การเปรียบเทียบโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงแสงใน PLA-PVA ที่ผสมกับ TiO_2 และ ZnO โดยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

COMPARISION OF OPTICAL PROPERTIES IN PLA-PVA BLENDING WITH TiO_2 AND ZnO FABRICATED BY ELECTROSPUN

ปวีณ์สุดา จันทร

พัดชาภรณ์ สุดสุวรรณ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปรียบเทียบโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงแสงใน PLA-PVA ที่ผสมกับ TiO_2 และ ZnO โดยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

COMPARISION OF OPTICAL PROPERTIES IN PLA-PVA BLENDING WITH TiO_2 AND ZnO FABRICATED BY ELECTROSPUN

T149485

ปวีณ์สุดา จันทร
พัดชาภรณ์ สุดสุวรรณ

b.12884923
i.
ศชหมู่.....
เลขทะเบียน 149485
วัน,เดือน,ปี - 8 มิ.ย. 2561

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISION OF OPTICAL PROPERTIES IN PLA-PVA BLENDING WITH TiO_2 AND ZnO FABRICATED BY ELECTROSPUN

PAWEESUDA CHANTORN
PADCHAPORN SUDSUWAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHERLOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การเปรียบเทียบโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงแสงใน PLA-PVA ที่ผสมกับ TiO_2 และ ZnO โดยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

Comparision of Optical Properties in PLA-PVA Blending with TiO_2 and ZnO Fabricated by Electrospin

ชื่อนักศึกษา นางสาวปวีณ์สุดา จันทร รหัสนักศึกษา 56051165

นางสาวพัดชาภรณ์ สุดสุวรรณ รหัสนักศึกษา 56051178

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส

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

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ประธานกรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการ	
ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์ กรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การเปรียบเทียบโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงแสงใน PLA-PVA ที่ผสมกับ TiO_2 และ ZnO โดยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ชื่อนักศึกษา นางสาวปวีณ์สุดา จันทร รหัสนักศึกษา 56051165
นางสาวพัดชาภรณ์ สุดสุวรรณ รหัสนักศึกษา 56051178

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการผลิตแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันโดยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อนำมาประยุกต์ในการทำวัสดุปิดแผลที่มีคุณสมบัติรักษาความชุ่มชื้นของบาดแผล มีความสามารถดูดซับสารคัดหลังได้ดี และที่สำคัญมีคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงแสงที่ดียิ่งขึ้นในการลดการสลายตัวของเส้นใยและยาปฏิชีวนะด้วยแสง จากการวิจัยได้มีการหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการทำอิมัลชันและเมื่อได้จึงหาอัตราส่วนวัฏภาคน้ำมันหรือ พอลิแลคติคแอซิดต่อวัฏภาคน้ำหรือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมต่อการทำอิมัลชัน อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ทำอิมัลชันคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้สองตัวเพื่อให้อิมัลชันมีความเสถียรคือ Tween 80 และ Span 80 และได้มีการผสมไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1% 1.5% และ 2% w/w ตามลำดับ เมื่อนำไปตรวจสอบสัณฐานวิทยา พบว่าแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ผสมไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นมีผลทำให้เส้นใยมีการซ้อนทับเป็นเนื้อเดียวกันและมีปริมาณเส้นใยน้อยลง แต่เกิดลูกปัดมากขึ้น สมบัติการดูดกลืนแสงและร้อยละการทะลุผ่านของแสง พบว่ามีการดูดกลืนและร้อยละการทะลุผ่านที่น้อยที่ระดับความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 1% w/w ซึ่งหมายความว่าเส้นใยมีการสลายตัวด้วยแสงที่น้อยที่สุด และวัฏภาคภายนอกของอิมัลชันหรือวัฏภาคน้ำนั้นส่งผลให้แผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันมีสมบัติความชอบน้ำซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำไปทำวัสดุปิดแผล

คำสำคัญ: การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ซิงค์ออกไซด์ พอลิแลคติคแอซิด พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ไททาเนียมไดออกไซด์ อิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Comparison of Optical Properties in PLA-PVA Blending with and ZnO Fabricated by Electrospun
Student	Miss.Paweesuda Chantorn Student ID 56051165
	Miss.Padchporn Sudsuwan Student ID 56051170
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Acedemic	2016
Advisor	Asst.Prof.Dr.Nathaporn Promros

Abstract

This special project is the fabrication of nanofiber by exploiting electrospun for wound dressing. The electrospun has properties to keep the wound moisturizing along with an ability to absorb the secretion well. More importantly, it has better morphological and optical properties to reduce the degradation of nanofiber and antibiotics with light. Based on the research, there was a search for an appropriate concentration of polyvinyl alcohol in the emulsion to determine the ratio of oil phase or polylactic acid and water phase or polyvinyl alcohol suitable for emulsification. As for emulsifier used for the emulsion, we chose to use two emulsifiers that were Tween 80 and Span 80 to help improve the efficiency and stability. The emulsifier were then blended with Titanium Dioxide and Zinc Oxide at the concentration of 1%, 1.5% and 2% w/w, respectively. As a result of the emulsion nanofiber blended with Titanium Dioxide and Zinc Oxide, it produced an increase of the concentration which effectively decreased the overlap and homogeneity of the emulsion nanofiber, however, it increased the beads. From absorptance and transmittance properties, the emulsion nanofiber blended with Titanium Dioxide at 1% w/w will make the degradation by light decay the smallest. Also, the outer phase or water phase of emulsion affects the hydrophilic property of emulsion nanofiber and is suitable for wound dressing.

.**Keywords:** Electrospinning, Emulsion, Poly(Lactic Acid), Polyvinyl Alcohol, Titanium Dioxide, Zinc Oxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ ความกรุณา และการสนับสนุนจากผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส ที่ให้ข้อชี้แนะและคอยให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบคุณคณะกรรมการคุมสอบโครงงานพิเศษ รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข และดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์ที่ได้สละเวลาอันมีค่าเข้ารับฟังการนำเสนองานวิจัย อีกทั้งยังคอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ทั้งในด้านวิชาการและการใช้ชีวิตอันเป็นผลให้โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสำหรับทุนในการทำงานวิจัยในโครงงานพิเศษเล่มนี้จนสำเร็จ และยังเป็นสถานที่ที่ให้ความรู้ ได้พบเพื่อนใหม่ๆ ได้เจอสังคมแบบใหม่ แม้เส้นทางอาจไม่ได้โรยด้วยกลีบกุหลาบ แต่ก็เป็นสถานที่สำหรับเรียนรู้ชีวิตและทำให้คณะผู้วิจัยแข็งแกร่งขึ้นกับอุปสรรคต่างๆ ในการที่จะรับมือและแก้ไขให้ดีขึ้น หากคณะผู้วิจัยมีโอกาสได้กลับมาตอบแทนบุญคุณและทำประโยชน์ให้แก่สถาบัน คณะผู้วิจัยก็ยินดีและเต็มใจที่จะทำให้สุดความสามารถ

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และนักศึกษาทุกท่าน ที่ช่วยเป็นที่ปรึกษาและให้การสนับสนุนในเรื่องต่างๆ รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำโครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จ สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณและระลึกอยู่เสมอว่าจะไม่มีความสำเร็จใดๆในชีวิต หากปราศจากความรัก ความเข้าใจ และกำลังใจจากบุคคลที่มีพระคุณที่คอยให้การสนับสนุนการศึกษาของคณะผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณบิดา มารดาและสถาบันอันทรงเกียรติที่มอบโอกาสในการศึกษาหาความรู้

คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากโครงงานพิเศษนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบบูชาพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ และขอน้อมบูชาท่านบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาความรู้ด้วยความรักและเมตตา

ปวีณ์สุดา จันทร

พัดชาภรณ์ สุดสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินการ	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning)	6
2.1.1 ลักษณะพื้นฐานของกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	7
2.1.2 หลักการการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	11
2.1.3 พารามิเตอร์ของการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	12
2.1.4 การประยุกต์ใช้งาน	15
2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol)	16
2.2.1 สมบัติทางกายภาพ	17
2.2.2 คุณสมบัติทางเคมี	17
2.2.3 ความปลอดภัยและความเป็นพิษ	18
2.3 พอลิแลคติค แอซิด (Poly(Lactic Acid))	18
2.3.1. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของพอลิแลคติคแอซิด	20
2.4 การเกิดอิมัลชัน	21
2.4.1 ธรรมชาติของอิมัลซิไฟเออร์	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 โครงสร้างของระบบ 23
2.4.3 การยุติทางกระบวนการในอิมัลชัน 23
2.4.4 การแยกชั้นครีมและการตกตะกอน 23
2.4.5 การจับตัวเป็นก้อน 24
2.4.6 ปรากฏการณ์ออสวาร์ดริพเพ็นนิ่ง(ความไม่สมส่วน) 24
2.4.7 การแขวนลอย 24
2.4.8 การกลับเฟส (Phase Inversion) 25
2.4.9 การประยุกต์ใช้ทางด้านอุตสาหกรรมของอิมัลชัน 25
2.4.10 อุณหพลศาสตร์การขึ้นรูปและเสียรูปของอิมัลชัน 25
2.4.11 แรงพลังงานปฏิกิริยาระหว่างหยดและการรวมตัวของพวกมัน 27
2.5 ไททาเนียมออกไซด์ (Titanium Dioxide) 34
2.5.1 ความปลอดภัยไททาเนียมไดออกไซด์กับมนุษย์ 36
2.6 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) 36
2.6.1 กระบวนการในวัฏภาคแก๊ส 36
2.6.2 ความปลอดภัยของซิงค์ออกไซด์ 37
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 38

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย 39
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานและเตรียมการทดลอง 40
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย 40
3.2.2 ขั้นตอนการนำอิมัลชันที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต 41
3.3 การตรวจสอบทางโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโนที่ปั่นได้จากการเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตชนิดอิมัลชั่น 43
3.3.1 การศึกษาทางสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใย 43
3.3.2 การศึกษาหมู่ฟังชันก์ของแผ่นเส้นใย 43
3.3.3 การศึกษาสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของแผ่นเส้นใย 43
3.3.4 การศึกษาสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใย 43

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 ผลการวิจัยประสิทธิภาพของอิมัลซิไฟเออร์เมื่อผสมกับพอลิแลคติคแอซิดพอลิ-ไวนิลแอกอฮอล์โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแแอลกอฮอล์ 44
4.2 ผลการวิจัยเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมัน และวัฏภาคน้ำของอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 46
4.3 ผลการวิจัยการปรับปรุงในแผ่นรองรับเส้นใยนาโนเพื่อสะดวกในตรวจสอบทางโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโน 47
4.4 ผลการวิจัยผลของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่เมื่อผสมในอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ 51
4.5 ผลการวิจัยที่ได้จากใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออก-ไซด์ 55
4.6 ผลการวิจัยที่ได้จากการใช้เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดเพื่อศึกษาหมู่ฟังชันก์ของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออก-ไซด์ 57
4.7 ผลการวิจัยที่ได้จากการใช้เครื่องวัดมุมสัมผัสเพื่อศึกษาสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด- พอลิไวนิลแอกอฮอล์ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออก-ไซด์ 59
4.8 ผลการวิจัยที่ได้จากการใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง และร้อยละการทะลุผ่านของแสงเพื่อศึกษาสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 61
5.1 สรุปผลงานวิจัยที่ได้
5.1.1 การศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิแลคติคแอซิดต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 1:9, 2:8 และ 3:7 ตามลำดับ 63
63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.2 การศึกษาหาแผ่นรองรับที่เหมาะสมกับการใช้งานโดยมีแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์แผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสารและแผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่ 63

5.1.3 การศึกษาหาปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือ ซิงค์ออกไซด์ที่ใส่ลงในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์พอลิแลคติคแอซิดที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางแสงในทางที่ดีขึ้น 64

5.2 ข้อเสนอแนะ 64

5.3 งานที่สนใจศึกษาต่อในอนาคต 65

เอกสารอ้างอิง 66

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 70

ภาคผนวก ข 71

ภาคผนวก ค 81

ภาคผนวก ง 92

ภาคผนวก จ 97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินการ 5

2.1 การเลือกคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของPLA 21

2.2 การจำแนกประเภทอิมัลชัน 22

4.1 ตารางแสดงภาพของอิมัลชัลพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่ 5, 7 และ 10% w/w และภาพแผ่นเส้นใยที่ได้ 52

4.2 แสดงสูตรโมเลกุลของหมู่ฟังก์ชันที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดเทียบกับสูตรโมเลกุลที่ใช้ในการทดลอง 58

4.3 แสดงมุมสัมผัสเฉลี่ย (θ) ที่วัดได้เครื่องวัดมุมสัมผัสที่บ่งบอกสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของแผ่นเส้นใยนาโนแต่ละชนิดที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1.1	การใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	2
2.1	แสดงถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ของกระบวนการบนเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย	7
2.2	แบบแผนของส่วนประกอบของไหลทรงกระบอกที่ใช้ในแบบจำลองอิเล็กโตรไฮโดไดนามิกส์	11
2.3	ภูมิภาคต่าง ๆ ในการอัดขึ้นรูปไฟฟ้าสถิต	12
2.4	ภาพถ่ายจาก SEM ของเส้นใยนาโนจากสารละลายที่มีความเข้มข้นของพอลิเมอร์แตกต่างกัน	13
2.5	ภาพประกอบวิศวกรรมเนื้อเยื่อ	15
2.6	วงจรของพอลิแลคติคแอซิดในธรรมชาติ	19
2.7	stereoisomers ของกรดแลคติค	20
2.8	แผนภาพแสดงการกระบวนการเสียรูปต่างๆของอิมัลชัน	24
2.9	แผนภาพแสดงการขึ้นและเสียรูปของอิมัลชัน	26
2.10	เส้นทางพลังงานอิสระในการเสียรูปอิมัลชัน-(เส้นตรง) การจับตัวเป็นก้อน-การแขวนลอย ; (เส้นปะ) การจับตัวเป็นก้อน-การแขวนลอย-การตกตะกอน และ (เส้นจุด) การจับตัวเป็นก้อน-การแขวนลอย-การตกตะกอน-ปรากฏการณ์ออสวาร์ดริพเพ็นนิ่ง	27
2.11	แผนภาพแสดงเส้นทางอิสระของเสียรูป (การจับตัวเป็นก้อนและการแขวนลอย)สำหรับระบบที่มีกำแพงพลังงาน (energy barrier)	27
2.12	การแปรผันพลังงานดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ด้วยการแยกที่ระยะทางต่าง	29
2.13	แบบแผนประจุไฟฟ้าสองชั้นที่ถูกสร้างขึ้นโดยการดูดซึมสารลดความตึงผิวที่มีประจุ	29
2.14	แบบภาพแสดงการทับซ้อนของประจุไฟฟ้าสองชั้น	30
2.15	การแปรผันของด้วยค่าที่ต่ำและความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สูง	31
2.16	พลังงานทั้งหมด-ระยะโค้งที่สอดคล้องกับทฤษฎี DLVO	31
2.17	แบบแผนแสดงของชั้นการดูดซับ	33
2.18	แบบแผนแสดงพลังงาน-ระยะทางโค้งของอิมัลชันที่มีความเสถียรทางสเตอริค	33
2.19	การแปรผันของ ด้วยค่า h ที่ ที่หลากหลาย	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
2.20 แสดงโครงสร้างผลึกแบบ (ก) อะนาเทส (Anatase) (ข) รูไทล์ (Rutile) และ (ค) บรุ๊คไคท์ (Brookite)	35
3.1 ตัวอย่างสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย a พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ b ไททาเนียมไดออกไซด์และซิงออกไซด์ c กระบอกฉีดยาแก้ว d คลอโรฟอร์ม e เครื่องชั่งสารเคมี และ f เครื่องแกว่งสารพร้อมให้ความร้อน	40
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์การหยดสารละลายพอลิแลคติคแอซิดลงไปในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อให้เกิดเป็นอิมัลชัน	41
3.3 การติดตั้งอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	42
4.1 แสดงภาพของอิมัลชันที่ได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 5, 7 และ 10% w/v ที่ผสมกับพอลิแลคติคแอซิด 15% w/v ตามลำดับ โดยภาพที่ a, c และ e คือที่สังเกต ณ เวลา0นาที และภาพที่ b, d และ f คือที่สังเกตเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที	45
4.2 แสดงภาพของอิมัลชันที่ได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 7% w/v ที่ผสมกับพอลิแลคติคแอซิด 15% w/v ที่อัตราส่วนดังภาพ a, b และ c. ส่วนภาพ d แสดงลักษณะเนื้อสารที่ปรากฏ	47
4.3 แสดงภาพของแผ่นรองรับอะลูมิเนียมฟอยล์ที่มีการปรับปรุงโดยการติดแผ่นพลาสติกที่ถ่ายเอกสารและวางในลักษณะต่างๆดังภาพที่ a, b และ c	48
4.4 แสดงภาพโครงสี่เหลี่ยมพลาสติกจากแผ่นพลาสติกกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่ ภาพ a คือตัดแผ่นพลาสติกเป็นโครงแปะบนอะลูมิเนียมฟอยล์ และ ภาพ b คือโครงสี่เหลี่ยมพลาสติกที่ได้	49
4.5 แสดงภาพทดสอบการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากอิมัลชันพอลิแลคติค-แอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนภาพพลาสติกกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยจัดวางพลาสติก	49
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นฟิล์มกันรอยแผ่นพลาสติกใสและแผ่นฟอยล์	50
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นแผ่นฟิล์มกันรอย แผ่นพลาสติกใสและแผ่นฟอยล์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.8	แผ่นเส้นใยอิมัลชันที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าโดยภาพ a เป็นแผ่นเส้นใยนาโน - อิมัลชัน ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์ และภาพ b เป็นแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ผสมกับซิงค์ออกไซด์	54
4.9	ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากสารละลายต่างๆ	55
4.10	ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ	56
4.11	ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ระดับต่างๆ	56
4.12	ลักษณะของหยดน้ำที่อยู่บนผิวหน้าของวัสดุโดยมีมุมสัมผัสค่าต่างๆ	59
4.13	(a) กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น และ (b) กราฟแสดงร้อยละการทะลุผ่านแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ไม่ผสมและผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
ρ_m	ความหนาแน่นมวล
v	ความเร็วในการพ่นเส้นใย
t	เวลา
P_c	ความดันในรูเล็ก
γ	ความตึงผิว
ζ	ระยะโก่งของผิว
P	ความดัน
R_x และ R_y	รัศมีความโค้ง
τ_{ij}	เทนเซอร์ความเครียด
η	ความหนืด
v	ความหนืดจลน์
R	รัศมี
v_z	ความเร็ว
E_z	สนามไฟฟ้า
L	ความยาวทั้งหมด
γ	แรงตึงผิว
σ	ประจุระหว่างผิว
τ	ความเค้นแรงดึง
Q	อัตราการไหล
K	ความนำไฟฟ้า
p	ความหนาแน่น
ε	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
η_0	ความหนืดที่อัตราเฉือนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
A	พื้นที่
A	ค่าคงที่ประสิทธิผล Hamaker
γ_{12}	แรงตึงผิวจากสถานะที่ 1 ไปสถานะที่ 2
$\Delta A\gamma_{12}$	เทอมพลังงานพื้นผิว
$T\Delta S^{conf}$	โครงสร้างเอนโทรปี
ΔG^{form}	อุณหพลศาสตร์ของการเกิดอิมัลชัน
G_A	พลังงานปฏิกิริยาระหว่างสองอะตอมหรือโมเลกุล
R	ระยะทางการแยกจากกันระหว่างอะตอมหรือโมเลกุล
B	ค่าคงที่การแพร่กระจายลอนดอนที่ถูกกำหนดโดยความสามารถในการเกิดขั้วของอะตอมหรือโมเลกุล
H	ระยะทางของการแยกตัว
G_{el}	พลังงานปฏิกิริยาการผลักระหว่างสองอะตอมหรือโมเลกุล
G_{el}	ปฏิกิริยาแบบยืดหยุ่น
ε_r	ค่าความนำสนามไฟฟ้าสัมพันธ์
ε_0	ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ
κ	พารามิเตอร์ของ Debye-Huckel
$1/\kappa$	ค่าการขยายตัวประจุไฟฟ้าสองชั้น
K	ค่าคงที่ของ Bolzmann
T	ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์
η_0	เลขไอออนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของกลุ่มสารละลายแต่ละชนิด
Z_i	จำนวนอะตอมของไอออน
E	ค่าประจไฟฟ้า
G_T	พลังงานทั้งหมดของปฏิกิริยา
φ_0 หรือ ζ	กำแพงพลังงาน
V_1	ปริมาตรโมลาร์ของสารทำละลาย
φ_2^2	การแตกปริมาตรของสายโซ่พอลิเมอร์
δ	ความหนา
χ	พารามิเตอร์ปฏิกิริยา Flory–Huggins
G_{mix}	ปฏิกิริยาของพลังงานอิระของผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
HLB	Hydrophile-lipophile balance
spf	Sun protection factor
wt/vol % หรือ w/v %	ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
wt/wt % หรือ w/w %	ร้อยละโดยมวล
vol/vol % หรือ v/v %	ร้อยละโดยปริมาตร
D	ความหนาของทองในหน่วย อังสตรอม
K	ค่าคงที่ฐานที่กำหนดการทดลองบนโลหะที่ทำการสปัตเตอร์ริ่งและใช้แก๊ซ
I	กระแสไฟที่ใช้ในการพลาสมา ในหน่วย มิลลิแอมแปร์
V	ความต่างศักย์ที่จ่าย ในหน่วย กิโลโวลท์
T	เวลาที่ใช้การสปัตเตอริ่ง ในหน่วย วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

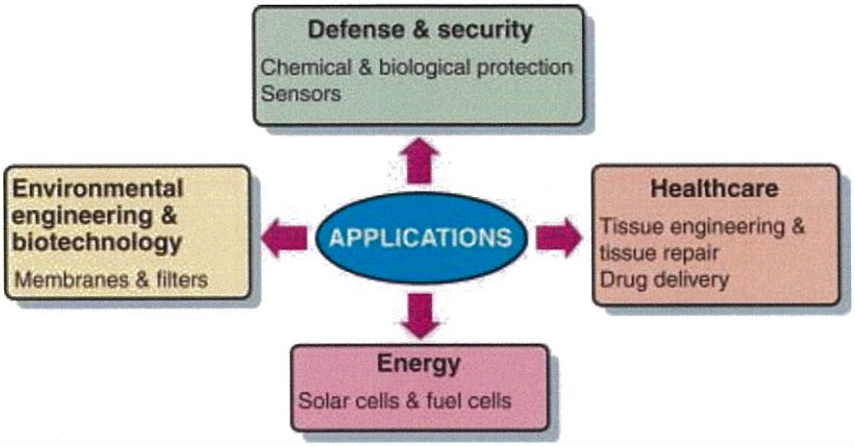
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เส้นใยนาโน (Nanofiber) คือ เส้นใยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 ไมครอน และมูลนิธิวิทยาศาสตร์แห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Science Foundation) ได้ให้นิยามว่า เส้นใยนาโนควรมีขนาดอย่างน้อยที่สุด 100 นาโนเมตรหรือน้อยกว่านั้น ในการผลิตเส้นใยนาโนอาจได้มาจากหลายวิธีด้วยกัน เช่น เทคนิคการสั่นของเหลวเป็นเส้นใย (Melt Fibrillation) เทคนิคการแยกพอลิเมอร์จากสารละลาย (Island-in-sea) และ เทคนิคการพ่นเส้นใยด้วยแก๊ส (Gas Jet) ซึ่งพวกนี้เป็นวิธีที่ได้ความแม่นยำสูงเหมือนเทคโนโลยีการสร้างโครงสร้างระดับนาโน (Nanolithography) และ มีกระบวนการสังเคราะห์โมเลกุลวางกันอย่างเป็นระเบียบได้เอง (Self-assembly) อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากเทคนิคเหล่านี้อาจถูกจำกัดด้วย ความซับซ้อนของระบบเครื่องมือ การควบคุมขนาดความยาวของเส้นใย ต้นทุน และอัตราการผลิต เมื่อเทียบกับการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospin) ที่มีต้นทุนถูกกว่า ความซับซ้อนของระบบเครื่องมือน้อยกว่า และอัตราการผลิตที่มากกว่า โดยมีอัตราการผลิตเส้นใยที่ 70 เมตรต่อวินาที [1]

การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ถูกค้นพบในช่วงต้นคริสตศวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นเป็นกระบวนการเทคนิคที่รู้จักกันมายาวนานในการสร้างพอลิเมอร์ (Polymers) และเทคนิคนี้ถูกค้นพบใหม่อีกครั้งในเส้นใยนาโนที่ไม่ได้มาจากรูปแบบการผลิตแผ่นเส้นใยจากการทอ ซึ่งวัสดุที่ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายด้านดังรูปที่ 1.1 ในด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Tissue Engineering) และ ทางด้านการแพทย์ (Medicine Application) ที่เป็นเรื่องน่าสนใจอย่างยิ่ง เพราะในปัจจุบันนี้มีหลายโรคและการบาดเจ็บที่อาจส่งผลต่อคุณภาพชีวิตในอนาคตได้ ดังนั้นจึงมีการนำเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตไปใช้ในการขนส่งยา (Drug Delivery)ไปยังตำแหน่งที่ต้องการพื้นผิวที่มีเกาะคุ้มกัน (Barrier Textiles) โดยมีชั้นกันน้ำและป้องกันไวรัสและแบคทีเรียได้ การสร้าง/การซ่อมแซมอวัยะและเนื้อเยื่อ (Tissue/organ Repair and Regeneration) และการสมานแผล (Wound Healing) พอลิเมอร์นำมาใช้ในการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตก็มีทั้งแบบการสังเคราะห์พอลิเมอร์ขึ้นมาใหม่ (Synthetic) และพอลิเมอร์ที่ได้มาจากธรรมชาติ (Natural Polymers) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางได้ตั้งแต่ 10 - 100 นาโนเมตร อีกทั้งยังสามารถใส่สารเติมแต่ง (Additive) เพื่อวัตถุประสงค์ทางการแพทย์หรือปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมอร์ให้มีคุณสมบัติและคุณภาพที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 การใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

การสมานแผล เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งผิวหนังหรืออวัยวะอื่นทำการซ่อมแซมตัวเองหลังจากได้รับบาดเจ็บในผิวหนัง ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำพอลิเมอร์ที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตมาใช้ในการตกแต่งและป้องกันอันตรายให้กับบาดแผล อีกทั้งมันยังมีการกระจายตัวได้ดีในการคืนสภาพชั้นผิวหนัง (Dermal) และชั้นเนื้อเยื่อ (Epidermal tissue) เพราะสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) ความสามารถย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradability) และคล้ายคลึงกับสารโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) ที่มีในร่างกาย เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) และโปรตีน (Protein) ถึงแม้ว่าพอลิเมอร์เหล่านี้จะเป็นพอลิเมอร์ที่ได้มาจากการสังเคราะห์แต่ก็มีลักษณะเหมือนกับสารเคลือบเซลล์ในธรรมชาติ (Biomimetic Extracellular)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) และพอลิแลคติคแอซิด (Polylactic acid, PLA) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้มาจากการสังเคราะห์ โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้จากการเตรียมด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชั่น (Polymerization)ของไวนิลอะซิเตต (Vinyl Acetate) และเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ด้วยอะซิติก (Acetic) เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา (Inertness) และมีความเสถียร (Stability) ดังนั้นจึงถูกพิจารณาว่าปลอดภัยและมีความเข้ากันทางชีวภาพ ถ้าหากทำละลายกับน้ำที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 10% w/v จะไม่เกิดการระคายเคืองต่อร่างกาย แต่อาจเกิดโรคโลหิตจางได้เมื่อฉีดเข้าสู่ร่างกาย ส่วนพอลิแลคติคแอซิดคือสารประกอบแอลิแฟติกพอลิเอสเตอร์ (Aliphatic polyester) ที่มีคุณประโยชน์โดดเด่นกว่าพอลิ-เมอร์ชนิดอื่น และได้รับการยอมรับจากองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (US Food and Drug Administration (FDA)) ให้เป็นพอลิเมอร์ที่ติดต่อได้โดยตรงกับสารละลายชีวสาร (Biological fluids) สามารถสังเคราะห์ได้จากกรดแลคติค (Lactic Acid) ที่ผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลจึงเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลี หรืออ้อย จึงไม่มีความเป็นพิษหรือก่อให้เกิดมะเร็งแก่ร่างกายมนุษย์ (Carcinogenic) จึงทำให้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมาผสมกัน เพื่อให้เกิดพอลิเมอร์แบบสารละลาย (Solution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

polymerization) ที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปิดแผล ด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ทั้งนี้การใส่ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide, TiO_2) และ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ลงไปในสารละลายสองชนิดที่ผสมกันแล้วเพื่อให้เป็นวัสดุปิดแผลมีคุณสมบัติทางด้านยาปฏิชีวนะ และป้องกันรังสีUV โดยไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic Substance) เป็นของแข็งสีขาว มีเสถียรภาพทางความร้อน (Thermally Stable) ไม่ติดไฟ (Non-flammable) ละลายในสารละลายได้น้อย (Poorly Soluble) และไม่จัดเป็นวัตถุอันตราย (Hazardous) และซิงค์ออกไซด์เป็นสารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic Compound) เป็นผงสีขาวที่ไม่ละลายในน้ำ เป็นสารประกอบที่ได้มาจากแร่ซินไซท์ (Mineral Zincite) ซึ่งทั้งสองสารเป็นสารที่ใช้ยับยั้งแบคทีเรีย (Anti-bacteria) ไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย นอกจากฆ่าแบคทีเรียแล้วยังช่วยป้องกันและยับยั้งการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย ด้วยเหตุผลนี้ซิงค์ออกไซด์จึงเป็นหนึ่งในสารที่สำคัญในการเป็นยาต้านแบคทีเรีย และยังสามารถป้องกันรังสี UV-A และ UV-B อีกด้วย และ [2] โดยจากรายงานของ Barbara Ambrosetti และคณะที่ทำการศึกษาการสลายตัวของยาปฏิชีวนะในสารละลายของเหลวโดยใช้กระบวนการสลายตัวทางแสง: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้ซิงค์ออกไซด์ หรือ ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ศึกษาจากการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายตัวด้วยแสง (Photodegradative) ของซิงค์ออกไซด์ หรือไททาเนียมไดออกไซด์ในการสลายตัวของยาปฏิชีวนะในสารละลายแมทริกซ์ (Aqueous matrices) พบว่าซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการลดการสลายตัวของยาปฏิชีวภาพได้ดีกว่าไททาเนียมไดออกไซด์ นั้นหมายความว่ามีความเป็นไปได้ว่าที่ซิงค์ออกไซด์ และไททาเนียมไดออกไซด์น่าจะมีผลกับโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของพอลิเมอร์ในการสะท้อนของแสง การหักเหและความโปร่งแสงได้ไม่เท่ากันซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่ง จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงทำให้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์เปรียบ เทียบกับซิงค์ออกไซด์ว่ามีประสิทธิภาพเท่ากันหรือไม่ในเชิงโครงสร้างและคุณสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการลดการสลายตัวของยาปฏิชีวนะที่ถูกผสมกับเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต จากกระบวนการสลายตัวทางแสง ทำให้ยาปฏิชีวนะในเส้นใยนาโนมีประสิทธิภาพการทำงานและการสมานแผลที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาการผลิตแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่นำไปผสมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือ ซิงค์ออกไซด์ ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต
2) เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ผสมระหว่างไททาเนียมไดออกไซด์เทียบกับซิงค์ออกไซด์ว่าชนิดไหนมีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสี UV-A และ UV-B ได้ดีกว่ากัน
3) เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการนำแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันไปใช้ในการผลิตวัสดุปิดแผลที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้นและมีอัตราการสลายตัวของยาปฏิชีวนะจากกระบวนการทางแสงลดลงทำให้ยาปฏิชีวนะมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาหาอัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิค ในการผลิตแผ่นเส้นใยนาโนด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตที่เหมาะสมที่สุด
2) ศึกษาหาปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่ผสมลงในอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ -พอลิแลคติคแอซิคในปริมาณที่เหมาะสมกับการผลิตแผ่นเส้นใยนาโน ที่ทำให้มีผลต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงที่ดีขึ้น และไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับร่างกาย
3) ศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างและคุณสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ - พอลิแลคติคแอซิคที่ผสมระหว่างไททาเนียมไดออกไซด์เปรียบเทียบกับซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินการ

ตาราง 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินการ

การดำเนินการ	ระยะเวลา									
	ส.ค.	ก.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	—	—	—	—	—	—	—	—	→
ศึกษาการใช้เครื่องมือและวิธีการทดลอง			←	—	—	—	—	—	—	→
สังเคราะห์เส้นใยอิมัลชัน							←	—	—	→
ตรวจสอบคุณสมบัติโครงสร้างของเส้นใยอิมัลชัน									←	→
วิเคราะห์และสรุปผล							←	—	—	→

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้รับความรู้ทางทฤษฎีและทักษะการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตในการผลิตแผ่นเส้นใยนาโน
2) ได้รับความรู้เกี่ยวกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิด ทางโครงสร้างทางกายภาพและเคมี และการนำไปใช้ในด้านต่างๆโดยเฉพาะทางด้านการแพทย์และชีวภาพ
3) ได้รับความรู้กระบวนการและปัจจัยการเกิดอิมัลชัน รวมถึงการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆทั้งทางการแพทย์และอุตสาหกรรม
4) ได้รับความรู้เกี่ยวกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ ทางโครงสร้างทางกายภาพและเคมี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการนำไปใช้ในด้านต่างๆ
5) ได้รับความรู้และการนำไปใช้ในเรื่องโครงสร้างและสมบัติเชิงฟิสิกส์และเคมีของพอลิเมอร์และสามารถนำไปวิเคราะห์ผลโครงสร้างของพอลิเมอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันนี้การนำเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์ในทางชีว-การแพทย์มากมาย ไม่ว่าจะใช้ในด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ การขนส่งยา หลอดเลือดเทียม และวัสดุตกแต่งแผล ซึ่งในการนำไปใช้ในด้านวัสดุตกแต่งแผล เช่น การเย็บผ้า และผ้าปิดแผลนั้นในปัจจุบันได้มีการบรรจุยาปฏิชีวนะลงไปด้วย แต่ยาปฏิชีวนะนั้นเมื่อโดนแสงอาทิตย์จะเกิดการสลายตัวลง จากรายงานของ Barbara Ambrosetti และคณะที่ได้ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ไปช่วยลดการสลายตัวของยาปฏิชีวนะ โดยคณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

2.1 การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) [3]

การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตคือเทคนิคในการผลิตเส้นใยนาโนที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพได้อย่างต่อเนื่อง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าระดับไมโครลงไปจนถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระดับนาโนเมตร โดยใช้สนามไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูง เทคนิคนี้สามารถทำงานได้อย่างโดยง่ายในห้องปฏิบัติการและจนถึงระดับอุตสาหกรรม เส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากสารละลายพอลิเมอร์หรือของเหลวได้รับความสนใจว่ามีแนวโน้มการใช้งานที่หลากหลาย เส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตมีข้อได้เปรียบ เช่นพื้นที่พื้นผิวสูงกว่าเส้นใยปกติ แผ่นไร้ทอที่ได้จากการปั่นด้วยเส้นใยไฟฟ้าสถิมีขนาดรูพรุนขนาดเล็กและพื้นที่ผิวสูง รุพรุนเหล่านี้คือตาข่ายพอลิ-เมอร์ที่ไม่มีการทอจึงเป็นเส้นใยที่มีความเชื่อมต่อกันสูง นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการควบคุมองค์ประกอบของเส้นใยนาโนเพื่อให้คุณสมบัติตามที่ต้องการ หรือการทำงานที่ต้องการความยืดหยุ่นมากขึ้นทางพื้นผิว คุณสมบัติที่โดดเด่นเหล่านี้ทำให้เส้นใยนาโนพอลิเมอเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการใช้งานจำนวนมาก ซึ่งขยายวงกว้างไปถึงการกรอง วิศวกรรมด้านเนื้อเยื่อ โครงเลี้ยงเซลล์เนื้อเยื่อ ตกแต่งแผล การแปลงและการเก็บรักษาพลังงานและพาหะเอนไซม์ ชุดป้องกัน เซ็นเซอร์ขนส่งยา เครื่องสำอาง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และสารกึ่งตัวนำ แม้จะมีข้อดีมากกมายแต่มันก็มีข้อจำกัดด้าน-ประสิทธิภาพในการใช้งานของมัน

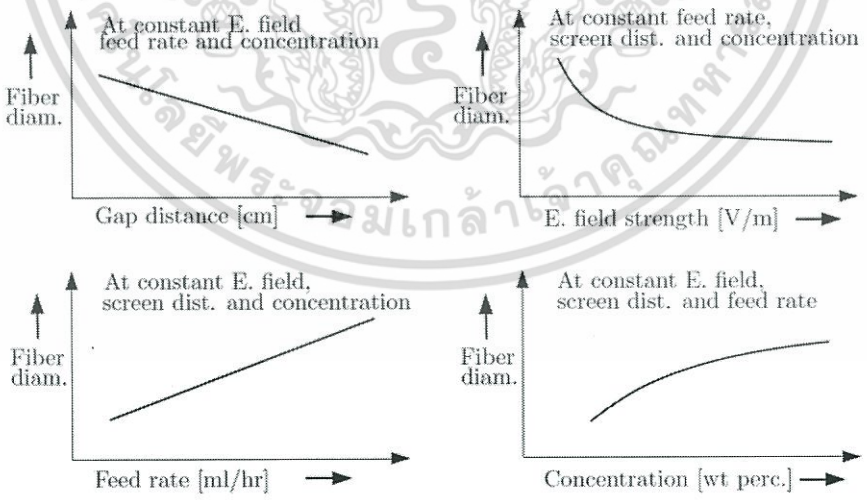
คุณลักษณะของเส้นใยที่ได้การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจะถูกกำหนดด้วยการควบคุมสารละลาย กระบวนการ และพารามิเตอร์แวดล้อม มันเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดเม็ดในเส้นใย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเส้นใยนาโนจะมีการควบคุมด้านสัณฐาน มันจึงเป็นไปได้ที่จะควบคุมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นใยและลักษณะรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ลักษณะพื้นฐานของกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต [4]

การเอาชนะแรงตึงผิวโดยพอลิเมอร์จะพ่นออกจากหัวฉีด ในขั้นตอนแรกการพ่นจะบางจนกระทั่งถึงจุดไม่เสถียร ในขั้นตอนที่สองการพ่นกลายเป็นไม่เสถียรและเกิดการสะบัด เมื่อเสร็จกระบวนการพ่นจะมีพอลิเมอร์บางๆบนแผ่นรองรับ ดังนั้นบริเวณของการสร้างแบบจำลองที่สำคัญสองบริเวณที่จะแนะนำนั้น ได้แก่ (1) บริเวรที่อยู่ใกล้กับจุดเริ่มต้นของการพ่น และ (2) บริเวณการสะบัดที่ไม่เสถียรซึ่งมีการหมุนวนไปยังแผ่นรองรับ มันคือความจำเป็นที่ต้องศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อลักษณะและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยในขั้นสุดท้าย เพื่อให้ได้ความสามารถในการควบคุมลักษณะทางสัณฐานวิทยา สำหรับการประยุกต์ใช้งาน มันคือความต้องการในการควบคุมไม่ใช่แค่เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย แต่ยังรวมถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใน การดำเนินงานทางอุดมคตินั้นคือเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยนาโน ที่สามารถควบคุมพื้นผิวของเส้นใยที่ไปสะสมบนตัวรองรับ สิ่งที่ส่งผลต่อการควบคุมเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยคือความเข้มข้นของสารละลาย ความแรงของสนามไฟฟ้า อัตราการไหลที่ปลายเข็ม และช่องว่างระหว่างเข็มและตัวรองรับ

ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยนาโน การขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายระหว่างในการทดลองผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับสนามไฟฟ้าได้ถูกสังเกต ตั้งแต่ผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายและความแรงของสนามไฟฟ้าซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยที่ระยะการปั่นที่ระยะทางแตกต่างกันและปฏิสัมพันธ์บางอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างพารามิเตอร์ดังรูปที่ 2.1 แสดงถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ของกระบวนการบนเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย



รูปที่ 2.1 แสดงถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ของกระบวนการบนเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย

ข้อเสียของวิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เช่นอัตราการผลิตที่ต่ำการผลิตเส้นใยที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ความยากลำบากในการทำนายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและการควบคุมรูปสัณฐานวิทยาของเส้นใยนาโน การขาดข้อมูลเพียงพอเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลของสารละลายพอลิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมอร์และความยุ่งยากในการควบคุมกระบวนการที่แม่นยำ ความจำเป็นของการสร้างแบบจำลองโดยทั่วไปรูปแบบทฤษฎีที่เหมาะสมของกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตคือสามารถแสดงผลกระทบอัตราความแข็งแรง-เหมาะสม-ส่วนน้อยของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบเหล่านี้บนสันฐานวิทยาของเส้นใย

การวิเคราะห์การไหลของสมบัติหยุ่นหนืด (Viscoelastic) การทำความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบของความหนืดของกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากความเกี่ยวข้องในการสร้างเส้นใยที่ทำจากพอลิเมอร์ แก้ว และการรวมกันของทั้งคู่ อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองถูกจำกัดในการศึกษาของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluid) และทำเช่นนั้นไม่ได้อธิบายอย่างถูกต้องเกี่ยวกับการไหลของวัสดุที่หนืด

ความหนืดมีบทบาทสำคัญในการกำหนดอัตราการเจือจางในระหว่างการยืดตัวของการพ่น Feng et al. ได้ขยายรูปแบบการพ่นที่บาง ที่ประกอบด้วยผลกระทบของสมบัติหยุ่นหนืด ซึ่งจะกล่าวถึงในภายหลัง บทบาทหลักของการหนาขึ้นในมิติคือการปรับเปลี่ยนรูปร่างของ การพ่นที่สภาพคงตัวทันทีทันใดในการพ่นที่เส้นใยที่บาง นี้คือผลลัพธ์จากการพ่นจากกรวยที่บางอย่างรวดเร็ว การทดลองล่าสุดของแบบจำลองของไหล Boger ได้ยืนยันความบางของกรวย สำหรับการไหลที่มีความหนืดและแนะนำถึงการปรากฏตัวของสภาพคงตัวใหม่ของระยะของเส้นผ่าศูนย์กลางด้วยระยะทางแนวยาวการพ่นเพิ่มขึ้นโดยแปรผกผันกับ 1/4 ของกำลังรูปแบบของของไหลแบบนิวโตเนียนแปรผกผันกับ1/2 ของกำลังสำหรับของไหลที่มีความหนาที่ยืดออกอย่างแข็งแรง

ระเบียบวิธีแลตติซ-โบลซ์มาน (Lattice-Boltzmann Method:LBM) [4]

แบบจำลองเชิงตัวเลขที่มีประสิทธิภาพสำหรับเส้นใยโครงสร้างที่ซับซ้อนด้วยการคาดการณ์ที่เชื่อถือที่ต้องการคำอธิบายที่สมบูรณ์ของโครงสร้างซึ่งเป็นเรื่องที่ยากมาก หนึ่งในแบบจำลองเหล่านี้สอดคล้องกับการทดลองคือระเบียบวิธีแลตติซโบลซ์มาน การพัฒนาระเบียบวิธีแลตติซโบลซ์มานแทนที่เทคนิคเชิงตัวเลขแบบดั้งเดิมกับปริมาตรที่มีขอบเขต แตกต่างอย่างมีขอบเขต และส่วนประกอบที่มีจำกัด สำหรับการแก้ปัญหาและการคำนวณสเกลใหญ่เกี่ยวข้องกับของไหลที่ซับซ้อนสารแขวนลอยที่เป็นคอลลอยด์ และขอบเขตการเคลื่อนที่จะมีประโยชน์มาก

พื้นฐานของอุทกพลศาสตร์ [4]

เส้นใยนาโนนั้นทำมาจากการพ่นขึ้นรูปสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งมันจำเป็นที่ต้องมีความรู้พื้นฐานของอุทกพลศาสตร์ ในความพยายามที่จะหาคำอธิบายพื้นฐานพลศาสตร์ของไหล ทฤษฎีของความต่อเนื่องได้ถูกนำมาใช้ ทฤษฎีนี้อธิบายของเหลวเป็นปริมาณมูลฐานขนาดเล็ก ดังรูปที่ 2 ซึ่งยังคงประกอบด้วยอนุภาคมูลฐานจำนวนมาก สมการที่สำคัญบางส่วนของอุทกพลศาสตร์ของไหลเนื่องจากทฤษฎีนี้จะถูกนำเสนอด้านล่าง

สมการความต่อเนื่อง:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + div(\rho_m v) = 0 \quad (1)$$

สำหรับของไหลที่ไม่สามารถอัดได้ $div(v) = 0$

สมการออยเลอร์ (Euler's equation) ทำได้ง่ายสำหรับการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho_m}\nabla p = 0 \quad (2)$$

สมการของความดันในรูเล็ก (capillary pressure)

$$P_c = \frac{\gamma \partial^2 \zeta}{\partial x^2} \quad (3)$$

สมการของความตึงผิว

$$\Delta P = \gamma \left(\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_y} \right) \quad (4)$$

R_x และ R_y คือรัศมีความโค้ง

สมการของความหนืด

$$\tau_{ij} = \eta \left(\frac{\partial v_i}{\partial v_j} + \frac{\partial v_j}{\partial v_i} \right) \quad (5)$$

สำหรับของไหลที่ไม่สามารถอัดได้ τ_{ij} คือเทนเซอร์ความเค้น (stress tensor)

$$V = \frac{\eta}{\rho_m} \quad (6)$$

ความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีอีเล็กโตรไฮโดรไดนามิกส์ (Electrohydrodynamic: EHD) [4]

ในปี 1966 Taylor ค้นพบว่าประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำอย่างมีขอบเขตในการสะสมที่ระหว่างผิว โดยยอมให้ความเค้นทางไฟฟ้า (Electric stress) ที่ขนานกับเส้นสัมผัสถูกสร้างขึ้น ความเค้นทางไฟฟ้าที่ขนานกับเส้นสัมผัสจะดึงของไหลให้เกิดการเคลื่อนที่ และด้วยวิธีนั้นความเค้นทางอุทกพลศาสตร์จึงถูกสร้างขึ้นระหว่างผิวของหยด ปฏิกิริยาที่ซับซ้อนระหว่างความเค้นทางไฟฟ้าและทางอุทกพลศาสตร์เป็นสาเหตุให้การเสียรูปที่หยดเป็นทรงกรมแบนและทรงกลมแบนข้างและบางกรณีหยดอาจไม่เกิดการเสียรูป

Feng ใช้วิธีทั่วไปของ Taylor Melcher สำหรับส่วนที่เสถียรของการพ่นเส้นใยด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยสมการหนึ่งมิติ สำหรับมวล ประจุ และโมเมนตัม ในแบบจำลองนี้ส่วนประกอบของไหลทรงกระบอกแสดงการวัดจลน์การพ่นเส้นใยด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตในรูปที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญที่แสดงคือ รัศมี R, ความเร็ว V_z, สนามไฟฟ้า E_z , ความยาวทั้งหมด L, แรงตึงผิว γ, ประจุระหว่างผิว σ, ความเค้นแรงดึง τ, อัตราการไหล Q, ความนำไฟฟ้า K, ความหนาแน่น ρ, ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ε, และความหนืดที่อัตราเฉือนต่ำ η_0 สมการที่สำคัญที่สุดที่ Feng ที่ใช้มีดังนี้

$$\tilde{R}^2\tilde{v}_z = 1 \tag{7}$$

$$\tilde{R}^2\tilde{E}_z + Pe_e\tilde{R}\tilde{v}_z\tilde{\sigma} = 1 \tag{8}$$

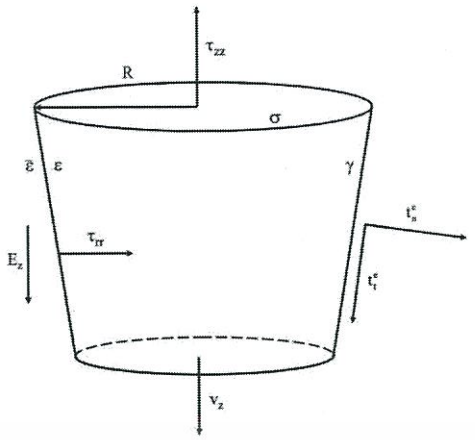
$$\tilde{v}_z\tilde{v}_z' = \frac{1}{F_r} + \frac{\tilde{T}}{\mathrm{e}_j R\tilde{R}^2} + \frac{1}{W_e}\frac{\tilde{R}'}{\tilde{R}^2} + \left(\tilde{\sigma}\tilde{\sigma}' + \beta\tilde{E}_z\tilde{E}_2' + \frac{2\tilde{\sigma}\tilde{E}_z}{\tilde{R}}\right) \tag{9}$$

$$\tilde{E}_z = \tilde{E}_0 - \ln\chi\left[(\tilde{\sigma}\tilde{R})' - \frac{\beta}{2}\left(\tilde{E}\tilde{R}^2\right)''\right] \tag{10}$$

$$\tilde{E}_z = \frac{\eta_0 v_0}{R_0} \tag{11}$$

$$\beta = \left(\frac{\varepsilon}{\tilde{\varepsilon}}\right) - 1; \qquad \tau = R^2\left(\tilde{\tau}_{zz} - \tilde{\tau}_{rr}\right) \tag{12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แบบแผนของส่วนประกอบของไหลทรงกระบอกที่ใช้ในแบบจำลองอิเล็กโตรไฮโดไดนามิกส์

Feng แก้สมการสำหรับสมบัติโดยเฉพาะสำหรับของไหลแบบนอนนิวโทเนี่ยน (Non-Newtonian fluids) ด้วยความบาง ความหนา การเพิ่มความเครียดที่เพิ่มขึ้น แต่ Helgeson et al พัฒนาให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นของการพ่นเส้นใยด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตโดยมีพื้นฐานจากการพัฒนาความเค้นแรงดึงที่ยืดตามแนวยาว

แรงไฟฟ้าในของไหล [4]

จุดเริ่มต้นของความไม่เสถียรบนพื้นผิวของของเหลวถูกกระทำโดยการใส่สนามไฟฟ้าภายนอก ส่งผลให้เกิดแรงไฟฟ้าบนพื้นผิวของของเหลว การประมาณเฉพาะจุดได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อคำนวณกำลังไฟฟ้าที่เลี้ยวเบนบนการพ่นพอลิเมอร์ที่เกิดประจุไฟฟ้า ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตสำหรับการผลิตเส้นใยนาโน การใช้แรงนี้มีความคล้ายคลึงกันอย่างมากระหว่างความไม่แน่นอนของการเลี้ยวเบนด้วยแรงดันไฟฟ้าและความไม่เสถียรของระบบอากาศพลศาสตร์คือที่เกิดขึ้น คำอธิบายของความไม่เสถียรของคลื่นจะถูกแสดงโดยสมการที่เรียกว่ากฎการแพร่กระจายอ้างอิงกับความยาวคลื่นบนความตึงผิวค่อนข้างเป็นเชิงเส้นและความยาวคลื่นระหว่างการพ่นเล็กกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความลึกที่ต่ำกว่า การอิงความยาวคลื่นของความแรงของสนามไฟฟ้าเป็นเลขชี้กำลัง กฎการแพร่กระจายถูกระบุสำหรับกลุ่มของของเหลวอิเล็กทริก 4 กลุ่มโดยใช้ความสัมพันธ์ของ Clausius-Mossotti และ Onsager ได้แก่ ของเหลวที่ไม่มีขั้วแบบจำกัดและไม่จำกัดความลึก และของเหลวมีขั้วอย่างอ่อนแบบจำกัดและไม่จำกัดความลึก ตามความสัมพันธ์เหล่านี้ค่าสภาพยอมของสุญญากาศสัมพัทธ์ (Relative permittivity) เป็นฟังก์ชันของพารามิเตอร์ เช่น อุณหภูมิ ตารางของความถี่เชิงมุม เลขความยาวคลื่นและดัชนีหักเห

2.1.2 หลักการการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต [3]

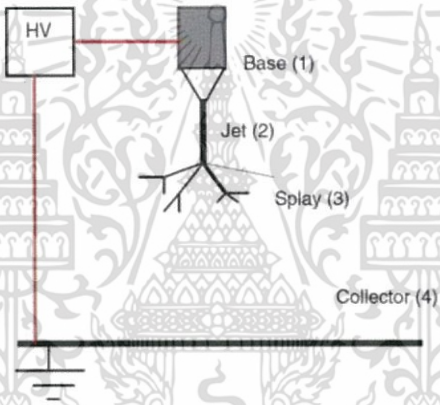
หลักการกระบวนการเกี่ยวกับการฉีดสารละลายพอลิเมอร์หรือของเหลวจะมีแรงตึงผิวในตัวเองในการดึงด้วยสนามไฟฟ้าที่ปลายเข็ม ความเข้มของสนามไฟฟ้าถูกเพิ่มขึ้น พื้นผิวครึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงกลมของสายละลายที่ปลายสุดของเข็มเกิดรูปแบบรูปทรงกรวยที่รู้จักกันเป็น ‘กรวยเทย์เลอร์’ สนามไฟฟ้าคือค่าที่สำคัญที่มีค่าวิกฤตในการเอาชนะแรงตึงผิว ที่ค่าวิกฤตนี้การฉีดสารละลายจะออกมาจากปลายกรวยเทย์เลอร์ ตัวทำละลายจะระเหยเป็นไอเมื่อฉีดไปในอากาศ ในกรณีของเหลวที่ถูกฉีดเมื่อแข็งตัวขณะเดินทางไปในอากาศ เส้นใยพอลิเมอร์จะทับถมอย่างสุ่มในแผ่นรองรับ

หลายทฤษฎีและเทคนิคการสร้างแบบจำลองถูกนำมาใช้ในการอธิบายกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยทั่วไปจะเห็นว่ามีสี่บริเวณต่างๆ (รูปที่ 2.3) ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต:

1) บริเวณฐาน: ที่ประจุพื้นผิวของสารละลายถูกฉีดออก
2) บริเวณตัวฉีด: ที่ที่สารละลายเดินทางไปตามแนวเส้นตรง
3) บริเวณที่กระจายออก: ที่ที่เมื่อฉีดแล้วแยกออกเป็นเส้นใยนาโนจำนวนมาก
4) บริเวณสะสม: ที่เส้นใยนาโนเสร็จสมบูรณ์ในที่สุด



รูปที่ 2.3 บริเวณต่าง ๆ ในการอัดขึ้นรูปไฟฟ้าสถิต

2.1.3 พารามิเตอร์ของการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต [3]

ในการทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ของการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตที่ส่งผลต่อรูปร่างลักษณะของเส้นใยเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เป้าหมายในทางอุดมคติการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของพอลิเมอร์จนได้เส้นใยนาโนคือ

1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะต้องสอดคล้องและสามารถควบคุมได้
2) ผิวพื้นของเส้นใยจะต้องปราศจากข้อบกพร่องหรือสามารถควบคุมข้อบกพร่องได้
3) เส้นใยนาโนควรจะมีความต่อเนื่องและสามารถเก็บรวบรวมได้บนแผ่นรองรับ

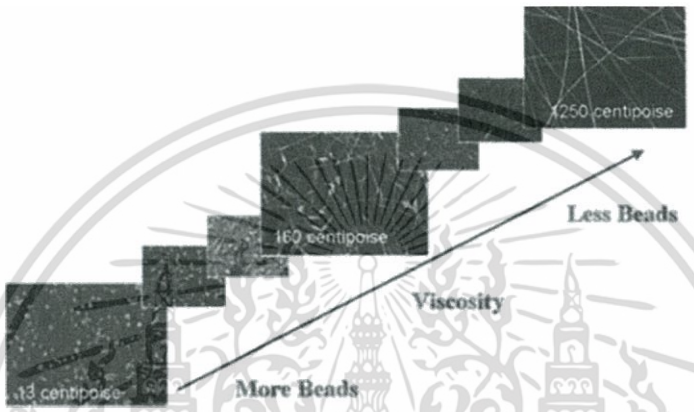
ลักษณะของเส้นใยนาโนด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจะถูกกำหนดโดยพารามิเตอร์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตและถูกตรวจสอบกันอย่างแพร่หลายโดยเหล่านักวิจัย ผลของพารามิเตอร์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตต่างๆมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. พารามิเตอร์ของสารละลาย [3]

1. ความเข้มข้น

เมื่อพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งถูกละลายในตัวทำละลาย จะได้สารละลายที่มีความหนืดเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของพอลิเมอร์เมื่อมีความหนืดหรือ ความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะส่งผลให้เส้นผ่าศูนย์กลาง ของเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ความเข้มข้นของสารละลายที่ความเข้มข้นต่ำในการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตสำหรับขึ้นรูปเส้นใยจะมีผลทำให้เกิดลูกปัดขึ้นในพื้นผิว ในขณะที่ความเข้มข้นสูงมากขึ้นรูปร่างของลูกปัดจะเปลี่ยนจากทรงกลมไปเป็นกระสวย ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การถ่ายภาพ SEM ของเส้นใยนาโนจากสารละลายที่มีความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่แตกต่าง

2. น้ำหนักโมเลกุล

น้ำหนักโมเลกุลเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยมันมีผลต่อความหนืด แรงตึงผิว และการนำไฟฟ้า ตามหลักการน้ำหนักโมเลกุลสะท้อนถึงสิ่งกีดขวางของโซ่พอลิเมอร์ในสารละลาย ในการรักษาความเข้มข้นให้คงที่และการใช้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะนำไปสู่การขึ้นรูปของลูกปัดมากกว่าเส้นใย การเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะให้เส้นใยเรียบ แต่น้ำหนักโมเลกุลที่สูงมากมีผลทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่มาก

3. ความหนืดของสารละลาย

ความหนืดของสารละลายที่ต้องการในการการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เมื่อมีความหนืดต่ำมากจะไม่สามารถขึ้นรูปเส้นใย และที่ความหนืดสูงมากจะก่อให้เกิดความยากลำบากในการฉีดสารละลายพอลิเมอร์ ดังนั้นความหนืดเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับโครงสร้างสัณฐานของเส้นใย ความหนืด ความเข้มข้นของพอลิเมอร์และน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์มีส่วนเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์อื่น ๆ โดยทั่วไปความหนืดของสารละลายสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการเปลี่ยนความเข้มข้นของพอลิ-เมอร์ของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความตึงผิว

ความแตกต่างของความตึงผิวที่จะได้โดยการใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน การลดแรงตึงผิวจะไม่ก่อให้เกิดลูกปัดในการขึ้นรูปของเส้นใยนาโน ตามคำแนะนำโดย Doshi และ Reneker แต่แรงตึงผิวที่ต่ำอาจไม่ใช่เงื่อนไขทางอุดมคติที่ต้องการในการการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เพราะมันเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขอบเขตบนและล่างให้แก่พารามิเตอร์อื่นๆที่มีค่าคงที่

5. ค่าความหนาแน่นการนำไฟฟ้าต่อพื้นผิว

การนำไฟฟ้าของสารละลายถูกกำหนดด้วยชนิดพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นตัวทำละลายและเป็นไอออนแตกตัวในปัจจุบัน โดยทั่วไปแล้วสารละลายที่มีค่านำไฟฟ้าสูงในการขึ้นรูปเส้นใยนาโนด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กลง ไอออนที่เพิ่มขึ้นไปในของสารละลายลิเมอร์ที่มีการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและค่าความหนาแน่นประจุบนพื้นผิวของสารละลาย นอกจากนี้ของไอออนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเพิ่มการนำไฟฟ้าในสารละลายถูกใช้โดยพอลิเมอร์หลายอย่าง

ข. พารามิเตอร์การประมวลผล [3]

1. การใส่แรงดันไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปคือเป็นปัจจัยที่สำคัญในการการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต แรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำจะต้องมากเกินพอในการฉีดประจุพุ่งออกมาจากกรวยเทย์เลอร์ หลังจากใส่แรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำจะเกิดการขึ้นรูปของเส้นใย การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปมีผลทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาดเล็กลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแรงดึงไฟฟ้าสถิตบนประจุที่ฉีดออก และพบว่าการใส่แรงดันไฟฟ้าที่สูงก็ก่อให้เกิดลูกปัดในเส้นใยเช่นกัน

2. อัตราการไหล

อัตราการไหลของพอลิเมอร์ในหลอดฉีดยาเป็นพารามิเตอร์ของกระบวนการ เหมือนอัตราการส่งผ่านวัสดุและความเร็วในการฉีดที่มีผลกระทบโดยตรง และควรป้อนอัตราการไหลที่ช้าลงเพื่อให้เวลามากพอสำหรับการระเหยของตัวทำละลาย และไม่ก่อให้เกิดลูกปัดบนโครงสร้างเส้นใยด้วย

3. ระยะห่างระหว่างปลายเข็มและแผ่นรองรับ

ระยะห่างระหว่างปลายเข็มและแผ่นรองรับเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่มีผลต่อโครงสร้างเส้นใย แต่เมื่อเทียบกับพารามิเตอร์อื่นพบว่ามีผลน้อยมาก ระยะห่างที่เหมาะสมจะต้องมากพอการระเหยของตัวทำละลายจากสารละลายพอลิเมอร์เท่านั้น

4. แผ่นรองรับ

การทำงานของแผ่นรองรับนอกจากการสร้างพื้นผิวให้เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าสำหรับรองรับของเส้นใยนาโน ส่วนใหญ่นิยมใช้อลูมิเนียมฟอยล์เพราะเป็นสื่อนำไฟฟ้าได้ดี นอกจากนี้อาจใช้กระดาษ ผ้า และตะแกรงโลหะได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. พารามิเตอร์แวดล้อม [3]

พารามิเตอร์แวดล้อมเช่นความชื้นและอุณหภูมินั้นสามารถมีผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสัณฐานของเส้นใย อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะจะมีผลทำให้เส้นใยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลดลง ในขณะที่มีความชื้นต่ำอาจทำให้ตัวทำละลายแห้งอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังเพิ่มขึ้นของความชื้นจะส่งผลให้เกิดลักษณะของรูพรุนเล็กๆบนพื้นผิวเส้นใย

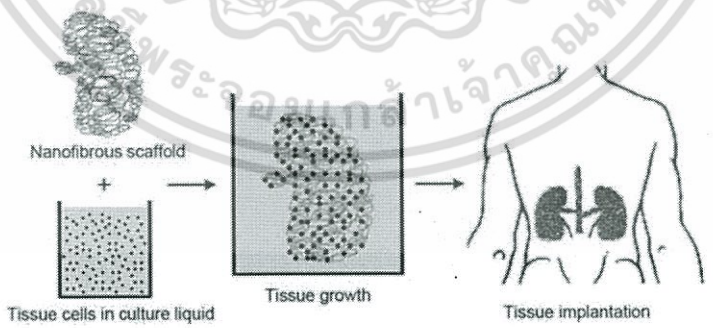
2.1.4 การประยุกต์ใช้งาน [5]

เนื่องจากความหลากหลายของการใช้งานในการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตในที่นี้จะกล่าวเพียงแค่การนำมาใช้ประโยชน์ด้านชีวการแพทย์เท่านั้น

ชีวการแพทย์ [5]

ความหลากหลายของพลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายสามารถใช้การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตสามารถให้กลายเป็นแผ่นที่มีการจัดเรียงเส้นใยที่เฉพาะเจาะจงและความสมบูรณ์ของโครงสร้าง พื้นผิวเส้นใยนาโนสามารถนำมาใช้งานด้วยลักษณะทางชีวเคมีที่มีความเฉพาะเจาะจง

วิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเหมาะเหมาะกันพอลิเมอร์ธรรมชาติและสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่เข้ากับเนื้อเยื่อได้ดีหรือดูดซึมทางชีวภาพได้สำหรับการใช้งานด้านชีวการแพทย์ เกือบทั้งหมดของเนื้อเยื่อและอวัยวะที่ถูกฝากในรูปแบบเส้นใยนาโนหรือโครงสร้าง ดังนั้นเส้นใยนาโนด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตพบแนวโน้มการใช้งานในด้านนี้ วิศวกรรมเนื้อเยื่อคือหนึ่งในการการศึกษาและประยุกต์ใช้งานในด้านนี้มากที่สุด วัตถุประสงค์ของวิศวกรรมเนื้อเยื่อคือการซ่อมแซมปลูกถ่าย รักษา หรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับหลักการพื้นฐานแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพประกอบวิศวกรรมเนื้อเยื่อ

เส้นใยนาโนด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตได้ถูกแนะนำให้ใช้ในเพราะเลี้ยงเนื้อเยื่ออ่อนเช่นหลอดเลือด เต้านม และการฝังเนื้อเยื่อด้วยฟิล์มที่มีรูพรุน การออกแบบโครงเลี้ยงเซลล์ที่ลอกเลียนโครงสร้างและการทำงานของภายนอกเซลล์ทางธรรมชาติเป็นความท้าทายที่สำคัญในด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โครงเลี้ยงเซลล์เส้นใยนาโนได้แสดงประสิทธิภาพที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยอดเยี่ยมในการยึดติดกับเซลล์ การเพิ่มจำนวนและการโจมตีทั้งในร่างกายและในการทดลองในหลอดทดลอง มีหลากหลายทางเลือกทางวัสดุในการสำหรับเตรียมโครงเลี้ยงเซลล์ด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต สำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อและมันอาจจะอยู่ในพอลิเมอร์ประเภทธรรมชาติและสังเคราะห์ ด้วยโครงเลี้ยงเซลล์เส้นใยที่ทำจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ จาก คอลลาเจน (Collagen) อัลจิเนต (Alginate) โปรตีนไหม (Silk protein) กรดไฮยาลูโรนิค (Hyaluronic acid) โปรตีนในพลาสมาที่ทำให้เลือดแข็งตัว (Fibrinogen) ไคโตซาน (chitosan) และแป้ง (Starch) เหล่านี้นั้นต้องการมากตลอดจนพอลิเมอร์ poly-caprolactone:PCL พอลิแลคติคแอซิด polyglycolic acid:PGA และโคพอลิเมอร์ถูกใช้อย่างกว้างขวางในด้านชีวการแพทย์ เนื่องจากการกันได้ดีกับเนื้อเยื่อและการย่อยสลายทางธรรมชาติได้ โครงเลี้ยงเซลล์ที่ย่อยสลายในธรรมชาติได้ถูกนำมาใช้เป็นแม่แบบชั่วคราวสำหรับการเพาะเลี้ยงเซลล์ในการการฟื้นฟูการทำงานของเนื้อเยื่อหรือของเหลวภายนอกเซลล์

โครงเลี้ยงเซลล์ด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตกับความจุการขนส่งโมเลกุลทางชีวภาพสามารถประดิษฐ์ด้วยเทคนิคต่างๆ ดังนั้นสารชีวโมเลกุลที่สามารถบรรจุลงในโครงเลี้ยงเซลล์ การดูดซับทางกายภาพจะขึ้นอยู่กับการจุ่มโครงเลี้ยงเซลล์ลงในเฟสน้ำ ในการผสมผสานการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตสารชีวโมเลกุลจะผสมภายในสารละลายพอลิเมอร์และสารละลายที่ผสมแล้วจะถูกใช้ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เพื่อสร้างโครงเซลล์แบบไฮบริด เส้นใย Core-shell ผลิตด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตแบบโคแอกเชียลมีศักยภาพที่ดีในการรักษาโปรตีนในด้านการจัดส่งโปรตีน สารชีวโมเลกุลจะถูกตรึงบนพื้นผิวเส้นใยผ่านพันธะเคมีในการตรึงโควาเลนต์

แผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตยังเป็นหนทางที่ดีสำหรับการตกแต่งแผล เนื่องจากโครงสร้างที่มีรูพรุนสูงและรูขุมขนที่เชื่อมต่อกันได้ดีสำหรับขับของเหลวออกจากรูพรุนพื้นที่ผิวจำเพาะสูงในการยับยั้งการรุกรานจากจุลินทรีย์ภายนอก การทดสอบการสมานแผลเปิดโดยการใช้รักษาด้วยคอลลาเจนที่ได้จากการการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต แสดงให้เห็นขั้นตอนการสมานแผลในช่วงต้นได้เร็วกว่าผ้ากอซฝ้ายแบบปกติ เส้นใยนาโนพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จึงสามารถฉีดพ่นโดยตรงบนบริเวณที่ได้รับบาดเจ็บ

2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol) [6]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้ถูกสังเคราะห์เป็นครั้งแรกโดย Hermann และ Haehne ในปี 1924 ผ่านปฏิกิริยาสลายหมู่เอสเตอร์ของพอลิไวนิลเอสเตอร์ (Poly(vinyl ester)) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะไม่เสถียรและแพร่อย่างรวดเร็วไปในอะซิตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde), พอลิไวนิแอลกอฮอล์ ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ผ่านการย่อยสลายของพอลิไวนิลอะซิเตต (Poly (Vinyl Acetate): PVAC) ตามกระบวนการขั้นตอนที่สอง เช่น พอลิเมอร์อนุมูลอิสระไวนิลอะซิเตทจาก PVAC ตามโดยการย่อยสลายของมัน คุณสมบัติของโครงสร้างของพอลิไวนิล-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลกอฮอล์ ด้วยเหตุนี้ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุลของ พอลิเมอร์และระดับของการสลายตัวด้วยน้ำเป็นต้น คือร้อยละของไวนิลแอกอฮอล์ในพอลิเมอร์

2.2.1 สมบัติทางกายภาพ [6]

คำว่า "n" ในพอลิไวนิแอลกอฮอล์ $-(C2H4O)_n-$ แตกต่างกันไปตั้งแต่ 500-5000 ซึ่งคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในน้ำหนักโมเลกุลจากประมาณ 20,000 ถึงประมาณ 200,000 ดาลตัน (Daltons) ไม่ว่า Isotactic, syndiotactic หรือ อะแทคติค (Atactic) การแทนที่ในหมู่ PVOH คือการพิจารณาโครงสร้างที่สำคัญที่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่เริ่มต้นและวิธีการของการสังเคราะห์และสามารถกำหนดโดย NMR spectroscopy เช่น PVOHs ถูกเตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชั่นไวนิลอะซิเตทและที่มันย่อยสลายคืออะแทคติค ขณะที่ Syndiotactic PVOHs สามารถถูกเตรียมได้โดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชั่นรุนแรงของรูปแบบไวนิล ไวนิลไพวาเลท (Vinyl pivalate) และไวนิล ไตรฟลูออโรอะซิ-เตต (Vinyl trifluoroacetate), Isotactic PVOHs สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชั่นประจุบวก (Cationic) ของเบนซิลไวนิลอีเทอร์ (Benzyl vinyl ether) คุณสมบัติที่นำเสนอโดยพอลิ-เมอร์PVOH จึงมีความเกี่ยวข้องกับวิธีการเตรียม น้ำหนักโมเลกุล การแทนที่ในหมู่ ขั้นของพอลิเมอไรเซชั่น และระดับของการไฮโดรไลซิส คุณสมบัติเช่นความหนืด ความต้านทานต่อตัวทำละลาย แรงยึดเกาะ ความต้านทานในแรงดึงและการขึ้นรูปฟิล์มจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักโมเลกุลและขั้นของการไฮโดรไลซิส ในทางตรงกันข้ามช่วงเปลี่ยนแปลงแก้วและอุณหภูมิหลอมละลายส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับระดับของไฮโดรไลซิส และการแทนที่ในหมู่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่มีสีและกลิ่น หลอมละลายที่ 180-228 องศาเซลเซียส และช่วงเปลี่ยนจากแก้วเป็นยางที่ 75-85 องศาเซลเซียส ในขั้นการไฮโดรไลซิสของไวนิลอะซิเตทเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น โครงสร้างพอลิเมอร์จะกลายเป็นผลึกมากขึ้นซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของแรงระหว่างโมเลกุลละลายและอุณหภูมิที่ช่วงเปลี่ยนแปลงแก้วและเพิ่มการละลายในน้ำได้ดีขึ้น

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมี [6]

เนื่องจากการตกผลึกโครงสร้างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีเสถียรภาพสูงและไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี อย่างไรก็ตามในปฏิกิริยาเช่น แอลกอฮอล์ที่โมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่าสามหมู่ในขั้นที่สองใดๆ (Secondary polyhydric alcohols) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาจากปฏิกิริยาสลายหมู่เอสเทอร์ด้วยทั้งสารอนินทรีและสารประกอบอินทรีย์ ปฏิกิริยากับกรดบอริกและสารบอแรกซ์ในรูปแบบวงเอสเทอไม่ละลายน้ำ และไปคล้ายปฏิกิริยาด้วยซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (Sulfur trioxide) ซัลโฟนิล คลอไรด์พันธะคู่ (Alkane sulfonyl chloride) ไททาเนียมแลคเทท (Titanium lactate) และไททาเนียม ซัลเฟต (Titanium sulfate) รูปแบบเจลที่ไม่ละลายน้ำ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยปฏิกิริยากับพอลิอะคริลิกแอซิด (Poly (acrylic acid)) และพอลิเมธาคริลิกแอซิด (Poly (methacrylic acid)) ผ่านพอลิเมอร์เชิงซ้อนผ่านปฏิกิริยา เอสเทอริฟิเคชันภายในโดยการสูญเสียโมเลกุลของน้ำในการปรากฏตัวของกรดหรือด่างแร่และนอกจากนี้การเพิ่มของไมเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Michael's addition) กระตุ้นพันธะคู่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถขึ้นรูปจากระหว่างโมเลกุลและภายในโมเลกุลที่แตกต่างกันของสารประกอบอะซีตัลโดยใช้อัลดีไฮด์ (Aldehyde) และสามารถเชื่อมโยงข้ามทางเคมีโดยใช้ Difunctional aldehydes เช่น Glutaraldehyde หรือ Glyoxal

2.2.3 ความปลอดภัยและความเป็นพิษ [6]

เนื่องจากมันไม่ทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นและเสถียรของ โดยทั่วไปพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกพิจารณาว่าปลอดภัยและเข้ากับเนื้อเยื่อได้ดี พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ค่อนข้างปลอดภัยในการได้ทางรับจากการรับเข้าทางปาก ความเป็นพิษเฉียบพลันทางการรับประทานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (LD_{50}) ในหนู 20 กรัม/กิโลกรัมและ 14.7 กรัม/กิโลกรัมตามลำดับ ไม่มีข้อมูลที่สามารถใช้ได้สำหรับค่า LD_{50} สำหรับการสูดดมและผ่านทางชั้นผิวหนัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกดูดซึมจากทางเดินอาหารได้ไม่ค่อยดีนัก และถูกกำจัดออกจากร่างกายได้อย่างง่ายดาย ฉลาก ^{14}C พอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยให้รับเข้าทางปากของหนู 344 ตัวเป็น 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยให้แค่ครั้งเดียวพบว่าถูกกำจัดอย่างสมบูรณ์ในอุจจาระที่ไม่เปลี่ยนแปลงภายใน 48 ชั่วโมง ในการศึกษาการสะสมในร่างกายทางชีวภาพคล้ายผลที่ถูกตั้งข้อสังเกต และ 0.05% ของปริมาณทั้งหมดที่ให้ที่ตรวจพบในเนื้อเยื่อที่สำคัญ ความเป็นพิษและถ่ายทอดความเป็นพิษทางพันธุกรรมถูกศึกษาโดย Sprague-Dawley ที่ได้ดำเนินการในหนู โดยให้ปริมาณ 2000, 3500 และ 5000 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักตัว/วัน เป็นเวลาอย่างน้อยสามเดือน ไม่มีความเป็นพิษที่ไม่พึงประสงค์เพียงผลกระทบเดียวที่เด่นชัดคืออุจจาระไม่เป็นรูปกับคราบทางทวารหนักในหนูที่รับพอลิไวนิแอลกอฮอล์ ปริมาณ 3500 และ 5000 มิลลิกรัม/กิโลกรัมในปริมาณต่ำกว่า 10 w/v% จะไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง แต่ก่อให้เกิดโรคโลหิตจางเมื่อฉีดเข้าใต้ผิวหนัง

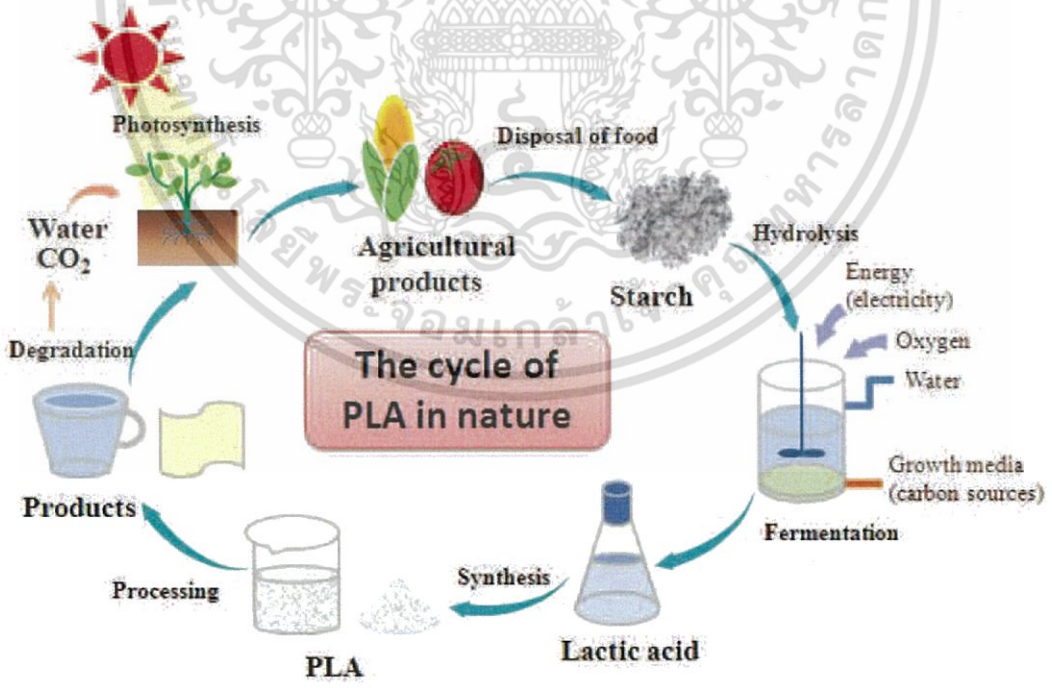
2.3 พอลิแลคติค แอซิด (Poly(Lactic Acid)) [7]

การพัฒนาทางสังคมและเศรษฐกิจที่มีการขับเคลื่อนความพยายามทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมมากในการค้นพบ การพัฒนาและการใช้ประโยชน์ของพอลิเมอร์ ความเชื่อมั่นอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวันในวัสดุพอลิเมอธรรมดาเช่น พอลิโอเลฟิน (Polyolefin) มีผลในด้านมลพิษร้ายแรงซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้ในแบบตรงไปตรงมา การพัฒนาอย่างยั่งยืนและเศรษฐกิจสีเขียวทั้งสองนี้ต้องการวัสดุใหม่ของแบรนด์ที่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาเหล่านี้ พอลิแลคติคแอซิดซึ่งเป็นพอลิเอสเตอร์ อะลิฟาติก (Aliphatic polyester) ที่มีข้อดีที่โดดเด่นกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่น จึงอาจเป็นส่วนหนึ่งของการแก้ปัญหา เป็นช่วงต้นปี 1970 ผลิตภัณฑ์จากพอลิแลคติคแอซิดได้รับการอนุมัติจากสำนักงานอาหารและยา (FDA) สำหรับการสัมผัสโดยตรงกับสารคัดหลั่งในร่างการ สี่ข้อได้เปรียบที่น่าสนใจที่สุดของมันคือ หมุนเวียนใหม่ได้ (Renewability) เข้ากับเนื้อเยื่อในร่างกายได้เป็นอย่างดีและมีกระบวนการผลิตที่ประหยัดพลังงาน เมื่อแรกนั้นพอลิแลคติคแอซิด ได้มาจากทรัพยากรทดแทนและย่อยสลายได้เช่นข้าวโพดและข้าวซึ่งสามารถช่วยบรรเทาวิกฤตพลังงานเช่นเดียวกับการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลของสังคม พอลิแลคติคแอซิดเมื่อย่อยสลายตามธรรมชาติผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_2O และ CO_2 ทั้งสองนี้จะไม่เป็นพิษหรือเป็นสารก่อมะเร็งในร่างกายมนุษย์ จึงทำให้มันเป็นวัสดุที่ดีเยี่ยมสำหรับการใช้งานด้านชีวการแพทย์รวมทั้งการเย็บแผลและระบบนำส่งยา (DDS)

นอกจากนี้พอลิแลคติคแอซิดยังสามารถนำไปหล่อฟิล์ม อัด เป่าขึ้นรูปแม่พิมพ์ และการปั่นเส้นใยเนื่องจากกระบวนการผลิตความร้อนได้ดีในการเปรียบเทียบกับวัสดุการแพทย์อื่น ๆ เช่น poly (hydroxyalkanoates:PEG, poly(hydroxyalkanoates:PHA และ poly(**ε**-caprolactone: PCL สมบัติทางความร้อนเหล่านี้นำไปสู่การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมปลาในสาขาต่าง ๆ เช่นสิ่งทอและบรรจุภัณฑ์อาหาร แต่ไม่น้อยที่สุดการผลิตพอลิแลคติคแอซิด สิ้นเปลืองพลังงานฟอสซิล 25-55% น้อยกว่าพอลิเมอร์จากปิโตรเลียม Cargill Dow มีการกำหนดเป้าหมายการลดการใช้พลังงานฟอสซิลโดยกว่า 90% เมื่อเทียบกับของพอลิเมอปิโตรเลียมใดๆ สำหรับอนาคตอันใกล้ซึ่งนำไปสู่การลดลงอย่างมีนัยสำคัญในการปล่อยมลพิษทางอากาศและทางน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณของน้ำที่จำเป็นสำหรับการผลิต พอลิแลคติคแอซิดเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์จากปิโตรเลียมมีประสิทธิภาพดีที่สุด คุณสมบัติการประหยัดพลังงานอย่างสมบูรณ์นี้เหมาะสำหรับผู้ที่แนวคิดใหม่ของ" เศรษฐกิจคาร์บอนต่ำ (Low-carbon economy) " ซึ่งปรากฏออกมาเมื่อเร็ว ๆ นี้ในการตอบสนองความกังวลต่อภาวะโลกร้อนและวิกฤตทางพลังงานเศรษฐกิจโลก และทำให้เงินลงทุนในพอลิแลคติคแอซิดเป็นกลยุทธ์ที่จำเป็นและฉลาดในอนาคต รูปที่ 2.6 แสดงวงจรของพอลิแลคติคแอซิดในธรรมชาติ



รูปที่ 2.6 วงจรของพอลิแลคติคแอซิดในธรรมชาติ

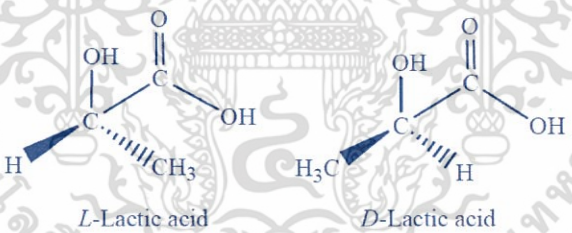
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิแลคติคแอซิดสามารถพิจารณาเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่มีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยม นอกจากนี้ยังมีข้อบกพร่องที่เห็นได้ชัดมากกับความต้องการสำหรับการใช้งานบางอย่าง

1) อัตราการย่อยสลายผ่านการไฮโดรไลซิสของกลุ่มเอสเทอร์แกนหลังช้าเกินไป กระบวนการนี้บางครั้งจะใช้เวลาหลายปี ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถขัดขวางการใช้งานบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์และอาหาร
2) มีความเปราะมากกับเมื่อยืดตัวน้อยกว่า 10% ก็แตกจึงไม่เหมาะสำหรับความต้องการในการประยุกต์ใช้ทางเชิงกลถ้าไม่มีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสม
3) มีความไม่ชอบน้ำอย่างรุนแรง และสามารถกระตุ้นในเกิดการอักเสบในเนื้อเยื่อเมื่อเข้าสู่ร่างกาย แต่เพราะมีการดึงดูดกับเซลล์ต่ำเมื่อใช้เป็นเป็นวัสดุวิศวกรรมเนื้อเยื่อ
4) ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของพอลิแลคติคแอซิดในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมในวงกว้าง คือคุณสมบัติตัวขวางก๊าซ อย่างจำกัด ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้ก๊าซเข้าถึงภาคอุตสาหกรรม เช่นการบรรจุภัณฑ์

2.3.1. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของพอลิแลคติคแอซิด [8]

กรดแอล-แลคติค (L-lactic acid) และกรดดีแลคติค (D-lactic acid) ทั้งสองนั้นคือไอโซเมอร์ (isomer) ของกรดแลคติคที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.7 กรดแอล-แลคติคและกรดดีแลคติคบริสุทธิ์หรือส่วนผสมของทั้งสองส่วนมีความจำเป็นสำหรับการสังเคราะห์พอลิแลคอิคแอซิด



รูปที่ 2.7 stereoisomers ของกรดแลคติค

โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) ของกรดแลคติดเป็นผงสีขาวที่อุณหภูมิห้องที่มีค่า T_g และ T_m ประมาณ 55 องศาเซลเซียสและ 175 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พอลิแลคติคแอซิดมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงนั้นไม่มีสี มันวาว และเป็นวัสดุเทอร์โมยืดหยุ่นที่มีคุณสมบัติคล้ายกับพอลิสไตรีน (Polystyrene) ไอโซเมอร์ทั้งสองของกรดแลคติคสามารถผลิตสี่วัสดุที่แตกต่าง Poly(D-lactic acid) (PDLA) ซึ่งเป็นวัสดุผลึกที่มีโครงสร้างสายโซ่ปกติ Poly(L-lactic acid) (PLLA) ซึ่งเป็นเฮมิคริสตาไลน์ (hemicrystalline) และเช่นเดียวกันที่มีโครงสร้างสายโซ่ปกติ Poly(D,L-lactic acid) (PDLLA) ซึ่งเป็นอสัณฐาน และ Meso-PLA ที่ได้มาจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่นของ Meso-lactide PDLA, PLLA และ PDLLA จะละลายในตัวทำละลายปกติรวมทั้งเบนซินคลอโรฟอร์ม (benzene, chloroform), ไดออกซิน (dioxane) ฯลฯ และการย่อยสลายโดยการไฮโดรไลซิสอย่างง่ายของพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสเตอร์และในกรณีที่ไม่มีไฮโดรเลส (Hydrolase) ที่พอลิแลคติคแอซิดค่าครึ่งชีวิตในการย่อยสลายในสภาพแวดล้อมตั้งแต่ 6 เดือนถึง 2 ปีขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของมัน อัตราส่วน ไอดซเมอร์ และอุณหภูมิ คุณสมบัติที่ยืดได้ของพอลิแลคติคแอซิด สามารถแตกต่างกันได้โดยขึ้นอยู่กับว่าจะมีการอบหรือความเป็นระบบในโครงสร้าง บางส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของพอลิแลคติคแอซิดได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเลือกคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของพอลิแลคติคแอซิด

Properties	PDLA	PLLA	PDLLA
Solubility	All are solute in benzene, chloroform, acetonitrile, tetrahydrofuran(THF), dioxane etc., but insolute in ethanol, methanol, and aliphalic hydrocarbons.		
Crystalline structure	Crystalline	Hemicrystalline	Amorphous
Melting temperature (T_m)/°C	~180	~180	Variable
Glass transition temperature (T_g)/°C	50-60	55-60	Variable
Decomposition temperature/°C	~200	~200	185-200
Elongation at break/(%)	20-30	20-30	Variable
Breaking Strength/(g/d)	4.0-5.0	5.0-6.0	Variable
Half-life in 37°C normal saline	4-6 months	4-6 months	2-3 months

2.4 การเกิดอิมัลชัน

2.4.1 ธรรมชาติของอิมัลซิไซเออร์ [9]

รูปแบบอย่างง่ายที่สุดคือไอออนเช่น OH^- (Hydroxide) ที่สามารถดูดซับโดยเฉพาะกับหยดอิมัลชันจากการสร้างประจุไฟฟ้าสองชั้น (Electrical double layer) ที่จะให้แรงผลักทางไฟฟ้าสถิต นี้คือตัวอย่างกับสารละลายเจือจางอย่างมากของอิมัลชันวัฏภาคน้ำมันในวัฏภาคน้ำโดยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดความเป็นกรด และกระบวนการนี้ไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด อิมัลซิไฟเออร์ที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือสารลดความตึงผิวที่ไม่มีประจุที่ถูกใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอิมัลชันวัฏภาคน้ำมันในวัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำในวัฏภาคน้ำมัน เพิ่มเติมจากนี้เราสามารถสร้างความเสถียรในอิมัลชันเพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (Flocculation) และเกิดตะกอน (Coalescence) สารลดความตึงผิวที่มีประจุเช่น โซเดียมโดดีซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate:SDS) สามารถถูกใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์สำหรับอิมัลชันวัฏภาคน้ำมันในวัฏภาคน้ำ แต่ระบบนั้นไวต่อสิ่งกระตุ้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) การผสมสารลดความตึงผิว เช่น มีประจุและไม่มีประจุ หรือการผสมสารลดความตึงผิวที่ไม่มีประจุสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของอิมัลชันมากขึ้น พอลิเมอร์ไม่มีขั้วจะต้องใช้สารลดความตึงผิวที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์ ยกตัวอย่างคือ พลูโรนิกส์ (PLuronics) ที่จะเพิ่มความเสถียรให้กับอิมัลชันมากขึ้น แต่มักจะเกิดความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (การเกิดหยดเล็กๆ) ถ้าไม่ใส่พลังงานสูงเข้าไปในกระบวนการ สารเคมีประเภทโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) เช่น กรดโพลีเมธาไครลิค (Poly(methacrylic acid)) ที่สามารถใส่ไปคล้ายกับอิมัลซิไฟเออร์ การผสมพอลิเมอร์กับสารลดความตึงผิวจะเกิดความกลมกลืนและความเสถียรอย่างง่ายดายนั้นเป็นแค่ทางอุดมคติ วัฏภาคผลึกของเหลวที่เป็นระเบียบลาเมลลาร์ (Lamellar liquid crystalline phases) ที่สามารถถูกสร้างในการใช้ของผสมสารลดความตึงผิวที่มีประสิทธิภาพในความเสถียรของอิมัลชัน อนุภาคของแข็งถูกสร้างขึ้นในที่เปียกบางส่วนโดยวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ

ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทอิมัลชัน

ชื่อของอิมัลซิไฟเออร์	โครงสร้างของระบบ
โมเลกุลและประจุอย่างง่าย	ธรรมชาติของวัฏภาคภายในและภายนอก
สารลดความตึงผิวที่ไม่มีประจุ	-
ของผสมของสารลดความตึงผิว	อิมัลชันไมเซลลาร์หรือไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)
สารลดความตึงผิวที่มีประจุ	มาโครอิมัลชัน (Macroemulsion)
พอลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ	หยดสองชั้น (Bilayer droplets)
สารเคมีประเภทอิเล็กโทรไลต์	อิมัลชันสองด้านและหลายด้าน (Double and multiple emulsion)
การผสมพอลิเมอร์และสารลดความตึงผิว	อิมัลชันผสม
วัฏภาคผนึกของเหลว	-
อนุภาคของแข็ง	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 โครงสร้างของระบบ [9]

1) **มาโครอิมัลชันวัฏภาคน้ำมันในวัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำในวัฏภาคน้ำมัน** โดยทั่วไปมีขนาดในช่วง 0.1-5 ไมโครเมตร
2) **อิมัลชันนาโน** โดยทั่วไปมีขนาดในช่วง 20-100 นาโนเมตร คล้ายมาโครอิมัลชันและมีความคงตัวทางจลศาสตร์
3) **อิมัลชันไมเซลลาร์หรือไมโครอิมัลชัน** โดยทั่วไปมีขนาดในช่วง 5-50 นาโนเมตร มีความคงตัวทางอุณหพลศาสตร์
4) **อิมัลชันสองด้านและหลายด้าน** มีอิมัลชันของอิมัลชัน คือวัฏภาคน้ำในวัฏภาคน้ำมันในวัฏภาคน้ำ
5) **อิมัลชันผสม** มีการประกอบระบบของการกระจายหยดที่แตกต่าง 2 ระบบที่ไม่ผสมในตัวกลางอย่างต่อเนื่อง

การยุติทางกระบวนการอาจเกิดขึ้นได้จากการสะสมที่อิงกับขนาดของอนุภาค การแจกแจงและความหนาแน่นที่แตกต่างระหว่างหยดและตัวกลาง ขนาดของความสำคัญแรงผลักและปะทะกำหนดจากจับตัวเป็นก้อนความสามารถในการละลายของการกระจายหยดและการแจกแจงขนาดอนุภาคกำหนดโดยปรากฏการณ์ออสวาร์ดริพเพ็นนิ่ง (Ostwald ripening) ความเสถียรของฟิล์มของเหลว ระหว่างหยดกำหนดโดยการแขวนลอย (Coalescence) และกระบวนการอื่นๆ คือการกลับวัฏภาค (Phase inversion)

2.4.3 **การยุติทางกระบวนการในอิมัลชัน** [9]

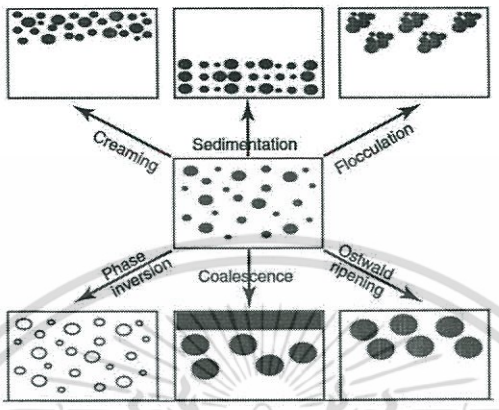
การยุติทางกระบวนการที่หลากหลาย ถูกแสดงในรูปที่ 2.8 ปรากฏการทางกายภาพเกี่ยวข้องในแต่ละการยุติทางกระบวนการนั้นไม่ใช่รูปแบบอย่างง่าย และสิ่งนี้ต้องการการวิเคราะห์แรงทางพื้นผิว ที่เกี่ยวข้องอย่างหลากหลาย กระบวนการที่กล่าวอ้างข้างต้นนั้น อาจต้องใช้สถานที่ในเวลาเดียวกัน มากกว่าความต่อเนื่องกัน และความซับซ้อนทางการวิเคราะห์รูปแบบอิมัลชันด้วยหยดที่มีความสม่ำเสมอ ไม่สามารถทำได้โดยง่าย และการปฏิบัติทางทฤษฎีจะต้องมีการนำเข้าไปคำนวณถึงผลกระทบการแจกแจงขนาดของหยด และความแตกต่างของขนาดอนุภาค (Polydispersity) ของระบบที่ซับซ้อนและอาจมีหลากหลายกรณี ซึ่งมีเพียงผลเฉลยเชิงตัวเลข (Numerical solutions) ที่เป็นไปได้ การวัดการดูดซับของสารลดความตึงผิวและโพลิเมอร์ในอิมัลชันนั่นไม่ใช่เรื่องง่าย และอีกหนึ่งวิธีคือการเลือกข้อมูลจากการวัดที่ Planar interface

2.4.4 **การแยกชั้นครีมและการตกตะกอน** [9]

ผลลัพธ์ของกระบวนการนี้จากแรงภายนอกโดยทั่วไปคือแรงโน้มถ่วงและแรงหนีศูนย์กลาง และเมื่อแรงภายนอกนั้นมากกว่าการเคลื่อนที่เชิงความร้อนของหยดแบบการเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownain motion) ระดับความเข้มข้นนั้นถูกสร้างขึ้นในระบบด้วยหยดที่มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าและหมุนเร็วกว่าไปยังด้านบน (ถ้าความหนาแน่นของมันน้อยกว่าตัวกลาง) หรือไปตรงกัน (ถ้าความหนาแน่นของมันมากกว่าตัวกลาง) ของภาชนะที่บรรจุ ในกรณีนอกจากนี้หยดอาจขึ้นรูปเป็นกลุ่มชิดกันทั้งแบบสุ่มหรือเป็นระเบียบที่เรียงเป็นแถวขึ้นไปด้านบนหรือก้นของระบบกับส่วนที่เหลืออยู่ของปริมาตรที่ครอบคลุมโดยวัฏภาคของเหลวที่ต่อเนื่อง



รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงการกระบวนการเสียรูปต่างๆของอิมัลชัน

2.4.5 การจับตัวเป็นก้อน [9]

กระบวนการนี้กล่าวถึงการเกาะตัวกันของหยด (ปราศจากการเปลี่ยนแปลงใดๆในขนาดของหยดเบื้องต้น) ไปเป็นหน่วยที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals attraction) กับระบบการกระจายทั้งหมด การจับตัวเป็นก้อนเกิดขึ้นเมื่อมีแรงผลักไม่เพียงพอที่จะแยกจากกันในระยะทางที่แรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ไม่แข็งแรงพอที่ดึงดูด การจับตัวเป็นก้อนอาจจะแข็งหรืออ่อนได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของพลังงานดึงดูดที่เกี่ยวข้อง

2.4.6 ปรากฏการณ์ออสวาร์ดริพเพ็นนิ่ง (ความไม่สมส่วน) [9]

ผลลัพธ์จากความสามารถในการทำละลายที่มีขอบเขตของวัฏภาคของเหลว ซึ่งของเหลวเหล่านั้นมีสภาพผสมเข้ากันไม่ได้บ่อยครั้งนั้นมีความสามารถในการทำละลายซึ่งกันและกันที่ไม่น้อย ด้วยอิมัลชันที่เกิดความแตกต่างของขนาดอนุภาค โดยหยดที่เล็กจะมีความสามารถในการทำละลายที่สูงกว่าหยดที่มีขนาดใหญ่ เนื่องมาจากปรากฏการส่วนโค้ง (Curvature effect) และเวลาหยดขนาดเล็กที่ไม่ปรากฏและโมเลกุลของพวกมันจะแพร่ไปยังกลุ่มก้อนและจะทับถมเป็นหยดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และด้วยเวลานี้ การกระจายขนาดของหยดจะเปลี่ยนเป็นหยดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

2.4.7 การแขวนลอย [9]

นี้คือการกล่าวถึงกระบวนการของความบางและการแตกตัวของฟิล์มของเหลวระหว่างหยดด้วยผลมาจากการรวมตัวของตั้งแต่สองหรือมากกว่าจนใหญ่ขึ้น และอีกกรณีสำหรับการแขวนลอยคือการแยกตัวอย่างสมบูรณ์ของอิมัลชันไปเป็นวัฏภาคของเหลวที่แยกตัวกันอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงขับเคลื่อนสำหรับการแขวนลอยคือความผันผวนของผิวหน้าหรือฟิล์มเป็นผลที่เข้ามาใกล้กันของหยดด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals force) ที่แข็งแรงที่จะป้องกันการแยกชั้น

2.4.8 การกลับเฟส (Phase Inversion) [9]

การกล่าวถึงกระบวนการที่จะมีการแลกเปลี่ยนระหว่างการกระจายตัวของวัฏภาคและตัวกลาง ยกตัวอย่างเช่น อิมัลชันวัฏภาคน้ำมันในวัฏภาคน้ำที่อาจจะใช้เวลาหรือการเปลี่ยนสภาวะไปเป็นอิมัลชันวัฏภาคน้ำในวัฏภาคน้ำมัน ในอีกหลายกรณีที่การกลับเฟสนั้นผ่านจากสภาวะการส่งผ่านโดยทางอิมัลชันหลายด้านที่ถูกสร้างขึ้น

2.4.9 การประยุกต์ใช้ทางด้านอุตสาหกรรมของอิมัลชัน [9]

ระบบในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปประกอบด้วยอิมัลชันที่จะกล่าวถึงนั้นได้แก่ อิมัลชันในด้านอาหาร (Food emulsion) ยกตัวอย่างคือ มายองเนส (Mayonnaise) ครีมสลัด (Salad creams) ขนม และเครื่องดื่ม ผลิตดูแลผิวและเครื่องสำอาง ยกตัวอย่างคือ อิมัลชันออยที่เกิดขึ้นเอง (Self emulsifiable oils) ที่ผลิตอิมัลชันบนการเจือจางด้วยน้ำ อิมัลชันแบบเข้มข้น และสเปรย์น้ำมันข้าวโพด ทางด้านเภสัชกรรม ยกตัวอย่างคือ ยาระงับความรู้สึก (Anesthetic) ของอิมัลชันวัฏภาคน้ำมันในวัฏภาคน้ำ อิมัลชันน้ำมัน และอิมัลชันสองด้านและหลายด้าน และสี ยกตัวอย่างคือ อัลคิดเรซิน (Alkyd resins) และอิมัลชันลาแทกซ์ (Latex emulsion) การกำหนดการทำความสะอาดแบบแห้ง นี้อาจประกอบไปด้วยหยดน้ำที่ทำให้สารเกิดอิมัลชันในน้ำมันทำความสะอาดชนิดแห้งซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการขจัดดินและดินเหนียว อิมัลชันยางมะตอย (Bitumen emulsion) นั้น อิมัลชันจะถูกเตรียมให้เสถียรในภาชนะ แต่เมื่อถูกนำไปใช้กับรอยแตกของถนน ซึ่งมันจะแขวนลอยเป็นฟิล์มยางมะตอยที่สม่ำเสมอ อิมัลชันในอุตสาหกรรมน้ำมันนั้นน้ำมันดิบต่างๆจะมีหยดน้ำ (เช่น น้ำมันในทะเลเหนือ) ซึ่งน้ำเหล่านี้จะถูกจำกัดโดยทำให้แขวนลอยและแยกออก การแพร่กระจายของคราบน้ำมันจากการที่น้ำมันหกมาจากเรือบรรทุกน้ำมันจะต้องมีการทำให้เกิดอิมัลชันและทำการแยกออกมา การทำอิมัลชันเพื่อจำกัดน้ำมันที่ไม่ต้องการนั้นถือว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการควบคุมมลพิษ

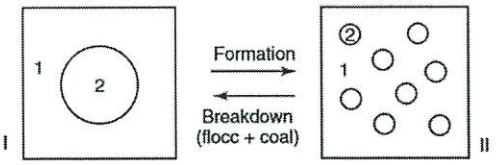
ความสำคัญของอิมัลชันในอุตสาหกรรมที่กล่าวมาข้างต้นนั้นได้แสดงให้เห็นถึงงานวิจัยพื้นฐานมากมายที่ทำให้เข้าใจถึงความไม่เสถียรและวิธีการในการกำจัดการเสียรูปของอิมัลชัน แต่น่าเสียดายที่งานวิจัยเบื้องต้นเกี่ยวกับอิมัลชันนั้นไม่ง่ายนัก เพราะระบบของรูปแบบนั้นยากมากที่จะสร้างให้มีรูปแบบเดียวกัน เช่นการทำให้หยดเท่ากันทุกโมเลกุล และในอีกหลายกรณีทฤษฎีเกี่ยวกับความเสถียรของอิมัลชันนั้นยังไม่ถูกต้องแม่นยำและ เซมิ-เอมพิริคัล (Semi-empirical) จึงถูกนำใช้

2.4.10 อุณหพลศาสตร์การขึ้นรูปและเสียรูปของอิมัลชัน [9]

การพิจารณาระบบในน้ำมันที่ถูกแทนโดยหยดขนาดใหญ่ที่แทนด้วย 2 โดยพื้นที่ A1 ที่แช่ของเหลว 2 นั้น ของเหลว 2 จะถูกแบ่งละเอียดจนเป็นหยดขนาดเล็กลงและมีจำนวนมากมายด้วยพื้นที่ทั้งหมด A2(A2>>A1) ที่แสดงดังในรูปที่ 2.9 แรงตึงผิว (Interfacial tension) γ_{12} คือสิ่งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกันสำหรับหยดขนาดใหญ่และที่มีขนาดเล็กกว่า โดยทั่วไปคือมีขอบเขต 0.1 จนถึง 2-3 ไมโครเมตร



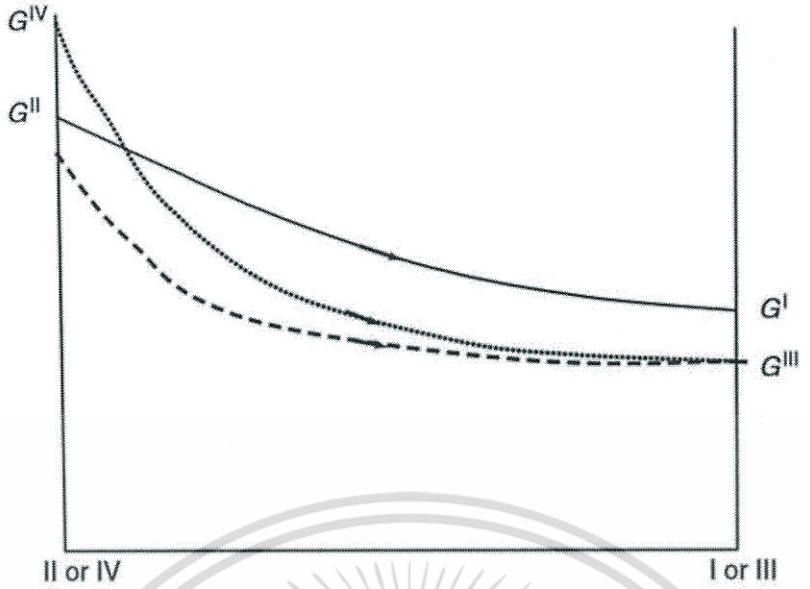
รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงการขึ้นและเสียรูปของอิมัลชัน

ประจุในพลังงานอิสระที่เดินทางจากสถานะที่ 1 ไปสถานะที่ 2 ที่ได้มาสองตัว ในเทอมพลังงานพื้นผิว (Surface energy term)นั้นเท่ากับ $\Delta A\gamma_{12}$ (เมื่อ $\Delta A = A_2 - A_1$ เอนโทรปีของเทอมการแพร่กระจาย (Entropy of dispersions term) นั้นจะมีค่าเป็นบวกด้วย (เมื่อการเพิ่มจำนวนหยดที่มีปริมาณมากถูกสอดคล้องกับโครงสร้างเอนโทรปี (Configurational entropy) นั้นเท่ากับ $T\Delta S^{conf}$ ซึ่งได้มาจากกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์

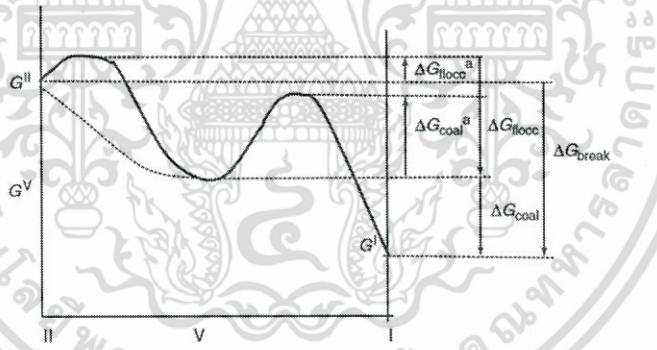
$$\Delta G^{form} = \Delta A\gamma_{12} - T\Delta S^{conf} \qquad (1)$$

กรณีที่พบส่วนมากจะเป็น $\Delta A\gamma_{12} >> -T\Delta S^{conf}$ คือหมายถึง ΔG^{form} มีค่าเป็นบวก ซึ่งหมายความว่าการเกิดอิมัลชันคือไม่เป็นไม่ตามธรรมชาติและระบบคืออุณหพลศาสตร์นั้นไม่มีความเสถียร ในการขาดความเสถียรทางกลศาสตร์ใดๆ อิมัลชันจะเกิดการจับตัวเป็นก้อน การแขวนลอย ปรากฏการณ์ออสวาร์ดริพเพ็นนิ่ง หรือเกิดทุกกระบวนการที่กล่าวข้างต้นนี้ นี้คือภาพประกอบในรูปที่ 2.10 ที่แสดงแต่ละส่วนของกระบวนการอิมัลชันที่มีการเสียรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 เส้นทางพลังงานอิสระในการเสียรูปอิมัลชัน - (เส้นตรง) การจับตัวเป็นก้อน - การแขวนลอย ;(เส้นปะ) การจับตัวเป็นก้อน - การแขวนลอย - การตกตะกอน และ (เส้นจุด) การจับตัวเป็นก้อน - การแขวนลอย - การตกตะกอน - ปรากฏการณ์ออสวาร์ดริพเพ็นนิ่ง



รูปที่ 2.11 แผนภาพแสดงเส้นทางอิสระของเสียรูป (การจับตัวเป็นก้อนและการแขวนลอย) สำหรับระบบที่มีกำแพงพลังงาน (Energy barrier)

ในการปรากฏตัวของตัวให้ความเสถียร เช่น สารลดความตึงผิวหรือพอลิเมอร์ กำแพงพลังงานที่ถูกสร้างระหว่างหยด ดังนั้นการกลับจากสถานะที่ 2 ไปเป็นสถานะที่ 1 กลายเป็นความไม่ต่อเนื่องคล้ายผลลัพธ์ของสิ่งที่ปรากฏของเหล่ากำแพงพลังงาน นี้คือภาพประกอบในรูปที่ 2.11 ในการปรากฏของกำแพงพลังงานข้างต้นและระบบจะกลายมาเป็นความเสถียรทางจลศาสตร์

2.4.11 แรงพลังงานปฏิกิริยาระหว่างหยดและการรวมตัวของอิมัลชัน [9]

ที่กล่าวโดยทั่วไปนั้นมีแรงพลังงานปฏิกิริยาระหว่างหยดอิมัลชันที่ได้อภิปรายกันมา-มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ [9]

แรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลแบ่งได้สามประเภทคือ ขั้วคู่ (dipole)-ขั้วคู่หรือ Keesom ขั้วคู่เหนี่ยวนำขั้วคู่หรือ Debye และการแพร่กระจายหรือลอนดอน (London) แรงดึงดูด Keesom และ Debye เป็นปริมาณเวกเตอร์ และถึงกระนั้นการดึงดูดขั้วคู่-ขั้วคู่หรือขั้วคู่เหนี่ยวนำขั้วคู่มีขนาดใหญ่ พวกมันมีแนวโน้มที่จะหายไป เพราะแนวทิศทางการวางตัวที่แตกต่างกันของขั้วคู่ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญที่สุดคือปฏิกิริยาการแพร่กระจายลอนดอนนั้นสูงขึ้นการจับตัวเป็นก้อนของประจุ ด้วยอะตอมหรือโมเลกุลประกอบด้วยนิวเคลียสและอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่รอบๆ นิวเคลียส และขั้วคู่แบบชั่วคราว (Temporary dipole) ที่เหนี่ยวนำขั้วคู่อื่นๆในอะตอมหรือโมเลกุลที่ติดกัน พลังงานปฏิกิริยาระหว่างสองอะตอมหรือโมเลกุล G_A เป็นระยะสั้นและเป็นสัดส่วนกลับของ r ระยะทางการแยกจากกันระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลยกกำลังหก

$$G_A = -\frac{\beta}{r^6} \tag{2}$$

เมื่อ β คือ ค่าคงที่การแพร่กระจายลอนดอนที่ถูกกำหนดโดยความสามารถในการเกิดขั้วของอะตอมหรือโมเลกุล

Hamaker เสนอแนะว่าปฏิกิริยาการแพร่กระจายลอนดอนระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลในส่วนประกอบที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น หยดอิมัลชัน สามารถเพิ่มเข้าไปในผลลัพธ์ปฏิกิริยาแวนเดอร์วาลส์ที่แข็งแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระยะทางที่ใกล้ของการแยกตัวระหว่างหยด สำหรับสองหยดที่มีรัศมีเท่ากัน r ที่การแยกตัวด้วยระยะทาง h การดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ G_A ถูกให้ด้วยสมการข้างล่าง (เนื่องจาก Hamaker)

$$G_A = -\frac{\beta}{r^6} \tag{3}$$

เมื่อ A คือค่าคงที่ประสิทธิผล Hamaker

$$A = \left(A_{11}^{1/2} - A_{22}^{1/2} \right)^2 \tag{4}$$

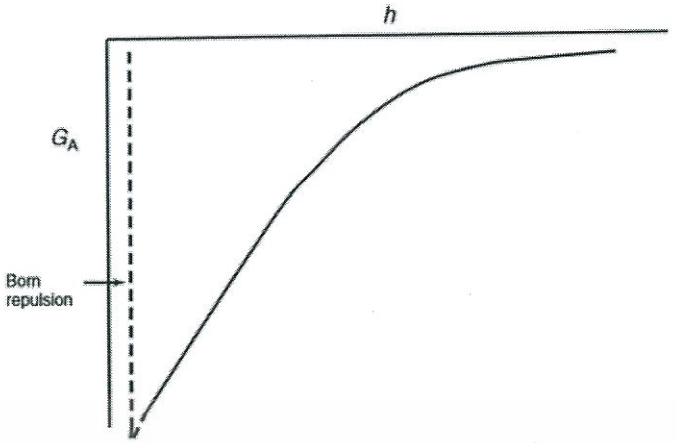
เมื่อ A_{11} และ A_{22} ค่าคงที่ Hamaker ของหยดและการแพร่กระจายในตัวกลาง

ค่าคงที่ของ Hamaker ในวัสดุใดๆขึ้นอยู่กับเลขอะตอมหรือโมเลกุลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร q ค่าคงที่การแพร่กระจายลอนดอน β

$$A = \pi^2 q^2 \beta \tag{5}$$

G_A จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการลดลงของ h (ที่ใกล้ค่าเหมาะสม) นี้คือภาพประกอบในรูปที่ 2.12 ที่แสดงพลังงานแวนเดอร์วาลส์-ระยะทางโค้งของสองหยดอิมัลชันระยะทางการแยก h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

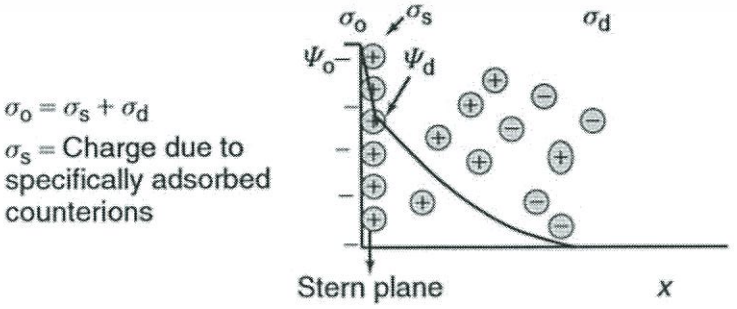


รูปที่ 2.12 การแปรผันพลังงานดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ด้วยการแยกที่ระยะทางต่างๆ

ในการขาดแรงผลักใดๆ การจับตัวเป็นก้อนจะสร้างเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ได้เร็วมาก การทำให้แรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์น้อยลง มันเป็นสิ่งที่จำเป็นมากในการสร้างแรงผลัก ประเภทของแรงผลักมี 2 ชนิดใหญ่สามารถจำแนกได้โดยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอิมัลซิไฟเออร์ที่ถูกใช้ได้แก่แรงไฟฟ้าสถิตจากการสร้างประจุไฟฟ้าสองชั้นและแรงสเตอริค (Steric) เนื่องจากการเกิดการดูดซับสารลดความตึงผิวหรือชั้นของพอลิเมอร์

การผลักทางไฟฟ้าสถิต [9]

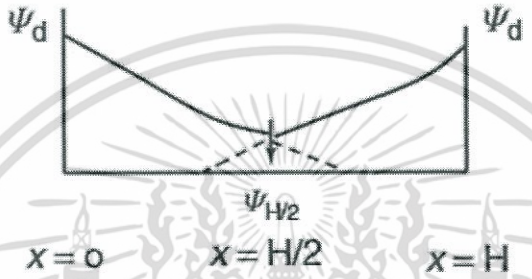
สิ่งนี้สามารถถูกสร้างได้การดูดซับของสารลดความตึงผิวที่มีประจุ (Ionic surfactant) ที่แสดงในรูปที่2.13 ที่แสดงภาพแบบแผนของโครงสร้างประจุไฟฟ้าสองชั้นที่สอดคล้องกับรูปภาพของ Gouy-Chapman และ Stern ศักย์ไฟฟ้าที่พื้นผิว φ_0 จะลดลงเป็นเชิงเส้นไปยัง φ_d เรียกว่า Stern หรือศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zeta potential) และจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นด้วยระยะทาง x อย่างเลขชี้กำลัง (Exponentially) การขยายออกของประจุไฟฟ้าสองชั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และจำนวนอะตอมของธาตุ (Valency) ซึ่งถ้าจำนวนอะตอมของธาตุและความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีค่าลดลงจะทำให้ประจุไฟฟ้าสองชั้นขยายออกมากขึ้น



รูปที่ 2.13 แบบแผนประจุไฟฟ้าสองชั้นที่ถูกสร้างขึ้นโดยการดูดซึมสารลดความตึงผิวที่มีประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุ (Charge colloidal particle) ในการแพร่กระจายเข้าใกล้อนุภาคอื่นที่ประจุไฟฟ้าสองชั้นได้เริ่มมีการทับซ้อนกัน คือการแยกออกของอนุภาคได้น้อยกว่าสองเท่าของการขยายตัวประจุไฟฟ้าสองชั้นทำให้การผลักนั้นเกิดขึ้น ประจุไฟฟ้าสองชั้นจะขยายออกอย่างจำกัดเพราะพื้นที่ที่มีจำกัดไม่ทำให้ศักย์ไฟฟ้าสลายตัวลงอย่างสมบูรณ์ นี้คือรูปที่ 2.14 สองที่ราบที่แสดงเมื่อการแยกออกด้วยระยะทางhระหว่างหยดอิมัลชันได้น้อยกว่าการขยายตัวของประจุไฟฟ้าสองชั้นที่ตรงกลางระนาบระหว่างสารลดความตึงผิวที่ไม่เท่ากับศูนย์เพลต (Plates) ซึ่งอาจเป็นกรณีเมื่อ h นั้นมากกว่าสองเท่าของกการขยายตัวประจุไฟฟ้าสองชั้น



รูปที่ 2.14 แบบภาพแสดงการทับซ้อนของประจุไฟฟ้าสองชั้น

ปฏิกริยาการผลัก G_{el} ถูกให้โดยสมการข้างล่างนี้

$$G_{el} = 2\pi R\varepsilon_r\varepsilon_0\varphi_0^2 \ln\left[1+\exp(-\kappa h)\right] \tag{6}$$

เมื่อ ε_r คือ ค่าความนำสนามไฟฟ้าสัมพันธ์ (Relative permittivity) ε_0 คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ (Permittivity of free Space) κ คือ พารามิเตอร์ของ Debye-Huckel; $1/\kappa$ คือ ค่าการขยายตัวประจุไฟฟ้าสองชั้น (ความหนาของประจไฟฟ้าสองชั้น)ที่ถูกอธิบายโดยสมการ

$$\left(\frac{1}{\kappa}\right) = \left(\frac{\varepsilon_r\varepsilon_0 kT}{2\eta_0 Z_1^2 e^2}\right) \tag{7}$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของ Bolzmann, T คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์, η_0 คือ เลขไอออนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของกลุ่มสารละลายแต่ละชนิด, Z_i คือ จำนวนอะตอมของไอออน และ e คือค่าประจุไฟฟ้า

ค่าของ $1/\kappa$ ที่ความเข้มข้นอิเล็กโทรไลท์ที่แตกต่างกัน 1:1 ถูกให้ไว้ข้างล่าง

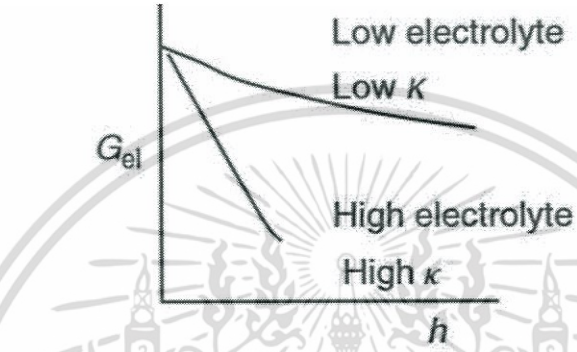
C (mold m-3)	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
$1/\kappa$ (nm)	100	33	10	3.3	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

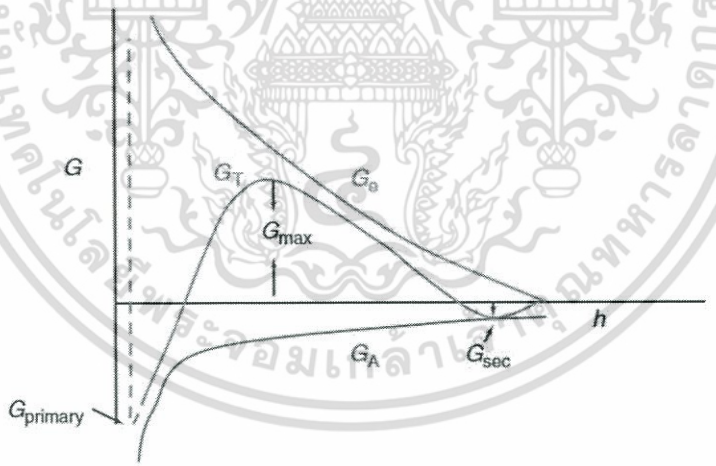
การขยายตัวของประจุไฟฟ้าทั้งสองที่ลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ดังภาพประกอบในรูปที่ 2.15

$$G_T = G_{el} - G_A \tag{8}$$

แบบแผนนี้แสดงแรง(พลังงาน) - ระยะทางที่สอดคล้องกับทฤษฎีของ Derjaguin, Landue, Verwey และ Overbeek (DLVO) ที่ให้ในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 การแปรผันของ G_{el} ด้วยค่า h ที่ต่ำและความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สูง



รูปที่ 2.16 พลังงานทั้งหมด-ระยะโค้งที่สอดคล้องกับทฤษฎี DLVO

การเสนอข้างต้นคือสำหรับระบบที่มีความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่ำ ที่ h มาก การดึงดูดมีอำนาจมากกว่าผลลัพธ์ในที่ระบบตื้นที่น้อยที่สุด (G_{sec}) ของลำดับของหน่วยกิโลเทสลา ที่ h สั้น $G_A >> G_{el}$ ผลลัพธ์ในระดับลึกปฐมภูมิขั้นต่ำ (หลายร้อยกิโลเทสลา) ที่ระหว่างกลาง h เมื่อ $G_{el} > G_A$ ผลลัพธ์ที่ได้ที่กำแพงพลังงานสูงสุดที่ความสูงขึ้นอยู่กับ φ_0 หรือ ζ และความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และจำนวนอะตอมของธาตุ - พลังงานสูงสุดที่ถูกเก็บไว้ >

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25 kT พลังงานการกีดกันสูงสุดที่เข้าใกล้ของหยดและการจับตัวเป็นก้อนในค่าต่ำสุดปฐมภูมิ (Primary minimum) ที่ถูกกีดกัน ค่าที่สูงขึ้นของ φ_0 และจำนวนอะตอมและความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ลดลง ณ ที่พลังงานที่มากสุดที่สูงขึ้น ที่ระหว่างกลางความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์การจับตัวเป็นก้อนจะต่ำในค่าต่ำสุดทุติยภูมิอาจเกิดขึ้นได้

การรวมตัวกันของการดูดดึงแวนเดอร์วาลส์และการผลักกันของประจุไฟฟ้าสองชั้นของทฤษฎีความเสถียรคอลลอยด์ที่รู้จักกันดีเนื่องจากทฤษฎี DLVO

แรงผลักสเตอริค [9]

แรงนี้ถูกสร้างจากสารลดความตึงผิวหรือพอลิเมอร์ที่ไม่มีประจุยกตัวอย่างเช่น แอลกอฮอล์ เอธอกซีเลต (Alcohol ethoxylates) หรือ A-B-Aพอลิเมอร์ร่วม (Copolymers) เช่น PEO-PPO-PEO เมื่อ PEOคือโพลีเอธิลีนออกไซด์ (Polyethylene Oxide) และ PPOคือโพรพิลีนออกไซด์ (Propylene Oxide) คล้ายภาพประกอบในรูปที่ 2.17 ความหนาของสายโซ่ที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic chains) หรือ PEO ในน้ำจะสร้างแรงผลักคล้ายผลลัพธ์ในสองผลที่ตามมาหลักของผสมที่ไม่เป็นดังที่คาดของสายโซ่ PEO เมื่อมีสภาวะสารทำละลายที่ดีคือสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความเหมาะสมและอุณหภูมิต่ำซึ่งอ้างอิงกับการออสโมติก (Osmotic) หรือ ปฏิกิริยาของพลังงานอิระของผสมที่อธิบายโดย

$$\frac{G_{mix}}{kT}=\left(\frac{4\pi}{V_1}\right)\varphi_2^2 N_{av}\left(\frac{1}{2}-\chi\right)\left(\delta-\frac{h}{2}\right)\left(3R+2\delta+\frac{h}{2}\right) \qquad (9)$$

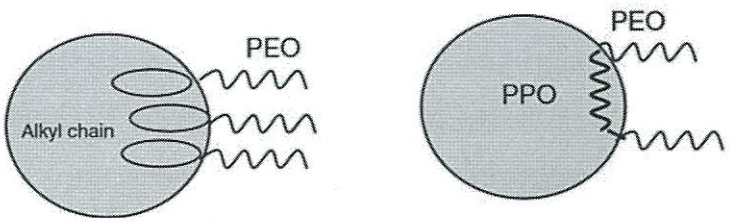
V_1 คือปริมาตรโมลาร์ของสารทำละลาย φ_2^2 คือการแตกปริมาตรของสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยความหนา δ และ χ คือพารามิเตอร์ปฏิกิริยา Flory–Huggins เมื่อ $\chi<0.5$ จะได้ G_{mix} มีค่าเป็นบวกและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นการผลัก เมื่อ $\chi>0.5$ จะได้ G_{mix} มีค่าเป็นลบและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นการดึงดูด เมื่อ $\chi=0.5$ จะได้ G_{mix} มีค่าเป็นศูนย์อ้างอิงได้กับเงื่อนไข θ

เอนโทรปิค (Entropic), การจำกัดปริมาตร และหรือปฏิกิริยาแบบยืดหยุ่น (Elastic interaction), G_{el} ผลลัพธ์นี้จากการสูญเสียโครงสร้างเอนโทรปีของสายโซ่บนการทับซ้อนอย่างมีนัยสำคัญ การสูญเสียเอนโทปีเป็นสิ่งไม่น่าพอใจนัก ดังนั้น G_{el} เป็นบวกเสมอ

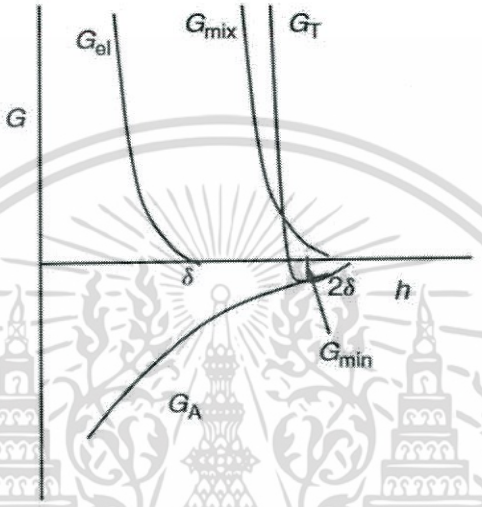
การรวมกันของ G_{el}, G_{mix} กับ G_A ได้ให้พลังงานทั้งหมดของปฏิกิริยา G_T (ทฤษฎีของความเสถียรสเตอริค)

$$G_T=G_{mix}+G_{el}+G_A \qquad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แบบแผนแสดงของชั้นการดูดซับ

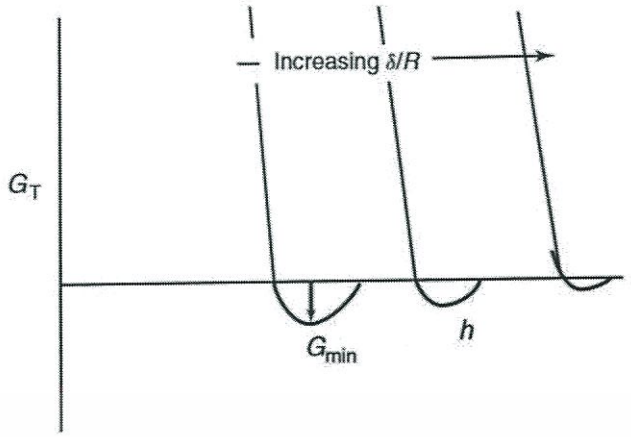


รูปที่ 2.18 แบบแผนแสดงพลังงาน-ระยะทางโค้งของอิมัลชันที่มีความเสถียรทางสเตอริค

แบบแผนแสดงการแปรผันของ G_{mix}, G_{el} และ G_A ด้วย h ที่ถูกให้ในรูปที่ 2.18 G_{mix} เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการลดลงของh เมื่อตอนหลังลดลงน้อยกว่า 2δ G_{el} จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการลดลงเมื่อตอนท้ายได้ลดลงกว่า δ และ G_T เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการลดลงของ h เมื่อตอนหลังได้ลดลงน้อยกว่า 2δ

รูปที่ 2.18 แสดงว่ามีเพียงค่าที่น้อยที่สุดหรือ $G_{\min}$ เมื่อความลึกขึ้นอยู่กับค่า R, δ และ A ที่ให้ขนาดของหยดและค่าคงที่ Hamaker ถ้าค่ามากจะมีการดูดซับที่ชั้นความหนาและถ้าค่าน้อยความลึกที่ได้จะต่ำที่สุด ถ้า $G_{\min}$ นั้นทำให้เล็กเพียงพอหรือค่า δ มากและค่า R น้อย อาจเข้าใกล้ความเสถียรทางอุณพลศาสตร์ได้ มีรูปที่ 2.19 แสดงพลังงาน-ระยะโค้งคือฟังก์ชันของ δ / R โดยถ้า δ / R มากขึ้น ค่า $G_{\min}$ จะน้อยลง ซึ่งในกรณีนี้ระบบอาจเข้าใกล้ความเสถียรทางอุณหพลศาสตร์เหมือนในกรณีการแพร่กระจายด้วยนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



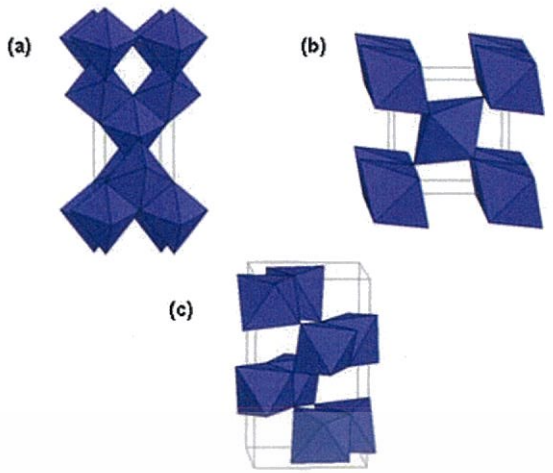
รูปที่ 2.19 การแปรผันของ G_T ด้วยค่า h ที่ δ / R ที่หลากหลาย

2.5 ไททาเนียมออกไซด์ (Titanium Dioxide) [10]

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นสารอนินทรีย์สีขาวที่เป็นของแข็งมีเสถียรภาพทางความร้อน จึงไม่ติดไฟ แขวนลอยในน้ำ และไม่จัดว่าเป็นอันตรายตามการการจำแนกประเภทและการติดฉลากสารเคมีที่เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก (Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals - GHS) ของสหประชาชาติ (UN) ออกไซด์ของโลหะไทเทเนียมของไททาเนียมไดออกไซด์นั้นเกิดขึ้นตามธรรมชาติตามชนิดน้ำของหินและแร่ทรายที่มี ไทเทเนียมเป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในเปลือกโลก ไททาเนียมไดออกไซด์นั้นเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี

ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคในระดับนาโนเมตรจะมี พื้นที่ผิวจำเพาะมาก เป็นข้อดีในการนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นมลพิษในนจะดูดซับบนบริเวณพื้นผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ในปริมาณมาก ทำให้เกิดกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงได้ดีกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำ องค์ประกอบเฟสก็เป็นส่วนที่สำคัญอีกประการหนึ่ง ที่ทำให้มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้ดี ไทเทเนียมไดออกไซด์จะอยู่ในรูปของผลึกที่สำคัญ 3 รูป คือ อะนาเทส (Anatase) รูไทล์ (Rutile) และบรุ๊คไคท์ (Brookite) โดยที่เฟสอะนาเทส และรูไทล์จะมีโครงสร้างแบบ เททระกอนอล ส่วนบรุ๊คไคท์จะมีโครงสร้างผลึกแบบออร์โทรอมบิก โดย ทุกโครงสร้างประกอบขึ้นจากหน่วยพื้นฐานรูปทรงแปดหน้า (TiO_2 6- octahedral) อะตอมไทเทเนียม (Ti) หนึ่งอะตอมถูกล้อมรอบด้วยอะตอมออกซิเจน (O) หกอะตอม แต่ละรูปแบบโครงสร้างขึ้นอยู่กับการบิดเบี้ยว ของการจัดเรียงรูปทรงแปดหน้าบริเวณขอบ มุม และหน้า ดังรูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างผลึกแบบ (a)อะนาเทส (b)รูไทล์ และ (c)บรุ๊คไคท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างผลึกแบบ (a) อะนาเทส (b) รูไทล์ และ (c) บรุ๊คไคท์

โดยปกติจะพบไทเทเนียมไดออกไซด์ในโครงสร้างผลึกแบบอะนาเทสและรูไทล์ โครงสร้างผลึกอะนาเทสสามารถเปลี่ยนเป็นโครงสร้างผลึกรูไทล์ได้ที่อุณหภูมิสูง โครงสร้างผลึกทั้งอะนาเทสและรูไทล์ เป็นที่นิยมนำมาศึกษากันโดยทั่วไปสำหรับปฏิกิริยาแบบใช้แสง ซึ่งโครงสร้างผลึกอะนาเทสจะให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกรูไทล์ เนื่องจากโครงสร้างผลึกอะนาเทส เกิดการรวมตัวกันใหม่ของคู่อิเล็กตรอนและโฮล (Electron-hole pair) ในอัตราที่ต่ำกว่า เพราะมีแถบช่องว่างพลังงานที่มากกว่ารูไทล์ ยิ่งไปกว่านั้นโครงสร้างผลึกอะนาเทส สามารถเตรียมได้ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ที่พื้นผิวมีไฮดรอกไซด์ ไอออนไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) มากกว่า ซึ่งจะสามารถผลิตไฮดรอกซิลไอออนเรดิคอล (Hydroxyl radical, OH) ได้มาก ซึ่งไฮดรอกซิลไอออนเรดิคอลเป็นตัวออกซิแดนซ์หลัก ที่จะทำให้การเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงเกิดได้ดี สำหรับโครงสร้างอะนาเทสและรูไทล์มีแถบช่องว่างพลังงาน 3.2 อิเล็กตรอนโวลท์ และ 3.0 อิเล็กตรอนโวลท์ ตามลำดับ โดยโครงสร้างผลึกอะนาเทสสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 384 นาโนเมตร ในขณะที่โครงสร้างผลึกรูไทล์สามารถดูดกลืนแสงในช่วง ความยาวคลื่นต่ำกว่า 410 นาโนเมตร ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง อีกทั้งโครงสร้างอะนาเทสยังมีความสามารถในการดึงดูดติดผิวสูงกว่าโครงสร้างผลึกรูไทล์ อย่างไรก็ตามในบางปฏิกิริยาโครงสร้างผลึกผสมระหว่างอะนาเทสและรูไทล์จะให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกอะนาเทสอย่างเดียว เพราะว่าในระหว่างกระบวนการ กระตุ้นด้วยแสงอิเล็กตรอนจะถูกส่งผ่านจากรูไทล์ไปยังอะนาเทส จะเป็นการลดการรวมตัวกันใหม่ของคู่อิเล็กตรอนกับโฮลจากการสร้างประจุโดยพลังงานจากแสง เนื่องจากชั้นการนำไฟฟ้าของเฟสอะนาเทส อยู่ในตำแหน่งที่มีพลังงานสูงกว่าชั้นการนำไฟฟ้าของเฟสรูไทล์ประมาณ 0.20 eV ความสามารถของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงนั้น เป็นผลมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น โครงสร้าง และขนาดของผลึก ความหนาแน่นของหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิว พื้นที่ผิว จำเพาะ ความพรุน และสมบัติอื่น ๆ ปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อการผลิตคู่อิเล็กตรอน-โฮล การดูดซับบนพื้นผิว และกระบวนการรีดอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีการใช้มานานหลายปีในการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมและบริโภคอย่างกว้างขวางรวมทั้งสี สีเคลือบ กาว กระดาษและกระดาษแข็งพลาสติก ยาง พลาสติก หมึกพิมพ์ ผ้าและสิ่งทอ ระบบตัวเร่งปฏิกิริยา เครื่องสำอางและยา สีผสมอาหารและผลิตภัณฑ์ยานยนต์ ฯลฯ [11]

2.5.1 ความปลอดภัยไททาเนียมไดออกไซด์กับมนุษย์ [10]

ไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกใช้เป็นที่แพร่หลายในสังคมของเรา ส่วนใหญ่พื้นผิวและวัสดุที่มีสีขาวนั้นจะมีไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นวัสดุที่มีในบ้าน สถานที่ทำงาน และพื้นที่สาธารณจึงมีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบ ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ตั้งแต่ในปี 1923 ที่ไม่มีการระบุความกังวลเรื่องสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงของผู้บริโภคหรือประชาชนทั่วไป ข้อเท็จจริงเหล่านี้ได้รับการสนับสนุนโดยผลที่ได้จากการศึกษาทางระบาดวิทยา (Epidemiology) กับคนงาน 20,000 คนในอุตสาหกรรมการผลิตไทเทเนียมไดออกไซด์ในทวีปอเมริกาเหนือและยุโรป ซึ่งไม่มีสิ่งเชื่อมโยงที่บ่งบอกถึงความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของโรคมะเร็งหรือผลกระทบต่อปอดที่ไม่พึงประสงค์อื่น ๆ การศึกษานี้ไม่ได้ขึ้นกับความแตกต่างระหว่างไททาเนียมไดออกไซด์ระดับนาโนและรงควัตถุ

ในปี 2006 องค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer: IARC) ได้ประเมินไทเทเนียมไดออกไซด์ ว่า "อาจจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์" (กลุ่ม 2B) จากการศึกษาในหนูพบความเสี่ยงการสูดดมไทเทเนียมไดออกไซด์ ในหนูที่สามารถทำให้เกิดผลกระทบในปอดและเนื้องอกในปอด แต่อย่างไรก็ตามก็เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าหนูเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความไวต่อผลกระทบเกี่ยวกับปอดได้ง่ายเมื่อได้รับสารมากเกินไป ซึ่งไม่ได้พบในสายพันธุ์อื่น ๆ รวมทั้งมนุษย์

2.6 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) [12]

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นผงอนินทรีย์ที่สีขาวที่เป็นของแข็ง ไม่ติดไฟ มีเสถียรภาพและไม่ละลายในน้ำ ขนาดอาจแตกต่างกันระหว่าง 0.5 และ 5 ไมโครเมตร แต่ขนาดโดยทั่วไปคือรอบ 1 ไมโครเมตร นาโนซิงค์ออกไซด์ถูกทำจากอนุภาคที่อย่างน้อยมีหนึ่งมิติ <= 100nm ในธรรมชาติซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นแร่ธาตุที่หายากที่มักพบในแร่ซิงค์ไคท์ (Zincite) ซึ่งมักมีแมงกานีสและสิ่งเจือปนอื่น ๆด้วยที่ให้สีเหลืองจนถึงสีแดงแก่โครงสร้างแร่กำเนิดสังกะสีดังรูปที่ 2.21 เช่น แร่สฟาเลอไรต์ (Sphalerite) ให้โครงสร้างแบบ Wurzite แร่แฟรงคลิไนท์ (Franklinite) และแร่วิลเลมไมท์ (Willemite) นอกจากนี้ยังใช้แร่ซิงค์ไคท์เพื่อผลิตรูปแบบของซิงค์ออกไซด์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน กระบวนการผลิตที่เป็นที่รู้จักสำหรับผงซิงค์ออกไซด์เหล่านี้ถูกจัดแบ่งเป็นขั้นตอนของเหลวและขั้นตอนของ

2.6.1 กระบวนการในวัฏภาคแก๊ส

ซิงค์ออกไซด์มีเสถียรต่อแสงและไม่เปลี่ยนสี ค่าความเป็นกรด - ด่างของซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 7.1-7.5 เนื่องจากคุณลักษณะพื้นฐานเล็กน้อย ออกไซด์มีแนวโน้มที่จะเกิดฟองสบู่กับกรดไขมันและกรดเรซิน เมื่อซิงค์ออกไซด์ทำปฏิกิริยาอย่างช้าๆกับกรดไขมันในน้ำมันเพื่อผลิตคาร์บอกซิเลท (Carboxylates) ที่เกี่ยวข้องเช่น Oleate และ Stearate ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของซิงค์ออกไซด์กับยานพาหนะได้รับผลกระทบอย่างมากจากขนาดอนุภาค ซึ่งมีการแพร่อย่างรวดเร็วในคอลลอยด์และมีระดับการการแพร่กระจายอย่างมาก การใช้เพื่ออาบพื้นผิวสำหรับซิงค์ออกไซด์สามารถช่วยลดปฏิกิริยานี้ได้หากจำเป็น ซิงค์ออกไซด์เป็นแอมโฟเทอริกออกไซด์ (Amphoteric oxide) แม้ว่าจะไม่ละลายในน้ำจะละลายได้ง่ายในกรดแร่และแม้แต่กรดอ่อน

2.6.2 ความปลอดภัยของซิงค์ออกไซด์ [13]

สังกะสีเป็นสารประกอบธรรมชาติและส่วนหนึ่งของสิ่งแวดล้อมโดยธรรมชาติ การสัมผัสระดับน้อยที่มีในธรรมชาติของสังกะสีในทางชีวภาพมันคือสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทั้งหมด สังกะสีช่วยในการเผาผลาญอาหารที่สำคัญในมนุษย์ สัตว์และพืช ซิงค์ออกไซด์ได้รับการยอมรับเป็นสารเติมแต่งทางโภชนาการที่มีคุณค่าและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องสำอางยาและการประยุกต์ทางการแพทย์ แม้ว่าซิงค์ออกไซด์ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่าปลอดภัย แต่ควรหลีกเลี่ยงที่จะสูดดมฝุ่นและควันของซิงค์ออกไซด์

1) **การรับสารเนื่องจากการทำงาน** คนงานที่โรงงานผลิตซิงค์ออกไซด์สามารถสัมผัสกับฝุ่นซิงค์ออกไซด์ได้โดยตรง จึงมีมาตรการป้องกันรวมทั้งการควบคุมทางวิศวกรรมและอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคลถูกนำมาใช้ในการควบคุมการเปิดรับและการลดความเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงานให้สอดคล้องกับกฎระเบียบที่มีอยู่
2) **การได้รับสารของผู้บริโภค** ผู้บริโภคที่ได้รับฝุ่นซิงค์ออกไซด์จากการสูดดมนั้นถูกสันนิษฐานว่าโอกาสนั้นมีน้อยมาก เพราะโดยทั่วไปนั้นมันถูกผสมไปในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีการทำพันธะอย่างเหนียวแน่น เช่นในสีทาบ้าน หรือ พลาสติก การบริโภคเข้าทางปากเกิดขึ้นในกรณีของอาหารและยา และการสัมผัสโดยการสัมผัสทางผิวหนังในการใช้เครื่องสำอางที่ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงใด ๆ
3) **สังกะสีในสิ่งแวดล้อม** ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสังกะสี และของธาตุที่จำเป็นทั้งหมด ไม่สามารถได้รับการประเมินในลักษณะเดียวกับสารประกอบทางเคมีที่มนุษย์สร้างขึ้น สังกะสีเกิดขึ้นตามธรรมชาติในดินตะกอนดินน้ำและอากาศจากที่ที่มันถูกนำขึ้นมาจากสิ่งมีชีวิตที่ช่วยในการทำงานในระบบเผาผลาญที่สำคัญ และปริมาณสังกะสีที่สูงในสิ่งแวดล้อมอาจเกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้นต่างๆ แหล่งกำเนิดนั้นมาจากน้ำทิ้งในเทศบาลและอุตสาหกรรม กิจกรรมการทำเหมืองแร่และธรณีวิทยาและแหล่งอื่นๆ (แหล่งที่มาโดยไม่ได้ตั้งใจที่ไม่ได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการผลิตสังกะสีหรือโรงงาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันนี้มีการนำเส้นใยนาโนที่ได้จากปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตไปใช้ในทางการชีวแพทย์มากขึ้น การผ้าปิดแผลก็อีกหนึ่งในตัวอย่างในด้านนี้ ซึ่งในปัจจุบันมีการนำมาบรรจุตัวยาปฏิชีวนะในเส้นใยเพื่อให้มีคุณสมบัติในการป้องกันและรักษาการติดเชื้อที่บาดแผลจากแบคทีเรีย แต่เนื่องจากยาปฏิชีวนะนั้นสามารถเสื่อมสภาพจากแสงได้ ซึ่งจากรายงานของ Barbara Ambrosetti และคณะที่ทำการศึกษาการสลายตัวของยาปฏิชีวนะในสารละลายของเหลวโดยใช้กระบวนการสลายตัวทางแสง: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้ซิงค์ออกไซด์ หรือ ไททาเนียมไดออกไซด์ ที่ศึกษาโดยทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายตัวด้วยแสงของซิงค์ออกไซด์ หรือไททาเนียมไดออกไซด์ในการสลายตัวของยาปฏิชีวนะได้แก่ Amoxicillin, Erythromycin, Streptomycin และ Ciprofloxacin ในสารละลายแมทริกซ์ (Aqueous matrices) ที่พบว่าซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการลดการสลายตัวของยาปฏิชีวภาพได้ดีกว่าไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับแถบพลังงานต้องห้าม (Band gap) ของทั้งสองสารที่ซิงค์ออกไซด์นั้นมีแถบพลังงานต้องห้ามที่สูงกว่าไททาเนียมไดออกไซด์ แต่ขณะเดียวกันประสิทธิภาพของซิงค์ออกไซด์และไททาเนียมก็ขึ้นอยู่กับค่าpHในสารละลายที่ใช้ด้วย [2] และสอดคล้องกับรายงานของ Masaru Kobayashi และ William Kalries ที่ศึกษาปฏิกิริยาสลายตัวด้วยแสงของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ ที่ทั้งสองสารเป็นสารอนินทรีย์ที่ใช้เป็นสารป้องกันแดดที่รู้จักกันดี จึงทำให้โรงงานนิยมใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ในการเคลือบสารอนินทรีย์ เช่น อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum Oxide: Al_2O_3) และเซอร์โคเนียมออกไซด์ (Zirconium Dioxide: ZrO_2) เพื่อลดปฏิกิริยาทางแสงในวัสดุ โดยเฉพาะเกรดละอียดที่จะเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสมากกว่า ในการทดลองนั้นพบว่าไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์นั้นเมื่อเคลือบบนสารอนินทรีย์สารลดปฏิกิริยาได้แต่ซิงค์ออกไซด์นั้นไม่ค่อยความเสถียรเท่าไร [14] นั้นหมายความว่ามีความเป็นไปได้ว่าที่ไททาเนียมไดออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ น่าจะมีผลกับโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโนซึ่งคณะผู้วิจัยได้ใช้อิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดในการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

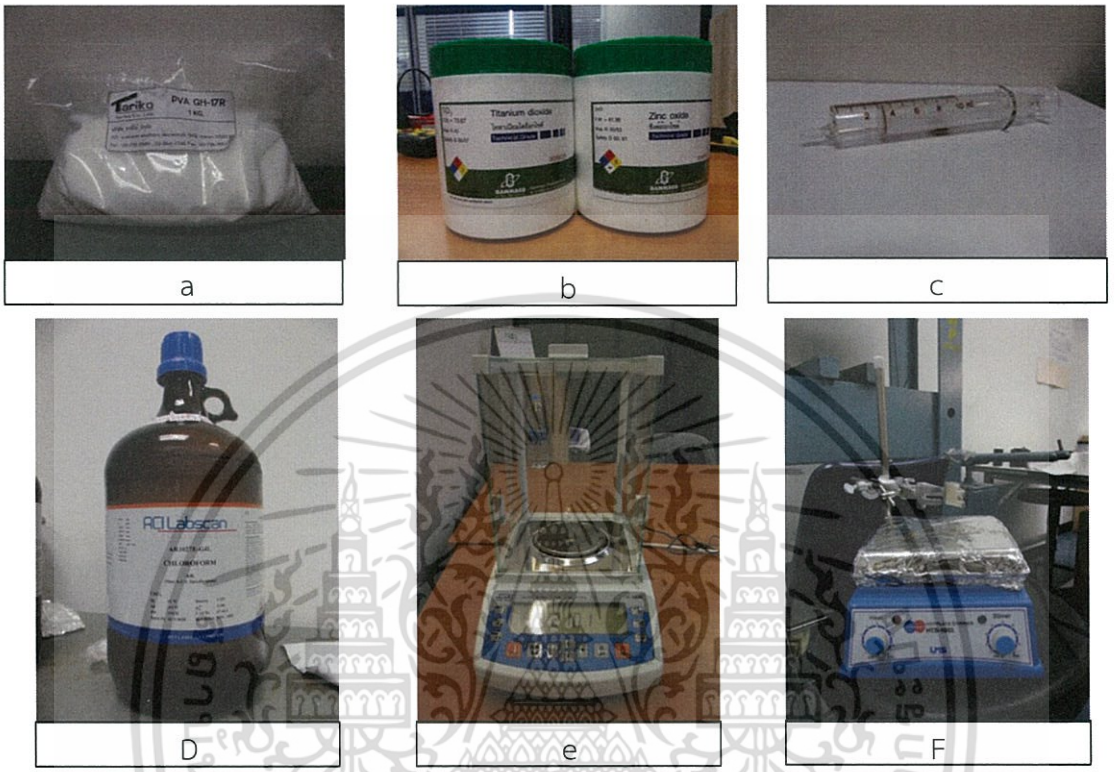
เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ต่างมีประสิทธิภาพเป็นยาปฏิชีวนะและอีกทั้งลดการย่อยสลายด้วยแสงในยาปฏิชีวนะจึงทำให้คณะผู้วิจัยสนใจในการนำไททาเนียมไดออกไซด์มาเปรียบเทียบกับซิงค์ออกไซด์ในทางโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงเมื่อผสมในแผ่นเส้นใยนาโนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล-พอลิแลคติคแอซิตที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยวิธีการดำเนินการเกิดอิมัลชัน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย

- พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ รุ่น GH-17R ของบริษัททาริโก้จำกัด
- พอลิแลคติค แอซิด ไม่ระบุรุ่น จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- น้ำปราศจากประจุ (Deionized Water) จากภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์
- คลอโรฟอร์ม (Chloroform) เกรด Analytical ยี่ห้อ ACI Labscan
- ไททาเนียมไดออกไซด์ เกรด Technical ของบริษัทแกมมาโก
- ซิงค์ออกไซด์ เกรด Technical ของบริษัทแกมมาโก
- Span 80 ปริมาตร 1 กิโลกรัม ของบริษัทพิษณุโลกเคมีคอล
- Tween 80 ปริมาตร 1 กิโลกรัม ของบริษัท ทาริโก้ จำกัด
- อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต
- บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 200 มิลลิลิตร
- แท่งแก้วคนสาร (Stirring Rod)
- ช้อนตักสารเคมี (Spatula)
- กระบอกฉีดยา (Disposable Syringe) ขนาด 10 มิลลิลิตร ชนิดไม่มีเข็มของบริษัทนิปโป
- กระบอกฉีดยาแก้ว (Glass Syringe) ขนาด 10 มิลลิลิตร ชนิดไม่มีเข็มของบริษัทไมร่า
- เข็มฉีดยา (Hypodermic Needle) ขนาด 0.7 x 40 และ ขนาด 1.2 x 40 มิลลิเมตร ของบริษัทนิปโป
- แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Stirrer) ขนาด 1 นิ้ว
- เครื่องชั่งสารเคมี (Analytical Balance) รุ่น AS220. R2 ของบริษัท RADWAG
- เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hotplate Magnetic Stirrer) รุ่น HTS-1003 ของบริษัท LMS
- เครื่องจ่ายไฟโวลท์สูงและสายไฟ (High Voltage power Supply and Wire)
- แรงดันไฟสูง 0 - 25 กิโลโวลท์ กระแสไฟ 0 - 5 มิลลิแอมแปร์ ผลิตในเยอรมันนี
- เครื่องควบคุมอัตราการไหล (Syringe Pump) ใช้ได้กับขนาดกระบอกฉีดสูงสุด 60 มิลลิลิตร ใช้ไฟ 220 - 240 โวลท์ 50/60 เฮิร์ต ผลิตในอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แผ่นฟิล์มกันรอยมือถือ ผลิตในประเทศจีน
- อะลูมิเนียมฟอยล์ รุ่นหนาพิเศษ ยี่ห้อสตาร์
- ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร ของบริษัท Handelsgesetzbuch



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย a พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ b ไททาเนียมไดออกไซด์และซิงออกไซด์ c กระบอกฉีดยาแก้ว d คลอโรฟอร์ม e เครื่องชั่งสารเคมี และ f เครื่องแกว่งสารพร้อมให้ความร้อน

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานและเตรียมการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

ในการเตรียมอิมัลชั่นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดเนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นจะละลายได้ดีในน้ำ ส่วนพอลิแลคติคแอซิดจะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว คือ คลอโรฟอร์ม ซึ่งสารละลายทั้งสองชนิดนี้จะไม่ละลายซึ่งกันและกัน และมีการแยกตัวอย่างชัดเจน จึงต้องมีเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ที่ใช้คือ Span 80 และ Tween 80 เพื่อให้สารละลายทั้งสองเกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil-in-Water Emulsion) ที่มีอัตราส่วนระหว่างวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำที่ 2:8 ที่ HLB (Hydrophile-lipophile balance) 14 โดยวัฏภาคของน้ำนั้นจะมีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายอยู่ ส่วนวัฏภาคน้ำมันนั้นจะเป็นพอลิแลคติคแอซิดละลายในคลอโรฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

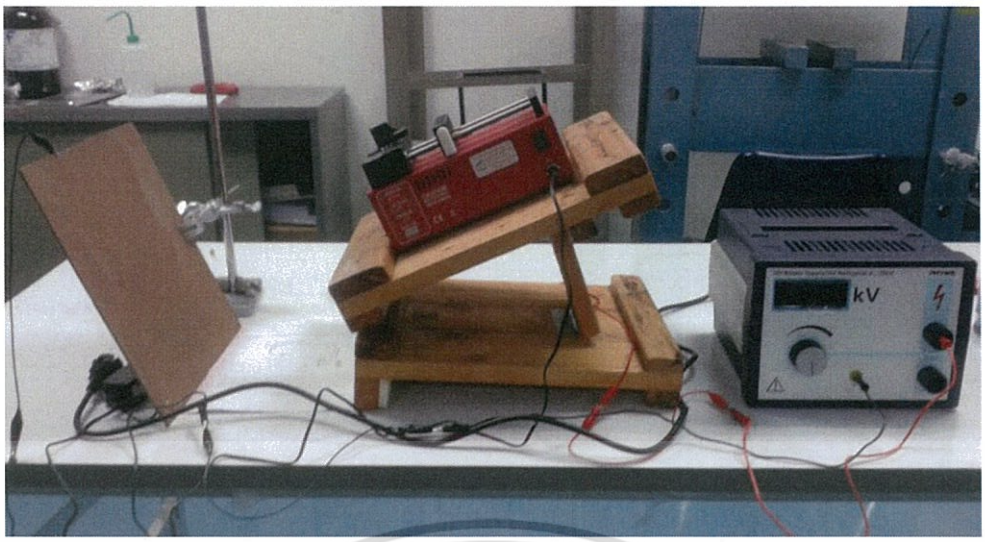
รูปที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์การหยดสารละลายพอลิแลคติคแอซิดลงไปในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อให้เกิดเป็นอิมัลชัน

ในการเตรียมวัฏภาคของน้ำนั้นจะนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาละลายกับน้ำ โดยให้ความร้อนและแกว่งเบาๆเป็นเวลา 2 ชั่วโมง รออุณหภูมิลดและเติม Tween 80 และ Span 80 ในส่วนเตรียมวัฏภาคน้ำมันจะนำพอลิแลคติคแอซิดมาละลายในคลอโรฟอร์มและแกว่งเบาๆเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำวัฏภาคน้ำที่ได้ผสมกับวัฏภาคน้ำมัน โดยนำวัฏภาคน้ำมันใส่กระบอกฉีดยาและต่อเข้ากับเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่กำหนด 1 มิลลิลิตร/ชั่วโมงไปที่วัฏภาคน้ำซึ่งจะติดตั้งอุปรณ์ดังรูปที่ 3.1 โดยประกอบไปด้วยเครื่องควบคุมอัตราการไหลที่ใส่กระบอกเข็มฉีดยาที่บรรจุวัฏภาคนั้น และเครื่องกวนสารให้ความร้อนที่มีปีกเกอร์วัฏภาคน้ำตั้งอยู่ และแกว่งเบาๆจนหมด จากนั้นแกว่งจาก 30 นาที จนวัฏภาคทั้งน้ำและน้ำมันละลายเข้ากันได้ดี โดยผู้จัยจะหาอัตราส่วนความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่เหมาะสมในการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต จากนั้นเมื่อได้ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจะมีการใส่ไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ (ไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์จะแขวนลอยในน้ำ) ลงในขั้นตอนการเตรียมสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และจึงนำเข้าสู่กระบวนการการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

3.2.2 ขั้นตอนการนำอิมัลชันที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ในการนำอิมัลชั่นขึ้นรูปเป็นเส้นใยด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วยเครื่องจ่ายไฟโวลท์สูงและสายไฟ เครื่องควบคุมอัตราการไหล และแผ่นรองรับที่มีแผ่นฟอยล์วางทับ โดยจะติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ในตอนแรกนั้นเราจะนำอิมัลชั่นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่มีไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ผสมอยู่ใส่ในกระบอกฉีดยาที่ประกอบกับเข็มฉีดยาแล้ว ต่อเข้ากับเครื่องควบคุมอัตราการไหลโดยให้ระยะห่างระหว่างเข็มกับแผ่นรองรับมีระยะห่างตามที่กำหนด จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าบวกและกราวน์ที่มาจากเครื่องจ่ายไฟโวลท์สูงไปยังปลายเข็มและแผ่นรองรับตามลำดับ และจ่ายศักย์ไฟฟ้าให้กับปลายเข็มและแผ่นรองรับตามที่กำหนดให้กับระบบ และใช้เวลาในการปั่นเส้นใย 1 ชั่วโมงและ 30 นาที จากนั้นจึงนำแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตไปเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบทางโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงและนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การตรวจสอบทางโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตชนิดอิมัลชัน

3.3.1 การศึกษาทางสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใย

เพื่อศึกษาทางสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใยอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ เช่น ลักษณะการเรียงตัวและการกระจายของเส้นใย ขนาดของเส้นใย และการเกิดลูกปัดในเส้นใยเป็นต้น โดยใช้กล้องโทรทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

3.3.2 การศึกษาหมู่ฟังชันก์ของแผ่นเส้นใย

ในการตรวจสอบความแตกต่างโครงสร้างระหว่างแผ่นเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดกับแผ่นเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ และสารที่ปนเปื้อนในแผ่นเส้นใย ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy)

3.3.3 การศึกษาสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของแผ่นเส้นใย

เพื่อศึกษาสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของแผ่นเส้นใยนาโนพอลิแลคติคแอซิดที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ โดยจะศึกษาความมีขั้วและไม่มีขั้วโดยอาศัยหลักการความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของวัสดุ โดยใช้เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle Meter)

3.3.4 การศึกษาสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใย

เพื่อศึกษาสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ โดยจะศึกษาการทะลุผ่าน การดูดกลืน และสะท้อนของรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกับแผ่นเส้นใย โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV/VIS Spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลจากการวิจัยเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ พบว่าในการผลิตเส้นใยนาโนที่ได้จากอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้น ได้มีการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์และการสร้างเนื้ออิมัลชันที่ได้จากพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการนำไปผลิตเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้า และจากนั้นได้นำมาผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์และหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยให้ดีขึ้นในการลดการสลายของยาปฏิชีวนะและการเสื่อมสภาพของเส้ใยเนื่องจากแสงแดด ซึ่งได้ผลวิจัยดังนี้

4.1 ผลการวิจัยประสิทธิภาพของอิมัลซิไฟเออร์เมื่อผสมกับพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์ โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแแอลกอฮอล์

ผลการวิจัยประสิทธิภาพของอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้เป็นตัวประสานให้สารละลายพอลิแลคติคแอซิดที่เป็นสารละลายที่ไม่มีขั้วละลายกับสารละลายพอลิไวนิลแอกอฮอล์ที่เป็นขั้ว โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิดได้แก่ Tween 80 เป็นสารลดความตึงผิว และ Span 80 เป็นสารลดความตึงผิวร่วม มาเติมในสารละลายที่ระดับความเข้มข้น 6% v/v ที่กำหนดค่า HLB 14 คืออิมัลชันชนิดวัฏภาคน้ำมันในวัฏภาคน้ำ และสัดส่วนวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำคือ 2:8 ความเข้มข้นของสารละลายพอลิแลคติคแอซิดคือ 15% w/v และเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 5 % 7% และ 10% w/v จากนั้นเมื่อนำผสมกันโดยหยดสารละลายพอลิแลคติคแอซิดที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ลงในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกับ Tween80 และ Span80 จากนั้นแกว่งต่ออีก 30 นาที เพื่อให้สารละลายพอแลคติดแอซิดที่เหลือละลายเข้ากับพอลิไวนิลแอกอฮอล์จนหมด แล้วนำมาสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสาร ทุก 10 นาทีเป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง เพื่อตรวจสอบระดับการแยกชั้นครีมและการตกตะกอนของอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ เป็นผลมาจากความไม่คงตัวของอิมัลซิไฟเออร์ โดยอัตราการแยกชั้นครีมและการตกตะกอนเป็นผลมาจากแรงโน้มถ่วงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นที่แตกต่างกันของสองวัฏภาค โดยถ้ามีส่วนใสลอยตัวอยู่ด้านบนความหนาแน่นของวัฏภาคการแพร่กระจายนั้นต่ำกว่าตัวกลางนั้นคือการแยกชั้นครีม ส่วนการตกตะกอนนั้นมาจากการที่ความหนาแน่นของวัฏภาคการแพร่กระจายนั้นสูงกว่าตัวกลาง[15]

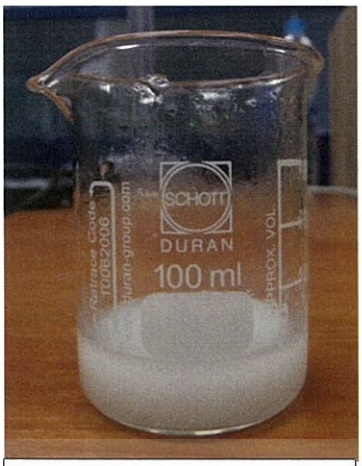
จากการสังเกตอิมัลชันของพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกออล์ที่มีระดับความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์ 6% v/v จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีผลต่อดังนี้ ที่ระดับความเข้มข้น 5% w/v อิมัลชันที่ได้เป็นครีมเนียนสีขาวมีตะกอนเกิดขึ้นน้อยมาก ที่ระดับความเข้มข้น 7% w/v อิมัลชันที่ได้เป็นครีมเนียนสีขาวและข้นมากขึ้น มีตะกอนและหยดของพอลิแลคติค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

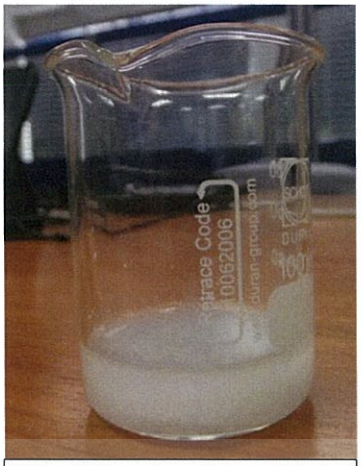
แอซิดที่ก้นบีกเกอร์เล็กน้อย และที่ระดับความเข้มข้น 10% w/v อิมัลชันที่ได้เป็นเนื้อเจลขุ่นใสมีตะกอนสีขาวกระจายตัวอยู่ทั่วโดยเฉพาะที่ก้นบีกเกอร์ และเมื่อสังเกตการแยกชั้นครีมโดยสังเกตจากความสูงส่วนใส พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาทีที่ระดับความเข้มข้น 5% w/v จะมีความสูงส่วนใสมากกว่าความเข้มข้นที่ 7% และ 10% w/v ตามลำดับ ส่วนการตกตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาทีที่ระดับความเข้มข้น 10% จะมีตะกอนมากกว่า 7% และ 5% w/v ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.1 จากผลการวิจัยนี้ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือ ที่ระดับความเข้มข้น 7% w/v เพราะมีการแยกชั้นครีมและการตกตะกอนที่น้อย เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นที่ 5% และ 10% w/v

รูปที่ 4.1 แสดงภาพของอิมัลชันที่ได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆได้แก่ 5% 7% และ 10% w/v ที่ผสมกับพอลิแลคติคแอซิด 15% w/v ตามลำดับ โดยภาพที่ a และ c คือที่สังเกต ณ เวลา 0 นาที และภาพที่ b และ d คือที่สังเกตเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



e อิมัลชันที่ PVA 10%



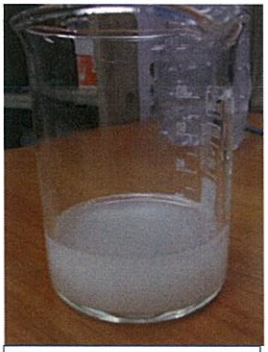
f อิมัลชันที่ PVA 10%

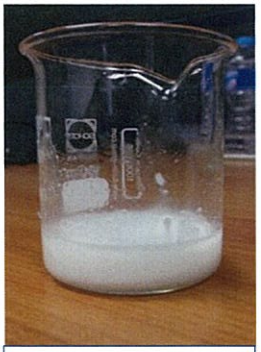
รูปที่ 4.1(ต่อ) แสดงภาพของอิมัลชันที่ได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆได้แก่ 5% 7% และ 10% w/v ที่ผสมกับพอลิแลคติคแอซิด 15% w/v ตามลำดับ โดยภาพที่ e คือที่สังเกต ณ เวลา 0 นาที และภาพที่และ f คือที่สังเกตเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที

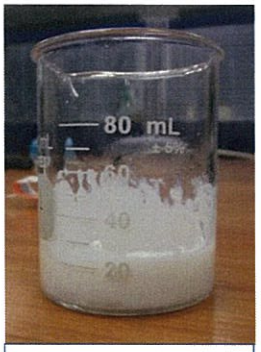
4.2 ผลการวิจัยเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำของอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เมื่อทำการวิจัยจนได้ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมแล้ว คือที่ระดับความเข้มข้น 7% w/v อีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คืออัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อความคงตัวและเนื้อสารของอิมัลชันที่เหมาะสมกับการปั่นเส้นใย โดยได้มีความการกำหนดอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำคือ 1:9 2:8 และ 3:7 ตามลำดับ ซึ่งได้ลักษณะที่ปรากฏดังรูปที่ 4.2 ที่อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำที่ 1:9 อิมัลชันที่ได้เป็นเนื้อเจลขุ่นใสมีการแยกชั้นครีมและเกิดตะกอนเล็กน้อย ที่อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำที่ 2:8 อิมัลชันที่ได้เป็นเนื้อครีมสีขาวและข้นมีการแยกชั้นครีมและเกิดตะกอนเล็กน้อย และที่อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำที่ 3:7 อิมัลชันที่ได้เป็นเนื้อครีมสีขาวข้นเหนียวจนแท่งแม่เหล็กคนสารไม่สามารถแกว่งต่อไปได้ จึงทำให้หยดของพอลิแลคติคแอซิดลอยอยู่ด้านบนของอิมัลชัน อิมัลชันที่ได้จากการผสมเชิงกลระหว่างวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำด้วยอิมัลซิไฟเออร์นั้น ลักษณะภายนอกของอิมัลชันที่ปรากฏที่อาจมีลักษณะโปร่งใสจนถึงขาวแบบน้ำนม ขึ้นอยู่กับขนาดของหยดวัฏภาคภายใน ยิ่งถ้ามีขนาดใหญ่อิมัลชันที่ได้จะยิ่งมีขาวแบบน้ำนม [16]จากผลการวิจัยนี้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำที่เหมาะสมนั้นของอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์ คือ อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำ คือ 2:8

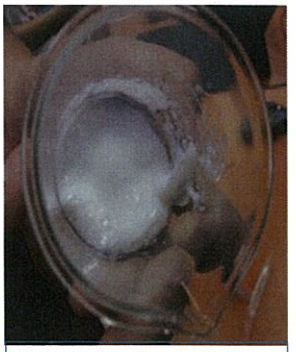
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


a ที่อัตราส่วน 1:9


b ที่อัตราส่วน 2:8



c ที่อัตราส่วน 3:7


d ที่อัตราส่วน 3:7

รูปที่ 4.2 แสดงภาพของอิมัลชันที่ได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 7% w/v ที่ผสมกับพอลิแลคติคแอซิด 15% w/v ที่อัตราส่วนดังภาพ a, b และ c ส่วนภาพ d แสดงลักษณะเนื้อสารที่ปรากฏ

4.3 ผลการวิจัยการปรับปรุงในแผ่นรองรับเส้นใยนาโนเพื่อสะดวกในตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโน

ในการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตลงบนแผ่นรองรับที่เป็นอะลูมิเนียมฟอยล์ที่นิยมใช้เป็นแผ่นรองรับเส้นใย เนื่องจากนำไฟฟ้าได้ดีจึงมีสนามไฟฟ้ามากพอที่จะเอาชนะแรงตึงผิวที่ของไหลและเกิดเส้นใยนาโนในปริมาณมาก แต่ข้อเสียคือเกิดรอยยับและเสียรูปได้ง่าย จึงยากแก่การตรวจสอบทางโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโน ไม่ว่าจะเป็นการตรวจด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่แผ่นรองรับไม่มีความสม่ำเสมอของพื้นผิวทำให้ค่ามุมสัมผัสที่วัดได้และการสังเกตโครงสร้างเส้นใยมีความคลาดเคลื่อนได้ รวมถึงการใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงและร้อยละการทะลุผ่านของแสงที่แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์แสงไม่สามารถส่องผ่านจึงทำให้ไม่การเป็นแผ่นรองรับเส้นใยที่ต้องนำไปตรวจสอบคุณสมบัติเชิงแสง จึงทำให้เกิดการวิจัยที่จะปรับปรุงแผ่นรองรับมีสมบัติที่ดีขึ้น โดยให้แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นฐาน โดยตัวเลือกที่น่าสนใจคือแผ่นควอทซ์และแผ่นพลาสติก เพราะมีความโปร่งใสแสงหรือแสงผ่านได้หมด โดยเฉพาะแผ่นควอทซ์ที่ดูดกลืนแสงในย่านยูวีน้อย แต่เนื่องด้วยราคาที่สูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงเลือกใช้แผ่นพลาสติกที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย โดยทดลองบนและแผ่นฟิล์มกันรอยมือถือ เมื่อทดลองปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตลงบนแผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสารที่ติดบนแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียมพบว่าเส้นใยจะถูกปั่นให้ตกลงบนแผ่นดังภาพ a, b และ c ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3 พบว่าเส้นใยที่ไปบนแผ่นแผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสารจะมีปริมาณที่บริเวณขอบของแผ่นเนื่องจากอยู่ใกล้กับแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม และจะมีปริมาณลดลงบริเวณตรงกลางแผ่นและเมื่อแผ่นมีขนาดใหญ่ขึ้นเพราะเนื่องจากห่างจากแผ่นรองรับที่นำไฟฟ้าอย่างแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียมดังภาพที่ a รูปที่ 4.3 ที่บริเวณตรงกลางแผ่นจะมีปริมาณเส้นใยที่น้อยกว่าการจัดแผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสารแบบภาพที่ b และ c ในรูปที่ 4.3 และเมื่อเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเส้นใยที่ตกบนลักษณะการวางแบบภาพ b พบว่ามีปริมาณเส้นใยมากที่บริเวณตรงกลางและทางขวามือ แต่เมื่อเทียบกับการจัดวางแบบภาพ c นั้นจะกระจายตัวและปริมาณของเส้นใยที่มากกว่า และเมื่อให้แสงตกกระทบบนแผ่นและสังเกต พบว่าเส้นใยที่ตกบนแผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสารจะเส้นใยที่เป็นระเบียบเป็นเส้นมากขึ้น

a สี่เหลี่ยมผืนผ้า | b ตัดเป็นเส้นวางแนวยาว | c ตัดเป็นเส้นวางแนวขวาง

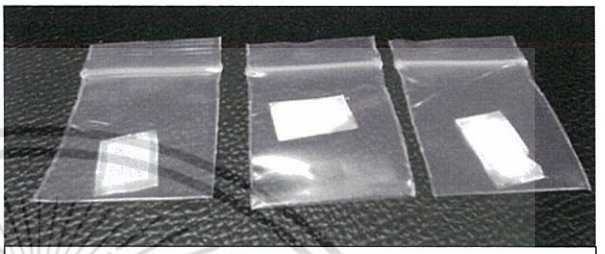
รูปที่ 4.3 แสดงภาพของแผ่นรองรับอะลูมิเนียมฟอยล์ที่มีการปรับปรุงโดยการติดแผ่นพลาสติกที่ถ่ายเอกสารและวางในลักษณะต่างๆดังภาพที่ a, b และ c

การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตลงบนแผ่นพลาสติกกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่พบว่าเส้นใยที่ตกมีปริมาณมากทั่วทั้งแผ่นสม่ำเสมอหรือยอมให้ประจุไฟฟ้าผ่านและติดบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ได้เลย โดยไม่ต้องใช้เทปกาวใสช่วยเหมือนแผ่นพลาสติกในถ่ายเอกสาร แต่เมื่อนำไปตรวจสอบการดูดกลืนแสงและร้อยละการทะลุผ่านของแสง พบว่า จากรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของแผ่นรองรับสามชนิด คือ แผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่ แผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสาร และแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งจะเห็นว่าแผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสาร เพราะมีลักษณะโปร่งใสเหมือนกัน ซึ่งจะไม่มีการดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นย่านอินฟราเรดกับย่านที่ตามองเห็น แต่แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์มีค่าการดูดกลืนแสงสูงทุกย่านเพราะมีลักษณะทึบแสง และในรูปที่ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบค่าร้อยละการทะลุผ่านของแสงที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆของแผ่นรองรับทั้งสามชนิด จะเห็นว่าร้อยละการทะลุผ่านของแสงของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์มีค่าน้อยมาก ในขณะที่ค่าร้อยละการทะลุผ่านของแผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่และแผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสารมีค่าใกล้เคียงกันโดยจะมีการทะลุผ่านของได้ดีเกือบร้อยละ 90 ในความยาวคลื่นย่านอินฟราเรดกับย่านที่ตามองเห็น จากการตรวจวัดการดูดกลืนแสงและร้อยละการทะลุผ่านจะพบว่าแผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสารและแผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่จะพบว่ามีการดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นย่านรังสี UV สูง และไม่มีการทะลุผ่านความยาวคลื่นในย่าน UV ทั้งคู่จึงทำให้ไม่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงและร้อยละการทะลุผ่านแผ่นพลาสติกได้ แต่เนื่องด้วยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่ประจุไฟฟ้าทะลุผ่านได้และดิดกับแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ดี คณะผู้วิจัยจึงเลือกแผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่ และนำมาตัดเป็นโครงเพื่อให้ได้เส้นใยที่ยึดเกาะดังรูปที่ 4.4 ภาพ a เมื่อปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตลงไปแล้วตามโครงแล้วลอกแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ออก จึงทำให้เหลือแค่แผ่นเส้นใยนาโนที่ติดตรงโครงเท่านั้นจะจึงทำให้นำไปตรวจสอบผ่านเครื่องวัดการดูดกลืนแสงได้

a ตัดเป็นโครงสี่เหลี่ยม



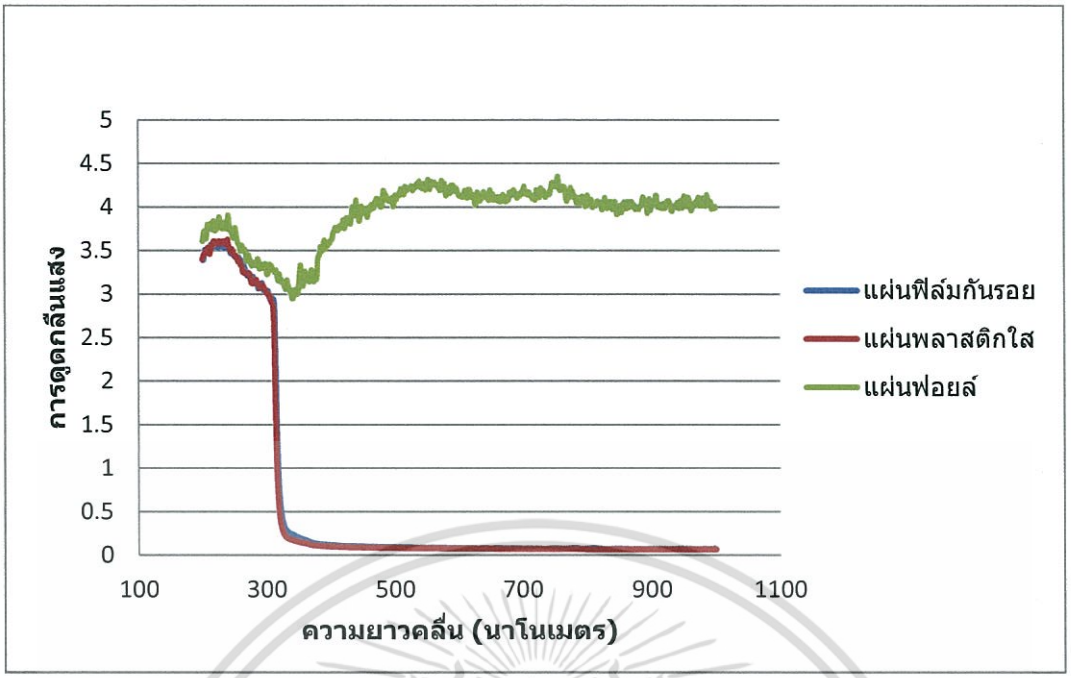
b โครงสี่เหลี่ยมที่ลอกอะลูมิเนียมฟอยล์ออก

รูปที่ 4.4 แสดงภาพโครงสี่เหลี่ยมพลาสติกจากแผ่นพลาสติกกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่ ภาพ a คือตัดแผ่นพลาสติกเป็นโครงแปะบนอะลูมิเนียมฟอยล์ และ ภาพ b คือโครงสี่เหลี่ยมพลาสติกที่ได้

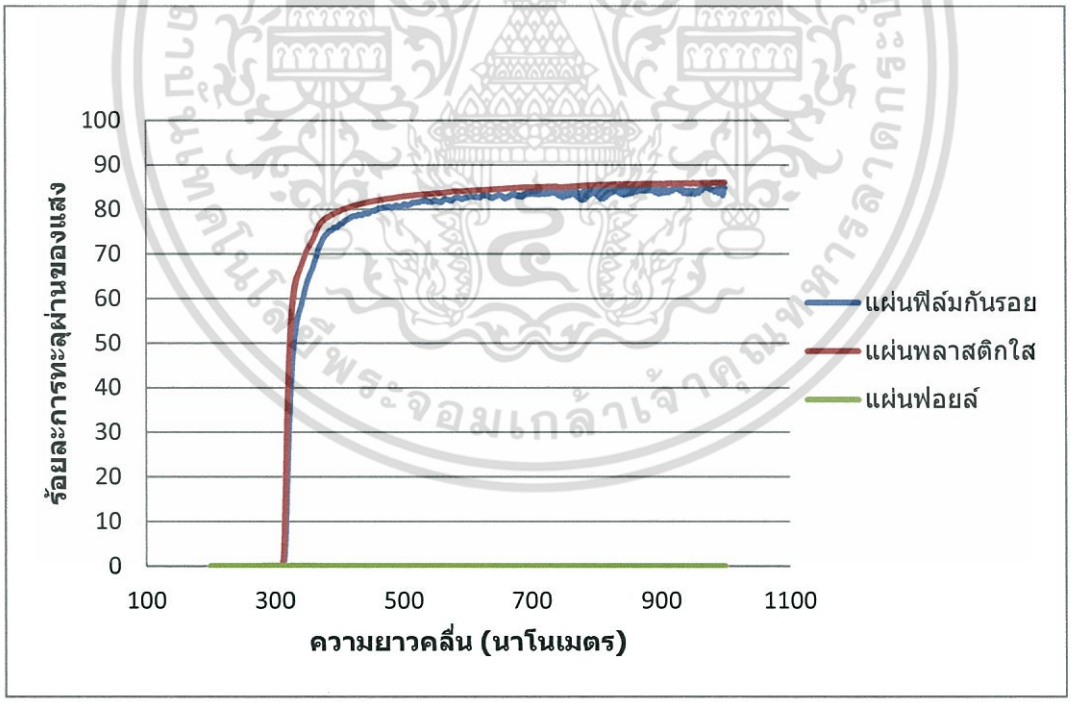
ต่อมาคณะผู้วิจัยได้ทดลองนำอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปั่นเส้นใยลงบนแผ่นฟิล์มกันรอยที่ตัดเป็นเส้นแปะติดตามแนวขวางเพื่อให้ง่ายการตรวจด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเป็นโครงเพื่อให้เหมาะแก่ตรวจด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ พบว่ามีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตติดได้ดีดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 แสดงภาพทดสอบการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนภาพพลาสติกกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยจัดวางพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวของคลื่นแผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่ แผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสารและแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นแผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่ แผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสารและแผ่นอะลูเนียมฟอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

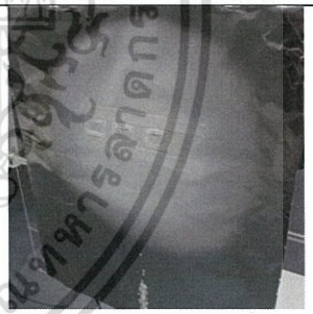
4.4 ผลการวิจัยผลของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่เมื่อผสมในอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์

ในการวิจัยผลของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ เมื่อเปลี่ยนระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1%, 1.5% และ 2% ที่มีผลต่อแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้ ในการทำอิมัลชันได้ใช้ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอกอฮอล์ไว้ที่ระดับ 7% w/v และอัตราส่วนระหว่างวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำที่ 2:8 ที่ได้มาจากหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ ผสมกับพอลิแลคติคแอซิคที่ระดับความเข้มข้น 15% w/v โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ Tween 80 และ Span 80 6%v/v ที่ HLB 14 และนำไปเข้ากระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตที่มีการกำหนดพารามิเตอร์คือ ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ความยาวของหัวเข็มฉีดยาสองเซนติเมตร ระยะเวลาในการปั่นเส้นใย 1 ชั่วโมงและ 30 นาที ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเป็น 20 เซนติเมตร และอัตราการไหลเป็นหนึ่งมิลลิลิตรต่อชั่วโมง จากการวิจัยนี้พบว่าไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ต่างมีผลต่อลักษะณะเนื้อสารและเส้นใยที่สปินได้ โดยระดับความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1%, 1.5% และ 2% w/w ตามลำดับ ที่ได้มีลักษณะเนื้อสารสีขาว ทึบแสงและเกิดตะกอนที่ก้นและรวมตัวกันที่แท่งแม่เหล็กคนสารมากขึ้น แต่ความหนืดของสารจะลดลง จึงมีผลทำให้แผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตมีปริมาณลดลง ส่วนระดับความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1%, 1.5% และ 2% w/w ตามลำดับมีผลทำให้อิมัลชันพอลิแลคติดแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีลักษณะเนื้อสารสีขาว แต่ไม่ทึบเท่าไททาเนียมไดออกไซด์ ตะกอนที่เกิดขึ้นน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับไททาเนียมไดออกซ์เพราะซิงค์ออกไซด์จะกระจายตัวในสารที่เป็นคอลลอยด์ได้ดี (อิมัลชันเป็นคอยลอยด์ชนิดหนึ่ง) แต่ตะกอนจะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น และความหนืดของสารละลายลดลงเมื่อความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้แผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.8

จากตะกอนที่เกิดขึ้นในสารละลายและไม่ได้มีการกำจัดตะกอนด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารเคมีประเภทโพลีอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นสารโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ใช้ในกระบวนการรวมตัวของตะกอน โดยทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาค หรือจับตัวให้เกิดเป็นก้อนขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่าย [16] จึงมีผลให้เมื่อดูดสารละลายขึ้นมาจึงมีตะกอนอุดตันที่หัวเข็ม เมื่อใช้ขนาด 0.7 x 40 มิลลิเมตร จึงทำให้ผู้จัยได้เปลี่ยนมาใช้หัวเข็มขนาด 1.2 x 40 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าจึงสามารถแก้ปัญหาตรงนี้ได้

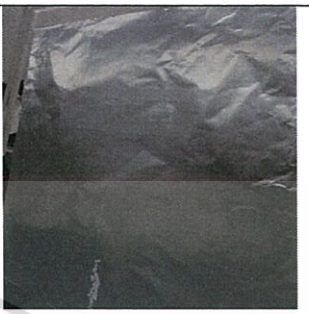
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงภาพของอิมัลชัลพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่ 5, 7 และ 10% w/w และภาพแผ่นเส้นใยที่ได้

ชนิดของแผ่นเส้นใย	ลักษณะเนื้อสาร	เส้นใยที่ได้
ไม่ได้ผสมไททาเนียมได-ออกไซด์และซิงค์อออกไซด์		
ไททาเนียมไดออกไซด์ 1% w/w		
ซิงค์ออกไซด์ 1% w/w		
ไททาเนียมไดออกไซด์ 1.5% w/w		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1(ต่อ) ตารางแสดงภาพของอิมัลชัลพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่ 5, 7 และ 10% w/w และภาพแผ่นเส้นใยที่ได้

ชนิดของแผ่นเส้นใย	ลักษณะเนื้อสาร	เส้นใยที่ได้
ซิงค์ออกไซด์ 1.5% w/w		
ไททาเนียมไดออกไซด์ 2% w/w		
ซิงค์ออกไซด์ 2% w/w		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a แผ่นเส้นใยอิมัลชันที่มีความเข้มข้นไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 1, 1.5 และ 2% w/w ตามลำดับ

b แผ่นเส้นใยอิมัลชันที่มีความเข้มข้นซิงค์ออกไซด์ที่ 1, 1.5 และ 2% w/w ตามลำดับ

รูปที่ 4.8 แผ่นเส้นใยอิมัลชันที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าโดยภาพ a เป็นแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์ และภาพ b เป็นแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ผสมกับซิงค์-ออกไซด์

จากรูปที่ 4.8 เมื่อนำแผ่นเส้ยใยนาโนอิมัลชันแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์ที่ผสมไททา-เนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์เมื่อนำมาวางเปรียบเทียบกัน จะพบว่าปริมาณเส้นใยที่ตกลงบนแผ่นรองรับจะปริมาณลดลงตามระดับความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะระดับความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ 2% w/w ที่มีปริมาณเส้นใยน้อยมาก ซึ่งเป็นผลมาจากแรงของไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความหนืดของสารที่ลดลงความหนืดของสารละลายที่ต้องการในการการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เพราะถ้ามีความหนืดต่ำมากเกินไปก็จะไม่สามารถแรงไฟฟ้าก็จะไม่สามารถดึงและขึ้นรูปเส้นใยได้ สารละลายพอลิเมอร์เมื่อระดับความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นความหนืดของสารละลายที่ใช้ในการการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจะลดลง เมื่อมีความหนืดต่ำมากจะไม่สามารถขึ้นรูปเส้นใยได้ และที่ความหนืดสูงมากจะก่อให้เกิดความยากลำบากในการฉีดสารละลายพอลิเมอร์ เช่น สารอิมัลชันที่ค่าHLBต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการวิจัยที่ได้จากใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์

เมื่อนำแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิแลคติคแอซิด และอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์ที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตไปตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีคุณวาสินี ธรรมสถิตเป็นผู้แลและตรวจวัดให้ พบว่าแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นของสารละลาย 7% w/v เส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กมากและมีการซ้อนทับกันไปมาดังภาพ a รูปที่ 4.9 แผ่นเส้นใยนาโนพอลิแลคติคแอซิดที่มีความเข้มข้นของสารละลาย 15% w/v เส้นใยที่ได้ส่วนมากมีขนาดใหญ่และมีขนาดเล็กซ้อนทับไปมา ลักษณะเส้นใยมีรูพรุนเล็กๆตลอดทั้งเส้นคล้ายฟองน้ำดังภาพ b รูปที่ 4.9 ซึ่งเกิดจากการระเหยตัวที่รวดเร็วของคลอโรฟอร์มที่ใช้เป็นตัวทำละลาย และแผ่นเส้นใยอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์เส้นใยที่ได้มีลักษณะการซ้อนทับของเส้นใยที่มีการซ้อนทับเป็นเนื้อเดียวกันดังภาพ c รูปที่ 4.9 ซึ่งน่าจะมาการที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับใกล้เกินไปจึงทำให้เส้นใยที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตนั้นแห้งไม่ทันและเกิดการทับถมเป็นเนื้อเดียวกัน

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากสารละลายต่างๆ

ในการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1%, 1.5% และ 2% w/w ตามลำดับ พบว่าปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของไททาเนียมไดออกไซด์มีผลของสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใยดังนี้ ที่ระดับความเข้มข้นที่ 1% w/w ภาพ a รูปที่ 4.10 แผ่นเส้นใยอิมัลชันที่ได้มีเส้นใยที่ซ้อนทับเป็นเนื้อเดียวกันไม่แตกต่างกับที่ไม่ได้ผสมเท่าไร และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นมาเป็น 1.5% w/w ภาพ b รูปที่ 4.10 แผ่นเส้นใยอิมัลชันที่ได้มีการซ้อนทับเป็นเนื้อเดียวกันน้อยลงและมีความเป็นเส้นใยมากขึ้นแต่เกิดลูกปัดขึ้นเล็กน้อยซึ่งเกี่ยวเนื่องมาจากความหนืดของสารละลายที่ลดลง และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นมาเป็น 2% w/w ภาพ c รูปที่ 4.10 แผ่นเส้นใยอิมัลชันที่ได้มีขนาดและปริมาณเส้นใยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยลง และไม่มีการซ้อนทับเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ก็เกิดลูกปัดในเส้นใยเพิ่มมากกว่า 1% และ 1.5% w/w ตามลำดับ ที่เป็นผลมาจากความหนืดที่ลดลงมากที่สุด

a ที่ 1% | b ที่ 1.5% | c ที่ 2%

รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ระดับต่างๆ

ส่วนการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกับซิงค์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1%, 1.5% และ 2% w/w ตามลำดับ พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ 1% w/w ภาพ a รูปที่ 4.11 พบว่าแผ่นเส้นใยอิมัลชันที่ได้บางส่วนซ้อนทับเป็นเนื้อเดียวกัน และมีบางส่วนที่เห็นเส้นใยซ้อนทับกันไปมา และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นมาเป็น 1.5 % w/w ภาพ b รูปที่ 4.11 แผ่นเส้นใยอิมัลชันที่ได้ขนาดเส้นใยที่เล็กลง เกิดลูกปัดบนเส้นใยกระจายทั่วทั้งแผ่น ที่เป็นผลมาจากความหนืดของสารละลายที่ลดลง รวมถึงมีปริมาณเส้นใยที่น้อยลง และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นมาเป็น 2% w/w ภาพ c รูปที่ 4.11 แผ่นเส้นใยอิมัลชันทีได้มีขนาดเส้นใยที่น้อยลงมาก และเกิดลูกปัดในเส้นใยที่กระจายไปทั่วแผ่นอิมัลชัน ที่เป็นผลมาจากความหนืดที่ลดลงมากที่สุด

a ที่ 1% | b ที่ 1.5 % | c ที่ 2%

รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการวิจัยที่ได้จากการใช้เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดเพื่อศึกษาหมู่ฟังชันก์ของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์

ในการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าสารที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน คลอรีน (Cl) ไททาเนียม และซิงค์ เทียบกับผลที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดที่จะพบหมู่ฟังก์ชันของ Alumino Silicates และ Inorganic Nitrates ซึ่งจะมีอะลูมิเนียม (Al) ซิลิกอน (Si) และไนโตรเจน (N) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ควรพบในการตรวจวัด คณะผู้วิจัยจึงคาดว่าน่าจะมีการปนเปื้อนเกิดขึ้นแม้จะมีการระมัดระวังความสะอาดในการทดลองแล้วก็ตาม จากการสันนิษฐานซิลิกอนที่พบอาจมาจากการปนเปื้อนในระหว่างการทดลองเนื่องจากสารละลายได้ถูกเตรียมในระบบเปิด และมีทดลองที่ใช้ผงซิลิกอนเป็นองค์ประกอบอยู่บริเวณที่คณะผู้วิจัยทำทดลอง ส่วนอะลูมิเนียมน่าจะเกิดจากการปนเปื้อนในระหว่างการเตรียมสารละลายพอลิแลคติคแอซิด ที่ใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลายและใช้แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นฝาปิดเพื่อป้องกันฝุ่นละอองและสารอื่นตกลงมาปนเปื้อนกับสารละลายพอลิแลคติคแอซิดที่เตรียม และคลอโรฟอร์มเป็นสารระเหยจึงนำปฏิกิยาและกัดกร่อนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ และไนโตรเจนที่พบสันนิษฐานว่าจะมาจาก Bronidox ($C_4H_6BrNO_4$) คือสารกันเสียที่นิยมใส่ในสารที่ชะล้างได้ ซึ่งอาจมาจากน้ำยาล้างจานที่คณะผู้วิจัยนำมาแช่และความสะอาดอุปกรณ์ที่เป็นปิเปตที่ใช้ตวง Span 80 และ Tween 80 ในการเตรียมอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

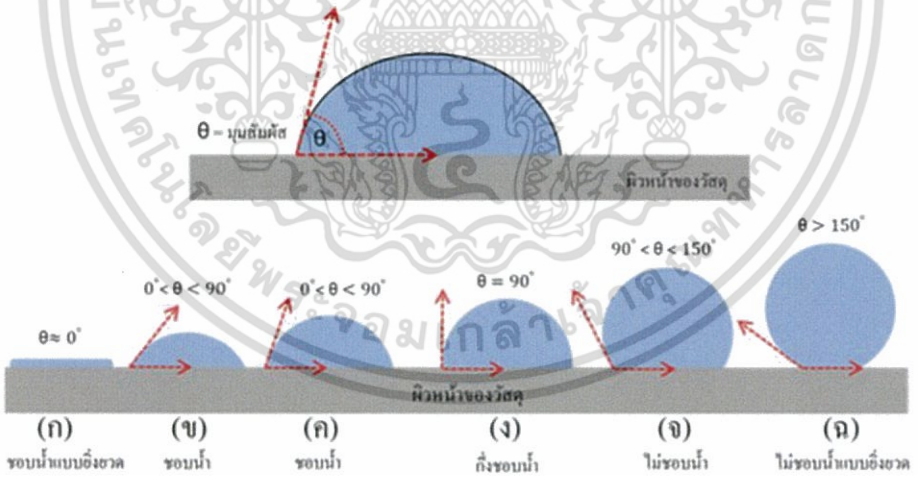
ตารางที่ 4.2 แสดงสูตรโมเลกุลของหมู่ฟังก์ชันที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดเทียบกับสูตรโมเลกุลที่ใช้ในการทดลอง

	ชื่อของหมู่ฟังก์ชัน/สาร	สูตรโมเลกุล
ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด	Kaolin Clays /Alumino Silicates	$(OH)_4Al_2Si_2O_5$
	Aliphatic Aldehydes	R-CHO
	Aliphatic Hydrocarbons	C_nH_{2n+2} , C_nH2_n , C_nH_{2n-2}
	Primary Aliphatic Alcohols	$R\text{-}CH_3O$
	Secondary Aliphatic Alcohols	$R\text{-}CH_2O\text{-}R$
	Inorganic Nitrates	NO_3
สารที่ใช้ในการทดลอง	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	$[CH_2CH(OH)]_n$
	พอลิแลคติคแอซิด	$(C_3H_4O_2)n$
	คลอโรฟอร์ม	$CHCl_3$
	น้ำปลอดประจุ	H_2O
	Tween 80	$C_{24}H_{44}O_6$
	Span 80	$C_{64}H_{124}O_{26}$
	ไททาเนียมไดออกไซด์	TiO_2
	ซิงค์ออกไซด์	ZnO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ผลการวิจัยที่ได้จากการใช้เครื่องวัดมุมสัมผัสเพื่อศึกษาสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์

ในการตรวจวัดสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากทฤษฎีมุมสัมผัส มุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างระนาบของปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-ก๊าซกับระนาบของปฏิสัมพันธ์ของเหลว-ของแข็ง มุมสัมผัสนี้เป็นผลมาจากสมดุลระหว่างแรงแอดฮีชันกับแรงโคฮีชัน มุมสัมผัสนี้ก็จะบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นผิวเรียบของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว มุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90° โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก และ ของเหลวจะกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง มุมสัมผัสที่มากกว่า 90° โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และ ของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อย และจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง สำหรับกรณีถ้าของเหลวนั้นเป็นน้ำ พื้นผิวที่มีการกระจายตัวได้ดีจะถูกเรียกว่า Hydrophilic และพื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดีจะถูกเรียกว่า Hydrophobic พื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดีอย่างยิ่งยวด (Superhydrophobic) จะให้มุมสัมผัสที่มากกว่า 150° ทำให้มีหน้าสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งน้อยมากๆ[3] ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ลักษณะของหยดน้ำที่อยู่บนผิวหน้าของวัสดุโดยมีมุมสัมผัสค่าต่างๆ[17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงมุมสัมผัสเฉลี่ย (θ) ที่วัดได้เครื่องวัดมุมสัมผัสที่บ่งบอกสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของแผ่นเส้นใยนาโนแต่ละชนิดที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ชนิดของแผ่นเส้นใย	มุมสัมผัสเฉลี่ยทั้งซ้ายขวา (θ)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	69.9	72.3	71.0	71.1
พอลิแลคติดแอซิด	130.2	139.4	100.2	123.3
อิมัลชันที่ไม่ได้ผสม	43.7	46.3	50.9	47.0
ไททาเนียม 1%	54.4	51.5	51.9	52.6
ไททาเนียม 1.5%	44.7	44.4	54.6	47.9
ไททาเนียม 2%	56.5	55.8	58.4	56.9
ซิงค์ออกไซด์ 1%	55.3	54.6	47.3	52.4
ซิงค์ออกไซด์ 1.5%	73.0	78.0	67.8	73.0
ซิงค์ออกไซด์ 2%	72.0	66.5	74.8	71.1

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่ามุมสัมผัสที่หยดน้ำทำกับพื้นผิวแผ่นเส้นใยนาโน จะเห็นว่าแผ่นเส้นใยนาโนพอลิแลคติคแอซิดมีค่ามุมสัมผัส 123° หรือ อยู่ระหว่าง 90° ถึง 150° ซึ่งนั้นแสดงถึงความไม่ชอบน้ำ แผ่นเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่ามุมสัมผัส 71° หรือน้อยกว่า 90° แสดงถึงความชอบน้ำ แต่เมื่อนำแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีมุมสัมผัส 47° หรือน้อยกว่า 90° นั้นแสดงถึงความชอบน้ำ ส่วนแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมไททาเนียมไดออกไซด์หรือซิงค์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆก็แสดงสมบัติชอบน้ำ เพราะมีมุมองศาที่น้อยกว่า 90° ความชอบน้ำของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสนั้นเป็นสมบัติที่ได้มาจากวัฏภาคภายนอกของอิมัลชัน ซึ่งวัฏภาคภายนอกนั้นเป็นวัฏภาคน้ำที่เป็นสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่ละลายในน้ำหรือสารละลายที่มีขั้วได้ดีจึงมีสมบัติชอบน้ำสูง และคุณสมบัตินี้เหมาะสมแก่การนำไปผลิตเป็นวัสดุปิดแผล เนื่องจากเป็นคุณสมบติที่ดีในการรักษาความชุ่มชื้นของบาดแผลและมีความสามารถดูดซับสารคัดหลังได้ดี[18]

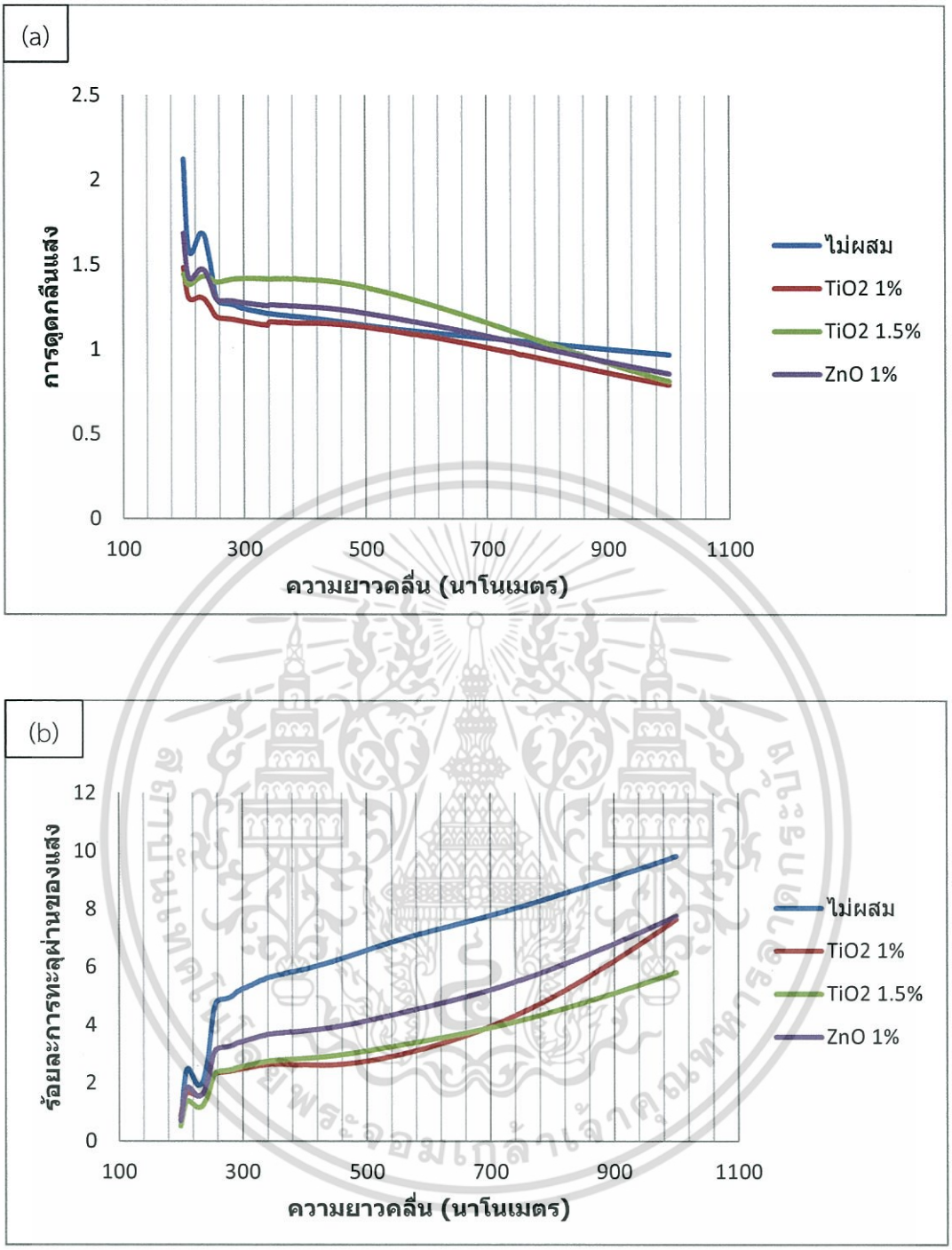
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลการวิจัยที่ได้จากการใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงและร้อยละการทะลุผ่านของแสงเพื่อศึกษาสมบัติเชิงแสงของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอกอฮอล์ที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์

จากการตรวจวัดสมบัติเชิงแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงและร้อยละการทะลุผ่านของแสงของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งได้กราฟดังรูปที่ 4.13 (a) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นในหน่วยนาโนเมตรของเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ไม่ได้ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์หรือซิงค์ออกไซด์เทียบกับเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ได้ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์หรือซิงค์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1%, 1.5% และ 2% w/w โดยคณะผู้วิจัยจะสนใจ [19] ความยาวคลื่นย่านรังสี UV-B และ UV-A ที่มีค่าความยาวคลื่นระหว่าง 280-320 และ 320-400 นาโนเมตร ตามลำดับ จะเห็นว่าในช่วงของรังสี UV-B และ UV-A นั้น ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 1% w/w มีค่าการดูดกลืนที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์หรือซิงค์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นอื่น และจากรูปที่ 4.13 (b) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นในหน่วยนาโนเมตรของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ไม่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์หรือซิงค์ออกไซด์เทียบกับแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์หรือซิงค์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นอื่น จะเห็นว่าในช่วงของ UV-B นั้น แผ่นเส้นใยอิมัลชันที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5% w/w มีร้อยละการทะลุผ่านของแสงต่ำสุด แต่ในช่วงของ UV-A นั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1% w/w มีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ผสมและไม่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์หรือซิงค์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นอื่น

การดูดกลืนพลังงานของรังสี UV จะกระตุ้นโฟตอน (Photon) ในพลาสติก การกระตุ้นโฟตอนสามารถสร้างอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุทำลายพันธะในพลาสติกได้[19] ดังนั้นยิ่งมีค่าการดูดกลืนต่ำก็จะมีค่าการสลายตัวจากรังสี UV น้อยลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้แผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ผสมไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 1% w/w ที่มีค่าการดูดกลืนที่ต่ำที่สุดและมีค่าทะลุผ่านที่เกือบต่ำที่สุดในความยาวคลื่นย่านรังสี UV-B และต่ำที่สุดในย่านรังสี UV-A จึงสันนิษฐานว่าร้อยละของรังสีที่เหลืออยู่น่าจะสะท้อนออกไปหมดตามคุณสมบัติของไททาเนียมไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 (a) กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น และ (b) กราฟแสดงร้อยละการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ไม่ผสมและผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัยที่ได้

จากการทดลองหาอัตราส่วนสารละลายที่เหมาะสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมกับไทเทเนียมไดออกไซด์หรือซิงค์ออกไซด์เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงแสงของเส้นใยนาโนที่ปั่นโดยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต โดยกำหนดอัตราส่วนของพอลิแลคติคแอซิดต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ศึกษาเป็น 1:9, 2:8 และ 3:7 ใช้ความเข้มข้นของสารละลายเป็น 5% 7% และ 10% w/v สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และใช้ความเข้มข้นของสารละลายเป็น 15% w/v สำหรับพอลิแลคติคแอซิด ที่อิมัลซิไฟเออร์ 6% ของปริมาตรทั้งหมดของสารละลาย ที่ HLB 14 และผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือ ซิงค์ออกไซด์ 1%, 1.5% และ 2% w/w ตามลำดับ เข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปเป็นเส้นใยนาโนโดยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ระยะเวลาในการปั่นเส้นใย 1 ชั่วโมงและ 30 นาที ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเป็น 20 เซนติเมตร และอัตราการไหลเป็นหนึ่งมิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยวิธีการตรวจสอบเส้นใยนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด เครื่องวัดมุมสัมผัสแสง เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงและ ร้อยละการทะลุผ่านของแสง

5.1.1 การศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิแลคติคแอซิดต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 1:9, 2:8 และ 3:7 ตามลำดับ

อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารละลายจะส่งผลให้เส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยกระบวนการไฟฟ้าสถิตมีขนาดเล็กและลดการเกิดเม็ดลูกปัดปะปนในเส้นใย จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน 2:8 ที่ระดับความเข้มข้น 7% w/v มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีความหนืดปานกลาง เกิดตะกอนและเกิดการแยกชั้นเล็กน้อย

5.1.2 การศึกษาหาแผ่นรองรับที่เหมาะสมกับการใช้งานโดยมี แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ แผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสาร และ แผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่

แผ่นรองรับที่เหมาะสมกับการใช้งานก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญจากการทดลองพบว่าแผ่นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์เคลื่อนที่ มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากสามารถนำไฟฟ้าได้ โปร่งใส มีกาวติดกับแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ง่าย และไม่เกิดรอยยับจึงสะดวกในการตรวจวัดทางเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การศึกษาหาปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือ ซิงค์ออกไซด์ที่ใส่ลงในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่เหมาะสม ที่ส่งผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางแสงในทางที่ดีขึ้น

แผ่นเส้นใยอิมัลชันที่ได้มีความชอบน้ำตามวัฏภาคภายนอกซึ่งเหมาะสมในการไปทำวัสดุปิดแผลแต่เกิดหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ต้องการที่เกิดขึ้นจากระบบเปิดในแลปและการสารตกค้างจากการล้างปิเปต คือ Alumino Silicates และ Inorganic Nitrates ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์หรือ ซิงค์ออกไซด์มีผลต่อโครงสร้างเส้นใยคือ ทำให้เส้นใยอิมัลชันที่ซ้อนทับเป็นเนื้อเดียวกันมีความเป็นเส้นใยมากขึ้น และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์ลดลง แต่ปริมาณเส้นใยที่ได้จะน้อยและเกิดลูกปัดมากขึ้น และส่งผลให้ได้แผ่นเส้นใยนาโนที่มีการปรับปรุงคุณบัติทางแสง จากการทดลองพบว่าเส้นใยนาโนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ 1% มีค่าการดูดกลืนแสงดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่น และเส้นใยนาโนที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5% มีค่าการทะลุผ่านของแสงดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการทำสารละลายอิมัลชันในช่วงหยดพอลิแลคติคแอซิดลงในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่ควรให้ความร้อนเกินจุดเดือดของตัวทำละลายพอลิแลคติคแอซิด เพราะจะทำให้เกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว และจะทำให้พอลิแลคติคแอซิดแห้ง
2) สารละลายที่ใช้ในการทำอิมัลชันควรทำใหม่ทุกครั้ง เพราะเมื่อทิ้งเอาไว้ความเข้มข้นของสารละลายจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะสารละลายพอลิแลคติคแอซิดที่ใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลาย เมื่อนำสารละลายมาใช้อีกครั้ง อิมัลชันจะเกิดการจับตัวเป็นก้อน
3) ควรเตรียมหัวเข็มฉีดยาเบอร์ใหญ่ไว้ สำหรับการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตที่มีการใช้อิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่มีการกำจัดตะกอนด้วยวิธีทางเคมี
4) พอลิเมอร์ที่ใช้ควรเป็นเกรด Laboratory หรือ Analytical ซึ่งจะมีค่าน้ำหนักโมเลกุลที่แน่นอน ทำให้ง่ายต่อการคำนวณค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 งานที่สนใจศึกษาต่อในอนาคต

1) **ปรับปรุงกระบวนการและพัฒนาคุณสมบัติพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือ ซิงค์ออกไซด์โดยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต** ในการลดเวลาและขั้นตอนการเตรียมสารและทำอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้เวลานานถึง 10-12 ชั่วโมง แต่ได้แผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่มีคุณสมบัติเท่าเดิมหรือดีขึ้นกว่าเดิม
2) **พัฒนาคุณสมบัติไม่ชอบน้ำของแผ่นเส้นใยพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตโดยผ่านกระบวนการอาบพลาสมาของแก๊ส SF_6** แผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้มีความชอบน้ำซึ่งเหมาะแก่การไปทำวัสดุปิดแผล แต่เนื่องจากคณะผู้วิจัยต้องการให้แผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันที่ได้สามารถนำไปใช้ได้หลากหลายมากขึ้นจึงสนใจพัฒนาคุณสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยการอาบพลาสมาของแก๊ส SF_6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1]วีรศรุต แก่นไร่. 2558. **"สังเคราะห์ PVA/ZnO นาโนไฟเบอร์ที่มีความเข้มข้นต่างกันด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปิน เพื่อนำมาใช้เป็นก๊าซเซ็นเซอร์."** ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[2]Barbara Ambrosetti. 2015. **"Comparing the Efficiency in the Use of ZnO or TiO_2."** Department of Chemistry, University of Rome, Italy.

[3]Zheng-Ming Huanga, Y.-Z. Zhang, M. Kotaki, S. Ramakrishn. 2003. **"A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites"** Department of Engineering Mechanics, Tongji University, PR China.

[4]S. Rafiei, S. Maghsoodloo, B. Noroozi, V. Mottaghitalab and A. K. HAGHI. 2012. **"Mathematical Modeling In Electrospinning Process Of Nanofibers: A Detailed Review"** Cellulose Chemistry and Technology, University of Guilan, Rasht, Iran.

[5]2015. **"Electrospinning Parameters:Voltage."**[Online]. Available : http://electrospintech.com/voltage.html#.WNT6zm_yjIW

[6]Srinath Muppalaneni and Hossein Omidian, **"Polyvinyl Alcohol in Medicine and Pharmacy: A Perspective."** College of Pharmacy, Nova Southeastern University, USA.

[7]อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล. 2554. **"พอลิแลกติกแอซิด:พอลิเอสเทอร์จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้."** ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน.

[8]Lin Xiao, Bo Wang, Guang Yang and Mario Gauthier. **"Poly(Lactic Acid)-Based Biomaterials:Synthesis, Modification and Applications."** College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, China.

[9]Tharwat F. Tadros. 2013. **"Emulsion Formation, Stability, and Rheology."** Wiley-VCH Verlag GmbH&Co.KGaA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10]Cefic sector group. **"Titanium Dioxide Stewardship Council."** European Chemical Industry Council, Belgium.

[11]ดร.นัดดา เวชชากุล. 2555. **"การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานาโนไทเทเนียมไดออกไซด์"** ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[12]Cefic sector group. **"Zinc Oxide."** European Chemical Industry Council, Belgium.

[13]Swati S. Kulkarni and Mahendra D. Shirsat. 2015. **"Optical and Structural Properties of Zinc Oxide Nanoparticles"** Intelligent Material Research Laboratory Department of Physics, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University Aurangabad, Aurangabad (MS) INDIA.

[14]Masaru Kobayashi and William Kalriess. 1997. **"Photocatalytic Activity of Titanium Dioxide and Zinc Oxide."** US Cosmetics Corp., Dayville, CT, USA.

[15]Mark Stewart Taylor. 2011 **"Stabilisation of water-in-oil emulsions to improve the emollient properties of Lipstick."** Chemical Engineering, University of Birmingham.

[16]George E. Totten, Steven R. Westbrook and Rajesh J. Shah. **"Fuels and Lubricants. Handbook:Technology, Properties, Performance, and Testing."** ASTM International, west conshohocken, U.S.A.

[17]ดร.ปิยะพงษ์ อะสะนิธิ. **"วิทยาศาสตร์ของธรรมชาติ: ใบบัวกับการทำความสะอาดตัวเอง."** ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[18]ธีรนุช อินทร์ทองน้อย. **"How to select approach wound Dressing."** หัวหน้าหอผู้ป่วยอุบัติเหตุไฟไหม้ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี.

[19]2015. **"Percent (%) Solutions Calculator."**[Online]. Available : http://www.physiologyweb.com/calculators/percent_solutions_calculator.html

[20]Jian Fang, Xungai Wang and Tong Lin. **"Functional Applications of Electrospun Nanofibers."** Centre for Material and Fiber Innovation, Deakin University, Australia.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[21]2015. **"ภาวะการเปียก."** [Online]. Available : https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%B0%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%81

[22]Cole-Parmer. 2017. **"UV Properties of Plastics: Transmission and Resistance."** [Online]. Available : https://www.coleparmer.com/tech-article/uv-properties-of-plastics

[23]N M Thoppey, J R Bochinski, L I Clarke and R E Gorg. **"Edge electrospinning for high throughput production of quality nanofibers."**[Online]. Available : https ://www.physics.ncsu.edu/clarke/papers/Nanotechnology%2022,%20345301%20(2011).pdf

[24]Thai Poly Chemicals Co.,Ltd. **"Polymer anion."** [Online]. Available : http://thaipolychemicals.weebly.com/polymer-anion.html

[25]นางสาวณัชนันท์ จันทเพชร. 2557. "การเตรียมเส้นใยของพอลิแล็กติก-โค-ไกลโคลิกแอซิดที่มีสารปฏิชีวนะโดยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต" ปิโตรเคมีและวิทยาศาสพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ ,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณร้อยละความเข้มข้นของสารละลาย

ร้อยละของสารละลายสามารถจำแนกได้ดังนี้ ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (wt/vol% หรือ w/v%) ร้อยละโดยมวล (wt/wt% หรือ w/w%) หรือ ร้อยละโดยปริมาตร (vol/vol% หรือ v/v%) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\frac{\text{weight}}{\text{volume}}\% = \frac{\text{weight of solute}}{\text{volume of solution}} \times 100$$

$$\frac{\text{weight}}{\text{weight}}\% = \frac{\text{weight of solute}}{\text{weight of solution}} \times 100$$

$$\frac{\text{volume}}{\text{volume}}\% = \frac{\text{volume of solute}}{\text{volume of solution}} \times 100$$

การผสมอิมัลซิไฟเออร์

การผสมอิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่า HLB ที่สูงและต่ำที่มักให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าใช้อิมัลซิไฟเออร์เพียงตัวเดียว โดยมีสูตรดังนี้

$$\%A = \frac{(x\text{-}HLB_B)}{HLB_A\text{-}HLB_B} \times 100$$

$$\%\,B = 100 - \%A$$

A และ B คือ อิมัลซิไฟเออร์ และ X คือ ค็อค่า HLB ที่เลือกใช้

ในการวิจัยนี้ได้กำหนดค่าของ HLB ของอิมัลชันพอลิแลคติคแอซิด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ท์ HLB 14 และใช้ Span 80 ที่มีค่า HLB = 4.3 และ Tween 80 ที่มีค่า HLB = 15 คำนวณได้ดังนี้

$$\%\text{Tween 80} = \frac{(14 - 4.3)}{15 - 4.3} \times 100 = 82.91\%$$

ใช้ร้อยละของ Tween 80 คือ 82.91

$$\%\text{Span 80} = 100 - 82.91 = 17.09\%$$

ใช้ร้อยละของ Span 80 คือ 17.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใยนาโนที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้

ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้เร่งความเร็วอิเล็กตรอน 5 กิโลโวลท์

กำลังขยายที่ใช้ คือ 20,000 10,000 5,000 และ 2,500 เท่า

เวลาที่ใช้ในการเคลือบทอง 180 วินาที (เนื่องจากแผ่นเส้นใยนาโนไม่นำไฟฟ้า)

คำนวณหาความหนาของทองโดยใช้

$$d = KIVT$$

d คือ ความหนาของทองในหน่วย อังสตรอม

K คือ ค่าคงที่ฐานที่กำหนดการทดลองบนโลหะที่ทำการสปัตเตอร์ริงและใช้แก๊ส ระยะทางจากเป้าไปยังตัวอย่าง 45 มิลลิลิตร (โดยประมาณ) สำหรับทองที่ใช้แก๊ซอาร์กอน K = 0.017 โดยประมาณ

I คือ กระแสจากการเกิดพลาสมาในหน่วยมิลลิแอมแปร์

V คือ ความต่างศักย์ที่จ่ายในหน่วยกิโลโวลท์

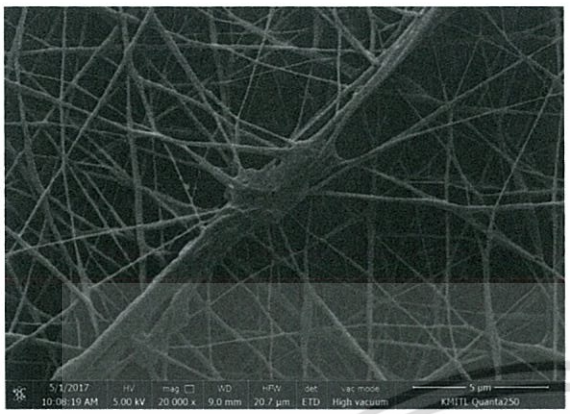
T คือ เวลาที่ใช้การสปัตเตอริงในหน่วยวินาที

ในการสปัตเตอร์ริงหรือเคลือบทองบนเส้นใยได้ใช้การเคลือบทองในแก๊สอาร์กอนโดยมีเป็นเวลา 180 วินาที โดยมีค่าค่ากระแสในการเกิดพลาสมา 18 มิลลิแอมแปร์

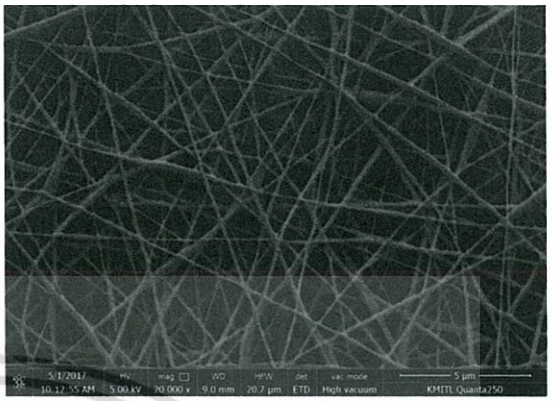
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

a 20000 เท่า



b 20000 เท่า



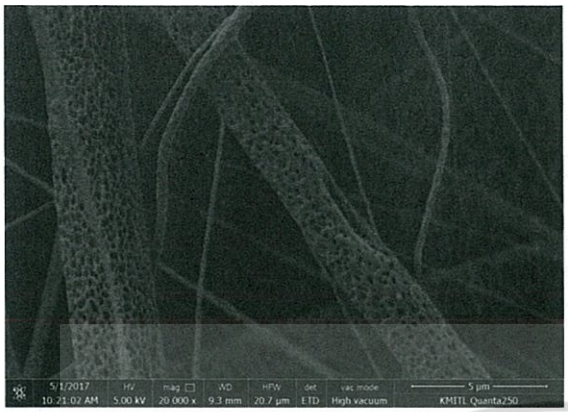
c 10000 เท่า

d 5000 เท่า

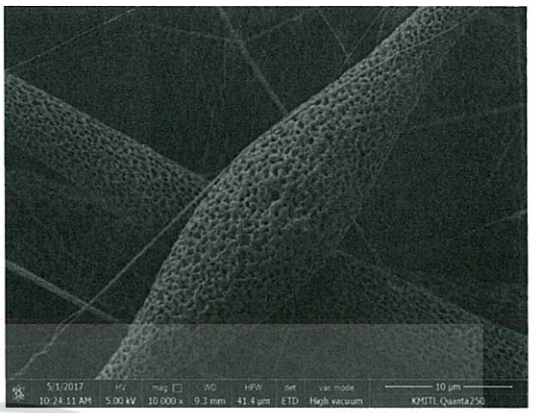
รูปที่ ข1 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a 20000 เท่า



b 20000 เท่า



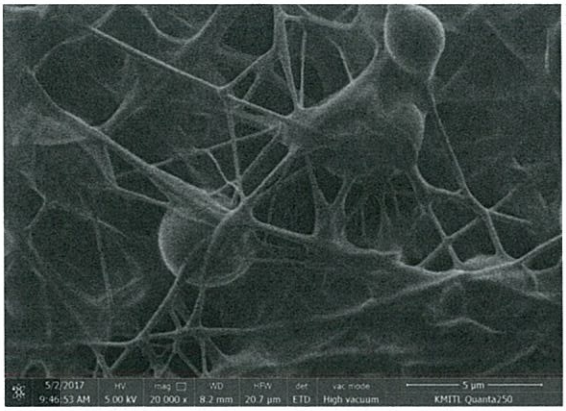
c 5000 เท่า

d 2500 เท่า

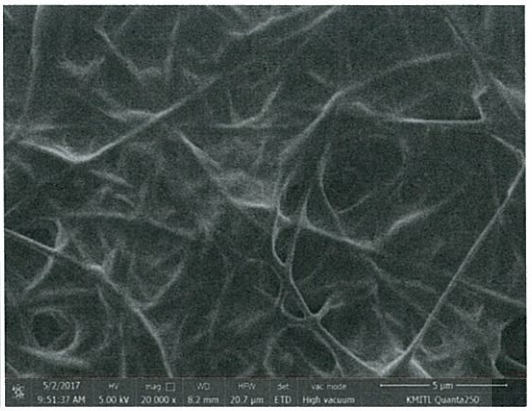
รูปที่ ข2 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนพอลิแลคติคแอซิดจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a 20000 เท่า



b 20000 เท่า



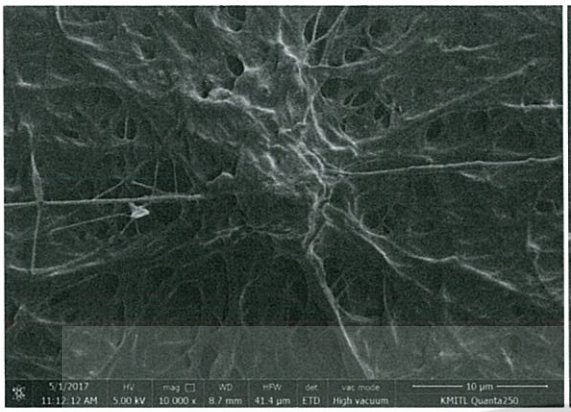
c 10000 เท่า

d 5000 เท่า

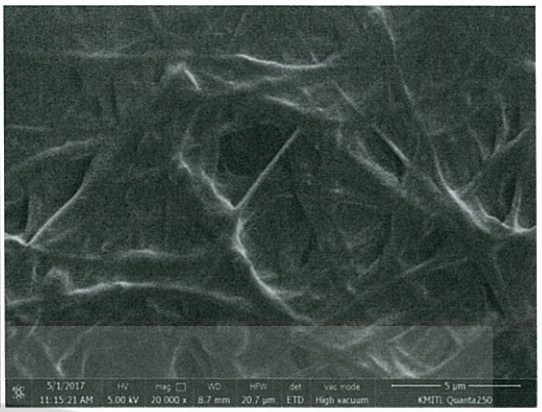
รูปที่ ข3 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a 20000 เท่า



b 20000 เท่า



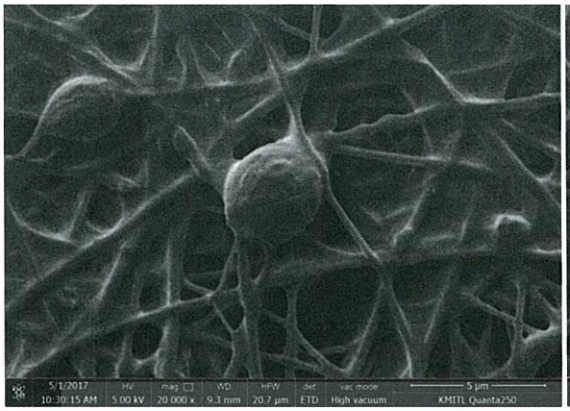
c 10000 เท่า

d 5000 เท่า

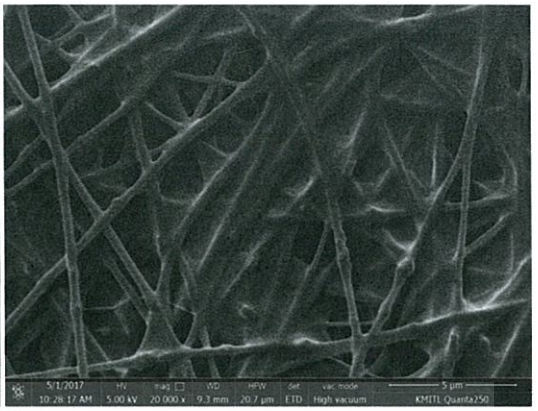
รูปที่ ข4 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลซันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

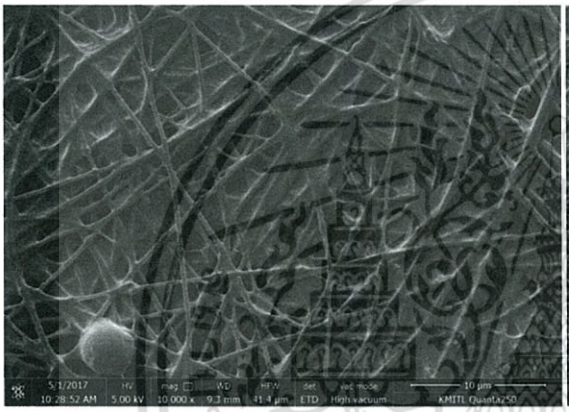
a 20000 เท่า



b 20000 เท่า



c 10000 เท่า

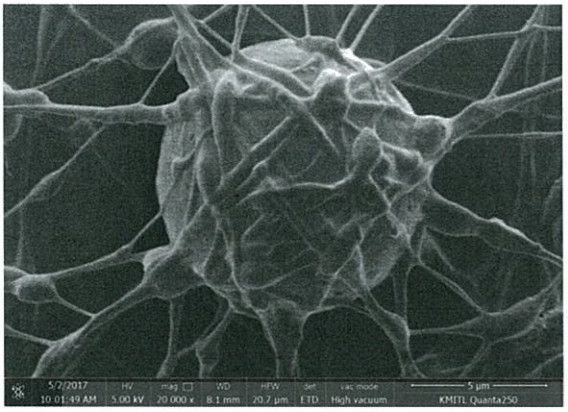


d 5000 เท่า

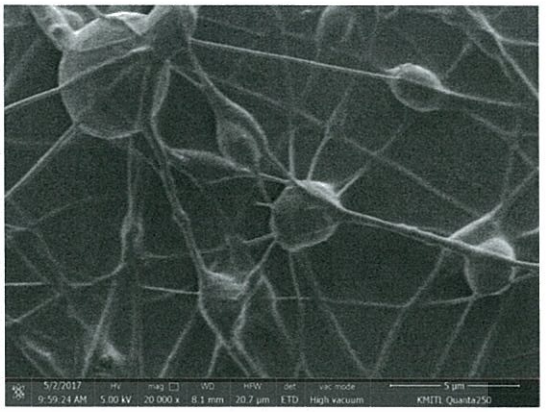
รูปที่ ข5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลซันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1.5% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

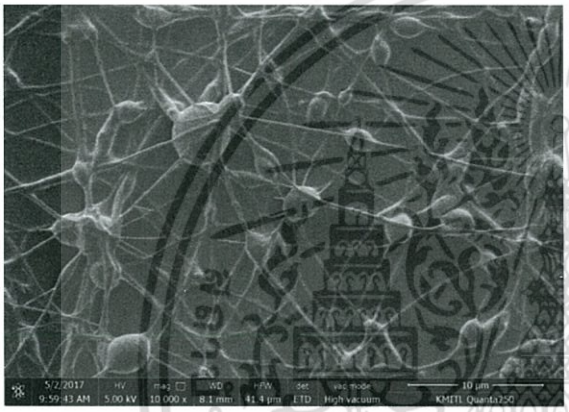
a 20000 เท่า



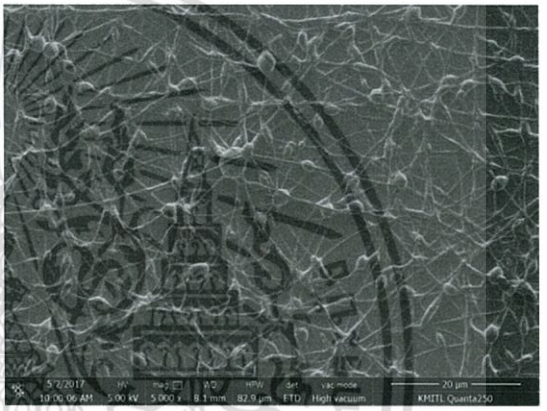
b 20000 เท่า



c 10000 เท่า



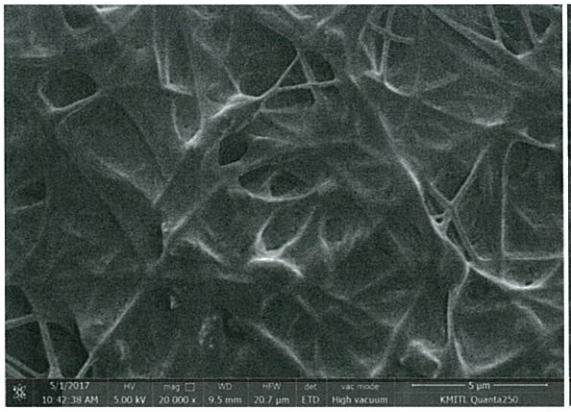
d 5000 เท่า



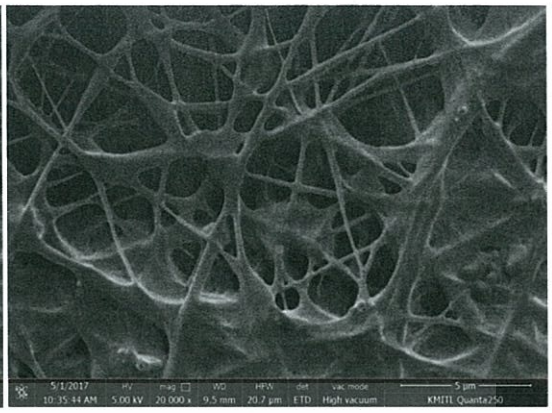
รูปที่ ข6 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 2% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

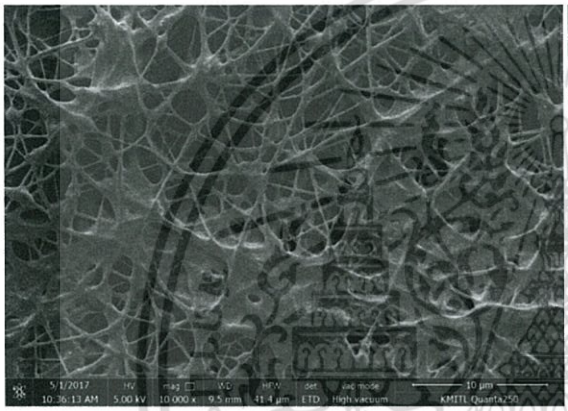
a 20000 เท่า



b 20000 เท่า



c 10000 เท่า

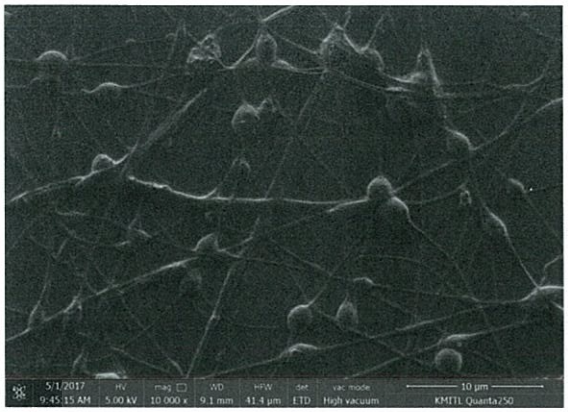


d 5000 เท่า

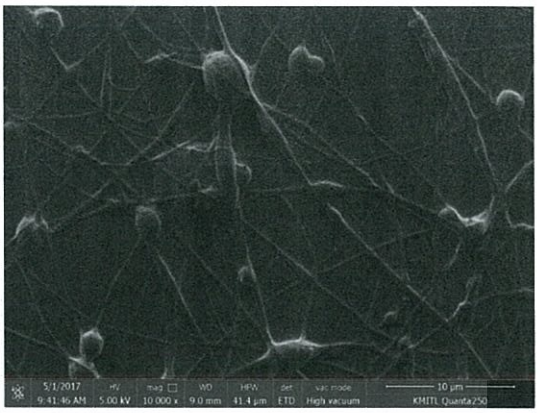
รูปที่ ข7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 1% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a 10000 เท่า



b 10000 เท่า



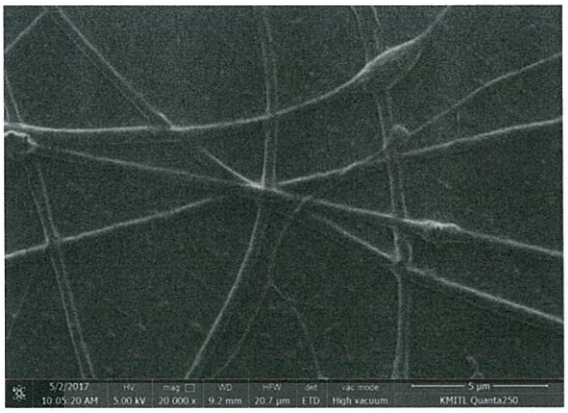
c 5000 เท่า

d 2500 เท่า

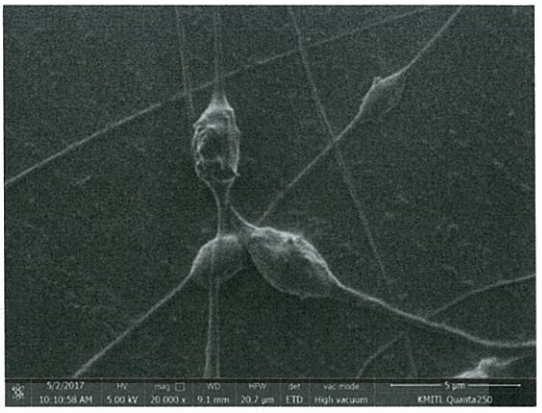
รูปที่ ข8 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 1.5% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a 20000 เท่า



b 20000 เทา



c 10000 เท่า

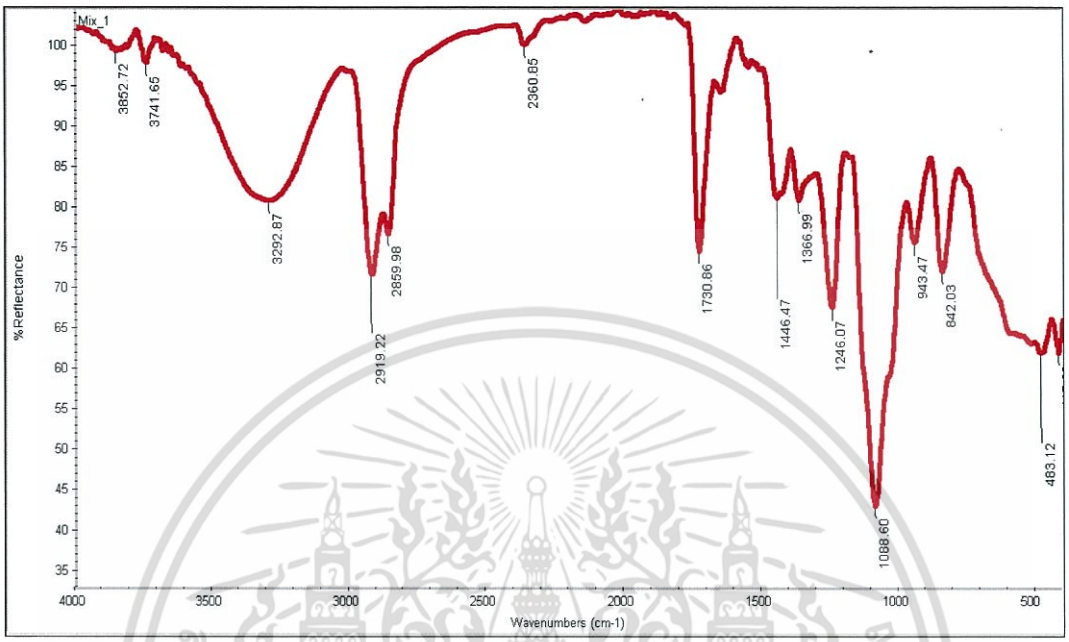
d 5000 เท่า

รูปที่ ข9 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 2% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

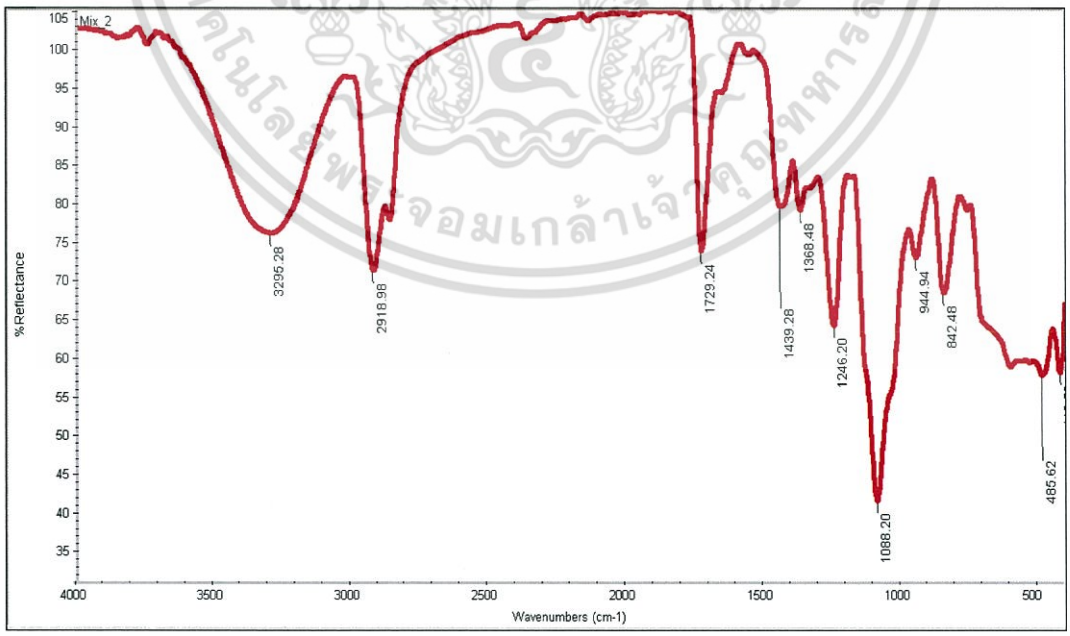
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการวัดที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด

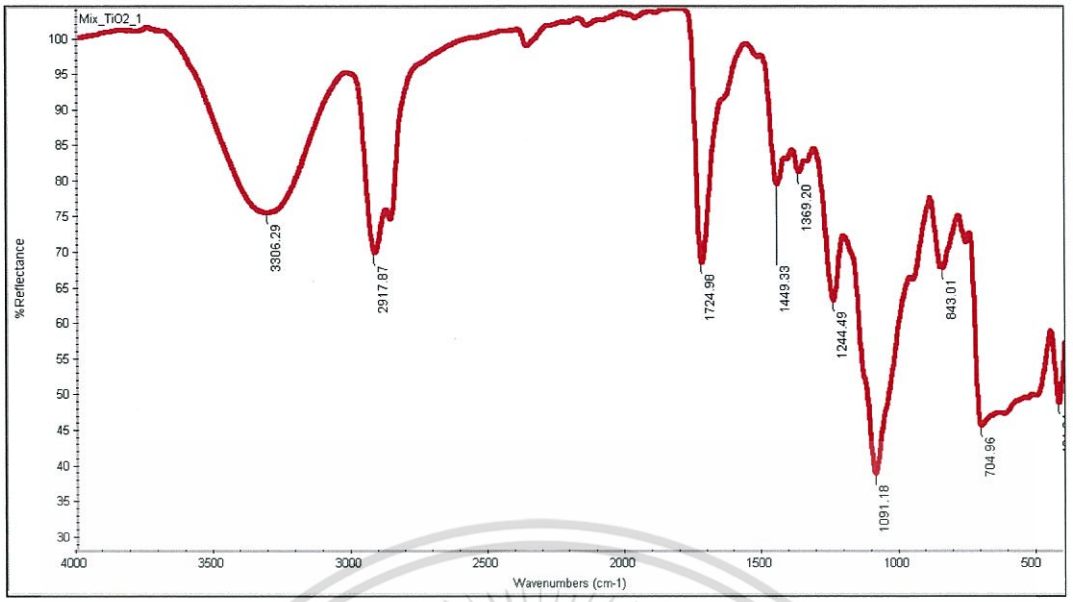


รูปที่ ค1 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 1

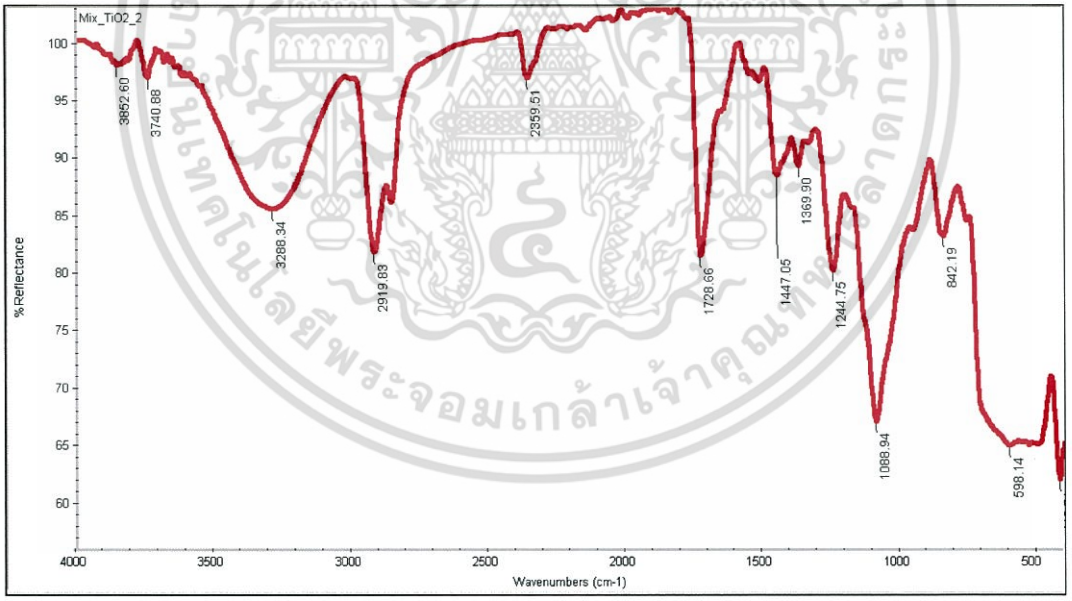


รูปที่ ค2 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

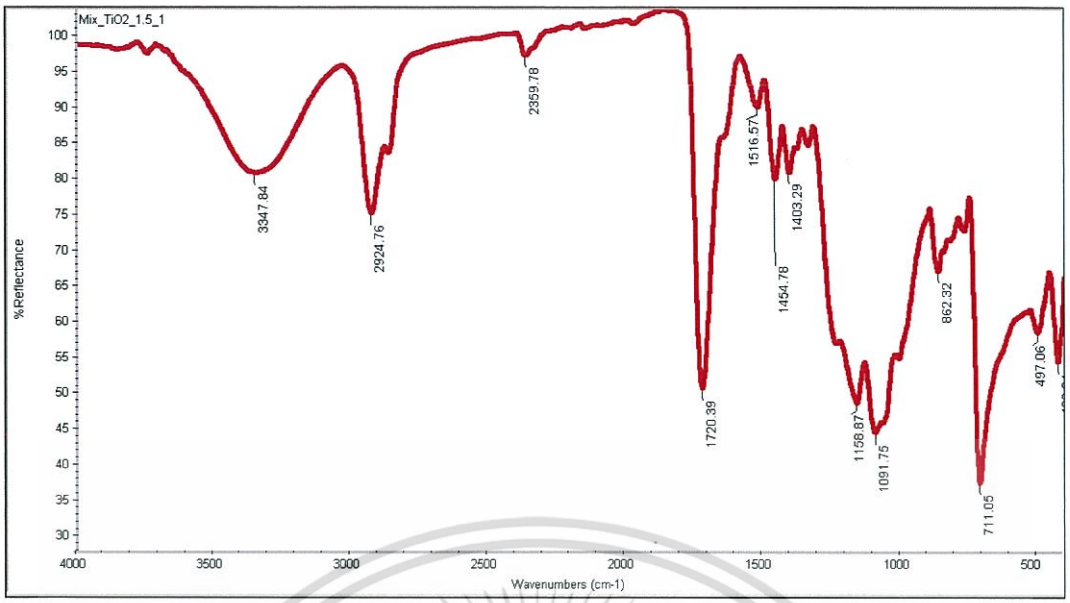


รูปที่ ค3 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 1

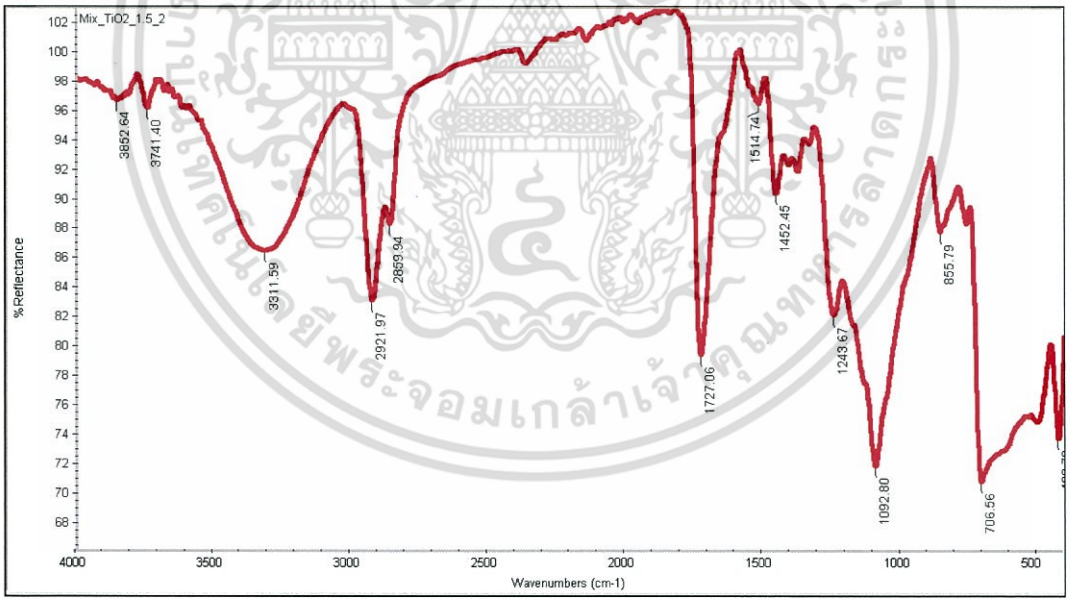


รูปที่ ค4 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

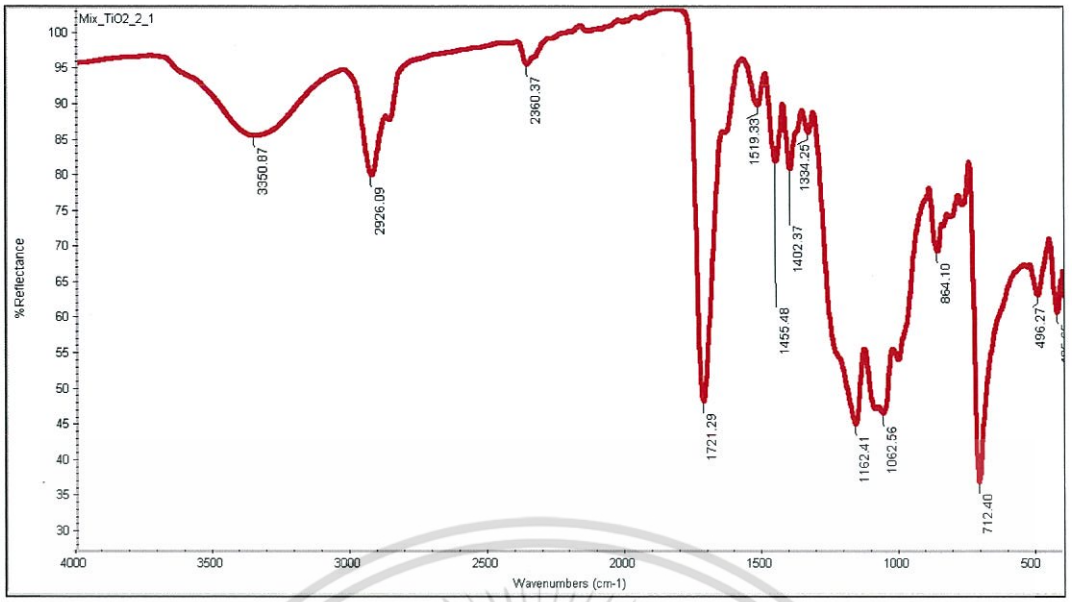


รูปที่ ค5 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1.5% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 1

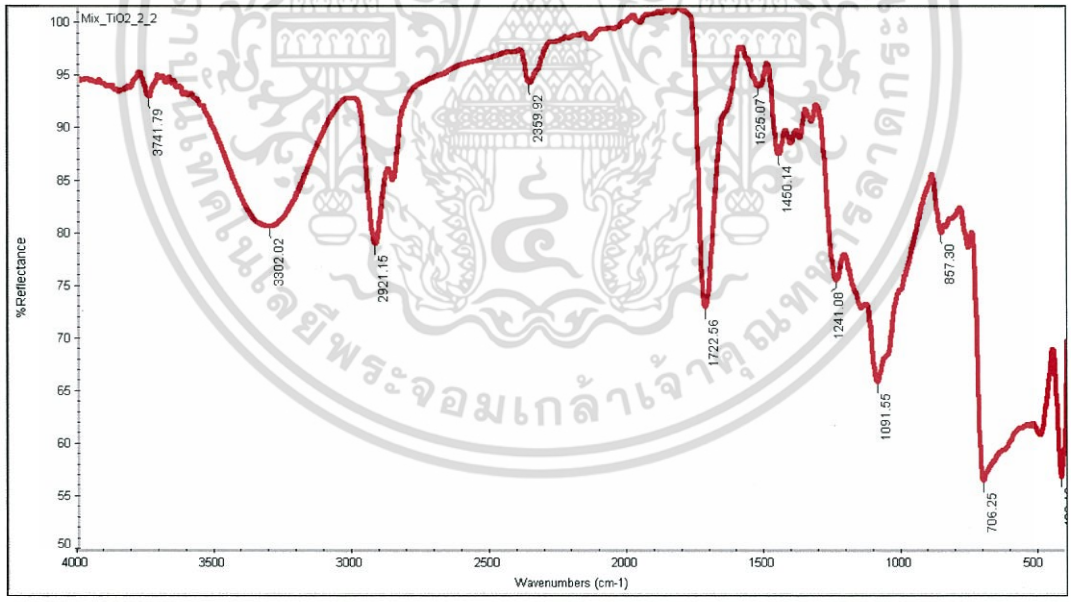


รูปที่ ค6 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1.5% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

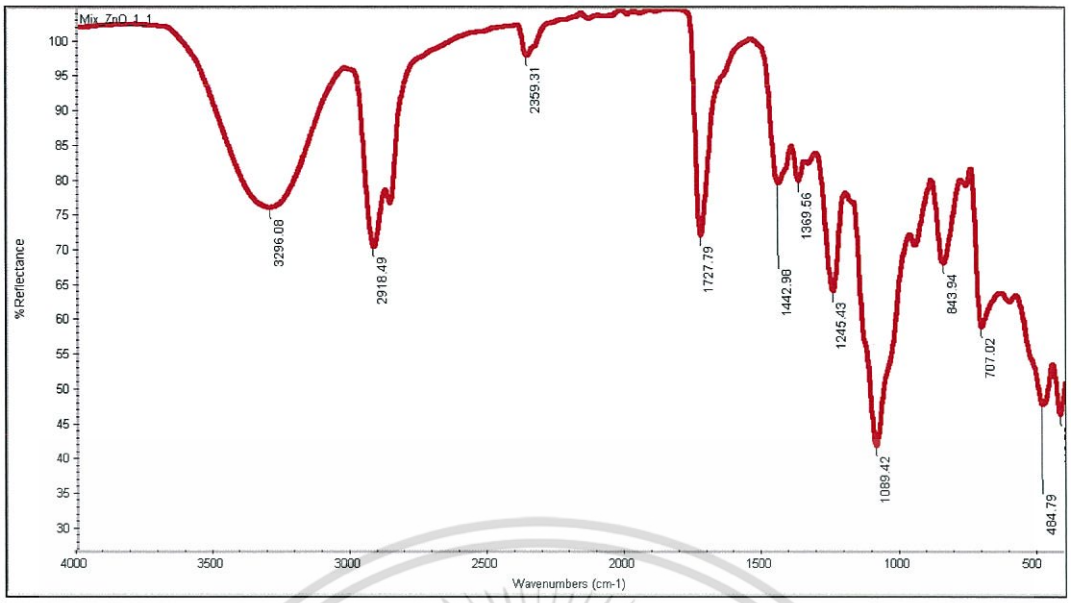


รูปที่ ค7 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 2% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 1

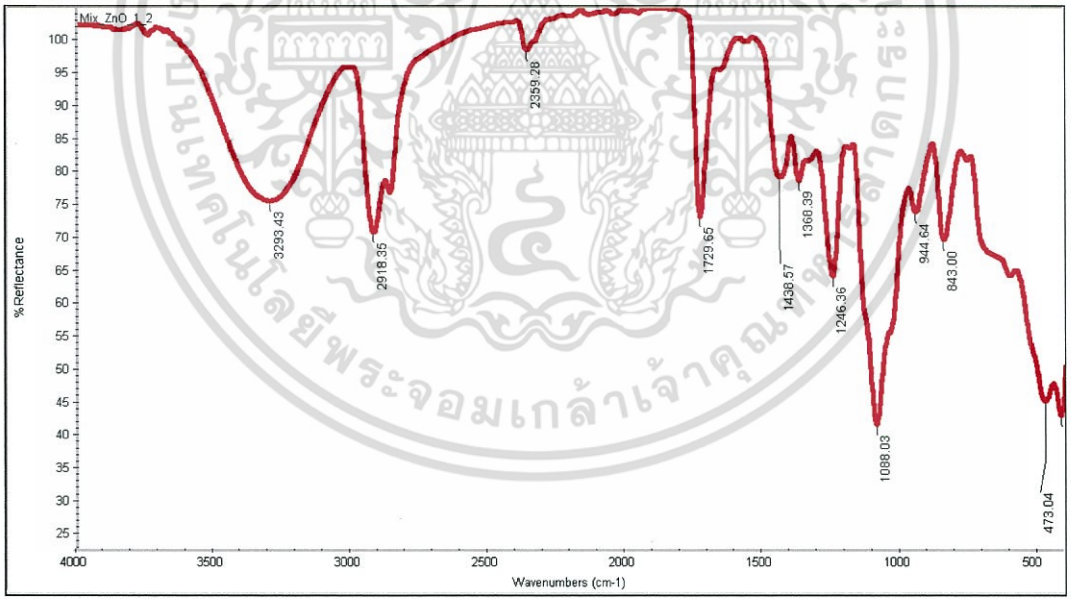


รูปที่ ค8 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 2% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

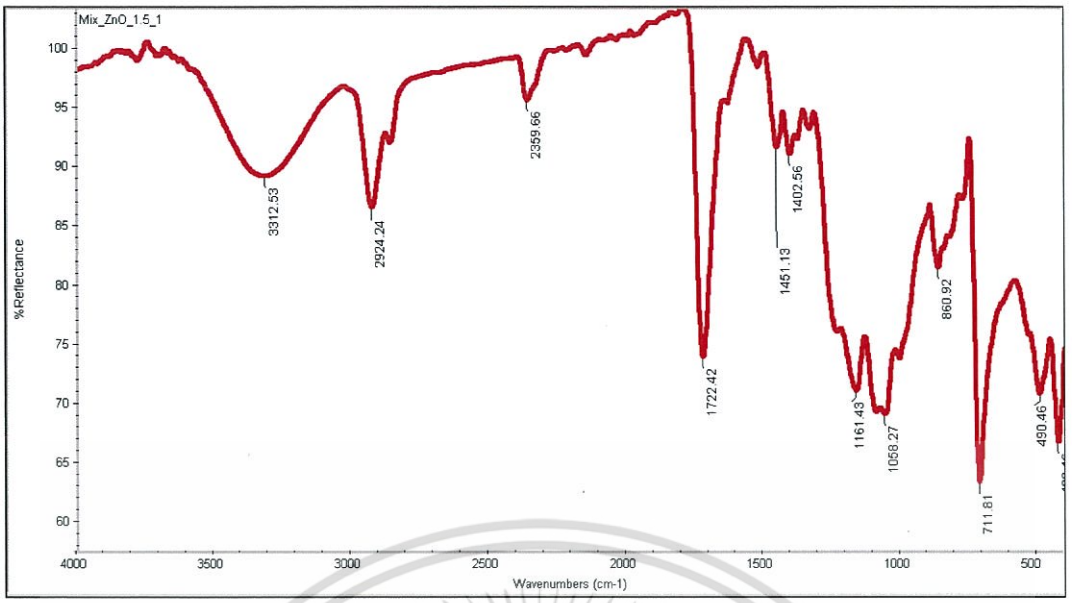


รูปที่ ค9 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 1% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 1

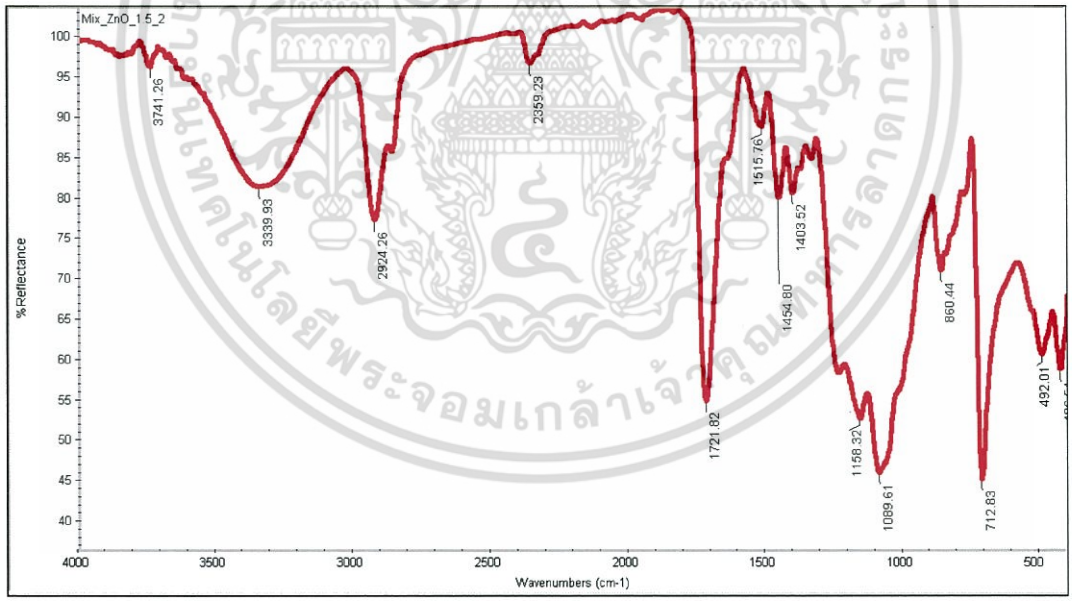


รูปที่ ค10 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 1% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

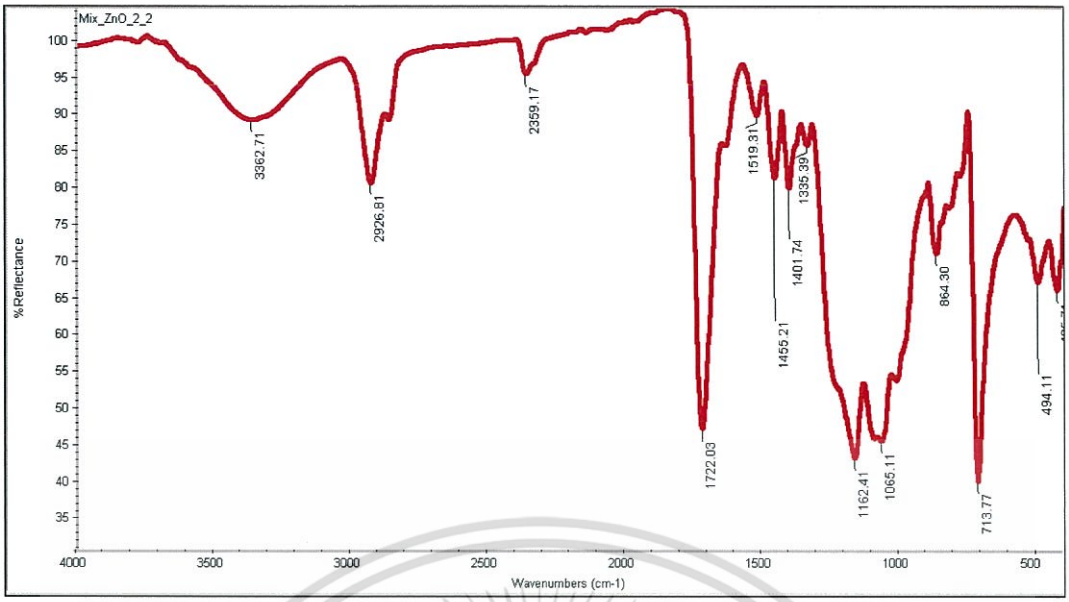


รูปที่ ค11 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 1.5% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 1

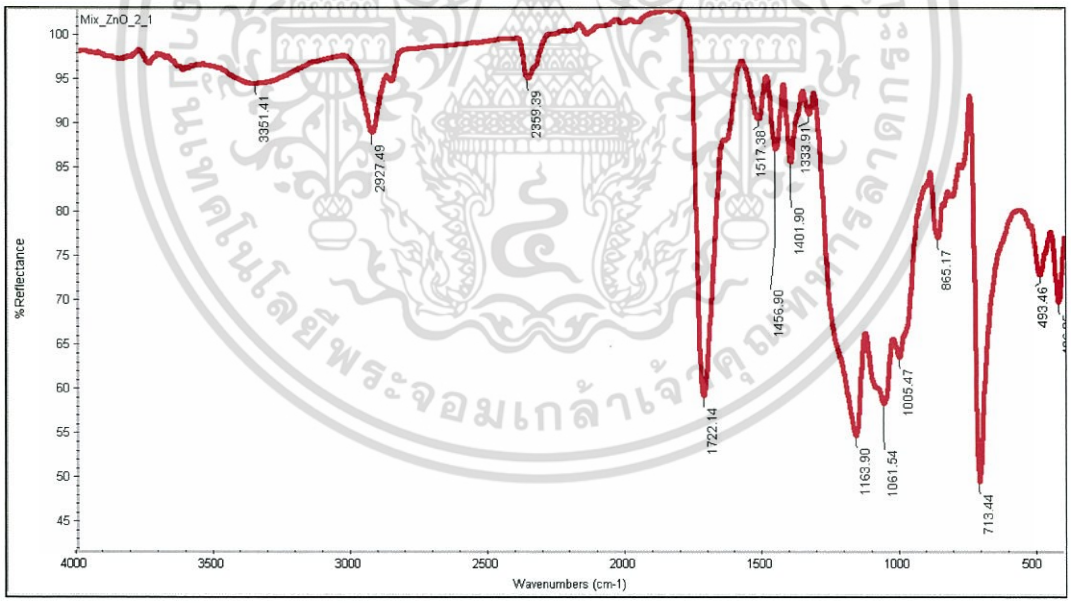


รูปที่ ค12 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 1.5% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค13 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 2% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ค14 กราฟที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 2% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค1 แสดงชนิดของหมู่ฟังก์ชั่นที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดที่บ่งบอกชนิดของหมู่ฟังก์ชนิดของสาร ตัวอย่างที่ 1

ชนิดของสาร	**ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด**
อิมัลชันที่ไม่ได้ผสม	Kaolin Clays /Alumino Silicates Aliphatic Aldehydes Aliphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols
ไททาเนียม 1%	Kaolin Clays /Alumino Silicates Aliphatic Aldehydes Aliphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols
ไททาเนียม 1.5%	Inorganic Nitrates Aliphatic Carboxylic Acids Aliphatic Hydrocarbons Secondary Aliphatic Alcohols
ไททาเนียม 2%	Inorganic Nitrates Aliphatic Carboxylic Acids Alipphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols
ซิงค์ออกไซด์ 1%	Kaolin Clays /Alumino Silicates Aliphatic Aldehydes Aliphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค1(ต่อ) แสดงชนิดของหมู่ฟังก์ชั่นที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดที่บ่งบอกชนิดของหมู่ฟังก์ชนิดของสาร ตัวอย่างที่ 1

ชนิดของสาร	**ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด**
ซิงค์ออกไซด์ 1.5%	Inorganic Nitrates Aliphatic Carboxylic Acids Aliphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols
ซิงค์ออกไซด์ 2%	Aliphatic Carboxylic Acids Alipphatic Hydrocarbons

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค2 แสดงชนิดของหมู่ฟังก์ชั่นที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดที่บ่งบอกชนิดของหมู่ฟังก์ชนิดของสารของตัวอย่างที่ 2

ชนิดของสาร	ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด
อิมัลชันที่ไม่ได้ผสม	Aliphatic Aldehydes Aliphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols
ไททาเนียม 1%	Kaolin Clays /Alumino Silicates Aliphatic Aldehydes Aliphatic Hydrocarbons
ไททาเนียม 1.5%	Kaolin Clays /Alumino Silicates Aliphatic Carboxylic Acids Aliphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols
ไททาเนียม 2%	Inorganic Nitrates Aliphatic Carboxylic Acids Alipphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols
ซิงค์ออกไซด์ 1%	Kaolin Clays /Alumino Silicates Aliphatic Aldehydes Aliphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols
ซิงค์ออกไซด์ 1.5%	Inorganic Nitrates Aliphatic Carboxylic Acids Aliphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค2(ต่อ) แสดงชนิดของหมู่ฟังก์ชั่นที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดที่บ่งบอกชนิดของหมู่ฟังก์ชนิดของสารของตัวอย่างที่ 2

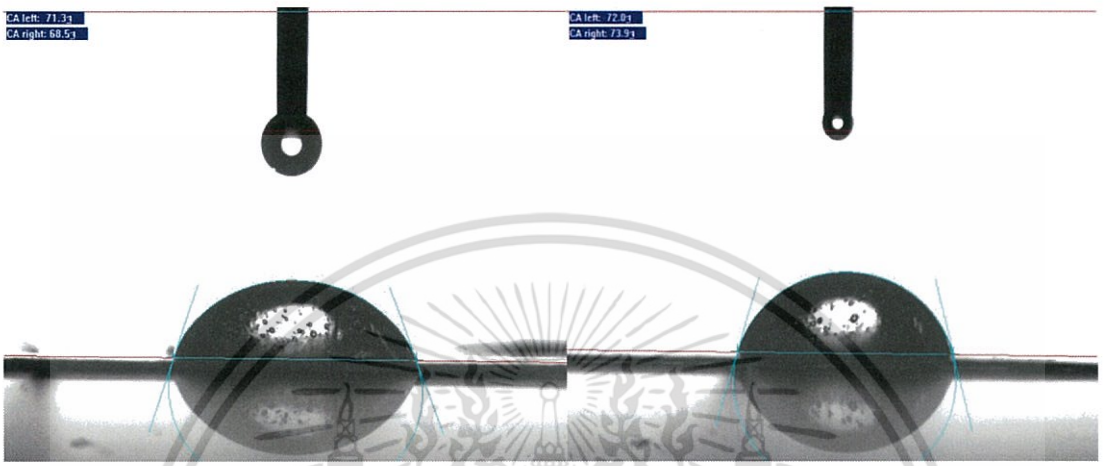
ชนิดของสาร	ผลลัพท์ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด
ซิงค์ออกไซด์ 2%	Inorganic Nitrates Aliphatic Carboxylic Acids Alipphatic Hydrocarbons Primary Aliphatic Alcohols

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการวัดที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัส

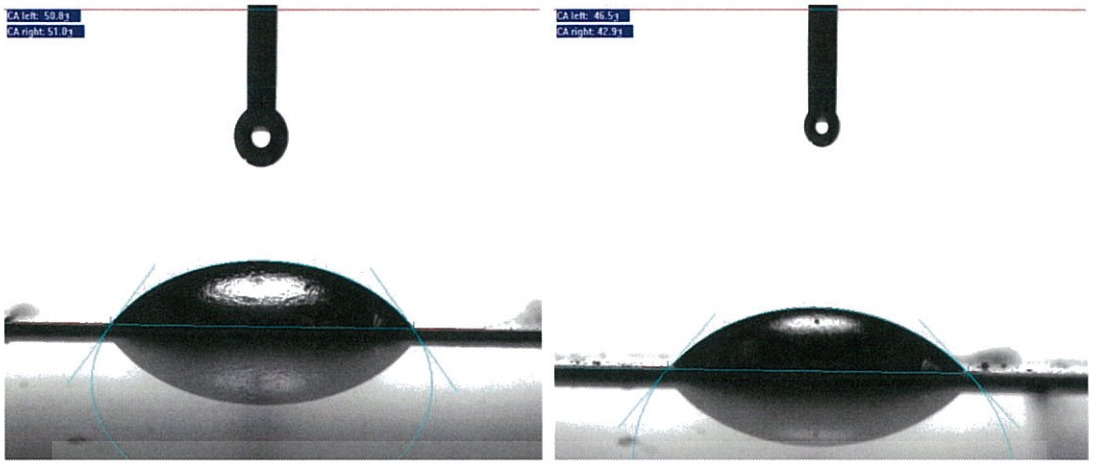
ผลการวัดมุมสัมผัสหลังจากหยดน้ำได้ 1 วินาทีด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส ได้ผลดังนี้



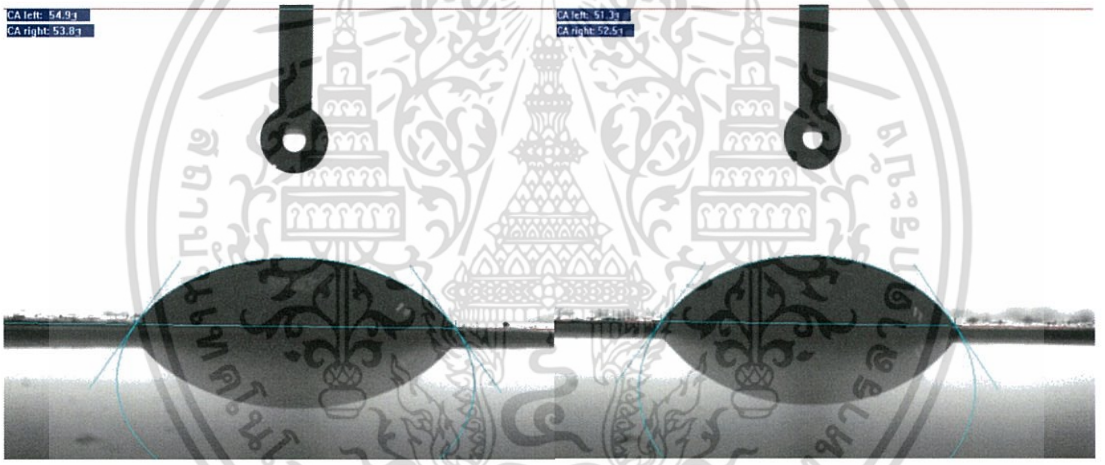
รูปที่ ง1 ภาพที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัสของแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

รูปที่ ง2 ภาพที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัสของแผ่นเส้นใยนาโนพอลิแลคติคแอซิดจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

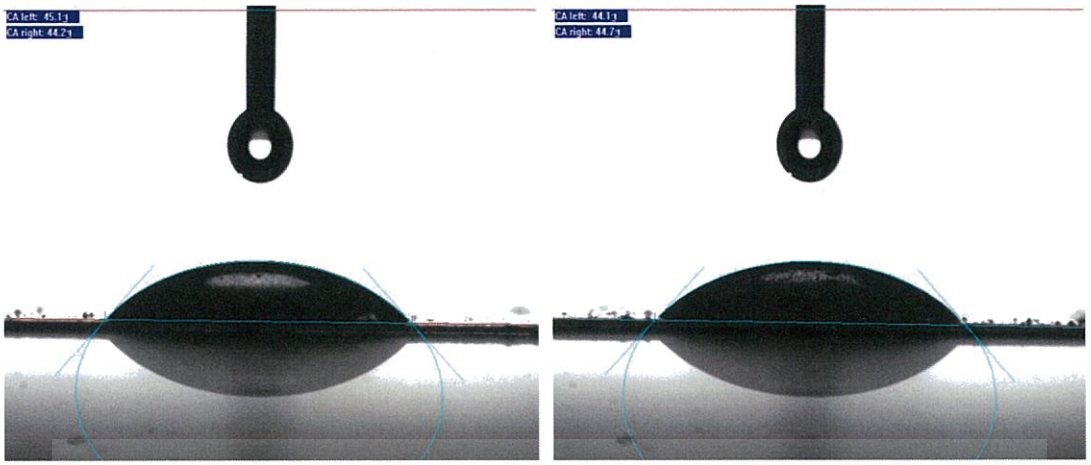


รูปที่ ง3 ภาพที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัสของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

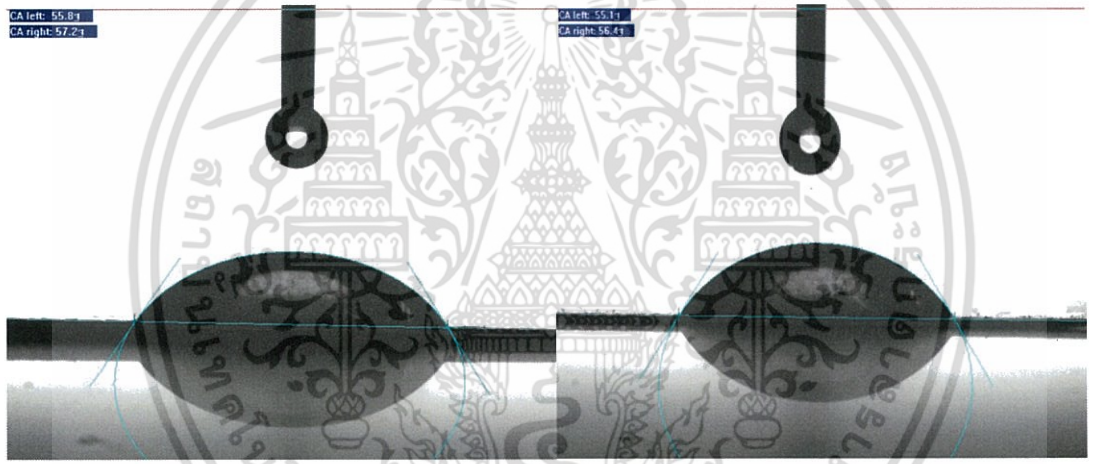


รูปที่ ง4 ภาพที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัสของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

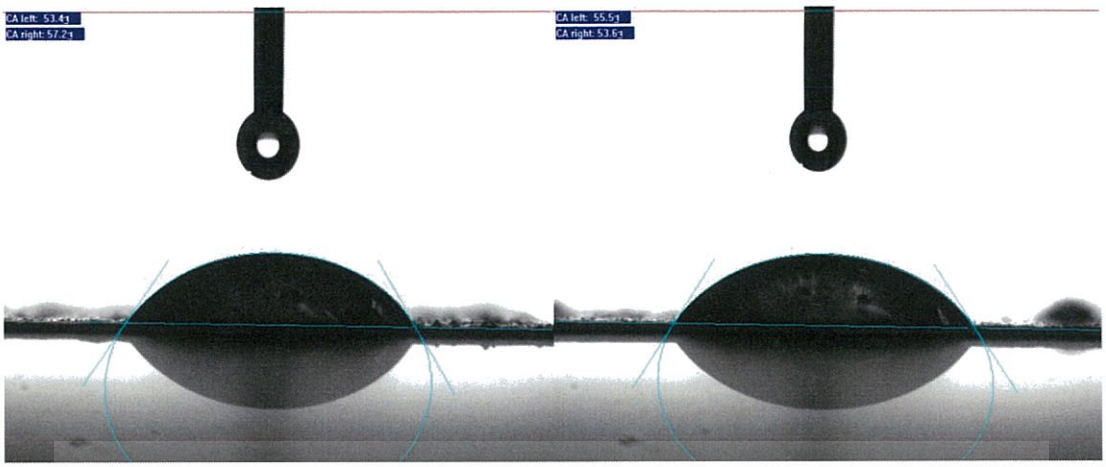


รูปที่ ง5 ภาพที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัสของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1.5% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

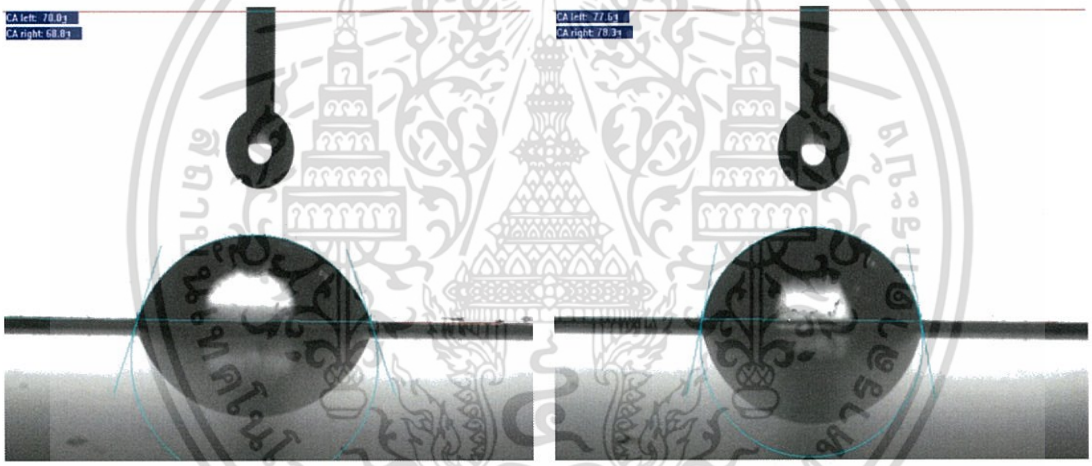


รูปที่ ง6 ภาพที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัสของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 2% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

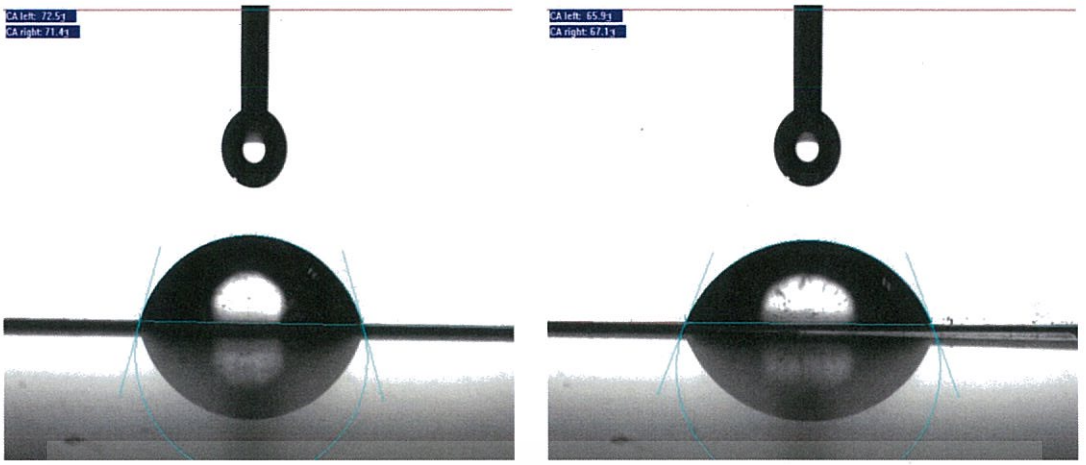


รูปที่ ง7 ภาพที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัสของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 1% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต



รูปที่ ง8 ภาพที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัสของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 1.5% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

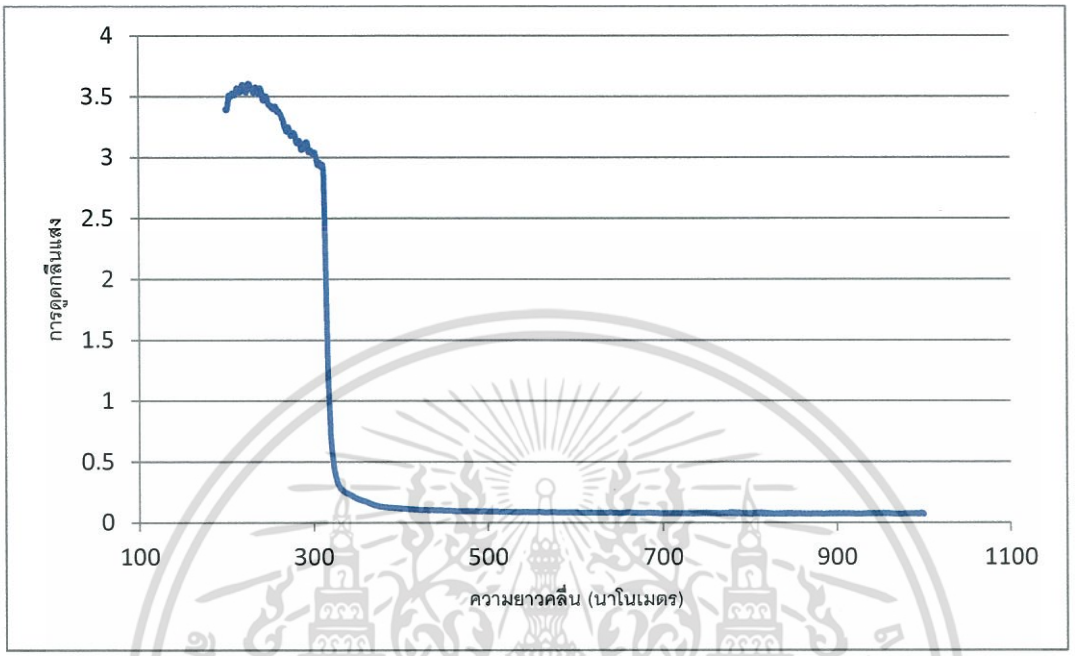


รูปที่ ง9 ภาพที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัสของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลซันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 2% จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

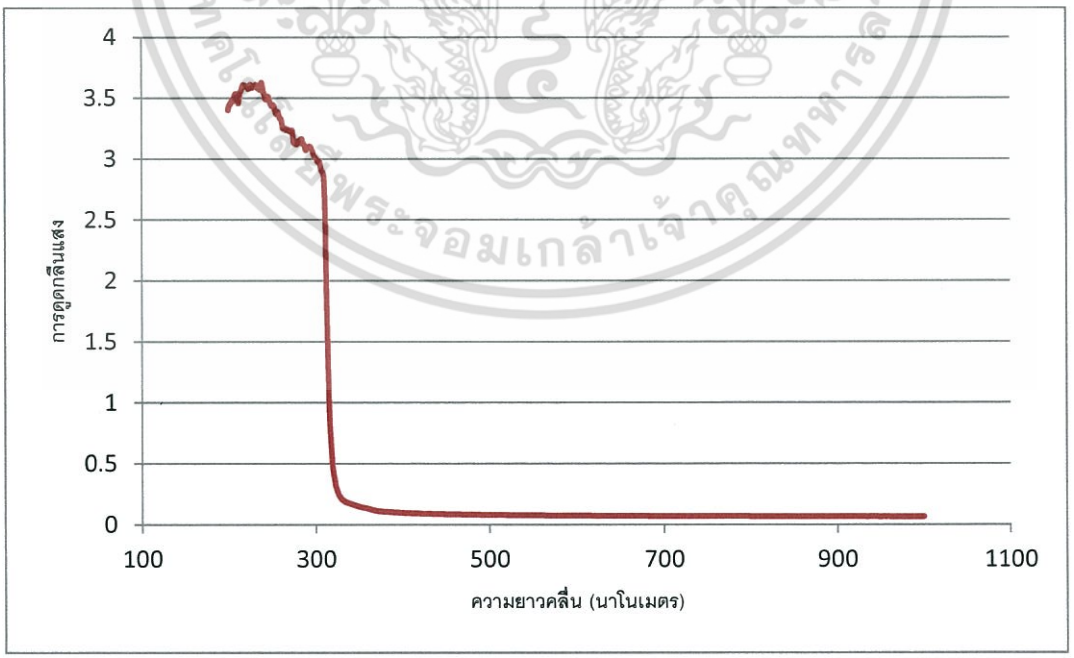
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวัดที่ได้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงและร้อยละการทะลุผ่านของแสง



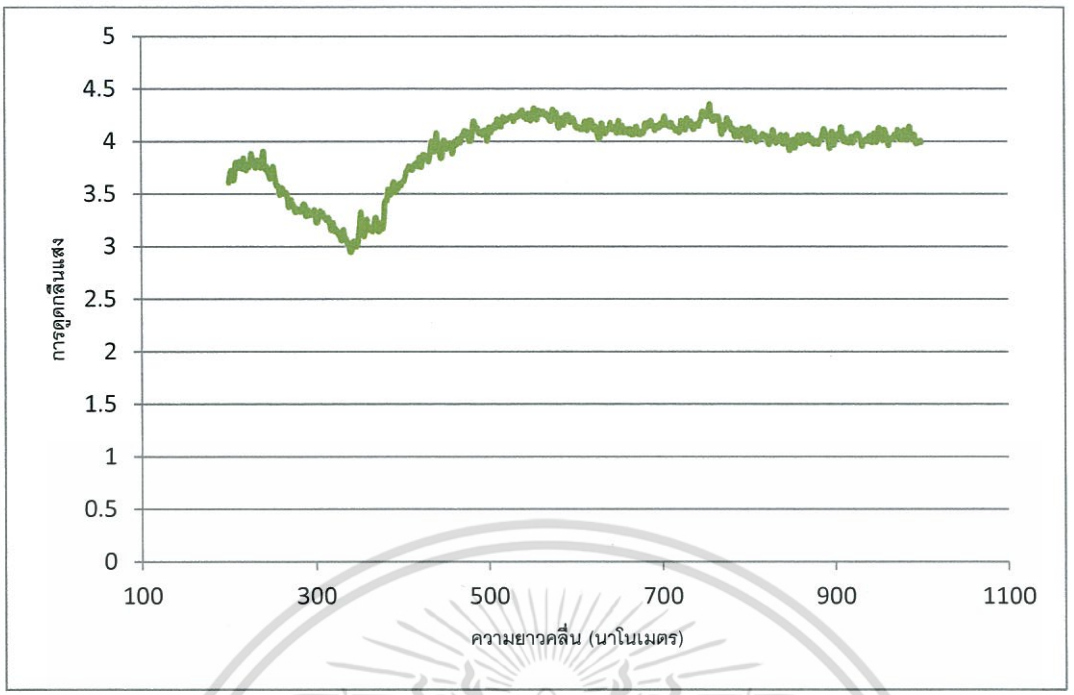
รูปที่ จ1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวของคลื่นแผ่นฟิล์มกันรอย



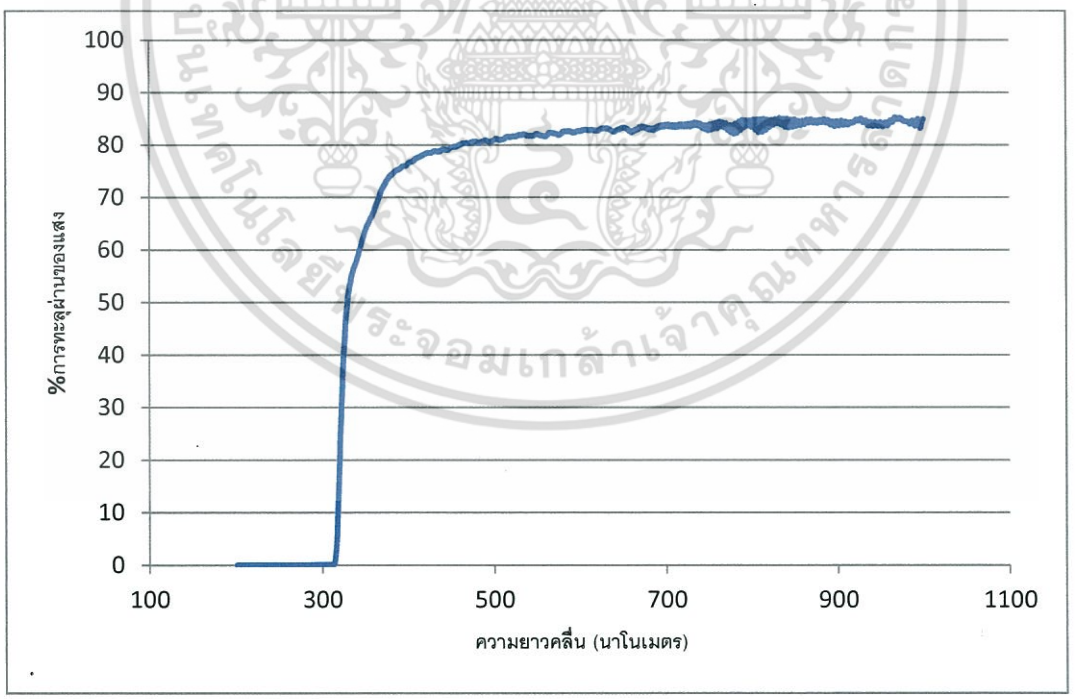
รูปที่ จ2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นพลาสติกใส

ถ่ายเอกสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

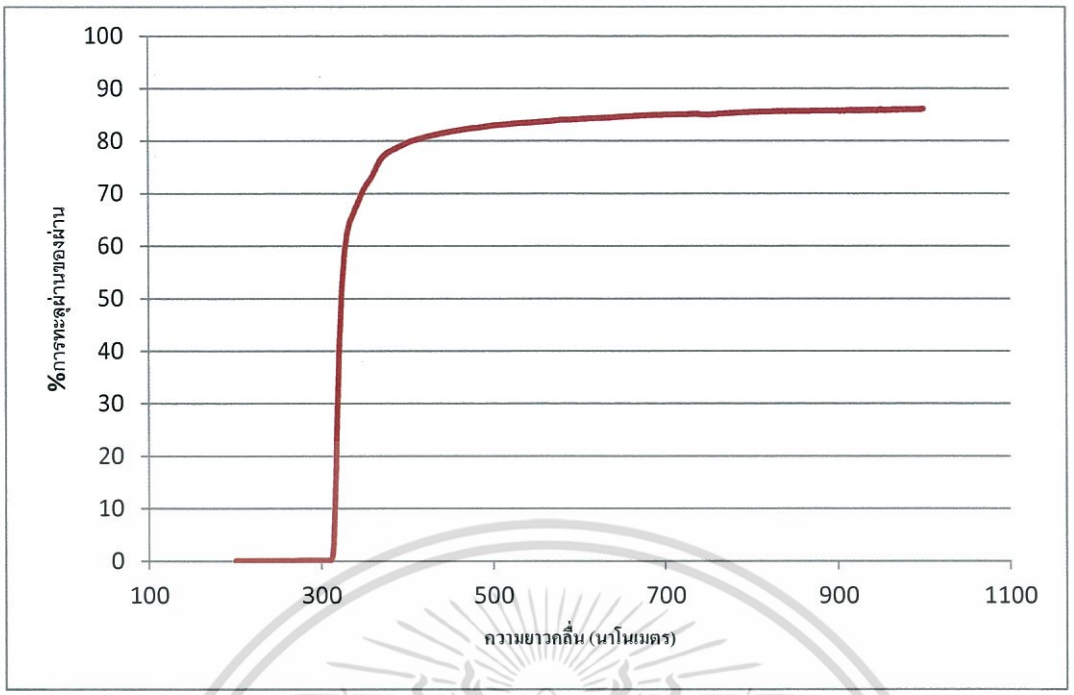


รูปที่ จ3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม

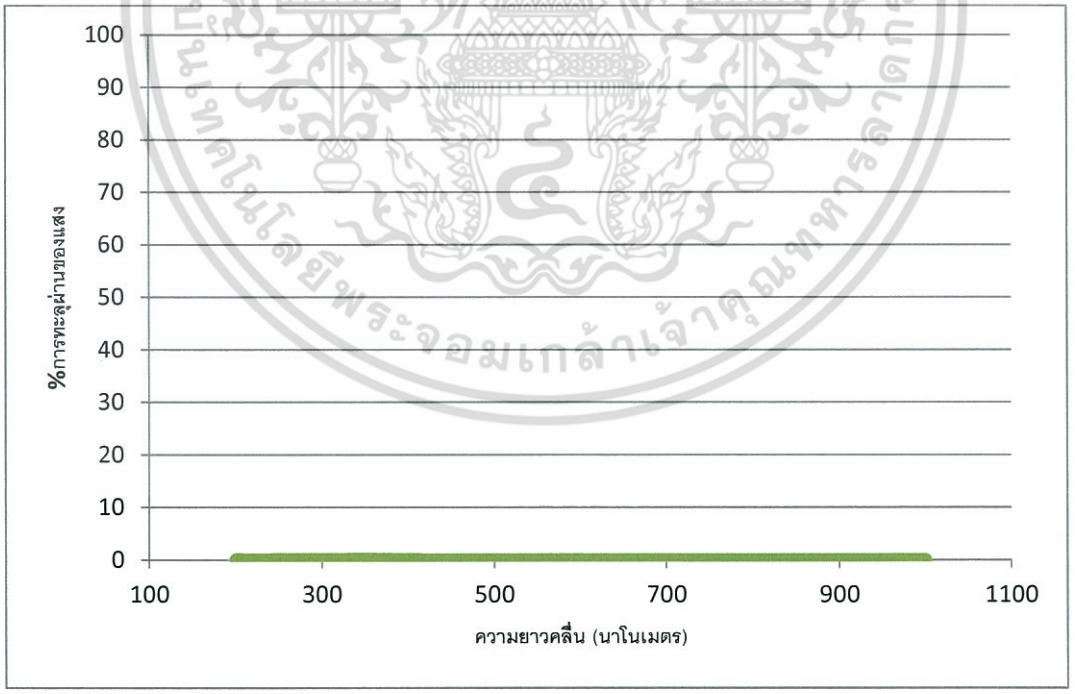


รูปที่ จ4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นฟิล์มกันรอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

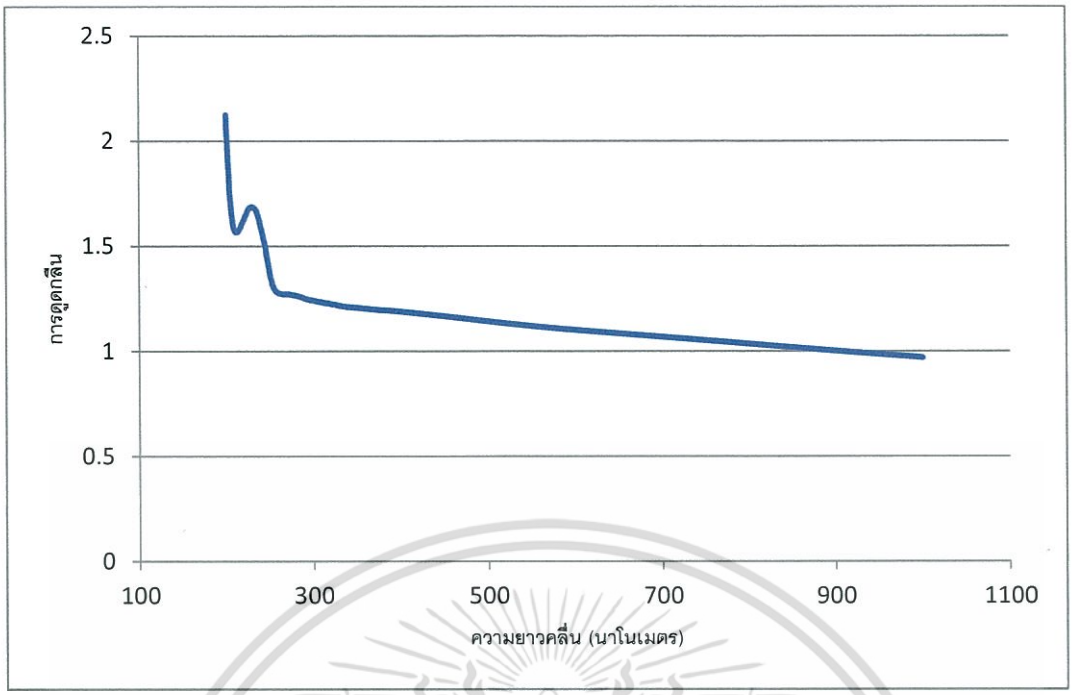


รูปที่ จ5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นพลาสติกใสถ่ายเอกสาร

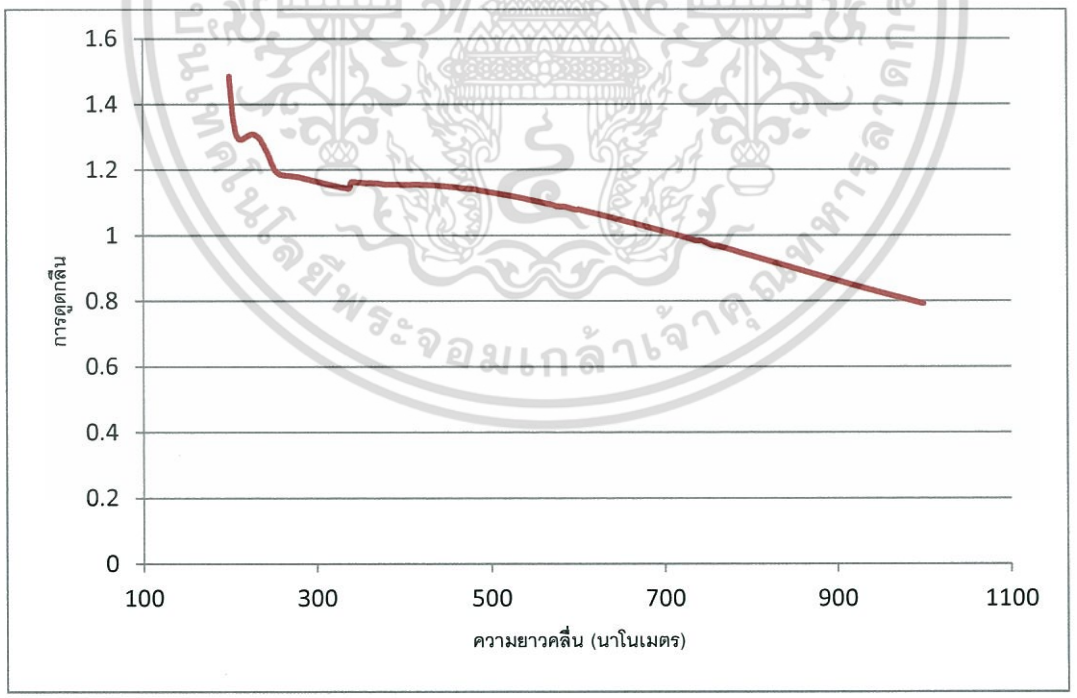


รูปที่ จ6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

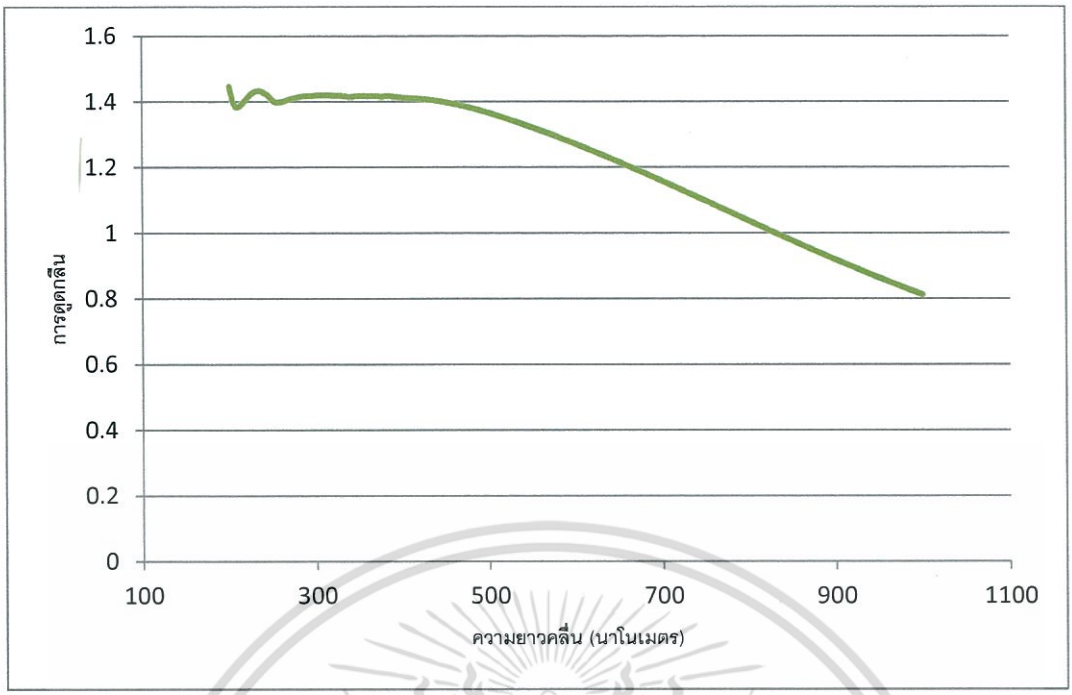


รูปที่ จ7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิด

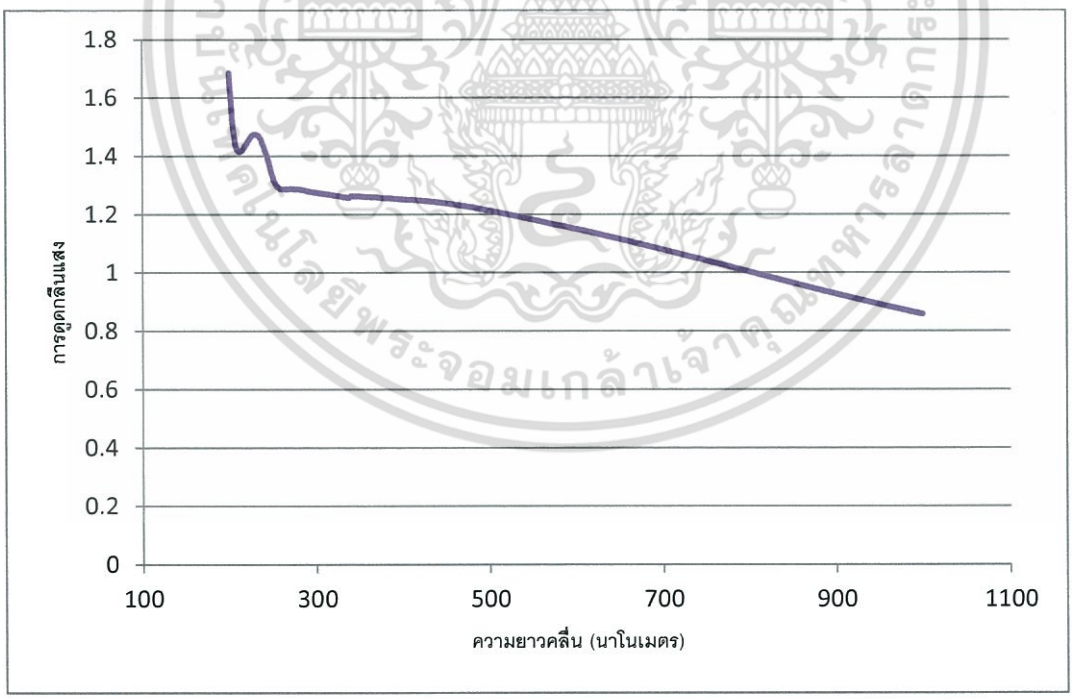


รูปที่ จ8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

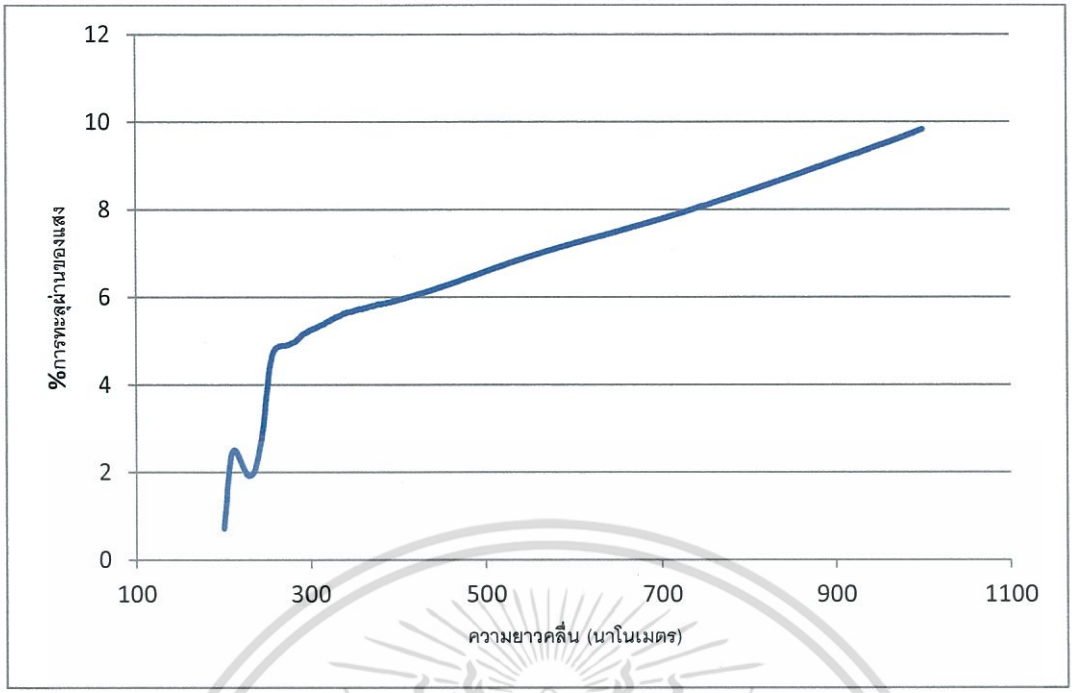


รูปที่ จ9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1.5%

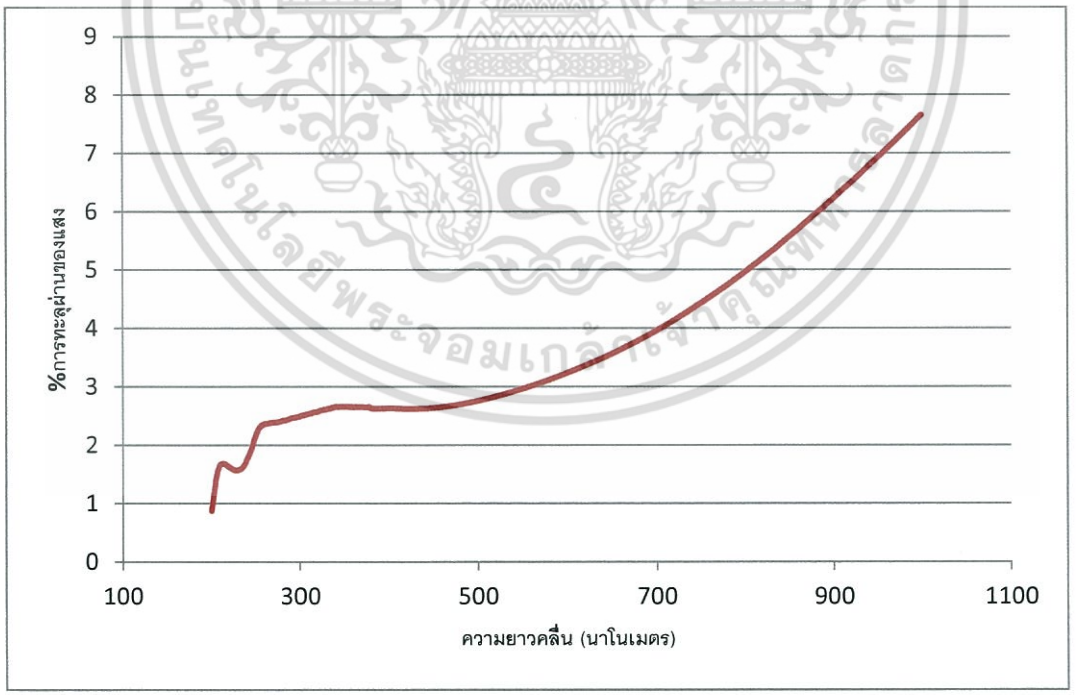


รูปที่ จ10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

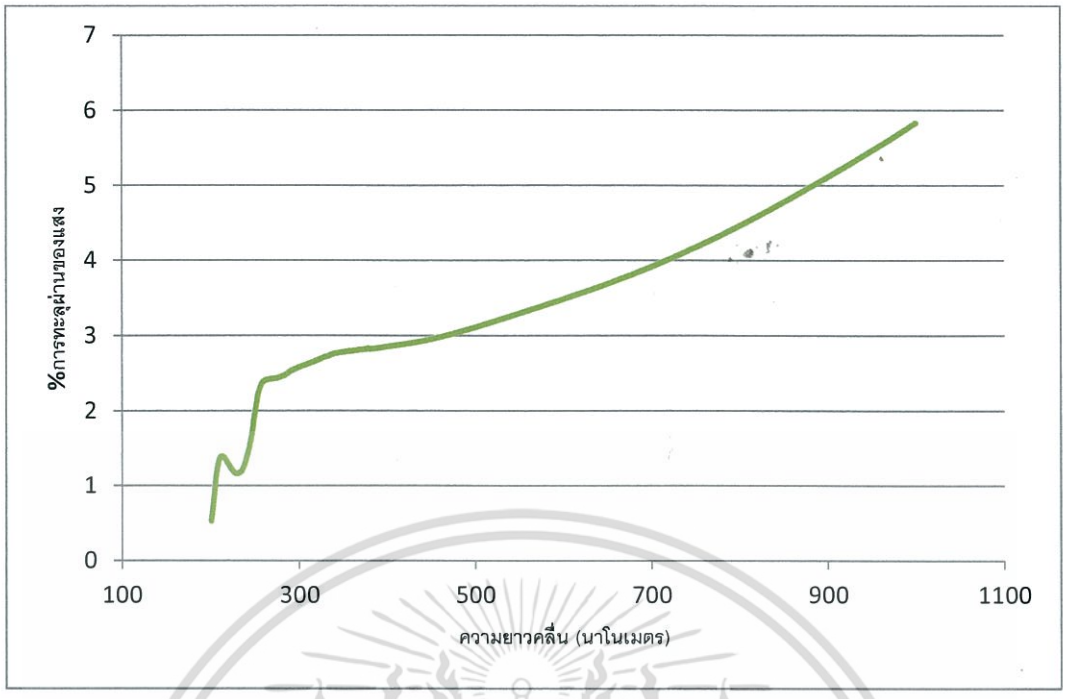


รูปที่ จ11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการทะลุผ่านกับความยาวคลื่นของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิด

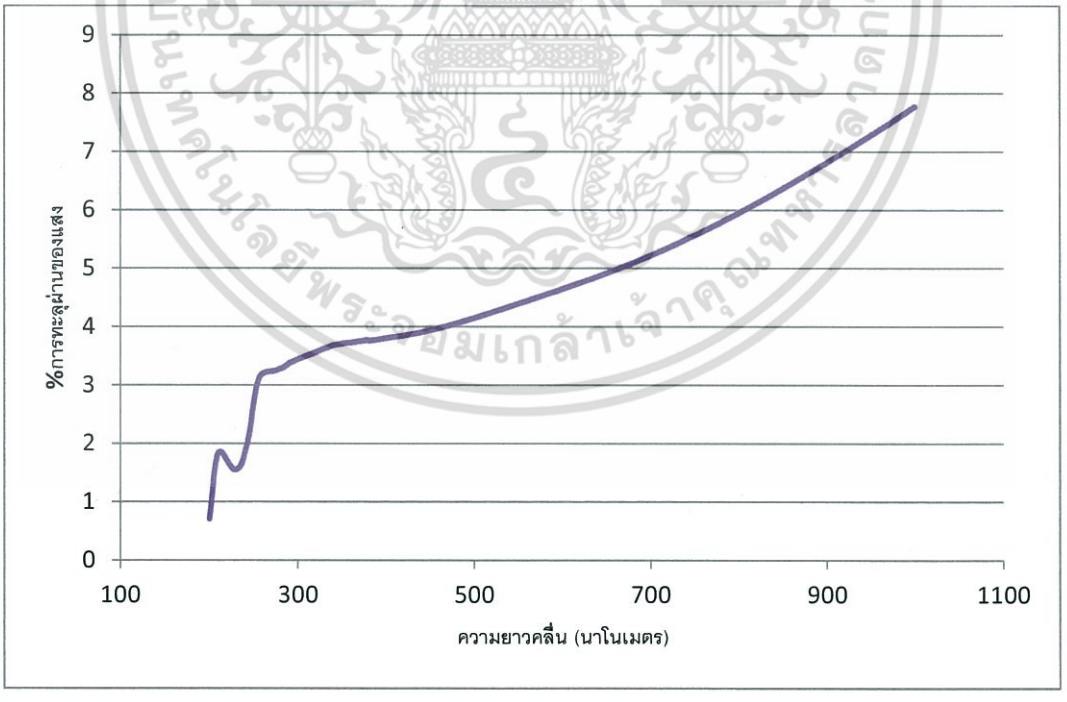


รูปที่ จ12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการทะลุผ่านกับความยาวคลื่นของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการทะลุผ่านกับความยาวคลื่นของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมไททาเนียมออกไซด์ 1.5%



รูปที่ จ14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการทะลุผ่านกับความยาวคลื่นของแผ่นเส้นใยนาโนอิมัลชันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-พอลิแลคติคแอซิดที่ผสมซิงค์ออกไซด์ 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง