

บทที่ 4

สรุป

1. การศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีของไซปาล์มและน้ำมันปาล์ม พบว่า ไซปาล์มมีค่าสaponification 200.88 ค่าเปอร์ออกไซด์ 5.60 ค่าไอโอดีน 39.10 ค่ากรด 0.04 และน้ำหนักโมเลกุล 838.22 และกรดไขมันส่วนใหญ่ประกอบด้วยปาล์มมิติก 51.13 เปอร์เซ็นต์ และโอเลอิก 28.28 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันปาล์มมีค่าสaponification 199.73 ค่าเปอร์ออกไซด์ 8.97 ค่าไอโอดีน 73.92 ค่ากรด 0.56 และน้ำหนักโมเลกุล 843.17 และกรดไขมันส่วนใหญ่ประกอบด้วยโอเลอิก 38.42 และปาล์มมิติก 28.65 เปอร์เซ็นต์
2. การคัดเลือกเอนไซม์ไลเปสที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไซปาล์มและน้ำมันปาล์ม โดยเอนไซม์ไลเปสทางการค้า 7 ชนิด คือ ไลเปส AY (*Candida rugosa*) ไลเปส PS (*Pseudomonas* sp.) ไลเปส AK (*Pseudomonas fluorescens*) ไลเปส D (*Rhizopus delemar*) ไลเปส M (*Mucor javanicus*) ไลเปส OF (*Candida rugosa*) และ ไลเปส FAP-15 (*Rhizopus oryzae*) พบว่าเอนไซม์ไลเปส PS มีประสิทธิภาพในการผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงสุด
3. การตรึงเอนไซม์ไลเปส PS โดยวิธีการยึดเกาะกับตัวพุง 2 ชนิด คือ แอคคูเรล และซีไลท์ พบว่าแอคคูเรลเหมาะสมที่จะนำมาตรึงเอนไซม์ไลเปส PS ซึ่งสามารถตรึงเอนไซม์ไลเปส PS ได้ 0.33 ยูนิตต่อมิลลิกรัมเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป
4. สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบกะ คือ ใช้สับสเตรทที่มีส่วนผสมระหว่างไซปาล์มและเมทานอล อัตราส่วน 1:3 (โมล/โมล) 5 กรัม ใช้เอนไซม์ไลเปส PS ตรึงรูป 60 ยูนิต มีน้ำในปฏิกิริยา 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสับสเตรท บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 92.20 เปอร์เซ็นต์
5. การศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้เอนไซม์ไลเปสพบว่า เมื่อเติม diethylether มีผลให้การผลิตเมทิลเอสเทอร์ลดลง 8.59 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อเติม dimethylsulfoxide, hexane และ petroleum ether การผลิตเมทิลเอสเทอร์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ

- ตัวอย่างที่ไม่เติมตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นตัวทำละลายอินทรีย์ไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตเมทิลเอสเทอร์
6. การศึกษาผลของการเติมเมทานอลซ้ำต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้เอนไซม์ไลเปส PS ตรึงรูป พบว่าเมื่อเพิ่มเมทานอลหลังการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีผลให้การผลิตเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เพิ่มเมทานอลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
 7. การศึกษาองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์จากไซปาล์มด้วยเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป PS ที่ได้จากการผลิตแบบกะขนาดเล็ก พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ประกอบด้วยเมทิลปาล์มมิเตท 49.24 เปอร์เซ็นต์ และเมทิลโอลิเอท 18.13 เปอร์เซ็นต์ และคุณสมบัติที่สัมพันธ์ทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์โดยทำการเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลมาตรฐาน พบว่ามีความหนาแน่น 0.870 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดเดือดสุดท้าย (กลั่นได้ 90%) 350 องศาเซลเซียส และจุดวาบไฟ 176 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลมาตรฐาน ส่วนจุดไหลเท 18 องศาเซลเซียส และความหนืด 7.52 เซนติสโตก มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลไบโอดีเซลมาตรฐานเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบเมทิลเอสเทอร์จากไซปาล์มที่เร่งปฏิกิริยาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าคุณสมบัติที่สัมพันธ์ทางเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกัน
 8. การขยายขนาดการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบกะโดยขยายขนาดการผลิตเป็น 10 เท่า และ 100 เท่า พบว่าในการขยายขนาดการผลิตเป็น 10 เท่า สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ 92.66 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อขยายขนาดการผลิตเป็น 100 เท่า สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ 89.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตแบบกะขนาดเล็กซึ่งสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ 93.23 เปอร์เซ็นต์ และคุณสมบัติที่สัมพันธ์ทางเชื้อเพลิงไม่แตกต่างกับการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบกะขนาดเล็ก ดังนั้นจึงสามารถขยายการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไซปาล์มด้วยเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป PS ในถึงปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ได้
 9. การศึกษาการนำเอนไซม์ไลเปสตรึงรูปไปใช้ใหม่ พบว่าเมื่อนำเอนไซม์ไลเปส ตรึงรูป PS ไปใช้ใหม่ 3 ครั้ง การผลิตเมทิลเอสเทอร์ของการใช้ซ้ำครั้งที่ 3 ลดลงเหลือ 33.95 เปอร์เซ็นต์
 10. การผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ PBR และในถังปฏิกรณ์แบบ CSTR จากไซปาล์มโดยใช้เอนไซม์ไลเปสตรึงรูป PS พบว่ามีปัญหาในการบ้อนลัสเตรทเพราะไซปาล์ม

- แข็งที่อุณหภูมิห้องจึงไม่สามารถบ้อนสับสเตรทให้ไหลจากสายปั๊มลงในคอลัมน์ได้ จึงไม่สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบต่อเนื่องในถังปฏิกรณ์แบบ PBR และ CSTR ได้
11. ปฏิริยาเมทาโนไลซิสจากน้ำมันปาล์มโอเลอินแบบกะ พบว่าสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ 91.44 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีกรดไขมัน โคกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์เหลืออยู่ปริมาณเล็กน้อย คือ 2.91, 2.98 และ 2.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขปาล์ม
 12. การผลิตเมทิลเอสเทอร์อย่างต่อเนื่องจากไขปาล์มด้วยเอนไซม์ไลเปสตรังรูป PS ในใช้ถังปฏิกรณ์แบบ PBR พบว่าเมื่อทำปฏิริยาเมทาโนไลซิสอย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหลของสับสเตรทเท่ากับ 0.01 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เฉลี่ยสูงสุด เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสับสเตรทเท่ากับ 0.03 และ 0.05 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เฉลี่ยลดลง
 13. การผลิตเมทิลเอสเทอร์อย่างต่อเนื่องจากไขปาล์มด้วยเอนไซม์ไลเปสตรังรูป PS ในใช้ถังปฏิกรณ์แบบ CSTR พบว่าเมื่อทำปฏิริยาเมทาโนไลซิสอย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหลของสับสเตรทเท่ากับ 0.07 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เฉลี่ยสูงสุด เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสับสเตรทเท่ากับ 0.12 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เฉลี่ยลดลง
 14. การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขปาล์มโดยใช้เอนไซม์ไลเปสตรังรูป PS ในถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง พบว่าถังปฏิกรณ์แบบ PBR จะสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ดีกว่าการใช้ถังปฏิกรณ์แบบ CSTR อาจเป็นไปได้ว่าการใช้ถังปฏิกรณ์แบบ PBR เอนไซม์ไลเปสตรังรูป PS และสับสเตรทมีโอกาสสัมผัสและทำปฏิริยาเมทาโนไลซิสได้มากกว่าถังปฏิกรณ์แบบ CSTR

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มในส่วนของการนำเอนไซม์ไลเปส PS ตรึงรูปกลับมาใช้ใหม่ เพื่อให้กิจกรรมของเอนไซม์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ลดลงน้อยที่สุด
2. ควรมีศึกษาเพิ่มในส่วนของการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขปาล์มด้วยเอนไซม์ไลเปส PS ตรึงรูปแบบต่อเนื่อง เช่น ละลายไขปาล์มในตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อให้สกัดเอทิลเอสเตอร์ออกจากสายป้อนลงในคอลัมน์ได้
3. ควรมีการศึกษาการขยายขนาดการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มด้วยเอนไซม์ไลเปส PS ตรึงรูปแบบต่อเนื่อง
4. ควรมีการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยเอนไซม์ไลเปสจากแหล่งธรรมชาติที่ผลิตขึ้นเอง เช่น จากจุลินทรีย์ และจากพืช เพื่อลดต้นทุนการผลิต