



การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิญญภาค
ของเหลว

BIODIESEL UPGRADING USING SOLUTION PLASMA PROCESS

นายคมสันต์ ตีระแสง รหัส 58365927

นายวิชัยพัฒน์ ขำเนินเพิ่ม รหัส 58366191

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2561



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการงาน การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมา
วิฏภาคของเหลว

ผู้ดำเนินโครงการงาน นายคมสันต์ ตรีระแสง รหัส 58365927
นายวิชัยพัฒน์ ขำเนินเพิ่ม รหัส 58366191

ที่ปรึกษาโครงการงาน ดร. วัฒนชัย เยาวรัตน์

ที่ปรึกษาร่วมโครงการงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิศราวุธ ประเสริฐสังข์

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

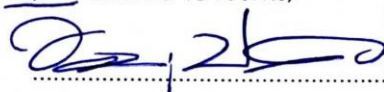
ปีการศึกษา 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี



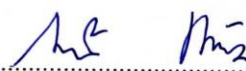
.....ที่ปรึกษาโครงการงาน

(ดร. วัฒนชัย เยาวรัตน์)



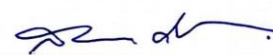
.....ที่ปรึกษาร่วมโครงการงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิศราวุธ ประเสริฐสังข์)



.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมร หิรัญประดิษฐ์กุล)



.....กรรมการ

(ดร. สุชาดา อยู่แก้ว)

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อหัวข้อโครงการ | การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมา วิทยภาคของเหลว |
| ผู้ดำเนินโครงการ | นายคมสันต์ ตรีระแสง นายวิชัยพัฒน์ ขำเนินเพิ่ม |
| ที่ปรึกษาโครงการ | ดร. วัฒนชัย เยาวรัตน์ |
| ที่ปรึกษาร่วมโครงการ | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิศราวุธ ประเสริฐสังข์ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเคมี |
| ภาควิชา | วิศวกรรมอุตสาหกรรม |
| ปีการศึกษา | 2561 |

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยภาคของเหลว โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดชนิดต่างๆ ได้แก่ เหล็กและทังสเตน เวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิทยภาคของเหลว 0 ถึง 120 นาที และที่ความถี่ 15 20 25 และ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ทั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยภาคของเหลว โดยตรวจวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ตรวจวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) และตรวจวัดองค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) จากการศึกษาพบว่า ชนิดขั้วอิเล็กโทรด ความถี่ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิทยภาคของเหลว สำหรับการทดลองทั้งหมดนี้ไม่มีผลต่อความหนืดและค่าความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ โดยน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยภาคของเหลวทุกสภาวะการทดลองจะมีสีเข้มขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับขั้วอิเล็กโทรดเหล็กนั้นจะมีสีที่เข้มขึ้นชัดเจนมากกว่าการทดลองแบบการใช้ขั้วอิเล็กโทรดทังสเตน ซึ่งน่าจะเกิดจากอนุภาคนาโนของเหล็กออกไซด์ (γ -Fe₂O₃) ในด้านองค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยภาคของเหลวยังคงมีองค์ประกอบหลักเหมือนเดิม

Title BIODIESEL UPGRADING USING SOLUTION PLASMA PROCESS
Author Mr. Komsan Treerasaeng ID no. 58365927
Mr. Vitchayaphat Khumnernpern ID no. 58366191
Advisor Dr. Watanachai Yaowarat
Co-Advisor Assistant Professor Dr. Isarawut Prasertsung
Major Chemical Engineering
Department Industrial Engineering
Year 2561

Abstract

This project is studied about the improvement of biodiesel quality by solution plasma process using different electrodes such as iron and tungsten, at various time from 0-120 minutes the frequency of 15 20 25 and 30 kHz. The treated biodiesel from solution plasma process was determined the properties i.e. viscosity by viscometer, heating value by oxygen bomb Calorimeter and chemical composition by Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The experimental results showed that electrode type, plasma frequency and time had no significant effect on biodiesel viscosity and heating value. The treated biodiesel from all conditions showed darker solution color due to the oxidation reaction. Solution plasma process by using iron electrode had darker solution color than using tungsten electrode, which is likely caused by iron(III) oxide (γ -Fe₂O₃) nanoparticles. The experiment also showed that the treated biodiesel gave similar main compositions as conventional biodiesel.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะ ดร. วัฒนชัย เยาวรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิศราวุธ ประเสริฐสังข์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ความรู้แนะนำวิธีแก้ไขปัญหา รวมถึง ข้อคิดเห็นต่างๆ เทคนิคการนำเสนอโครงการ ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ทุกขั้นตอนเพื่อให้การเขียนโครงการปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากที่สุด และต้องขอขอบคุณคณะกรรมการปริญญาานิพนธ์อัน ประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. สมร หิรัญประดิษฐกุล และ ดร. สุชาดา อยู่แก้ว ที่กรุณาให้ คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญาานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนผู้ดูแลห้องปฏิบัติการที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเข้าใช้สถานที่และเครื่องมือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงการใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การดูแล อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือและให้กำลังใจด้วยดี ตลอดจนการดำเนินโครงการจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายคมสันต์ ตริระแสง

นายวิชัยพัฒน์ ขำเนินเพิ่ม

เมษายน 2562

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|----|
| ใบรับรองปริญญาโท..... | ก |
| บทคัดย่อ | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract) | ค |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ง |
| สารบัญ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูปภาพ | ซ |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| | |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 น้ำมันไบโอดีเซล..... | 4 |
| 2.1.1 น้ำมันไบโอดีเซลจากไตรกลีเซอไรด์ที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน | 4 |
| 2.1.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล | 4 |
| 2.2 กรีนดีเซล (Green diesel) | 7 |
| 2.3 กระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว (Solution plasma process)..... | 8 |
| 2.3.1 พลาสมา..... | 8 |
| 2.3.2 พลาสมาวัฏภาคของเหลว (Liquid phase plasma)..... | 9 |
| 2.3.3 การประยุกต์ใช้พลาสมาวัฏภาคของเหลว..... | 11 |
| 2.4 การวัดความหนืด | 13 |
| 2.5 การวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์..... | 14 |
| 2.6 เลขซีเทน (Cetane number) | 15 |
| 2.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์..... | 16 |
| 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 16 |

| | |
|--|----|
| บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 22 |
| 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี..... | 22 |
| 3.2 วิธีการทดลอง | 23 |
| 3.3 ขั้นตอนการทำงานวิจัย | 24 |
| 3.3.1 การติดตั้งระบบพลาสมาวิภาคของเหลว | 24 |
| 3.3.2 การปรับปรุงน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว | 24 |
| 3.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาค ของเหลว..... | 24 |
| บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง | 26 |
| 4.1 ผลของเวลา ความถี่ และชนิดขั้วอิเล็กโทรดต่อความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล | 26 |
| 4.2 ผลของเวลา และชนิดขั้วอิเล็กโทรดต่อค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซล..... | 31 |
| 4.3 ผลของเวลา และความถี่ต่อองค์ประกอบทางด้านเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล..... | 33 |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ | 36 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 36 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 36 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 37 |
| ภาคผนวก ก..... | 40 |
| ภาคผนวก ข..... | 43 |
| ภาคผนวก ค..... | 45 |
| ประวัติผู้จัดทำโครงการ | 50 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีสำหรับเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซล และมาตรฐาน ASTM ของเชื้อเพลิง.....6 | |
| 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของกรีนดีเซลกับน้ำมันชนิดอื่น.....8 | |
| 4.1 ร้อยละพื้นที่โครมาโตรแกรมของกรดไขมันเอสเทอร์หลักที่ตรวจพบจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี- แมสสเปคโตรมิเตอร์ ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว.....35 | |
| ก.1 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล.....41 | |
| ก.2 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว ด้วยขั้วอิเล็กโทรด เหล็ก ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลาที่ต่างกัน.....41 | |
| ก.3 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว ด้วยขั้วอิเล็กโทรด ทังสเทน ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลาที่ต่างกัน.....42 | |
| ก.4 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว ด้วยขั้วอิเล็กโทรด เหล็ก ที่เวลา 30 นาที ในความถี่ที่ต่างกัน.....42 | |
| ข.1 ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล.....44 | |
| ข.2 ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว ด้วยขั้วอิเล็กโทรด เหล็ก ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลาที่ต่างกัน.....44 | |
| ข.3 ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว ด้วยขั้วอิเล็กโทรด ทังสเทน ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลาที่ต่างกัน.....44 | |
| ค.1 ตัวอย่าง Area Percent Report จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรมิเตอร์ของ น้ำมันไบโอดีเซล.....46 | |
| ค.2 ตัวอย่าง Library Search Report จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรมิเตอร์ของ น้ำมันไบโอดีเซล.....47 | |

สารบัญรูปภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 2.1 | กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์..... 5 |
| 2.2 | ภาพถ่ายและแบบจำลองของกระบวนการพลาสมาวิฏฐภาคของเหลว..... 10 |
| 2.3 | ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดพลาสมาวิฏฐภาคของเหลว..... 11 |
| 2.4 | ออสท์วาลด์วิสโคมิเตอร์ (Ostwald viscometer)..... 13 |
| 2.5 | ส่วนประกอบของเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์..... 15 |
| 3.1 | ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 23 |
| 4.1 | ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการพลาสมาวิฏฐภาคของเหลวโดยมีน้ำมันไบโอดีเซลเป็นวัตถุดิบ 26 |
| 4.2 | ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิฏฐภาคของเหลว ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลา 0 30 60 90 และ 120 นาที ; (ก) ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก (ข) ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสแตน..... 27 |
| 4.3 | ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิฏฐภาคของเหลว โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลา 0 5 10 20 และ 30 นาที..... 28 |
| 4.4 | ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิฏฐภาคของเหลว โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก ในเวลา 30 นาที ที่ความถี่ 15 20 25 และ 30 กิโลเฮิร์ตซ์..... 29 |
| 4.5 | น้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิฏฐภาคของเหลว ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในระยะเวลา 30 60 90 และ 120 นาที ตามลำดับ ; (ก) ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก (ข) ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสแตน..... 31 |
| 4.6 | ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิฏฐภาคของเหลว ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลา 0 15 30 และ 60 นาที ; (ก) ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก (ข) ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสแตน..... 32 |
| 4.7 | กลไกการแตกพันธะของมอนอกลิเซอไรด์ด้วยกระบวนการพลาสมาวิฏฐภาคของเหลว..... 33 |
| 4.8 | โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิฏฐภาคของเหลวโดย ใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก ; (ก) ไบโอดีเซล (ข) ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ เวลา 30 นาที (ค) ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ เวลา 120 นาที (ง) ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ 30 นาที..... 34 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่ผลักดันให้เกิดการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมในทุกประเทศ (Sani et al., 2018) การเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของมนุษย์ทำให้เกิดการเติบโตอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีและจำนวนประชากร ด้วยเหตุนี้การใช้พาหนะขนส่งจึงเพิ่มอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม และนำไปสู่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและภาวะโลกร้อน (Mosallanejad et al., 2017; Taghvaei & Rahimpour, 2018) อีกทั้งยังมีการคาดว่าน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียมสำรองจะไม่เพียงพอ ก่อให้เกิดการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียมในอีก 50 ปีข้างหน้า (Sierra-Cantor & Guerrero-Fajardo, 2017) ประเด็นเหล่านี้ทำให้เกิดความสนใจในการค้นคว้าเชื้อเพลิงทางเลือกซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยคำนึงถึงความเข้ากันได้ของน้ำมันและการบำรุงรักษาหรือการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องยนต์ (Mosallanejad et al., 2017; Zaharin et al., 2017) ดังนั้นทางเลือกหนึ่งในการทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม คือการใช้น้ำมันชีวภาพ เช่น น้ำมันไบโอดีเซล (Sierra-Cantor & Guerrero-Fajardo, 2017)

น้ำมันไบโอดีเซลมีคุณสมบัติคล้ายและเข้ากันได้ดีกับน้ำมันดีเซล โดยมีคุณสมบัติบางอย่างที่ดีกว่าน้ำมันดีเซล เช่น ค่าซีเทนที่เผาไหม้ได้สมบูรณ์ มีคุณสมบัติหล่อลื่นที่ดีเยี่ยม ปราศจากกำมะถัน และสารอะโรมาติกส์ (Keera et al., 2018) อย่างไรก็ตามจากมุมมองด้านการดำเนินงานน้ำมันไบโอดีเซลมีส่วนพลังงานประมาณร้อยละ 90 ของน้ำมันดีเซลโดยวัดตามเกณฑ์ปริมาตร ด้วยเหตุนี้การใช้ น้ำมันไบโอดีเซลจะทำให้ลดการประหยัดเชื้อเพลิงและพลังของเครื่องยนต์ประมาณร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล แต่มีน้ำมันไบโอดีเซลก็มีข้อเสียคือปัญหาต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ เนื่องจากค่าความหนืดที่สูงและมีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล จากข้อเสียของน้ำมันไบโอดีเซลจึงได้เกิดการพัฒนากรินดีเซลขึ้นมา แต่ผู้คนส่วนใหญ่ไม่สามารถเข้าถึงได้ เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่สูงเกินไป ดังนั้นงานวิจัยในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นในการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลให้มีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม

กระบวนการพลาสมาวิทยาศาสตร์ของเหลวเป็นกระบวนการใหม่ที่ถูกค้นพบโดย Takai O. (Takai, 2008) และนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านต่างๆ อาทิ การสังเคราะห์อนุภาคนาโน การปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุโลหะ การบำบัดน้ำเสีย การฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และการย่อยสลายสารอแกนิค กระบวนการพลาสมาวิทยาศาสตร์ของเหลวเป็นกระบวนการที่สามารถผลิตพลาสมาที่มีความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยาได้ดี อาทิ อนุมูลไฮดรอกซิล (OH) อนุมูลไฮเปอร์ออกไซด์ (HO_2) อิเล็กตรอนอิสระ (e^-) ซึ่งพลาสมาดังกล่าวสามารถชักนำให้เกิดการย่อยสลายสารอแกนิค (Baroch et al., 2008)

โดยกลไกการทำงานของพลาสมาสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ การใช้สนามไฟฟ้า การผลิตอิเล็กตรอนเพื่อนำไปสู่การปลดปล่อยพลังงานของโมเลกุล การก่อตัวของอะตอมไอออนและอนุภาคอิสระ และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (Mosallanejad et al., 2017) นอกจากนั้นแล้วกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลวไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีในการดำเนินการ ดังนั้นจึงไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีในระบบ

ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลวโดยตัวแปรที่ศึกษา คือ เวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลว ชนิดของขั้วอิเล็กโทรด และความถี่ของเครื่องกำเนิดพลาสมา ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลวจะถูกนำไปตรวจสอบคุณลักษณะ คือ ความหนืด ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ และองค์ประกอบทางด้านเคมี โดยกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลวเป็นกระบวนการทางเลือกใหม่ที่สามารถนำมาทดแทนวิธีการดั้งเดิมที่มีต้นทุนสูงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลว
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของชนิดของขั้วอิเล็กโทรด เวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลว และความถี่ไฟฟ้าต่อคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ติดตั้งเครื่องกำเนิดพลาสมาวิญญาคของเหลวโดยมีตัวแปรควบคุมดังนี้
 - 1.3.1.1 ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร
 - 1.3.1.2 ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซล 150 มิลลิลิตร
 - 1.3.1.3 เส้นผ่านศูนย์กลางของขั้วอิเล็กโทรด 1 มิลลิเมตร
 - 1.3.1.4 ขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ 200 มิลลิลิตร
 - 1.3.1.5 ความกว้างพัลส์ (Pulse width) 2 ไมโครวินาที
- 1.3.2 ปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลวโดยมีตัวแปรต้นที่ศึกษาดังนี้
 - 1.3.2.1 เวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลวในช่วง 0 ถึง 120 นาที
 - 1.3.2.2 ชนิดของขั้วอิเล็กโทรด คือ เหล็ก และ ทังสเตน
 - 1.3.2.3 ความถี่ของเครื่องกำเนิดพลาสมาในช่วง 15 ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์

1.3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว

1.3.3.1 ตรวจวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer)

1.3.3.2 ตรวจวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter)

1.3.3.3 ตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas chromatography–mass spectrometry, GC-MS)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 น้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวจะมีค่าความหนืดลดลง และค่าความร้อนที่สูงขึ้น โดยมุ่งเน้นให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

1.4.2 สามารถพัฒนากระบวนการใหม่โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวในการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อทดแทนวิธีอื่นที่มีต้นทุนในการดำเนินงานสูง



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากความต้องการพลังงานของโลกคาดว่าอีก 50 ปีข้างหน้า จะพบปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาทางเลือกเพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม น้ำมันไบโอดีเซลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียมสำหรับอุตสาหกรรมและการขนส่ง (Sierra-Cantor & Guerrero-Fajardo, 2017)

2.1 น้ำมันไบโอดีเซล

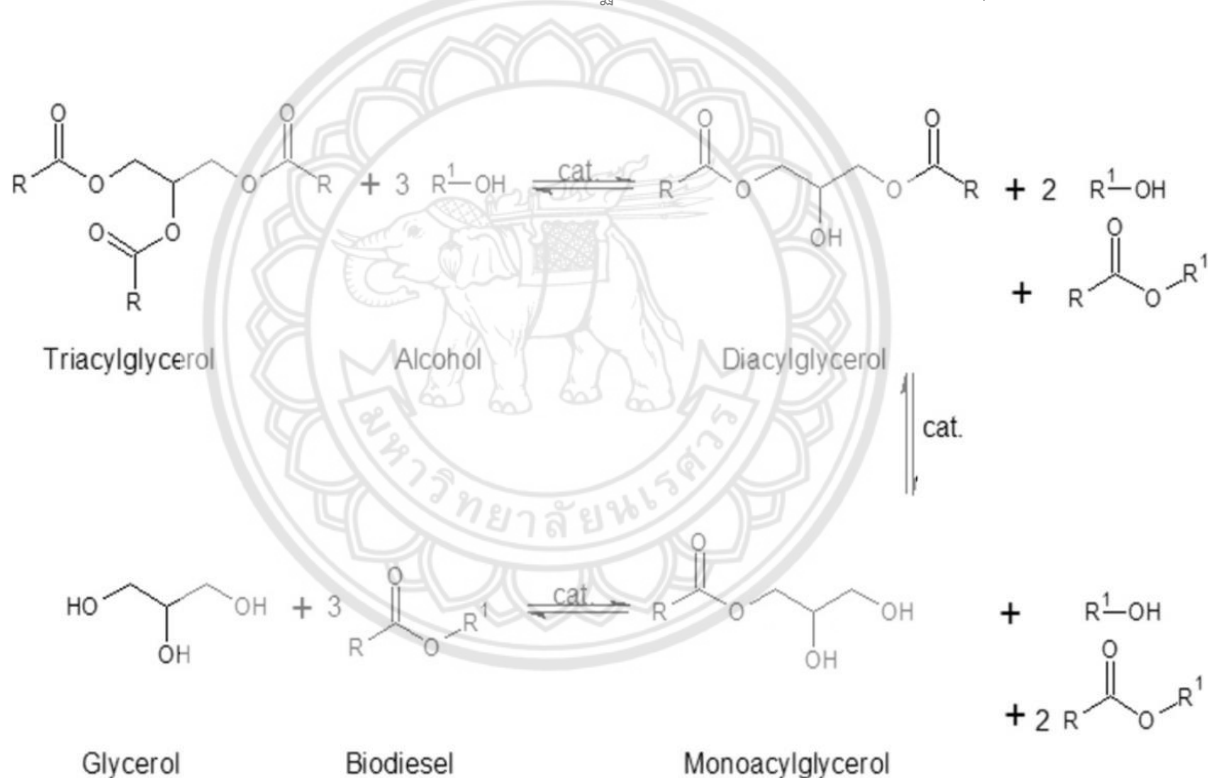
2.1.1 น้ำมันไบโอดีเซลจากไตรกลีเซอไรด์ที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

น้ำมันไบโอดีเซลคือเอสเทอร์ (Ester) ของกรดไขมันโดยส่วนใหญ่เป็นเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ที่ได้จากไขมันหรือน้ำมันไตรกลีเซอไรด์ที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ด้วยแอลกอฮอล์ตามรูปที่ 2.1 ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล (Sierra-Cantor & Guerrero-Fajardo, 2017) กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชที่ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และการสะสมคาร์บอนที่หัวฉีดและวาล์ว (Keera et al., 2018; Sani et al., 2018) ตัวเร่งปฏิกิริยามักใช้ในการปรับปรุงอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตเนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้จึงจำเป็นต้องใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปเพื่อเปลี่ยนสมดุลให้กับผลิตภัณฑ์ (Demirbas, 2007) ตัวเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานมักใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH) บางครั้งอาจใช้โซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium methoxide, NaOCH₃) หรือโพแทสเซียมเมทอกไซด์ (Potassium methoxide, KOCH₃) เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดน้ำ (Sierra-Cantor & Guerrero-Fajardo, 2017) แต่อย่างไรก็ตามโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีต้นทุนต่ำและผลผลิตสูง ผลพลอยได้หลักของการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ กลีเซอรอล (Demirbas, 2007)

2.1.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล

ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติคล้ายและเข้ากันได้ดีกับน้ำมันดีเซลดังตารางที่ 2.1 โดยมีคุณสมบัติบางอย่างที่ดีกว่าน้ำมันดีเซล คือ มีสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีกว่า มีคุณสมบัติหล่อลื่นที่ดีเยี่ยม และปราศจากกำมะถันและสารอะโรมาติกส์ (Keera et al., 2018) จากมุมมองด้านการดำเนินงานไบโอดีเซลมีส่วนพลังงานประมาณร้อยละ 90 ของน้ำมันดีเซลโดยวัดตามเกณฑ์ปริมาตร ด้วยเหตุนี้การใช้ไบโอดีเซล

ช่วยลดการประหยัดเชื้อเพลิงและพลังของเครื่องยนต์ประมาณร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล สาเหตุของการลดลงนี้เกิดขึ้นจากปริมาณออกซิเจนของน้ำมันไบโอดีเซล (Demirbas, 2007) ออกซิเจนมีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกซิเดชันลดการกระแทกในจังหวะปล่อยไอเสีย ยังช่วยให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลแต่อย่างไรก็ตามการมีออกซิเจนก็มีข้อเสีย เช่น เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนจะมีค่าความร้อนน้อยกว่า ก่อให้เกิดการปลดปล่อยสารประกอบไนโตรเจนกับออกซิเจน (Zaharin et al., 2017) เพื่อให้ค่าความร้อนที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลต้องเผาเชื้อเพลิงมากขึ้น ในทางกลับกันน้ำมันไบโอดีเซลปลอดภัยกว่าน้ำมันปิโตรเลียมบริสุทธิ์เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่า ในการดำเนินงานส่วนใหญ่ของน้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์มีข้อเสีย เช่น ต้องเปลี่ยนซีลยางธรรมชาติ ปัญหาการติดเครื่องยนต์จากความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล เป็นต้น แต่จะไม่เกิดขึ้นกับน้ำมันไบโอดีเซลผสม (Demirbas, 2007) โดยจะผสมน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซลน้อยกว่าร้อยละ 20 ภายใต้มาตรฐาน ASTM D7467 (Zaharin et al., 2017)



รูปที่ 2.1 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

ที่มา : Methods for improving the cold flow properties of biodiesel with high saturated fatty acids content: A review , Sierra-Cantor and Guerrero-Fajardo.

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีสำหรับเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซล และมาตรฐาน ASTM ของเชื้อเพลิง

| Prosperity | Unit | Test method | Diesel fuel | Biodiesel ASTM D6751-15 | Castor oil | Diesel fuel | Castor biodiesel |
|---|--------------------|-----------------|-------------|-------------------------|------------|-------------|------------------|
| Density at 15°C | kg/m ³ | ASTM D1298/4052 | | 860-900 | 964 | 842.1 | 929.9 |
| Flash point | °C min. | ASTM D93 | 52 | 93 | 220 | 210 | 146 |
| Viscosity at 40°C | mm ² /s | ASTM D445 | 1.9-4.1 | 1.9-6 | 246 | 2.3 | 15.5 |
| Viscosity at 100°C | mm ² /s | ASTM D445 | 19.02 | | 19.02 | | 3.2 |
| Sulfur content | % mass.max. | ASTM D5453 | 0.05 | 0.05 | 0 | | 0 |
| Pour point | °C max. | ASTM D97 | | | -78 | | -19 |
| Cloud point | °C max. | ASTM D2500 | | | -75 | 0 | -15 |
| Acid number | mg KOH/g | ASTM D664 | - | 0.5 | 0.22 | | 0.3 |
| Heating value | MJ/kg | ASTM D4868 | | | 41.3 | 45.45 | 41.17 |
| Cetane number | | ASTM D613 | 40 | 47 | | 49.5 | 60.2 |
| Total acidity | | ASTM D664 | | | 0.22 | 0.009 | 0.09 |
| CHNSO Mass Analysis (Eurovector EA3000) | C | | | | | 86.21 | 73.355 |
| | H | | | | | 13.47 | 12.027 |
| | N | | | | | 0.113 | 0.127 |
| | S | | | | | - | - |
| | O | | | | | - | 14.296 |

ที่มา : Study of Egyptian castor biodiesel-diesel fuel properties and diesel engine performance for a wide range of blending ratios and operating conditions for the sake of the optimal blending ratio, Attia et al.

2.2 กรีนดีเซล (Green diesel)

การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลจากน้ำมันพืชโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยผลผลิตที่ได้จะเป็นน้ำมันไบโอดีเซล แม้น้ำมันที่ได้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่จากข้อเสียบางประการที่ได้กล่าวไปในข้างต้นไม่ว่าจะเป็น ค่าความเสถียรของน้ำมันไบโอดีเซล กลีเซอรอลที่เกิดขึ้น และอื่นๆ ซึ่งอาจจะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ได้เมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานาน หรืออาจต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับแต่งเครื่องยนต์เมื่อต้องการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีความเข้มข้นสูงๆ หรือน้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลเพื่อจะผลิตเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าหรือใกล้เคียงน้ำมันดีเซลที่สุด โดยได้รับความนิยมนในประเทศสหรัฐอเมริกาและแถบทวีปยุโรป

UOP LLC และ Eni, S.P.A. Refining and Marketing Division ได้ศึกษาวิธีที่จะเปลี่ยนน้ำมันจากพืชให้เป็นน้ำมันดีเซลโดยวิธีการที่แตกต่างจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและน้ำมันที่ได้จะต้องมีคุณสมบัติต่างๆใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยอาศัยเทคโนโลยีการใช้ไฮโดรเจน (Hydroprocessing) เป็นพื้นฐานเนื่องจากเทคโนโลยีที่มีการใช้งานในโรงกลั่น เทคโนโลยีนี้จะใช้น้ำมันพืชเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูง ความหนืดต่ำ ไม่มีสารอะโรมาติกส์และซัลเฟอร์ (SARI, 2013) โดยน้ำมันที่ได้จะถูกเรียกว่า น้ำมันกรีนดีเซล (Green diesel) มีชื่อเรียกหลากหลาย เช่น น้ำมันดีเซลหมุนเวียน (Renewable diesel) หรือน้ำมัน BHD (Bio-hydrogenated diesel) น้ำมันกลุ่มนี้ผลิตได้จากการนำน้ำมันปาล์มไปทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนเพื่อให้ได้น้ำมันที่มีโมเลกุลเสถียรกว่าและแยกสารที่ทำให้อุดตันในหัวฉีดน้ำมันเครื่องยนต์ออก มีข้อดีคือได้น้ำมันที่มีลักษณะเหมือนกับน้ำมันดีเซลมาก สามารถนำไปผสมในดีเซลเพื่อเติมรถยนต์ได้ในสัดส่วนที่สูงกว่าไบโอดีเซลประเภทแรกหรือใช้แทนน้ำมันดีเซลได้เลย แต่จะมีปัญหาด้านต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าไบโอดีเซลมาก และเมื่อเทียบกับราคาน้ำมันดีเซลแล้วราคาสูงกว่าประมาณเกือบ 4 เท่าทำให้แข่งขันด้านราคาเป็นไปได้ยาก (ชัยวัฒน์ โควาวิสารัช, 2018) และกรีนดีเซลเป็นรูปแบบของน้ำมันดีเซลซึ่งมาจากวัตถุดิบทดแทนมากกว่าวัตถุดิบฟอสซิลที่ใช้ในน้ำมันดีเซลส่วนใหญ่ วัตถุดิบกรีนดีเซลมีความสามารถผลิตจากน้ำมันหลากหลายชนิด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ หรือ น้ำมันจากเมล็ดเรพ (สวราชย์ ด่านพิทักษ์กุล, 2558)

นอกจากน้ำมันพืชแล้วยังสามารถใช้ไขมันสัตว์แทนได้โดยสารตั้งต้นที่นำมาใช้จะมีกรดไขมันอิสระอยู่ประมาณร้อยละ 1 ถึง 2 ในโครงสร้างกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระจะประกอบด้วยอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งอาจเป็นโซ่ตรงหรือโซ่ที่มีกิ่งก้านสาขา โดยส่วนใหญ่อะลิฟาติกในไตรกลีเซอไรด์จะประกอบด้วยส่วนที่ไม่อิ่มตัว และมีจำนวนคาร์บอนในอะตอมอยู่ในช่วงน้ำมันดีเซล โดยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะมีดีเซลเกิดขึ้นประกอบเกือบร้อยละ 100 ขณะที่ใน

น้ำมันดิบจะมีดีเซลอยู่เพียงร้อยละ 20 ไฮโดรโพรเซสซิง (Hydroprocessing) เป็นการไฮโดรเจเนตติ้ง ออกซิเจนออกโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์เพื่อผลิตกรีนดีเซล

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของกรีนดีเซลกับน้ำมันชนิดอื่น

| คุณสมบัติ | ดีเซล | ไบโอดีเซล | กรีนดีเซล |
|-----------------------------|---------|-----------|------------|
| ปริมาณออกซิเจน, % | 0 | 11 | 0 |
| ความหนาแน่น, g/ml | 0.84 | 0.88 | 0.78 |
| อุณหภูมิการกลั่น, °C | 200-350 | 340-355 | 265-320 |
| จุดที่น้ำมันเป็นฝ้าขุ่น, °C | -5 | -5 ถึง 15 | -10 ถึง 20 |
| ค่าความร้อน, MJ/kg | 43 | 38 | 44 |
| ค่าซีเทน | 40 | 50 – 65 | 70 – 90 |
| ปริมาณ NO _x , % | > 10 | > 10 | 0 – 10 |
| ปริมาณซัลเฟอร์ ppm | <10 | < 1 | < 1 |
| กลีเซอรอล, % | 0 | 12 | 0 |
| ค่าความเสถียร | ดี | น้อย | ดี |

ที่มา : <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0645/03chapter2.pdf>, สวรราชย์ ด้านพิทักษ์กุล.

2.3 กระบวนการพลาสมาวิญญากาศของเหลว (Solution plasma process)

2.3.1 พลาสมา (Takai, 2008)

พลาสมา (Plasma) (Takai, 2008) ถูกจัดเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร เนื่องจากมีสมบัติบางประการที่แตกต่างจากของแข็ง ของเหลวและแก๊ส พลาสมาเกิดจากการแตกตัวของแก๊สที่เป็นกลาง กลายเป็นอนุภาคที่มีประจุบวกหรือลบหรือไอออน กระบวนการนี้เรียกว่า “กระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization)” โดยการแตกตัวจะเกิดขึ้นเมื่อแก๊สถูกกระตุ้นจากพลังงานภายนอก เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน ไมโครเวฟ และรังสียูวี เป็นต้น การกระตุ้นส่งผลให้อะตอมสูญเสียสภาพความเป็นกลางและเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอน ปริมาณที่ใกล้เคียงกับประจุบวกส่งผลให้ประจุไฟฟ้าสุทธิของ

พลาสมาเป็นศูนย์ พลาสมาแสดงถึงพฤติกรรมเหมือนอนุภาคเป็นกลาง (Quasi-Neutral) และมีการอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (Collective behavior)

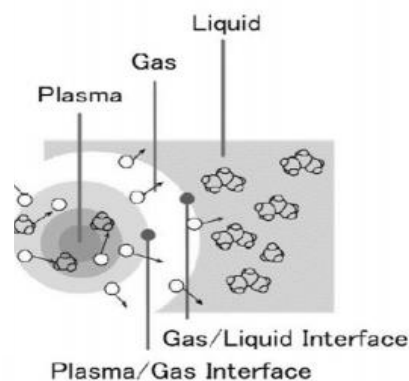
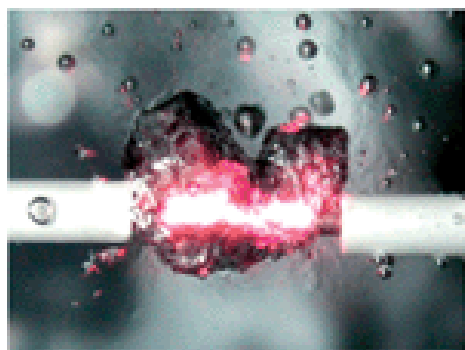
พลาสมาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ พลาสมาอุณหภูมิสูง และพลาสมาอุณหภูมิต่ำ พลาสมาอุณหภูมิสูง คือ พลาสมาที่เกิดจากการให้พลังงานสูงแก่แก๊ส เพื่อให้แก๊สเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งแก๊สในระบบของพลาสมาประเภทนี้จะเกิดการแตกตัวเกือบสมบูรณ์และระบบประจุสุทธิอยู่ในสภาวะสมดุล เช่น ปฏิกิริยานิวเคลียร์ ไอพ่นเครื่องยนต์ เป็นต้น ส่วนพลาสมาอุณหภูมิต่ำ คือ พลาสมาที่เกิดจากการให้พลังงานต่ำแก่แก๊สส่งผลให้เกิดการแตกตัวไม่สมบูรณ์ของไอออนในระบบอุณหภูมิต่ำ เช่น ระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่ความดันต่ำ การปล่อยประจุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เป็นต้น

2.3.2 พลาสมาวัฏภาคของเหลว (Liquid phase plasma) (Takai, 2008)

หลักการของพลาสมาวัฏภาคของเหลว

พลาสมาวัฏภาคของเหลว คือ กระบวนการผลิตพลาสมาที่ล้อมรอบด้วยวัฏภาคของเหลวโดยใช้ความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาได้เร็ว ข้อดีของพลาสมาวัฏภาคของเหลว คือ สามารถใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากสามารถเลือกชนิดของตัวทำละลาย และสารละลายที่ใช้ในการผลิตพลาสมาได้ ในปัจจุบันกระบวนการพลาสมาได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานด้านต่างๆ อาทิ การสังเคราะห์อนุภาคนาโน การดัดแปลงพื้นผิวของโลหะ และการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

รูปแบบการเกิดพลาสมาวัฏภาคของเหลวแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 โดยพลาสมาเกิดขึ้นที่ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ทั้งหมดซึ่งถูกล้อมรอบด้วยก๊าซและของเหลว ส่งผลให้เกิดผิวสัมผัสระหว่างสถานะ 2 บริเวณ คือ พลาสมาที่ก๊าซ และก๊าซกับของเหลว สถานะก๊าซเกิดขึ้นเมื่อของเหลวที่อยู่ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดถูกกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง เมื่อถึงจุดที่สารเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคหรือสถานะพลาสมาบริเวณที่เกิดพลาสมาจะสามารถนำไฟฟ้าได้ และทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นบริเวณรอบๆพลาสมา ในขณะที่พลาสมาถูกกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จะทำให้อนุมูลอิสระระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้น เกิดการเคลื่อนตัวไปอยู่บริเวณของเหลวที่มีอนุมูลอิสระน้อยกว่าโดยอาศัยหลักการถ่ายโอนมวล ดังนั้นสารที่อยู่ในวัฏภาคของเหลวจะแพร่เข้ามาแทนที่ และถูกกระตุ้นให้แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระต่อไปจากหลักการดังกล่าว ส่งผลให้อนุมูลอิสระภายในสารละลายเพิ่มขึ้นจึงเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นด้วย



รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายและแบบจำลองของกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว

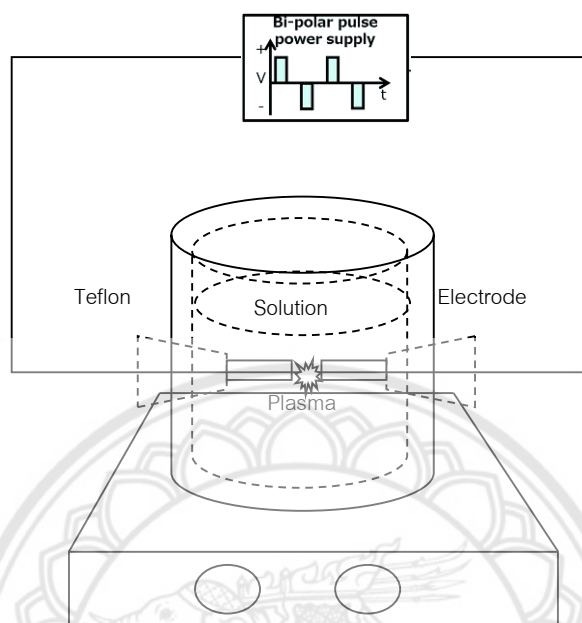
ที่มา : Preparation of low molecular weight chitosan using solution plasma system, Prasertsung et al.

เครื่องกำเนิดพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว (Prasertsung et al., 2012)

พลาสมาวิวัฒนาการของเหลว สามารถผลิตได้จากเครื่องกำเนิดพลาสมาดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยเครื่องกำเนิดพลาสมาจะประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ใช้แรงดันไฟฟ้า และความถี่ไฟฟ้าสูงระบบกระแสตรง ซึ่งแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าจะทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ให้กับระบบ โดยมีทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้าแบบสลับขั้วบวกและลบ (Bipolar pulse) เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยทั่วไปเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ ดังนั้นจะต้องใช้อุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ในแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังถึงปฏิกรณ์พลาสมา โดยทั่วไปแล้วนิยมทำจากวัสดุแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 ถึง 10 เซนติเมตร ซึ่งตำแหน่งด้านข้างของทั้ง 2 ด้านของถังปฏิกรณ์จะติดตั้งอิเล็กโทรดที่ทำจากวัสดุทังสเตน เหล็ก และทองแดง เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดประมาณ 0.2 มิลลิเมตร อิเล็กโทรดทั้งสองจะถูกหุ้มด้วยเซรามิก เพื่อป้องกันความร้อน และการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตพลาสมา ในการผลิตพลาสมาวิวัฒนาการของเหลวจะเชื่อมต่อเพาเวอร์ซัพพลายเข้ากับอิเล็กโทรดทั้งสองด้าน โดยใช้แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สูง โดยค่าแรงดันและความถี่ที่ใช้ในการผลิตพลาสมาขึ้นอยู่กับกรนำไฟฟ้า (Conductivity) ของสารละลายภายในเครื่องกำเนิดพลาสมา

พลาสมาสามารถสร้างหมว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายภายในเครื่องปฏิกรณ์ โดยหมว่องไวที่เกิดขึ้นเป็นสารตัวนำไฟฟ้าเมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากกระแสไฟฟ้าจะแตกตัวเป็นไอออนที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ไอออนต่างๆ เหล่านี้เรียกว่าหมว่องไว โดยหมว่องไวที่มักเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการพลาสมาวิวัฒนาการของเหลว เช่น Hydroxyl radical (OH^\bullet), Hydroperoxyl radical ($\text{H}_2\text{O}_2^\bullet$), Free electron (e^-),

Superoxide anion (O_2^-) เป็นต้น นอกจากนี้ชนิดของขั้วอิเล็กโทรดยังมีผลต่อความสามารถในการสร้างหมู่ว่องไว สีของแสงพลาสมาที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดซึ่งอยู่ภายในสารละลายแสดงถึงชนิดของหมู่ว่องไว



รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดพลาสมาวัฏภาคของเหลว

ที่มา : Preparation of low molecular weight chitosan using solution plasma system, Prasertsung et al.

2.3.3 การประยุกต์ใช้พลาสมาวัฏภาคของเหลว (Prasertsung et al., 2012)

ในปัจจุบันพลาสมาวัฏภาคของเหลวได้รับความนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย อาทิ การสังเคราะห์อนุภาคนาโน (Kang et al., 2013) การปรับปรุงพื้นผิวของวัตถุและการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้ทั้งในสภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง ซึ่งทำให้ต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสมาวัฏภาคแก๊ส

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว เป็นการสังเคราะห์ภายใต้สารละลาย Chloroauric acid ($HAuCl_4$) ซึ่งเป็นสารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ (Aqueous solution) ในระบบปิด ที่ติดตั้งระบบพลาสมาแรงดัน 2.5 กิโลเฮิร์ตซ์ และความกว้างพัลส์ 2 ไมโครวินาที จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคนาโนมีค่าสูงสุด 10.5 ± 3.6 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นของสารละลาย $HAuCl_4$ 0.60 มิลลิโมลาร์ ซึ่งทำการวิเคราะห์ด้วย Transmission Electron Microscopy (TEM) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Energy dispersive X-ray analysis (EXD) และ

Infrared Spectroscopy (IR) ซึ่งให้เห็นว่า อนุภาคนาโนมีองค์ประกอบของทอง และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยความเข้มข้นของพิกจะสูงขึ้นตามระยะเวลาในการดีสชาร์จ (Discharge time) นอกจากนี้ พลาสมาพลาสมาของเหลวยังสามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนที่เป็นทองให้มีรูปร่างแบบเรขาคณิตได้ อาทิ สามเหลี่ยม ห้าเหลี่ยม และหกเหลี่ยม โดยใช้สารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ ดังนั้นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยวิธีพลาสมาพลาสมาของเหลวจึงเป็นวิธีที่คาดว่าจะสามารถพัฒนาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนรูปแบบต่างๆ เพิ่มเติมอีก

การตัดแปรรูปผิวของโลหะด้วยกระบวนการพลาสมาพลาสมาของเหลว โดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วแอโนด และเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นขั้วแคโทด และคงค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายที่ใช้ระหว่าง 8 และ 12 จากการศึกษาพบว่า ลักษณะทางกระแสไฟฟ้า และแรงดัน (Current voltage) แสดงให้เห็นถึง 3 ส่วน ที่แตกต่างกัน คือ ส่วนที่ 1 ให้แรงดันต่ำ 0 และ 150 มิลลิแอมป์ต่อโวลต์ เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้ามากขึ้น พบว่า ความชันในส่วนที่ 2 เพิ่มขึ้นเป็น 7.5 มิลลิแอมป์ต่อโวลต์ และสังเกตเห็นฟองก๊าซเพิ่มมากขึ้น เมื่อให้แรงดันที่มากกว่า 175 โวลต์ ลักษณะพื้นผิวของขั้วแอโนดเริ่มถูกตัดแปรรูป ทั้งนี้ค่าแรงดันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ด้วย ส่วนที่ให้แรงดันสูงสุด 200 โวลต์ ความชันกราฟมีค่าต่ำลงเป็น 2.7 มิลลิแอมป์ต่อโวลต์ พื้นผิวของโลหะถูกพัฒนามากขึ้นด้วย และอัตราการเกิดปฏิกิริยาของฟิล์มอะลูมิเนียม 2 ชั้น พบว่า ฟิล์มชั้นนอกมีความแข็งแรงต่ำ และมีรูพรุนสูง ภายในมีความแข็งแรงและมีลักษณะของเนื้อโลหะที่หนาแน่น เนื่องจากชั้นฟิล์มส่วนนอกสัมผัสกับพลาสมาได้มากกว่าภายใน ทำให้พื้นผิวถูกตัดแปรรูปได้ดีกว่า

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการพลาสมาพลาสมาของเหลว (Takai, 2008) โดยใช้แรงดัน 800 โวลต์ และเวลาการเปิดปิดของพัลส์ 40 วินาที พบว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสีย คือ สารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และโซเดียมอะซิเตต (CH_3COONa) เมื่อทำการทดลองกับน้ำที่มีเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* uc 4100 (แบคทีเรียแกรมลบ) และ *Staphylococcus aureus* (แบคทีเรียแกรมบวก) พบว่า การบำบัดด้วยพลาสมาที่เวลาสูงสุด 30 วินาที จะทำให้แบคทีเรียที่อยู่ในสารละลายตายทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าพลาสมาสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้

การเตรียมไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Chito-oligo saccharide) จากกระบวนการพลาสมา (Tantiplapol et al., 2015) ไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำจะสามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพในการสร้างผลิตภัณฑ์เชิงการค้า เช่น เกสซ์กรรม เครื่องสำอาง และทางการแพทย์ โดยจากการศึกษาพบว่าหลังทรีทสารละลายไคโตซานด้วยพลาสมา เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างความเป็นผลึกของไคโตซานพบว่าโครงสร้างความเป็นผลึกของไคโตซานถูกทำลายหลังจากทรีทด้วยพลาสมา แต่คุณสมบัติทางเคมีไม่มีการเปลี่ยนแปลง และยังทำให้ความหนืดลดลงส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง

2.4 การวัดความหนืด

ค่าความหนืดถูกกำหนดโดยการวัดเวลาของการไหลของตัวอย่างระหว่างจุดสองจุด ที่ทำเครื่องหมายไว้บนออสท์วาลด์วิสโคมิเตอร์ (Ostwald viscometer) ดังรูปที่ 2.4 ที่จัดอยู่ในแนวตั้งที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้ลูกยางดูดตัวอย่างทางปลายกระเปาะ E หรือทำการบีบที่ปลายด้าน C ได้เช่นกันให้ของเหลวขึ้นอยู่เหนือจุด A จากนั้นจับเวลาที่ของเหลวไหลจากจุด A ถึงจุด B (Sani et al., 2018; ชีระพล วงศ์ชนะพิบูลย์, 2556)



รูปที่ 2.4 ออสท์วาลด์วิสโคมิเตอร์ (Ostwald viscometer)

ที่มา : การวัดความหนืดของสารละลายเจือจาง, ชีระพล วงศ์ชนะพิบูลย์.

คำนวณความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) โดยการคูณเวลาของการไหลด้วยค่าคงที่ของออสท์วาลด์วิสโคมิเตอร์ดังสมการที่ 2.1 ("Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids," 1996)

$$\nu = K \cdot \Delta t \quad (2.1)$$

เมื่อ ν = ค่าความหนืดจลน์, mm^2/s

K = ค่าคงที่ของออสท์วาลด์วิสโคมิเตอร์, mm^2/s^2

Δt = เวลาการไหล, s

คำนวณสัมประสิทธิ์ความหนืด (Dynamic viscosity) จากความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) ที่คำนวณได้ และความหนาแน่น (Density) ดังสมการที่ 2.2 ("Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids," 1996)

$$\eta = \nu \times \rho \times 10^{-3} \quad (2.2)$$

เมื่อ η = สัมประสิทธิ์ความหนืด, mPa.s

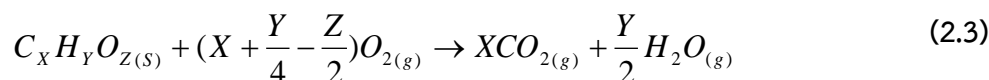
ρ = ความหนาแน่น, kg/m³

ν = ค่าความหนืดจลน์, mm²/s

ในการวัดความหนืดย่อมมีปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความแม่นยำ คือ การควบคุมอุณหภูมิตัวอย่าง การสอบเทียบบออสท์วาล์วส์โคมิเตอร์อย่างถูกต้อง ความแม่นยำของเวลาเวลาการไหลขั้นต่ำ เทคนิคและการฝึกของผู้ใช้งาน และการเตรียมตัวอย่าง

2.5 การวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

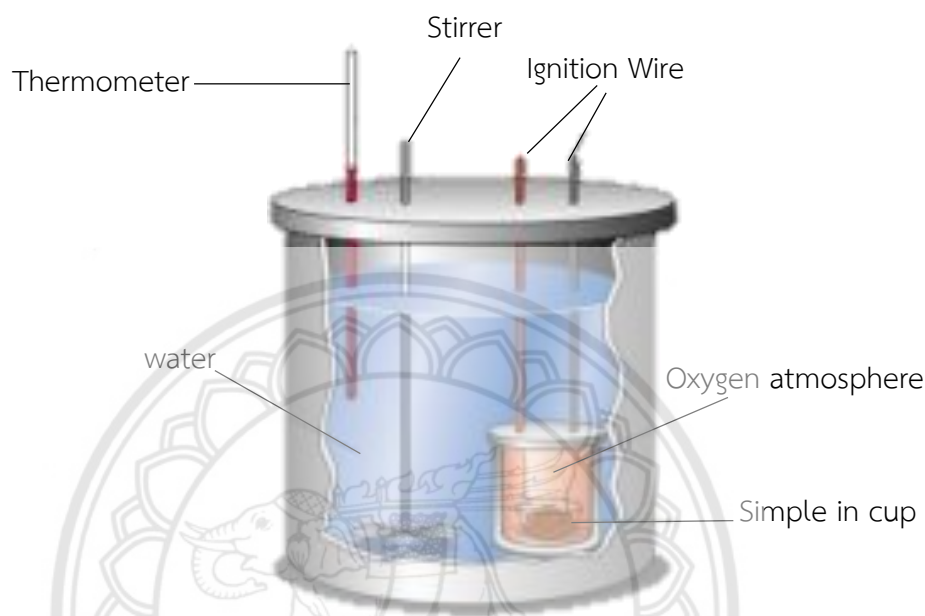
เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการแคลอรีเมตรี ซึ่งเป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ในการวัดค่าความร้อนที่ถูกปลดปล่อยหรือดูดซับ ในปี ค.ศ. 1881 มีนักวิทยาศาสตร์ ชาวฝรั่งเศส ชื่อ Berthelot เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่สนใจศึกษาในเรื่องของเคมีและเทอร์โมเคมี ได้ออกแบบภาชนะที่เรียกว่า บอมบ์ (Bomb) ขึ้นมา จากพื้นฐานที่ว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะทำปฏิกิริยาได้ง่ายกับออกซิเจนได้เป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 2.3 (PARR Instrument Company, 2018)



หลักการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ค่าความร้อนจากการเผาไหม้สามารถวัดได้จากการนำสารที่ทราบปริมาณแน่นอนมาเผาไหม้ในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ และอ่านค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง โดยภายในลูกบอมบ์จะถูกอัดด้วยแก๊สออกซิเจนภายใต้แรงดันสูง เพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และจะถูกปิดสนิทเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลผลิตของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้รั่วไหลออกสู่ภายนอก เชื้อเพลิง (สารตัวอย่าง + ออกซิเจน) จะถูกทำให้เกิดการเผาไหม้

โดยกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดจุดระเบิดภายในบอมบ์ และชุดอุปกรณ์ทดสอบจะมีส่วนที่เป็นฉนวน เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อม ภายในลูกบอมบ์จะมีเชื้อเพลิงอยู่ ซึ่งเชื้อเพลิงจะประกอบด้วย สารตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความร้อนรวมกับออกซิเจน (PARR Instrument Company, 2018)



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ที่มา : <https://mechanicalsilpakorn.com/images/download/MELab/Bomb-Calorimeter.pdf> ,
PARR Instrument Company

2.6 เลขซีเทน (Cetane number)

เลขซีเทน คือ การวัดคุณภาพการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลมีเลขซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากความยาวของสายคาร์บอนในกรดไขมัน และมีความอิมตัวของโมเลกุล (Sani et al., 2018) และยังบ่งบอกความล่าช้าในการจุดระเบิดของน้ำมัน เลขซีเทนที่สูงจะทำให้ระยะเวลาในการจุดระเบิดสั้นลง (Keera et al., 2018; Zaharin et al., 2017) อย่างไรก็ตามเลขซีเทน (Cetane number) ที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดความร้อนมากเกินไปส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อหัวฉีดของเครื่องยนต์ (Zaharin et al., 2017)

2.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรมิเตอร์

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรมิเตอร์ถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงมากในการวิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ประเภทต่างๆ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณที่ต้องการความแม่นยำสูง สามารถเปรียบเทียบผลวิเคราะห์กับฐานข้อมูล (Library) เพื่อความถูกต้องได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารมาตรฐาน ซึ่งถือเป็นข้อดีของเทคนิคของเครื่องมือทั้ง 2 ประเภท คือ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) และเครื่องแมสสเปคโตรมิเตอร์ (Mass Spectrometer)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2014 Tao และคณะ (Tao et al., 2014) ได้ทำการศึกษาการกระเจิงนิวตรอนของการลดความหนืดของน้ำมันดิบด้วยสนามไฟฟ้า โดยตัวอย่างน้ำมันดิบอยู่ในตัวเก็บประจุพิเศษซึ่งประกอบด้วยแคดเมียมสองชั้นเป็นอิเล็กโทรดและกระจกควอตซ์ 2 ชั้น เพื่อให้รังสีนิวตรอนผ่านควอตซ์ และตัวอย่างน้ำมันดิบมาที่ตัวตรวจจับ ในกระบวนการสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับลำรังสีนิวตรอน เมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะทำให้ไซท์ที่รวมกันจะยาวขึ้นและหนาขึ้น โดยสายไซท์จะขนานกับสนามไฟฟ้า เมื่อสนามไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้นสายไซท์ก็จะมีคามยาวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ลดความหนืดภายในอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามหลังจากที่สนามไฟฟ้าถึง 1,100 โวลต์ต่อมิลลิเมตร การเพิ่มขึ้นอีกของสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่ทำให้สายไซท์หนาขึ้นนำไปสู่ความหนืดภายในสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีค่าสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการลดความหนืดของน้ำมันดิบ แต่ถ้าสนามไฟฟ้ามากเกินไปจะทำให้ความหนืดของน้ำมันดิบมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 2015 Hosseinzadeh และคณะ (Hosseinzadeh et al., 2015) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันชีวภาพที่เตรียมได้จาก lignin ในเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาที่ปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำ 4-methyl anisole ป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาแก้วควอตซ์ด้วยอัตราไหลคงที่ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้อาร์กอนและไฮโดรเจนเป็นแก๊สพา แล้ววิเคราะห์ผลิตภัณฑ์โดยโครมาโตแกรม ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาตัวแปร 3 อย่างคือ สัดส่วนของแก๊สพา แรงดันไฟฟ้า และความถี่ไฟฟ้า จะมี 4-Methylphenol 2,4-Dimethyl phenol และ p-Xylene เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้น แต่ก็มีผลิตภัณฑ์อื่นๆที่เกิดขึ้นอีก คือ 1-Ethoxy-4-methylbenzene Phenol 3-Ethyl5-methylphenol และ 2-Methylphenol เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งผลกระทบจากสัดส่วนแก๊สพานั้นส่งผลให้เกิดผลผลิตที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละผลิตภัณฑ์จะมีแนวโน้มเชิงลบและบวกต่างกันไป แต่ในมุมมองทางเศรษฐศาสตร์แนะนำให้ใช้อาร์กอนเพราะจะถูกกระตุ้นได้ง่ายกว่าและไม่เกิดแก๊สมีเทนที่ส่งผลเสียต่อกระบวนการครั้งนี้ ในส่วนของผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้า โดยในการศึกษานี้ใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 6-9

กิโลวัตต์ พบว่าต้องใช้กำลังในการปลดปล่อยจาก 12 เป็น 77 วัตต์ จะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ 4-Methylanisole จากร้อยละ 11.8 เป็นร้อยละ 29.8 การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองในเขตปลดปล่อย ดังนั้นทั้งจำนวนและพลังงานเฉลี่ยของอิเล็กตรอนและอนุภาคมูลฐานที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการชนที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ทำให้พันธะเคมีเกิดการสลายตัวมากขึ้นซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนแปลงของ 4-Methylanisole และสุดท้ายผลกระทบจากความถี่ไฟฟ้า ความถี่ไฟฟ้าอาจมีผลต่อปริมาณของอนุภาคมูลฐาน อะตอมไอออน และปริมาตรพลาสมา การปลดปล่อยพลังงานที่มากขึ้นเกิดขึ้นจากการเพิ่มความถี่ซึ่งส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนและพลังงานของอิเล็กตรอนอนุภาคมูลฐาน และอะตอมไอออน ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ มีการเปลี่ยนแปลงของ 4-Methylanisole ร้อยละ 15.3 ส่วนที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ มีการเปลี่ยนแปลงของ 4-Methylanisole ร้อยละ 29.8 และใช้กำลังในการปลดปล่อย 54.2 และ 77 วัตต์ ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 2015 Taghvaei และคณะ (Taghvaei et al., 2015) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพ 4-Methyl anisole ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเร่งปฏิกิริยาด้วยการปล่อยประจุไฟฟ้า เป็นวิธีในการกำจัดออกซิเจนออกจากน้ำมันชีวภาพ ได้นำ 4-Methylanisole ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ท่อแก้วแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาทางด้านบนอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหลคงที่ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้อาร์กอนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 เป็นแก๊สพาด้วยอัตราการไหลคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที แล้ววิเคราะห์ผลิตภัณฑ์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน โดยศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้ Pt-Cl Ni-Mo(1) Ni-Mo(2) Co-Mo Pt-Re Ni และ Al_2O_3 เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าสูงอาร์กอนจะเข้าสู่สถานะพลาสมา และสร้างอิเล็กตรอน เมื่อนำ 4-Methylanisole เข้าโซนตัวเร่งปฏิกิริยาพลาสมา อิเล็กตรอนที่มีพลังงานจะชนกับโมเลกุลของ 4-Methylanisole การชนเหล่านี้ทำให้พันธะที่อ่อนแอ ($C_{aromatic}-O$ และ $C_{methyl}-H$) ของโมเลกุลแตกออก ซึ่งก่อให้เกิดอนุภาคมูลฐานและอะตอมกับโมเลกุลที่สถานะกระตุ้น เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของ 4-methylanisole เพิ่มขึ้นเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับพลาสมาเพียงอย่างเดียว โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของ 4-Methyl anisole ลดลงตามลำดับต่อไปนี้ Pt-Cl > Ni-Mo(1) > Ni-Mo(2) > Co-Mo > Pt-Re > Ni > Al_2O_3 การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยายังช่วยลดกำลังการปลดปล่อย ซึ่งพลาสมาที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยามีค่ากำลังการปลดปล่อยสูงสุดที่ 47 วัตต์ ซึ่งหมายความว่าพลังงานที่ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์จะเพิ่มขึ้นหากไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยามีค่ากำลังการปลดปล่อยสูงสุดและต่ำสุดคือ 44 และ 38 วัตต์ ซึ่งเป็นของ Ni และ Ni-Mo(2) ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 2016 Lu และคณะ (Lu et al., 2017) ได้ศึกษาการปรับปรุงน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการย่อยสลายทางความร้อนอย่างรวดเร็วโดยใช้วิธีการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยปฏิกิริยา Esterification และ

Alkylation พร้อมกัน ในการทดลองจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและ 2-Methylfuran โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของน้ำมันชีวภาพต่อ n-Butanol ในช่วง 0.5-2 โดยรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งการทดลองจะทำใน Three-neck flask โดยใช้เวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปกรองแบบสุญญากาศเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากน้ำมันชีวภาพ แล้วนำไปวิเคราะห์น้ำมันชีวภาพ ผลจากการศึกษาการปรับปรุงน้ำมันชีวภาพโดยใช้วิธีการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยปฏิกิริยา Esterification และ Alkylation พร้อมกัน พบว่า ปริมาณน้ำในน้ำมันชีวภาพลดลงจากร้อยละ 27.82 เป็นร้อยละ 3.21 ปริมาณกรดลดลงจาก 41.12 $\text{mg}_{\text{NaOH}}/\text{g}$ เป็น 6.17 $\text{mg}_{\text{NaOH}}/\text{g}$ ความหนืดลดลงจาก 18.49 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที เป็น 5.64 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ปริมาณออกซิเจนลดลงจากร้อยละ 51.98 เป็นร้อยละ 26.26 ปริมาณไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8.65 เป็นร้อยละ 9.75 และค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 14.46 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เป็น 30.85 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ในปี ค.ศ. 2016 Xinghua Zhang และคณะ (X. Zhang et al., 2016) ได้ศึกษาการปรับปรุงน้ำมันชีวภาพด้วยกระบวนการทางความร้อนซึ่งเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ โดยในการทดลองจะปรับปรุงน้ำมันชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงขนาด 250 มิลลิลิตร ใช้ น้ำมันชีวภาพ 15 กรัมผสมกับเอทานอล 35 กรัม และตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/MgO 1 กรัมใส่ไปในเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูง เอสเทอร์คีโตน และสารประกอบอะโรมาติกที่ได้จากอะลูมิเนียมถูกพบว่าเป็นส่วนประกอบหลักในส่วนที่ระเหยของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้รับการปรับปรุงแล้วภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมค่า pH และ HHV (ค่าความร้อนสูง) ของน้ำมันไบโอดีเซลเกรด 5.01 และ 24.9 เมกะจูลต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากนั้นจะใช้แก๊สไฮโดรเจนอัดความดันเพื่อแทนที่อากาศจนมีความดันสูงถึง 1.5 เมกะพาสคาล ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาจะมีการกวนตลอดเวลา โดยใช้เวลาทำปฏิกิริยาทั้งหมด 6 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของเหลวและของแข็งซึ่งจะถูกแยกด้วยการกรอง และตรวจวัดผลต่อไป จากการศึกษาการปรับปรุงน้ำมันชีวภาพพบว่า น้ำมันชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงมีค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 2.38 เป็น 4 ถึง 5 ปริมาณน้ำลดลงจากเดิมร้อยละ 51.4 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 14 ถึง 16 โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากเดิม 13.1 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เป็น 23 ถึง 25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ในปี ค.ศ. 2016 Remón และคณะ (Remón et al., 2016) ได้ศึกษาการปรับปรุงน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายทางความร้อนอย่างรวดเร็วโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni-Co ร่วมกับเส้นใยนาโนคาร์บอน (CNFs) ในสภาวะ Supercritical Water โดยการทดลองนี้จะเตรียม CNFs โดยนำ CNFs ไปออกซิไดซ์ในสารละลายกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก และล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งได้ค่า $\text{pH} > 6$ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 900 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปผสมกับสารละลายที่มี Ni-Co เป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างที่เตรียมได้คือเส้นใยคาร์บอน นาโนที่ถูกปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวที่

อุณหภูมิต่างกันคือ 600 และ 900 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทดสอบกับน้ำมันชีวภาพ จากศึกษาการพบว่า เส้นใยนาโนคาร์บอนที่เตรียมได้ที่ 600 องศาเซลเซียส ที่ส่งผลทำให้ไขมันชีวภาพมีค่าความร้อน และ ปริมาณไฮโดรเจนสูงกว่าเส้นใยคาร์บอนนาโนที่เตรียมได้ที่ 900 องศาเซลเซียส โดยค่าความร้อนที่ตรวจวัด ได้คือ 30.7 และ 22.8 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีค่าปริมาณไฮโดรเจนร้อยละ 7.1 และ 5.4 โดยน้ำหนักตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเส้นใยคาร์บอนนาโนที่เตรียมได้ที่ 600 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้ น้ำมันชีวภาพมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าเส้นใยคาร์บอนนาโนที่เตรียมได้ที่ 900 องศาเซลเซียส

ในปี ค.ศ. 2017 Mosallanejad และคณะ (Mosallanejad et al., 2017) ได้ใช้พลาสมาปรับปรุง คุณภาพของ 4-Methyl anisole ซึ่งเป็นแนวทางใน Hydrodeoxygenation ของน้ำมันชีวภาพโดยไม่ใช้ แหล่งไฮโดรเจน โดยนำ 4-Methyl anisole ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา โครเมียมแบบปิดกมุด และใช้อาร์กอนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 เป็นแก๊สพา วิเคราะห์ผลโดยเทคนิค แก๊สโครมาโตกราฟี ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาทั้งหมด 5 ตัวแปรคือ ความถี่ไฟฟ้า ระยะห่างของช่องว่าง จำนวนหมุด อัตราการไหลของแก๊สพา และเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นอิเล็กโทรด กลไกการเกิดปฏิกิริยา ในเครื่องปฏิกรณ์แบบโคโรนามีความซับซ้อนมาก 4-Methylphenol เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต้นที่สร้างขึ้นโดย การไฮโดรไลซิสของ 4-Methylanisole แล้ว 4-Methylphenol ถูกเปลี่ยนเป็น Phenol Toluene และ Dimethylphenol ผ่านการแยกตัวของอิเล็กตรอน และอนุมูลอิสระในเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาแบบ โคโรนาเกิดปฏิกิริยาสามอย่างคือ Demethylation Hydrogenolysis และ Transalkylation (Methyltransfer) เมื่อปรับค่าความถี่ไฟฟ้าในระหว่าง 5-20 กิโลเฮิร์ตซ์ พบว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นอัตราการ เปลี่ยนแปลงและกำลังการปลดปล่อยก็เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนผลกระทบจากระยะห่างของช่องว่าง (1-15 มิลลิเมตร) จะเห็นได้ว่าที่ 5 มิลลิเมตร มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่ร้อยละ 46 โดยทั่วไปแล้ว การเพิ่มระยะห่างของช่องว่างจะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงลดลง แต่ที่ 1 มิลลิเมตร มีอัตราการ เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าที่ 5 มิลลิเมตร เป็นผลจากการมีพื้นที่น้อยเกินไป สำหรับการผสมกันที่ดีระหว่างสาร ตัวอย่างกับแก๊สพา นอกจากนี้ยังได้ศึกษาในเรื่องจำนวนของหมุด พบว่าการเพิ่มจำนวนหมุดอิเล็กโทรดนั้น เป็นการเพิ่มช่องทางการจ่ายกระแส ทำให้การชนของโมเลกุลมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้การเพิ่ม จำนวนพินยังนำไปสู่การผลิต BTX และ Phenol มากขึ้นด้วย ในส่วนผลกระทบจากการเพิ่มอัตราการไหล ของแก๊สพา (100-900 มิลลิลิตรต่อนาที) ส่งผลให้การปลดปล่อยพลังงาน และการผลิตอิเล็กตรอนมากขึ้น จึงทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นด้วย และสุดท้ายผลกระทบจากการเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่น อิเล็กโทรดทำให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงและกำลังการปลดปล่อยก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ในการศึกษาครั้งนี้ ได้รับอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 79 โดยใช้ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ขั้วไฟฟ้า 6 ขา ระยะห่าง ระหว่างช่องว่าง 10 มิลลิเมตร อัตราการไหลของอาร์กอน 500 มิลลิลิตรต่อนาที และเส้นผ่านศูนย์กลาง ของอิเล็กโทรด 35 มิลลิเมตร

ในปี ค.ศ. 2018 Du และคณะ (Du et al., 2018) ได้ทำการศึกษาการลดความหนืดของไบโอดีเซล เพื่อความมั่นคงด้านพลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยนำน้ำมันไบโอดีเซลผ่านสนามไฟฟ้าที่มี ตาข่ายโลหะเป็นขั้วไฟฟ้า ใช้ความแรงของสนามไฟฟ้าและระยะเวลาที่แตกต่างกันในการบำบัดน้ำมันไบโอดีเซล ค่าที่ดีที่สุดจากการศึกษา คือ สนามไฟฟ้า 1,667 โวลต์ต่อมิลลิเมตร ในเวลา 10.86 วินาที ซึ่งวิเคราะห์จาก การเปรียบเทียบอัตราการไหลของตัวอย่างระหว่างตัวอย่างที่ไม่ผ่านการบำบัด และตัวอย่างที่ได้รับการ บำบัดโดยสนามไฟฟ้าตามเวลา ภายในไม่กี่วินาทีที่เราจะได้รับความหนืดที่ดีที่สุดสำหรับน้ำมันไบโอดีเซล จากค่าความหนืด 3.65 เซนติพอยซ์ อัตราการไหล 0.0014 กรัมต่อวินาที เมื่อผ่านสนามไฟฟ้าของ 1,667 โวลต์ต่อมิลลิเมตร ทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 0.00177 กรัมต่อวินาที แสดงให้เห็นว่ามีความหนืด ลดลงเป็น 2.91 เซนติพอยซ์ ซึ่งเป็นผลมาจากการตัดสายโซ่ด้วยการสั่นสะเทือนทางความร้อน

ในปี ค.ศ. 2018 Shuping Zhang และคณะ (S. Zhang et al., 2018) ได้ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาไฟโรไล ซิสของตัวอย่างแกลบหลังจากการรวมของ Washing-torrefaction และการปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา Zeolite ZSM-5 ที่ปรับปรุงด้วย Fe สำหรับการปรับปรุงน้ำมันไบโอดีเซล การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึง ผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยา Zeolite ZSM-5 ที่ปรับปรุงด้วย Fe ที่แตกต่างกัน เงื่อนไขการปรับสภาพที่ แตกต่างกัน และตัวเร่งปฏิกิริยาไฟโรไลซิสเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเติม Fe เข้าไปจะทำให้ผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปรับตัวลดลง ในขณะที่สัดส่วนของ ไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นตัวเร่งปฏิกิริยา Zeolite ZSM-5 ที่ปรับปรุงด้วย Fe ที่ดีที่สุดจะเป็นร้อยละ 4 Fe / ZSM-5 เนื่องจากการใส่ Fe ที่มากเกินไปอาจส่งผลต่อผลผลิตของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้รับการปรับปรุง นอกจากนี้ ยังพบว่าในระหว่างกระบวนการไฟโรไลซิสด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยร้อยละ 4 Fe / ZSM-5 การปรับสภาพมี ผลต่อการส่งเสริมการผลิตไฮโดรคาร์บอนและเพิ่มความสามารถในการเลือกใช้ BTX (เบนซิน โทลูอิน และ ไซลีน) ในสภาวะ Torrefaction ปรับปรุงน้ำมันไบโอดีเซล

ในปี ค.ศ. 2018 Shakya และคณะ (Shakya et al., 2018) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการกลายเป็นไฮโดรเจลเหลว (HTL) ของสาหร่ายที่เป็นสิ่งจำเป็นในการใช้เป็น เชื้อเพลิง ซึ่งในการศึกษาน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จาก HTL ของ *Nannochloropsis sp.* ที่ได้รับการอัพเกรด โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน 5 ชนิดคือ Ni/C, ZSM-5, Ni/ZSM-5, Ru/C และ Pt/C ซึ่งผลของ ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน 5 ชนิดคือร้อยละ 10 Ni/C ZSM-5 ร้อยละ 10 Ni /ZSM5 ร้อยละ 5 Ru/C และ ร้อยละ 5 Pt/C ในการปรับปรุงน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากสาหร่ายที่กลายเป็นไฮโดรเจลเหลวของ *Nannochloropsis sp.* จะศึกษาที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าผลผลิต น้ำมันไบโอดีเซลที่ปรับปรุงแล้วสูงกว่าที่ 300 องศาเซลเซียสในขณะที่ได้รับเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีกว่าที่ อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni / C ให้ผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ปรับได้สูงสุด (ร้อยละ 61

น้ำหนัก) ที่ 350 องศาเซลเซียส ปริมาณไนโตรเจนลดลงร้อยละ 65 ถึงร้อยละ 75 ลด TAN ร้อยละ 95 ถึง ร้อยละ 98 เมื่อใช้ไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียวทำให้ปริมาณไนโตรเจนลดลงร้อยละ 50 และร้อยละ 75 ตามลำดับที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะให้น้ำมันไบโอดีเซลที่ดีขึ้นในแง่ของความเป็นกรด ค่าความร้อนและค่าไนโตรเจน ค่าความร้อนที่สูงขึ้นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ปรับปรุงแล้วมีค่าตั้งแต่ 40 ถึง 44 MJ / kg และปริมาณไนโตรเจนลดลงจาก 5.37 เป็นร้อยละ 1.29 โดยน้ำหนัก

ในปี ค.ศ. 2018 Taghvaei และ Rahimpour (Taghvaei & Rahimpour, 2018) ได้ประยุกต์ใช้พลาสมาในการปรับปรุง Guaiacol ที่เป็นรูปแบบสารประกอบของ Lignin pyrolytic-oil โดยอาศัยการผลิตไฮโดรเจนและปฏิกิริยา Hydrodeoxygenation โดยใช้ Guaiacol ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ลำเลียงเข้าเครื่องปฏิกรณ์ท่อแก้วแบบ Dielectric barrier discharge ด้วยอัตราไหลคงที่ และใช้อาร์กอนเป็นแก๊สพา แล้ววิเคราะห์ผลิตภัณฑ์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า (6 ถึง 12 กิโลโวลต์) อัตราการไหลของแก๊สพา (25 ถึง 350 มิลลิลิตรต่อนาที) และความยาวขั้วไฟฟ้า (5 ถึง 20 เซนติเมตร) ขณะที่ Guaiacol อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์อาจเกิดการกระจายตัว การระเหย หรือการสลายตัว โดยการสลายตัวจะต้องมีการถ่ายโอนพลังงานมากกว่าพลังงานที่แยกพันธะเคมีของ Guaiacol ออกจากกัน จะนำไปสู่การก่อตัวของอะตอมไอออนและอนุมูลอิสระ การรวมตัวกันของอนุมูลอิสระเหล่านี้นำไปสู่การเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวหลายประเภท ได้แก่ Phenol Methylphenol (2-Methylphenol และ 4-Methylphenol) Dimethylphenol (3,4 Dimethylphenol) และ BTX (เบนซีน โทลูอิน และไซลีน) เป็นผลิตภัณฑ์หลัก โดยผลของการศึกษาพบว่า แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะส่งผลในการเพิ่มขึ้นของพลังงาน และความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจึงเกิดการสลายตัวของพันธะของ Guaiacol ทำให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราไหลของอาร์กอนที่เพิ่มขึ้นทำให้การเปลี่ยนแปลงของ Guaiacol สูงขึ้นด้วย เนื่องจากอาร์กอนมีพลังงานไอออนไนซ์ต่ำทำให้เข้าสู่สถานะถูกกระตุ้นได้ง่าย จึงเกิดการชนระหว่างโมเลกุลของอาร์กอนกับโมเลกุลของ Guaiacol มากขึ้น แต่ถ้าหากมากเกินไปความเหมาะสมจะทำให้เวลาในการเปลี่ยนสถานะไม่เพียงพอเป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงของ Guaiacol ลดลง และสุดท้ายผลของความยาวขั้วไฟฟ้า โดยความยาวของขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ส่งผลให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าลดลง การลดลงของสนามไฟฟ้ามีผลเสียต่อจำนวนและพลังงานของอิเล็กตรอนจึงเป็นผลกระทบเชิงลบของการเปลี่ยนแปลงของ Guaiacol อย่างไรก็ตามสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ในการศึกษาครั้งนี้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงที่ได้สูงสุดคือ 81 เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้า 12 กิโลโวลต์ ความยาวของขั้วไฟฟ้าภายนอก 20 เซนติเมตร และอัตราการไหลของอาร์กอน 250 มิลลิลิตรต่อนาที

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

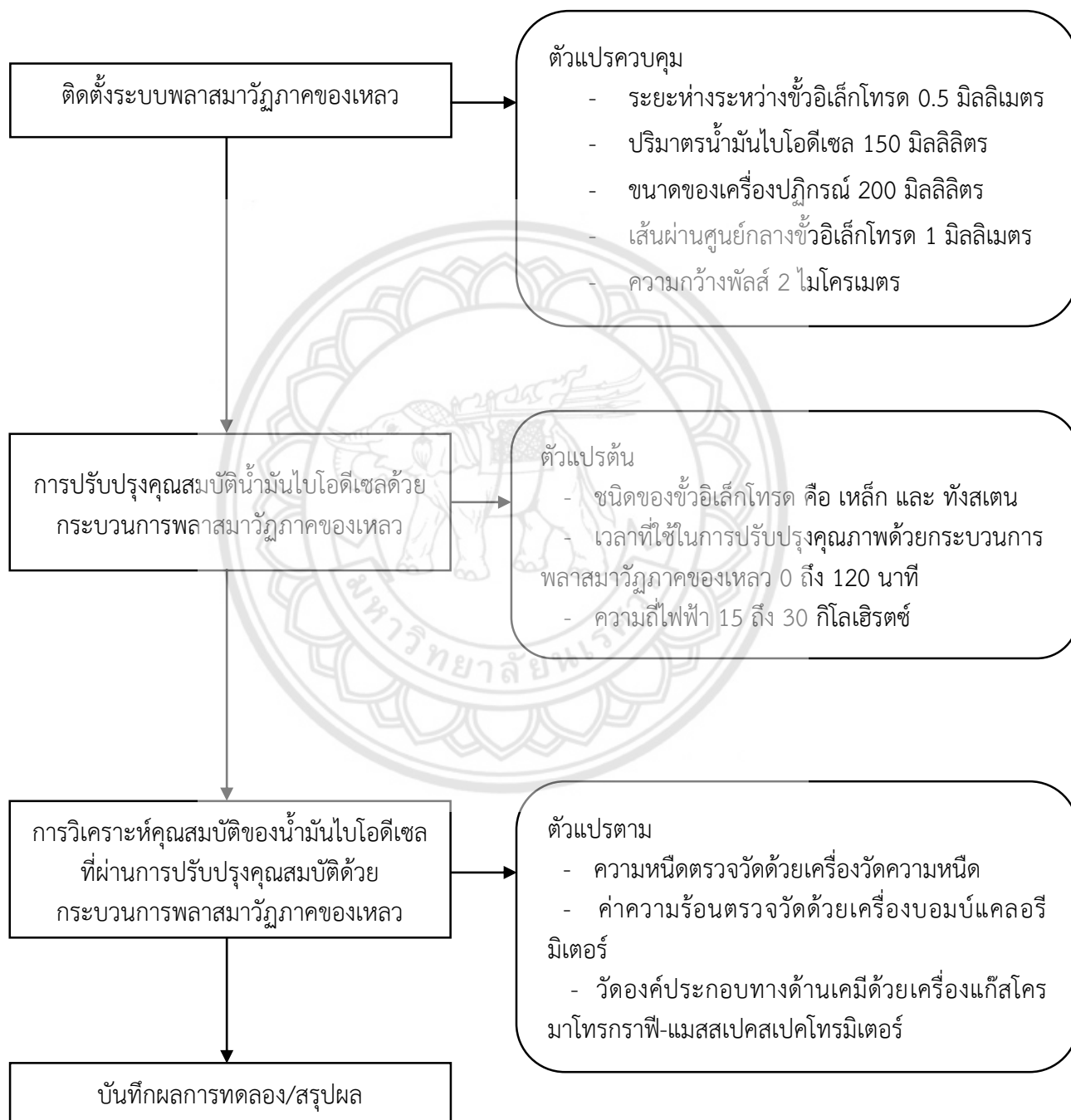
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 3.1.1 น้ำมันไบโอดีเซล
- 3.1.2 เครื่องกำเนิดพลาสมาวิทยุภาคของเหลว (PEKURIS, Japan)
- 3.1.3 เครื่องปั่นกวน (Magnetic stirrer) (BEC THAI, Thailand)
- 3.1.4 เครื่องปฏิกรณ์ขนาด 200 มิลลิลิตร
- 3.1.5 ซีวีเล็กโทรด 2 ชนิด คือ เหล็ก และสังกะสี
- 3.1.6 เครื่องชั่งสาร
- 3.1.7 เครื่องวัดความหนืด ($K=0.3112 \text{ mm}^2/\text{s}^2$)
- 3.1.8 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรมิเตอร์
- 3.1.9 เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์



3.2 วิธีการทดลอง

ในการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงแผนภาพดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3 ขั้นตอนการทำงานวิจัย

ในการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว แสดงแผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 การติดตั้งระบบพลาสมาวิภาคของเหลว

กระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวเกิดขึ้นในระบบเปิดภายในเครื่องปฏิกรณ์แก้วซึ่งมีขั้วอิเล็กโทรดถูกติดตั้งอยู่ทั้งสองข้างของเครื่องปฏิกรณ์ โดยพลาสมาจะเกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสอง เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรด 2 ชนิด คือ เหล็ก และ ทังสเตน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรขั้วอิเล็กโทรดจะเชื่อมต่อกับเครื่องจ่ายไฟ ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์ โดยเครื่องปฏิกรณ์แก้วตั้งอยู่บนเครื่องปั่นกววน

3.3.2 การปรับปรุงน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว

น้ำมันไบโอดีเซลจะถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.6 กิโลโวลต์ ความกว้างของพัลส์ 3 ไมโครวินาที โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ชนิดของอิเล็กโทรด เหล็ก และ ทังสเตน เวลาที่ใช้ในการทรีทพลาสมา 0 ถึง 120 นาที และความถี่ของเครื่องกำเนิดพลาสมา 15 ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์

3.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว

การวัดความหนืด

การวัดความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งที่ผ่าน และไม่ได้ผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว สามารถตรวจสอบด้วยเครื่องวัดความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

การตรวจวัดค่าความร้อน

ทำการตรวจวัดค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ โดยนำน้ำมันไบโอดีเซล ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวในสภาวะต่างๆ มาใส่ในถ้วย และมีการติดตั้งลวดนำไฟฟ้าไว้ด้านบนของถ้วย เพื่อใช้เป็นตัวจุดระเบิดในการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลโดยถ้วยจะถูกนำไปใส่ไว้ในกระบอกอัดความดัน โดยจะทำการใส่ออกซิเจนลงไปในกระบอกที่ความดัน 450 psi และจะนำไปจุดระเบิดเพื่อหาค่าพลังงานโดยใส่ลงไปเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ โดยกระบวนการนี้จะใช้น้ำเป็นตัวรับ

พลังงานจากการเผาไหม้จากนั้นเครื่องจะทำการวิเคราะห์พลังงานจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ และแสดงค่าพลังงานออกมาโดยอัตโนมัติ

การตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรมิเตอร์

ในการตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรมิเตอร์ ในการวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิฤภาคของเหลว โดยใช้เวลาทั้งหมด 58 นาที อัตราการไหลเริ่มต้น 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ทำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 2 นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่อถึงอุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส พักไว้ 45 นาที โดยใช้ฮีเลียมเป็นแก๊สพาด้วยอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที



บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว โดยมีเงื่อนไขที่ศึกษา คือ เวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว 0 ถึง 120 นาที ชนิดขั้วอิเล็กโทรดเหล็กและทังสเตน และความถี่ 15 ถึง 30 กิโลเฮิร์ตซ์ เมื่อพลาสมาเกิดขึ้นในสารละลายพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งจ่ายพัลส์ (Pulse power supply) จะกระตุ้นให้เกิดพลาสมาโดยการปลดปล่อยอิเล็กตรอน และสร้างอนุมูลอิสระจำนวนมากในสารละลาย อนุมูลอิสระเหล่านั้นจะสามารถเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลหรือโครงสร้างที่ไม่เสถียร (Meeprasertsagool et al., 2017) ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นน้ำมันดำที่มีผงคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่จึงจำเป็นต้องทำการแยกโดยใช้ชุดกรองสุญญากาศ โดยกระดาษกรองที่ใช้ในครั้งนี้อาจกรองอนุภาคได้ถึงขนาด 0.45 ไมครอน ดังรูปที่ 4.1 โดยในการศึกษาครั้งนี้จะมุ่งเน้นเพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลหลังจากผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว ในส่วนของแข็งหรือผงคาร์บอนและก๊าซที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เกิดขึ้นในกระบวนการนั้น จะไม่นำมาศึกษาในครั้งนี้

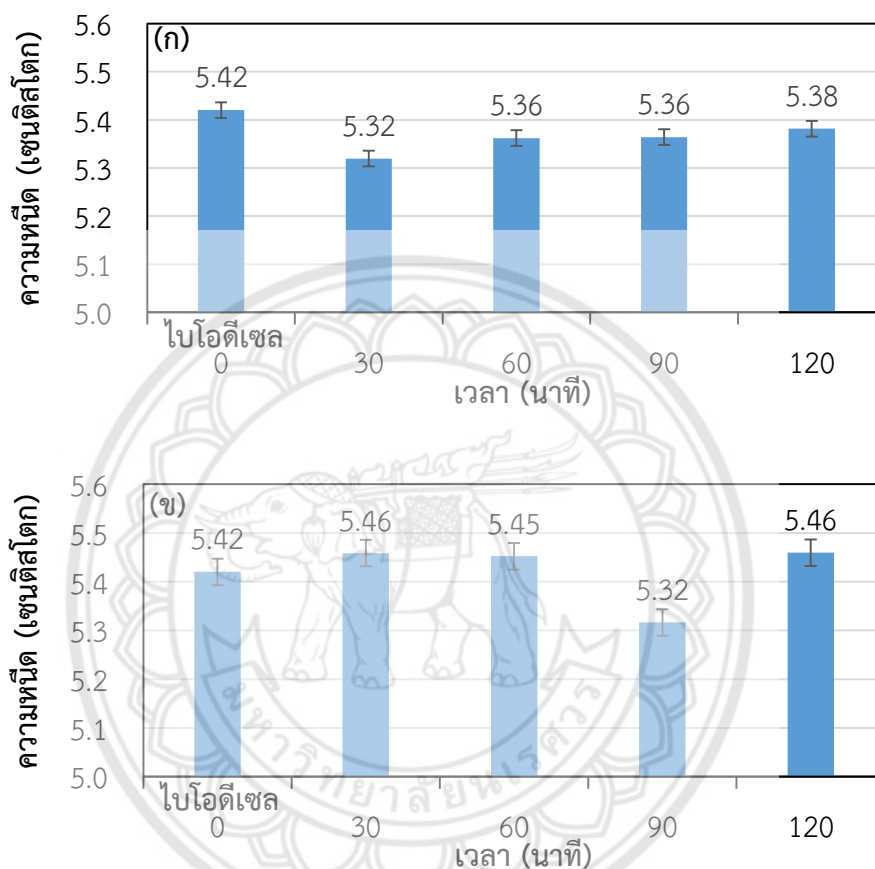


รูปที่ 4.1 ผลลัพธ์จากกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวโดยมีน้ำมันไบโอดีเซลเป็นวัตถุดิบ

4.1 ผลของเวลา ความถี่ และชนิดขั้วอิเล็กโทรดต่อความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล

จากรูปที่ 4.2 (ก) ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลา 0 30 60 90 และ 120 นาที โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก พบว่าที่เวลา 30 นาที มีความหนืดต่ำสุดซึ่งมีค่าอยู่ที่ 5.32 เซนติสโตก (centistoke) ส่วนความหนืดที่สูงสุดเป็นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว คือ 5.42 เซนติสโตก และในส่วนรูปที่ 4.2 (ข)

ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลว ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลา 0 30 60 90 และ 120 นาที โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสแตน พบว่าที่เวลา 90 นาทีที่มีความหนืดต่ำสุดซึ่งมีค่าอยู่ที่ 5.32 เซนต์สโตก และความหนืดสูงสุดที่เวลา 30 และ 120 นาที มีความหนืด 5.46 เซนต์สโตก

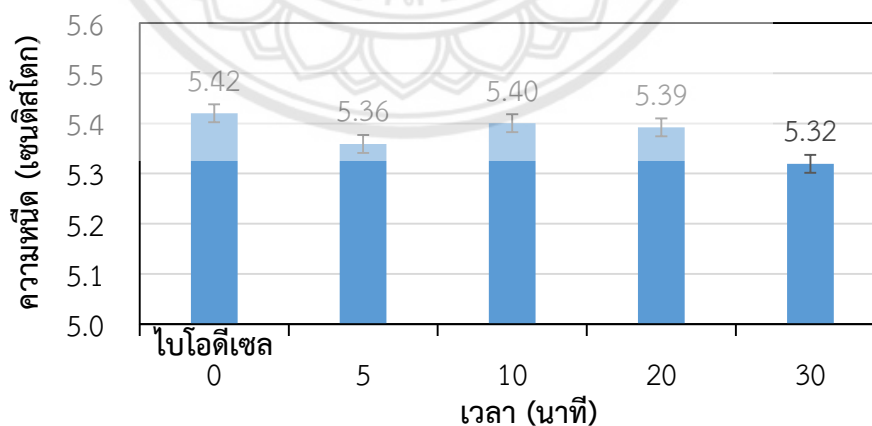


รูปที่ 4.2 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลว ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลา 0 30 60 90 และ 120 นาที ; (ก) ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก (ข) ขั้วอิเล็กโทรดทังสแตน

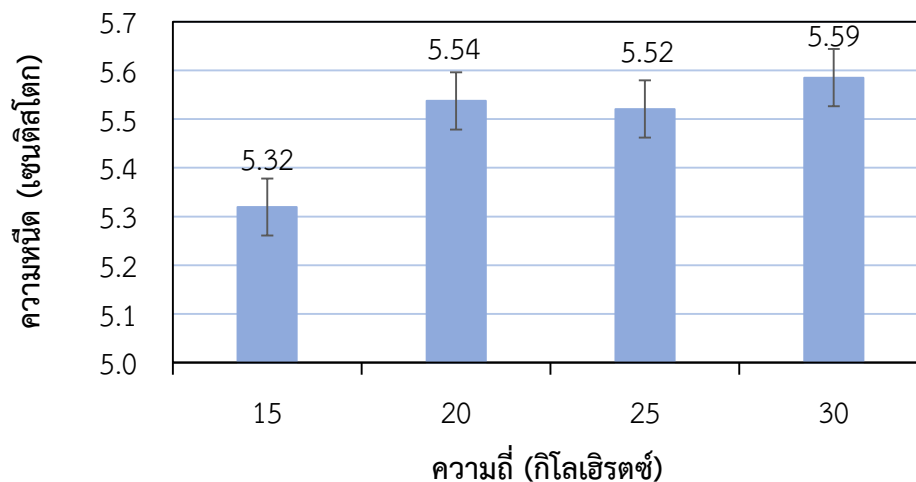
สำหรับขั้วอิเล็กโทรดเหล็กนั้น ความหนืดที่ต่ำที่สุดคือที่เวลา 30 นาที ในส่วนเวลาหลังจากนั้น ความหนืดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าอาจมีความหนืดที่ต่ำกว่าหากใช้เวลาน้อยกว่า 30 นาที จึงได้นำน้ำมันไบโอดีเซลมาผ่านกระบวนการพลาสมาวิญญาคของเหลวโดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลา 0 5 10 20 และ 30 นาที ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งทำให้พบได้ว่าสำหรับขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ความหนืดที่ต่ำที่สุดจะใช้เวลา 30 นาที ดังนั้นจึงได้นำขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก ในเวลา 30 นาที มาศึกษาความถี่ที่ต่างกัน ดังรูปที่ 4.4 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการ

พลาสมาวิทยุภาคของเหลว โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก ในเวลา 30 นาที ที่ความถี่ 15 20 25 และ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ พบว่าความหนืดที่ต่ำที่สุดคือ 5.32 เซนติสโตก ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ แต่ในทางกลับกันที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ พบความหนืดสูงขึ้นไปถึง 5.59 เซนติสโตก และจากงานวิจัยของ Prasertsung และคณะ (Prasertsung et al., 2019) เมื่อความถี่สูงขึ้นจะทำให้การเพิ่มพลังงานเกิดการเร่งการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของอิเล็กตรอน พลังงานสูงและโมเลกุลโดยรอบจะทำให้เกิดการแยกตัวหรือไอออไนเซชันของโมเลกุล จะทำให้เพิ่มอนุภาคนิวเคลียส จึงไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น อย่างไรก็ตามความหนืดที่เปลี่ยนแปลงนั้น จะเพิ่มขึ้นและลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับเป้าหมายที่ต้องการให้น้ำมันไบโอดีเซลมีความหนืดน้อยลง เทียบเท่าน้ำมันดีเซลคือ 3.56 เซนติสโตก (ความหนืดของน้ำมันดีเซล B5) ทำให้เห็นได้ว่าค่าความถี่ ชนิดขั้วอิเล็กโทรด และเวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวในสภาวะที่ศึกษาในครั้งนี้ไม่มีผลต่อความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลอย่างมีนัยสำคัญ

ถึงแม้ค่าความถี่ ชนิดขั้วอิเล็กโทรด และเวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวในสภาวะที่ศึกษาในครั้งนี้ไม่มีผลต่อความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลอย่างมีนัยสำคัญ แต่การเพิ่มขึ้นและลดลงของความหนืดที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยนั้นสามารถอธิบายได้จากการทดลองของ Du และคณะ (2018) (Du et al., 2018) ที่นำน้ำมันไบโอดีเซลผ่านสนามไฟฟ้าแล้วพบว่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลลดลง ซึ่งในกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวนั้น เริ่มต้นจากการสร้างสนามไฟฟ้างั้นนั้นโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซลจะถูกจัดเรียงให้เป็นระเบียบด้วยแรงของสนามไฟฟ้า และถูกตัดสายโซ่ด้วยการสั่นสะเทือนทางความร้อน (Du et al., 2018) เป็นเหตุให้น้ำมันไบโอดีเซลมีความหนืดที่ลดลง



รูปที่ 4.3 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลา 0 5 10 20 และ 30 นาที



รูปที่ 4.4 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว โดยใช้ข้อเล็กโทรดเหล็ก ในเวลา 30 นาที ที่ความถี่ 15 20 25 และ 30 กิโลเฮิร์ตซ์

ในส่วนของการเพิ่มขึ้นของความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลนั้น เกิดขึ้นโดยมีสาเหตุมาจากพลาสมา ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระในน้ำมันไบโอดีเซล โดย Meeprasertsagool และคณะ (2017) (Meeprasertsagool et al., 2017) ได้นำน้ำมันปาล์มมาผ่านกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว ซึ่งจะแตกพันธะใน โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นมอนอกลิเซอไรด์ แล้วแตกพันธะของมอนอกลิเซอไรด์ต่อไป เพื่อให้ เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยในระหว่างกระบวนการสามารถตรวจสอบการคายพลังงานในรูปแบบแสงของอนุมูล อิสระ โดย CH_2 , $H\alpha$ และ C เป็นอนุมูลอิสระหลัก ซึ่งอนุมูลเหล่านี้มีโอกาสเกิดขึ้นกับการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลเป็นเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากมอนอกลิเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มกับหมู่ไฮดรอกซิล ในกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวนอกจากก่อให้เกิดอนุมูลอิสระแล้วยังมีความร้อน แสง และโลหะ ที่เป็นข้อเล็กโทรด ซึ่งเป็นเหตุก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Kumar & Singh, 2018) โดยน้ำมัน ไบโอดีเซลมีความเสถียรต่ำ ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเริ่มต้นที่ตำแหน่งของพันธะคู่เป็นตำแหน่งที่อ่อนแอ ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Yaakob, Narayanan, & Padikkaparambil, 2014) โดยปฏิกิริยาออกซิ เดชันจะเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่จนกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันดังสมการต่อไปนี้ (Kumar & Singh, 2018)





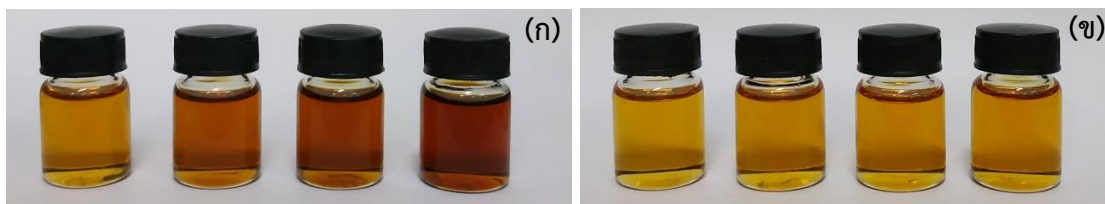
โดยผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นจะส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น และมีสีเข้มขึ้น (Yaakob et al., 2014) ดังรูปที่ 4.5 เห็นได้ว่าเมื่อเวลามากขึ้นจะทำให้สีของน้ำมันไบโอดีเซลเข้มขึ้นไปด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และในส่วนของการใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็กดังรูปที่ 4.5 (ก) พบได้ว่าเมื่อปล่อยให้ น้ำมันไบโอดีเซลอยู่กับเหล็ก จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดสารประกอบอย่างอื่นเพิ่มเข้ามา อย่างเช่น เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เหล็กคาร์บอเนต ($FeCO_3$) และเหล็กไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ซึ่งเป็นสารประกอบสีแดงอิฐ จึงเป็นเหตุทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสีของน้ำมันไบโอดีเซล (Fazal, Haseeb, & Masjuki, 2012) การที่ใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรดในกระบวนการพลาสมาวิญญากาศของเหลว จะทำให้เกิดไอออนของเหล็กเมื่อกระแสไฟฟ้าเดินทางผ่านโดยปลดปล่อยออกมาพร้อมกับอิเล็กตรอน ดังสมการที่ 4.7 (Sarahney et al., 2012)



เมื่อเหล็กและออกซิเจนเจอกันในกระบวนการพลาสมา จะเกิดการทำปฏิกิริยาได้ผลผลิตเป็นอนุภาคนาโนของเหล็กออกไซด์ ($\gamma-Fe_2O_3$) ดังสมการที่ 4.8 (Wang et al., 2001)



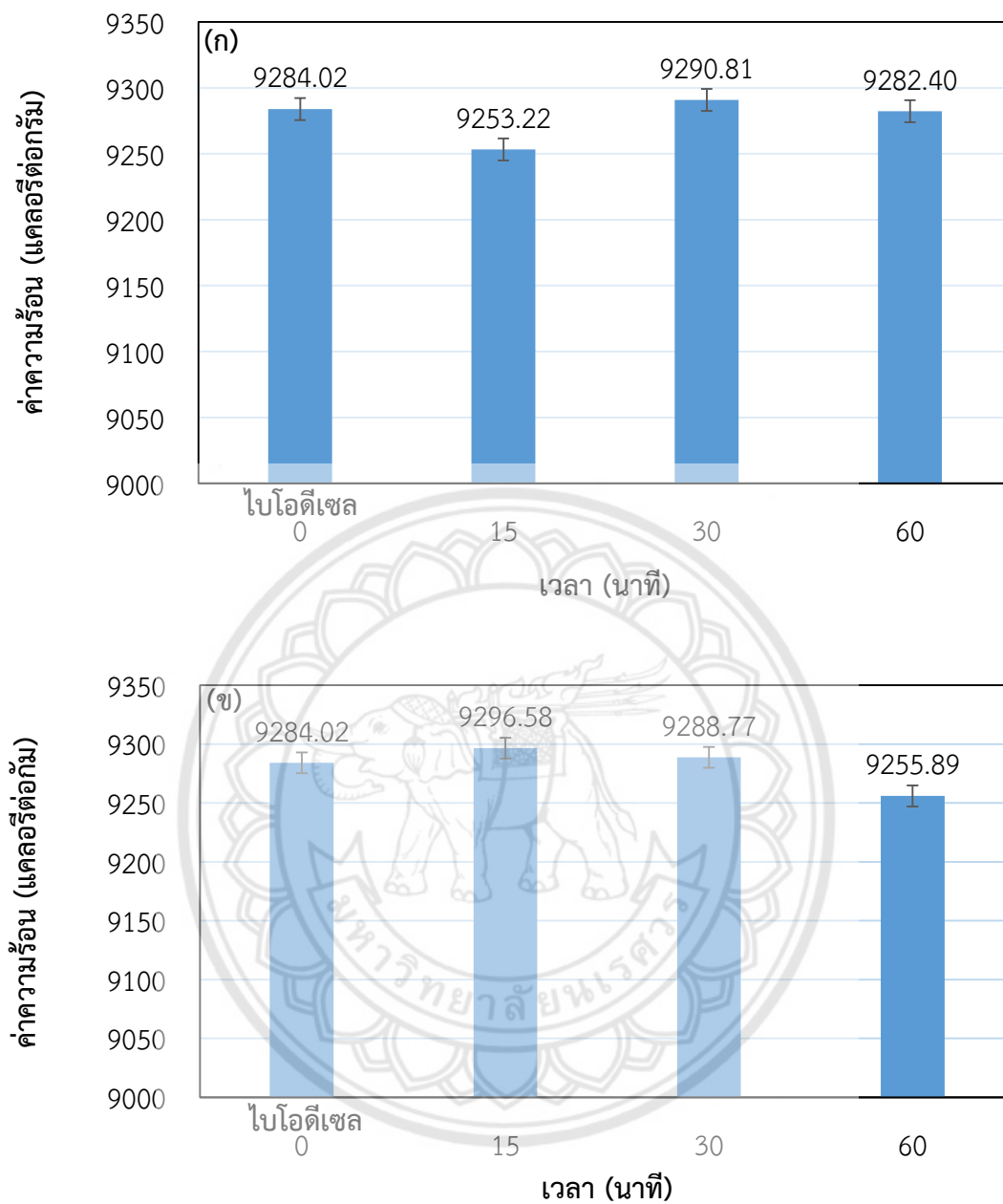
อนุภาคนาโนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่ผสมอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งไม่สามารถแยกออกได้ด้วยการใช้ชุดกรองสุญญากาศ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิญญากาศของเหลวด้วยขั้วอิเล็กโทรดเหล็กจะมีสีเข้มขึ้นอย่างชัดเจนมากกว่าการทดลองแบบการใช้ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสแตนตามระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิญญากาศของเหลว



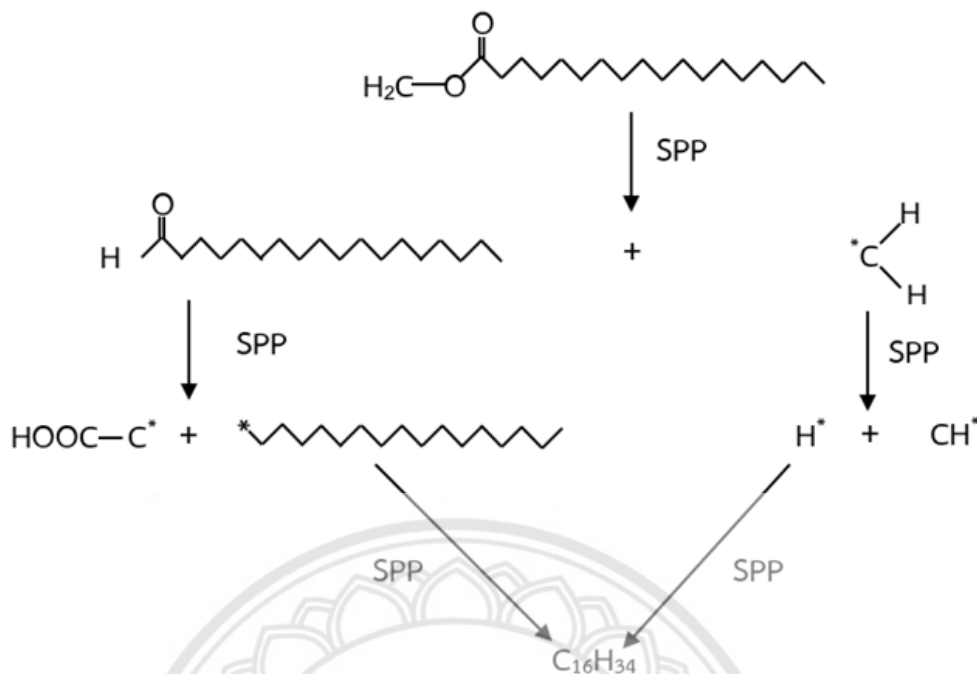
รูปที่ 4.5 น้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในระยะเวลา 30 60 90 และ 120 นาที ตามลำดับ ; (ก) ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก (ข) ขั้วอิเล็กโทรดทังสเตน

4.2 ผลของเวลา และชนิดขั้วอิเล็กโทรดต่อค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซล

จากรูปที่ 4.6 ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลา 0 15 30 และ 60 นาที โดย (ก) ใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก และ (ข) ใช้ขั้วอิเล็กโทรดทังสเตน พบว่าชนิดขั้วอิเล็กโทรด และเวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวในสภาวะที่ศึกษา ในครั้งนี้ไม่มีผลต่อค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับเป้าหมายที่ต้องการให้น้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความร้อนเทียบเท่าน้ำมันดีเซล คือ 10,575.90 แคลอรีต่อกรัม (ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล B7) โดยจะเห็นได้ว่าค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวมีค่าสูงสุดที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ เวลา 15 นาที โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดทังสเตน คือ 9,296.58 แคลอรีต่อกรัม ถึงแม้ว่าชนิดขั้วอิเล็กโทรด และเวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวไม่มีผลต่อค่าความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ แต่ก็ยังมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว สาเหตุที่ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้นนั้นเป็นผลมาจากกระบวนการพลาสมาที่มีความสามารถกำจัดออกซิเจนออกจากโมเลกุลได้ (Hosseinzadeh et al., 2015; Taghvaei & Rahimpour, 2018) และในการศึกษาของ Meeprasertsagool และคณะ (2017) (Meeprasertsagool et al., 2017) ทำให้เห็นได้ว่าโมเลกุลของมอนอกลิเซอไรด์สามารถถูกกำจัดออกซิเจนออกจากโมเลกุลด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว ดังรูปที่ 4.7 กลไกการแตกพันธะของมอนอกลิเซอไรด์ด้วยกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว ซึ่งการมีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลนั้นจะทำให้ปฏิกิริยาเผาไหม้คายความร้อนออกมาได้น้อยลง และเป็นเหตุให้ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลลดลง หากมีการดึงออกซิเจนจากกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวเข้ามาอยู่ในโมเลกุล ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันไบโอดีเซลดังสมการที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าในโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซลประกอบด้วยออกซิเจน 2 อะตอม แต่ปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดการเพิ่มออกซิเจนเข้ามาอีก 2 อะตอม จึงเป็นเหตุทำให้ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลวลดลงได้



รูปที่ 4.6 ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวัฏภาคของเหลว ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลา 0 15 30 และ 60 นาที ; (ก) ชั่วโมงที่ 1 (ข) ชั่วโมงที่ 2

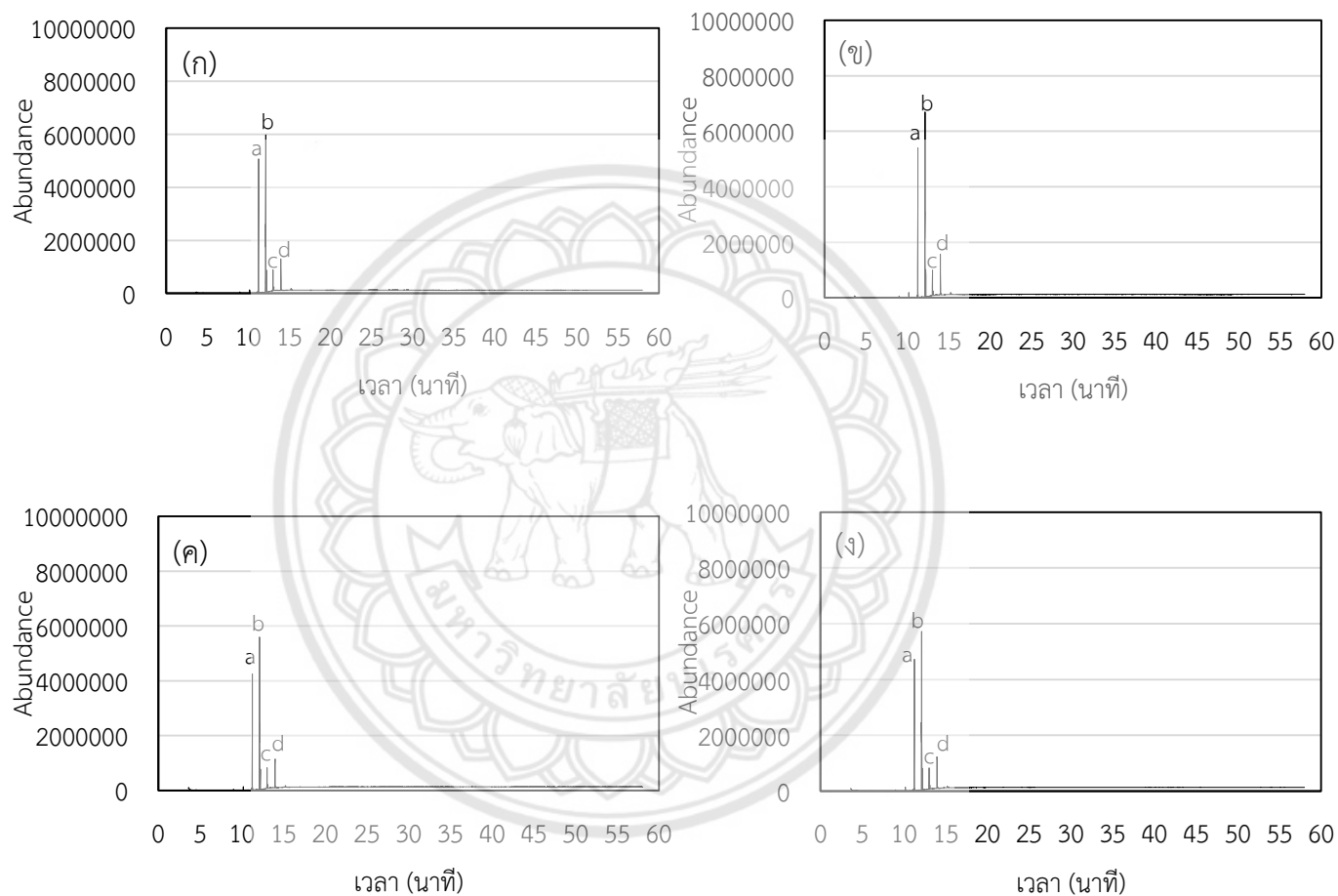


รูปที่ 4.7 กลไกการแตกพันธะของมอนอกลิเซอไรด์ด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว
ที่มา : New insights into vegetable oil pyrolysis by cold plasma technique, Meeprasertsagool et al.

4.3 ผลของเวลา และความถี่ต่อองค์ประกอบทางด้านเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล

จากรูปที่ 4.8 โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวโดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก โดย (ก) ไบโอดีเซล (ข) ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ เวลา 120 นาที (ค) ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ เวลา 30 นาที และ (ง) ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ 30 นาที และจากตารางที่ 4.1 ร้อยละพื้นที่โครมาโตแกรมของกรดไขมันเอสเทอร์หลักที่ตรวจพบจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว พบว่าความถี่ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวในสภาวะที่ศึกษาในครั้งนี้นี้ไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางด้านเคมีของน้ำมันไบโอดีเซลอย่างมีนัยสำคัญ โดยองค์ประกอบหลักในน้ำมันไบโอดีเซลทั้งผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว คือ Hexadecanoic acid ($\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$) 9-Octadecenoic acid ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$) 11-Eicosenoic acid ($\text{C}_{20}\text{H}_{38}\text{O}_2$) และ 13-Docosenoic acid ($\text{C}_{22}\text{H}_{42}\text{O}_2$) ซึ่งจะตรงกับสัญลักษณ์ a b c และ d ตามลำดับ การที่น้ำมันไบโอดีเซลมีองค์ประกอบหลักเป็นองค์ประกอบเดิมอยู่นั้น จะทำให้ไปสนับสนุนผลของความหนืดและค่าความร้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

อย่างไรก็ตามการที่องค์ประกอบหลักของน้ำมันไบโอดีเซลยังเป็นองค์ประกอบเดิมอยู่นั้น เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม โดยโมเลกุลไบโอดีเซลที่เข้าสู่สนามไฟฟ้าส่วนใหญ่จะแตกพันธะเป็นอนุมูลของ CH_2 , $\text{H}\alpha$ และ C เป็นส่วนใหญ่ (Meeprasertsagool et al., 2017) ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นก๊าซและผงคาร์บอน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลได้น้อยมาก



รูปที่ 4.8 โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวโดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก ; (ก) ไบโอดีเซล (ข) ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ เวลา 30 นาที (ค) ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ เวลา 120 นาที (ง) ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ เวลา 30 นาที

ตารางที่ 4.1 ร้อยละพื้นที่โครมาโตแกรมของกรดไขมันเอสเทอร์หลักที่ตรวจพบจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิฤภาคของเหลว

| fatty acid methylester | R.T. (min) | Biodiesel | Fe 30kHz 30min | Fe 15kHz 30min | Fe 15kHz 120min |
|---------------------------|---------------|-----------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Dodecanoic acid | 9.00 | 0.19 | 0.22 | 0.21 | 0.19 |
| Tetradecanoic acid | 10.18 | 0.64 | 0.65 | 0.68 | 0.62 |
| 9-Hexadecenoic acid | 11.16 | 0.41 | 0.42 | 0.42 | 0.38 |
| Hexadecanoic acid | 11.26 | 26.48 | 27.00 | 25.79 | 25.00 |
| Heptadecanoic acid | 11.75 | 0.12 | 0.00 | 0.10 | 0.10 |
| 9,12-Octadecadienoic acid | 12.10 | 12.60 | 12.20 | 0.00 | 0.00 |
| 9-Octadecenoic acid | 12.13 | 39.32 | 40.54 | 49.96 | 48.11 |
| Octadecanoic acid | 12.22 | 4.17 | 4.26 | 4.24 | 3.99 |
| 11-Eicosenoic acid | 13.02 | 4.86 | 5.00 | 5.30 | 5.21 |
| Eicosanoic acid | 13.12 | 0.74 | 0.78 | 0.94 | 1.49 |
| 13-Docosenoic acid | 13.98 | 7.59 | 8.04 | 7.95 | 8.08 |
| Docosanoic acid | 14.09 | 0.28 | 0.27 | 0.32 | 0.75 |

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวพบว่า ชนิดขั้วอิเล็กโทรด ค่าความถี่ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวในสภาวะที่ศึกษาในครั้งนี้ไม่มีผลต่อความหนืดและค่าความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่ากระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวจะสามารถตัดสายโซ่ของน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อลดค่าความหนืด แต่การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากอนุมูลอิสระเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงทำให้ความหนืดสูงขึ้นเล็กน้อย และแม้ว่ากระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวจะสามารถกำจัดออกซิเจนเพื่อเพิ่มค่าความร้อนได้ แต่การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลับเพิ่มออกซิเจนเข้ามาในโมเลกุลทำให้ค่าความร้อนลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความหนืดและค่าความร้อนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้สมบัติทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลเปลี่ยนแปลงคือมีสีที่เข้มขึ้น แต่สำหรับขั้วอิเล็กโทรดเหล็กจะมีสีเข้มขึ้นอย่างชัดเจนมากกว่าการทดลองแบบการใช้ขั้วอิเล็กโทรดทังสเตน ซึ่งน่าจะเกิดจากอนุภาคนาโนของเหล็กออกไซด์ ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นก๊าซและผงคาร์บอน ทำให้องค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลยังมีคงเดิม ซึ่งกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลวตามข้อมูลที่ได้ทำการศึกษามานั้นพบว่า เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นแบบสุ่มและความคุมได้ยาก และสภาวะที่ศึกษาในครั้งนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการทดลองควรใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิที่สามารถควบคุมอุณหภูมิทั้งหมดของเครื่องวัดความหนืด เนื่องจากการวัดความหนืดต้องวัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งปฏิบัติอยู่ในห้องทดลองที่มีอุณหภูมิห้อง เมื่อทำการวัดจะเกิดการถ่ายเทความร้อน ทำให้น้ำมันไบโอดีเซลอุณหภูมิลดลง จึงอาจส่งผลให้ความหนืดที่วัดได้อาจมีค่ามากกว่าความเป็นจริง

5.2.2 ควรศึกษาองค์ประกอบของของแข็งหรือผงคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว เนื่องจากได้มีนักวิจัยเคยศึกษาการเกิดนาโนคาร์บอนโดยใช้น้ำมันปาล์มผ่านกระบวนการพลาสมาวิทยุภาคของเหลว

เอกสารอ้างอิง

- ชัยวัฒน์ โควาริสารัช, **นวัตกรรมไบโอดีเซลยกระดับเศรษฐกิจ สังคมไทย**. สืบค้นวันที่ 24 เมษายน 2019, จาก <http://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/641077>
- สวราชย์ ตำนพิทักษ์กุล, **กระบวนการผลิตกรีนดีเซล (Green diesel process)**. สืบค้นวันที่ 27 ตุลาคม 2018, จาก <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0645/03chapter2.pdf>
- Bomb Calorimeter**. สืบค้นวันที่ 27 ตุลาคม 2018, จาก [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473\(51\)/FY473-13.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473(51)/FY473-13.pdf)
- Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University (GC-MS), G.C.-M.S.). **Gas chromatograph-mass spectrometer (gc-ms)**. สืบค้นวันที่ 24 มีนาคม 2018, จาก <http://www.env.eng.chula.ac.th/?q=content/gas-chromatograph-mass-spectrometer-gcms>
- PARR Instrument Company, **Bomb Calorimeter**. สืบค้นวันที่ 27 ตุลาคม 2018, จาก <https://mechanicalsilpakorn.com/images/download/MELab/Bomb-Calorimeter.pdf>
- Baroch, P., Anita, V., Saito, N., & Takai, O. (2008). **Bipolar pulsed electrical discharge for decomposition of organic compounds in water**. *Journal of Electrostatics*, 66(5-6), 294-299.
- Demirbas, A. (2007). **Biodiesel . A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines**. 121-123.
- Du, E., Cai, L., Huang, K., Tang, H., Xu, X., & Tao, R. (2018). **Reducing viscosity to promote biodiesel for energy security and improve combustion efficiency**. *Fuel*, 211, 194-196.
- Fazal, M., Haseeb, A., & Masjuki, H.H. (2012). **Degradation of automotive materials in palm biodiesel**. *Energy*, 40(1), 76-83.
- Hosseinzadeh, M.B., Rezazadeh, S., Rahimpour, H.R., Taghvaei, H., & Rahimpour, M.R. (2015). **Upgrading of lignin-derived bio-oil in non-catalytic plasma reactor: Effects of operating parameters on 4-methylanisole conversion**. *Chemical Engineering Research and Design*, 104, 296-305.
- Kang, J., Li, O.L., & Saito, N. (2013). **Synthesis of structure-controlled carbon nano spheres by solution plasma process**. *Carbon*, 60, 292-298.
- Keera, S., El Sabagh, S., & Taman, A. (2018). **Castor oil biodiesel production and optimization**. *Egyptian Journal of Petroleum*.
- Kumar, D., & Singh, B. (2018). **Tinospora cordifolia stem extract as an antioxidant additive for enhanced stability of karanja biodiesel**. *Industrial crops and products*, 123, 10-16.

- Lu, J., Guo, S., Fu, Y., & Chang, J. (2017). **Catalytic upgrading of bio-oil by simultaneous esterification and alkylation with azeotropic water removal.** *Fuel Processing Technology*, 161, 193-198
- Meeprasertsagool, P., Watthanaphanit, A., Ueno, T., Saito, N., & Reubroycharoen, P. (2017). **New insights into vegetable oil pyrolysis by cold plasma technique.** *Energy Procedia*, 138, 1153-1158.
- Mosallanejad, A., Taghvaei, H., Mirsoleimani-azizi, S.M., Mohammadi, A., & Rahimpour, M.R. (2017). **Plasma upgrading of 4methylanisole: A novel approach for hydrodeoxygenation of bio oil without using a hydrogen source.** *Chemical Engineering Research and Design*, 121, 113-124
- Prasertsung, I., Aroonraj, K., Kamwilaisak, K., Saito, N., & Damrongsakkul, S. (2019). **Production of reducing sugar from cassava starch waste (csw) using solution plasma process (spp).** *Carbohydrate polymers*, 205, 472-479.
- Prasertsung, I., Damrongsakkul, S., Terashima, C., Saito, N., & Takai, O. (2012). **Preparation of low molecular weight chitosan using solution plasma system.** *Carbohydrate Polymers*, 87(4), 2745-2749.
- Remón, J., Arauzo, J., García, L., Arcelus-Arrillaga, P., Millan, M., Suelves, I., & Pinilla, J. (2016). **Bio-oil upgrading in supercritical water using ni-co catalysts supported on carbon nanofibres.** *Fuel Processing Technology*, 154, 178-187.
- Sani, S., Kisan, M., Kulla, D., Obi, A., Jibrin, A., & Ashok, B. (2018). **Determination of physico chemical properties of biodiesel from citrullus lanatus seeds oil and diesel blends.** *Industrial Crops and Products*, 122, 702-708.
- Sarahney, H., Mao, X., & Alshawabkeh, A.N. (2012). **The role of iron anode oxidation on transformation of chromium by electrolysis.** *Electrochimica acta*, 86, 96-101.
- SARI, E. (2013). **Green diesel production via catalytic hydrogenation/decarboxylation of triglycerides and fatty acids of vegetable oil and brown grease.**
- Shakya, R., Adhikari, S., Mahadevan, R., & Dempster, T.A. (2018). **Catalytic upgrading of bio-oil produced from hydrothermal liquefaction of nannochloropsis sp.** *Bioresource technology*, 252, 28-36..
- Sierra-Cantor, J.F., & Guerrero-Fajardo, C.A. (2017). **Methods for improving the cold flow properties of biodiesel with high saturated fatty acids content: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 774-79

- Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids. (1996) *British standard* 2000.
- Taghvaei, H., Hosseinzadeh, M.B., Rezazadeh, S., Rahimpour, M.R., & Shariati, A. (2015). **Upgrading of 4-methylanisole in a catalytic reactor with electric discharges: A novel approach to o-removal from bio-oils.** *Chemical Engineering Journal*, 281, 227-235.
- Taghvaei, H., & Rahimpour, M.R. (2018). **Plasma upgrading of guaiacol as lignin pyrolytic-oil model compound through a combination of hydrogen production and hydrodeoxygenation reaction.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.
- Takai, O. (2008). **Solution plasma processing (spp).** *Pure and Applied Chemistry*, 80(9), 2003-2011.
- Tantiplapol, T., Singawat, Y., Narongsil, N., Damrongsakkul, S., Saito, N., & Prasertsung, I. (2015). **Influences of solution plasma conditions on degradation rate and properties of chitosan.** *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32, 116-120.
- Tao, R., Du, E., Tang, H., & Xu, X. (2014). **Neutron scattering studies of crude oil viscosity reduction with electric field.** *Fuel*, 134, 493-498.
- Wang, Q., Yang, H., Shi, J., & Zou, G. (2001). **One-step synthesis of the nanometer particles of γ -Fe₂O₃ by wire electrical explosion method.** *Materials research bulletin*, 36(3-4), 503-509.
- Yaakob, Z., Narayanan, B.N., & Padikkaparambil, S. (2014). **A review on the oxidation stability of biodiesel.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 136-153.
- Zaharin, M., Abdullah, N., Najafi, G., Sharudin, H., & Yusaf, T. (2017). **Effects of physicochemical properties of biodiesel fuel blends with alcohol on diesel engine performance and exhaust emissions: A review.** *Renewable and Sustainable energy reviews*, 79, 475-493.
- Zhang, S., Zhang, H., Liu, X., Zhu, S., Hu, L., & Zhang, Q. (2018). **Upgrading of bio-oil from catalytic pyrolysis of pretreated rice husk over Fe-modified zsm-5 zeolite catalyst.** *Fuel Processing Technology*, 175, 17-25.
- Zhang, X., Zhang, Q., Wang, T., Li, B., Xu, Y., & Ma, L. (2016). **Efficient upgrading process for production of low quality fuel from bio-oil.** *Fuel*, 179, 312-321.
- ธีระพล วงศ์ชนะพิบูลย์, (2556). **เคมีพอลิเมอร์.** โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.



ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล

มหาวิทยาลัยพระนคร

ตัวอย่างการคำนวณความหนืด

1. การหาค่าเฉลี่ยของเวลาในการไหลผ่านเครื่องวัดความหนืดระหว่างสองจุด

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{17.34 + 17.47 + 17.44}{3} = 17.42s$$

2. การคำนวณความหนืด โดยเครื่องวัดความหนืดมีค่าคงที่ $K=0.3112 \text{ mm}^2/s^2$

$$\nu = K \cdot \Delta t$$

$$\nu = 0.3112 \left(\frac{\text{mm}}{s} \right)^2 \cdot 17.42(s)$$

$$\nu = 5.42cSt$$

ตารางที่ ก.1 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล

| ประเภทน้ำมัน | เวลาในการไหลผ่านเครื่องวัดความหนืด (วินาที) | | | | ความหนืด (เซนติสโตก) |
|--------------|---|------------|------------|-----------|----------------------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | |
| ไบโอดีเซล | 17.34 | 17.47 | 17.44 | 17.42 | 5.42 |
| ดีเซล B5 | 11.47 | 11.44 | 11.38 | 11.43 | 3.56 |

ตารางที่ ก.2 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิฏภาคของเหลว ด้วยข้ออิเล็กโทรดเหล็ก ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลาที่ต่างกัน

| เวลาในการทรีท (นาท) | เวลาในการไหลผ่านเครื่องวัดความหนืด (วินาที) | | | | ความหนืด (เซนติสโตก) |
|---------------------|---|------------|------------|-----------|----------------------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | |
| 5 | 17.25 | 17.25 | 17.16 | 17.22 | 5.36 |
| 10 | 17.41 | 17.37 | 17.28 | 17.35 | 5.40 |
| 20 | 17.22 | 17.38 | 17.38 | 17.33 | 5.39 |
| 30 | 17.16 | 17.22 | 16.90 | 17.09 | 5.32 |
| 60 | 17.21 | 17.32 | 17.16 | 17.23 | 5.36 |
| 90 | 17.31 | 17.37 | 17.03 | 17.24 | 5.36 |
| 120 | 17.31 | 17.28 | 17.29 | 17.29 | 5.38 |

ตารางที่ ก.3 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว ด้วยขั้วอิเล็กโทรดทั้งสแตน ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลาที่ต่างกัน

| เวลาในการพริท (นาที) | เวลาในการไหลผ่านเครื่องวัดความหนืด (วินาที) | | | | ความหนืด (เซนติสโตก) |
|----------------------|---|------------|------------|-----------|----------------------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | |
| 30 | 17.53 | 17.59 | 17.5 | 17.54 | 5.46 |
| 60 | 17.5 | 17.53 | 17.53 | 17.52 | 5.45 |
| 90 | 17.03 | 17.16 | 17.06 | 17.08 | 5.32 |
| 120 | 17.66 | 17.5 | 17.47 | 17.54 | 5.46 |

ตารางที่ ก.4 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว ด้วยขั้วอิเล็กโทรดเหล็ก ที่เวลา 30 นาที ในความถี่ที่ต่างกัน

| ความถี่ไฟฟ้า (กิโลเฮิร์ตซ์) | เวลาในการไหลผ่านเครื่องวัดความหนืด (วินาที) | | | | ความหนืด (เซนติสโตก) |
|-----------------------------|---|------------|------------|-----------|----------------------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | |
| 15 | 17.16 | 17.22 | 16.9 | 17.09 | 5.32 |
| 20 | 17.81 | 17.91 | 17.66 | 17.79 | 5.54 |
| 25 | 17.65 | 17.91 | 17.66 | 17.74 | 5.52 |
| 30 | 17.72 | 18.03 | 18.09 | 17.95 | 5.59 |



ตารางที่ ข.1 ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล

| ประเภท น้ำมัน | ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม) | | | |
|------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | ครั้งที่1 | ครั้งที่2 | ครั้งที่3 | ค่าเฉลี่ย |
| Bio Diesel | 9,271.51 | 9,306.15 | 9,274.39 | 9,284.02 |
| Diesel B7 | 10,554.10 | 10,573.80 | 10,599.80 | 10,575.90 |

ตารางที่ ข.2 ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว ด้วยหัวอิเล็กโทรดเหล็ก ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลาที่ต่างกัน

| เวลาในการ ทรีท (นาทีก) | ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม) | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | ครั้งที่1 | ครั้งที่2 | ครั้งที่3 | ค่าเฉลี่ย |
| 15 | 9,265.49 | 9,275.46 | 9,218.72 | 9,253.22 |
| 30 | 9,311.42 | 9,209.67 | 9,351.35 | 9,290.81 |
| 60 | 9,264.04 | 9,237.51 | 9,345.64 | 9,282.40 |

ตารางที่ ข.3 ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลว ด้วยหัวอิเล็กโทรดทังสเตน ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเวลาที่ต่างกัน

| เวลาในการ ทรีท (นาทีก) | ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม) | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | ครั้งที่1 | ครั้งที่2 | ครั้งที่3 | ค่าเฉลี่ย |
| 15 | 9,283.48 | 9,324.20 | 9,282.07 | 9,296.58 |
| 30 | 9,287.26 | 9,308.04 | 9,271.02 | 9,288.77 |
| 60 | 9,261.55 | 9,272.63 | 9,233.48 | 9,255.89 |



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซล

ตารางที่ ค.1 ตัวอย่าง Area Percent Report จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ของ
น้ำมันไบโอดีเซล

| Peak | R.T. min | first scan | Max scan | Last scan | PK TY | peak height | corr. area | corr. %max. | % of total |
|------|-------------|---------------|-------------|--------------|----------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 1 | 3.680 | 3 | 14 | 73 | BV | 28938 | 2566817 | 3.14 | 1.237 |
| 2 | 8.999 | 726 | 741 | 747 | BB | 39873 | 403101 | 0.49 | 0.194 |
| 3 | 10.176 | 897 | 902 | 909 | BV | 125767 | 1325577 | 1.62 | 0.639 |
| 4 | 11.157 | 1016 | 1036 | 1041 | PV | 58974 | 842868 | 1.03 | 0.406 |
| 5 | 11.252 | 1044 | 1049 | 1064 | PV | 4608955 | 54964644 | 67.34 | 26.479 |
| 6 | 11.742 | 1109 | 1116 | 1125 | BV | 17810 | 251245 | 0.31 | 0.121 |
| 7 | 12.100 | 1160 | 1165 | 1166 | PV | 2398967 | 26161102 | 32.05 | 12.603 |
| 8 | 12.130 | 1166 | 1169 | 1178 | W 2 | 5895857 | 81623392 | 100.00 | 39.322 |
| 9 | 12.225 | 1178 | 1182 | 1192 | W | 752449 | 8647695 | 10.59 | 4.166 |
| 10 | 12.510 | 1212 | 1221 | 1224 | PV 8 | 12422 | 154805 | 0.19 | 0.075 |
| 11 | 12.708 | 1236 | 1248 | 1252 | PV 8 | 8090 | 155442 | 0.19 | 0.075 |
| 12 | 12.759 | 1252 | 1255 | 1259 | W 6 | 6433 | 102128 | 0.13 | 0.049 |
| 13 | 12.810 | 1259 | 1262 | 1264 | W 4 | 5000 | 59887 | 0.07 | 0.029 |
| 14 | 12.869 | 1264 | 1270 | 1272 | W 7 | 4789 | 116963 | 0.14 | 0.056 |
| 15 | 12.934 | 1272 | 1279 | 1281 | W 7 | 11606 | 219254 | 0.27 | 0.106 |
| 16 | 12.956 | 1281 | 1282 | 1285 | W 3 | 12124 | 158988 | 0.19 | 0.077 |
| 17 | 13.022 | 1285 | 1291 | 1299 | W | 727118 | 10079079 | 12.35 | 4.856 |
| 18 | 13.117 | 1299 | 1304 | 1310 | W | 129278 | 1528055 | 1.87 | 0.736 |
| 19 | 13.981 | 1416 | 1422 | 1431 | W | 1099125 | 15750464 | 19.30 | 7.588 |
| 20 | 14.090 | 1431 | 1437 | 1446 | W 2 | 33480 | 588174 | 0.72 | 0.283 |
| 21 | 15.217 | 1579 | 1591 | 1605 | W | 59944 | 1360075 | 1.67 | 0.655 |
| 22 | 15.363 | 1605 | 1611 | 1624 | W 4 | 21046 | 518932 | 0.64 | 0.250 |

ตารางที่ ค.2 ตัวอย่าง Library Search Report จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ของ
น้ำมันไบโอดีเซล

| PK | RT | Area% | Library/ID | Ref | CAS | Qual |
|----|-------|-------|---|--------|-------------|------|
| 1 | 3.68 | 1.24 | Nonadec-13-enoic acid, methyl | 261171 | 000000-00-0 | 27 |
| 2 | 8.999 | 0.19 | Dodecanoic acid, methyl ester (CAS) \$\$ Methyl laurate \$\$ Methyl dodecanoate \$\$ Methyl n- dodecanoate \$\$ Lauric acid methyl ester \$\$ Metholene 2296 \$\$ Methyl laurinate \$\$ Methyl | 136172 | 000111-82-0 | 96 |
| 3 | 10.18 | 0.64 | Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) \$\$ Methyl myristate \$\$ Methyl tetradecanoate \$\$ Methyl n- tetradecanoate \$\$ Myristic acid methyl ester \$\$ Uniphat A50 \$\$ Metholeneat 2495 \$\$ Myristic acid, methyl ester \$\$ Tetradecanoic acid methyl ester \$\$ MYRISTIC A | 176778 | 000124-10-7 | 99 |
| 4 | 11.16 | 0.41 | 9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)- \$\$ Methyl palmitoleate \$\$ Methyl palmitoleinate \$\$ Palmitoleic acid, methyl ester | 211104 | 001120-25-8 | 99 |
| 5 | 11.25 | 26.5 | Hexadecanoic acid, methyl ester \$\$ Palmitic acid, methyl ester \$\$ n- Hexadecanoic acid methyl ester \$\$ Metholene 2216 \$\$ Methyl hexadecanoate \$\$ Methyl n- hexadecanoate \$\$ Methyl palmitate \$\$ Uniphat A60 | 213890 | 000112-39-0 | 99 |

| | | | | | | |
|----|-------|------|---|--------|-------------|----|
| 6 | 11.74 | 0.12 | Docosanoic acid, methyl ester | 302040 | 000929-77-1 | 96 |
| 7 | 12.1 | 12.6 | 11,14-Octadecadienoic acid, methyl ester | 243110 | 056554-61-1 | 99 |
| 8 | 12.13 | 39.3 | 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) \$\$ Methyl oleate \$\$ Methyl cis-9-octadecenoate \$\$ Oleic acid methyl ester \$\$ Oleic acid, methyl ester \$\$ Emery oleic acid ester 2301 \$\$ OLEIC ACID-METHYL ESTER \$\$ (Z)-9-OCTADECENOIC ACID, METHYL ESTER \$\$ (Z)-9- | 245466 | 000112-62-9 | 99 |
| 9 | 12.22 | 4.17 | Octadecanoic acid, methyl ester (CAS) \$\$ Methyl stearate \$\$ Methyl octadecanoate \$\$ Methyl n-octadecanoate \$\$ Stearic acid methyl ester \$\$ Kemester 9718 \$\$ Stearic acid, methyl ester \$\$ n-Octadecanoic acid methyl ester \$\$ Methyl-octadecanoate \$\$ Methyl es | 247763 | 000112-61-8 | 99 |
| 10 | 12.51 | 0.07 | Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15-hexadecamethyl- | 379834 | 019095-24-0 | 52 |
| 11 | 12.71 | 0.07 | Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15-hexadecamethyl- | 379834 | 019095-24-0 | 62 |
| 12 | 12.76 | 0.05 | Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15-hexadecamethyl- | 379834 | 019095-24-0 | 70 |

| | | | | | | |
|----|-------|------|---|--------|-------------|----|
| 13 | 12.81 | 0.03 | Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15- hexadecamethyl- | 379834 | 019095-24-0 | 58 |
| 14 | 12.87 | 0.06 | Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15- hexadecamethyl- | 379834 | 019095-24-0 | 58 |
| 15 | 12.93 | 0.11 | Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15- hexadecamethyl- | 379834 | 019095-24-0 | 58 |
| 16 | 12.96 | 0.08 | Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15- hexadecamethyl- | 379834 | 019095-24-0 | 53 |
| 17 | 13.02 | 4.86 | 11-Eicosenoic acid, methyl ester | 275547 | 003946-08-5 | 99 |
| 18 | 13.12 | 0.74 | Eicosanoic acid, methyl ester | 277452 | 001120-28-1 | 99 |
| 19 | 13.98 | 7.59 | 13-Docosenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS) \$\$ Methyl erucate \$\$ Erucic acid methyl ester \$\$ Methyl (Z)-13 docosenoate \$\$ Methyl 13- docosenoate(methyl erucate) \$\$ Methyl cis-13-docosenoate | 300418 | 001120-34-9 | 93 |
| 20 | 14.09 | 0.28 | Docosanoic acid, methyl ester | 302039 | 000929-77-1 | 90 |
| 21 | 15.22 | 0.66 | Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15- hexadecamethyl- | 379834 | 019095-24-0 | 64 |
| 22 | 15.36 | 0.25 | Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15- hexadecamethyl- | 379834 | 019095-24-0 | 64 |