สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างมูลค่าเพิ่มของกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล : การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต

T107901

นางสาวนิตยาพร จันทร์เกลี้ยง
นางสาวนุจรี ร่องแก้ว
นายณฉัตร คงเจริญ

ปพ.
245 ฯ
2550
เลขหมู่
เลขทะเบียน 107901
วัน.เดือน.ปี - 8 มี.ย. 2553
b 12213159
i

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Value-added Utilization of Crude Glycerol from Biodiesel Production : Preparation of zinc glycerolate

Nittayaporn Chankleang

Nuchjaree Rongkaew

Nachat Khongcharoen

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for

The Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การสร้างมูลค่าเพิ่มของกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล : การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต
นักศึกษา	นางสาว นิตยาพร จันทร์เกลี้ยง
	นางสาว นุจรี ร่องแก้ว
	นาย ณฉัตร คงเจริญ
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	.....
กรรมการ	ดร. ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร	.....
กรรมการ	ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	.....

.....

(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การสร้างมูลค่าเพิ่มของกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล : การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต
นักศึกษา	นางสาว นิตยาพร จันทร์เกลี้ยง
	นางสาว นุจรี ร่องแก้ว
	นาย ณฉัตร คงเจริญ
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างมูลค่าเพิ่มของกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต ซึ่งซิงค์กลีเซอโรเลตจะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยา เครื่องสำอางและพอลิเมอร์ต่างๆ เป็นต้น โดยการเตรียม ซิงค์กลีเซอโรเลตนี้เตรียมตามวิธีของ Reginald M. Taylor (1989) ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตนั้น ตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราส่วนโมลของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์และความเร็วรอบในการปั่นกวน โดยมีตัวแปรควบคุมคืออุณหภูมิ 260องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตคือที่อัตราส่วนโมลกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์ เป็น 9:1 และที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที จะให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยสูงถึง 97.65เปอร์เซ็นต์ แต่กลีเซอรอลปรับพีเอชและกลีเซอรอลดิบไม่เกิดปฏิกิริยา ซิงค์กลีเซอโรเลตไม่ละลายในตัวทำละลายทุกชนิดยกเว้นกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1 โมลาร์และมีจุดหลอมเหลวมากกว่า 400 องศาเซลเซียโดยซิงค์กลีเซอโรเลตที่ได้จากการทดลองจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี(IR)เครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (XRD) เครื่องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) เพื่อทดสอบเอกลักษณ์ของซิงค์กลีเซอโรเลต นอกจากนี้ได้มีการทดสอบสมบัติของซิงค์กลีเซอโรเลต ซึ่งพบว่าซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1-10 ไมโครเมตรและซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากนาโนซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 100-300นาโนเมตร นอกจากนี้ซิงค์กลีเซอโรเลตสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิด*Micrococcu luteus*ที่ความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของซิงค์กลีเซอโรเลต 10^{-3} โมลต่อลิตรและยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcu saureus* และ *Sratia.Marcescens* ได้ดี แม้จะใช้ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลตต่ำถึง 10^{-7} โมลต่อลิตร

คำสำคัญ: ซิงค์กลีเซอโรเลต, ผลิตภัณฑ์ร่วมจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Value-added Utilization of Crude Glycerol from Biodiesel Production: Preparation of zinc glycerolate
Name	Nittayaporn Chankleang
	Nuchjaree Rongkaew
	Nachat Khongcharoen
Department	Chemistry
Program	Environmental Resources Chemistry
Academic Year	2007
Special Project Adviser	Asst. Prof. Krongkaw Tippayasak
Special Project co-adviser	Asst. Prof. Dr. Phachernchai Chaiyasit

ABSTRACT

The feasibility of value-added of crude glycerol from biodiesel production was the objective of this project. Glycerol was used as reactant for Zinc glycerolate production which applied as raw material in pharmaceutical, cosmetic and polymer product. Zinc glycerolate was synthesized according to a publication of Reginald M. Taylor (1989). Pure glycerol, crude glycerol and the acid adjusted crude glycerol were used as the started reactants with Zinc oxide and Nano zinc oxide. The molar ratio and stirred speed were determined during indirect heating through paraffin bath for one hour. The Zinc glycerolate products were characterized with respect to their : a) physical properties, melting point, solubility and volatile solid, b) biological property by micro bacterial test. The results showed that the optimum conditions were; molar ratio 9:1, stirred speed 1500 rpm and constant temperature at 260°C. The average yields were 97.65% from pure glycerol while the acid adjusted the crude glycerol had not reacted with zinc oxide. Zinc glycerolate insoluble in all solvents except 1 M sulphuric acid and its melting point more than 400°C. From the Infrared spectroscopy (IR) and X-ray Diffraction chromatogram (XRD) confirmed their spectroscopic properties of Zinc glycerolate. The particle sizes were 1-10 μm and 100-300 nm made from Zinc oxide and nano zinc oxide, respectively. *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus* and *Serratia Marcescens* were selected for microbial toxicity test. The 10^{-3} mol/L of Zinc glycerolate, disperse in Xanthan Gum, inhibited *Micrococcus luteus* growth while all

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

concentrations (10^{-3}, 10^{-5} and10^{-7} mol/L) showed their inhibited growth properties for *Staphylococcus aurous* and *Serratia Marcescens*.

Keyword: Zinc glycerolate, By-product from Biodiesel Production

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้ฉบับนี้ได้รับคำปรึกษา การแนะนำ การช่วยเหลือ และการจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทดลองและการแก้ไขจาก ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และ ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาเป็นอย่างดี ตลอดการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาเคมีทุกท่านและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาชีววิทยา ทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ในท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอดโครงงานพิเศษนี้ และสำหรับความงามอันดีที่เกิดจากโครงงานพิเศษนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทประสาทความรู้และได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นิตยาพร จันทร์เกลี้ยง
นุจรี ร่องแก้ว
ณฉัตร คงเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

สารบัญ ก

สารบัญตาราง ง

สารบัญรูป จ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กลีเซอรอล

2.1.1 สมบัติของกลีเซอรอล 4

2.1.2 การผลิตกลีเซอรอล 6

2.1.3 กลีเซอรอลดิบ 7

2.1.4 กลีเซอรอลบริสุทธิ์ 7

2.1.5 ประโยชน์ของอัลคิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล 8

2.2 ซิงค์ออกไซด์

2.2.1 สมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ 9

2.2.2 ประโยชน์ของซิงค์ออกไซด์ 11

- ด้านอุตสาหกรรม 11

- ด้านเกษตรกรรม 13

- ด้านเภสัชกรรม 14

- ด้านเครื่องสำอาง 14

- ด้านสิ่งแวดล้อม 14

2.2.3 ประวัติการใช้ซิงค์ออกไซด์ 15

2.2.4 ประวัติการค้นพบและการพัฒนาการใช้ซิงค์ออกไซด์ 15

2.2.5 การผลิตซิงค์ออกไซด์ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.3 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต 17

2.4 ประโยชน์ของซิงค์กลีเซอโรเลต 18

2.5 จุดหลอมเหลว 18

2.6 การละลาย 19

2.7 Xanthan Gum 19

2.8 ความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อซิงค์กลีเซอโรเลต 20

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 25

3.2 สารเคมี 25

3.3 แหล่งที่มาของกลีเซอรอลดิบ 26

3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ 26

3.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต (Zinc glycerolate) 26

3.5.1 ศึกษาอัตราส่วนโมล Glycerol : Zinc Oxide 26

3.5.2 ศึกษาความเร็วรอบ 27

3.6 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต

3.6.1 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์ 28

3.6.2 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต จาก กลีเซอรอลดิบไม่ปรับค่าพีเอช 28

3.6.3 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต จาก กลีเซอรอลดิบปรับค่าพีเอช 28

3.6.4 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต จาก นาโนซิงค์ออกไซด์ 29

3.7 การทดสอบสมบัติของซิงค์กลีเซอโรเลต

3.7.1 การหาจุดหลอมเหลวโดยเครื่อง Melting Point 29

3.7.2 การทดสอบการละลาย 29

3.7.3 การทดสอบของแข็งระเหยได้ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.7.4 การทดสอบการกระจายตัวของซิงค์กลีเซอโรเลต 30

3.7.5การทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อซิงค์กลีเซอโรเลต 30

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ 31

4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต 31

4.3 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต ตามวิธีของ Reginald M. Taylor 33

4.4 การทดสอบสมบัติของซิงค์กลีเซอโรเลต 34

- ทางกายภาพ 34
- ทางเคมี 38
- ทางชีวภาพ 43

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 44

5.2 ข้อเสนอแนะ 45

เอกสารอ้างอิง 46

ภาคผนวก ก. 48

ภาคผนวก ข. 51

ภาคผนวก ค. 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

เรื่อง **หน้า**

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอกับอุณหภูมิของกลีเซอรอล 4
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล 5
ตารางที่ 2.3 การนำกลีเซอรอลไปใช้ในอุสาหกรรมต่าง ๆ ทั่วโลก 9
ตารางที่ 4.1 การหาจุดหลอมเหลวของซิงค์กลีเซอโรเลต 35
ตารางที่ 4.2 การทดสอบการละลายของซิงค์กลีเซอโรเลต 35
ตารางที่ 4.3 การทดสอบการกระจายตัวของซิงค์กลีเซอโรเลต 37
ตารางที่ 4.4 การทดสอบของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัว 37
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี 39
ตาราง ก.1 ข้อมูลการนำเข้า-ส่งออกกลีเซอรีนของประเทศไทย 48
ตาราง ก.2 ราคาขายกลีเซอรีน 49
ตาราง ก.3 มูลค่าการผลิตและการนำสั่งยาเข้ามาราชอาณาจักร 50
ตาราง ข.1 แสดงช่วงต่าง ๆ ของอินฟราเรดสเปกตรัม 55
ตาราง ค.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนโมลกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์ 61
ตาราง ค.2 การศึกษาความเร็วรอบในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต 62
ตาราง ค.3 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตโดยใช้ซิงค์ออกไซด์ 63
ตาราง ค.4 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตโดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ 64
ตาราง ค.5 การหาจุดหลอมเหลวของซิงค์กลีเซอโรเลตด้วยเครื่อง Melting point 65
ตาราง ค.6 การทดสอบการละลายของซิงค์กลีเซอโรเลต 66
ตาราง ค.7 การทดสอบการกระจายตัวของซิงค์กลีเซอโรเลต 69
ตาราง ค.8 การทดสอบของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัว 70
ตาราง ค.9 การทดสอบความไวต่อเชื้อแบคทีเรียของซิงค์กลีเซอโรเลต 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของกลีเซอรอล 3
รูปที่ 2.2 สมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 7
รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของซิงค์กลีเซอโรเลต 17
รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ Xanthan gum 20
รูปที่ 2.5 *Serratia Marcescens* 21
รูปที่ 2.6 *Micrococcus luteus* 21
รูปที่ 2.7 *Staphylococcus aureus* 22
รูปที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนโมลต่อการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต 31
รูปที่ 4.2 ผลของความเร็วรอบในการปั่นกวนต่อการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต 32
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้จากซิงค์ออกไซด์กับนาโนซิงค์ออกไซด์ 34
รูปที่ 4.4 สูตรโครงสร้างของซิงค์กลีเซอโรเลต 38
รูปที่ 4.5 สเปกตรัม IR ของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับซิงค์ออกไซด์ 38
รูปที่ 4.6 สเปกตรัม XRD ของซิงค์กลีเซอโรเลต 40
รูปที่ 4.7 สเปกตรัม XRD ของซิงค์กลีเซอโรเลต 41
รูปที่ 4.8 อนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากซิงค์ออกไซด์ 41
รูปที่ 4.9 อนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตจากงานวิจัยของ Reginald M. Taylor 42
รูปที่ 4.10 ขนาดอนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากนาโนซิงค์ออกไซด์ 42
รูปที่ 4.11 ผลการยับยั้งการเจริญเติบโตเชื้อแบคทีเรียของซิงค์กลีเซอโรเลต 43
รูป ก.2 มูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์ยาของประเทศไทย 49
รูป ข.1 องค์ประกอบของ Combination electrode 52
รูป ข.2 แผนภาพแสดงการทำงาน ของ XRD 53
รูป ข.3 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโตโฟโตมิเตอร์ 57
รูป ค.1 สเปกตรัม IR การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตโดยใช้กลีเซอรอลต่อซิงค์ออกไซด์ 71
รูป ค.2 สเปกตรัม IR การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตโดยใช้กลีเซอรอลต่อนาโนซิงค์ออกไซด์ 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

นับจากบ่อน้ำมันแห่งแรกของโลกถูกขุดเจาะที่มลรัฐเพนซิลเวเนียสหรัฐอเมริกา เมื่อพ.ศ. 2404 น้ำมันก็ถูกใช้อย่างแพร่หลายไปทั่วโลก และปริมาณความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งใน ปี พ.ศ. 2473 น้ำมันถูกขุดเจาะขึ้นมาใช้ 17,000 ล้านบาร์เรล และเพิ่มขึ้นเป็น 807,000 ล้านบาร์เรลในปี พ.ศ. 2540 (นิตยสารสารคดี Feature Magazine., 2545) และสำนักงานพลังงานสากล หรือ IEA (International Energy Agency) ได้คาดหมายไว้ว่าอุปสงค์ของน้ำมันโลกจะเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ระดับ 90 ล้านบาร์เรลต่อวันในปี 2553 และเพิ่มขึ้นถึง 120.9 ล้านบาร์เรลต่อวัน ในปีพ.ศ. 2568 และหากอัตราการใช้น้ำมันของโลกไม่เปลี่ยนแปลงด้วยปริมาณสำรองที่เหลืออยู่ คาดว่าในอีก 40 ปีข้างหน้าน้ำมันจะหมดไปจากโลกซึ่งจากราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกปัจจุบันนี้มีแนวโน้มอยู่ในระดับสูงเกินกว่า 50 ดอลลาร์สหรัฐต่อบาร์เรลและไม่มีแนวโน้มที่จะลดราคาลง ด้วยเหตุผลนี้จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาแหล่งพลังงานอื่นๆ โดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) เพื่อมาใช้ทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม เช่น แก๊สโซฮอล์ ไบโอดีเซล เป็นต้นโดยหนึ่งในพลังงานทดแทนที่ประเทศไทยนำมาใช้แทนน้ำมันดิบปิโตรเลียมคือ ไบโอดีเซล ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชมหาราช ทรงได้คิดค้นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและได้มีการส่งเสริมให้ประชาชนทำการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้แทนน้ำมันปิโตรเลียมตลอดมา นอกจากนี้ทางกระทรวงพลังงานได้กำหนดเป้าหมายส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลเป็น 8.5ล้านลิตรต่อวันในปีพ.ศ.2555 ด้วยเหตุนี้จึงมีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลอย่างแพร่หลายในประเทศไทยซึ่งส่วนใหญ่แล้วการผลิตไบโอดีเซลจะเป็นการผลิตจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้ว โดยนำไปผ่านกระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) จะได้ไบโอดีเซลและกลีเซอรอลออกมาซึ่งในการผลิตไบโอดีเซลแต่ละครั้งจะเกิดกลีเซอรอลขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล (S.Angela and S.Karl Heinz., 2005) ซึ่งถือได้ว่ามีกลีเซอรอลเกิดขึ้นในปริมาณที่ค่อนข้างสูงมาก และเมื่อเทียบจากข้อมูลที่รวบรวมได้ตั้งแต่ปี 2545 เป็นต้นมา มูลค่าการส่งออกกลีเซอรอลของประเทศไทยสูงกว่ามูลค่าการนำเข้ามาทำให้ประเทศไทยสามารถผลิตกลีเซอรอลได้มากกว่าปริมาณความต้องการใช้ในประเทศดังนั้นแนวโน้มของราคาขายกลีเซอรอลในประเทศไทยจะลดต่ำลงเนื่องจากกลีเซอรอลถือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กรมศุลกากร)สำหรับการนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้นไปใช้ประโยชน์ต่อในอุตสาหกรรมอื่นๆ จะมีน้อยมาก เนื่องจากต้องมีการลงทุนที่ค่อนข้างสูงในการที่จะทำให้บริสุทธิ์ก่อนที่จะนำไปในอุตสาหกรรมอื่น ๆ จึงไม่นิยมนำกลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาใช้ประโยชน์ต่อ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นผลทำให้กลีเซอรอลที่เกิดขึ้นในแต่ละปีเกิดเป็นของเสียที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆตามมา เช่น การนำกลีเซอรอลไปเผาทิ้งจะเกิดเป็นอะโครลีน (Acrolein) ซึ่งเป็นสารประกอบที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์และสัตว์ (Hazimah, A.H. et.al., 2003) เป็นต้นดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจนำกลีเซอรอลดิบมาเพิ่มมูลค่าโดยนำมาทำปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์เป็นซิงค์กลีเซอโรเลต (Zinc glycerolate) ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยา (Reginald M.Taylor., 1970) เครื่องสำอาง ต่าง ๆ เช่น โลชั่นกันแดด ครีมบำรุงผิว เป็นต้น และเนื่องจากซิงค์กลีเซอโรเลตมีความลื่นสูง เมื่อนำไปเป็นสารเติมแต่งในการผลิตพอลิเมอร์จะช่วยให้พอลิเมอร์มีความใสมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำซิงค์กลีเซอโรเลต มาใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก ยาง และ เรซินต่าง ๆ ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย

เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับกลีเซอรอลดิบ ซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยนำมาเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตและเปรียบเทียบผลที่ได้กับการใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์

1.3 ขอบเขตของโครงงานวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต ระดับปฏิบัติการ จน(Lab scale) โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ เกรดของสารเคมี อัตราส่วนโมล และความเร็วรอบในการปั่นกวน
2. เปรียบเทียบวิธีการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตจากกลีเซอรอลดิบและกลีเซอรอลบริสุทธิ์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

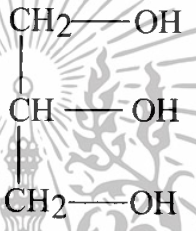
1. สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลและถือเป็นการลดต้นทุนของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอีกทางหนึ่งด้วย
2. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตที่ได้จากกลีเซอรอลดิบและกลีเซอรอลบริสุทธิ์
3. ทราบสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กลีเซอรอล (Othmer, 1997 และ Barbara, 1994)

กลีเซอรอล (Glycerol) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กลีเซอรีน (Glycerin) หมายถึงสารจำพวกพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydricalcohol) มีสูตรทางเคมี $HOCH_2CHOHCH_2OH$ ชื่อทางเคมีว่า 1,2,3 –โพรเพนไตรออล (1,2,3-propanetriol)



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของกลีเซอรอล

กลีเซอรอลบริสุทธิ์ หมายถึง กลีเซอรอลที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์มีลักษณะเหมาะสำหรับเพื่อใช้งานกรรมวิธีในการผลิตโดยนำกลีเซอรอลดิบมาต้มและกลั่นในหม้อต้มกลั่นโดยจะทำการควบคุมอุณหภูมิและความดันในช่วงที่เหมาะสม หลังจากนั้นนำมาฟอกสีและดูดกลิ่น และกรองก่อนนำไปใช้ กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมยา อาหาร บุหรี่ วัตถุระเบิด เป็นต้น ดังนั้นความปลอดภัยของผู้บริโภค และการส่งเสริมการผลิตกลีเซอรอลบริสุทธิ์เพื่อให้ได้คุณภาพที่มีความเหมาะสมในการใช้แต่ละอุตสาหกรรม มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลีเซอรอลบริสุทธิ์และประกาศใช้ครั้งแรกในราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ เมื่อวันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2523 เป็นมอก.337-2523 และได้ยกเลิกมาตรฐานเดิมและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลีเซอรอลบริสุทธิ์ขึ้นใหม่โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2538 เป็น มอก.337-2538 และเมื่อวันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2538 ทางกระทรวงอุตสาหกรรมได้เปลี่ยนหมายเลขมอก.337-2538 เป็น มอก.337-2545 ซึ่งแบ่งกลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็น 4 ชั้นคุณภาพ คือ ชั้นคุณภาพเคมี (chemical grade) ชั้นคุณภาพไดนาไมต์ (dynamite grade) ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม (technical grade) ชั้นคุณภาพยา (pharmaceutical grade) กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการคือ ลักษณะทั่วไปเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวข้นไม่มีสิ่งแปลกปลอมที่สามารถมองเห็นได้ จึงกำหนดคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี คือ กลิ่น กลีเซอรอลมีความหนาแน่นสัมพัทธ์ ความเป็นกรดหรือด่าง เถ้าซัลเฟต สารหนู ตะกั่ว โลหะหนักทั้งหมด (เทียบเป็นตะกั่ว) คลอไรด์ ขีดจำกัดปริมาณคลอไรด์ คลอไรด์อินทรีย์ สารรีดิวซ์ สารประกอบคลอรีน (คำนวณเป็นคลอไรด์) เหล็ก ซัลเฟต น้ำตาล สปอนนิฟิเคชันอิควิเวเลนซ์ กรดไขมันและเอสเตอร์ (กิตติยา อัลภาชน์, 2545)

2.1.1 สมบัติของกลีเซอรอล (Othmer, 1997 และ Barbara , 1994)

ก. สมบัติทางกายภาพ

กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ มีโครงสร้างคล้ายน้ำตาล จึงทำให้กลีเซอรอลมีรสหวานโมเลกุลของกลีเซอรอลมีพันธะไฮโดรเจนจึงทำให้กลีเซอรอลเป็นของเหลวหนืด กลีเซอรอลมีจุดเดือด 290 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ 101.3 Kpa จุดเดือดจะลดลงตามความดันที่ลดลงดังแสดงในตารางที่ 2.1 และมีสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ที่สำคัญดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอกับอุณหภูมิของกลีเซอรอล (Barbara ,1994)

อุณหภูมิ (°C)	ความดันไอ (kPa)
290	101.3
266	53.3
222	13.3
204	6.67
175	2.00
152	0.67
130	0.18
100	0.03
20	< 0.0001

กลีเซอรอลไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในเมทานอล เอทานอล และไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล และเพนทานอล รวมทั้งฟีนอล ไกลคอล โพรเพนไดออลเอมีน และสารประกอบที่เป็นเฮทเทอโรไซเคิลซึ่งประกอบด้วยอะตอมของไนโตรเจนในวงแหวน (เช่นไพริดีน ควิโนลีน) กลีเซอรอลไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอนเกือบทั้งหมด แอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาวของ น้ำมันพืชและสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และตัวทำละลายจำพวกเฮโลเจน เช่น คลอโรฟอร์มจึงทำให้เห็นว่ากลีเซอรอลจึงเป็นตัวทำละลายที่มีระโยชน์ต่อสารหลายชนิด ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล (Barbara , 1994)

สมบัติทางกายภาพ	ค่าประมาณ
น้ำหนักโมเลกุล	92.09
จุดหลอมเหลว, °C	18.17
จุดเดือด, °C	
- ที่ความดัน 13.33 kPa	222.4
- ที่ความดัน 101.3 kPa	290.0
ความหนาแน่น (20 °C), g/cm^3	1.261
ความถ่วงจำเพาะ, 25/25 °C	
- ในสุญญากาศ	1.2617
- 100 เปอร์เซ็นต์ กลีเซอรอลในอากาศ	1.2620
- 95 เปอร์เซ็นต์ กลีเซอรอลในอากาศ	1.2491
สัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารระหว่างนอร์มอลออกทานอลและน้ำ, log Kow	-1.76
ค่าการละลายน้ำ	ละลาย
ความดันไอ, Pa	
- ที่อุณหภูมิ 100 °C	26
- ที่อุณหภูมิ 200 °C	6100
ความตึงผิว ที่อุณหภูมิ 20 °C, mN/m (= dyn/cm)	63.4
ความหนืด ที่อุณหภูมิ 20 °C, mPa*s (= cP)	1499
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, J/mol	
- ที่อุณหภูมิ 55 °C	88.12
- ที่อุณหภูมิ 195 °C	76.02
ค่าการนำความร้อน , W (= m*K)	0.28
จุดวาบไฟ , °C	
- แบบ Cleveland Open Cup	177
- แบบ Pensky – Martens Close Cup	199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.2 กลีเซอรอลเป็นของเหลวใส มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารระหว่างนอร์มอลออกทานอลและน้ำ (n-octanol–water partition coefficient)ในรูปของ log Kow เท่ากับ -1.76 และไม่ละลายในน้ำ กลีเซอรอลจะแยกชั้นกับน้ำได้อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์จะต้องมีการปรับพีเอชของกลีเซอรอลเป็นกรด เพื่อให้เกิดเกลือของโพแทสเซียม

การทดสอบจุดวาบไฟของกลีเซอรอลสามารถทดสอบได้ 2 วิธี คือ Open Cup (OC) และ Closed Cup (CC) ซึ่งวิธี Closed Cup เป็นค่าตัวเลขสำหรับใช้อ้างอิงการเกิดจุดวาบไฟในถังปิดบริเวณที่อับอากาศ แต่ถ้าเป็นการทดสอบแบบ Open Cup จะใช้เป็นค่าตัวเลขในการอ้างอิงกับสถานการณ์สารเคมีหกรั่วไหล หรือภาชนะบรรจุที่เปิดฝาไว้ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบจุดวาบไฟจะแตกต่างกันตามแต่ละวิธี

ข. สมบัติทางเคมี

กลีเซอรอลเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ทั่ว ๆ ไปโดยที่หมู่ไฮดรอกซีด้านนอกซึ่งมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหมู่ไฮดรอกซีตรงกลาง ในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่างกลีเซอรอลสามารถทนความร้อนได้ 275 $^{\circ}$C โดยไม่เกิดเป็นอะโครลีน ในทางตรงกันข้ามในสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อยจะพบว่าที่อุณหภูมิ 160°C จะมีกลิ่นของอะโครลีน (อยู่ในช่วง0.2 – 0.4 ppm) ที่อุณหภูมิ 200 $^{\circ}$C อะโครลีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการทำปฏิกิริยาของ กลีเซอรอลควรทำในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง และที่อุณหภูมิห้องกลีเซอรอลจะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ กลีเซอรอลยังถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย โดยอะตอมคาร์บอนด้านนอกจะถูกออกซิไดซ์เป็นหมู่คาร์บอกซิล และอะตอมคาร์บอนตรงกลางจะเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล

2.1.2 การผลิตกลีเซอรอล (Othmer, 1997 และ Barbara , 1994)

การผลิตกลีเซอรอลแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กลีเซอรอลธรรมชาติ และกลีเซอรอลสังเคราะห์ กลีเซอรอลธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจากกระบวนการเปลี่ยนไขมันและน้ำมันให้เป็นกรดไขมันและกรดไขมันของเมทิลเอสเทอร์ ขณะที่กลีเซอรอลสังเคราะห์จะได้จากการสังเคราะห์โพรพีนและมีขบวนการอื่น ๆ อีก เช่น การหมักน้ำตาล และปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น

ก. การผลิตกลีเซอรอลจากไขมัน และน้ำมัน

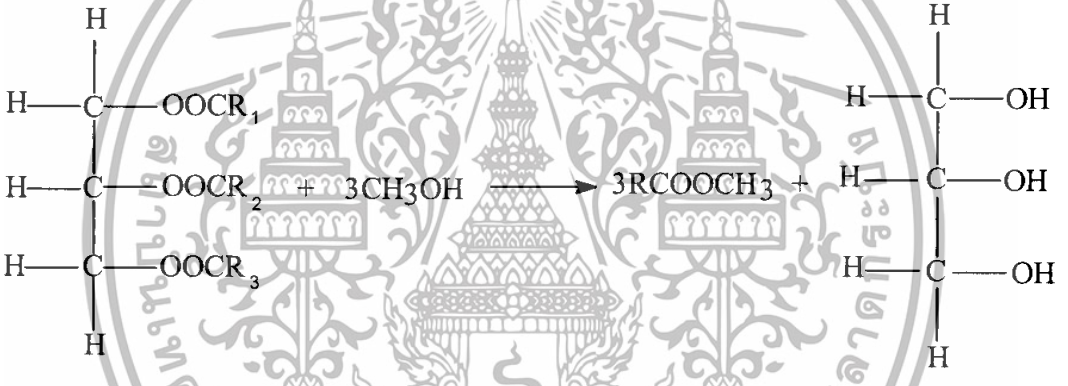
กลีเซอรอลธรรมชาติไม่พบในรูปแบบอิสระในไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชและสัตว์จะอยู่ในรูปของเอสเทอร์และกรดไขมัน โดยหมู่ไฮดรอกซีทั้ง 3 หมู่จะเกิดปฏิกิริยาเป็น เอสเทอร์ ปริมาณกลีเซอรอลซึ่งอยู่ในไขมันและน้ำมันจะอยู่ระหว่าง 8–14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขึ้นอยู่กับชนิดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมัน การจะได้กลีเซอรอลต้องทำการแตกตัวไขมันและน้ำมัน (Fat splitting) ซึ่งเป็นแหล่งกลีเซอรอลจากธรรมชาติหลัก ๆ และสามารถแตกตัวได้ที่ความดันสูง การทำสบู่จากน้ำมัน และการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

ข. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterificaion) (ศิริวรรณ, 2547)

การนำน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่าไบโอดีเซล (Biodiesel) และกลีเซอรอล โดยแอลกอฮอล์ที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ เมทานอล หรือเอทานอล ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้นั้นอาจเป็นเมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ตามรูปที่ 2.2 โดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันหรือไขมันกับเมทานอลได้เป็นเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลดิบ (Crude glycerol) ซึ่งกลีเซอรอลดิบที่ได้จะมีความเข้มข้นประมาณ 90–92 เปอร์เซ็นต์



หมายเหตุ : R คือ กรดไขมัน

รูปที่ 2.2 สมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

2.1.3 กลีเซอรอลดิบ

หมายถึง กลีเซอรอลที่ยังไม่ได้ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ แบ่งเป็น

ก. กลีเซอรอลดิบจากการแยกสลายไขมัน (Hydrolyser Crude Glycerol)

หมายถึง กลีเซอรอลดิบที่ได้จากการสวีทวอเทอร์ ซึ่งได้จากการแยกสลายไขมันด้วยน้ำ (Hydrolysis) ที่ความดันสูง หรือเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา

ข. กลีเซอรอลดิบจากอุตสาหกรรมสบู่ (Soap Lye Crude Glycerol)

หมายถึง กลีเซอรอลดิบที่ได้จากการสลายตัวของกลีเซอรอลจากอุตสาหกรรมทำสบู่ และผ่านกรรมวิธีกำจัดไขมัน และสบู่ออกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 กลีเซอรอลบริสุทธิ์

หมายถึง กลีเซอรอลที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จนมีคุณลักษณะให้เหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท เช่น ยา อาหาร บุหรี่ วัตถุระเบิด เป็นต้น แบ่งออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพคือ

1. ชั้นคุณภาพเคมี (Chemical Grade)
2. ชั้นคุณภาพไดนาไมต์ (Dynamite Grade)
3. ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม (Technical Grade)
4. ชั้นคุณภาพยา (Pharmaceutical Grade)

2.1.5 ประโยชน์ของอัลคิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล (Hui , 1996 Othmer, 1997 Barbara, 1994 และ พิมพร, 2536)

ก. อัลคิลเอสเทอร์ นำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมดังนี้ อุตสาหกรรมสารหล่อลื่น อุตสาหกรรมสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร อุตสาหกรรมสารซักฟอก อุตสาหกรรมอิมัลซิฟายเออร์ อุตสาหกรรมสารป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมเวชภัณฑ์และอุตสาหกรรมที่ใช้สารมัธยันต์อื่น ๆ ที่ได้จากเมทิลเอสเทอร์นำไปใช้ทำสบู่ ยาสระผม ยาฆ่าเชื้อโรค และสารป้องกันการเกิดฟอง เป็นต้น

ข. กลีเซอรอล

กลีเซอรอลมีการนำมาใช้ประโยชน์ ดังนี้

1. ด้านอาหารเนื่องจากกลีเซอรอลไม่มีพิษจึงสามารถใช้แทนคาร์โบไฮเดรตได้ เป็นส่วนประกอบของน้ำเชื่อม (Syrup) ในลูกอมและไอซิ่ง (Icing) ใช้ในการแช่แข็งอาหาร และ เป็นสารหล่อลื่นเครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหาร และการบรรจุหีบห่อ เป็นต้น
2. ด้านยาและเครื่องสำอาง เป็นส่วนผสมของยาหลายชนิดสารละลายกลีเซอรอลฟีนอล (Glycerol – phenol) ใช้ในการล้างหู ในเครื่องสำอางที่ผสมในครีมและโลชัน ทำให้ผิวนุ่มและชุ่มชื้น ทำยาสีฟันให้มีความหนืดและมันวาว
3. บุหรี่ เป็นส่วนสำคัญในการขึ้นรูปบุหรี่ก่อนบรรจุ ทำให้บุหรี่ติดไฟช้า
4. วัสดุหีบห่อ ห่อเนื้อและทำกระดาษชนิดพิเศษ
5. สารหล่อลื่นใช้เป็นสารหล่อลื่นเมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นไม่ได้เนื่องจากมีความหนืดสูงและไม่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำ นิยมใช้ในงานอัดออกซิเจนเพราะ ทนปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่ามิเนอรอลออยล์ (Mineral oil) ใช้หล่อลื่นปั๊มและลูกปืนที่ต้องใช้กับแก๊สโซลีนและเบนซีน ซึ่งละลายน้ำมัน ใช้หล่อลื่นแทนน้ำมันในงานที่ต้องสัมผัสกับอาหาร ยา หรือ เครื่องสำอาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Urethane Polymer ใช้กลีเซอรอลเป็น block ในโพลิอีเทอร์ในการผลิตโพลิเมอร์ยูริเทน (Urethane Polymer)

7. งานอื่นๆ เช่น สารประกอบซีเมน สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ยางราดถนน (Asphalt) เซรามิก และกาว เป็นต้น

การนำกลีเซอรอลไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั่วโลก แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การนำกลีเซอรอลไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั่วโลก (Hui, 1996)

การนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
เครื่องสำอางหรืออาหารเสริม (Cosmetics / pharmaceuticals)	26
เอสเทอร์ (Esters)	17
เรซิน (Resins)	12
สารให้ความหวาน (Polyols)	12
อาหารหรือเครื่องดื่ม (Food / beverages)	10
เซลลูโลส (Cellulose)	5
กระบวนการไนเตรชัน (Nitration)	4
ยาสูบ (Tobacco product)	4
อุตสาหกรรมเคมีอื่น ๆ	10

2.2 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

2.2.1 สมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์หรือสังกะสีออกไซด์ (ZnO) เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวปุย น้ำหนักโมเลกุล 81.38 จุดหลอมเหลว 1975 ± 25 °C ความถ่วงจำเพาะ 5.43-5.70 ละลายน้ำได้น้อยมากมีความเป็นด่างเล็กน้อย เมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิถึง 500 ° C สีจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและจะกลับเป็นสีเดิมอีกเมื่อเย็นลง สังกะสีออกไซด์มีสมบัติที่ดีหลายประการคือ มีขนาดอนุภาคที่เล็กมากประมาณ 0.1-0.3 ไมครอน อนุภาคเรียงตัวหนาแน่นจึงทึบแสง สามารถป้องกันแสงอัลตราไวโอเลต (UV) ได้ มีความจุความร้อนสูง จุดหลอมเหลวสูง สัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ การนำความร้อนสูง สามารถกระทำให้มีความต้านทานต่อไฟฟ้าได้จากสมบัติข้อนี้จึงได้มีการนำเอาสังกะสีออกไซด์มาผลิตเป็นสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้ยังเป็นสาร Amphoteric คือ สามารถละลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งในกรดและด่าง ทำปฏิกิริยาได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ดังนั้นสังกะสีออกไซด์จึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวควบคุมความเป็นกรดและด่าง (pH regulator)

การพัฒนาขบวนการผลิตทำให้สามารถผลิตซิงค์ออกไซด์ที่มีหลายขนาดหลายรูปร่าง และมีการเคลือบผิว (Surface treatment และ fatty acid เช่น stearic acid) เพื่อเพิ่มสมบัติในการกระจายให้ดีขึ้นสังกะสีออกไซด์แบ่งการผลิต 3 วิธี คือ

1. American Process (direct type) ผลิตจากแร่สังกะสี (Zinc ore) โดยการรีดิวซ์และรีออกซิเดชันด้วยถ่านโค้ก ปฏิกิริยาเคมีมีดังนี้

$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO \qquad (2.1)$$

$$ZnO + CO \longrightarrow Zn\ (vapour) + CO_2 \quad (1{,}000\text{-}1{,}200^{o}C) \qquad (2.2)$$

$$CO_2 + C \longrightarrow 2CO \quad (1{,}100\text{-}1{,}200^{o}C) \qquad (2.3)$$

$$2Zn\ (vapour) + O_2 \longrightarrow 2ZnO \qquad (2.4)$$

2. French Process (indirect type) ผลิตจากโลหะสังกะสี (metallic zinc) มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.9 ดังนั้นซิงค์ออกไซด์ที่ผลิตได้จากขบวนการนี้จึงมีความบริสุทธิ์สูงปฏิกิริยาเกิด ดังนี้

$$Zn\ (metallic) \longrightarrow Zn\ (vapour) \quad (1{,}300\text{-}1{,}400^{o}C) \qquad (2.5)$$

$$2Zn\ (vapour) + O_2 \longrightarrow 2ZnO \qquad (2.6)$$

3. Secondary Zinc Oxide Type

- ผลิตจากปฏิกิริยาเคมี

ซิงค์ออกไซด์อาจเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตสารเคมีตัวอื่น ๆ ดังนั้นสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์จึงแตกต่างกันไปบ้างตามแหล่งของวัตถุดิบและชนิดของปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลิตจากการถลุงเศษโลหะสังกะสีซึ่งไม่ค่อยบริสุทธิ์

ความบริสุทธิ์ของซิงค์ออกไซด์ที่ได้จึงขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของวัตถุดิบที่ใช้ประเภทและเกรดของซิงค์ออกไซด์ แบ่งตามขบวนการผลิตและขนาดอนุภาคได้ 3 ประเภทซิงค์ออกไซด์ที่ผลิตได้จาก French Process ยังแบ่งตามความขาวสว่างและความหนาแน่นเรียกว่า ซีล (seal)ได้ 3 เกรด คือ 1. White Seal สังกะสีออกไซด์เกรดนี้จะมีความขาวสว่างมากที่สุด ความหนาแน่นต่ำสุด

2. Green Seal สังกะสีออกไซด์เกรดนี้จะมีความขาวสว่าง ความหนาแน่นปานกลาง

3. Red Seal สังกะสีออกไซด์เกรดนี้จะมีความขาวสว่างน้อยที่สุด ความหนาแน่นสูงสุด

2.2.2 ประโยชน์ของซิงค์ออกไซด์

2.2.2.1 ด้านอุตสาหกรรม

ก. ยาง

การผลิตยางจะต้องนำเอายางมาทำปฏิกิริยากับกำมะถัน (vulcanization) เพื่อให้ยางแข็งและเหนียวขึ้น มีความทนทานมากยิ่งขึ้น ปฏิกิริยาเกิดขึ้นยากหรือเกิดไม่สมบรูณ์ถ้าหากไม่มีตัวเร่ง ปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งที่ดีของปฏิกิริยานี้ โดยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน Zn-accelerator complex เร่งให้เกิด sulfur crosslinks ในโมเลกุลยางเร็วขึ้นจนปฏิกิริยาเกิดสมบรูณ์ ใช้เป็นตัวเติม (filler) อีก เพื่อปรับปรุงการนำความร้อนและการทนทานต่อแสงแดดได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านขบวนการวัลคาไนซ์ (vulcanize) เมื่อทิ้งไว้นาน จะมีการสลายตัวปล่อยกรดออกมา เรียกว่า aging ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ซิงค์ออกไซด์สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น โดยการทำปฏิกิริยากับกรดที่ปล่อยออกมา

อุตสาหกรรมยางเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ซิงค์ออกไซด์มากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 50 ของซิงค์ออกไซด์ทั้งหมด ปริมาณที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 3-5 ส่วนต่อยางร้อยส่วน ในอนาคตคาดว่าจะมีการใช้งานมากขึ้นตามปริมาณการผลิตรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นทุกปี

ข. สี

อุตสาหกรรมสีจะใช้มากปริมาณซิงค์ออกไซด์รองลงมาจากอุตสาหกรรมยาง โดยทำหน้าที่เป็นรงควัตถุสีขาว (White pigment) ปรับปรุงลักษณะการไหลให้ดีขึ้น คือ ลื่นและเรียบ ไวต่อแสง ยืดอายุการเคลือบให้นานขึ้น โดยป้องกันแสง UV และทำปฏิกิริยากับกรดที่เกิดจากการสลายตัวของวัตถุประสาน (binder) ให้เป็นกลาง ซิงค์ออกไซด์ชนิดที่มีตะกั่วปนอยู่ด้วย จะทำให้สีทนต่อลมฟ้า อากาศได้ดี แต่ไม่ไวต่อแสงและสีจะเปลี่ยนเป็นสีเทาเร็ว นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์สามารถฆ่าเชื้อราได้อีกด้วย

อุตสาหกรรมสีแบ่งออกเป็นสีเคลือบภายนอก สีรองพื้นโลหะ สีเคลือบภายใน ล้วนแต่ใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนผสมทั้งสิ้น ปริมาณที่ใช้อาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการให้ทำหน้าที่อะไร ตัวอย่างเช่น ใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบโลหะเพื่อป้องกันการกัดกร่อนและเพิ่มความเสถียร ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณที่ใช้ประมาณร้อยละ 0.5 ถึง 4.0 โดยน้ำหนัก (U.S.RE. 34707 Reissue of 4,931,074 (August 30, 1994)) ผสมในสีเคลือบโลหะที่มีการดูดกลืนรังสีต่ำและแผ่รังสีออกมาสูง ปริมาณที่ใช้ประมาณร้อยละ 50 ถึง 90 โดยน้ำหนัก (U.S. 5,296,285 (March 22, 1994))

ค. เซรามิก

จัดเป็นตลาดที่สำคัญของสังกะสีออกไซด์ โดยอยู่อันดับ 3 รองจากอุตสาหกรรมยางและอุตสาหกรรมสี ผลิตภัณฑ์เซรามิก ต่าง ๆ ได้แก่

สารเคลือบ สารเคลือบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องดินเผานั้นมักจะมีซิงค์ออกไซด์ผสมอยู่ด้วย ซิงค์ออกไซด์ช่วยเพิ่มการหลอมละลาย (fluxing agent) ลดการขยายตัว เพิ่มความเป็นมันเงา ความขาว ความยืดหยุ่น ช่วยให้สีสุกใสยิ่งขึ้น ป้องกันการเกิดรอยย่นหยักเป็นชั้น ๆ ซิงค์ออกไซด์จะเกิดเป็นซิงค์ซิลิเกตในเคลือบผลึก ทำให้เกิดลวดลายผลึกขณะเย็นตัวลง ผลิตภัณฑ์เครื่องดินเผาชนิดนี้จะมีลวดลายสวยงาม แปลกตา ราคาแพง ได้แก่ แจกัน เครื่องประดับต่าง ๆ เป็นต้น

โลหะเคลือบ ซิงค์ออกไซด์ในผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทโลหะเคลือบ ทำหน้าที่เหมือนกับในสารเคลือบโลหะที่ใช้จะเป็นพวกเหล็กและอะลูมิเนียม ตัวอย่างเช่น เครื่องสุขภัณฑ์ อ่างอาบน้ำ เครื่องซักผ้า ตู้เย็น เป็นต้น

ง. สิ่งทอ

ได้มีการใช้ประโยชน์ของซิงค์ออกไซด์มานานแล้ว เพราะความขาวโดยธรรมชาติและความสามารถเข้ากันได้กับเส้นใย ไม่ว่าจะเป็นเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์ ใช้ในกระบวนการปั่นด้าย การย้อมสี และการขัดผิวขั้นสุดท้าย หน้าที่ของซิงค์ออกไซด์ คือ เป็น fixing agent โดยรวมตัวกับ surface-active agent เกิดเป็น Zn-acetate หรือ Zn-formate ช่วยให้สีติดเส้นใยดีขึ้น อนุพันธุ์ของสังกะสีออกไซด์โดยเฉพาะสังกะสีคลอไรด์ใช้เติมลงไปในผ้า เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราเป็นจุดด่าง ๆ และการเน่าเสียซึ่งเกิดจากเชื้อราและแบคทีเรีย ทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มน้ำหนักหรือตัวเติม ทำให้ผ้านุ่มมีน้ำหนักและทนต่อน้ำ เป็นส่วนผสมสำคัญของสารกันน้ำ (water proofing agent) สารกันไฟ(flame proofing agent)โดยผสมกับ chlorinated waxหรือ resinเมื่อถูกเผาซิงค์ออกไซด์จะแตกออกเกิดปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดเป็นซิงค์ออกไซด์ที่สามารถป้องกันไฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. สารหล่อลื่น

ใช้ในน้ำมันหล่อลื่น (lubricating oil) และจาระบี (grease) ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุ ตัวเติม และสารเคมี เพื่อปรับปรุงการหล่อลื่นให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ป้องกันการกัดกร่อน ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของจาระบี และเป็นตัวทำลายกรดอีกด้วย

ช. เคมี

ซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมเคมีมีกำลังความต้องการเพิ่มขึ้น เนื่องจากซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ในขบวนการผลิตสารเคมีหลายปฏิกิริยา เช่น alkylation, oxidation, dehydrogenation และ hydrogenation เป็นต้น การผลิตเมทานอลเป็นขบวนการหนึ่งที่ใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์นอกจากจะมีประโยชน์มากมายในตัวเองแล้ว ยังเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารประกอบซิงค์ตัวอื่นๆ เช่น $ZnCrO_4$, $ZnSO_4$, $ZnCl_2$, $Zn_3(PO_4)_2.4H_2O$, Zinc resinate, Zinc stearate เป็นต้น

2.2.2.2 ด้านเกษตรกรรม

สังกะสีเป็นธาตุที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่า คน สัตว์ หรือพืช สังกะสีจะก่อตัวกับเอนไซม์เป็น metallo-enzyme ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของร่างกายหลายชนิด เช่น เร่งปฏิกิริยาสร้างเซลล์ใหม่ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนภายในร่างกาย ถ้าขาดสังกะสีเกิดอาการผิดปกติมากมายหลายประการ ทำให้เจริญเติบโตช้า ตัวเล็ก ระบบการทำงานของตับและม้ามผิดปกติ ไม่มีการพัฒนาทางเพศ เกิดโรคผิวหนังง่าย แผลหายช้าและเบื่ออาหาร

คนที่ร่างกายขาดสังกะสีจำเป็นต้องกินอาหารที่มีธาตุสังกะสีสูง เช่น อาหารทะเล พืชสีเขียว ถ้ายังไม่เพียงพอ ต้องกินธาตุสังกะสีเสริม องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ประกาศว่า ในผู้ใหญ่ปกติต้องการธาตุสังกะสี 15 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับผู้หญิงที่กำลังตั้งครรภ์ต้องการเพิ่มอีกเท่าตัว ซิงค์ออกไซด์ใช้เติมในอาหารเสริมสุขภาพ เพื่อเป็นแหล่งธาตุสังกะสีเพิ่มเพื่อเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายแต่ละคน

ซิงค์ออกไซด์ใช้เติมในอาหารสัตว์ เพื่อป้องกันการขาดธาตุสังกะสีในสัตว์ นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังมีบทบาทที่สำคัญในการเพิ่มปริมาณผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากซิงค์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นแหล่งให้ธาตุสังกะสีให้กับพืช พืชที่ขาดธาตุสังกะสีจะมีลักษณะผิดปกติ คือ มีใบน้อย ใบเป็นจุดด่าง ๆ โตช้าและให้ผลผลิตน้อย ลักษณะการนำไปใช้จะอยู่ในรูปสารละลายแล้วพ่นไปบนใบ แต่ปัจจุบันได้พัฒนาลักษณะการใช้ให้ได้ผลมากยิ่งขึ้น โดยการเติมลงซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนผสมในปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 ด้านเภสัชกรรม

การนำเอาซิงค์ออกไซด์นำมาใช้ประโยชน์ทางด้านเภสัชกรรมยังมีน้อย แต่พอสรุปหน้าที่ได้ดังนี้ สารดับกลิ่นตัว (mild deodorent) โดยจะทำปฏิกิริยากับเหงื่อที่ออกมาเป็นส่วนผสมของน้ำยาแก้ผดผื่นคัน (calamine lotion)ทำเป็นส่วนผสมของสารต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial) ซึ่งสามารถทนต่อความร้อนและลมฟ้าอากาศได้ในช่วงอุณหภูมิ 100 ^{o}C - 500 ^{o}C และทำหน้าที่เป็นสารฆ่าเชื้อ (fungicide) ในสารสำหรับเคลือบอุปกรณ์เก็บอากาศ เป็นต้น

2.2.2.4 ด้านเครื่องสำอาง

สมบัติพิเศษหลายประการของซิงค์ออกไซด์ได้นำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเครื่องสำอางหลายชนิด เช่น แป้งฝุ่นทาหน้า ลิปสติก แป้งน้ำ น้ำยาทาเล็บ เป็นต้น โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยทำให้แป้งติดหน้ามีความเรียบเนียนสวย ทำให้กลิ่นหอมของน้ำหอมติดทนทานและเป็นตัวเติมในเครื่องสำอางแต่งหน้า ปริมาณที่ใช้ร้อยละ 13-15 โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้ ซิงค์ออกไซด์ยังใช้เป็นส่วนผสมของรงควัตถุป้องกันแสง UV ที่นำมาผลิตเป็นเครื่องสำอาง โดยทำการเคลือบที่ผิวของอนุภาคสารอนินทรีย์ตัวอื่น ทำหน้าที่ป้องกันแสง UV และควบคุมความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ให้เป็นกลาง จาก pH 9-11 ให้อยู่ในช่วง pH 5.5-7.5 ซึ่งมีความเป็นกรด-ด่าง ช่วงนี้มีความเหมาะสมสำหรับผิวคน ซิงค์ออกไซด์ใช้สำหรับเครื่องสำอางมีลักษณะเป็นผงละเอียดมากและมีความบริสุทธิ์สูง ไม่มีโลหะหนักที่เป็นพิษเจือปน เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู แมงกานีส เป็นต้น

2.2.2.5 ด้านสิ่งแวดล้อม

ปัญหาความเป็นพิษของสิ่งแวดล้อม กำลังประสบปัญหา เป็นแหล่งทำลายสุขภาพจิตของคนในสังคมเมือง เนื่องมาจากความเจริญก้าวหน้าด้านอุตสาหกรรมมีมากขึ้น จำนวนโรงงานก็มากขึ้น ปริมาณของเสียที่เกิดจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจก็เพิ่มมากขึ้นมีความเป็นพิษเพิ่มมากขึ้นทุกวัน ดังนั้นต้องตระหนักถึงความเป็นพิษที่จะได้รับและหาวิธีการแก้ไขปัญหาและการจัดการอย่างถูกต้องเพื่อให้มีปริมาณความเป็นพิษลดน้อยลงไป มลพิษทางอากาศที่เกิดจากในบรรยากาศมีก๊าซพิษปนเปื้อนเป็นจำนวนมากซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดไว้ ก๊าซพิษที่เกิดขึ้น เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น ซิงค์ออกไซด์ได้เข้ามีส่วนช่วยกำจัดก๊าซพิษดังกล่าว โดยทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ (absorbent) [U.S. 5,186,727 (February 16, 1993) และ U.S. 5,219,542 (June 15, 1993)] นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็น solid oxidation catalyst ในขบวนการบำบัดน้ำเสียได้อีกด้วย [Process for the catalystic of wastewater.U.S. 5,205,906 (April 27, 1993)]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ประวัติการใช้ ZnO หรือ ซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นที่รู้จักในนาม คาลาไมล์ (calamile) ซึ่งเป็นภาษาอียิปต์โบราณ เป็นแร่ธาตุชาติจากสินแร่สมิธโซไนท์ (Smithsonite) ซึ่งมีองค์ประกอบ คือ ZnO_3 มนุษย์รู้จักใช้ซิงค์ออกไซด์มายาวนาน โดยใช้ในการรักษาโรคตั้งแต่ในยุคอียิปต์โบราณ ในประเทศจีนเริ่มมีการใช้ในปี 1596 โดยถูกนำมาใช้เป็นยารักษาโรค จนกระทั่งในปี 1750-1850 ซิงค์ออกไซด์ ได้ถูกนำมาใช้เป็นยารักษาโรคในประเทศที่เจริญแล้ว เช่น ยุโรป จากนั้น จึงมีงานวิจัยและการศึกษาเกี่ยวกับซิงค์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น

2.2.4 ประวัติการค้นพบและการพัฒนาการใช้ซิงค์ออกไซด์ในช่วงเวลาต่าง ๆ

ก่อนคริสต์ศักราช 2000 ปี ชาวอียิปต์โบราณเรียกว่า คาลาไมล์ (calamile) นำมาใช้ในการรักษาโรคผิวหนัง จากนั้นในปี 1596 พบว่า มีหนังสือยาจีนชื่อ เบ็น เชา กัง มู เขียนโดย ชิน เซ็นลี ได้บันทึกถึงการใช้ หินลูกกัง โดยเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปจะกลายเป็นซิงค์ออกไซด์ ถูกนำมาใช้รักษาโรคผิวหนัง โรคตา และโรคฟัน ในปี 1637 ซ้ง หยิน ซิง แห่งราชวงค์หมิง ได้บันทึกกระบวนการผลิตสังกะสีในหนังสือชื่อ เทียน ไค ฟู ธาตุสังกะสีได้ถูกบันทึกเป็นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์จีน ด้วยการพัฒนาทางด้านเคมี และถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือเครื่องใช้ รวมถึงผสมโลหะอื่น ๆ เช่น ทองแดง อีกทั้งยังมีการผลิตโลหะสังกะสีเพื่อการค้า

ในปี 1746 ยุโรปได้ทำซิงค์ซัลไฟด์ให้บริสุทธิ์เพื่อผลิตโลหะสังกะสี และระหว่างปี 1750-1850 ดร. Raulin ชาวฝรั่งเศส พบธาตุสังกะสีในร่างกายสิ่งมีชีวิต และพบว่าในร่างกายของมนุษย์ต้องการธาตุสังกะสี จากการค้นพบครั้งแรกนั้นทำให้เราทราบว่า ธาตุสังกะสีเป็นสารที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งภายหลังในปี 1965-1990 ได้มีรายงานทางการแพทย์ ยืนยันถึงการเป็นโรคขาดธาตุสังกะสี และบ่งชี้ว่า สังกะสีเป็นหนึ่งในสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยสังกะสีมีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ คือ เป็นองค์ประกอบสำคัญในเอนไซม์หลายชนิดในร่างกายมนุษย์ ช่วยในการเจริญเติบโตและระบบต่าง ๆ ของร่างกาย สำคัญมากต่อการพัฒนาเซลล์สมอง ถ้าขาดสังกะสีจะทำให้การรับรสและความอยากอาหารลดลง มีผลต่ออวัยวะเพศและการทำงานของระบบสืบพันธุ์ส่งเสริมสุขภาพผิวและช่วยในการรักษาความผิดปกติของผิวหนังและส่งเสริมการทำงานของระบบคุ้มกันของร่างกาย

2.2.5 การผลิตซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์มีสี เรียกว่า ซิงค์ไวท์ (Zinc white) โดยปกติในธรรมชาติธาตุสังกะสีพบในรูปของสินแร่ที่มีแร่ธาตุอื่น ๆ อยู่ร่วมกันด้วย เช่น สินแร่สมิธโซไนต์ (Smithsonite) คือ สินแร่คาร์บอเนต หรือ สินแร่สฟาเลอไรต์ (Sphalerite) คือ ซิงค์ซัลไฟด์

กระบวนการผลิตซิงค์ออกไซด์จากซิงค์คาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ZnCO_3 + \text{ความร้อน} \longrightarrow ZnO + CO_2 \qquad (2.7)$$

การผลิตซิงค์ออกไซด์จากซิงค์ซัลไฟด์

$$2ZnS + 3O_2 + \text{ความร้อน} \longrightarrow 2ZnO + 2SO_2 \qquad (2.8)$$

2.2.6 อาหารกับซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์ใช้เติมลงในอาหารไม่ส่งผลกระทบที่เป็นอันตราย เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกย่อยเป็นซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) จากรายงานทางการแพทย์ในปี 1963 พบว่าร่างกายขาดธาตุสังกะสี จะทำให้เกิดโรคขาดสังกะสี (Zinc Deficiency Syndrome) ซึ่งเป็นธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย แต่ถ้าขาดจะทำให้การทำงานของร่างกายผิดปกติ โดย Dr.Robert และคณะ ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยโอไฮโอ (Ohio University) รายงานว่า ธาตุสังกะสีมีความสำคัญต่อสมอง เพราะเซลล์ประสาทในสมองใช้ธาตุสังกะสีเป็นองค์ประกอบของสารสื่อประสาท ถ้าสมองขาดธาตุสังกะสีทำให้เซลล์ประสาทหยุดการเจริญเติบโตและอาจทำให้เซลล์ประสาทตายได้

เนื่องจากในปัจจุบันสถานการณ์ราคาน้ำมันดิบปิโตรเลียมมีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ก็เนื่องมาจากแหล่งน้ำมันดิบมีปริมาณของน้ำมันดิบลดลงและอาจหมดในอนาคต จึงได้เห็นความสำคัญของพลังงานทดแทนที่ใช้แทนน้ำมันดิบปิโตรเลียมคือไบโอดีเซล ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลมาจากวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น ปาล์มน้ำมัน สบู่ดำ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันหรือไขมันจากสิ่งมีชีวิต รวมทั้งน้ำมันที่ผ่านการใช้งานหรือน้ำมันเหลือทิ้งจากครัวเรือน เกิดผลิตภัณฑ์ร่วมคือ กลีเซอรอล (Glycerol) หรือกลีเซอรีน (Glycerine) จะเกิดขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ มีปริมาณความชื้น 12.4 เปอร์เซ็นต์ที่ พีเอช 12.8 กรดไขมันอิสระ 6.6 เปอร์เซ็นต์ (Yong, KC et al., 2001) โดยกลีเซอรอลที่ได้มีสิ่งเจือปนอยู่มาก เช่น ปริมาณคาร์บอนโดยเฉลี่ยประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์อยู่ในช่วงประมาณ 4-163 ppm ไนโตรเจนมีค่าน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ (Thompson et al., 2006) และยังมีตัวเร่งปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ ไขมัน กรดไขมันอิสระ น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่มาจากน้ำมัน (Joshua Tickell, 2000) ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ซึ่งกลีเซอรอลเป็นของเสียที่ต้องการกำจัดทิ้ง เมื่อมีปริมาณเพิ่มขึ้นก็จะเป็นปัญหาหลักต่อสังคมโดยเฉพาะในเมืองและพื้นที่ที่มีคนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น หากกำจัดกลีเซอรอลโดยการเผาจะทำให้กลีเซอรอลเปลี่ยนเป็นอะโครลีน (Acrolein) ซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถระเหยได้ดีและเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อันตรายต่อร่างกาย หากสัมผัสและสูดดม (Hazimah, A.H. et.al., 2003) แต่กลีเซอรอลก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย เพียงแต่ได้รับการบำบัดให้มีความบริสุทธิ์เพียงพอ โดยกลีเซอรอลบริสุทธิ์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลากหลาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมสบู่ อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อใช้เป็นสารกันบูดหรือใช้เป็นสารเพิ่มความหวาน เป็นต้น ถ้านำกลีเซอรอลที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มาทำให้บริสุทธิ์ ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะมีราคาที่สูงกว่า ไบโอดีเซลอย่างน้อย 3-4 เท่า (กัญจนาและสุกัญญา, 2544) และสามารถนำกลีเซอรอลไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้

จากการศึกษากลีเซอรอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล มีการศึกษาวิจัยทำกลีเซอรอลให้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างน้อย งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อนำของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยทำการเตรียมสารระหว่าง กลีเซอรอลกับซิงค์ออกไซด์จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นซิงค์กลีเซอโรเลต

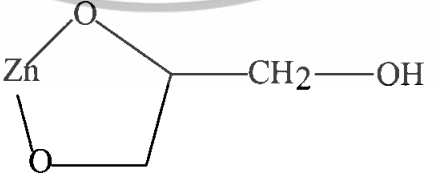
2.3 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต

การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตได้จากการนำซิงค์ออกไซด์และกลีเซอรอลมาทำปฏิกิริยากันในอัตราส่วนโมล 1:1

$$C_3H_8O_{3(l)} + ZnO \longrightarrow C_3H_6O_3Zn_{(s)} + H_2O \quad (2.9)$$

- **ลักษณะของซิงค์กลีเซอโรเลต**

มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว รูปร่างโมเลกุลเป็นแบบเฮกซะโกนอล (Taylor et. al,1989)มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของซิงค์กลีเซอโรเลต

107901

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ประโยชน์ของซิงค์กลีเซอโรเลต

1.ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยาเช่น ยาขี้ผึ้ง ยาทาแผลไหม้ ยาทาป้องกันผดผื่นจากผ้าอ้อมสำเร็จรูป

2. เป็นส่วนผสมใน phamacuetical เช่น เป็นส่วนผสมในยารักษาโรคเบาหวาน เป็นต้น (T.Reginald(Hawthorn,AU), B. Alan (North Adelaide, AU)., 1988)

3. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องสำอาง เช่น โลชันกันแดด ครีมบำรุงผิว(T.Reginald และ B. Alan.,1982)

4. ใช้เป็นสารเติมแต่งในการผลิตพอลิเมอร์ เช่น propylene homopolymer / copolymer polypropylene blends เนื่องจากซิงค์กลีเซอโรเลตมีสมบัติมีความลื่นสูง เมื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพอลิเมอร์จะมีสมบัติในการช่วยในเรื่องของความใสของพอลิเมอร์ (M.Ary Bos, Pearcedale (AU)., 2005)

2.5 จุดหลอมเหลว

ถ้าสารตัวอย่างที่ต้องการหาจุดหลอมเหลวเป็นสารบริสุทธิ์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะสารดังกล่าวจากของแข็งเป็นของเหลว จะคงที่ คล่าวคือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นพลังงานที่ใช้ (ในรูปความร้อน) ในการสลายแรงยึดโครงผลึกจึงเท่ากัน ทำให้ได้ข้อสรุปว่าสารบริสุทธิ์จะมีจุดหลอมเหลวคงที่ จุดหลอมเหลวของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ (ไม่ทั้งหมด) จึงมักไม่สูงไปกว่า 300 °C ในขณะที่สารอนินทรีย์ซึ่งมีแรงยึดไอออนิกจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ามาก นอกจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เป็นปัจจัยหลักในการทำนายจุดหลอมเหลวแล้ว ขนาดของโมเลกุลก็มีผลด้วย โมเลกุลใหญ่ ๆ จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าโมเลกุลเล็ก สารที่มีโครงสร้างเป็นไอโซเมอร์กันนั้นจุดหลอมเหลวของไอโซเมอร์ที่มีสมมาตรมากมักจะสูงกว่าตัวที่มีสมมาตรน้อย จุดหลอมเหลวแตกต่างกันออกไป สิ่งหนึ่งที่ต้องระวังก็คือ สารอินทรีย์ที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูง ๆ เช่นพันธะไฮโดรเจน หรือไอออนิก เช่นน้ำตาลทราย (ซูโครส) หรือสารที่เป็นเกลือ เช่น เกลือของพวกสารที่เป็นด่างหรือกรด มักจะสลายตัวก่อนที่จะหลอมเหลว

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วสารผสมจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าสารบริสุทธิ์แต่ละตัวที่เป็นองค์ประกอบ และช่วงการหลอมเหลวจะกว้างของผสมของสารต่างชนิดกันที่มีจุดหลอมเหลวเท่ากันก็จะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงสามารถใช้จุดหลอมเหลวบ่งบอกความบริสุทธิ์ของสารได้ดีพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การละลาย

เมื่อเกิดการละลายของสารชนิดหนึ่งในของเหลว เราจะเรียกสารผสมนั้นว่า สารละลาย โดยเรียกสารที่ละลายอยู่ในของเหลวนั้นว่าตัวถูกละลาย และเรียกของเหลวนั้นว่าตัวทำละลาย สารละลายที่ไม่สามารถใส่ตัวถูกละลายลงไปเพิ่มได้อีกแล้ว จะเรียกว่า สารละลายอิ่มตัว แต่ในบางสภาพ ตัวถูกละลายนั้นก็อาจละลายในตัวทำละลายชนิดเดียวกันได้มากกว่าปกติจนอิ่มตัว จะเรียกสารละลายที่อิ่มตัวนั้นว่า สารละลายอิ่มตัวยวดยิ่ง ความสามารถในการละลายของสารชนิดหนึ่งในสารอีกชนิดหนึ่งนั้นสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างตัวถูกละลาย กับตัวทำละลาย หรืออัตราส่วนระหว่างตัวถูกละลาย กับสารละลาย ในสภาวะที่สารละลายนั้นเป็นสารละลายอิ่มตัว ซึ่งสามารถบอกเป็นความหนาแน่นสูงสุดของสารละลายนั้นได้อีกด้วยซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายกับตัวถูกละลาย อุณหภูมิ ความดัน และปัจจัยอื่น ๆ ในตัวทำละลายแต่ละชนิดจะมีสภาพขั้วของสารชนิดนั้น ๆ โดยโมเลกุลที่มีขั้วจะสามารถละลายสารประกอบไอออนิกและสารประกอบโควาเลนต์ที่มีขั้วได้ ส่วนโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะสามารถละลายสารประกอบโควาเลนต์ที่ไม่มีขั้วได้ ตัวอย่างเช่น เกลือแกง เป็นสารประกอบไอออนิกสามารถละลายในน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้ว แต่ไม่สามารถละลายในเอทานอลได้ แต่น้ำกับสารที่ไม่มีขั้วจะไม่สามารถรวมกันเป็นเนื้อเดียวกันได้ แต่จะแยกออกเป็นชั้น ๆ หรือรวมกันเป็นคอลลอยด์แบบอิมัลชั่นเช่นในน้ำนม ตัวทำละลายที่นิยมใช้กับสารอินทรีย์ ได้แก่ อะซีโตน เอทานอล น้ำและเบนซีน

สารละลายต้องเกิดจากของแข็งละลายในของเหลว แต่สารละลายสามารถเกิดจากสารได้ทุกสถานะ เช่น น้ำอัดลม เกิดจากแก๊สละลายในของเหลว แก๊สไฮโดรเจน สารมารถละลายในแพลลาเดียมที่เป็นของแข็งได้ หรือเหล็กกล้าปลอดสนิมที่เรียกกันว่า สเตนเลส ก็เกิดจากการผสมกันระหว่างของแข็งหลายชนิดที่เรียกว่า อัลลอยด์

2.7 Xanthan Gum

Xanthan Gum เป็น Gum ที่ได้โดยการหมักด้วยเชื้อแบคทีเรียบริสุทธิ์ คือ Xanthomonas campestris หลังจากกระบวนการหมักแล้วจะนำมาตกตะกอนด้วย Isopropyl alcohol แยกเอา Xanthan Gum ออกมาทำให้แห้งแล้วบดให้ละเอียด Xanthan Gum หรือเรียกชื่อทางการค้าว่า Keltol มีโครงสร้างเป็น heteropolysaccahride ที่ประกอบด้วย glucose, mannose และ glucuronic acid ในอัตราส่วน 2.8:3:2 มีหมู่ acetyl ประมาณ 4.7 % และ pyruvic acid ประมาณ 3 % โดย glucose ต่อกับ mannose ด้วยพันธะ b-1,4 และ mannose ที่เป็นสายแขนงต่อกับสายหลักด้วยพันธะ 1,2 หรือ 1,3 ส่วน glucuronic acid ต่อด้วยพันธะ b-1,2 (รูปที่ 2.4) Xanthan Gum ไม่มีคุณสมบัติเป็น gelling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

agent แต่สามารถเกิด elastic themoreversible gel ได้เมื่อรวมกับ Locust bean gum และเมื่อรวมกับ Guar gum จะให้สารละลายที่มีความหนืดสูง

Xanthan Gum ละลายได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง ทนต่อการย่อย ด้วยเอนไซม์ มีความคงตัวสูงต่อความร้อนและ pH ความหนืดของสารละลาย Xanthan Gum จะคงที่ถึงแม้ อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงในช่วง 0-100 °C หรือ pH จะเปลี่ยนแปลงในช่วง 1-13 ก็ตาม นอกจากนั้นสารละลาย Xanthan Gum ยังมีสมบัติเป็น pseudoplastic ซึ่งมีความสำคัญต่อกลิ่น ลักษณะปรากฏและความรู้สึก เมื่ออาหารอยู่ในปาก (mouth feel)

Xanthan Gum ใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด เพิ่มความคงตัว และทำให้อนุภาคแขวนลอยได้ดี เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม ถ้านำ Xanthan Gum มาผสมกับ Locust bean gum จะนิยมนำมาใช้กับอาหารประเภท ขนมหวาน ซอสมะเขือเทศสำหรับ พิซซ่า ไส้ขนมอบ และไส้พาย เป็นต้น นอกจากนั้นยังผสมกับทั้ง Locust bean gum และ Guar gum ในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ความข้นหนืด และคุณสมบัติเฉพาะตามความต้องการสำหรับอาหารชนิดหนึ่ง ๆ เช่น ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภท frozen desserts, pasteurized, pasteurized process cheese spread, cottage cheese, salad dressing , sour cream และ fruit syrups เป็นต้น

รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของ Xanthan gum

ที่มา: http://www.lsbu.ac.uk/water/hyxan.html

2.8 ความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อซิงค์กลีเซอโรเลต (Antibiotic sensitivity of bacteria)

การทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อสารเคมีทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งคือ agar diffusion methods หลักการคือ นำเชื้อที่ต้องการจะทดสอบผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อ เทลงบนจานเลี้ยงเชื้อแล้วก็วางแผ่นกระดาษกลมชุบสารเคมี (antibiotic disc) ลงบนผิวของวุ้นที่มีเชื้อ หลังจากนั้นนำจานเลี้ยงเชื้อเพาะเชื้อ เข้าตู้บ่ม หลังจากเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 16-18 ชั่วโมง แล้วนำจานเพาะ

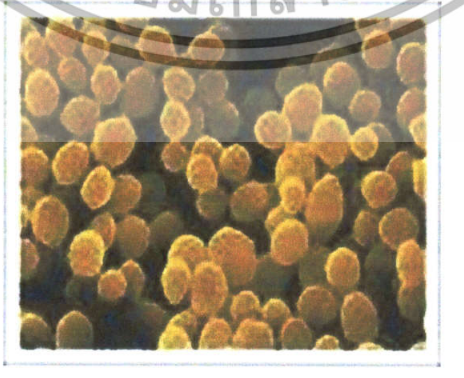
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อมาสังเกตบริเวณรอบ ๆ จานเลี้ยงเชื้อ ว่ามีบริเวณใสรอบ ๆ จานเลี้ยงเชื้อ (inhibition zone) ซึ่งเป็นบริเวณสารเคมีแพร่กระจายจากจานเลี้ยงเชื้อ ออกมาโดยรอบ แล้วไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทำให้เกิดบริเวณใส ๆ ขึ้น บริเวณดังกล่าวนี้จะกว้างหรือแคบนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างเช่น อัตราการแพร่กระจายของยาผ่านวุ้น ปริมาณของเชื้อที่ละเลงไว้ ขนาดความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ ความไวของเชื้อต่อสารเคมี

รูปที่ 2.5 *Serratia, marcescens*
(http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Serratia_marcescens_01.jpg)

เชื้อ *Serratia marcescens* เป็นแบคทีเรีย ใน *Class Gamma Proteobacteria, Order Enterobacteriales* , จัดอยู่ในตระกูล *Enterobacteriaceae*, Genus *Serratia*

Serratia เป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนผิวหนังแต่ไม่ก่อโรคผิวหนัง แต่สามารถอาศัยในอาหารทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย เช่น นมจะทำปฏิกิริยาทำให้นมเกิดการเน่าเสีย เกิดสีชมพูในนมที่เกิดการเน่าเสีย



รูปที่ 2.6 *Micrococcus luteus (www.educa.aragob.com)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อ *Micrococcus luteus* เป็นแบคทีเรีย ใน Phylum *Actinobacteria* , *Order Actinomycetales* , จัดอยู่ในตระกูลไมโครค็อกคาซี (Micrococcaceae), Genus *Micrococcus*

Micrococcus เป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนผิวหนังแต่ไม่ก่อให้เกิดโรคทางผิวหนัง *Micrococcus* พบในอาหารทำให้อาหารเหล่านั้นเกิดการเน่าเสีย

รูปที่2.7 *Staphylococcus aureus* (www.microbelibrary.com)

เชื้อ *Staphylococcus aureus* เป็นแบคทีเรีย ใน *Class Schizomycetes* , *Order Eubacteriales,* จัดอยู่ในตระกูลไมโครค็อกคาซี (Micrococcaceae), Genus Stephylococi

- การติดเชื้อที่ผิวหนัง

การติดเชื้อ *Staphylococcus* ทำให้เกิดฝีอาจเกิดที่ส่วนใดของร่างกายก็ได้ส่วนใหญ่เกิดที่ผิวหนัง ซึ่งเริ่มต้นจากการติดเชื้อที่ต่อมน้ำมันบริเวณที่เกิดฝีจะเกิดการอักเสบมีการสะสมเม็ดเลือดขาวเกิดการตายของเนื้อเยื่อเมื่อฝีเจริญเต็มที่บริเวณเนื้อเยื่อที่ตายจะเต็มไปด้วยเม็ดเลือดขาวที่ตายแล้วรวมทั้งแบคทีเรียที่เม็ดเลือดขาวไปกินและมีไฟบรินมาล้อมรอบซึ่งภายในบริเวณฝีนี้จะไม่มีเลือดมาเลี้ยง

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mendelovici และคณะ [1993]

การสังเคราะห์ Fe-Mn glycerolate ซึ่งมีอัตราส่วน Fe : Mn เป็นส่วนใหญ่และยังมีน้ำอีก 22 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส ในอากาศด้วยกระบวนการไฮเดรต ความสามารถในการละลายของโครงสร้างของ Mn-ferrite ดูได้จากการวัดคุณสมบัติจากเครื่อง XRD และ IR Spectroscopy ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวไม่มีผลต่อกลุ่มของเอลโคไซด์ จากกราฟ TG แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 45.6%-54% จะทำให้มวลลดลงที่อุณหภูมิ 290 $^{\circ}$C การสูญเสียรูปร่างของตัวอย่างทั้งหมดที่อุณหภูมิ 250-290 $^{\circ}$C เพราะเป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของ Curie จะเป็นดังนี้ $MnFe_2O_4$ เมื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิแต่ละตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 670 ^{o}C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า hematite และ การเปลี่ยนแปลงของ bixbyite จะมีโครงสร้างผลึกที่สมบูรณ์ในขั้นนี้จะไม่เกิดน้ำ เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 1050 องศาเซลเซียส จะเกิดผลึกได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 670°C สีก็จะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มให้อุณหภูมิแก่กระบวนการ ในการเกิดปฏิกิริยาผสม goethite กับ $MnCO_3$ หรือ pyrolusiteไม่มีความแตกต่างของ alkoxide จะเกิดขึ้นเมื่อให้อุณหภูมิที่ 270 ^{o}C เมื่อนำ Fe-Mn ผสมกันได้ดีที่สุดใน protohematite แทนที่ละลายใน jacobsite จาก alkoxide

Matkin และคณะ [1995]

Matkincและคณะได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตโดยได้การนำซิงค์ออกไซด์หรือสารประกอบของซิงค์มาทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลที่ช่วงอุณหภูมิ 15– 105 ^{o}C จากการทดลองจะเติมกลีเซอรอลมากเกินพอซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาจะมีกลีเซอรอลเหลืออยู่จึงกำจัดออกจากซิงค์กลีเซอโรเลตโดยวิธีการล้างด้วยสารละลายเอทานอล $C_1 - C_4$ อย่างน้อย 1ครั้ง แล้วล้างต่อด้วยไอโซโพรพานอล และผลจากการศึกษาดังกล่าวพบว่าที่ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ซิงค์ออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลได้ดีและขนาดอนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเรตอยู่ในช่วง 10 - 100 ไมครอน

N.Zeynep และคณะ [1999]

การแพร่กระจายในสารละลายที่มีขั้วได้ดีกว่าน้ำ เป็นไปได้ว่าจะเกิดปฏิกิริยาใหม่สำหรับการสังเคราะห์สารที่เป็นตัวควบคุม อันตรกิริยามี 2 ปฏิกิริยาระหว่างโลหะที่มีประจุบวกสอง (M^{2+}) และ hydrophilic tridentate ligand murexide (Mu^{-}) หรือ bidentate ligand-2-azo-p-dimethylailine (PADA)อยู่ในAerosol-OT (AOT) หรือ cetyltrimethylammonium bromide(CTAB)-stabilized, ขนาดของอนุภาคนาโนของกลีเซอรอลได้แพร่กระจายระหว่างสารอินทรีย์ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เร็วเพราะในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาจะมีความหนืดต่ำเพราะว่าอยู่ระหว่างชั้นของสารอินทรีย์ ระบบมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับไอออนของโลหะ $Zn^{2+}>Co^{2+}>Ni^{2+}$ อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาเกิดได้ช้าเนื่องมาจากการแพร่กระจายในกลีเซอรอลเปรียบเทียบกับการแพร่กระจายในน้ำ ประจุของสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อปฏิกิริยาย้อนกลับ ปฏิกิริยาในกลีเซอรอลระดับอนุภาคนาโนมีความเสถียรโดย AOT ผลของการแบ่งชั้นของตัวทำปฏิกิริยา เมื่อใช้ตัวกระตุ้นเข้าไปเพื่อยืนยันผลของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อน

Claude และคณะ [1999]

วิธีใหม่สำหรับการเตรียมกลีเซอรอลคาร์บอเนต วิธีนี้ประกอบด้วยการทำปฏิกิริยาของยูเรียและกลีเซอรอลที่อุณหภูมิระหว่าง 90 – 220 ^{o}C โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเกี่ยวข้องกับบริเวณ Lewis acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉพาะเกลือโลหะหรือเกลืออินทรีย์หรือสารประกอบโลหะที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ การเกิดกลีเซอรอลคาร์บอเนตแบบใหม่นี้เกิดจากปฏิกิริยา catalytic carbomoylotion/carbonation ในสภาวะที่มีความบริสุทธิ์สูง

D.P.Fairlle และคณะ [2005]

การรวมตัวกันระหว่างกลีเซอรอลกับซิงค์ ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดเป็นซิงค์โมโนกลีเซอโรเลตซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ 1. Zinc monoglycerolate (ZMG) จะละลายได้ดีในสารละลายเกลือแต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของ ZMG จะละลายที่พีเอชและความเข้มข้นที่ต่างกัน 2.การเกิดลิแกนด์ของซิงค์ภายใต้ผิวหนังและน้ำเลือด เช่น citrate, lactate, albumin เป็นต้น 3.การเร่งให้ZMG ละลายได้เร็วขึ้นทำได้โดยปรับพีเอชที่ 7.3 ที่ 25 ^{0}C ทำให้เกิดลิแกนด์ของซิงค์ เมื่อ ZMG ละลายใน vitro และยังช่วยป้องกันการระคายเคือง จากการสำรวจพบว่า ZMG เกิดจากกระบวนการ transformation ของ ซิงค์ อีกทั้งยังสามารถนำ ZMGไปใช้ประโยชน์ทางด้านชีวภาพได้

Rodoula, Epameinondas และ Frank [2006]

การควบคุมอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ให้อยู่ในรูปนาโนซึ่งจะอยู่ในอสัณฐานของซิลิกา ซึ่งจะทำได้ 4 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเตรียมอนุภาคนาโนของซิงค์กลีเซอโรเลตโดยผลิตไมเซลซึ่งเป็นส่วนกลับของกลีเซอรอลภายในเฮปเทนที่เสถียร โดยใช้สารลดแรงตึงผิวในการทำคือAerosol-OT ผิวหน้าของอนุภาคนาโนจะต้องมีการจัดเรียงอนุภาคที่ผิวหน้าด้วย AOT กับ trimethoxysilyl-ethane (BTME) ผิวหน้าที่ถูกเรียงอย่างเป็นระเบียบด้วยโคพอลิเมอร์ระหว่าง tetramethoxysilane(TMOS) ซึ่งเตรียมได้จากเมทริกต์ของซิลิกา อนุภาคนาโนที่เกิดขึ้นในรูปซิงค์ที่อยู่ในเมทริกต์ซิลิกา เมื่อให้ความร้อนแก่ซิงค์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 700 ^{0}C ทำให้มีอนุภาคเล็กกว่า 10 nm อนุภาคซิงค์ออกไซด์อยู่ในเมทริกต์เป็น blue-shifed การสังเคราะห์ทั้งหมดทำการวัดจาก TEM, XRD, fluorescence และ FT-IR กลีเซอรอลจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะไอออน ดังนั้นสามารถเตรียมในรูปของการแพร่ของโละไอออนและเกิดเป็นโลหะออกไซด์ที่เป็นอนุภาคนาโนในอสัณฐานของซิลิกา

A.Sushil, และคณะ [2007]

เมื่อไอน้ำรวมตัวกับกลีเซอรอลเพื่อทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งสามารถใช้ทำปฏิกิริยาได้ต่อไปอีก ผลการทดลองสุดท้ายจะได้ก๊าซไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์ ซึ่งผลผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ อัตราส่วนในการทำปฏิกิริยา ขั้นแรกให้น้ำมีอัตราการไหล 1:1-9:1 เมื่อความเข้มข้นเข้าสู่สมดุลจะต่างกับสารประกอบที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี minization กลีเซอรอลในอัตราส่วน 9:1 ภายใต้ก๊าซมีเทนในปริมาณที่น้อยที่สุดและทำให้คาร์บอนขัดขวาง กระบวนการเทอร์โมไดนามิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1.เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1. เครื่องสแกนนิง อิเล็กตรอน ไมโครสโคป (Scanning electron microscope, SEM)

3.1.2. เครื่องอินฟาเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared spectroscopy, IR)

3.1.3. เครื่องเอ็กซเรย์ ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)

3.1.4. เครื่องมอเตอร์ปั่นกวนพร้อมใบพัด ยี่ห้อ RW 20 บริษัท KIKA – WE

3.1.5. เครื่องให้ความร้อน

3.1.6. เครื่อง Melting Point ยี่ห้อ A007286 บริษัท SANYO Gallenkamp PLC

3.1.7. เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ A007387 บริษัท MUA/USEEP

3.1.8. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Precisa 205A บริษัท Precisa

3.1.9. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ ยี่ห้อ Buchi B-169 vaccum-system บริษัท BUCHI Switzerland

3.1.10. อ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ (Oil bath)

3.1.11. เครื่องแก้วสำหรับการทดลอง

3.1.12. เทอร์โมมิเตอร์

3.1.13. ขวด 3 คอ ขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.2. สารเคมี

3.2.1. กลีเซอรอล ($CH_2OHCHOHCH_2OH$) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Carlo Erba)

3.2.2. กลีเซอรอลดิบ

3.2.3. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท APS Ajax Finechem)

3.2.4. เอทานอล 95% เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Fisher Scientific)

3.2.5. อะซิโตน (CH_3COCH_3) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Fisher Scientific)

3.2.6. Xanthan Gum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. แหล่งที่มาของกลีเซอรอล

ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ฟีคันด์ ฟิตติ้ง สเตนเลส จำกัด (FECUND FITTING STAINLESS CO., LTD) โดยทางบริษัทได้ผลิตชุดเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบครั้ง (Batch) เมื่อเดินระบบจะมีกำลังการผลิตไบโอดีเซล 10,000 ลิตรต่อวัน ใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันที่ใช้แล้วด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาประมาณ 30-60 นาที จากกระบวนการผลิตจะได้กลีเซอรอลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้

3.4.การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ

- นำตัวอย่างกรองสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกด้วยผ้าขาวบาง และนำไปเก็บในขวดแก้วไว้ที่อุณหภูมิห้อง
- ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ ได้แก่ สี กลิ่น ค่าพีเอช

3.5. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต (Zinc glycerolate)

3.5.1 ศึกษาอัตราส่วนโมล Glycerol : Zinc Oxide ต่อการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต

- อัตราส่วนโมล Glycerol : Zinc Oxide (3 : 1)

3.5.1.1 ชั่งกลีเซอรอลบริสุทธิ์ 170 กรัม ใส่ลงในขวด 3 คอขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.5.1.2 เติมน้ำมันพาราฟินลงในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ

3.5.1.3 นำขวด 3 คอวางไว้ในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิที่ 220 °C แล้วต่อกับเครื่องมอเตอร์ปั่นกวน ด้วยความเร็ว 1500 รอบต่อนาที

3.5.1.4 เติมซิงค์ออกไซด์ 50 กรัม ควบคุมอุณหภูมิที่ 260 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.5.1.5 ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่ อุณหภูมิห้อง

3.5.1.6 ล้างด้วยน้ำกลั่น

3.5.1.7 นำไปกรองแบบลดความดัน (กระดาษกรอง whatman No.42)

3.5.1.8 ล้างผลึกด้วยเอทานอล 300 มิลลิลิตรและ อะซิโตน 200 มิลลิลิตร

3.5.1.9 นำผลึกไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.5.1.10 บันทึกน้ำหนักของผลึกเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ได้

3.5.1.11 นำผลึกไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IR, XRD

3.5.1.12 ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

- อัตราส่วนโมล Glycerol : Zinc Oxide (5 : 1)

ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.5.1.1 - 3.5.1.12 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนโมลGlycerol : Zinc Oxide เป็น 5 : 1 โดยชั่งกลีเซอรอล 283 กรัมและซิงค์ออกไซด์ 50 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราส่วนโมล Glycerol : Zinc Oxide (7 : 1)

ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.5.1.1- 3.5.1.12 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนโมล Glycerol : Zinc Oxide เป็น 7 : 1 โดยชั่งกลีเซอรอล 395 กรัมและซิงค์ออกไซด์ 50 กรัม

- อัตราส่วนโมลGlycerol : Zinc Oxide (8 : 1)

ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.5.1.1 - 3.5.1.12 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนโมล Glycerol: Zinc Oxide เป็น 8: 1 โดยชั่งกลีเซอรอล 452 กรัมและซิงค์ออกไซด์ 50 กรัม

- อัตราส่วนโมลGlycerol : Zinc Oxide (11 : 1)

ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.5.1.1 - 3.5.1.12 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนโมลGlycerol: Zinc Oxide เป็น 11: 1 โดยชั่งกลีเซอรอล 622 กรัมและซิงค์ออกไซด์ 50 กรัม

3.5.2 ศึกษาความเร็วรอบต่อการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตที่อัตราส่วนโมลGlycerol: Zinc Oxide เป็น 9:1

3.5.2.1. ชั่งกลีเซอรอลบริสุทธิ์ 510 กรัม ใส่ลงในขวด 3 คอขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.5.2.2. เติมน้ำมันพาราฟินลงในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ

3.5.2.3. นำขวด 3 คอวางไว้ในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิที่ 220 °C แล้วต่อกับเครื่องมอเตอร์ปั่นกวน ด้วยความเร็ว 1300 รอบต่อนาที

3.5.2.4. เติมซิงค์ออกไซด์ 50 กรัม ควบคุมอุณหภูมิที่ 260 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.5.2.5. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่ อุณหภูมิห้อง

3.5.2.6. ล้างด้วยน้ำกลั่น

3.5.2.7. นำไปกรองแบบลดความดัน (กระดาษกรอง whatman No.42)

3.5.2.8. ล้างผลึกด้วยเอทานอล 300 มิลลิลิตรและ อะซิโตน 200 มิลลิลิตร

3.5.2.9. นำผลึกไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.5.2.10. บันทึกน้ำหนักของผลึกเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ได้

3.5.2.11. นำผลึกไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IR, XRD

3.5.2.12. ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

3.5.2.13. ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.5.2.1 – 3.5.2.12 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 1400, 1600, 1700 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6. การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของ Reginald M. Taylor (1989)

3.6.1. การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์

3.6.1.1 ชั่งกลีเซอรอลบริสุทธิ์ 510 กรัมใส่ลงในขวด 3 คอขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.6.1.2 เติมน้ำมันพาราฟินลงในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ

3.6.1.3 นำขวด 3 คอวางไว้ในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิที่ 220 °C แล้วต่อกับเครื่องมอเตอร์ปั่นกวน ด้วยความเร็ว 1500 รอบต่อนาที

3.6.1.4 เติมซิงค์ออกไซด์ 50 กรัม ควบคุมอุณหภูมิที่ 260 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.6.1.5 ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.6.1.6 ล้างด้วยน้ำกลั่น

3.6.1.7 นำไปกรองแบบลดความดัน (กระดาษกรอง whatman No.42)

3.6.1.8 ล้างผลึกด้วยเอทานอล 300 มิลลิลิตรและ อะซิโตน 200 มิลลิลิตร

3.6.1.9 นำผลึกที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.6.1.10 บันทึกน้ำหนักของผลึกเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ได้

3.6.1.11 นำผลึกไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM, IR, XRD

3.6.1.12 ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

3.6.2. การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตจากกลีเซอรอลดิบไม่ปรับค่าพีเอช

- ทำการทำลองเหมือนข้อ 3.6.1 แต่ใช้กลีเซอรอลดิบ (ไม่ปรับพีเอช)

3.6.3. การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต จาก กลีเซอรอลดิบปรับค่าพีเอช

3.6.3.1 ชั่งกลีเซอรอลดิบ 800 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.6.3.2 ปรับพีเอชของกลีเซอรอลเป็น 5.5 ด้วยกรดฟอสฟอริก ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น

3.6.3.3 นำไปกรองแบบลดความดัน

3.6.3.4 นำไปกลั่นตั้งอุณหภูมิที่ 65 °C กลั่นนาน 30 นาที

3.6.3.5 นำของเหลวที่กลั่นได้ไปชั่งน้ำหนัก

3.6.3.6 เพิ่มอุณหภูมิเครื่องกลั่นเป็น 100 ° C เป็นเวลา 30 นาที จะได้เมทานอล

3.6.3.7 นำเมทานอลที่กลั่นได้ไปชั่งน้ำหนัก

3.6.3.8 นำส่วนที่เหลืออยู่ในขวดก้นกลมมา 510 กรัม ใส่ขวด 3 คอขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.6.3.9 ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.6.1.2 – 3.6.1.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4. การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต จาก นาโนซิงค์ออกไซด์

- ทำการทดลองเหมือนการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์ ข้อ 3.6.1 แต่ใช้ นาโนซิงค์ออกไซด์
- ทำการทดลองเหมือนการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตจากกลีเซอรอลดิบไม่ปรับพีเอช ข้อ 3.6.2 แต่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์
- ทำการทดลองเหมือนการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตจากกลีเซอรอลดิบปรับพีเอชเป็น 5.5 ข้อ 3.6.3 แต่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์

3.7. การทดสอบสมบัติของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากอัตราส่วนโมลกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์เป็น 9:1 ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที

3.7.1. การหาจุดหลอมเหลวโดยเครื่อง Melting Point

3.7.1.1 ชั่งซิงค์กลีเซอโรเลตจากข้อ 3.6.1 มา 0.0010 กรัมใส่ในหลอดคาปิลลารี 3 หลอด

3.7.1.2 นำหลอดคาปิลลารีใส่เครื่อง Melting Point ยี่ห้อA007286 บริษัทSANYO Gallenkamp PLC

3.7.1.3 สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสารในหลอดคาปิลลารี

3.7.1.4 บันทึกอุณหภูมิที่ซิงค์กลีเซอโรเลตหลอมเหลว

3.7.2. การทดสอบการละลาย

3.7.2.1 ชั่งซิงค์กลีเซอโรเลตจากข้อ 3.6.1 มา 0.0500 กรัมใส่หลอดทดลอง 3 หลอด

3.7.2.2 เติมตัวทำละลายลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด 5 มิลลิลิตร ทั้ง 3 หลอด

3.7.2.3 เขย่าหลอดทดลองแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการละลาย

3.7.2.4 สังเกตการณ์ละลายของซิงค์กลีเซอโรเลตในตัวทำละลาย

3.7.2.5 นำไปกรองสุญญากาศ (กระดาษกรอง whatman No.42)

3.7.2.6 นำตะกอนไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.7.2.7 บันทึกน้ำหนักตะกอนที่เหลืออยู่บนกระดาษกรอง

3.7.2.8 ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.7.2.1 – 3.7.2.7 โดยเปลี่ยนตัวทำละลาย

หมายเหตุ : ตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองคือ **Acid** : 1M Sulfuric acid, **Base** : Sodium hydroxide, **Polar Solvents** : Water, Ethanol, Tert-Butanol, Amyl acetate, Diethylamine, **Non Polar Solvents** : Hexane, Acetone, N,N-Dimethylaniline, Methyl ethyl ketone, Pyridine, Dichoromethane, Benzenesulfonyl chloride, Cyclohexanone, Cyclohexanol, Tert-Butychoride, Triethanolamine.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.3. การทดสอบของแข็งระเหยได้

3.7.3.1 นำถ้วยครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.7.3.2 ชั่งน้ำหนักสารซิงค์กลีเซอโรเลตใส่ลงถ้วยครูซิเบิล 3 ถ้วย

3.7.3.3 เผาซิงค์กลีเซอโรเลตที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 15-20 นาที

3.7.3.4 ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักของสารที่เหลืออยู่ในถ้วยครูซิเบิล

3.7.4. การทดสอบการกระจายตัวของซิงค์กลีเซอโรเลต

3.7.4.1 เตรียมน้ำกลั่นในขวด PET 400 มิลลิลิตร

3.7.4.2 ชั่ง Xanthan Gum 1.0 กรัม เติมลงในขวด PET เขย่าจนเป็นสารละลายเดียวกัน

3.7.4.3 เขย่าจนเป็นสารละลายเดียวกัน

3.7.4.4 ชั่งซิงค์กลีเซอโรเลต 1.0 กรัมเติมลงในสารละลาย

3.7.4.5 นำไปเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonic นาน 2 ชั่วโมง

3.7.4.6 ตั้งทิ้งไว้ สังเกตการณ์กระจายตัวของซิงค์กลีเซอโรเลต

3.7.4.7 หากเกิดตกตะกอนในสารละลายให้ลดปริมาณของซิงค์กลีเซอโรเลตแต่ถ้าซิงค์กลีเซอโรเลตกระจายตัวได้ดี ให้เพิ่มปริมาณซิงค์กลีเซอโรเลตจนกระทั่งเกิดการตกตะกอนในสารละลาย

3.7.5. การทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อซิงค์กลีเซอโรเลต

- การเตรียมความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

3.7.5.1 ทำการทดลองเหมือนการกระจายตัวของซิงค์กลีเซอโรเลต ข้อ 3.7.4.1– 3.7.4.3

3.7.5.2 เตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตเข้มข้น 10^{-3} mol/L, 10^{-5} mol/Lและ 10^{-7} mol/L

3.7.5.3 นำไปเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonic นาน 1 ชั่วโมง เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

- การเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

3.7.5.4 เตรียมอาหาร Nutrient Agar (NA) และอุปกรณ์สำหรับเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

3.7.5.5 ทำ Pour plate ที่ความเข้มข้นของเชื้อแบคทีเรีย 10^{8} CFU/mL

3.7.5.6 นำกระดาษกรองที่ตัดเป็นรูปวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 เซนติเมตร ชุบน้ำกลั่นแล้ววางในจานเพาะเชื้อใช้เป็นชุดควบคุม

3.7.5.7 นำกระดาษกรองแผ่นใหม่ชุบซิงค์กลีเซอโรเลตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ วางในจานเพาะเชื้อ 7 จานเพาะเชื้อสำหรับเชื้อแบคทีเรีย 1 ชนิด

3.7.5.8 นำไปบ่มที่ 37 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.7.5.9 สังเกตและทำการวัดขนาดของพื้นที่ที่ไม่มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียรอบกระดาษกรอง (Clear zone) ในแต่ละความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

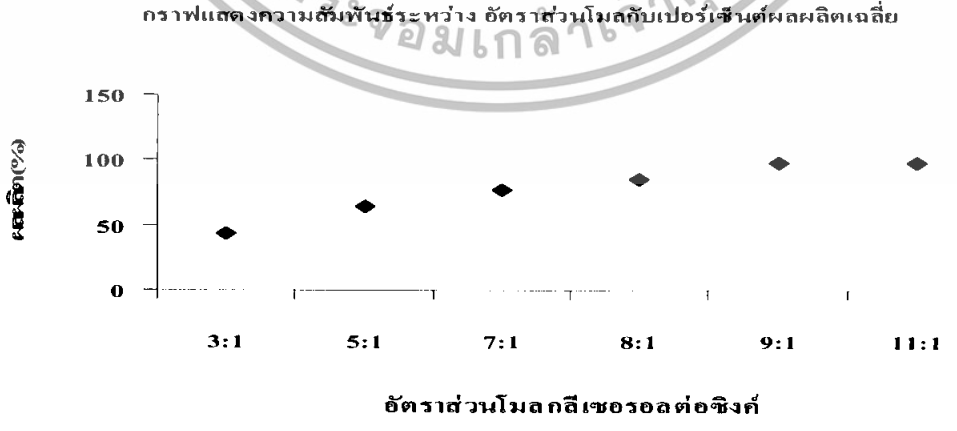
บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปราย

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ

กลีเซอรอลดิบที่ใช้ในการทดลองได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ฟีคันด์ ฟิตติ้ง สเตนเลส จำกัด (FECUND FITTING STAINLESS CO., LTD) โดยทางบริษัทได้ผลิตชุดเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบครั้ง (Batch) เมื่อเดินระบบจะมีกำลังการผลิตไบโอดีเซล 10,000 ลิตรต่อวันใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันที่ใช้แล้วด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาประมาณ 30-60 นาที จากกระบวนการผลิตจะได้กลีเซอรอลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบที่ได้รับความอนุรักษ์จากบริษัท ฟีคันด์ ฟิตติ้ง สเตนเลส จำกัด พบว่า กลีเซอรอลดิบจะมีสีดำคล้ำน้ำตาล มีกลิ่นเหม็น และค่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 11- 13

4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต (Zinc glycerolate)

จากการทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ อัตราส่วนโมลของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์และอีกตัวแปรหนึ่งคือความเร็วรอบในการปั่นกวน ซึ่งจากการศึกษาอัตราส่วนโมลระหว่างกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์เป็น 3:1, 5:1, 7:1, 8:1, 9:1 และ 11:1 โดยแต่ละอัตราส่วนโมลจะทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยที่ได้ เป็น 43.61, 64.86, 76.79, 85.70, 97.65 และ 97.66% ตามลำดับ รูปที่ 4.1



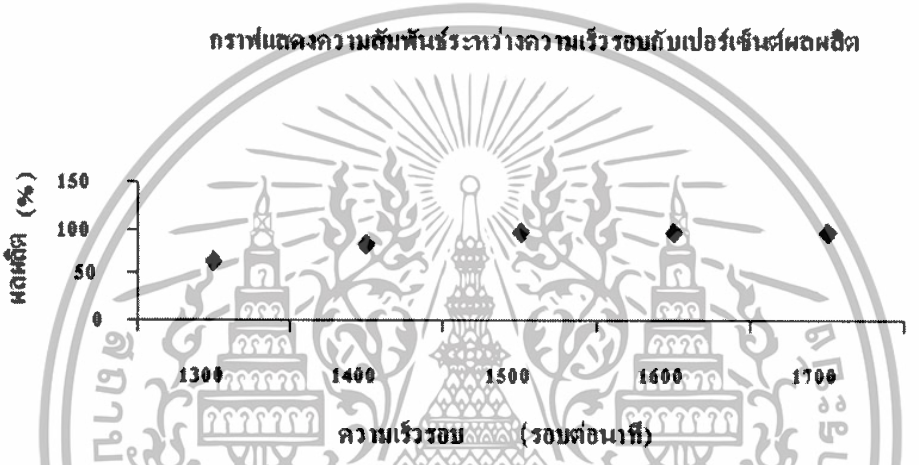
รูปที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนโมลต่อการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต

หมายเหตุ: ค่าความคลาดเคลื่อนทางแกน Y เป็นค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละอัตราส่วนโมลที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราส่วนโมลเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามลำดับและค่อนข้างคงที่ ที่อัตราส่วนโมลกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์เป็น 9:1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแม้จะมีการเพิ่มอัตราส่วนโมลของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์เป็น 11:1 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยที่ได้ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบในหน่วยการผลิตเดียวกัน

เมื่อศึกษาตัวแปรเกี่ยวกับความเร็วรอบของการปั่นกวนในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต พบว่าที่ความเร็วรอบ 1300, 1400, 1500, 1600 และ 1700 รอบต่อนาทีโดยทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ ซึ่งจะให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยคือ 65.46, 82.22, 97.65, 95.93 และ 97.65% ตามลำดับดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลของความเร็วรอบในการปั่นกวนต่อการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต

หมายเหตุ: ค่าความคลาดเคลื่อนทางแกน Y เป็นค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละความเร็วรอบที่ใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาทีจะให้ผลผลิตสูงสุดและจะเริ่มคงที่ แม้จะเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นกวนเป็น 1700 รอบต่อนาที แต่เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตนั้นจะใช้อัตราส่วนโมลกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์เป็น 9:1 และความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวน 1500 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต ตามวิธีของ Reginald M. Taylor (1989)

การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของ Reginald M. Taylor โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ ประเภทของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต เป็น กลีเซอรอลบริสุทธิ์, กลีเซอรอลดิบปรับพีเอชเป็น 5.5 และ กลีเซอรอลดิบที่ไม่ปรับพีเอช นอกจากนี้ยังมีตัวแปรมีทำการศึกษาคือ ประเภทของซิงค์เป็น ซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์

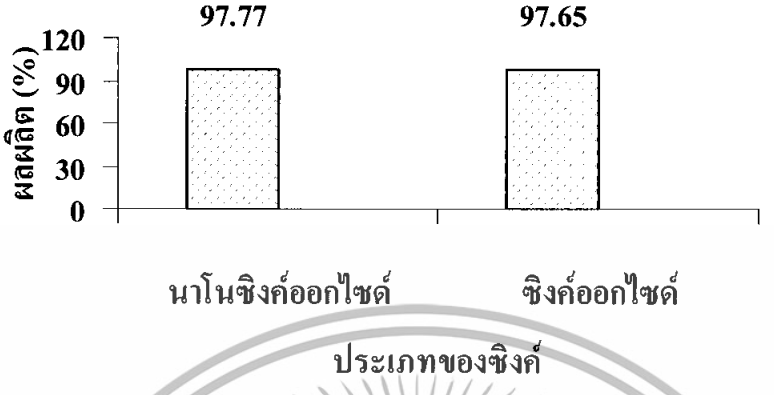
จากการศึกษาผลการทดลองการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของ Reginald M. Taylor (1989) โดยใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ กลีเซอรอลดิบที่ปรับพีเอชเป็น 5.5 และกลีเซอรอลดิบที่ไม่ปรับพีเอชทำการทดลองกับซิงค์ออกไซด์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จากกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์มีค่าสูงถึง 97.65% ส่วนเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยจากกลีเซอรอลดิบปรับพีเอช5.5 และจากกลีเซอรอลดิบไม่ปรับพีเอช นั้นไม่สามารถหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยได้เนื่องจากกลีเซอรอลดิบทั้งที่ปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอช จะไม่เกิดปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อเติมซิงค์ออกไซด์ลงไปทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลดิบนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการทดลองจะยังคงอยู่ในรูปของซิงค์ออกไซด์ โดยทำการตรวจสอบเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตรมิเตอร์ (XRD) ซึ่งผลจากการตรวจสอบผลิตภัณฑ์พบว่ามีไม่มีพีคขึ้นที่ตำแหน่งของซิงค์กลีเซอโรเลตเลย แต่จะพบพีคขึ้นที่ตำแหน่งของซิงค์ออกไซด์ ดังนั้นจึงไม่สามารถหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยจากการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต

และเมื่อพิจารณาการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตโดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลบริสุทธิ์ กลีเซอรอลดิบปรับพีเอช และกลีเซอรอลดิบไม่ปรับพีเอช พบว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าสูงถึง 97.77% สำหรับเปอร์เซ็นต์ผลผลิตจากกลีเซอรอลดิบที่ปรับพีเอชเป็น5.5 และกลีเซอรอลดิบที่ไม่ปรับพีเอช ไม่สามารถหาได้เนื่องจากการเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไปตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตรมิเตอร์ (XRD) พบว่ามีพีคขึ้นที่ตำแหน่งของซิงค์ออกไซด์ ส่วนที่ตำแหน่งของซิงค์กลีเซอโรเลตไม่พบพีคของผลิตภัณฑ์ขึ้น ดังนั้นจึงไม่สามารถหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตได้จากกลีเซอรอลดิบปรับพีเอช 5.5 และจากกลีเซอรอลดิบไม่ปรับพีเอช

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ผลผลิตระหว่างการใช้ซิงค์ออกไซด์กับนาโนซิงค์ออกไซด์จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จากการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าสูงกว่าการใช้ซิงค์ออกไซด์เพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟเปรียบเทียบ ซิงค์กลีเซอโรเลต ที่เตรียมจากซิงค์ออกไซด์และนาโนซิงค์ออกไซด์



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้จากซิงค์ออกไซด์กับนาโนซิงค์ออกไซด์

ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นว่าในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตควรเตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์ เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยมากที่สุด และหากในอนาคตมีการเพิ่มกำลังการผลิตไบโอดีเซลสูงขึ้น ปริมาณของกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่เกิดจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลก็เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นจึงควรมีการเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยการทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆต่อไป เช่น การนำไปเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต

4.4 การทดสอบสมบัติของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากอัตราส่วนโมลกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์เป็น 9:1 ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที

- **ทางกายภาพ**

ในการทดสอบสมบัติของซิงค์กลีเซอโรเลตทางกายภาพนั้นได้ทำการทดสอบสมบัติการหาจุดหลอมเหลวด้วยเครื่อง Melting Point ยี่ห้อ A007286 บริษัท SANYO Gallenkamp PLC, การทดสอบการละลายของซิงค์กลีเซอโรเลตด้วยตัวทำละลายสารอินทรีย์ สารละลายกรดและด่าง การทดสอบการกระจายตัวของซิงค์กลีเซอโรเลตในน้ำโดยใช้ Xanthan Gum เป็นสารช่วยการกระจายตัวในน้ำ นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบของแข็งระเหยได้เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยได้และเปอร์เซ็นต์ของแข็งคงตัวในซิงค์กลีเซอโรเลต

จากการทดสอบสมบัติของซิงค์กลีเซอโรเลตโดยการหาจุดหลอมเหลวด้วยเครื่อง Melting Point ยี่ห้อ A007286 บริษัท SANYO Gallenkamp PLC ซึ่งขีดจำกัดของเครื่องMelting Point นี้จะสามารถให้ความร้อนสูงสุดได้ที่อุณหภูมิ 400°C และจากการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงถึง 400 °C ซิงค์กลีเซอโรเลตไม่เกิดการหลอมเหลว ดังนั้นจากผลการทดลองจึงสามารถหาได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิงค์กลีเซอโรเลตมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า400°C ซึ่งหากต้องการหาจุดหลอมเหลวของซิงค์กลีเซอโรเลตที่แท้จริงนั้นควรนำไปวิเคราะห์ต่อด้วยวิธี TGA เพื่อหาช่วงของการหลอมเหลวของซิงค์กลีเซอโรเลตต่อไป

ตารางที่ 4.1 การหาจุดหลอมเหลวของซิงค์กลีเซอโรเลต

ครั้งที่	น้ำหนักซิงค์กลีเซอโรเลต (g)	อุณหภูมิ (°C)	ผลการทดลอง
1	0.0010	30-400	ไม่เกิดการหลอมเหลว
2	0.0012	30-400	ไม่เกิดการหลอมเหลว
3	0.0012	30-400	ไม่เกิดการหลอมเหลว

สำหรับการทดสอบสมบัติการละลายของซิงค์กลีเซอโรเลต พบว่ากรดซัลฟูริก เข้มข้น 1 โมลาร์ สามารถละลายซิงค์กลีเซอโรเลตเกิดเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันได้ แต่ในสารละลายด่างและตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ซิงค์กลีเซอโรเลตจะไม่สามารถละลายเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันได้ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การทดสอบการละลายของซิงค์กลีเซอโรเลต

ลำดับที่	ประเภท	ตัวทำละลาย	การสังเกตด้วยตาเปล่า
1	Acid	Sulfuric acid	ละลาย
2	Base	Sodium hydroxide	ไม่ละลาย
3	Polar Solvents	Water	ไม่ละลาย
4		Ethanol	ไม่ละลาย
5		Tert-Butanol	ไม่ละลาย มีสีขาวขุ่น
6		Amyl acetate	ไม่ละลาย
7		Diethyamine	ไม่ละลาย แยกชั้น
8	Non Polar Solvents	Hexane	ไม่ละลาย
9		Acetone	ไม่ละลาย
10		N,N-Dimethylaniline	ไม่ละลาย มีสีเหลือง
11		Methyl ethyl ketone	ไม่ละลาย
12		Pyridine	ไม่ละลาย
13		Dichoromethane	ไม่ละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) การทดสอบการละลายของซิงค์กลีเซอโรเลต

ลำดับที่	ประเภท	ตัวทำละลาย	การสังเกตด้วยตาเปล่า
14	Non Polar Solvents	Dichoromethane	ไม่ละลาย
15		Benzenesulfonyl choride	ไม่ละลาย ตะกอนแยกชั้น
16		Cyclohexannone	ตะกอนแยกชั้นสีเหลืองอ่อน
17		Cyclohexanol	ตะกอนแยกชั้น มีสีขาวขุ่น
18		Tert-Butychorid	ไม่ละลาย
19		Triethanolamine	ไม่ละลาย

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบการกระจายตัวในน้ำของซิงค์กลีเซอโรเลต โดยใช้ Xanthan Gum 1 กรัม เป็นสารช่วยการกระจายตัวในน้ำ 400 มิลลิลิตร ซึ่ง Xanthan Gum มีสมบัติละลายได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง ทนต่อการย่อย ด้วยเอนไซม์ มีความคงตัวสูงต่อความร้อนและ pH ความหนืดของสารละลาย Xanthan Gum จะคงที่ถึงแม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงในช่วง 0-100 °C หรือ pH จะเปลี่ยนแปลงในช่วง 1-13 นอกจากนี้ Xanthan Gum ใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืดเพิ่มความคงตัวและทำให้อนุภาคแขวนลอยได้ดี Pseudoplastic ซึ่งมีความสำคัญต่อกลิ่น ลักษณะปรากฏและความรู้สึก เมื่ออาหารอยู่ในปาก (mouth feel)

ซึ่งจากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นสูงสุดที่ซิงค์กลีเซอโรเลตสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี คือ 0.0008 mol/L และถ้าความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลตน้อยกว่า 0.0008 mol/L ก็จะยิ่งกระจายตัวในน้ำได้ดีดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การทดสอบการกระจายตัวของซิงค์กลีเซอโรเลต

ครั้งที่	น้ำหนักซิงค์กลีเซอโรเลต (g)	ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลต (mol/L)	การสังเกตด้วยตาเปล่า
1	1.0420	0.0027	ตกตะกอน
2	0.5039	0.0013	ตกตะกอน
3	0.4151	0.0011	ตกตะกอน
4	0.3005	0.0008	กระจายตัว
5	0.2013	0.0005	กระจายตัว
6	0.1048	0.0003	กระจายตัว

จากการวิเคราะห์ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวพบว่าซิงค์กลีเซอโรเลตมีเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยได้ เฉลี่ย (n=3) มีค่าเท่ากับ 19.99 % และเปอร์เซ็นต์ของสารคงตัวเฉลี่ย 80.01% ซึ่งจะเห็นว่าซิงค์กลีเซอโรเลตแปรอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์สารคงตัวสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยได้ ดังตารางที่ 4.4

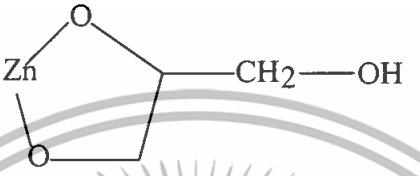
ตารางที่ 4.4 การทดสอบของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัว

ครั้งที่	นน.ครูซิเบิล (g)	นน.สาร (g)	นน .ครูซิเบิล และ นน.สาร (g)		เปอร์เซ็นต์สารที่ระเหยได้	เปอร์เซ็นต์สารคงตัว
			นน.ก่อน	นน.หลัง		
1	31.9154	1.0087	32.9241	32.7216	20.08	79.92
2	31.8259	1.0078	32.8337	32.6388	19.34	80.66
3	31.6258	1.0027	32.6285	32.4223	20.56	79.44
Average					19.99	80.01
SD.					0.62	0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ทางเคมี**

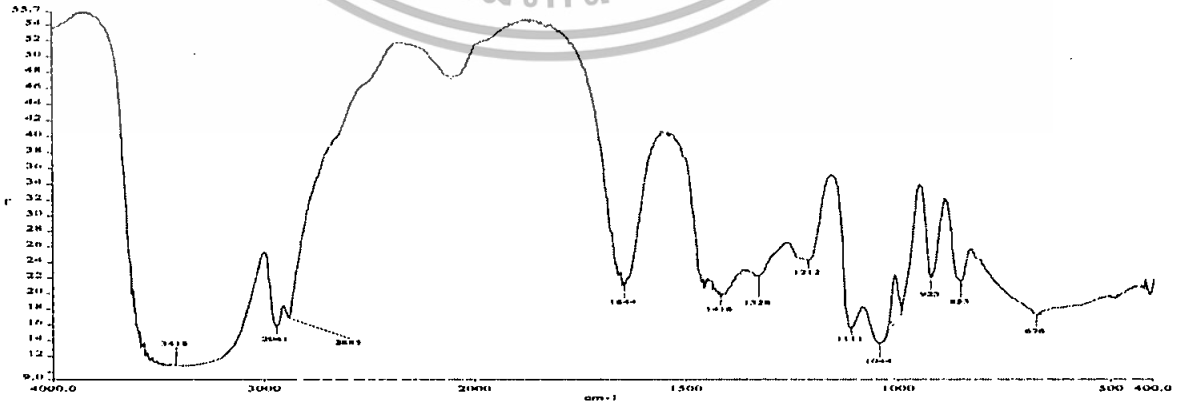
การทดสอบสมบัติทางเคมีของซิงค์กลีเซอโรเลตจะทำการทดสอบด้วยวิธีวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (IR) วิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (XRD) และวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตด้วยเครื่องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) ซึ่งจากการสืบค้น CD-ROM พบโครงสร้างของซิงค์กลีเซอโรเลตมีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 สูตรโครงสร้างของซิงค์กลีเซอโรเลต

การตรวจสอบเอกลักษณ์ของซิงค์กลีเซอโรเลตด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared spectroscopy, IR) เพื่อทำการทดสอบว่าในสารตัวอย่างมีหมู่ฟังก์ชันของซิงค์กลีเซอโรเลตโดยจากการตรวจสอบพบว่าซิงค์กลีเซอโรเลตมีการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (IR) ที่ตำแหน่งหมู่ O-H (<3200, 1640 cm^{-1}) หมู่ C-H (2933, 2880, 1460 cm^{-1}) และหมู่ C-O (1235, 1050 cm^{-1}) ทำให้มั่นใจได้ว่าสารที่เตรียมได้มีหมู่ฟังก์ชันของซิงค์กลีเซอโรเลตและไม่มีการปนเปื้อนจากกลีเซอรอล เนื่องจากซิงค์กลีเซอโรเลตจะถูกล้างด้วยน้ำ เอทานอล และอะซิโตน ก่อนนำไปตรวจสอบด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ซึ่งกลีเซอรอลจะถูกล้างออกจากซิงค์กลีเซอโรเลตได้หมด เนื่องจากสมบัติการละลายของกลีเซอรอลที่สามารถละลายได้ในน้ำ เอทานอลและ อะซิโตน ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 4.5 และตัวอย่างสเปกตรัม IR ของซิงค์กลีเซอโรเลตดังรูปที่ 4.5

- ตัวอย่างสเปกตรัม IR ของซิงค์กลีเซอโรเลต



รูปที่ 4.5 สเปกตรัม IR ของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (IR)

	หมู่ฟังก์ชัน		
	O-H <3200,1640 cm^{-1}	**C-H** 2933, 2880, 1460 cm^{-1}	**C-O** 1235, 1050 cm^{-1}
อัตราส่วน			
3:1	✓	✓	✓
5:1	✓	✓	✓
7:1	✓	✓	✓
8:1	✓	✓	✓
9:1	✓	✓	✓
11:1	✓	✓	✓
ความเร็วรอบ			
1300	✓	✓	✓
1400	✓	✓	✓
1500	✓	✓	✓
1600	✓	✓	✓
1700	✓	✓	✓
ตามReginald M.Taylor.			
ซิงค์ออกไซด์			
กลีเซอรอลบริสุทธิ์	✓	✓	✓
กลีเซอรอลดิบ (ปรับพีเอช)	-	-	-
กลีเซอรอลดิบ (ไม่ปรับพีเอช)	-	-	-
นาโนซิงค์ออกไซด์			
กลีเซอรอลบริสุทธิ์	✓	✓	✓
กลีเซอรอลดิบ (ปรับพีเอช)	-	-	-
กลีเซอรอลดิบ (ไม่ปรับพีเอช)	-	-	-

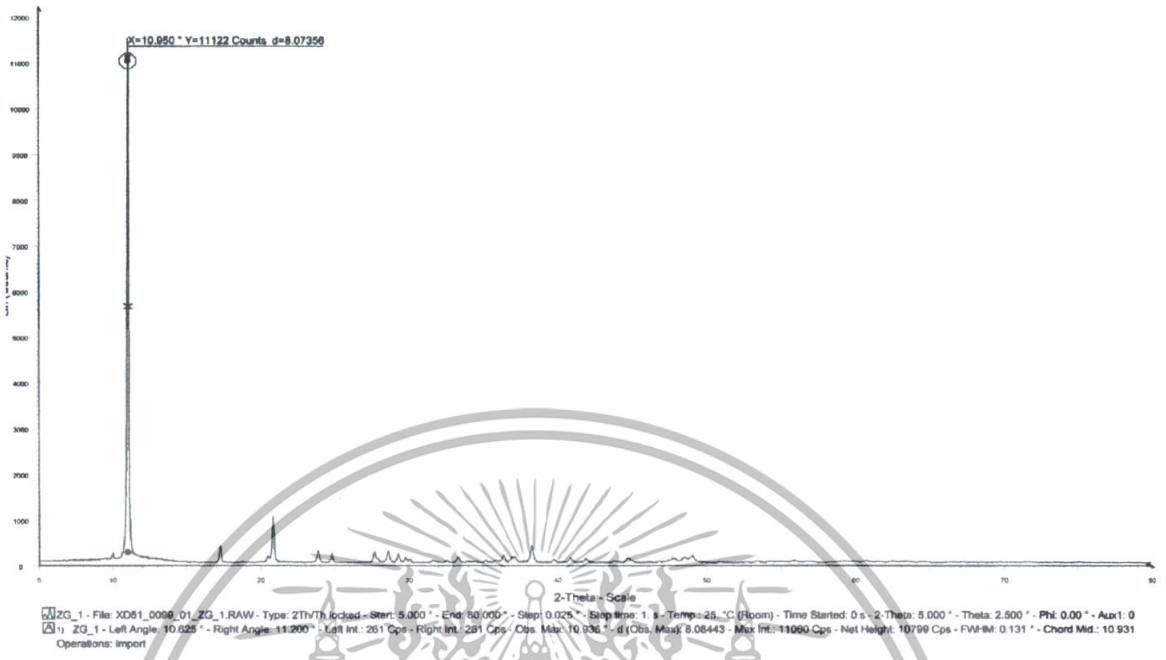
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากการตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์ จะมีการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.5 ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากกลีเซอรอลดิบปรับพีเอช 5.5 และจากกลีเซอรอลดิบไม่ปรับพีเอช จะไม่พบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังตารางที่4.5

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิงค์กลีเซอโรเลตโดยวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (XRD) ซึ่งโครงสร้างที่วิเคราะห์โดยผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ จะเห็นว่าพบโครงสร้างของซิงค์กลีเซอโรเลตในสารตัวอย่าง โดยมีพีคของสารตัวอย่างขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ = 10.9°, 17.1°, 20.7°, 23.8°, 24.7°, 27.6°, 28.5°, 29.5°, 36.3°, 37.0°, 47.6° และ 48.4° (Rodoula , EpameinondasและFrank, 2006) ซึ่งยืนยันได้ว่าในสารตัวอย่างพบโครงสร้างของซิงค์กลีเซอโรเลต ซึ่งในรูปที่ 4.6 คือพีคของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับซิงค์ออกไซด์ และ ซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นดังรูปที่ 4.7

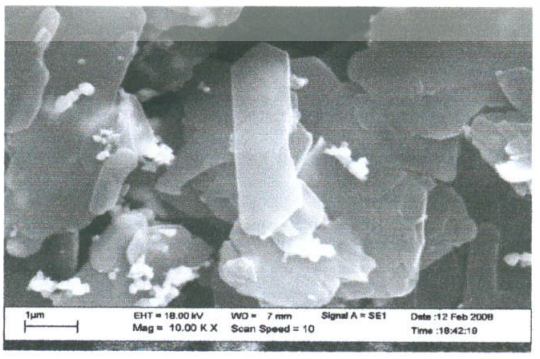
รูปที่ 4.6 สเปกตรัม XRD ของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



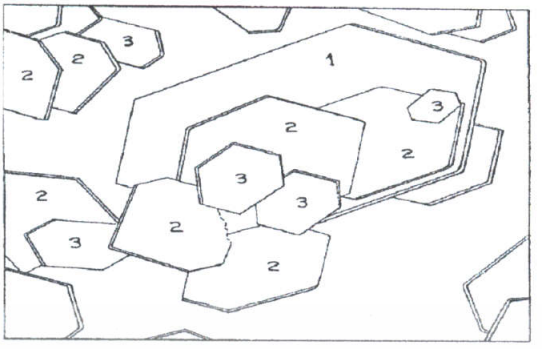
รูปที่ 4.7 สเปกตรัม XRD ของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับนาโนซิงค์ออกไซด์

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิงค์กลีเซอโรเลตด้วยเครื่องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning electron microscope, SEM) ซึ่งจะใช้ซิงค์กลีเซอโรเลตที่ได้จากการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของReginald M. Taylor (1989) ที่ใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์กับซิงค์ออกไซด์และซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซรอลบริสุทธิ์กับนาโนซิงค์ออกไซด์ ทำการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลต ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่าขนาดของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับซิงค์ออกไซด์ มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 1 ถึง10 ไมโครเมตร ที่กำลังขยาย 10 เท่าและมีรูปร่างเป็น Hexagonol ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับรูปร่างของซิงค์กลีเซอโรเลตของ Reginald M. Taylor (1989) ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 อนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 อนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตจากงานวิจัยของ Reginald M. Taylor (1989)

เมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่ามีขนาดอนุภาคเท่ากับ 100 ถึง 300 นาโนเมตรที่กำลังขยาย 10 เท่า และมีรูปร่างเป็น Hexagonol ดังรูปที่ 4.10 และมีลักษณะสอดคล้องกับรูปร่างของซิงค์กลีเซอโรเลตของ Reginald M. Taylor (1989) ดังรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.10 ขนาดอนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์กับนาโนซิงค์ออกไซด์

เมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์ทำปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์ ซึ่งมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1-10 ไมโครเมตร เปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตจากงานวิจัยของ Matkin และคณะ (1995) ซึ่งมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 10- 100 ไมโครเมตร จะเห็นว่าซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์ทำปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์จะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าซิงค์กลีเซอโรเลตจากงานวิจัยของ Matkin และคณะ (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ทางชีวภาพ**

จากการทดสอบทางชีวภาพ ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลตที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่พบอยู่บนผิวหนังโดยแบ่งเชื้อแบคทีเรียเป็น 2 ชนิด คือ แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคทางผิวหนัง ได้แก่เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และอีกชนิดหนึ่งคือ แบคทีเรียที่ไม่ก่อให้เกิดโรคทางผิวหนัง ได้แก่เชื้อแบคทีเรีย *Micrococcus luteus* และเชื้อแบคทีเรีย *Serratia. marcescens* โดยใช้ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลตที่ต่างกันคือ 0, 10^{-3}, 10^{-5} และ 10^{-7} mol/L ที่ความเข้มข้น 0 mol/L จะเป็นชุดควบคุมของการทดลอง ซึ่งใช้น้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วนำมาใช้เป็นชุดควบคุมของการทดลอง

จากการทดสอบสมบัติทางชีวภาพของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์ทำปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์ที่อัตราส่วนโมล 9:1 ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที พบว่าซิงค์กลีเซอโรเลตสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *Micrococcus luteus* ที่ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลต 10^{-3} mol/L ดังรูปที่ 4.11 (A) ซึ่งถ้าความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลตต่ำกว่า 10^{-3} mol/L จะไม่เกิดการยับยั้งเชื้อ *Micrococcus luteus* ส่วนการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Serratia. marcescens* ที่ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลตต่ำสุดที่ใช้คือ 10^{-7} mol/L ก็สามารถทำให้เกิดการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Serratia. marcescens* ได้ ดังรูปที่ 4.11(B) และ (C) ตามลำดับ

(A) (B) (C)

รูปที่ 4.11 ผลการยับยั้งการเจริญเติบโตเชื้อแบคทีเรียของซิงค์กลีเซอโรเลต

(A) *Micrococcus luteus*, (B) *Serratia. Marcescens*, (C) *Staphylococcus aureus*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต ในระดับปฏิบัติการ (Lab scale) โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ อัตราส่วนโมล ความเร็วรอบในการปั่นกวน และประเภทของสารเคมีที่ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตควรใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ ทำปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์ที่อัตราส่วนโมลเป็น 9:1 และที่ความเร็วรอบในการปั่นกวน 1500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 260 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยจะให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยสูงถึง 97.65% (n=3) ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต แม้ว่าจะมีการเพิ่มอัตราส่วนโมลและความเร็วรอบ แต่เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จะไม่แตกต่างกัน และในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตจากกลีเซอรอลดิบปรับพีเอช 5.5 และจากกลีเซอรอลดิบไม่ปรับพีเอช ไม่สามารถหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยได้เนื่องจากผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตรมิเตอร์ (XRD) และเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (IR) ไม่พบสเปกตรัมของซิงค์กลีเซอโรเลต นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตโดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลบริสุทธิ์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยสูงถึง 97.77% (n=3) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จากการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตโดยใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ทำปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์ จะไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมได้จากซิงค์ออกไซด์จะมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 ไมโครเมตร และซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากนาโนซิงค์ออกไซด์ มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 100 ถึง 300 นาโนเมตร

จากการศึกษาสมบัติของซิงค์กลีเซอโรเลตที่เตรียมจากอัตราส่วนโมลกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์เป็น 9:1 ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 260 ° C พบว่าซิงค์กลีเซอโรเลตมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 400°C ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์แต่สามารถละลายได้ดีในกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1 โมลาร์และจากผลการทดสอบการกระจายตัวของซิงค์กลีเซอโรเลตใน Xanthan Gum 1 กรัมในน้ำ 400 มิลลิลิตร พบว่าที่ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอเลต 0.0008 mol/L เป็นความเข้มข้นสูงสุดที่ซิงค์กลีเซอโรเลตสามารถกระจายตัวในน้ำได้ นอกจากนี้ผลการทดสอบของแข็งระเหยได้ของ ซิงค์กลีเซอโรเลต พบว่าซิงค์กลีเซอโรเลตมีเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยได้เฉลี่ยเท่ากับมีค่าเท่ากับ 19.99 % และเปอร์เซ็นต์ของสารคงตัวเฉลี่ย 80.01% ซึ่งจะเห็นว่าซิงค์กลีเซอโรเลตจะอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปของสารอนินทรีย์มากกว่าสารอินทรีย์ เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์ของสารคงตัวสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งระเหยได้ สำหรับการทดสอบความไวต่อเชื้อแบคทีเรียของซิงค์กลีเซอโรเลตจะเห็นได้ว่าซิงค์กลีเซอโรเลตสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิด *Micrococcus luteus.* ที่ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลต 10^{-3} mol/L และยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Serratia Marcescens*.ได้ดีแม้จะใช้ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลตต่ำถึง10^{-7} mol/L

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. ในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตนั้นต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่กำหนดคือที่อุณหภูมิ 260 ° C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5.2.2. จากการทดสอบความเป็นพิษของซิงค์กลีเซอโรเลตด้วยแบคทีเรียชนิดที่มีความเป็นพิษต่อผิวหนังและชนิดที่ไม่เป็นพิษต่อผิวหนัง ดังนั้นควรจะศึกษากับเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติม

5.2.3. การเลี้ยงเชื้อควรใช้แบบ streak plate และ pour plate เพื่อยืนยันความเป็นพิษต่อเชื้อแบคทีเรียให้เด่นชัดยิ่งขึ้น

5.2.4. ในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตนั้น ควรมีการทดสอบสารละลายที่ผ่านการล้างซิงค์กลีเซอโรเลตด้วย ตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีซิงค์ออกไซด์ในซิงค์กลีเซอโรเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Adhikari, S., Fernando, S., Gwaltney, S.R. and Filip, S.D., To. " A thermodynamic analysis of hydrogen production by steam reforming of glycerol" Journal of Hydrogen Energy, vol. 32 (2007) pp.2875-2880.

Ary, M., Bos,Pearcedale (AU) ,"Zinc Glycerolate composition and method for manufacture thereof" Patent Application Publication ,2005.

Ashworth, M.R.F., "Analytical method for glycerol" Organische und Instrumentelle Analytik Universitat des Saarlandes 66 Saarbrucken,Germany.2003.

Claude, Sylvain (paris, FR) ,Mouloungui ,Zephirin (Toulouse,FR) ,Y.Jeong-Woo (Toulouse, FR) and G. Antioine (Toulouse, FR) "Method for prepareing glycerol carbonate" Patent Application Publication ,1999.

E.Mendelovici ,A.Sagarzazu and R. Villalba "Comparative thermal transformations of synthetic Fe-Mn glycerate (alkoxides)" Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,(1993) pp.1115-1122.

Fairle, D.P., Whitehouse, M.W., and Taylor, R.M. "Zinc monoglycerolate-A slow-release source of therapeutic zinc:Solubilization by endogenous ligands" Journal of Inflammation Research ,vol.36(2005) pp.152-158.

GADD, K F (1981). Complexes of copper (II) with polyhydric alcohols.*Educ. Chem., 18(6)*: 176-178. Paraffin[Online]. From http://www.Wikipedia.com.25/2/2007.

Matkin, David A. (Maidenhead,(GB) , Renshaw, Dennis C.(Manchester,GB) and Harrison, Anthony R.(Shevington,GB) "Zinc glycerolate manufacture" Patent Application Publication1997.

Micrococcus luteus.[online]. From http://www.Wikipedia.com.25/2/2007

Moleski, R., Leonitidis, E. and Krumeich, F. "Controlled production of ZnO nanoparticles from Zinc glycerolate in a sol-gel silica matrix" Journal of Colloid and Interface Science, vol.302 (2006) pp.246-253.

N.Zeynep Atay and B.H.Robison "Kinetic studies of metal Ion Complexation in Glycerol-in-Oil Microemulsions" Journal of Chemical Society ,(2007).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rawlings, K.,"Glycerin Contaminated with Diethylene Glycol (DEG) Remains a Potential Health Hazard to consumer" FDA News Releases,2007.

Reginald M.Taylor, B. Alan J. "Pharmacueutical zinc glycerolate complex prepare by reacting zinc oxide and glycerol" Patent Application Publication ,1989.

S.Yanniotis ,G.Kotseridis ,A.Orfanidou and A. Petraki. "Effect of ethanol, dry extract and glycerol on the viscosity of wine" Journal of Food Engineering ,vol.81(2007) pp.399-403.

Schroder, A., Sudekum, K.H. " Glycerol as a by-product of biodiesel production in Diets for ruminants" Institute of Animal Nutrition, Physiology and Metabolism,University of Kiel, 24098 Kiel, Germany.2003.

Serratia marcescens.[online]. From http://www.Wikipedia.com.25/2/2007.

Staphylococcus aureus.[online]. From http://www.Wikipedia.com.25/2/2007

Sugimoto, E. , Kitagawa, Y. , Nakanishi, and Chiba, K. "Purification and Properties of Beef Liver D-Glycerate Dehydrogenase" Journal of Biochemistry ,vol.72(1972) pp.1307-1315.

Talor, R.M., "Microfine zinc-glycerol complex" Patent Application Publication ,2003.

Yong, K.C. ,OOI ,TL ,Dzulkefly , Wannyunus, K. ,WMZ and Hazimah, A.H. "Characterization of glycerol residue from a plam kernel oil methyl ester plant" Journal of Oil Plam Research, vol 13(2001) pp.1-6.

การละลาย.**[online].**เข้าถึงได้จาก:http://www.google.com.2551.

ของแข็งที่ระเหยได้.**[online].** เข้าถึงได้จาก:http://www.google.com.2551

ความไวของเชื้อต่อแบคทีเรียต่อซิงค์กลีเซอโรเลต(Antibiotic sensitivity of bacteria).[online].**เข้าถึง**ได้จาก:http://www.google.com.2551

จุดหลอมเหลว.**[online].**เข้าถึงได้จาก:http://www.google.com.2551

เพลินพิศ หานนท์และคณะ "การประยุกต์ใช้วุ้นตามท้องตลาดเตรียมเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อในการเรียนการสอนปฏิบัติการจุลชีววิทยา".**[online].**เข้าถึงได้จาก:http://www.smj.ejnal.com/e-journal/showdetail/?show_detail=T&art_id=1281

สุภาพรณ์ เพิ่มพูนศิริและคณะ."การใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Lipovitellin Mannitol Salt Agar Supplemented with Oxacillin ตรวจหาเชื้อ Methicillin Resistant Staphylococcus aureus Salt Agar supplemented with Oxacillin for Direct Detection Clinical specimens" **[online].**เข้าถึงได้จาก: ://www.google.com.2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ก.1 ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล

ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล คือ กลีเซอรีน (Glycerine) บริสุทธิ์ชั้นคุณภาพยา (Pharmaceutical grade) ซึ่งเป็นกลีเซอรีนที่มีคุณภาพดีที่สุด สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมยา อาหาร เครื่องสำอาง วัตถุระเบิด เป็นต้น

ก.2 ความต้องการและการสนองกลีเซอรีนของไทย

จากการคำนวณพบว่าโรงงานผลิตไบโอดีเซลขนาด100 ตันต่อวันจะสามารถผลิตกลีเซอรีนได้ถึง 2,970 ตันต่อปี หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้

ตาราง ก.1 ข้อมูลการนำเข้า-ส่งออกกลีเซอรีนของประเทศไทย (กรมศุลกากร)

ปี พ.ศ.	มูลค่าการนำเข้า (พันบาท)	มูลค่าการส่งออก (พันบาท)
2544	40428	11026
2545	7632	17793
2546	6356	13582
2547	4023	14013
2548	1317	2493

ที่มา : กรมศุลกากร

จากข้อมูลที่รวบรวมได้จะเห็นว่าตั้งแต่ปี 2545 เป็นต้นมา มูลค่าการส่งออกกลีเซอรีนของประเทศไทยสูงกว่ามูลค่าการนำเข้ามาโดยตลอด หมายความว่า ประเทศไทยสามารถผลิตกลีเซอรีนได้มากกว่าปริมาณความต้องการใช้ ดังนั้นแนวโน้มของราคาขายกลีเซอรีนในประเทศไทยน่าจะลดต่ำลง และจะยิ่งตกต่ำลงไปอีกหากมีการตั้งโรงงานผลิตไบโอดีเซล เพราะกลีเซอรีนถือเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล

ก.3 ราคาขายกลีเซอรีน (Pharmaceutical Grade)

ราคาขายของกลีเซอรอลชั้นคุณภาพยา เท่ากับ 10-20 บาทต่อกิโลกรัม เดิมนั้นกลีเซอรีนเป็นสารเคมีที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงมาก เนื่องจากผลิตขึ้นจากโรงงานที่สร้างโดยเฉพาะ แต่ในปัจจุบันมีโรงงานผลิตไบโอดีเซลเกิดขึ้นมากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปยุโรปประกอบกับกลีเซอรีนถือเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล จึงส่งผลให้ราคากลีเซอรีนในตลาดโลกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดต่ำลงอย่างรวดเร็วในช่วงปีที่ผ่านมา จึงคาดการณ์ว่าราคากลีเซอรีนจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในอนาคต

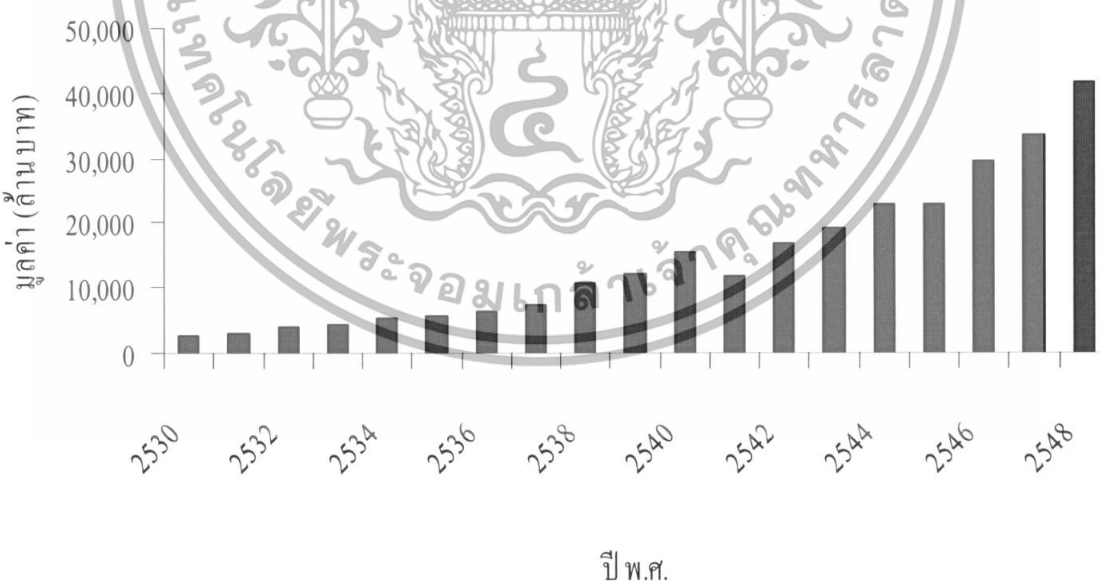
ตาราง ก.2 ราคาขายกลีเซอรีน

	ปี 2550-2552	ปี 2553 - 2555	ปี 2556 - …
ราคากลีเซอรีน (บาทต่อกิโลกรัม)	20.0	15.0	10.0

ที่มา : กรมศุลกากร

ก.4 ข้อมูลการนำเข้าผลิตภัณฑ์ยาของประเทศไทย

การนำเข้าผลิตภัณฑ์ยาของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 – ปี พ.ศ. 2548 แสดงดังรูป ก.2 และตาราง ก.3



ที่มา : กองควบคุมยา กระทรวงสาธารณสุข

รูป ก.2 มูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์ยาของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 มูลค่าการผลิตและการนำสั่งยาเข้ามาราชอาณาจักร ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2530 – 2548

ปี พ.ศ.	การผลิตยาแผนปัจจุบัน (ล้านบาท)			การนำเข้ายาแผนปัจจุบัน (ล้านบาท)		
	สำหรับมนุษย์	สำหรับสัตว์	รวม	สำหรับมนุษย์	สำหรับสัตว์	รวม
2530	5,145.75	309.15	5,454.90	2,325.43	478.11	2,803.54
2531	6,708.85	181.27	6,890.12	2,570.98	592.6	3,163.58
2532	8,372.85	223.99	8,596.84	3,307.60	624.82	3,932.42
2533	8,886.02	290.5	9,176.52	3,449.08	870.18	4,319.26
2534	9,657.54	325.68	9,983.22	4,216.41	1,033.89	5,250.30
2535	10,696.54	385.05	11,081.59	4,682.61	1,114.14	5,796.75
2536	11,831.03	275.66	12,106.69	5,075.31	1,145.35	6,220.66
2537	12,969.68	284.35	13,254.03	6,086.63	1,211.63	7,298.26
2538	15,820.87	461.74	16,282.61	9,276.47	1,487.20	10,763.67
2539	18,174.43	472.571	18,647.00	10,435.34	1,628.28	12,063.62
2540	19,591.55	477.727	20,069.28	13,375.57	2,115.67	15,491.23
2541	16,726.12	352.168	17,078.29	9,739.08	2,100.57	11,839.65
2542	19,033.94	686.719	19,720.66	14,232.33	2,486.88	16,719.21
2543	20,995.92	682.521	21,678.44	16,700.35	2,517.25	19,217.60
2544	23,087.90	829.609	23,917.51	19,967.64	2,722.03	22,689.66
2545	24,144.56	542.229	24,686.79	19,867.94	2,901.87	22,769.82
2546	26,586.12	977.219	27,563.33	26,024.87	3,563.26	29,588.13
2547	31,707.65	931.882	32,639.53	30,545.54	3,101.56	33,647.10
2548	29,704.78	1,425.85	31,130.64	38,293.37	3,337.48	41,630.85

ที่มา : กองควบคุมยา กระทรวงสาธารณสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข.1 เครื่องมือวิเคราะห์

ข.1.1 การวัดพีเอชของสารละลายด้วยเครื่องวัดพีเอช

การวัดค่าพีเอชของสารละลายหรือน้ำวัดได้ทั้งวิธี colorimetric และ electronic (ใช้เครื่องวัด พีเอช) ในที่นี้ขอกล่าวถึงการวัดค่าพีเอชด้วยวิธี electronic เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมกันในปัจจุบันและเป็นวิธีที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง

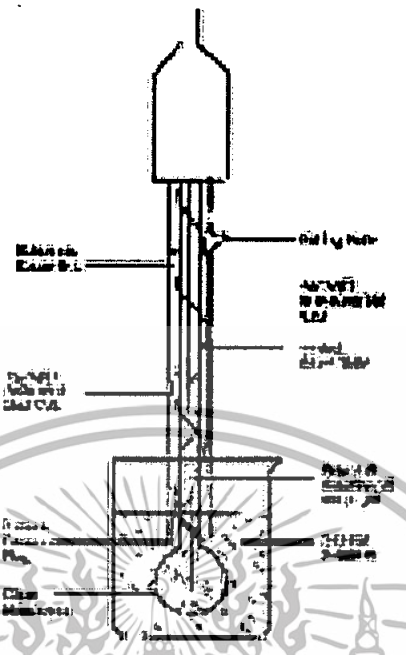
เครื่องวัดพีเอชอาศัยหลักการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (electrical potential) ที่เกิดขึ้นระหว่าง indicator electrode และ reference electrode ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลาย แล้วเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เป็นค่าพีเอชโดยการเทียบค่ากับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน (ชูชาติ, 2539) แต่เนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ซึ่งเป็นผลให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เครื่องวัดพีเอชจึงต้องมีการชดเชยค่าของการวัดอันเนื่องจากอุณหภูมิ โดยใช้หัววัดวัดอุณหภูมิของตัวอย่างขณะทำการวัดแล้วปรับเปลี่ยนเป็นค่าพีเอช ณ ขณะนั้น

(จิรพร, 2543)

ข.1.1.1 ส่วนประกอบเครื่องวัดพีเอช

- ตัวเครื่อง เป็นส่วนที่ใช้ในการวัดสัญญาณไฟฟ้า และแปลงหน่วยของความต่างศักย์จากมิลลิโวลต์ (mV) เป็นหน่วยพีเอช โดยอ้างอิงจากสมการทางไฟฟ้าเคมี แล้วแสดงผลที่ได้ทางจอภาพหรือเครื่องพิมพ์
- หัววัดค่าพีเอช (electrode) หัววัดค่าพีเอชเป็นหัวใจหลักของการวัด ปัจจุบันนิยมใช้ combination electrode คือมีทั้ง glass electrode และ reference electrode รวมอยู่ในอันเดียวกัน (รูปที่ ง.1) บริเวณปลายกระเปาะเป็นส่วนของ glass electrode ที่มีผิวเยื่อแก้วลักษณะเป็นเจลหนาประมาณ 10 มิลลิเมตร เป็นบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนอิออนระหว่างโซเดียมอิออนในเยื่อแก้วกับไฮโดรเจนอิออนในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.1 องค์ประกอบของ combination electrode

(Falconer; 2533)

ข.1.2 X-ray diffraction (XRD) (พรรณทิพย์, 2547)

ข.1.2.1 หลักการพื้นฐาน

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD นั้นจะใช้สมบัติการเลี้ยวเบนรังสีของโครงสร้างผลึก ซึ่งเป็นไปตามสมการของ Bragg

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

โดยที่ n = 1, 2, 3,...,λ คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์,

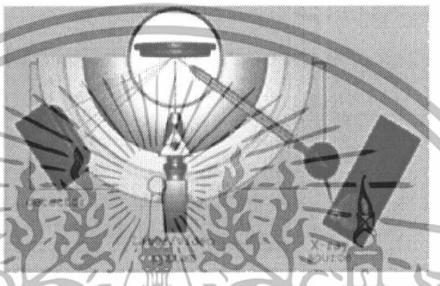
d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก และ q คือ มุมตกกระทบของรังสีเอ็กซ์กับระนาบผลึก

ในขั้นตอนแรกนั้นต้องทำการปลูกผลึกที่สนใจแล้วนำผลึกที่ได้ไปแช่ไนโตรเจนเหลว ผลึกที่แช่แข็งนี้จะไปลด radiation damage ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูลและลดการเคลื่อนไหวของอุณหภูมิภายในผลึก ผลึกจะถูกวางในเครื่อง diffractometer แล้วฉายด้วยรังสีเอ็กซ์ รังสีที่เกิดการเลี้ยวเบนจะถูกบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มหรือคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถูกรวบรวมแล้วนำมาสร้างเป็นแผนผังของความหนาแน่นอิเล็กตรอนของโมเลกุล หลังจากนั้นอะตอมจะถูกปรับค่า ตัวแปรต่าง ๆ เช่น ตำแหน่งเทียบกับผังความหนาแน่นเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ค่าความเข้มที่มุมต่าง ๆ จะถูกนำมาพล็อตจนได้กราฟที่เรียกว่า diffractogram ซึ่งแต่ละพีคที่เกิดขึ้นจะเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด

ด้วยหลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ทำให้เราได้ทราบถึงข้อมูลของวัสดุที่ต้องการศึกษาทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงกลอย่างมากมาย



รูป ข.2 แผนภาพแสดงการทำงาน ของ XRD

ข.1.2.2 เทคนิค

เทคนิคที่ใช้หลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์นี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 เทคนิค ได้แก่

1. Single-Crystal Methods

โดยหลักแล้วเทคนิคนี้ใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างอะตอม (ความสมมาตร ตำแหน่งช่องว่าง เป็นต้น) ซึ่งวิธีการดั้งเดิมนั้น (Laue method) จะใช้ผลึกติดอยู่กับที่และทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ เมื่อฉายลำรังสีให้ตกลงบนผลึกเดี่ยว จะทำการบันทึกผลการเลี้ยวเบนลงบนแผ่น Photographic plate ซึ่งใช้ในการบันทึกค่าความเข้มและตำแหน่งของรังสีที่เกิดการเลี้ยวเบน แต่ในปัจจุบันนั้นจะทำให้ผลึกเกิดการหมุนและอาศัยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีของกล้องก้าวข้ามขีดจำกัดของการตรวจวัดปริมาณของรังสีที่เลี้ยวเบนจากวิธีการดั้งเดิม วิธีการนี้จะใช้รังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวแต่อาศัยการเปลี่ยนมุม q โดยการเคลื่อนที่ของผลึกซึ่งอยู่บนแท่นหมุน แล้วใช้ diffractometer และคอมพิวเตอร์ในการเก็บรวบรวมและจัดการข้อมูล ซึ่งจะให้ผล ที่มีความแม่นยำมากกว่า

2. Powder Methods

เบื้องต้นแล้ววิธีการนี้จะใช้ในการระบุแร่ธาตุ โดยจะใช้บอกองค์ประกอบและตรวจวัดความสัมพันธ์ของธาตุที่มีอยู่ในสารผสม เช่นเดียวกับ Single-Crystal Methods คือ แต่เดิมนั้นจะใช้เทคนิคของการถ่ายภาพในการบันทึกข้อมูลการเลี้ยวเบน แต่ในปัจจุบันจะใช้เครื่องมือที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า X-ray Powder Diffractometer และยังสามารถช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเตรียมตัวอย่างผลึกแล้ว ไม่สามารถใช้วิธีการแรกในการตรวจวัดได้

ข.1.3 (Infrared spectroscopy,IR)

อินฟราเรดและราเมนสเปกโตรสโคปีเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบพิสูจน์และศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสาร ซึ่งอาจอยู่ในสถานะของแข็งหรือของเหลวหรือแก๊สก็ได้ ถึงแม้ว่าสองวิธีนี้จะให้ข้อมูลคล้าย ๆ กัน คือเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับการเกิดการสั่น (vibration) และการหมุน (rotation) ของโมเลกุล จริงๆแล้วทั้งสองเทคนิคนี้มีข้อแตกต่างกันที่กลไกการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสี (radiation) กับโมเลกุลหรือ molecular species เท่านั้น อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เป็นเรื่องที่เกี่ยวกับการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสาร แต่รามานสเปกโทรสโคปีเป็นเรื่องของการชนแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic collision) ระหว่างโฟตอนกับโมเลกุลของสาร พลังงานบางส่วนถูกถ่ายเทไปยังโมเลกุลทำให้เกิดการสั่นและการหมุนของโมเลกุลแล้วเกิดการกระเจิงออกไป

การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับอินฟราเรดนี้ได้ดำเนินมาเป็นเวลานาน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1800 Sir William Herschel ได้ศึกษาเกี่ยวกับ heating effect ในช่วงจ่างๆของสเปกตรัม และพบว่า heating effect มีมากสุดในแถบของสเปกตรัมที่เลยสีแดง (red end) ไปแล้ว และในช่วงศตวรรษที่ 19 ได้เริ่มมีการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมแล้ว ในปีค.ศ. 1910 Coblentz ได้ศึกษาการดูดกลืนแสงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารต่าง ๆ และได้สร้างความสัมพันธ์ของอินฟราเรดสเปกตรัมกับโครงสร้างของสารขึ้น ซึ่งยังใช้อยู่จนกระทั่งปัจจุบันนี้

ในปีค.ศ. 1939-1945 ได้มีการศึกษาและการนำไปใช้ประโยชน์ของอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์ของผสมพวกไฮโดรคาร์บอนและสารในกลุ่มใกล้เคียงกันได้ดี จึงมีผู้วิจัยด้านนี้มากขึ้น ทั้งเครื่องมืออิเล็คโทรนิคและเครื่องที่มีสภาพไวสูงๆ จนกระทั่งสร้างเครื่องมือทั้งชนิดลำแสงเดี่ยวและลำแสงคู่ขึ้นมาใช้ในการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัม เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของสารที่สนใจ จนกลายเป็นงานประจำได้

อินฟราเรดเป็นช่วงหนึ่งของสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมี wave numbers อยู่ในช่วงประมาณ 12800 ถึง 10 cm^{-1} หรือมีช่วงความยาวคลื่นจาก 0.78 ถึง 1000 μm เพื่อให้ง่ายและสะดวกขึ้น จะแบ่งช่วงอินฟราเรดสเปกตรัมออกเป็น 3 ช่วงคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงใกล้อินฟราเรด (near IR region)หรือ overtone region

ซึ่งเป็นช่วงที่อยู่ใกล้กับช่วงวิสิเบิล เกิดจากการรวมกันของ IR ที่อยู่ในช่วงกลาง (นั่นคือ เป็น 2υ , 3υ เป็นต้น) หรือช่วงที่ ต่ำกว่า 2.5 μm และมักจะพบว่า absorption band ที่ได้ค่อนข้างต่ำ (weak) overtone absorption มีประโยชน์ในการวิเคราะห์สารพวก aromatic compounds หรือพวก aromatic substitution

ช่วงกลางอินฟราเรด (middlem IR region) หรือ fundamental region

ยังแบ่งออกได้เป็น

1. group-frequency region เป็นช่วงที่อยู่ระหว่าง 4000-1300 cm^{-1} หรือ 2.5-8 μm ซึ่งสเปกตรัมที่ได้ในส่วนนี้ส่วนใหญ่ได้จากพวก functional group แต่ไม่ให้ complete structure
2. finger print region เป็นช่วงที่อยู่ระหว่าง 1300-650 cm^{-1} สเปกตรัมที่ได้ในช่วงนี้ส่วนใหญ่เกิดจากโครงสร้างโมเลกุลที่สมบูรณ์ ดังนั้นสเปกตรัมที่ได้ค่อนข้างยุ่งยาก การวิเคราะห์จึงต้องใช้วิธีเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสารที่ทราบโครงสร้างแล้ว

ช่วงไกลอินฟราเรด (far IR region)

ช่วงนี้ไม่ค่อยจะได้ใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากสเปกตรัมช่วงนี้มักเกิดการสั่นของโครงสร้าง (molecular structure) หรือเกิดจากการหมุนของโมเลกุล

ช่วงที่จะใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์นั้นเป็นช่วงกลางอินฟราเรดเป็นส่วนใหญ่ คือ จาก 4000 ถึง 400 cm^{-1} หรือ 2.5 ถึง 25 μm

ตาราง ข.1 แสดงช่วงต่างๆของอินฟราเรดสเปกตรัม

ช่วง (Region)	ช่วงความยาวคลื่น (μm)	จำนวนคลื่น (Wave Number) (cm^{-1})	ช่วงความถี่ (υ) (Hz)
ช่วงใกล้	0.78 – 2.5	12800 – 4000	$3.8x10^{4} – 1.2x10^{14}$
ช่วงกลาง	2.5 – 50	4000 – 200	$1.2x10^{14} – 6.0x10^{12}$
ช่วงไกล	50 – 1000	200 – 10	$6.0x10^{12} – 3.0x10^{11}$
ช่วงที่ใช้มาก	2.5 – 15	4000 - 670	$1.2x10^{14} – 2.0x10^{13}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (The Infrared Absorbtion Process)

โมเลกุลของสารเคมีจะถูกดูดแสงในช่วงอินฟราเรด (IR) ได้นั้น ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการดูดกลืนแสงในช่วงยูวี – วิสิเบิลดังได้กล่าวมาแล้ว เพียงแต่ต่างกันที่ มีพลังงานน้อยกว่า ดังนั้นโมเลกุลเมื่อดูดกลืนแสง IR โมเลกุลจะถูกกระตุ้น (excite) เป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าอยู่ที่สภาวะพื้น โดยมีพลังงานเปลี่ยนแปลงอยู่ในราว 2 – 10 Kcal/mole ซึ่งเป็นพลังงานพอที่จะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น (vibration)หรือเกิดการหมุน (rotation) เท่านั้น การดูดกลืนแสง IR ของโมเลกุลมิใช่ว่าทุกโมเลกุลของสารจะดูดกลืนแสง IR ได้หมด แต่จะต้องมีลักษณะเฉพาะสภาวะก็ต้องเหมาะสมด้วย คือ

1. รังสีหรือแสงนั้นจะต้องมีพลังงานพอเหมาะพอดี (quantise) ที่จะทำให้เกิดการแทรนซิชั่น
2. จะต้องเกิดการควบคู่ (coupling) พอดีระหว่างสนามไฟฟ้าจากการแผ่รังสีกับสารนั้น เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแล้วจะทำให้เกิดโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment) ของโมเลกุลนั้นเปลี่ยนไป

ดังนั้นเมื่อใช้ IR ผ่านเข้าไปในโมเลกุลของสารใดก็ตาม แล้วเกิดปรากฏการณ์ทั้งสองอย่างข้างบนนี้เรียกสารนั้นว่า IR active ถ้าไม่มีการเปลี่ยน โมเมนต์ขั้วคู่ แสดงว่าสารเป็น IR inactive ถือว่าไม่มีการดูดกลืนแสง IR ถ้ามีการเปลี่ยนโมเมนต์ขั้วคู่มากจะได้ IR absorbtion peak สูง ถ้าเปลี่ยนแปลงน้อยก็จะได้ weak absorbtion peak เช่น

สารที่มีกลุ่ม C = O ให้ strong IR absorbtion peak แต่กลุ่ม - C = N – ให้ weak IR absorbtion peak และโมเลกุลที่เป็น symmetric bond เช่น H_2, Cl_2, O_2, N_2, symmetric alkenes (C = C) หรือ symmetric alkynes (C ≡ C) เป็นต้น จะไม่ดูดกลืนแสง IR

ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโตโฟโตมิเตอร์ (IR Spectrophotometer Components)

ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโตโฟโตมิเตอร์ดังรูป ข.3 ซึ่งมีลักษณะคล้าย ๆ เครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโตโฟโตมิเตอร์ แต่การจัด (arrangement) อาจแตกต่างกันบ้าง ส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. ต้นกำเนิดแสงอินฟราเรด (IR Source)
2. เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample Cell)
3. โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator)
4. เครื่องวัดแสงอินฟราเรด (IR Detector)
5. เครื่องบันทึกสเปกตรัม (Recorder หรือ Readout Devices)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR source
Nernst glower
Globar
Laser

เกรตติง

Thermal detector
ฟิลเตอร์

Recorder
Thermocouple
Thermopile
Thermister
Bolometer
Golay Detector
Pneumatic Detector
Pyroeletric Detector

XY Plotter
Printer

รูป ข.3 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโตโฟโตมิเตอร์

ต้นกำเนิดแสงอินฟราเรด (IR Sources) ที่ใช้กันทั่วไปนั้นเป็นของแข็งที่เฉื่อย ซึ่งสามารถเผาให้ร้อนด้วยไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิประมาณ 1500-1200 ° K ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้แสงมีความเข้มสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 5000 cm^{-1}

เนินสต์ โกลเวอร์ (The Nernst glower) เป็นแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดที่ใช้กันมากที่สุด ซึ่งทำด้วยออกไซด์ของพวกธาตุเรร์เอิร์ท (rare earth oxides) เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 มม. ยาวประมาณ 2 ซม. ต่อด้วยลวดแพลตินัมเพื่อคุ้มกันไฟฟ้า อุณหภูมิที่ใช้งานสามารถเผาได้ถึง 1800 ° K ที่สำคัญที่สุกที่ต้องควบคุมคือ ใช้กระแสอย่าให้สูงเกินไป เพราะจะทำให้หลอดเสียได้เนื่องจากร้อนจัดเกินไป

โกลบาร์ (Globar) เป็นแท่งซิลิกอนคาร์ไบด์ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 ม. เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้ร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิ 1300 – 1500 ° K โกลบาร์ให้ความเข้มของแสงที่บริเวณ 1500 cm^{-1} มากกว่าเนินสต์โกลเวอร์

Incandescant Wire Source ใช้ลวดนิโครมหรือโรเดียมพันให้เป็นขดลวดแล้วหุ้มด้วยเซอรามิกเป็นรูปทรงกระบอก ขดลวดนี้เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าจะถูกทำให้ร้อนแดง อายุการใช้งานจะดีกว่า 2 ชนิดแรกแต่ให้ความเข้มของแสงน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมโนโครมาเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยช่องแสงผ่าน (slits) เกรตติง (grating) หรืออาจมีฟิลเตอร์ (filter) ประกอบด้วยก็ได้ ซึ่งส่วนนี้จะมีลักษณะเหมือนกับระบบโมโนโครมาเตอร์ในเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทุกประการ

เครื่องวัดแสงอินฟราเรด (IR Detector) เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดที่ผลิตได้ในปัจจุบันล้วนแต่ให้ความเข้มต่ำ ประกอบกับแสงอินฟราเรดเป็นแสงที่มีพลังงานต่ำ จึงทำให้การตรวจวัดค่อนข้างยุ่งยากกว่าการตรวจวัดแสงยูวีและวิสิเบิล เพราะพลังงานไม่พอที่จะทำให้เกิดอิเล็คตรอนในหลอดวัดแสง (phototube) ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องวัดอย่างอื่น ในปัจจุบันเครื่องวัดแสงอินฟราเรดที่ใช้กันอยู่แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

(1) **อาศัยหลักการทาง Photoconductive effect** ซึ่งเกิดขึ้นเช่นเดียวกับสารตัวนำ เป็นแบบ photon detector

(2) **อาศัยหลักการ Heating effect** โดยที่แสงอินฟราเรดถูกดูดกลืนจะเกิดความร้อนขึ้นแล้ว ทำให้ความต้านทานของเส้นลวดในเครื่องวัดเปลี่ยนแปลง เรียกว่า Thermal Detector ซึ่งเป็นเครื่องวัดที่ครอบคลุมความยาวคลื่นได้กว้างขวาง

โฟตอน ดีเทคเตอร์ (Photon Detector) ประกอบด้วยแผ่นแก้วที่เป็นฉนวนแล้วฉาบบางๆ ด้วยสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) เช่น ตะกั่วซัลไฟด์ ตะกั่วแทลเลอไรด์ อินเดียมแอนทิโมไนด์ หรือเจอร์เมเนียม (Ge) ที่โดปด้วยทองแดงหรือปรอท แผ่นกึ่งตัวนำนี้บรรจุอยู่ในกล่องสุญญากาศ เพื่อไม่ให้สารกึ่งตัวนำทำปฏิกิริยากับบรรยากาศ เครื่องวัดนี้เมื่อถูกแสงที่มีพลังงานสูงพอจะทำให้เกิดการลดความต้านทานลง สำหรับตะกั่วซัลไฟด์ไวต่อแสงในช่วง 1-3 μm หรือ 10000 ถึง 2000 cm^{-1} โดยมี response time ประมาณ 10 μsec แต่ถ้าใช้สารอื่นและทำให้เย็นด้วยไนโตรเจรเหลวหรือฮีเลียมเหลว จะทำให้เครื่องวัดนี้ มีสภาพดีขึ้นไปในทางความยาวคลื่นที่มากขึ้น และมี response time เร็วขนาด $20x10^{-9}$ วินาที

เทอร์มัลดีเทคเตอร์ (Thermal Detector) โดยอาศัยสมบัติที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของสารเมื่อได้รับแสงอินฟราเรด ได้ถูกในมาใช้สำหรับดีเทคเตอร์เพื่อวัดแสงอินฟราเรด ซึ่งอาจจำแนกออกได้เป็น 4 แบบด้วยกัน คือ

แบบที่1 เป็นทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) หรือเทอร์โมไพล์ (Thermopile) ดีเทคเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้กันมากสำหรับวัดแสงอินฟราเรด ประกอบด้วยแผ่นทองสีดำ (blacken gold foil) เชื่อมเข้ากับลวดโลหะเล็ก ๆ 2 ชนิดที่ต่างกัน หรือเป็นลวดแพลทินัม (Pt) เชื่อมกับลวดเงิน หรือลวดพลวงเชื่อมกับบิสมัทเมื่อทำให้ปลายที่เชื่อมทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้น ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นกับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยที่ปลายหนึ่ง (reference junction) จะป้องกันไม่ให้ถูกแสงเลย และให้อุณหภูมิคงที่อีกปลายหนึ่งให้รับแสงอินฟราเรด เทอร์โมไพล์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อของดิเทคเตอร์ที่ได้จากการเอาเทอร์โมคับเปิลหลายอันมาต่อกันเข้าแบบอนุกรม เพื่อให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากขึ้น ดีเทคเตอร์ชนิดนี้ถ้าออกแบบดีแล้วสามารถบอกความแตกต่างของอุณหภูมิได้ถึง 10^{-6} °C หรือเกิดความแตกศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง 6-7 μV/μW และมี responsetime ประมาณ 100 m.sec

แบบที่ 2 เรียกว่า เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) หรือ โบโลมิเตอร์ (Bolometer) สำหรับโบโลเป็นดีเทคเตอร์ประเภทอาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของลวดโลหะ เมื่อทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เช่น ประกอบด้วยลวดแพลทินัม หรือลวดนิกเกิลเล็ก ๆ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่มีค่าสูง (~0.4 %ต่อ °C) แต่ถ้าเป็นเทอร์มิสเตอร์ จะทำโดยออกไซด์ของโลหะบางชนิด เช่น ออกไซด์ของโคบอลต์หรือนิกเกิล ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิเปลี่ยนมีค่าสูง (4-7% ต่อ °C) ทั้งนี้โดยทำเป็น 2 ชุดเหมือนกัน ชุดหนึ่งจะไม่ให้ถูกแสงเลย แต่อีกชุดหนึ่งให้รับแสงอินฟราเรด นำไปต่อเข้าวงจรแบบ wheatstone bridge

แบบที่ 3 เรียกว่า โกเลย์ (Golay) หรือนิวมาติกดีเทคเตอร์ (Pneumatic Detector) หลักการที่ใช้ทำในดีเทคเตอร์ชนิดนี้ คือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดความดันของแก๊สเฉื่อยในภาชนะปิดเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้นแก๊สเฉื่อยจะบรรจุในภาชนะรูปทรงกระบอกเล็ก ๆ ด้านที่รับแสงอินฟราเรดจะเป็นโลหะสีดำอยู่กับที่ ด้านตรงข้ามเป็นไดอะแฟรมที่ทำด้วยเงินที่เคลื่อนไหวได้ เมื่อโลหะสีดำได้รับแสงอินฟราเรดจะถูกถ่ายเทไปยังแก๊สเฉื่อย ทำให้ความดันขึ้นไปดันแผ่นไดอะแฟรมเงิน ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวไป การบิดเบี้ยวไปทำให้แสงสะท้อนไปยังหลอดวัดแสง (Phototube) เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นแตกต่างกันตามปริมาณของแสงอินฟราเรด หรืออาจใช้หลักการเปลี่ยนความจุ (capacitance) ก็ได้ โกเลย์ดีเทคเตอร์นี้ราคาค่อนข้างแพง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดีเทคเตอร์ชนิดอื่น ๆ แล้ว ปรากฏว่ามีสภาพไวในช่วงใกล้หรือกลางอินฟราเรดเท่า ๆ กับเทอร์โมคับเปิล แต่ถ้าใช้ในช่วงต่ำกว่า 200 cm^{-1} หรือช่วงไกลอินฟราเรดจะดีมาก

แบบที่ 4 เรียกว่า ไพโรอิเล็คทริกดีเทคเตอร์ (Pyroeletric Detector) ดีเทคเตอร์ชนิดนี้เพิ่งจะได้มีการพัฒนาขึ้นมาใช้สำหรับวัดแสงอินฟราเรดเมื่อไม่นานมานี้ โดยใช้ผลึกของสารบางชนิด เช่น ไตรไกลซีนซัลเฟต (Triglycine sulphate,TGS) หรือดิวเทอเรตไตรไกลซีนซัลเฟต (DTGS) หรือลิเทียมแทนทาเลตหรือแบเรียมไททาเลต เป็นต้น ผลึกเหล่ามีสมบัติเกี่ยวกับโมเมนต์ขั้วคู่ของมันไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ถ้านำผลึกเหล่านี้ไปวางไว้ระหว่างขั้วไฟฟ้า (electrode) ที่เป็นแผ่นโลหะ แล้วต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าภายนอกเป็นเหตุให้มีกระแสไหลในวงจร เพื่อทำให้การกระจายของประจุกลับเข้าสมดุลใหม่ การกระแสความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ ดีเทคเตอร์ชนิดนี้ให้ respontime เร็วกว่า จึงเป็นที่นิยมใช้ทำดีเทคเตอร์ของเครื่องใน Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

เครื่องบันทึกสเปกตรัม หรือ Read Out Devices สัญญาณที่ได้จากดีเทคเตอร์ซึ่งเป็นสัญญาณที่น้อยจำเป็นจะต้องเข้าเครื่องขยายสัญญาณเสียก่อนๆ ที่จะเข้าเครื่องบันทึกหรือเครื่องอ่านสัญญาณเช่นเดียวกับ เครื่องยูวี –วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ซึ่งอาจเป็นเครื่อง recorders, printers, video display terminals หรือ xy plotter เป็นต้น

การทำคุณภาพวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Qualitative Analysis by IR Spectroscopy)

โดยทั่วไปแล้วอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีนิยมใช้เป็นเทคนิคเพื่อหาหรือพิสูจน์เกี่ยวกับโครงสร้างของสารอินทรีย์ เช่น หาฟังก์ชั่นนัลกรุ๊ปต่าง ๆ ซึ่งปรากฏออกมาที่ความถี่ต่าง ๆ กัน กับฟังก์ชั่นนัลกรุ๊ปที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ปานกลางและดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ค.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต

ค.1.1. ผลของอัตราส่วนโมลของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์ ที่ความเร็วรอบในการปั่นกวน 1500 รอบต่อนาที

ตาราง ค.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนโมลกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์

อัตราส่วนโมล	ครั้งที่	นน.กลีเซอรอล (g)	นน.ซิงค์ออกไซด์ (g)	นน.กระดาษกรอง (g)		นน. ผลึกอบแห้ง (g)	เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตเฉลี่ย
				นน.ก่อน	นน.หลัง		
3:1	1	85.0292	25.0589	0.7895	24.5829	23.7934	49.76
	2	85.1102	25.0539	0.7821	19.9507	19.1686	40.10
	3	85.0410	25.0375	0.7983	20.3748	19.5765	40.98
	Average						**43.61**
	SD.						**5.34**
5:1	1	98.8218	16.7621	0.7883	21.4772	20.6889	64.69
	2	97.9596	16.6041	0.7192	21.2733	20.5541	64.88
	3	97.9381	16.7013	0.7931	21.5121	20.7190	65.02
	Average						**64.86**
	SD.						**0.17**
7:1	1	98.7691	12.5011	0.7896	18.9947	18.2051	76.33
	2	98.9813	12.5709	0.7912	19.0125	18.2213	75.97
	3	98.7531	12.5009	0.7803	19.3987	18.6184	78.06
	Average						**76.79**
	SD.						**1.12**
8:1	1	113.0821	12.5012	0.7895	21.0875	20.2980	85.10
	2	113.3609	12.6512	0.7912	21.5452	20.7540	85.98
	3	113.1621	12.4993	0.7931	21.3074	20.5143	86.02
	Average						**85.70**
	SD.						**0.52**
11:1	1	124.8321	10.0594	0.7931	19.4007	18.6076	96.95
	2	124.0579	10.0091	0.7892	19.5234	18.7342	98.10
	3	124.0732	10.1021	0.7839	19.6594	18.8755	97.93
	Average						**97.66**
	SD.						**0.62**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.2. ผลของความเร็วรอบในการปั่นกวน ที่อัตราส่วนโมลของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์ เป็น 9:1

ตาราง ค.2 การศึกษาความเร็วรอบในการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลต

ความเร็ว (รอบ/นาที)	ครั้งที่	นน.กลีเซอรอล (g)	นน.ซิงค์ออกไซด์ (g)	นน.กระดาษกรอง (g)		นน.ผลึกอบแห้ง (g)	เปอร์เซ็นต์ผลผลิต
				นน. ก่อน	นน. หลัง		
1300	1	102.0814	10.0981	0.7904	13.5508	12.7604	66.23
	2	102.0291	10.0392	0.7893	13.0673	12.2780	64.10
	3	102.0921	10.0943	0.7912	13.5141	12.7229	66.06
	Average						**65.46**
	SD.						**1.18**
1400	1	102.0312	10.0932	0.7943	16.3967	15.6024	81.02
	2	102.0943	10.1092	0.7960	16.8263	16.0303	83.11
	3	102.9328	10.0983	0.8102	16.7121	15.9019	82.53
	Average						**82.22**
	SD.						**1.08**
1600	1	102.0694	10.1302	0.7962	19.5503	18.7541	97.03
	2	102.0490	10.0922	0.7911	19.6038	18.8127	97.70
	3	102.0830	10.1029	0.7894	18.7281	17.9387	93.06
	Average						**95.93**
	SD.						**2.51**
1700	1	102.0793	10.0821	0.7932	19.5987	18.8055	97.76
	2	102.0891	10.0493	0.7957	19.5266	18.7309	97.69
	3	102.0794	10.1302	0.7985	19.6426	18.8441	97.50
	Average						**97.65**
	SD.						**0.14**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2. การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของ Reginald M. Taylor (1989)

ค.2.1. การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของ Reginald M. Taylor(1989) ที่อัตราส่วนโมลของกลีเซอรอลต่อซิงค์ออกไซด์ เป็น 9:1 ที่ความเร็วในการปั่นกวน 1500 รอบต่อนาที

ตาราง ค.3 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของReginald M. Taylor (1989) โดยใช้ ซิงค์ออกไซด์

ประเภทของกลีเซอรอล	ครั้งที่	นน. กลีเซอรอล (g)	นน. ซิงค์ออกไซด์ (g)	นน.กระดาษกรอง (g)		นน. ผลึกอบแห้ง (g)	เปอร์เซ็นต์ ผลผลิต
				นน.ก่อน	นน.หลัง		
กลีเซอรอลบริสุทธิ์	1	170.0431	16.6901	0.7839	31.9276	31.1437	97.80
	2	170.0819	16.7027	0.7921	31.7796	30.9875	97.24
	3	170.0449	16.7182	0.7951	32.0274	31.2323	97.91
	Average						**97.65**
	SD.						**0.36**
กลีเซอรอลดิบ (ปรับ pH 5.5)	1	170.0913	16.7133	0.7910	ND.	ND.	ND.
	2	170.1820	16.0000	0.7891	ND.	ND.	ND.
	3	170.0298	16.0310	0.7991	ND.	ND.	ND.
	Average						ND.
	SD.						ND.
กลีเซอรอลดิบ (ไม่ปรับ pH)	1	170.2710	16.7791	0.7298	ND.	ND.	ND.
	2	170.6102	16.6993	0.7912	ND.	ND.	ND.
	3	170.1098	16.7193	0.7840	ND.	ND.	ND.
	Average						ND.
	SD.						ND.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.2. การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของ Reginald M. Taylor (1989) ที่อัตราส่วนโมลของ กลีเซอรอล ต่อ นาโนซิงค์ออกไซด์ เป็น 9:1 ที่ความเร็วในการปั่นกวน 1500 รอบต่อนาที

ตาราง ค.4 การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของReginald M. Taylor (1989) โดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์

ประเภทของกลีเซอรอล	ครั้งที่	นน. กลีเซอรอล (g)	นน. ซิงค์ออกไซด์ (g)	นน. กระดาษกรอง (g)		นน. ผลึกอบแห้ง (g)	เปอร์เซ็นต์ผลผลิต
				ก่อน	หลัง		
	1	101.8802	10.0783	0.7931	19.5992	18.8061	97.80
กลีเซอรอลบริสุทธิ์	2	102.5218	10.0509	0.7903	19.7956	19.0053	99.11
	3	102.5127	10.0691	0.7894	19.3077	18.5183	96.39
	Average						**97.77**
	SD.						**1.36**
กลีเซอรอลดิบ (ปรับ pH 5.5)	1	102.0119	10.0005	0.7911	ND.	ND.	ND.
	2	102.0401	10.0367	0.7893	ND.	ND.	ND.
	3	102.0911	10.0193	0.7902	ND.	ND.	ND.
	Average						ND.
	SD.						ND.
กลีเซอรอลดิบ (ไม่ปรับ pH)	1	102.0453	10.1009	0.7819	ND.	ND.	ND.
	2	102.0093	10.0076	0.7931	ND.	ND.	ND.
	3	101.998	10.1063	0.7911	ND.	ND.	ND.
	Average						**ND.**
	SD.						**ND.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.3. ตัวอย่างการคำนวณ การหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิต (% Yield)

- อัตราส่วนโมลกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์ เป็น 3:1 ครั้งที่ 1

มวลโมเลกุล $C_3H_8O_3$ = 92 g/mol

ZnO =81.5 g/mol

$C_3H_6O_3Zn$ =155.5 g/mol

$C_3H_8O_3 + ZnO \longrightarrow C_3H_6O_3Zn + H_2O$..... (ค.1)

- ทางทฤษฎี

ZnO 81.5000 g จะได้ $C_3H_6O_3Zn$ 155.5 g

ถ้า ZnO 25.0589 g จะได้ $C_3H_6O_3Zn$ $= \frac{(155.5\ g * 25.0589\ g)}{81.5000\ g}$

$C_3H_6O_3Zn$ = 47.8118 g

$$\%\ \text{ผลผลิต} = \frac{\text{ทางปฏิบัติ}}{\text{ทางทฤษฎี}} * 100$$

$$= \frac{(23.7934\ g)*100}{(47.8118g)}$$

% ผลผลิต = 49.7647%

หมายเหตุ: ที่อัตราส่วนโมล ความเร็วรอบ และการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของ Reginald M. Taylor จะคิดเปอร์เซนต์ผลผลิต เหมือนกับอัตราส่วนโมลของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ต่อซิงค์ออกไซด์ เป็น 3:1 ครั้งที่ 1

ค.3. การทดสอบสมบัติของซิงค์กลีเซอโรเลต

ค.3.1. ทางกายภาพ

ตาราง ค.5 การหาจุดหลอมเหลวของซิงค์กลีเซอโรเลตด้วยเครื่อง Melting point ยี่ห้อ A007286

ครั้งที่	น้ำหนักซิงค์กลีเซอโรเลต (g)	อุณหภูมิ (°C)	ผลการทดลอง
1	0.0010	30-400	ไม่เกิดการหลอมเหลว
2	0.0012	30-400	ไม่เกิดการหลอมเหลว
3	0.0012	30-400	ไม่เกิดการหลอมเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 การทดสอบการละลายของซิงค์กลีเซอโรเลต

ตัวทำละลาย	ครั้งที่	นน. ซิงค์กลีเซอโรเลต (g)	นน.กระดาษกรอง (g)		การสังเกตด้วยตาเปล่า
			ก่อน	หลัง	
Water	1	0.05	0.4390	0.5106	ไม่ละลาย
	2	0.04	0.4702	0.5133	ไม่ละลาย
	3	0.05	0.4783	0.5319	ไม่ละลาย
Ethanol	1	0.05	0.4536	0.5177	ไม่ละลาย
	2	0.05	0.4605	0.6173	ไม่ละลาย
	3	0.05	0.4494	0.6419	ไม่ละลาย
Actone	1	0.05	0.4511	0.5787	ไม่ละลาย
	2	0.05	0.4025	0.5185	ไม่ละลาย
	3	0.05	0.3952	0.4181	ไม่ละลาย
Hexane	1	0.05	0.3971	0.4089	ไม่ละลาย
	2	0.06	0.3970	0.4567	ไม่ละลาย
	3	0.05	0.4077	0.4514	ไม่ละลาย
Sulfuric acid	1	0.05	0.4000	ND.	ละลาย
	2	0.05	0.4068	ND.	ละลาย
	3	0.05	0.4004	ND.	ละลาย
Sodium hydroxide	1	0.05	0.4604	0.5882	ไม่ละลาย
	2	0.05	0.4610	0.5993	ไม่ละลาย
	3	0.06	0.4495	0.5399	ไม่ละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 (ต่อ) การทดสอบการละลายของซิงค์กลีเซอโรเลต

ตัวทำละลาย	ครั้งที่	นน.ซิงค์กลีเซอโรเลต (g)	นน.กระดาษกรอง (g)		การสังเกตด้วยตาเปล่า
			ก่อน	หลัง	
Diethylamine	1	0.05	0.4536	0.5570	ไม่ละลาย แยกชั้น
	2	0.05	0.4302	0.4905	ไม่ละลาย แยกชั้น
	3	0.05	0.4930	0.5410	ไม่ละลาย แยกชั้น
Tert-Butanol	1	0.04	0.4605	0.5146	ไม่ละลาย สีขาวขุ่น
	2	0.06	0.4632	0.5310	ไม่ละลาย สีขาวขุ่น
	3	0.04	0.4598	0.5102	ไม่ละลาย สีขาวขุ่น
N,N-Dimethylaniline	1	0.04	0.4494	0.5340	ไม่ละลาย สีเหลือง
	2	0.04	0.4302	0.4901	ไม่ละลาย สีเหลือง
	3	0.05	0.4233	0.4830	ไม่ละลาย สีเหลือง
Methyl ethyl ketone	1	0.05	0.4511	0.4952	ไม่ละลาย
	2	0.04	0.4502	0.4902	ไม่ละลาย
	3	0.03	0.4493	0.4791	ไม่ละลาย
Pyridine	1	0.06	0.4025	0.4628	ไม่ละลาย
	2	0.04	0.4421	0.4801	ไม่ละลาย
	3	0.03	0.4612	0.5007	ไม่ละลาย
Amyl acetate	1	0.07	0.3592	0.4309	ไม่ละลาย
	2	0.04	0.4901	0.5103	ไม่ละลาย
	3	0.04	0.4906	0.5290	ไม่ละลาย
Dichoromethane	1	0.04	0.3971	0.4727	ไม่ละลาย
	2	0.05	0.4490	0.4892	ไม่ละลาย
	3	0.03	0.4183	0.4451	ไม่ละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 (ต่อ) การทดสอบการละลายของซิงค์กลีเซอโรเลต

ตัวทำละลาย	ครั้งที่	นน. ซิงค์กลีเซอโรเลต (g)	นน.กระดาษกรอง (g)		การสังเกตด้วยตาเปล่า
			ก่อน	หลัง	
Benzenesulfonyl choride	1	0.05	0.3970	0.4365	ไม่ละลาย ตะกอนแยกชั้น
	2	0.04	0.4902	0.5300	ไม่ละลาย ตะกอนแยกชั้น
	3	0.03	0.4002	0.4297	ไม่ละลาย ตะกอนแยกชั้น
Cyclohexannone	1	0.03	0.4077	0.4092	ตะกอนแยกชั้น สีเหลืองอ่อน
	2	0.05	0.4093	0.4512	ตะกอนแยกชั้น สีเหลืองอ่อน
	3	0.06	0.4482	0.5108	ตะกอนแยกชั้น สีเหลืองอ่อน
Cyclohexanol	1	0.07	0.4000	0.5313	ตะกอนแยกชั้น สีขาวขุ่น
	2	0.05	0.3940	0.4492	ตะกอนแยกชั้น สีขาวขุ่น
	3	0.04	0.4291	0.4604	ตะกอนแยกชั้น สีขาวขุ่น
Tert-Butychorid	1	0.05	0.4068	0.4508	ไม่ละลาย
	2	0.04	0.4052	0.4390	ไม่ละลาย
	3	0.04	0.4479	0.4827	ไม่ละลาย
Triethanolamine	1	0.04	0.4004	0.4443	ไม่ละลาย
	2	0.04	0.4903	0.5271	ไม่ละลาย
	3	0.05	0.4371	0.4805	ไม่ละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.7 การทดสอบการกระจายตัวของซิงค์กลีเซอโรเลต

ครั้งที่	นน.ซิงค์กลีเซอโรเลต (g)	ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลต (mol/L)	การสังเกตด้วยตาเปล่า
1	1.0420	0.0027	ตกตะกอน
2	0.5039	0.0013	ตกตะกอน
3	0.4151	0.0011	ตกตะกอน
4	0.3005	0.0008	กระจายตัว
5	0.2013	0.0005	กระจายตัว
6	0.1048	0.0003	กระจายตัว

- ตัวอย่างการคำนวณการหาความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลต

$$n = \frac{g}{Mw}$$

$$n = \frac{1.0420\ g}{155.5\ g/mol}$$

$$n = 0.0067\ mol$$

น้ำ 1000 ml มีซิงค์กลีเซอโรเลตเข้มข้น 0.0067 mol

ถ้าน้ำ 400 ml มีซิงค์กลีเซอโรเลตเข้มข้น $= \frac{(0.0067\ mol * 400\ ml)}{1000\ ml}$

ดังนั้น ซิงค์กลีเซอโรเลตเข้มข้น = 0.0027 mol/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.8 การทดสอบของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัว

ครั้งที่	นน.ครูซิเบิล (g)	นน.สาร (g)	นน.ครูซิเบิล และ นน.ของสาร (g)		สารที่ระเหยได้ (%)	สารคงตัว (%)
			นน.ก่อน	นน.หลัง		
1	31.9154	1.0087	32.9241	32.7216	20.08	79.92
2	31.8259	1.0078	32.8337	32.6388	19.34	80.66
3	31.6258	1.0027	32.6285	32.4223	20.56	79.44
Average					19.99	80.01
SD.					0.62	0.62

- ตัวอย่างการคำนวณ

ครั้งที่ 1: % ของแข็งระเหยได้ $= \frac{(\text{น้ำหนักก่อน} - \text{น้ำหนักหลัง})*100}{\text{น้ำหนักสาร}}$

$= \frac{(32.9241\text{g} - 32.7216\text{g})*100}{1.0087\text{ g}}$

ดังนั้น % ของแข็งระเหยได้ = 20.08 %

% ของแข็งคงตัว $= \frac{(\text{น้ำหนักหลัง} - \text{น้ำหนักครูซิเบิล})*100}{\text{น้ำหนักสาร}}$

$= \frac{(32.7216\text{g} - 31.9154\text{g})*100}{1.0087\text{g}}$

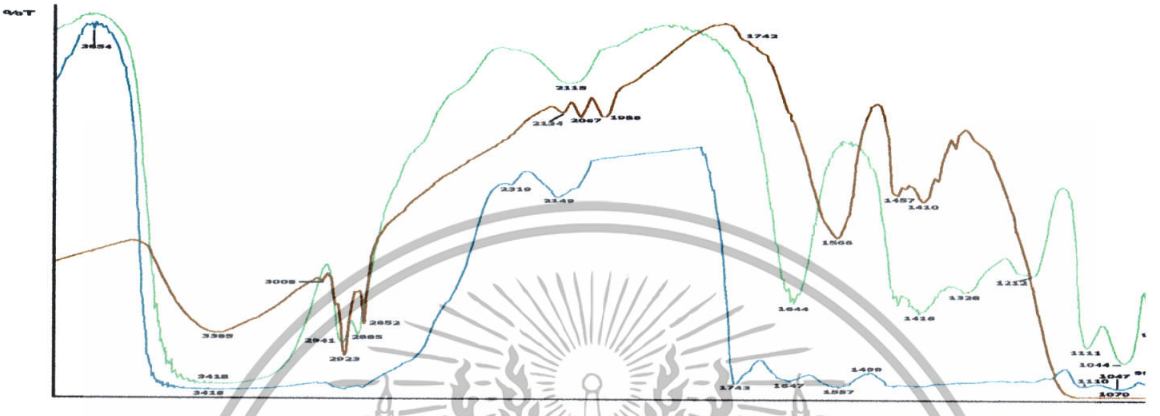
ดังนั้น % ของแข็งคงตัว = 79.92 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3.2. ทางเคมี

- **การวิเคราะห์ด้วยวิธี อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared spectroscopy, IR)**

การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของตาม Reginald M.Taylor. (1998)โดยใช้ซิงค์ออกไซด์



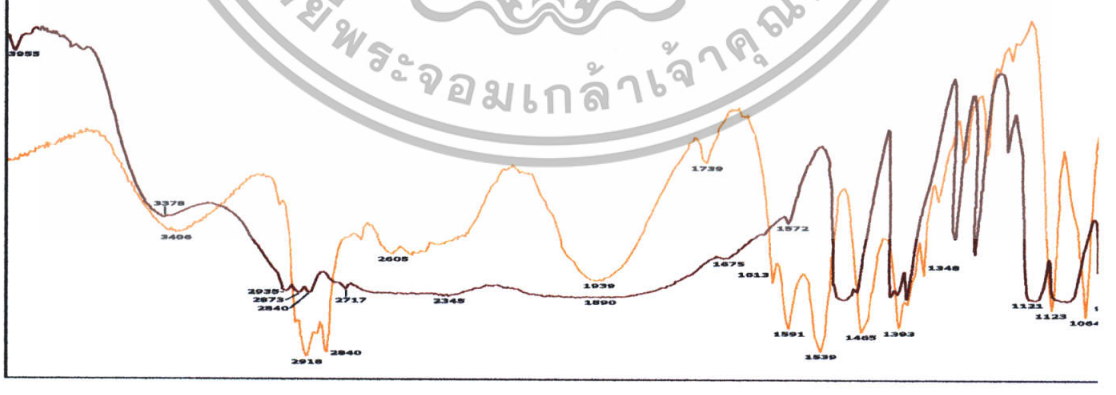
รูป ค.3 สเปกตรัม IR จากการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของตามReginald M. Taylor(1989) โดยใช้ซิงค์ออกไซด์

หมายเหตุ : กลีเซอรอลบริสุทธิ์

กลีเซอรอลดิบปรับพีเอช 5.5

กลีเซอรอลดิบ ไม่ปรับพีเอช

การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของตาม Reginald M.Taylor (1989) โดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์



รูป ค.4 สเปกตรัม IR จากการเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของตาม Reginald M. Taylor (1989) โดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์

หมายเหตุ : กลีเซอรอลบริสุทธิ์

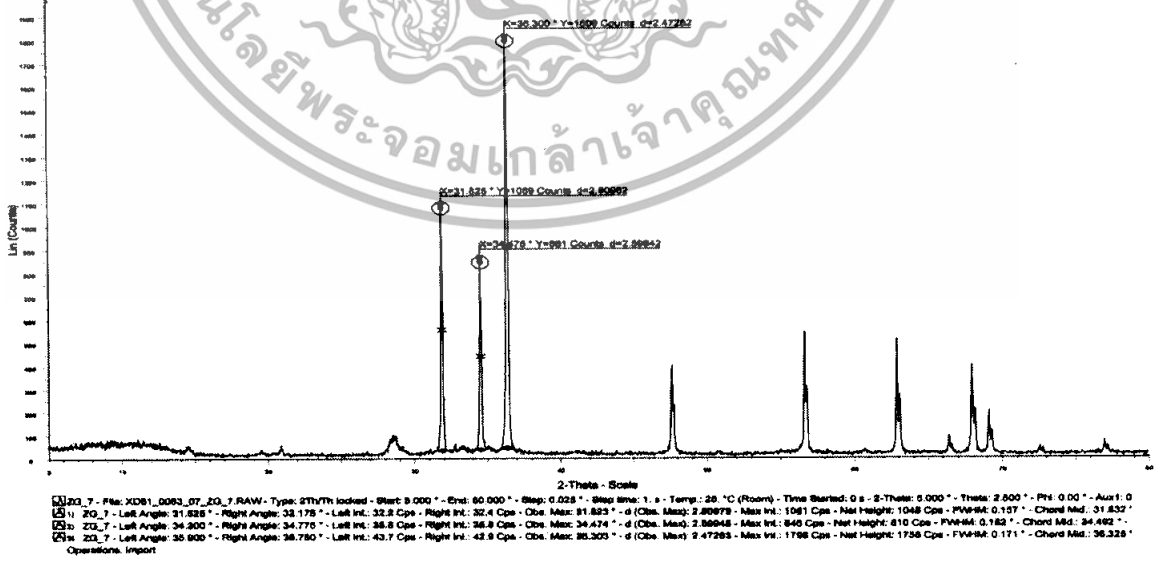
กลีเซอรอลดิบปรับพีเอช 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การวิเคราะห์ด้วยวิธี เอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)**

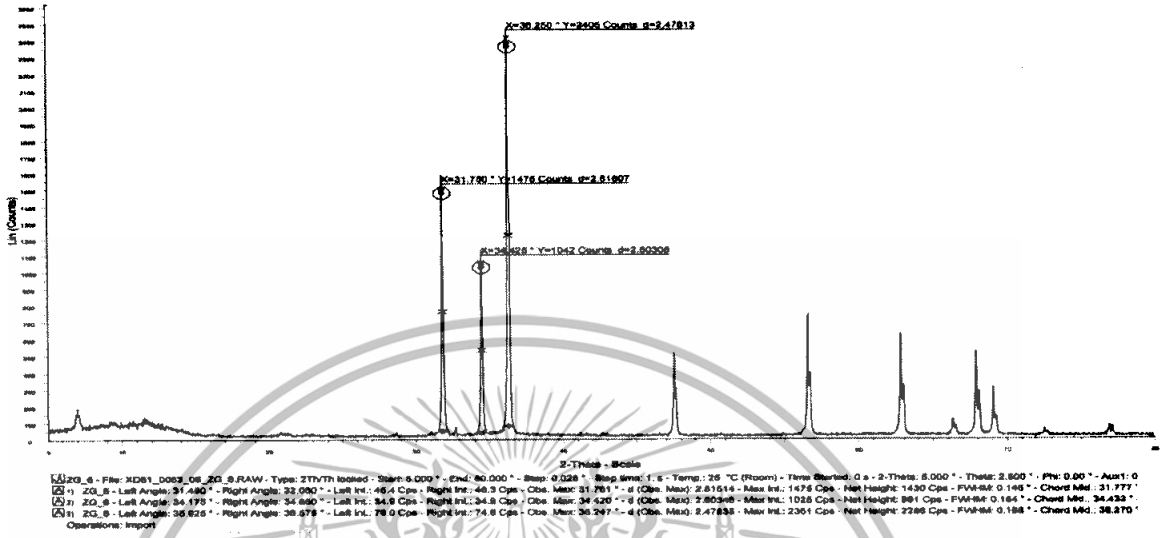
1. การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธี Reginald M.Taylor โดยใช้ ซิงค์ออกไซด์ กลีเซอรอลบริสุทธิ์

กลีเซอรอลดิบปรับพีเอช 5.5



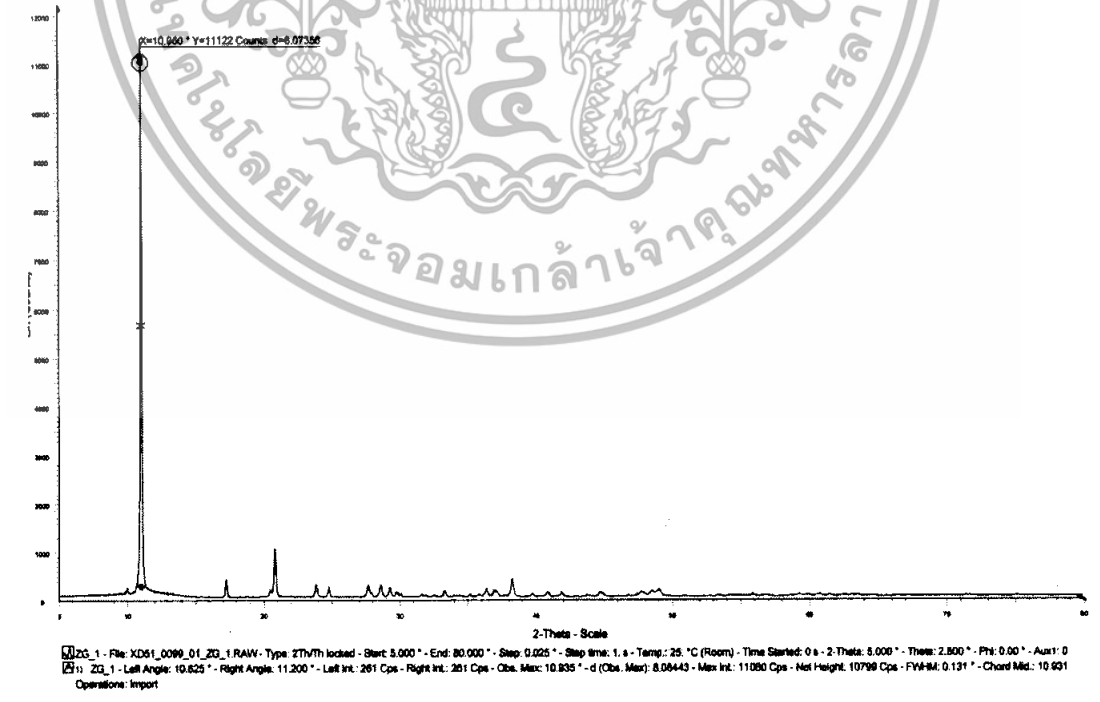
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอรอลดิบไม่ปรับพีเอช



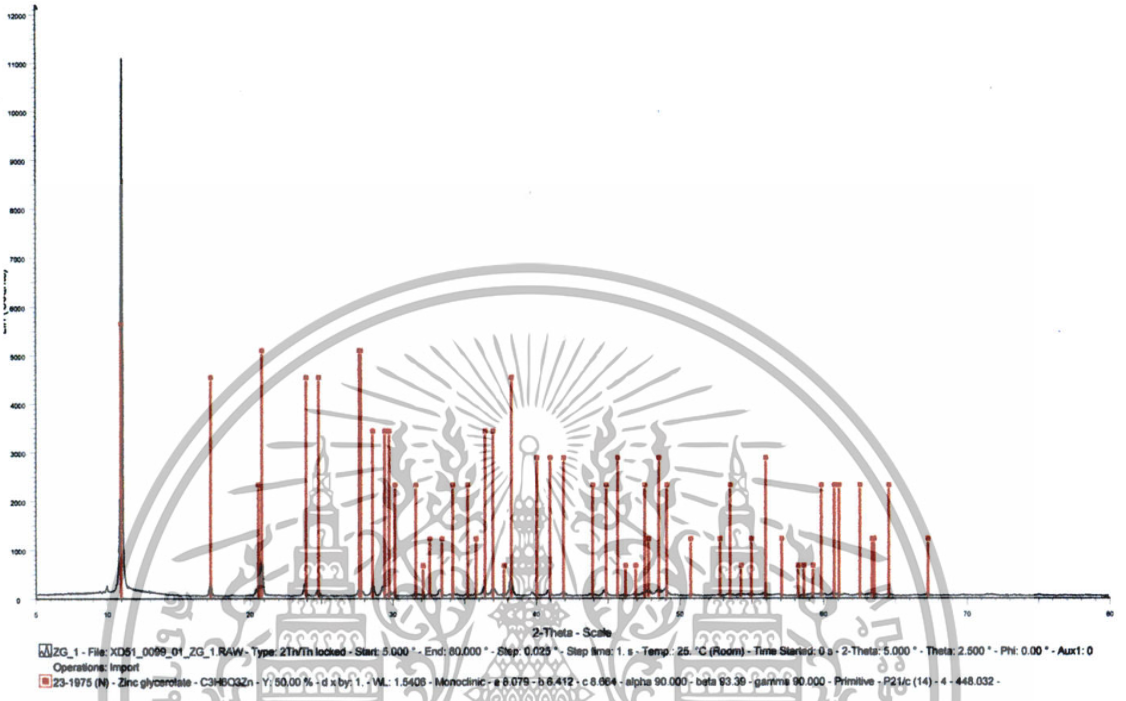
2. การเตรียมซิงค์กลีเซอโรเลตตามวิธีของReginald M.Taylor โดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์

กลีเซอรอลบริสุทธิ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการซ้อนทับพีคของซิงค์กลีเซอโรเลตกับพีคจากฐานข้อมูลอ้าอิงของเครื่องXRD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3.3. ทางชีวภาพ

- **ทางชีวภาพ**

การทดสอบทางชีวภาพจะทำการทดสอบความไวต่อเชื้อแบคทีเรียของซิงค์กลีเซอโรเลตโดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของซิงค์กลีเซอโรเลตและชนิดของเชื้อแบคทีเรียซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ เชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคทางผิวหนัง ได้แก่ *Staphylococcus aureus* และเชื้อแบคทีเรียที่ไม่ก่อให้เกิดโรคทางผิวหนังได้แก่ *Micrococcus luteus* และ *Serratia. marcescens*

ตาราง ค.9 การทดสอบความไวต่อเชื้อแบคทีเรียของซิงค์กลีเซอโรเลต

ชนิดของแบคทีเรีย	ลำดับที่	เส้นผ่านศูนย์กลางกระดาษกรองที่เกิดเคลียร์โซน (clear zone) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ(cm.)			
		ชุดควบคุม	10^{-3} M	10^{-5} M	10^{-7} M
Micrococcus luteus	1	-	0.90	-	-
	2	-	1.00	-	-
	3	-	0.80	-	-
	4	-	1.20	-	-
	5	-	0.80	-	-
	6	-	1.10	-	-
	7	-	0.80	-	-
ค่าเฉลี่ย		-	0.94	-	-
Staphylococcus aureus	1	-	0.70	0.7	0.8
	2	-	0.70	0.8	0.8
	3	-	0.80	0.8	0.9
	4	-	-	0.7	0.7
	5	-	-	-	-
	6	-	-	-	-
	7	-	-	0.7	0.7
ค่าเฉลี่ย		-	0.73	0.74	0.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.9 (ต่อ) การทดสอบความไวต่อเชื้อแบคทีเรียของซิงค์กลีเซอโรเลต

ชนิดของแบคทีเรีย	ลำดับที่	เส้นผ่านศูนย์กลางกระดาษกรองที่เกิดเคลียร์โซน (clear zone) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (cm.)			
		ชุดควบคุม	10^{-3} M	10^{-5} M	10^{-7} M
Serratia. marcescens	1	-	0.70	0.80	0.70
	2	-	0.90	0.70	0.80
	3	-	0.70	0.80	0.80
	4	-	0.80	0.70	0.70
	5	-	0.80	0.80	0.70
	6	-	0.70	0.70	0.80
	7	-	0.70	0.80	0.80
ค่าเฉลี่ย		-	0.76	0.76	0.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้