

การสังเคราะห์และวิเคราะห์คุณลักษณะของสารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมที่มีซาลิไซลิกแอตเป็น
องค์ประกอบ สำหรับปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์

Synthesis and Characterization of Magnesium Complex Containing Salen Ligand for
the Ring-Opening Polymerization of Lactide

นิชาภัทร ดิถีเพ็ง^{1*} และ คัมภีร์ พรหมพราญ²

Nichabhat Diteepeng^{1*} and Khamphree Phomphrai²

¹นักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ จังหวัดบุรีรัมย์

²อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

*Corresponding author, E-mail: khamphree.pho@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

พอลิแลคไทด์เป็นพอลิเอสเตอร์ประเภทหนึ่งที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ผลิตได้จากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนใหม่ได้ เช่น แป้งข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งพอลิแลคไคนั้นนิยมนำมาใช้เพื่อลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการสะสมของขยะจากผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ย่อยสลายตัวเองได้ยาก ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแมกนีเซียมที่มีซาลิไซลิกแอตเป็นองค์ประกอบ สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง 3,5-di-*t*-butylsalicylaldehyde กับ ethylenediamine สารประกอบเชิงซ้อนนี้จะถูกวิเคราะห์คุณลักษณะโดยเทคนิคโปรตอนและคาร์บอนเอ็นเอ็มอาร์สเปกโตรสโกปี และพบว่าสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแมกนีเซียมนี้มีความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาคือพอลิแลคไทด์

คำสำคัญ: สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียม ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง พอลิแลคไทด์

Abstract

Poly(lactide) (PLA) is said to be an important biodegradable and biocompatible polyester, derived from renewable resources such as corn starch. It is interested as a new environmental-friendly polymer to decrease environmental problems associated with accumulation of plastic wastes. Herein, we reported the study of the magnesium complex supported by salen ligand and derived from a reaction between 3, 5-di-*t*-butylsalicylaldehyde and ethylenediamine. The complex was characterized by ¹H and ¹³C NMR spectroscopy. The results showed that the magnesium complex efficiently catalyzed the ring-opening polymerization of lactide.

Keywords: magnesium complexes, ring-opening polymerization, polylactide

1. บทนำ

ในปัจจุบันพอลิเมอร์เป็นสารที่มีบทบาทต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะพอลิเมอร์สังเคราะห์ในกลุ่มพลาสติกซึ่งมีข้อดีที่น้ำหนักเบา มีความทนทานสูง สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ผลิตภัณฑ์พลาสติกเหล่านี้กลับมีข้อเสียคือ สลายตัวได้ยาก เมื่อถูกทิ้งเป็นขยะจะตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานานทำให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา จากปัญหาดังกล่าวทำให้มีความสนใจเกี่ยวกับการสังเคราะห์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable plastic) เช่น พอลิแลคไทด์

พอลิแลคไทด์ (PLA) สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ (LA) ซึ่งเป็นไซคลิกไดเอสเทอร์ของแลคติกแอซิดที่ผลิตได้จากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนได้ใหม่ในธรรมชาติ ได้แก่ ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เป็นต้น (Wu et al., 2005)

ในทางอุตสาหกรรม สารประกอบเชิงซ้อนของดีบุก tin (II) 1-ethyl-hexanoate, Sn (Oct)₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมนำมาใช้สำหรับพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ แต่อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มีข้อเสียหลายประการ เช่น มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่ช้าและไม่สามารถควบคุมได้ และความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมของโลหะหนักดีบุก (Poirier et al., 2009)

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้สำหรับพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์และไซคลิกไดเอสเทอร์ชนิดอื่น เช่น การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะอัลคอกไซด์ของ อะลูมิเนียม สังกะสี แมกนีเซียม อิตเรียม แลนทานีน และดีบุก (Dechy-Cabaret et al., 2004)

ในขณะที่สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะอะลูมิเนียม สังกะสี และแลนทานีนกับแอนซีนารีลิแกนด์

นั้นได้ถูกศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ แต่การศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบเชิงซ้อนของแมกนีเซียมเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นกลับไม่ได้มีอย่างแพร่หลายนัก

คุณสมบัติแมกนีเซียมเป็นโลหะที่ไม่มีสี ไม่มีความเป็นพิษ และยังเป็นธาตุที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญต่อการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายมนุษย์

งานวิจัยเกี่ยวกับสารประกอบเชิงซ้อนของแมกนีเซียมนั้นจะเป็นการพัฒนาของระบบของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโลหะแมกนีเซียมเป็นอะตอมกลางกับลิแกนด์หลากหลายประเภท เช่น ลิแกนด์ที่มีจำนวนอะตอมผู้ให้หลายอะตอม (β -diimino ligand β -diketiminato) (Chisholm et al., 2005) หรือซิปเพสลิแกนด์ประเภทไดเรเนเทตลิแกนด์ (Tsai et al., 2009) หรือเตตราเดนเทตลิแกนด์ (Range et al., 2008) ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโลหะแมกนีเซียมเป็นอะตอมกลางกับลิแกนด์ที่มีจำนวนอะตอมผู้ให้หนึ่งอะตอมนั้น มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโลหะแมกนีเซียมเป็นอะตอมกลางกับลิแกนด์ที่มีจำนวนอะตอมผู้ให้หลายอะตอม (Song et al., 2013)

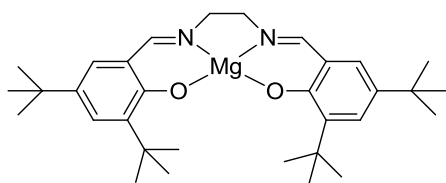
จากงานวิจัยของ Poirier และคณะ ได้รายงานการศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมที่มีชื่อว่า bis (morpholinomethyl) phenoxy magnesium ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ในระบบที่มีขนาดใหญ่ โดยที่ยังมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่สูง (Poirier et al., 2009)

จากงานวิจัยของ Wang & Ma (2010) ได้รายงานการศึกษาสารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมที่มีลิแกนด์ชนิด aminophelate ที่เป็นเตตราเดนเทตลิแกนด์ และมีไอออนลบหนึ่งประจุ ซึ่งแสดงประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์

จากงานวิจัยของ Song et al., (2013) ได้รายงานการศึกษาสารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมกับซาเลนลิแกนด์ที่มีไอออนลบหนึ่งประจุและมีโครงสร้างแบบไม่สมมาตรและเป็นเตตราเดนเตลิแกนด์ ซึ่งแสดงประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์

จากงานวิจัยของ Hormnirun et al., (2014) ได้รายงานการสังเคราะห์ชุดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนอะลูมิเนียมกับซาเลนลิแกนด์ที่มีชื่อว่า *N,N'*-bis (salicylaldimine)-1,2-ethylenediamine โดยกลุ่มวิจัยได้ทำการศึกษาลิแกนด์หลายชนิดที่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านความกะทัดรัดและสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ พบว่ากลุ่มแทนที่บนวงฟีนอกซีของลิแกนด์และความยาวของโครงสร้างหลักของลิแกนด์นั้นส่งผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ ซึ่งซาเลนลิแกนด์นั้นได้รับความนิยมอย่างมากในการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชันและโลหะกลุ่มหลักเนื่องมาจากขั้นตอนการสังเคราะห์ลิแกนด์ที่ไม่ยุ่งยาก (Jing et al., 2004)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โลหะแมกนีเซียมเป็นอะตอมกลาง และใช้ลิแกนด์กลุ่มซาลิเอดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมสำหรับปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ และศึกษาลักษณะของพอลิแลคไทด์ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 1 สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียม

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์โดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนของแมกนีเซียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2. ศึกษาลักษณะของพอลิแลคไทด์ที่ได้จากการสังเคราะห์

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 การสังเคราะห์ซาเลนลิแกนด์

ซาเลนลิแกนด์สามารถสังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยาของ 3,5-di-*t*-butylsalicylaldehyde (1.075 g, 4.92 mmol) กับ 1,2-ethylenediamine (0.16 mL, 2.46 mmol) ในตัวทำละลายอะซิโตไนไตรล์ 50 mL ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นของแข็งสีเหลือง ทำการกรองของแข็งสีเหลืองที่ได้และล้างด้วยเอทานอลเย็น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกทำให้แห้งภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิห้องจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นของแข็งสีเหลือง

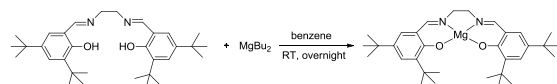


รูปที่ 2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ซาเลนลิแกนด์

3.2 การสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียม

สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมสามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างซาเลนลิแกนด์ (0.2464 g, 0.50 mmol) กับ $MgBu_2$ (0.50 mL, 0.50 mmol) ในตัวทำละลายเบนซีน 20 mL ดังแสดงในรูปที่ 3 สารเหล่านี้ถูกเตรียมภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน และถูกบรรจุในขวดก้นกลมประเภท Schlenk flask ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการกำจัดตัวทำละลายออกโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศที่

อุณหภูมิห้อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของแข็งสีเหลือง เดิมตัวทำละลายเฮกเซนลงไปเพื่อล้างของแข็งสีเหลือง และทำการกรองเอาตัวทำละลายออกโดยใช้แคนนูลา และกำจัดตัวทำละลายที่ยังคงเหลืออยู่โดยการระเหยภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิห้องจะได้ผงสีเหลือง ทำการตกผลึกผงสีเหลืองที่ได้ด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นผงสีขาว



รูปที่ 3 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียม

3.3 การสังเคราะห์พอลิแลคไทด์โดยใช้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง

ในขั้นตอนนี้จะทำการสังเคราะห์พอลิแลคไทด์จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบไม่ใช้ตัวทำละลาย ซึ่งศึกษาได้โดยการชั่งแลคไทด์มอนอเมอร์ตัวเร่งปฏิกิริยา และเบนซิลแอลกอฮอล์สำหรับใช้เป็น initiator ในอัตราส่วนมอนอเมอร์:ตัวเร่งปฏิกิริยา: เบนซิลแอลกอฮอล์ คือ 100:1:1 และ 500:1:1 และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 110 °C เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยานำพอลิเมอร์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาร้อยละผลผลิต ด้วยเทคนิคโปรตอนเอ็นเอ็มอาร์สเปกโตรสโกปี (¹H NMR) และเทคนิคเจลเพอร์มิเอชันโครมาโทกราฟี (GPC) เพื่อศึกษาค่ามวลโมเลกุลและค่าดัชนีการกระจายตัวของพอลิเมอร์

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 การสังเคราะห์และวิเคราะห์หาคุณลักษณะของสารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียม

การสังเคราะห์ซาเลนลิแกนด์นั้นได้ผลิตภัณฑ์เป็นของแข็งสีเหลือง มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 50 (0.626 g) และการสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างซาเลนลิแกนด์กับ MgBu₂ ได้

ผลิตภัณฑ์เป็นผงสีขาวมีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 30 (0.074 g) ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาโครงสร้างได้โดยเทคนิคโปรตอนเอ็นเอ็มอาร์สเปกโตรสโกปีและคาร์บอนเอ็นเอ็มอาร์สเปกโตรสโกปี โดยมีผลการวิเคราะห์ ดังแสดง

ซาเลนลิแกนด์:

¹H NMR (400 MHz, CDCl₃): δ 13.65 (s, 2H, -OH), 8.38 (s, 2H, CH=N), 7.35 (s, 2H, Ar-H), 7.06 (s, 2H, Ar-H), 3.92 (s, 4H, -CH₂-), 1.43 (s, 18H, -(CH₃)₃), 1.28 (s, 18H, -(CH₃)₃).

¹³C NMR (400 MHz, CDCl₃): δ 167.58, 127.02, 126.05, 59.61, 31.46, 29.41.

สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียม:

¹H NMR (400 MHz, C₆D₆): δ 7.71 (d, 1H, Ar-H), 7.66 (d, 1H, Ar-H), 7.54 (s, 1H, CH=N), 7.49 (s, 1H, CH=N), 6.94 (d, 1H, Ar-H), 6.87 (d, 1H, Ar-H), 2.87 (br, 2H, -CH₂-), 2.58 (br, 1H, -CH₂-), 2.45 (br, 1H, -CH₂-), 1.78 (s, 9H, -(CH₃)₃), 1.63 (s, 9H, -(CH₃)₃), 1.41 (s, 9H, -(CH₃)₃), 1.34 (s, 9H, -(CH₃)₃).

¹³C NMR (400 MHz, C₆D₆): δ 170.50, 169.21, 168.14, 162.32, 142.88, 141.57, 139.53, 134.19, 130.87, 129.13, 128.06, 124.51, 121.13, 55.97, 55.57, 36.49, 36.21, 34.14, 34.08, 32.76, 31.99, 31.76, 30.35.

เมื่อพิจารณาสัญญาณของโปรตอนที่ได้จากสารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมพบว่าการเลื่อนของสัญญาณเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณโปรตอนที่ได้จากซาเลนลิแกนด์ และสัญญาณโปรตอนของหมู่ -OH ในซาเลนลิแกนด์นั้นหายไปและเมื่อพิจารณาสัญญาณคาร์บอนที่ได้ พบว่ามีจำนวนพิกตรงกับจำนวนของคาร์บอนในโครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียม

4.2 การสังเคราะห์และวิเคราะห์หาคุณลักษณะของพอลิแลคไทด์ที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์

สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ได้ในอัตราส่วนมอนอเมอร์: ตัวเร่งปฏิกิริยา: เบนซิลแอลกอฮอล์ 100:1:1 และ 500:1:1 ที่อุณหภูมิ 110 °C โดยปฏิกิริยาจะสิ้นสุดที่เวลา 2 ชั่วโมง 7 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ผลผลิตมีค่าเท่ากับ 85 และ 70 ตามลำดับ โดยร้อยละผลผลิตสามารถคำนวณได้จากเทคนิคโปรตอนเอ็นเอ็มอาร์สเปกโตรสโกปี (¹H NMR) ดังสมการที่แสดง

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{Integration of polymer}}{\text{Integration of polymer and monomer}} \times 100$$

จากเทคนิคเจลเพอร์มิเอชันโครมาโทกราฟี (GPC) พบว่าพอลิแลคไทด์ที่ได้จากอัตราส่วนมอนอเมอร์:ตัวเร่งปฏิกิริยา:เบนซิลแอลกอฮอล์ 100:1:1 และ 500:1:1 ที่อุณหภูมิ 110 °C นั้นมีน้ำหนักโมเลกุลพอลิเมอร์ (Mn) เท่ากับ 11200 และ 15000 ตามลำดับ และค่าดัชนีการกระจายตัวของพอลิเมอร์ (Đ) มีค่าเท่ากับ 1.7 และ 1.5 ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังแสดง

$$\text{Đ} = \frac{M_w}{M_n}$$

โดยที่ M_w คือ น้ำหนักโมเลกุลพอลิเมอร์เฉลี่ยโดยมวล
 M_n คือ น้ำหนักโมเลกุลพอลิเมอร์เฉลี่ยโดยจำนวน

ดังแสดงในตารางที่ 1 ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์: ตัวเร่งปฏิกิริยา: เบนซิลแอลกอฮอล์ เท่ากับ 100:1:1 น้ำหนักโมเลกุลพอลิเมอร์ (Mn) ที่วัดได้จากเทคนิค GPC มีค่าเท่ากับ 11200 ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนัก

โมเลกุลพอลิเมอร์ (Mn) ที่คำนวณได้จากสมการดังแสดง

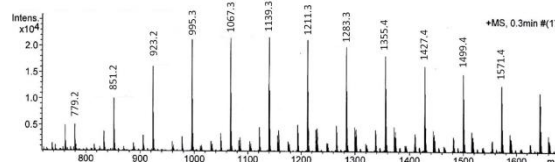
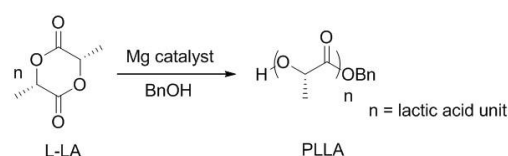
$$\text{น้ำหนักโมเลกุลของแลคไทด์} \times 100 \times (\text{ร้อยละผลผลิต} / 100) = 144.13 \times 100 \times 0.85 = 12251$$

แสดงว่าสารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมทุกโมเลกุลสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ได้

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าค่าดัชนีการกระจายตัวของพอลิเมอร์ (Đ) ที่ได้มีค่าค่อนข้างกว้าง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาข้างเคียง คือ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ทำให้เกิดสายพอลิเมอร์ที่มีขนาดยาวและสั้นปะปนกัน

ตารางที่ 1 ผลที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์โดยสารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมที่อุณหภูมิ 110 °C

อัตราส่วนมอนอเมอร์: ตัวเร่งปฏิกิริยา: เบนซิลแอลกอฮอล์	เวลา / ชั่วโมง	ร้อยละ ผลผลิต	Mn ($\times 10^3$)	Đ
100:1:1	2	85	11.2	1.7
500:1:1	7	70	15.0	1.5



รูปที่ 4 สัญญาณแมสของพอลิแลคไทด์ที่ได้จากอัตราส่วนของมอนอเมอร์: ตัวเร่งปฏิกิริยา: เบนซิลแอลกอฮอล์ เท่ากับ 10:1:1

เมื่อทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ในอัตราส่วนของมอนอเมอร์: ตัวเร่งปฏิกิริยา: เบนซิลแอลกอฮอล์ เท่ากับ 10:1:1 ที่อุณหภูมิ 110 °C พบว่าปฏิกิริยาลิ้นสุดที่ 5 นาที และจากสัญญาณเมสที่ได้จากเทคนิคลิวคโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี แสดงในรูปที่ 4 วิเคราะห์ได้ว่าที่ปลายสายของพอลิเมอร์แต่ละสายนั้นมีหมู่ -OBn ของเบนซิลแอลกอฮอล์เกาะอยู่ โดยสามารถคำนวณได้จากค่ามวลต่อประจุ เช่น ที่สัญญาณเมสซึ่งค่ามวลต่อประจุเท่ากับ 1571.4 นั่นคือสายของพอลิแลคไทด์ที่ประกอบด้วย แลคติกแอซิด 20 หน่วย ไฮเดียมไอออน และเบนซิลแอลกอฮอล์ $((72.02 \times 20) + 23 + 108 = 1571.4)$

5. การอภิปรายผล

จากผลการวิจัยพบว่าสารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมที่มีชาเลนลิแกนด์เป็นองค์ประกอบมีคุณสมบัติในการเป็นตัวเร่งเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์ได้ ดังนั้น ในอนาคตผู้วิจัยจะทำการสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมชนิดใหม่ โดยทำการเปลี่ยนโครงสร้างของชาเลนลิแกนด์จากเดิมซึ่งเป็นชาเลนลิแกนด์ที่มีโครงสร้างหลักเป็น ethylenediamine เปลี่ยนเป็น propylenediamine และ 1,2-trans-diaminocyclohexane ตามลำดับ เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของความกะโหลกในโครงสร้างหลักของชาเลนลิแกนด์ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์

6. บทสรุป

สารประกอบเชิงซ้อนแมกนีเซียมที่สังเคราะห์ได้นี้มีประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลคไทด์

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยและอุปกรณ์ในการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- Chisholm, M.H., Gallucci, J.C., Phromphrai, K. (2005). Comparative study of the coordination chemistry and lactide polymerization of alkoxide and amide complexes of zinc and magnesium with a β -diiminato ligand bearing ether substituents. *Inorganic Chemistry*, 44, 8004-8010.
- Dechy-Cabaret, O., Martin-Vaca, B., Bourissou, D. (2004). Controlled ring-opening polymerization of lactide and glycolide. *Chem. Rev.*, 104, 6147-6176.
- Hormnirun, P., Marshall, E.L., Gibson, V. C., White, A. J. P., Williams, D. J. (2004). Remarkable stereocontrol in the polymerization of racemic lactide using aluminium initiators supported by tetradentate aminophenoxide ligands. *J. Am. Chem. Soc.*, 126, 2688-2689.
- Jing, H., Edulji, S. K., Gibbs, J. M., Stern, C.L., Zhou, H., Nguyen, S. T. (2004). (Salen)tin complexes: syntheses, characterization, crystal structures, and catalytic activity in the formation of propylene carbonate from CO₂ and propylene oxide. *Inorganic Chemistry*, 43, 4315-4327.

- Poirier, V., Roisnel, T., Carpentier, J-F., Sarazin, Y. (2009). Versatile catalytic systems based on complexes of zinc, magnesium and calcium supported by a bulky bis(morpholinomethyl) phenoxy ligand for the large-scale immortal ring-opening polymerization of cyclic esters. *Dalton Trans.*, 44, 9820-9827.
- Range, S., Piesik, D. F.-J., Harder, S. (2008). Binuclear magnesium, calcium and zinc complexes based on bis(salicyladimine) ligands with rigid bridges. *Eur. J. Inorg. Chem.*, 22, 3442-3451.
- Song, S., Ma, H., Yang, Y. (2013). Magnesium complexes supported by salen-like ligands: synthesis, characterization and their application in the ring-opening polymerization of rac-lactide. *Dalton Trans.*, 42, 14200-14211.
- Tsai, Y-H., Lin, C-H., Lin, C-C., Ko, B-T. (2009). Tridentate anilido-alimine magnesium and zinc complexes as efficient catalysts for ring-opening polymerization of ϵ -caprolactone and L-lactide. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry.*, 47, 4927-4936.
- Wu, J-C., Huang, B-H., Hsueh, M-L., Lai, S-L., Lin, C-C. (2005). Ring-opening polymerization of lactide initiated by magnesium and zinc alkoxides. *Polymer.*, 46, 9784-9792.
- Wang, L., Ma, H. (2010). Highly active magnesium initiators for ring-opening polymerization of rac-lactide. *Macromolecules.*, 43,