

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



248281

การตั้งพระราชหฤทัยนิพนธ์-อะตอมิเนียมและเบอริลกับเปิดไฮดรอกไซด์ของพวกกรดด้วยแอลกอฮอล์
เป็นตัวอย่างปฏิบัติการวิจัยขั้นต้นนิพนธ์

นางสาวนุชนารถ ศรีจวัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



248281

การสังเคราะห์แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์สอดแทรกด้วยแอลคอกไซด์
เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส



นางสาวนุชนารถ ศิริจัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 1 7 2 3 4 2 0 2 3

SYNTHESIS OF ALKOXIDE INTERCALATED Mg–Al LAYERED DOUBLE HYDROXIDES
AS HETEROGENEOUS BASE CATALYSTS

Miss Nuchanart Siri-nguan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสังเคราะห์แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์
สอดแทรกด้วยแอลคอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส

โดย

นางสาวนุชนารท ศิริจ้วน

สาขาวิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต งามจรัสศรีวิชัย

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ นารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรพงษ์ วิทิตสานต์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต งามจรัสศรีวิชัย)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ดวงกมล นันทศรี)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. กัญญ์ กังวานสายชล)

นุชนารถ ศิริจัน : การสังเคราะห์แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์
 สอดแทรกด้วยแอลคอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส. (SYNTHESIS OF
 ALKOXIDE INTERCALATED Mg-Al LAYERED DOUBLE HYDROXIDES
 AS HETEROGENEOUS BASE CATALYSTS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก :
 ผศ.ดร. ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย , 94 หน้า.

248281

งานวิจัยนี้ศึกษาการสอดแทรกแอลคอกไซด์เข้าสู่โครงสร้างของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม
 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ เพื่อขยายระยะห่างช่องว่างระหว่างชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์
 โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบชนิดต่างๆ ภายในโครงสร้างของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียม
 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ ได้แก่ เมทอกไซด์ เอทอกไซด์ ไอโซโพรพอกไซด์และเตริต-บิวทอกไซด์
 วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่ การเลี้ยวเบน
 รังสีเอกซ์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การสูญเสียน้ำหนักด้วยความร้อนและ
 ฟิวรีเออร์ทรานสฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรสโกปี โดยทำการศึกษาผลของชนิดแอลคอกไซด์ที่ทำการ
 สอดแทรกเข้าสู่ในโครงสร้างของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่มีต่อผลได้
 และการเลือกจำเพาะต่อผลิตภัณฑ์ในการเร่งทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอรอลกับเมทิลลอรเรต
 เพื่อสังเคราะห์กลีเซอริลโมโนลอรเรต พบว่า แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่
 สอดแทรกด้วยแอลคอกไซด์ทั้งสี่ชนิดสามารถเร่งปฏิกิริยาได้อย่างว่องไวและมีการเลือกจำเพาะ
 ต่อกลีเซอริลโมโนลอรเรตสูงขึ้น การสอดแทรกด้วยเตริต-บิวทอกไซด์ไอออนเข้าสู่ในโครงสร้างของ
 แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวและ
 การเลือกจำเพาะต่อผลิตภัณฑ์สูงสุด โดยให้ผลได้และการเลือกจำเพาะต่อกลีเซอริลโมโนลอรเรต
 เท่ากับ 86.6 และ 87.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่การเปลี่ยนของเมทิลลอรเรตเท่ากับ 99.0 เปอร์เซ็นต์
 เมื่อภาวะในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อเมทิลลอรเรตเท่ากับ
 6 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและระยะเวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ
 150 องศาเซลเซียส

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อนิสิต..... นุชนารถ ศิริจัน
 สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2553.....

5172342023 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS : LAYERED DOUBLE HYDROXIDE / INTERCALATION / ALKOXIDE /
TRANSESTERIFICATION/ HETEROGENEOUS BASE CATALYST

NUCHANART SIRI-NGUAN : SYNTHESIS OF ALKOXIDE INTERCALATED Mg-Al
LAYERED DOUBLE HYDROXIDES AS HETEROGENEOUS BASE CATALYSTS.
THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. CHAWALIT NGAMCHARUSSRIVICHAI, Ph.D,
94 pp.

248281

This work was aimed to study preparation of alkoxide intercalated Mg-Al layered double hydroxides (LDH) in order to expand interlayer spacing of metal hydroxide layers by exchanging interlayer anions with various alkoxides, including methoxide, ethoxide, isopropoxide and tert-butoxide. The physicochemical properties of the synthesized materials were characterized by means of powder X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), thermogravimetric/differential thermal analysis (TG/DTA) and fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). Effects of type of alkoxide intercalating into the Mg-Al LDH structure on product yield and selectivity in transesterification of methyl laurate with glycerol to synthesize glyceryl monolaurin were investigated. The alkoxide intercalated Mg-Al LDHs catalyzed the reaction actively and selectively produce glyceryl monolaurin among which the tert-butoxide intercalated Mg-Al LDH is the most active and selective catalyst, giving the monolaurin yield of 86.6 % and the selectivity to monolaurin of 87.3 % at the methyl laurate conversion of 99 % under the suitable conditions, the molar ratio of glycerol/methyl laurate of 6, the catalyst mass of 4 wt.% base on the amount of methyl laurate, the reaction time of 3 h at 150°C.

Department : Chemical Technology

Student's Signature Nuchanart Siri-nguan

Field of Study : Chemical Technology

Advisor's Signature Chawalit Ngamcharussrivichai

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต งามจรุสศรีวิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆรวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอดจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัย รวมทั้งให้การอบรมสั่งสอนด้านวิชาการตลอดมา

กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ธราพงษ์ วิทิตสานต์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ดวงมล นันทศรี และ ดร. กัญย์ กังวานสายชล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณารับเชิญเป็นกรรมการสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการวิทยานิพนธ์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านเชื้อเพลิงภายใต้โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีศูนย์วิจัยปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง และ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่สนับสนุนทุนวิจัยตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่สั่งสอน ให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุนด้านต่างๆเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.2 การสังเคราะห์หอนุพันธ์กลีเซอไรด์.....	5
2.3 การเร่งทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	9
2.3.1 การเร่งปฏิกิริยาด้วยกรด.....	10
2.3.2 การเร่งปฏิกิริยาด้วยเบส.....	11
2.4 กลีเซอรอล.....	12
2.5 เมทิลเอสเทอร์.....	14
2.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	15
2.6.1 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	15
2.6.2 การเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์.....	16
2.7 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์.....	18
2.7.1 ลักษณะโครงสร้างของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์.....	20
2.7.2 การดัดแปรโครงสร้างของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์.....	21

บทที่	หน้า
2.7.2.1 การสอดแทรกหรืออินเตอร์คาเลชัน (Intercalation).....	22
2.7.2.2 การสอดแทรกไอออนเข้าสู่เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์.....	23
2.7.3 ประโยชน์ของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์.....	27
2.8 แอลคอกไซด์.....	29
2.9 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	33
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	33
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	33
3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทำทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	33
3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์เมทิลลอรเรตและกลีเซอไรด์.....	33
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	34
3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	35
3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	35
3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์เมทิลลอรเรตและผลิตภัณฑ์กลีเซอไรด์.....	38
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	40
3.3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและการดัดแปรตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการสอดแทรก	40
3.3.1.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์	40
3.3.1.2 การดัดแปรตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์โดยการสอดแทรกด้วยแอลคอกไซด์ไอออน.....	41
3.3.1.3 การดัดแปรตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมอะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์โดยสอดแทรกด้วยไฮดรอกไซด์.....	41
3.3.2 การศึกษาการดูดซับของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	42
3.3.3 การเร่งทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของเมทิลลอรเรตกับกลีเซอรอล.....	42
3.3.4 การทำเมทิลลอรเรตและกลีเซอไรด์ให้เป็นอนุพันธ์ที่ระเหยง่าย.....	43
3.3.5 การวิเคราะห์ปริมาณเมทิลลอรเรตและกลีเซอไรด์.....	43
4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	44
4.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	44

4.1.1 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค XRD	46
4.1.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค FTIR.....	52
4.1.3 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค TG/DTA.....	54
4.1.4 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค SEM.....	57
4.2 การทดสอบการเร่งทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทิลลอรเรตกับกลีเซอรอล.....	59
4.2.1 การศึกษาผลของชนิดแอลกอฮอล์.....	59
4.2.2 การศึกษาผลของไฮดรอกไซด์.....	61
4.2.3 การศึกษาผลของภาวะในการทำปฏิกิริยา.....	63
4.2.3.1 อัตราส่วนโดยโมลกลีเซอรอลต่อเมทิลลอรเรต.....	63
4.2.3.2 อุณหภูมิปฏิกิริยา.....	64
4.2.3.3 น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา.....	65
4.2.3.4 เวลาทำปฏิกิริยา.....	66
4.2.4 การศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	68
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	71
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	71
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	72
รายการอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก การคำนวณการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	78
ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณสารเคมีในปฏิกิริยา.....	80
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอไรด์โดยแก๊สโครมาโทกราฟี	81
ภาคผนวก ง การคำนวณระยะห่างระหว่างระนาบและระยะห่างช่องว่างระหว่างชั้น	91
ภาคผนวก จ การสลายตัวเชิงความร้อนจากเทคนิค TG/DTA.....	92
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	94

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สูตรเคมีทั่วไปของเมทิลเอสเทอร์ชนิดต่างๆ.....	14
2.2	ตัวอย่างสารประกอบเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์.....	21
2.3	ตัวอย่างปฏิกิริยาที่มีการนำเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	28
2.4	ตัวอย่างโครงสร้างและสมบัติของแอลคอกไซด์.....	30
3.1	ภาวะในการวิเคราะห์เมทิลลอเรตและกลีเซอไรด์.....	39
4.1	ระยะห่างช่องว่างระหว่างชั้นที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการสอดแทรกด้วยแอลคอกไซด์ไอออนชนิดต่างๆ.....	49
4.2	หมู่ฟังก์ชันของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่พบภายหลังจากสอดแทรกแอลคอกไซด์ไอออนชนิดต่างๆ.....	54
4.3	ช่วงอุณหภูมิการสลายตัวและปริมาณแอลคอกไซด์ที่สอดแทรกได้ในเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์.....	57
4.4	ผลของชนิดแอลคอกไซด์ต่อการเปลี่ยนเมทิลลอเรตและการกระจายของผลิตภัณฑ์กลีเซอไรด์ในการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของเมทิลลอเรตกับกลีเซอรอล.....	59
4.5	ผลของอัตราส่วนโดยโมลกลีเซอรอลต่อเมทิลลอเรตต่อการเปลี่ยนของเมทิลลอเรตและการกระจายของผลิตภัณฑ์บนตัวเร่งปฏิกิริยา $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^- \text{MgAl LDH}$	63
4.6	ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนของเมทิลลอเรตและการกระจายของผลิตภัณฑ์บนตัวเร่งปฏิกิริยา $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^- \text{MgAl LDH}$	65
4.7	ผลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนของเมทิลลอเรตและการกระจายของผลิตภัณฑ์บนตัวเร่งปฏิกิริยา $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^- \text{MgAl LDH}$	66
ก1	มวลโมเลกุลของเกลือโลหะและชนิดของโลหะแอลคอกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง.....	78

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ลักษณะโครงสร้างของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์.....	1
2.1	สมการเคมีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล.....	4
2.2	โครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของโมโนกลีเซอไรด์	6
2.3	โครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของไดกลีเซอไรด์.....	6
2.4	สมการเคมีสำหรับเอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน.....	6
2.5	สมการเคมีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับกลีเซอรอล.....	7
2.6	สมการเคมีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอรอล...	7
2.7	สมการเคมีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ กับเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	8
2.8	โครงสร้างอย่างง่ายของสารลดแรงตึงผิว.....	9
2.9	กลไกการเร่งทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรด.....	10
2.10	กลไกการเร่งทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบส.....	11
2.11	สมการเคมีแซพอนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเบส.....	12
2.12	สารเคมีมูลค่าเพิ่มชนิดต่างๆที่ผลิตได้จากกลีเซอรอล.....	13
2.13	โครงสร้างทั่วไปของเมทิลเอสเทอร์.....	14
2.14	ขั้นตอนการเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์.....	17
2.15	ลักษณะโครงสร้างของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ [Mg ₆ Al ₂ (OH) ₁₆ CO ₃ · 4H ₂ O].....	18
2.16	ลักษณะโครงสร้างของแกรไฟต์ (graphite).....	19
2.17	ลักษณะโครงสร้างของมอนอมอริไลไนต์.....	19
2.18	ลักษณะโครงสร้างของไฮโดรทัลไซต์.....	20
2.19	ลักษณะเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่พบในธรรมชาติ.....	20
2.20	ชั้นโลหะไฮดรอกไซด์หรือชั้นบรูไซต์ (brucite layer).....	21
2.21	การแทนที่ M ²⁺ ด้วย M ³⁺ ในชั้นโลหะไฮดรอกไซด์.....	21
2.22	การสอดแทรกหรืออินเตอร์คาเลชันวัสดุเลเยอร์ไฮสตรต์ด้วยโมเลกุลแกสต์.....	22
2.23	การสอดแทรกแบบสเตรจิงและเชกิริเกชัน.....	23

ภาพที่	หน้า
2.24	กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange)..... 23
2.25	กระบวนการฟื้นฟูสภาพ (reconstruction) 26
2.26	การเตรียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์สอดแทรกด้วยไอออนประจุลบโดยวิธีต่างๆ.. 27
2.27	โครงสร้างทั่วไปของแอลคอกไซด์..... 29
2.28	สมการปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ในการสังเคราะห์แอลคอกไซด์..... 29
3.1	เทคนิค X-ray diffraction (XRD)..... 35
3.2	เครื่อง Thermal analyzer รุ่น Pyris Diamon ของ PerkinElmer..... 37
3.3	เทคนิค Scanning electron microscopy (SEM)..... 37
3.4	เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer รุ่น Spectrum One ของ PerkinElmer 38
3.5	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph)รุ่น CP-3800 ของ Varian.... 39
4.1	รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งมีคาร์บอนเนตเป็นไอออนภายในช่องว่างระหว่างชั้น..... [CO ₃ ²⁻ -MgAl LDH]..... 44
4.2	ระนาบผลึก (003) ของโครงสร้างเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์..... 45
4.3	รูปแบบ FTIR สเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งมีคาร์บอนเนตเป็นไอออนภายในช่องว่างระหว่างชั้น... [CO ₃ ²⁻ -MgAl LDH]..... 45
4.4	รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) NO ₃ ⁻ -MgAl LDH, (ข) CH ₃ O ⁻ -MgAl LDH,.... (ค) C ₂ H ₅ O ⁻ -MgAl LDH, (ง) <i>i</i> -C ₃ H ₇ O ⁻ -MgAl LDH และ (จ) <i>t</i> -C ₄ H ₉ O ⁻ -MgAl LDH... 47
4.5	กลไกการแลกเปลี่ยนในเตรตไอออนกับแอลคอกไซด์ไอออนภายในช่องว่างระหว่างชั้นของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์..... 48
4.6	รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) NO ₃ ⁻ -MgAl LDH, (ข) calcined MgAl LDH (500 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง) และ (ค) OH ⁻ -MgAl LDH..... 50
4.7	กระบวนการสอดแทรกไฮดรอกไซด์ไอออนโดยวิธีการฟื้นฟูสภาพ..... 51
4.8	รูปแบบ FTIR สเปกตรัมของ (ก) NO ₃ ⁻ -MgAl LDH, (ข) CH ₃ O ⁻ -MgAl LDH,.... (ค) C ₂ H ₅ O ⁻ -MgAl LDH, (ง) <i>i</i> -C ₃ H ₇ O ⁻ -MgAl LDH และ (จ) <i>t</i> -C ₄ H ₉ O ⁻ -MgAl LDH 52
4.9	กลไกการเกิดไฮดรอกไซด์ไอออนผ่านเตริต-บิวทอกไซด์ไอออนภายในช่องว่าง... ระหว่างชั้น..... 53
4.10	โปรไฟล์ TG/DTG ของ (ก) NO ₃ ⁻ -MgAl LDH และ (ข) <i>t</i> -C ₄ H ₉ O ⁻ -MgAl LDH.... 55

ภาพที่	หน้า	
4.11	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของ (ก) NO_3^- -MgAl LDH, (ข) CH_3O^- -MgAl LDH, (ค) $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$ -MgAl LDH, (ง) $i\text{-C}_3\text{H}_7\text{O}^-$ -MgAl LDH และ (จ) $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^-$ -MgAl LDH (กำลังขยาย 1500 เท่า).....	58
4.12	ผลของไฮดรอกไซด์ไอออนและเตริต-บิวทอกไซด์ไอออนในการสอดแทรกเข้าสู่โครงสร้างของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงของเมทิลลอเรตและการเลือกจำเพาะต่อผลิตภัณฑ์.....	61
4.13	ผลของไฮดรอกไซด์ไอออนและเตริต-บิวทอกไซด์ไอออนสอดแทรกเข้าสู่โครงสร้างของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ต่อผลได้ของโมโนลอรีน.....	62
4.14	การดูดซับของกลีเซอรอลและเมทิลลอเรตบนตัวเร่งปฏิกิริยา $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^-$ -MgAl LDH.	64
4.15	ผลของเวลาทำปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงของเมทิลลอเรตและการเลือกจำเพาะต่อผลิตภัณฑ์กลีเซอไรด์ ของ $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^-$ -MgAl LDH.....	67
4.16	ผลของเวลาทำปฏิกิริยาต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์กลีเซอไรด์ ของ $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^-$ -MgAl LDH	67
4.17	การนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวเร่งปฏิกิริยา $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^-$ -MgAl LDH ในการ..... ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอรอลกับเมทิลลอเรต.....	68
4.18	โปรไฟล์ TG/DTG ของตัวเร่งปฏิกิริยา $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^-$ -MgAl LDH ภายหลังจากใช้งาน (ก) ครั้งที่หนึ่ง (ข) ครั้งที่สาม.....	69
5.1	ลักษณะการจัดเรียงตัวของแอลคอกไซด์ไอออนภายในช่องว่างระหว่างชั้นและ.. การจำลองการเกิดทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอรอลกับเมทิลลอเรตภายใน ช่องว่างระหว่างชั้นของ $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^-$ -MgAl LDH.....	71
ค1	ตัวอย่างโครมาโทแกรมในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ของเมทิลลอเรตกับกลีเซอรอลบนตัวเร่งปฏิกิริยา $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{O}^-$ -MgAl LDH.....	81
ค2	เส้นโค้งสอบเทียบของสารมาตรฐานเมทิลลอเรต.....	83
ค3	เส้นโค้งสอบเทียบของสารมาตรฐานกลีเซอรอล.....	83
ค4	เส้นโค้งสอบเทียบของสารมาตรฐานโมโนลอรีน.....	84
ค5	เส้นโค้งสอบเทียบของสารมาตรฐานไดลอรีน.....	84
ค6	เส้นโค้งสอบเทียบของสารมาตรฐานไตรลอรีน.....	85
จ1	รูปแบบการสลายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา CH_3O^- -MgAl LDH.....	92
จ2	รูปแบบการสลายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$ -MgAl LDH.....	92
จ3	รูปแบบการสลายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา $i\text{-C}_3\text{H}_7\text{O}^-$ -MgAl LDH.....	93