

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้เครื่องไดอิเล็กทริกแบร์รีเออร์ดิสซาร์ตพลาสมาแบบ
หัวฉีดละออง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Biodiesel production from used vegetable oil using dielectric barrier discharge plasma
reactor with atomizing nozzle



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Nuclear Engineering

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้เครื่องได อเล็กทริกแบร์รีเออร์ดิสซาร์ตพลาสมาแบบหัวฉีดละออง
โดย	น.ส.กุลนันท์ ภูประสิทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมนิวเคลียร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ (รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์แพทย์ เพ่งวาณิชย์)
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก (รองศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง)
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์)
.....	กรรมการ (อาจารย์ ดร.รวีวรรณ กฤษณานูวัตร์)
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพล เกียรติกิตติพงษ์)

กุลนันท์ ภูประสิทธิ์ : การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้เครื่องไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์
 แบริเออร์ดีสชาร์ตพลาสมาแบบหัวฉีดละออง. (

Biodiesel production from used vegetable oil using dielectric barrier discharge
 plasma reactor with atomizing nozzle) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ดุลยพงศ์
 วงศ์แสง, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์

ได้ศึกษาผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์
 ดีสชาร์ตพลาสมาแบบหัวฉีดละออง โดยทำการแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการ
 สร้างระบบจ่ายไฟเพื่อก่อให้เกิดพลาสมา โดยสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้สูงถึง 15 kV จ่าย
 กระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 100 mA และปรับความถี่ได้ในช่วง 20 – 20,000 Hz โดยระบบประกอบด้วย
 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator), เครื่องขยายสัญญาณ (Signal amplifier), หม้อแปลง
 ขึ้น (Step-up transformer) และหม้อแปลงนีออนไลท์ (Neon sign transformer) 5 ตัวต่อขนาน
 กัน ซึ่งระบบจ่ายไฟที่สร้างขึ้นนี้จะสามารถก่อก่อให้เกิดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ และส่วนที่สอง
 เป็นการศึกษาการนำระบบจ่ายไฟที่สร้างขึ้นเพื่อก่อให้เกิดพลาสมาแบบไดอิเล็กทริก โดยนำมาทำ
 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) โดยปรับอัตราส่วน เมทานอล:น้ำมันพืช
 ให้อยู่ในช่วง 3:1 – 10:1 โดยโมล ใช้ น้ำมันพืช 100 ml ที่อุณหภูมิห้อง ทำการหมุนเวียนระบบด้วย
 ปั๊มรีดท่อ (Peristaltic pump) ระยะห่างระหว่างขั้วแคโทด (Cathode) และแอโนด (Anode) 3
 มิลลิเมตร และฉีดพ่นสารผสมโดยใช้หัวฉีดละออง (Atomizing nozzle) เป็นเวลา 2 ชั่วโมงพบว่า
 ค่าผลผลิตไบโอดีเซล (Biodiesel yield) น้อยกว่า 1 % ของทั้ง 3 อัตราส่วน คืออัตราส่วน 3:1,
 6:1 และ 10:1 ต่อโมล อีกทั้งไม่เกิดกลีเซอรอลในระบบ เนื่องจากสารผสมเมื่อสัมผัสกับแผ่นขนาน
 ระหว่างขั้วจะประพุดิตัวเป็นฉนวนทำให้พลาสมาที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยลงจึงทำให้ปฏิกิริยา
 เกิดขึ้นได้น้อย แต่ระบบจ่ายไฟที่สร้างขึ้นนี้สามารถก่อก่อให้เกิดพลาสมาได้จริง

สาขาวิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6070402821 : MAJOR NUCLEAR ENGINEERING

KEYWORD: Power supply system, Dielectric barrier discharge plasma,
Transesterification

Kunlanan Puprasit :
Biodiesel production from used vegetable oil using dielectric barrier discharge plasma reactor with atomizing nozzle. Advisor: Assoc. Prof. Doonyapong Wongsawaeng, Ph.D. Co-advisor: Prof. Suttichai Assabumrungrat, Ph.D.

Biodiesel production from used vegetable oil was studied using the electroplate barrier discharge plasma reactor with an atomizing nozzle. The study was divided into two parts. The first part was to create the power supply system to generate plasma, which can supply high voltage up to 15 kV and current up to 100 mA with adjustable frequency in the range 20 – 20,000 Hz. The system consisted of a signal generator, a signal amplifier, a step-up transformer and 5 neon sign transformers connected in parallel. The constructed system can generate plasma at atmospheric pressure. The second part was to use the constructed power supply system to generate plasma to assist the transesterification reaction. The studied methanol : vegetable oil molar ratio was in the range 3:1 – 10:1. The vegetable oil volume was 100 ml. The reaction was performed at room temperature. A peristaltic pump was used for circulation. The cathode-anode gap was 3 mm. An atomizing nozzle was used to spray the methanol-oil mixture and the reaction time was 2 hours. It was found that the biodiesel yield was less than 1% for the three ratios (3:1, 6:1, and 10:1 by mol) and that no glycerol was present in the system. This is because when the methanol-oil mixture was in contact with the parallel plates, it behaved as an insulator, resulting in reduction of plasma generation and reduced reaction. However, it was shown that the constructed power supply system was able to successfully generate plasma.

Field of Study: Nuclear Engineering Student's Signature

Academic Year: 2018 Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยและศ.ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดีตลอดจนความห่วงใยและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้ทำการวิจัย จึงทำให้งานวิจัยนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์และนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังใช้เป็นต้นแบบให้กับผู้ทำการวิจัยรุ่นต่อไปได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศลิษฐ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเป็นแหล่งเรียนรู้ที่สำคัญอย่างมากในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่อนุเคราะห์เครื่องมือการวิเคราะห์ตลอดจนความรู้ต่าง ๆ ที่นำมาประกอบงานวิจัยนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุพการี ผู้มีพระคุณทุกท่านและครูบาอาจารย์ที่เคยอบรมสั่งสอนมาตั้งแต่แรกเริ่มจนถึงปัจจุบัน

กุลนันท์ ภูประสิทธิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
บทที่ 2	4
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel).....	4
2.2 วิธีผลิตไบโอดีเซล.....	5
2.3 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้จริงในอุตสาหกรรม.....	13
2.4 พลาสมา (Plasma).....	16
2.5 ประเภทของพลาสมา (Plasma Classification).....	16
2.6 กระบวนการในพลาสมา (Process in plasma)	17
2.7 แหล่งกำเนิดพลาสมา (Plasma Source).....	18
2.8 ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดีสชาร์จ (Dielectric barrier discharge, DBD).....	18

2.9 โครงสร้างของไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จต์	19
2.10 หลักการทำงานของไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จต์ (Dielectric Barrier Discharge Phenomenology)	20
2.11 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้พลาสมาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	23
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
2.13 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	28
บทที่ 3	29
ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	29
3.1 เครื่องมือและสารเคมี.....	30
3.2 ออกแบบและสร้างระบบจ่ายไฟแบบแรงดันไฟฟ้าและความถี่สูง.....	31
3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จต์พลาสมา	32
3.3 การทดลองสังเคราะห์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนจากระบบที่สร้างขึ้น	34
3.4 การวิเคราะห์ผลผลิตไฮโดรเจนในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จต์พลาสมาที่สร้างขึ้น	35
บทที่ 4	37
วิธีการวิจัยและผลการวิจัย	37
4.1 การทดสอบสมรรถนะของระบบจ่ายไฟ (Power Supply System)	37
4.2 การทดลองการใช้พลาสมาแทนตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	40
บทที่ 5	45
สรุปวิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปวิจารณ์ผลการวิจัย	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก.....	53
ประวัติผู้เขียน.....	55

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล [3]	4
ตาราง 2 เปรียบเทียบการปล่อยมลพิษระหว่างเชื้อเพลิงไบโอดีเซลกับเชื้อเพลิงฟอสซิล [1].....	5
ตาราง 3 ตัวอย่างการเกิดเทอร์มอลแครกกิงของเมล็ดเรพซีด (Rapseed) [3]	6
ตาราง 4 ระดับกรดไขมันอิสระในน้ำมันชนิดต่างๆ [6]	9
ตาราง 5 คุณสมบัติไบโอดีเซล B100 และไบโอดีเซลผสมในมาตรฐาน U.S. และ European	11
ตาราง 6 ค่าผลผลิตไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่างๆ	41



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสหรือเทอร์โทแครกกิง	6
รูปที่ 2 ปฏิกิริยาทรานส์เอเทอร์ิฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส	8
รูปที่ 3 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอเทอร์ิฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซล	8
รูปที่ 4 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส	9
รูปที่ 5 ปฏิกิริยาทรานส์เอเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด	10
รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอเทอร์ิฟิเคชันของไบโอดีเซล	14
รูปที่ 7 วิธีสังเคราะห์ไบโอดีเซล	15
รูปที่ 8 สถานะต่างๆของสสาร	16
รูปที่ 9 การจัดเรียงขั้วอิเล็กโทรดแบบแผ่นระนาบ [10]	21
รูปที่ 10 การจัดเรียงขั้วอิเล็กโทรดแบบโคแอกเซียล [10]	21
รูปที่ 11 การจัดเรียงขั้วแบบ Dielectric Surface Discharge [10]	21
รูปที่ 12 การจัดเรียงขั้วอิเล็กโทรดแบบ Coplanar Discharge [10]	22
รูปที่ 13 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	29
รูปที่ 14 วงจรของระบบจ่ายไฟแบบแรงดันไฟฟ้าและความถี่สูงสำหรับสร้างพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จ	32
รูปที่ 15 เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จพลาสมา	33
รูปที่ 16 การจัดเรียงอิเล็กโทรดและที่ยึดอิเล็กโทรด	33
รูปที่ 17 ตำแหน่งสำหรับติดตั้งสายไฟฟ้าแรงดันสูงและหัวฉีดละออง	34
รูปที่ 18 อุปกรณ์ต่างๆของระบบจ่ายไฟ	37
รูปที่ 19 ความหนาแน่นของพลาสมาที่ผลิตได้ด้วยระบบจ่ายไฟที่สร้างขึ้นก่อนเริ่มการทดลอง	40
รูปที่ 20 พลาสมาที่เกิดขึ้นจากระบบจ่ายไฟที่สร้างขึ้น	40
รูปที่ 21 ลักษณะของสารผสมเมื่อผ่านไป 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง	41

รูปที่ 22 แสดงการทดลองสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้พลาสติกอร์ช.....	43
รูปที่ 23 แสดงภาพองค์ประกอบหัวพลาสติกอร์ช	44



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นพลังงานทางเลือกอีกชนิดหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเชื้อเพลิงไบโอดีเซลนั้นสามารถผลิตได้จากวัสดุทางชีวภาพหลากหลายชนิด เช่น ปาล์ม สบู่ดำ ไขมันพืช หรือ ไขมันสัตว์ เป็นต้น [1] ในการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลสามารถผลิตได้หลายวิธี ซึ่งในเชิงอุตสาหกรรมวิธีที่นิยมมากที่สุดคือการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสร่วมด้วย เช่น NaOH, KOH เป็นต้น ซึ่งคือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ (Alcohol) เพื่อก่อให้เกิดเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid alkyl esters, biodiesel) เป็นผลิตภัณฑ์หลัก และกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสนั้นสามารถทำให้ค่าประสิทธิภาพของไบโอดีเซลสูงขึ้นแต่จะไม่สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ได้อีก อีกทั้งจะต้องเพิ่มกระบวนการล้างตัวเร่งปฏิกิริยาที่หลงเหลือจากการเกิดปฏิกิริยาด้วยน้ำกรด จึงทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นได้ ในภาคอุตสาหกรรมจึงลดต้นทุนโดยการใช้วัสดุทางชีวภาพที่มีต้นทุนต่ำ เช่น น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว แต่น้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะมีส่วนประกอบเป็นกรดไขมันอิสระและน้ำสูง ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจะเกิดได้ไม่ดีหากมีกรดไขมันอิสระสูงเกินไป ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วจึงต้องนำมาทำให้ค่ากรดไขมันอิสระต่ำลงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดแปลงให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ก่อนและเหลือกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 1% จึงนำมาเข้าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้ ซึ่งทำให้กระบวนการซับซ้อนมากขึ้น

จากปัญหาข้างต้นที่เกิดขึ้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาการใช้เทคโนโลยีพลาสมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน อิเล็กตรอนอิสระพลังงานสูงที่อยู่ในพลาสมาจะชนกับอะตอมและโมเลกุลต่าง ๆ ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งมีความว่องไวทางเคมีมาก จุดสำคัญคืออนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อผลิตไบโอดีเซล นอกจากนี้อิเล็กตรอนพลังงานสูงจะทำให้หมู่

ไฮดรอกซิล (-OH) ในเมทานอลแยกออกมาและกระตุ้นให้เกิดเป็น เมท็อกไซด์ไอออน (Methoxide ion) ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ งานวิจัยหลายฉบับที่ใช้พลาสมาแบบ ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จ (Dielectric barrier discharge plasma, DBD) เพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้น พบว่ามีการนำเครื่องปฏิกรณ์จุ่มลงในอ่างที่มีสารผสมระหว่าง น้ำมันและแอลกอฮอล์ ปั่นกวนสารผสมด้วยเครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) ผลการทดลองที่ได้คือ ผลได้ของไบโอดีเซลต่ำ ซึ่งเกิดจากสารผสมที่ผสมกันไม่ดีพอทำให้เกิดการแยกชั้น พื้นที่ผิวสัมผัสของสารผสมและพลาสมาสัมผัสกันได้น้อย ส่งผลให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาน้อยลง จึงมีแนวคิดที่ว่าหากสามารถทำสารผสมให้ผสมกันได้ดีขึ้น และทำให้สารผสมสามารถสัมผัสกับพลาสมาได้มากขึ้นจะทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นหากทำให้สารผสมนี้ถูกพ่นเป็นละอองเล็ก ๆ (โดยการฉีดพ่นด้วยหัวฉีดละออง) และให้สัมผัสกับพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ ค่าผลผลิตของไบโอดีเซลของไบโอดีเซลที่ได้ควรจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้พลาสมาเทคโนโลยีจะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาก เนื่องจากไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีและไม่ต้องแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ (ไม่ต้องใช้น้ำกรดล้างไบโอดีเซล) สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงเกิดกลีเซอรอลในปริมาณน้อยเนื่องจากกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นบางส่วนจะถูกพลาสมาทำให้เปลี่ยนเป็นเมทานอล จึงสามารถใช้เป็นแนวทางศึกษาเพื่อพัฒนาความสามารถในการผลิตไบโอดีเซลในเชิงอุตสาหกรรมได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสร้างระบบจ่ายไฟที่มีแรงดันสูงและความถี่สูงเพื่อก่อให้เกิดพลาสมาได้

1.2.2 เพื่อผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จพลาสมาแบบหัวฉีดละออง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 สร้างระบบพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบร์รีเออร์ดิสชาร์ตโดยให้มีคุณลักษณะดังนี้

- สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้อย่างน้อย 10 kV
- สามารถจ่ายกระแสได้อย่างน้อย 50 mA

1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วสังเคราะห์ (ประกอบด้วยกรด

ไขมันอิสระ 5%) โดยใช้ระบบที่สร้างขึ้น โดยศึกษาผลของตัวแปรต่อไปนี้

- สัดส่วนเมทานอล : น้ำมันพืช คือ 3 : 1, 6:1 และ 10:1 โดยโมล
- เวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยา



บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกอีกชนิดหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ซึ่งประกอบด้วย fatty acid alkyl ester (FAAE) เช่น methyl palmitate , methyl linoleate และ methyl stearate เป็นต้น ซึ่งแสดงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลไว้ดังตารางที่ 1 เชื้อเพลิงไบโอดีเซลนั้นสามารถผลิตจากวัสดุทางชีวภาพหลากหลายชนิด เช่น ปาล์ม สบู่ดำ ไขมันพืช หรือ ไขมันสัตว์ เป็นต้น อีกทั้งเมื่อใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะมีการปล่อยก๊าซที่เป็นมลภาวะต่าง ๆ น้อยกว่าเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม จึงทำให้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลนั้นเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากซึ่งแสดงในตารางที่ 2 [2] ดังนั้นน้ำมันพืชต้องผ่านกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อปรับคุณสมบัติต่าง ๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เพื่อให้สามารถใช้งานได้โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซล

ตาราง 1 องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล [3]

Fatty acid alkyl ester ไบโอดีเซล	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล (g/mol)	Higher heating value [MJ/kg]	Oxidation stability [h]	Kinematic viscosities [cSt]
Methyl palmitate	C _{16:0}	256.42	39.18	22.13	4.41
Methyl stearate	C _{18:0}	284.48	40.21	17.93	5.82
Methyl oleate	C _{18:1}	282.46	40.13	6.61	4.55
Methyl linoleate	C _{18:2}	280.45	40.06	4.37	3.69
Methyl linolenic	C _{18:3}	278.43	39.98	3.87	3.22
Ethyl palmitate	C _{16:0}	284.48	40.64	23.76	4.62
Ethyl stearate	C _{18:0}	312.53	41.98	21.77	5.92
Ethyl oleate	C _{18:1}	310.51	41.63	6.68	4.81
Ethyl linoleate	C _{18:2}	308.5	40.86	5.02	4.28
Ethyl linolenic	C _{18:3}	306.5	40.69	4.23	3.46

*Note: C_{a:b} อธิบายถึง a=carbon atoms, b=double bonds

ตาราง 2 เปรียบเทียบการปล่อยมลพิษระหว่างเชื้อเพลิงไบโอดีเซลกับเชื้อเพลิงฟอสซิล [1]

การทดสอบ	เชื้อเพลิงไบโอดีเซล	เชื้อเพลิงจากฟอสซิล
ปล่อยก๊าซซันเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	ไม่พบ	พบ
ทำลายชั้นโอโซน	ลดลง 50%	ไม่ลดลง
ฝุ่น	ลดลง 30%	ไม่ลดลง
ไฮโดรคาร์บอน	ลดลง 80%	ไม่ลดลง
ไอเสียจากเครื่องยนต์	ไม่มี	มี
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	ลดลง 50%	ไม่ลดลง

2.2 วิธีผลิตไบโอดีเซล

วิธีการผลิตไบโอดีเซลมี 4 วิธีการหลักดังนี้

2.2.1 การใช้น้ำมันพืชโดยตรงหรือผ่านการผสมกับน้ำมันจากปิโตรเลียม

น้ำมันพืชสามารถถูกนำมาใช้ได้โดยตรงกับเครื่องยนต์ดีเซลแต่จะส่งผลเสียในระยะยาวกับเครื่องยนต์เพราะด้วยความหนืดที่สูงจะก่อให้เกิดตะกอนคาร์บอนขึ้นทำให้เครื่องยนต์เสียหาย ต่อมาได้มีการลดความหนืดของน้ำมันพืชโดยการผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันจากปิโตรเลียมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถผลิตได้ด้วยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน แต่ข้อเสียคือจะเกิดผลเสียกับเครื่องยนต์ในส่วนต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกระบอกฉีดหรือลูกสูบของเครื่องยนต์ และเครื่องยนต์จุดติดได้ยากขึ้น และยังมีการปล่อยมลภาวะที่สูง

2.2.2 กระบวนการไมโครอิมัลชัน (Micro-emulsification)

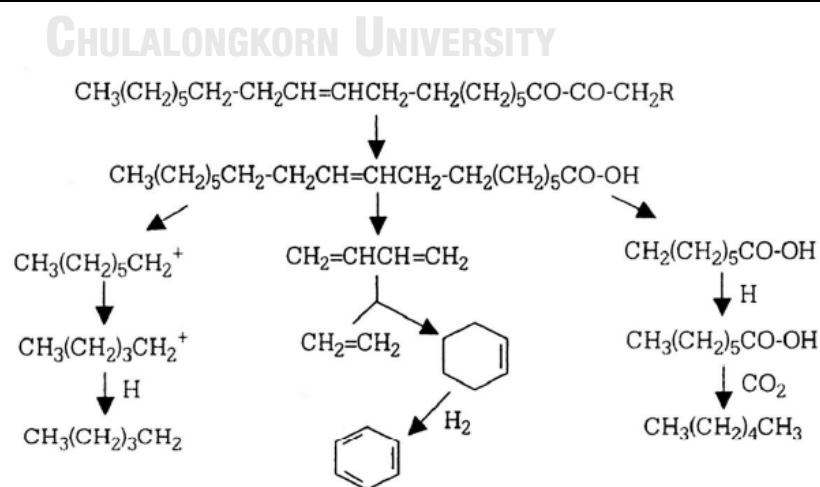
ไมโครอิมัลชันคือการกระจายตัวของคอลลอยด์ในสารละลายที่มีขนาด 1-50 นาโนเมตรในตัวทำละลายและสารเติมแต่ง โดยปกติแล้วตัวทำละลายคือ เมทานอล หรือ เอทานอล วิธีการนี้สามารถลดความหนืดในน้ำมันพืชได้

2.2.3 กระบวนการไพโรไลซิสหรือเทอร์มอลแครกกิง (Pyrolysis or thermal cracking)

ไพโรไลซิส คือการเปลี่ยนสารชนิดหนึ่งให้เป็นอีกชนิดหนึ่งด้วยความร้อน ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกนำมาใช้เพื่อลดพลังงานกระตุ้นและทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิที่ค่าต่าง ๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนั้นมีสัดส่วนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 1 แสดงการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส

ตาราง 3 ตัวอย่างการเกิดเทอร์โมลแครกกิงของเมล็ดเรพซีด (Rapseed) [3]

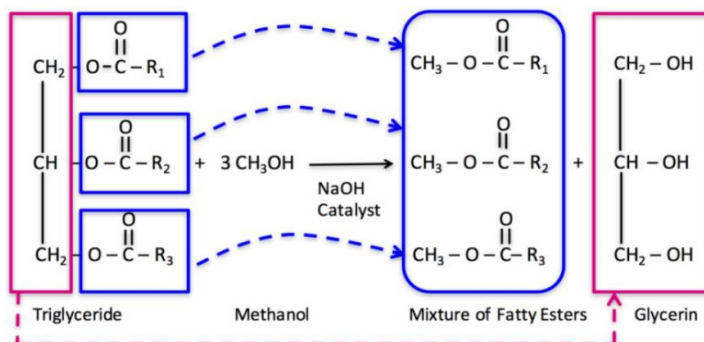
องค์ประกอบ	การเลือก (Selectivity) (% โมล)						
	550°C	600°C	650°C	700°C	750°C	800°C	850°C
C ₁ -C ₄	10.0	18.6	28.2	38.7	35.1	45.1	66.1
C ₅ -C ₉	36.0	19.6	17.6	13.2	17.5	12.6	3.6
C ₁₀ -C ₄₄	3.0	3.5	3.5	2.7	1.7	1.0	0.3
C ₁₅ -C ₁₈	0.9	0.7	0.3	1.1	1.0	0.2	0.3
Aromatics	5.2	2.0	2.7	3.9	7.2	11.6	8.9
C _{3:1} -C _{8:1}	8.5	16.6	10.3	7.2	5.9	4.1	0.9
C _{9:1} -C _{16:1}	2.3	3.2	3.4	2.3	0.9	0.5	0.3
Ester	2.0	1.2	1.3	2.3	2.7	3.8	5.3
CO	0.5	1.2	1.3	2.3	2.7	3.8	5.3
CO ₂	0.3	0.6	0.6	1.1	1.5	1.6	2.1
Coke	6.1	3.8	4.2	4.7	2.2	3.1	4.5
Other	25.2	29.0	25.3	20.4	21.3	13.3	5.1



รูปที่ 1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสหรือเทอร์มอลแครกกิง

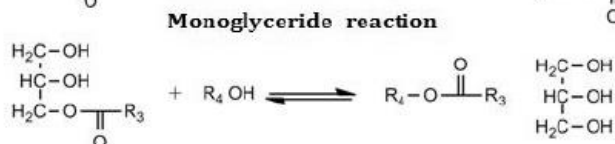
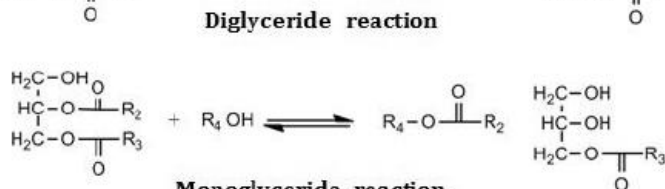
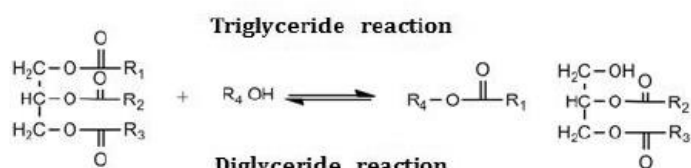
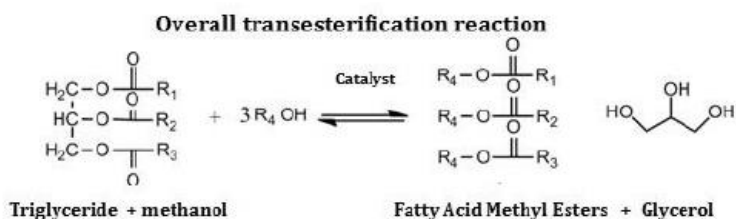
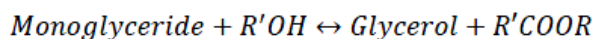
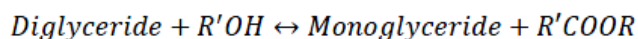
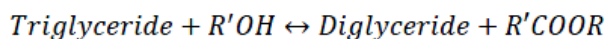
2.2.4 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและเอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นสองปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด เนื่องจากปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าปฏิกิริยาไพโรไลซิส [2] ซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไลด์กับแอลกอฮอล์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อก่อให้เกิดไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์หลักและกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนี้สามารถเกิดขึ้นได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (NaOH, KOH, NaMeO, CH₃OK, CH₃ONa, ฯลฯ) ชนิดกรด (H₂SO₄, PTSA, MSA, H₃PO₄, CaCO₃, ฯลฯ) หรือชนิด Acid-base bi-functional catalyst ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst) เช่น Sulfated zeolites and clays, metal oxides, mixed oxides, เอนไซม์ (Biocatalyst) หรือแอลกอฮอล์ในสถานะเหนือวิกฤต (Supercritical alcohol) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูง (2 - 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40°C และ 1 - 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60 °C [4]) มีความกัดกร่อนต่ำและราคาถูก ในทางกลับกันตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ช้ากว่าและใช้อัตราส่วน แอลกอฮอล์ : น้ำมัน สูงมาก ตัวอย่างเช่นเมื่อใช้เมทานอล : น้ำมันถั่วเหลืองที่ 30:1 และใช้ 1% H₂SO₄ ที่อุณหภูมิ 65 °C จะต้องใช้เวลาถึง 50 ชั่วโมงในการให้ได้ Biodiesel yield > 99% [5] นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสไม่สามารถรีไซเคิลได้ ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดถึงแม้จะสามารถรีไซเคิลได้แต่สามารถทำได้ยาก รูปที่ 2 แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส และรูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้โดยที่ไตรกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนเป็นมอนอกลิเซอไรด์ จากนั้นมอนอกลิเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกลีเซอรอลได้ ไบโอดีเซลจะถูกผลิตขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา โดยที่ 1 โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์สามารถเปลี่ยนเป็น 3 โมเลกุลของไบโอดีเซลได้



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาทรานส์เอเทอร์ิฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส
ที่มา: BEEMS Module B4

ปฏิกิริยาต่อเนื่อง (Consecutive reaction)



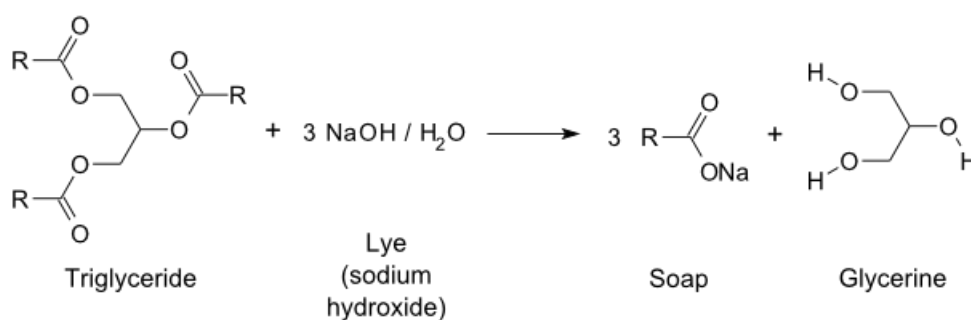
รูปที่ 3 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอเทอร์ิฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซล
ที่มา: <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/conversion-technologies/conventional-technologies/transesterification-to-biodiese>

ในการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล ได้มีการประยุกต์ใช้วัตถุดิบที่ราคาไม่แพง เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโรงกลั่นน้ำปาล์ม หรือแม้กระทั่งน้ำมันพืชใช้แล้วจากร้านอาหารและครัวเรือน เป็นต้น อย่างไรก็ตามน้ำมันที่ใช้แล้วเหล่านี้มีปริมาณกรดไขมันอิสระในระดับที่สูงเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชใหม่ ซึ่งตารางที่ 4 แสดงระดับของกรดไขมันอิสระในน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ตาราง 4 ระดับกรดไขมันอิสระในน้ำมันชนิดต่างๆ [6]

ชนิดน้ำมัน	กรดไขมันอิสระ (%)
น้ำมันพืชที่กลั่นแล้ว	< 0.05%
น้ำมันพืชดิบ	0.5 – 5%
น้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้ว	2 – 7%
ไขมันสัตว์	10 – 30%

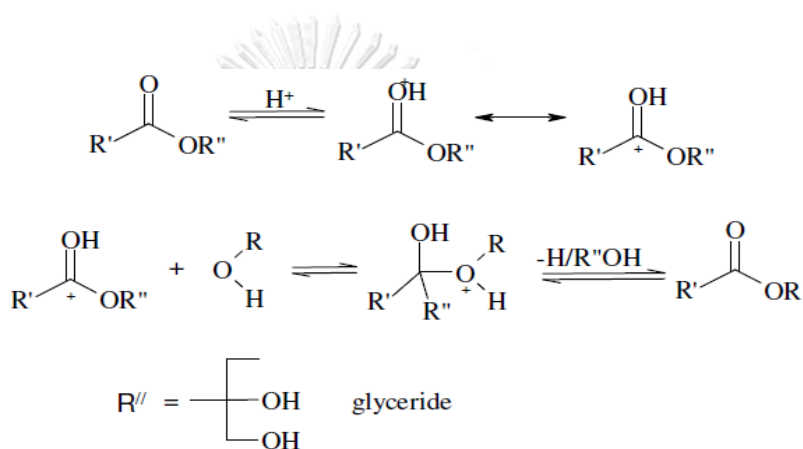
ซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสนั้น ไม่เหมาะสำหรับน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิสระ (และน้ำ) ในระดับที่สูง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระอย่างรวดเร็วและเกิดเป็นสบู่ขึ้น ปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์นี้จะกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนที่จะสามารถใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้ ซึ่งจะทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลลดลง นอกจากนี้สบู่ที่เกิดขึ้นจำนวนมากจะขัดขวางกระบวนการแยกและการผลิตไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นให้บริสุทธิ์ ทำให้เกิดน้ำเสียขึ้นในปริมาณมาก รวมถึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย ท้ายสุดแล้วสบู่อาจก่อให้เกิดการอุดตันของเครื่องยนต์และก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์ในที่สุด [7] รูปที่ 4 แสดงปฏิกิริยาการเกิดสบู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Saponification)



รูปที่ 4 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

ที่มา: <https://metaefficient.com/uncategorized/biodiesel-faq.html>

ดังนั้นการใช้น้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระปริมาณสูง จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดเพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ก่อน ซึ่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันนี้เกิดขึ้นว่องไวมาก (1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60° C) [4] และเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าน้อยกว่า 1% จะสามารถเติมเมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสเข้าไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันกับไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งจะเป็นกระบวนการแบบ 2 ขั้นตอน ทำให้กระบวนการมีความซับซ้อนมากขึ้นอีก นอกจากนี้ตามที่ได้ระบุไว้ก่อนหน้านี้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ด้วยเช่นกันดังรูปที่ 5 [8]



$\text{R}' = \text{carbon chain of fatty acid, R} = \text{alkyl group of the alcohol}$

รูปที่ 5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด

ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดจะใช้เวลานานกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส และคุณสมบัติการกักความร้อนของกรดจะทำให้การแยกไปโอดีเซลให้บริสุทธิ์และการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกนั้นทำได้ยาก แต่ปฏิกิริยานี้ไม่ก่อให้เกิดกลีเซอรอลขึ้นเป็นผลผลิต

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบบิวทิรพินท์หรือที่เป็นของแข็ง (ทั้งชนิดกรดและเบส) จะไม่ถูกใช้ไปในปฏิกิริยา ทำให้ง่ายต่อการแยกออกจากผลผลิต ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อย่างไรก็ตามตามตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ช้าเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพินท์และสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างนั้นจะนิยมใช้น้ำมันที่มีองค์ประกอบกรดไขมันอิสระต่ำ

ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาฐานชีวภาพ ซึ่งผลิตจากวัสดุที่มีในธรรมชาติ เช่น แคลเซียมและคาร์บอนเป็นต้น ซึ่งมีต้นทุนต่ำและมีอยู่มากมายในธรรมชาติ ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานชีวภาพที่เป็นของแข็งจะมีความ

เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสูงเนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่เป็นพิษ ไม่กัดกร่อนและไม่ก่อให้เกิดน้ำเสียในกระบวนการผลิต

เนื่องจากเทคนิคการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันมีเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (Residence time) ที่นาน ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ : น้ำมันสูงและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นสูง จึงได้มีการศึกษาพัฒนาการรวมกระบวนการผลิต (Process intensification) ขึ้นเพื่อเพิ่มการผลิตและการถ่ายเทมวล/โมเมนตัม/ความร้อนระหว่างของเหลวสองชนิด (น้ำมันและเมทานอล) เพื่อเพิ่มความเร็วของปฏิกิริยาและผลผลิตไบโอดีเซล (Biodiesel yield) โดยเครื่องปฏิกรณ์แบบใหม่ๆ ได้แก่ Static mixer, Cavitation reactor, Rotating/spinning tube reactor และ Centrifugal contractor ซึ่งไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นไม่ว่าจากปฏิกิริยาใด ๆ ต้องสามารถใช้ได้จริงกับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีคุณสมบัติและมาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้ดังตารางที่ 5

ตาราง 5 คุณสมบัติไบโอดีเซล B100 และไบโอดีเซลผสมในมาตรฐาน U.S. และ European

Property	Biodiesel (B100)				B6-B20 blends	
	U.S.		Europe (EN 14214)		U.S.	
	Limits	Method	Limits	Method	Limits	Method
Water and sediment (vol%, max)	0.05	D2709	0.05	EN12937	0.05	D2709
Total contamination (mg/kg, max)	-	-	24	EN12662	-	-
Kinematic viscosity @ 40°C (mm ² /s)	1.9-6.0	D445	3.5-5.0	EN3104/3105	1.9-4.1	D445
Flash point, closed cup (°C, min)	93	D93	101	EN3679	52	D93
Methanol (wt.%, max)	0.20	EN14110	0.20	EN14110	-	-

Cetane no. (min)	47	D613	51	EN5165	40	D613
Cloud point (°C)	Report	D2500	Country Specific	-	Report	D2500
Sulfated ash (wt.%, max)	0.020	D874	0.020	EN3987	-	-
Total ash (wt.%, max)	-	-	-	-	0.01	D482
Gp I metals Na + K (mg/kg, max)	5.0	EN14538	5.0	EN14108 /14109	-	-
Total Sulfur (ppm, max)	15	D5453	10	EN20846	15	D5453
Phosphorous (ppm, max)	10	D4951	4	EN14107	-	-
Carbon residue (wt.%, max)	0.05	D4530	0.30	EN10370	0.35	D524
Free glycerin (wt.%, max)	0.02	D6584	0.02	EN14105 /14106	-	-
Total glycerin (wt.%, max)	0.24	D6584	0.25	EN14105	-	-
Mono glyceride (wt.%, max)	-	-	0.80	EN14105	-	-
Diglyceride (wt.%, max)	-	-	0.20	EN14105	-	-
Copper strip corrosion (3-h at 50° C, max)	No.3	D130	No.1	EN2160	No.3	D130
Linolenic acid methyl ester (wt.%, max)	-	-	12.0	EN14103	-	-

Polyunsaturated acid methyl esters (wt.%, max)	-	-	1.0	prEN15799	-	-
Iodine Value (g I ₂ /100 g, max)	-	-	120	EN14111	-	-
Density (kg/m ³)	-	-	860-900	EN3675	-	-
Lubricity @ 60°C, WSD, microns (max)	-	-	-	-	520	D6079

2.3 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้จริงในอุตสาหกรรม

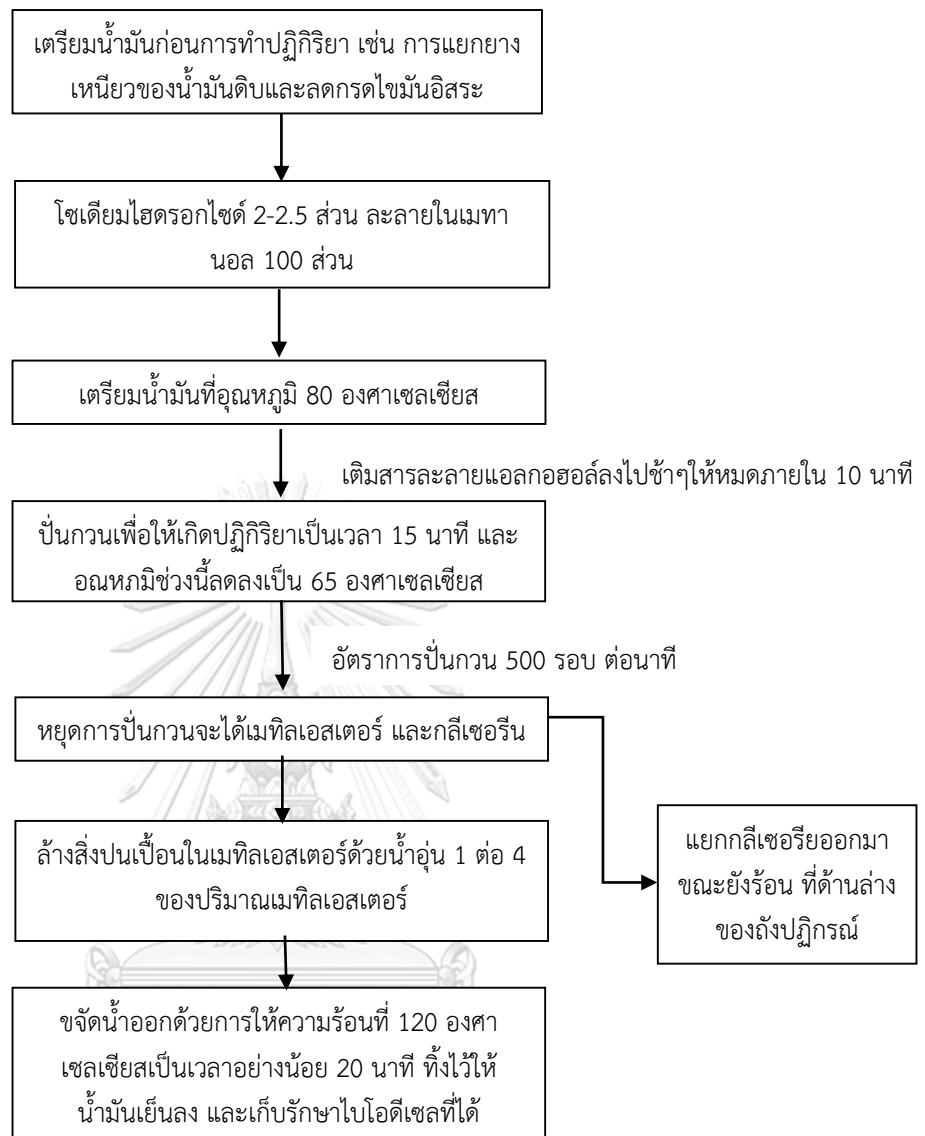
กระบวนการผลิตไบโอดีเซลในอุตสาหกรรมประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

2.3.1 นำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ มาผสมกับเมทานอลหรือเอทานอลและใช้สารเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดหรือด่าง เช่น กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) เป็นต้น

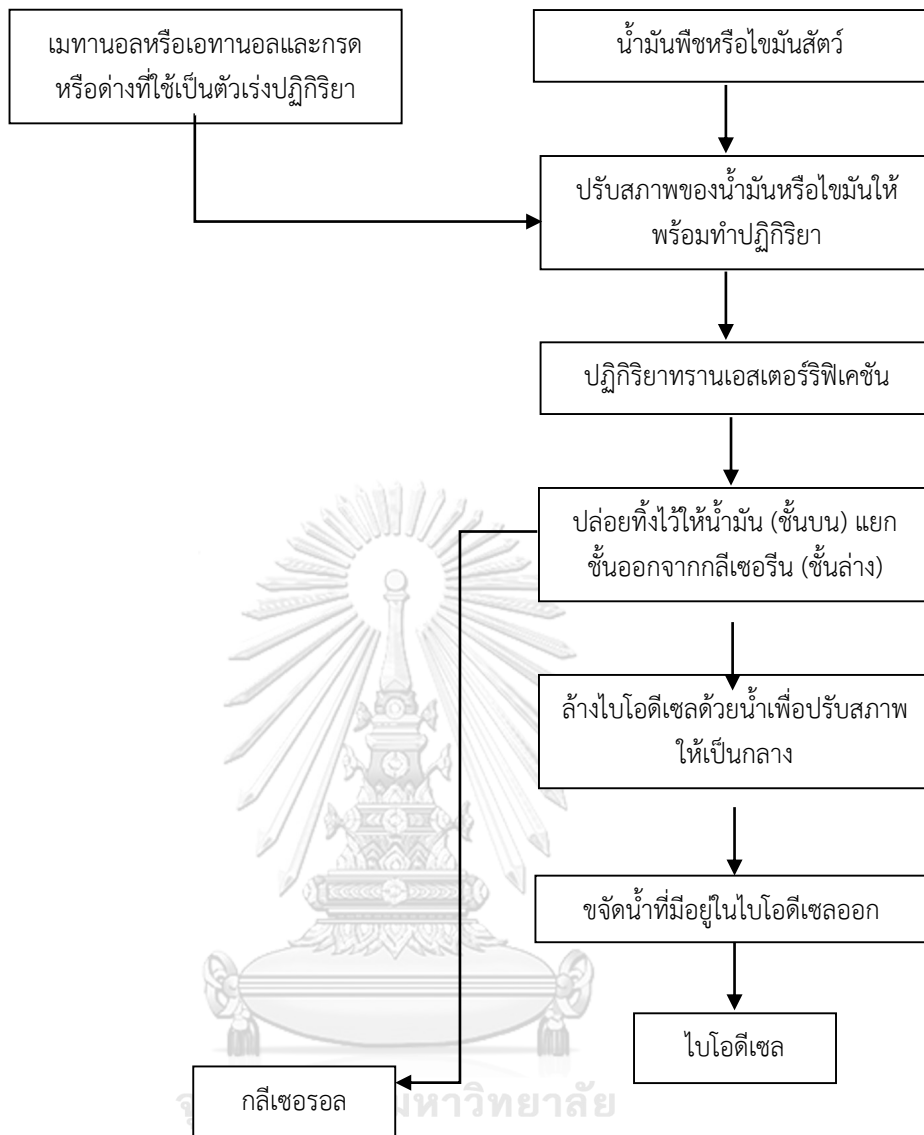
2.3.2 ป้อนของเหลวเข้าในถังปฏิกรณ์ กวนทำให้เกิดการผสมและทำปฏิกิริยากัน โดยกระบวนการผลิตที่ใช้กรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยาจะทำให้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาดวนมากกว่า 3 ชั่วโมง แต่สำหรับกระบวนการผลิตที่ใช้ด่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิของกระบวนการผลิตจะอยู่ระหว่าง 50 - 70 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นของผสมระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับกลีเซอรอล และมีแอลกอฮอล์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยารวมอยู่ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6

2.3.3 แยกน้ำมันไบโอดีเซล และกลีเซอรอลออกจากกัน โดยทิ้งให้ของผสมเกิดการแยกชั้น น้ำมันไบโอดีเซลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะแยกอยู่ชั้นบน ส่วนกลีเซอรอลจะอยู่ชั้นล่าง ซึ่งแสดงการสังเคราะห์ไบโอดีเซลไว้ดังรูปที่ 7

2.3.4 น้ำมันไบโอดีเซลที่แยกออกมาจะถูกนำมาล้างน้ำเพื่อชะล้างแอลกอฮอล์ สารเร่งปฏิกิริยา สิ่งปนเปื้อนต่างๆ และทำให้น้ำมันมีสภาพเป็นกลาง จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆให้ครบตามมาตรฐานที่กล่าวไปแล้วในข้างต้น[9]



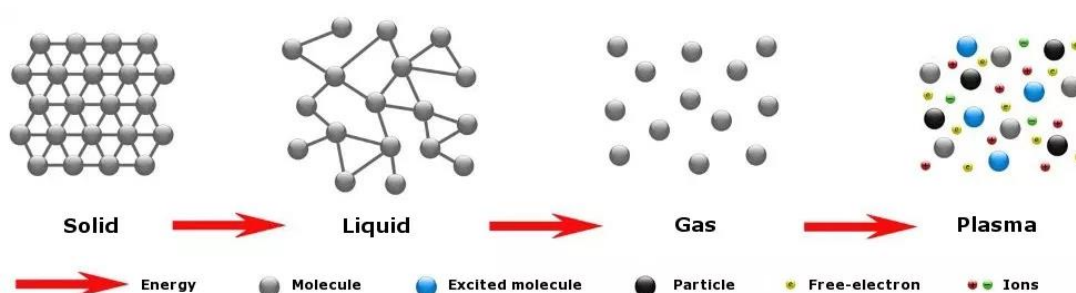
รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันของไปโอดีเซล



รูปที่ 7 วิธีสังเคราะห์ไบโอดีเซล

2.4 พลาสมา (Plasma)

พลาสมาคือก๊าซที่มีสภาพนำไฟฟ้าและเป็นสถานะที่ 4 ของสสารซึ่งประกอบด้วย อิเล็กตรอนอิสระ ไอออนบวก และอะตอมหรือโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นโดยสามารถก่อให้เกิดพลาสมาได้หลายวิธี เช่น การใช้ไมโครเวฟกำลังสูง (ความถี่ที่ใช้โดยทั่วไปคือ 2.45 GHz) คลื่นความถี่วิทยุ (RF, ความถี่ที่ใช้โดยทั่วไปคือ 13.56 MHz) ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง หรือไฟฟ้าแรงดันสูง โดยจ่ายเข้าไปในพลาสมาแชมเบอร์ (Plasma chamber) ที่มีความดันก๊าซต่ำกว่า 1 บรรยากาศ



ที่มา: <https://ienergyguru.com/2015/10/plasma/>

รูปที่ 8 สถานะต่างๆของสสาร

2.5 ประเภทของพลาสมา (Plasma Classification)

พลาสมาสามารถจำแนกเป็นประเภทได้หลากหลายวิธี เช่น แบ่งตามอุณหภูมิ หรือ แบ่งตามระดับการไอออไนเซชัน เป็นต้น

หากแบ่งพลาสมาตามระดับการเกิดไอออนไนเซชันสามารถแบ่งได้สองชนิดคือ พลาสมาที่มีการไอออไนซ์ได้สมบูรณ์ (Fully ionized plasma) และ พลาสมาที่มีการไอออไนซ์ปริมาณน้อย (Weakly ionized plasma) พลาสมาที่มีการเกิดไอออนไนซ์แบบสมบูรณ์จะเกิดไอออนไนซ์เป็นพลาสมาเกือบทั้งหมดและมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง (High electron density) ในช่วง 10^{21} - 10^{26} m^{-3} และพลาสมาที่มีการไอออไนซ์ปริมาณน้อยจะมีการเกิดไอออนไนซ์เป็นบางส่วนหรือมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนต่ำ (Lower electron density) คือน้อยกว่า 10^{19} m^{-3}

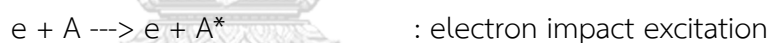
หากแบ่งพลาสมาตามอุณหภูมิจะสามารถแบ่งได้สองชนิดคือ พลาสมาอุณหภูมิสูง (Thermal plasma) และพลาสมาเย็นหรือพลาสมาอุณหภูมิต่ำ (Non-thermal plasma) ซึ่งพลาสมาอุณหภูมิสูงนั้น

เป็นพลาสมาที่มีการถ่ายเทพลังงานของอิเล็กตรอนให้แก่ไอออนในปริมาณมาก ทำให้อุณหภูมิของอิเล็กตรอนและอุณหภูมิของไอออนเท่ากัน ตัวอย่างเช่น พลาสมาที่เกิดบนดวงอาทิตย์ พลาสมาในอวกาศซึ่งเกิดจากรังสีคอสมิก เป็นต้น ส่วนพลาสมาอุณหภูมิต่ำนั้นจะมีการถ่ายเทพลังงานให้ไอออนบวกล้นน้อยกว่า ทำให้อุณหภูมิของไอออนบวกล้นยังคงต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสมาอุณหภูมิสูง เช่น โกล์วดิสชาร์จ (Glow discharge), อาร์เอฟดิสชาร์จ (RF Discharge) และไมโครเวฟ (Microwave discharge) เป็นต้น

2.6 กระบวนการในพลาสมา (Process in plasma)

2.6.1 การกระตุ้นและผ่อนคลาย (Excitation and relaxation)

เมื่อไอออนและอิเล็กตรอนถูกกระตุ้นด้วยพลังงานภายนอก เช่น การชนกันด้วยอิเล็กตรอน ไอออนหรือโฟตอน จะทำให้เวเลนส์อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้นแต่ยังคงอยู่ในวงโคจรของอะตอมหรือไอออน อะตอมและไอออนจะอยู่ในสถานะกระตุ้น ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วอะตอมหรือไอออนจะสามารถอยู่ในสถานะกระตุ้นประมาณ $10^{-8} - 10^{-9}$ วินาทีจากนั้นจะกลับสู่สถานะพื้น (Ground state) ภายในครั้งเดียวหรือหลายครั้งพร้อมทั้งปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



หมายเหตุ : “*” อยู่ในสถานะกระตุ้น

2.6.2 การแตกตัวเป็นไอออน (Ionization)

เมื่ออะตอมที่เป็นกลางได้รับพลังงานเพียงพอจนสามารถทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดหลุดออกเป็นอิเล็กตรอนอิสระและไอออนบวกล้นได้ ซึ่งเรียกพลังงานนี้ว่าพลังงานการแตกตัวเป็นไอออนลำดับที่ 1 เมื่ออะตอมสูญเสียอิเล็กตรอนลำดับที่ 1 จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวในโมเลกุลมีเพิ่มขึ้น จึงต้องใช้พลังงาน

ในการแตกตัวลำดับที่ 2 สูงขึ้น เช่น ก๊าซอาร์กอน ใช้พลังงานการแตกตัวลำดับที่ 1 ประมาณ 15.76 eV และใช้พลังงานแตกตัวลำดับที่ 2 ประมาณ 27.63 eV เป็นต้น

2.7 แหล่งกำเนิดพลาสมา (Plasma Source)

พลาสมาเกิดขึ้นได้โดยการแตกตัวของไอออนและอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การแตกตัวเป็นไอออนโดยใช้แสง (Photo Ionization) การแตกตัวบนไอออนบริเวณผิวหน้า (Surface Ionization) และวิธีก๊าซดิสชาร์จ (Gas discharge) ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด

การดิสชาร์จคือ ภาวะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน อากาศประพุดิตัวเหมือนฉนวนไฟฟ้า และเมื่อให้แรงดันไฟฟ้ามากขึ้นในระบบ (ระดับกิโลโวลต์) จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระเกิดการกระตุ้นอยู่ในอากาศและพุ่งเข้าชนโมเลกุลของอากาศจนทำให้โมเลกุลแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนอิสระและไอออนด้วยปฏิกิริยาไอออไนเซชัน (Ionization) จากนั้นอิเล็กตรอนที่ยังมีพลังงานสูงอยู่จะเข้าชนกับโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไปและจะทำให้จำนวนของอิเล็กตรอนอิสระและไอออนเพิ่มสูงขึ้น และหากปริมาณของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นใหม่มากกว่าอิเล็กตรอนที่อาจเกิดการสูญเสียจากการตั้งเข้ารวมกับไอออนบวก (Recombination) จะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Electron Avalanche และได้พลาสมาออกมา

นอกจากนี้สามารถก่อให้เกิดพลาสมาได้ด้วยความดันบรรยากาศปกติด้วยกระบวนการที่เรียกว่า ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จ โดยการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงและความถี่สูงไปยังคู่ขั้วไฟฟ้าที่แยกจากกันด้วยฉนวนกัน (วัสดุที่ไม่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้า เช่น เซรามิก แก้วหรือพลาสติก) โดยพลาสมาที่สามารถเกิดขึ้นได้ที่ความดันบรรยากาศปกติเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับกระบวนการต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะกระบวนการที่ดำเนินการได้ที่ความดันบรรยากาศปกติ

2.8 ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จ (Dielectric barrier discharge, DBD)

เป็นพลาสมาที่เกิดขึ้นได้ที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟชนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage) หรือชนิดพัลส์ (Pulse) โดยไม่นิยมใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage) เพราะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงในการผลิตพลาสมา ซึ่งก๊าซจะสามารถแตกตัวได้ง่ายกว่าแหล่งกำเนิดชนิดอื่น ขนาดแรงดันไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง 1-100 กิโลโวลต์ และมีความถี่ที่ระดับกิโลเฮิรตซ์ถึงเมกะเฮิรตซ์

ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์ตประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว และมีวัสดุไดอิเล็กทริก (Dielectric material) กั้นอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองอย่างน้อยด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากแหล่งกำเนิดชนิดอื่น ๆ กล่าวคือไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์ตจะใช้แรงดันไฟฟ้าสูงในการผลิตพลาสมาจึงทำให้มีกระแสสูงด้วย วัสดุไดอิเล็กทริกจึงทำหน้าที่กั้นกระแสไฟฟ้าไม่ให้ไหลผ่านซึ่งป้องกันการเกิดการอาร์ค (Arcing) ของกระแสไฟฟ้าในระบบ

2.9 โครงสร้างของไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์ต

โครงสร้างของไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์ตโดยทั่วไปแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 3 แบบดังนี้

2.9.1 แบบ Volume Discharge

Volume Discharge แบ่งลักษณะย่อยได้ 2 ลักษณะ คือ แบบแผ่นระนาบ (Planar) และแบบโคแอกเซียล (Coaxial) สำหรับแบบแผ่นระนาบ จะมีการจัดวางขั้วไฟฟ้าสองขั้วแบบขนานกัน แสดงดังรูปที่ 9 โดยด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับขั้วแรงดันไฟฟ้าศักย์สูง ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับกราวด์ และระหว่างขั้วไฟฟ้าจะมีวัสดุไดอิเล็กทริกกั้นอยู่ ซึ่งโครงสร้างแบบแผ่นระนาบ นิยมใช้กับงานด้านการปรับปรุงคุณภาพพื้นผิววัสดุ พิล์มโลหะบาง หรือ พอลิเมอร์ เป็นต้น ส่วนแบบโคแอกเซียลจะมีการจัดโครงสร้างขั้วไฟฟ้าคล้ายแบบแผ่นระนาบแต่จะเป็นวงแบบโคแอกเซียล ซึ่งแสดงการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าของไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ไว้ดังรูปที่ 10 โดยแบบโคแอกเซียลนิยมใช้ในงานผลิตไอโซนสำหรับปรับปรุงคุณภาพอากาศ เป็นต้น

2.9.2 แบบ Surface Discharge

Surface Discharge โดยพลาสมาจะเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวขั้วไฟฟ้า ซึ่งแสดงดังรูปที่ 11

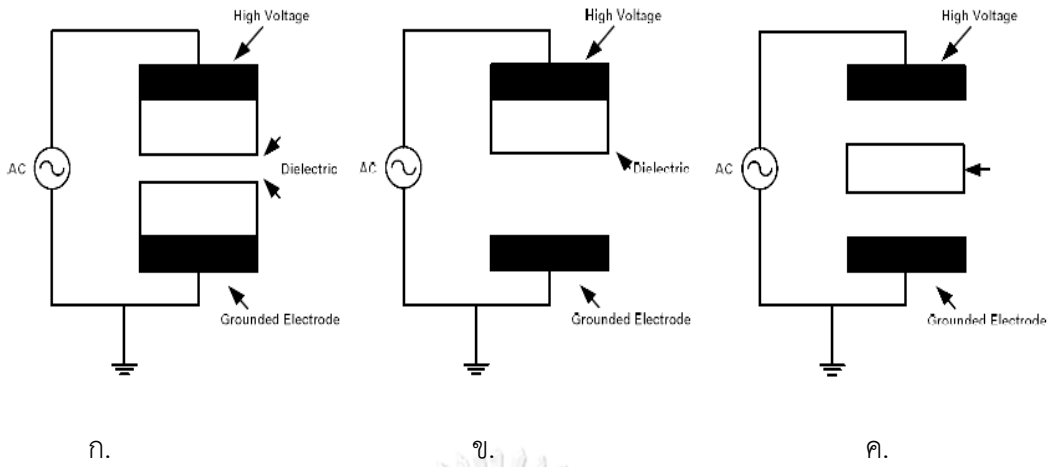
2.9.3 แบบ Coplanar Discharge

สำหรับโครงสร้างแบบ Coplanar Discharge ขั้วไฟฟ้าจะถูกฝังไว้ภายในวัสดุไดอิเล็กทริกตามระยะห่างของแต่ละขั้ว การจ่ายกระแสไฟฟ้าจะสลับกันระหว่างขั้วไฟฟ้าแต่ละคู่ พลาสมาจะเกิดขึ้นภายนอกวัสดุไดอิเล็กทริก ดังรูปที่ 12

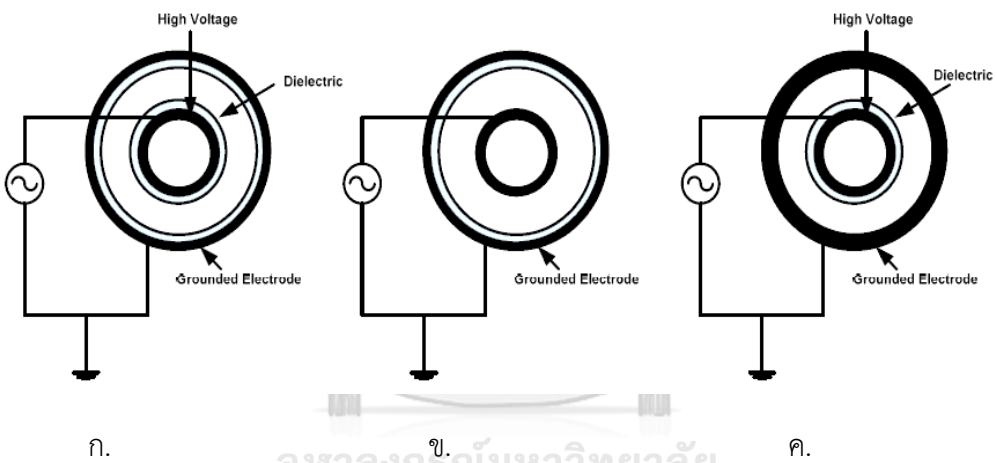
แต่ลักษณะของการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าจะเหมาะกับงานในลักษณะต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของงาน

2.10 หลักการทำงานของไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จ (Dielectric Barrier Discharge Phenomenology)

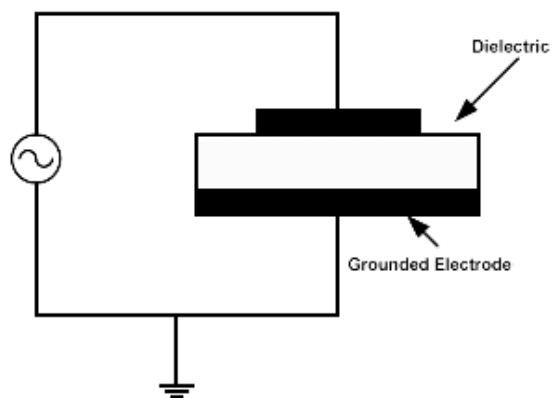
ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จเป็นการเกิดพลาสมาโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าศักย์สูงให้กับขั้วไฟฟ้าทั้งสองข้างของ ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จและเมื่อพลังงานที่ป้อนให้แก่ขั้วไฟฟ้ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานไอออไนเซชันของก๊าซจะทำให้เกิดกระบวนการไอออไนเซชันขึ้น ซึ่งจะทำให้ก๊าซบางส่วนหรือทั้งหมดแตกตัวเป็นไอออนบวก ไอออนลบและอิเล็กตรอนอิสระ เมื่อมีจำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดการไอออไนเซชันได้มากขึ้นด้วย เนื่องจากอิเล็กตรอนมีมวลที่เบากว่าไอออนบวก ทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ข้ามช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าไปยังขั้วไฟฟ้าบวก (แอโนด) ได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่ของไอออนบวกไปยังขั้วไฟฟ้านลบ (แคโทด) ซึ่งอยู่ในระดับ 10^{-9} วินาที และเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปถึงขั้วบวก อิเล็กตรอนจะแผ่ขยายไปเหนือพื้นผิวของขั้วไฟฟ้า และพบกับประจุบวกที่ขั้วไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับอิเล็กตรอนด้วยความเร็วที่ช้ากว่ามาก ส่วนของไอออนบวกที่ยังคงเคลื่อนที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าจะก่อบริเวณสนามไฟฟ้าภายในระหว่างกลุ่มของอิเล็กตรอนที่พื้นผิวแอโนดกับไอออนบวกที่เคลื่อนที่ช้า ซึ่งสนามไฟฟ้านี้จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วของ ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จจึงเกิดการหักล้างกันและทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างขั้ว ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จลดลง ไอออนบวกบางส่วนจึงเกิดการรวมตัวกับอิเล็กตรอน ที่ขั้วไฟฟ้า ทำให้ระดับพลังงานหลังการรวมตัวสูงขึ้นและอยู่ในระดับพลังงานกระตุ้น เมื่ออะตอมในสถานะกระตุ้นลดระดับสู่สถานะเสถียรของก๊าซจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงยูวี (Ultraviolet)[10]



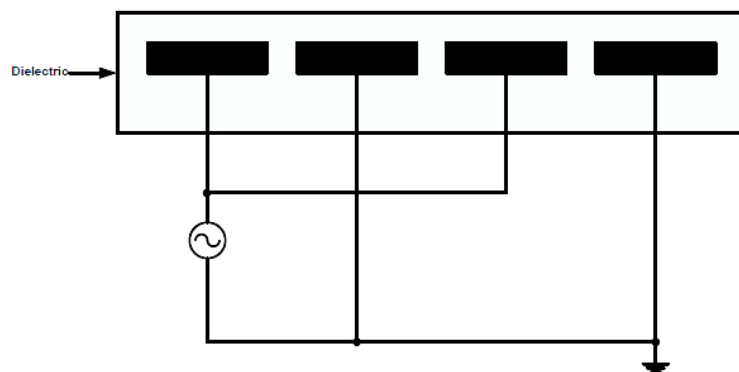
รูปที่ 9 การจัดเรียงขั้วอิเล็กโทรดแบบแผ่นระนาบ [10]



รูปที่ 10 การจัดเรียงขั้วอิเล็กโทรดแบบโคแอกเซียล [10]



รูปที่ 11 การจัดเรียงขั้วแบบ Dielectric Surface Discharge [10]



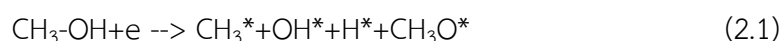
รูปที่ 12 การจัดเรียงขั้วอิเล็กโทรดแบบ Coplanar Discharge [10]

จากคุณสมบัติของไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดีสชาร์ตที่ได้กล่าวมาข้างต้น อิเล็กตรอนอิสระพลังงานสูงที่อยู่ในพลาสมาจะชนกับอะตอมและโมเลกุลต่าง ๆ ก่อให้เกิดอนุภาคนิวตรอนอิสระ ซึ่งมีความว่องไวทางเคมีมาก จุดสำคัญคืออนุภาคนิวตรอนอิสระเหล่านี้สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน [2, 11, 12] เพื่อผลิตไบโอดีเซล นอกจากนี้อิเล็กตรอนอิสระพลังงานสูงจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิล (OH) ในเมทานอลหลุดออกมาและกระตุ้นให้เกิดเป็นเมทอกไซด์ไอออน ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันได้ [13, 14] ผลการศึกษาของนักวิจัยต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดีสชาร์ตมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันแบบปกติที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี กล่าวคือไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีหรืออุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้น รวมถึงมีความง่ายในการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากกันเนื่องจากจะเกิดกลีเซอรอลขึ้นในปริมาณน้อย (< 5%) [11, 14, 15] โดยกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นบางส่วนจะถูกพลาสมาทำให้เปลี่ยนเป็นเมทานอล [6] ซึ่งเมทานอลที่เกิดขึ้นนี้จะปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ได้เช่นกัน

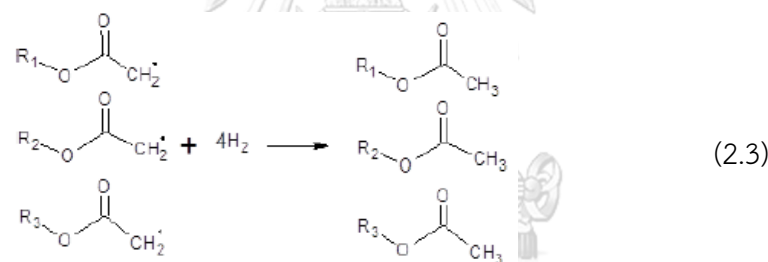
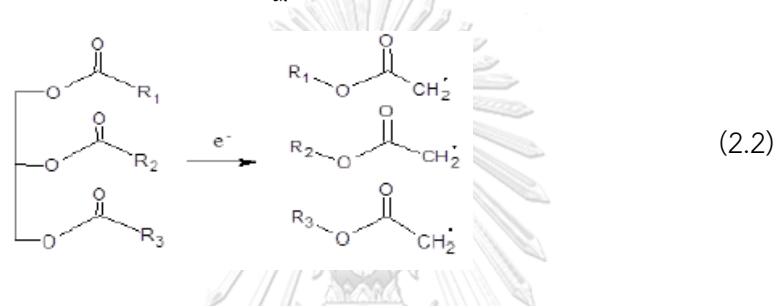
2.11 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้พลาสมาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การใช้พลาสมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้น ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาแบบสุ่มซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ดังนี้

2.11.1 เมทานอลเมื่อถูกอิเล็กตรอนอิสระพลังงานสูงชนจะทำให้เกิดการกระตุ้นดังปฏิกิริยาที่ 2.1

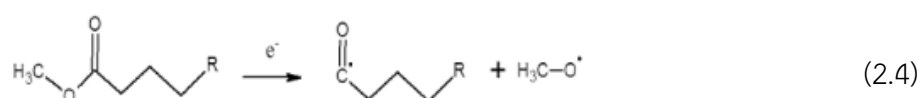


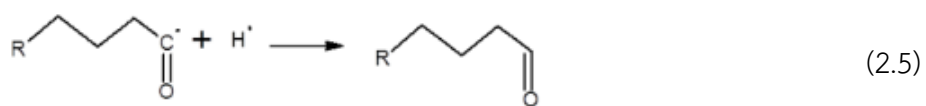
2.11.2 ไตรกลีเซอไรด์จะถูกอิเล็กตรอนพลังงานสูงตัดขั้ว C-C (3.3 eV) และทำให้ทำปฏิกิริยากับ H^* ของเมทานอลทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์ดังปฏิกิริยาที่ 2.2 และ 2.3



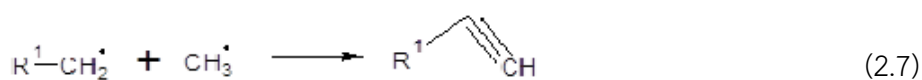
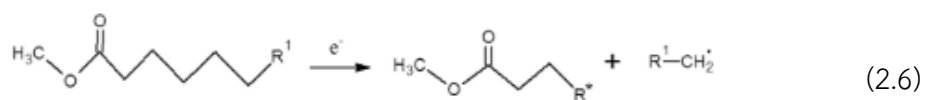
2.11.3 เนื่องจากมีการชนของอิเล็กตรอนและไอออนอิสระอย่างต่อเนื่องจะทำให้เกิดการสลายพันธะ C-C และ C-O จากโมเลกุลที่เป็นสายโซ่ยาวให้สั้นลงได้และเมื่อรวมกับอะตอมที่ถูกกระตุ้นของเมทานอล (CH_3^* , OH^* , H^* , CH_3O^*) กับไตรกลีเซอไรด์อาจทำให้เกิดสารเคมีหมู่อื่นเกิดขึ้นได้เช่น แอลดีไฮด์ (Aldehydes), แอลไคน์ (Alkyne) แอลกอฮอล์ (Alcohol), เอสเทอร์ (Esters) และ คาร์บอกซิลิก แอซิด (Carboxylic acids) เป็นต้น ซึ่งแสดงปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้ไว้ดังปฏิกิริยาที่ 2.4 - 2.12 ดังนี้

แอลดีไฮด์





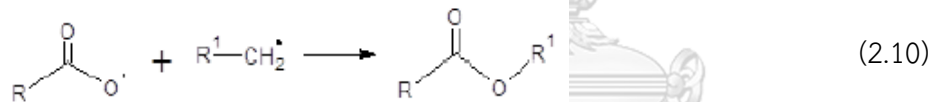
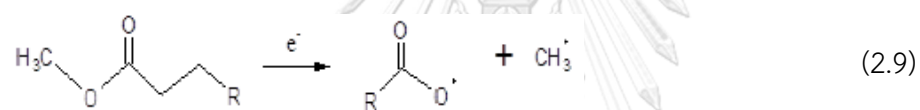
แอลไคน์ (1-Heptyne)



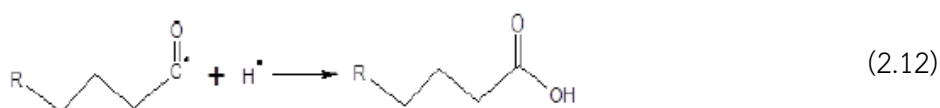
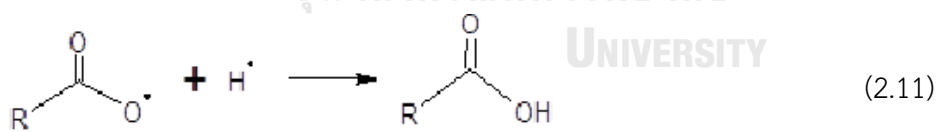
แอลกอฮอล์ (1-Hexadecanol)



เอสเทอร์ (9-Octadecenoic acid hexyl ester)



คาร์บอกซิลิก แอซิด (Octadecanoic acid)



2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยหลายฉบับที่ใช้พลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดีสชาร์ตเพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันนั้น จะออกแบบให้สารผสมระหว่างน้ำมันพืชใหม่หรือน้ำมันพืชใช้แล้วกับเมทานอลอยู่กับที่ในเครื่องปฏิกรณ์ โดยจะมีเฉพาะพื้นผิวด้านบนของสารผสมที่สัมผัสกับพลาสมา ซึ่งในสภาวะการทดลองลักษณะนี้เมื่อเวลาผ่านไปสารผสมจะเริ่มแยกชั้นออกจากกันเรื่อย ๆ ด้วย เนื่องจากเมทานอลและน้ำมันพืชไม่สามารถละลายเข้ากันได้ งานวิจัยฉบับหนึ่งได้ศึกษาโดยใช้พลาสมาทอร์ช (Plasma torch) จุ่มไว้ในสารผสมน้ำมันพืชและเมทานอลและมีการปั่นกววนตลอดเวลา [15] ผลที่ได้คือค่าผลผลิตไบโอดีเซลสูงขึ้นมา จึงนำไปสู่แนวคิดใหม่คือ หากทำให้สารผสมนี้กลายเป็นละออง โดยการฉีดพ่นด้วยหัวฉีดแบบหัวฉีดหมอก (Atomizing nozzle) และให้สัมผัสกับพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดีสชาร์ตที่ความดันบรรยากาศปกติ ค่าผลผลิตไบโอดีเซลควรจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การฉีดสารผสมออกมาจากหัวฉีดหมอกจะทำให้เกิดการผสมที่ดีระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอลอีกด้วย

ในอดีตที่ผ่านมาการศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้พลาสมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีเพียง 4 กลุ่มวิจัยเท่านั้น โดยในการศึกษาของบางกลุ่มได้เลือกใช้ใช้น้ำมันพืชใหม่ ในขณะที่บางกลุ่มเลือกใช้น้ำมันพืชใช้แล้วจากการปรุงอาหาร Istadi และคณะ [2] ได้ทำการศึกษการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มแบบกระบวนการในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ/ต่อเนื่อง (Batch/continuous process) โดยใช้เทคโนโลยีพลาสมาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา การศึกษานี้ได้รับการตีพิมพ์ในปี 2009 ซึ่งระบบพลาสมาที่ใช้เป็นแบบ DC high voltage corona discharge plasma สารผสมจะถูกกววนและให้ความร้อนก่อนนำเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เคมีพลาสมา จากนั้นให้สารผสมได้สัมผัสและทำปฏิกิริยากับพลาสมาภายในเวลาที่กำหนดไว้ จากนั้นนำออกจากแชมเบอร์ของเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งภายใต้สภาวะการทดลองนี้ เฉพาะผิวหน้าของสารผสมเท่านั้นที่จะสัมผัสกับพลาสมา จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคือ ใช้แรงดันไฟฟ้า 948 โวลต์ (หัวหน้าโครงการวิจัยเห็นว่าอาจเป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเพียงเท่านี้ไม่ควรจะก่อให้เกิด Corona discharge ในการทดลองนี้ได้ ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดในการพิมพ์ตัวเลข) เวลาที่สารผสมอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ คือ 11 นาที และอัตราส่วนเมทานอล : น้ำมัน คือ 0.4

ภายใต้สภาวะเหล่านี้ค่าความเป็นกรด (Acid value) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่า 17% และนักวิจัยแนะนำให้ใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นถึง 8 kV พร้อมกับควรให้เวลาสารผสมทำปฏิกิริยาอยู่ในแชมเบอร์ที่นานขึ้น นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะว่าเทคโนโลยีพลาสมามีแนวโน้มที่ดีกว่ากระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบทั่วไป เนื่องจากสามารถลดเวลาที่สารผสมอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์และง่ายต่อการแยกผลผลิตที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามค่าผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 38% ซึ่งต่ำกว่าค่าของกระบวนการแบบทั่วไปที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี

Young-Jin Hyun และคณะ [16] ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเรพซิด (Rapeseed) และน้ำมันคามิลลา (Camelina) ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีพลาสมาแบบพัลส์โคโรนา (Pulsed corona) โดยใช้ KOH ปริมาณเล็กน้อยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการศึกษาถูกตีพิมพ์ในปี 2012 โดยการศึกษาได้ใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีพลาสมาแบบกะ (batch process) ขนาด 80 มล. ใช้เครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer) เพื่อผสมน้ำมันและเมทานอลในแชมเบอร์ โดยภายใต้สภาวะการทดลองนี้ เฉพาะผิวหน้าของสารผสมเท่านั้นที่จะได้สัมผัสกับพลาสมา ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Istadi และคณะ [2] ผลการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ ใช้แรงดันไฟฟ้า 23 kV ที่ 900 Hz อัตราส่วนเมทานอล : น้ำมัน 5:1 ปริมาณ KOH คือ 0.6 w% อุณหภูมิ 28°C และเวลาที่สารผสมอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์คือ 15 นาที ซึ่งได้ค่าผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 98% สิ่งสำคัญในการทดลองนี้คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองจะต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยทั่วไป (60 - 70°C) ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีมาก

ในปี 2016 A.L.V. Cubas และคณะ [17] ได้รายงานผลการศึกษาโดยใช้ DBD plasma ที่แรงดันไฟฟ้า 17 kV เพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพีชใช้แล้วที่ได้จากการทอดอาหารโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แชมเบอร์พลาสมาที่ใช้เป็นท่อควอตซ์ยาว มีขั้วไฟฟ้าแรงดันสูงติดตั้งอยู่ตรงกลางตามแนวยาวของท่อ และมีสายกราวด์อิเล็กทรอนิกส์พันรอบท่อ สารผสมน้ำมันพีชและเมทานอลจะถูกปล่อยทิ้งไว้ในแชมเบอร์ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นในแง่มุมของการสัมผัสกับพลาสมาแล้วการศึกษานี้จึงคล้ายกับการศึกษาข้างต้นทั้งสอง โดยสภาวะที่เหมาะสมได้แก่ อัตราส่วนเมทานอล : น้ำมัน ที่ 6:1 อุณหภูมิที่ใช้คืออุณหภูมิห้อง (25°C) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 110 นาที ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้คือ 30 มล. และมี

น้ำ 1 มล. จ่ายเข้าไปในแฮมเบอร์ด้วย (รายงานการวิจัยไม่ได้ระบุค่า Biodiesel yield ที่ได้) ส่วนค่า Acid value ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 0.43 mg KOH/g ดังนั้นจากการศึกษาทบทวนทั้ง 3 งานวิจัยนี้ ค่า Reaction kinetic และค่าผลผลิตไบโอดีเซลสามารถสูงขึ้นได้หากสารผสมได้สัมผัสกับพลาสมาอย่างทั่วถึง

ในปี 2016 Wameath S. Abdul-Majeed และคณะ [15] ได้ตีพิมพ์ผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ DBD plasma flying torch [8] โดยในการทดลองจะให้ก๊าซเฉื่อยไหลผ่านท่อที่ผลิตพลาสมาด้วยอัตราที่สูงเพื่อผลักให้พลาสมาออกมาจากปลายท่อซึ่งจุ่มอยู่ในสารผสมน้ำมันพืชกับเมทานอล และทำการหมุนเวียนสารผสมเพื่อให้มั่นใจว่าจะสัมผัสกับพลาสมาได้อย่างทั่วถึง ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นการเสริมปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับพลาสมา โดยในบางการทดลองพลาสมาได้ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้วจากการปรุงอาหารก่อนที่จะใช้ปฏิกิริยาทั่วไปที่มีต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และในบางการทดลองจะใช้พลาสมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยตรง คือไม่ใช้พลาสมาปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันก่อน ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ใช้คือ 1.5 - 2.5 kV ผลการทดลองที่ได้คือ ปฏิกิริยาที่ใช้พลาสมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยตรงจะได้ ค่าผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดถึง 72.3% ที่อุณหภูมิ 65°C และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 100 นาที อย่างไรก็ตามจากกราฟความสัมพันธ์ของค่าผลผลิตไบโอดีเซลและเวลาในการทำปฏิกิริยา แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าหากใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานขึ้น ค่าผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้อาจสูงถึง 90% เป็นอย่างน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นทำได้ง่ายขึ้นเมื่อเทียบกับกระบวนการแบบทั่วไปที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย (< 5%) อีกทั้งผู้วิจัยยังได้อธิบายถึงค่าผลผลิตไบโอดีเซลที่สูงว่าเกิดจากอิเล็กตรอนอิสระพลังงานสูง อนุมูลอิสระและอนุภาคอื่น ๆ ที่อยู่ในพลาสมาจะทำลายกรดไขมันอิสระด้วย และการเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับพลาสมา นั้นเป็นประเด็นสำคัญในการเพิ่มค่าผลผลิตไบโอดีเซลด้วยเช่นกัน

จากการทบทวนวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเหล่านี้ สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าพลาสมาสามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีแบบเดิมที่เป็นกรดหรือด่าง นอกจากนี้ผลการศึกษาของ Wameath S. Abdul-Majeed

และคณะ [15] ได้แสดงให้เห็นว่าการหมุนของสารผสมน้ำมันพืชและเมทานอลเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้เกิดการสัมผัสกับพลาสมาอย่างทั่วถึงเพื่อให้ได้ค่าผลผลิตไบโอดีเซลที่สูง ดังนั้นจึงเป็นที่มาของแนวคิดในข้อเสนอโครงการวิจัยนี้ว่า หากทำให้สารผสมน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลกลายเป็นละอองและสัมผัสกับพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศปกติอย่างทั่วถึง การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับพลาสมาที่สูงขึ้นมากจะช่วยเพิ่มจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา (Reaction kinetic) ได้อย่างมาก และค่าผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ควรจะสูงขึ้นเช่นกัน

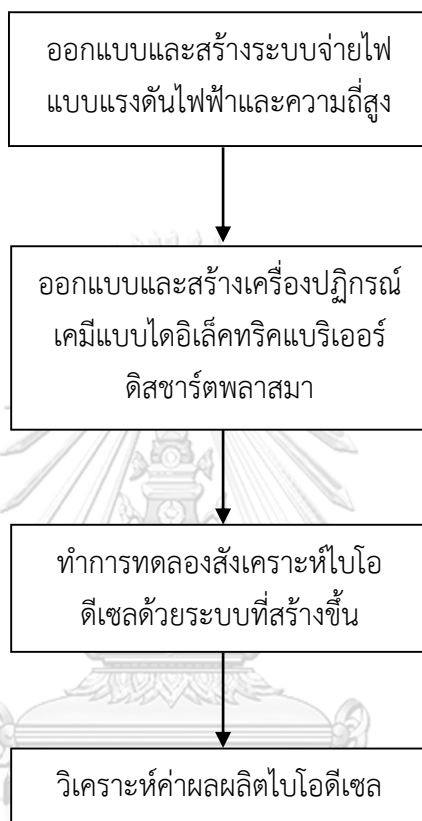
นอกจากนี้ จากการทบทวนวรรณกรรมยังพบว่าเครื่องปฏิกรณ์เคมีพลาสมาแบบ Pulsed discharge plasma aerosol ขนาด 120 ลิตรได้นำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยหากทำการติดตั้งหัวฉีด 4 หัว จะสามารถเพิ่มอัตราการจ่ายได้สูงถึง 200 ลิตรต่อชั่วโมง [18, 19] ในกระบวนการบำบัด น้ำเสียจะถูกส่งเข้าสู่แชมเบอร์โดยหัวฉีด จากนั้นพลาสมาจะบำบัดละออง และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วซึ่งอยู่ด้านล่างของแชมเบอร์ก็จะถูกนำออก ซึ่งอนุภาคละออง (Aerosol particle) จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับพลาสมาเป็นอย่างมาก โดยหยดละอองขนาด 10 - 100 ไมโครเมตร จะมีพื้นที่ผิวรวมเท่ากับ $10^4 - 10^5 \text{ cm}^2/\text{L}$ หรือเพิ่มขึ้น 10,000 เท่าเมื่อเทียบกับน้ำปริมาตรเท่ากันที่อยู่ในภาชนะ การที่พื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มขึ้นอย่างมากนี้จะช่วยลดพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการบำบัดด้วย และอาจนำไปสู่การใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

2.13 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จที่สามารถสังเคราะห์ไบโอดีเซลได้ และใช้เป็นระบบต้นแบบเพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลได้

บทที่ 3
ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาวิจัยจะแบ่งเป็น 4 ช่วงรูปที่ 13



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปที่ 13 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1 เครื่องมือและสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือสำหรับระบบจ่ายไฟ

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณ รุ่น SIGLENT SDG 2042X
2. เครื่องขยายสัญญาณ รุ่น Impossible IMP-8800
3. หม้อแปลงขึ้น ขนาด input 12V output 220V
4. หม้อแปลงน็อนไลท์ รุ่น Super Transformer 15kV 30mA
5. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 12 V ขนาด 50 A รุ่น Derop-600W-12-L
6. สายไฟแดงดำขนาด ขนาด 4 sq.mm และ 6 sq.mm
7. สายไฟทนแรงดันไฟฟ้าสูง ขนาด 7mm สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ 0-40 kV
8. หน้าจอแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าแบบดิจิตอล
9. หน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิแบบดิจิตอล
10. เบรกเกอร์

3.1.2 เครื่องมือทดสอบสำหรับสังเคราะห์และวิเคราะห์ผลได้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล

1. เครื่อง Shimadzu GC-2010 Plus (FID)
2. เครื่องกวนสารละลาย (magnetic stirrer)
3. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)
4. เครื่องชั่งสาร
5. ไมโครทูป (microtube)
6. ไมโครปิเปตต์ (micropipette)
7. ขวดแก้วเล็ก (vial)

3.1.3 สารเคมีสำหรับสังเคราะห์เชื้อเพลิงไบโอดีเซล

1. น้ำมันปาล์ม ตรามรกต (847 g/mol)
2. เมทานอล (methanol)
3. เฮกเซน (hexane)

4. เฮปเทน (heptane)

5. เมทิล เฮปทาเดคาโนเอท (methyl heptadecanoate)

3.2 ออกแบบและสร้างระบบจ่ายไฟแบบแรงดันไฟฟ้าและความถี่สูง

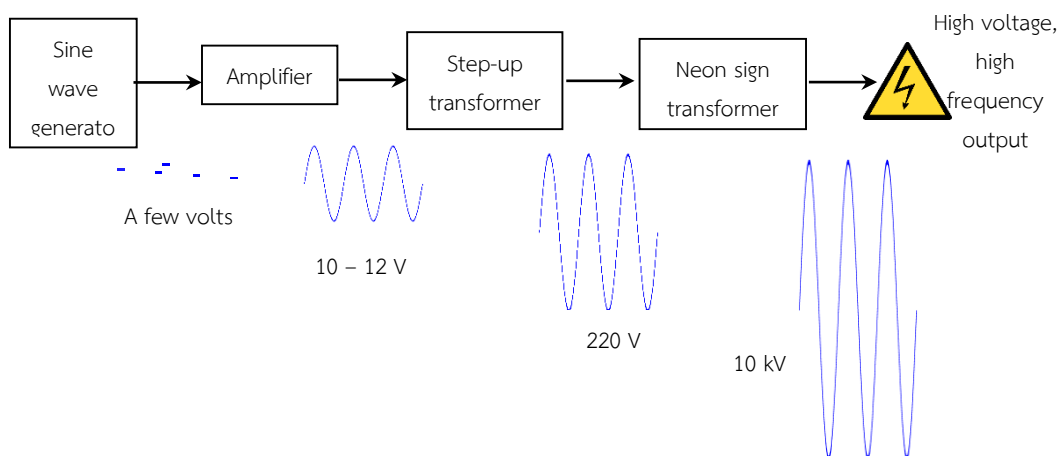
โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก.) สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ถึง 10 kV

ข.) สามารถจ่ายกระแสได้อย่างน้อย 50 mA

สำหรับระบบจ่ายไฟแบบแรงดันไฟฟ้าและความถี่สูงเพื่อสร้างพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์ตนี้ จะเริ่มจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ ซึ่งจะสร้างคลื่นสัญญาณไซน์ (Sine wave) ที่ปรับความถี่ได้ โดยคลื่นสัญญาณไซน์นี้จะป้อนเข้าเครื่องขยายสัญญาณซึ่งมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องขยายเสียงที่ใช้ในบ้าน โดยเครื่องขยายสัญญาณจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีความแรงสูงขึ้น และป้อนให้กับหม้อแปลงขึ้น ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ขาเข้าที่เหมาะสมกับเครื่องขยายสัญญาณและมีกำลังที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้เป็นระดับ 220 V และจะป้อนเข้าหม้อแปลงน็อนโวลท์ ซึ่งจะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้เป็น 10 kV หรือมากกว่าได้ (ถ้าแรงดันขาเข้ามากกว่า 220 V แรงดันขาออกก็จะมากกว่า 10 kV และหากแรงดันขาเข้าน้อยกว่า 220 V แรงดันขาออกก็จะน้อยกว่า 10 kV ซึ่งแรงดันขาเข้านี้ปรับได้โดยการเพิ่ม/ลดกำลังของเครื่องขยายสัญญาณ) โดยจะมีความถี่เท่ากับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ และสามารถต่อกับขาออกแบบขนานจากหม้อแปลงน็อนโวลท์หลายตัวเพื่อเพิ่มปริมาณกระแสขาออกได้ (เพิ่มกำลังไฟฟ้า) เพื่อให้พลาสมามีความหนาแน่นมากขึ้น รูปที่ 14 แสดงวงจรของระบบจ่ายไฟแบบแรงดันไฟฟ้าและความถี่สูงสำหรับไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์ตพลาสมา

ในการวัดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่ออกจากหม้อแปลงน็อนโวลท์และเข้าสู่ชุด Electrode นั้น สามารถทำการวัดได้โดยให้ High voltage probe สัมผัสกับขาออกจาก หม้อแปลงน็อนโวลท์ และต่อขาออกด้วย High voltage probe เข้า Digital oscilloscope เพื่อให้สามารถเห็น Waveform ของคลื่นเพื่อทราบค่าแรงดันไฟฟ้าสูงและ ความถี่ได้อย่างแม่นยำ



* Voltage amplitudes not drawn to scale

รูปที่ 14 วงจรของระบบจ่ายไฟแบบแรงดันไฟฟ้าและความถี่สูงสำหรับสร้างพลาสมาแบบไดอิลีคทริกแบร์รีเออร์ดิสชาร์ต

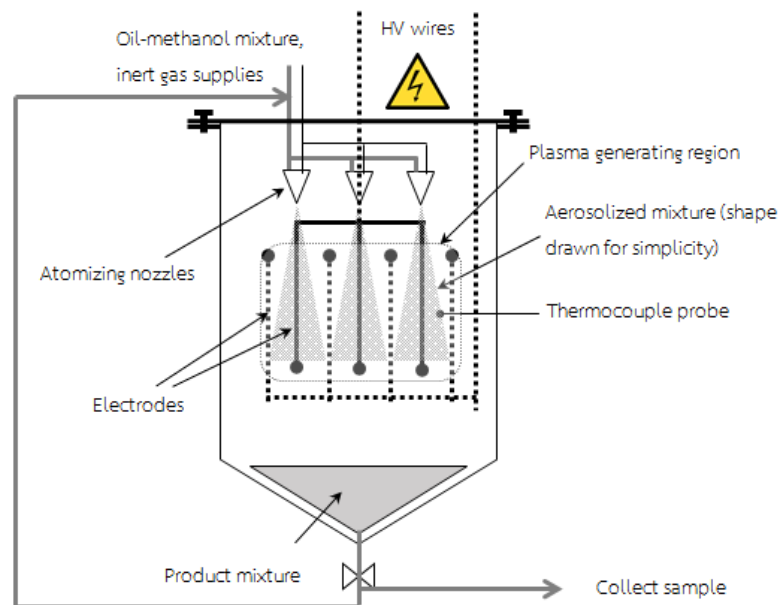
3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไดอิลีคทริกแบร์รีเออร์ดิสชาร์ตพลาสมา

เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไดอิลีคทริกแบร์รีเออร์ดิสชาร์ตพลาสมาที่จะสร้างขึ้นนี้ จะประกอบด้วยแชมเบอร์สำหรับทำปฏิกิริยาที่ทำจากอะคริลิกเพื่อให้สามารถสังเกตพลาสมาที่เกิดขึ้นภายใน และทำช่องยึดแผ่นอิเล็กโทรดที่ทำจากอลูมิเนียมทั้งหมด 5 คู่ โดยแผ่นอิเล็กโทรดจะถูกคั่นด้วยแผ่นฉนวนอลูมินา เพื่อให้เกิดไดอิลีคทริกแบร์รีเออร์ดิสชาร์ตพลาสมาขึ้น แผ่นอิเล็กโทรดจะมีขนาดประมาณ 10×15 ซม. และระยะระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดจะอยู่ในช่วง 3 มม. เชื่อมต่อแผ่นอิเล็กโทรดกับระบบจ่ายไฟแบบแรงดันไฟฟ้าสูงและความถี่สูงดังแสดงในรูปที่ 16 ส่วนด้านบนของแชมเบอร์สำหรับทำปฏิกิริยา จะมีช่องเปิดหลายช่องเพื่อนำสายไฟแรงดันสูง และท่อสำหรับหัวฉีดละอองเข้ามาภายในแชมเบอร์สำหรับทำปฏิกิริยาและด้านบนเหนือชุดแผ่นอิเล็กโทรด จะติดตั้งหัวฉีดละอองดังแสดงในรูปที่ 17 เพื่อฉีดสารผสมระหว่างน้ำมันกับเมทานอลเป็นละอองออกมาพร้อมกับก๊าซเฉื่อย ส่วนด้านล่างของแชมเบอร์สำหรับทำปฏิกิริยาจะมีช่องเปิดเพื่อเก็บผลผลิตที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 15

เนื่องจากอุณหภูมิจะส่งผลต่อความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาด้วย จะติดตั้ง เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เพื่อวัดอุณหภูมิในแชมเบอร์สำหรับทำปฏิกิริยาด้วย และสามารถควบคุมอุณหภูมิ

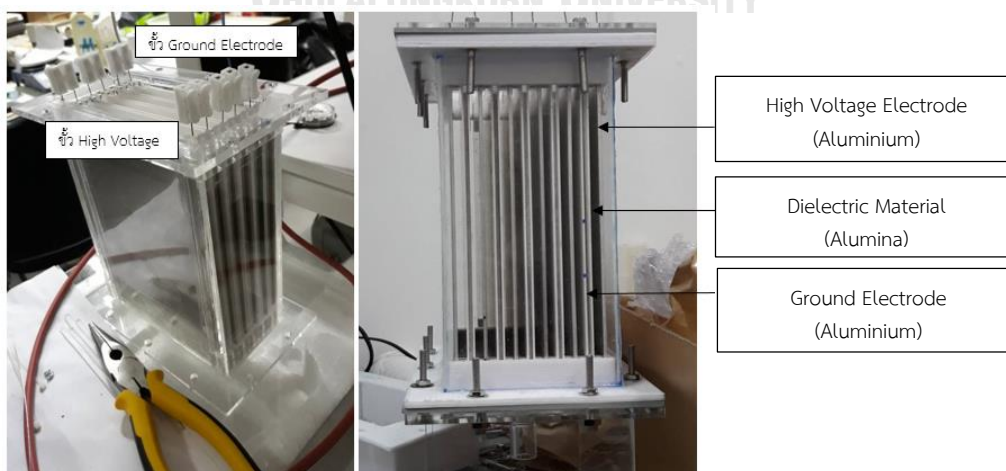
ของสารผสมโดยใช้ เทปให้ความร้อน (Heating tape) พันรอบท่อสารผสมก่อนเข้าแชมเบอร์สำหรับ
ทำปฏิกิริยา

ในการจ่ายสารผสมน้ำมันกับเมทานอลเข้าหัวฉีด จะต้องใช้เครื่องปั่นกวนสารในการทำให้สาร
ผสมเกิดการผสมกันเป็นอย่างดีในภาชนะบรรจุก่อนจ่ายเข้าหัวฉีด



* Figure not drawn to scale

รูปที่ 15 เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิจิทัลพลาสมา



รูปที่ 16 การจัดเรียงอิเล็กโทรดและที่ยึดอิเล็กโทรด



รูปที่ 17 ตำแหน่งสำหรับติดตั้งสายไฟฟ้าแรงดันสูงและหัวฉีดละออง

3.3 การทดลองสังเคราะห์เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากระบบที่สร้างขึ้น มีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 ติดตั้งระบบจ่ายไฟและเครื่องปฏิกรณ์ที่สร้างขึ้นให้พร้อมทำงาน

3.3.2 เตรียมสารเคมีเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยแบ่งเป็นอัตราส่วน น้ำมันพืช :
เมทานอล โดยโมลดังนี้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 3:1 โดยเตรียมน้ำมันพืช 90 มิลลิลิตร + เมทานอล 11.86 มิลลิลิตร = ปริมาตรรวม
101.86 มิลลิลิตร

- 6:1 โดยเตรียมน้ำมันพืช 80 มิลลิลิตร + เมทานอล 20.75 มิลลิลิตร = ปริมาตรรวม
100.75 มิลลิลิตร

- 10:1 โดยเตรียมน้ำมันพืช 70 มิลลิลิตร + เมทานอล 30.06 มิลลิลิตร = ปริมาตรรวม
100.06 มิลลิลิตร

บรรจุสารลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmayer flask) และทำการติดตั้งในตำแหน่งใต้เครื่องปฏิกรณ์

3.3.3 ติดตั้งระบบหมุนเวียนของเหลวโดยใช้ปั๊มรีดท่อ และเปิดก๊าซเฉื่อยเข้าสู่ระบบประมาณ 5 นาที

3.3.4 ทำการเปิดระบบจ่ายไฟ ตั้งค่าความถี่ที่ 100 Hz ค่อยๆปรับค่าแรงดันไฟฟ้าจาก 0 – 10 kV และทำการเก็บตัวอย่างทุก 20 นาที ดำเนินการทดลองเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.3.5 นำตัวอย่างที่ได้มาเตรียมสารเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าผลผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID)

3.4 การวิเคราะห์ผลผลิตไบโอดีเซลในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสซาร์ตพลาสมาที่สร้างขึ้น

3.4.1 เตรียมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าผลผลิตไบโอดีเซล

นำตัวอย่างบรรจุลงในไมโครทูป และนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำตัวอย่างออกจากเครื่องปั่นเหวี่ยงจะเห็นว่าตัวอย่างมีการแยกชั้นตามความหนาแน่นของสารอย่างชัดเจน ทำการชั่งสารมาตรฐานซึ่งในที่นี้ใช้เมทิลเฮปทาดีคาโนเอท 0.05 กรัม สารตัวอย่างที่ผ่านการปั่นเหวี่ยงแล้ว 0.25 กรัม และแสบเทน 5 มิลลิลิตร รวบรวม 20 นาที ให้สารทั้งสามตัวละลายเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ทำการบรรจุลงขวดไวโอลและนำสารไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3.4.2 การคำนวณค่าผลผลิตไบโอดีเซล

การวิเคราะห์ค่าผลผลิตไบโอดีเซลนั้นสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง Shimadzu GC-2010 ร่วมกับ DB-WAX capillary column และสามารถตรวจธาตุต่างๆ ได้โดย Flame ionization detector (FID) ในการตรวจวัดค่าผลผลิตไบโอดีเซลนั้นจะใช้เมทิลเฮปทาดีคาโนเอทเป็นตัวเทียบมาตรฐาน และสามารถคำนวณค่า Biodiesel yield โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน EN14103 ซึ่งมีสมการมีดังนี้

$$\text{Biodiesel yield (\%)} = \frac{(\sum A) - A_{IS}}{A_{IS}} \times \frac{C_{IS} \times V_{IS}}{m_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

เมื่อ $\sum A$ Total area of peak

A_{IS} Area of methyl heptadecanoate

C_{IS} Concentration of methyl heptadecanoate (mg/mL)

V_{1S} Volume of methyl heptadecanoate (mL)

m_s Mass of biodiesel sample (mg)



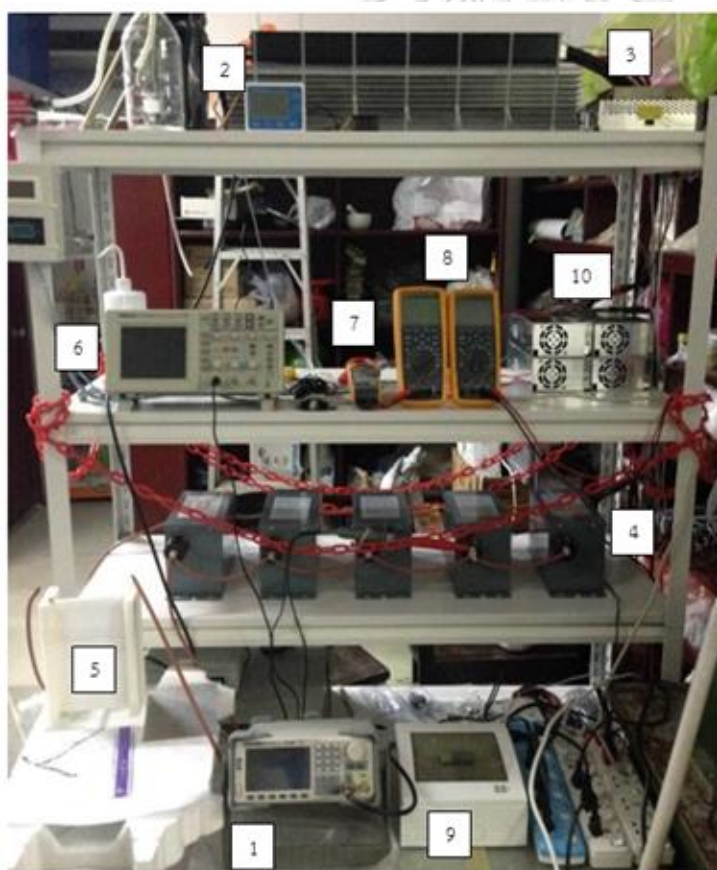
บทที่ 4

วิธีการวิจัยและผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ซึ่งในส่วนแรกจะเป็นการทดสอบสมรรถนะของระบบจ่ายไฟ(Power Supply System) ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเพื่อก่อให้เกิดไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์ตพลาสมาและ ส่วนที่สองเป็นการทดลองการใช้พลาสมาแทนตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อสังเคราะห์เชื้อเพลิงไบโอดีเซล และคำนวณหาค่าผลผลิตไบโอดีเซล

4.1 การทดสอบสมรรถนะของระบบจ่ายไฟ (Power Supply System)

จากบทที่ 3 ได้ทำการออกแบบระบบจ่ายไฟที่ใช้ในการก่อกำเนิดพลาสมา ซึ่งระบบจ่ายไฟนี้ จะสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก กระแสไฟฟ้าขาออกและความถี่ได้ซึ่งระบบที่ถูกสร้างขึ้นแสดงดัง



1. Sine wave generator
2. Amplifier
3. Step-up transformer
4. Neon sign transformer
5. Reactor
6. Oscilloscope
7. Fluke 376 FC True-rms AC/DC clamp meter
8. Fluke 289 FVF True RMS multimeter
9. Switch on-off
10. [Not explicitly named in the list]

รูปที่ 18 อุปกรณ์ต่างๆของระบบจ่ายไฟ



เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Sine Wave Generator) เครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier)

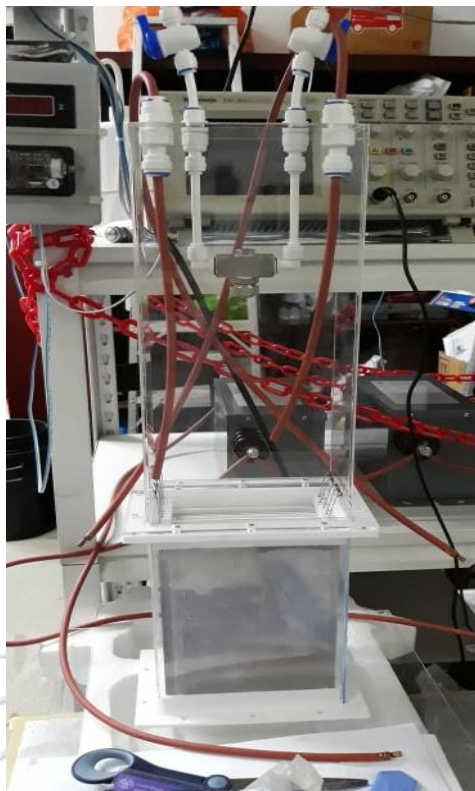


หม้อแปลงขึ้น (Step-up Transformer)

เครื่องจ่ายไฟ (Power Supply)



หม้อแปลงนีออนไลท์ (Neon sign transformer)



เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor)



Multimeters



Oscilloscope

จากการทดสอบในการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าสูงนั้นสามารถแสดงผลออกมาได้ดีเพราะว่า หม้อแปลงน็อนโลทสามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้สูงถึง 15 kV จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 100 mA และปรับความถี่ได้ในช่วง 20 – 20,000 Hz แต่อย่างไรก็ตามแต่ละหม้อแปลงจะจำกัดกำลังไฟฟ้าไว้ที่ 300 W ซึ่งเพียงพอต่อการใช้ในการสร้างพลาสมา

4.2 การทดลองการใช้พลาสมาแทนตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

จากการทดลองใช้ระบบจ่ายไฟที่สร้างขึ้นก่อให้เกิดพลาสมาแบบแผ่นขนานโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในการทดสอบระบบ โดยมีสารผสม เมทานอล : น้ำมัน 3:1 - 10:1 โดยโมล ปริมาตร 100 ml ที่อุณหภูมิห้อง มีการปั่นกวนและหมุนเวียนสารโดยปั๊มรีดที่ต่อตลอดเวลา 2 ชั่วโมง พลาสมาที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นสูงในช่วงแรกของการทดลองและมีความหนาแน่นน้อยลงเมื่อใช้ เวลาในการทดลองมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 20



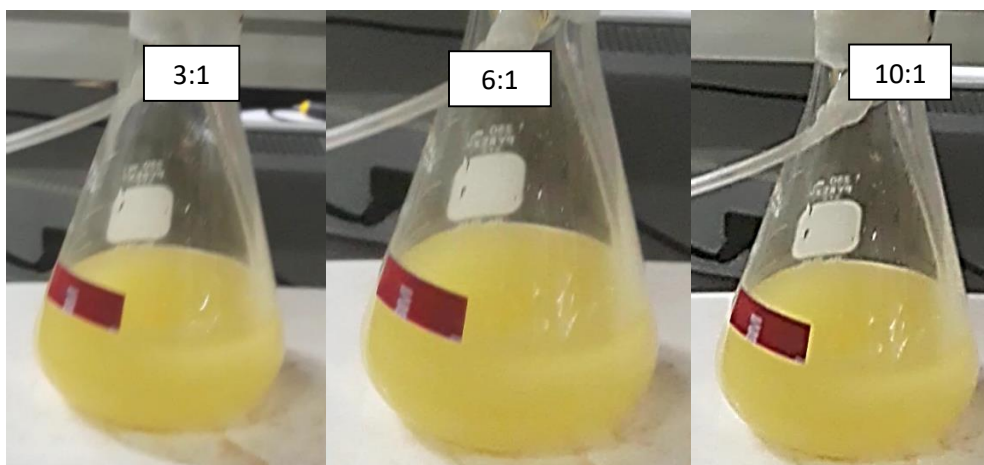
รูปที่ 19 ความหนาแน่นของพลาสมาที่ผลิตได้ด้วยระบบจ่ายไฟที่สร้างขึ้นก่อนเริ่มการทดลอง



รูปที่ 20 พลาสมาที่เกิดขึ้นจากระบบจ่ายไฟที่สร้างขึ้น

ทดสอบแรงดันไฟฟ้าที่ 8 kV ความถี่ 25 kHz ก่อนเกิดปฏิกิริยาได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 7.89 kV ขณะเกิดปฏิกิริยา (เมทานอล:น้ำมัน 3:1) ค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงเหลือที่ 2.48 kV ณ เวลาผ่านไป 10 นาที และทำให้ความหนาแน่นของพลาสมาต่ำลงมากแสดงดังรูปที่ 20

หลังจากทำปฏิกิริยานาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องสารผสมมีลักษณะดังรูปที่ 21

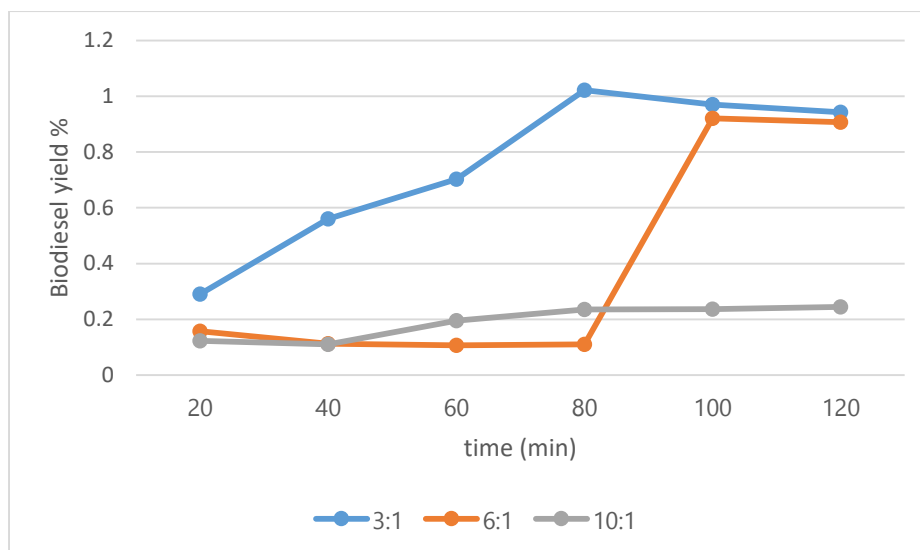


รูปที่ 21 ลักษณะของสารผสมเมื่อผ่านไประยะเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

ทำการเก็บตัวอย่างทุก 20 นาทีนำไปวิเคราะห์ค่าผลผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เครื่อง Shimadzu GC-2010 ร่วมกับ DB-WAX capillary column ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและวิเคราะห์ผลโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน EN14103 ได้ผลดังตารางที่ 6

ตาราง 6 ค่าผลผลิตไบโอดีเซลที่อุณหภูมิห้อง

Methanol : Oil ratio	% Yield					
	20 min	40 min	60 min	80 min	100 min	120 min
3:1	0.29	0.56	0.702	1.022	0.97	0.942
6:1	0.157	0.112	0.107	0.11	0.921	0.907
10:1	0.123	0.11	0.195	0.235	0.236	0.245



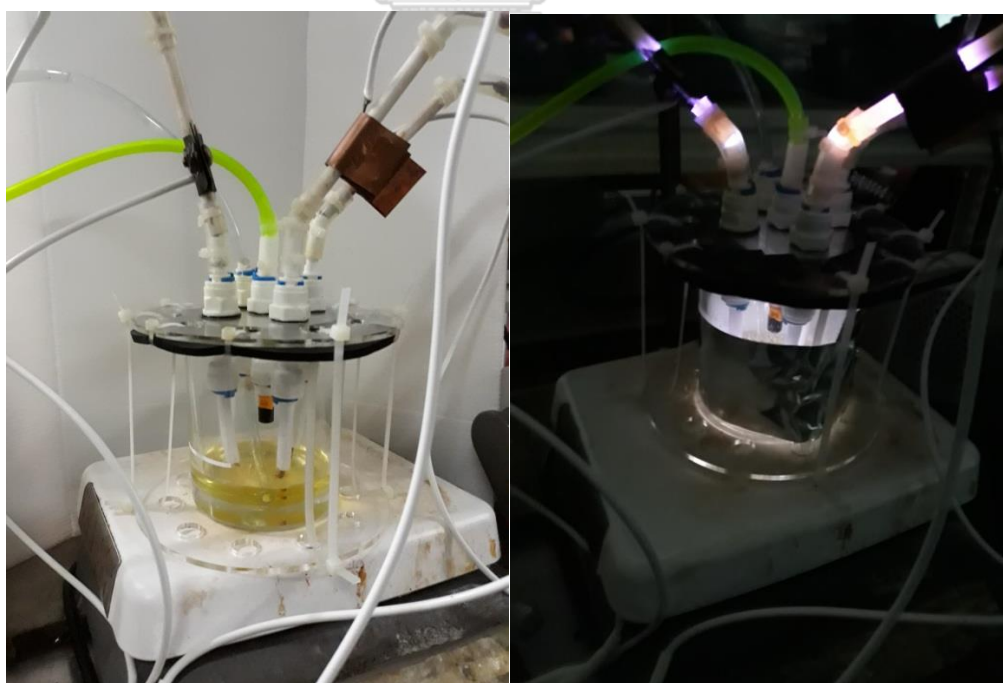
กราฟที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลผลิตไบโอดีเซลและเวลาที่ทำการทดลองที่อัตราส่วน 3:1, 6:1 และ 10:1

จากตารางผลการทดลองที่ 6 จะเห็นว่าค่าผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้นั้นมีค่าประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังเป็นค่าที่น้อยมาก และจากกราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลผลิตไบโอดีเซลและเวลาที่ใช้ในการทดลอง สังเกตได้ว่าที่เวลา 80 นาที ค่าผลผลิตไบโอดีเซลที่อัตราส่วนที่ 3:1 มีค่าสูงสุดที่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ และระหว่างอัตราส่วนที่ 3:1 และ 6:1 จะมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ณ เวลา 120 นาที เพราะฉะนั้นหากสามารถนำพลาสมาสังเคราะห์ไบโอดีเซลสามารถทำได้ที่อัตราส่วน น้ำมัน : เมทานอลที่ 3:1 ซึ่งโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมจะใช้อัตราส่วนของ น้ำมัน : เมทานอล 6:1 ซึ่งจะทำให้ลดการใช้สารเคมีได้อย่างมาก

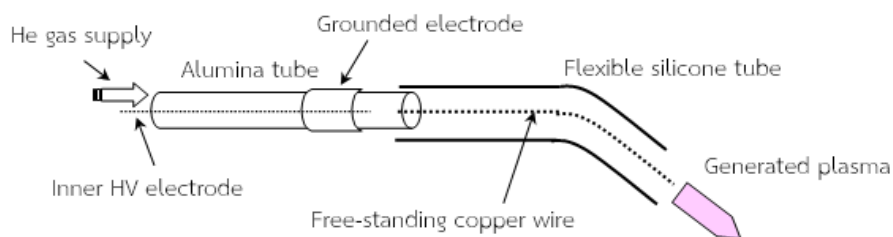
ได้ทำการทดสอบเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเพื่อทดสอบค่าความคาดเคลื่อนของค่าผลผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เมทิลเฮปทาดีคาโนเอท 0.05 กรัม น้ำมันพืช 0.25 กรัม และแสบเทน 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 20 นาทีเพื่อให้สารผสมเข้าด้วยกันและนำไปฉีดทดสอบกับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ผลปรากฏว่าได้ค่าผลผลิตไบโอดีเซลเป็นศูนย์เพราะฉะนั้นเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมีความแม่นยำสำหรับใช้ในการทดสอบค่าผลผลิตไบโอดีเซล

จากผลการทดลองข้างต้นค่าผลผลิตไบโอดีเซลมีค่าประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยมาก ผู้ทำการทดลองจึงได้ออกแบบการจัดเรียงขั้วอิเล็กโทรดใหม่ ซึ่งได้นำเสนอออกมาในรูปแบบ Plasma flying torch ซึ่งพลาสมาทอร์ชเป็นการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าในรูปแบบไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์ตอีกชนิดหนึ่ง และได้ทำการติดตั้งหัวพลาสมาทอร์ชไว้ 3 หัว มีระบบหมุนเวียน (Circulating system) และติดตั้งหัวฉีดละอองเพื่อให้สารผสมระหว่างน้ำมันและเมทานอลสัมผัสกับพลาสมาได้มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 22 และรูปที่ 23 แสดงองค์ประกอบของหัวพลาสมาทอร์ช

ใช้วัสดุที่เป็นแก้วเพื่อเป็นภาชนะหรือแชมเบอร์ (Chamber) เนื่องจากแก้วจะมีความโปร่งใสทำให้สามารถสังเกตปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในได้ สำหรับหัวฉีดละออง (Spray nozzle) จะติดตั้งไว้ด้านบนของแชมเบอร์เพื่อให้น้ำมันสัมผัสกับพลาสมาได้มากขึ้น โดยจะใช้ปั๊มรีดท่อ (Peristaltic pump) เพื่อปั๊มสารผสมจากแชมเบอร์มาผ่านหัวฉีดละออง และจะมีการติดตั้งหัวพลาสมาทอร์ชอย่างน้อย 3 หัวภายในแชมเบอร์ และด้านบนของแชมเบอร์จะปิดสนิทเพื่อป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้ามาในระบบ (ก๊าซฮีเลียมจะไหลเข้าและออกจากแชมเบอร์อย่างต่อเนื่อง)



รูปที่ 22 แสดงการทดลองสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้พลาสมาทอร์ช



รูปที่ 23 แสดงภาพองค์ประกอบหัวพลาสมาทอร์ช

จากนั้นได้ทำการทดลองที่ แรงดันไฟฟ้า 8 kV ความถี่ 25 kHz กระแสไฟฟ้า 30 mA เป็นเวลา 30 นาที ที่อัตราส่วนเมทานอล:น้ำมัน คือ 3 :1 โดยโมล ซึ่งทำให้ค่าผลผลิตไบโอดีเซลเท่ากับ 0.66 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์ตพลาสมาแบบแผ่นขนาน แล้วนั้น พลาสมาทอร์ชมีค่าผลผลิตไบโอดีเซลที่สูงกว่าเล็กน้อย แต่ยังคงว่าน้อยมากอยู่

บทที่ 5

สรุปวิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปวิจารณ์ผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยพลาสมา เพื่อใช้พลาสมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนตัวเร่งปฏิกิริยาเดิมในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันคือการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง ไตรกลีเซอไรด์ กับ แอลกอฮอล์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบสเพื่อก่อให้เกิดไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์หลัก และกลีเซอรอล เป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ อีกทั้งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสนั้น ไม่เหมาะสมสำหรับน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิสระ (และน้ำ) ในระดับที่สูง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระอย่างรวดเร็วและเกิดเป็นสบู่ขึ้น ปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์นี้จะกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนที่จะสามารถใช้ในกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันได้ ซึ่งจะทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลลดลง นอกจากนี้สบู่ที่เกิดขึ้นจำนวนมากจะขัดขวางกระบวนการแยกและการผลิตไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นให้บริสุทธิ์ ทำให้เกิดน้ำเสียขึ้นในปริมาณมาก รวมถึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย จึงเป็นที่มาของแนวคิดการใช้พลาสมาแทนตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อไม่ให้เกิดกลีเซอรอลในระบบ และสามารถใช้พลาสมาได้กับน้ำมันพืชหรือไขมันที่มีกรดไขมันอิสระและน้ำปนเปื้อนสูงได้ ซึ่งได้ทำการแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาและออกแบบสร้างระบบจ่ายไฟเพื่อใช้ระบบจ่ายไฟนี้ก่อให้เกิดพลาสมาในชั้นบรรยากาศและที่อุณหภูมิห้อง และส่วนที่สองเป็นการศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากพลาสมาที่เกิดขึ้นจากระบบจ่ายไฟที่สร้างขึ้น

การศึกษาออกแบบสร้างระบบจ่ายไฟให้มีแรงดันไฟฟ้าขาออกอย่างน้อย 10 kV กระแสไฟฟ้าขาออก 30 mA โดยระบบประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณ เครื่องขยายสัญญาณ หม้อแปลงขึ้น และหม้อแปลงนิออนไลท์ 5 ตัวต่อขนานกัน โดยระบบที่สร้างขึ้นนี้สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้สูงถึง 15 kV จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 100 mA และปรับความถี่ได้ในช่วง 20 – 20,000 Hz ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ และระบบจ่ายไฟนี้สามารถก่อให้เกิดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศและที่อุณหภูมิห้องได้เป็นอย่างดี

อีกทั้งได้ทำการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาซึ่งมีผลกับความหนาแน่นของพลาสมาโดยตรง กล่าวคือก่อนทำปฏิกิริยาค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 7.89 kV ขณะเกิดปฏิกิริยาค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 2.48 kV ทำให้ความหนาแน่นของพลาสมาต่ำลงมาก

การศึกษากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยพลาสมาที่สร้างขึ้นจากระบบจ่ายไฟที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV ที่ 100 Hz โดยทำการปรับอัตราส่วนระหว่าง เมทานอล : น้ำมันพืช ในช่วง 3:1 - 10:1 โดยโมล ปริมาตรประมาณ 100 ml และเก็บตัวอย่างทุก 20 นาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นขนาน จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าผลผลิตไบโอดีเซลมีค่าสูงสุดประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราส่วน เมทานอล : น้ำมันพืช ที่ 3:1 โดยโมล และระหว่างอัตราส่วนที่ 3:1 และ 6:1 จะมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ณ เวลา 120 min เพราะฉะนั้นหากสามารถนำพลาสมาสังเคราะห์ไบโอดีเซลสามารถทำได้ที่อัตราส่วน เมทานอล : น้ำมันพืช ที่ 3:1 ซึ่งโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมจะให้ในอัตราส่วนของ เมทานอล : น้ำมันพืช 6:1 ซึ่งจะทำให้ลดการใช้สารเคมีได้อย่างมาก

จากนั้นได้ทำการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบ Plasma flying torch และทำการทดลองที่ แรงดันไฟฟ้า 8 kV ความถี่ 25 kHz และกระแส 30 mA ที่อัตราส่วน เมทานอล : น้ำมันพืช 3:1 โดยโมล ทำให้ได้ค่าผลผลิตที่ 0.66 % ภายในเวลา 30 นาทีซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเครื่องปฏิกรณ์สองแบบที่ได้ทำการศึกษา เครื่องปฏิกรณ์แบบพลาสมาฟลายอิงทอร์ชสามารถสังเคราะห์ไบโอดีเซลให้ผลการทดลองที่ดีกว่า

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าระบบจ่ายไฟที่สร้างขึ้นสามารถก่อให้เกิดพลาสมาได้ดี แต่ด้วยลักษณะการจัดเรียงขั้วแคโทดและแอโนดในแบบแผ่นขนานจะไม่เหมาะกับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชและเมทานอล เนื่องจากระยะห่างระหว่างขั้วมีเพียง 3 mm ทำให้สารผสมก่อตัวรวมกันเป็นสายและประพุดิตัวเป็นฉนวนซึ่งมีความต้านทานมากทำให้พลาสมาที่เกิดมีความหนาแน่นลดลง จึงส่งผลต่อค่าผลผลิตไบโอดีเซลเป็นอย่างมาก เครื่องปฏิกรณ์ไดอิเล็กทริกแบร์รีเออร์ดีสชาร์ตพลาสมาแบบแผ่นขนานนั้นจึงเหมาะสมกับการใช้กับปฏิกิริยาที่เป็นสถานะก๊าซมากกว่าของเหลว เช่น การบำบัดก๊าซพิษก่อนปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ

พลาสมาสามารถก่อให้เกิดไบโอดีเซลได้จริงแต่เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับ Wameath S. Abdul-Majeed [15] ซึ่งใช้การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบพลาสมาทอร์ชซึ่งค่าผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 72.3% เพราะฉะนั้นการจัดเรียงแบบพลาสมาทอร์ชส่งผลที่ดีกว่าแบบแผ่นขนาน และหากนำงานวิจัยของ Wameath S. Abdul-Majeed [15] ปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยการใช้การป้อนสารแบบหัวฉีดละออง (Atomizing nozzle) จะทำให้เพิ่มพื้นผิวสัมผัสกับพลาสมาได้สูงขึ้นอีกด้วย



5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการได้ศึกษาการออกแบบและสร้างระบบจ่ายไฟให้สามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่สูงได้นั้นจะต้องทำให้อิมพีแดนซ์ของทุกอุปกรณ์มีความเข้ากันได้มิเช่นนั้นอุปกรณ์จะไม่สามารถขยายแรงดันไฟฟ้าได้ การเลือกเครื่องขยายสัญญาณควรเลือกเครื่องขยายสัญญาณที่มีการป้องกันการลัดวงจรของไฟฟ้าที่ดีและมีค่าวัตต์เพียงพอต่อการใช้งาน

จากการศึกษาการก่อให้เกิดไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์จพลาสมามีข้อจำกัดหลายประการ เพราะฉะนั้นควรศึกษาตัวแปรอื่นๆเพิ่มเติม อาทิเช่น

1. ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดกับกราวด์มีผลต่อความหนาแน่นของพลาสมา หากมีระยะใกล้เกินไปจะทำให้เกิดการอาร์คของไฟฟ้าได้ หากมีระยะห่างเกินไปจะไม่สามารถผลิตพลาสมาได้
2. ก๊าซเฉื่อยที่ใช้มีผลต่อความหนาแน่นของพลาสมาที่เกิดขึ้นเช่น ก๊าซฮีเลียมและอาร์กอนจะให้ความหนาแน่นพลาสมาที่ไม่เท่ากัน
3. วัสดุไดอิเล็กทริกต่างชนิดกันส่งผลต่อการกั้นกระแสไฟได้ต่างกัน
4. พลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบบแผ่นขนานเหมาะสำหรับการทำปฏิกิริยากับก๊าซมากกว่าของเหลว กล่าวคือจากการทดลองการนำน้ำมันพืชซึ่งมีความต้านทานสูงทำให้พลาสมามีความหนาแน่นต่ำลงหรือไม่เกิดขึ้นเลยในบริเวณที่น้ำมันพืชไหลผ่าน
5. การสร้างพลาสมาทอร์ชหากต้องการให้กระจายตัวหรือมีความหนาแน่นที่มากขึ้นควรติดตั้งกราวด์ไว้รอบๆแชมเบอร์
6. อัตราการไหลของก๊าซเฉื่อยในพลาสมาทอร์ชส่งผลต่อการผลิตพลาสมา กล่าวคือหากมีก๊าซเฉื่อยในระบบน้อยพลาสมาที่ได้ก็จะน้อย หากมีก๊าซเฉื่อยในระบบมากก็จะทำให้ผลิตพลาสมาได้นานขึ้น
7. หากสามารถทำให้สารผสมกันได้ดีไม่แยกชั้นจะทำให้ค่าผลผลิตไปโอดีเซลดีขึ้น

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยเทคนิคไดอิเล็กทริกแบร์ริเออร์ดิสชาร์ตพลาสมานั้นมีหลายปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงจึงจะสามารถสร้างหรือก่อให้เกิดพลาสมาในความแน่นแน่นที่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ พลาสมาเป็นเทคนิคที่น่าสนใจและมีประโยชน์ที่หลากหลายควรค่าแก่การศึกษาเป็นอย่างยิ่ง



บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

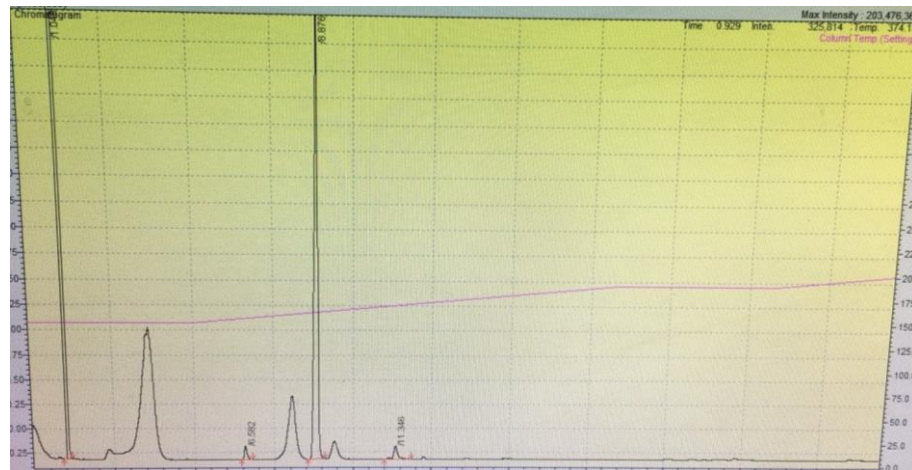
1. กระทรวงพลังงาน, ไบโอดีเซล. สารระนำรู้เรื่องพลังงานทดแทน.
2. Istadi, N.A.S.A., Didi, D.A., Puput, M.S., Bambang, *Biodiesel production from vegetable oil over plasma reactor: optimization of biodiesel yield using response surface methodology*. B. Chem. React. Eng. 4, 2009: p. 23-31.
3. Poosumas, J., *Ultrasonic Assisted Reactor for Biodiesel Production from Purified Palm Oil on Calcium Oxide Heterogeneous Catalyst*, in *Chemical Engineering*. 2014, Chulalongkorn University.
4. Kumar, N., *Biodiesel Production Technology & Feedstocks for India*, in *Expert Lecture at Workshop on Moving Toward Sustainable Energy Systems: Exploring Global Pathway to a Common Destination*. 2006: University of Minnesota.
5. EJKEME, P.M., et al., *Catalysis in Biodiesel Production by Transesterification Processes-An Insight*. E-Journal of Chemistry 2010. 7: p. 1120-1132.
6. [cited 2018 February 14]; Available from: https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1125592.
7. J, O. *Transesterification of waste oil to produce biodiesel and cost efficient removal of residues*. 2011 27 June 2017]; Available from: <https://libres.uncg.edu/ir/unccp/listing.aspx?id=8126>.
8. W, S., C. F, and A.E. H, *J Anal Chem*, 1959. 31: p. 307.
9. Kosol, R., *Partial hydrogenation of biodiesel using carbon-supported nickel catalyst*, in *Petrochemistry and Polymer Science*. 2017, Chulalongkorn University.
10. Mitrayon, L., *DEVELOPMENT OF HIGH-DENSITY ATMOSPHERIC DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE PLASMA SOURCE*, in *Nuclear Engineering*. 2012, Chulalongkorn University.
11. Istadi and N.A.S.A, *Co-generation of synthesis gas and C₂C hydrocarbons from methane and carbon dioxide in a hybrid catalytic-plasma reactor: a review*. *Fuel*, 2006. 85: p. 577-592.
12. Kogelschatz and U, *Dielectric-barrier discharges: their history, discharge physics, and industrial applications*. *Plasma Chem. Plasma P*, 2003. 23: p. 1-46.

13. J, H., et al., *Biodiesel and fame synthesis assisted by microwaves: homogeneous batch and flow process*. Fuel, 2007. 86: p. 1641-1644.
14. M.A., L. and L. A.J, *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*. 1994, New York: John Wiley & Sons.
15. Abdul-Majeed, W.S., G.S. AAL-Thani, and J.N. Al-Sabahi, *Application of Flying Jet Plasma for Production of Biodiesel Fuel from Wasted Vegetable Oil*. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2016. 36: p. 1517-1531.
16. Hyun, Y.-J., Y.-S. Mok, and D.-I. Jang, *Transesterification of Vegetable Oils in Pulsed - Corona Plasma Discharge Process*. J. of Korean Oil Chemists' Soc, 2012. 29: p. 81-87.
17. Cubas, A.L.V., et al., *Biodiesel production using fatty acids from food industry waste using corona discharge plasma technology*. Waste Management, 2016. 47: p. 149-154.
18. Pokryvailo, A., et al., *High-power pulsed corona for treatment of pollutants in heterogeneous media*. IEEE Trans. Plasma Sci, 2006. 34: p. 1731-1743.
19. Grabowski, L.R., *Pulsed Corona in Air for Water Treatment*. 2006, Eindhoven University of Technology: Netherlands.
20. Lotero, E., et al., *Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis*. Ind. Eng. Chem. Res, 2005. **44**: p. 5353-5363.
21. M, L. and L. A, *Principle of plasma discharge and materials processing*. Wiley, 2001.
22. [cited 2017 July 2]; Available from: http://www.plastep.eu/fileadmin/dateien/Outputs/Comparison_of_selected_plasma_technologies.pdf.
23. Bogaerts, A., et al., *Gas discharge plasmas and their applications*. Spectrochimica Acta Part (B), 2002. **57**: p. 609-658.
24. S.K., H., et al., *Review of biodiesel composition, properties, and specifications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012. **16**: p. 143-169.

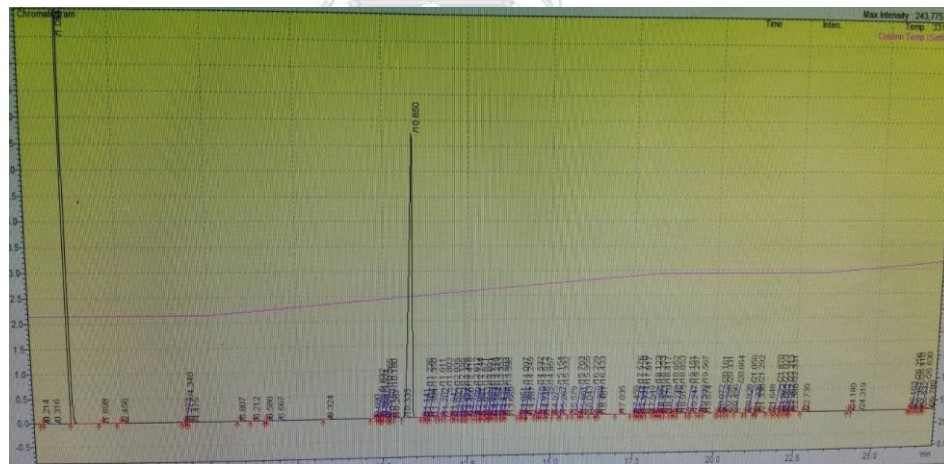
ภาคผนวก

กราฟผลการทดลองที่ได้จากเครื่องแก๊สโครโมโตกราฟี

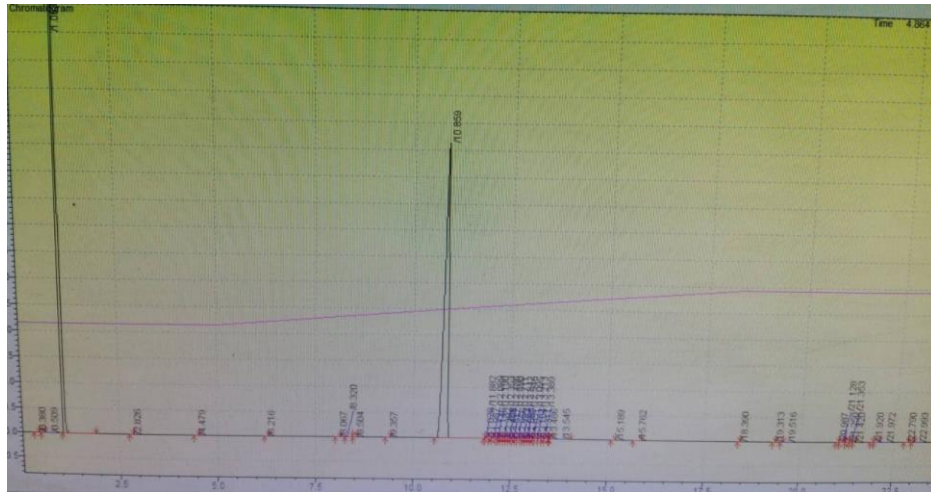
ผลการทดลองการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบ Plasma flying torch ที่อัตราส่วนน้ำมันพืช : เมทานอล 3:1 ที่ 30 นาที



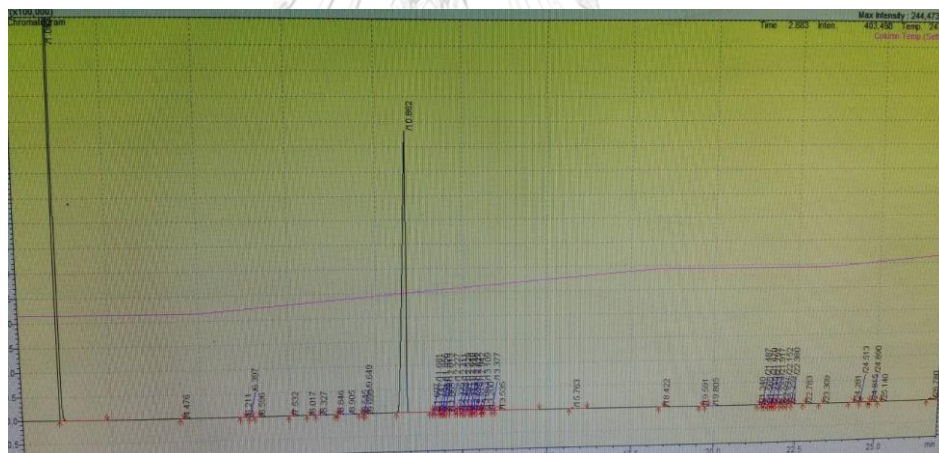
ตัวอย่างผลการทดลองการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบแผ่นขนานที่อัตราส่วนน้ำมันพืช : เมทานอล 3:1



ตัวอย่างผลการทดลองการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบแผ่นขนานที่อัตราส่วนน้ำมันพืช : เมทานอล 6:1



ตัวอย่างผลการทดลองการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบแผ่นขนานที่อัตราส่วนน้ำมันพืช : เมทานอล 10:1



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กุลนันท์ ภูประสิทธิ์
วัน เดือน ปี เกิด	8 กุมภาพันธ์ 2534
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)
ที่อยู่ปัจจุบัน	90/219 หมู่บ้านกฤษณาการ์เด้นโฮม หมู่ 4 ต.บางกระทึก อ.สามพราน จ. นครปฐม 73210



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY