การเพิ่มมูลค่ากลีเซอรอลผ่านการทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นซิงค์เพื่อสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลต

Value-Added Glycerol via Reacting with Zinc Precursor Compound to Synthesis of Zinc Glycerolate

ปวีณา ปัญญาสวัสดิ์[1] ปรียาภรณ์ สิงห์เคน[1] อัครรัฐ ขัตติยะ[1] และ ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร[1*]
Paweena Panyasawat[1] Preeyaporn Singken[1] Akrarath Khattiya[1] and Pesak Rungrojchaipon[1]
[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[1]Department of Chemistry, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
วันที่ส่งบทความ : 22 กุมภาพันธ์ 2564 วันที่แก้ไขบทความ : 24 มิถุนายน 2564 วันที่ตอบรับบทความ : 31 มกราคม 2565
Received: 22 February 2021, Revised: 24 June 2021, Accepted: 31 January 2022

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์พลอยได้กลีเซอรอลที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลมีมูลค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง จึงศึกษาการเพิ่มมูลค่ากลีเซอรอลโดยนำกลีเซอรอลมาทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นซิงค์ อาทิ ซิงค์ออกไซด์ หรือซิงค์อะซิเตต เพื่อใช้สังเคราะห์เป็นซิงค์กลีเซอโรเลต ที่มีประโยชน์ทั้งในด้านอุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมสี และอุตสาหกรรมยาง เป็นต้น เนื่องจากข้อมูลการสังเคราะห์ที่เผยแพร่มีค่อนข้างน้อย ในบทความนี้จึงศึกษาและรวบรวมเกี่ยวกับวิธีการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาถึงการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลต

คำสำคัญ : กลีเซอรอล ซิงค์กลีเซอโรเลต สารตั้งต้นซิงค์ ซิงค์ออกไซด์ ซิงค์อะซิเตต

Abstract

The value of glycerol by-products from biodiesel production has been declining steadily in each year. Therefore, the value-added utilization of glycerol has been studied by the reaction of glycerol with zinc precursors (such as zinc oxide or zinc acetate) to synthesize zinc glycerolate. It is useful in the pharmaceutical industry, paint industry and rubber industry, etc. Since there is a little information related to the synthesis. In this review, we studied the synthesis of zinc glycerolate from the past to the present for the benefit of those who would like to study about synthesis of zinc glycerolate.

Keywords: Glycerol, Zinc glycerolate, Zinc precursor, Zinc oxide, Zinc acetate

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: pesak.ru@kmitl.ac.th

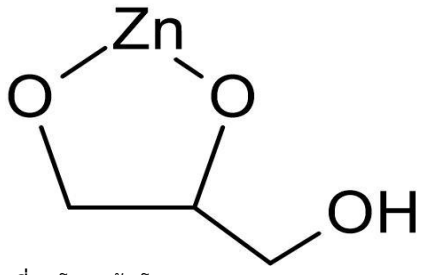
1. บทนำ

จากการผลิตไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นทุกปีส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์กลีเซอรอลจำนวนมาก ในการผลิตไบโอดีเซลแต่ละครั้งจะได้กลีเซอรอลร้อยละ 10 ของปริมาณไบโอดีเซลทั้งหมด กลีเซอรอลสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง สินค้าอุปโภคบริโภค อาหาร และยา ความต้องการกลีเซอรอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องราว 11-13% ทั้งโลก ทั้งในรูปแบบกลีเซอรอลบริสุทธิ์ และผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ใช้กลีเซอรอลเป็นส่วนผสมในการผลิต [1] จากตัวอย่างรายได้การส่งออกของกลีเซอรอลดังแสดงในตารางที่ 1 [2] จะเห็นว่าในปีต่อต่อมารายได้จากการขายกลีเซอรอลลดลงตามลำดับ ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากกลีเซอรอล ด้วยการหาวิธีเปลี่ยนกลีเซอรอลให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่ามากขึ้น ซึ่งหนึ่งในวิธีที่น่าสนใจ คือ การเปลี่ยนกลีเซอรอลให้เป็นซิงค์กลีเซอโรเลต (Zinc Glycerolate) โดยนำกลีเซอรอลมาทำปฏิกิริยากับสารประกอบซิงค์แบบต่าง ๆ อาทิ เช่น ซิงค์ออกไซด์ หรือซิงค์อะซิเตต โดยการให้ความร้อน เนื่องจากซิงค์กลีเซอโรเลตมีข้อมูลที่เผยแพร่สู่สาธารณะน้อย ในบทความวิจัยนี้จึงรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตในอดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ทำการศึกษาและวิจัยต่อไป

ตารางที่ 1. ตัวอย่างรายได้ที่ได้จากการขายกลีเซอรอลบริสุทธิ์ในแต่ละปี [2]

	2557		2558		2559	
	รายได้จากการขายสินค้า	% ของรายได้รวม	รายได้จากการขายสินค้า	% ของรายได้รวม	รายได้จากการขายสินค้า	% ของรายได้รวม
ผลิตภัณฑ์	**(ล้านบาท ยกเว้นอัตราร้อยละ)**					
กลีเซรอลบริสุทธิ์	738.2	4.70%	592.6	4.10%	560.5	3.30%

ซิงค์กลีเซอโรเลต (Zinc Glycerolate) หรือสามารถเรียกได้หลายชื่อ เช่น ซิงค์โมโนกลีเซอโรเลต (Zinc Monoglycerolate) หรือไกลซิงค์ (Glyzinc) ซึ่งมีชื่อทาง IUPAC ว่า Propane-1,2,3-tirol-zinc มีสูตรโมเลกุลคือ $ZnC_3H_6O_3$ โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 1 มีมวลโมเลกุล 157.5 กรัมต่อโมล มีรูปร่างของผลึกเป็นแผ่นหกเหลี่ยม และ CAS No. 16754-68-0 [3] ราคา ณ ปัจจุบันอยู่ที่ 2-4$ (65-125 บาท) ต่อกิโลกรัม [4]



รูปที่ 1. โครงสร้างโมเลกุลของ Zinc Glycerolate [5]

1.1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลต

1. การทำปฏิกิริยากันระหว่างกลีเซอรอลและซิงค์ออกไซด์ ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 1 ได้ผลิตภัณฑ์เป็นซิงค์กลีเซอโรเลตกับน้ำ [6]

$$C_3H_8O_3 + ZnO \xrightarrow{Heat} ZnC_3H_6O_3 + H_2O$$

ปฏิกิริยาที่ 1 ปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับซิงค์ออกไซด์ [6]

2. การทำปฏิกิริยากันระหว่างกลีเซอรอลและซิงค์อะซิเตท ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์เป็นซิงค์กลีเซอโรเลตกับกรดอะซิติก [7]

$$C_3H_8O_3 + Zn(CH_3COO)_2 \xrightarrow{Heat} ZnC_3H_6O_3 + 2CH_3COOH$$

ปฏิกิริยาที่ 2 ปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับซิงค์อะซิติก [7]

3. การทำปฏิกิริยากันระหว่างกลีเซอรอลและซิงค์คลอไรด์ ซึ่งคาดว่าอาจเกิดได้ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 3 ได้ผลิตภัณฑ์เป็นซิงค์กลีเซอโรเลตและกรดไฮโดรคลอริก

$$C_3H_8O_3 + ZnCl_2 \xrightarrow{Heat} ZnC_3H_6O_3 + 2HCl$$

ปฏิกิริยาที่ 3 ปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับซิงค์คลอไรด์

4. การทำปฏิกิริยากันระหว่างกลีเซอรอลและซิงค์ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ซึ่งคาดว่าอาจเกิดได้ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 4 ได้ผลิตภัณฑ์เป็นซิงค์กลีเซอโรเลต น้ำและกรดซัลฟิวริก

$$C_3H_8O_3 + ZnSO_4{\bullet}7H_2O \xrightarrow{Heat} ZnC_3H_6O_3 + 7H_2O + H_2SO_4$$

ปฏิกิริยาที่ 4 ปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับซิงค์ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต

1.2 การใช้ประโยชน์จากซิงค์กลีเซอโรเลต [8]

ซิงค์กลีเซอโรเลตสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น

1. ในอุตสาหกรรมยาง สามารถป้องกันรังสียูวี มีเสถียรภาพทางความร้อนไม่มีพิษและไม่มีสีซึ่งสามรถใช้งานได้แพร่หลายทั้ง เพิ่มเสถียรภาพทางแสงและความร้อนในพลาสติก เรซิน พอลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) ยาง ยางธรรมชาติ และยางวัลคาไนซ์ เป็นต้น

2. ในทางการแพทย์ สามารถใช้เป็นตัวดูดซับสังกะสีในร่างกายมนุษย์ ซึ่งมีประสิทธิ์ภาพในการดูดซับมากกว่า Zinc Gluconate หรือ Zinc Citrate ทั้งยังสามารถใช้เป็นยาป้องกันการเกิดโรคข้อต่ออักเสบเรื้อรัง (Long-term Anti-arthritis Drugs)

3. ในเครื่องสำอาง เนื่องจากโครงสร้างของซิงค์กลีเซอโรเลตมีความสามารถในการหล่อลื่นที่ดี หมู่กลีเซอรอลสามารถแทรกซึมเข้าสู่ผิวหน้า จึงนำไปทำเป็นครีมกันแดดหรือครีมทาผิว และสามารถใช้ในการทำครีมโกนหนวด ทั้งยังสามารถใช้ในการเตรียมเครื่องสำอางอื่น ๆ ได้อีกด้วย

2. วิธีการทดลอง

สภาวะในการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตจากบทความวิจัยต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยเริ่มในปี ค.ศ.1985 Taylor และ Brock [9] จดสิทธิบัตรและรวบรวมวิธีการสังเคราะห์เกี่ยวกับสารประกอบเชิงซ้อนซิงค์กลีเซอโรเลตทางด้านเภสัชกรรมและเครื่องสำอาง ซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างซิงค์ออกไซด์กับกลีเซอรอล ที่อัตราส่วนซิงค์ออกไซด์ต่อกลีเซอรอลประมาณ 1 : 10 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 120-300 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ซึ่งวิธีที่ได้ร้อยละผลผลิตมากที่สุดคือ 93 ทำโดยให้ความร้อนกับกลีเซอรอลจำนวน 500 กรัม (5.43 โมล) ที่ 120 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นกวนและเติมซิงค์ออกไซด์ 50 กรัม (0.614 โมล) จากนั้นเพิ่มความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หล่อเย็นจนสารมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ล้างสารผสมด้วยน้ำและกรองตะกอนผ่านกรวยบุชเนอร์ ล้างตะกอนด้วยเอทานอลและอะซิโตน จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ผลึกที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้ประกอบด้วยผลึกหกเหลี่ยมแบบแผ่น (ขนาดประมาณ 10 ไมครอน) และผลึกหกเหลี่ยมแบบยาว

ในปี ค.ศ. 1994 Matkin และคณะ [10] รวบรวมสิทธิบัตรเกี่ยวกับการผลิต ซิงค์กลีเซอโรเลตที่มีผลึกแบบแผ่น ซึ่งสังเคราะห์จากสารตั้งต้นซิงค์ออกไซด์และซิงค์อะซิเตตกับกลีเซอรอลโดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 15-105 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์ไม่ควรต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส และใช้ไอโซโพรพานอลในการล้างตะกอน

ในปี ค.ศ. 2009 Rémiás และคณะ [11] เสนองานวิจัยการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตไมโครสแต็คส์ (Zinc Glycerolate Microstacks) จากซิงค์ออกไซด์ชนิดแท่ง (Zinc Oxide Nanorod) โดยการผสมซิงค์ออกไซด์ 0.25 กรัมลงในกลีเซอรอล 25 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้การรีฟลักซ์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำสารผสมที่ได้ใส่ในหม้อนึ่งความดัน (Teflon-lined Stainless-steel Autoclave) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการกรองส่วนผสมผลิตภัณฑ์และล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นอบสารทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ในปี ค.ศ. 2009 Phakam และคณะ [12] เสนองานวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตโดยทำปฏิกิริยาระหว่างซิงค์อะซิเตตและกลีเซอรอลจากผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ใช้ซิงค์อะซิเตตต่อกลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่อัตราส่วนโมล 1 : 7 (9.2 กรัม : 32.2 กรัม) และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นกวนที่ความเร็วปานกลางเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง กรองและล้างผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำกลั่น ตามด้วยเอทานอลและอะซิโตน อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้ร้อยละผลผลิตอยู่ที่ 61.60

ในปี ค.ศ. 2010 Sitthirawiphong และคณะ [13] เสนองานวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตจากการทำปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์กับกลีเซอรอลจากผลพลอยได้การผลิตไบโอดีเซล โดยสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตจากการผสมกลีเซอรอล 150 กรัม (119 มิลลิลิตร) กับซิงค์ออกไซด์ 25 กรัมและซิงค์-อะซิเตท 2 กรัมเข้าด้วยกัน ผสมประมาณ 15 นาทีจนเกิดเป็นของเหลวหนืด นำไปใส่ในขวดก้นกลมสามคอ (500 มิลลิลิตร) และเติมอะซิโตน 20 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย ให้ความร้อนที่ 105 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นกวนที่ความเร็วปานกลางเป็นเวลา 90 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ล้างผลิตภัณฑ์ด้วย

ไอโซโพรพานอลและหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วปานกลาง อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิตคือ 58.34

ในปี ค.ศ. 2012 Cheong และคณะ [6] ศึกษาคุณสมบัติเฉพาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานเฉพาะที่ของซิงค์กลีเซอโรเลต ทำการเตรียมโดยให้ความร้อนซิงค์ออกไซด์และกลีเซอรอลที่อัตราส่วนโมลาร์ 1 : 3 โดยใช้เครื่องทำปฏิกรณ์ไมโครเวฟอีธอส เอ็มอาร์ (Ethos MR Microwave Reactor) ให้ความร้อน 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และตั้งอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ 250 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาทีถึง 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น 10 นาทีจากนั้นใช้อะซิโตนในการละลายกลีเซอรอลส่วนเกิน นำตะกอนที่ได้มากรองและอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

ในปี ค.ศ. 2012 Dong และ Feldmann [14] ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเกล็ดซิงค์ออกไซด์ที่มีรูพรุนผ่านการควบคุมการสลายตัวทางความร้อนของสังกะสีกลีเซอรอล โดยจากวิจัยสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตโดยการเติมซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรต 200 กรัม (9.1 มิลลิโมล 99% Acros Organics) กลีเซอรอล 50 มิลลิลิตร (99% Acros Organics) และน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ลงในขวดขนาด 100 มิลลิลิตร รีฟลักซ์สารละลายที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมงภายใต้การปั่นกวนความเร็วปานกลาง ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง หมุนเหวี่ยงที่ 25,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาทีเพื่อให้สารตกตะกอน หลังจากนั้นล้างตะกอนด้วยเอทานอลจำนวนสามครั้ง สุดท้ายอบสารผลิตภัณฑ์ซิงค์กลีเซอโรเลตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

ในปี ค.ศ. 2012 Jiang และคณะ [15] สังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตโดยการเติมซิงค์ออกไซด์ 3 กรัมลงในกลีเซอรอล 30 กรัม และทำการรีฟลักซ์เป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ภายใต้การปั่นกวน จากนั้นนำไปให้ความร้อนในหม้อนึ่งความดัน (Teflon-Lined Stainless-Steel Autoclave) ที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง นำไปกรองและละลายกลีเซอรอลส่วนเกินด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล สุดท้ายนำสารผลิตภัณฑ์ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ในปี ค.ศ. 2014 Reinoso และคณะ [16] สังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตจาก 0.05 โมลของซิงค์-อะซิเตทไดไฮเดรท และ 3.4 โมลของกลีเซอรอลกับ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำถูกใส่ในถังปฏิกรณ์และให้ความร้อนจนถึง 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปั่นกวนที่ 500 รอบต่อนาที ทำการกรองตะกอนที่ได้และล้างด้วยเอทานอล อบที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ในปี ค.ศ. 2016 Zhang และคณะ [17] ศึกษาการเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรอลด้วยการสังเคราะห์กลีเซอรอลคาร์บอเนตและใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่ง โดยในการสังเคราะห์ตัวเร่งซิงค์ออกไซด์ได้อาศัยการสลายตัวด้วยความร้อนของซิงค์กลีเซอโรเลต ซึ่งสังเคราะห์กลีเซอโรเลตโดยทำการผส $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ 2 กรัมกับกลีเซอรอล 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ภายใต้การรีฟลักซ์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำสารผสมที่ได้ไปให้ความร้อนในหม้อนึ่งความดัน (Teflon-Lined Stainless-Steel Autoclave) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง กรองส่วนผสมและละลายกลีเซอรอลส่วนเกินด้วยน้ำกลั่น จากนั้นอบสารทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จึงได้ผลิตภัณฑ์ซิงค์กลีเซอโรเลตที่เป็นผงละเอียดสีขาว

ในปี ค.ศ. 2016 Lau และคณะ [18] ศึกษาวิจัยตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะกลีเซอรอลที่มีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตไบดีเซลแบบขั้นตอนเดียวจากน้ำมันสบู่ดำที่ไม่ผ่านการกลั่นเกรดต่ำและไบโอเอทานอลดิบเหลวสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตโดยการละลาย $(CH_3COO)_2Zn{\cdot}2H_2O$ (0.5 กรัม 2.28 มิลลิโมล) ในกลีเซอรอล (12.5 มิลลิลิตร) นำสารผสมใส่ลงในเครื่องทำปฏิกรณ์ไมโครเวฟที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งระบบไมโครเวฟทำงานที่ 250 วัตต์ ที่โหมดพลังงานคงที่นำตะกอนสารที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงและล้างด้วยเอทานอล 3 มิลลิลิตร หลังจากนั้นอบสารที่ 80 องศาเซลเซียส จึงได้เป็นซิงค์กลีเซอโรเลต

ตารางที่ 2. สภาวะในการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลต

Reactant	Molar Ratio	Process				Catalyst	Yield (%)	Reference
		Step 1	Temperature (°C)	Step 2	Temperature (°C)			
ZnO : Gly	1 : 8.84	Initial Heated with Stirring	120	Heated with Stirring	260	-	93	[9]
ZnO : Gly	1 : 8.84	Initial Heated with Stirring	220	Heated with Stirring	260	-	90	[9]
ZnO : Gly	-	Heated	260	-	-	-	-	[9]
ZnAc : Giy	1 : 23.61	Initial Heated with Stirring	120	Heated with Stirring	260	-	85	[9]
ZnAc : Giy	1 : 23.61	Added ZnAc Before Heating	260	-	-	-	85	[9]
ZnO : Gly	-	Heated	200-300	-	-	-	-	[10]
$Zn(OH)_2$: Gly	-	Heated	120	Heated	240-275	-	-	[10]
ZnO : Gly	1 : 10	Heated	120-300	-	-	-	-	[10]
ZnO : Gly	1 : 10	Heated	260	-	-	-	-	[10]
ZnO : Gly	1 : 10	Initial Heated	120	Heated	260	-	-	[10]
ZnO : Gly	1 : 10	Initial Heated	220	Heated	260	-	-	[10]
ZnO : Gly	-	Heated	15-105	-	-	-	-	[10]
ZnO : Gly	-	Heated	45-105	-	-	-	-	[10]
ZnO : Gly	-	Heated	<100	-	-	-	-	[10]
ZnO : Gly	-	Heated	15-105	-	-	Weak Lewis Acid or Base, or Salt Thereof	-	[10]

หมายเหตุ : กำหนดให้ปริมาตรสารตั้งต้นที่ใช้มีปริมาตร 1 ลิตร

ตารางที่ 2. (ต่อ) สภาวะในการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลต

Reactant	Molar Ratio	Process				Catalyst	Yield (%)	Reference
		Step 1	Temperature (°C)	Step 2	Temperature (°C)			
ZnO : Gly	-	Heated	15-105	-	-	Aliphatic or Aromatic Carboxylic Acid or Salt or a Metal Carbonate	-	[10]
ZnO : Gly	-	Heated	15-105	-	-	Acetic Acid or Zinc Acetate	-	[10]
ZnO : Gly	1 : 1 - 1 : 10	Heated	15-105	-	-	-	-	[10]
ZnO : Gly	1 : 10	Heat Under Reflux	100	Autoclave	150	-	-	[11]
ZnAc : Gly	1 : 1	Heated with Stirring	200	-	-	-	14.31	[12]
ZnAc : Gly	1 : 3	Heated with Stirring	200	-	-	-	29.23	[12]
ZnAc : Gly	1 : 5	Heated with Stirring	200	-	-	-	38.42	[12]
ZnAc : Gly	1 : 7	Heated with Stirring	200	-	-	-	54.26	[12]
ZnAc : Gly	1 : 7	Heated with Stirring	230	-	-	-	58.32	[12]
ZnAc : Gly	1 : 7	Heated with Stirring	260	-	-	-	61.6	[12]
ZnAc : Gly	1 : 9	Heated with Stirring	200	-	-	-	49.99	[12]
ZnAc : Gly	1 : 11	Heated with Stirring	200	-	-	-	53.18	[12]
ZnO : Gly	1 : 5.26	Heated with Stirring for 30 min.	105	-	-	Zinc Acetate and Zcetone	47.68	[13]
ZnO : Gly	1 : 5.26	Heated with Stirring for 45 min.	105	-	-	Zinc Acetate and Zcetone	54.13	[13]

หมายเหตุ : กำหนดให้ปริมาตรสารตั้งต้นที่ใช้มีปริมาตร 1 ลิตร

ตารางที่ 2. (ต่อ) สภาวะในการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลต

Reactant	Molar Ratio	Process				Catalyst	Yield (%)	Reference
		Step 1	Temperature (°C)	Step 2	Temperature (°C)			
ZnO : Gly	1 : 5.26	Heated with Stirring for 60 min.	105	-	-	Zinc Acetate and Zcetone	58.02	[13]
ZnO : Gly	1 : 5.26	Heated with Stirring for 90 min.	105	-	-	Zinc Acetate and Zcetone	58.34	[13]
ZnO : Gly	1:03	MR Microwave Reactor	160	-	-	-	-	[6]
$ZnAc_2(H_2O)_2$: Gly		Heated Under Reflux	160	-	-	-	-	[14]
ZnO : Gly	1 : 8.25	Heated Under Reflux	120	Autoclave	150	-	-	[15]
$Zn(Ac)_2$: Gly	1 : 68	Heated	160	-	-	-	-	[16]
$ZnAc_2$: Gly	-	Heated Under Reflux	40 to 250	Autoclave	150	-	-	[17]
$ZnAc_2(H_2O)_2$: Gly	-	CEM Microwave	200	-	-	-	-	[18]

หมายเหตุ : กำหนดให้ปริมาตรสารตั้งต้นที่ใช้มีปริมาตร 1 ลิตร

3. สรุป

การเพิ่มมูลค่ากลีเซอรอลโดยทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นซิงค์เพื่อสังเคราะห์เป็นซิงค์กลีเซอโรเลต สามารถทำได้ง่ายที่สภาวะต่างกัน โดยในบทความได้รวบรวมสภาวะที่ใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ซิงค์กลีเซอโรเลตไว้ โดยมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้นเช่นสารตั้งต้นซิงค์ อัตราส่วนระหว่างกลีเซอรอลต่อสารตั้งต้นซิงค์และเวลาทำปฏิกิริยาหรืออุณหภูมิในปฏิกิริยาเป็นต้น ที่ส่งผลถึงตัวแปรตามคือร้อยละผลผลิตของซิงค์กลีเซอโรเลต และจากการรวบรวมแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนโดยโมลาร์ของสารตั้งต้นซิงค์ต่อกลีเซอรอลอยู่ที่ 1 : 1-1 : 10 อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 45-300 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยาขั้นต่ำอยู่ที่ 1 ชั่วโมง อีกทั้งเมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนสารตั้งต้นและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามีแนวโน้มที่ร้อยละผลผลิตของซิงค์กลีเซอโรเลตจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอนุภาคสารและพลังงานจลน์ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ส่วนวิธีการตรวจวิเคราะห์เอกลักษณ์จะใช้เทคนิค FT-IR และ XRD ในการแสดงเอกลักษณ์ของซิงค์กลีเซฮโรเลตที่สังเคราะห์ได้

เอกสารอ้างอิง (References)

[1] เลิศพงศ์ ลาภชีวะสิทธิ์. 2016. ปริมาณการนำเข้ากลีเซอรอล. แหล่งข้อมูล : https://www.scbeic.com/th/detail/product/2271. ค้นเมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2564.

[2] สำนักงานคณะกรรมการกำกับหลักทรัพย์และตลาดหลักทรัพย์. 2017. การผลิตกลีเซอรอลบริสุทธิ์. แหล่งข้อมูล : https://market.sec.or.th/public/ipos/IPOSGetFile.aspx?TransID=94005&TransFileSeq=217. ค้นเมื่อวันที่ 23 มีนาคม 2564.

[3] The National Library of Medicine. 2019. Glyzinc. Available at: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glyzinc#section=Computed-Properties. Retrieved 16 October 2020.

[4] Alibaba. 2020. Zinc glycerolate. Available at: https://www.alibaba.com/showroom/zinc-glycerolate.html. Retrieved 23 March 2021.

[5] ChemSrc. 2020. Zinc glycerlate. Available at: https://m.lookchem.com/name/Zinc-1-2-3-propanetriolato-2---kO1-kO2--.html. Retrieved 16 October 2020.

[6] Cheong, M.Y., Hassan, H.A., Hassan, Z.A.A. and Ismail, R. 2012. Zinc glycerolate: Potential active for topical application. *Journal of Oil Palm Research*, 24, 1287-1295.

[7] Reginald, M. Taylor. Improvements in or relating to the formation of metal alkoxides and metal powders by the use of microwave radiation. E.P. patent no. 0295283B1. December 1991.

[8] Huzhou City Linghu Xinwang Chemical. 2020. Zinc Glycerolate PVC stabilizer. Available at: https://xwchemical.en.alibaba.com/product/60485214065816658140/Zinc_Glycerolate_PVC_stabilizer.html. Retrieved 16 October 2020.

[9] Taylor, R.M. and Brock, A.J. Pharmaceutical compound zinc glycerolate complex prepared by reacting zinc oxide and glycerol. U.S. patent no. 4544761. October 1985.

[10] Matkin, D.A., Renshaw, D.C. and Harrison, A.R. Zinc glycerolate manufacture. E.P. patent no. 0721444A1. July 1996.

[11] Rémiás, R., Kukovecz, Á., Darányi, M., Kozma, G., Varga, S., Kónya, Z. and Kiricsi, I. 2009. Synthesis of Zinc Glycerolate Microstacks from a ZnO Nanorod Sacrificial Template. *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2009(24), 3622-3627.

[12] Phakam, B., Srion, S. and Seabpradit, A. 2009. Synthesis of Zinc Glycerolate from the reaction of zinc acetate and glycerol by product biodiesel. A special project submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of bachelor of science in petrochemical technology faculty of science, KMITL.

[13] Sitthirawiphong, C., Sumetsittikul, K. and Prayunthai, P. 2010. Synthesis of Zinc Glycerolate from the reaction of Zinc oxide with glycerol by-product biodiesel. A

special project submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of bachelor of science in petrochemical technology faculty of science, KMITL.

[14] Dong, H. and Feldmann, C. 2012. Porous ZnO platelets via controlled thermal decomposition of zinc glycerolate. *Journal of Alloys and Compounds*. 513, 125-129.

[15] Jiang, P., Song, Y., Dong, Y., Yan, C. and Liu, P. 2013. Zinc glycerolate with lanthanum stearate to inhibit the thermal degradation of poly (vinyl chloride). *Journal of Applied Polymer Science*, 127, 3681-3686.

[16] Reinoso, D.M., Damiani, D.E. and Tonetto, G.M. 2014. Zinc glycerolate as a novel heterogeneous catalyst for the synthesis of fatty acid methyl esters. *Applied Catalysis B: Environtal*, 144, 308–316.

[17] Zhang, P., Liu, L., Fan, M., Dong, Y. and Jiang, P. 2016. The value-added utilization of glycerol for the synthesis of glycerol carbonate catalyzed with a novel porous ZnO catalyst. *RSC Advance*, 6, 76223-76230.

[18] Lau, P., Kwong, T. and Yung, K. 2016. Effective heterogeneous transition metal glycerolates catalysts for one-step biodiesel production from low grade non-refined Jatropha oil and crude aqueous bioethanol. *Scientific Reports*, 6, 23822.