

การเตรียมดินสอพองเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม
Preparation of Marlstone for Using as Catalyst in
Transesterification Reaction of Palm Oil

จิระประภา โม้ผา¹, วัชรีย์ ฟั้นเฟือนหา² และ ณัฐพร พุทธวงษ์^{1*}

Jiraprapa Mopha¹, Watcharee Funfuenha² and Nathaporn Phutthawong^{1*}

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา 19 หมู่ 2 ต.แม่กา อ.เมือง จ.พะเยา 56000

² สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 128 ถ.ห้วยแก้ว
ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมดินสอพองเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม โดยศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน โดยอุณหภูมิในการเผาที่ศึกษา ได้แก่ 720 900 และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 1.5 2 และ 8 ชั่วโมง สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม ในอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:6 ทำการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง คือ การเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง โดยให้ร้อยละผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 78.12

คำสำคัญ: ดินสอพอง ตัวเร่งวิวิธพันธุ์ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ไบโอดีเซล น้ำมันปาล์ม

Abstract

The aim of this research is to study of preparation of marlstone for using as catalyst in transesterification reaction of palm oil. Marlstones catalysts were calcined in various temperatures such as 720, 900 and 1000 °C in various calcination times such as 1, 1.5, 2 and 8 hours. The biodiesels were produced through transesterification reaction by using 5% wt. (by weight of palm oil) as catalyst, molar ratio of palm oil to methanol 1:6, catalytic activation at 50 °C for 30 min and transesterification for 2 hours. The optimal calcining condition to prepare marlstone catalyst was 1000 °C for 1.5 hours which gave the highest yield at 78.12%.

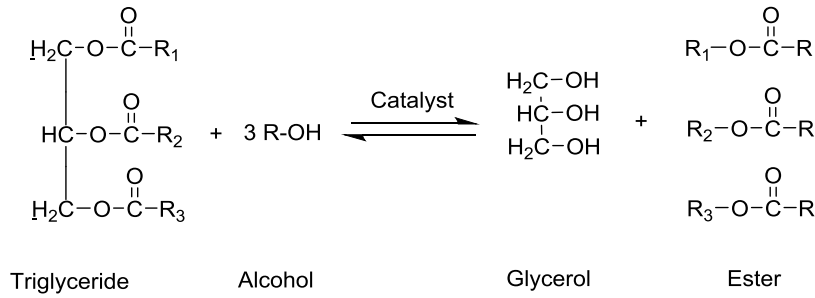
Keywords: Marlstone, Heterogeneous catalyst, Transesterification, Biodiesel, Palm oil

บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนประเภทดีเซลจากธรรมชาติ ใช้ทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียมที่เป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป สังเคราะห์โดยการนำเอาน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ มาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) จะได้เป็นไบโอดีเซล (รุ่งทิพย์, 2557) ซึ่งคุณสมบัติของไบโอดีเซล คือ มีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล เป็นสารไม่ไวไฟและไม่ระเบิด มีจุดวาบไฟสูงถึง 120 องศาเซลเซียส (ในขณะที่น้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟที่ 64 องศาเซลเซียส) เป็นเชื้อเพลิงสะอาด ช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีขึ้น ทำให้การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบการใช้ น้ำมันดีเซลแล้ว ไบโอดีเซลจะช่วยลดมลพิษทางอากาศได้มาก โดยปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนรวม และฝุ่นละออง ลดลงร้อยละ 20–40 นอกจากนี้ยังลดควันดำได้ถึงร้อยละ 60

กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ (เอทานอล หรือ เมทานอล) ซึ่งจะได้ผลิตผลเป็นเอสเทอร์ (Ester) และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอล (Glycerol) (Hui et al., 2016; Demirbas, 2002) ดังแสดงในภาพที่ 1 ปัจจุบันในการผลิตไบโอดีเซลส่วนใหญ่นิยมใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพราะได้ผลผลิตไบโอดีเซลค่อนข้างสูง และในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันยังต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ได้น้ำมันไบโอดีเซล โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น (Fukuda et al., 2001; Marchetti et al., 2005) ตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลมีทั้งชนิดกรดและเบส ชนิดกรด เหมาะสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน (Free fatty acid: FFA) มากกว่า 1% เช่น น้ำมันพืชใช้แล้ว เป็นต้น โดยไบโอดีเซลจะเกิดผ่าน 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมัน และ ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมัน การผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดจึงเกิดได้ช้า ใช้เวลานาน ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส นิยมใช้มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด เพราะเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็ว และราคาถูก แต่มีข้อเสีย คือในกรณีที่ปฏิกิริยามีน้ำหรือกรดไขมันสูง จะเกิดเป็นอิมัลชันของสบู่ที่เกิดจากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งทำให้ยากต่อการแยกไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ได้ (Talebian-Kiakalaieh et al., 2013) นอกจากนี้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สังเคราะห์ในการผลิตไบโอดีเซลยังแบ่งตามสถานะของตัวเร่งได้ 2 ประเภท คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) และตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst) ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอกพันธ์นั้นเป็นตัวเร่งที่มีวัฏภาค (Phase) เหมือนกัน จึงแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ได้ยาก ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีวัฏภาคแตกต่างจากสารตั้งต้นและสารที่เข้าทำปฏิกิริยา การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย โดยการกรอง หรือการปั่นเหวี่ยง ทั้งยังสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำได้ ให้ร้อยละผลผลิตของไบโอดีเซลในระดับที่ดี และช่วยแก้ปัญหาคาเกิดสบู่เมื่อใช้เบสที่มากเกินไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Ayato et al., 2009; Kamila et al., 2017)

แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide, CaO) นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสชนิดวิวิธพันธ์ เนื่องจากมีความเป็นเบสสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย ราคาถูก ไม่เป็นพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แคลเซียมออกไซด์เตรียมได้จากการเผาสารหรือวัสดุที่มีองค์ประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, CaCO₃) ที่อุณหภูมิสูงๆ (Calcination) ตัวอย่างของสารหรือวัสดุที่เป็นแหล่งของแคลเซียมออกไซด์ เช่น ปูนขาว (Limestone) แร่แคลไซต์ (Calcite) เปลือกไข่ เปลือกหอย กระดองปู กระดุกสัตว์ เป็นต้น (Phaedra et al., 2015)



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

ดินสอพอง หรือ มาร์ล หรือ มาร์ลสโตน (Marlstone) มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ประมาณร้อยละ 35-98 (Phaedra et al., 2015) เมื่อนำดินสอพองมาเผาที่อุณหภูมิสูง ๆ จะได้แคลเซียมออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเบส (มณีรัตน์ และคณะ, 2561) ดินสอพองจึงถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย มีราคาถูก และไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังให้ปริมาณร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลที่ใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยที่ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองสำหรับผลิตไบโอดีเซลแล้ว และพบว่าต้องใช้เวลาในการเผาดินสอพองนานถึง 5.5 ชั่วโมง (มณีรัตน์ และคณะ, 2561) ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงสนใจเตรียมดินสอพองโดยการเผาที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม ที่สามารถลดระยะเวลาในการเผาดินสอพองเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มในการผลิตไบโอดีเซล

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเผาดินสอพองเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม

วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

- 1) ตัวแปรต้น คือ อุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาดินสอพอง
- 2) ตัวแปรตาม คือ ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซล และ ความเป็นเบสของดินสอพองเผาที่จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 3) ตัวแปรควบคุม คือ ปริมาณน้ำมันปาล์ม 25 กรัม, ปริมาณของดินสอพองเผาที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 5% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:6 การกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง

นำดินสอพอง (จากร้านวัสดุก่อสร้าง ยี่ห้อ Americo) มีลักษณะเป็นผงสีขาวอมเหลืองปริมาณ 5.00 กรัม ใส่ถ้วยครุชิบิลแล้วนำไปใส่เตาเผา (รุ่น DMF-05K ยี่ห้อ HumanLab ประเทศเกาหลี) โดยตั้งอุณหภูมิที่ 720 900 และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 1.5 2 และ 8 ชั่วโมง หลังจากการเผาเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์จนกว่าจะนำไปใช้ (Phaedra et al., 2015)

2. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองเผา

2.1 การกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง

โดยชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง 1.25 กรัม (คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม) ใส่ในขวดก้นกลม เติมเมทานอลปริมาตร 22.35 มิลลิลิตร (อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:6) แล้วคนสารละลายเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ชั่งน้ำหนักน้ำมันปาล์ม (น้ำมันปาล์มโอเลอิน, ตราโอลีน) 25 กรัม นำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่อย ๆ หยดน้ำมันปาล์มลงในตัวเร่งปฏิกิริยาที่กระตุ้นไว้ในข้อ 2.1 เริ่มทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยา นำสารละลายมาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที สารจะแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ ชั้นไบโอดีเซล (ชั้นบน) ชั้นกลีเซอรอล (ชั้นกลาง) และชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (ชั้นล่าง) หลังจากนั้นนำชั้นไบโอดีเซล ออกมาล้างด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาตร 15 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง นำไบโอดีเซลมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดน้ำที่อาจหลงเหลืออยู่ จากนั้นนำไบโอดีเซลมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละผลผลิต (Percentage yield) ตามสูตร (1) และตรวจสอบการเกิดไบโอดีเซลด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (Thin layer chromatography, TLC) โดยใช้ตัวทำละลายทุโลอินต่อคลอโรฟอร์มที่อัตราส่วนโดยปริมาตร เท่ากับ 4:1 เป็น developing solvent และย้อมโครมาโทแกรมด้วยสารละลายกรดฟอสโฟโมลิบดิกในตัวทำละลายเอทานอล ส่องภายใต้เครื่องส่องยูวี

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = (\text{น้ำหนักไบโอดีเซล} / \text{น้ำหนักน้ำมันปาล์มตั้งต้น}) \times 100 \quad (1)$$

ส่วนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (Lab grade, UNILAB) ที่ใช้เปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกัน โดยเปลี่ยนแปลงเฉพาะสารตั้งต้นที่เติมลงไปเท่านั้น

3. การตรวจสอบความเป็นเบส

ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองเผา 1.00 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิดปากขวดแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารละลาย เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วทำการไทเทรตสารละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เพื่อปรับสภาพให้เป็นกลาง โดยการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดพีเอช (รุ่น PC700, ยี่ห้อ EUTECH, ประเทศสิงคโปร์) คำนวณหาค่าความเป็นเบส (มิลลิโมล/กรัม) จากปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตให้เป็นกลางด้วยสูตร (2) และ (3) (Mendonca et al., 2019)

$$\text{mol}_{\text{catalyst}} = \text{mol}_{\text{HCl}} \quad (2)$$

$$\text{mol}_{\text{catalyst}} = \text{CV} / 1000 \quad (3)$$

โดยที่ $\text{mol}_{\text{catalyst}}$ คือ โมลของเบสบนตัวเร่งปฏิกิริยา

mol_{HCl} คือ โมลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (โมลต่อลิตร)

V คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (มิลลิลิตร)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ลักษณะทางกายภาพของดินสอพองที่ผ่านการเผา

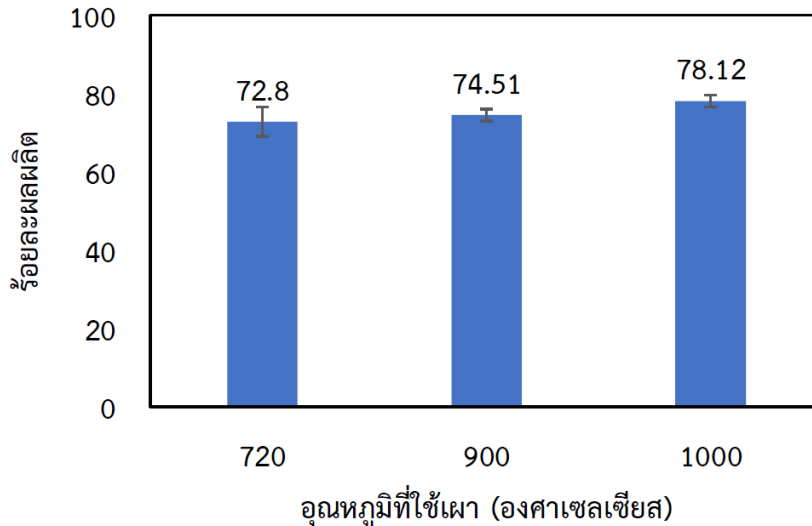
ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 720, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 1.5 2 และ 8 ชั่วโมง พบว่ามีลักษณะเป็นผงเหมือนดินสอพองก่อนเผา (ภาพที่ 2 ก) เพียงแต่จะมีสีเข้มเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการเผานานขึ้น ดังภาพที่ 2 (ข-ซ)



ภาพที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของดินสอพองที่เผาโดยใช้อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส (ก) 900 องศาเซลเซียส (ข) 1,000 องศาเซลเซียส (ค) โดยใช้เวลา 1.5 ชั่วโมง และดินสอพองที่เผาอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาเผา 1 ชั่วโมง (ง) 2 ชั่วโมง (จ) และ 8 ชั่วโมง (ฉ)

2. การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง

การศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาอุณหภูมิ 720, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง โดยทำการกระตุ้นดินสอพองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณตัวเร่ง 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:6 เป็นเวลา 30 นาที และทำทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ได้ร้อยละผลผลิตแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง ที่เผาที่อุณหภูมิต่างกัน โดยใช้เวลาเผา 1.5 ชั่วโมง

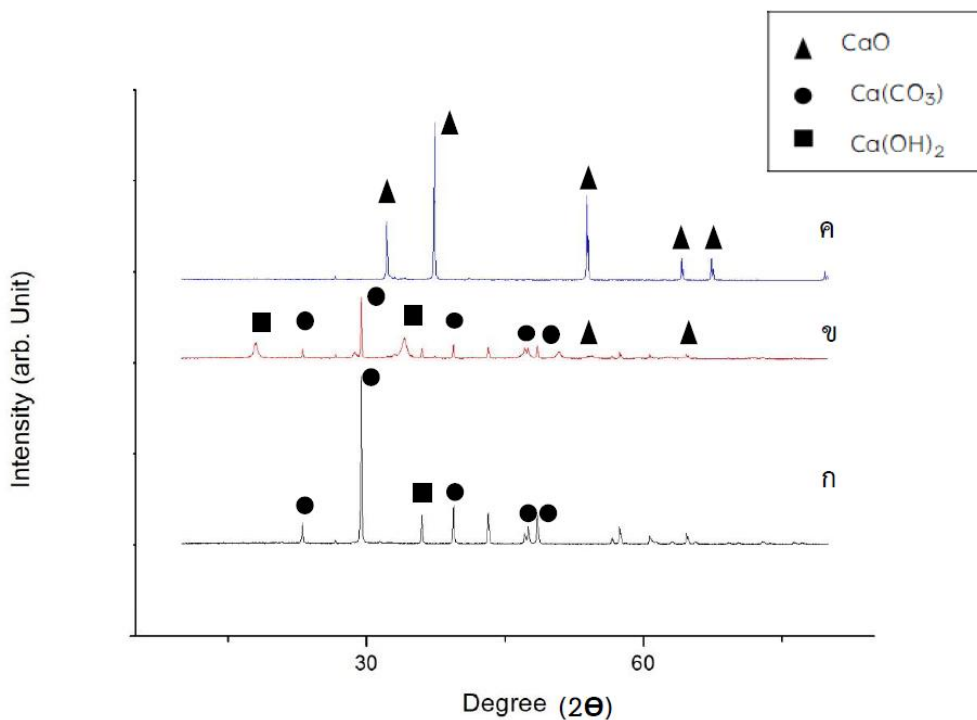
จากภาพที่ 3 พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองสูงขึ้น ร้อยละผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากผล TLC โครมาโทแกรม ดังแสดงในภาพที่ 4 จะเห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาอุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง น้ำมันปาล์มยังไม่เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาอุณหภูมิ 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง มีผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลเกิดขึ้น



ก ข ค ง

ภาพที่ 4 TLC โครมาโทแกรมของน้ำมันปาล์ม (ก) เทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส (ข) 900 องศาเซลเซียส (ค) และ 1,000 องศาเซลเซียส (ง)

เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองมาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ แสดงผลดังภาพที่ 5 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง มีโครงสร้างผลึกของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นองค์ประกอบ แต่ไม่มีองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ จึงอาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันไม่สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับผล TLC โครมาโทแกรม ในภาพที่ 4 (ข) ดินสอพองที่เผา 900 พบว่ามีแคลเซียมออกไซด์เกิดขึ้น แต่ยังมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลงเหลืออยู่ ส่วนการเผาดินสอพองที่ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่ามีผลึกของแคลเซียมออกไซด์เกิดขึ้น จึงสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและได้ผลผลิตไบโอดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al (2014) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมคาร์บอเนตไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ในปูนขาว ที่พบว่าเมื่อเผาปูนขาวที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาการเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมออกไซด์นานกว่าการเผาที่อุณหภูมิ 950 และ 1,000 องศาเซลเซียสตามลำดับ และพบว่าการเผาปูนขาวเวลา 1.5 ชั่วโมง เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส แคลเซียมคาร์บอเนตจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ทั้งหมด ส่วนการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จะให้แคลเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 50 และจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ทั้งหมด เมื่อใช้เวลาในการเผานาน 5 ชั่วโมงขึ้นไป



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาอุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองมาทดสอบความเป็นเบส แสดงผลดังตารางที่ 1 พบว่า การเผาดินสอพองที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองมีค่าความเป็นเบสและค่าพีเอชสูงขึ้น และมีความเป็นเบสน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์เพียงเล็กน้อย ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา XRD ในภาพที่ 5 ที่พบว่าเมื่อมีผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น ค่าความเป็นเบสพีเอชก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

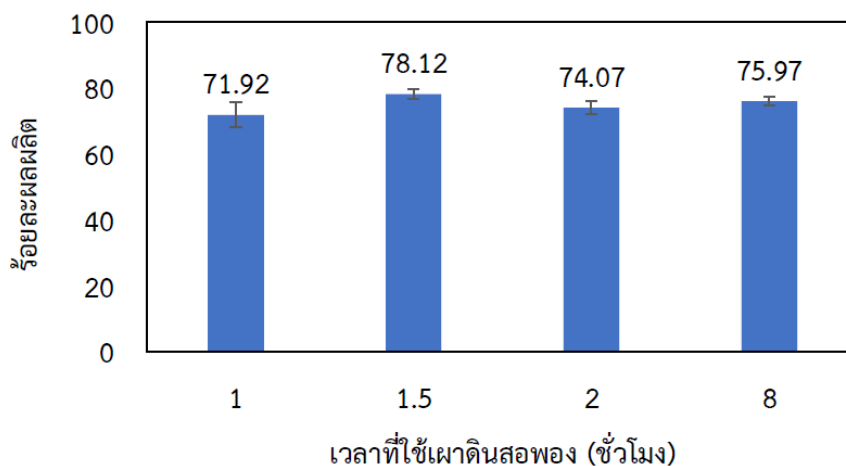
ตารางที่ 1 ผลของอุณหภูมิในการเผาและความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาด้วยเวลา 1.5 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นเบส (mmol/g)	พีเอช (pH)
ดินสอพอง ไม่ผ่านการเผา	0.25±0.05	8.30
720	0.05±0.00	8.25
900	5.22±0.08	12.14
1000	5.10±0.30	12.28
CaO	6.30±0.48	12.17

จากผลการวิจัยนี้สรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผา คือ 1,000 องศาเซลเซียส เนื่องจากสามารถทำให้ดินสอพองเกิดแคลเซียมออกไซด์ (Buasri et al., 2018; Wang et al., 2014) ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองนั้นมีสมบัติเป็นเบสและสามารถนำไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลได้

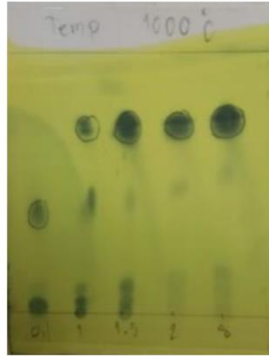
3. การศึกษาระยะเวลาในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง

การศึกษาระยะเวลาในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง จะทำการเผาดินสอพองเป็นเวลา 1 1.5 2 และ 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส จากนั้น นำตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองเผาที่ได้ มาทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทำทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งพบว่า เมื่อใช้เวลาในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองเพิ่มขึ้น ร้อยละผลผลิตก็จะเพิ่มขึ้น และตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ที่ 1,000 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 78.12



ภาพที่ 6 ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง ที่เผาที่เวลาต่างกัน โดยใช้อุณหภูมิเผา 1000 องศาเซลเซียส

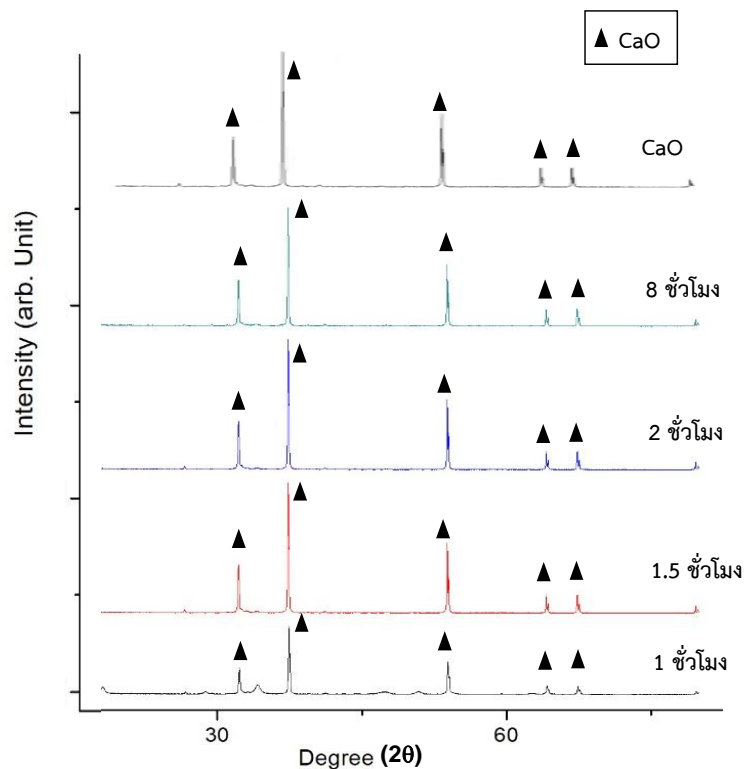
เมื่อพิจารณาจากผล TLC โครมาโทแกรม ดังแสดงในภาพที่ 7 จะเห็นว่า เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 1.5 2 และ 8 ชั่วโมง มีผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลเกิดขึ้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



ก ข ค ง จ

ภาพที่ 7 TLC โครมาโทแกรมของน้ำมันปาล์ม (ก) เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ข) 1.5 ชั่วโมง (ค) 2 ชั่วโมง (ง) และ 8 ชั่วโมง (จ)

เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยามาวิเคราะห์องค์ประกอบของสารด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ แสดงผลดังภาพที่ 8 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบแคลเซียมออกไซด์เป็นหลัก เมื่อใช้เวลาในการเผา 1.5 ชั่วโมงขึ้นไป จึงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา



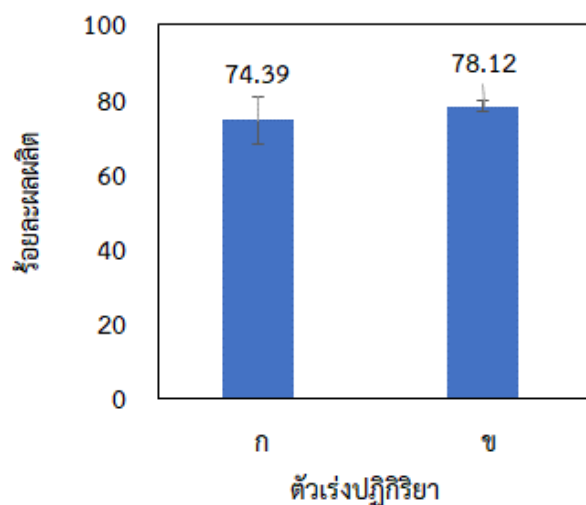
ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ที่ใช้เวลาการเผาต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตัวเร่งแคลเซียมออกไซด์

เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองมาทดสอบความเป็นเบส แสดงผลดังตารางที่ 2 พบว่าการเผาดินสอพองที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลาในการเผามากขึ้นค่าความเป็นเบสก็เพิ่มมากขึ้นด้วย และการเผาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ค่าความเป็นเบสใกล้เคียงกับการเผาเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ซึ่งอาจจะเกิดจากแคลเซียมคาร์บอเนตเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมออกไซด์เกือบสมบูรณ์ (Wang et al., 2014) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงร้อยละผลผลิตไบโอดีเซล จากภาพที่ 6 พบว่าดินสอพองที่ได้จากการเผาเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมงให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง คือ การเผาดินสอพองที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 ผลของเวลาในการเผาและความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง โดยเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความเป็นเบส (mmoL/g)	pH
ดินสอพอง ไม่ผ่านการเผา	0.25±0.05	8.30
1	4.93±0.46	12.23
1.5	5.10±0.30	12.28
2	5.92±0.39	12.24
8	6.29±0.43	12.28
CaO	6.30±0.48	12.17

เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองที่เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง มาใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับตัวเร่งแคลเซียมออกไซด์ แสดงผลดังภาพที่ 9 พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองให้ร้อยละผลผลิตสูงกว่าการใช้ตัวเร่งแคลเซียมออกไซด์เล็กน้อย คือให้ร้อยละผลผลิตเป็น 78.12 และ 74.39 ตามลำดับ



ภาพที่ 9 ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ตัวเร่งแคลเซียมออกไซด์ (ก) และตัวเร่งดินสอพองที่เผาอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง (ข)

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเตรียมดินสอพองเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเผาดินสอพองเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาการเผาที่อุณหภูมิ 720, 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และ ศึกษาระยะเวลาในการเผาดินสอพองเป็น 1, 1.5, 2 และ 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลจากค่าร้อยละผลผลิตไบโอดีเซล TLC โครมาโทแกรม รูปแบบ XRD และการทดสอบความเป็นเบส พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองมากที่สุด คือการเผาดินสอพองที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ซึ่งจะให้ร้อยละผลผลิตสูงสุดถึง 78.12

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ผู้สนับสนุนงบวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- มณีนรัตน์ น้ำจันทร์, มณิญา ยิ้มชื่น, ชวิศา ทองคำ, ผกามาศ โตชม, ธนิตา บุญมี และ วิชญสิทธิ์ อินทกุล. 2561. การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองสำหรับการผลิตไบโอดีเซล. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 13: 84-98.
- รุ่งทิพย์ ชัยเดช. 2557. การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์. [วิทยานิพนธ์]. [สงขลา]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Ayato, K., Koh, M. and Katsuhisa, H. 2009. Acceleration of Catalytic Activity of Calcium Oxide for Biodiesel Production. *Bioresource Technology*. 100: 696-700.
- Buasri, A., Promsupa, W., Wannato, S., Wanta, S., Loryuenyong, V. 2018. The Application of Modified Marlstones in Biofuel Technology. *Materials Science Forum*. 926: 101-106.
- Demirbas, A. 2002. Biodiesel from Vegetable Oils via Transesterification in Supercritical Methanol. *Energy Convers Manage*. 43: 234-923.
- Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H. 2001. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Biodiesel and Bioengineering*. 92: 405-416.
- Hui, L., Shengli, N., Chunmei, L. and Jing, L. 2016. Calcium Oxide Functionalized with Strontium as Heterogeneous Transesterification Catalyst for Biodiesel Production. *Fuel*. 176: 63-71.
- Kamila, C., Laercio, E. and Anto, n.A.C.B. 2017. The Study of Biodiesel Production Using CaO as a Heterogeneous Catalytic Reaction. *Egyptian Journal of Petroleum*. 26: 341-349.
- Marchetti, J.M., Miguel, V.U. and Errazu, A.F. 2005. Possible for Biodiesel Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11: 1300-1311.

- Mendonca, I. M., Paes, O. A.R.L., Maia, P. J.S., Souza, M. P., Almerida, R. A., Silva, C. C., Duvoisin, Jr. S. and Freitas, F. A. 2019. New Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production from Waste Tucuma Peels (*Astrocaryum Aculeatum* Meyer): Parameters Optimization Study. *Renewable Energy*. 130: 103-110.
- Phaedra, J.A., Ejae, J. and Puran, B. 2015. The Application of Calcined Marlstones as a Catalyst in Biodiesel Production from High Free Fatty Acid Coconut Oil. *Fuel*. 158: 372-378.
- Talebian-Kiakalaieh, A., Amin, N.A.S. and Mazaheri, H. 2013. A Review on Novel Processes of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Applied Energy*. 104: 683-710.
- Wang, C., Zhou, X., Jia, L. and Tan, Y. 2014. Sintering of Limestone in Calcination/Carbonation Cycles. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 53: 16235-16244.