

## การวิเคราะห์การใช้พลังงานสำหรับโรงงานผลิตไบโอดีเซล 4 รูปแบบ

### Analysis of Energy Usage of Four-pattern Biodiesel Production Plants

วรลักษ์ณ์ อังปนนานนท์\* และ ชัยภพ ศิระวรกุล<sup>2</sup>

Woraluck Aungpananont<sup>1\*</sup> and Chaiyapop Siraworakun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ถนนรังสิต-นครนายก(คลองหก) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

<sup>2</sup>อาจารย์ที่ปรึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ถนนรังสิต-นครนายก(คลองหก) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

\*Corresponding author, E-mail: ningoto@gmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดต่าง 2) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดกรด 3) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ชนิดต่าง และ 4) การใช้สภาวะยิ่งยวด สภาวะเริ่มต้นในการผลิตจะใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ทำปฏิกิริยากับเมทานอล ที่อัตราส่วน 3 ต่อ 1 โมล ตามลำดับ โดยอัตราการผลิตสำหรับทุกรูปแบบมีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมไบโอดีเซลต่อชั่วโมง ผลการจำลองกระบวนการแสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานเรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ 1) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดต่าง 2) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ชนิดต่าง 3) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดกรด และ 4) การใช้สภาวะยิ่งยวด ซึ่งมีค่าเป็น 1,662,756 1,771,873 1,774,146 และ 2,387,586 กิโลจูลต่อชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการลดการใช้พลังงานโดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งผลการจำลองกระบวนการพบว่าการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับกระบวนการผลิตแบบสภาวะยิ่งยวดจะลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด มีการใช้พลังงานในการผลิตเป็น 1,371,780 กิโลจูลต่อชั่วโมง กระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบนี้ถูกจำลองกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรม Aspen HYSYS 2006

**คำสำคัญ:** น้ำมันไบโอดีเซล การจำลองกระบวนการ Aspen HYSYS

#### Abstract

This research investigated the energy use of the following four production patterns used in biodiesel production plants: 1) homogeneous base catalysis, 2) homogeneous acid catalysis, 3) heterogeneous base catalysis and 4) supercritical fluid conditions. During the simulation the initial ratio of pure palm oil to methanol and the product throughput was kept at 1:3 and 1,000 kg biodiesel /h respectively for all the production patterns. Four-biodiesel production plant patterns were simulated using Aspen HYSYS 2006 commercial software. The results of

the simulation showed that the ascending order of energy usage was 1) homogeneous base catalysis, 2) heterogeneous base catalysis, 3) homogeneous acid catalysis, and 4) supercritical fluid conditions, at 1,662,756 1,771,873 1,774,146 and 2,387,586 kJ/hr, respectively. In addition, this research proposed an energy saving approach utilizing a heat exchanger. The results of the simulation showed that the installation of a heat exchanger at a supercritical plant resulted in the highest energy saving of 1,371,780 kJ/hr.

**Keywords:** biodiesel, simulation, process Aspen HYSYS

## 1. บทนำ

การใช้พลังงานในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทุกปี โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงมีการใช้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 48 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ในขณะที่ราคาน้ำมันดิบได้ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งการใช้พลังงานน้ำมันถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติและพลังงานนิวเคลียร์ล้วนส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งไบโอดีเซลเกิดจากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) โดยมีน้ำมันที่ได้จากพืชหรือไขมันสัตว์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (alcohol) เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นต่าง กรด หรือเอนไซม์ ช่วยในการเร่งให้ทำปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือไบโอดีเซล มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง และก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศลดน้อยลง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลยังมีกลิ่นเหม็นและเป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมหลายประเภท

มีงานวิจัยที่จำลองการผลิตไบโอดีเซลมาหลาย เช่น Zhang ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์และน้ำมันพืชใช้แล้ว 4 รูปแบบ โดยมีกรดและด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า

กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีความซับซ้อนน้อยกว่าจึงถูกศึกษาในเชิงพาณิชย์ (Zhang at al., 2003) นอกจากนี้การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลด้วยการใช้สภาวะยิ่งยวดสามารถผลิตให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.8% (Kasteren & Nisworo, 2006) และ West ได้เปรียบเทียบการและออกแบบกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจำนวน 4 รูปแบบ ด้วยโปรแกรม HYSYS มีน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบพบว่ากระบวนการผลิตในสภาวะยิ่งยวด มีจำนวนหน่วยปฏิบัติการน้อยที่สุด และกระบวนการผลิตแบบปฏิกิริยาวิวิธพันธ์โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด (West, Posarac & Ellis, 2008) วัตถุดิบที่ใช้ควรหาได้ง่ายในประเทศและมีประสิทธิภาพในการผลิตเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้ (Santanaa, 2009)

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับ การจำลองกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 4 รูปแบบโดยใช้โปรแกรม Aspen HYSYS 2006 ประกอบด้วยการผลิตโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ที่เป็นกรดและด่าง ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ที่เป็นด่าง และการผลิตในสภาวะยิ่งยวด จากนั้นวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการจำลองกระบวนการผลิตของโรงงานไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มกับเมทานอลด้วย

รูปแบบการผลิต 4 รูปแบบ โดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรม Apen HYSYS 2006

2. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ

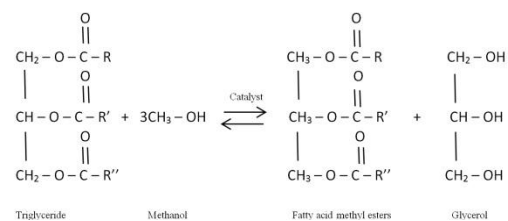
ตารางที่ 1 ค่าสภาวะที่ใช้ในแต่ละหน่วยอุปกรณ์

Unit	Properties	Condition			
		Base	Acid	Hetero g.	Supercritical
Catalyst	Catalyst	NaOH	H2SO4	SrO	N/A
Reactor	Type	CSTR	CSTR	CSTR	CSTR
	Temperature (C)	60	80	60	350
	Pressure (kPa)	101.3	60	101.3	2,000
	Conversion (%)	100	100	100	97.39
Distillation	Reflux ratio	2	2	3.99	3.42
	Number of stages	6	6	14	12
	Condenser Pressure (kPa)	20	101.3	40	101.3
	Reboiler Pressure (kPa)	30	111.0	50	105.3
3-Phase Separator	Temperature (C)	231	223	230	244
	Pressure (kPa)	101.3	101.3	101.3	101.3

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

การจำลองกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้ การผลิตใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน วัตถุประสงค์เป็นน้ำมันปาล์ม (น้ำมันปาล์ม ประกอบด้วยไตรโกลีอีนและกรดโอเลอิก) ทำปฏิกิริยากับเมทานอลในถังปฏิกรณ์ มีอัตราส่วนไตรโกลีอีนต่อเมทานอลเป็น 3 ต่อ 1 โมล ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซล และมีกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้จากการผลิต โดยปฏิกิริยาเป็นไปตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอลเพื่อผลิตเมทิลเอสเตอร์

3.2 โปรแกรม Apen HYSYS 2006

การจำลองการผลิตไบโอดีเซลโปรแกรม Apen HYSYS 2006 ถูกใช้เพื่อการศึกษา โดยจำลองที่หน่วยปฏิบัติการและนำมาประกอบกัน ในแต่ละรูปแบบจะมีการใช้ตัวเร่งต่างชนิดกัน และกำหนดค่าสถานะเริ่มต้นทั้ง 4 รูปแบบที่เท่ากัน เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลเชิงโมล การผลิตเริ่มต้นจากการป้อนไตรโอดีอิน กรดโอเลอิก และเมทานอล เข้าทำปฏิกิริยากันในถังปฏิกรณ์ หลังจากนั้นทำการกลั่นแยกเมทานอลที่เหลืออยู่ด้วยหอกลั่นเพื่อทำการรีไซเคิลกลับ และส่งต่อไปยังเครื่องแยก 3 เฟส ( 3-Phase Separator ) เพื่อแยกกลีเซอรอลกับไบโอดีเซลออกจากรัน ค่าสถานะที่ใช้ในแต่ละหน่วยอุปกรณ์อ้างอิงตามงานวิจัย (West, Posarac & Ellis, 2008) ถูกแสดงดังตารางที่ 1 รหัสและรายชื่ออุปกรณ์ ถูกแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รหัสและรายชื่ออุปกรณ์

รหัส	รายชื่ออุปกรณ์
MIX-100 ถึง MIX-101	เครื่องผสม
P-100 ถึง P-104	ปั๊ม
E-100 ถึง E-101	เครื่องทำความร้อน
E-200 ถึง E-204	เครื่องทำความเย็น
CSTR-100	ถังปฏิกรณ์
T-100	หอกลั่น
X-100	เครื่องแยกตัวเร่งปฏิกิริยา
V-100	เครื่องแยก 3 เฟส
HE-100	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

### 3.3 รูปแบบการผลิตและตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดต่าง (homogeneous base catalyzed) ในงานวิจัยนี้ตัวเร่งชนิดต่างที่ใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปฏิกิริยาชนิดนี้จะใช้อุณหภูมิและความดันต่ำ นิยมใช้วิธีนี้ในการผลิตมากที่สุด เนื่องจากต้นทุนต่ำ การใช้ต่างในการ

เร่งปฏิกิริยานั้น น้ำมันที่ใช้จะต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ ไม่เกินร้อยละ 0.5 อ้างอิงค่าจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาจากงานวิจัยของน้ำค้างและจิตรลดา (น้ำค้าง คมสัน และจิตรลดา นาคประคิษฐ์, 2555) แผนผังการผลิตแสดงดังรูปที่ 2

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดกรด (homogeneous acid catalyzed) ในงานวิจัยนี้ตัวเร่งชนิดต่างที่ใช้คือ กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) การผลิตด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นและปริมาณกรดไขมันอิสระสูง และข้อเสียคือการกัดกร่อนของกรด ปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้ากว่า และการใช้เมทานอลและพลังงานมากกว่าการใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงในการทำปฏิกิริยาอ้างอิงค่าจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาจากงานวิจัยของปริยาทิและรัตนา (ปริยาทิ พิมพิสัย และรัตนา เข็นลับ, 2555) แผนผังการผลิตแสดงดังรูปที่ 3

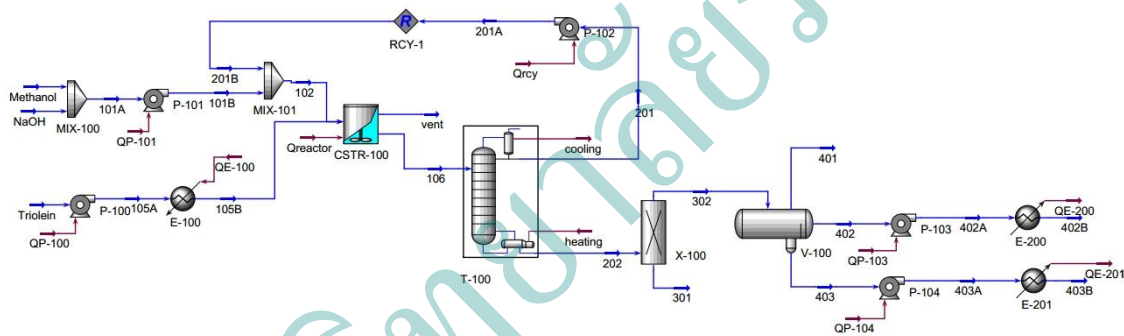
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (heterogeneous catalysts) ที่เป็นต่าง งานวิจัยนี้จะใช้สตรอนเทียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยานี้มีข้อเสียเปรียบเนื่องจากการใช้ตัวเร่งดังกล่าวจำเป็นต้องมีการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้ออกจากผลิตภัณฑ์หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลง เพื่อให้ไบโอดีเซลมีคุณภาพที่ต้องการ ส่งผล การนำตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ที่เป็นของแข็ง (Solid Heterogeneous Catalysts) มาเปลี่ยนแทนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเหลวจะมีความง่ายในการแยก โดยงานวิจัยนี้จะใช้ไฮโดรไซโคลนในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ อ้างอิงค่าจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาจากงานวิจัยของณัฐพรและศศิประภา (ณัฐพร เกตุไทย และศศิประภา วังบรรณ, 2556) และงานวิจัยของกันธารสและชงไชย (กันธารส จักรดอน และชงไชย ศรีนพ, 2552) มีแผนผังการผลิตดังรูปที่ 4

4. การทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในสถานะวิกฤต (supercritical alcohol) ปฏิกิริยาจะ

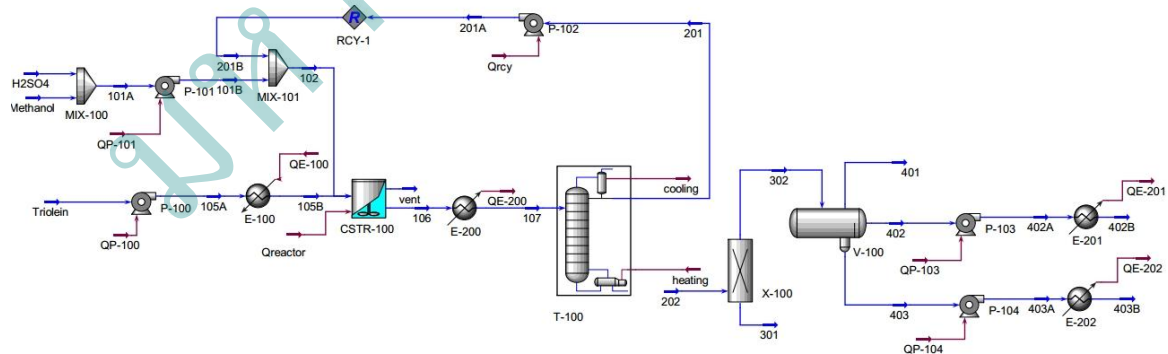
เกิดขึ้นที่อุณหภูมิและความดันสูง แต่เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จึงลดความยุ่งยากในการในการทำผลิตภัณฑ์ให้มีความบริสุทธิ์ และใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองกว่าการผลิตโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยอ้างอิงค่าจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาจากงานวิจัยของปรัชญาพร และจิราลักษณ์ (ปรัชญาพร ลิมปรั้งมี และจิราลักษณ์ ครอบสิน, 2556) แผนผังการผลิตดังแสดงตามรูปที่ 5

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ มีการใช้พลังงานในการดำเนินงานต่างกัน จึงต้องมีการประเมินพลังงานที่ใช้ในการผลิต เพื่อให้ได้ผลประโยชน์จากการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด และใช้งานวิจัยของ West เป็นต้นแบบโดยมีการปรับโดยกำหนดให้สารขาเข้าและสารขาออกมีค่าสถานะเหมือนกันทั้ง 4 รูปแบบ และปรับในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้แยกกลีเซอรอลกับไบโอดีเซล เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิต

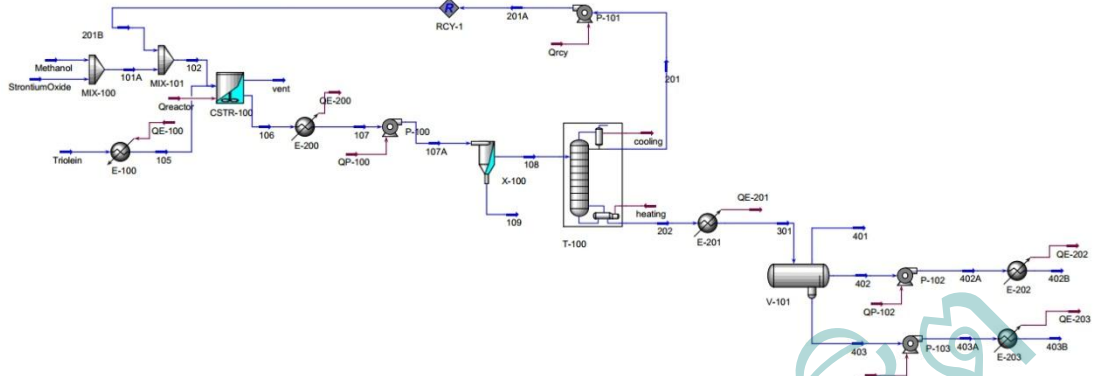
### 3.4 การประเมินผลทางด้านการใช้พลังงาน



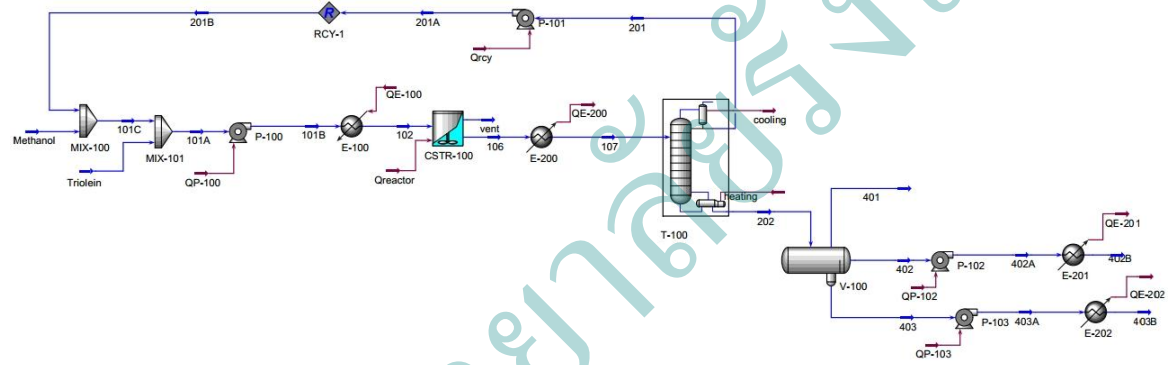
รูปที่ 2 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกพังก์ชนิดต่าง (NaOH)



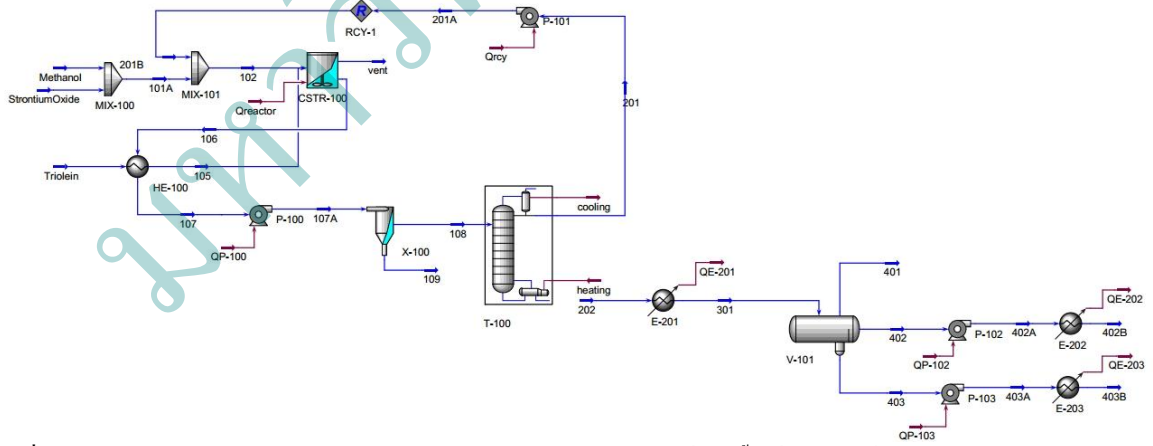
รูปที่ 3 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกพังก์ชนิดกรด (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)



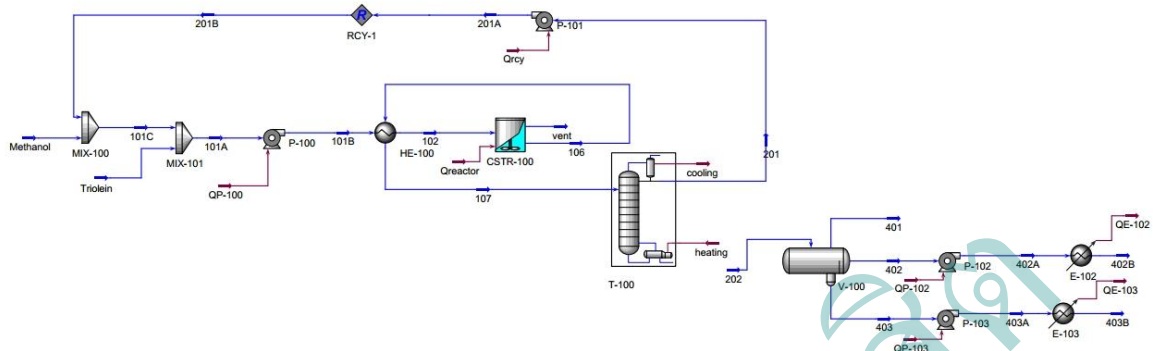
รูปที่ 4 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดต่าง (SrO)



รูปที่ 5 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สภาวะวิกฤต



รูปที่ 6 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดต่าง (SrO) เมื่อติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 7 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สภาวะวิกฤตเมื่อติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

#### 4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

จากการศึกษาพลังงานทั้งหมดที่ใช้การผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ โดยจำลองกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยโปรแกรม Apen HYSYS 2006 ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้อ้างอิงงานวิจัยของ Alex et al. (West, Posarac & Ellis, 2008) เป็นต้นแบบแผนผังการผลิต โดยมีการปรับโดยกำหนดให้สารขาเข้าและสารขาออกมีค่าสภาวะใกล้เคียงกันมากที่สุด และปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้แยกกลีเซอรอลกับไบโอดีเซล เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิต ค่าสภาวะและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละรูปแบบถูกแสดงดังตารางที่ 3

การใช้พลังงานในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบถูกแสดงดังตารางที่ 4 โดยค่าพลังงานที่ได้เป็นการผลิตไบโอดีเซลที่มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 1,000 กิโลกรัมไบโอดีเซลต่อชั่วโมง จากการเปรียบเทียบการผลิตทั้ง 4 รูปแบบพบว่า การโดยใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มีปริมาณการใช้พลังงานที่น้อยกว่า

ตารางที่ 3 ค่าสภาวะและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	Base	Acid	Hetero g.	Super cri.
Temperature (C)	25	25	25	25
Pressure (kPa)	101.3	101.3	101.3	101.3
<b>M-Oleate</b>				
Mass flow (kg/h)	1,006	1,006	1,006	995.5
Mole fraction	0.9769	0.9772	0.9769	0.9706
<b>Glycerol</b>				
Mass flow (kg/h)	101.1	101.1	101.0	108.6
Mole fraction	0.9981	0.9980	0.9979	0.9867

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ และตัวเร่งปฏิกิริยากรด และการใช้พลังงานในการผลิตโดยใช้สภาวะยิ่งยวดในการผลิตมีการใช้พลังงานที่มากที่สุด เนื่องจากการปรับสภาพแอลกอฮอล์ก่อนทำปฏิกิริยาให้อยู่ในสภาวะยิ่งยวดและการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก่อนป้อนเข้าสู่หอกลั่น

ตารางที่ 4 พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ

Energy (kJ/h)	Base	Acid	Hetero g.	Supercr.
Reactor	497,100	390,400	469,200	91,600
Heating	69,080	19,300	39,040	507,100
Cooling	534,090	587,910	566,373	1,080,380
Pumps	436	86	0	512,690
Recovery of methanol (condenser)	49,350	43,750	46,460	15,720
Recovery of methanol (reboiler)	512,700	732,700	650,800	180,100
Total	1,662,756	1,774,146	1,771,873	2,387,586

งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยรูปแบบต่างๆ รายงานว่า การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สภาวะยิ่งยวดนั้นมีประสิทธิภาพและประหยัดกว่ารูปแบบอื่น ในงานวิจัยผู้วิจัยได้คิดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดการใช้พลังงานในการผลิตได้ โดยติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในรูปแบบที่ 3 (รูปที่ 6) และรูปแบบที่ 4 (รูปที่ 7) มีค่าพลังงานรวมที่ใช้ในการผลิตเป็น 1,700,612 และ 1,371,780 kJ/h ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าการคิดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับการผลิตทั้ง 2 รูปแบบนี้ จะสามารถลดการใช้พลังงานได้มาก จะเห็นได้ว่าการผลิตโดยใช้สภาวะยิ่งยวดนั้น มีปริมาณการใช้พลังงานที่น้อยที่สุด

## 5. บทสรุป

จากการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ จากผลการจำลองกระบวนการพบว่า ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีค่า

เท่ากับ 97.7 % และความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลที่ได้มีค่าเท่ากับ 99.8 % มีการใช้พลังงานเรียงตามลำดับจากน้อยไปมากคือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดต่าง การใช้ตัวเร่งวิวิธพันธ์ การใช้ตัวเร่งเอกพันธ์ชนิดกรด และการผลิตโดยใช้สภาวะยิ่งยวดตามลำดับ แต่ถ้าติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนการผลิตโดยใช้สภาวะยิ่งยวดจะมีการใช้พลังงานน้อยที่สุด

## 6. เอกสารอ้างอิง

- กันธารส จักรตอน และชงไชย ศรีนพคุณ. (2552) การจำลองการผลิตไบโอดีเซลแบบวิวิธพันธ์. วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- น้ำค้าง คมสัน และจิตรลดา นาคประดิษฐ์. (2555). การประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตของโรงงานไบโอดีเซลของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล และมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ปรีชาทิ พิณพิสัย และรัตนา เข็นลับ. (2555). การประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตของโรงงานไบโอดีเซลของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล และมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ณัฐฐพร เกตุไทย และศศิประภา วังบรรณ. (2556). การประเมินการใช้พลังงานและการประมาณค่าใช้จ่ายสำหรับโรงงานผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สตรอนเทียมออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ปรีชญาพร ติมปริงยี และจิราลักษณ์ ครองสิน. (2556). การประเมินการใช้พลังงานและการประมาณค่าใช้จ่ายสำหรับโรงงานผลิตไบโ



ดีเซลภายใต้สภาวะ Supercritical fluids. คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

Alex H. West, Dusko Posarac, Naoko Ellis.

(2008). Assessment of four biodiesel production processes using HYSYS.Plant. Bioresource Technology, Vol.99, (6587–6601)

Y. Zhang, M.A. Dube, D.D. McLean, M. Kates.

(2003). Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. Bioresource Technology, Vol. 89, (1–16)

J.M.N. van Kasteren and A.P. Nisworo. (2006).

A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification. J Clean Prod. Vol.17 (143-153)

G.C.S. Santanaa, P.F. Martinsb, N. de Lima da

Silvab, C.B. Batistella, R. Maciel Filhob & M.R. Wolf Macielb. (2009). Simulation and cost estimate for biodiesel production using castor oil. Chemical engineering research and design, Vol. 88, (pp. 626–632)