

การพัฒนาผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด
ด้วยการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบ
เพื่อใช้ในการแยกน้ำมันจากน้ำ

DEVELOPMENT OF SUPERHYDROPHOBIC FABRIC
FILTER MEDIA BY COATING WITH ZINC OXIDE AND
COUPLING AGENTS FOR OIL/WATER SEPARATION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

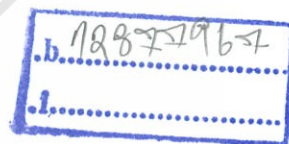
การพัฒนาผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด
ด้วยการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบ
เพื่อใช้ในการแยกน้ำมันจากน้ำ

DEVELOPMENT OF SUPERHYDROPHOBIC FABRIC
FILTER MEDIA BY COATING WITH ZINC OXIDE AND
COUPLING AGENTS FOR OIL/WATER SEPARATION



T149431

ณัชชา สุพวานิช
วราลี เนียมจันทร์
เสถียรพงษ์ อภินันท์ธนากร



หมู่.....
ทะเบียน 149431
เดือน,ปี ๒๘ อ.พ. 2561

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF SUPERHYDROPHOBIC FABRIC
FILTER MEDIA BY COATING WITH ZINC OXIDE AND
COUPLING AGENTS FOR OIL/WATER SEPARATION



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHERLOR
OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบเพื่อใช้ในการแยกน้ำมันจากน้ำ
Development Of Superhydrophobic Fabric Filter Media By Coating With Zinc Oxide and Coupling Agents For Oil/Water Separation

ชื่อนักศึกษา นางสาวณัชชา สุพวานิช รหัสนักศึกษา 55050639
นางสาววาราลี เนียมจันทร์ รหัสนักศึกษา 55050797
นายเสถียรพงษ์ อภินันท์ธนากร รหัสนักศึกษา 55050851

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร.ปานไพลิน สีหาราช

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ. ดร.นราธิป วิทยากร ประธานกรรมการ	
ดร.กิตติศักดิ์ ชูจันทร์ กรรมการ	
ผศ. ดร.ปานไพลิน สีหาราช กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	ปานไพลิน

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และสารคูกวบเพื่อใช้ในการแยกน้ำมันจากน้ำ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัชชา สุวานิช รหัสนักศึกษา 55050639 นางสาววาราลี เนียมจันทร์ รหัสนักศึกษา 55050797 นายเสถียรพงษ์ อภินันท์ธนากร รหัสนักศึกษา 55050851
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต เคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. ปานไพลิน สีหาราช

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาพัฒนาผ้าตัวกรองเพื่อใช้ในการกรองแยกน้ำมันออกจากน้ำโดยผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีโซล-เจล (sol-gel) เพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดในขั้นตอนแรกทำการปรับปรุงพื้นผิวของผ้าตัวกรองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จากนั้นทำการเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ลงบนพื้นผิวผ้า แล้วทำการปรับปรุงให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic property) โดยการเคลือบด้วยสารคูกวบประเภทกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าสภาวะในการสังเคราะห์ผ้าตัวกรองที่เหมาะสม คือ ทำการเคลือบผ้าตัวกรองด้วยสารแขวนลอยของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลที่สังเคราะห์ได้จากสารตั้งต้นคือ ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นทำการเคลือบด้วยกรดสเตียริกความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ ซึ่งทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่สูงที่สุด คือ $162.35 \pm 1.99^\circ$ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR แสดงการสั่นของพันธะ C=O และ C-O ของพันธะเอสเทอร์ซึ่งแสดงให้เห็นการเชื่อมต่อพันธะระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิวของซิงค์ออกไซด์กับหมู่คาร์บอกซิลของกรดสเตียริกและจากเทคนิค XRD พบว่าสารที่เกิดขึ้น คือ ซิงค์สเตียเรต จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM พบว่าพื้นผิวผ้าตัวกรองมีความขรุขระเนื่องจากรูปร่างของซิงค์สเตียเรตที่มีลักษณะคล้ายดอกไม้ ทำให้เกิดสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด เมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพการกรองพบว่าผ้าตัวกรองที่เตรียมได้สามารถใช้ในการกรองแยกของผสมระหว่างน้ำมันและน้ำชนิดต่าง ๆ ได้ โดยมีค่าประสิทธิภาพในการกรองแยกน้ำออกจากเฮกเซนที่ดีที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 99.00 ± 0.01 และเมื่อนำมาทดสอบการใช้ซ้ำพบว่าประสิทธิภาพการกรองลดลงเล็กน้อยจากร้อยละ 99 เป็น ร้อยละ 72 เมื่อผ่านการกรองซ้ำ 10 ครั้ง

คำสำคัญ: การกรองแยกน้ำมันจากน้ำ มุมสัมผัสของน้ำ สารคูกวบ สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development Of Superhydrophobic Fabric Filter Media By Coating With Zinc Oxide and Coupling Agents For Oil/Water Separation		
Student	Miss. Natcha Supawanich	Student ID 55050639	
	Miss. Waralee Niamjun	Student ID 55050797	
	Mr. Sathianphong Apinantanakorn	Student ID 55050851	
Degree	Bachelor of science in Industrial Chemistry		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic	year 2014		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Panpailin Seeharaj		

Abstract

This project investigated the development of superhydrophobic fabric filter media for oil/water separation using sol-gel process. In first step, the fabric filter surface was treated with NaOH aqueous solution. After that, ZnO particles were coated on the fabric filter followed by surface modification with coupling agents. The results showed that the optimum condition to obtain the highest water contact angles (WCAs) at $162.35 \pm 1.99^\circ$ was coating the fabric with ZnO particles suspensions in ethanol prepared from $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and NaOH and using 0.03 M stearic acid as coupling agents. FT-IR results showed C=O and C-O bond of Ester indicating the bonding between hydroxyl group on the surface of zinc oxide particles and carboxyl group of stearic acid and XRD analysis confirms the formation of zinc stearate. SEM images showed that surface had high degree of roughness due to the flower like structure of zinc stearate and this was responsible for the superhydrophobic property. The superhydrophobic fabric filter media could be used for oil/water separation with the highest separation of 99% for hexane/water separation. The superhydrophobic fabric filter showed good reusability by having separation efficiency reducing to 72% after 10 cycle of filtration.

Keywords: separate oil from water, water contact angle, Coupling agent and Superhydrophobic property

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.ปานไพลิน สีหาราช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ ในการให้คำปรึกษาเวลามีข้อสงสัย แนะนำเทคนิคต่าง ๆ ในการทำงานและคอยเอาใจใส่ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.นราธิป วิทยากร ประธานกรรมการและ ดร.กิตติศักดิ์ ชูจันทร์ กรรมการโครงการพิเศษในการให้คำปรึกษาและแนะนำเทคนิคต่าง ๆ ในการทำงาน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณพี่น้องวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือด้านอุปกรณ์และสารเคมี รวมถึงการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ตลอดการทดลองโครงการพิเศษเล่มนี้และคอยเอื้อเฟื้อ อำนวยความสะดวกในเรื่องอาคารสถานที่

ขอขอบพระคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ ทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา ให้การความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจให้สามารถดำเนินโครงการพิเศษนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

ณัชชา

วราลี

เสถียรพงษ์

สุพวานิช

เนียมจันทร์

อภิรัตน์ธนากร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาโครงการพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน.....	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 ความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุ.....	4
2.1.1 ภาวะการฉีกเปียก (wetting) และการวัดมุมสัมผัส (contact angle measurement).....	5
2.1.2 ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (lotus effect).....	6
2.1.3 การประยุกต์ใช้งานของวัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ.....	8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.2.1 การเตรียมผ้าฝ้ายที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้ง่ายและมีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนด้วยวิธีการเคมีเปียก.....	9
2.2.2 ผลกระทบของโครงสร้างนาโนแบบแท่งและการเรียงตัวของชั้นโครงสร้างกรดไขมันที่มีผลกับความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนของพื้นผิวซิงค์ออกไซด์.....	13
2.2.3 การศึกษาพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำและมีลักษณะเป็นแท่งนาโนโดยปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก.....	15
2.2.4 การปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนของพื้นผิวโดยการเคลือบด้วยอะลูมินาและกรดสเตียริก.....	18
2.3 การสังเคราะห์ผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน.....	21
2.3.1 กระบวนการโซล-เจล (sol-gel process).....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
2.3.2	ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide; ZnO).....	23
2.3.3	ซิงค์ไฮดรอกไซด์ (zinc hydroxide; Zn(OH) ₂)	24
2.3.4	การปรับปรุงพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด .	25
	2.3.4.1 กรดออกตะโนอิก (octanoic acid)	26
	2.3.4.2 กรดลอริก (lauric acid)	27
	2.3.4.3 กรดสเตียริก (stearic acid).....	27
	2.3.4.4 กรดโอเลอิก (oleic acid)	27
2.3.5	ปฏิกิริยาระหว่างสารคู่ควบกับพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์	28
2.3.6	เส้นใยฝ้าย	28
2.3.7	การปรับปรุงสมบัติของผ้าตัวกรองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ		30
3.1	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	30
3.2	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30
3.3	วิธีการทดลอง.....	31
	3.3.1 การเตรียมผิวผ้าตัวกรอง.....	31
	3.3.2 การเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ลงบนพื้นผิวผ้า.....	32
	3.3.2.1. การเคลือบโดยใช้สารแขวนลอยของอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์	32
	3.3.2.2. การเคลือบโดยใช้สารละลายโซลของซิงค์ออกไซด์	34
3.3.3	การปรับปรุงพื้นผิวผ้าให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยใช้สารคู่ควบ	35
3.3.4	วิธีการเตรียมผ้าตัวกรองสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรอง.....	36
3.4	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของผ้าตัวกรอง.....	37
	3.4.1 การศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ใช้เคลือบลงบนผิว ผ้าตัวกรอง	38
	3.4.2 การศึกษาผลของปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบลงบนพื้นผิวผ้า.....	38
	3.4.3 การศึกษาผลของชนิดสารคู่ควบที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรอง.....	39
	3.4.4 การศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของสารคู่ควบที่ใช้ในการเคลือบ ผ้าตัวกรอง	39
	3.4.5 การศึกษาประสิทธิภาพการกรองของผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ ...	40
3.5	การตรวจสอบสมบัติของวัสดุ	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.1	วิเคราะห์ความไม่ชอบน้ำโดยเครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles; WCAs)	41
3.5.2	การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM).....	42
3.5.3	การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR).....	43
3.5.4	การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (x-ray diffractometer; XRD).....	44
3.5.5	เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (thermogravimetric analyzer; TGA).....	45
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	46
4.1	การเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ลงบนพื้นผิวผ้า.....	46
4.1.1	การเคลือบโดยใช้สารแขวนลอยของอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์	46
4.1.2	การเคลือบโดยใช้สารละลายโซลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์	55
4.1.3	การปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรองด้วยสารคู่ควบและการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ.....	57
4.2	การศึกษาผลของปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบลงบนพื้นผิวผ้าตัวกรอง	64
4.3	การศึกษาผลของชนิดสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรอง.....	70
4.4	การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารคู่ควบที่ใช้เคลือบบนผ้าตัวกรอง.....	78
4.5	การศึกษาประสิทธิภาพในการกรอง	84
บทที่ 5	สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	89
5.1	สรุปผลงานวิจัย	89
5.2	ข้อเสนอแนะ	90
เอกสารอ้างอิง		91
ภาคผนวก.....		95
ภาคผนวก ก.....		96
ภาคผนวก ข.....		101

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำและมุมเอียงบนผ้าฝ้ายที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน.....	10
2.2 แสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำ (WCA) ของชั้นฟิล์ม ZnO ที่เตรียมจาก ZnCl ₂ ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันและชั้นฟิล์มที่เคลือบด้วยสารคู่ควบอินทรีย์ต่างชนิดกัน	14
3.1 ศึกษาวิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองและสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์	38
3.2 ศึกษาปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์และสภาวะที่ใช้ในการทดลอง	38
3.3 ศึกษาผลของชนิดสารคู่ควบ และสภาวะที่ใช้ในการทดลอง.....	39
3.4 ศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของสารคู่ควบและสภาวะที่ใช้ในการทดลอง	39
3.5 ศึกษาชนิดของน้ำมันที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพการกรองของผ้าตัวกรอง	40
4.1 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเทคนิค FT-IR ที่ได้จากผงอนุภาคที่สังเคราะห์โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	48
4.2 แสดงผล TGA ของผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีกระบวนการสังเคราะห์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารตั้งต้น	51
4.3 แสดงขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับสารละลายเบสที่ต่างกัน	52
4.4 แสดงความแตกต่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบบนผ้าตัวกรอง.....	57
4.5 แสดงถึงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเทคนิค FT-IR ของผ้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ สารละลายกรดสเตียริก และผ้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก	59
4.6 แสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของวิธีการและสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์และตามด้วยการเคลือบสารคู่ควบกรดสเตียริก	63
4.7 แสดงการศึกษาปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์และสภาวะที่ใช้ในการทดลอง	68
4.8 แสดงถึงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเทคนิค FT-IR ของสารละลายกรดไขมันชนิดต่าง ๆ	71
4.9 แสดงถึงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเทคนิค FT-IR ของผ้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และผ้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดไขมันชนิดต่าง ๆ.....	74
4.10 ผลการศึกษาผลของชนิดสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรอง	76
4.11 แสดงการศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของสารคู่ควบที่มีต่อค่ามุมสัมผัสของน้ำ.....	80
4.12 แสดงผล TGA ของวัสดุตัวกรองที่เคลือบด้วยผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 แสดงผล TGA ของวัสดุตัวกรองที่เคลือบด้วยผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์และทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยกรดสเตียริก	83
4.14 แสดงผลการทดสอบการกรองแยกน้ำมันชนิดต่าง ๆ โดยใช้ผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนด้วยการเคลือบด้วยกรดสเตียริก	86



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและพื้นผิวที่มีความชอบน้ำ และ มีความไม่ชอบน้ำ	4
2.2 รูปแสดงลักษณะของหยดของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งโดยมีค่ามุมสัมผัสต่างๆ	6
2.3 เป็นภาพถ่ายแสดงลักษณะของหยดน้ำที่กลิ้งอยู่บนใบบัว.....	6
2.4 ภาพแสดงโครงสร้างในระดับไมโคร-นาโนเมตรบนพื้นผิวของใบบัวกับสิ่งสกปรก.....	7
2.5 แสดงบริเวณพื้นผิวของใบบัวที่มีขรุขระทำให้แรงยึดเกาะของสิ่งสกปรกมีน้อยมากทำให้หยดน้ำสามารถดึงสิ่งสกปรกออก	7
2.6 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้หลักการของวัสดุที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ (self-cleaning) ก) รูปแสดงรถยนต์ ที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ ข) กระจกที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ ค) และ ง) เป็นการเคลือบฟิล์มที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำลงบนพื้นผิววัสดุ เพื่อให้วัสดุเหล่านี้สามารถทำความสะอาดตัวเองได้.....	8
2.7 แสดงการเตรียมผ้าฝ้ายที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนวด โดยการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และตามด้วยกรดสเตียริก	9
2.8 แสดงลักษณะของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าฝ้ายที่มีลักษณะแตกต่างกัน (a) ผ้าฝ้ายธรรมชาติ (b) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ (c) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก (d) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก และ (e) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์สเตียเรต	10
2.9 แสดงภาพถ่ายลักษณะของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าฝ้าย (a) ผ้าฝ้ายธรรมชาติ (b) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก (c) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ (d) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์สเตียเรต	11
2.10 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของผ้าฝ้ายที่กำลังขยายแตกต่างกัน (a และ b) ผ้าฝ้ายธรรมชาติ (c และ d) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก และ (e และ f) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์สเตียเรต ภาพ (a c และ d) ใช้กำลังขยาย 10 เท่า ส่วน (b d และ f) ใช้กำลังขยาย 20 เท่า	11
2.11 แสดงภาพถ่าย FE-SEM ของผ้าฝ้าย (a) และ (b) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ (c) และ (d) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก โดยภาพ (b) และ (d) มีกำลังขยายที่สูงกว่าภาพ (a) และ (b).....	12
2.12 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (SEM) โดยถ่ายมุมมองที่ 45 องศาของชั้นฟิล์มซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมจากซิงค์คลอไรด์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (a) 5 และ (b) 0.5 มิลลิโมล	13

สารบัญรูปรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.13 แสดงโครงสร้างและการเรียงตัวของสารอินทรีย์คู่ควบต่างชนิดกัน (a) กรดสเตียริก (b) กรด-เอลาอิดิก และ (c) กรดโอเลอิก บนพื้นผิวซิงค์ออกไซด์	15
2.14 แสดงรูปรูปภาพสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกความเข้มข้น 2 มิลลิโมล.....	16
2.15 แสดงรูปรูปภาพสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกความเข้มข้น 8 มิลลิโมล.....	16
2.16 แสดงรูปรูปภาพสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกความเข้มข้น 10 มิลลิโมล.....	17
2.17 แสดงรูปรูปภาพความมัมสัมผัสน้ำของซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกความเข้มข้นแตกต่างกัน (a) 0 มิลลิโมล (b) 2 มิลลิโมล (c) 4 มิลลิโมล (d) 6 มิลลิโมล (e) 8 มิลลิโมล และ (f) 10 มิลลิโมล.....	17
2.18 แสดงกลไกของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงกับกรดสเตียริก.....	18
2.19 แสดงภาพลักษณะของหยดน้ำบนพื้นผิวชั้นฟิล์มอะลูมินาที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ	19
2.20 สเปกตรารัศมีอินฟราเรดของผงอะลูมินาเจลหลังจากผ่านการปรับปรุงดังนี้ (a) จุ่มลงในน้ำเดือด (b) เคลือบด้วยพอลิเอทิลีนเอไมด์ (PEI) และ (c) เคลือบด้วยกรดสเตียริก	20
2.21 แสดงถึงกลไกการเกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวฟิล์มอะลูมินา	21
2.22 กระบวนการโซล-เจลและผลิตภัณฑ์ที่ได้ในรูปแบบต่าง ๆ	22
2.23 แสดงโครงสร้างทางเคมีของซิงค์ออกไซด์	23
2.24 แสดงโครงสร้างผลึกของซิงค์ออกไซด์	24
2.25 แสดงโครงสร้างทางเคมีของซิงค์ไฮดรอกไซด์	25
2.26 แสดงโครงสร้างทั่วไปของกรดไขมัน	25
2.27 แสดงความแตกต่างของโครงสร้างระหว่าง กรดไขมันไม่อิ่มตัว กับ กรดไขมันอิ่มตัว	26
2.28 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสารคู่ควบกรดออกตะโนอิก (octanoic acid; $C_8H_{16}O_2$).....	26
2.29 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสารคู่ควบกรดลอริก (lauric acid; $C_{12}H_{24}O_2$).....	27
2.30 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสารคู่ควบกรดสเตียริก (stearic acid; $C_{18}H_{36}O_2$)	27
2.31 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสารคู่ควบกรดโอเลอิก (oleic acid; $C_{18}H_{34}O_2$).....	28
2.32 แสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผ้าฝ้าย	29
2.33 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้าย	29

สารบัญรูปร่างภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงแผนภาพการเตรียมผิวผ้าตัวกรอง.....	32
3.2 แสดงแผนภาพกระบวนการเคลือบผ้าโดยการใช้ผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์	33
3.3 แผนภาพแสดงกระบวนการเคลือบผ้าโดยการใช้สารละลายโซลของซิงค์ออกไซด์.....	34
3.4 แสดงแผนภาพการเคลือบผ้าตัวกรองด้วยสารคั่วควบ.....	35
3.5 แสดงแผนภาพการเตรียมผ้าตัวกรองสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรอง	37
3.6 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles; WCAs).....	41
3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM)	42
3.8 เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR)	43
3.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผลึก	44
3.10 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffractometer; XRD)	44
3.11 แสดงเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (thermogravimetric Analyzer; TGA)	45
4.1 แสดงภาพสเปกตรัมของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับ a) โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ b) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์.....	47
4.2 แสดงผล XRD ของผงอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	49
4.3 แสดงการสลายตัวทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-900 องศาเซลเซียส ของผงอนุภาคที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์	50
4.4 แสดงภาพ SEM ของผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับ a) โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ b) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (บน) และ 10,000 เท่า (ล่าง).....	52
4.5 แสดงภาพ SEM-EDS mapping ร้อยละโดยน้ำหนักและอะตอมของธาตุออกซิเจนและซิงค์ของผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์	53
4.6 แสดง SEM-EDS สเปกตรัมการกระจายตัวของธาตุและร้อยละโดยน้ำหนักและอะตอมของธาตุออกซิเจนและซิงค์ของผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	54
4.7 แสดงภาพถ่าย SEM ของผ้าที่เคลือบด้วยผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่กำลังขยาย คือ a) 1000 เท่า และ b) 5000 เท่า.....	55
4.8 แสดงภาพถ่าย SEM ของผ้าที่เคลือบด้วยผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ที่กำลังขยาย คือ a) 1000 เท่า และ b) 5000 เท่า.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงภาพถ่าย SEM ของผ้าที่เคลือบโดยการใช้น้ำสารละลายโซลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่กำลังขยาย คือ a) 1000 เท่า และ b) 5000 เท่า.....	56
4.10 แสดงภาพถ่าย SEM ของผ้าที่เคลือบโดยการใช้น้ำสารละลายโซลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ที่กำลังขยาย คือ a) 1000 เท่า และ b) 5000 เท่า.....	56
4.11 แสดงภาพ FT-IR ของผ้าตัวกรองที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วย a) อนุภาคซิงค์ออกไซด์ b) สารละลายกรดสเตียริก และ c) ผ้าเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก.....	58
4.12 แสดงผล XRD ของผงที่เคลือบบนผ้าตัวกรองที่มีการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก	60
4.13 แสดงโครงสร้างของผ้าตัวกรองที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก	61
4.14 แสดงภาพ SEM ผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วย a) กรดสเตียริก b) ผง ZnO สังเคราะห์จาก NaOH c) ผง ZnO สังเคราะห์จาก NH ₄ OH d) สารละลายโซลของ ZnO สังเคราะห์จาก NaOH และ e) สารละลายโซลของ ZnO สังเคราะห์จาก NH ₄ OH และทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเคลือบสารคู่ควบกรดสเตียริก ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	62
4.15 แสดงภาพหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าตัวกรองที่เตรียมได้จากการใช้สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์และวิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองที่แตกต่างกัน.....	63
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสของน้ำและวิธีการที่ใช้ในการเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ลงบนพื้นผิวผ้าตัวกรอง.....	64
4.17 แสดงภาพ SEM ของผ้าตัวกรองที่มีอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวผ้าตัวกรองที่ปริมาณแตกต่างกัน a) 0.005 b) 0.01 c) 0.02 d) 0.03 และ e) 0.04 กรัม/มิลลิลิตร กำลังขยาย 1000 เท่า.....	65
4.18 (มีต่อ) แสดงภาพ SEM ของผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยกรดสเตียริกที่มีซิงค์ออกไซด์กระจายตัวที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ a) 0.005 b) 0.01 c) 0.02 d) 0.03 และ e) 0.04 กรัม/มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 500 (ซ้าย) และ 1000 (ขวา) เท่า.....	66
4.19 แสดงภาพถ่ายหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์โดยที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ a) 0.005 b) 0.01 c) 0.02 d) 0.03 และ e) 0.04 กรัม/มิลลิลิตร และทำการปรับปรุงพื้นผิวโดยการเคลือบด้วยกรดสเตียริก.....	68

สารบัญรูปลูกภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามูสัมผัสของน้ำและปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ใช้เคลือบลงบนพื้นผิวผ้าตัวกรอง	69
4.21 แสดงภาพสเปกตรัมของสารละลายกรดไขมันชนิดต่าง ๆ.....	70
4.22 แสดงภาพสเปกตรัมของผ้าตัวกรองที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และกรดไขมันชนิดต่าง ๆ.....	73
4.23 แสดงภาพโครงสร้างบนพื้นผิวผ้าของ a) ซิงค์ออกตะโนเอต b) ซิงค์ลอเรต c) ซิงค์สเตียเรต และ d) ซิงค์โอเลเอต	74
4.24 ภาพ SEM ของผ้าตัวกรองที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบชนิดต่าง ๆ a) กรดออกตะโนอิก b) กรดลอริก c) กรดสเตียริก และ d) กรดโอเลอิก ที่กำลังขยาย 300 เท่า	75
4.25 แสดงรูปหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าตัวกรองที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบประเภทกรดไขมันชนิดต่าง ๆ a) กรดออกตะโนอิก b) กรดลอริก c) กรดสเตียริก และ d) กรดโอเลอิก	76
4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามูสัมผัสของน้ำบนพื้นผิวผ้ากับสารคู่ควบชนิดต่าง ๆ.....	77
4.27 แสดงภาพ SEM รูปร่างของกรดสเตียริกที่ปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ a) 0.01 b) 0.02 c) 0.03 d) 0.04 และ e) 0.05 M ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	79
4.28 แสดงภาพถ่ายของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าตัวกรองที่ทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ a) 0.01 b) 0.02 c) 0.03 d) 0.04 และ e) 0.05 M.....	80
4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามูสัมผัสของน้ำและความเข้มข้นของกรดสเตียริกที่ปรับปรุงบนพื้นผิวผ้าตัวกรอง	81
4.30 แสดงการสลายตัวทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-900 องศาเซลเซียส ของผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์	82
4.31 แสดงการสลายตัวทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-900 องศาเซลเซียส ผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก	84
4.32 แสดง a) วิธีการกรองแยกน้ำมันชนิดต่าง ๆ และน้ำ b) ของผสมระหว่างน้ำมันและน้ำ c) ปริมาณน้ำมันและน้ำหลังการกรอง	85
4.33 แสดงรูปหยดน้ำชนิดต่าง ๆ บนผ้าตัวกรอง a) กาแฟ b) น้ำหมึก c) น้ำมัน d) น้ำส้ม e) ชาเขียว และ f) เหล้า.....	85
4.34 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองแยกน้ำมันชนิดต่าง ๆ จากน้ำ	87
4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการกรองกับประสิทธิภาพในการกรองและค่ามูสัมผัสของน้ำ.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันพื้นที่เศรษฐกิจ เช่น กรุงเทพมหานคร ปริมณฑลและเขตอุตสาหกรรม จะพบปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนของน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้น โดยปัญหามลพิษทางน้ำที่พบบ่อย คือ การปนเปื้อนของคราบน้ำมันซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากน้ำทิ้งจากการใช้งานของคนในชุมชนและจากภาคอุตสาหกรรม หรือมาจากการรั่วไหลของน้ำมันที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการคมนาคมทางน้ำ ปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนของน้ำมันส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ ทำให้พืชและสัตว์น้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำได้และมนุษย์เองไม่สามารถนำน้ำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ ด้วยเหตุนี้โครงการพิเศษนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาและพัฒนาผ้าตัวกรองที่สามารถแยกน้ำมันออกจากน้ำได้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการลดมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนของน้ำมัน โดยได้ศึกษาการพัฒนาผ้าตัวกรองให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีการปรับปรุงให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยสารคู่ควบ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการกรองแยกน้ำมันออกจากน้ำได้ โดยเริ่มจากการเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide; ZnO) ลงบนผิวผ้าแล้วทำการปรับปรุงพื้นผิวให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยการเคลือบด้วยสารคู่ควบ (coupling agent) จำพวกกรดไขมัน (fatty acid) ที่เป็นไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวลงบนผิวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ จากนั้นนำผ้าตัวกรองที่ได้ไปทำการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดเป็นอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของสารคู่ควบเกาะอยู่ [4] โดยสมบัติความไม่ชอบน้ำของผ้าตัวกรองที่เตรียมขึ้นนี้เกิดจากการที่สารคู่ควบที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์มีอนุภาคขนาดเล็กในขนาดระดับไมโครเมตรหรือนาโนเมตร ทำให้ได้เป็นพื้นผิวที่มีความขรุขระสูงจึงแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำขึ้น โดยสมบัติความไม่ชอบน้ำของผ้าตัวกรองนั้นสามารถตรวจสอบได้จากการที่วัสดุมีค่ามุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles; WCAs) มีค่ามากกว่า 150 องศา ซึ่งเป็นผลมาจากการที่วัสดุมีพื้นผิวที่มีความขรุขระและมีพลังงานพื้นผิววัสดุที่ต่ำ (low surface energy) [7] จากการศึกษาพบว่าอนุภาคของซิงค์ออกไซด์นอกจากจะสามารถนำมาเคลือบบนพื้นผิวตัวกรองให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดแล้วยังมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเป็นวัสดุที่ปลอดภัยสำหรับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม [8]

โครงการพิเศษนี้ทำการพัฒนาผ้าตัวกรองให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยเริ่มจากการเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ลงบนผิวผ้า แล้วทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยการเคลือบสารคู่ควบชนิดต่าง ๆ คือ กรดสเตียริก (stearic acid) กรดออกตะโนอิก (octanoic acid) กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดลอริก (lauric acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ยาวลงบนพื้นผิวของผ้าตัวกรอง โดยการเลือกใช้สารคู่ควบในกลุ่มของกรดไขมัน เนื่องจากเป็นสารที่ไม่มีพิษจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีผลกระทบต่อเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคซิงค์-ออกไซด์และปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบคือวิธีโซล-เจล ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้ค่อนข้างง่าย มีราคาถูก มีประสิทธิภาพในการเคลือบสูง นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำของผ้าตัวกรอง คือ วิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองและสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์ ปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้นของสารคู่ควบ และชนิดของสารคู่ควบ เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในการพัฒนาผ้าตัวกรองให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพในการกรองที่สูง เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกรองแยกน้ำมันออกจากน้ำได้

1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

- 1) เพื่อศึกษาและทำการเตรียมผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนด้วยการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ และสารคู่ควบกรดไขมันชนิดต่าง ๆ
- 2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนอันประกอบไปด้วย วิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองและสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ ปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้นสารคู่ควบที่ใช้ และชนิดของสารคู่ควบที่ใช้
- 3) ศึกษาประสิทธิภาพในการกรองแยกน้ำมันออกจากน้ำของผ้าตัวกรองที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตโครงการ

- 1) เตรียมผ้าตัวกรองให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนด้วยการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ และสารคู่ควบกรดไขมันชนิดต่าง ๆ
- 2) ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน อันประกอบไปด้วย
 - 2.1) วิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองและสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH₄OH)
 - 2.2) ปริมาณของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ ที่ใช้ คือ 0.005 0.01 0.02 0.03 และ 0.04 กรัม ต่อเอทานอล 1 มิลลิลิตร (w/v)
 - 2.3) ชนิดของสารคู่ควบที่ใช้ คือ กรดออกเตโนอิก (octanoic acid) กรดลอริก (lauric acid) กรดสเตียริก (stearic acid) และกรดโอเลอิก (oleic acid)
 - 2.4) ความเข้มข้นสารคู่ควบที่ใช้ คือ 0.005 0.01 0.02 0.03 และ 0.04 โมลาร์
 - 2.5) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกรองของผ้าตัวกรองที่เตรียมได้ โดยศึกษาการกรองแยกของผสมระหว่างน้ำมันกับน้ำ โดยตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ คือ เฮกเซน คลอโรฟอร์ม น้ำมันดีเซล น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันหมู

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทบทวนเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง
- 2) เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี
- 3) สังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ใช้เคลือบบนผ้าตัวกรอง
- 4) เตรียมผ้าตัวกรองให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ
- 5) วิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles; WCAs)
- 6) วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM)
- 7) วิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (fourier transform infrared spectrometer; FT-IR)
- 8) วิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffract meter; XRD)
- 9) วิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบวัดแรงระหว่างอะตอม (scanning probe microscope; SPM)
- 10) ทดสอบประสิทธิภาพในการกรองแยกของผสมระหว่างน้ำมันกับน้ำของผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

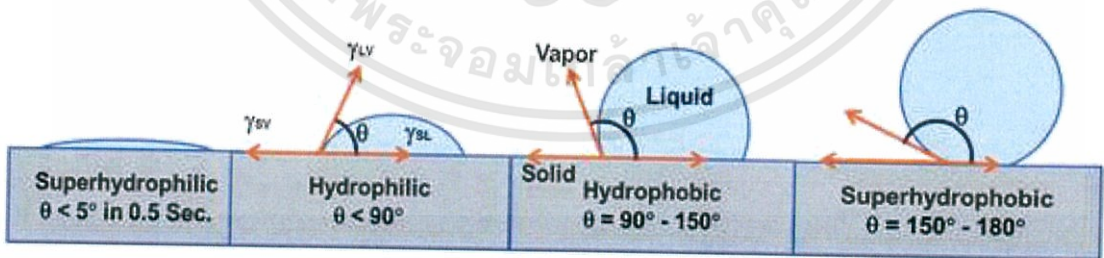
- 1) สามารถเตรียมผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ และสารคู่ควบ
- 2) สามารถนำผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้ในการกรองแยกของผสมระหว่างน้ำมันกับน้ำได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุ

ความชอบน้ำ (hydrophilicity) และความไม่ชอบน้ำวัสดุ (hydrophobicity) เป็นสมบัติเฉพาะของพื้นผิววัสดุมีค่าไม่เท่ากันในวัสดุแต่ละชนิด อธิบายโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะพื้นผิววัสดุกับการทำมุมของหยดน้ำ โดยวิธีการอย่างง่ายที่ใช้ในการบอกลักษณะของพื้นผิวว่ามีความชอบน้ำหรือไม่สังเกตได้จากรูปทรงของหยดน้ำ คือ หากหยดน้ำมีลักษณะค่อนข้างแบน ไม่โค้งงอ แสดงว่าพื้นผิววัสดุนั้นมีความชอบน้ำหรือเปียกน้ำได้ แต่ถ้าหากหยดน้ำมีลักษณะเป็นเม็ดกลมมน แสดงว่าผิววัสดุมีความไม่ชอบน้ำมากหรือเปียกน้ำได้ยาก ค่ามุมสัมผัสน้ำ (water contact angles; WCAs) สามารถเป็นตัวบอกความสัมพันธ์ของพื้นผิวและหยดน้ำ โดยวัสดุที่มีความชอบน้ำ (hydrophilic) จะมามีค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวน้อยกว่า 30 องศา และวัสดุที่มีความชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophilic) เป็นวัสดุที่พื้นผิวมีลักษณะดูดน้ำได้เป็นอย่างดี มีความชอบน้ำสูงจะมีค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวน้อยกว่า 10 องศา เมื่อค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวและหยดน้ำมีค่าน้อย จะทำให้หยดน้ำสามารถไหลไปบนพื้นผิวได้อย่างอิสระ ส่วนวัสดุที่มีความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จะมามีค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวตั้งแต่ 90 องศา ถึง 150 องศา ส่วนวัสดุที่มีความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic) ซึ่งเป็นวัสดุที่พื้นผิวมีลักษณะไม่ดูดน้ำ ไม่มีความเปียกจะมีค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวมากกว่า 150 องศาขึ้นไป โดยเมื่อมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่ามากทำให้หยดน้ำมีลักษณะเป็นทรงกลม กลิ้งไปมาบนพื้นผิว ดังนั้นน้ำและสิ่งสกปรกจึงไม่สามารถยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวได้ [9]



รูปที่ 2.1 ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและพื้นผิวที่มีความชอบน้ำ และ มีความไม่ชอบน้ำ [10]

2.1.1 ภาวะการเปียก (Wetting) และการวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angle measurement)

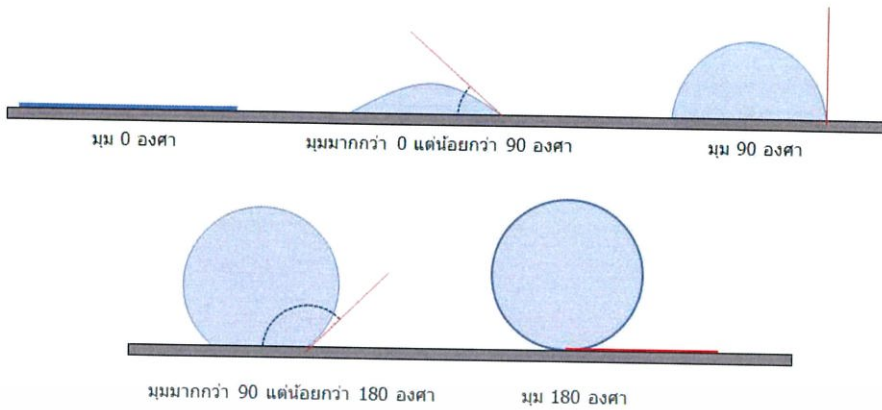
ภาวะการเปียก (wetting) คือ ความสามารถในการรักษาพื้นผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับของแข็ง [12] โดยจะเกี่ยวข้องกับแรงสองแรงหลัก ๆ ดังนี้

1. แรงเชื่อมแน่น (cohesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารชนิดเดียวกันซึ่งเป็นแรงที่พยายามทำให้โมเลกุลของของเหลวเกาะกลุ่มกันเป็นหยด
2. แรงยึดติด (adhesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารต่างชนิดกัน หมายถึงแรงระหว่างโมเลกุลของเหลวและของแข็งซึ่งเป็นแรงที่ตรงข้ามกับแรงเชื่อมแน่นที่เป็นแรงยึดเหนี่ยวสารชนิดเดียวกัน ดังนั้นแรงยึดติดจะพยายามทำให้หยดของของเหลวกระจายตัวออกจากกัน และกระจายแนบไปกับพื้นผิวของของแข็ง [2]

ถ้าพิจารณาหยดน้ำกับวัสดุชนิดหนึ่ง การที่หยดน้ำเกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็งได้จะต้องเกิดสภาพสมดุลระหว่างแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น ถ้าแรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นจะทำให้หยดน้ำแตกกระจายแนบติดกับพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็ง แต่ถ้าแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นหยดน้ำจะรวมตัวกันเป็นทรงกลมกลิ้งไปมาได้บนพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็งได้

นอกจากนี้เรายังใช้สภาพสมดุลระหว่างแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่นในการวัดภาวะการเปียกของวัสดุที่เรียกว่า มุมสัมผัส (contact angle) โดยมุมสัมผัสนี้ก็จะเป็นตัวบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวบนพื้นผิวของของแข็ง ค่ามุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว [11] และใช้ค่ามุมสัมผัสนี้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งภาวะการเปียกของวัสดุโดยมีเกณฑ์ ดังนี้

1. มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 0 องศา คือ มีภาวะการเปียกอย่างสมบูรณ์ หมายถึงแรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ เมื่อของเหลวถูกหยดลงบนพื้นผิวของแข็งจะแตกกระจายไปตามผิวของแข็งเป็นชั้นบาง ๆ คลุมอยู่บนพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้าง
2. มุมสัมผัสมีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศา คือ เกิดภาวะการเปียกได้ดี หมายถึงของเหลวจะกระจายไปบนผิวได้เป็นบริเวณกว้าง แต่ก็ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อยจากพื้นผิวของของแข็ง
3. มุมสัมผัสมีค่าตั้งแต่ 90 แต่ไม่ถึง 180 องศา คือ เกิดภาวะการเปียกที่พื้นผิวได้ยาก หมายถึงของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม มีเพียงบริเวณเล็ก ๆ ที่ฐานของของเหลวเท่านั้นที่ยังคงแตะกับพื้นผิวของของแข็ง
4. มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 180 องศา คือ ไม่มีภาวะการเปียกเกิดขึ้น หมายถึงแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ ของเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลม บริเวณที่ของเหลวแตะกับพื้นผิวของของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลม ซึ่งเล็กมากจนแทบจะเป็นจุด ดังนั้นของเหลวจึงสามารถกลิ้งไปมาบนพื้นผิวของของแข็งได้อย่างอิสระเหมือนลูกบอล [12]



รูปที่ 2.2 รูปแสดงลักษณะของหยดของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งโดยมีค่ามุมสัมผัสต่าง ๆ [12]

2.1.2 ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus effect)

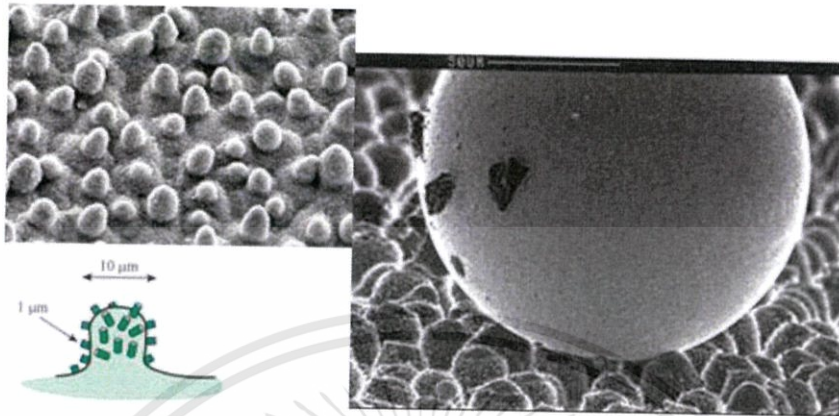
ในปัจจุบันมีการนำความรู้ที่ได้จากธรรมชาติมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างทางธรรมชาติที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจคือ ใบบัว พืชชนิดนี้ได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์จากลักษณะของน้ำที่สามารถกลิ้งอยู่บนใบบัวได้ ซึ่งลักษณะพิเศษนี้ทำให้ใบบัวนั้นมีสมบัติที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ (self-cleaning) [9]



รูปที่ 2.3 เป็นภาพถ่ายแสดงลักษณะของหยดน้ำที่กลิ้งอยู่บนใบบัว [9]

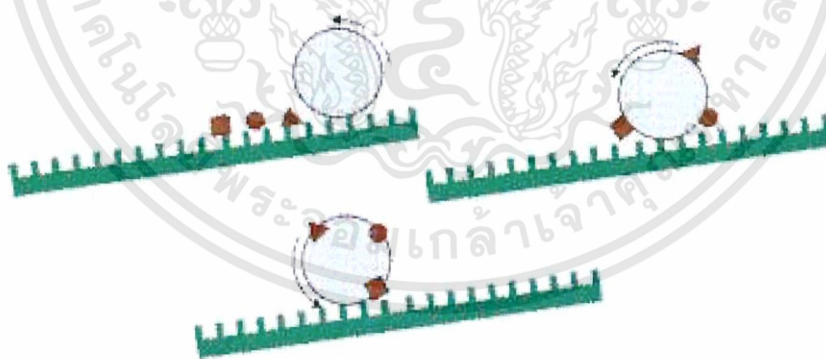
ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (lotus effect) เกิดจากโครงสร้างที่มีความขรุขระในระดับไมโครเมตรทั่วไปที่พื้นผิวของใบบัว (papillae) โดยจะมีลักษณะเป็นรูปกรวยคว่ำ มีขนาดกว้าง 10-15 ไมโครเมตร สูง 10-20 ไมโครเมตร และผิวที่มีความขรุขระเหล่านี้ยังมีสารคล้ายขี้ผึ้ง (wax) อนุภาคเล็ก ๆ ขนาดนาโนเมตรเคลือบอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ทำให้ที่พื้นผิวของใบบัวเกิดคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic) ขึ้น เมื่อมีน้ำหยดลงไปที่ผิวใบหยดน้ำจะกลิ้งอยู่บนผิวที่

มีความขรุขระนี้และกระเด็นออกไป ไม่สามารถเคลื่อนที่หรือซึมผ่านไปถึงชั้นผิวที่แท้จริงได้ จึงทำให้ใบบัวไม่เปียกน้ำ [13]



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงโครงสร้างในระดับไมโคร-นาโนเมตรบนพื้นผิวของใบบัวกับสิ่งสกปรก [14]

โครงสร้างเชิงกายภาพของพื้นผิวใบบัวที่มีความขรุขระในระดับไมโครเมตรนี้จะช่วยในการลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างใบบัวกับสิ่งสกปรก ทำให้แรงยึดเกาะของสิ่งสกปรกมีน้อยมากหยดน้ำจึงสามารถถึงสิ่งสกปรกออกไปได้อย่างง่าย ดังนั้นหยดน้ำ เศษผงหรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ จึงไม่สามารถเกาะอยู่บนผิวของใบบัวได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงบริเวณพื้นผิวของใบบัวที่มีขรุขระทำให้แรงยึดเกาะของสิ่งสกปรกมีน้อยมากทำให้หยดน้ำสามารถถึงสิ่งสกปรกออกไปได้อย่างง่าย [15]

2.1.3 การประยุกต์ใช้งานของวัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ

ปัจจุบันได้มีการนำความรู้ในเรื่องการทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) มาศึกษาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ที่สามารถใช้ได้จริงในชีวิตประจำวันเพื่อเพิ่มความสะอาดสบาย ลดความเสี่ยงในการเกิดอันตราย ประหยัดเวลาประหยัดพลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เช่น กระจก Solar Clean นวัตกรรมกระจกที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ [12] รถยนต์ Nissan Leaf รถยนต์ที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้โดยการเคลือบด้วยสีที่สามารถทำความสะอาดตัวเองที่มีชื่อว่า “Ultra-Ever Dry” สามารถป้องกันรอยที่เกิดจากน้ำฝน และโคลนที่กระเด็นใส่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [16] และการเคลือบฟิล์มที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำลงบน เสื้อผ้า ผืนผ้า รถยนต์ รองเท้า เพื่อทำให้วัสดุเหล่านี้สามารถทำความสะอาดตัวเองได้และปราศจากคราบสกปรก [17]

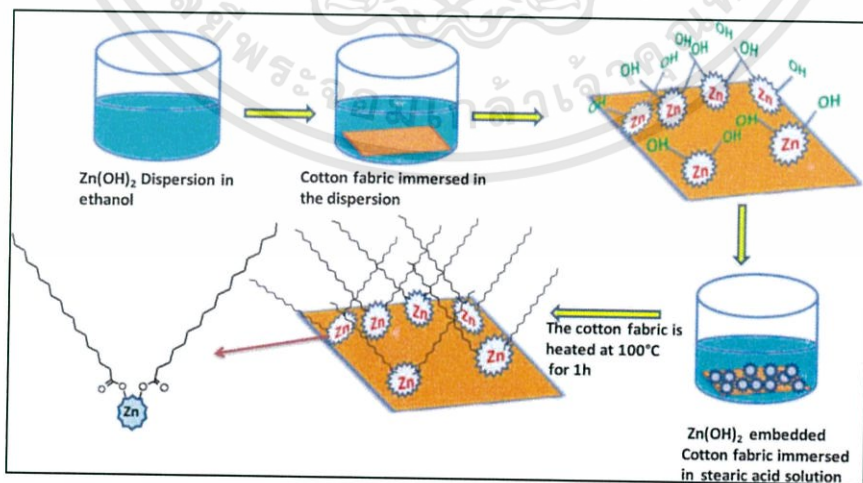


รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้หลักการของวัสดุที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ (self-cleaning) ก) รูปแสดงรถยนต์ที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ [16] ข) กระจกที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ [12] ค) และ ง) เป็นการเคลือบฟิล์มที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำลงบนพื้นผิววัสดุ เพื่อให้วัสดุเหล่านี้สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ [17]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การเตรียมผ้าฝ้ายที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้ง่ายและมีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยวิธีการเคมีเปียก (A simple cost-effective and eco-friendly wet chemical process for the fabrication of superhydrophobic cotton fabrics)

ในงานวิจัยของ Edna Richard และคณะ [4] ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวของผ้าฝ้ายให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยวิธีเคมีเปียก (wet chemical process) ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและใช้สารเคมีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้ใช้ซิงค์ไฮดรอกไซด์เป็นสารตั้งต้น ในขั้นแรกเริ่มจากการสังเคราะห์ซิงค์ไฮดรอกไซด์ ($Zn(OH)_2$) โดยใช้สารละลายซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมกับโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตรในขวดก้นกลม โดยให้อุณหภูมิผ่านอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนแล้วล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลก่อนนำไปทำให้แห้งด้วยการอบ จะได้สารซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว จากนั้นชั่งผงซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ในขั้นแรกมา 0.1 กรัม ละลายในเอทานอล 10 มิลลิลิตร ผ่านคลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที เพื่อทำให้เกิดเป็นอนุภาคคอลลอยด์ จากนั้นเทอนุภาคคอลลอยด์ที่ได้ลงบนผ้าฝ้ายขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว ที่ทำความสะอาดแล้ว แช่ผ้าฝ้ายทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ผ้าฝ้ายถูกเคลือบด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ จากนั้นจะทำการเคลือบผ้าที่ได้ด้วยสารละลายกรดสเตียริก ($C_{18}H_{36}O_2$) 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที ทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ผ้าที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ดังแสดงในรูปที่ 2.7

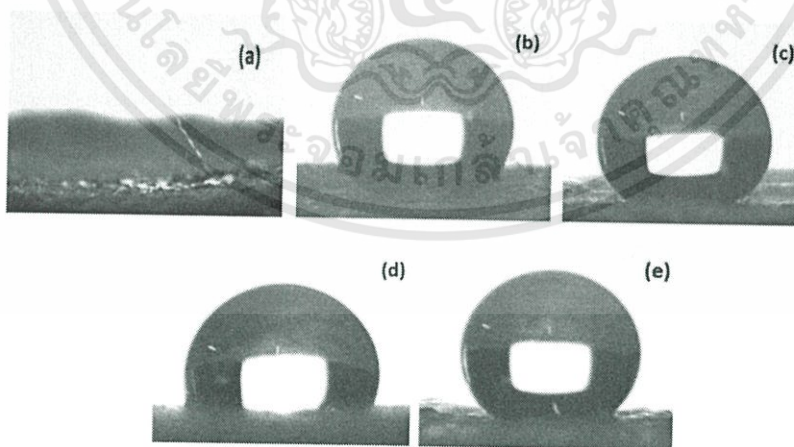


รูปที่ 2.7 แสดงการเตรียมผ้าฝ้ายที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยการเคลือบด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์และตามด้วยกรดสเตียริก [4]

จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่ามุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles : WCAs) โดยวัดเปรียบเทียบกันระหว่างพื้นผิวของผ้าฝ้ายต่างกัน 5 แบบ คือ ผ้าฝ้ายธรรมชาติ (untreated) ผ้าฝ้ายปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ (zinc hydroxide treated) ผ้าฝ้ายปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก (zinc hydroxide treated + stearic acid modified) ผ้าฝ้ายปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก (stearic acid treated) และผ้าฝ้ายปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์สเตียเรต (zinc stearate treated) โดยแสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำดังแสดงในตารางที่ 2.1 และแสดงลักษณะของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าฝ้ายดังแสดงในรูปที่ 2.8 และ 2.9 โดยพบว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริกมีค่ามุมสัมผัสของน้ำ สูงสุดอยู่ที่ 151 ± 3 องศา และค่ามุมเอียง (sliding angle) 7 ± 2 องศา ซึ่งแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

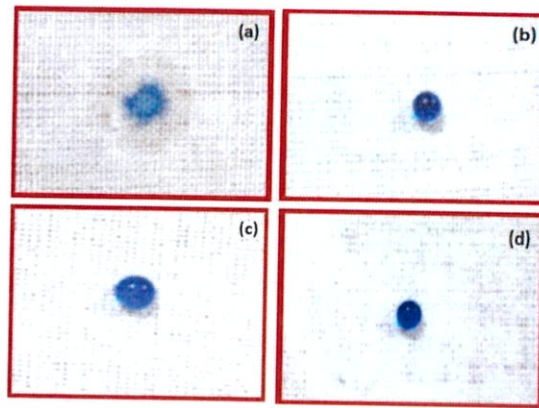
ตารางที่ 2.1 แสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำและมุมเอียงบนผ้าฝ้ายที่มีการปรับปรุงลักษณะพื้นผิวที่ต่างกักัน [4]

Sample	WCA (°)	WSA (°)
Untreated	<10	-
Zinc hydroxide treated	142 ± 5	20 ± 5
Zinc hydroxide treated + stearic acid modified	151 ± 3	7 ± 2
Stearic acid treated	106 ± 5	>45
Zinc stearate treated	140 ± 3	25 ± 5



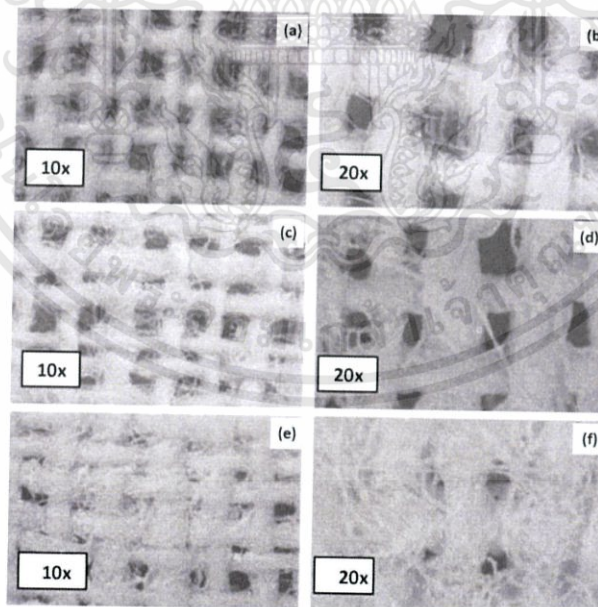
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าฝ้าย (a) ผ้าฝ้ายธรรมชาติ (b) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ (c) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก (d) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก และ (e) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์สเตียเรต [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



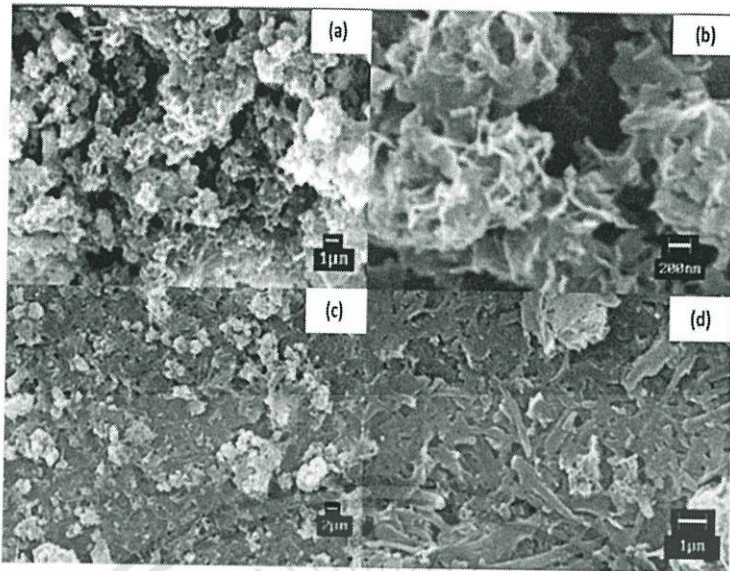
รูปที่ 2.9 แสดงภาพถ่ายลักษณะของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าฝ้าย (a) ผ้าฝ้ายธรรมชาติ (b) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก (c) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์-ไฮดรอกไซด์ (d) ผ้าฝ้ายปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์สเตียเรต [4]

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (optical microscope) พบว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์และกรดสเตียริกมีลักษณะของเส้นใยคล้ายกับเส้นใยผ้าฝ้ายธรรมชาติเป็นเพียงชั้นเคลือบแบบบาง และพบว่าในตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์สเตียเรต เกิดชั้นเคลือบแบบหนากว่าดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของผ้าฝ้ายที่กำลังขยายแตกต่างกัน (a) และ (b) ผ้าฝ้ายธรรมชาติ (c) และ (d) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก และ (e) และ (f) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์สเตียเรต ภาพ (a) (c) และ (d) ใช้กำลังขยาย 10 เท่า ส่วน (b) (d) และ (f) ใช้กำลังขยาย 20 เท่า [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

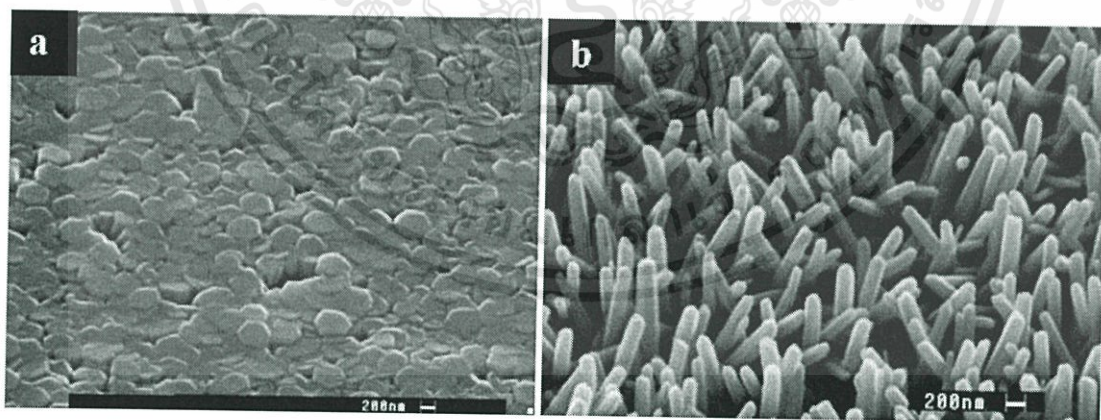


รูปที่ 2.11 แสดงภาพถ่าย FE-SEM ของผ้าฝ้าย (a) และ (b) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ (c) และ (d) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก โดยภาพ (b) และ (d) มีกำลังขยายที่สูงกว่าภาพ (a) และ (b) [4]

จากการตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีกำลังขยายสูง (field emission scanning electron microscope; FE-SEM) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 พบว่าชั้นเคลือบของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก ที่เกิดขึ้นมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเกล็ดมีขนาดอยู่ในระดับไมโครเมตรและเรียงตัวซ้อนทับกันด้วยความหนาอยู่ในระดับนาโนเมตร และเมื่อชั้นเคลือบมีความหนามากขึ้นจะส่งผลต่อคามัมสมัผัสของน้ำที่ลดต่ำลง ทำให้เห็นได้ว่าความหนาของชั้นเคลือบส่งผลโดยตรงกับคามัมสมัผัสของน้ำซึ่งใช้อธิบายความไม่ชอบน้ำของผ้าฝ้าย รวมถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นได้ว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ไฮดรอกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริกเป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดเหมาะสมแก่การทำวัสดุตัวกรองเนื่องจากที่มีวิธีการเตรียมที่ง่ายและสารเคมีที่ใช้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.2 ผลกระทบของโครงสร้างนาโนแบบแท่งและการเรียงตัวของชั้นโครงสร้างกรดไขมันที่มีผลกับความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของพื้นผิวซิงค์ออกไซด์ (Effects of nanorod structure and conformation of fatty acid self-assembled layers on superhydrophobicity of zinc oxide surface)

งานวิจัยของ Chantal Badre และคณะ [3] ได้ทำการเตรียมชั้นฟิล์มของซิงค์ออกไซด์ และทำการเคลือบสารอินทรีย์คู่ควบ (organic coupling agent) ต่างชนิดกันคือ กรดสเตียริก (stearic acid) กรดโอเลอิก (oleic acid) และ กรดเอลาอิดิก (elaidic acid) โดยใช้วิธีคาโทดิก อิเล็กโทรดีโพสิชัน (cathodic electrodeposition) โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ที่มีความเข้มข้น 5 และ 0.5 มิลลิโมล และใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ซึ่งจะทำให้เกิดชั้นฟิล์มของซิงค์ออกไซด์บนพื้นผิวของกระจก จากนั้นทำการละลายสารอินทรีย์คู่ควบต่างชนิดกันในเอทานอลโดยเตรียมให้มีความเข้มข้น 5 มิลลิโมล แล้วทำการเคลือบบนพื้นผิวของกระจกที่มีซิงค์ออกไซด์เคลือบอยู่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างชั้นเคลือบด้วยเอทานอลและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากการศึกษาการเตรียมซิงค์ออกไซด์โดยใช้ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ที่ต่างกันคือ 5 และ 0.5 มิลลิโมล พบว่าทำให้เกิดโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน โดยที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลของซิงค์คลอไรด์ทำให้ได้รูปร่างของซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นหกเหลี่ยมเรียงตัวซ้อนกันอย่างหนาแน่นและที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลของซิงค์คลอไรด์จะทำให้ได้รูปร่างของซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นแท่งนาโน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์มีผลต่อรูปร่างของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้



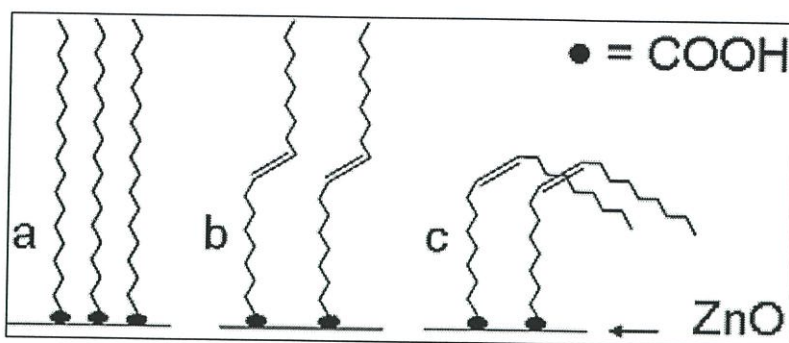
รูปที่ 2.12 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (SEM) โดยถ่ายมุมมองภาพที่ 45 องศาของชั้นฟิล์มซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมจากซิงค์คลอไรด์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (a) 5 และ (b) 0.5 มิลลิโมล [3]

จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่ามุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles : WCAs) ของตัวอย่างฟิล์มซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมจากซิงค์คลอไรด์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน และการเคลือบด้วยสารอินทรีย์คู่ควบต่างชนิดกัน แสดงผลที่ได้ดังตารางที่ 2.2 พบว่าก่อนการเคลือบด้วยสารอินทรีย์คู่ควบ ฟิล์มของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมจากซิงค์คลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิโมล (รูปร่างหกเหลี่ยม) ให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ 80 องศา ซึ่งมีค่าสูงกว่าฟิล์มของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมจากซิงค์คลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมล (รูปร่างแท่งนาโน) คือ 2 องศา แต่เมื่อทำการเคลือบด้วยสารอินทรีย์คู่ควบแล้วพบว่าฟิล์มของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมจากซิงค์คลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมล ให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่สูงกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ซิงค์ออกไซด์มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่งนาโน

ตารางที่ 2.2 แสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำ (WCAs) ของชั้นฟิล์ม ZnO ที่เตรียมจาก ZnCl₂ ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันและชั้นฟิล์มที่เคลือบด้วยสารคู่ควบอินทรีย์ต่างชนิดกัน [3]

[ZnO] (mM)	As-prepared (°)	Stearic acid (°)	Elaidic acid (°)	Oleic acid (°)
0.5	2	167	160	140
5	80	127	123	120

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของการใช้สารอินทรีย์คู่ควบต่างชนิดกัน โดยเปรียบเทียบระหว่างสารอินทรีย์อิ่มตัวและสารอินทรีย์ไม่อิ่มตัวคือกรดสเตียริกกับกรดเอลาอิดิกและกรดโอเลอิก และการเปรียบเทียบระหว่างสารที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่มีโครงสร้างต่างกัน คือ กรดเอลาอิดิกที่มีโครงสร้างชนิดทรานส์ (trans) กับกรดโอเลอิกที่มีโครงสร้างชนิดซิส (cis) รูปที่ 2.13 แสดงความแตกต่างของโครงสร้างของสารอินทรีย์คู่ควบต่างชนิดกัน พบว่าการเคลือบสารอินทรีย์คู่ควบลงบนพื้นผิวซิงค์ออกไซด์จะทำให้ได้พื้นผิวที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่โมเลกุลของน้ำหยดลงบนพื้นผิวของวัสดุเกิดการผลักโมเลกุลของน้ำที่มีขั้วและสารอินทรีย์คู่ควบที่ไม่มีขั้ว



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างและการเรียงตัวของสารอินทรีย์คู่ควบต่างชนิดกัน (a) กรดสเตียริก (b) กรดเอลาอิดิก และ (c) กรดโอเลอิก บนพื้นผิวซิงค์ออกไซด์ [3]

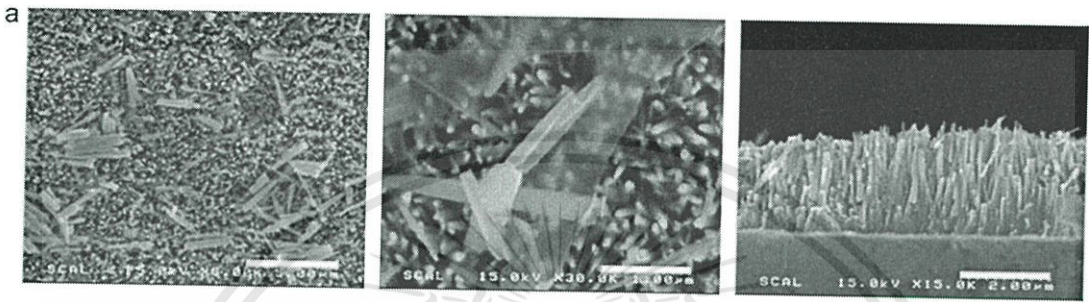
นอกจากนั้นยังพบว่าโครงสร้างที่แตกต่างกันของสารอินทรีย์คู่ควบส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสของน้ำ ดังผลที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยพบว่า การใช้กรดสเตียริกให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำเท่ากับ 167 องศา ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับสารอินทรีย์ชนิดอื่น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่กรดสเตียริกแสดงความเป็นขั้วที่น้อยที่สุดและมีความเกาะเกาะของสายโซ่มากให้ค่ามุมสัมผัสที่มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลของการใช้กรดเอลาอิดิกที่มีโครงสร้างชนิดทรานส์และกรดโอเลอิกที่มีโครงสร้างชนิดซิส (ดูจากโครงสร้างในรูปที่ 2.13) พบว่าโครงสร้างชนิดทรานส์มีความเกาะเกาะมากกว่าโครงสร้างชนิดซิส ส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของกรดเอลาอิดิกมากกว่ากรดโอเลอิก แต่ยังให้ค่าที่น้อยกว่ากรดสเตียริกซึ่งมีขั้วที่น้อยที่สุดและมีความเกาะเกาะของโครงสร้างที่มากที่สุด

2.2.3 การศึกษาพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำและมีลักษณะเป็นแท่งนาโน โดยปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก (Superhydrophobic surface decorated with vertical ZnO nanorods modified by stearic acid)

งานวิจัยของ Annaso B. Guarv และคณะ [1] ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ให้มีลักษณะเป็นแท่งนาโนและปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกบนพื้นผิวกระจก เพื่อให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน โดยก่อนที่จะเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริกนั้นจะมีการทำความสะอาดกระจกด้วยการแช่ในกรดโครมิกเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อชะล้างสิ่งสกปรกและนำมาทำความสะอาดโดยการผ่านคลื่นอัลตราโซนิกกับน้ำเป็นเวลา 15 นาที ต่อมานำมาล้างด้วยน้ำและอะซิโตนอย่างต่อเนื่องเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบนพื้นผิวของกระจก จากนั้นนำแผ่นกระจกไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเคลือบซิงค์ออกไซด์ลงบนกระจกทางงานวิจัยนี้ต้องการให้ซิงค์ออกไซด์มีลักษณะเป็นแท่งนาโน จึงเตรียมผสมสารละลายที่เป็นของเหลวในอัตราส่วน 1:1 ระหว่าง ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับเฮกซะเมทิลซีนเตตระเอมีนโดยใช้แอมโมเนียเป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำกระจกมาเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ในสารละลาย แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปจุ่มในน้ำเพื่อกำจัดสิ่งตกค้างที่

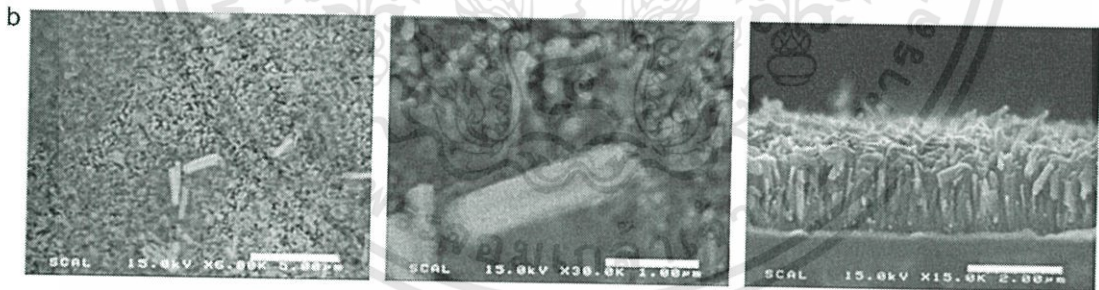
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เกิดปฏิกิริยาและทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง รูปที่ 2.14 2.15 และ 2.16 แสดงภาพ SEM ของพื้นผิวซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นแท่งนาโน ปรับปรุงด้วยกรดสแตยริกที่ความเข้มข้น 2 8 และ 10 มิลลิโมล ตามลำดับ จากภาพ SEM ของพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยกรดสแตยริกความเข้มข้น 2 มิลลิโมล ดังแสดงในรูปที่ 2.14 พบว่ามีซิงค์ออกไซด์ที่ไม่สม่ำเสมอและมีบางส่วนที่ไม่ได้ถูกเคลือบด้วยกรดสแตยริก



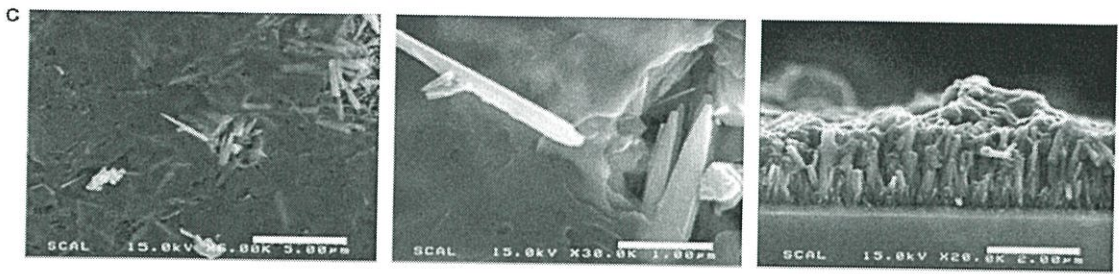
รูปที่ 2.14 แสดงรูปภาพสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยกรดสแตยริกความเข้มข้น 2 มิลลิโมล [1]

เมื่อทำการการปรับปรุงพื้นผิวซิงค์ออกไซด์โดยใช้กรดสแตยริกความเข้มข้น 8 มิลลิโมลจะเห็นได้ว่าชั้นของกรดสแตยริกกระจายไปทั่วพื้นผิวซิงค์ออกไซด์อย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.15



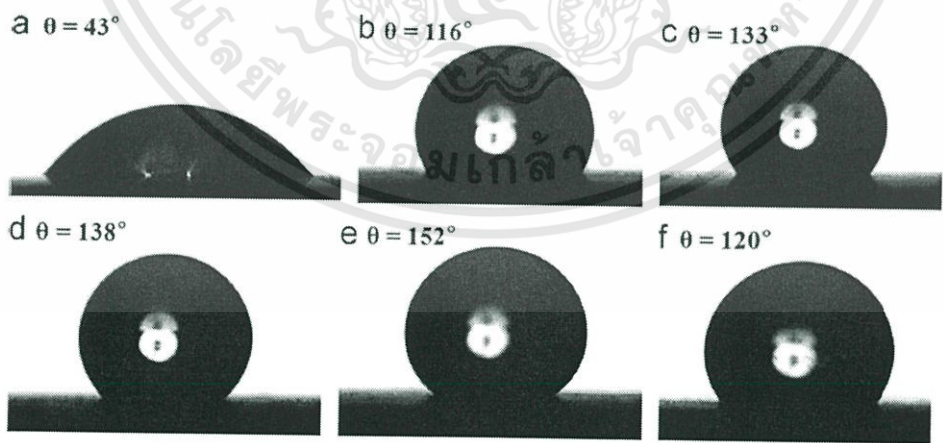
รูปที่ 2.15 แสดงรูปภาพสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยกรดสแตยริกความเข้มข้น 8 มิลลิโมล [1]

และเมื่อใช้กรดสแตยริกความเข้มข้น 10 มิลลิโมล ภาพที่เกิดขึ้นจะเห็นว่าชั้นเคลือบของกรดสแตยริก กระจายไปทั่วทั้งพื้นผิวซิงค์ออกไซด์ที่มีความหนาแน่นมาก จึงปกคลุมแท่งนาโนของซิงค์ออกไซด์เกือบทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.16



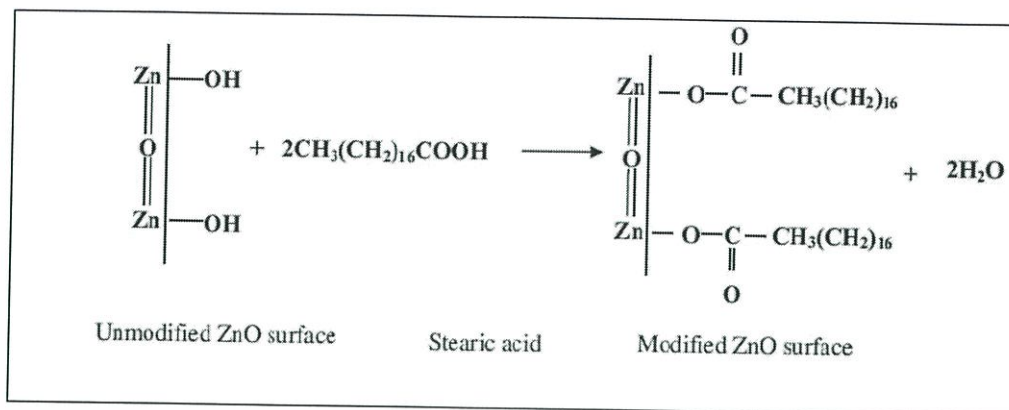
รูปที่ 2.16 แสดงรูปภาพสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกความเข้มข้น 10 มิลลิโมล [1]

จากการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำโดยการหยดน้ำที่มีปริมาตร 10 ไมโครลิตรลงบนกระจกที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นแท่งนาโน ผลดังแสดงในรูปที่ 2.17 พบว่าพื้นผิวซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นแท่งนาโนที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงจะมีคุณสมบัติความชอบน้ำโดยมีค่ามุมสัมผัสของเหลวกับของแข็งเท่ากับ 43 องศา ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นแท่งนาโนที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ทำให้ได้โครงสร้างมีความหนาแน่นต่ำ และมีพลังงานอิสระบนพื้นผิวดำ และหมู่ไฮดรอกซิลเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง ทำให้ความไม่มีขั้วหายไป เมื่อใช้กรดสเตียริกในการเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำบนพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริกมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ยาวของหมู่เอทิลที่ไม่มีขั้วและไม่ชอบน้ำและในส่วนของหมู่คาร์บอกซิลของกรดสเตียริกจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของซิงค์ออกไซด์บนพื้นผิวทำให้เกิดการต่อกันเป็นสายโซ่ยาวที่มีสมบัติไม่มีขั้วเลยทำให้พื้นผิวมีความไม่ชอบน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 แสดงรูปภาพค่ามุมสัมผัสของน้ำของซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกความเข้มข้นแตกต่างกัน (a) 0 มิลลิโมล (b) 2 มิลลิโมล (c) 4 มิลลิโมล (d) 6 มิลลิโมล (e) 8 มิลลิโมล และ (f) 10 มิลลิโมล [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



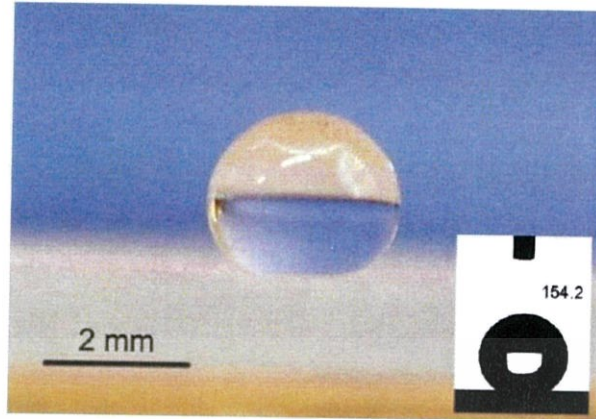
รูปที่ 2.18 แสดงกลไกของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงกับกรดสเตียริก [1]

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดสเตียริกจาก 2-10 มิลลิโมล พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดสเตียริกที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดการทับถมและเกิดการก่อตัวของผลึกสเตียริกบนพื้นผิวมากขึ้น ส่งผลให้พื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้นตามไปด้วย โดยการปรับปรุงพื้นผิวซิงค์ออกไซด์ด้วยกรดสเตียริกความเข้มข้น 8 มิลลิโมล จะให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำเท่ากับ 152 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (e) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดสเตียริกเป็น 10 มิลลิโมล กลับแสดงค่ามุมสัมผัสของเหลวกับของแข็งมีค่าลดลงเป็น 120 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (f) ซึ่งอธิบายได้ว่าเกิดจากความหนาและปริมาณของผลึกสเตียริกที่มีมากเกินไปบนพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นแท่งนาโน ทำให้มีความขรุขระน้อยลง ค่ามุมสัมผัสของเหลวกับของแข็งที่ได้จึงมีค่าลดลง

2.2.4 การปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวโดยการเคลือบด้วยอะลูมินา และกรดสเตียริก (Superhydrophobic alumina surface based on stearic acid modification)

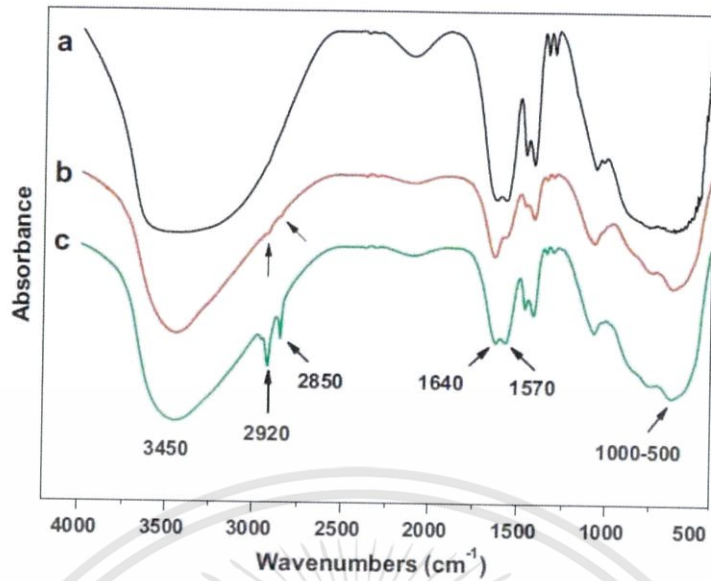
งานวิจัยของ Libang Feng และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการปรับปรุงพื้นผิวให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยเริ่มจากการเตรียมอะลูมินา (โซล) จากการเตรียมอะลูมินัม 7.4 กรัม และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (I-PrOH) 18 กรัม นำไปปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมเอทิลอะซิโตะอะซิเตด 3.9 กรัม ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 3 ชั่วโมง สุดท้ายเติมน้ำกลั่นลงไป 2.2 กรัม หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ อะลูมินา (โซล) ไปเคลือบลงบนกระดาษที่ผ่านการทำความสะอาด แล้ว นำไปจุ่มในพอลิเอทิลีนเอไมด์ (PEI) และกรดสเตียริกด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ (dipping-withdrawing method) จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำไปจุ่มในน้ำเดือด 20 นาที และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ซ้ำอีกครั้ง หลังจากนั้นนำไปวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำพบว่ามีค่าเท่ากับ 154.2 องศา และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำเท่ากับ 2.7 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



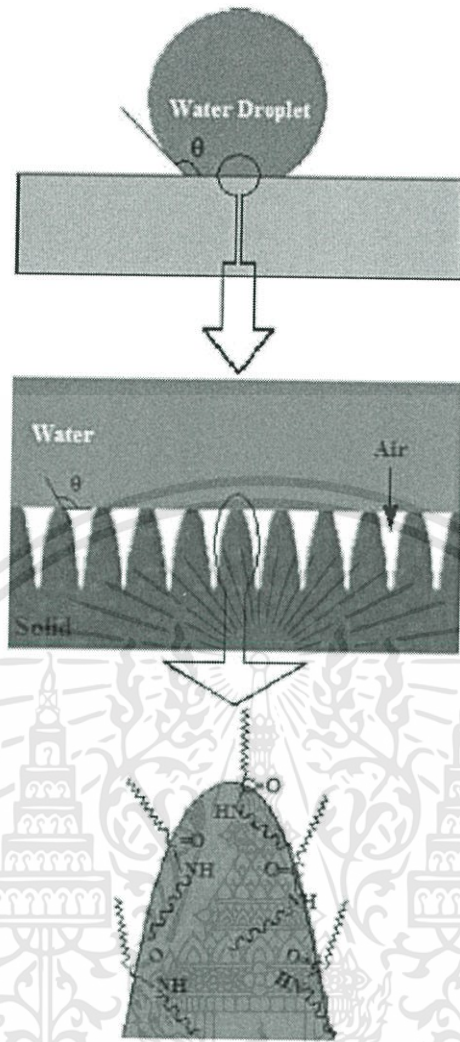
รูปที่ 2.19 แสดงภาพลักษณะของหยดน้ำบนพื้นผิวชั้นฟิล์มอะลูมินาที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ [5]

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง FT-IR โดยปกติฟิล์มอะลูมินาจะบางเกินไปจนไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากไม่เกิดมุมของการเลี้ยวเบนเกิดขึ้น จึงต้องเตรียมตัวอย่างของอะลูมินาในรูปแบบของผง หลังจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค FT-IR ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.20 พบว่าชั้นฟิล์มอะลูมินาปรากฏช่วงการดูดกลืนแสงที่ $3600-3000\text{ cm}^{-1}$ บอถึงการดูดกลืนแสงของหมู่ Al-OH และช่วงการดูดกลืนแสงที่ $1510-1400\text{ cm}^{-1}$ บอถึงการสั่นของหมู่ C-O และพบช่วงการดูดกลืนแสงระหว่าง 1000 และ 500 cm^{-1} ที่แสดงถึงการดูดกลืนของหมู่ Al-O หลังจากเคลือบชั้นฟิล์มอะลูมินาด้วยพอลิเอทิลีนเอไมด์ (PEI) พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงช่วงการดูดกลืนแสงของพันธะ Al-OH จากเดิมที่ $3600-3000\text{ cm}^{-1}$ มาเป็นที่ 3450 cm^{-1} เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเคมีจากพันธะระหว่างไฮโดรเจนกับอะลูมินาจึงทำให้เกิดการดูดกลืนแสงที่พลังงานสูงขึ้น ส่วนอินฟราเรดสเปกตรัมของกรดสเตียริกบนฟิล์มอะลูมินาที่เคลือบด้วยพอลิเอทิลีนเอไมด์ (PEI) ปรากฏช่วงการดูดกลืนแสงที่ 2920 และ 2850 cm^{-1} ตามลำดับ และปรากฏช่วงการดูดกลืนแสง ที่ 1640 และ 1570 cm^{-1} จากการสั่นของหมู่เอไมด์ (-NH) แสดงให้เห็นว่า เกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดสเตียริกกับหมู่เอไมด์ของพอลิเอทิลีนเอไมด์ (PEI) ทำให้เกิดพันธะ O=C-N-C



รูปที่ 2.20 สเปกตรารอินฟราเรดของผงอะลูมินาเจลหลังจากผ่านการปรับปรุงดังนี้ (a) จุ่มลงในน้ำเดือด (b) เคลือบด้วยพอลิเอทิลีนเอไมด์ (PEI) และ (c) เคลือบด้วยกรดสเตียริกและพอลิเอทิลีนเอไมด์ (PEI) [5]

ในการวิเคราะห์หลักไถการเกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์มอะลูมินาพบว่า พื้นผิวของฟิล์มอะลูมินาที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำเกิดจากความขรุขระของพื้นผิวและการเกิดปฏิกิริยาเคมีของพอลิเอทิลีนเอไมด์ กรดสเตียริกกับอะลูมินา ในรูปที่ 2.23 แสดงถึงกลไกในการเกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวฟิล์มอะลูมินาแสดงให้เห็นว่าหยดน้ำแทรกลงไปในช่วงว่างได้ยากเนื่องจากมีอากาศป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านเข้าไป และยังมีหมู่อัลคิลที่เป็นสายโซ่ยาว (โมเลกุลของกรดสเตียริก) ซึ่งไม่มีขั้วทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวฟิล์มอะลูมินามีค่าเท่ากับ 154.2 องศา ทำให้วัสดุนี้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด



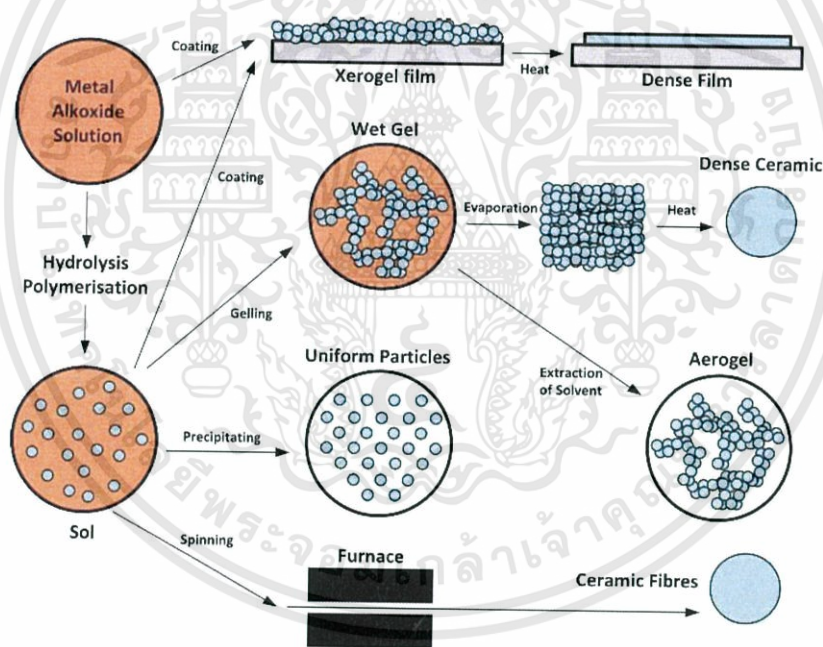
รูปที่ 2.21 แสดงถึงกลไกการเกิดสมบัติไม่ชอบน้ำระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวฟิล์มอะลูมินา [5]

2.3 การสังเคราะห์ผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน

ในโครงการพิเศษนี้ทำการปรับปรุงสมบัติของผ้าตัวกรองให้มีความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน โดยการเคลือบผ้าด้วยอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ (coupling agent) คือ กรดออกตะโนอิก (octanoic acid) กรดลอริก (Lauric acid) กรดสเตียริก (stearic acid) และ กรดโอเลอิก (oleic acid) ด้วยวิธีการโซล-เจล โดยเลือกใช้อนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์เนื่องจากซิงค์ไฮดรอกไซด์มีพื้นผิวที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับสารคู่ควบได้ดี โดยที่บริเวณผิวของซิงค์ไฮดรอกไซด์จะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารคู่ควบจำพวกกรดไขมันที่เป็นไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวได้ เมื่อเกิดปฏิกิริยาจะหันส่วนหางออกด้านนอกซึ่งเป็นส่วนที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ จึงสามารถเพิ่มความไม่ชอบน้ำให้กับพื้นผิวผ้าตัวกรองได้

2.3.1 กระบวนการโซล-เจล (Sol-gel process)

กระบวนการโซล-เจลเป็นกระบวนการสังเคราะห์วัสดุที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเซรามิกและแก้ว ที่ต้องการความบริสุทธิ์สูงและมีสมบัติเฉพาะตัว เนื่องจากการเตรียมวัสดุในระดับโมเลกุลทำให้สามารถกำหนดสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ต้องการได้ง่าย โดยทั่วไปกระบวนการโซล-เจล เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารจากของเหลวที่เรียกว่า “โซล” (sol) ที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมโครเมตร ให้เป็นของแข็งที่เรียกว่า “เจล” (gel) [18] โดยการนำสารละลายตั้งต้น (precursors) มาทำปฏิกิริยากันได้สารประกอบที่เกิดขึ้นในลักษณะของโซลเกาะกลุ่มกันเป็นร่างแหอย่างไม่เป็นระเบียบทำให้เกิดเป็นเจลขึ้น ในกระบวนการผลิตเมื่อนำสารละลายที่อยู่ในสถานะที่เป็นโซลและเจลไปเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำจะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น อนุภาคผง (powder) วัสดุก้อน และชั้นเคลือบฟิล์ม (coating film) ที่สามารถนำไปใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ต่อไป รูปที่ 2.22 แสดงกระบวนการการเกิดโซล-เจล และ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 2.22 กระบวนการโซล-เจลและผลิตภัณฑ์ที่ได้ในรูปแบบต่าง ๆ [19]

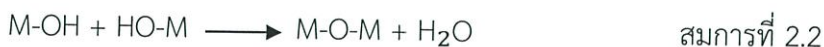
โดยในขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์สารด้วยวิธีโซล-เจล คือ การผสมสารตั้งต้นกับน้ำ โดยสารตั้งต้นที่นิยมใช้เป็นสารประกอบโลหะและกึ่งโลหะที่ล้อมรอบด้วยลิแกนด์ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น โลหะแอลคอกไซด์ (metal alkoxide; M-OR) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ได้รับความนิยมสูงในการสังเคราะห์ด้วยวิธีโซล-เจล เนื่องจากโลหะแอลคอกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดี โดยปฏิกิริยาหลักที่สำคัญในกระบวนการโซล-เจล มีด้วยกัน 2 ปฏิกิริยาดังนี้ [18]

1. ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)



2. ปฏิกิริยาการควบแน่น (condensation)

2.1 ปฏิกิริยาการควบแน่นด้วยน้ำ (water condensation)



2.2 ปฏิกิริยาการควบแน่นด้วยแอลกอฮอล์ (alcohol condensation)



เมื่อ M คือ โลหะ (metal) OR คือ หมู่แอลคอกซิล (alkoxyl group) และ OH คือ หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group)

2.3.2 ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide; ZnO)

ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide; ZnO) เป็นสารประกอบที่สามารถพบเห็นได้ในธรรมชาติ โดยจะพบในแร่สมิธโซไนต์ (smithsonite) และแร่สฟาเลอไรต์ (sphalerite) เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) มีช่องว่างแถบพลังงาน (band-gap energy) ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) โครงผลึกโดยทั่วไปของซิงค์ไฮดรอกไซด์เป็นแบบเวิร์ตไซด์ (wurtzite) หรือ แบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) [20] โดยมีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงโครงสร้างทางเคมีของซิงค์ออกไซด์ [21]

ในโครงสร้างเวิร์ตไซด์ของ ZnO ประกอบไปด้วยไอออนบวกของซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) จะเกิดการโคออร์ดิเนตกับไอออนลบของออกซิเจนไอออน (O^{2-}) ที่ทำพันธะกันแบบเตตระฮีดรอล (tetrahedral) ดังแสดงในรูปที่ 2.24 มีค่าคงที่ผลึก (lattice constants) $a = 3.24$ อังสตรอม และ $c = 5.19$ อังสตรอม มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 4.47 ซิงค์ออกไซด์มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดสีขาว สามารถนำมาใช้เป็นส่วนในการยับยั้งการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย (anti-bacteria) เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กันแดดเพราะช่วยป้องกันรังสี UV-A และ UV-B ได้ ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และสามารถช่วยระงับกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม (co-precipitation) การสังเคราะห์ด้วยวิธีการโซล-เจล (sol-gel) การสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal) และการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟรมสเปย์ไพโรไลซิส (flame spray Pyrolysis) [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



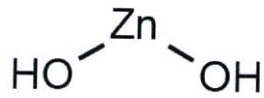
รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้างผลึกของซิงค์ออกไซด์ [22]

2.3.3 ซิงค์ไฮดรอกไซด์ (zinc hydroxide; $\text{Zn}(\text{OH})_2$)

ซิงค์ไฮดรอกไซด์ (zinc hydroxide; $\text{Zn}(\text{OH})_2$) เป็นสารประกอบอนินทรีย์พบได้ในแร่ธรรมชาติ เช่น แร่วูลไฟไนท์ (wulfenite) แร่แอสโฮวีไรท์ (ashoverite) และแร่สวีไทท์ (sweetite) ซิงค์ไฮดรอกไซด์มีโครงสร้างหลากหลายแบบ เช่น ออโธโรมบิก (orthorhombic) หรือ เตตระโกนอล (tetragonal) ซึ่งซิงค์ไฮดรอกไซด์สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นกรดแก่หรือเบสแก่แต่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ มีลักษณะเป็นของแข็งเป็นผงสีขาว มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 99.424 กรัมต่อโมล มีความหนาแน่นเท่ากับ 3.053 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 125 องศาเซลเซียส [23] การสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์สามารถทำได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) และเกลือของซิงค์เช่น ซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride) หรือ ซิงค์ซัลเฟต (zinc sulfate) ทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิห้องโดยซิงค์จะแตกตัวเป็นซิงค์ไอออนไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิล 2 ตัวของโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นตะกอนสีขาวของซิงค์ไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น ดังแสดงในสมการที่ 2.4 [23] และในรูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างทางเคมีของซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้น



ได้นำซิงค์ไฮดรอกไซด์ไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เช่น ใช้เคลือบผ้าปิดแผลผ่าตัดเพื่อป้องกันการติดเชื้อ นำไปเคลือบเหล็กเพื่อป้องกันการเกิดสนิม เป็นตัวกลางในการสังเคราะห์ยากำจัดศัตรูพืชและตัวกลางในการผลิตสี เป็นต้น

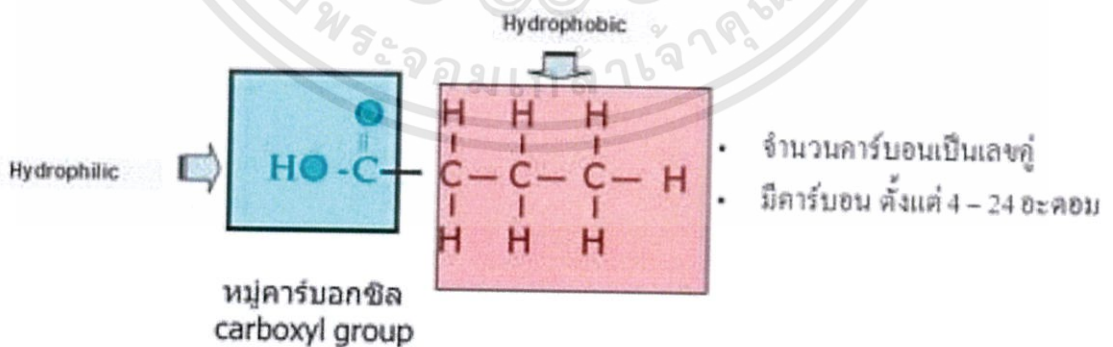


รูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างของซิงค์ไฮดรอกไซด์ [24]

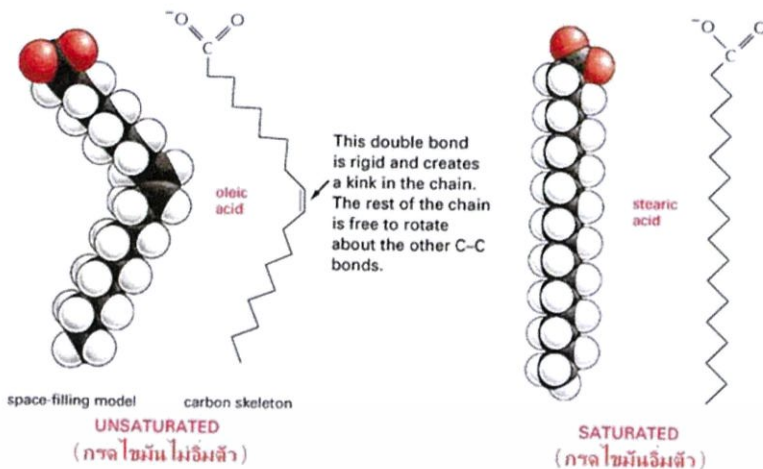
2.3.4 การปรับปรุงพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ ให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

สารที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวหรือสารคู่ควบ (coupling agent) คือ สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มอันตรกิริยาหรือเพิ่มการเชื่อมโยงระหว่างวัสดุอินทรีย์และอนินทรีย์ สารคู่ควบที่เลือกใช้ในการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ คือ กรดไขมัน โดยโครงสร้างเกิดจากอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจนเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ดังแสดงในรูปที่ 2.26 โดยปลายด้านหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ส่วนที่ปลายอีกด้านเป็นหมู่ไฮโดรคาร์บอน เป็นส่วนที่ทำให้กรดไขมันที่มีสมบัติแตกต่างกัน กรดไขมันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท [25] คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) เป็นกรดไขมันที่หมู่ไฮโดรคาร์บอนมีพันธะระหว่างอะตอมทั้งหมดเป็นพันธะเดี่ยว มีอะตอมคาร์บอนตั้งแต่ 4-24 อะตอม เช่น กรดสเตียริก (stearic acid) กรดออกตะโนอิก (octanoic acid) และ กรดลอริก (lauric acid)
2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) กรดไขมันที่หมู่ไฮโดรคาร์บอนมีพันธะระหว่างอะตอมบางพันธะเป็นพันธะคู่ อาจมีพันธะคู่เพียงแห่งเดียวหรือหลายแห่งก็ได้ เช่น กรดโอเลอิก (oleic acid) โดยในรูปที่ 2.27 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่แตกต่างกันของ กรดไขมันอิ่มตัว และ กรดไขมันไม่อิ่มตัว



รูปที่ 2.26 แสดงโครงสร้างทั่วไปของกรดไขมัน [26]

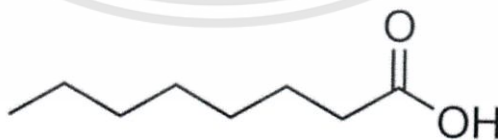


รูปที่ 2.27 แสดงความแตกต่างของโครงสร้างระหว่าง กรดไขมันไม่อิ่มตัว กับ กรดไขมันอิ่มตัว [25]

ในการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของสารคู่ควบทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์เกิดเป็นพันธะที่เสถียร และหมู่ไฮโดรคาร์บอนซึ่งอยู่อีกปลายด้านหนึ่งของสายโซ่ จะทำให้บริเวณพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์มีสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยสารคู่ควบประเภทกรดไขมันที่ใช้ในโครงการพิเศษ คือ กรดออกตะโนอิก (octanoic acid) กรดลอริก (lauric acid) กรดสเตียริก (stearic acid) และกรดโอเลอิก (oleic acid)

2.3.4.1 กรดออกตะโนอิก (octanoic acid) กรดสเตียริก (stearic acid)

กรดออกตะโนอิก หรือ กรดคาไพริก (caprylic acid) เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) ซึ่งมีคาร์บอนเท่ากับ 8 อะตอม (C8:0) เรียกชื่อตามระบบตัวเลขว่ากรดออกตะโนอิก (octanoic acid) มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_8H_{16}O_2$ ดังแสดงในรูปที่ 2.28 จัดเป็นกรดไขมันชนิดสายสั้น (short chain fatty acid) พบมากในไขมันนมและน้ำมันมะพร้าว [27]



รูปที่ 2.28 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสารคู่ควบกรดออกตะโนอิก (octanoic acid; $C_8H_{16}O_2$) [32]

2.3.4.2 กรดลอริก (Lauric acid)

กรดลอริกเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) ที่มีจำนวนคาร์บอน 12 อะตอม (C12:0) มีสูตรโมเลกุล $C_{12}H_{24}O_2$ ดังแสดงในรูปที่ 2.29 จัดเป็นกรดไขมันสายกลาง (medium chain fatty acid) มีจุดหลอมเหลว (melting point) อยู่ที่ 43.2 องศาเซลเซียส พบในน้ำมันมะพร้าว (coconut oil) และพบในน้ำมันมมารดา กรดลอริกมีฤทธิ์ต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (antimicrobial) [29]



รูปที่ 2.29 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสารคู่ควกรดลอริก (lauric acid; $C_{12}H_{24}O_2$) [30]

2.3.4.3 กรดสเตียริก (stearic acid)

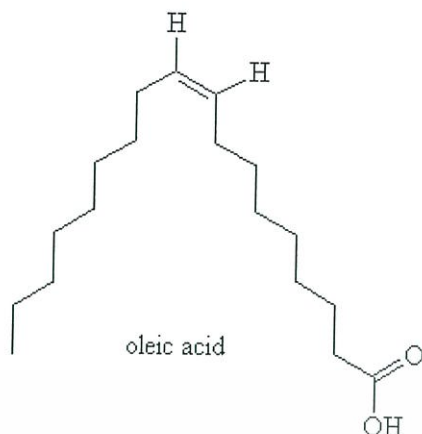
กรดสเตียริก คือ กรดไขมันชนิดหนึ่งเป็นประเภทกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) มีคาร์บอน 18 อะตอม (C18:0) ดังแสดงในรูปที่ 2.30 เกิดจากการผสมกันของกรดไขมันอิ่มตัว สำคัญ ๆ ได้แก่ กรดสเตียริก (octadecanoic) และกรดปาล์มิติก (Hexadecanoic or Palmitic Acid) พบมากในไขมันจากสัตว์ เป็นผลึกสีขาว ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในแอลกอฮอล์ เช่น อีเทอร์ อะซิโตน และคลอโรฟอร์ม ใช้เป็นส่วนประกอบในการทำยา เครื่องสำอาง เป็นต้น [31]



รูปที่ 2.30 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสารคู่ควกรดสเตียริก (stearic acid; $C_{18}H_{36}O_2$) [28]

2.3.4.4 กรดโอเลอิก (oleic acid)

กรดโอเลอิกมีชื่อทางเคมีว่า octadecenoic acid เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ (double bond) 1 อัน ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 จัดเป็น monounsaturated fatty acid มีจุดหลอมเหลว 13-14 องศาเซลเซียส เนื่องจากมี ตำแหน่งพันธะคู่ 1 ตำแหน่งดังนั้นรูปร่างที่ถูกต้องของโมเลกุล oleic acid จึงไม่ได้เป็นเส้นตรง แต่จะมีลักษณะหักมุมที่ตำแหน่งพันธะคู่ ดังแสดงในรูป 2.31 [33]



รูปที่ 2.31 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสารคู่ควบกรดโอเลอิก (oleic acid; $C_{18}H_{34}O_2$) [34]

2.3.5 ปฏิกริยาระหว่างสารคู่ควบกับพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์

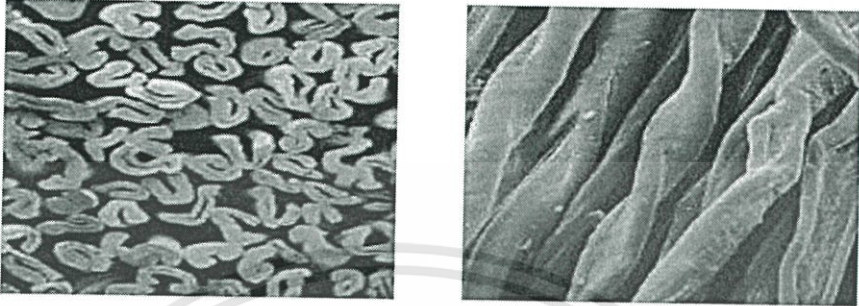
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคซิงค์ออกไซด์กับสารคู่ควบบนพื้นผิวผ้าตัวกรองประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. เกิดการยึดเกาะของอนุภาคซิงค์ออกไซด์กับพื้นผิวผ้าตัวกรองที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. เกิดปฏิกิริยาคอนเดนเซชันระหว่างอนุภาคซิงค์ออกไซด์กับสารคู่ควบบนพื้นผิว
3. หมู่ไฮดรอกซิลของซิงค์ออกไซด์กับหมู่ไฮดรอกซิลของสารคู่ควบเกิดพันธะไฮโดรเจนร่วมกัน
4. เมื่อนำไปให้ความร้อนน้ำจะหลุดออก สารคู่ควบจะยึดเกาะกับพื้นผิวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ด้วยพันธะที่แข็งแรงขึ้น

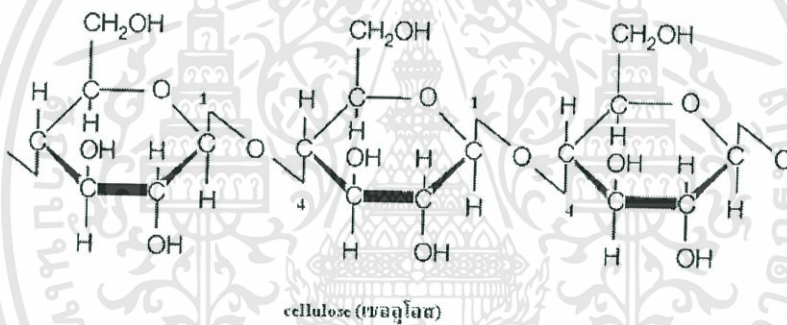
2.3.6 เส้นใยฝ้าย

เส้นใยฝ้ายนั้นเป็นเส้นใยชนิดสั้น (staple) มีความยาวทั่วไปเฉลี่ย 0.3-5.5 เซนติเมตร สีของเส้นใยฝ้ายมีตั้งแต่ขาวไปจนถึงเหลืองเทา เส้นใยฝ้ายมีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลส 87-90 เปอร์เซ็นต์ และสารอื่น ๆ เช่น ไขมันและความชื้น เซลลูโลสของเส้นใยฝ้ายเป็นสารโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยกลูโคสในสายโซ่พอลิเมอร์ถึง 9,000-10,000 หน่วย [35] มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่มีความเป็นระเบียบ (crystalline) ค่อนข้างมากและระหว่างสายโซ่โมเลกุลยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ซึ่งทำให้เส้นใยเซลลูโลสนั้นมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง นอกจากนี้เส้นใยฝ้ายยังสามารถทนต่อการขัดถู และทนต่อสารฟอกขาวได้ทุกชนิดทั้งสารฟอกขาวประเภทคลอรีน (chlorine bleach) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และสารฟอกขาวประเภทออกซิเจน (oxygen bleach) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสามารถทนต่อต่างได้ดีแต่ไม่ทนต่อกรดแก่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุมัติจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกทั้งยังทนต่อความร้อนและแสงแดดได้ดี ผ้าฝ้ายนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ทั้งการทำเป็นเสื้อผ้า เครื่องใช้ในบ้าน เนื่องจากผ้าฝ้ายให้ความสบายในการสวมใส่ ไม่สะสมความร้อน รูปที่ 2.32 แสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผ้าฝ้าย และ รูปที่ 2.33 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้าย



รูปที่ 2.32 แสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผ้าฝ้าย [35]



รูปที่ 2.33 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้าย [36]

2.3.7 การปรับปรุงสมบัติของผ้าตัวกรองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

การแช่ผ้าในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นการทำให้ผ้ามีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดียิ่งขึ้น โดยชั้นไขมัน (wax) บนผิวผ้าจะถูกกำจัดออกและทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนพื้นผิวผ้าทำให้พื้นผิวผ้าสามารถเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นการปรับปรุงผิวเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ สารเคมี และกระบวนการที่ใช้ในการศึกษา การพัฒนาผ้าตัวกรองที่มีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนด้วยวิธีการเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ และสารคู่ควบ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ปีกเกอร์

3.1.2 หลอดหยด

3.1.3 กระจกตวง

3.1.4 แท่งแก้วคนสาร

3.1.5 แท่งแม่เหล็ก

3.1.6 กระจกนาฬิกา

3.1.7 ซ้อนตักสาร

3.1.8 กระจกนํ้ากลั่น

3.1.9 จานเพาะเชื้อ

3.1.10 คีมคีบ

3.1.11 เครื่องอัลตราโซนิก

3.1.12 เครื่องปั่นกวนและเตาให้ความร้อน

3.1.13 เครื่องซังดิจิตอล 4 ตำแหน่ง

3.1.14 ตู้อบ

3.1.15 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles; WCAs) รุ่น OCA20 บริษัท DATAPHYSIC

3.1.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) รุ่น EVO MA10

3.1.17 กล้องจุลทรรศน์วัดแรงระดับอะตอม (scanning probe microscope; SPM) รุ่น SPM-9700 บริษัท SHIMADZU

3.1.18 เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (fourier transform infrared spectrometer; FT-IR) รุ่น THERMO SCIENTIFIC MODEL NICOLET 6700

3.1.19 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (x-ray diffractometer; XRD) รุ่น XRD-6100 บริษัท SHIMADZU

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต (zinc nitrate hexahydrate; $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) ความบริสุทธิ์ 97.5 % บริษัท CARLO ERBA REAGENTS GROUP

3.2.2 กรดสเตียริก (stearic acid; $C_{18}H_{36}O_2$) ความบริสุทธิ์ 98 % บริษัท ACROS- ORGANICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 กรดออกตะโนอิก (octanoic acid; $C_8H_{16}O_2$) ความบริสุทธิ์ 99 % บริษัท ACROS ORGANICS

3.2.4 กรดลอริก (lauric acid; $C_{12}H_{24}O_2$) ความบริสุทธิ์ 99 % บริษัท ACROS ORGANICS

3.2.5 กรดโอเลอิก (oleic acid; $C_{18}H_{34}O_2$) ความบริสุทธิ์ 99 % บริษัท ACROS ORGANICS

3.2.6 สารละลายแอมโมเนีย (ammonia solution; NH_4OH) ความบริสุทธิ์ 30 % บริษัท CARLO ERBA REAGENTS GROUP

3.2.7 เอทานอลบริสุทธิ์ (absolute ethanol; C_2H_5OH) ความบริสุทธิ์ 95.0% บริษัท CARLO ERBA REAGENTS GROUP

3.2.8 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; $NaOH$) ความบริสุทธิ์ 98% บริษัท CARLO ERBA REAGENTS GROUP

3.2.9 แอนไฮดรัสคอปเปอร์ซัลเฟต (anhydrous copper sulfate; $CuSO_4$)

3.2.10 น้ำปราศจากไอออน (de-ionized water; DI water)

3.2.11 สีย้อมเมทิลีนบลู (methylene blue) ความบริสุทธิ์ 95% บริษัท FLUKA ANALYTICAL

3.2.12 สีย้อมซูดานหนึ่ง (sudan I) ความบริสุทธิ์ 97% บริษัท SIGMA-ALDRICH

3.2.13 ผ้าฝ้าย

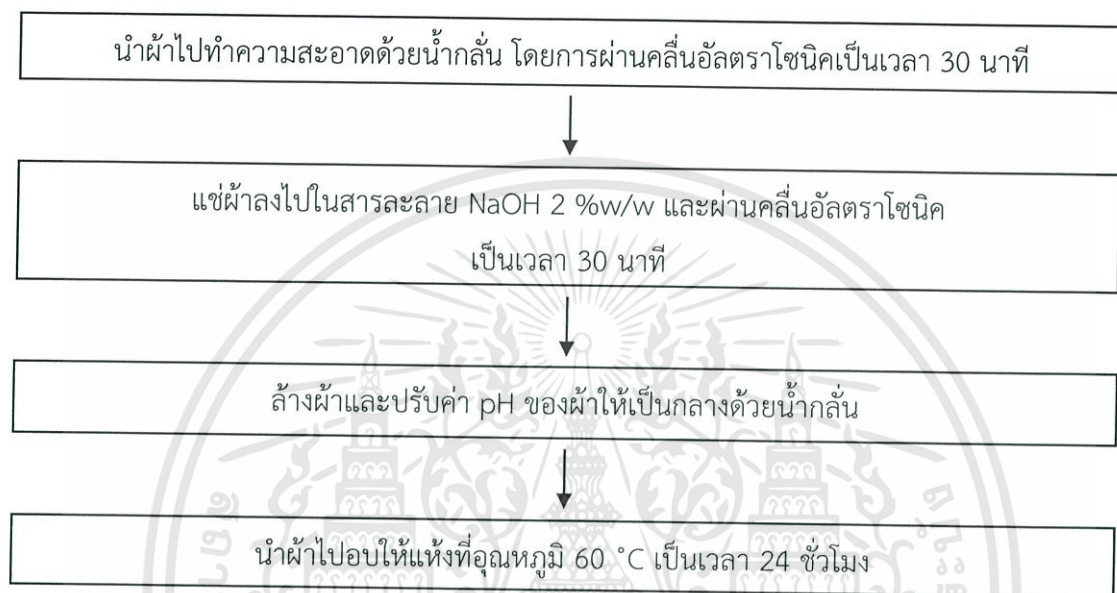
3.3 วิธีการทดลอง

ในโครงการพิเศษนี้ได้ศึกษาการพัฒนาผ้าตัวกรองให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide; ZnO) บนผิวผ้าแล้วทำการปรับปรุงพื้นผิวให้มีความไม่ชอบน้ำด้วยสารคู่ควบ (coupling agent) โดยเริ่มจากการเตรียมผิวผ้าฝ้ายเพื่อให้เกิดการยึดเกาะกับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นนำผ้าไปเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์โดยเทคนิคโซล-เจล แล้วจึงทำการปรับปรุงสมบัติโดยการเคลือบด้วยสารคู่ควบ เพื่อให้ได้ผ้าที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด [4]

3.3.1 การเตรียมผิวผ้าตัวกรอง

1. ตัดผ้าตัวกรองให้มีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร
2. นำผ้าไปทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นโดยผ่านคลีนอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที
3. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก (2 % w/w) โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) ปริมาณ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. ใส่ผ้าที่เตรียมลงไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วผ่านคลีนอัลตราโซนิกอีกครั้งเป็นเวลา 30 นาที

5. นำผ้าออกมาทดสอบความเป็นกรดเบสด้วยกระดาษลิตมัส แล้วทำการล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อปรับค่า pH ของผ้าให้เป็นกลาง
6. นำผ้าที่มี pH เป็นกลาง ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7. จะได้ผ้าที่ถูกกำจัดชั้นไขมัน (wax) ออกและมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เกาะที่พื้นผิว แผนภาพกระบวนการเตรียมผิวผ้าตัวกรอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพการเตรียมผิวผ้าตัวกรอง

3.3.2 การเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ลงบนพื้นผิวผ้า

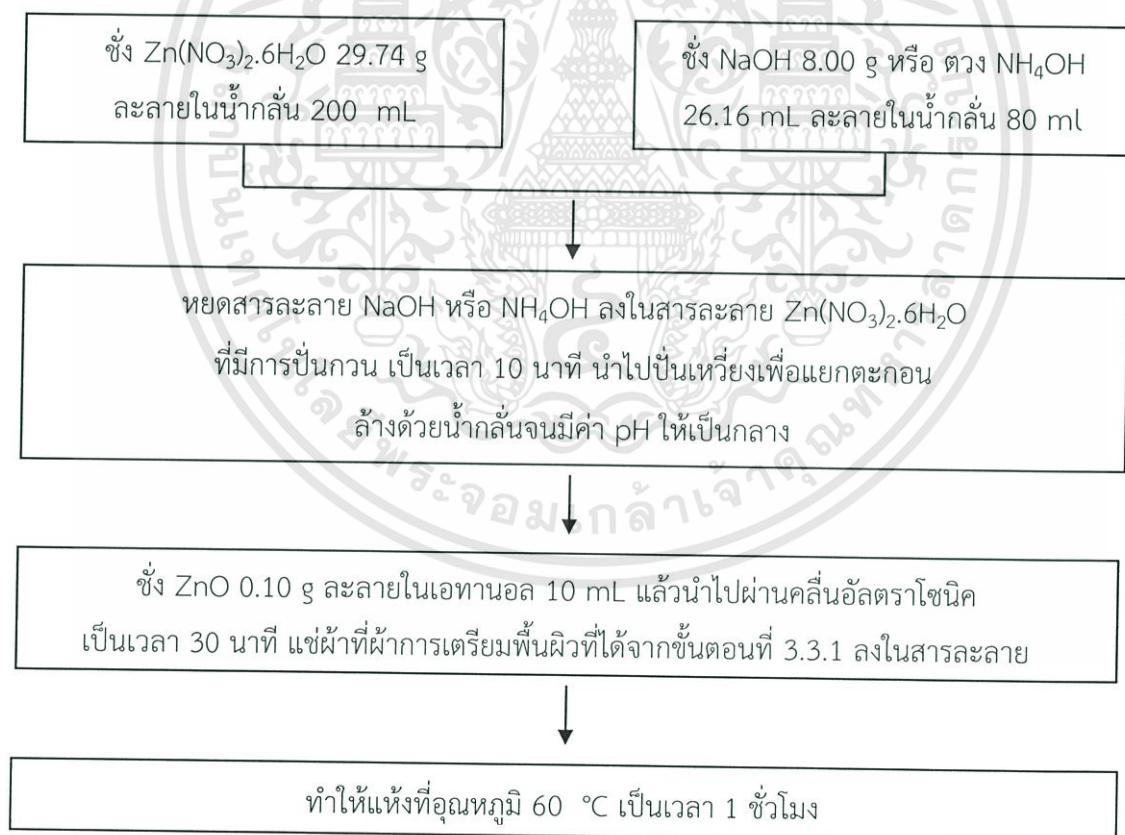
ได้ศึกษาผลของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์ และวิธีการเคลือบซิงค์ออกไซด์บนพื้นผิวผ้าแบ่งได้ 2 วิธี ตามสมการดังนี้



3.3.2.1 การเคลือบโดยใช้ผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์

1. ชั่งซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 29.74 กรัม (วิธีการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก) แล้วละลายด้วยน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 8.00 กรัม หรือเตรียมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ โดยการตวงสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ มา 26.16 มิลลิลิตร (วิธีการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก) ละลายด้วยน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร

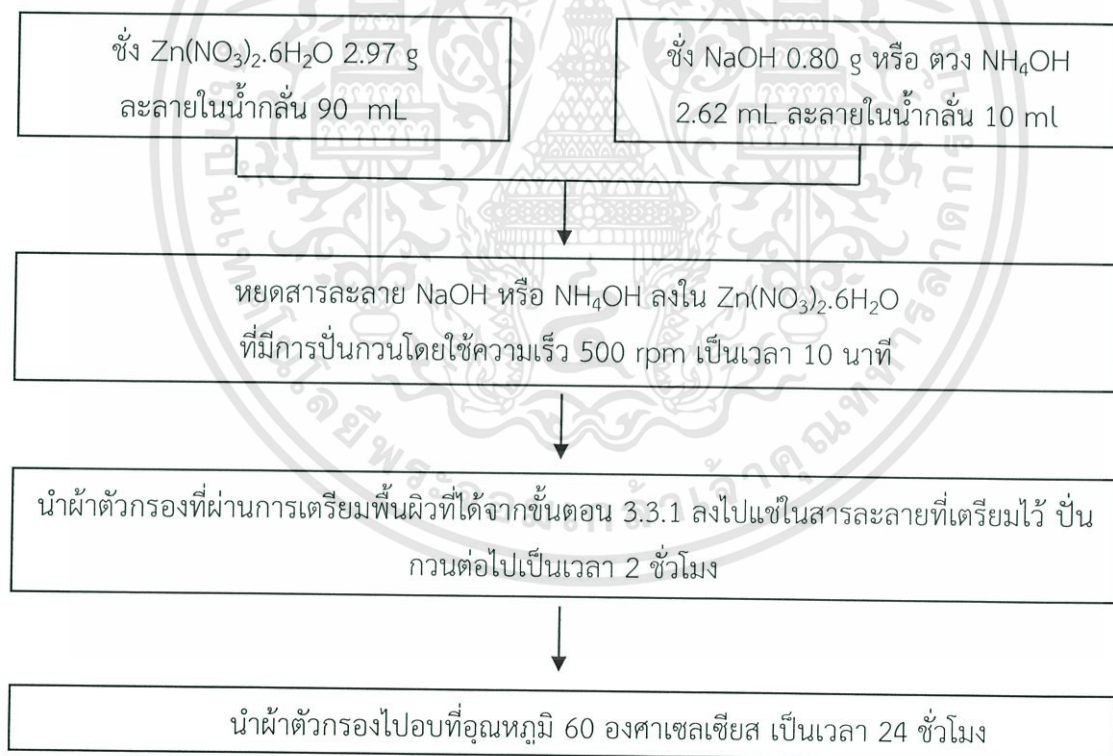
3. หยดโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ลงในสารละลายซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตที่มีการปั่นกววนโดยใช้ความเร็ว 500 rpm เป็นเวลา 10 นาที
4. ทำการเหวี่ยงแยกตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่ได้ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง 5000 รอบเป็นเวลา 10 นาทีและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีค่า pH เป็นกลาง
5. นำตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะเกิดเป็นผงซิงค์ออกไซด์
6. ชั่งผงซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการอบแล้วมา 0.10 กรัม ละลายในเอทานอล 10 มิลลิลิตร (คิดเป็นความเข้มข้น 0.01 กรัมของซิงค์ออกไซด์ต่อเอทานอล 1 มิลลิลิตร (w/v) ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปผ่านคลื่นอัลตราโซนิคเป็นเวลา 30 นาที
7. นำผ้าตัวกรองที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวที่ได้จากขั้นตอน 3.3.1 ไปแช่ในสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ เป็นเวลาด้านละ 10 นาที
8. นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แผนภาพกระบวนการเคลือบผ้าโดยการใช้ผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงแผนภาพกระบวนการเคลือบผ้าโดยการใช้ผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์

3.3.2.2 การเคลือบโดยการใช้น้ำสารละลายโซลของซิงค์ออกไซด์

1. ชั่งซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) 2.97 กรัม (วิธีการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก) ละลายในน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 0.80 กรัม หรือเตรียมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ โดยตวงแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 2.62 มิลลิลิตร (วิธีการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก) ละลายด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. หยดโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในสารละลายซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตที่มีการปั่นกวนโดยใช้ความเร็ว 500 รอบ เป็นเวลา 10 นาที
4. นำผ้าตัวกรองที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวที่ได้จากขั้นตอน 3.3.1 ลงไปแช่ในสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่มีการปั่นกวนอยู่ ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. นำผ้าตัวกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แผนภาพกระบวนการเคลือบผ้าโดยการใช้น้ำสารละลายโซลของซิงค์ออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงกระบวนการเคลือบผ้าโดยการใช้น้ำสารละลายโซลของซิงค์ออกไซด์

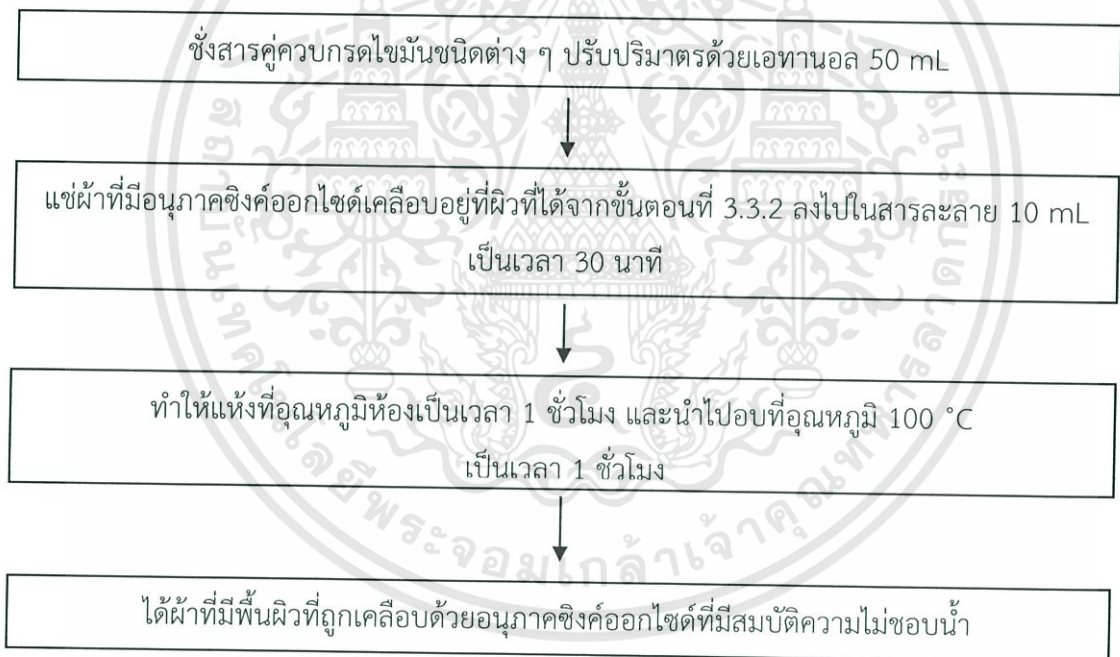
3.3.3 การปรับปรุงพื้นผิวผ้าให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยใช้สารคู่ควบ

เมื่อได้ผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์แล้ว จากนั้นทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยการเคลือบด้วยสารคู่ควบประเภทกรดไขมันชนิดต่าง ๆ คือ กรดออกตะโนอิก กรดลอริก กรดสเตียริก และกรดโอเลอิก ตามขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งกรดออกตะโนอิก 0.22 กรัม กรดลอริก 0.30 กรัม กรดสเตียริก 0.43 กรัม หรือกรดโอเลอิก 0.42 กรัม ละลายในเอทานอลแล้วทำการปรับปริมาตรด้วยเอทานอลในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

2. แช่ผ้าที่มีอนุภาคซิงค์ออกไซด์เคลือบอยู่ที่ผิวที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.3.2 ลงไปในสารละลาย กรดออกตะโนอิก กรดลอริก กรดสเตียริก หรือกรดโอเลอิก 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที

3. นำผ้าที่ได้มาทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แผนภาพแสดงกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวผ้าให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยสารคู่ควบประเภทกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



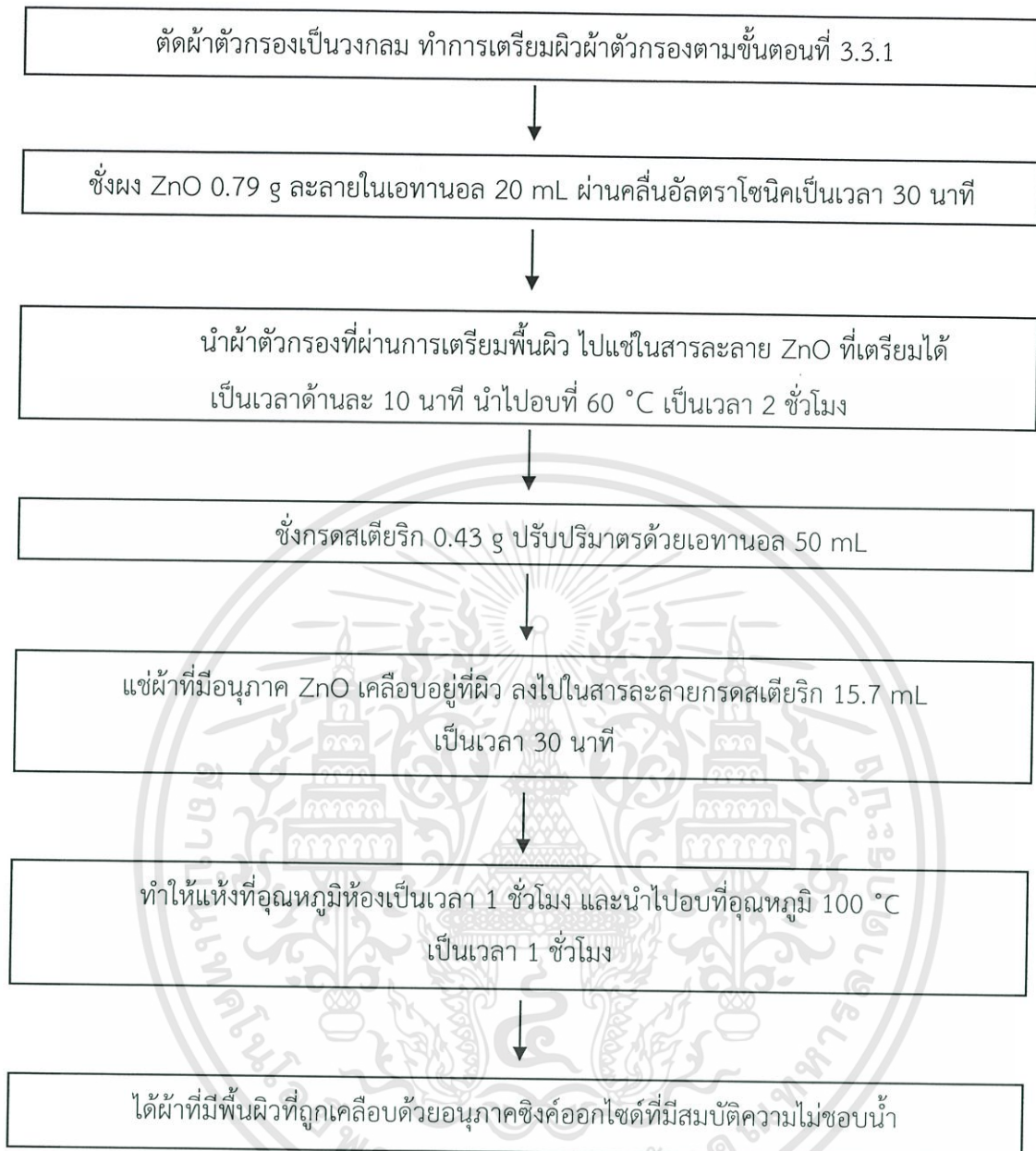
รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพการเคลือบผ้าตัวกรองด้วยสารคู่ควบ

3.3.4 วิธีการเตรียมผ้าตัวกรองสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการพิเศษนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกรองแยกของผสมระหว่างน้ำมันกับน้ำของผ้าตัวกรอง ทำการเตรียมได้ผ้าตัวกรองที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองได้ ดังนี้

1. ตัดผ้าตัวกรองเป็นวงกลมขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ทำการเตรียมผิวผ้าตัวกรองตามขั้นตอนที่ 3.3.1
2. ชั่งผงซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการอบแล้วมา 0.79 กรัม (วิธีการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก) ละลายในเอทานอล 20 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปผ่านคลื่นอัลตราโซนิคเป็นเวลา 30 นาที
3. นำผ้าตัวกรองที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวแล้วไปแช่ในสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้ เป็นเวลาด้านละ 10 นาที
4. นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. ทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยการเคลือบด้วยกรดสเตียริก โดยชั่งกรดสเตียริก 0.43 กรัม (วิธีการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก) ละลายในเอทานอลแล้วทำการปรับปริมาตรด้วยเอทานอลในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
6. แช่ผ้าที่มีอนุภาคซิงค์ออกไซด์เคลือบอยู่บนพื้นผิวลงไปในสารละลายกรดสเตียริก 15.7 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที
7. นำผ้าที่ได้มาทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แผนภาพแสดงกระบวนการเตรียมผ้าตัวกรองสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรองดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงแผนภาพการเตรียมผ้าตัวกรองสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรอง

3.4 การศึกษาปัจจัยมีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของผ้าตัวกรอง

เนื่องจากปัจจัยที่ใช้ในการสังเคราะห์มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของผ้าตัวกรองจึงได้ทำการศึกษปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้ คือ วิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองและชนิดของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ ปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ ปริมาณความเข้มข้นของสารคู่ควบ และชนิดของสารคู่ควบโดยสภาวะที่ดีที่สุดพิจารณาจาก ค่ามุมสัมผัสของน้ำ ลักษณะสัณฐานวิทยา และประสิทธิภาพในการกรองแยกของผสมระหว่างน้ำมันกับน้ำ

3.4.1 ศึกษาวิธีที่ใช้เคลือบผ้าตัวกรองและสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์

ตารางที่ 3.1 วิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองและสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์

วิธีที่	วิธีการสังเคราะห์	ปริมาณ ZnO ในเอทานอล (กรัม/มิลลิลิตร)	สารคู่ควบ	
			ชนิดสาร คู่ควบ	ความเข้มข้นของ สารคู่ควบ (โมลาร์)
1	สังเคราะห์ผง ZnO จาก NaOH	0.01	กรดสเตียริก	0.03
2	สังเคราะห์ผง ZnO จาก NH ₄ OH			
3	สังเคราะห์สารละลายโซลของ ZnO จาก NaOH			
4	สังเคราะห์สารละลายโซลของ ZnO จาก NH ₄ OH			

3.4.2. การศึกษาผลของปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบลงบนพื้นผิวผ้า

ตารางที่ 3.2 แสดงการศึกษาปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์และสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการสังเคราะห์	ปริมาณ ZnO ในเอทานอล (กรัม/มิลลิลิตร)	สารคู่ควบ	
		ชนิดสารคู่ควบ	ความเข้มข้นของ สารคู่ควบ (โมลาร์)
สังเคราะห์ผง ZnO จาก NaOH	0.005	กรดสเตียริก	0.03
	0.01		
	0.02		
	0.03		
	0.04		

3.4.3. การศึกษาผลของชนิดสารคู่ควบที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรอง
ตารางที่ 3.3 แสดงการศึกษาผลของชนิดสารคู่ควบ และสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการสังเคราะห์	ปริมาณ ZnO ในเอทานอล (กรัม/มิลลิลิตร)	สารคู่ควบ	
		ชนิดสารคู่ควบ	ความเข้มข้นของ สารคู่ควบ (โมลาร์)
สังเคราะห์ผง ZnO จาก NaOH	0.02	กรดออกตะโนอิก	0.03
		กรดลอริก	
		กรดสเตียริก	
		กรดโอเลอิก	

3.4.4. การศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของสารคู่ควบที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรอง
ตารางที่ 3.4 แสดงการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารคู่ควบและสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการสังเคราะห์	ปริมาณ ZnO ในเอทานอล (กรัม/มิลลิลิตร)	ชนิดสารคู่ควบ	สารคู่ควบ	
			ความเข้มข้นของ สารคู่ควบ (โมลาร์)	
สังเคราะห์ผง ZnO จาก NaOH	0.02	กรดสเตียริก	0.005	
			0.01	
			0.02	
			0.03	
			0.04	

3.4.5. การศึกษาประสิทธิภาพการกรองของผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

ในโครงการพิเศษนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกรองของผ้าตัวกรองในการกรองแยกน้ำมันออกจากน้ำ โดยน้ำมันที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้ คือ เฮกเซน (hexane) คลอโรฟอร์ม (chloroform) น้ำมันดีเซล (diesel) น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) และน้ำมันหมู (lard) ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพการกรองของผ้าที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการผสมน้ำมันแต่ละชนิดปริมาตร 10 มิลลิลิตร กับ น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
 2. เทสารละลายที่ผสมได้ลงบนผ้าที่ปรับปรุงให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยน้ำมันจะไหลผ่านผ้าตัวกรองลงไป ส่วนน้ำจะค้างอยู่บนพื้นผิวของผ้าตัวกรอง
 3. ทำการวัดปริมาตรของน้ำมันและน้ำที่แยกได้จากการกรองด้วยกระบอกตวง
 4. ทำการทดสอบหาปริมาณน้ำที่อาจจะปนอยู่ในน้ำมันที่ได้หลังจากการกรอง โดยการทดสอบด้วย การเติมแอนไฮดรัสคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (anhydrous copper(II) sulphate) โดยถ้ามีน้ำปนอยู่ในน้ำมัน จะทำให้สีของแอนไฮดรัสคอปเปอร์(II) ซัลเฟต เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีฟ้า
- หมายเหตุ: ในการทดลองได้ทำการผสมสารละลายเมทิลีนบลูลงในน้ำ เพื่อที่จะได้เห็นสีของน้ำที่แยกจากน้ำมันได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 3.5 แสดงการศึกษาชนิดของน้ำมันที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพการกรองของผ้าตัวกรอง

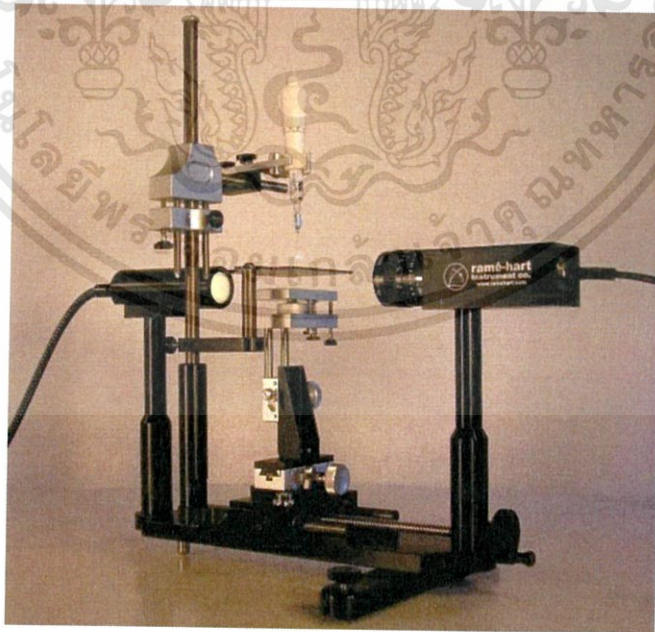
วิธีการสังเคราะห์	ปริมาณ ZnO ในเอทานอล (กรัม/มิลลิลิตร)	สารคู่ควบ		ชนิดของน้ำมัน
		ชนิดสารคู่ควบ	ความเข้มข้นของสารคู่ควบ (โมลาร์)	
สังเคราะห์ผง ZnO จาก NaOH	0.02	กรดสเตียริก	0.03	เฮกเซน
				คลอโรฟอร์ม
				น้ำมันดีเซล
				น้ำมันถั่วเหลือง
				น้ำมันหมู

3.5 การตรวจสอบสมบัติของวัสดุ

3.5.1 วิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยการวัดมุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles; WCAs)

มุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles; WCAs) เกิดจากความสัมพันธ์ของแรง 2 ชนิด คือ แรงเชื่อมแน่น (cohesive force) เป็นแรงที่ทำให้โมเลกุลของสารชนิดเดียวกันเกิดแรงยึดเหนี่ยวกัน เช่น แรงที่ทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการเกาะกันเองเป็นหยด และแรงยึดติด (adhesive force) คือแรงที่ทำให้โมเลกุลของสารต่างชนิดกันเกิดแรงยึดเหนี่ยวกัน ซึ่งเป็นแรงที่ตรงข้ามกับแรงเชื่อมแน่น เช่น แรงที่ทำให้หยดของของเหลวเกิดการยึดติดกับพื้นผิววัสดุ ทำให้เกิดการแตกออกของหยดน้ำนั่นเอง[2] มุมสัมผัส (contact angle; θ) เป็นมุมที่มีการสัมผัสกันระหว่างระนาบของของเหลวกับแก๊สและระนาบของของเหลวกับของแข็ง มุมสัมผัสเป็นผลมาจากสมดุลระหว่างแรงเชื่อมแน่นกับแรงยึดติด มุมสัมผัสเป็นค่าที่บ่งบอกการกระจายตัวของของเหลวบนผิวสัมผัสของของแข็ง

การวัดมุมสัมผัสของน้ำมีวิธีการทดสอบดังนี้ คือ นำหลอดดูดน้ำกลั่นแล้วหยดของเหลวออกจากหลอดฉีด โดยปล่อยหยดของเหลวที่แขวนอยู่ปลายเข็มเพียงหยดเดียวให้ลงมาสัมผัสบนพื้นผิววัสดุที่ต้องการวัด แล้วทำการวัดค่ามุมสัมผัสด้วยโปรแกรม มีหน่วยเป็นองศา โดยในโครงการพิเศษนี้ ได้ทำการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้หยดน้ำขนาด 0.8 ไมโครลิตร และทำการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วนำค่ามุมสัมผัสที่ได้ทั้งด้านซ้ายและด้านขวามาหาค่าเฉลี่ย เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ [37]

3.5.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุ สามารถศึกษาได้ในระดับจุลภาคโดยใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งพลังงานให้ได้ภาพของวัสดุที่มีความละเอียดสูงภาพที่ได้เป็นสามมิติ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายประมาณ 3000-100000 เท่า นิยมใช้ในการตรวจวัดวัสดุต่าง ๆ เช่น การดูเนื้อเยื่อของเซลล์สิ่งมีชีวิต การดูรูปร่างผลึกของสารชนิดต่างๆ เป็นต้น รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดซึ่งมีต้นกำเนิดเป็นอิเล็กตรอนที่ถูกสร้างจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงแก่ขดลวดทั้งสแตน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากขดลวดและถูกควบคุมทิศทางภายใต้สนามแม่เหล็ก ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้ามากระทบกับวัสดุ เกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อวัสดุหลายแบบ เกิดอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากวัสดุที่มีระดับพลังงานแตกต่างกัน ดังนี้ [38]

อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชั้นแถบตัวนำ (conduction band) หรือแถบพลังงานเวเลนซ์ (valance band) ใช้พลังงานต่ำก็สามารถหลุดออกจากผิวของวัสดุได้ง่าย อิเล็กตรอนชนิดนี้ใช้ในการสร้างภาพที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุ

อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (back scattered electron) เป็นอิเล็กตรอนที่เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าชนกับวัสดุ แล้วเกิดการกระเจิงกลับออกมาจากวัสดุ ซึ่งอิเล็กตรอนชนิดนี้สามารถสร้างภาพที่แสดงความแตกต่างของธาตุได้ โดยนำเสนอในรูปแบบของความเข้ม และความสว่างบนภาพ จึงเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุ

รังสีเอกซ์ (x-ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น มีความถี่สูง เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนวัสดุ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร เกิดการแทนที่ด้วยอิเล็กตรอนในชั้นถัด เกิดการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมาสามารถวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณได้



รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) [38]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR)

เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของโมเลกุลของสาร ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด อยู่ในช่วงเลขคลื่นประมาณ $12800-4000\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งรังสีอินฟราเรด (infrared radiation) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่ให้ความร้อนที่สามารถสัมผัสได้ โดยช่วงของรังสีอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ near Infrared ($12800-4000\text{ cm}^{-1}$) middle Infrared ($4000-200\text{ cm}^{-1}$) และ far Infrared ($200-10\text{ cm}^{-1}$) [39]

สำหรับช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ช่วง middle IR เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำไม่สามารถทำลายพันธะของโมเลกุลสารได้ แต่เป็นเพียงการทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้น ความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้น ๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไป ทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่น (wave number) กับการส่องผ่าน (transmittance) ซึ่งเรียกว่า อินฟราเรดสเปกตรัม (infrared spectrum) [40] เครื่อง FT-IR ใช้เวลาและปริมาณสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์น้อย จึงนิยมนำมาใช้วิเคราะห์สารทางคุณภาพ (qualitative analysis) ใช้หาหรือพิสูจน์เกี่ยวกับโครงสร้างของสารอินทรีย์ เช่น หาหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ต่าง ๆ และใช้วิเคราะห์หาปริมาณสาร (quantitative analysis) เป็นต้น รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะเครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

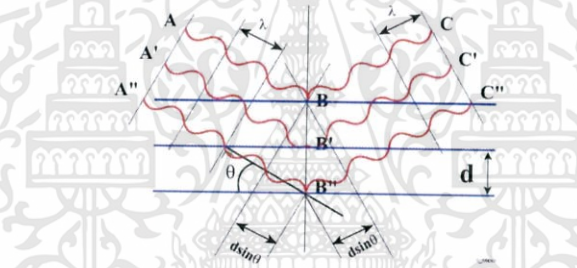


รูปที่ 3.8 เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (fourier transform infrared-spectroscopy; FT-IR) [40]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (x-ray diffractometer; XRD)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากในการวิเคราะห์วัสดุ โดยสามารถใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของสารประกอบแบบผลึกต่าง ๆ ในชิ้นงานได้โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ [41] โดยมีลักษณะเครื่องดังแสดงในรูปที่ 3.11 ในการทำงานเริ่มต้นจะใช้รังสีเอกซ์ที่ทราบความยาวคลื่นที่แน่นอนไปตกกระทบยังวัสดุที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ อธิบายด้วยรูปที่ 3.10 ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่าง ๆ กัน โดยมีหัววัดเป็นตัวรับข้อมูล โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน ซึ่งองค์การในการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างผลึกของสาร ข้อมูลที่ได้จากเทคนิคนี้สามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบและโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างนั้น ๆ ได้นอกจากนี้ยังสามารถนำมาหาปริมาณของสารประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง เช่น ปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก และความหนาของชั้นฟิล์มได้อีกด้วย [42]



รูปที่ 3.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผลึก [41]



รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffractometer; XRD) [43]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (thermogravimetric analyzer; TGA)

TGA เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุเมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง (thermobalance) เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแก๊สหรือระเหยของน้ำ การตกผลึก (crystallization) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเฟส การแตกตัวของวัสดุ (decomposition) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือ ปริมาณสารสัมพันธ์ (stoichiometry) ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือแก๊สที่มีความว่องไว เช่น อากาศ หรือ ออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ผลการทดสอบจะถูกแสดงออกมาในรูปแบบกราฟซึ่งมีแกน y แสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนไป (weight % หรือ mg) และแกน x แสดงอุณหภูมิหรือเวลาตามที่กำหนด ความสามารถในการให้บริการวิเคราะห์ทดสอบองค์ประกอบของสาร (composition) เสถียรภาพทางความร้อน (thermal decomposition) การระเหย (evaporation) [48]



รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (thermogravimetric analyzer; TGA) [49]

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลการศึกษากการเตรียมผ้าตัวกรองให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบ โดยจะแสดงผลต่าง ๆ ดังนี้ การศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles; WCAs) ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) ผลการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยเทคนิค (energy dispersive spectroscopy; EDS) ผลการศึกษาการตรวจสอบโครงสร้างของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (fourier transform infrared spectrometer; FT-IR) ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุเนื่องจากความร้อนด้วยเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส (thermogravimetric analysis; TGA) และผลการศึกษาประสิทธิภาพการกรอง พร้อมทั้งอภิปรายผลการทดลองที่ได้ ตามลำดับ

4.1 การเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ลงบนพื้นผิวผ้า

ได้ทำการศึกษาผลของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์และวิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์และวิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองที่ทำการศึกษา แบ่งได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

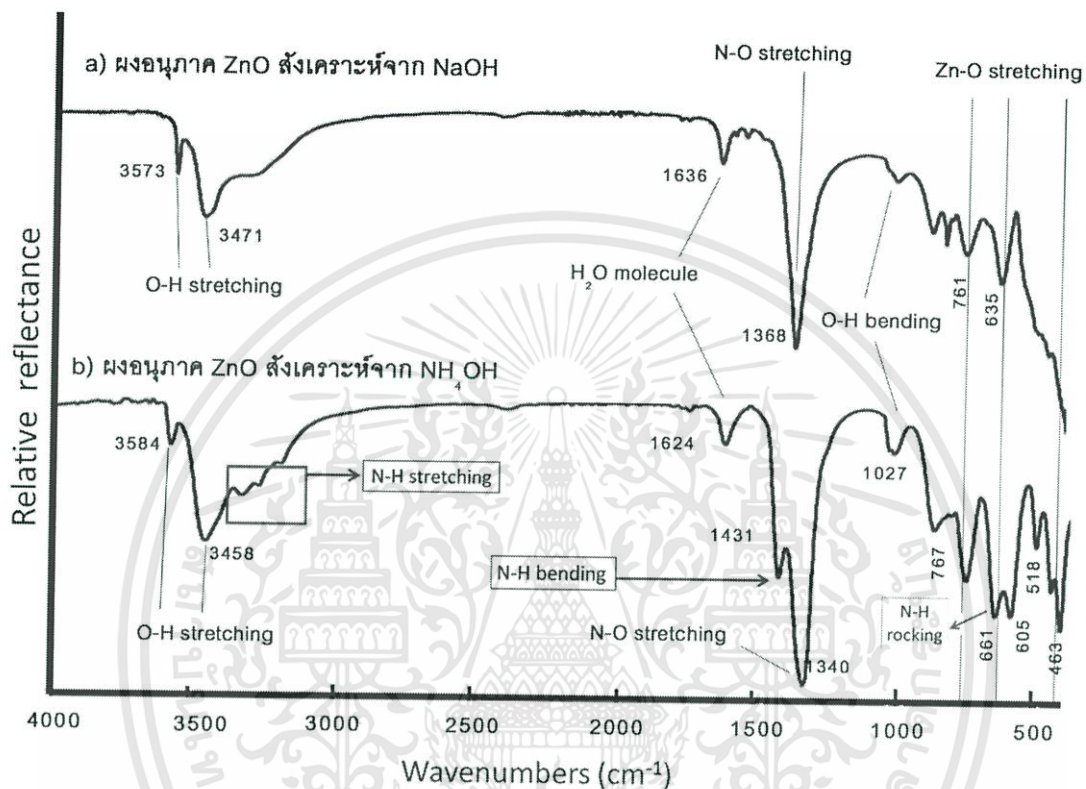
4.1.1 การเคลือบโดยใช้สารแขวนลอยต์ของอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์

4.1.1.1 การสังเคราะห์อนุภาคผงซิงค์ออกไซด์

ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์จากปฏิกิริยาโซล-เจล โดยใช้สารตั้งต้น คือ สารละลายซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ทำการปั่นกวนสารละลายและแยกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง แล้วนำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาโครงสร้างของสารด้วยเทคนิค FT-IR ของผงอนุภาคที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของผงอนุภาคทั้ง 2 ชนิดที่สังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยากับ NaOH และ NH_4OH มีลักษณะคล้ายคลึงกันคือ มีการดูดกลืนแสงที่ตรงกับการสั่นของพันธะ O-H แบบยืดหดที่เลขคลื่น 3584 3575 3471 และ 3458 cm^{-1} และ O-H แบบงอที่ช่วงเลขคลื่นประมาณ 1020 cm^{-1} พบการสั่นของพันธะ N-O stretching ที่เลขคลื่น 1368 และ 1340 cm^{-1} พบการสั่นของพันธะ Zn-O ที่เลขคลื่น 767 761 และประมาณช่วง 600-450 cm^{-1} [6] นอกจากนั้นสเปกตรัมของผงอนุภาคที่สังเคราะห์จากแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ยังพบการสั่นของพันธะ N-H แบบยืดหดที่ช่วงเลขคลื่นประมาณ 3300 cm^{-1} แบบงอที่เลขคลื่น 1431 cm^{-1} และแบบระนาบเดียวกันที่เลขคลื่น 661

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cm^{-1} [49] จากผลการวิเคราะห์คาดว่าในสารที่สังเคราะห์ได้เป็นสารประกอบซิงค์ออกไซด์ที่มีสารประกอบไนเตรทเจือปนอยู่ ซึ่งคาดว่ามาจากสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ คือ ซิงค์ไนเตรท-เฮกซะไฮเดรต ส่วนผกอนุภาคที่สังเคราะห์จากแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ยังพบการเจือปนของแอมโมเนียมหลงเหลืออยู่จากการใช้สารตั้งต้น คือ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ในการสังเคราะห์

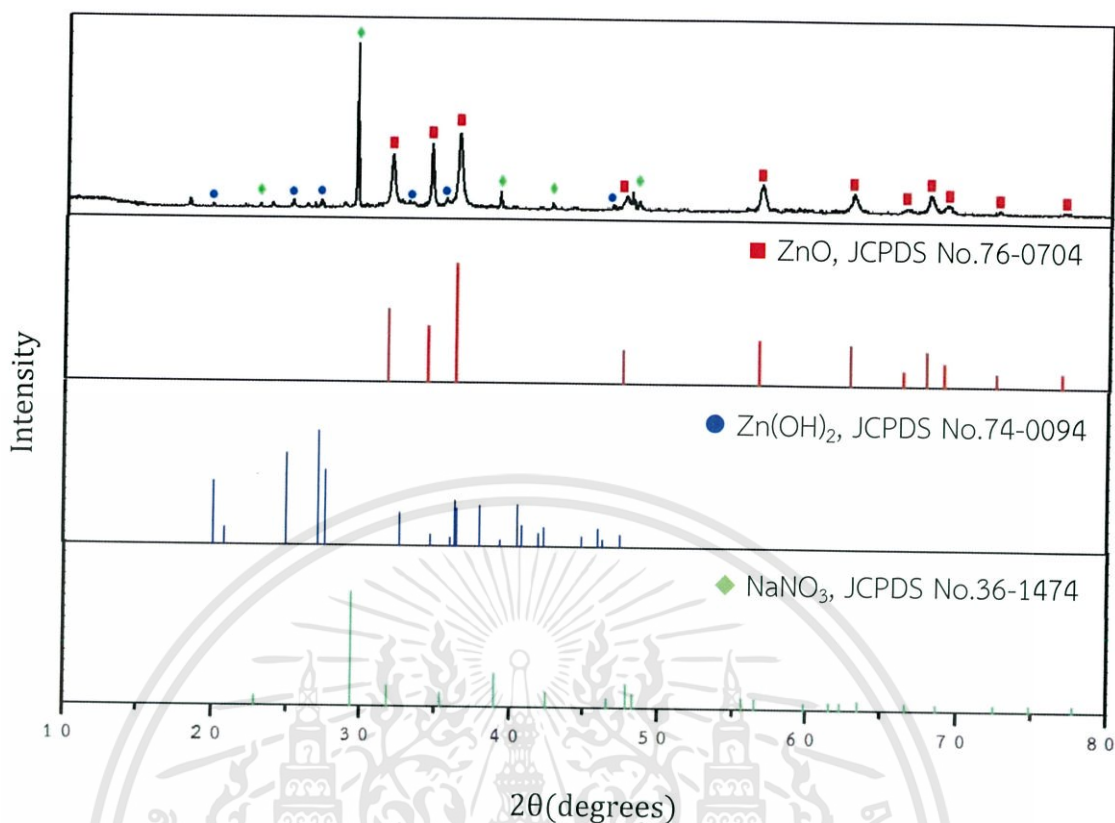


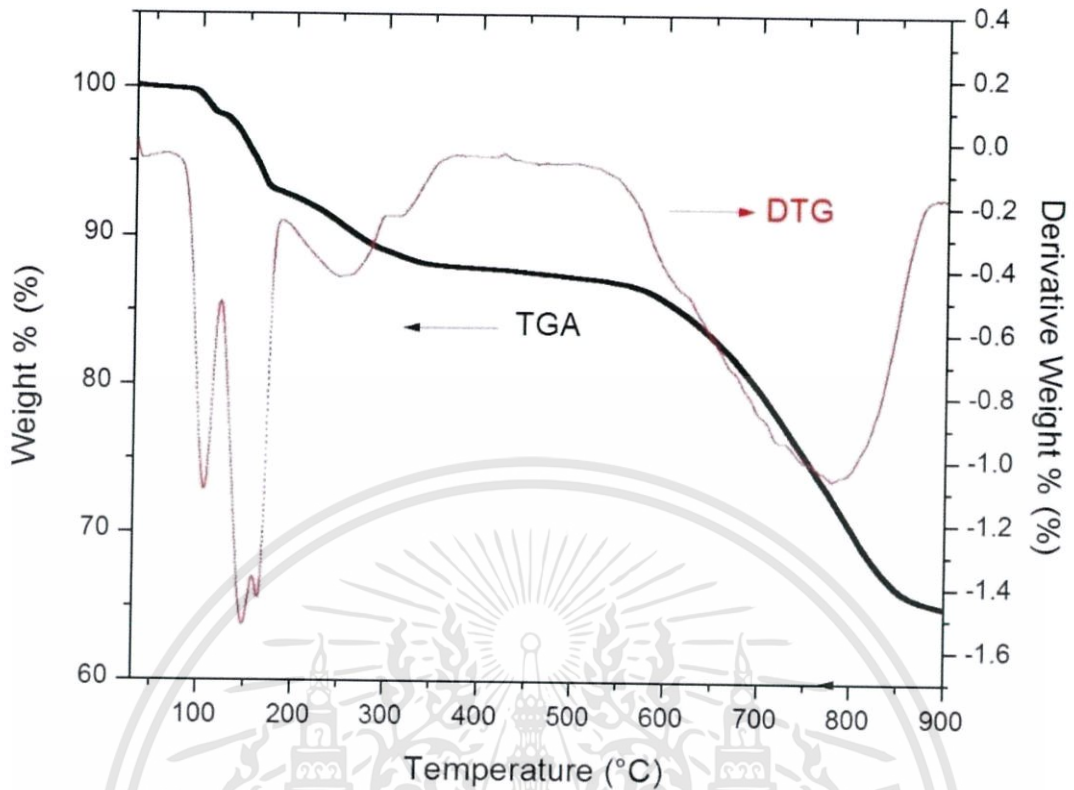
รูปที่ 4.1 แสดงภาพสเปกตรัมของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต ทำปฏิกิริยากับ a) โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ b) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเทคนิค FT-IR ที่ได้จากผงอนุภาคที่สังเคราะห์โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

พันธะ	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	
	ZnO สังเคราะห์โดยใช้ NaOH	ZnO สังเคราะห์โดยใช้ NH ₄ OH
O-H stretching	3573 และ 3471	3584 และ 3458
N-H stretching	-	~3300
H ₂ O molecule	1636	1624
N-H bending	-	1431
N-O stretching	1368	1340
N-H rocking	-	661
O-H bending	~1020	1027
Zn-O stretching	761 และ ~600 - 450	767 และ ~600 - 450

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากสารตั้งต้น คือ ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าผงอนุภาคที่ได้มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของซิงค์ออกไซด์ (ZnO, JCPDS No.76-0704) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) พบว่ามีพีคขึ้นที่ตำแหน่ง 2 theta คือ 31.74 34.38 36.21 47.48 56.54 62.78 67.89 69.01 72.46 และ 76.87 นอกจากนี้ยังพบว่าพีคที่ตำแหน่ง 2 theta คือ 20.06 27.06 32.67 35.96 37.95 และ 46.27 ซึ่งมีรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของซิงค์ไฮดรอกไซด์ (Zn(OH)₂, JCPDS No.74-0094) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบออร์ทอโรมบิก (orthorhombic) และที่ตำแหน่ง 2 theta คือ 22.82 29.38 38.93 42.50 47.91 และ 48.35 ซึ่งตรงกับไฟล์มาตรฐานของโซเดียมไนเตรท (NaNO₃, JCPDS No. 36-1474) ที่มีโครงสร้างแบบบรอมโบฮีดรัล (rhombohedral) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผงอนุภาคที่ได้จากสังเคราะห์โดยใช้สารตั้งต้นซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีการผสมของอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์และโซเดียมไนเตรทปะปนอยู่



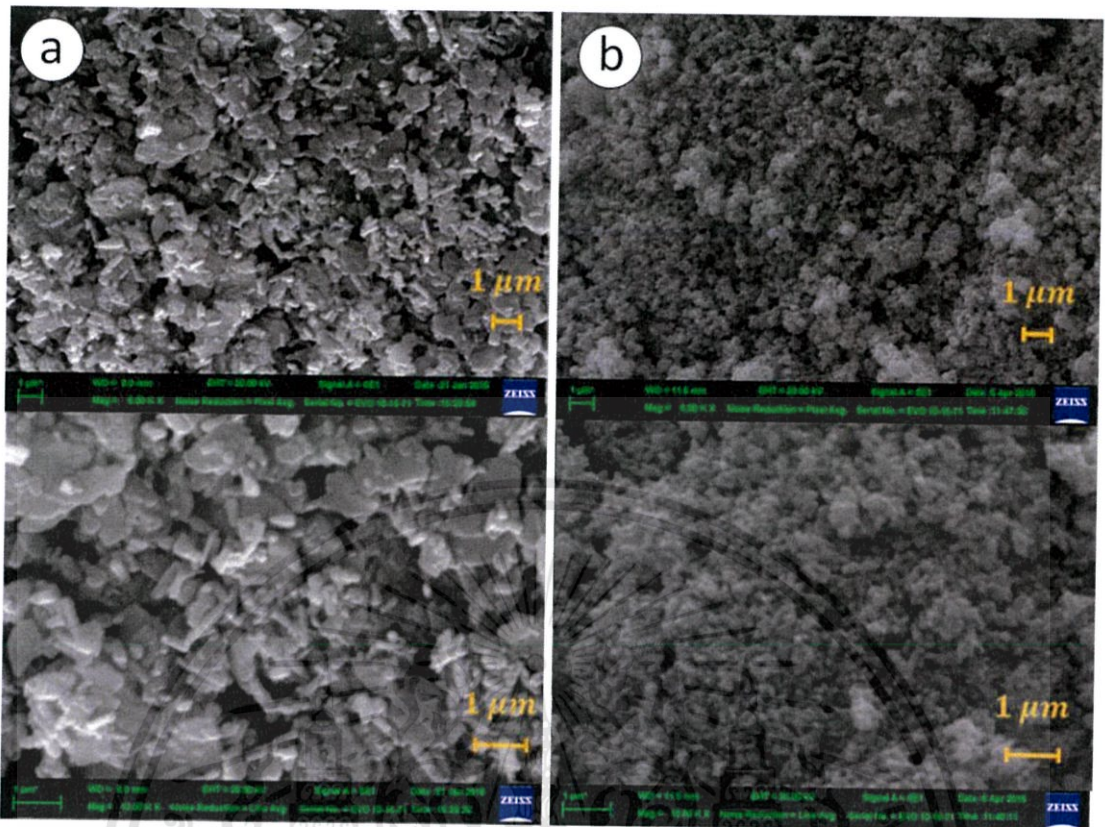


รูปที่ 4.3 แสดงการสลายตัวทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-900 องศาเซลเซียส ของผงอนุภาคที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.2 แสดงผล TGA ของผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีกระบวนการสังเคราะห์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารตั้งต้น

ช่วงอุณหภูมิการสลายตัว (°C)	DTG (°C)	%WT(%)	ลักษณะการสลายตัว
30-125	106	2.30	หมู่ (-OH) และ น้ำ
125-400	135	5.39	ไนเตรทแอนไอออน (NO_3^-)
400-900	780	22.31	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{ZnO}$
900	-	65.38	ZnO ที่เหลือ

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการใช้ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ มีรูปร่างอนุภาคเป็นแบบแท่งและแบบแผ่นปะปนกันอยู่ของอนุภาค ZnO และสารประกอบ $Zn(NO)_3$ โดยสารที่ได้มีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของทั้งสองวัสดุภาคที่วัดโดยโปรแกรม Image J [47] ดังแสดงผลในตารางที่ 4.3 โดยพบว่าการใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ได้ขนาดอนุภาคโดยรวมที่เล็กกว่าเนื่องจากแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เป็นเบสอ่อนต่างจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นเบสแก่ ในสภาวะการสังเคราะห์ที่เหมือนกันและความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ใช้เท่ากัน ในการสังเคราะห์ปฏิกิริยาโซล-เจลที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรกนั้นจะมีน้ำเป็นตัวทำให้สารตั้งต้นเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งในการแตกตัวนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของเบสทั้ง 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (เบสแก่) และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (เบสอ่อน) นอกจากนี้เบสจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการแตกตัวโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเบสแก่จะเกิดการแตกตัวร้อยละ 100 ในขั้นตอนไฮโดรไลซิสการแตกตัวของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่มากกว่าการแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งส่งผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์ซิงค์ไฮดรอกไซด์ ($Zn(OH)_2$) ในขั้นตอนของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและเป็นสารตั้งต้นในการเกิดซิงค์ออกไซด์ในขั้นตอนของปฏิกิริยาควบแน่น โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่ได้จากการแตกตัวของเบสที่ใช้ในระบบ จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดการควบแน่นของซิงค์ไฮดรอกไซด์ เมื่อมีปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนมาก ทำให้เกิดการโตของผลึกได้ดียิ่งขึ้น อนุภาคที่เกิดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงเกิดการควบแน่นได้ดีกว่าอนุภาคที่เกิดจากแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ในส่วนของซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการทำปฏิกิริยาที่ไม่พอดีกันของสารตั้งต้น หรือเกิดการแตกตัวเป็นไอออนแล้วเกิดปฏิกิริยาควบแน่นอีกครั้ง ทำให้เกิดอนุภาค 2 วัสดุภาคจากกระบวนการสังเคราะห์ผงอนุภาค



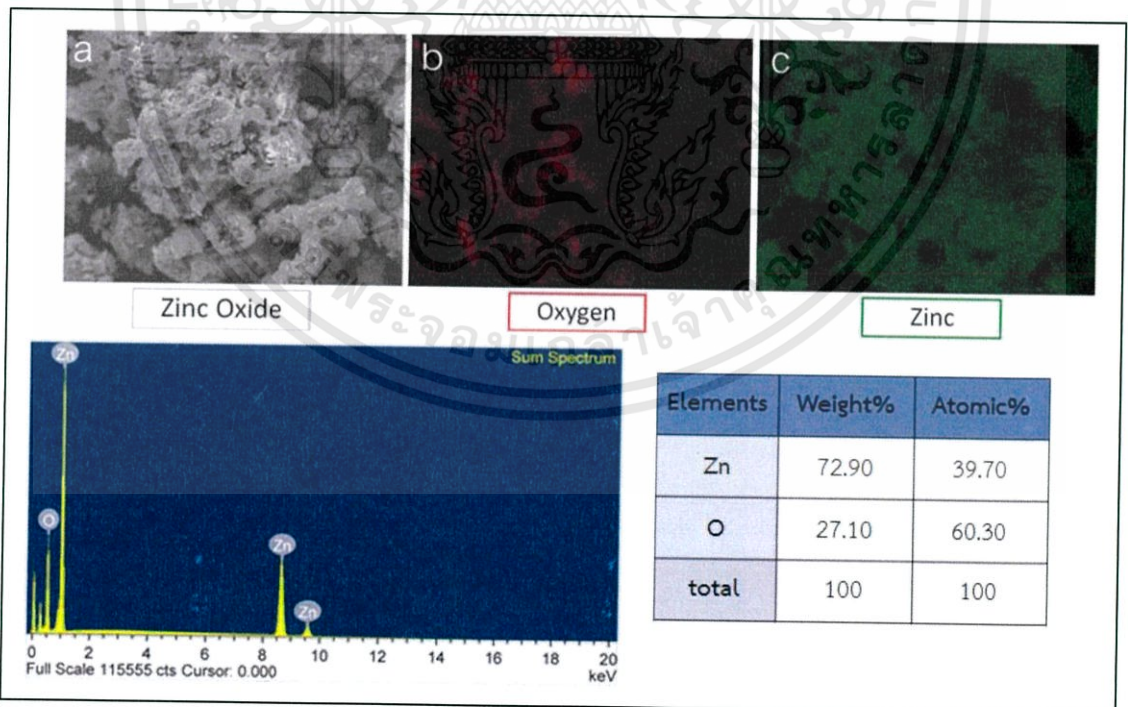
รูปที่ 4.4 แสดงภาพ SEM ของผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับ a) โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ b) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (บน) และ 10,000 เท่า (ล่าง)

ตารางที่ 4.3 แสดงขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับสารละลายเบสที่ต่างกัน

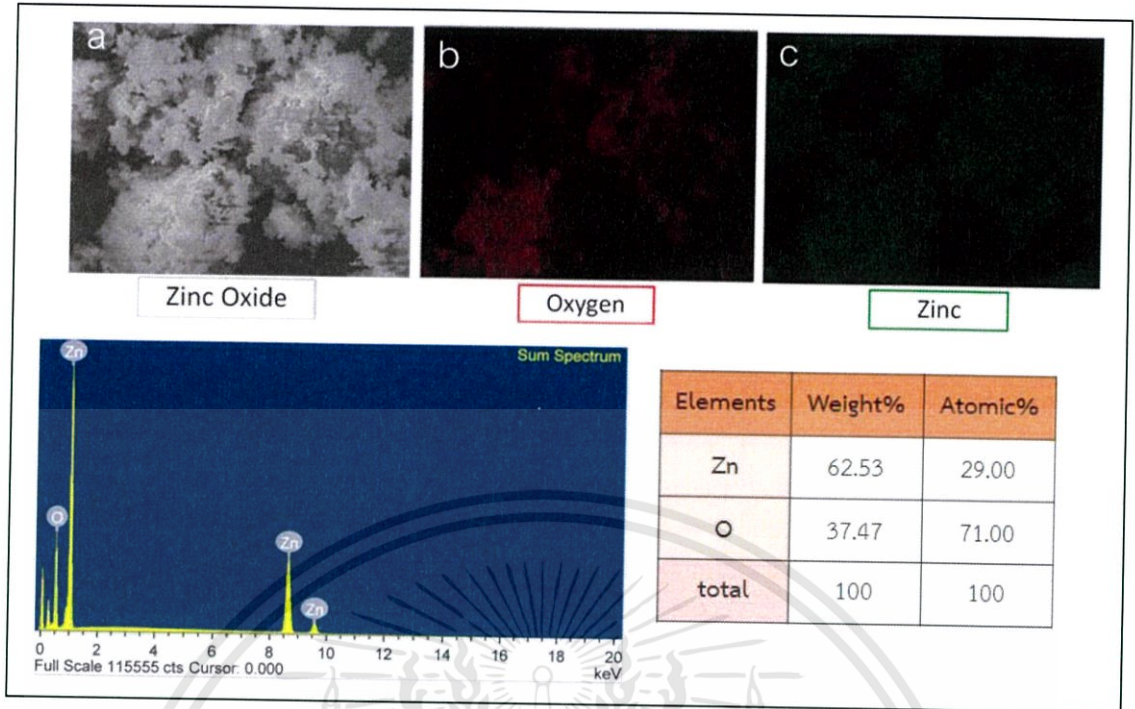
อนุภาคผง ZnO ที่เกิดจาก $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ทำปฏิกิริยากับเบส	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	แบบแท่ง (วัดตามความยาว)	แบบแผ่น
NaOH	0.990 ± 0.108	1.340 ± 0.238
NH_4OH	0.301 ± 0.034	0.275 ± 0.025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค SEM-EDS ของผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดง EDS สเปกตรัมและแผนภาพการกระจายตัวของธาตุ (EDS mapping) ของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ แสดงให้เห็นถึงธาตุหลัก 2 ชนิด คือ ซิงค์และออกซิเจน โดยที่อนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักซิงค์ต่อออกซิเจนอยู่ที่ 72.90 ต่อ 27.10 และผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มาจากแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักซิงค์ต่อออกซิเจนอยู่ที่ 62.53 ต่อ 37.47 ซึ่งค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักทางทฤษฎีที่มีอัตราส่วนระหว่างซิงค์ต่อออกซิเจนเป็น 80.34 ต่อ 19.96 จึงทำให้ทราบว่าผงอนุภาคที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นคือซิงค์ออกไซด์ที่ไม่บริสุทธิ์ ซึ่งร้อยละโดยน้ำหนักที่หายไปของธาตุแสดงให้เห็นถึงการเจือปนของสารซึ่งคาดว่าเป็นซิงค์ออกไซด์และซิงค์ไนเตรท โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากโซเดียมไฮดรอกไซด์กับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์พบว่าค่าอัตราส่วนระหว่างธาตุซิงค์และออกซิเจนของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากโซเดียมไฮดรอกไซด์มีอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีมากกว่าอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความบริสุทธิ์ที่สูงกว่า



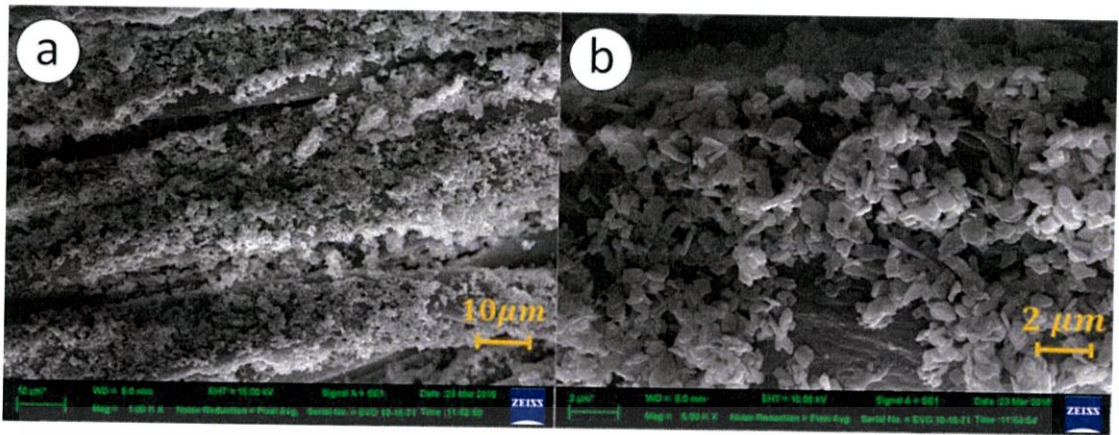
รูปที่ 4.5 แสดงภาพ SEM-EDS mapping ร้อยละโดยน้ำหนักและอะตอมของธาตุออกซิเจนและซิงค์ของผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์



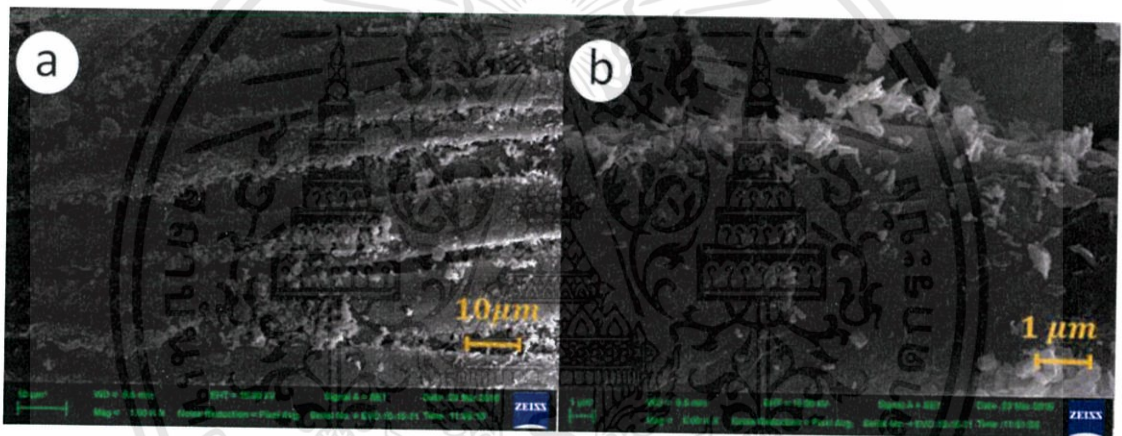
รูปที่ 4.6 แสดง SEM-EDS สเปกตรัมการกระจายตัวของธาตุและร้อยละโดยน้ำหนักและอะตอมของธาตุออกซิเจนและซิงค์ของผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากซิงค์ในเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

4.1.1.2 การเคลือบผ้าตัวกรองโดยใช้สารแขวนลอยของอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์

นำอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ไปกระจายตัวในสารละลายเอทานอลบริสุทธิ์และเคลือบลงบนผ้าตัวกรองเพื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ของพื้นผิวผ้า ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นมีการกระจายตัวอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอบนพื้นผิวผ้า ส่วนผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอโดยมีบางบริเวณที่มีอนุภาคเกาะกลุ่มเรียงตัวซ้อนกันอย่างหนาแน่นและบางบริเวณไม่มีอนุภาคซิงค์ออกไซด์เกาะอยู่ ทำให้พื้นผิวของผ้าตัวกรองเกิดความขรุขระเฉพาะจุด การเกาะกลุ่มกันของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากการใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าจึงมีพื้นที่ผิวและพลังงานพื้นผิวที่มากกว่าอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีแนวโน้มที่จะลดพลังงานพื้นผิวของอนุภาคโดยการเกาะกลุ่มกัน ซึ่งส่งผลทำให้การยึดเกาะบนพื้นผิวผ้าตัวกรองได้น้อยลง



รูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่าย SEM ของผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่กำลังขยาย คือ a) 1000 เท่า และ b) 5000 เท่า

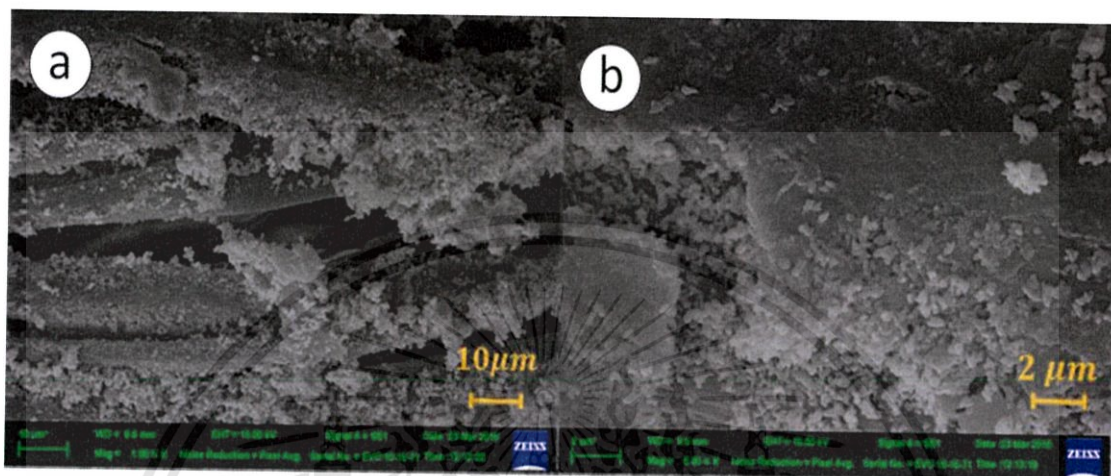


รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่าย SEM ของผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ที่กำลังขยาย คือ a) 1000 เท่า และ b) 5000 เท่า

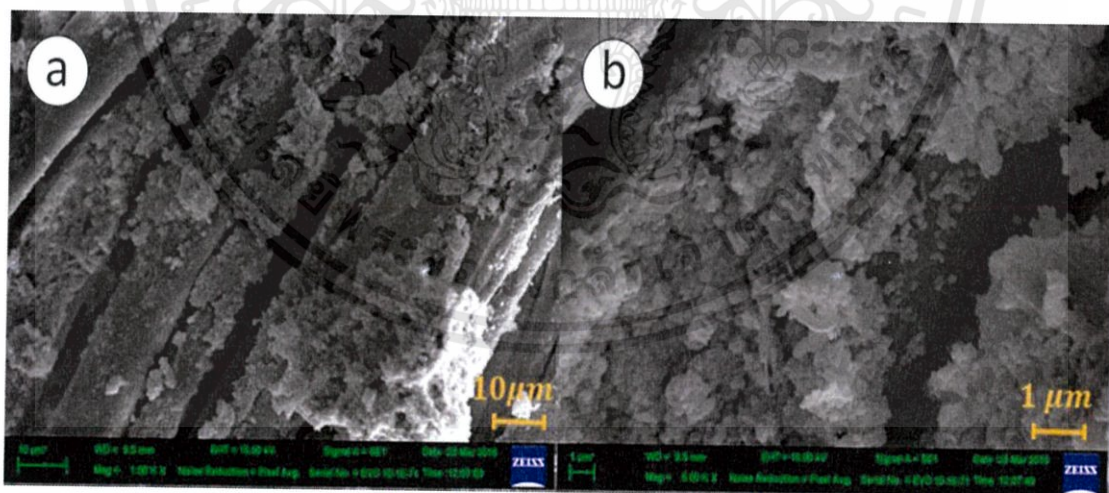
4.1.2 การเคลือบโดยใช้สารละลายโซลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์

การเคลือบผ้าตัวกรองโดยวิธีการใช้สารละลายโซลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดอนุภาคซิงค์ออกไซด์บนผิวผ้ามีรูปร่างเป็นเม็ดที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม โดยมีขนาดที่แตกต่างกันอนุภาคที่สังเคราะห์จากโซเดียมไฮดรอกไซด์มีขนาดเฉลี่ยที่ 0.306 ± 0.06 ไมโครเมตร และอนุภาคที่สังเคราะห์จากแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์มีขนาดอนุภาคเล็กมากจนไม่สามารถวัดและรายงานผลได้ดังแสดงในตาราง 4.4 และรูปที่ 4.9 และ 4.10 ในการเกิดปฏิกิริยาโซล-เจลนั้นมีการปั่นกวนตลอดเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง อนุภาคมีการกระจายตัวบนผิวผ้าที่ไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะเป็นแผ่นเหลี่ยมขนาดเล็ก มีขนาดแตกต่างกันเนื่องจากการใช้สารละลายเบสที่ต่างกันซึ่งอธิบายกลไกในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดและผลที่ทำให้ขนาดอนุภาคแตกต่างกันในหัวข้อที่ 4.1.1 ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์สารละลายโซลใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานจึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์กว่าการสังเคราะห์ผงอนุภาค ทำให้เกิดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในปริมาณมากเกิดเป็นชั้นเคลือบหนาทำให้มีอนุภาคบางส่วนของซิงค์ออกไซด์ เกิดการหลุดร่อนออกจากผ้าตัวกรองทำให้การกระจายตัวของอนุภาคไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่าย SEM ของผ้าที่เคลือบโดยการใช้สารละลายโซลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่กำลังขยาย คือ a) 1000 เท่า และ b) 5000 เท่า



รูปที่ 4.10 แสดงภาพถ่าย SEM ของผ้าที่เคลือบโดยใช้สารละลายโซลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ที่กำลังขยาย คือ a) 1000 เท่า และ b) 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

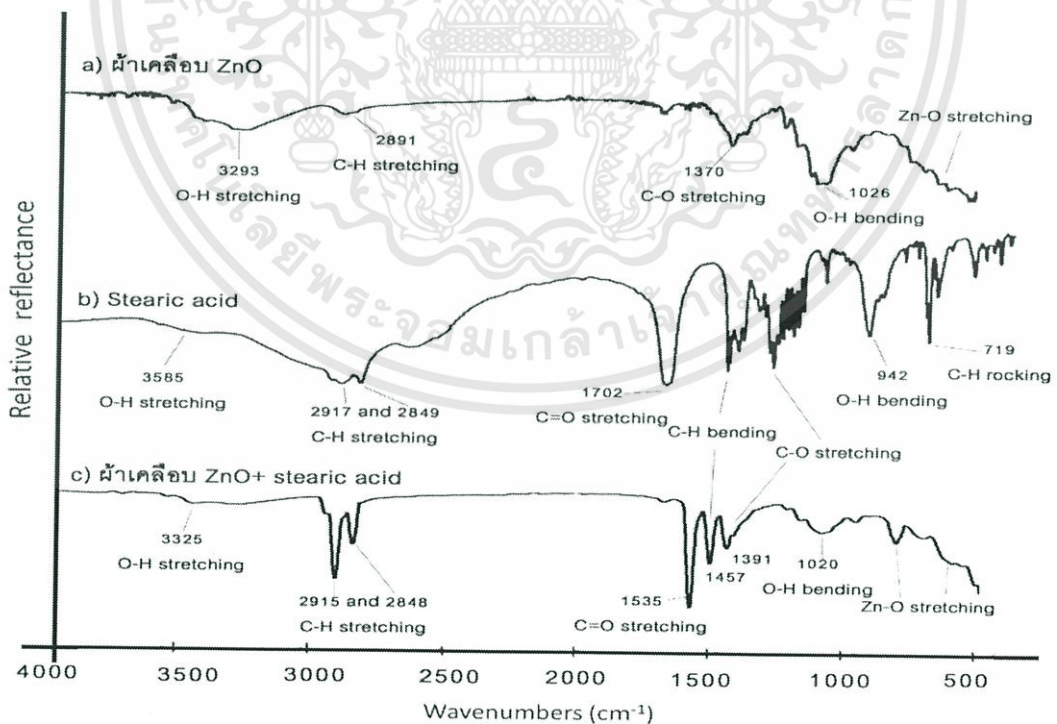
ตารางที่ 4.4 แสดงความแตกต่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบบนผ้าตัวกรอง

วิธีการ	ลักษณะและขนาดอนุภาค ZnO (ไมโครเมตร)	การกระจายตัวของอนุภาคบน ผิวผ้าตัวกรอง
1. สังเคราะห์ ZnO จาก NaOH	แบบแท่ง 0.72 ± 0.06	กระจายตัวสม่ำเสมอ ทั่วผิวผ้า
	แบบแผ่น 0.66 ± 0.07	
2. สังเคราะห์ผง ZnO จาก NH_4OH	แบบแท่ง 0.47 ± 0.07	กระจายตัวไม่สม่ำเสมอทั้ง ผิวผ้าในบางบริเวณเกาะเป็น ก้อนขนาดเล็ก
	แบบแผ่น 0.59 ± 0.08	
3. สังเคราะห์สารละลายโซลของ ZnO จาก NaOH	แบบเม็ด 0.31 ± 0.06	กระจายตัวไม่สม่ำเสมอบาง บริเวณเกิดการเกาะกลุ่มกัน จนเป็นแผ่นหนา
4. สังเคราะห์สารละลายโซลของ ZnO จาก NH_4OH	แบบเม็ดเล็ก ซึ่งไม่สามารถวัดขนาดได้	กระจายตัวไม่สม่ำเสมอบาง บริเวณเกิดการเกาะกลุ่มกัน เป็นก้อนขนาดใหญ่

4.1.3 การปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรองด้วยสารคู่ควบและการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ

หลังจากที่ได้ทำการเคลือบผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์บนพื้นผิวผ้าตัวกรองจากวิธีการเคลือบโดยการใช้ผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์และเคลือบโดยการใช้สารละลายโซลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามวิธีการที่ 3.3.2.1 และ 3.3.2.2 แล้วนำผ้าที่ได้มาเคลือบด้วยสารคู่ควบกรดสเตียริก (stearic acid) เพื่อปรับปรุงให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนวด ตามสถานะดังแสดงในตารางที่ 3.1 ผลการศึกษาโครงสร้างด้วยเทคนิค FT-IR ของผ้าตัวกรองที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายกรดสเตียริกและผ้าตัวกรองที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์และทำการเคลือบด้วยกรดสเตียริก ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าที่เคลือบด้วย ZnO พบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตรงกับการสั่นของพันธะ O-H แบบยืดหด ที่เลขคลื่น 3293 cm^{-1} และแบบงอที่ 1026 cm^{-1} พบการสั่นของพันธะ C-O แบบยืดหดที่เลขคลื่น 1370 cm^{-1} และพบการสั่นของพันธะ C-H ที่ 2891 cm^{-1} และการสั่นของพันธะ Zn-O ที่ช่วงเลขคลื่นประมาณ $600\text{-}450 \text{ cm}^{-1}$ [50] เนื่องจากโครงสร้างเซลลูโลส (cellulose) ของผ้าฝ้ายและอนุภาค ZnO เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายกรดสเตียริก พบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตรงกับการสั่นของพันธะ O-H แบบยืดหด ที่เลขคลื่น 3585 cm^{-1} การสั่นของพันธะ

C-H ที่ 2917 และ 2849 cm^{-1} พบการสั่นของพันธะ C=O แบบยืดหด ที่เลขคลื่น 1702 cm^{-1} นอกจากนี้ยังพบการสั่นของพันธะ O-H แบบงอและการสั่นของพันธะ C-O แบบยืดหด ซึ่งมาจากโครงสร้างที่แสดงหมู่คาร์บอกซิลของสารละลายกรดสเตียริก และจากสเปกตรัมของผ้าตัวกรองที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์แล้วตามด้วยสารละลายกรดสเตียริก ทำการเปรียบเทียบกันพบว่าเมื่อทำการเคลือบด้วยกรดสเตียริกแล้ว ทำให้เกิดช่วงการดูดกลืนแสงที่ตรงกับการสั่นที่เพิ่มขึ้นในช่วงต่าง ๆ ดังนี้ คือ การสั่นของพันธะ C-H แบบงอที่เลขคลื่น 2915 และ 2848 cm^{-1} รวมไปถึงเกิดการเลื่อนของสเปกตรัมไปทางความยาวคลื่นที่สูงขึ้นของการสั่นของพันธะ C-O แบบยืดหด และพันธะ O-H แบบงอ ส่วนสเปกตรัมการสั่นของพันธะ C=O แบบยืดหด เกิดที่เลขคลื่น 1535 cm^{-1} ซึ่งมีการเลื่อนของสเปกตรัมไปในทางที่ต่ำลง เมื่อเทียบกับสารละลายกรดสเตียริก จึงสันนิษฐานได้ว่าหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดขึ้นเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการเกิดพันธะ ซึ่งคาดว่าแสดงถึงการเกิดพันธะเอสเทอร์ (ester ; C=O)-O) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างซิงค์ออกไซด์กับกรดสเตียริก ซึ่งสอดคล้องกับการที่พันธะ O-H แบบยืดหดและแบบงอในสเปกตรัมของผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริกมีความเข้มลดลง ซึ่งพันธะที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อพันธะระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิวของ ZnO และหมู่คาร์บอกซิลของกรดสเตียริกเกิดเป็นซิงค์สเตียเรต (zinc stearate) ขึ้น โดยอ้างอิงจากสเปกตรัมของสารละลายกรดสเตียริกมาตรฐานและซิงค์สเตียเรตมาตรฐานซึ่งแสดงไว้ใน ภาคผนวก ข. และโครงสร้างซิงค์สเตียเรตดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงภาพ FT-IR ของผ้าตัวกรองที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วย a) อนุภาคซิงค์ออกไซด์

b) สารละลายกรดสเตียริก และ c) ผ้าเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

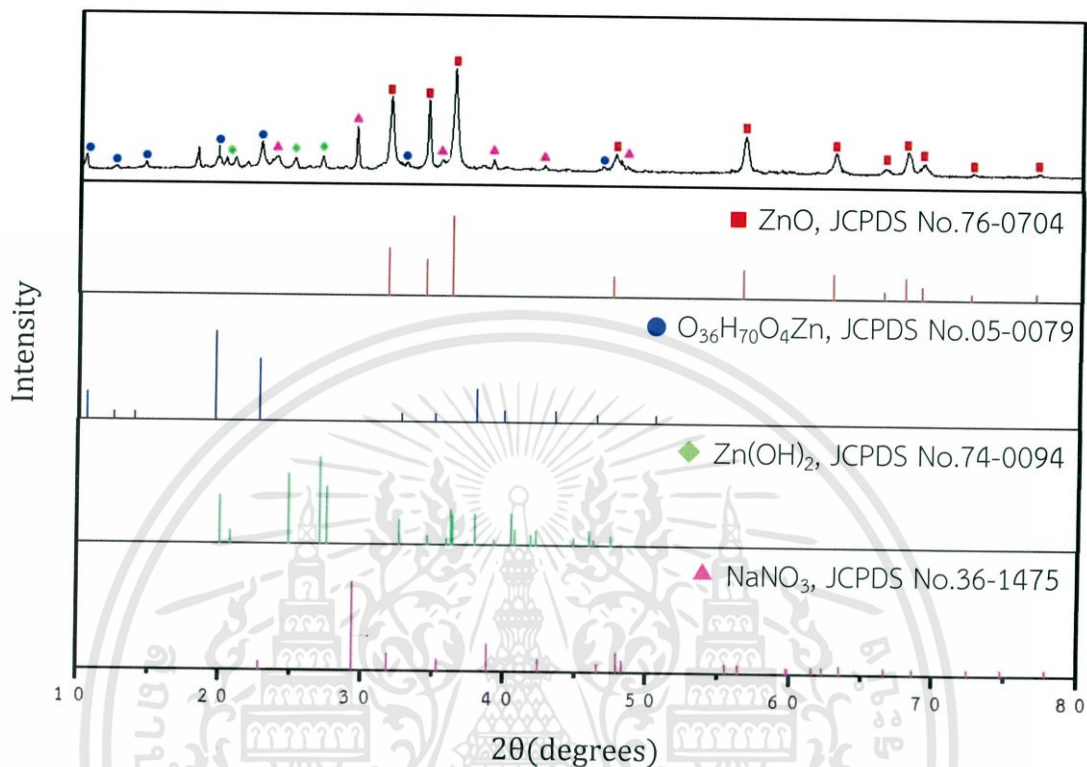
ตารางที่ 4.5 แสดงถึงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเทคนิค FT-IR ของผ้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ สารละลายกรดสเตียริกและผ้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก

พันธะ	เลขคลื่น (cm^{-1})		
	ผ้าที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์	สารละลายกรดสเตียริก	ผ้าที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก
O-H stretching	3293	3585	3325
C-H stretching	2891	2917 และ 2849	2915 และ 2848
C=O stretching	-	1702	1535
CH ₂ & CH ₃ deformation	-	~1300-1400	1457
C-O stretching	1370	~1200-1300	1391
O-H bending	1026	942	1020
C-H rocking	-	719	-
Zn-O stretching	~600-450	-	731 และ ~600-450

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของผงที่เคลือบบนผ้าตัวกรองที่มีการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ผลที่ได้ดังแสดงในรูป 4.12 พบว่ามีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของซิงค์ออกไซด์ (ZnO, JCPDS No.76-0704) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) ที่ตำแหน่ง 2 theta คือ 31.74 34.38 36.21 47.48 56.54 62.78 67.87 69.01 72.46 และ 76.87 และรูปแบบไฟล์มาตรฐานของซิงค์ไฮดรอกไซด์ (Zn(OH)₂, JCPDS No. 74-0094) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบออร์ทอโรมบิก (orthorhombic) ที่ตำแหน่ง 2 theta 20.06 24.94 27.06 และ 27.60 นอกจากนี้ยังพบรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ตรงกับรูปแบบไฟล์มาตรฐานซิงค์สเตียเรต (O₃₆H₇₀O₄Zn, JCPDS No.05-0079) ที่ตำแหน่ง 2 theta คือ 10.59 13.92 19.58 22.66 32.65 37.93 39.86 43.47 และ 46.36 และรูปแบบไฟล์มาตรฐานของโซเดียมไนเตรต (NaNO₃, JCPDS No. 36-1474) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบรอมโบฮีดรัล (rhombohedral) ที่ตำแหน่ง 2 theta ที่ 29.38 35.36 38.93 42.50 47.91 และ 48.35 แสดงให้เห็นว่าผงที่เคลือบบนผ้าตัวกรองที่มีการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และทำการ

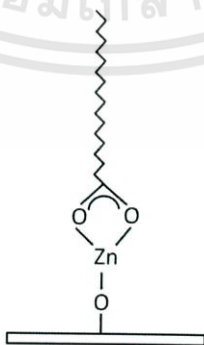
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยกรดสเตียริก เป็น ผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีการผสมของอนุภาคซิงค์สเตียเรต ซิงค์ไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไนเตรท แต่เนื่องจากอนุภาคซิงค์สเตียเรตที่เกิดขึ้นมีการโตของผลึกที่ในระนาบที่แตกต่างจากไฟล์มาตรฐาน ทำให้ลำดับมีการเปลี่ยนแปลงไป



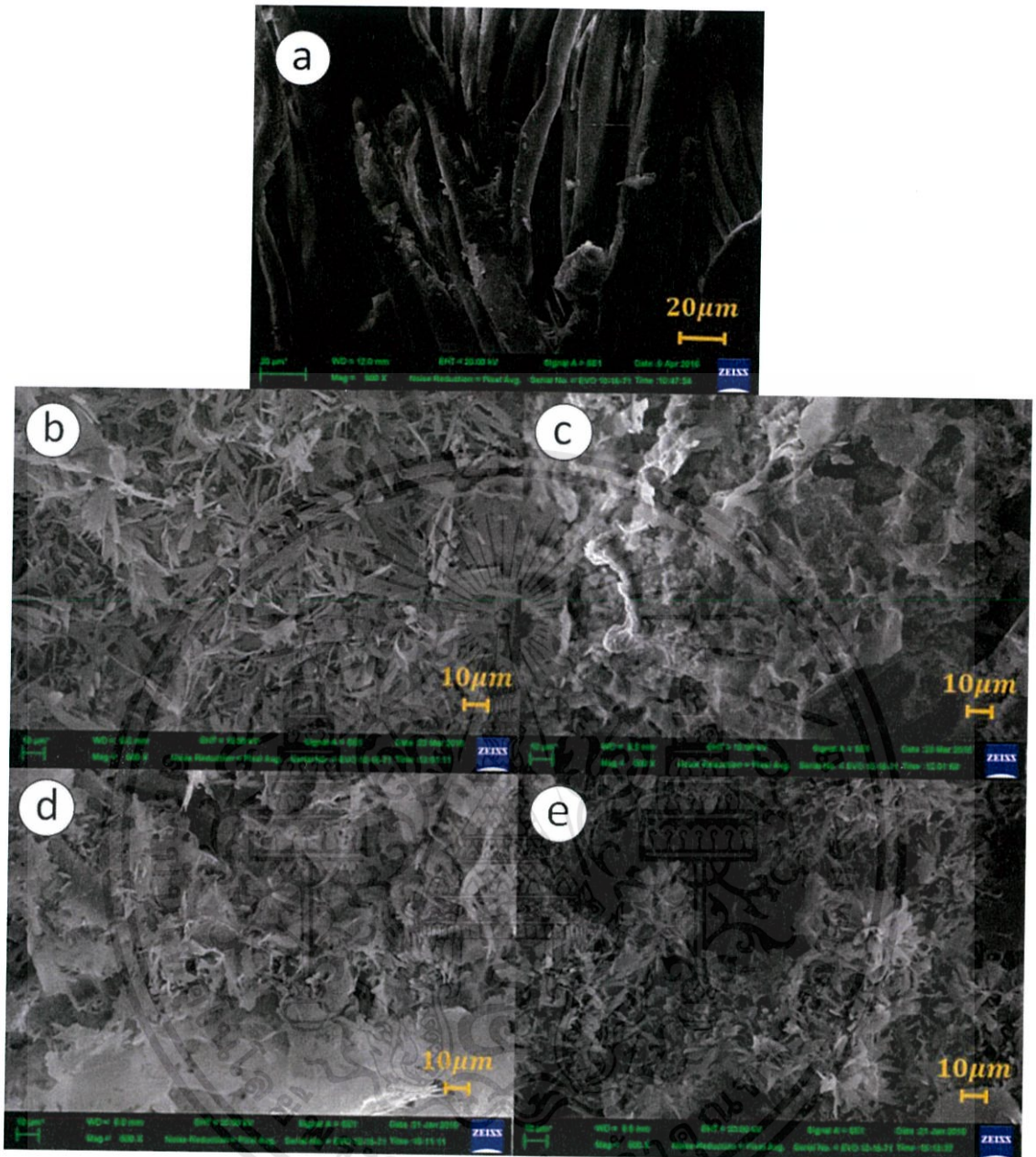
รูปที่ 4.12 แสดงผล XRD ของผงที่เคลือบบนผ้าตัวกรองที่มีการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก

จากผลการศึกษา FT-IR และ XRD แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรองที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ด้วยกรดสเตียริกจะทำให้เกิดเป็นโครงสร้างของซิงค์สเตียเรตเกิดขึ้น และมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงโครงสร้างของผ้าตัวกรองที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริกเกิดเป็นซิงค์สเตียเรต

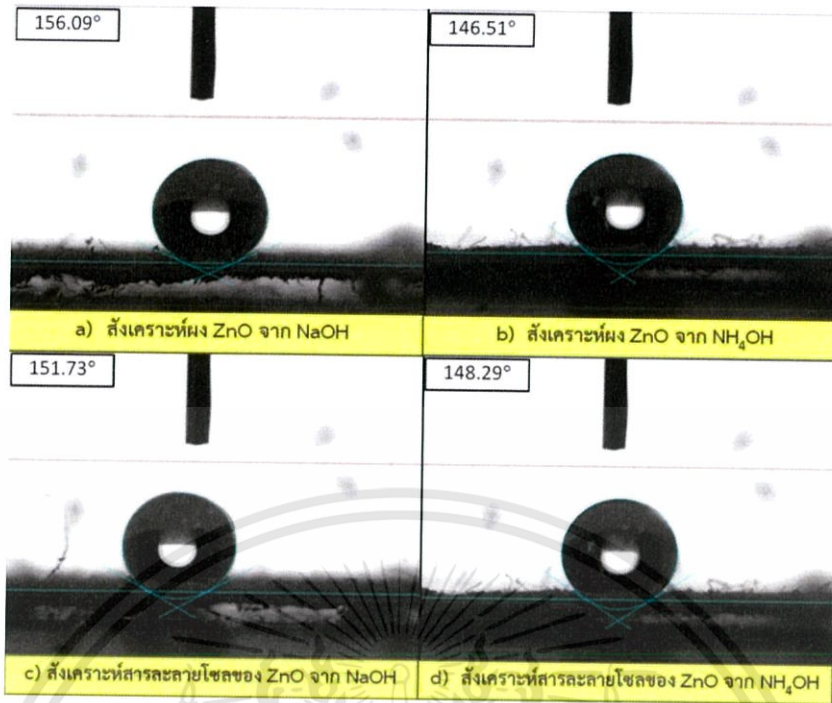
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้เทคนิค SEM ผลที่ได้ดังรูป 4.14 พบว่าพื้นผิวที่ถูกปกคลุมด้วยซิงค์สเตียเรตมีลักษณะรูปร่างคล้ายดอกไม้ ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดช่องว่างให้อากาศแทรกตัวเข้าไป สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและทำให้โมเลกุลของน้ำรวมตัวกันมีลักษณะทรงกลมทำให้ผิวผ้าตัวกรองเกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำ [5] โดยรูปร่างของซิงค์สเตียเรตที่เกิดขึ้นจากการใช้วิธีการโดยการเคลือบด้วยผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์และการเคลือบโดยใช้สารละลายโซลของซิงค์ออกไซด์ทั้ง 4 วิธี มีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากขนาด รูปร่าง และลักษณะการกระจายตัวของผงอนุภาคบนพื้นผิวผ้าตัวกรองที่แตกต่างกัน หากมีการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นผ้าตัวกรอง เมื่อเกิดการสร้างพันธะระหว่างอนุภาคซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบกรดสเตียริกจะเกิดการสร้างผลึกซิงค์สเตียเรตที่มีลักษณะคล้ายดอกไม้ที่มีกลีบขนาดเล็ก มีความสม่ำเสมอทั้งขนาดและขนาดพุ่มรวมถึงการกระจายตัวที่ดีเนื่องจากมีจุดกำเนิดผลึกที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้ได้พื้นผิวที่มีความขรุขระสูงแต่เมื่อเกิดการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ทั่วทั้งผิวผ้า หรือเกาะกันเป็นก้อนหรือเป็นแผ่นหนาจะทำให้ได้ซิงค์สเตียเรตที่มีลักษณะเป็นดอกไม้ขนาดไม่สม่ำเสมอหรือมีการปิดองไม่สมบูรณ์ จะทำให้ความขรุขระของพื้นผิวที่ต่ำลง ส่วนบริเวณที่ไม่มีอนุภาคซิงค์ออกไซด์เคลือบอยู่บนเส้นใยผ้า จะทำให้ไม่มีจุดเริ่มต้นในการเกิดผลึกซิงค์สเตียเรต จึงไม่มีการสร้างผลึกของซิงค์สเตียเรตในบริเวณนั้น แต่จะเกิดผลึกของกรดสเตียริกที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูป 4.15 a) เคลือบอยู่บนพื้นผิวผ้าทำให้พื้นผิวมีความขรุขระต่ำในบริเวณดังกล่าว



รูปที่ 4.14 แสดงภาพ SEM ผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วย a) กรดสแตียริก b) ผง ZnO สังเคราะห์จาก NaOH c) ผง ZnO สังเคราะห์จาก NH_4OH d) สารละลายโซลของ ZnO สังเคราะห์จาก NaOH และ e) สารละลายโซลของ ZnO สังเคราะห์จาก NH_4OH และทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเคลือบสารคู่ควบกรดสแตียริก ที่กำลังขยาย 500 เท่า

เมื่อนำผ้าตัวกรองที่ทำการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการเคลือบด้วยกรดสแตียริกไปวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปของหยดน้ำบนพื้นผิวของผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ใช้สารตั้งต้นในการสังเคราะห์และวิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

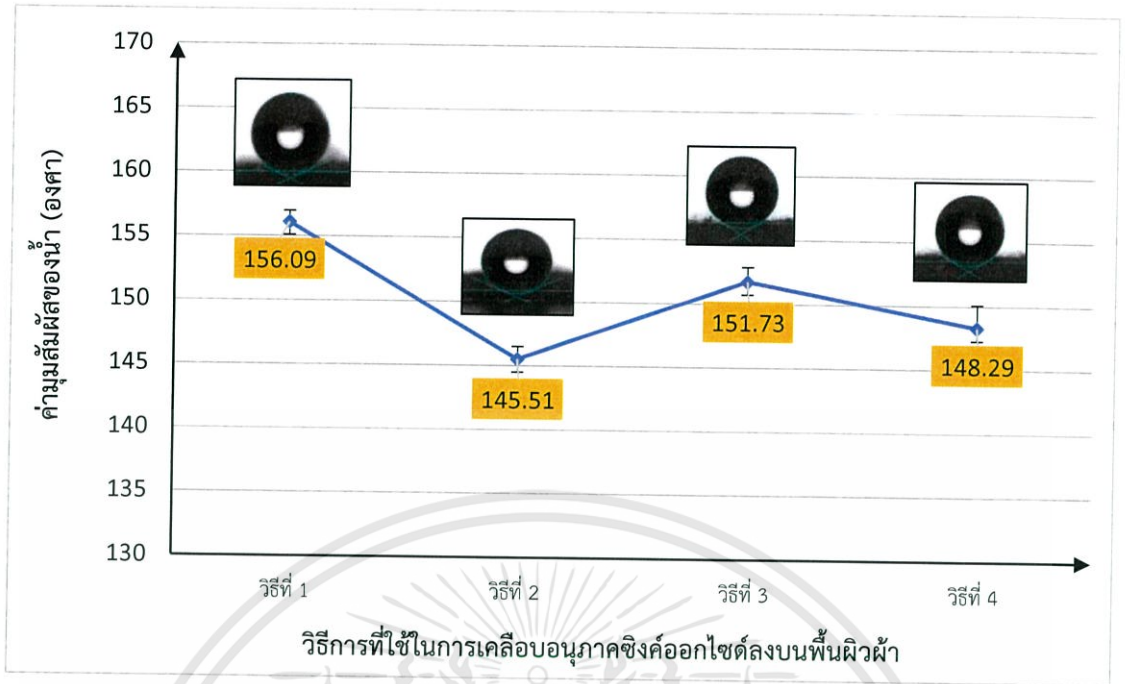


รูปที่ 4.15 แสดงภาพหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าตัวกรองที่เตรียมได้จากการใช้สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์และวิธีที่ใช้ในการเคลือบผ้าตัวกรองที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.6 แสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของวิธีการและสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์และตามด้วยการเคลือบสารคู่ควบกรดเตียริก

วิธีที่	วิธีการสังเคราะห์	ค่ามุมสัมผัสของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	สังเคราะห์ผง ZnO จาก NaOH	156.09 \pm 0.88
2	สังเคราะห์ผง ZnO จาก NH ₄ OH	145.51 \pm 0.99
3	สังเคราะห์สารละลายโซลของ ZnO จาก NaOH	151.73 \pm 1.16
4	สังเคราะห์สารละลายโซลของ ZnO จาก NH ₄ OH	148.29 \pm 1.81

หมายเหตุ: ในวิธีการที่ 2 3 และ 4 มีการซึมของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 30 วินาที



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามัมสัมผัสน้ำและวิธีการที่ใช้ในการเคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์ลงบนพื้นผิวผ้าตัวกรอง

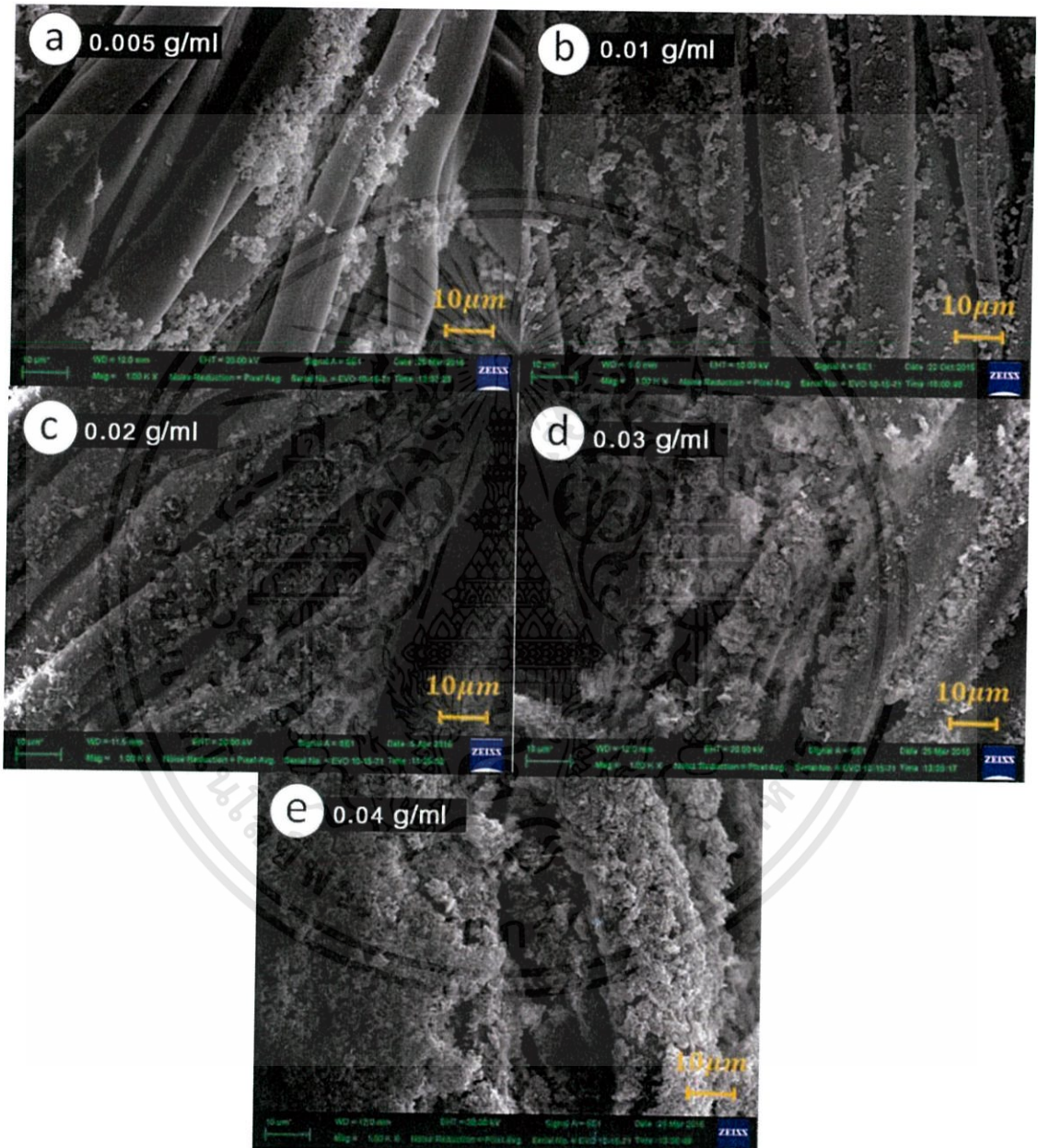
จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรองโดยการใช้สารแขวนลอยของอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลโดยใช้สารตั้งต้น คือ ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ได้อนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดและการกระจายตัวที่เหมาะสมที่สุด จึงทำให้ได้ซิงค์สเตียเรตที่มีรูปร่างเป็นดอกไม้ ทำให้ได้พื้นผิวมีความขรุขระสูงเกิดช่องว่างของอากาศทำให้มีแรงดันโมเลกุลของน้ำทำให้ให้น้ำซึมผ่านได้ยากจึงมีค่ามัมสัมผัสน้ำที่สูงเป็น 156.09 ± 0.88 องศา ดังนั้นจึงเลือกวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรองโดยการใช้ผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์จากโซเดียมไฮดรอกไซด์มาใช้ในการเคลือบซิงค์ออกไซด์ลงบนผิวผ้า เพื่อศึกษาผลของปัจจัยอื่นต่อไป

4.2 การศึกษาผลของปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบลงบนพื้นผิวผ้าตัวกรอง

ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่กระจายตัวบนผิวผ้าตัวกรอง ซึ่งมีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยได้ศึกษาทำการเคลือบผ้าตัวกรองโดยวิธีการเคลือบด้วยสารแขวนลอยของอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์ที่กระจายตัวในเอทานอลบริสุทธิ์ในปริมาณที่แตกต่างกันในช่วง 0.005 – 0.04 กรัม/มิลลิลิตร ตามสภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.2 เมื่อนำไปศึกษาสัญญาณวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าการใช้อนุภาคซิงค์ออกไซด์ในปริมาณที่น้อย ในช่วง 0.005 – 0.01 กรัม/มิลลิลิตร จะทำให้มีการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์บนผิวผ้าตัวกรองที่ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งผิวผ้า โดยบางบริเวณไม่มีอนุภาคซิงค์ออกไซด์กระจายตัวอยู่บนเส้นใยผ้าเมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์เป็น 0.02 กรัม/มิลลิลิตร จะทำให้อนุภาคซิงค์ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

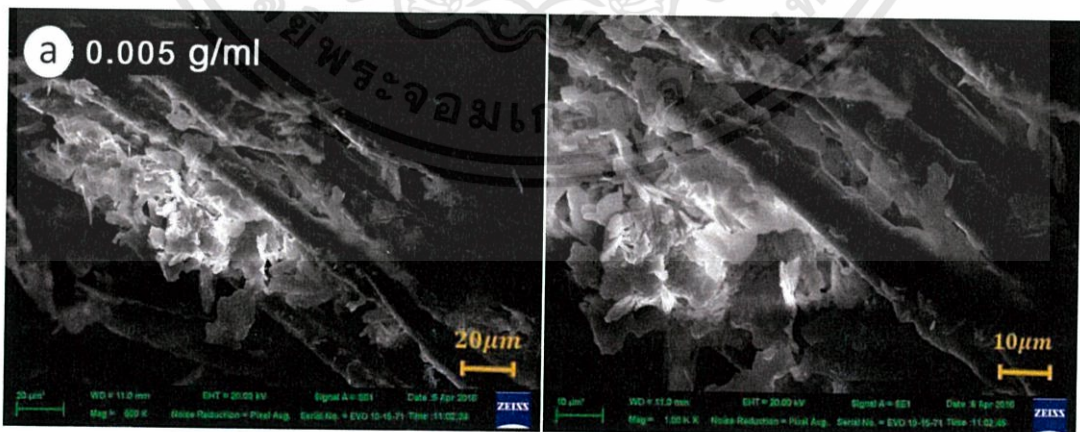
ไซต์มีการกระจายตัวบนผิวผ้าตัวกรองอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้นใยผ้า แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์เป็น 0.03 และ 0.04 กรัม/มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินไปทำให้มีการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ไม่สม่ำเสมอ โดยมีการเกาะกลุ่มกันเป็นแผ่นหนาเคลือบปิดเส้นใยผ้า และมีบางส่วนหลุดออกจากเส้นใยผ้าตัวกรอง ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงภาพ SEM ของผ้าตัวกรองที่มีอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่กระจายตัวอยู่บนผิวผ้าตัวกรองที่ปริมาณแตกต่างกัน a) 0.005 b) 0.01 c) 0.02 d) 0.03 และ e) 0.04 กรัม/มิลลิลิตร กำลังขยาย 1000 เท่า

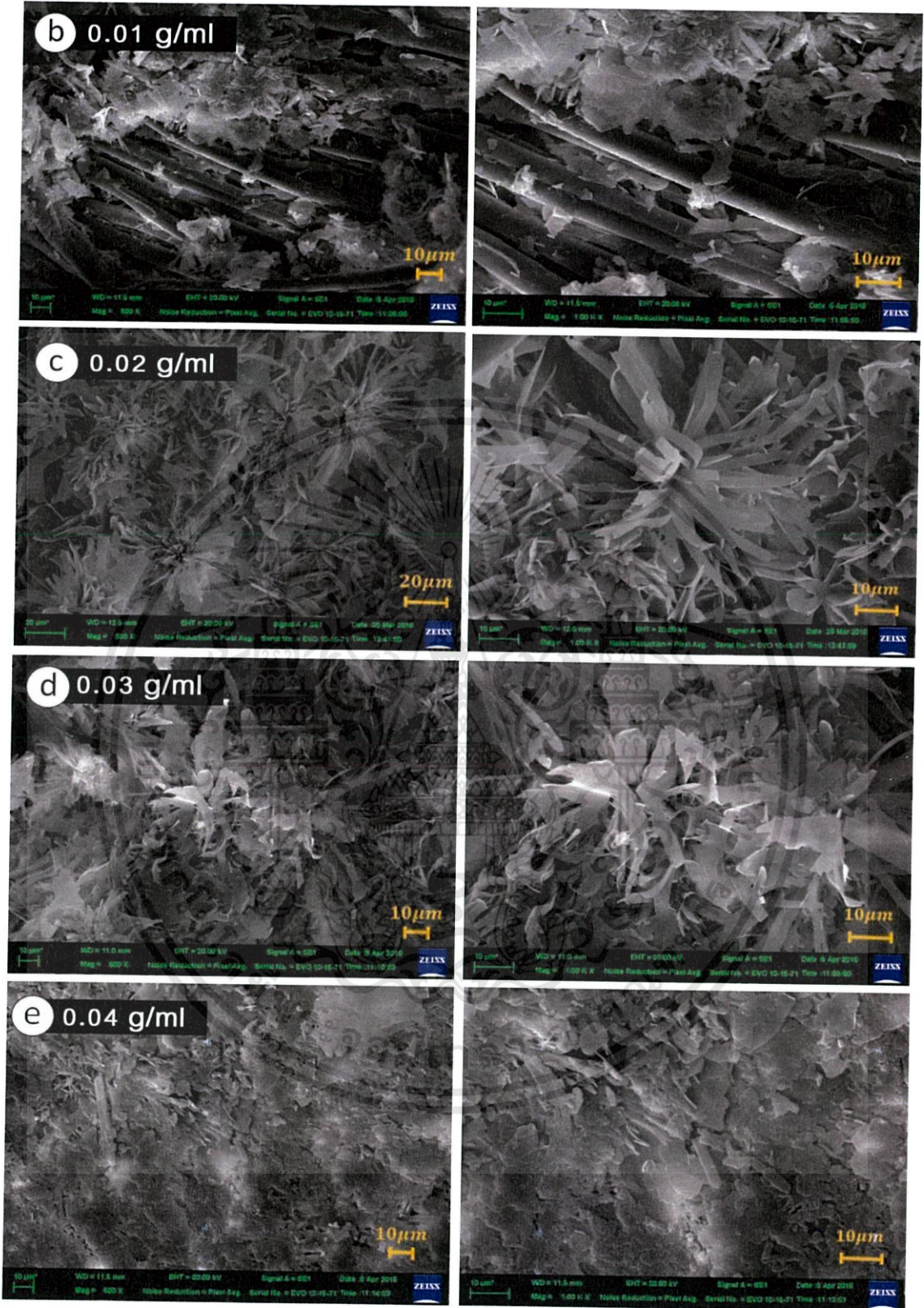
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นได้นำผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในปริมาณที่แตกต่างกันมาทำการเคลือบด้วยสารคู่ควมกรดสเตียริกที่มีความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ เพื่อเพิ่มความขรุขระให้กับพื้นผิวผ้าตัวกรองและเพื่อปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด เมื่อนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 4.18 จากภาพ SEM จะเห็นได้ว่าพื้นผิวผ้าถูกปกคลุมด้วยซิงค์สเตียเรตที่เกิดการก่อผลึกขึ้นบนพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นเรียงตัวซ้อนกันคล้ายดอกไม้ โดยจะพบว่าปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์บนผิวผ้ามีผลต่อรูปร่างของซิงค์สเตียเรตที่เกิดขึ้น โดยเมื่อใช้ปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในช่วง 0.005 - 0.01 กรัม/มิลลิลิตร จะทำให้ได้รูปร่างซิงค์สเตียเรตที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแผ่น กระจายตัวบนผิวผ้าอย่างไม่ทั่วถึงและไม่สม่ำเสมอ เพิ่มปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์เป็น 0.02 กรัม/มิลลิลิตร ซิงค์สเตียเรตจะมีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็กและเรียวยาวเรียงตัวซ้อนกันคล้ายกับดอกไม้ ที่กระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงบนผิวผ้า ปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่ 0.03 กรัม/มิลลิลิตร รูปร่างของซิงค์สเตียเรตที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่และกว้างขึ้นเนื่องมาจากการเรียงตัวของซิงค์สเตียเรตในบริเวณใกล้เคียงมีรูปร่างคล้ายดอกไม้แต่มีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งผิวผ้า เพิ่มปริมาณซิงค์ออกไซด์เป็น 0.04 กรัม/มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินไปซิงค์สเตียเรตที่เกิดขึ้นมีการเรียงตัวซ้อนกันเป็นแผ่นหนาเคลือบตลอดบนเส้นใยผ้า จึงทำให้พื้นผิวมีความขรุขระต่ำ จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 จะเห็นว่าปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เหมาะสม คือ 0.02 กรัม/มิลลิลิตร เนื่องจากมีการกระจายของซิงค์ออกไซด์อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอบนเส้นใยผ้า ดังนั้นเมื่อเคลือบด้วยกรดสเตียริกซึ่งจะเกิดเป็นซิงค์สเตียเรตที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็กและเรียวยาวเรียงตัวซ้อนกันคล้ายดอกไม้ที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงบนผิวผ้า ทำให้ได้พื้นผิวที่มีความขรุขระสูง ทำให้มีช่องว่างสำหรับอากาศเข้าไปอยู่ โดยอากาศที่แทรกตัวอยู่บริเวณช่องว่างนี้จะทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านผ้าได้ จึงมีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.18 (มีต่อ) แสดงภาพ SEM ของผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยกรดสเตียริกที่มีซิงค์ออกไซด์กระจายตัวที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ a) 0.005 b) 0.01 c) 0.02 d) 0.03 และ e) 0.04 กรัม/มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 500 (ซ้าย) และ 1000 (ขวา) เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



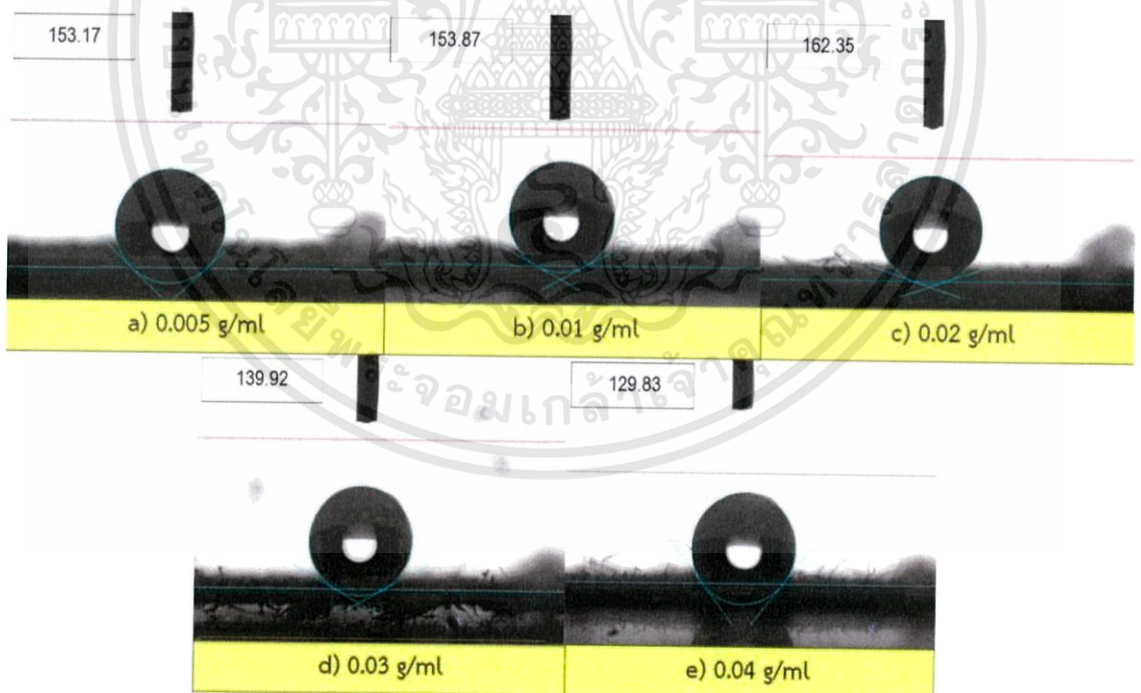
รูปที่ 4.18 (ต่อ) แสดงภาพ SEM ของผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยกรดสเตียริกที่มีซิงค์ออกไซด์กระจายตัวที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ a) 0.005 b) 0.01 c) 0.02 d) 0.03 และ e) 0.04 กรัม/มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 500 (ซ้าย) และ 1000 (ขวา) เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในปริมาณที่ต่างกันและทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการเคลือบด้วยกรดสเตียริกไปวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปของหยดน้ำบนพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.19

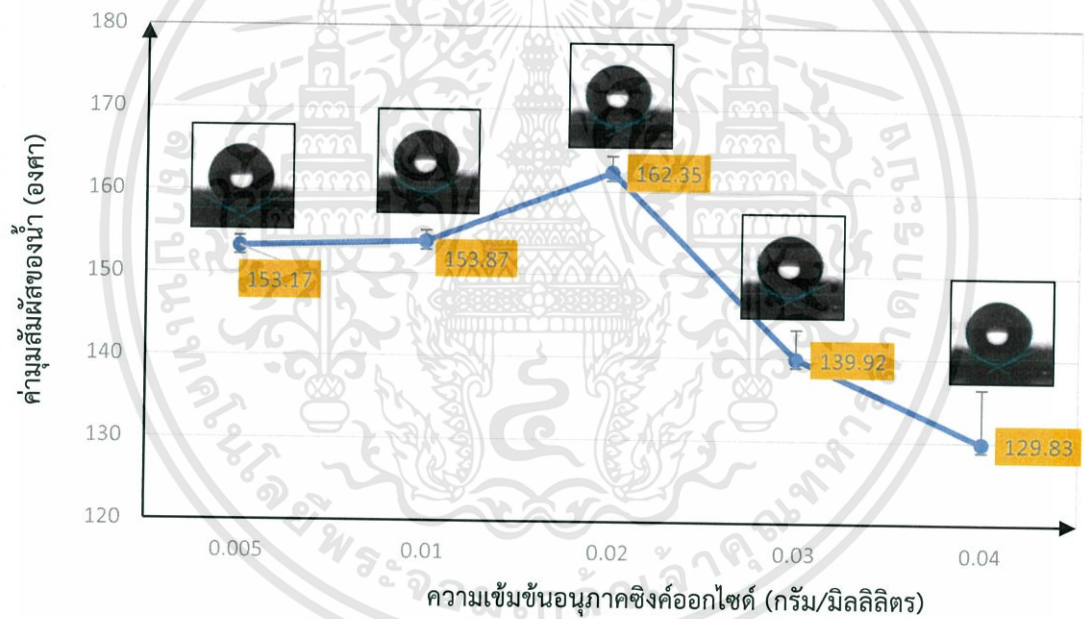
ตารางที่ 4.7 แสดงการศึกษาปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์และสถานะที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณ ZnO ในเอทานอล		ค่ามุมสัมผัสของน้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กรัม/มิลลิลิตร	โมล/มิลลิลิตร	
0.005	6.14×10^{-5}	153.17 ± 1.24
0.01	1.23×10^{-5}	153.87 ± 1.33
0.02	2.46×10^{-5}	162.35 ± 1.99
0.03	3.68×10^{-5}	139.92 ± 3.58
0.04	4.91×10^{-5}	129.83 ± 6.62



รูปที่ 4.19 แสดงภาพถ่ายหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์โดยที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ a) 0.005 b) 0.01 c) 0.02 d) 0.03 และ e) 0.04 กรัม/มิลลิลิตร และทำการปรับปรุงพื้นผิวโดยการเคลือบด้วยกรดสเตียริก

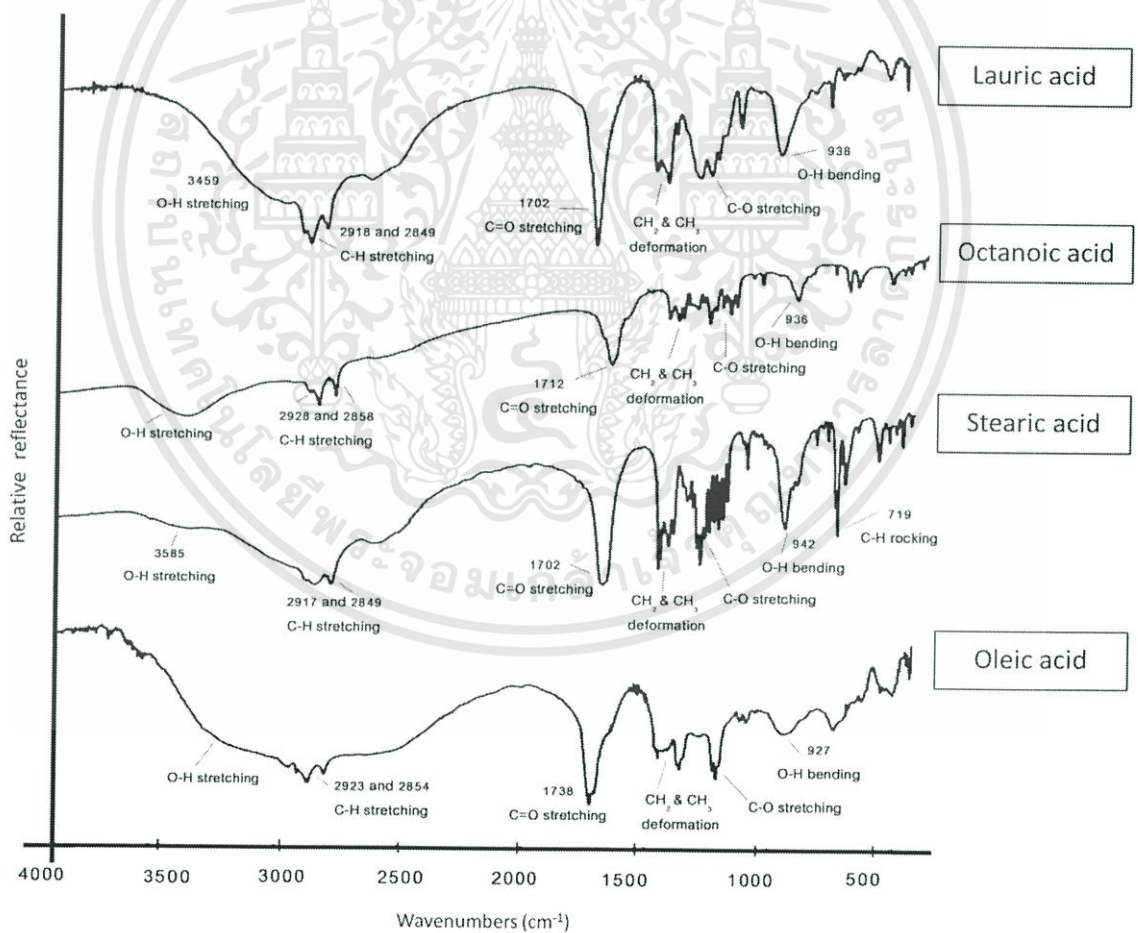
จากการวัดค่ามูสมัมผัสของน้ำบนพื้นผิวผ้าตัวกรองพบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 129.83 ± 6.62 ถึง 162.35 ± 1.99 องศา จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามูสมัมผัสของน้ำและปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ใช้เคลือบลงบนพื้นผิวผ้าตัวกรอง ดังแสดงในรูปที่ 4.20 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ใช้เคลือบลงบนพื้นผิวผ้าตัวกรองในช่วง $0.005 - 0.02$ กรัม/มิลลิลิตร จะทำให้ค่ามูสมัมผัสของน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในช่วง $0.03 - 0.04$ กรัม/มิลลิลิตร จะทำให้ค่ามูสมัมผัสของน้ำมีค่าลดต่ำลง โดยปริมาณของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบลงบนพื้นผิวผ้าตัวกรองแล้วทำให้ได้ค่ามูสมัมผัสของน้ำที่สูงที่สุด คือ 0.02 กรัม/มิลลิลิตร โดยมีค่ามูสมัมผัสของน้ำเท่ากับ 162.35 ± 1.99 องศา ซึ่งสอดคล้องกับผล SEM ที่ได้ (รูปที่ 4.17 และ 4.18) คือ เมื่อมีการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สม่ำเสมอตลอดทั้งเส้นใยผ้าตัวกรองจะส่งผลให้รูปร่างของซิงค์สเตรตที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายดอกไม้กระจายไปทั่วทั้งเส้นใยผ้าตัวกรองอย่างสม่ำเสมอ ทำให้พื้นผิวมีความขรุขระเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามูสมัมผัสของน้ำและปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ใช้เคลือบลงบนพื้นผิวผ้าตัวกรอง

4.3 การศึกษาชนิดสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรอง

ได้ทำการศึกษานิตสารคู่ควบที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยใช้สารคู่ควบต่างชนิดกัน คือ กรดออกตะโนอิก กรดลอริก กรดสเตียริก และกรดโอเลอิก 4 และนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของของสารคู่ควบกรดไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และตารางที่ 4.8 ซึ่งจากสเปกตรัมสารคู่ควบกรดไขมันแสดงพันธะดังนี้ พบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตรงกับการสั่นของพันธะ O-H แบบยืดหด ที่ช่วงเลขคลื่นประมาณ 3400 cm^{-1} และแบบงอที่ช่วงประมาณ 900 cm^{-1} พบการสั่นของพันธะ C=O แบบยืดหด ที่ช่วงเลขคลื่นประมาณ 1700 cm^{-1} พบการสั่นของพันธะ C-O แบบยืดหดที่ช่วงเลขคลื่นประมาณ $1300\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$ และพบการสั่นของพันธะ C-H ที่ช่วงประมาณ $1400\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ เป็นผลมาจากโครงสร้างของกรดไขมันที่มีหมู่คาร์บอนิลและสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน โดยโครงสร้างกรดไขมันชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในหัวข้อที่ 2.3.4 และแสดงสเปกตรัมมาตรฐานของกรดออกตะโนอิก กรดลอริก กรดสเตียริก และกรดโอเลอิก ในภาคผนวก ข.



รูปที่ 4.21 แสดงภาพสเปกตรัมของสารละลายกรดไขมันชนิดต่าง ๆ

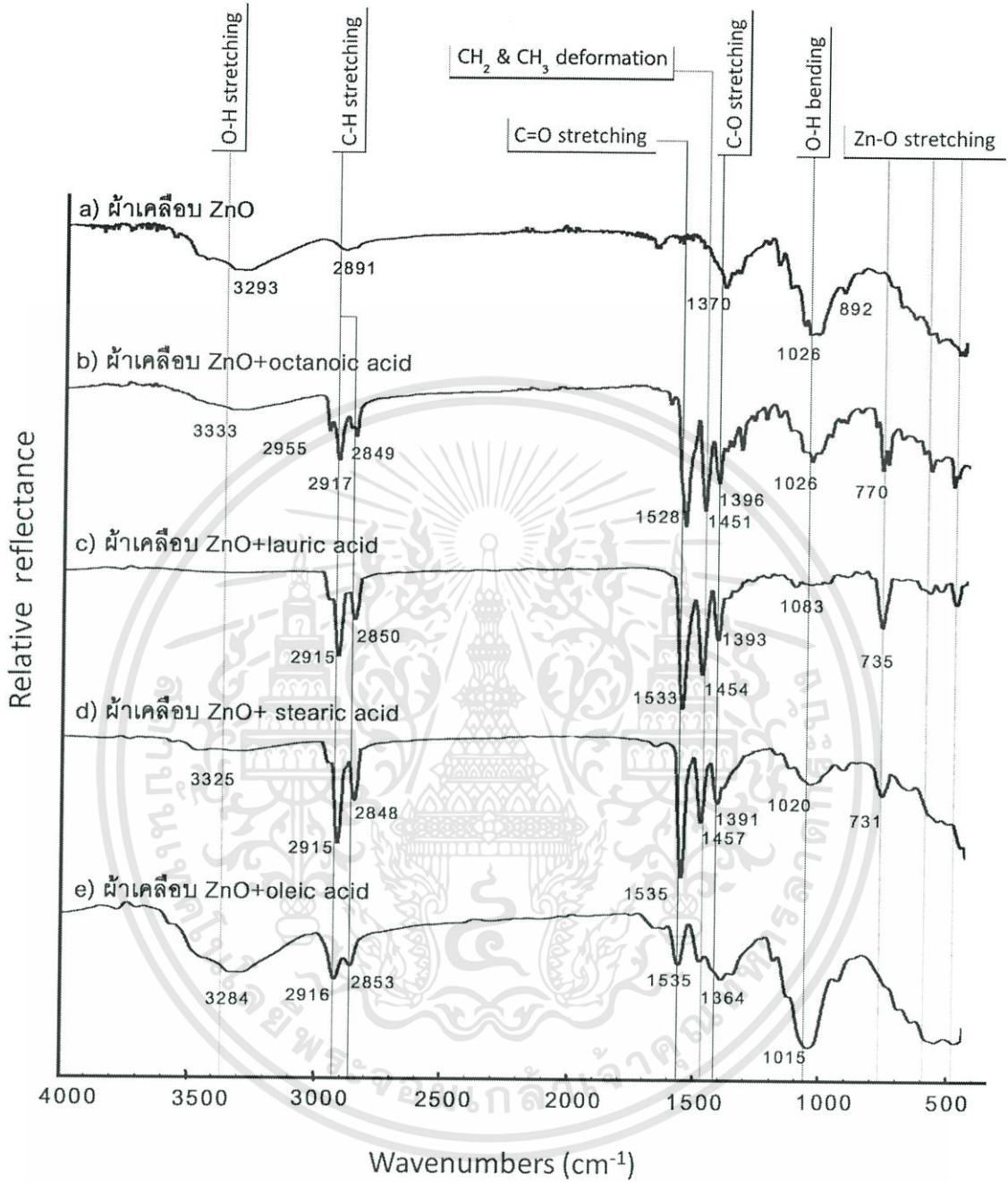
ตารางที่ 4.8 แสดงถึงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเทคนิค FT-IR ของสารละลายกรดไขมันชนิดต่างๆ

พันธะ	เลขคลื่น (cm^{-1})			
	สารละลายกรดลอริก	สารละลายออกตะโนอิก	สารละลายกรดสเตียริก	สารละลายกรดโอเลอิก
O-H stretching	3459	~3400	3585	~3400
C-H stretching	2918 และ 2849	2928 และ 2858	2917และ 2849	2925และ 2854
C=O stretching	1702	1712	1702	1735
CH ₂ & CH ₃ deformation	~1400-1300	~1400-1300	~1400-1300	~1400-1300
C-O stretching	~1300-1200	~1300-1200	~1300-1200	~1300-1200
O-H bending	938	936	942	927
C-H rocking	-	-	719	-

ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรองโดยการเคลือบด้วยกรดไขมันชนิดต่าง ๆ โดยวิธีการเตรียมผ้าตัวกรองแสดงในขั้นตอนที่ 3.3.1-3.3.3 จากการศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของผ้าตัวกรองด้วยเทคนิค FT-IR ดังแสดงในรูปที่ 4.22 พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าตัวกรองที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิงค์ออกไซด์ตามด้วยสารคู่ควบกรดไขมันชนิดต่าง ๆ คือ กรดออกตะโนอิก กรดลอริก กรดสเตียริก และกรดโอเลอิก มีผลการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกัน คือ พบการดูดกลืนแสงที่ตรงกับพันธะ O-H แบบยืดหด ที่ช่วงคลื่น $3333\text{-}3234\text{ cm}^{-1}$ และแบบงอที่เลขคลื่น $1083\text{-}1015\text{ cm}^{-1}$ พบการสั่นของพันธะ Zn-O แบบยืดหดที่เลขคลื่นประมาณ 700 และช่วง $600\text{-}450\text{ cm}^{-1}$ และจากการสร้างพันธะระหว่างซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบกรดไขมันชนิดต่าง ๆ จึงเกิดการสั่นของช่วงพันธะ C=O แบบยืดหดที่ช่วงเลขคลื่น $1535\text{-}1533\text{ cm}^{-1}$ และพันธะ C-O แบบยืดหดที่ช่วงเลขคลื่นประมาณ $1450\text{-}1364\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งทำให้การสั่นของพันธะ O-H ทั้งแบบยืดหดและแบบงอลดลง เมื่อทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่างสารละลายกรดไขมัน (รูปที่ 21) และสเปกตรัมของผ้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆ (รูปที่ 22) จะเห็นได้ว่าการเลื่อนของสเปกตรัมการสั่นของหมู่คาร์บอกซิลเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของพันธะคาดว่าเป็นความแตกต่างระหว่างพันธะของกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid; $\text{C}=\text{O}-\text{OH}$) ของสารคู่ควบกรดไขมันและพันธะเอสเทอร์ (ester; $\text{C}=\text{O}-\text{O}$) จากปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) บนพื้นผิวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

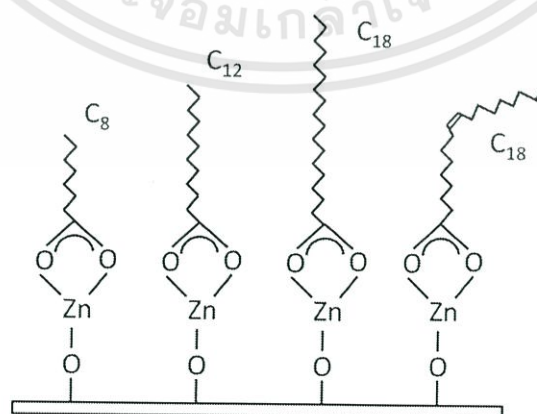
ซิงค์ออกไซด์และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ของสารคู่ควบ ซึ่งแสดงให้เห็นการเชื่อมพันธะของซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบที่เกิดขึ้นบนผ้าตัวกรอง รวมไปถึงการสั่นของพันธะ C-H แบบยืดหดที่ช่วง $2955-2848\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงสเปกตรัมในตำแหน่งความยาวคลื่นเดิมทำให้ทราบว่าส่วนปลายของสารคู่ควบไม่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงและยังคงมีพันธะแบบเดิมเช่นเดียวกับตอนที่เป็นสารละลายกรดไขมัน ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของกรดไขมันต่างชนิดกันจะมีความแตกต่างกัน โดยพบว่ากรดสเตียริกและกรดลอริก สามารถเกิดพันธะกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ได้ดีจึงมีความเข้มในช่วงของพันธะ O-H แบบยืดหดและแบบงอที่น้อยลง สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของพันธะ C=O ส่วนจำนวนคาร์บอนและลักษณะสายโซ่ของสารคู่ควบที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการดูดกลืนแสงของพันธะ C-H ที่แตกต่างกันโดยพบว่าความเข้มของการดูดกลืนแสงของพันธะ C-H จะเพิ่มสูงขึ้นตามความยาวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันที่เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกรดโอเลอิก ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$) กับกรดสเตียริก ($\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$) ที่มีความยาวของสายโซ่ใกล้เคียงกันแต่เนื่องจากกรดโอเลอิกมีพันธะคู่ของอยู่ในโครงสร้าง แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเกิดพันธะของสารคู่ควบกรดโอเลอิกกับซิงค์ออกไซด์มีน้อยกว่าสารคู่ควบชนิดอื่นๆ คาดว่าเป็นผลจากรูปร่างของโครงสร้างซึ่งมีรูปร่างแบบซิสจึงเกิดการผลักกันเองของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ส่งผลต่อการเลือกตำแหน่งในการเกิดปฏิกิริยา รูปที่ 4.23 แสดงการเกิดพันธะระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบกรดไขมันทั้ง 4 ชนิด คือ กรดออกตะโนอิก กรดลอริก กรดสเตียริก และกรดโอเลอิก แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็น ซิงค์ออกตะโนเอต ซิงค์ลอเรต ซิงค์สเตียเรต และ ซิงค์โอเลเอต ตามลำดับ (ภาคผนวก ข แสดงสเปกตรัมของซิงค์ออกตะโนเอต ซิงค์ลอเรต ซิงค์สเตียเรต และ ซิงค์โอเลเอต ตามลำดับ)



รูปที่ 4.22 แสดงภาพสเปกตรัมของผ้าตัวกรองที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และกรดไขมันชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.9 แสดงถึงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเทคนิค FT-IR ของผ้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และผ้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดไขมันชนิดต่าง ๆ

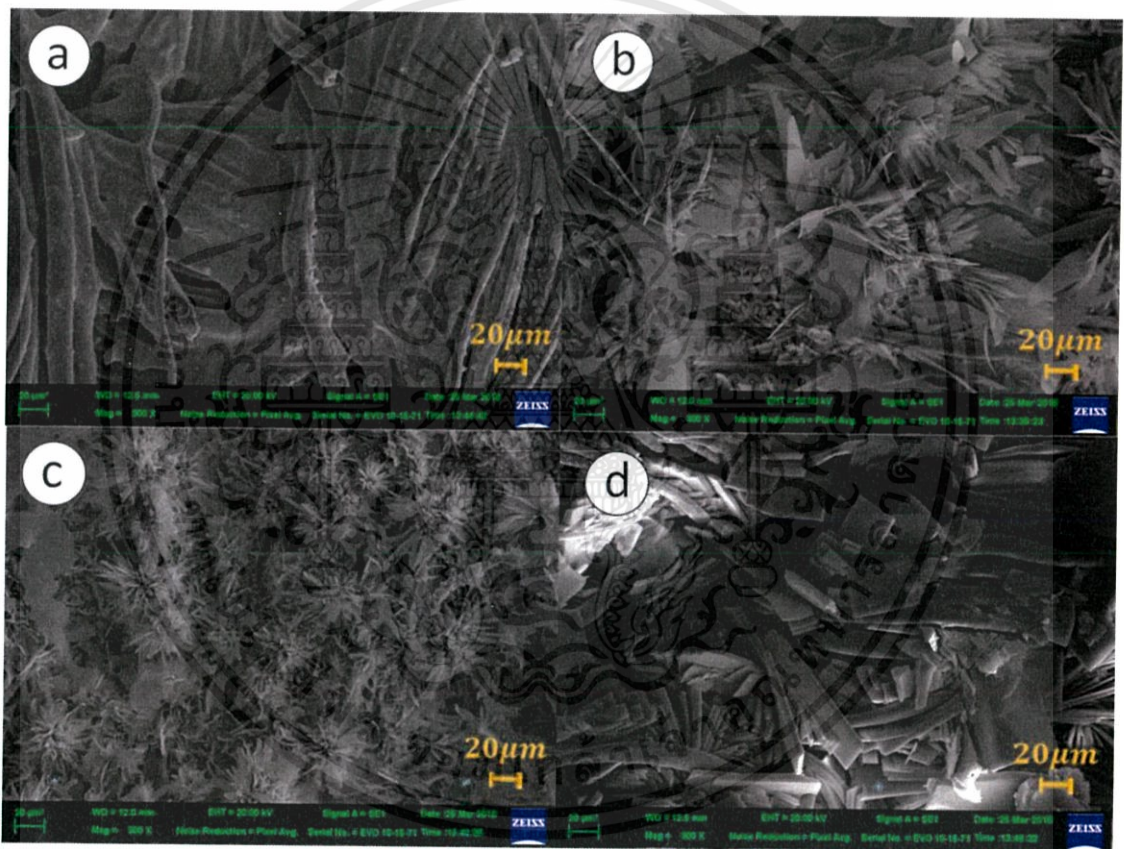
พันธะ	เลขคลื่น (cm^{-1})				
	ผ้าเคลือบซิงค์ออกไซด์	ผ้าเคลือบซิงค์ออกไซด์และกรดออกตะโนอิก	ผ้าเคลือบซิงค์ออกไซด์และกรดลอริก	ผ้าเคลือบซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริก	ผ้าเคลือบซิงค์ออกไซด์และกรดโอเลอิก
O-H stretching	3293	3333	-	3325	3284
C-H stretching	2891	2955, 2849 และ 2917	2915 และ 2850	2915 และ 2848	2916 และ 2853
C=O stretching	-	1528	1533	1535	1535
CH_2 , CH_3 bending	-	1451	1454	1457	~ 1450
C-O stretching	1370	1396	1393	1391	1364
O-H bending	1026	1026	1083	1020	1015
Zn-O stretching	$\sim 600 - 450$	770 และ $\sim 600 - 450$	735 และ $\sim 600 - 450$	731 และ $\sim 600 - 450$	$\sim 600 - 450$



รูปที่ 4.23 แสดงภาพโครงสร้างบนพื้นผิวผ้าของ a) ซิงค์ออกตะโนอิต b) ซิงค์ลอเรต c) ซิงค์สเตียเรต และ d) ซิงค์โอเลอิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM ของผ้าตัวกรองที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบชนิดต่าง ๆ ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.24 โดยพบว่าการใช้สารคู่ควบต่างชนิดกัน ส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยพื้นผิวที่ปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยกรดออกตะโนอิก มีรูปร่างเป็นแผ่นหนาเคลือบบนพื้นผิวของผ้าตัวกรองตลอดทั้งเส้นใยผ้า การใช้กรดลอริกมีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดใหญ่เรียวยาวเรียงตัวซ้อนกันกระจายทั่วทั้งผิวผ้าอย่างไม่สม่ำเสมอ ส่วนการใช้กรดสเตียริก นั้นมีรูปร่างเป็นแผ่นเรียวยาวเรียงตัวซ้อนกันคล้ายดอกไม้มีกระจายตัวอย่างทั่วทั้งผิวผ้าอย่างสม่ำเสมอ และการใช้กรดโอเลอิกมีรูปร่างเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่และหนาเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้น ๆ และกระจายตัวทั่วทั้งผิวผ้าอย่างไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 4.24 ภาพ SEM ของผ้าตัวกรองที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบชนิดต่าง ๆ a) กรดออกตะโนอิก b) กรดลอริก c) กรดสเตียริก และ d) กรดโอเลอิก ที่กำลังขยาย 300 เท่า

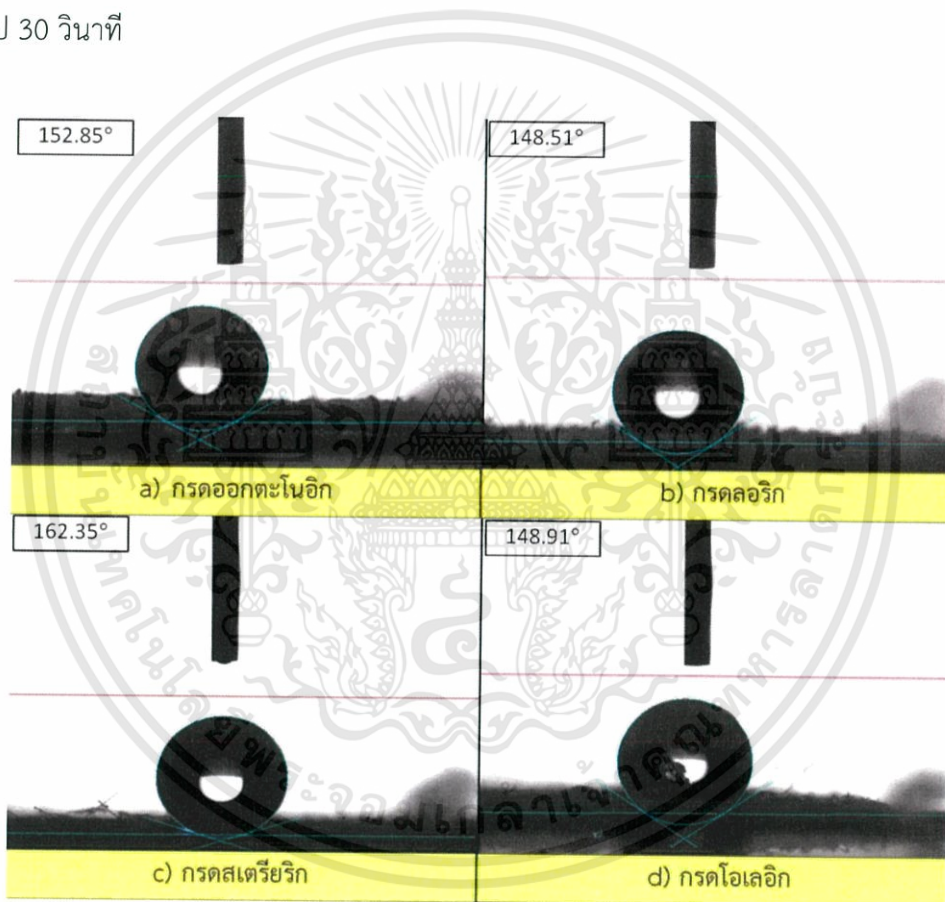
นำผ้าตัวกรองที่มีการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยการเคลือบด้วยสารคู่ควบประเภทกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ไปวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปภาพของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าตัวกรองดังแสดงในรูปที่ 4.25

ตารางที่ 4.10 ผลการศึกษาผลของชนิดสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะในท้องถิ่น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสารคู่ควบ	ค่ามุมสัมผัสของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กรดออกตะโนอิก	152.58 ± 4.22
กรดลอริก	148.51 ± 1.90
กรดสเตียริก	162.35 ± 1.99
กรดโอเลอิก	148.91 ± 3.56

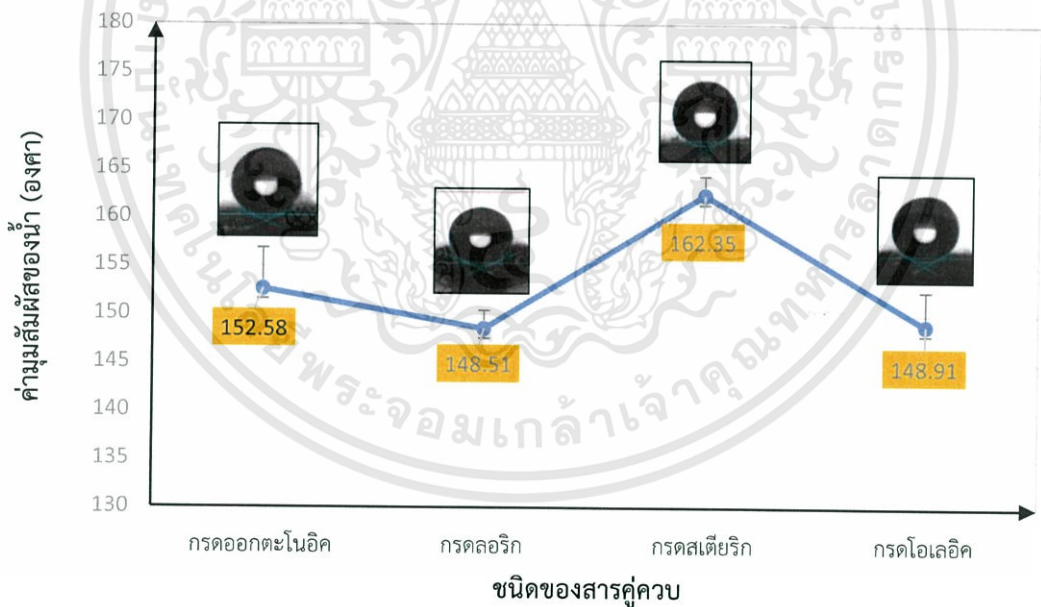
หมายเหตุ: สารคู่ควบกรดออกตะโนอิกและกรดลอริกมีการซึมของหยดน้ำบนผิวผ้าตัวกรอง หลังจากผ่านไป 30 วินาที



รูปที่ 4.25 แสดงรูปของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าตัวกรองที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ และสารคู่ควบประเภทกรดไขมัน a) กรดออกตะโนอิก b) กรดลอริก c) กรดสเตียริก และ d) กรดโอเลอิก

จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำของพื้นผิวที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารคู่ควบกรดไขมันชนิดต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 148.91 ± 3.56 ถึง 162.35 ± 1.99 องศา โดยกรดลอริกและกรดโอเลอิกให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ใกล้เคียงกัน คือ 148.51 และ 148.91 องศา ตามลำดับ เมื่อใช้เอกสแรนเป็นเอ็กส์พลอสที่รับภาระเงินเพื่อการศึกษาวิจัยในหัวข้อการศึกษานี้ ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ใกล้เคียงกันคือ 148.91 องศา ตามลำดับ เมื่อใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดออกตะโนอิกค่ามัมสัมผัสของน้ำมีค่าเป็น 152.58 องศา และการปรับปรุงพื้นผิวผ้าด้วยกรดสเตียริกให้ค่ามัมสัมผัสของน้ำสูงที่สุดอยู่ที่ 162.35 ± 1.99 องศา ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chantal Badre และคณะ [3] ที่พบว่าการที่กรดสเตียริกมีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ยาวกว่ากรดลอริกและกรดออกตะโนอิก จึงแสดงความเป็นขั้วที่น้อยที่สุดและมีความเกาะกะของสายโซ่มากที่สุด ดังนั้นจึงส่งผลทำให้ได้ค่ามัมสัมผัสของน้ำที่มากที่สุด ส่วนการใช้กรดโอเลอิกมีค่ามัมสัมผัสของน้ำที่ต่ำกว่ากรดสเตียริก อาจเป็นผลมาจากการมีพันธะคู่อยู่ในสายโซ่จึงแสดงความเป็นขั้วที่มากกว่าและมีความเกาะกะของปลายสายโซ่ที่น้อยกว่า โดยผลค่ามัมสัมผัสของน้ำที่ได้สอดคล้องกับผล SEM (รูปที่ 4.24) โดยพบว่าพื้นผิวที่ถูกปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกแล้วเกิดเป็นซิงค์สเตียเรตนั้นมีลักษณะผลึกคล้ายดอกไม้กระจายตัวทั่วทั้งเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ได้พื้นผิวที่มีความขรุขระสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวที่ปรับปรุงด้วยกรดไขมันชนิดอื่น ๆ โดยการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดออกตะโนอิกให้ค่ามัมสัมผัสของน้ำสูงกว่ากรดลอริกและกรดโอเลอิกทั้งที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนสั้นกว่า และลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระน้อยกว่า เป็นผลมาจากการเกิดชั้นเคลือบที่หนาตลอดทั้งผิวผ้า จึงทำให้น้ำที่สัมผัสพื้นผิวในช่วงแรกไม่สามารถซึมผ่านลงไปได้



รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามัมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิวผ้ากับสารคู่ควบชนิดต่าง ๆ

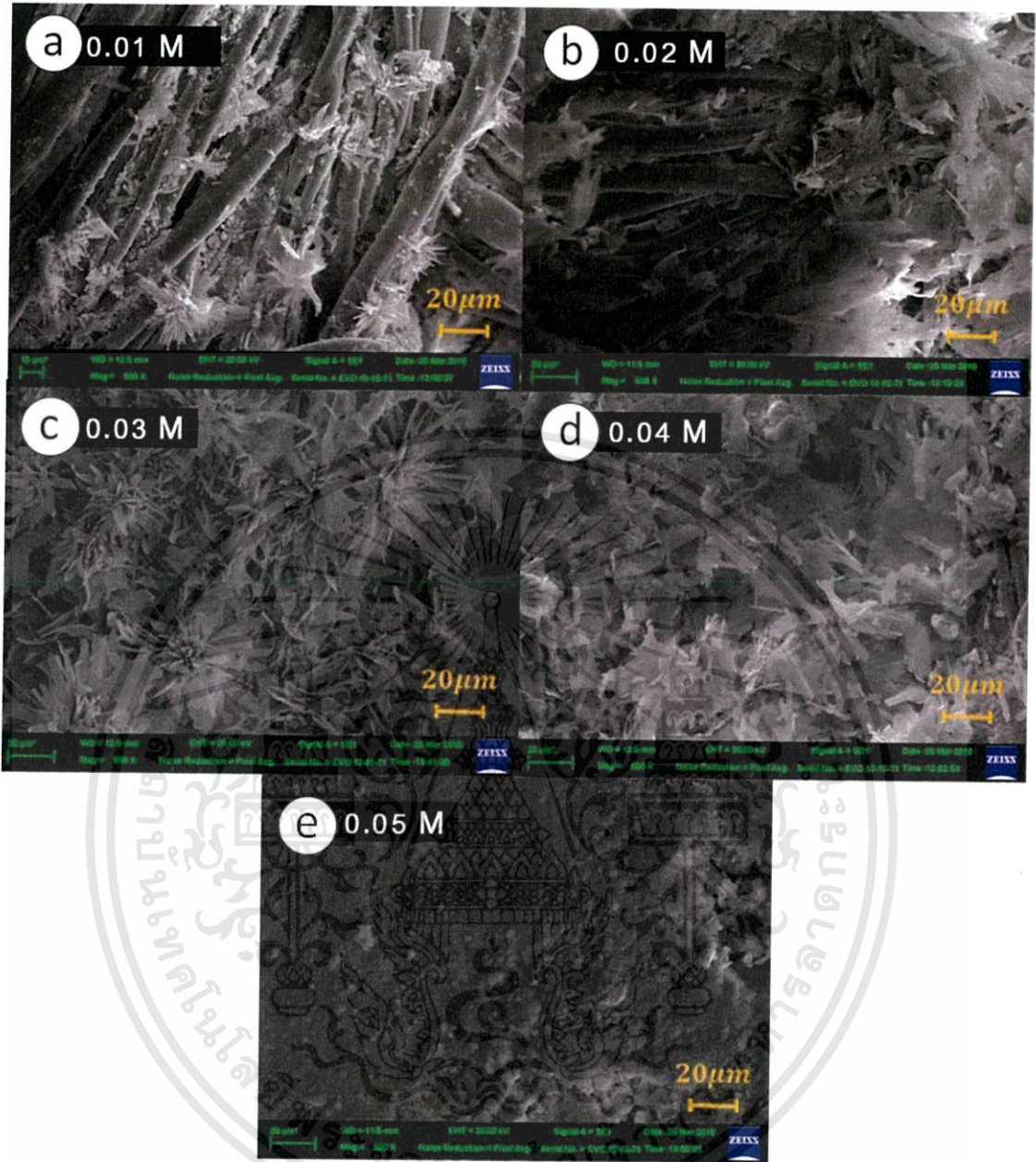
4.4 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารคู่ควบที่ใช้เคลือบบนผ้าตัวกรอง

ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารคู่ควบที่ใช้เคลือบบนผ้าตัวกรองซึ่งมีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยเลือกสภาวะการเตรียมที่ดีที่สุดจากตารางที่ 4.8 คือ การใช้

กรดสเตียริก และทำการเคลือบกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกันบนผ้าตัวกรองตามสภาวะการ
เอ็กสแตนด์เป็นเอ็กสแตนด์ที่ส่งผ่านเวลาที่ต่างกันออกไป
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองที่แสดงในตาราง 3.3 เมื่อศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงผลในรูปที่ 4.27 พบว่าความเข้มข้นของกรดสเตียริกมีผลต่อรูปร่างและการกระจายตัวบนพื้นผิวผ้าตัวกรอง โดยเมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดสเตียริกที่ต่ำในช่วง 0.01- 0.02 โมลาร์ จะทำให้ซิงค์สเตียเรตที่เกิดขึ้นมีรูปร่างเป็นแผ่นเล็กยาวและเร็วมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งเส้นใยผ้า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดสเตียริกเป็น 0.03 โมลาร์ พบว่าผลึกของซิงค์สเตียเรตที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่เรียวยาวเรียงตัวซ้อนกันคล้ายดอกไม้ และมีการกระจายตัวทั่วทั้งเส้นใยผ้าอย่างสม่ำเสมอ เพิ่มความเข้มข้นเป็น 0.04 โมลาร์ พบว่าผลึกของซิงค์สเตียเรตมีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ขึ้นเรียงตัวซ้อนกันคล้ายดอกไม้ แต่มีการกระจายทั่วทั้งผิวผ้าอย่างไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากบางบริเวณเกิดการซ้อนกันของผลึกซิงค์สเตียเรตจึงเกิดเป็นแผ่นหนาเคลือบบนเส้นใยผ้า และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 0.05 โมลาร์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปพบว่าชั้นพื้นผิวของผ้าตัวกรองมีลักษณะเป็นแผ่นเคลือบกระจายอยู่ทั้งผิวผ้า เนื่องจากมีการก่อตัวซ้อนทับกันของซิงค์สเตียเรตจำนวนมากและทำให้ไม่มีรูปร่างอนุภาคที่คล้ายดอกไม้เกิดขึ้น





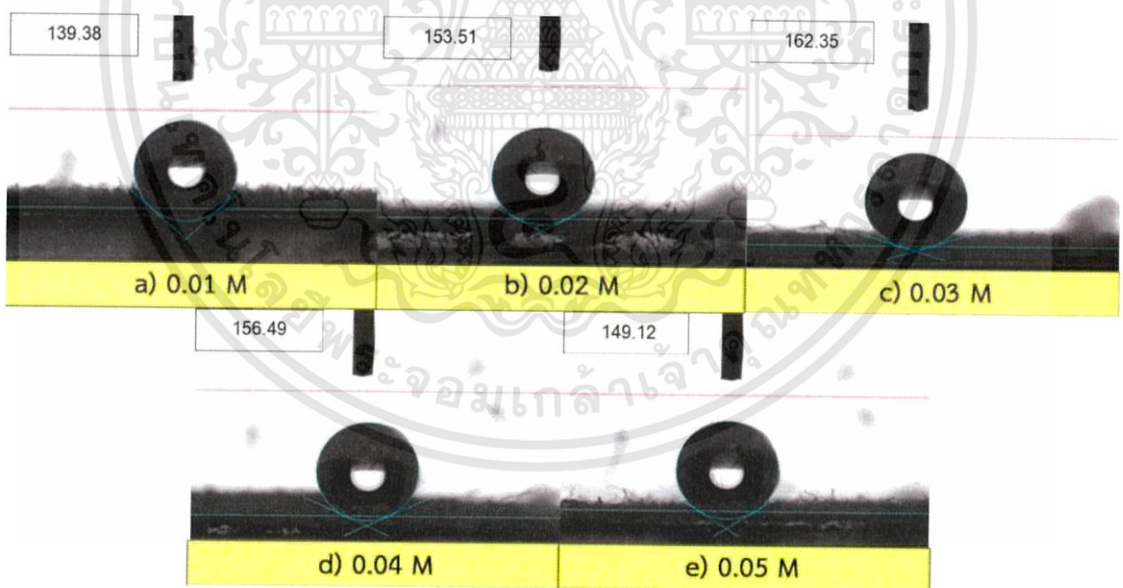
รูปที่ 4.27 แสดงภาพ SEM ของผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยกรดเตียริกที่ปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ a) 0.01 b) 0.02 c) 0.03 d) 0.04 และ e) 0.05 M ที่กำลังขยาย 500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

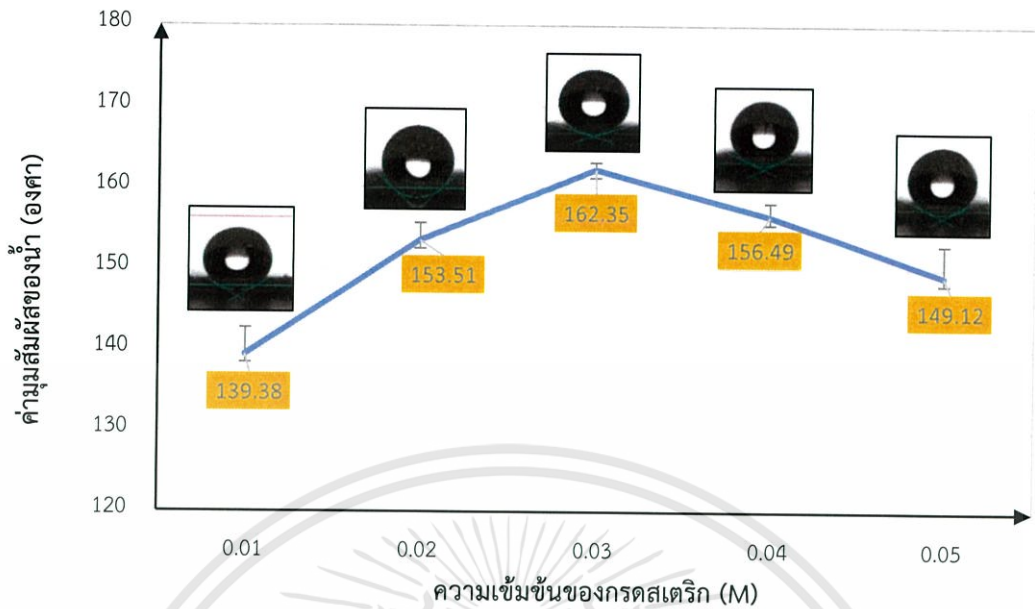
จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่ามุลัมผัสของน้ำเพื่อทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของผ้าตัวกรอง โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดสเตียริกที่ได้ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปภาพของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าตัวกรองที่ทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.28

ตารางที่ 4.11 แสดงการศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของสารคู่ควบที่มีต่อค่ามุลัมผัสของน้ำ

ความเข้มข้นของสารคู่ควบ		ค่ามุลัมผัสของน้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
โมลาร์	โมล/มิลลิลิตร	
0.01	0.001	139.38 ± 3.29
0.02	0.002	153.51 ± 2.11
0.03	0.003	162.35 ± 1.99
0.04	0.004	156.49 ± 1.68
0.05	0.005	149.12 ± 3.86



รูปที่ 4.28 แสดงภาพถ่ายของหยดน้ำบนผิวผ้าตัวกรองที่ทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ a) 0.01 b) 0.02 c) 0.03 d) 0.04 และ e) 0.05 M

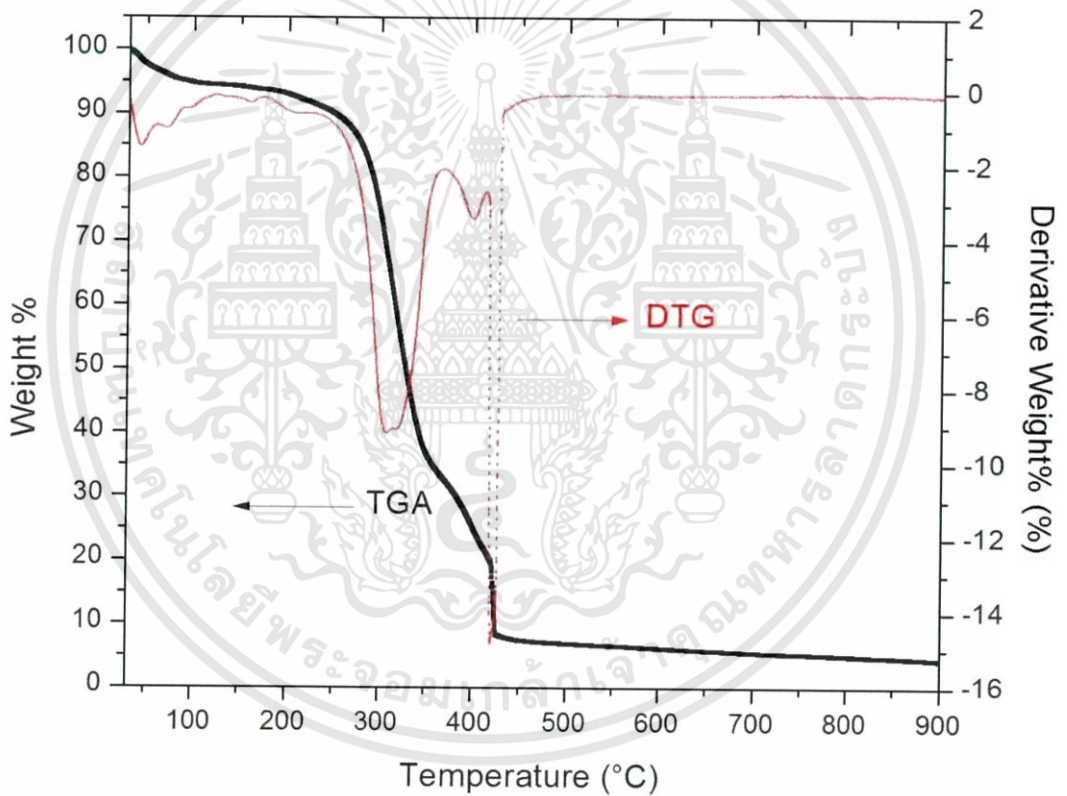


รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุ่มสัมผัสน้ำและความเข้มข้นของกรดสเตริกที่ปรับปรุงบนพื้นผิวผ้าตัวกรอง

จากการวัดค่ามุ่มสัมผัสน้ำของผ้าตัวกรองที่มีการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยการเคลือบด้วยกรดสเตริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกันคือ 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 โมลาร์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 139.38 ± 3.2954 ถึง 162.35 ± 1.9937 องศา เมื่อดูจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุ่มสัมผัสน้ำและความเข้มข้นของกรดสเตริกที่ใช้ในการปรับปรุงบนพื้นผิวผ้าตัวกรองดังแสดงในรูปที่ 4.29 พบว่าค่าความเข้มข้นกรดสเตริกที่ให้ค่ามุ่มสัมผัสน้ำมากที่สุด คือ 0.03 โมลาร์ โดยค่ามุ่มสัมผัสน้ำเท่ากับ 162.35 ± 1.9937 องศา ซึ่งสอดคล้องกับผล SEM ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตริกความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ ทำให้ได้พื้นผิวที่ปกคลุมด้วยซิงค์สเตริตที่มีลักษณะเป็นแผ่นยาว เรียว เรียงตัวซ้อนกันคล้ายกับดอกไม้ ที่มีกระจายตัวอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ บนเส้นใยผ้า ส่งผลทำให้พื้นผิวมีสมบัติความไม่ชอบน้ำสูง

จากนั้นได้นำผ้าตัวกรองที่ได้จากการสังเคราะห์ไปทำการศึกษาวิเคราะห์ทางองค์ประกอบของสารจากการสลายตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยเทคนิค TGA โดยได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผ้าที่เคลือบด้วย ZnO และ ผ้าที่เคลือบ ZnO ที่มีการปรับปรุงด้วยกรดสเตริกที่ความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ โดยผลจากการศึกษาจะแสดงในรูปร้อยละของน้ำหนักที่หายไปต่อช่วงอุณหภูมิในการสลายตัว ในรูปที่ 4.30 และตารางที่ 4.12 แสดงการสลายตัวของผ้าที่เคลือบด้วย ZnO พบว่าผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์มีช่วงการสลายตัวที่อุณหภูมิ 30-100 องศาเซลเซียส โดยมีการสลายตัวของน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 5.87 ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และความชื้นที่อยู่บนพื้นผิว จากนั้นที่อุณหภูมิ 170-370 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวของน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 59.97 ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของผ้าตัวกรองที่มีโครงสร้างเป็นเซลลูโลส (cellulose) และที่อุณหภูมิ 360-400 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวของน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 26.15 ซึ่งเกิดการสลายตัวและเปลี่ยนโครงสร้างของสารประกอบซิงค์ไนเตรทเปลี่ยนเป็นซิงค์ออกไซด์ และหลังจากที่ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่เหลือคิดเป็นร้อยละ 4.61 ซึ่งแสดงถึงปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบบนผิวผ้า ซึ่งทำให้ทราบว่า มีผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์อยู่บนผ้าตัวกรองที่สังเคราะห์ขึ้นเนื่องจาก ซิงค์ออกไซด์มีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูง สอดคล้องกับกราฟในช่วงท้าย ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากอุณหภูมิสูงขึ้นแสดงว่ามีซิงค์ออกไซด์อยู่บนพื้นผิวผ้าตัวกรอง



รูปที่ 4.30 แสดงการสลายตัวทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-900 องศาเซลเซียส ของผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์

ตารางที่ 4.12 แสดงผล TGA ของวัสดุตัวกรองที่เคลือบด้วยผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์

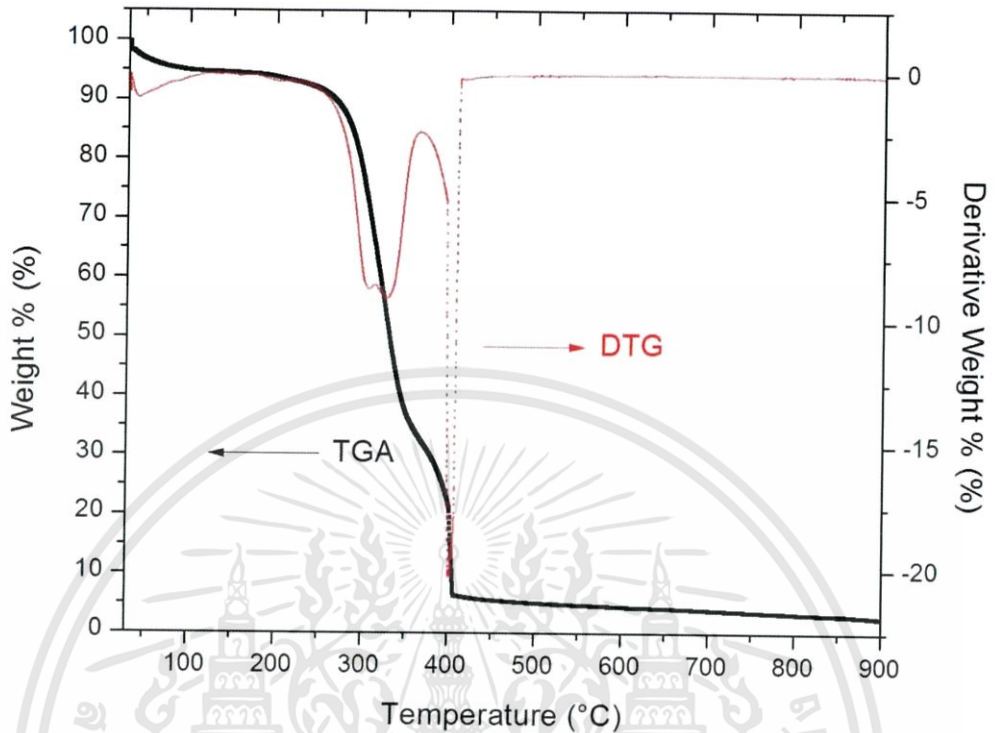
ช่วงอุณหภูมิการสลายตัว (° C)	DTG (° C)	%WT(%)	ลักษณะการสลายตัว
30-100	48	5.87	หมู่ (-OH) และ น้ำ
170-370	280	59.97	Cellulose
370-425	420	26.15	$Zn(NO_3)_2 \rightarrow ZnO$
900	-	4.61	ZnO ที่เหลือ

ตารางที่ 4.13 และ รูปที่ 4.31 แสดงการสลายตัวของผ้าที่เคลือบด้วย ZnO ที่มีการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกที่ความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ มีช่วงอุณหภูมิสลายตัวที่ 30-100 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวของน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 5.09 ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และความชื้นที่อยู่บนพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 170-370 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวของน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 61.90 ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของผ้าตัวกรองที่มีโครงสร้างที่มีเป็นเซลลูโลส (cellulose) และกรดสเตียริกที่ปรับปรุงบนพื้นผิวผ้าเนื่องจากมีอุณหภูมิในการสลายตัวประมาณ 361 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 360-405 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวของน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 26.92 ซึ่งเกิดการสลายตัวและเปลี่ยนโครงสร้างของสารประกอบซิงค์ไนเตรทเปลี่ยนเป็นซิงค์ออกไซด์ และหลังจากที่ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่เหลือคิดเป็นร้อยละ 2.30 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงประมาณของซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบบนผิวผ้า โดยการสลายตัวในช่วงอุณหภูมิ 170-370 องศาเซลเซียส ของผ้าที่เคลือบซิงค์ออกไซด์และปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก จะมีการสลายตัวของน้ำหนักมากกว่า ผ้าที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์เล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของสารประกอบสเตียเรตที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของผ้าตัวกรองร่วมด้วย และจะเห็นได้ว่ากราฟที่เกิดขึ้นมีช่วงการสลายตัวที่คล้ายคลึงกัน

ตารางที่ 4.13 แสดงผล TGA ของวัสดุตัวกรองที่เคลือบด้วยผงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์และทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยกรดสเตียริก

ช่วงอุณหภูมิการสลายตัว (° C)	DTG (° C)	%WT(%)	ลักษณะการสลายตัว
30-100	37	5.09	หมู่ (-OH) และ น้ำ
170-370	328	61.90	Stearic acid , Cellulose
360-405	401	26.92	$Zn(NO_3)_2 \rightarrow ZnO$
900	-	2.30	ZnO ที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



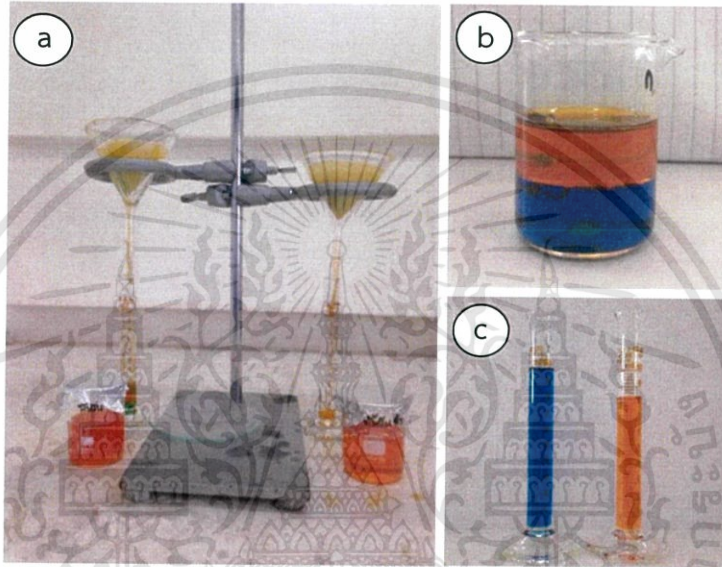
รูปที่ 4.31 แสดงการสลายตัวทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-900 องศาเซลเซียส ผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก

4.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการกรอง

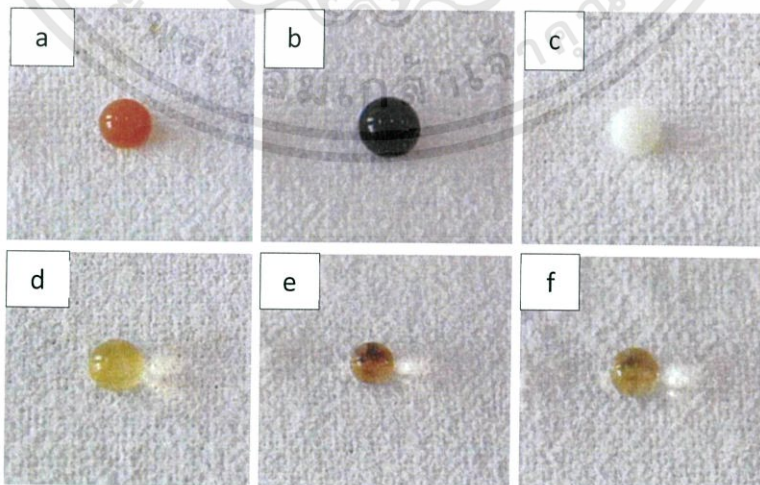
การทดสอบความสามารถในการกรองแยกของผสมระหว่างน้ำมันและสารละลายที่ไม่มีสีจากน้ำของผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการเคลือบด้วยกรดสเตียริก ทำได้โดยการผสมน้ำมันและสารละลายไม่มีสี 5 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (hexane) คลอโรฟอร์ม (chloroform) น้ำมันดีเซล (diesel) น้ำมันถั่วเหลือง (soy bean oil) และน้ำมันหมู (lard) ที่ปริมาตรอย่างละ 10 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร โดยทำการย้อมสีน้ำมันด้วยสีย้อม Sudan (I) และย้อมสีน้ำด้วยสีย้อมเมทิลีนบลูเพื่อให้สามารถสังเกตการแยกของน้ำมันและน้ำได้อย่างชัดเจน จากนั้นเทของผสมระหว่างน้ำมันและสารละลายที่ไม่มีสีกับน้ำผ่านผ้าตัวกรอง แล้วจึงทำการวัดปริมาตรน้ำมันและสารละลายที่ไม่มีสีที่กรองได้และปริมาตรน้ำที่เหลืออยู่บนผ้าตัวกรอง ทำการทดสอบการปนเปื้อนของน้ำในน้ำมันที่ได้หลังจากการกรองโดยเติมแอนไฮดริสคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ซึ่งจะเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีฟ้าเมื่อมีน้ำปนเปื้อนอยู่ วิธีการกรองแยกน้ำมันและสารละลายที่ไม่มีสีจากน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.32 โดยเมื่อเทของผสมระหว่างน้ำมันและสารละลายที่ไม่มีสีกับน้ำผ่านผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการเคลือบด้วยสารคู่ควมกรดสเตียริก น้ำมันและสารละลายที่ไม่มีสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะซึมผ่านผ้าตัวกรองลงไปอยู่ในกระบอกตวงด้านล่างส่วนน้ำจะค้างอยู่บนผ้าตัวกรอง โดยผลการทดสอบการกรองแยกน้ำมันชนิดต่าง ๆ และสารละลายที่ไม่มีขี้จากน้ำแสดงในตารางที่ 4.14 ส่วนรูปที่ 4.33 แสดงการทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของผ้าตัวกรองโดยการหยดน้ำชนิดต่าง ๆ ลงบนผิวผ้าตัวกรอง ผลที่ได้พบว่าหยดน้ำจะจับตัวกันเป็นทรงกลม ไม่เปียกบนผิวผ้าตัวกรอง ซึ่งแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำของผ้าตัวกรอง



รูปที่ 4.32 แสดง a) วิธีการกรองแยกของผสมระหว่างน้ำมันชนิดต่าง ๆ และสารละลายที่ไม่มีขี้จากน้ำ b) ของผสมระหว่างน้ำมันและสารละลายที่ไม่มีขี้กับน้ำ c) ปริมาณน้ำมันและน้ำหลังการกรอง



รูปที่ 4.33 แสดงรูปหยดน้ำชนิดต่าง ๆ บนผ้าตัวกรอง a) กาแฟ b) น้ำหมึก c) น้่านม d) น้ำส้ม e) ชาเขียว และ f) เหล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบการกรองแยกน้ำมันชนิดต่าง ๆ โดยใช้ผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการเคลือบด้วยกรดสเตียริก

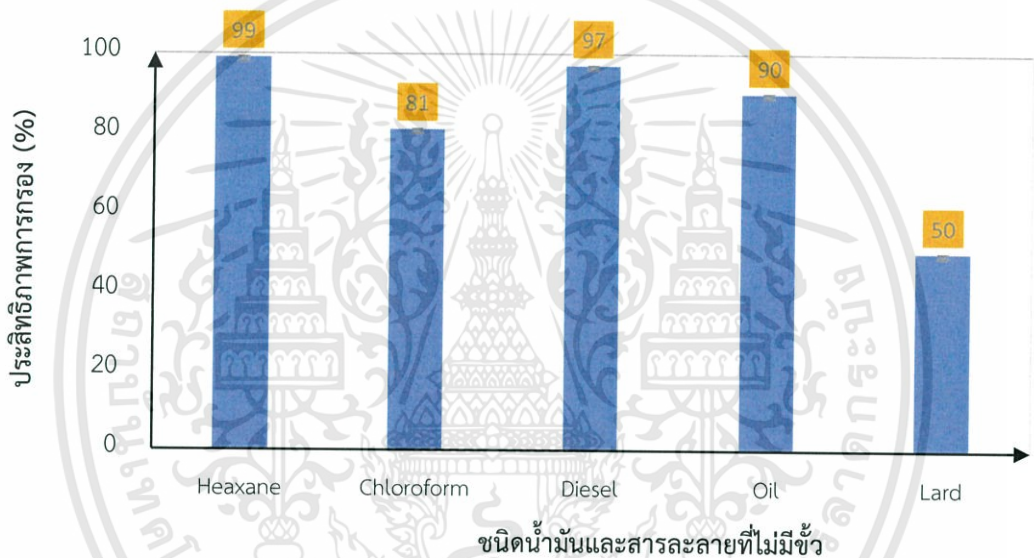
ชนิดสาร	ปริมาตรที่กรองแยกได้ (มิลลิลิตร)		ผลการทดสอบด้วย แอนไฮดรัส คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต	ค่าประสิทธิภาพ การกรอง (ร้อยละ)
	น้ำมัน	น้ำ		
เฮกเซน	8.20 ± 0.20	9.90 ± 0.10	ไม่เปลี่ยนสี	99.00 ± 0.01
คลอโรฟอร์ม	8.60 ± 0.20	8.10 ± 0.81	ไม่เปลี่ยนสี	81.00 ± 0.08
น้ำมันดีเซล	9.70 ± 0.11	9.70 ± 0.11	เปลี่ยนสี	97.00 ± 0.01
น้ำมันถั่วเหลือง	9.10 ± 0.30	9.00 ± 0.40	เปลี่ยนสี	90.00 ± 0.04
น้ำมันหมู	2.90 ± 0.98	5.00 ± 0.56	เปลี่ยนสี	50.00 ± 0.06

หมายเหตุ:

- 1) ผ้าตัวกรองก่อนการปรับปรุงให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด เมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพการกรองแล้ว พบว่าไม่สามารถแยกน้ำมันออกจากน้ำได้ เนื่องจากเส้นใยของผ้าตัวกรองเป็นเส้นใยผ้าฝ้ายธรรมชาติที่สามารถดูดซับน้ำได้ดี
- 2) ประสิทธิภาพในการกรองคิดจากปริมาตรของน้ำที่ไม่ถูกกรองผ่านผ้าตัวกรอง วิธีการคำนวณประสิทธิภาพในการกรองแสดงในภาคผนวก ก
- 3) เนื่องจากน้ำมันบางชนิด เช่น เฮกเซน คลอโรฟอร์ม และน้ำมันดีเซล เป็นสารที่ระเหยได้ง่าย และบางส่วนถูกดูดซับบนผ้าจึงทำให้ปริมาตรสุดท้ายของน้ำมันไม่เท่ากับปริมาตรเริ่มต้น

จากการทดสอบการกรองแยกน้ำมันชนิดต่าง ๆ และสารละลายที่ไม่มีขั้วจากน้ำผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกรองและชนิดน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 4.34 พบว่าผ้าตัวกรองที่เคลือบอนุภาคซิงค์ออกไซด์และทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการเคลือบด้วยกรดสเตียริก สามารถใช้ในการกรองแยกน้ำมันและสารละลายที่ไม่มีขั้วออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงร้อยละ 50-99 โดยมีประสิทธิภาพในการกรองแยกเฮกเซนออกจากน้ำที่สูงที่สุดโดยมีค่าร้อยละ 99.00 ± 0.01 หลังจากนั้นนำเฮกเซนที่กรองได้ไปทดสอบเติมแอนไฮดรัสคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต พบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี จึงทราบได้ว่าเฮกเซนที่กรองได้ไม่มีน้ำผสมอยู่ การกรองแยกคลอโรฟอร์มมีค่าประสิทธิภาพการกรองอยู่ที่ร้อยละ 81.00 ± 0.08 เนื่องจากกรดสเตียริกที่เคลือบบนผิวผ้าตัวกรองละลายในคลอโรฟอร์มทำให้บางส่วนของผ้าตัวกรองมีสมบัติความไม่ชอบน้ำลดลง เมื่อนำไปทดสอบด้วยแอนไฮดรัสคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

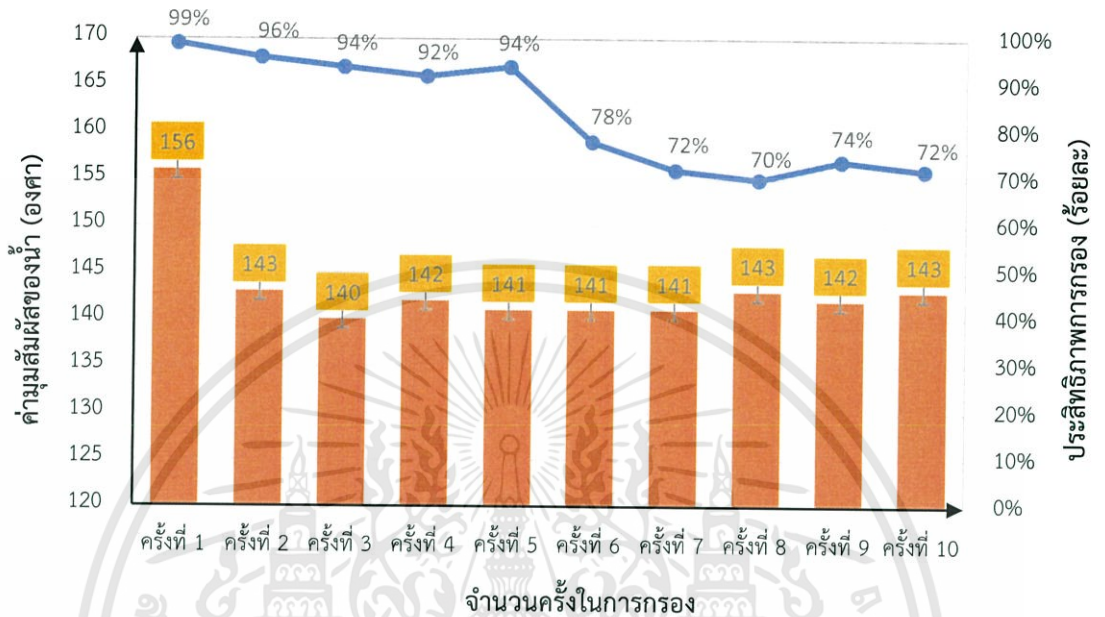
พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีขาวยังสีฟ้าจึงทราบได้ว่าการปนเปื้อนของน้ำ ประสิทธิภาพการกรองที่ได้จึงต่ำลง การกรองแยกน้ำมันดีเซลมีค่าประสิทธิภาพการกรองอยู่ที่ร้อยละ 97.00 ± 0.01 เมื่อนำไปทดสอบด้วยแอนไฮดริสคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีขาวยังสีฟ้าจึงทราบได้ว่าการปนเปื้อนของน้ำ ส่วนการกรองแยกน้ำมันที่มีความหนืดสูง เช่น น้ำมันพืชและน้ำมันหมูเมื่อนำน้ำมันที่กรองได้ไปทดสอบเติมแอนไฮดริส คอปเปอร์(II) ซัลเฟต พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีขาวยังสีฟ้า เนื่องจากน้ำมันมีโมเลกุลขนาดใหญ่และเป็นกรดไขมันเช่นเดียวกับกรดสเตียริกเมื่อกรองผ่านผ้าตัวกรองทำให้กรดสเตียริกบางส่วนหลุดออก ทำให้น้ำมันที่ได้จากการกรองมีการปนเปื้อนของน้ำดังนั้นประสิทธิภาพการกรองที่ได้จึงมีค่าไม่สูงนัก



รูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองแยกน้ำมันชนิดต่าง ๆ และสารละลายที่ไม่มีขี้จากน้ำด้วยผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยกรดสเตียริก

นอกจากการศึกษาประสิทธิภาพการกรองแยกของผสมระหว่างน้ำมันและน้ำแล้ว ได้มีการนำผ้าตัวกรองไปศึกษาประสิทธิภาพการใช้ซ้ำ โดยทำการกรองของผสมระหว่างน้ำและเฮกเซนด้วยผ้าตัวกรองที่สังเคราะห์ได้ จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำไปวัดค่ามอดูลัสของน้ำโดยทำซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.35 พบว่าหลังจากการกรองซ้ำ 10 ครั้ง ประสิทธิภาพการกรองลดลงจากร้อยละ 99 เหลือร้อยละ 72 โดยจำนวนครั้งที่เหมาะสมสำหรับการนำผ้าตัวกรองไปใช้ในการกรองซ้ำคือ 5 ครั้ง มีค่าประสิทธิภาพการกรองอยู่ในช่วงร้อยละ 95 - 99 จากนั้นมีประสิทธิภาพการกรองลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 70 โดยพบว่าหลังจากการกรองซ้ำ 10 ครั้ง มีค่ามอดูลัสของน้ำลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนการกรองจาก 162.35 ± 1.99 องศา เป็น 143.19 ± 0.74 องศา ผลที่ได้แสดงให้เห็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นว่าผ้าตัวกรองที่สังเคราะห์ได้สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้โดยยังคงมีประสิทธิภาพในการกรองแยกน้ำมันจากน้ำที่ดี



รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการกรองกับประสิทธิภาพในการกรองและค่ามลพิษที่เหลือของผ้าตัวกรองที่ผ่านกรองกรองแยกเฮกเซนและน้ำซ้ำ 10 ครั้ง

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการพัฒนาผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบเพื่อใช้ในการแยกน้ำมันจากน้ำ โดยเริ่มจากการเตรียมผ้าตัวกรองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อกำจัดชั้นไขมัน (wax) บนพื้นผิวผ้าและเพื่อให้มีหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิวทำให้สามารถยึดเกาะกับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ได้ดีขึ้น จากนั้นนำผ้าตัวกรองไปเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์แล้วทำการปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรองเพื่อให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยสารคู่ควบประเภทกรดไขมัน โดยในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของผ้าตัวกรอง ดังต่อไปนี้ คือ วิธีที่ใช้ในการเคลือบและสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ ปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้นของสารคู่ควบ และชนิดของสารคู่ควบ

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการพัฒนาผ้าตัวกรองให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดสูงสุด คือ การใช้วิธีการเคลือบผ้าตัวกรองโดยใช้สารแขวนลอยของอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยใช้ปริมาณอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์ต่อเอทานอลเป็น 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร (2.46×10^{-4} โมล/มิลลิลิตร) และทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยการเคลือบด้วยกรดสเตียริก (stearic acid) ความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ (0.003 โมล/มิลลิลิตร) โดยให้ความเข้มข้นของน้ำเฉลี่ยที่สูงที่สุดเท่ากับ 162.35 ± 1.99 องศา ซึ่งแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าที่พื้นผิวผ้ามีพันธะ C=O และ C-O ของพันธะเอสเทอร์ เกิดขึ้นแสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อพันธะระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิวของซิงค์ออกไซด์กับหมู่คาร์บอกซิลของกรดสเตียริกแล้วเกิดเป็นซิงค์สเตียเรตขึ้น และจากเทคนิค TGA พบว่ามีองค์ประกอบของอนุภาคซิงค์ออกไซด์บนผิวผ้าร้อยละ 4.61 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระสูงเนื่องจากรูปร่างของซิงค์สเตียเรตที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายกับดอกไม้ ทำให้เกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด เนื่องจากเกิดช่องว่างให้อากาศแทรกตัวอยู่ น้ำจึงซึมผ่านได้ยาก จากนั้นได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการกรองแยกน้ำมันออกจากน้ำของผ้าตัวกรองที่เตรียมได้จากสภาวะที่ดีที่สุด พบว่าสามารถใช้ในการกรองแยกของผสมระหว่างน้ำและน้ำมัน 5 ชนิด คือ เฮกเซน คลอโรฟอร์ม น้ำมันดีเซล น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันหมูได้ โดยมีประสิทธิภาพในการกรองอยู่ในช่วงร้อยละ $50-99$ โดยสามารถกรองแยกเฮกเซนได้ดีที่สุดมีค่าประสิทธิภาพในการกรองอยู่ที่ร้อยละ 99.00 ± 0.01 และจากการทดสอบการนำกลับมาใช้ซ้ำพบว่าผ้าตัวกรองมีประสิทธิภาพการกรองลดลงเล็กน้อยจากร้อยละ 99 เป็น ร้อยละ 72 แสดงให้เห็นว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และทำการปรับปรุงให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการเคลือบด้วยกรดสเตียริกสามารถใช้ในการกรองแยกน้ำมันออกจากน้ำได้และสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้โดยยังคงมีประสิทธิภาพที่ดีอยู่

5.2 ข้อเสนอแนะ

- (1) ศึกษาถึงปัจจัยในการสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์เช่น วิธีการสังเคราะห์ เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ และชนิดของสารตั้งต้น เป็นต้น ที่ส่งผลต่อรูปร่างขนาดของผลึกและความบริสุทธิ์
- (2) ศึกษาผลของการใช้อนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่มีรูปร่างแบบต่าง ๆ เช่น แบบทรงกลม แบบแท่ง แบบเส้น ที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด
- (3) ศึกษาวิธีการเคลือบสารคู่ควบเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด



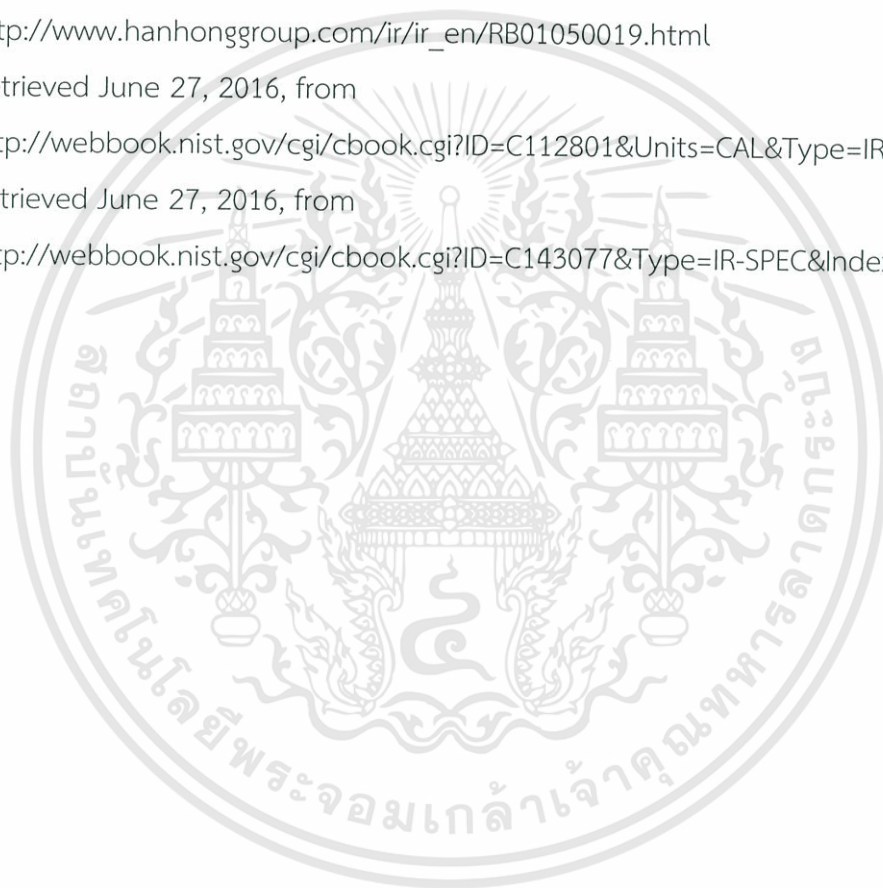
- [14] Retrieved January 19, 2016, from http://www.electron.rmutphysics.com/teaching-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=4493&Itemid=3
- [15] Retrieved January 18, 2016, from <http://www.fuveszker.hu/en/79-angol/109-lotus-fx.html>
- [16] Retrieved January 19, 2016, from <http://www.greencar.in.th/nissan-leaf-self-clean>
- [17] Retrieved January 19, 2016, from http://www.physics.kmutt.ac.th/version2558/information2558/interested_topic_group/self_cleaning_leaf.html
- [18] Retrieved February 14, 2016, from <http://www.dpim.go.th/articles/article?catid=125&articleid=3251>
- [19] Retrieved February 14, 2016, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Sol-gel>
- [20] Retrieved February 14, 2016, from <http://nanozincoxi.de.blogspot.com/2012/08/1.html>
- [21] Retrieved January 19, 2016, from <http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=detective9&month=22-01-2013&group=7&gblog=1>
- [22] Retrieved January 20, 2016, from <http://www.guidechem.com/reference/dic-20171.html>
- [23] Retrieved January 20, 2016, from <http://www.chemistrylearner.com/zinc-hydroxide.html>
- [24] Retrieved January 22, 2016, from <http://www.chemnet.com/Suppliers/7441/Sodium-zincate--1292036.html>
- [25] Retrieved January 22, 2016, from <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/000886/unsaturatedfatty-acidกรดไขมันไม่อิ่มตัว>
- [26] Retrieved January 22, 2016, from <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0800/fatty-acid>
- [27] Retrieved January 22, 2016, from <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1645/caprylic-acid.html>
- [28] Retrieved January 20, 2016, from <http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=detective9&month=22-01-2013&group=7&gblog=1>
- [29] Retrieved January 22, 2016, from <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1179/lauric acid.html>
- [30] Retrieved January 22, 2016, from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lauric_acid.png

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] Retrieved January 22, 2016, from https://www.chemipan.com/home/index.php/stearic_acid.html
- [32] Retrieved January 22, 2016, from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stearic_acid.png
- [33] Retrieved January 23, 2016, from http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1643/oleic_acid.html
- [34] Retrieved January 23, 2016, from <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1643/oleic-acid>
- [35] Retrieved January 23, 2016, from <http://epg.science.cmu.ac.th/induschem/article-download.php?id=448>
- [36] Retrieved January 23, 2016, from <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0612/cellulose-เซลลูโลส>
- [37] Retrieved January 23, 2016, from <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/956927>
- [38] Retrieved January 23, 2016, from [http://www.jeolusa.com/PRODUCTS/Scanning ElectronMicroscopes\(SEM\)/SEM-FIB/JIB-4600FMultiBeam/tabid/543/Default.aspx](http://www.jeolusa.com/PRODUCTS/Scanning_ElectronMicroscopes(SEM)/SEM-FIB/JIB-4600FMultiBeam/tabid/543/Default.aspx)
- [39] Retrieved January 23, 2016, from <http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/forstdent/ข้อมูลเครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบ/item/139-ftir-raman-spectrometer.html>
- [40] Retrieved January 23, 2016, from http://www.uibk.ac.at/mineralogie/facilities/ft_ir_spectroscopy.html
- [41] Retrieved January 23, 2016, from <http://science.kmutt.ac.th/sic/index.php/physics/16-x-ray-diffraction>
- [42] Retrieved January 23, 2016, from <https://www.mtec.or.th/mcu/phcl/index.php/th/2014-09-04-06-23-37/14-uncategorised/28-x-ray>
- [43] Retrieved January 23, 2016, from [http://en.openei.org/wiki/X-Ray_Diffraction_\(XRD\)](http://en.openei.org/wiki/X-Ray_Diffraction_(XRD))
- [44] Retrieved February 11, 2016, from <http://chemiday.com/en/reaction/3-1-0-286>
- [45] Retrieved February 11, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Zinc_oxide
- [46] Retrieved February 11, 2016, from <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf>
- [47] Retrieved February 11, 2016, from http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2586/2/293271_app.pdf
- [48] Retrieved February 11, 2016, from http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=569

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [49] Retrieved June 27, 2016, from
<https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/Spectrpy/InfraRed/infrared.htm>
- [50] Retrieved June 27, 2016, from
http://www.hanhonggroup.com/ir/ir_en/RA10760067.html
- [51] Retrieved June 27, 2016, from
<http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C57114&Type=IR-SPEC&Index=1>
- [52] Retrieved June 27, 2016, from
http://www.hanhonggroup.com/ir/ir_en/RB01050019.html
- [53] Retrieved June 27, 2016, from
<http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C112801&Units=CAL&Type=IR-SPEC>
- [54] Retrieved June 27, 2016, from
<http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C143077&Type=IR-SPEC&Index=1>





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1) การคำนวณอัตราส่วนโมลและประสิทธิภาพในการกรองสารเคมีที่ใช้

Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	มวลโมเลกุล 297.47 g/mol ความหนาแน่น 2.065 g/ml ความบริสุทธิ์ 97.5 %
stearic acid; C ₁₈ H ₃₆ O ₂	มวลโมเลกุล 284.48 g/mol ความหนาแน่น 0.9408 g/ml ความบริสุทธิ์ 98 %
octanoic acid; C ₈ H ₁₆ O ₂	มวลโมเลกุล 144.21 g/mol ความหนาแน่น 0.910 g/ml ความบริสุทธิ์ 99 %
lauric acid; C ₁₂ H ₂₄ O ₂	มวลโมเลกุล 200.32 g/mol ความหนาแน่น 1.007 g/ml ความบริสุทธิ์ 99 %
oleic acid; C ₁₈ H ₃₄ O ₂	มวลโมเลกุล 282.47 g/mol ความหนาแน่น 0.895 g/ml ความบริสุทธิ์ 99 %

สูตรการคำนวณอัตราส่วนโมล

$$D = \frac{m}{V} \text{ หรือ } m = DV$$

$$\text{mol} = \frac{g}{MW} = \frac{DV}{MW} = \frac{CV}{1000}$$

โดย	D	คือ ความหนาแน่นของสาร หน่วยเป็น กรัมต่อมิลลิลิตร
	m	คือ น้ำหนักของสาร หน่วยเป็น กรัม
	V	คือ ปริมาตรของสาร หน่วยเป็น มิลลิลิตร
	MW	คือ มวลโมเลกุลของสาร หน่วยเป็น กรัมต่อโมล
	C	คือ ความเข้มข้นของสาร หน่วยเป็น โมลต่อลิตร

ตัวอย่างการคำนวณ

สังเคราะห์ Zn(OH)₂ จาก Zn(NO₃)₂·6H₂O + NaOH

สมการ	Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + 2NaOH		→	ZnO + 2NaNO ₃ + 7H ₂ O		
อัตราส่วน	1	2		1	2	7
MW	297.47	40		81.4	85	18
น้ำหนัก (g)	29.747	8		8.14		
mol	0.1	0.2		0.1		
ปริมาตร (ml)	200	80		280		
ความเข้มข้น (M)	0.5	2.5				

หาโมลของ Zn(NO₃)₂·6H₂O

$$\text{mol} = \frac{\text{g}}{\text{MW}} = \frac{29.747}{297.47} = 0.1 \text{ mol}$$

หาความเข้มข้น Zn(NO₃)₂·6H₂O

$$\frac{\text{g}}{\text{MW}} = \frac{\text{CV}}{1000} \rightarrow \frac{29.747}{297.47} = \frac{C \times 200}{1000} \rightarrow C = 0.5 \text{ M}$$

สังเคราะห์ Zn(OH)₂ จาก Zn(NO₃)₂·6H₂O + NH₄OH

สมการ	Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + 2NH ₄ OH		→	ZnO + 2NH ₄ NO ₃ + 7H ₂ O		
อัตราส่วน	1	2		1	2	7
MW	297.47	35		81.40	85	18
น้ำหนัก (g)	29.747	7		8.14		
mol	0.1	0.2		0.1		
ปริมาตร (ml)	200	80		280		
ความเข้มข้น (M)	0.5	2.5				

หาน้ำหนักที่ต้องชั่งของ NH_4OH 30%vt (ของเหลว)

ในสารละลาย 100 ml มี NH_4OH 30 ml

$$D = \frac{m}{V} \rightarrow 0.892 = \frac{m}{30} \rightarrow m = 26.76 \text{ g}$$

ต้องการ NH_4OH ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ ปริมาตร 80 ml จะได้

$$\frac{g}{MW} = \frac{CV}{1000} \rightarrow \frac{g}{35} = \frac{2.5 \times 80}{1000} \rightarrow g = 7 \text{ g}$$

เทียบ มี NH_4OH 26.76 g ในสารละลาย 100 mL
 มี NH_4OH 7 g ในสารละลาย
 $\frac{100 \times 7}{26.76} = 26.1584 \text{ mL}$

สังเคราะห์ Zn(OH)_2 จากสารละลายโซลของ $\text{Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$

สมการ	$\text{Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaOH} \rightarrow$		$\text{ZnO} + 2\text{NaNO}_3 + 7\text{H}_2\text{O}$		
อัตราส่วน	1	2	1	2	7
MW	297.47	40	81.4	85	
น้ำหนัก (g)	2.9747	0.8	0.81		
mol	0.01	0.02	0.01		
ปริมาตร (ml)	90	10	100		
ความเข้มข้น (M)	0.11	2.0			

คำนวณหาน้ำหนักที่เกิดขึ้นของ Zn(OH)_2

$$\text{mol} = \frac{g}{MW} \rightarrow g = \text{mol} \times MW = 0.01 \times 99.4 = 0.994 \text{ g}$$

เตรียมสารคู่ความกรดสเตียริก เข้มข้น 0.03 mol/dm^3 (ของแข็ง)

ในสารละลายเอทานอล	1000	cm^3	มีเนื้อสารอยู่	0.03 mol
ต้องการเตรียม	50	cm^3	มีเนื้อสารอยู่	$\frac{0.03 \times 50}{1000} = 0.0015 \text{ mol}$

$$\text{mol} = \frac{g}{MW} \longrightarrow 0.0015 \text{ mol} = \frac{g}{284.48} \longrightarrow g = 0.4267 \text{ g}$$

ชั่งกรดสเตียริกมา 0.4267 g ละลายในเอทานอล 50 cm^3

เตรียมสารคู่ความกรดโอเลอิก เข้มข้น 0.03 mol/dm^3 (ของเหลว)

$$0.0015 \text{ mol} = \frac{g}{282.47} \longrightarrow g = 0.4237$$

ชั่งกรดโอเลอิกมา 0.4237 g ละลายในเอทานอล 50 cm^3

$$D = \frac{m}{V} \longrightarrow 0.895 = \frac{0.4237}{V} \longrightarrow V = 0.4734$$

ปิเปตสารละลายกรดโอเลอิก 0.4743 ml ปรับปริมาตรด้วยเอทานอลเป็น 50 cm^3

3) การเตรียมผ้าตัวกรองที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรอง

ผ้าที่ใช้ทดสอบค่ามุมสัมผัสน้ำ

1 cm



5 cm

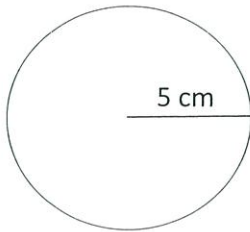
ขนาด $1 \times 5 \text{ cm}$

คิดเป็นพื้นที่ 5 cm^2

แช่ผ้าครั้งละ 10 แผ่น คิดเป็นพื้นที่ $5 \times 10 = 50 \text{ cm}^2$

ใช้ปริมาณ ZnO คิดเป็น 0.2 g ต่อพื้นที่ 50 ตารางเซนติเมตร

ผ้าที่ใช้ทดสอบการกรอง



ขนาดรัศมี $r = 5 \text{ cm}$

คิดเป็นพื้นที่ $\pi r^2 = \pi(5) = 78.54 \text{ cm}^2$

คิดเป็นกี่เท่าของผ้าปกติ $\frac{78.54}{50} = 1.57$ เท่า

ใช้ปริมาณ $\text{ZnO } 0.2 \text{ g} \times 1.57 = 0.314 \text{ g}$

คำนวณปริมาตรกรดสเตียริกที่ใช้

ผ้าที่ใช้ทดสอบค่ามุมสัมผัสน้ำ	1 เท่า	ใช้	10	mL
ผ้าที่ใช้ทดสอบการกรอง	1.57 เท่า	ใช้	$\frac{1.57 \times 10}{1}$	=15.7 mL

2) การคำนวณประสิทธิภาพในการกรอง

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกรอง} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำหลังจากการกรอง}}{\text{ปริมาตรน้ำก่อนการกรอง}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพในการกรองเฮกเซนกับน้ำ

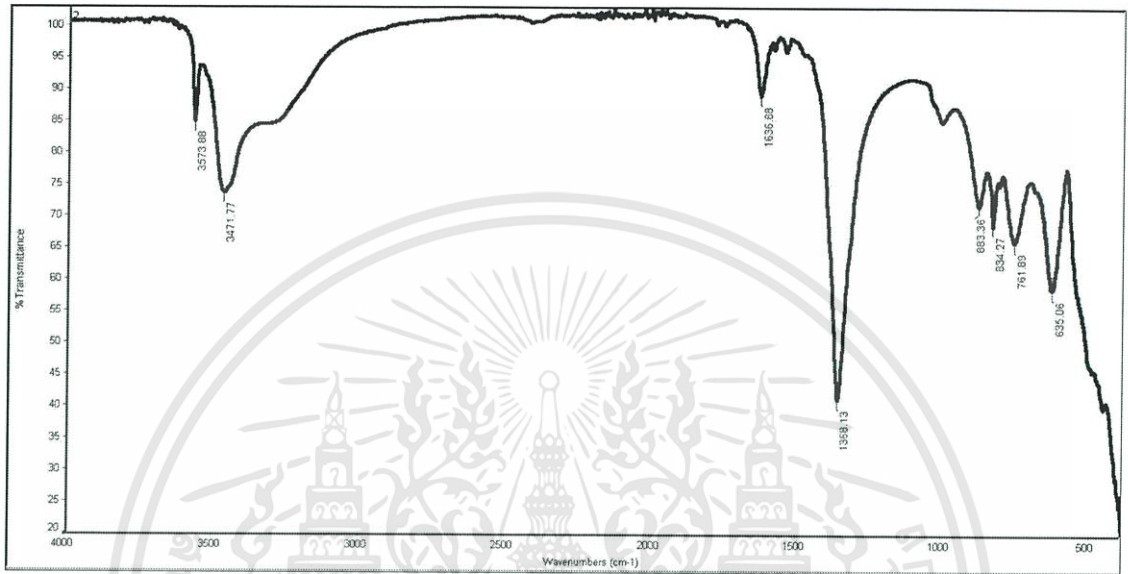
ปริมาตรน้ำที่วัดได้ก่อนการกรอง 10.00 ml ปริมาตรน้ำที่วัดได้หลังการกรอง 9.90 mL

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกรอง} = \frac{9.90}{10.00} \times 100$$

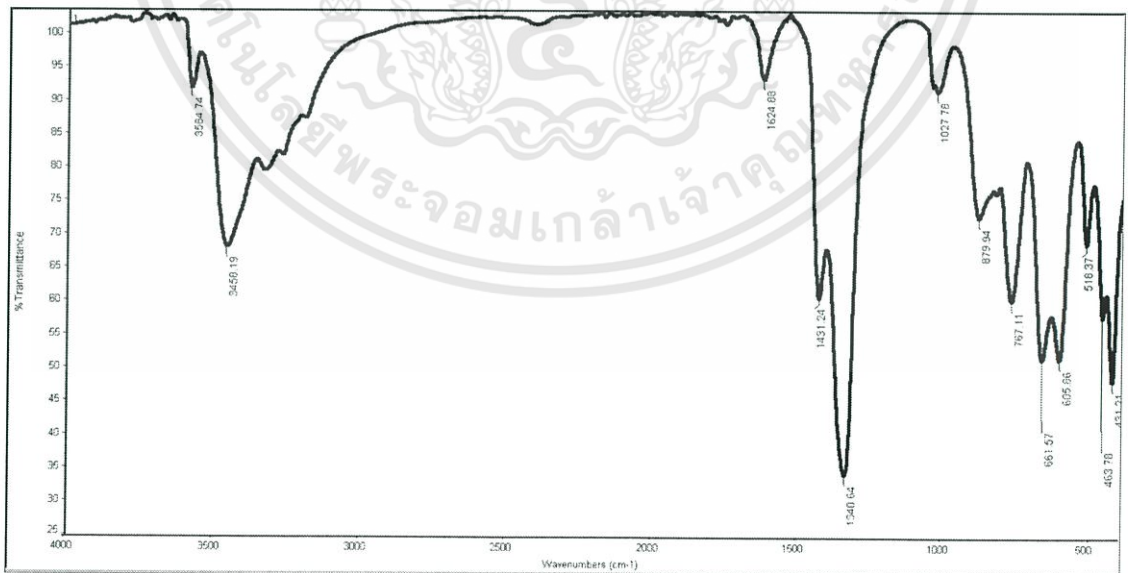
$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกรอง} = 99.00$$

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR

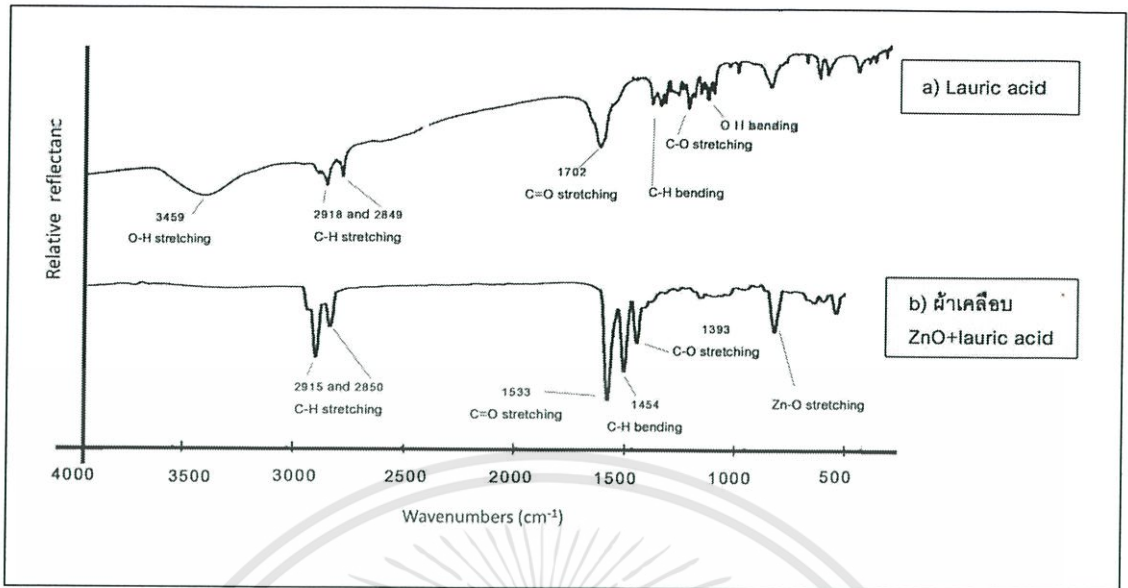


รูปแสดงผลการวิเคราะห์ FT-IR อนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากสารตั้งต้นซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับไซเตียมไฮดรอกไซด์

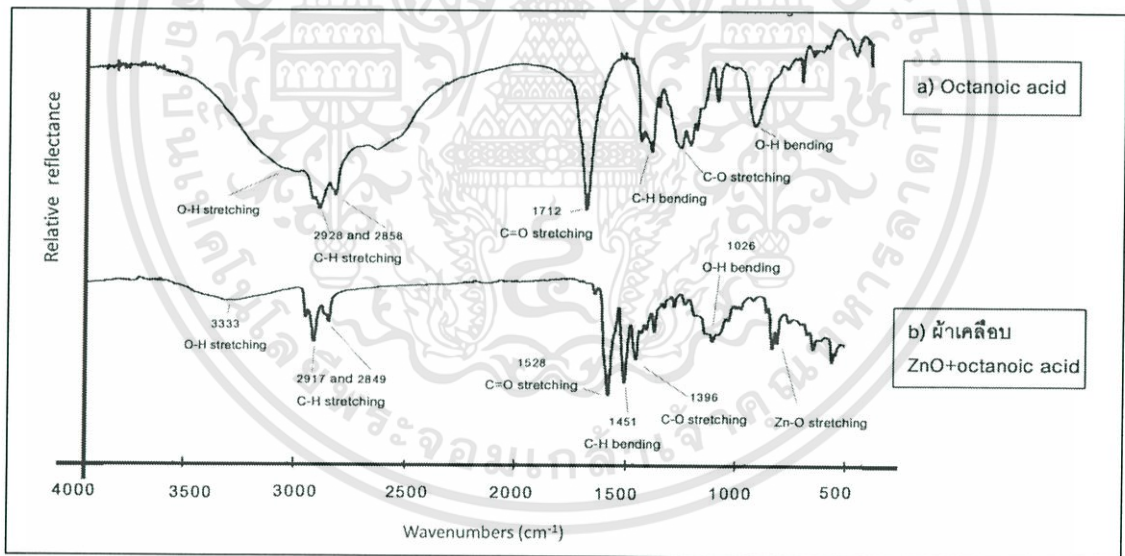


รูปแสดงผลการวิเคราะห์ FT-IR อนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากสารตั้งต้นซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

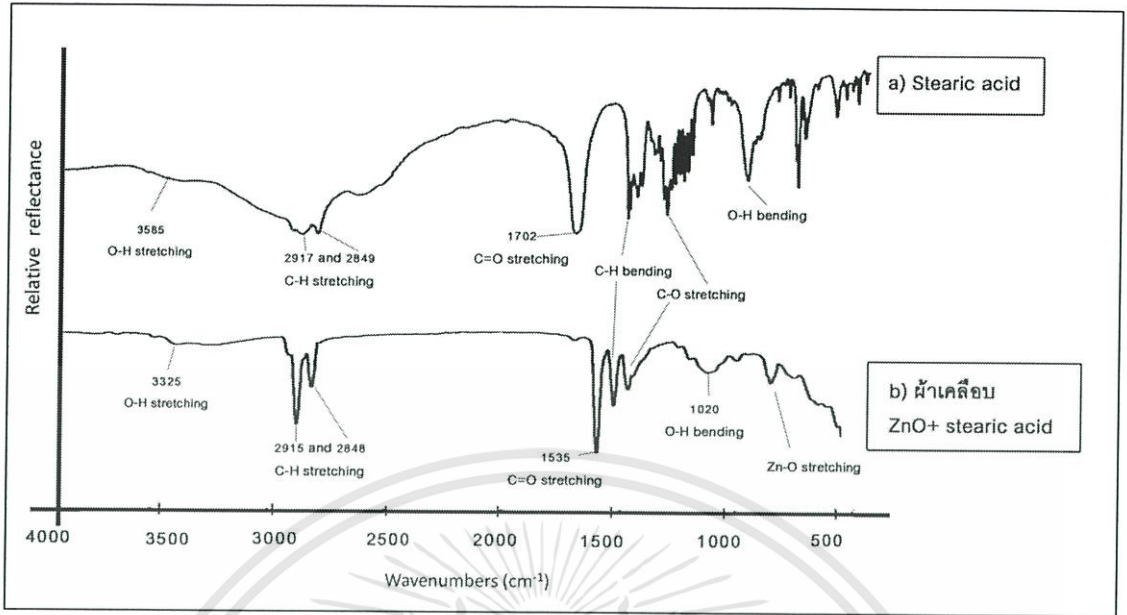
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



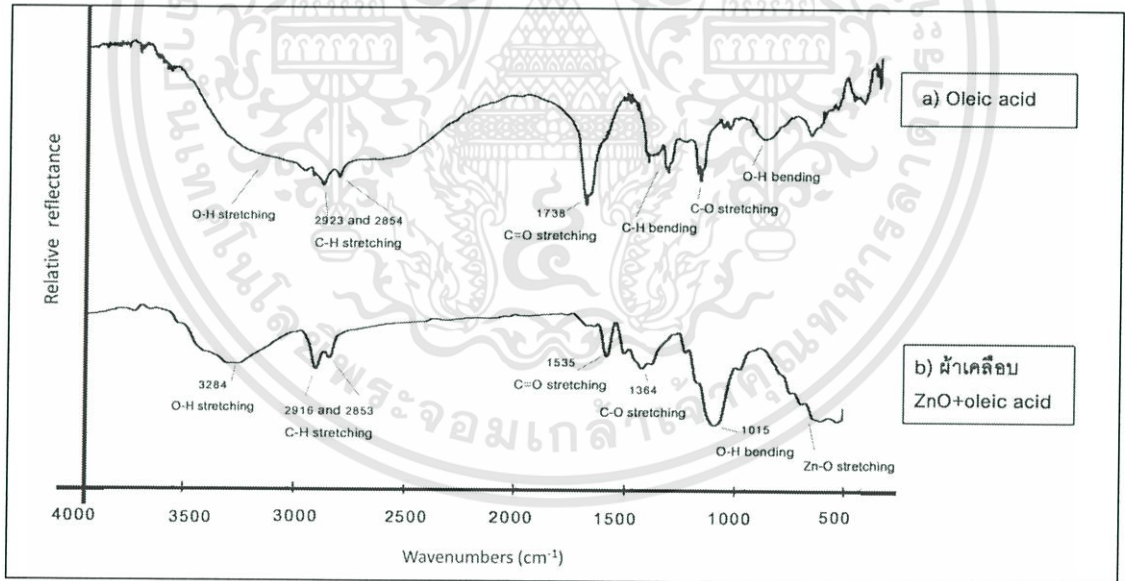
รูปแสดงผลการวิเคราะห์ FT-IR ของสารละลายกรดลอริกและผ้าตัวกรองที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดลอริก



รูปแสดงผลการวิเคราะห์ FT-IR ของสารละลายกรดออกตะโนอิกและผ้าตัวกรองที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดออกตะโนอิก

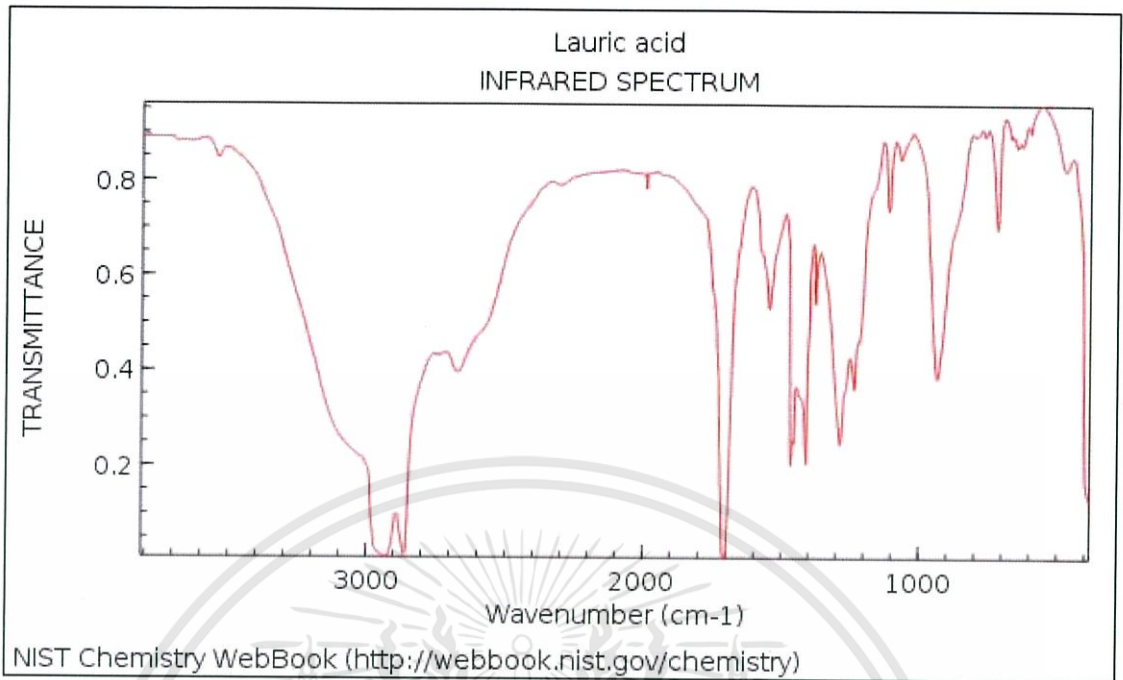


รูปแสดงผลการวิเคราะห์ FT-IR ของสารละลายกรดสเตียริกและผ้าตัวกรองที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดสเตียริก

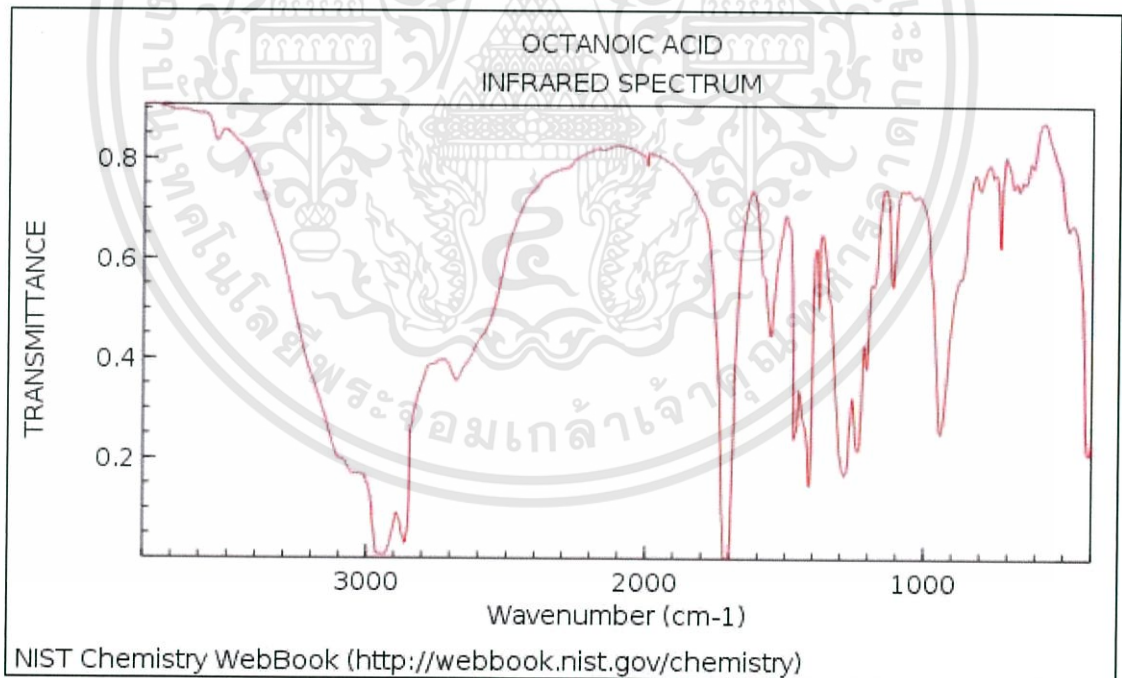


รูปแสดงผลการวิเคราะห์ FT-IR ของสารละลายกรดโอเลอิกผ้าตัวกรองที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามด้วยกรดโอเลอิก

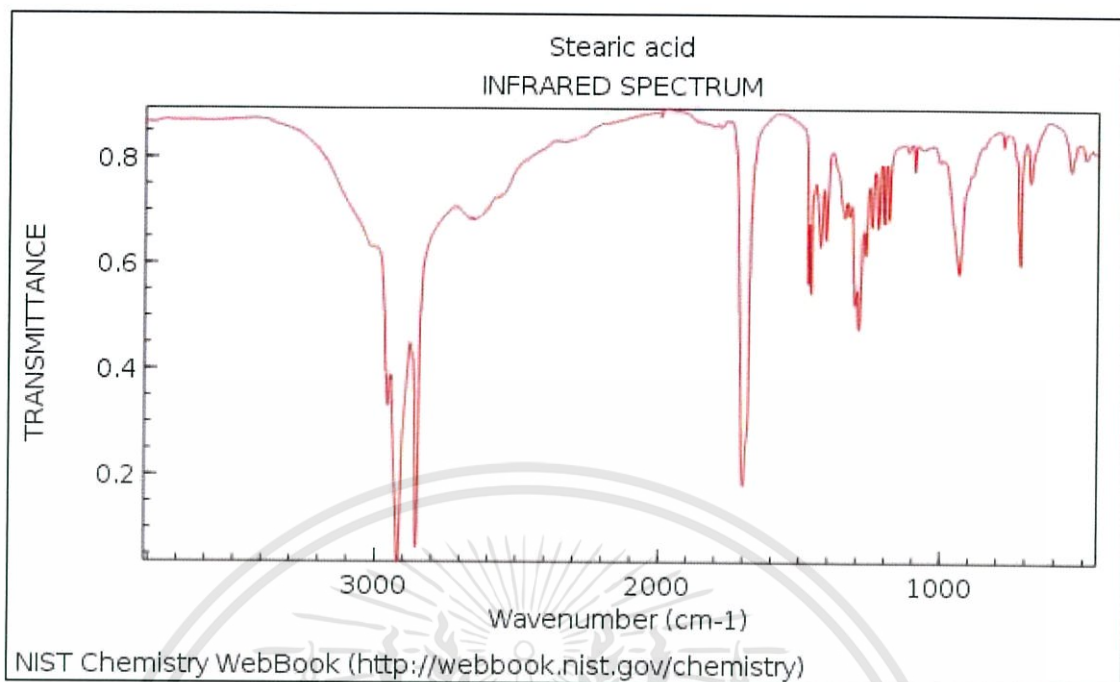
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



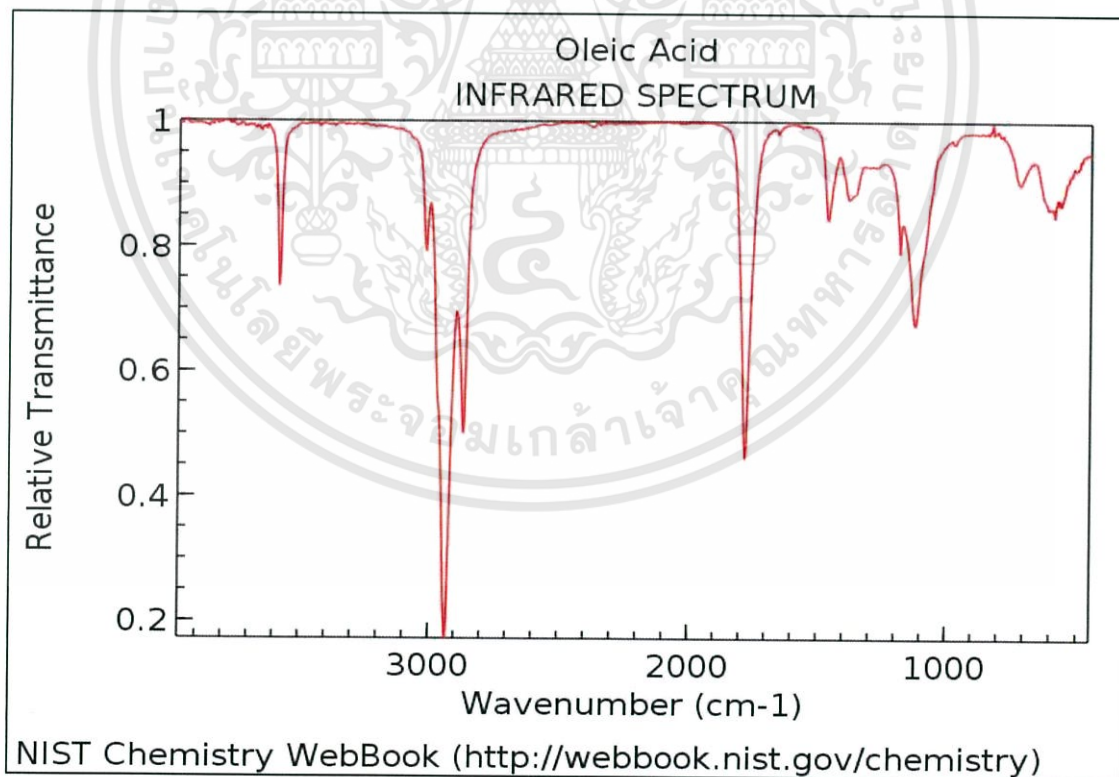
รูปแสดงการวิเคราะห์ FT-IR มาตรฐานของกรดลอริก [54]



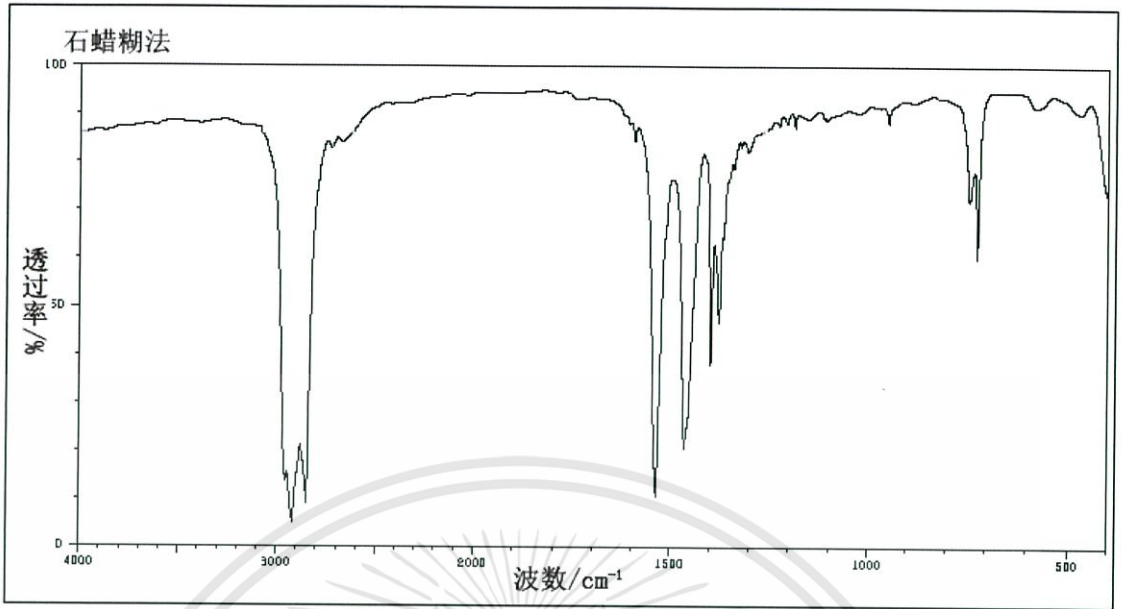
รูปแสดงการวิเคราะห์ FT-IR มาตรฐานของกรดออกเตโนอิก [51]



รูปแสดงการวิเคราะห์ FT-IR มาตรฐานของกรดสเตียริก [52]

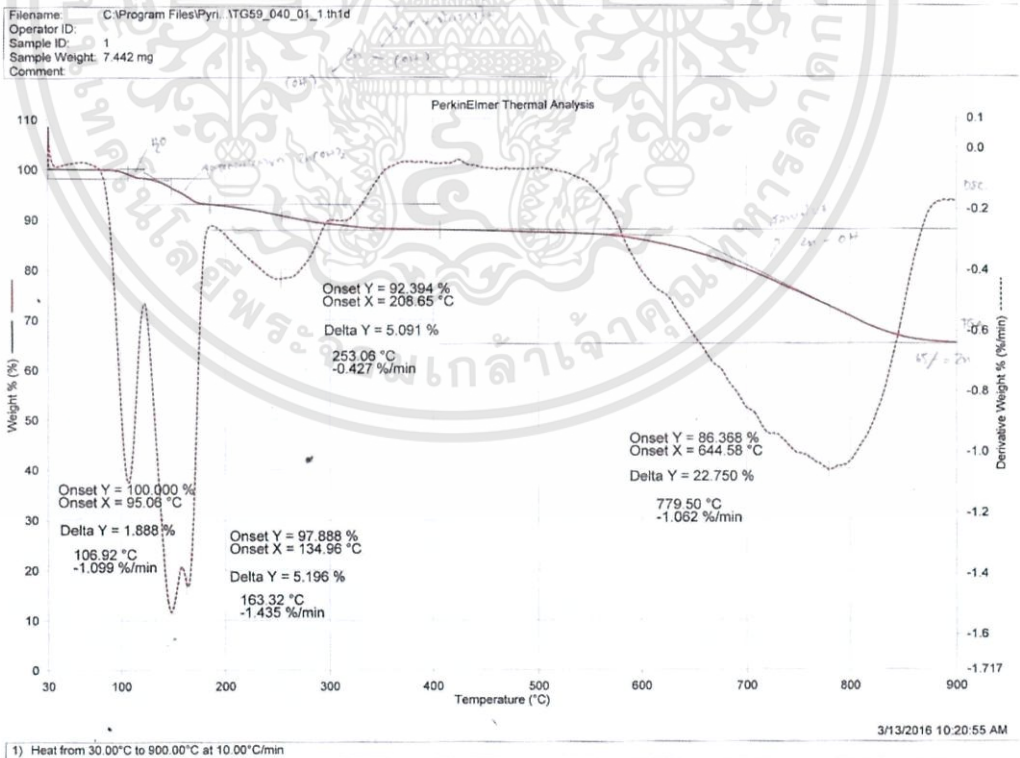


รูปแสดงการวิเคราะห์ FT-IR มาตรฐานของกรดโอเลอิก [53]



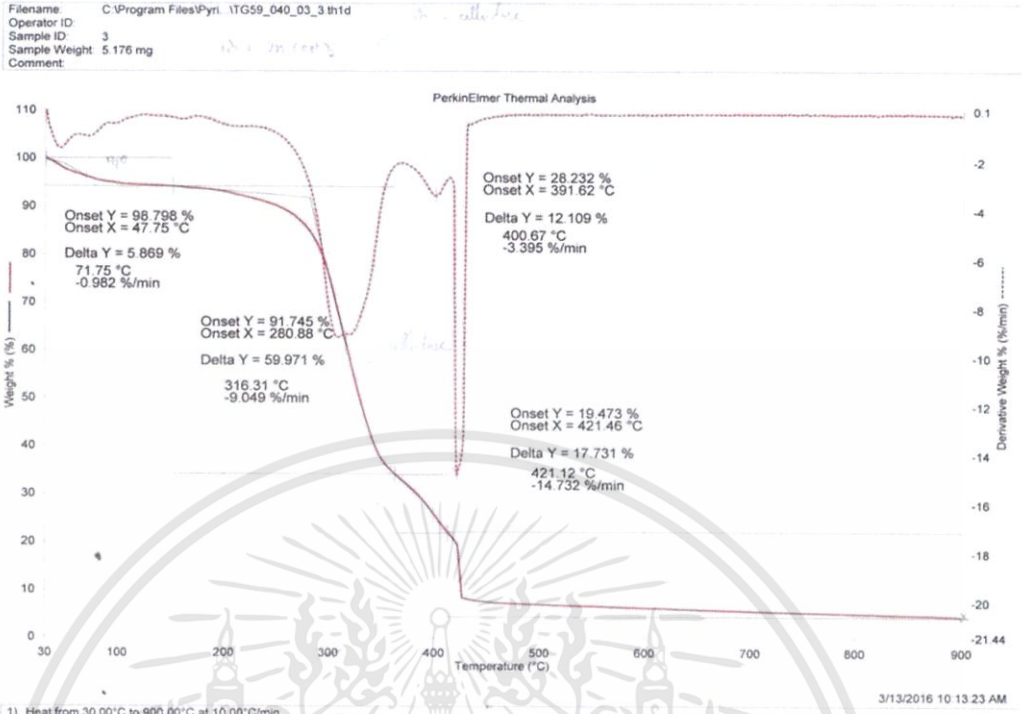
รูปแสดงการวิเคราะห์ FT-IR มาตรฐานของซิงค์เสดียงเรท [50]

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA

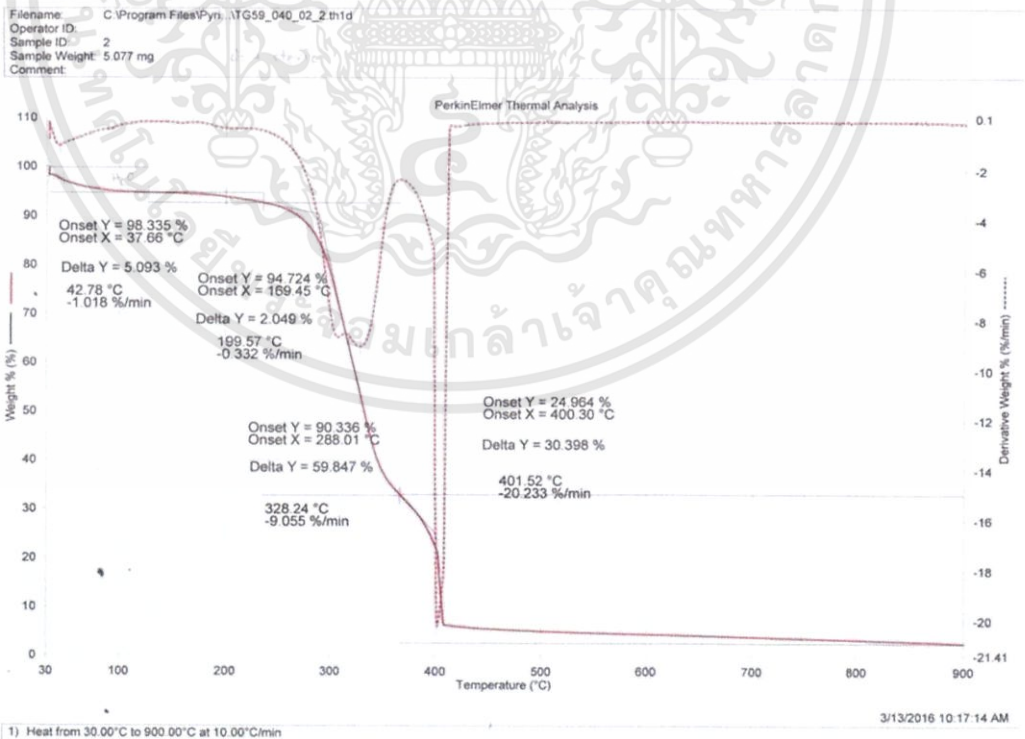


รูปภาพแสดงผล TGA ของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพแสดงผล TGA ของผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์



รูปภาพแสดงผล TGA ของผ้าตัวกรองที่เคลือบด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์และทำการปรับปรุงสมบัติ

ความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยกรดสเตียริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้