราะห์เส้นใย 60° ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการไหลของสารละลายที่มากเกินไปจนความจำเป็นเล็กน้อยและมุมของระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยซึ่งจะส่งผลให้ตัวเข็มที่ใช้ในการปล่อยสารละลายพอลิเมอร์อยู่เหนือแผ่นรองรับเส้นใย และส่งผลให้ตัวชิ้นงานมีลักษณะดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 75°

4.2.7 ลักษณะชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 90°

จากชิ้นงานที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 90° พบว่ามีการกระจายตัวของเส้นใยอยู่ทั่วแผ่นอลูมิเนียมพอยล์น้อยกว่ามุมการสังเคราะห์เส้นใย 75° โดยมีลักษณะการกระจายคล้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และได้มีการหยุดของสารละลายลงบนชิ้นงานอยู่มากที่สุด เป็นผลมาจากอัตราการไหลของสารละลายที่มากเกินไปจนความจำเป็นเล็กน้อยและมุมของระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยซึ่งจะส่งผลให้ตัวเข็มที่ใช้ในการปล่อยสารละลายพอลิเมอร์อยู่เหนือแผ่นรองรับเส้นใยและส่งผลให้ตัวชิ้นงานมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ภาพแสดงชิ้นงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°

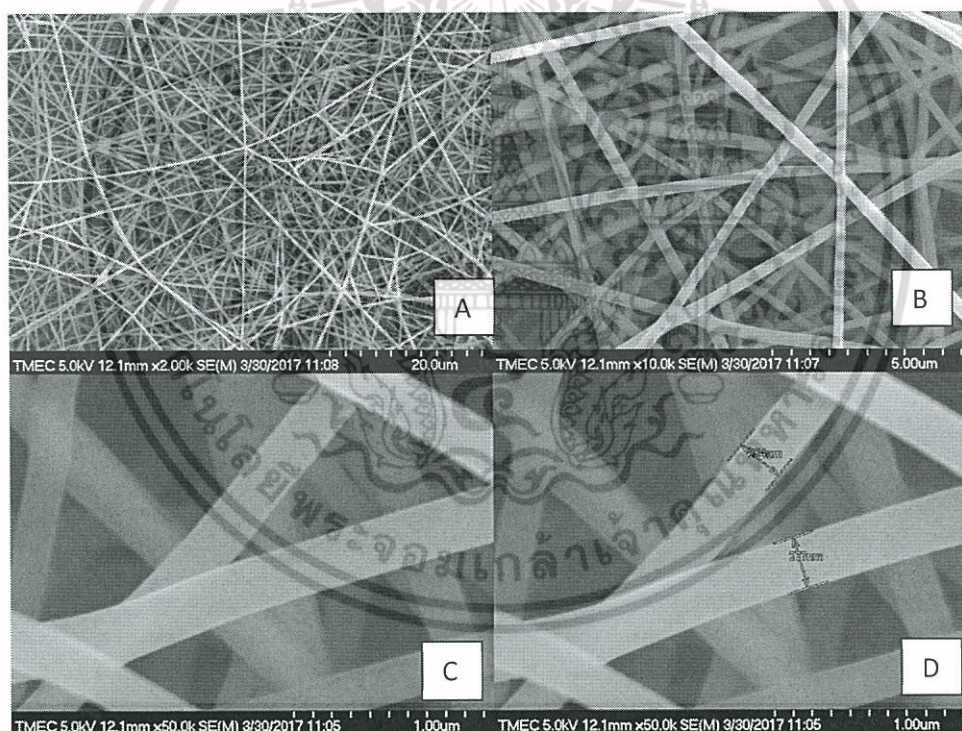
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้มุมที่กระทำต่อพื้นโลกของระบบแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°)

จากการทดลองสังเคราะห์เส้นใย PVA ในหัวข้อที่ 4.1 ได้ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์จากการใช้มุมที่กระทำต่อพื้นโลกของระบบแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°) โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงโดยที่ขนาดของเส้นใยจะแตกต่างกันในแต่ละมุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยขึ้นมา ความหนาแน่นและการจัดเรียงตัวของเส้นใยจะมีความคล้ายกันในแต่ละมุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยขึ้นมา

4.3.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0°

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0° พบว่า เส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 254.00 nm และ 277.00 nm โดยเส้นใยมีขนาดแตกต่างกันอยู่ที่ประมาณ 20.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.11



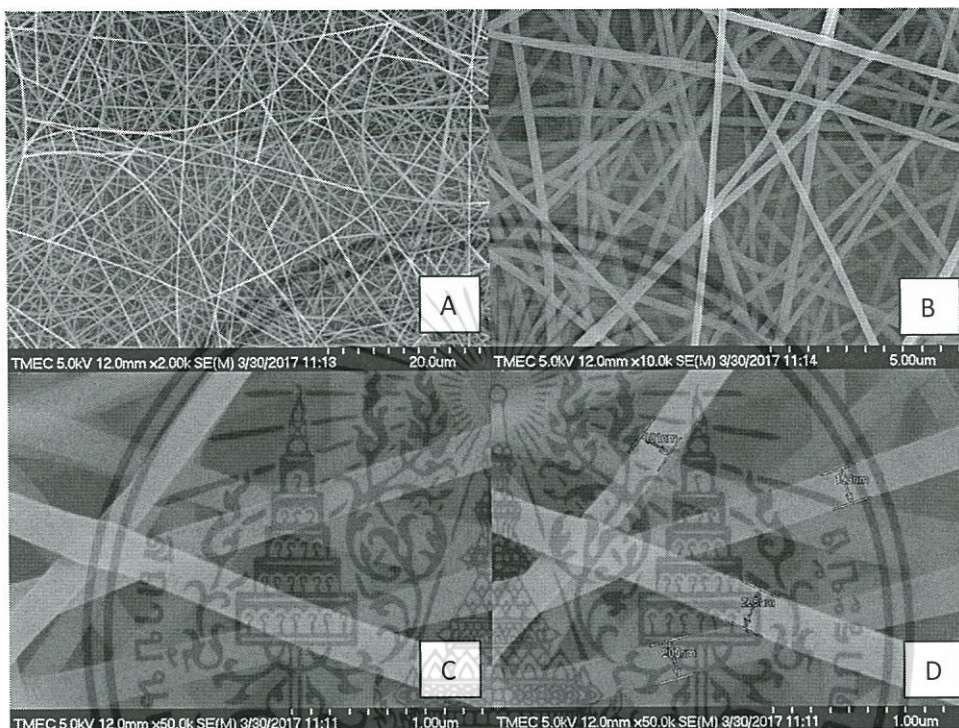
รูปที่ 4.11 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 2k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 15°

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 15° พบว่า เส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางอยู่ที่ 191.00 nm, 193.00 nm, 205.00 nm และ 225.00 nm ตามลำดับ โดยมีขนาดเส้นใยที่มีขนาดแตกต่างกันที่สุดอยู่ที่ประมาณ 30.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.12

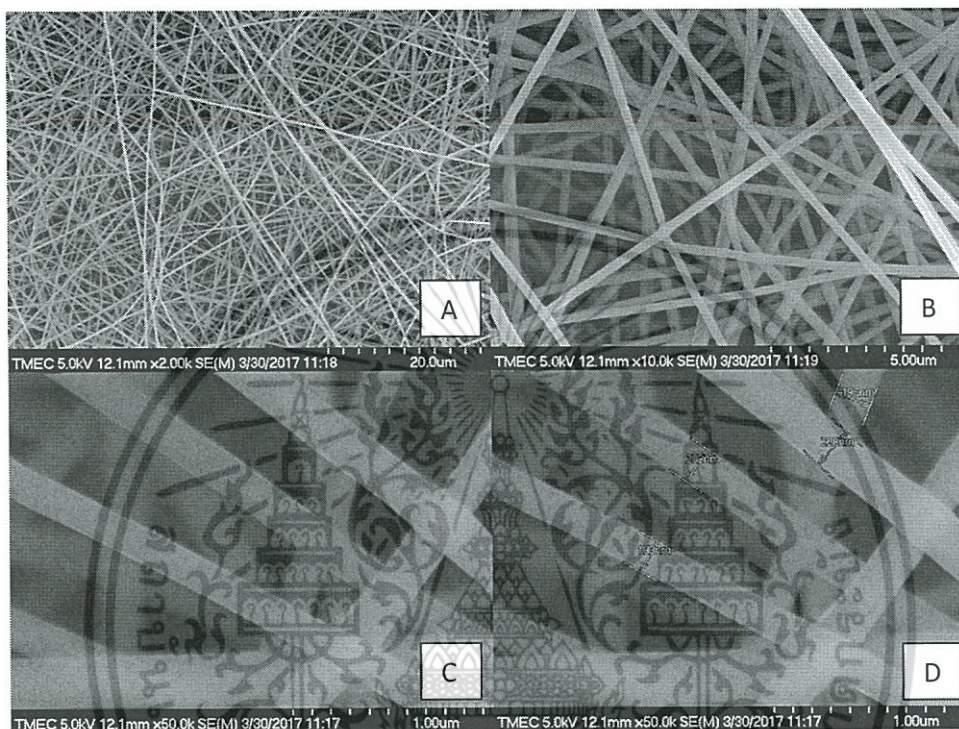


รูปที่ 4.12 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 15° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 2k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใย

4.3.3 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 30°

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 30° พบว่า เส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 183.00 nm, 197.00 nm, 203.00 nm และ 228.00 nm ตามลำดับ โดยมีขนาดเส้นใยที่มีขนาดแตกต่างกันที่สุดอยู่ที่ประมาณ 40.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.13

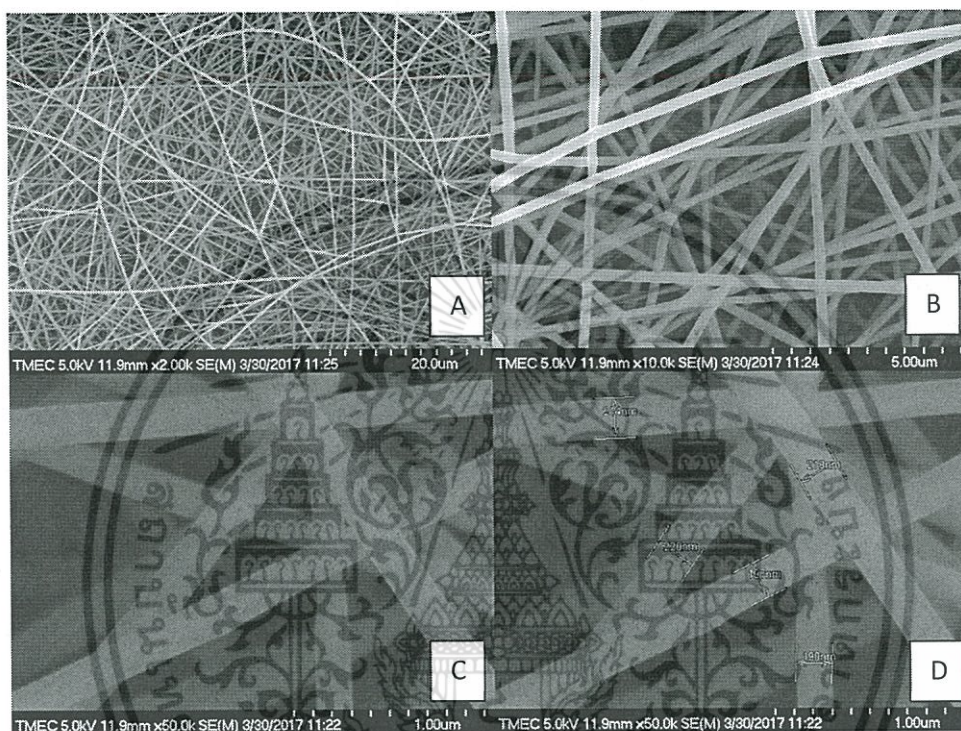


รูปที่ 4.13 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 30° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 2k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใย

4.3.4 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 45°

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 45° พบว่า เส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 190.00 nm, 197.00 nm, 214.00 nm, 218.00 nm และ 220.00 nm ตามลำดับโดยมีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณประมาณ 30.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.14

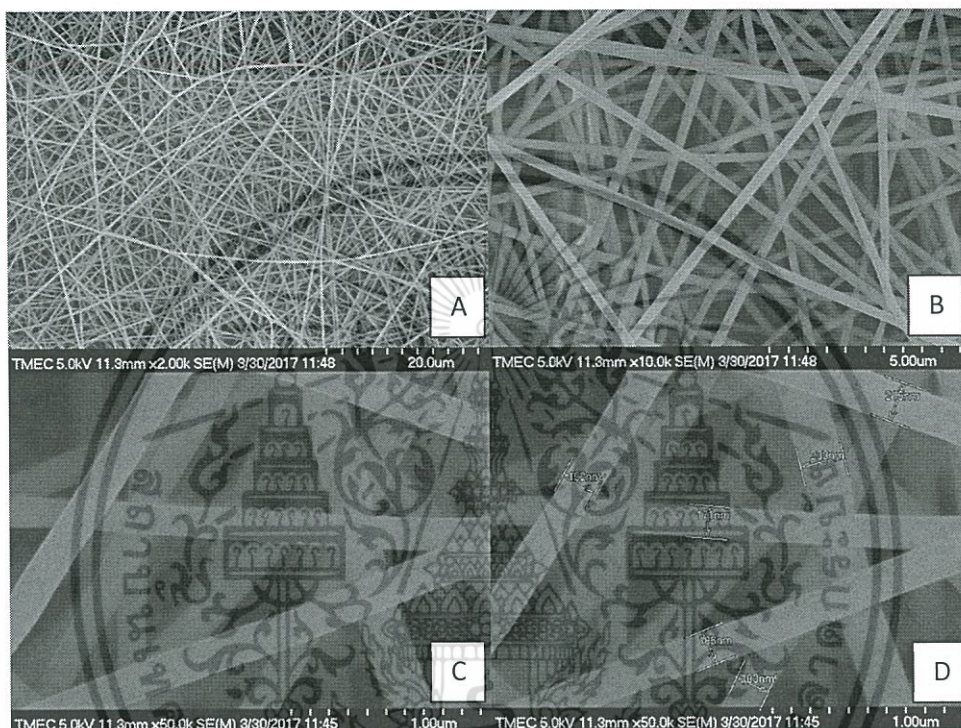


รูปที่ 4.14 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 45° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 2k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใย

4.3.5 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 60°

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 60° พบว่า เส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 171.00 nm, 183.00 nm, 186.00 nm, 192.00 nm, 215.00 nm และ 233.00 nm ตามลำดับโดยมีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 60 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.15



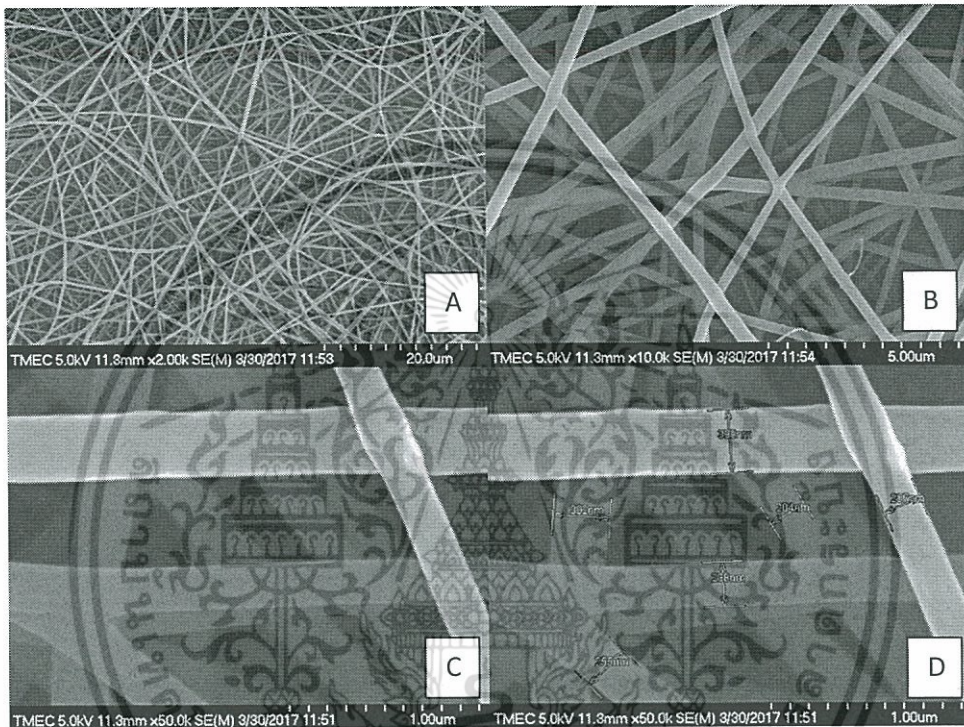
รูปที่ 4.15 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 60° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 2k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 75°

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 75° พบว่า เส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 204.00 nm, 207.00 nm, 238.00 nm, 255.00 nm, 302.00 nm และ 338.00 nm ตามลำดับโดยมีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 130.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.16

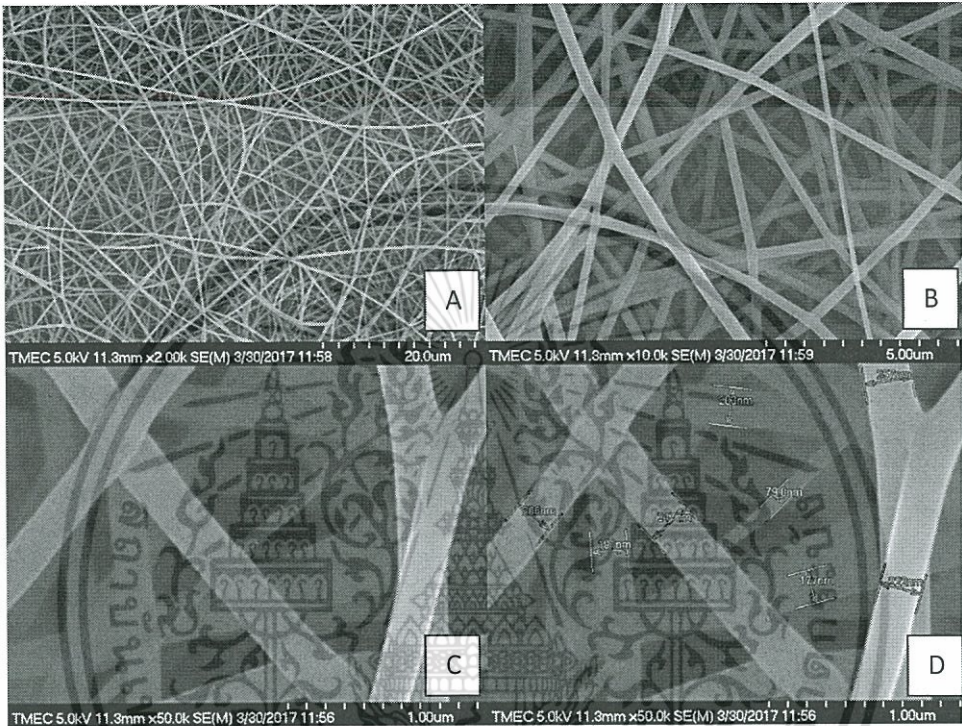


รูปที่ 4.16 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 75° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 2k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใย

4.3.7 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 90°

จากภาพถ่ายของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 90° พบว่า เส้นใย PVA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 79.00 nm, 177.00 nm, 191.00 nm, 203.00 nm, 206.00 nm, 222.00 nm , 247.00 nm และ 257.00 nm ตามลำดับโดยมีขนาดแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 180.00 nm ดังที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.17



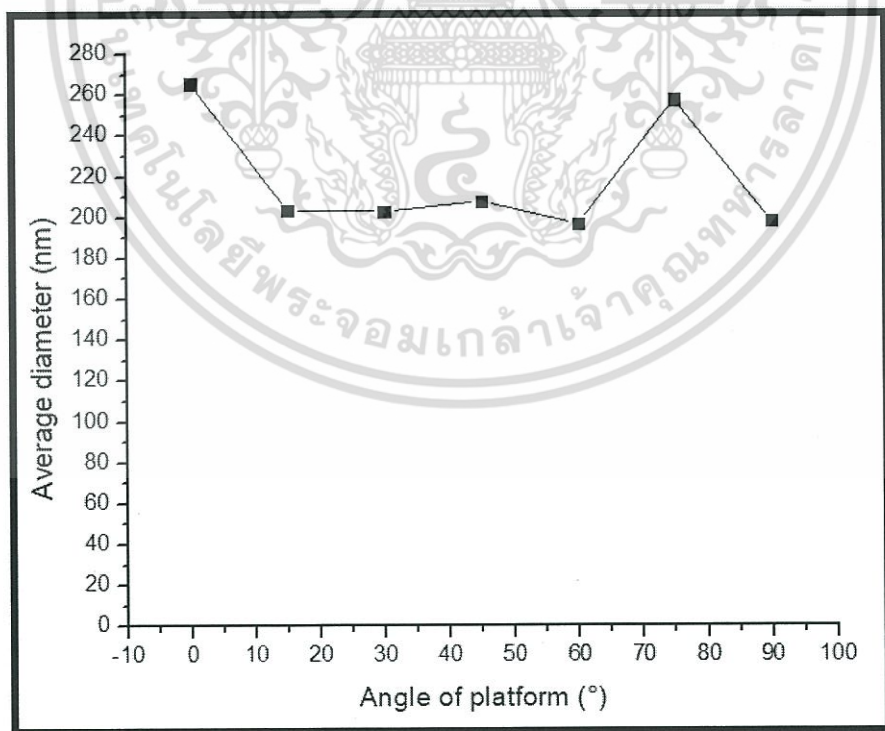
รูปที่ 4.17 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 90° ที่ได้จากเครื่อง FE-SEM

- A) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 2k
- B) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 10k
- C) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k
- D) ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่กำลังขยาย 50k ที่มีการวัดขนาดของเส้นใย

จากข้อมูลขนาดของเส้นใยที่ได้จากภาพของเส้นใยที่ได้จากรูปที่ 4.12 ถึงรูปที่ 4.17 สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยและช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ที่สุดกับเส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุดได้ดัง ตารางที่ 4.2 และสามารถนำมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ

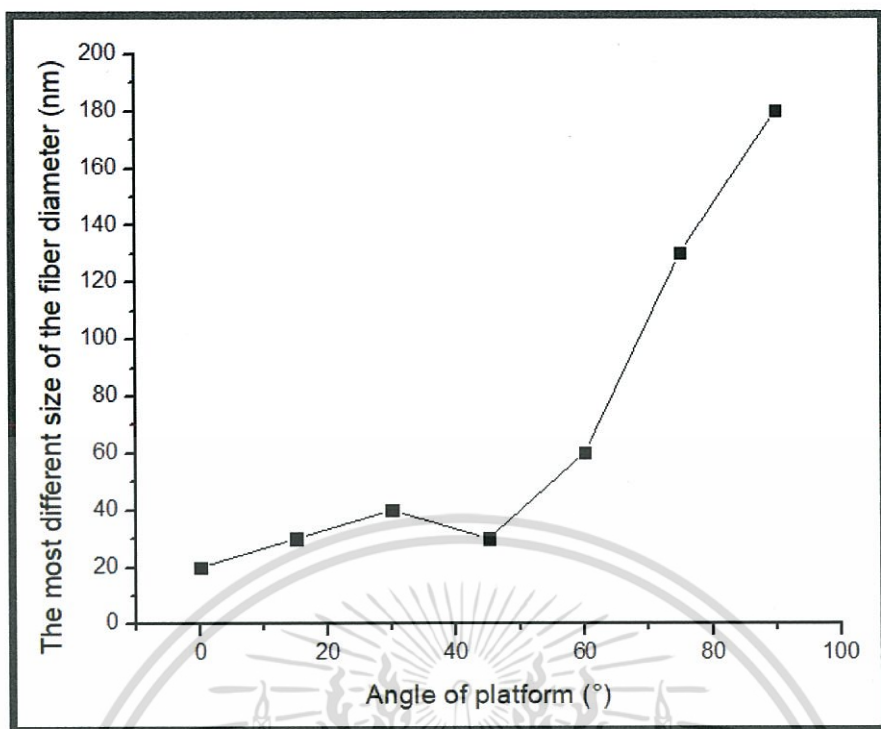
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงขนาดโดยเฉลี่ยของเส้นใยและช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใยที่มุมการสังเคราะห์เส้นใยที่แตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°)

มุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย	ขนาดเฉลี่ยของเส้นใย (nm)	ช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใย (nm)
0°	265.50	20.00
15°	203.50	30.00
30°	202.75	40.00
45°	207.80	30.00
60°	196.67	60.00
75°	257.33	130.00
90°	197.75	180.00



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใย

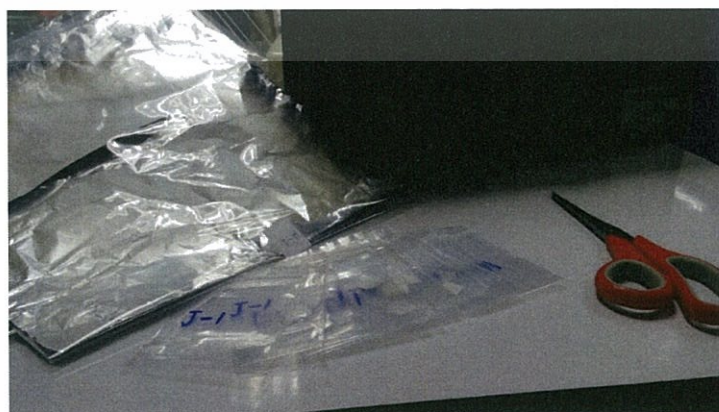
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

4.4 การทดสอบผิวสัมผัสของเส้นใยที่สังเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติของเส้นใย PVA ที่สร้างจากการใช้มุมที่กระทำต่อพื้นโลกของระบบแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°)

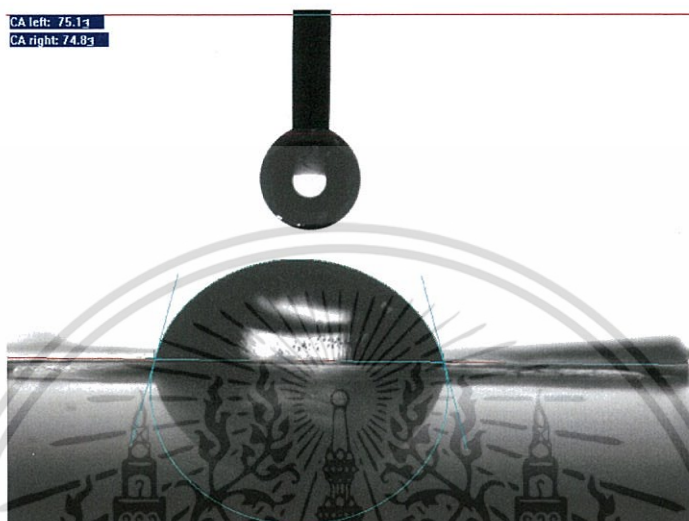
จากการทดลองสังเคราะห์เส้นใย PVA ในหัวข้อที่ 4.1 ได้ผลการทดสอบสมบัติของตัวอย่างเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้นจากการสังเคราะห์โดยใช้มุมที่กระทำต่อพื้นโลกของระบบแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°)



เอกสารรูปที่ 4.20 ภาพถ่ายชิ้นงานที่อยู่ในถุงเก็บชิ้นงานซึ่งถูกตัดเป็นชิ้นเล็กเพื่อเตรียมนำไปทดสอบสมบัติ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

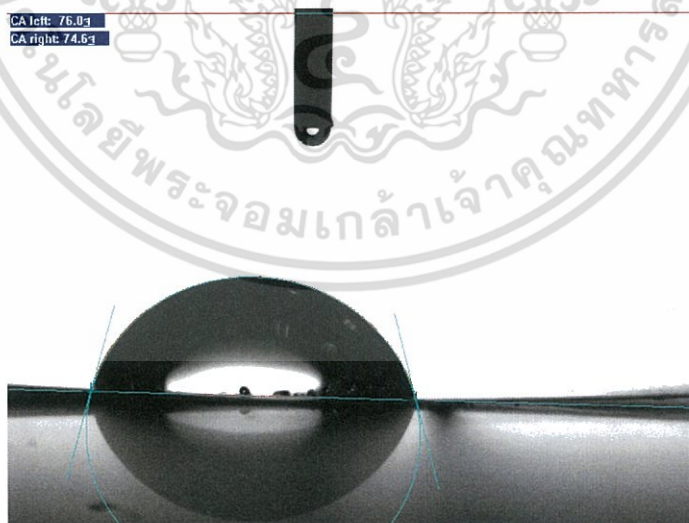
จากการนำเส้นใยที่ได้จากการทดลองไปทดสอบพบว่าผลการทดสอบผิวสัมผัสของเส้นใยจากการเปลี่ยนตัวแปรมุมการสังเคราะห์เส้นใยของระบบที่กระทำกับพื้นโลกของระบบแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°) ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งผลการทดสอบจะได้มุมสัมผัส

1) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 0°



รูปที่ 4.21 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 0°

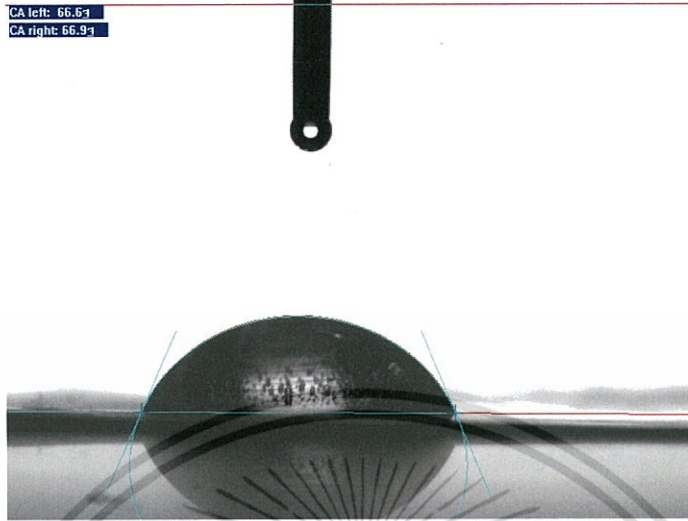
2) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 15°



รูปที่ 4.22 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 15°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°



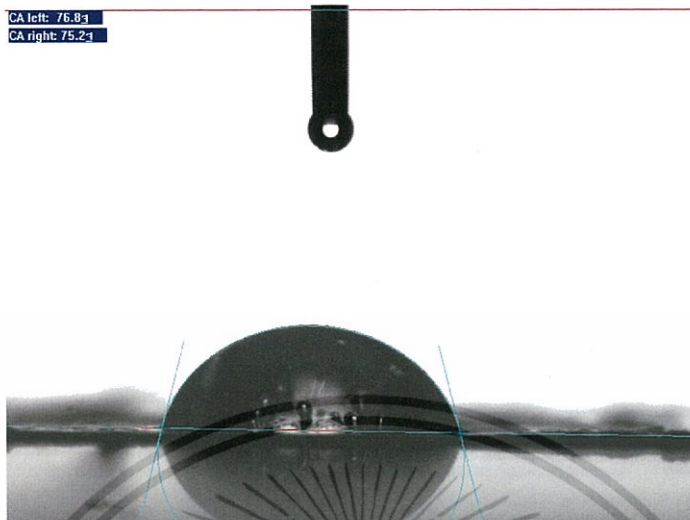
รูปที่ 4.23 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°

4) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°



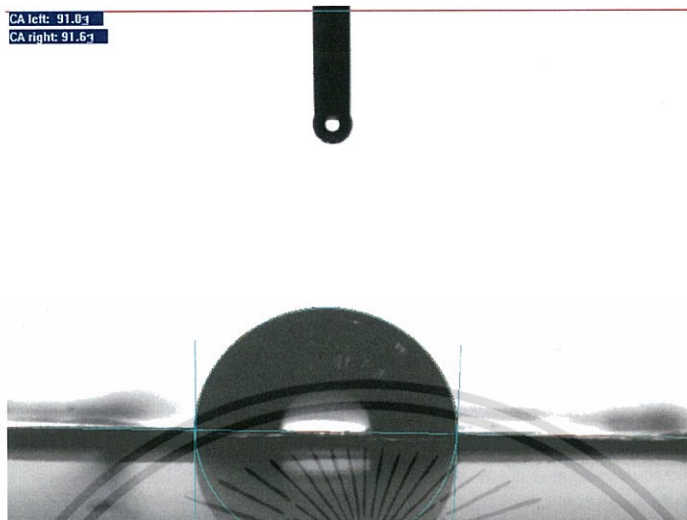
รูปที่ 4.24 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 60° รูปที่ 4.25 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 60° 6) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 75° รูปที่ 4.26 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 75°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°



รูปที่ 4.27 รูปแสดงผลการทดสอบมุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ได้จากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°

โดยในการวัดค่ามุมสัมผัสสามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้จากหลากหลายจุดบนชิ้นงาน โดยได้มีการแสดงค่าการวัดมุมสัมผัสในตารางที่ 4.2 หาค่าเฉลี่ยจากจุดสัมผัสที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันดังที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.3 และได้แสดงผลค่าแถบคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 4.28

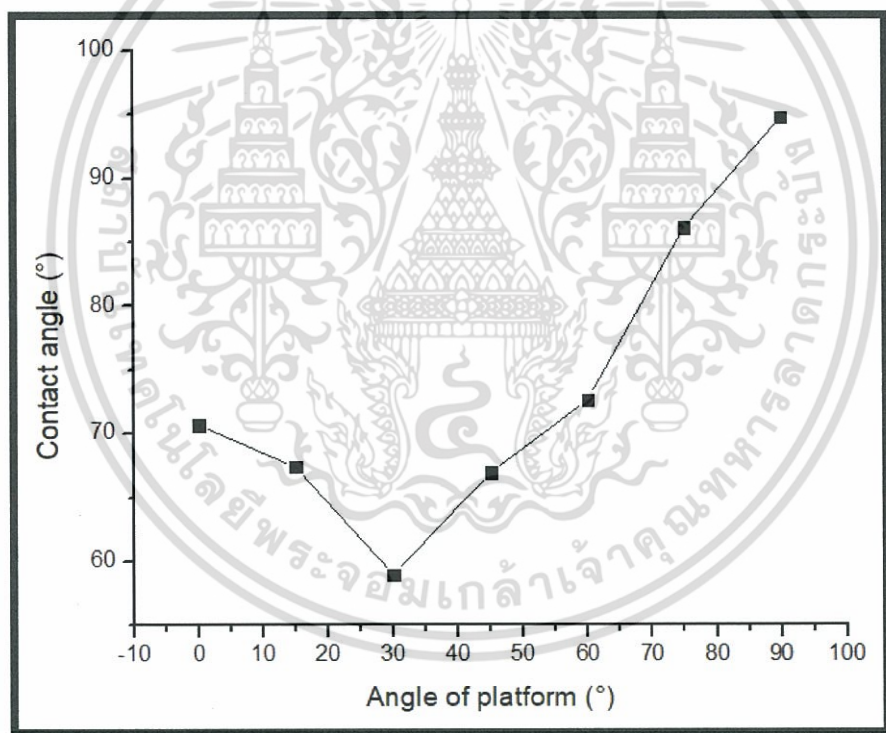
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่ามุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบในจุดสัมผัสที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

มุม	จุดที่ 1		จุดที่ 2		จุดที่ 3		เฉลี่ย	
	ขอบซ้าย	ขอบขวา	ขอบซ้าย	ขอบขวา	ขอบซ้าย	ขอบขวา	ขอบซ้าย	ขอบขวา
0°	70.00	70.70	75.10	74.80	62.80	70.70	69.30	72.07
15°	66.10	61.00	76.00	74.60	63.60	63.00	68.57	66.20
30°	52.20	46.00	66.60	66.90	61.20	60.90	60.00	57.93
45°	59.00	60.00	71.30	69.90	71.30	70.10	67.20	66.67
60°	74.80	76.30	76.80	75.20	66.80	65.90	72.80	72.47
75°	87.00	86.10	82.70	77.00	92.00	91.80	87.35	84.40
90°	93.80	92.70	91.00	91.60	99.70	99.50	94.80	94.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่ได้จากการทดสอบพื้นผิวของเส้นใย PVA ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการเปลี่ยนมุมการสังเคราะห์เส้นใยของระบบที่กระทำต่อพื้นโลกแตกต่างกัน

มุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใย	ค่ามุมสัมผัส
0°	70.68°
15°	67.38°
30°	58.97°
45°	66.93°
60°	72.63°
75°	85.88°
90°	94.72°



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยกับมุมสัมผัส

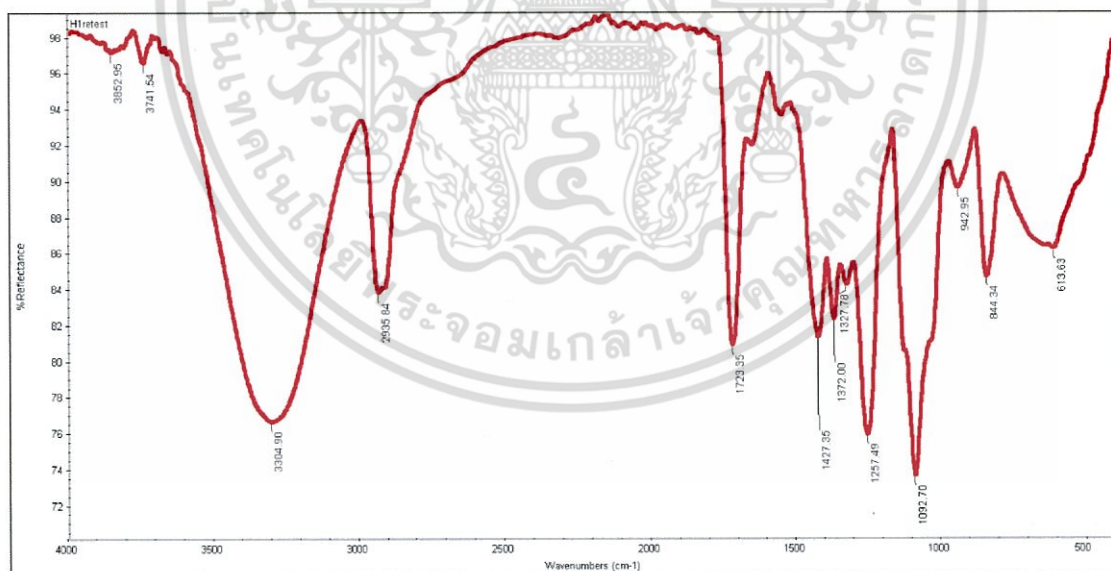
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบลักษณะการดูดกลืนแสง การสะท้อนของแสง และพันธะเคมี ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด

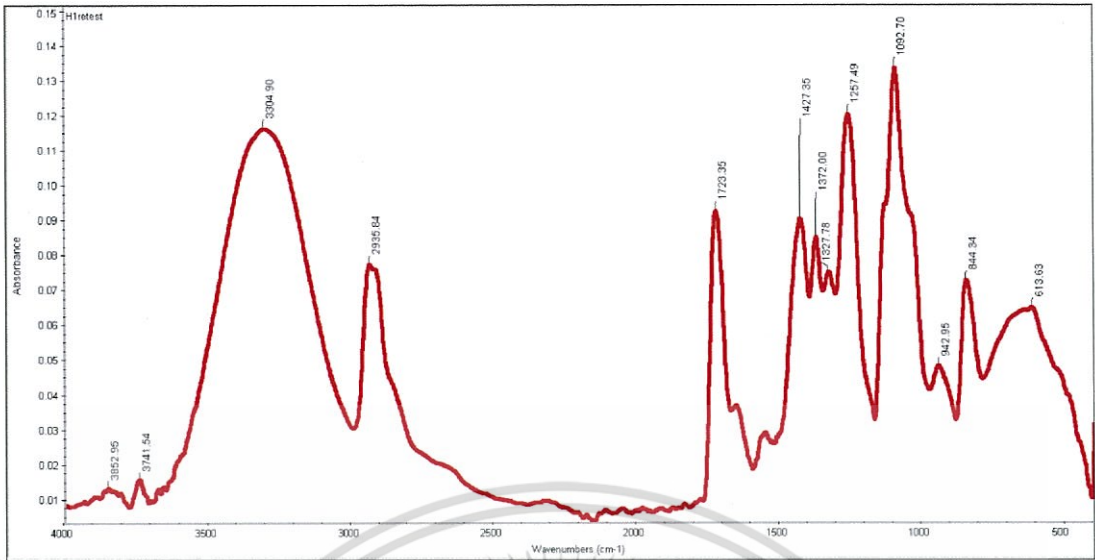
จากการนำเส้นใยที่ได้จากการทดลองไปทดสอบพบว่าผลการทดสอบการดูดกลืนแสง สะท้อนแสง และพันธะเคมีของเส้นใยจากการเปลี่ยนตัวแปรมุมการสังเคราะห์เส้นใยของระบบที่กระทำกับพื้นโลกของระบบแตกต่างกันด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดพบว่าผลที่ได้จากตัวอย่างเส้นใยที่นำไปทดสอบมีคุณสมบัติในการสะท้อนและดูดกลืนแสงดังนี้

1) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 0°

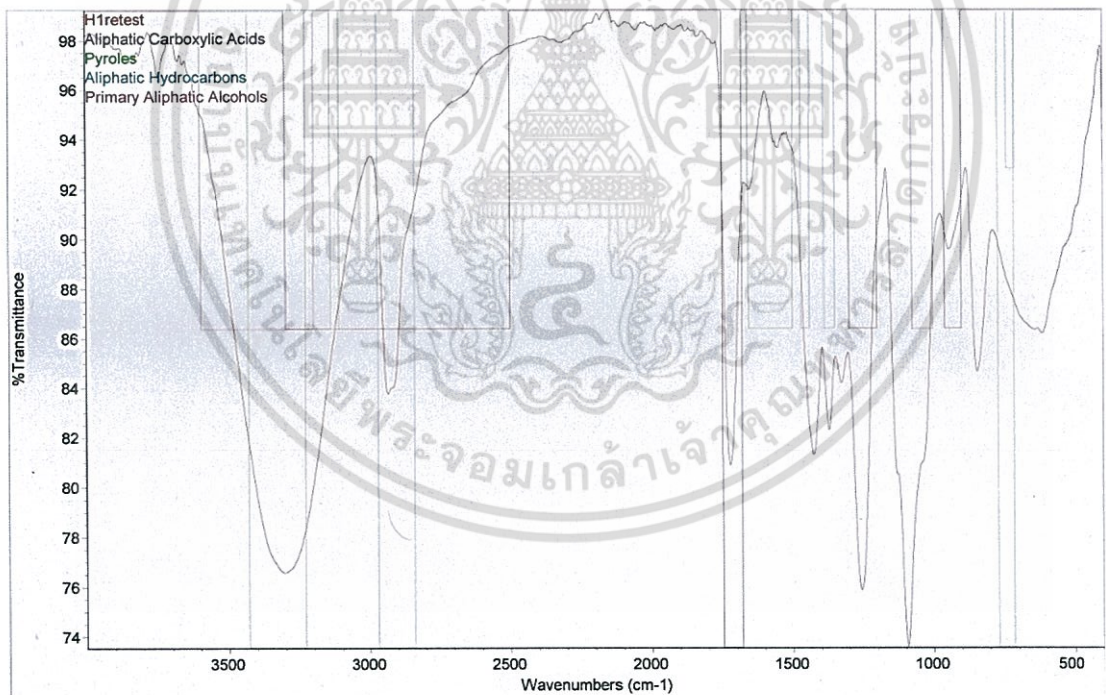
จากกราฟแสดงการสะท้อนแสง ดูดกลืนแสง และส่งผ่านของแสง ของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0° จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการสะท้อนและดูดกลืน พบว่า เส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 0° มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.29 4.30 และ 4.31 และตารางที่ 4.5 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3304.90, 2935.84, 1723.35, 1427.35, 1372.00, 1257.49, 1092.70, 942.95, 844.34, 613.63 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ซึ่งเป็นผลที่ได้มากจากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดโดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาทั้งหมดเป็นไปตามลักษณะทั่วไปของ PVA



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 0°



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมมการสร้างเส้นใย 0°

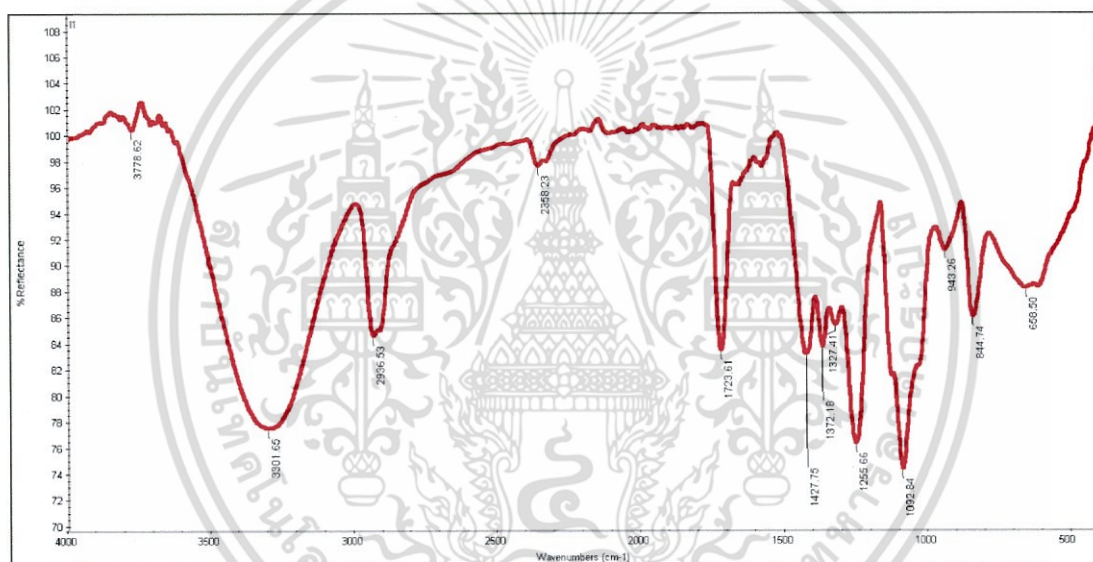


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมมการสังเคราะห์เส้นใย 0°

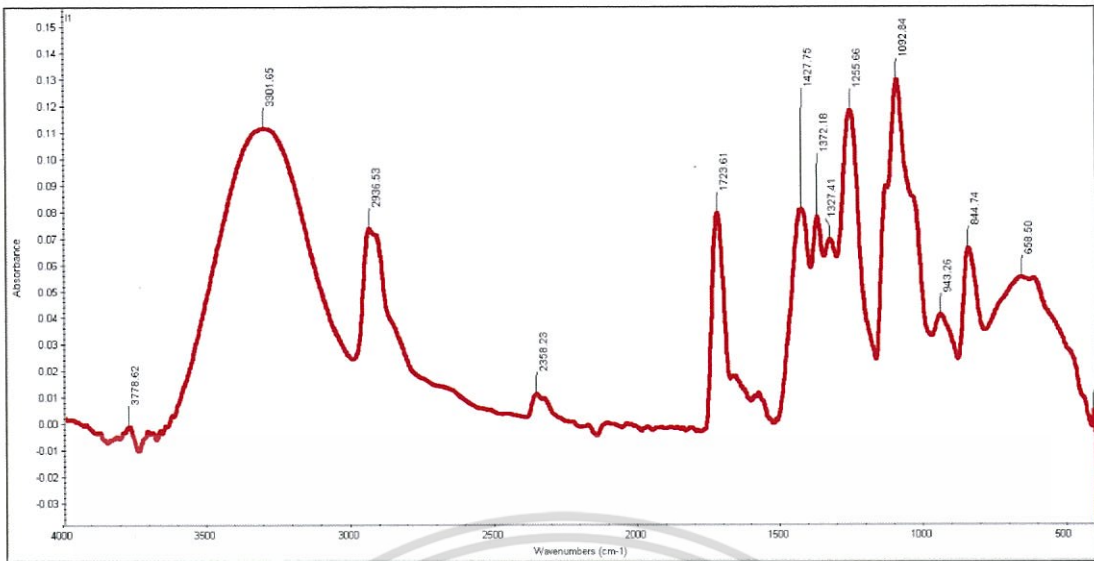
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 15°

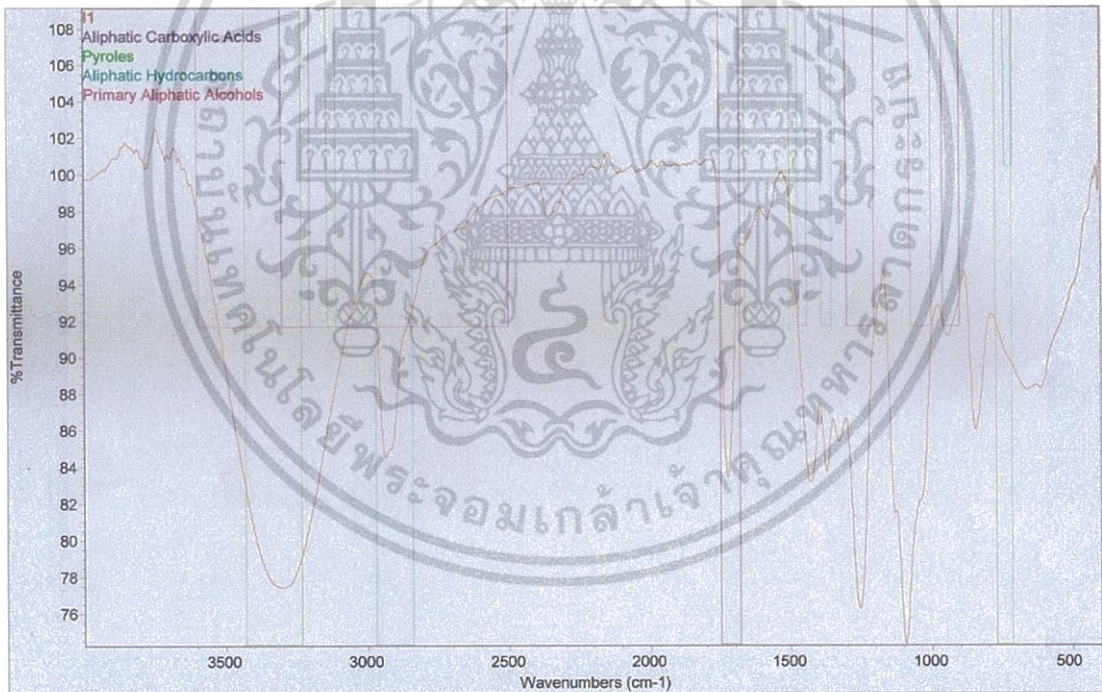
จากกราฟแสดงการสะท้อนแสง ดูดกลืนแสง และส่งผ่านของแสง ของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 15° จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการสะท้อนและดูดกลืนพบว่าเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 15° มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.32 4.33 และ 4.34 และตารางที่ 4.5 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3778.62, 3301.65, 2936.53, 2358.23, 1723.61, 1427.75, 1372.18, 1327.41, 1255.66, 1092.84, 942.26, 844.74, 658.50 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ซึ่งเป็นผลที่ได้มากจากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดโดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาทั้งหมดเป็นไปตามลักษณะทั่วไปของ PVA



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 15°



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 15°

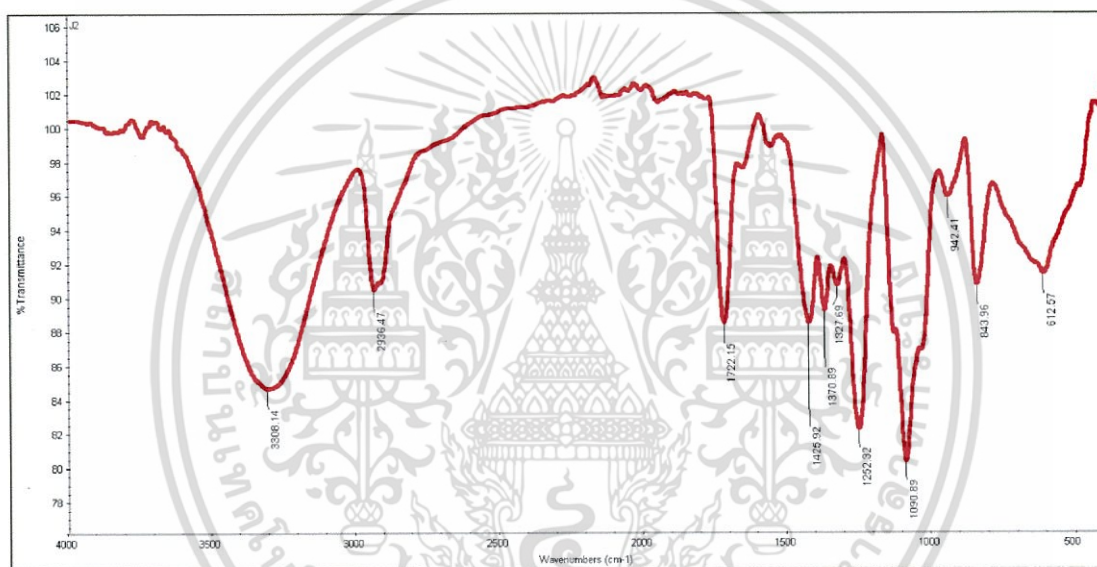


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 15°

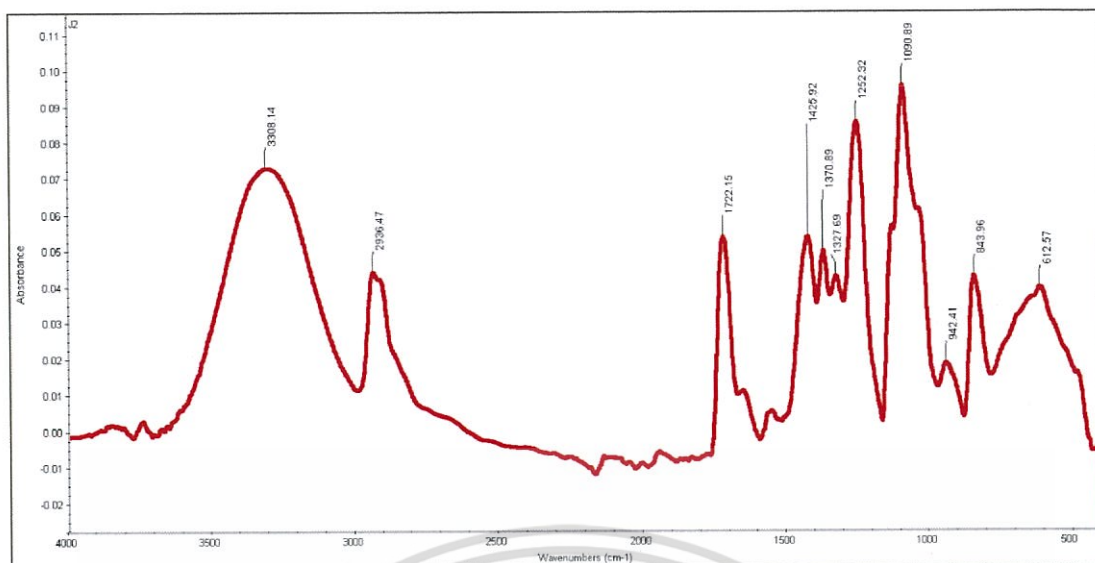
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°

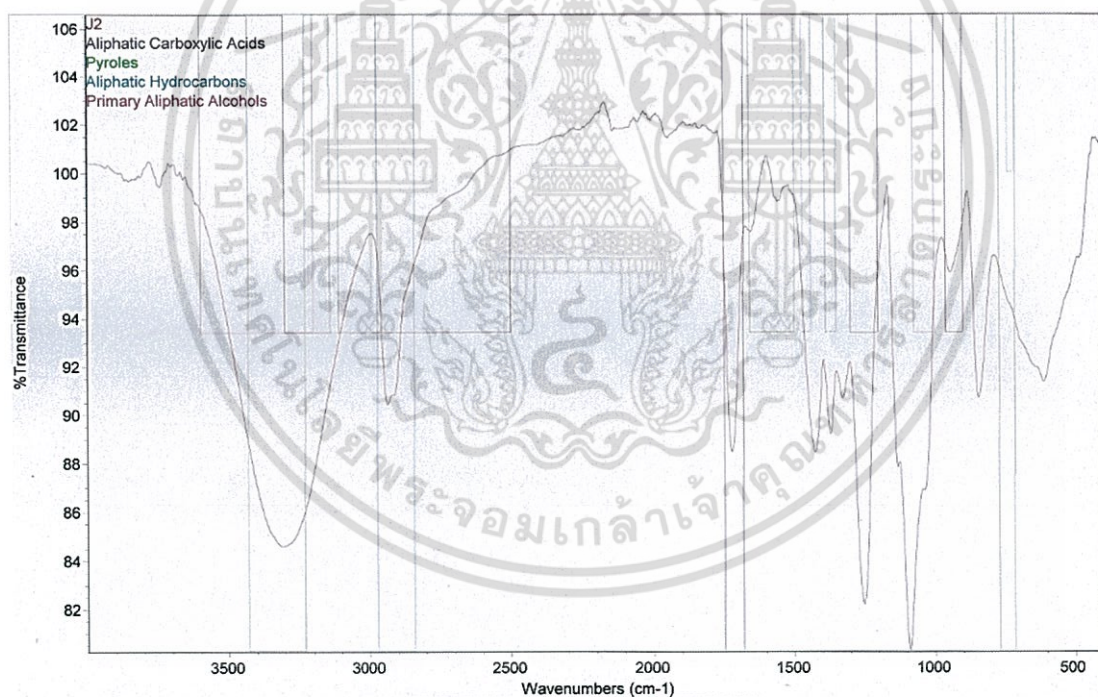
จากกราฟแสดงการสะท้อนแสง ดูดกลืนแสง และส่งผ่านของแสง ของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 30° จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการสะท้อนและดูดกลืน พบว่า เส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 30° มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.35 4.36 และ 4.37 และตารางที่ 4.5 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3308.14, 2936.47, 1722.15, 1425.92, 1370.89, 1327.69, 1252.32, 1090.89, 942.41, 843.96, 612.57 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ซึ่งเป็นผลที่ได้มาจากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดโดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาทั้งหมดเป็นไปตามลักษณะทั่วไปของ PVA



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°

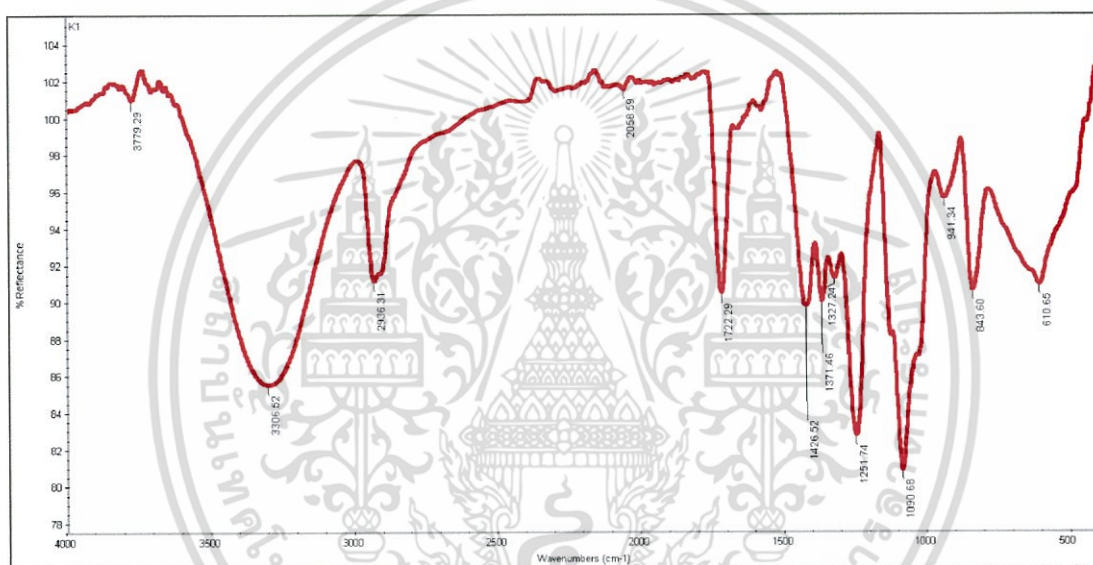


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 30°

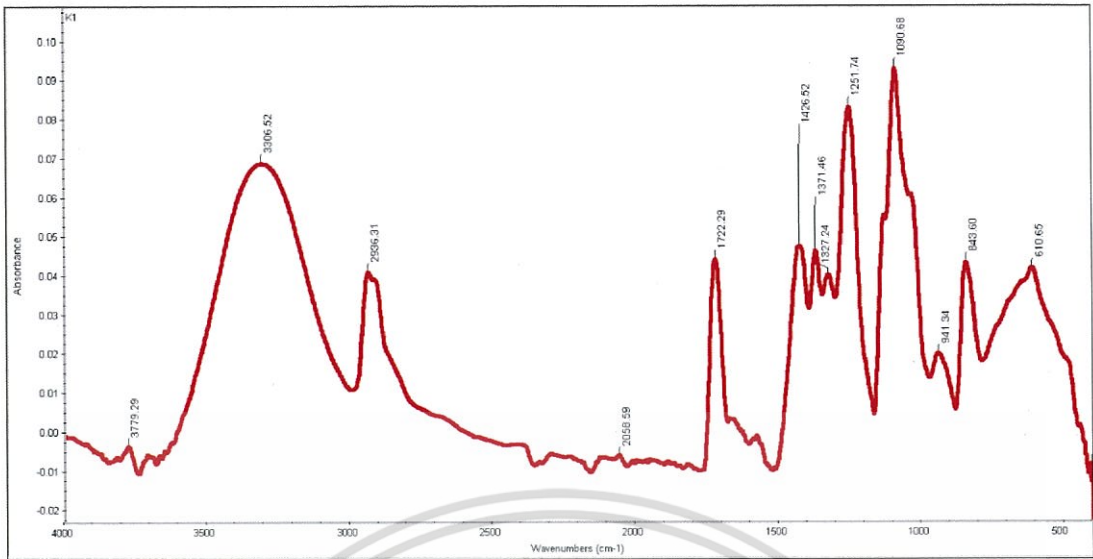
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°

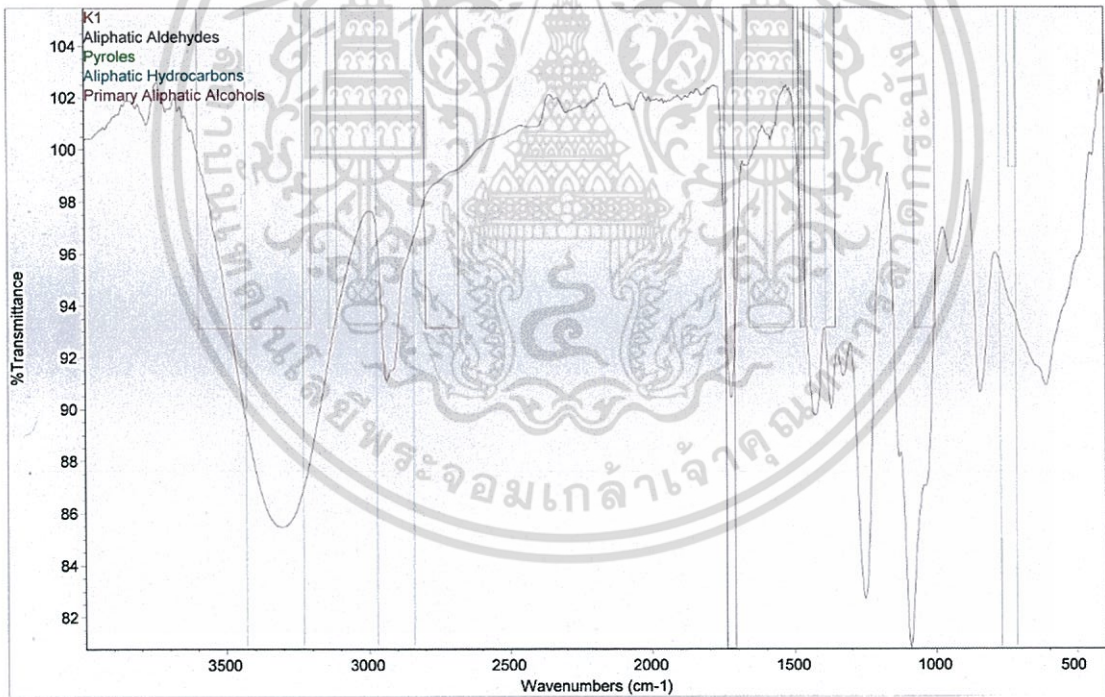
จากกราฟแสดงการสะท้อนแสง ดูดกลืนแสง และส่งผ่านของแสง ของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 45° จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการสะท้อนและดูดกลืนพบว่าเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 45° มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.38 4.39 และ 4.40 และตารางที่ 4.5 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3306.52, 2936.31, 1722.29, 1426.52, 1371.46, 1327.24, 1251.74, 1090.68, 941.34, 843.60, 610.65 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ซึ่งเป็นผลที่ได้มาจากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดโดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาทั้งหมดเป็นไปตามลักษณะทั่วไปของ PVA



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°

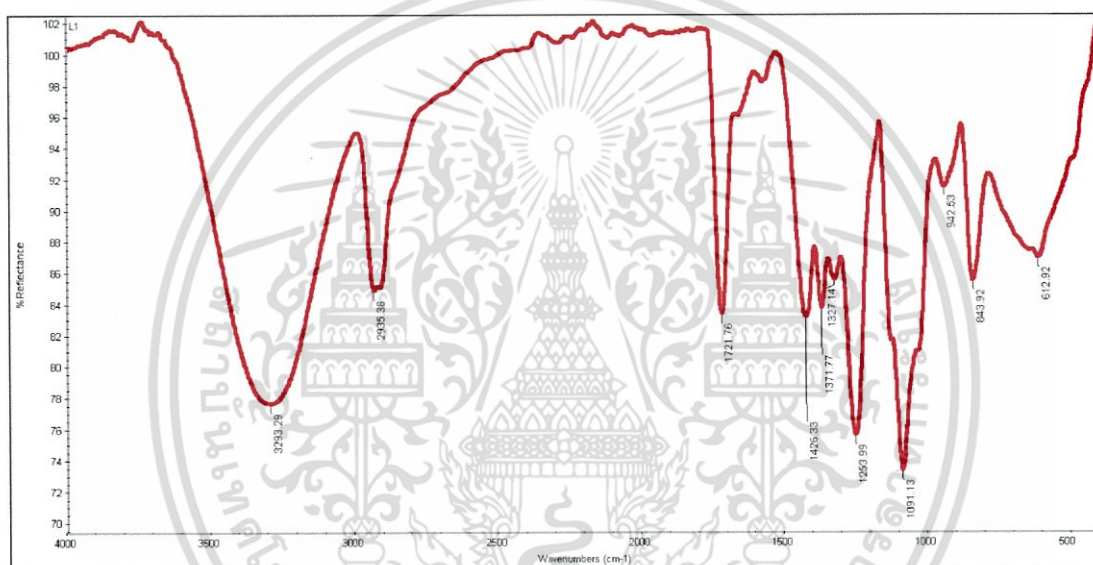


รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 45°

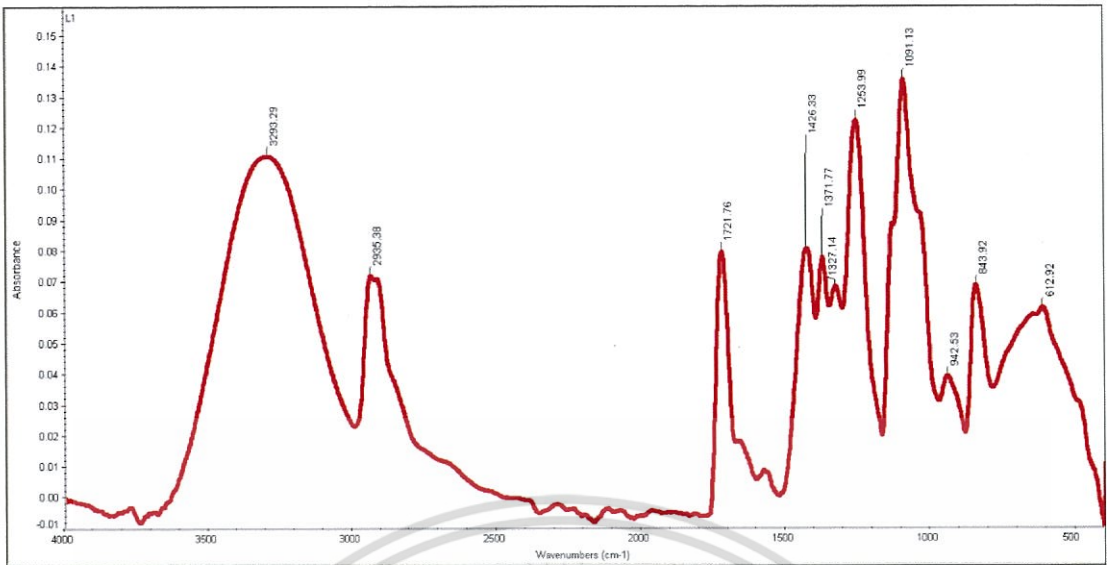
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 60°

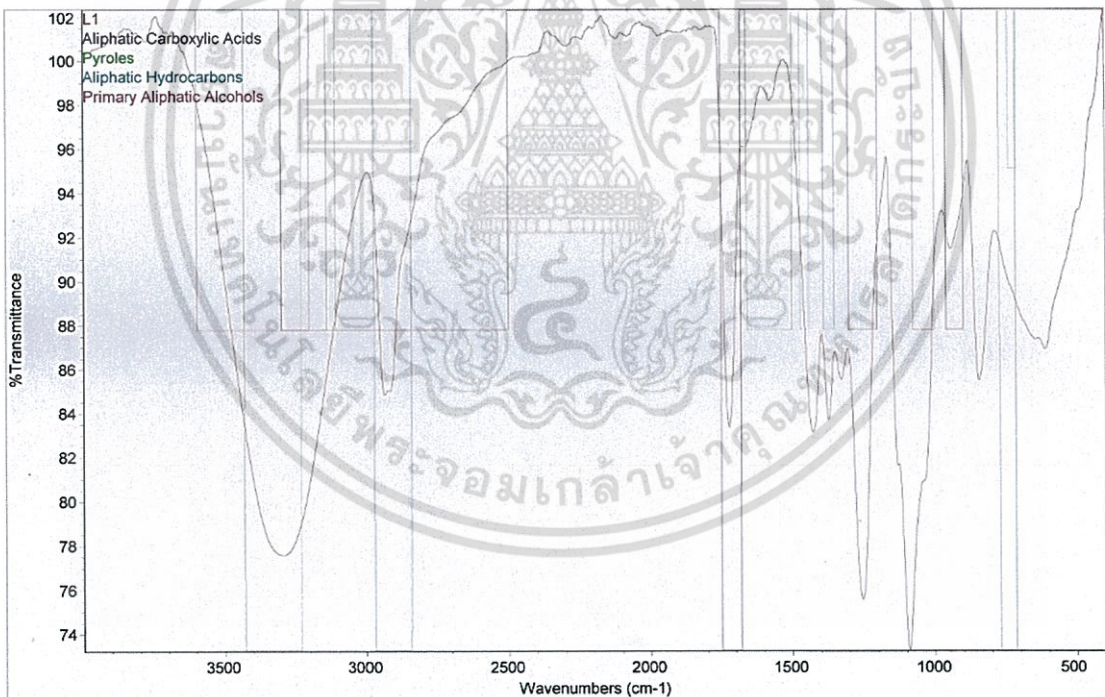
จากกราฟแสดงการสะท้อนแสง ดูดกลืนแสง และส่งผ่านของแสง ของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 60° จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการสะท้อนและดูดกลืน พบว่า เส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 60° มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.41 4.42 และ 4.43 และตารางที่ 4.5 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3293.29, 2935.38, 1721.76, 1426.33, 1371.77, 1253.99, 1091.13, 942.53, 843.92, 612.92 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ซึ่งเป็นผลที่ได้มาจากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดโดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาทั้งหมดเป็นไปตามลักษณะทั่วไปของ PVA



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 60°



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 60°

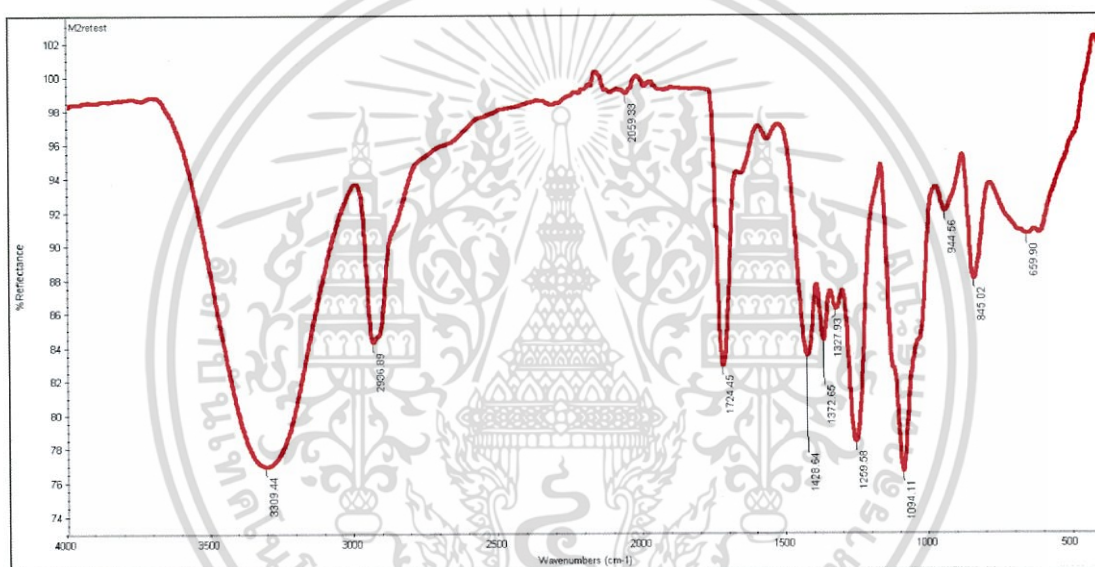


รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 60°

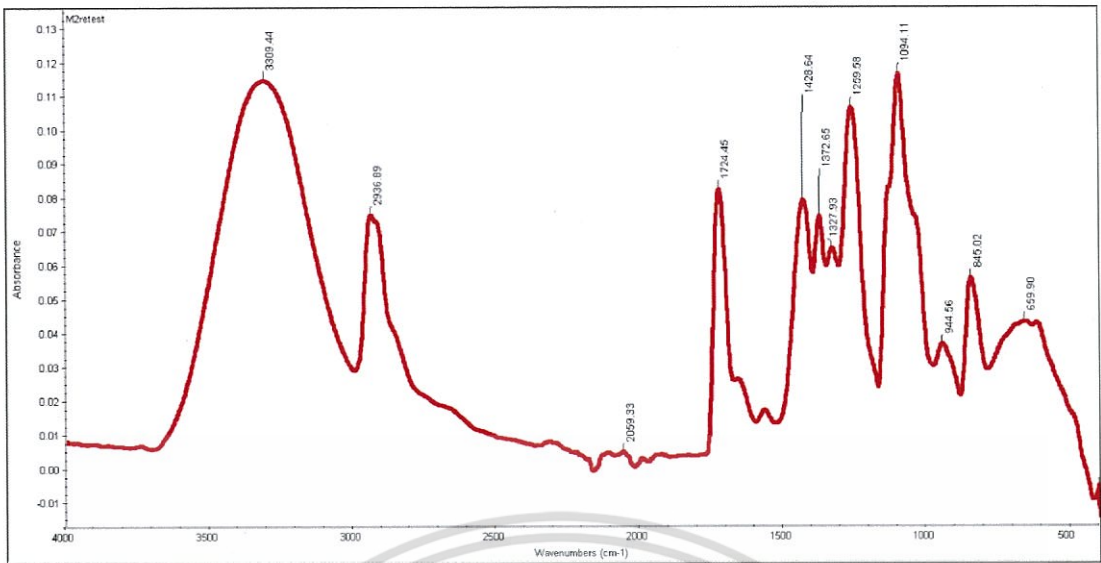
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 75°

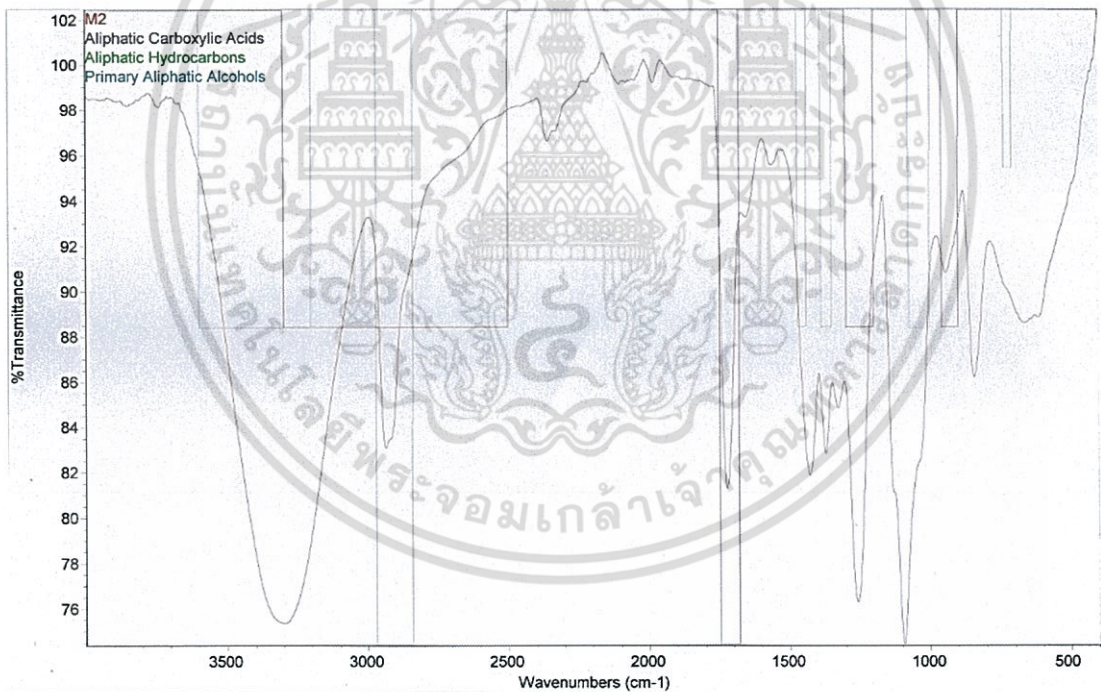
จากกราฟแสดงการสะท้อนแสง ดูดกลืนแสง และส่งผ่านของแสง ของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 75° จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการสะท้อนและดูดกลืน พบว่าเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 75° มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.44 4.45 และ 4.46 และตารางที่ 4.5 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3309.44, 2936.89, 1724.45, 1428.64, 1372.65, 1327.93, 1259.58, 1094.11, 944.56, 845.02, 659.90 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ซึ่งเป็นผลที่ได้มาจากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดโดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาทั้งหมดเป็นไปตามลักษณะทั่วไปของ PVA



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 75°



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 75°

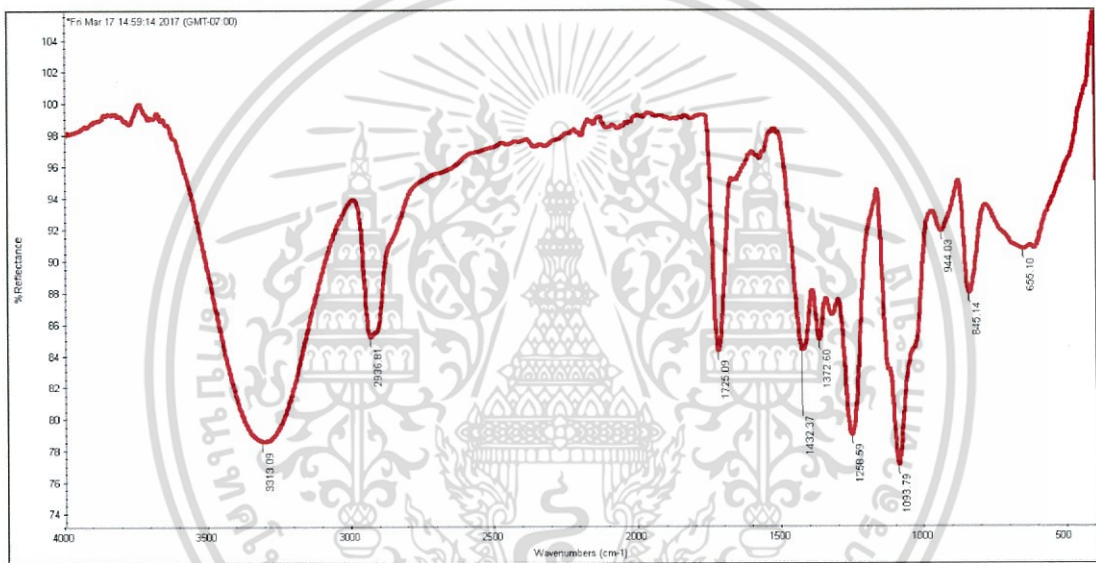


รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 75°

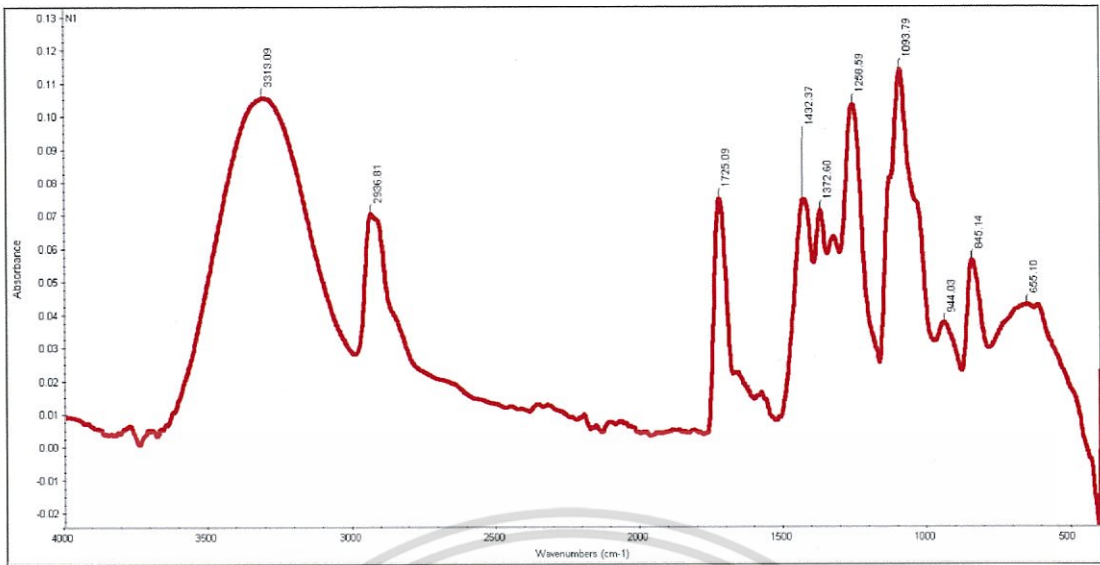
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) มุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°

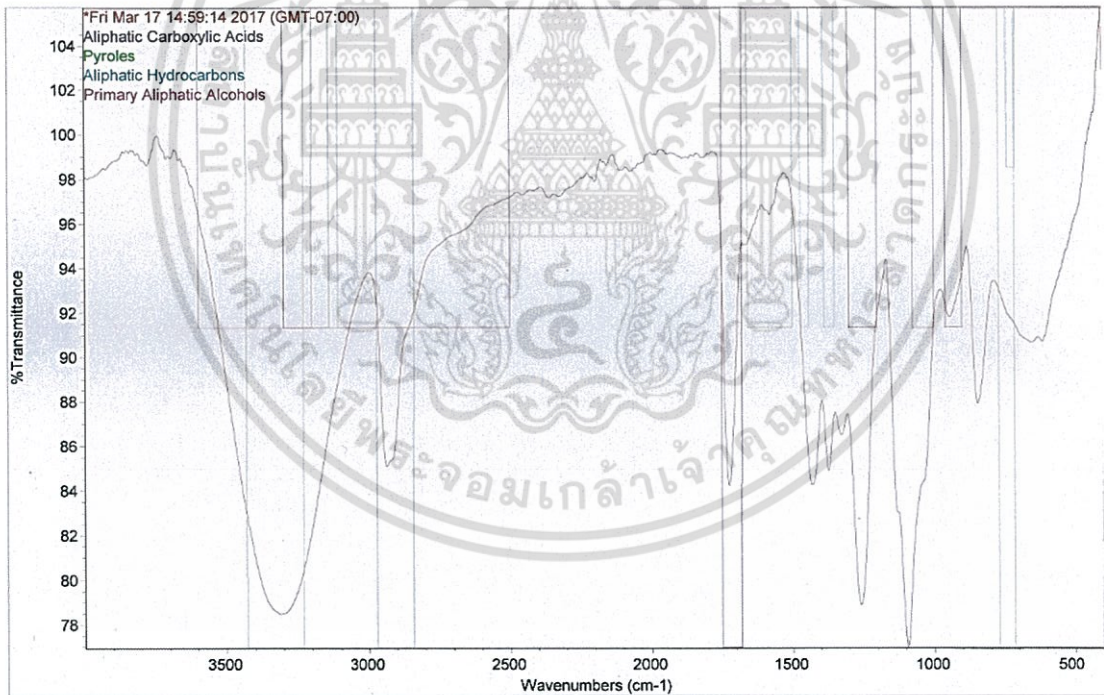
จากกราฟแสดงการสะท้อนแสง ดูดกลืนแสง และส่งผ่านของแสง ของเส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 90° จากการวิเคราะห์กราฟอัตราการสะท้อนและดูดกลืน พบว่า เส้นใย PVA ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่มุม 90° มีหมู่ฟังก์ชันและพันธะต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.47 4.48 และ 4.49 และตารางที่ 4.5 จะมีพีคหลักอยู่ที่เลขคลื่น 3313.09, 2936.81, 1725.09, 1432.37, 1372.60, 1258.59, 1093.79, 944.03, 845.14, 655.10 และจากกราฟการส่งผ่านของแสงจะแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ซึ่งเป็นผลที่ได้มากจากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดโดยประกอบไปด้วย Aliphatic Carboxylic Acids, Pyroles, Aliphatic Hydrocarbons และ Primary Aliphatic Alcohol โดยที่ผลที่ได้ออกมาทั้งหมดเป็นไปตามลักษณะทั่วไปของ PVA



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°



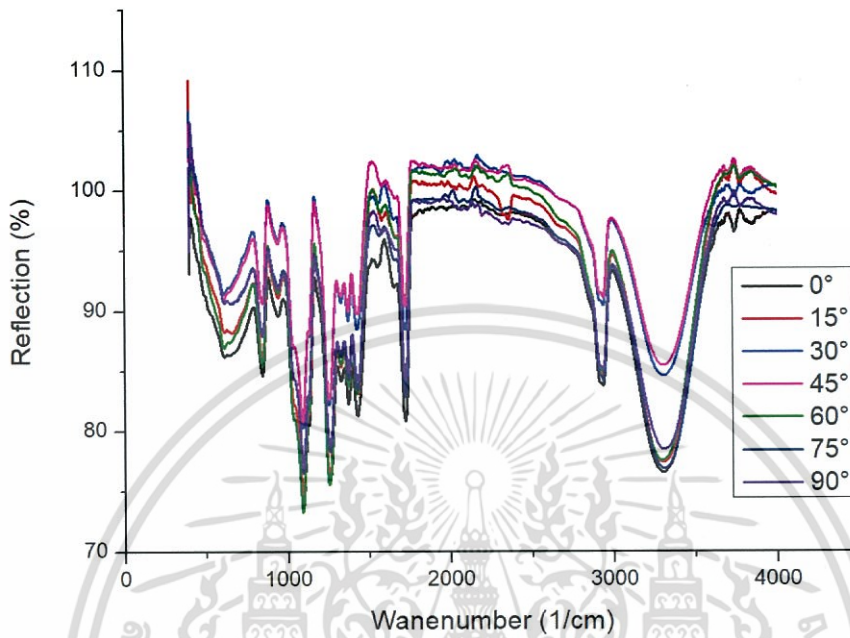
รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°



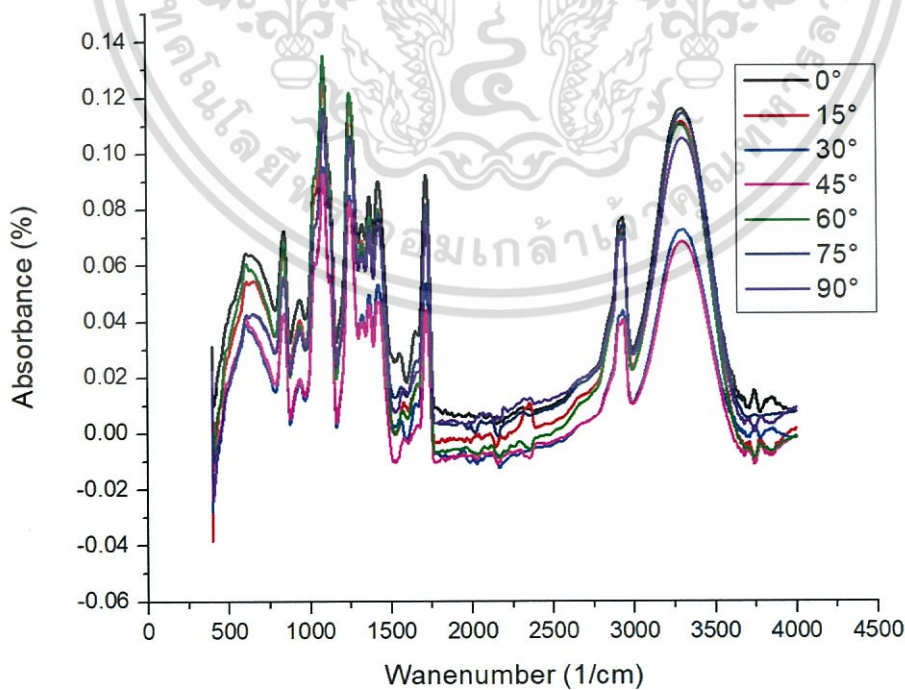
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงของเส้นใย PVA ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใย 90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้ในส่วนของการสะท้อนแสงดังรูปที่ 4.29 4.32 4.35 4.38 4.41 4.44 และ 4.47 สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ดังรูปที่ 4.50 ในส่วนของการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 4.30 4.33 4.36 4.39 4.42 4.45 และ 4.48 สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ดังรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการสะท้อนของเส้นใย PVA จากมุมการสังเคราะห์เส้นใยทั้งหมด 7 มุม



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและอัตราการดูดกลืนของเส้นใย PVA

ที่สังเคราะห์ขึ้นจากมุมการสังเคราะห์เส้นใยทั้งหมด 7 มุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาทั้งหมด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบสร้างฐานวางระบบของเครื่องส่งเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมที่ใช้ในการส่งเคราะห์เส้นใยได้โดยใช้โปรแกรม Solidworks ในการออกแบบและสร้างขึ้นมาจากอะคริลิกโดยมีขนาดของกล่องควบคุมสภาพแวดล้อมของเครื่องส่งเคราะห์เส้นใยกว้าง 500 mm สูง 1300 mm และยาว 1200 mm โดยประมาณ โดยที่จะสามารถปรับมุมของฐานวางระบบได้อย่างอิสระจาก 0° ถึง 90° และระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยได้มากที่สุดอยู่ที่ 600 mm ได้ทดสอบระบบด้วยการส่งเคราะห์เส้นใยที่มุมที่แตกต่างกันจาก 0° ถึง 90° ในเบื้องต้น พบว่า ระบบและฐานวางระบบส่งเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิตสามารถใช้งานได้

จากผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใย PVA ที่ส่งเคราะห์จากการใช้มุมที่กระทำต่อพื้นโลกของระบบแตกต่างกัน (จาก 0° ถึง 90°) โดยผลการศึกษาจากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง พบว่า การจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ได้จากการส่งเคราะห์เส้นใยที่มุมต่าง ๆ มีรูปแบบการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ใกล้เคียงกันและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยใกล้เคียงกัน ที่มุมการส่งเคราะห์ 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° และ 90° จะมีขนาดเฉลี่ยของเส้นใยอยู่ที่ 265.5, 203.5, 202.75, 207.8, 196.67, 257.33 และ 197.75 ในหน่วย nm ตามลำดับ แต่จะมีช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแตกต่างกันคือ 20, 30, 40, 30, 60, 130 และ 180 ในหน่วย nm ตามลำดับ โดยจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการเพิ่มมุมระหว่างระบบที่ใช้ในการส่งเคราะห์เส้นใยกับพื้นโลกให้มีมุมที่มากขึ้น

จากผลการทดสอบค่ามุมสัมผัสของเส้นใย PVA ที่ส่งเคราะห์ขึ้นจากมุมที่แตกต่างกันพบว่า เส้นใยที่ถูกส่งเคราะห์ขึ้นที่มุมของระบบกระทำต่อพื้นโลก 30° มีค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 58.97° ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมบัติความชอบน้ำที่มากที่สุดและเส้นใยที่ถูกส่งเคราะห์ขึ้นที่มุมของระบบกระทำต่อพื้นโลก 90° มีค่ามุมสัมผสมากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 94.72° ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำที่มากที่สุดจากตัวอย่างทั้งหมดที่นำไปตรวจสอบจากผลการทดสอบลักษณะการดูดกลืนแสง การสะท้อนของแสง ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดของเส้นใยที่ส่งเคราะห์ขึ้นจากมุมที่แตกต่างกัน พบว่ามีพีคหลักอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3308.14, 2936.47, 1722.15, 1425.92, 1370.89, 1327.69, 1252.32, 1090.89, 942.41, 843.96 และ 612.57 ซึ่งจะประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชัน $\text{N-H}(\text{stretching, Free NH}) \equiv \text{C-H O-H}(\text{stretching, H-bonded OH})$, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C-H, C=O (stretching, saturated or alicyclic), C-H ($-CH_3$ (bending)) และ C-O (Ether, Ester, Carboxylic acids, Anhydrides) ตามลำดับ โดยที่เส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ที่ชั้นที่มุมของระบบกระทำต่อพื้นโลกอยู่ในช่วง 30° ถึง 45° มีค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุดรวมไปถึงมีค่าการสะท้อนของแสงมากที่สุด และ เส้นใยที่ถูกสังเคราะห์ที่ชั้นที่มุมของระบบกระทำต่อพื้นโลกใน 0° มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดรวมไปถึงมีการสะท้อนของแสงน้อยที่สุดในหลายช่วงของเลขคลื่น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ผู้ศึกษาควรที่จะศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของวัสดุที่ใช้ในการสร้างฐานวางระบบเพื่อที่จะทำความเข้าใจถึงลักษณะโครงสร้างและความแข็งแรงของฐานวางระบบ
2. ผู้ศึกษาควรที่จะศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของตัวแปรที่มีผลต่อเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งยังมีอีกหลายตัวแปรที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้น
3. สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายด้านควรที่จะทดลองในเรื่องของตัวแปรมุมการสังเคราะห์เส้นใยเพิ่มเติมสำหรับการใช้สารที่แตกต่างออกไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] รัฐพล รังกูพันธ์. 2016. 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. Paosawatyanong, 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 ไวทยวงศ์สกุล. 2016. ผลึกเหลว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.material.chula.ac.th/RADIO45/April/radio4-3.htm>
- [5] ญัฐฐา ศักดิ์ศิลาพร และคณะ. 2553. “การผลิตเส้นใยนาโนทั้งสเดนออกไซด์ด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง” *หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
- [6] 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
- [7] 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
- [8] ปรียาภรณ์ ตริวาณิชย์, จุฑารัตน์ แม่นมาตย์. 2556. “การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยนาโนของโพลีเมอร์ผสมระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และสารสกัดจากเปลือกเงาะ.” *รายงานโครงการของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*.
- [9] Solidwork. 2016. SolidWorks .[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://solidworkweb.blogspot.com/>
- [10] เคมีคริวเรือน. 2016. แผ่นอะคริลิก และอะคริลิก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.siamchemi.com/%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%84/>

- [11] บริษัท นาโน แมททีเรียลส์ เทคโนโลยี จำกัด. 2008. ZnO หรือ ซิงค์ออกไซด์ คืออะไร. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.nanomaterials.co.th/index2.asp?CType=3>
- [12] ศุภวัณณ์ โดเกียรติวงศ์ชัย, 2553 “การปั่นเส้นใยโคพอลิเมอร์แบบสามช่วงแบบสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีนด้วยไฟฟ้าสถิตและการประยุกต์ใช้เส้นใยในวัสดุเชิงประกอบที่มีโพลีสไตรีนเป็นวัสดุเนื้อหลัก”
- [13] วีรศรุต แก่นไร่, 2558 “การสังเคราะห์ PVA/ZnO นาโนไฟเบอร์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปิน เพื่อนำมาใช้เป็นก๊าสเซ็นเซอร์”
- [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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สนามไฟฟ้า

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

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2} \quad (ก.1)$$

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

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2} \quad (ก.2)$$

ซึ่งค่า

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

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

เนื่องจากแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ ในการใช้กฎของคูลอมบ์จึงต้องพิจารณาทิศทางของแรงด้วย ถ้า q_1 และ q_2 เป็นประจุนิตเดียวกันจะเกิดแรงผลักซึ่งกันและกัน ทิศทางของแรงแต่ละประจุชี้เข้าหากัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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

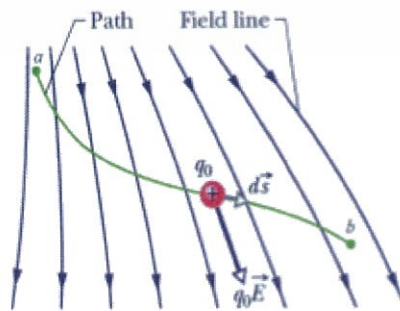
$$E = \frac{F}{q} \quad (\text{ข.1})$$

เราสามารถหาศักย์ไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้าที่จุด P ใด ๆ ได้จาก

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

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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทั้งหมดหรือพลังงานศักย์ที่ต้องใช้ในการเคลื่อนที่ประจุจาก a ไปยัง b สามารถเขียนได้
เป็น

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

ความต่างศักย์ระหว่างจุด a กับ b เขียนสมการได้เป็น

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

ถ้า V_{ab} เป็นลบจะเกิดการสูญเสียพลังงานศักย์ที่เคลื่อนที่ประจุจาก a ไปยัง b แสดงว่า
สนามไฟฟ้าเป็นตัวกระทำงาน 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 (Δv) ระหว่างของไหลสองแผ่นกับระยะทางที่เปลี่ยนไป (Δx) คือ อัตราเฉือน (Shear rate) ที่อยู่ในเทอมของ velocity gradient ($\Delta v / \Delta x, s$) ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่ที่ทำให้เกิดการไหล เรียกว่า แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่ (Shear stress, F) ถ้าของไหลมีความหนืดสูงขึ้นก็ต้องใช้แรงเฉือนที่สูงขึ้นเพื่อให้อัตราส่วนเฉือนเท่าเดิม ดังนั้น อัตราเฉือนจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเฉือน สามารถเขียนสมการได้เป็น

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

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)

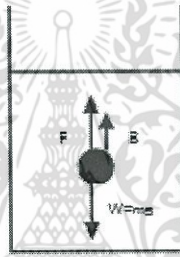
S คือ อัตราเฉือน มีหน่วยเป็น sec⁻¹

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

$$F = 6\pi\eta rv \quad (ค.3)$$

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 [14]

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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

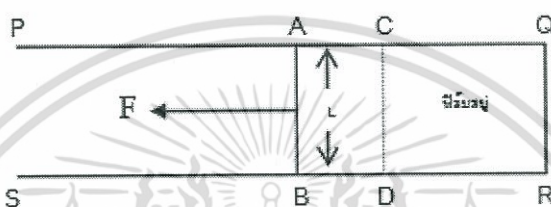


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ความตึงผิว

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



รูปแสดงกรอบฟิล์มสบู่

ในรูป PQRS เป็นโครงลวดที่มีลวด AB ปิดอยู่อีกด้านหนึ่ง ในตอนแรกเส้นลวด AB ในตอนอยู่ติดกับลวด QR หลังจากแซ่โครงลวดนี้ลงในน้ำสบู่ 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ประวัติย่อผู้วิจัย



- ชื่อ - สกุล : นายธนชัย แจงเจริญ
- วัน/เดือน/ปีเกิด : 21 มีนาคม พ.ศ. 2538
- สถานที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 91/4 หมู่ที่ 2 ตำบลโกรกพระ อำเภอโกรกพระ จังหวัดนครสวรรค์ 60000 หมายเลขโทรศัพท์ 0 - 5635 - 8321
- ประวัติการศึกษา
- พ.ศ. 2555 : โรงเรียนนครสวรรค์
- พ.ศ. 2556-ปัจจุบัน : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประสบการณ์ : ผู้ช่วยสอนในรายวิชา INTERMEDIATE PHYSICS LABORATORY 1 ในการทดลองเรื่องสนามแม่เหล็กจากขดลวด และ INTERMEDIATE PHYSICS LABORATORY 2 ในการทดลองเรื่องการใช้เทอร์มิสเตอร์ วัดอุณหภูมิ
- นำเสนองานในการประชุมวิชาการ International Conference on Applied Physics and Material Applications (ICAPMA2017) เรื่อง Characterization of Polyvinyl Alcohol Nanofibers Synthesized by Electrospinning System with Adjustable Platform Angle, T. Changcharoen, N. Promros, and B. Paosawatyanong

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

