

การแตกตัวของน้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CRACKING OF VEGETABLE OIL TO LIQUID FUELS BY COLD PLASMA TECHNIQUE

Miss Phimpaka Meeprasertsagool



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแตกตัวของน้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยเทคนิค พลาสมาแบบเย็น
โดย	นางสาวพิมพ์ผกา มีประเสริฐสกุล
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. อัญรัตน์ วัฒนพานิช

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. นพิตา หิญาชีระนันท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(อาจารย์ ดร. อัญรัตน์ วัฒนพานิช)

..... กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนาธิป สามารถ)

พิมพ์ผกา มีประเสริฐสกุล : การแตกตัวของน้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น (CRACKING OF VEGETABLE OIL TO LIQUID FUELS BY COLD PLASMA TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร. อัญรัตน์ วัฒนพานิช, 76 หน้า.

ในปัจจุบันมีวิธีการแตกตัวของสารอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างมาก คือ วิธีการแตกตัวด้วยเทคนิคพลาสมา (plasma) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงมีเป้าหมายที่จะผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันพืชด้วยเทคนิคพลาสมา โดยเทคนิคพลาสมาสามารถเกิดขึ้นด้วยพลังงานจากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบพัลส์ผ่านอิเล็กโทรด โดยทำการแตกตัวจากน้ำมันปาล์มที่ 200 มิลลิลิตร ที่ภาวะที่ศึกษาครั้งนี้ ความถี่ของพัลส์ในช่วง 15-190 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.55-1.5 กิโลโวลต์ ภายใต้ระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 40 นาที ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะห่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร และการเติมน้ำร่วมที่ 0, 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมันปาล์ม โดยที่ระหว่าง การเกิดปฏิกิริยาในพลาสมาได้ทำการศึกษาธาตุและองค์ประกอบด้วยเครื่อง optical emission spectroscopy (OES) ผลปรากฏว่าพบอนุมูลอิสระของ C CH C<sub>2</sub> H สำหรับการแตกตัวในน้ำมันปาล์มเพียงอย่างเดียว สำหรับการแตกตัวในน้ำมันปาล์มร่วมกับการเติมน้ำที่ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มนั้น พบอนุมูลอิสระของ H C<sub>2</sub> O ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมาเกิดขึ้น 3 สถานะดังนี้ แก๊ส ของเหลว และของแข็ง สำหรับงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาผลิตภัณฑ์เหลวด้วยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโทมิเตอร์ จากผลโครมาโทแกรมพบว่าสัญญาณที่มีความเข้มสูงสุด คือ สัญญาณของกรดไขมันโอเลอิก และรองลงมา เป็นสัญญาณของกรดไขมันปาล์มมิติก นอกเหนือจากสัญญาณเหล่านี้ยังพบสัญญาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาวที่ถูกแตกตัวให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายสั้น ทั้งยังพบสารประกอบเฮกซะเดคเคนซึ่งเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวอีกด้วย ในงานวิจัยนี้พบภาวะที่ดีที่สุดในการแตกตัว คือ ความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที ระยะห่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร ทั้งนี้จึงสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของพลังงานพลาสมาสามารถเกิดการแตกตัวในสารอินทรีย์ หรือน้ำมันปาล์มได้ ซึ่งสามารถเกิด ณ อุณหภูมิห้อง ที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่ากระบวนการไพโรไลซิส ทั้งยังสามารถให้พลังงานกับระบบได้โดยตรง

ภาควิชา	เคมีเทคนิค	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
ปีการศึกษา	2559	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5772082323 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS: COLD PLASMA, VEGETABLE OIL, PALM OIL, HEXADECANE

PHIMPAKA MEEPRASERTSAGOOL: CRACKING OF VEGETABLE OIL TO LIQUID FUELS BY COLD PLASMA TECHNIQUE. ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. PRASERT REUBROYCHAROEN, CO-ADVISOR: DR. ANYARAT WATTHANAPHANIT, 76 pp.

Recently, solution/liquid-phase plasma is the novel method to provide the direct energy at highly excited energy state. The application of the plasma to pyrolysis of vegetable oil could be an alternative way for reducing the production cost of the green fuel. In this study, the investigation of the green fuel synthesis from vegetables oils using solution plasma was examined. The solution plasma reactor was connected to a bipolar pulsed power supply under 200 ml of palm oil, the pulse frequency adjusted from 15-190 kHz and the voltage adjusted in ranges of 0.55-1.5 kV with 40 minutes of discharge times, pulse width 2  $\mu$ s, electrode distance 0.5 mm and adding H<sub>2</sub>O 0,50% weight of palm oil. Properties of generated plasma were investigated by optical emission spectroscopy (OES) methods. The OES graph shown radical are C, CH, C<sub>2</sub>, H for discharge plasma in pure palm oil and H, C<sub>2</sub>, O in palm oil adding H<sub>2</sub>O. The main products of cracking palm oil by plasma technique were gas, liquid and solid. The liquid products were analysed by GC-MS. In order to identify components of the liquid product, a GC-MS chromatogram was carried out; the main peak are oleic acid and palmitic acid. So, the other peak show which product were cracked from long-chain hydrocarbon to short-chain hydrocarbon and hexadecane was one of the compounds which were cracked in palm oil. The best possible condition were pulse frequency at 45 kHz, voltage 1.5 kV with 40 minutes of discharge times, pulse width 2  $\mu$ s, electrode distance 0.5 mm. In conclusion, the results showed that plasma has potential and enough energy to convert vegetable oils in liquid fuels at room temperature which consumes less temperature than pyrolysis and can also provide the direct energy.

Department: Chemical Technology      Student's Signature .....

Field of Study: Chemical Technology      Advisor's Signature .....

Academic Year: 2016      Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้กรุณามอบโอกาสที่ดีในการเดินทางไปทำงานวิจัย ณ มหาวิทยาลัยนาโงย่า ประเทศญี่ปุ่น ทั้งยังกรุณามอบความรู้ แนวคิด และคำปรึกษา รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อัญรัตน์ วัฒนพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณามอบคำปรึกษา และแนวทางการแก้ไขปัญญา เพื่อให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ Prof. Nagahiro SAITO Prof. Tomonaga UENO และเหล่าคณาจารย์ที่ Saito-Hieda's laboratory คณะวัสดุศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนาโงย่า เมืองนาโงย่า ประเทศญี่ปุ่น ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์กับข้าพเจ้าในการใช้เครื่องมือ สารเคมี และอุปกรณ์ภายในแลป ทั้งยังให้แนวคิด และคำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นพิตา ทิณชिरะนันท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป สามารถ ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำ แนวทางแก้ไขข้อผิดพลาดเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากภาควิชาเคมีเทคนิค โดยการสนับสนุนด้านทุนการศึกษาแก่ผู้วิจัย ทางผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ Mr.Shimpei NEMOTO, Mr.Tetsunori MORISHITA และเพื่อนใน Saito-Hieda's lab ทุกคน ที่คอยสละเวลามาช่วยเหลือ มอบมิตรภาพดีๆ ร่วมแชร์วัฒนธรรมระหว่างไทย-ญี่ปุ่น และดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย ณ ประเทศญี่ปุ่น จนได้รับประสบการณ์ มิตรภาพ และความทรงจำที่ดีกลับมา

ขอกราบขอบพระคุณสมาชิกในครอบครัว รวมทั้งญาติพี่น้อง ที่คอยส่งกำลังใจเพื่อสอนให้เข้มแข็งเพื่อต่อสู้กับปัญหาต่างๆ ทั้งยังให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทั้งในภาควิชาเคมีเทคนิค และภายนอกทุกคน ที่ได้คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ทำให้การทำงานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 .....	1
บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย .....	2
บทที่ 2 .....	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แนวคิดและทฤษฎี .....	3
2.2 ปิโตรเลียม (Petroleum).....	5
2.2.1 แหล่งกำเนิดปิโตรเลียม.....	6
2.2.2 น้ำมันดิบ (crude oil) .....	7
2.2.3 กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ .....	8
2.2.3.1 การกลั่นแยก (separation or distillation).....	8
2.2.3.2 การแปรรูปหรือการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี (conversion).....	10
2.2.3.3 การปรับปรุงคุณภาพ (treating).....	10





3.3.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำมันปาล์ม.....	30
3.3.2 การเตรียมเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา (plasma reactor) .....	30
3.3.3 การเตรียมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลาสมา.....	32
3.3.4 การตรวจสอบสัญญาณทางไฟฟ้า.....	33
3.3.5 การตรวจสอบธาตุ หรือองค์ประกอบในเทคนิคพลาสมา.....	34
3.3.6 ขั้นตอนการแตกตัวน้ำมันพืชด้วยเทคนิคพลาสมา .....	35
3.3.7 การแยกตะกอนของแข็ง.....	36
3.3.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี .....	36
บทที่ 4 .....	39
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	39
4.1 การศึกษาธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดพลาสมา .....	39
4.1.1 การศึกษาธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดพลาสมาในน้ำมัน ปาล์ม.....	40
4.1.2 การศึกษาธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดพลาสมาในน้ำมัน ปาล์ม ร่วมกับการเติมน้ำปริมาณ 50% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม.....	42
4.2 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระของน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา .....	43
4.3 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการตัดน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา.....	45
4.4 การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	46
4.5 การศึกษาสัดส่วนร้อยละปริมาณของผลผลิต.....	48
4.6 การศึกษาองค์ประกอบของผลผลิต.....	48
4.6.1 การศึกษาองค์ประกอบของผลผลิตเหลวจากน้ำมันปาล์ม .....	48
4.6.2 การศึกษาองค์ประกอบของผลผลิตเหลวจากน้ำมันปาล์ม ร่วมกับการเติม น้ำปริมาณ 50% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม.....	55

4.6.3 การศึกษาเชื้อเพลิงเหลวจากองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวจากน้ำมัน ปาล์ม.....	55
4.7 การศึกษาความหนืดของผลิตภัณฑ์เหลว.....	56
4.8 การศึกษากลไกในการเกิดผลิตภัณฑ์.....	58
บทที่ 5 .....	59
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	59
5.1.1 ธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิค พลาสมา .....	59
5.1.2 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการแตกตัวน้ำมันปาล์ม .....	59
5.1.3 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา .....	59
5.1.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวโดยแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโทมิเตอร์.....	60
5.1.5 ประสิทธิภาพของพลังงานจากพลาสมาในการแตกตัวน้ำมันปาล์ม.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	60
รายการอ้างอิง .....	61
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก .....	65
ภาคผนวก ข .....	67
ภาคผนวก ค .....	68
ภาคผนวก ง.....	69
ภาคผนวก จ .....	70
ภาคผนวก ฉ .....	72
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	76

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบ .....	10
ตารางที่ 2.2 โครงสร้าง สูตรโมเลกุล และชนิดของกรดไขมันที่พบในน้ำมันพืช .....	16
ตารางที่ 2.3 ปริมาณขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ .....	17
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม .....	20
ตารางที่ 3.1 ตัวแปร และช่วงที่ใช้ในการศึกษา.....	35
ตารางที่ 3.2 ภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรมิเตอร์ .....	38
ตารางที่ 4.1 สัดส่วนร้อยละปริมาณของส่วนประกอบของสารตั้งต้นหลังกระบวนการพลาสมา ณ ภาวะต่างๆ .....	49



## สารบัญรูป

ภาพที่ 2.1 ปริมาณคิดเป็นร้อยละของน้ำมันทั่วโลกที่พบในที่หินกักเก็บที่สำคัญ ซึ่งหินทรายเป็นหินกักเก็บได้ดีกว่าหินปูน.....	6
ภาพที่ 2.2 สารไฮโดรคาร์บอนที่พบในน้ำมันดิบ .....	7
ภาพที่ 2.3 การเกิดโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์.....	12
ภาพที่ 2.5 ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ .....	13
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของ (ก.)กรดไขมันไม่อิ่มตัว และ(ข.) กรดไขมันอิ่มตัว .....	15
ภาพที่ 2.7 ส่วนของน้ำมันปาล์มดิบ และส่วนของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม .....	18
ภาพที่ 2.8 ทะลายปาล์มน้ำมันและการหีบปาล์มดิบ .....	19
ภาพที่ 2.9 กระบวนการแปรรูปชีวมวลผ่านการแตกตัวด้วยความร้อนแบบไพโรไลซิสเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงต่างๆ .....	21
ภาพที่ 2.10 ปฏิกริยาการไพโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมัน .....	22
ภาพที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความดันที่แสดงถึงหมวดหมู่ของการเกิดพลาสมาในทั้ง 3 สถานะ .....	23
ภาพที่ 2.12 รูปแบบของการเกิดพลาสมาในสารละลาย .....	24
ภาพที่ 2.13 ความหนืดและเศษส่วนน้ำหนักโมเลกุล กับเวลาที่ใช้สำหรับเทคนิคพลาสมาเชิงความเย็น.....	25
ภาพที่ 2.14 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดระหว่างการแตกตัวของน้ำด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็นจากเครื่อง optical emission spectroscopy .....	27
ภาพที่ 2.15 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดระหว่างการแตกตัวของเบนซีนด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็นจากเครื่อง optical emission spectroscopy .....	27
ภาพที่ 3.1 องค์ประกอบสำหรับเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาดังนี้ (ก.) แท่นเครื่องปฏิกรณ์เทฟลอน (ข.) อิเล็กโทรดนำไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้า (ค.) อิเล็กโทรดสำหรับการจุดพลาสมา (ง.) เซรามิค.....	31
ภาพที่ 3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบพัลส์ขนาดใหญ่.....	32
ภาพที่ 3.3 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบพัลส์ขนาดเล็ก .....	33

ภาพที่ 3.5 เครื่อง Optical Emission Spectrometer (OES) รุ่น USB2000+ และ Fiber transmission .....	34
ภาพที่ 3.6 แสดงองค์ประกอบของเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาสำหรับการตรวจสอบธาตุจากเครื่อง OES .....	34
ภาพที่ 3.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ Agilent รุ่น 7890A ต่อกับ JMS-Q1050.....	37
ภาพที่ 4.1 สีของพลาสมาที่เกิดขึ้นในการแตกตัวน้ำมันปาล์ม.....	39
ภาพที่ 4.6 แบบจำลองแผนผังกลไกในการเกิดอนุมูลอิสระของน้ำมันปาล์มด้วยพลาสมา .....	43
ภาพที่ 4.7 ชั้นเริ่มต้นในการแตกตัวน้ำมันปาล์มให้กลายเป็นอนุมูลอิสระ.....	44
ภาพที่ 4.8 การเคลื่อนที่ของอนุมูลอิสระ .....	44
ภาพที่ 4.9 การรวมตัวของอนุมูลอิสระกับโครงสร้างอื่น ณ บริเวณรอยต่อพลาสมาแก๊สของเหลว/..	45
ภาพที่ 4.10 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการพลาสมาหลังการแตกตัวน้ำมันปาล์ม.....	46
ภาพที่ 4.11 ผลิตภัณฑ์เหลว รวมทั้งของแข็งหลังกระบวนการแยก(คาร์บอน).....	46
ภาพที่ 4.12 สีของน้ำมันปาล์มเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนไป (ก.) 0 นาที (ข.) 3 นาที (ค.) 10 นาที (ง.) 15 นาที (จ.) 20 นาที.....	47
ภาพที่ 4.13 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เหลวจากการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา ที่ภาวะความถี่ของพัลส์ 150 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.55 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที.....	51
ภาพที่ 4.14 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เหลวจากการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา ที่ภาวะความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.2 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที.....	52
ภาพที่ 4.15 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เหลวจากการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา ที่ภาวะความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที.....	53
ภาพที่ 4.16 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เหลวจากการแตกตัวน้ำมันปาล์มร่วมกับการเติมน้ำ ปริมาณ 50% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม.....	54

ภาพที่ 4.17 ส่วนหนึ่งของโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโทมิเตอร์.....	56
ภาพที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของผลิตภัณฑ์ เมื่อความถี่ของพัลส์ที่เพิ่มขึ้น ณ ความต่างศักย์ที่ 0.55 กิโลโวลต์ ณ เวลา 40 นาที.....	57
ภาพที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของผลิตภัณฑ์ เมื่อความถี่ของพัลส์ที่เพิ่มขึ้น ณ ความต่างศักย์ที่ 1.5 กิโลโวลต์ ณ เวลา 40 นาที.....	57



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งพลังงานที่ใช้ดังกล่าวมาจากซากฟอสซิลเพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลังงานทางเคมี หรือเชื้อเพลิง แต่ซากฟอสซิลมีอยู่อย่างจำกัดส่งผลให้ราคาปิโตรเลียมที่ออกสู่ตลาดสูงขึ้นอย่างกำหนดไม่ได้ และใกล้เข้าสู่ภาวะขาดแคลนพลังงาน ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้สนใจพลังงานในรูปแบบใหม่ที่ไม่ใช่ปิโตรเลียม หรือเรียกว่าที่แปรรูปมาจากแหล่งวัตถุดิบธรรมชาติ โดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียนจากชีวมวล "พลังงานสีเขียว" เนื่องจากประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก จึงมีแหล่งวัตถุดิบชีวมวลหมุนเวียนจำนวนมาก ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อนำชีวมวลมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานจึงมีความสำคัญในการผลักดันการใช้ผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญของประเทศในอนาคต โดยน้ำมันพืช หรือไขมันจากสัตว์ ซึ่งจัดเป็นชีวมวลประเภทหนึ่งที่ทำให้ได้ง่าย และมีการผลิตสูงเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ จึงเหมาะแก่การนำมาเปลี่ยนให้เป็นเชื้อเพลิง หรือไฮโดรคาร์บอน การแปรรูปชีวมวลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) หรือกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในเชิงพาณิชย์ โดยหลักการของกระบวนการนี้ คือการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อน ในสภาวะไร้อากาศเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ทำให้เกิดการแตกพันธะของโมเลกุลในองค์ประกอบ จากสายโซ่พันธะเคมียาวๆ กลายเป็นสายโซ่สั้นๆ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบคาร์บอนระเหยได้ ก็กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง บางส่วนที่ถูกควบแน่นก็กลายเป็นของเหลวหรือน้ำมัน แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการไพโรไลซิสต้องเกิดในภาวะที่อุณหภูมิสูง ใช้เวลานาน และต้องมีการให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานภายนอก ตัวอย่างเช่น การให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า การเผาโดยตรง ฯลฯ ซึ่งการให้ความร้อนจากแหล่งความร้อนดังกล่าวจะมีการสูญเสียพลังงานออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีต้นทุนในการผลิตสูง [1] ในปัจจุบันมีวิธีการแตกตัวของสารอีกวิธีหนึ่งที่มีความสนใจอย่างมาก คือ วิธีการแตกตัวด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น (cold plasma) เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้พลังงานความร้อนโดยตรงจากพลังงานกระตุ้นสูงด้วยพลังงานทางไฟฟ้า (pulse power) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ใช้ความดัน ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ใช้เวลาสั้น และสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ ดังนั้นจึงมีการนำวิธีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่างๆ อย่างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น การบำบัดน้ำเสีย การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบ การผลิตนาโนคาร์บอน (nano-carbon materials) เป็นต้น การนำเอาวิธีการแตกตัวด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น (cold plasma) มาประยุกต์ใช้ในการ

ให้พลังงานความร้อนโดยตรงต่อน้ำมันพืช สำหรับการแตกตัวของสายไฮโดรคาร์บอนเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลว จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ยังไม่มีการนำมาศึกษาใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงเหลว และคาดหวังจะเป็นทางเลือกสำหรับเทคนิคใหม่ในอนาคต

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแตกตัวของน้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการแตกตัวของน้ำมันพืชด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ทำการแตกตัวน้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงเหลวในภาวะต่างๆ ด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น
2. ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากน้ำมันพืชด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานจากปิโตรเลียมมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก การขยายตัวของอุตสาหกรรม การพัฒนาด้านเทคโนโลยี และการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ซึ่งพลังงานดังกล่าวมาจากซากฟอสซิลเพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลังงานต่างๆ เช่น พลังงานทางเคมี หรือเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ แต่ซากฟอสซิลมีอยู่อย่างจำกัด รวมทั้งปริมาณน้ำมันสำรองของโลกลดลง เนื่องจากน้ำมันดังกล่าวเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป และแหล่งน้ำมันดังกล่าวมีอยู่อย่างจำกัด ไม่เพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี ส่งผลให้ราคาปิโตรเลียมที่ออกสู่ตลาดสูงขึ้นอย่างกำหนดไม่ได้ ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้กระทบต่ออุตสาหกรรม และการพัฒนาประเทศเป็นอย่างมาก เช่นเดียวกับกับในประเทศไทยที่มีแหล่งทรัพยากรธรรมชาติทางด้านพลังงานน้อย จากสถิติการใช้เชื้อเพลิงเหลวของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2554 มีการใช้น้ำมันเบนซินประมาณปีละ 7,000 ล้านลิตร และใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วประมาณปีละ 16,000 ล้านลิตร (เฉพาะภาคการขนส่งประมาณปีละ 14,000 ล้านลิตร) ซึ่งเป็นปริมาณที่มาก และอีกประมาณ 40 ปี ต่อไป (ปี พ.ศ. 2585) คาดว่าน้ำมันปิโตรเลียมจะหมดไปจากโลก ในขณะที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงและพลังงานของโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี การแสวงหาแหล่งเชื้อเพลิงและพลังงานจากทรัพยากรแหล่งใหม่ที่มีอยู่ เพื่อทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องเร่งดำเนินการโดยด่วน

ปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงการนำเอาพลังงานทดแทนมาใช้ในรูปแบบต่างๆ กัน ซึ่งพลังงานทดแทนหนึ่งที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้คือการผลิตเชื้อเพลิงจากผลิตผลทางการเกษตรหรือชีวมวล โดยการนำเอาผลิตผลทางการเกษตรที่มีอยู่แล้ว มาแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง อาทิ การผลิตเอทานอล (Ethanol) จากมันสำปะหลัง อ้อย หรือธัญพืชอื่นๆ เพื่อนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน หรือดีเซล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนโดยตรง การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ (biodiesel) จากน้ำมันพืช อาทิ น้ำมันปาล์ม น้ำมันละหุ่ง น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งได้มีผลการวิจัยและใช้งานมาแล้ว

ในหลายประเทศ นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงจากผลผลิตทางการเกษตร ทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม ยังช่วยลดมลภาวะที่เกิดขึ้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบจากสภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) [1]

การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ ที่มีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ และไขมันสัตว์ที่มีอยู่มากในธรรมชาติจึงเหมาะสมที่จะนำมาเปลี่ยนให้เป็นเชื้อเพลิง หรือไฮโดรคาร์บอน โทนการแปรรูปชีวมวลดังกล่าวมีหลายวิธี เช่น ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) โดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ร่วมกับแอลกอฮอล์ให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันไบโอดีเซล หรือการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) เป็นกระบวนการใช้พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิสูงแก่ชีวมวล ซึ่งกระบวนการนี้จะได้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการกลั่น จำพวกน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล เป็นต้น โดยที่กระบวนการแตกตัวทางความร้อนแบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้ (1) การแปรสภาพเป็นแก๊ส (gasification) (2) การเผาไหม้ (combustion) และ (3) ไพโรไลซิส (pyrolysis)

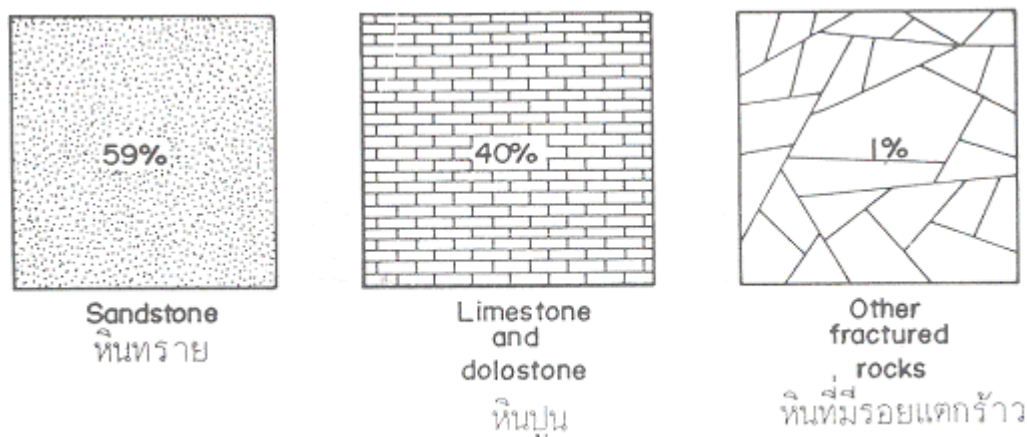
งานวิจัยที่น่าเสนอนี้กล่าวถึงกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันพืช เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนโดยการทำให้องค์ประกอบของน้ำมันพืช อันได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมัน แตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสายสั้นลง (เชื้อเพลิงเหลว) ด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น เพื่อทดแทนกระบวนการแตกตัวทางความร้อนแบบไพโรไลซิส โดยปกติระบบให้ความร้อนของกระบวนการไพโรไลซิส จะให้ความร้อนจากภายนอกสู่ภายใน ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อให้น้ำมันพืชเกิดการแตกตัว โดยการแตกตัวจะเกิดแบบไม่เจาะจง นอกจากนี้การสูญเสียพลังงานความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมยังเกิดได้ง่าย ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ผู้วิจัยจึงสนใจนำเทคนิคการจุดพลาสมาในของเหลว (liquid-phase plasma) ซึ่งเป็นวิธีการให้พลังงานความร้อนโดยตรงสู่สารตั้งต้น ด้วยพลังงานกระตุ้นที่สูง และอุณหภูมิต่ำมาใช้ทดแทน ทั้งนี้จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า สามารถนำเทคนิคการจุดพลาสมาในของเหลวมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา การควบคุมขนาดโมเลกุลของโคโตซาน การผลิตอนุภาคนาโน เป็นต้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยมีเป้าหมายเพื่อแตกตัวไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นสายไฮโดรคาร์บอนที่สั้นลงเป็นเชื้อเพลิงเหลว หรือโครงสร้างทางเคมีอื่นที่มีขนาดเล็กลง ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสด้วยเทคนิคการจุดพลาสมาในของเหลว ซึ่งต่อจากนี้จะเรียกว่า “พลาสมาแบบเย็น”

## 2.2 ปิโตรเลียม (Petroleum)

ปิโตรเลียม มีที่มาจากภาษาละตินว่า เพทรา ( Petra) หมายถึง หิน ส่วนคำว่า โอลิอุม (oleum) หมายถึง น้ำมัน ความรวมของคำว่าปิโตรเลียมจึงหมายถึง น้ำมันที่ได้มาจากหิน โดยไหลซึมออกมาเองในรูปของของเหลวหรือก๊าซ เมื่อแรกพบ คำนิยามของปิโตรเลียม คือ สารที่สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ และมีไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ ผสมกันอยู่อย่างซับซ้อน ทั้งนี้อาจอยู่ในรูปแบบของแข็ง ของเหลว ก๊าซ หรือทั้งสามแบบปะปนกัน แต่เมื่อนำมาแยกเป็นประเภทของปิโตรเลียมต่างๆ จะเรียกว่า น้ำมันดิบ (crude oil) ก๊าซธรรมชาติ (natural gas) และก๊าซธรรมชาติเหลว (condensate) ในธรรมชาติส่วนมากจะพบน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติเกิดในแหล่งปิโตรเลียมร่วมกัน มีเพียงบางแห่งที่อาจจะพบอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ ส่วนความหมายของก๊าซธรรมชาติเหลวนั้นคือก๊าซธรรมชาติที่อยู่ลึกไปในชั้นใต้ดินภายใต้อุณหภูมิและความกดดันที่สูง เมื่อขุดเจาะขึ้นมาในระดับพื้นดินระหว่างขั้นตอนการผลิต ซึ่งอุณหภูมิและความกดดันต่ำลง ทำให้ก๊าซเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลว จึงเรียกว่า ก๊าซธรรมชาติเหลว [2]

เมื่อ 2,500 ปีก่อนคริสตกาลมีนักโบราณคดีเชื่อว่า ชาวชนเผ่าบาบิโลเนียน (babylonian) ได้เริ่มใช้น้ำมันปิโตรเลียม แทนการใช้เชื้อเพลิงจากไม้ จากนั้นเมื่อ 1,000 ปีก่อนคริสตกาล มีการทำเหมืองถ่านหินและขุดเจาะบ่อก๊าซธรรมชาติที่ลึกลงไปใต้พื้นดินเป็นร้อยเมตร เป็นการค้นพบด้วยชาวจีน น้ำมันที่ขุดเจาะได้มีส่วนประกอบหลักเป็นไฮโดรคาร์บอนหลากหลายชนิดต่างๆ กัน จนมีคำกล่าวว่ามีน้ำมันจากบ่อไหนเลยในโลกที่มีการผสมผสานส่วนประกอบได้คล้ายกัน แต่ส่วนประกอบหลักๆ ก็ยังคงคล้ายคลึงกัน เห็นได้ว่าตรงข้ามกับก๊าซธรรมชาติที่มีส่วนประกอบหลักเป็น ก๊าซมีเทน (methane) นอกนั้นก็แค่ อีเทน (ethane) โพรเพน (propane) และบิวเทน (butane) ดังนั้นจึงจัดปิโตรเลียมว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากการทับถม หรือสลายตัวของซากพืชและซากสัตว์รวมกัน ซึ่งน้ำมันปิโตรเลียมดังกล่าวถูกเก็บไว้ใต้พื้นดินที่ลึก ซึ่งมีการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ทำให้โครงสร้างของน้ำมันดิบจากแต่ละแหล่งไม่เหมือนกัน ดังนั้นหินทรายคือ ตะกอนที่มีแร่ดินเหนียวที่กักเก็บน้ำมันจริง ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ซีวหนุมาหรือแร่แคลไซต์หรือพวกหินที่มีรอยแตก โดยที่หินทรายมีความสามารถยอมให้น้ำมันไหลผ่านเข้ามาได้ สำคัญกว่านั้นคือ แรงที่ใช้ยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำมันกับแร่หนุมาหรือแคลไซต์นั้น มีน้อยกว่าน้ำกับแร่ดังกล่าว น้ำมันจึงสามารถผ่านได้แต่น้ำยังยึดเกาะต่อน้ำยัดเกาะข้างเม็ดแร่อย่างมากส่วนน้ำมันอยู่ตรงกลางช่องว่างโดยไม่ยอมผสมกันและเบากว่าน้ำมาก ดังนั้นน้ำมันจึงลอยสูงขึ้นมาเจอแหล่งกักเก็บและสะสมตัวอยู่ใต้เหนือน้ำใต้ดินและโอกาสที่จะสะสมอยู่ได้ในตะกอนมีเพียง 0.1% ของน้ำมันที่เกิดมา จึงพบน้ำมันอยู่ได้มากกว่า 60% ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดจากหินตะกอนยุคใหม่ไม่เกิน 2.5 ล้านปีเป็นส่วนใหญ่คือมหายุคนอร์วิน (cenozoic) ประเทศ

ไทยเราก็เช่นกัน น้ำมันทั้งหมดเกิดอยู่ในหินยุคใหม่ๆ ทั้งนี้ จากการขุดเจาะน้ำมันพบว่ายิ่งเจาะลึกมากเท่าใด โอกาสที่จะพบน้ำมันก็น้อยลงเท่านั้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะหินยิ่งลึกมาก ความพรุนยิ่งน้อยลง อัดตัวกันมากขึ้นและเกิดแรงดันใหม่ น้ำมันเคลื่อนไปข้างบนได้มาก ภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ปริมาณคิดเป็นร้อยละของน้ำมันทั่วโลกที่พบในที่หินกักเก็บที่สำคัญ ซึ่งหินทรายเป็นหินกักเก็บได้ดีกว่าหินปูน

## 2.2.1 แหล่งกำเนิดปิโตรเลียม

น้ำมันและก๊าซธรรมชาติมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซที่มีน้ำหนักเบากว่าน้ำ ซึ่งน้ำมันที่ผลิตได้จากบ่อน้ำมัน (oil pools) จะหมายถึงแหล่งสะสมน้ำมันและก๊าซธรรมชาติใต้ดินที่มีตัวปิดกั้นทางธรณีวิทยา บ่อน้ำมันจึงมีความหมายว่า ส่วนของหินที่มีน้ำมันบรรจุอยู่เต็มช่องว่างในหินนั้น ทำให้น้ำมันในบ่อกักเก็บหลายๆบ่อที่มีโครงสร้างคล้ายๆ กัน หรือบ่อเดียวโดยแยกจากบ่ออื่นที่ไหลออกไป ถูกเรียกรวมๆ ว่า แหล่งน้ำมัน (oil field) แหล่งน้ำมันจึงอาจประกอบด้วยบ่อที่อยู่เรียงๆ กัน อยู่ข้างๆ กัน หรืออยู่บนล่างตามแนวตั้งก็ได้ ในปัจจุบันตัวแปรควบคุมการสะสมน้ำมันมีอยู่ด้วยกัน 5 ประการด้วยกันคือ หินอุ้มน้ำมันหรือหินกักเก็บ (reservoir rock) ที่ทำหน้าที่ให้น้ำมันมายึดเกาะ ซึ่งเดิมมีคุณสมบัติคือ จะต้องมีความพรุนเพียงพอที่จะให้น้ำมันไหลผ่านได้ หินกักเก็บนี้ต้องถูกปิดทับด้วยชั้นหินที่ไม่ยอมให้น้ำมันไหลซึมออกไปซึ่งเรียกว่า หินปิดกั้น (roof rock) เช่น หินดินดาน ทำให้น้ำมันลอยตัวอยู่เหนือน้ำบาดาลโดยไม่หนีหายไป หินทั้ง 2 ประเภทนี้ประกอบเป็นโครงสร้าง หรือรูปแบบการกักเก็บน้ำมัน (trap หรือ trap rock) ที่แตกต่างกัน วิธีการกักเก็บที่ดีไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะมีน้ำมันได้ถ้าไม่มีหินที่เป็นต้นกำเนิดน้ำมัน เรียกว่า หินกำเนิด (source rock) ถ้าเกิดการเสียรูปโครงสร้าง (structural deformation) เมื่อสร้างรูปแบบการกักเก็บก็ต้องเกิดขึ้นก่อนที่น้ำมันจะไหลออกจากหินกักเก็บทั้งหมด

## 2.2.2 น้ำมันดิบ (crude oil) [3]

น้ำมันดิบเป็นสารที่ประกอบกันอย่างซับซ้อน โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่ได้แก่ สารไฮโดรคาร์บอนประเภทต่างๆ จากโมเลกุลที่มีขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ และยังประกอบไปด้วยสารอินทรีย์อีกหลายชนิด เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบดังกล่าวที่อยู่ในน้ำมันดิบแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ พาราฟิน (paraffins or alkanes) แนฟทีน (naphthenes or cycloalkanes) และอะโรมาติก (aromatic) ดังแสดงในภาพที่ 2.2

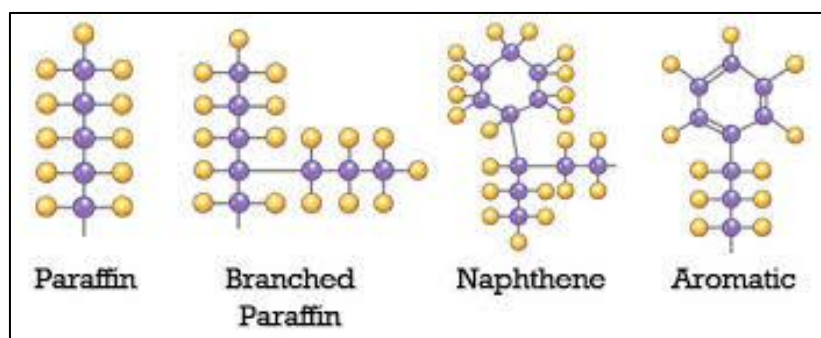
1. พาราฟิน (paraffins or alkanes) คือสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว มีสูตรทางเคมีเป็น  $C_nH_{2n+2}$  โดย n เป็นจำนวนอะตอมของคาร์บอนโมเลกุลในโมเลกุล แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- พาราฟินที่มีแขนตรง (n-Paraffins) แบ่งแยกไฮโดรคาร์บอนประเภทนี้ตั้งแต่  $C_1$  ถึง  $C_{33}$  ออกจากน้ำมันดิบ พาราฟินที่มีแขนตรงมีอยู่ค่อนข้างมากในช่วง  $C_{10}$  ถึง  $C_{14}$  ซึ่งเป็นช่วงของน้ำมันก๊าด (kerosene) และในช่วง  $C_{14}$  ถึง  $C_{18}$  ซึ่งเป็นช่วงของน้ำมันดีเซล (diesel)

- ไอโซพาราฟินและพาราฟินแบบกิ่ง (isoparaffins and branched paraffins) โดยไอโซพาราฟินคือ พาราฟินที่มีหมู่เมทิลต่ออยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และพาราฟินแบบกิ่งคือ พาราฟินที่มีกิ่งหรือสาขาแตกออกจากสายโซ่โมเลกุลหลักซึ่งมีหมู่แอลคิลต่ออยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งต่างๆ ที่ไม่ใช่ตำแหน่งที่ 2 และมักเป็นหมู่เมทิลที่มากกว่าหมู่แอลคิลอื่นๆ ซึ่งสามารถแยกไฮโดรคาร์บอนประเภทนี้ตั้งแต่  $C_4$  ถึง  $C_{33}$

2. แนฟทีน (naphthenes or cycloalkanes) คือสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นวง เหมาะสำหรับกลั่นเป็นน้ำมันแก๊สโซลีน (Gasoline) เพราะมีค่าออกเทนสูง ซึ่งมีโครงสร้างต่างๆ แนฟทีนที่พบในปิโตรเลียมส่วนใหญ่เป็น วงขนาดห้าเหลี่ยมและหกเหลี่ยม

3. อะโรมาติก (aromatic) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีวงของคาร์บอน 6 อะตอมยึดต่อกันด้วยพันธะคู่และพันธะเดี่ยวสลับกัน อาจมีวงแหวนหนึ่งวงหรือมากกว่าก็ได้ มักพบในส่วนกลั่นหนัก เช่น แก๊สออยล์ (gas oil) น้ำมันหล่อลื่น (lubricating oil) และกากน้ำมัน (residue)



ภาพที่ 2.2 สารไฮโดรคาร์บอนที่พบในน้ำมันดิบ

### 2.2.3 กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ

กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ หมายถึง การย่อยสภาพสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันดิบ ให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่างๆ ตามความต้องการ โดยมีกระบวนการก่อนการกลั่นเพื่อเตรียม น้ำมันดิบและแยกส่วนที่ปะปนอื่นๆออก ในการกลั่นแยกน้ำมันดิบนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์ออกเป็นส่วนๆ มี จุดเดือดใกล้เคียงกัน แล้วนำน้ำมันเหล่านี้มาเข้ากระบวนการต่างๆ และแปรสภาพเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน [4]

ก่อนเข้าสู่กระบวนการกลั่นน้ำมันจะต้องผ่านกระบวนการ Crude Desalting เพื่อกำจัดสารพวกเกลืออนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และของแข็ง จำพวก ทราฮิน คราบสนิม รวมทั้งน้ำที่สามารถแตกตัวเป็นกรดกัดกร่อนอุปกรณ์ แล้วรวมตัวกลายเป็นตะกอนอุดตันส่งผลไปสู่ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนเสียหาย และทำลายตัวเร่งปฏิกิริยา วิธีการกำจัดสารเกลืออนินทรีย์ดังกล่าวนี้ ทำได้โดยให้ความร้อนแก่น้ำมันดิบ และเติมน้ำร้อนลงไปผสม สารจะเกิดเป็นอิมัลชัน (Emulsion) อนุภาคเกลือของโลหะจะละลายในน้ำ สารอิมัลชันจะแตกตัวเนื่องจากผ่านไปยังสนามไฟฟ้าสถิต จากนั้นน้ำที่เกลือละลายอยู่จะตกสู่ด้านล่าง และถูกแยกออกจากส่วนของน้ำมันดิบ โดยทั่วไปกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญดังนี้

#### 2.2.3.1 การกลั่นแยก (separation or distillation)

เป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดที่ทำหน้าที่แยกน้ำมันดิบในแต่ละช่วงตามจุดเดือด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่แยกได้สามารถนำมาใช้งานโดยตรง หรือเป็นส่วนผสมในกระบวนการอื่นๆต่อไป วิธีการกลั่นแยกมีหลากหลายวิธีดังต่อไปนี้

1. การกลั่นลำดับส่วน (fractional distillation) เป็นวิธีการกลั่นน้ำมันแบบพื้นฐานที่สามารถแยกน้ำมันดิบออกเป็นส่วน (fraction) ต่างๆ โดยแบ่งตามค่าอุณหภูมิจุดเดือด (boiling point) ของน้ำมันดิบที่แตกต่างกันออกไปและเป็นผลให้ส่วนต่างๆของน้ำมันดิบนั้นมีจุดควบแน่น (condensation point) ที่แตกต่างกันออกไปด้วย น้ำมันดิบจากถังจะถูกสูบผ่านเข้าเตาเผา (furnace) ณ อุณหภูมิสูงมากพอที่จะทำให้องค์ประกอบในน้ำมันดิบกลายเป็นไอน้ำมัน จากนั้นจะถูกส่งต่อเข้าหอกกลั่นลำดับส่วน (fractionating tower) ที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกมีขนาดความสูงประมาณ ๓๐ เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ ๒ เมตร ภายในหอกกลั่นถูกแบ่งออกเป็นชั้นต่างๆตามแนวราบ โดยมีแผ่นกั้นแต่ละชั้นลักษณะคล้ายถาดกลมและมีการเจาะรูเอาไว้ เพื่อให้ไอน้ำร้อนสามารถผ่านทะลุขึ้นไปด้านบนของหอกกลั่นได้ และมีท่อต่อจากด้านบนของหอกกลั่น เพื่อนำน้ำมันที่กลั่นตัวแล้วออกไปจากหอกกลั่นเมื่อไอน้ำมันดิบที่ร้อนถูกส่งให้เข้าไปสู่หอกกลั่นทางท่อ ไอน้ำจะเคลื่อนตัวขึ้นไปสู่ส่วนบนสุด

ของหอกลิ้น และในขณะที่เคลื่อนตัวขึ้นไปนั้นไอของน้ำมันจะเย็นตัวลง และเกิดการควบแน่นในแต่ละส่วนของไอน้ำมันไปเรื่อยๆ จากนั้นน้ำมันจะถูกกลั่นเป็นของเหลวที่ระดับอุณหภูมิของการควบแน่นต่างๆในหอกลิ้น น้ำมันส่วนที่เบากว่า (lighter fraction) ตัวอย่างเช่น น้ำมันเบนซิน (petrol) และพาราฟิน (paraffin) เนื่องจากมีค่าอุณหภูมิควบแน่นต่ำจนกลายเป็นของเหลว ส่วนที่ค้างอยู่บนแผ่นกั้นชั้นกลางๆของหอกลิ้นเรียกว่า น้ำมันส่วนกลาง (medium fraction) ตัวอย่างเช่น ดีเซล (diesel) น้ำมันแก๊ส (gas oils) และน้ำมันเตา (fuel oils) และบางส่วนของที่ถูกควบแน่น กลั่นตัวในระดับกลางของหอกลิ้นซึ่งมีอุณหภูมิสูง และจะถูกระบายออกไปจากฐานของหอกลิ้นเรียกว่า น้ำมันหนัก (heavy fraction) ตัวอย่างเช่น น้ำมันเตา ข้อเสียของกระบวนการนี้ คือจะได้น้ำมันส่วนที่เบาในสัดส่วนของปริมาณที่น้อยซึ่งน้ำมันส่วนนี้มีคุณค่าทางเศรษฐกิจที่สูงพอสมควร

2. การกลั่นแบบเทอร์โมลแครกกิง (thermal cracking) เป็นกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันเบนซิน (petrol) ที่สามารถเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 50 ปัจจุบันกระบวนการนี้มีกรรมวิธีในการกลั่นจากการนำน้ำมันดิบมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาฟาเรนไฮต์ ผนวกความกดดันมากกว่า 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่สภาวะดังกล่าวทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่เกิดการแตกตัว หรือแยกตัวเป็นน้ำมันส่วนเบา หรือสารไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง รวมถึงจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโครงสร้างน้อยลงเช่นกัน และน้ำมันส่วนเบาที่มีสภาพเป็นไอร้อนจะถูกปล่อยเข้าสู่หอกลิ้นเพื่อควบแน่นและกลั่นตัวเป็นของเหลวต่อไป

3. การกลั่นแบบคาตาลิติกแครกกิง (catalytic cracking) กระบวนการกลั่นแบบนี้ได้ถูกพัฒนาจากกระบวนการกลั่นข้างต้นที่กล่าวมา เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณของน้ำมันที่กลั่นรวมถึงการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากการกลั่น โดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ใส่ลงในน้ำมันส่วนกลางเพียงเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพที่ทำให้โมเลกุลของน้ำมันแยกตัว หรือแตกตัวแต่ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของน้ำมัน ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว อยู่ในรูปของผงแพลทินัม (platinum) หรือดินเหนียว (clay) ที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมาก เข้าทำปฏิกิริยาในการสัมผัสกับไอร้อนของน้ำมันในเตาปฏิกรณ์ (reactor) ส่งผลให้ไอของน้ำมันแยกตัว หรือแตกตัวกลายเป็นน้ำมันส่วนที่เบา เช่น น้ำมันเบนซิน (petrol) จากนั้นเกิดการควบแน่น และกลั่นตัว โดยที่อะตอมของคาร์บอนและมลทินไว้กับอนุภาคของดินเหนียว ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคาร์บอนเคลือบอยู่จะถูกปล่อยออกจากเตาปฏิกรณ์เข้าสู่รีเจนเนอเรเตอร์ (regenerator) ซึ่งคาร์บอนจะถูกเผาไหม้ในอากาศ กระบวนการกลั่นแบบนี้จึงเป็นการกลั่นแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีเป็นตัวช่วยในการแยกโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนต่างๆ จากน้ำมันดิบออกจากกันและทั้งยังช่วยกำจัดมลทินต่างๆ

4. การกลั่นแบบโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) เป็นกระบวนการกลั่นแบบแครกกิง (cracking) ที่ช่วยปรับปรุงให้ปริมาณของน้ำมันเบนซินมากขึ้น หลักการโดยการเพิ่มปริมาณของน้ำมันเบนซินจากน้ำมันส่วนที่เบาที่สุด (lightest fractions) จากการแยกน้ำมันส่วนที่หนักกว่า นั่นก็คือแก๊ส

ซึ่งทั่วไปแก๊สเหล่านี้จะถูกเผาทิ้งไปเพื่อนำมารวมกันเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น และสามารถเพิ่มปริมาณน้ำมันเบนซินที่กลั่นได้รวมไปถึงการเพิ่มปริมาณออกเทน (octane content) ด้วย

ตารางที่ 2.1 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบ [5]

ผลิตภัณฑ์ที่ได้	จุดเดือด (° C)	สถานะ	จำนวนอะตอมของคาร์บอน	ประโยชน์และการนำไปใช้
แก๊สปิโตรเลียม	ต่ำกว่า 30	แก๊ส	$C_1 - C_4$	ทำสารเคมี วัสดุสังเคราะห์ และเชื้อเพลิง
แนฟทาเบา	ต่ำกว่า 70	ของเหลว	$C_5 - C_6$	น้ำมันเบนซิน
แนฟทาหนัก	70 - 170	ของเหลว	$C_6 - C_{10}$	ทำสารเคมี น้ำมันเบนซิน
น้ำมันก๊าด	170 - 250	ของเหลว	$C_{10} - C_{14}$	เชื้อเพลิงเครื่องบิน และตะเกียง
น้ำมันดีเซล	250 - 340	ของเหลว	$C_{14} - C_{19}$	เชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซล
น้ำมันหล่อลื่น	340 - 500	ของเหลว	$C_{19} - C_{35}$	น้ำมันหล่อลื่น
ไซพาราฟิน	340 - 500	ของแข็ง	$C_{19} - C_{35}$	เทียนไข เครื่องสำอาง ยาขัดมัน และวัตถุดิบการผลิตผงซักฟอก
น้ำมันเตา	สูงกว่า 500	ของเหลว	มากกว่า $C_{35}$	เชื้อเพลิงเครื่องจักร
บิทูเมน	สูงกว่า 500	ของแข็ง	มากกว่า $C_{35}$	ทำยางมะตอย ทำวัสดุกันซึม

### 2.2.3.2 การแปรรูปหรือการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี (conversion)

เป็นหลักการที่ใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง หรือโมเลกุลของน้ำมันให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

### 2.2.3.3 การปรับปรุงคุณภาพ (treating)

เป็นขั้นตอนในการกำจัดสิ่งที่เป็นเปื้อนออกจากน้ำมันหลังกระบวนการแปรรูป โดยเฉพาะสารกำมะถัน ที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และเมื่อเทียบสารที่ไวต่อปฏิกิริยาในส่วนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน กำมะถันก็ไวมากกว่าสารอื่นๆ ซึ่งสามารถแยกได้โดยใช้วิธีการดูดซับเฉพาะสาร (selective Adsorption) นอกจากนี้ยังมี ส่วนประกอบของกำมะถันที่เรียกว่า เมอร์แคปแทน เป็นสารที่มีกลิ่นเหม็น ซึ่งสามารถเปลี่ยนองค์ประกอบกลายเป็นไดซัลไฟด์ ซึ่งไม่เหม็นและไม่กัดกร่อน หรือกำจัดออกไปด้วยกระบวนการที่เรียกว่า Sweetening process



### 2.2.3.4 การผสม (blending)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ คือ นำน้ำมันชนิดต่างๆมาผสม ปรงแต่ง หรือเติมสารที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด เช่น ผสมน้ำมันเบนซินเพิ่มค่าออกเทน หรือผสมน้ำมันเตาที่ขึ้นเหนียวกับน้ำมันเตาที่เบากว่าเพื่อให้ได้ความหนืดตามที่ต้องการ

## 2.3 พลังงานทดแทน

พลังงานทดแทน หรือ พลังงานทางเลือก คือพลังงานที่กำลังถูกนำมาใช้สำหรับการทดแทนพลังงานแบบเดิมหรือเป็นพลังงานทางเลือกใหม่นอกจากที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากว่าพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้หรืออาจจะเป็นเพราะมีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากจนเกินไป และทำให้เกิดภาวะปัญหาโลกร้อน แต่เดิมพลังงานที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ผลิตได้จากฟอสซิล เช่น ถ่านหิน, ปิโตรเลียม และ แก๊สธรรมชาติ ซึ่งปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมหาศาล และมีมลพิษค่อนข้างสูง [6]

ในช่วงนี้สำหรับกระแสนิยมของพลังงานทดแทนหรือ พลังงานทางเลือก เป็นประเภทหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างมาก นั่นหมายถึง พลังงานหมุนเวียน (renewal energy) คือพลังงานที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มีให้ใช้ตลอดเวลาไม่มีหมด หรือสามารถใช้เวลาน้อยในการสร้างขึ้นมาใหม่ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล พลังงานไฮโดรเจน และพลังงานที่ได้มาจากพืชที่สามารถปลูกขึ้นใหม่ได้เรื่อยๆ เช่น ขยะ ก๊าซชีวภาพ เชื้อเพลิงชีวภาพ และ พืชน้ำมันปาล์ม

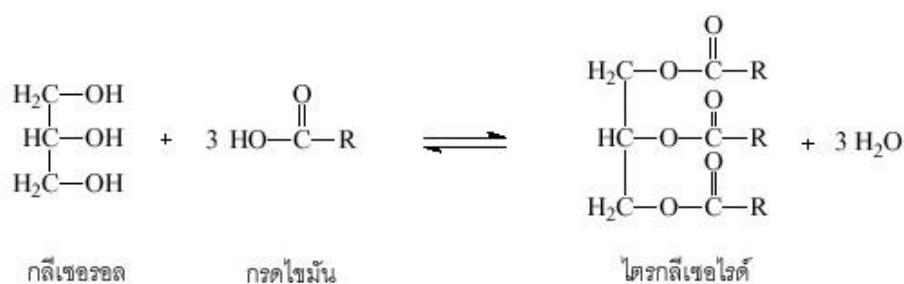
## 2.4 น้ำมันพืช

### 2.4.1 องค์ประกอบน้ำมันพืช

น้ำมันพืช (vegetable oil) คือ น้ำมันที่เป็นผลผลิตได้จากพืชต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ดอกคำฝอย มะพร้าว สบู่ดำ เมล็ดทานตะวัน ละหุ่ง เมล็ดเรพ ปาล์มน้ำมัน ฯลฯ โครงสร้างของน้ำมันพืชทั่วไปมีสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีความหนืดสูงและโครงสร้างเป็น  $-C_3H_5$  เชื่อมต่อกับกรดไขมัน โดยมีองค์ประกอบชนิดต่างๆ กัน และมีปริมาณกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างมากถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นน้ำมันพืชแต่ละชนิดจึงมีสมบัติแตกต่างกัน [7]

## 2.4.2 ไตรกลีเซอไรด์

ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หรืออาจเรียกว่า ไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) เป็นสารในกลุ่มลิพิด (lipid) ที่เป็นส่วนประกอบหลักของน้ำมันและไขมันที่ใช้เป็นอาหารโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของกรดไขมัน (fatty acid) 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอสเทอร์ แสดงดังภาพที่ 2.3 โดยที่กรดไขมันทั้งสามโมเลกุล (R1, R2, R3) ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ เหมือนกันทั้งหมดจะเรียกว่า simple triglyceride หรือถ้าหากแตกต่างกัน จะเรียกว่า mixed triglyceride [1, 8]

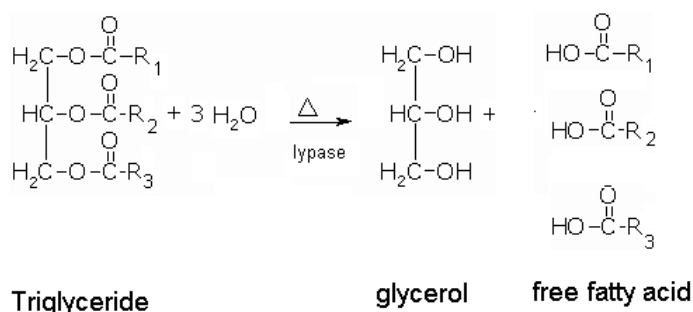


ภาพที่ 2.3 การเกิดโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

### 2.4.2.1 ปฏิกริยาไตรกลีเซอไรด์

#### 2.4.2.1.1 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

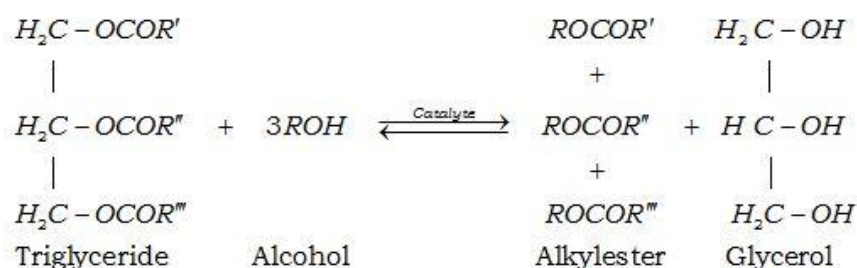
คือปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ด้วยโมเลกุลของน้ำ ทำให้ได้กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเอนไซม์ลิเพส (lipase) ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด (acid value) เพิ่มขึ้นโดยมีเอนไซม์ลิเพส (lipase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้มีค่าความเป็นกรด (acid value) สูงขึ้น แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์

### 2.4.2.1.2 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification)

คือปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับดัดแปลงโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันหรือไขมัน มีเอนไซม์ลิเพส (lipase) สำหรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแปลงชนิด หรือตำแหน่งของกรดไขมัน (fatty acid) ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่เรียกว่า structure triglyceride แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

เนื่องจากไตรกลีเซอไรด์เป็นสารประกอบที่อยู่ในน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ที่มีปริมาณมากในธรรมชาติ จึงเหมาะสมที่จะนำมาเปลี่ยนให้กลายเป็นเชื้อเพลิง หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน [1] ในการแปรรูปชีวมวลมีหลายวิธี ตัวอย่างเช่น 1.การทำไฮโดรทรีเมนต์ของเมล็ดพืชน้ำมัน (hydrotreated crop oil) ที่ผ่านปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ณ ภาวะอุณหภูมิและความดันสูง 2.การสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปซ์ (Fischer-Tropsch synthesis) เป็นกระบวนการใช้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนแก๊สสังเคราะห์ให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 3.ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) ที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ให้ได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล 4.การแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานความร้อน ณ อุณหภูมิสูงแก่ชีวมวลซึ่งผลิตภัณฑ์จากกระบวนการนี้จะได้น้ำมันที่กลั่นแล้ว คือ น้ำมันเบนซิน (gasoline) เพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 50 ซึ่งปัจจุบัน กระบวนการกลั่นแบบนี้ เกิดขึ้นโดยการเอาน้ำมันดิบมาทำให้เกิดการแตกตัวในถัง ที่อุณหภูมิสูงกว่า 537.78 องศาเซลเซียส ที่ความกดดันมากกว่า 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่สภาวะอุณหภูมิสูงและความกดดันสูงทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดการแยกตัวหรือแตกตัวเป็นน้ำมันส่วนเบาหรือเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง รวมทั้งมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนน้อยลง และน้ำมันส่วนเบาที่มีสภาพเป็นไอร้อนก็จะถูกปล่อยให้เข้าไปในหอกลั่นเพื่อควบแน่นและกลั่นตัวเป็นของเหลวต่อไป โดยแบ่งเป็น 3 แบบดังนี้ แกซิฟิเคชัน (gasification) ไพโรไลซิส (pyrolysis) และการเผาไหม้ (combustion)

### 2.4.3 กรดไขมัน

กรดไขมัน (fatty Acid) เป็นโซ่ไฮโดรคาร์บอนแบบไม่มีซิวที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน ตั้งแต่ 4-24 อะตอม ปลายข้างหนึ่งประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, R-COOH) ซึ่งกรดไขมันที่พบในลิพิดของพืชและสัตว์มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ อยู่ระหว่าง 14-22 คาร์บอนอะตอม โดยอาจเป็นโซ่ยาวอิ่มตัว (saturated fatty acid) หรือ ไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 คู่ (monounsaturated fatty acid) หรือมากกว่า 1 คู่ (polyunsaturated fatty acid) โดยแต่ละชนิดที่มีความยาวของสายโซ่ ตำแหน่ง และจำนวนของพันธะเดี่ยวหรือพันธะคู่แตกต่างกันจึงมีความอิ่มตัวที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นกรดไขมัน จึงแบ่งเป็น 2 ประเภท [7, 9, 10]

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่มีพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนในห่วงโซ่คาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 2.6 (ก) มีสูตรทั่วไป คือ  $C_nH_{2n+1}COOH$  โดยจุดหลอมเหลวของกรดไขมันอิ่มตัวจะสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากัน มีความเสถียรสูง จึงไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และไม่เกิดกลิ่นเหม็นหืน ซึ่งชนิดของกรดไขมันอิ่มตัวส่วนมากที่พบในน้ำมันพืช คือ กรดปาล์มมิติก และกรดสเตียริก

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) คือ กรดไขมันบางพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนในห่วงโซ่คาร์บอนเป็นพันธะคู่ ซึ่งอาจมีมากกว่า 1 ตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acid) แสดงดังภาพที่ 2.6(ข) โดยทั่วไปน้ำมันพืชจะมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัวส่วนมากที่พบในน้ำมันพืช คือ กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิก โดยทั่วไปกรดไขมันจะมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนประกอบเป็นเลขคู่ และส่วนใหญ่กรดไขมันที่พบในน้ำมันพืชจะมีจำนวนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอม และกรดไขมันในน้ำมันพืชที่พบได้ทั่วไป ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งชนิดเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อน ดังตารางที่ 2.2 แสดงโครงสร้าง และสูตรโมเลกุลของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ และตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ พบว่าความแตกต่างทั้งประเภทและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันพืชแต่ละชนิดส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันพืช สมบัติทางกายภาพและทางเคมีจึงขึ้นอยู่กับกรดไขมันแต่ละชนิดที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนและชนิดของพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนแตกต่างกัน



ตารางที่ 2.2 โครงสร้าง สูตรโมเลกุล และชนิดของกรดไขมันที่พบในน้ำมันพืช [11]

ชนิดของกรดไขมัน	โครงสร้าง	สูตรโมเลกุล
Lauric Acid	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Myristic Acid	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Palmitic Acid	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Stearic Acid	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Oleic Acid	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Linoleic Acid	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolenic Acid	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$
Arachidonic Acid	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$
Behenic Acid	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$
Erucic Acid	22:1	$C_{22}H_{42}O_2$
Lignoceric Acid	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$

ตารางที่ 2.3 ปริมาณขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [11]

น้ำมันพืช	กรดไขมันอิ่มตัว			กรดไขมันไม่อิ่มตัว						
	C12:0 <sup>a</sup>	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C22:0	C22:1
น้ำมันมะพร้าว	44-51	13-21	7.5-10	1-3.5	5-8.2	1-2.6	0-0.2	-	-	-
น้ำมันข้าวโพด	-	0-0.3	7-16.5	1-3.3	13-37	5-23	26-60	-	-	-
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	-	0.6-1.5	22-26	2.1-5	14-21	47-58	-	-	-	-
น้ำมันมะกอก	-	0-1.3	7.0-20	0.5-5	55-85	4-21	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม	-	0-2.4	32-46	4-6.3	36-53	6-12	-	-	-	-
น้ำมันถั่วลิสง	-	0.0-5	6-14	1.9-6	36-67	13-43	-	1.32	2.52	1
น้ำมันงา	-	-	7.2-9.2	5.8-7.7	35-46	35-48	-	-	-	-
น้ำมันถั่วเหลือง	-	-	2.3-13	2.4-6	18-31	49-57	2-10	-	-	0.3
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	-	-	3.5-7.6	1.3-6.5	14-43	44-74	-	-	-	-

หมายเหตุ : a เลขหน้า หมายถึง จำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมัน,  
เลขหลัง หมายถึง จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน

## 2.5 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน มีชื่อสามัญว่า ปาล์มน้ำมัน (Oil palm) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq. มีถิ่นกำเนิดในแถบแอฟริกาตะวันตก ชาวโปรตุเกสนำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกในทวีปเอเชีย แหล่งปลูกสำคัญคือ มาเลเซีย อินโดนีเซีย ไนจีเรีย ไทย สายพันธุ์ปลูกเป็นการค้าใช้ลูกผสมเทเนอรา (ดูรา × ฟิสิเฟอรา) ความสูง 15 - 18 เมตร ขนาดลำต้น 45 - 60 เซนติเมตร สีผลสุกแดงอมม่วง - ส้ม รูปร่างผลกลม - รูปไข่ ผลผลิตน้ำมัน 640 - 800 กิโลกรัม/ไร่ อายุการเก็บเกี่ยวตลอดการปลูก 20 - 30 ปี [12, 13]



ภาพที่ 2.7 ส่วนของน้ำมันปาล์มดิบ และส่วนของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชน้ำมันยืนต้นขนาดใหญ่ ที่สามารถให้น้ำมันต่อไร่สูงสุดเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น เมื่อเทียบราคาค่าต้นทุนการผลิตน้ำมันในกลุ่มพืชที่ให้น้ำมันที่สำคัญ 4 ชนิด คือ ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง Rapeseed และทานตะวัน พบว่าน้ำมันปาล์ม (crude palm oil) มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดคือกิโลกรัมละ 10 - 11.50 บาท ในขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองมีต้นทุนการผลิตกิโลกรัมละ 18 บาท น้ำมันปาล์ม จึงมีต้นทุนถูกกว่าน้ำมันถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน (น้ำมันปาล์มดิบ) มีปริมาณการผลิตน้ำมัน 512 กิโลกรัมต่อไร่ ได้จากส่วนของเนื้อปาล์ม (Palm Fruit) ส่วนปาล์มน้ำมัน (น้ำมันเมล็ดใน) มีปริมาณการผลิตน้ำมัน 73 กิโลกรัมต่อไร่ ได้จากส่วนของน้ำมันที่อยู่ภายในเมล็ดของปาล์ม (Palm Kernel) ผลผลิตนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ การผลิตเป็นน้ำมันพืช ใช้ทำสบู่ ใช้ในอุตสาหกรรมบะหมี่สำเร็จรูป ใช้ทำครีมเทียม ใช้ทำนมข้นหวานและจืด ใช้ทำเนยขาว เนยเทียม และเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทน





ภาพที่ 2.8 ทะลายปาล์มน้ำมันและการหีบปาล์มดิบ

## 2.6 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์ม ( palm oil) สกัดได้จากปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่สามารถให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6 - 0.8 ตัน/ไร่/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น และน้ำมันปาล์มยังมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันยังเป็นพืชที่ปลอดจากสารตัดแต่งพันธุกรรม (GMOs) ปัจจุบันน้ำมันปาล์มเป็นพืชที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกร และรายได้โดยรวมของประเทศ [14] เนื่องจากสามารถปลูกปาล์มน้ำมันได้เองในประเทศ และยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกหลายด้าน โดยทั่วไปน้ำมันปาล์มดิบมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ คือ

- 1) Glycerides ประมาณ 95 %
- 2) Fatty acids ประมาณ 3-5%
- 3) Minor & Trace component ประมาณ 1% ซึ่งประกอบไปด้วย phytonutrient ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและสารอื่นๆ เช่น carotenoid, tocopherols, tocotrienols, sterols, triterpene alcohols, phospholipids, glycolipids, terpenic hydrocarbons, waxes และ impurities

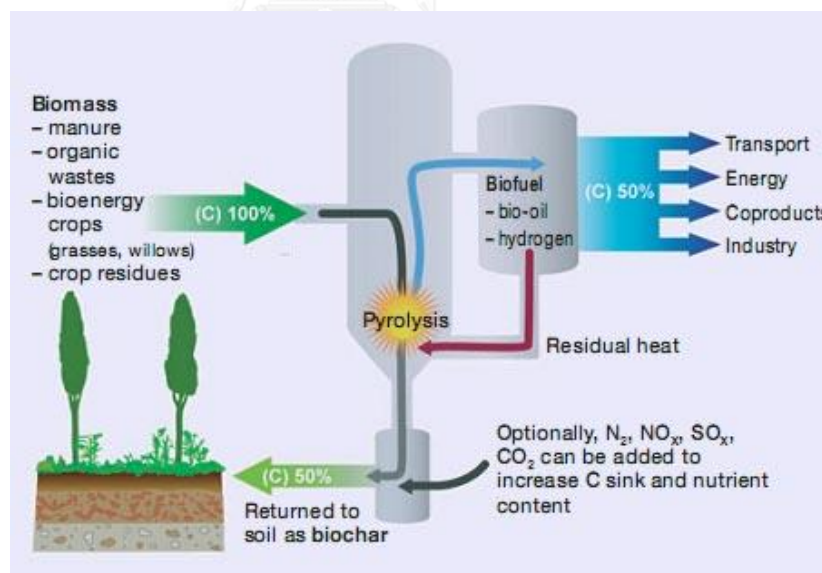
หลังจากกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมัน สามารถแบ่งน้ำมันปาล์มตามวัตถุดิบที่ใช้สกัดเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ประมาณ 51-58% ที่เหลือเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ดังนั้นจึงนับได้ว่าเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม [14]

กรดไขมัน	น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil)	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil)
กรดไขมันอิ่มตัว	50%	82%
C 6:0 (caproic acid)	-	3.4 - 5.9
C 8:0 (caprylic acid)	-	3.3 - 4.4
C 10:0 (capric acid)	0.1 - 0.4	46.3 - 51.1
C 12:0 (lauric acid)	1.0 - 1.4	14.3 - 16.8
C 14:0 (myristic acid)	40.9 - 47.5	6.5 - 8.9
C 16:0 (palmitic acid)	3.8 - 4.8	1.6 - 2.6
C 18:0 (stearic acid)	0 - 0.8	-
C 20:0 (arachidic acid)	-	-
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	50%	18%
C 16:1 (palmitoleic acid)	36.4 - 41.2	13.2 - 16.4
C 18:1 (oleic acid)	9.2 - 11.6	2.2 - 3.4
C 18:2 (linoleic acid)	0 - 0.5	-
C 18:3 (linolenic acid)	-	0 - 0.9
Others		

## 2.7 กระบวนการไพโรไลซิส

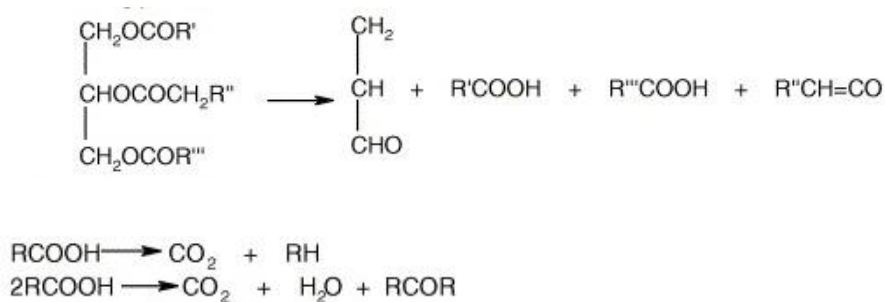
กระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อนในภาวะไร้อากาศเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยเกิดการแตกพันธะของโมเลกุลในองค์ประกอบ จากสายโซ่พันธะเคมียาวๆ กลายเป็นสายโซ่สั้นๆ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบคาร์บอนระเหยได้ ก็กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง บางส่วนที่ถูกควบแน่นก็กลายเป็นของเหลวหรือน้ำมัน โดยอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการจะสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับภาวะของประเภทไพโรไลซิสมี 3 แบบดังนี้ 1.แกซิฟิเคชัน (gasification) ผลิตรัณฑ์หลักที่ได้มีสถานะเป็นแก๊ส 2.ไพโรไลซิสแบบช้า (slow pyrolysis) ผลิตรัณฑ์ที่ได้จะมีสัดส่วนแก๊สมากกว่าของเหลวเนื่องจากเกิดที่ภาวะอุณหภูมิต่ำ และเกิดปฏิกิริยานาน 3.ไพโรไลซิสแบบเร็ว (fast pyrolysis) เกิดที่ภาวะอุณหภูมิสูง ในเวลาอันสั้น ทำให้ได้ผลิตรัณฑ์หลักเป็นของเหลว แสดงดังภาพที่ 2.9 ดังนั้นไพโรไลซิสแบบเร็วจึงเป็นประเภทที่ถูกนำมาใช้กับงานวิจัยนี้ แต่การทำแตกตัวทางความร้อนแบบไพโรไลซิสนี้ยากที่จะกำหนดหรือควบคุมให้ได้ผลิตรัณฑ์ตามที่ต้องการเนื่องด้วยความหลากหลายทางปฏิกิริยาและผลิตรัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ (natural fatty acid) และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน [15-17]



ภาพที่ 2.9 กระบวนการแปรรูปชีวมวลผ่านการแตกตัวด้วยความร้อนแบบไพโรไลซิสเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงต่างๆ [16]

ในงานวิจัยต่างได้ทำการศึกษาการไพโรไลซิสของไตรกรีเซอไรด์ผ่านวิธีการแตกตัวทางความร้อน เพื่อใช้กับงานวิจัยทางด้านอาหาร และการเปลี่ยนน้ำมันพืช หรือไขมันจากสัตว์เป็นเชื้อเพลิง

ตัวอย่างน้ำมันพืชที่นำมาแปรรูป เช่น น้ำมันดอกทานตะวัน (sunflower oil) น้ำมันดอกคาโนลา (canola oil) น้ำมันปาล์ม (palm oil) เป็นต้น ทำให้เป็นวิธีที่นิยมในการเปลี่ยนสารตั้งต้นจำพวกน้ำมันให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนธรรมชาติหรือเชื้อเพลิง โดยมีการให้พลังงานความร้อนกับสารไตรกลีเซอไรด์ หรือกรดไขมัน (fatty acid) เพื่อให้สารแตกตัวจะได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนจำพวก นอร์มอลพาราฟิน โอลิฟิน ไอโซพาราฟิน ตามปฏิกิริยาต่อไปนี้ [18]



ภาพที่ 2.10 ปฏิกิริยาการไพโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมัน [1]

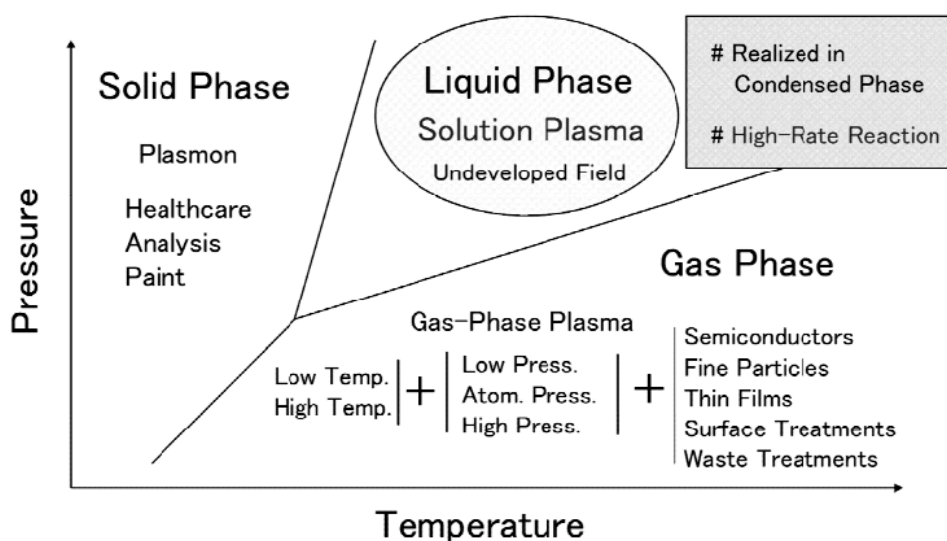
แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการไพโรไลซิสต้องเกิดในภาวะที่อุณหภูมิสูง เวลานาน และต้องมีการให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานภายนอก อย่างเช่น การให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า การเผาโดยตรง ฯลฯ ซึ่งการให้ความร้อนจากแหล่งความร้อนดังกล่าวจะมีการสูญเสียพลังงานออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีต้นทุนในการผลิตสูง [17]

นอกจากนี้ปัจจุบันมีวิธีการแตกตัวของสารประกอบมากขึ้น ซึ่งการแตกตัวด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น (cold plasma) เป็นที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้พลังงานความร้อนโดยตรงจากพลังงานกระตุ้นสูงด้วยพลังงานทางไฟฟ้า (pulse power) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ใช้ความดัน ความร้อนที่อุณหภูมิสูง และใช้เวลาที่สั้น ดังนั้นเทคนิคดังกล่าวจึงมีการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบ การผลิตนาโนคาร์บอน (nano-carbon materials) โดยคาดว่าจะสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้

## 2.8 พลาสมา

พลาสมาเป็นสถานะของก๊าซที่แตกตัวเป็นไอออนซึ่งสามารถปล่อยไฟฟ้าได้ออกมาในรูปแบบต่างๆ เช่น เรืองแสง (glow) ไมโครเวฟ (microwave) เจ็ทพลาสมา (plasma jet) ความถี่วิทยุ (radio frequency) [19] และอื่นๆ ความแตกต่างของแต่ละรูปแบบขึ้นกับระดับพลังงาน อุณหภูมิ และความหนาแน่นของไอออน แสดงดังภาพที่ 2.11 โดยทั่วไปพลาสมาแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พลาสมาที่อุณหภูมิสูง สำหรับทางนิวเคลียส และพลาสมาที่อุณหภูมิต่ำส่วนใหญ่ใช้สำหรับการเตรียม

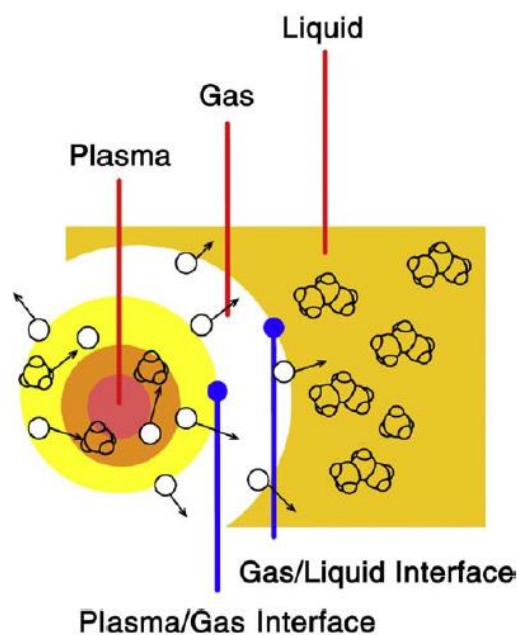
ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยพลาสมาเชิงความร้อน (thermal plasma) และพลาสมาเชิงความเย็น (cold plasma) ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาพลาสมาเชิงความเย็น ซึ่งปกติพลาสมาเชิงความเย็นเกิด ณ ภาวะอุณหภูมิห้องได้ ในขณะที่เดียวกันอุณหภูมิของอิเล็กตรอนสามารถสูงได้ถึง 1-10 อิเล็กตรอนโวลต์ ดังนั้นพลาสมาเชิงความเย็นจึงถูกเรียกว่า พลาสมาในสภาวะไม่สมดุล (non-equilibrium plasma) ซึ่งการทำงานของพลาสมาเชิงความเย็นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำประโยชน์ดังกล่าวมาพัฒนาใช้ต่อการไฟโรไลซิสของน้ำมันพืช [20]



ภาพที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความดันที่แสดงถึงหมวดหมู่ของการเกิดพลาสมา ในทั้ง 3 สถานะ [20]

กลไกของพลาสมาเป็นการผลิตตำแหน่งที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง (highly active species) อย่างเช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide /  $H_2O_2$ ) ออกไซด์เรดิคัล (oxide radical /  $O^{\cdot}$ ) ไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical /  $OH^{\cdot}$ ) หรือฟรีอิเล็กตรอน (free electron /  $e^-$ ) ซึ่งการเกิดสารดังกล่าวขึ้นจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงภายใต้เวลาอันสั้น และเกิดในภาวะอุณหภูมิต่ำ หลักการของกระบวนการพลาสมา คือการให้ศักย์ไฟฟ้าชนิดเป็นจังหวะ หรือที่เรียกว่า pulse power เข้าสู่สารละลายผ่านอิเล็กโทรด (electrode) เพื่อให้พลังงานจากไฟฟ้าไปแตกตัวสารละลายหรือสารอินทรีย์ต่างๆ ให้กลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ตัวอย่างเช่นการเปลี่ยนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาซิลเวอร์บนเมโซพอร์ซซิลิกาด้วยเทคนิคพลาสมา ซึ่งมีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านเทคนิคดังกล่าวด้วยเช่นกัน น้ำในสารละลายจะเกิดการแตกตัวให้เป็นเรดิคัล นำพาให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน และออกซิเดชัน ซึ่งจนปัจจุบันกลไกการเกิดพลาสมาในสารละลายยังไม่สามารถ

อธิบายได้อย่างแน่ชัด แต่จากการสนธิฐานแบบจำลองนั้น พบว่าพลาสมาเกิดที่บริเวณตรงกลางซึ่งถูกล้อมรอบด้วยวัฏภาคของก๊าซ (gas phase) ที่ถูกล้อมรอบด้วยวัฏภาคของเหลวอีกรอบ จึงกล่าวได้ว่าการเกิดพลาสมาในสารละลายมีรอยต่อ (interface) ระหว่าง พลาสมา กับ ก๊าซ และ ก๊าซ กับ ของเหลว แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 รูปแบบของการเกิดพลาสมาในสารละลาย [21]

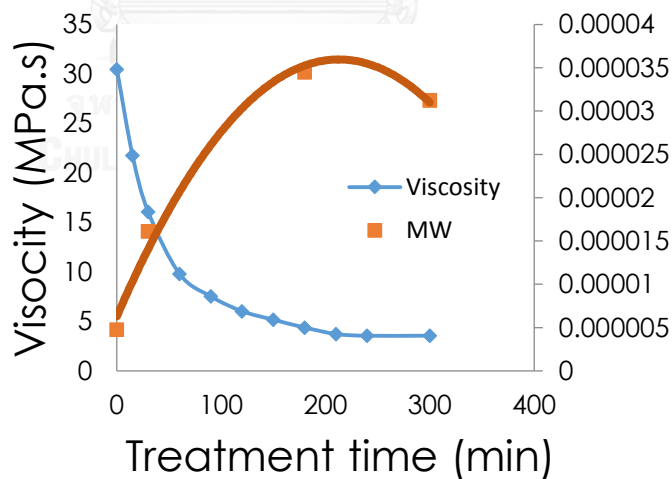
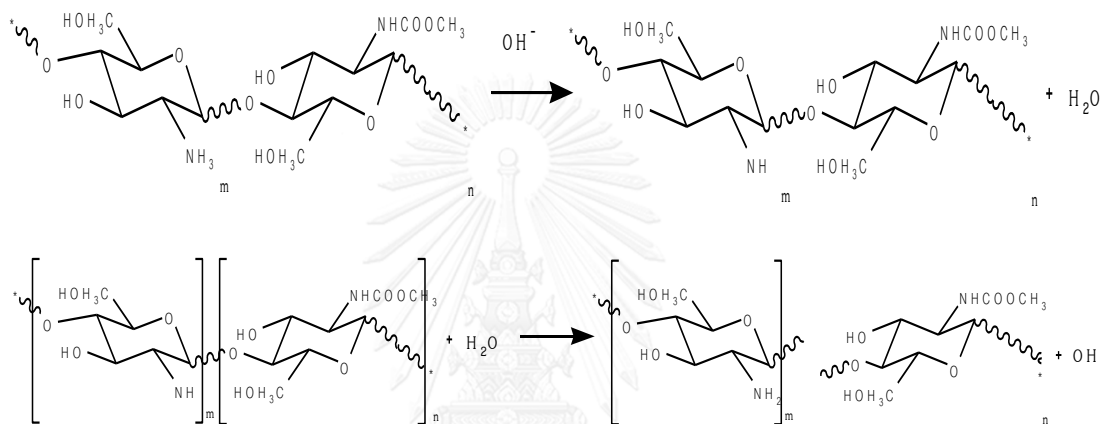
## 2.9. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Limaa และคณะ [22] กระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ได้ถูกศึกษา และนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค GC-FID GC-MS FT-IR ซึ่งแสดงองค์ประกอบของสารโอเลฟิน พาราฟิน กรดคาร์บอกซิลิก และแอลดีไฮด์ จากการกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ กัน จะได้เชื้อเพลิงเหลวที่กลั่น ณ อุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส โดยคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าแหล่งพลังงานทางเลือกสามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียนได้

Prasertsung และคณะ [23] เทคนิคพลาสมาโซลูชัน ถูกนำมาใช้ในการเตรียมโคโตซานให้มีมวลโมเลกุลต่ำลง โดยทำการควบคุมเวลาในช่วง 0-300 นาที พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 15-60 นาที ความหนืด และมวลโมเลกุลของโคโตซานลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปนานกว่า 180 นาทีพบว่าความหนืดและมวลโมเลกุลของสารไม่มีการเปลี่ยนแปลงต่อไป โดยทำการตรวจสอบมวลโมเลกุลด้วย

เทคนิค gel permeation chromatography และวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค FT-IR จากเทคนิคดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของมวลโมเลกุลไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารหลังจากผ่านกระบวนการข้างต้น จึงได้ข้อสรุปว่าเทคนิคพลาสมาสามารถเตรียมมวลโมเลกุลขนาดต่ำของสารไซโตซาน และไซโตโอลิโกแซคคาไรส์ได้ แสดงดังกราฟภาพที่ 2.13

จากการศึกษาการควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของไซโตซานด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็น จึงเขียนปฏิกิริยาในการแตกพันธะของสารไซโตซานได้ตามปฏิกิริยาต่อไปนี้

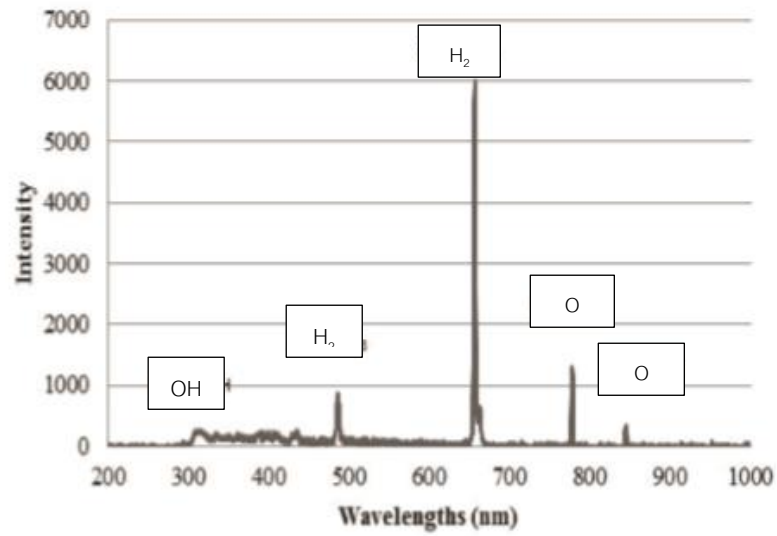


ภาพที่ 2.13 ความหนืดและเศษส่วนน้ำหนักโมเลกุล กับเวลาที่ใช้สำหรับเทคนิคพลาสมาเชิงความเย็น

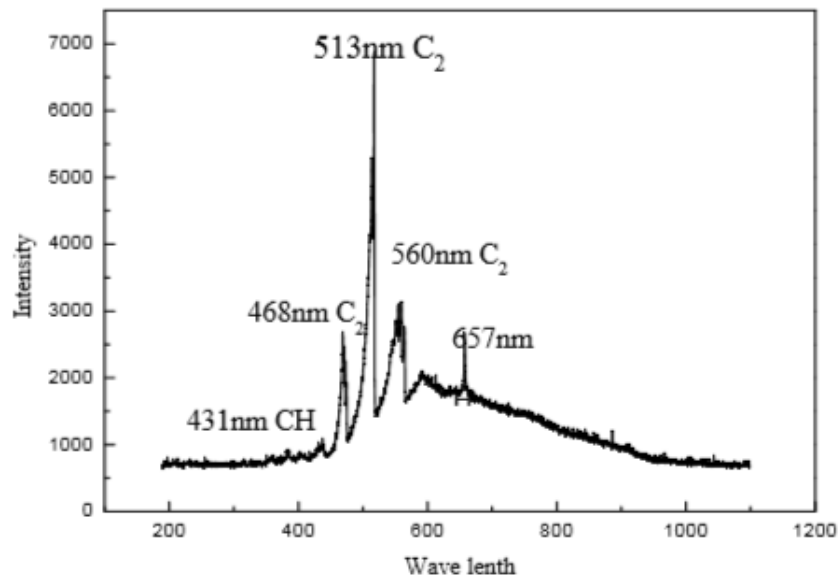
Kang และคณะ [24] การควบคุมโครงสร้างของคาร์บอนนาโนสเฟียร์ ถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็นในสารละลาย โดยใช้เบนซีนเป็นสารตั้งต้นของคาร์บอนในการแตกตัว ซึ่งใน 500 มิลลิกรัมของคาร์บอนนาโนสเฟียร์จะถูกสังเคราะห์มาจาก 100 มิลลิลิตรของเบนซีนที่ผ่านกระบวนการพลาสมาเป็นเวลา 20 นาทีด้วยความถี่ของพัลส์พาวเวอร์ที่ 25-65 กิโลเฮิร์ตซ์ การสังเคราะห์ดังกล่าวจะส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 20-100 นาโนเมตรด้วย ระหว่างการสังเคราะห์ที่ 65 กิโลเฮิร์ตซ์ จะประกอบด้วยแกรไฟต์สายสั้นๆของโครงสร้าง turbostratic นอกจากนั้นทำการศึกษาด้วยเทคนิค XRD และTEM เพื่อดูโครงสร้าง และรูปร่างของแกรไฟต์ภายใน พบว่าการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนสเฟียร์จะเพิ่มขึ้น ต่อเมื่อมีการเพิ่มความถี่ของพัลส์ และที่ความถี่ 65 kHz จะได้คาร์บอนนาโนสเฟียร์ที่ประสิทธิภาพเหมือนคาร์บอนแบลคเกรดการค้า

Li และคณะ [25] สถานะของเหลวในพลาสมา ได้มีการพิสูจน์เพื่อค้นคว้าหาประโยชน์ที่หลากหลาย อย่างเช่น การสังเคราะห์อนุภาคการแตกตัวของสารประกอบอินทรีย์ (ระดับนาโนเมตร) เพื่อทำให้ปราศจากเชื้อในสารละลายต่างๆ ซึ่งการให้พลังงานทางไฟฟ้าในน้ำถูกศึกษามาก่อนหลายปี แต่ยังไม่มีการศึกษาการให้พลังงานไฟฟ้าในสารละลายอินทรีย์เพื่อให้เกิดประโยชน์ ดังนั้นการศึกษาคครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นในการเปรียบเทียบลักษณะการเกิดของพลังงานจากพลาสมาในน้ำกับเบนซีน ในสภาวะการให้พลอสพาวเวอร์ผ่านอิเล็กโทรดทั้งสแตนท์ที่ศักย์ไฟฟ้า 1 kV และกระแสไฟฟ้า 10 kA ลงในสารละลายข้างต้น 280 มิลลิลิตร ซึ่งพบว่าลักษณะการเกิดการแตกตัวของสารละลายทั้ง 2 มีความแตกต่างกัน ในน้ำจะมีการเกิดการแตกตัว 3 ขั้นตอนได้เป็น อนุมูลอิสระไฮโดรเจน ออกซิเจน และไฮดรอกไซด์ แสดงดังภาพที่ 2.14 แต่ในเบนซีนซึ่งเป็นสารละลายที่ไม่มีขั้วจะเกิดการแตกตัว 2 ขั้นตอนได้ผลิตภัณฑ์เป็น โมเลกุลของคาร์บอน และมีเทน แสดงดังภาพที่ 2.15





ภาพที่ 2.14 ผลผลิตกัมมันต์ที่เกิดระหว่างการแตกตัวของน้ำด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็นจากเครื่อง optical emission spectroscopy [25]



ภาพที่ 2.15 ผลผลิตกัมมันต์ที่เกิดระหว่างการแตกตัวของเบนซีนด้วยเทคนิคพลาสมาแบบเย็นจากเครื่อง optical emission spectroscopy [25]

## บทที่ 3

### สารเคมี อุปกรณ์ และการทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือการทดลอง

##### 3.1.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้

1. บีกเกอร์ ขนาด 50 100 150 และ 250 มิลลิลิตร
2. ภาชนะแก้วทรงกลม (vessel) ขนาด 300 มิลลิลิตร
3. ไมโครปิเปต ขนาด 10 100 และ 1000 ไมโครลิตร
4. ขวดน้ำกลั่น
5. ซ้อนตักสาร
6. ปากคีบ
7. แ่งแก้ว
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. เครื่องกวนแม่เหล็ก
10. เครื่องชั่งสาร
11. กระดาษชั่งสาร
12. แม่เหล็กกวน
13. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูง ของบริษัท Kurita ประเทศญี่ปุ่น
14. อิเล็กโทรดชนิดทังสเตน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 มิลลิเมตร ของบริษัท Nilaco
15. หลอดเซรามิค ขนาด 2.5 x 1.5 x 100 มิลลิเมตร ของบริษัท Nilaco
16. เครื่องปฏิกรณ์พลาสมา (plasma reactor)
17. แ่งอิเล็กโทรด
18. เครื่องปั่นเหวี่ยง
19. หลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 1.5 และ 2.0 มิลลิลิตร
20. หลอดฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตร
21. ตัวกรองเมมเบรน (membrane filter)

22. ตู้อบ
23. โถดูดความชื้น
24. กระจาดกรอง PTFE membrane ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 ไมโครเมตร
25. ปะแฉ
26. ไช้วงขนาดเล็ก
27. ปีม
28. กระจาดทราย

### 3.1.2 เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบระหว่างการตัดน้ำมัน

1. Oscilloscope ของบริษัท Yokogawa ประเทศญี่ปุ่น
2. Optical Emission Spectroscopy (OES) ของบริษัท Optosirius ประเทศญี่ปุ่น

### 3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์

1. เครื่อง viscometer รุ่น SV-100 ประเทศญี่ปุ่น
2. แก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass Spectrometry, GC-MS, ยี่ห้อ Agilent-JEOL)

## 3.2 สารเคมี

1. น้ำมันปาล์มโอเลอิน ตรา มรกต
2. อะซิโตน (Acetone) 99% ของบริษัท Kanto
3. น้ำกลั่น (Distillated water)
4. คาร์บอน ไดซัลไฟด์ (Carbon disulfide) 99.0% ของบริษัท Kanto
5. กรดโอเลอิก (Oleic acid) ของบริษัท Kanto
6. กรดเฮกซะเดคเคน (Hexadecane) ของบริษัท Kanto
7. แก๊สฮีเลียม (Helium gas) 99.99% ของบริษัท เจแปนฮีเลียม

### 3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.3.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำมันปาล์ม

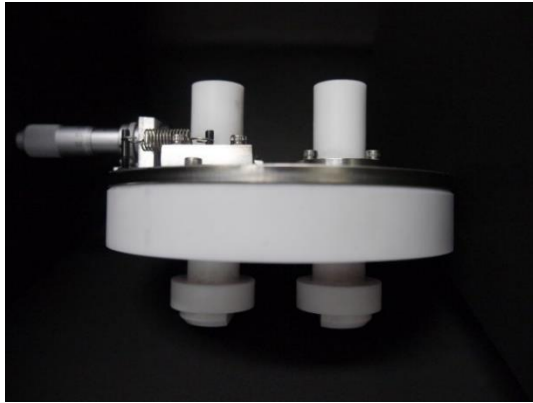
น้ำมันปาล์ม เครื่องหมายการค้าตรา มรกต จากห้างสรรพสินค้าในประเทศไทย

#### 3.3.2 การเตรียมเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา (plasma reactor)

ติดตั้งเครื่องมือ ดังภาพที่ 3.1 ซึ่งเครื่องมือประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1. แทนเครื่องปฏิกรณ์เทฟลอน (Teflon)
2. อิเล็กโทรดนำไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้า (คอปเปอร์)
3. อิเล็กโทรดสำหรับการจุดพลาสมา
4. หลอดเซรามิก

มีวิธีการประกอบดังนี้ ใส่อิเล็กโทรดนำไฟฟ้าลงไปในแทนเครื่องปฏิกรณ์เทฟลอน พร้อมกับประกอบด้วยอิเล็กโทรดชนิดทั้งสแตน ทั้งนี้คลุมด้วยหลอดเซรามิก จากนั้นปรับระยะห่างของอิเล็กโทรดด้วยฟีลเลอร์เกจ (feeler gauge) ตามเงื่อนไขที่ทางผู้วิจัยกำหนดในการทดลอง



(ก.)



(ข.)



(ค.)



(ง.)

ภาพที่ 3.1 องค์ประกอบสำหรับเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาดังนี้ (ก.) แทนเครื่องปฏิกรณ์เทฟลอน (ข.) อิเลคโตรดนำไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้า (ค.) อิเลคโตรดสำหรับการจุดพลาสมา (ง.) เซรามิค

### 3.3.3 การเตรียมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลาสมา

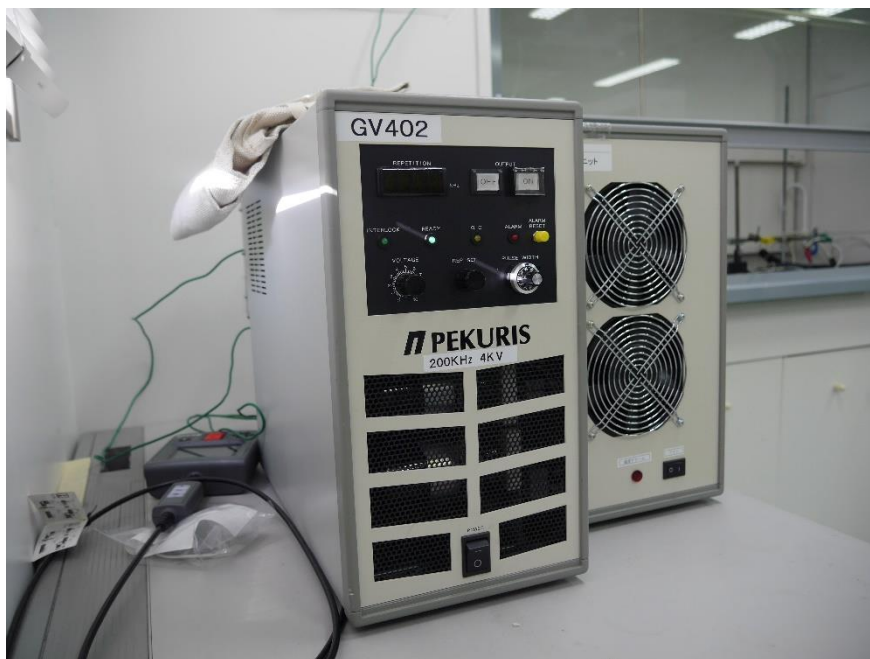
ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ขนาด ดังนี้

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ รุ่น SPIK 2000A/KT-IDP-1010S แสดงดังภาพที่ 3.2 ซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้
  - ความถี่ของพัลส์ระหว่าง 10-60 กิโลเฮิร์ตซ์
  - ความต่างศักย์ไฟฟ้าไม่เกิน 2.5 กิโลโวลต์



ภาพที่ 3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบพัลส์ขนาดใหญ่

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก รุ่น AC-MV85-0002 แสดงดังภาพที่ 3.3 ซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้
  - ความถี่ของพัลส์ไม่เกิน 200 กิโลเฮิร์ตซ์
  - ความต่างศักย์ที่ปรากฏบนเครื่อง (primary voltage) ไม่เกินเลข 10



ภาพที่ 3.3 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบพัลส์ขนาดเล็ก

### 3.3.4 การตรวจสอบสัญญาณทางไฟฟ้า

วิธีการตรวจสอบสัญญาณทางไฟฟ้า โดยเครื่องออสซิลโลสโคป (oscilloscope) รุ่น DLM2024 ของบริษัท Yokogawa ประเทศญี่ปุ่น เพื่อดูค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่แท้จริงที่เกิดขึ้นระหว่างที่เกิดการจุดพลาสมาในน้ำมันปาล์ม แสดงดังภาพที่ 3.4



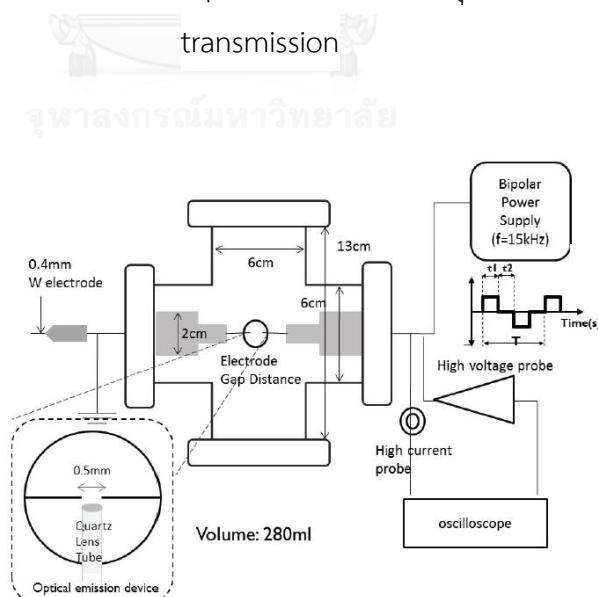
ภาพที่ 3.4 เครื่อง Oscilloscope รุ่น DLM2024

### 3.3.5 การตรวจสอบธาตุ หรือองค์ประกอบในเทคนิคพลาสมา

การตรวจหาธาตุ หรือองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างที่ให้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานผ่านอิเล็กโทรด บันทึกลงด้วยเครื่อง Optical Emission Spectrometer (OES) รุ่น USB2000+ ที่สามารถบันทึกได้ในช่วงระหว่าง 339.2-1022.5 นาโนเมตร ร่วมกับระบบสื่อสารสัญญาณด้วยเส้นใยแก้ว (Fiber transmission) ประเภท UV-VIS ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (fiber core diameter) 400 ไมครอนเมตร ความยาว 2 เมตร แสดงดังภาพที่ 3.5 โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์พลาสมาสำหรับการตรวจสอบธาตุจากเครื่อง OES ตามแผนผังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 เครื่อง Optical Emission Spectrometer (OES) รุ่น USB2000+ และ Fiber transmission



ภาพที่ 3.6 แสดงองค์ประกอบของเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาสำหรับการตรวจสอบธาตุจากเครื่อง OES



### 3.3.6 ขั้นตอนการแตกตัวน้ำมันพืชด้วยเทคนิคพลาสมา

1. ชั่งน้ำหนักของน้ำมันพืชปริมาตร 200 มิลลิลิตร และเทลงในภาชนะทรงกลมสำหรับพลาสมา
2. วางแท่งแม่เหล็กกวนลงในสารละลาย และประกอบกับเครื่องกวนแม่เหล็ก
3. นำแท่นเครื่องปฏิกรณ์ที่ได้ประกอบไว้ ในหัวข้อ 3.3.2 มาประกอบกับภาชนะทรงกลมที่มีน้ำมันพืช
4. ต่อระบบวงจรไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลาสมา
5. เปิดเครื่องให้กำเนิดไฟฟ้าตามสภาวะ และตัวแปรดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปร และช่วงที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ช่วงที่ศึกษา
ความต่างศักย์ไฟฟ้า	0.55-1.5 กิโลโวลต์
ความถี่ของพัลส์	15-190 กิโลเฮิร์ตซ์
ระยะเวลาของพัลส์	2 ไมโครวินาที
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา	40 นาที
ระยะห่างระหว่างของอิเล็กโทรด	0.5 มิลลิเมตร
ปริมาณของน้ำ	0, 50% โดยน้ำหนักของน้ำมันพืช

6. ชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวหลังผ่านกระบวนการพลาสมาเพื่อหาน้ำหนักที่หายไปของผลิตภัณฑ์แก๊ส จากสมการที่ 1 และรอให้ของแข็งในผลิตภัณฑ์ตกตะกอน

$$\text{ผลิตภัณฑ์แก๊ส} = \text{น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม ณ เวลา } 0 \text{ วินาที} - \text{น้ำหนักของของเหลว ณ เวลา } 40 \text{ นาที} \quad (1)$$

7. นำผลิตภัณฑ์ที่แยกชั้นของแข็งแล้ว ไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้ของแข็งบางส่วนที่ยังตกตะกอนไม่หมด ให้ตกตะกอนออก
8. ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ถูกแยกออกมา นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
9. คำนวณหาสัดส่วนร้อยละปริมาณของผลิตภัณฑ์ด้วยการสมดุลทางน้ำหนัก จากสมการที่ 2

ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลว

$$= (\text{น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม ณ เวลา 0 วินาที} - \text{น้ำหนักของแก๊ส} - \text{น้ำหนักของแข็ง}) \times 100 \quad (2)$$

10. นำผลิตภัณฑ์เหลวไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง viscosity ที่อุณหภูมิห้อง
11. จากนั้นผลิตภัณฑ์เหลวไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ต่อไป

หมายเหตุ : การศึกษาปริมาณของน้ำที่เติมลงไป 50% ของน้ำหนักน้ำมันพีซนั้น เพื่อให้รอยต่อระหว่างน้ำกับน้ำมันอยู่กึ่งกลางของเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาในตำแหน่งที่พอดีกัน เนื่องจากผู้วิจัยสนใจที่จะทำการศึกษาผลการทดลองในการแตกตัวของน้ำที่ส่งผลต่อการแตกตัวของน้ำมัน

### 3.3.7 การแยกตะกอนของแข็ง

น้ำมันพีซที่ผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยเทคนิคพลาสมา จะถูกนำมาแยกของแข็งออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที (rpm) ใช้เวลา 60 นาที เพื่อแยกส่วนของเหลวไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบอื่นๆ ต่อไป

### 3.3.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS)

### การวิเคราะห์

เริ่มจากนำผลิตภัณฑ์น้ำมันของเหลวที่แยกตะกอนของแข็งออกเรียบร้อยแล้ว กรองผ่านตัวกรองเมมเบรน และไปละลายในคาร์บอนไดซัลไฟด์ในอัตราส่วนร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบต่างๆ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ Agilent รุ่น 7890A ต่อกับ JMS-Q1050GC ภาพที่ 3.7 ชนิดของคอลัมน์ที่ใช้คือ HP-5



ภาพที่ 3.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ Agilent รุ่น 7890A ต่อกับ JMS-Q1050

ตารางที่ 3.2 ภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรมิเตอร์

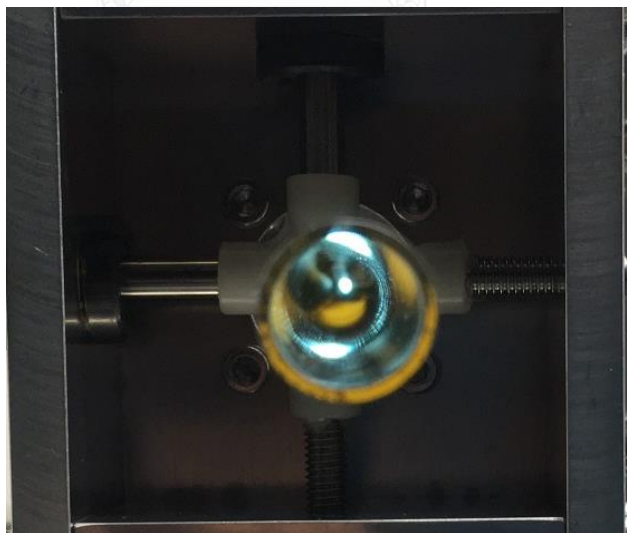
แก๊สพา	แก๊สฮีเลียม 99.999%
อัตราการไหลของแก๊สพา	1.4 มิลลิลิตรต่อนาที
ชนิดคอลัมน์	HP-5
อุณหภูมิการฉีด	120 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิคอลัมน์	โปรแกรมอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 2 นาที 20 องศาเซลเซียส (20 องศาเซลเซียสต่อ นาที) 320 องศาเซลเซียส 20 นาที
ระบบตรวจวัด	แมสสเปกโตรมิเตอร์ (MS)
อุณหภูมิระบบตรวจวัด	300 องศาเซลเซียส
ปริมาณตัวอย่าง	1 ไมโครลิตร

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การศึกษาธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดพลาสมา

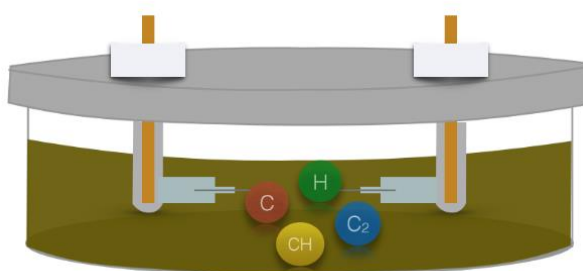
ในการศึกษาธาตุและองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดการแตกตัวของพลาสมาในน้ำมันปาล์มด้วยเครื่อง Optical Emission Spectrometer (OES) แสดงดังภาพที่ 4.1 โดยปกติสีของพลาสมาจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายที่ใช้ และองค์ประกอบของธาตุที่อยู่ในสารละลาย ซึ่งจะทำให้เกิดการเปล่งพลังงาน (emission) เฉพาะตัว เช่น สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) สีของพลาสมาเป็นสีขาว [19] ส่วนการศึกษาธาตุและองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดพลาสมาในน้ำมันปาล์มนั้นพบว่าสีของพลาสมาเป็นสีฟ้า เนื่องจากธาตุและองค์ประกอบที่อยู่ในน้ำมันปาล์มเมื่อแตกตัวในปฏิกิริยา สามารถเปล่งแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีฟ้า โดยที่ประสิทธิภาพของเครื่อง Optical Emission Spectrometer สามารถแสดงการดูดกลืนแสงระหว่าง 339.2-1022.5 นาโนเมตรด้วยกราฟระหว่างความยาวคลื่น (นาโนเมตร) กับความเข้มข้น



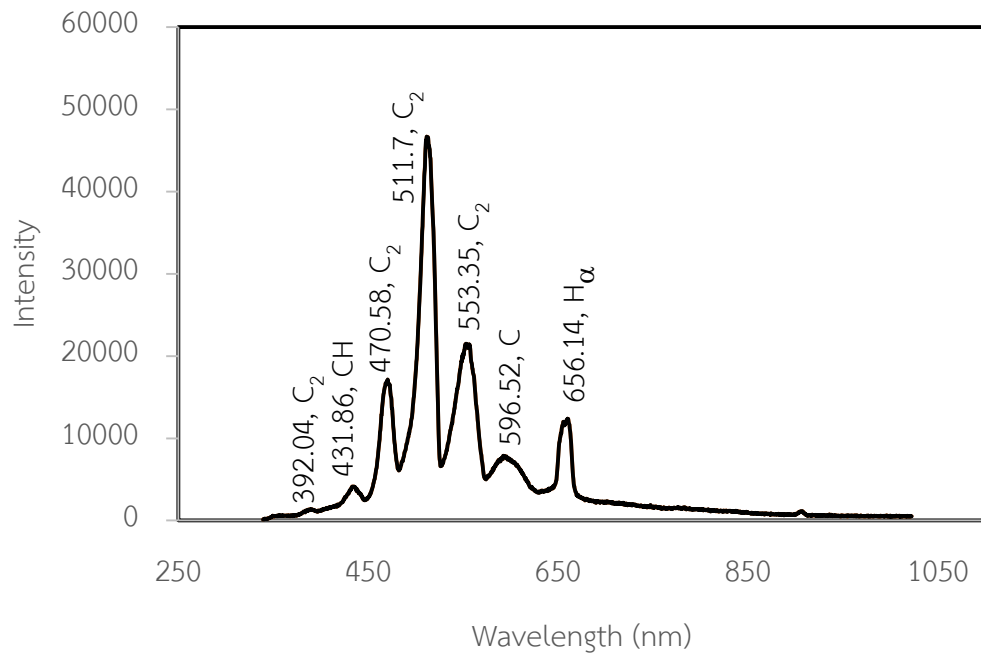
ภาพที่ 4.1 สีของพลาสมาที่เกิดขึ้นในการแตกตัวน้ำมันปาล์ม

#### 4.1.1 การศึกษาธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดพลาสมาในน้ำมันปาล์ม

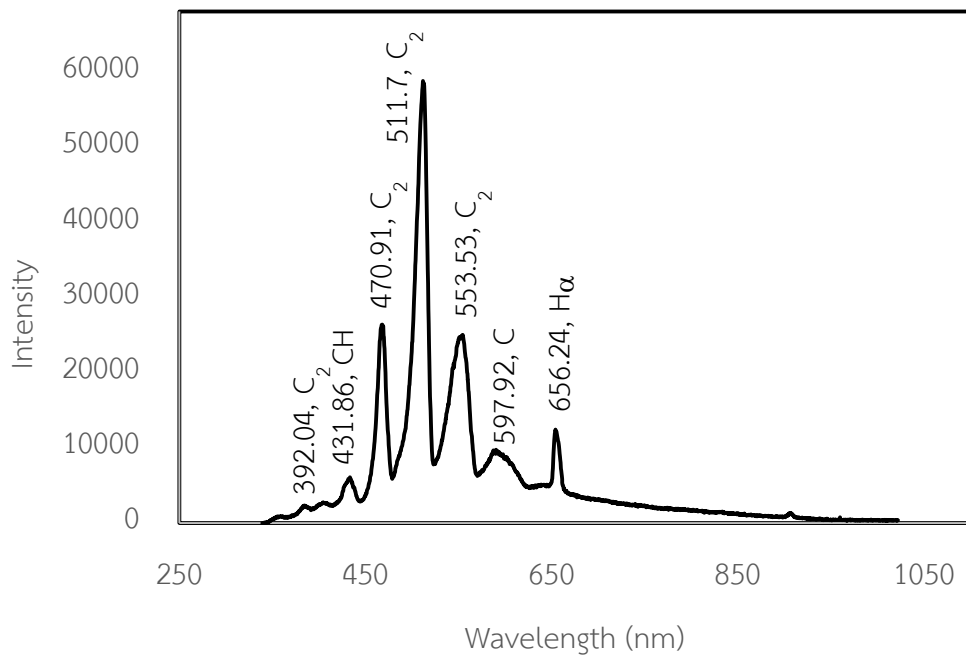
การศึกษาธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา นั้น สามารถอธิบายได้จากภาพที่ 4.2 ซึ่งเป็นการแสดงอนุมูลอิสระ (radical) จากการแตกตัวด้วยพลังงานที่สูงของพลาสมา จากการศึกษาด้วยเครื่อง Optical Emission Spectrometer สามารถบ่งบอกได้ว่าเกิดอนุมูลอิสระของ  $\text{C}$   $\text{H}$   $\text{CH}$  และ  $\text{C}_2$  ระหว่างการเกิดปฏิกิริยา โดยการศึกษาอนุมูลอิสระดังกล่าว ณ ภาวะความถี่ของพัลส์ 150 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.55 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 40 นาที และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4.3 ที่ความยาวคลื่น 431.86 นาโนเมตรสามารถเห็นการแตกตัวของ  $\text{CH}$  ที่ความยาวคลื่น 392.04 470.58 511.7 และ 553.35 นาโนเมตรสามารถเห็นการแตกตัวของ  $\text{C}_2$  ที่ความยาวคลื่น 596.52 นาโนเมตรสามารถเห็นการแตกตัวของอะตอมคาร์บอน และที่ความยาวคลื่น 656.14 นาโนเมตรสามารถเห็นการแตกตัวของ  $\text{H}\alpha$  [26] และเมื่อศึกษาองค์ประกอบที่แตกตัวระหว่างการเกิดพลาสมาในน้ำมันปาล์มที่ภาวะแตกต่างจากเดิม ณ ภาวะความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 40 นาที และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4.4 ที่ความยาวคลื่น 431.86 นาโนเมตรสามารถแตกตัวของ  $\text{CH}$  ที่ความยาวคลื่น 392.04 470.91 511.7 และ 553.53 นาโนเมตรสามารถเห็นการแตกตัวของ  $\text{C}_2$  ที่ความยาวคลื่น 597.92 นาโนเมตรสามารถเห็นการแตกตัวของอะตอมคาร์บอน และที่ความยาวคลื่น 656.24 นาโนเมตรสามารถเห็นแตกตัวของ  $\text{H}\alpha$  ได้ [26] จากภาวะทั้งสองที่ทำการทดลองได้เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของพลังงานที่ใช้ในการแตกตัวของน้ำมันปาล์มด้วยการเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงความถี่ของพัลส์ด้วยนั้น พบว่าการเปลี่ยนภาวะที่สูงขึ้นยังพบธาตุและองค์ประกอบของน้ำมันที่เกิดขึ้นระหว่างการแตกตัวด้วยพลาสมามีลักษณะเหมือนกันกับในความถี่ของพัลส์ 150 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.55 กิโลโวลต์ (ภาวะแรก) เนื่องจากยังคงเป็นการแตกตัวในสารละลายชนิดเดิม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายตั้งต้นอื่นก็จะทำให้การแตกตัวของธาตุและองค์ประกอบที่เกิดขึ้นเปลี่ยนไปด้วย [25]



ภาพที่ 4.2 อนุมูลอิสระ (radical) ที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา



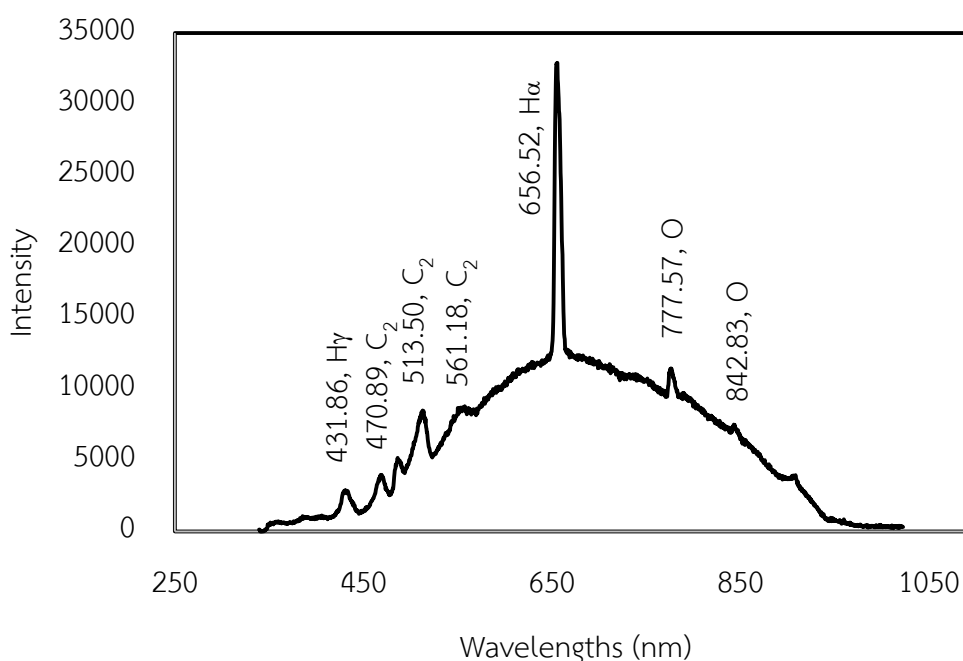
ภาพที่ 4.3 องค์ประกอบที่แตกตัวระหว่างการเกิดพลาสมาในน้ำมันปาล์ม ณ ภาวะความถี่ของพัลส์ 150 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.55 กิโลโวลต์ จากเครื่อง OES



ภาพที่ 4.4 องค์ประกอบที่แตกตัวระหว่างการเกิดพลาสมาในน้ำมันปาล์ม ณ ภาวะความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 กิโลโวลต์ จากเครื่อง OES

#### 4.1.2 การศึกษาธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดพลาสมาในน้ำมันปาล์ม ร่วมกับการเติมน้ำปริมาณ 50% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม

ในส่วนของการทดลองการแตกตัวของน้ำมันปาล์มด้วยการเติมน้ำปริมาณ 50% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม สามารถอธิบายธาตุและองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาได้ดังภาพที่ 4.5 ที่ความยาวคลื่น 431.86 นาโนเมตรสามารถตัดพันธะของ CH ที่ความยาวคลื่น 470.58 513.50 และ 561.18 นาโนเมตรสามารถตัดพันธะของ C<sub>2</sub> ที่ความยาวพันธะ 656.52 นาโนเมตรสามารถเห็นการแตกตัวของ H $\alpha$  และที่ความยาวคลื่น 777.57 และ 842.83 นาโนเมตรเป็นสัญญาณที่เพิ่มขึ้นมาซึ่งเป็นการแตกตัวของออกซิเจนอะตอมจากโมเลกุลของน้ำ [26] ซึ่งการที่ทั้งสองสัญญาณสามารถเกิดขึ้นเป็นเหตุผลมาจากกระหว่างการเกิดปฏิกิริยาด้วยพลาสมามีการแตกตัวธาตุและองค์ประกอบจากโมเลกุลของน้ำที่เติมลงไปแล้วกลายเป็นอนุมูลอิสระของออกซิเจน [25] อนุมูลอิสระของออกซิเจนนี้สามารถวิ่งไปรวมตัวต่อกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ที่ถูกแตกตัวด้วยพลาสมาแล้วหรือสารตั้งต้นเดิมเพื่อเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ พบว่าการเติมน้ำลงไปในปฏิกิริยาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการช่วยในการแตกตัวน้ำมันปาล์มให้มีสายโซ่ที่สั้นลง หรือเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งเมื่อนำไปเทียบกับการเกิดปฏิกิริยาแบบน้ำมันปาล์มเพียงอย่างเดียว จะไม่มีผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเกิดขึ้น

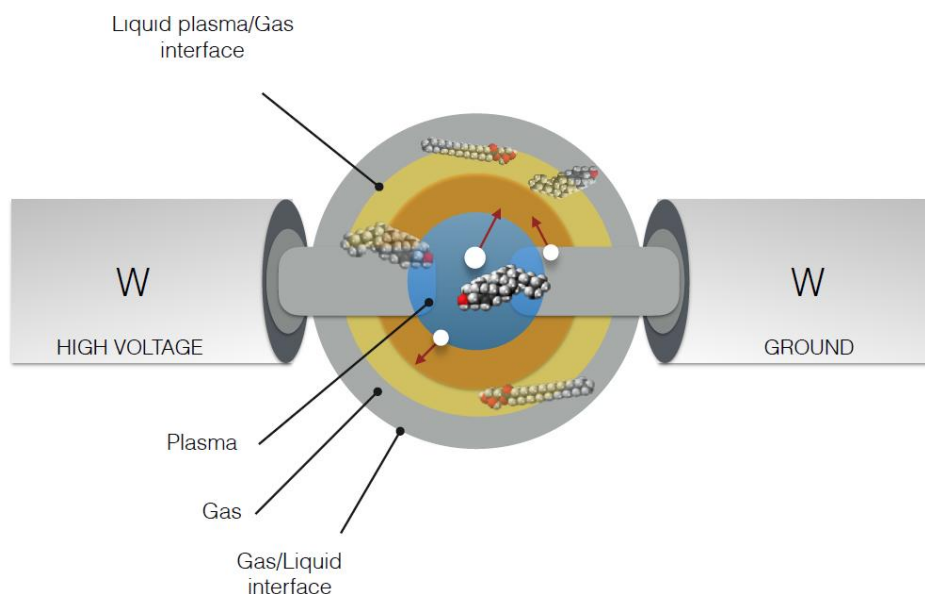


ภาพที่ 4.5 องค์ประกอบที่แตกตัวระหว่างเกิดการเกิดพลาสมาในน้ำมันปาล์มร่วมกับการเติมน้ำปริมาณ 50% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม ณ ภาวะ ความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.2 กิโลโวลต์ จากเครื่อง OES



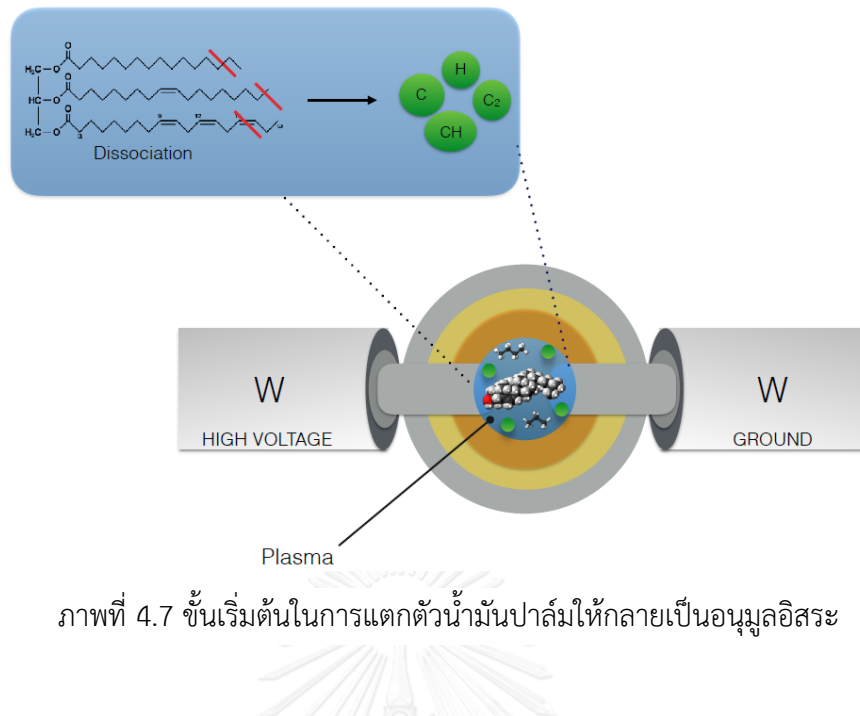
## 4.2 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระของน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา

การศึกษากลไกการเกิดอนุมูลอิสระของน้ำมันปาล์มด้วยพลาสมาได้ทำการศึกษารูปแบบลักษณะการเกิดพลาสมาในสารละลายประกอบไปด้วย 3 บริเวณดังนี้ พลาสมา แก๊ส และของเหลว ตามภาพที่ 4.6 โดยที่ในแต่ละบริเวณจะมีความหนาแน่นของพลาสมา และอนุมูลอิสระจะแตกต่างกัน [20, 25] พบว่าพลาสมาสามารถเกิดได้จากจุดกึ่งกลางระหว่างอิเล็กโทรดที่ด้านหนึ่งต่อกับสายพื้นดิน และอีกด้านหนึ่งต่อกับศักย์ไฟฟ้าแรงสูง กลไกดังกล่าวสามารถอธิบายเป็นกลไกได้ดังนี้ :



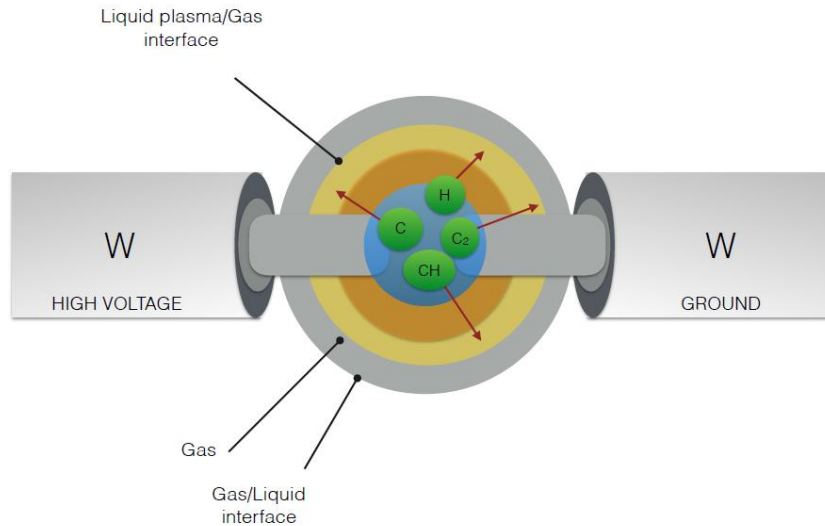
ภาพที่ 4.6 แบบจำลองแผนผังกลไกในการเกิดอนุมูลอิสระของน้ำมันปาล์มด้วยพลาสมา

**ขั้นที่ 1 :** เริ่มต้นการปล่อยศักย์ไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์จะทำให้ระหว่างอิเล็กโทรดเกิดพลาสมาขึ้น น้ำมันปาล์มที่อยู่ในภาชนะจะถูกแตกตัวด้วยพลังงานของพลาสมาที่ขึ้นกับศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้านั้นซึ่งมีพลังงานที่สูงมาก จึงสามารถกระตุ้นให้น้ำมันปาล์มแตกตัวจากสายโซ่คาร์บอนยาวออกกลายเป็นอนุภาคอนุมูลอิสระได้ แสดงดังในภาพที่ 4.7 ในส่วนของการแตกตัวน้ำมันปาล์มนั้นจากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.1.1 พบอนุมูลอิสระของ H, CH, C<sub>2</sub>, C



ภาพที่ 4.7 ขั้นเริ่มต้นในการแตกตัวน้ำมันปาล์มให้กลายเป็นอนุมูลอิสระ

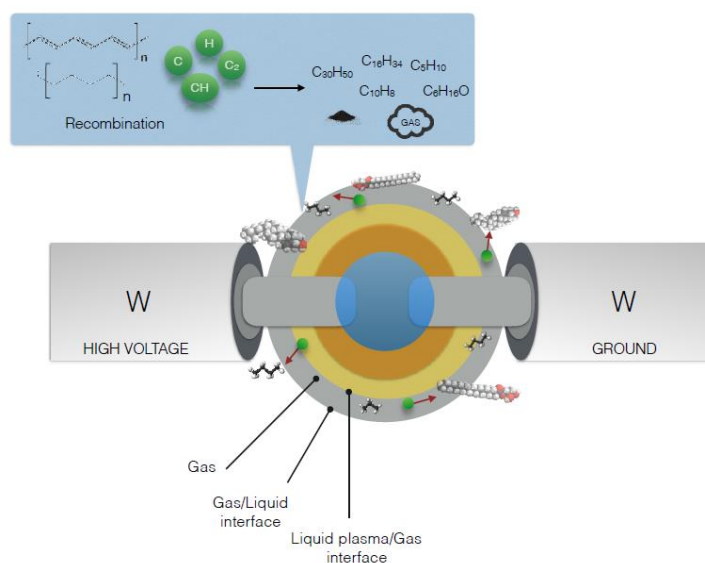
**ขั้นที่ 2 :** อนุมูลอิสระเหล่านั้นจะเคลื่อนที่ออกจากบริเวณพลาสมาที่เกิดในบริเวณสภาวะแก๊ส ผ่านรอยต่อระหว่างพลาสมา/แก๊ส แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 การเคลื่อนที่ของอนุมูลอิสระ

**ขั้นที่ 3 :** เกิดการเคลื่อนที่ต่อของอนุมูลอิสระออกไปบริเวณรอยต่อระหว่างของแก๊ส/ของเหลวอย่างต่อเนื่อง แล้วเกิดการรวมตัวกับโครงสร้างอื่น ซึ่งหมายถึงโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์บางส่วนที่เกิดการแตกตัวไปแล้ว แล้วกลายเป็นอนุมูลอิสระเช่นเดียวกันที่ปลายของโครงสร้างข้างหนึ่งหรือเป็นสารตั้งต้นเดิมอยู่แล้ว (แสดงดังภาพที่ 4.9) ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดในปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง

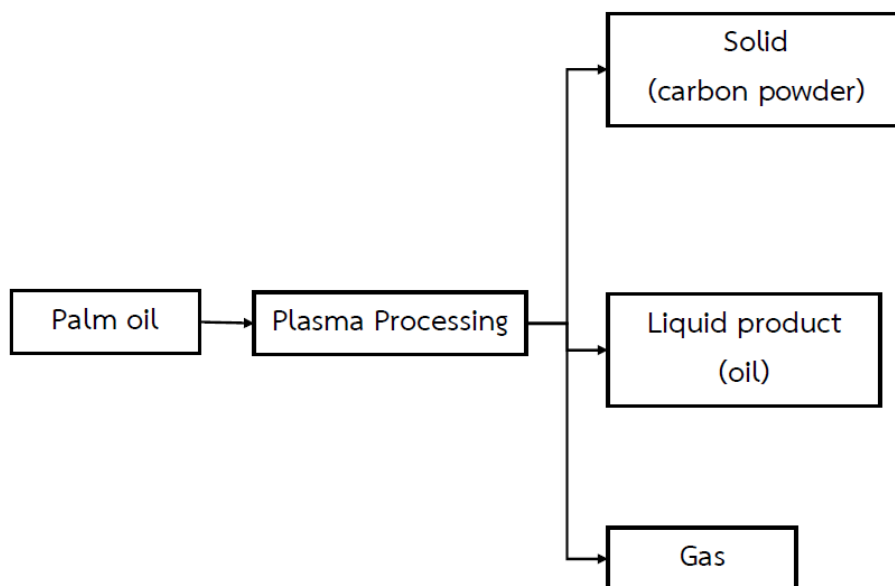
ตลอดระยะเวลาที่ปล่อยศักย์ไฟฟ้า เนื่องจากในการทดลองใช้แม่เหล็กกวนสาร ดังนั้นจะทำให้สารละลายในระบบเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณของพลาสมา และสามารถเกิดเป็นอนุภาคลิสรระอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอนุภาคลิสรเหล่านี้จะช่วยในการแตกตัวของน้ำมัน เนื่องจากอนุภาคลิสรที่เกิดขึ้นในระบบมีอุณหภูมิที่สูง และพลังงานที่สูง [27]



ภาพที่ 4.9 การรวมตัวของอนุภาคลิสรกับโครงสร้างอื่น ณ บริเวณรอยต่อพลาสมาแก๊ส/ของเหลว

#### 4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการบวกรีดน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา

ผลลัพธ์จากน้ำมันปาล์มที่สามารถแตกตัวด้วยเทคนิคพลาสมาถูกแตกตัวให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ในสถานะแก๊ส ของเหลว และของแข็ง(ผงคาร์บอน) จากภาพที่ 4.10 เป็นการแสดงตัวอย่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการแตกตัว โดยสอดคล้องกับการศึกษาจากการไพโรไลซิสไขมัน [1, 22] ที่เกิดผลลัพธ์หลังปฏิกิริยาเป็น 3 สถานะ ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบในแก๊ส แต่สนใจศึกษาเพียงองค์ประกอบของของเหลว โดยนำของเหลวไปวิเคราะห์ต่อยด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโทมิเตอร์ในหัวข้อถัดไป โดยผลลัพธ์เหลวหลังกระบวนการพลาสมาจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีดำที่มีของแข็งผสมอยู่ ดังนั้นต้องการแยกก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ตามภาพที่ 4.11 และสำหรับของแข็งที่เกิดขึ้นคาดว่าเป็นผงคาร์บอนเพราะเป็นการแตกตัวจากโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนสายยาว ซึ่งเมื่อเกิดของแข็งก็คาดว่าเป็นของแข็งชนิดคาร์บอน รวมทั้งจากงานวิจัยอื่นๆ ที่ทำการศึกษการแตกตัวโครงสร้างน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ หรือการแตกตัวเบนซินแล้วนำของแข็งไปวิเคราะห์ก็พบว่าของแข็งที่เกิดจากปฏิกิริยาเป็นผงคาร์บอน [1, 24]



ภาพที่ 4.10 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการพลาสมาหลังการแตกตัวน้ำมันปาล์ม

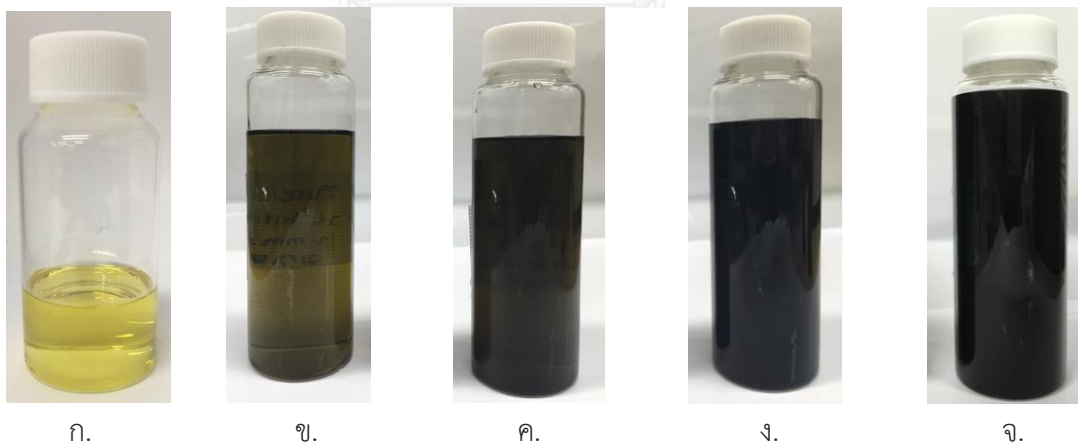


ภาพที่ 4.11 ผลิตภัณฑ์เหลว รวมทั้งของแข็ง(คาร์บอน)หลังกระบวนการแยก

#### 4.4 การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา หรือเวลาที่ใช้ศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบพัลส์ เข้าสู่ระบบในการแตกตัวน้ำมันปาล์ม ดังภาพที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนสีของน้ำมันปาล์มภายใน ภาชนะที่ใช้ทำปฏิกิริยาในระยะเวลาที่ต่างกัน น้ำมันปาล์มเริ่มต้นมีสีเหลืองอ่อน (แสดงในภาพที่ 4.12 ก.) หลังจากเริ่มจุดพลาสมาที่ภาวะต่างๆ ตามช่วงที่ใช้ศึกษา พบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 นาที สีเหลืองเริ่มเข้มขึ้น และ 10 นาที สีเหลืองเริ่มเข้มจนคล้ายจะกลายเป็นสีดำและลักษณะเริ่มขุ่นเล็กน้อย ที่ 15 นาที ลักษณะขุ่นเพิ่มขึ้น สีของน้ำมันเหลวเกือบจะดำสนิทแต่ยังสามารถมองเห็นสีของพลาสมา ได้ และที่ 20 นาที เป็นต้นไป สีของน้ำมันดำสนิทจนไม่สามารถมองเห็นการเกิดของพลาสมาได้ เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นสีของน้ำมันปาล์มจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้นและมีความขุ่นที่เพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาที่มากขึ้น เนื่องจากพลังงานของพลาสมาที่เข้าไปสลายพันธะหรือสายโซ่ของ

ไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันพืชนั้นมีเวลาเป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อพลังงานในการแตกตัว โดยสามารถที่จะเกิดการแตกตัวไปเรื่อยๆ ให้กลายเป็นสายสั้นลงจนกระทั่งหยุดการให้ศักย์ไฟฟ้าตามเงื่อนไขระยะเวลาที่กำหนดในการทดลอง ซึ่งสีของผลิตภัณฑ์เหลวที่กลายเป็นสีดำนั้นเนื่องจากการเพิ่มเวลาจะทำให้การแตกตัวของน้ำมันบางส่วนกลายเป็นของแข็งสีดำ หรือผงคาร์บอนที่มีลักษณะเป็นสีดำที่มีอนุภาคเล็กมากจนกระทั่งลอยตัวอยู่ในชั้นของเหลว รวมทั้งการใช้แม่เหล็กกวนตลอดเวลาจึงทำให้ผงคาร์บอนสีดำฟุ้งอยู่ในชั้นของเหลวเช่นกัน เช่นเดียวกับการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคพลาสมา [24] และสอดคล้องกับการศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาของการไพโรไลซิสน้ำมันพืช เมื่อเพิ่มเวลาที่ทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์เหลวมีสีดำเข้มขึ้น และเกิดของแข็งคาร์บอนมากขึ้น [28, 29] ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาเวลาที่ 40 นาที เนื่องจากผลการวิเคราะห์ที่เวลาน้อยกว่า 40 นาที พลังงานจากศักย์ไฟฟ้ายังไม่มากพอที่จะแตกตัวให้กลายเป็นสายโซ่คาร์บอนที่เล็กลงได้ในปริมาณที่สามารถเห็นชัดเจน และเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้านานกว่า 40 นาที พลังงานของพลาสมาที่เกิดขึ้นในระบบจะเริ่มไม่เสถียร เพราะของแข็ง ที่เกิดในปฏิกิริยามีปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ และ (คาร์บอน) เหล่านี้ เกาะบริเวณผิวหน้าของอิเล็กโทรดจนทำให้ระยะห่างระหว่าง (คาร์บอน) ส่งผลให้ของแข็งอิเล็กโทรดถูกเชื่อมต่อกันด้วยของแข็ง (คาร์บอน) [24] เป็นผลให้ประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรดเกิดพลาสมาที่มีประสิทธิภาพต่ำลง และไม่ต่อเนื่อง



ภาพที่ 4.12 สีของน้ำมันปาล์มเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนไป (ก.) 0 นาที (ข.) 3 นาที (ค.) 10 นาที (ง.) 15 นาที (จ.) 20 นาที

#### 4.5 การศึกษาสัดส่วนร้อยละปริมาณของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาปริมาณของน้ำมันพืช 200 มิลลิลิตรผ่านการแตกตัวด้วยเทคนิคพลาสมา โดยสัดส่วนร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาดังกล่าวที่มีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์หลักๆ มีดังนี้ ความถี่ของพัลส์ และความต่างศักย์ไฟฟ้า และตัวแปรอื่นๆ คงที่ ณ ภาวะระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 40 นาที ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร จากตารางที่ 4.1 แสดงสัดส่วนร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์หลังผ่านการแตกตัวด้วยเทคนิคพลาสมา พบว่า เมื่อศึกษาตัวแปรของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบพัลส์ พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าส่งผลให้ปริมาณของแก๊สและของแข็งเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของของเหลวลดลง เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการแตกตัวแปรผันโดยตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการแตกตัว จากพันธะของสายไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาวเป็นสายไฮโดรคาร์บอนโซ่สั้นลงแล้วเกิดการรวมตัวเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้น ส่วนความถี่ของพัลส์สามารถอธิบายถึงช่วงเวลาที่ให้สัญญาณพัลส์ ซึ่งเมื่อความถี่ของพัลส์ที่สูงทำให้เกิดการสลายตัวได้เร็วกว่าการให้ความถี่ของพัลส์ที่ต่ำ เนื่องจากมีการส่งผ่านของพลังงานสูงกว่า ส่งผลที่สอดคล้องกับปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่แสดงดังตารางในการทดลองที่ 1-3, 6-7 และ 8-11 ที่แสดงการแตกตัวของน้ำมันพืชให้เกิดเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง หรือสายสั้นลงจนกลายเป็นแก๊ส และของแข็งที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น

#### 4.6 การศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลว

##### 4.6.1 การศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวจากน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์ม คือน้ำมันที่เป็นผลผลิตจากต้นปาล์ม ซึ่งโครงสร้างของน้ำมันปาล์มทั่วไปจะมีสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีความหนืดสูง และมีโครงสร้างเป็น  $-C_3H_5$  ที่เชื่อมต่อกับกรดไขมัน และมีองค์ประกอบชนิดต่างๆ กัน และมีปริมาณกรดไขมันสูงถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ โดยกรดไขมันที่มีสัดส่วนมากในน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่จะเป็นจำพวกกรดปาล์มมิติก และกรดโอเลอิก ดังนั้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์เหลวมาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโทมิเตอร์ จึงพบสารประกอบในหมู่ฟังก์ชันต่างๆ เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอน จำพวกนอร์มอลพาราฟิน โอลิฟิน ไอโซพาราฟิน [28] แสดงภาพกราฟโครมาโทแกรมที่ 4.13-4.15 ณ ภาวะของพลาสมาที่คงที่ด้วยระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะห่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที โดยจากภาพกราฟโครมาโทแกรมที่ 4.13 แสดงภาวะในการแตกตัวของพลาสมาที่ความถี่ของพัลส์ 150 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.55 กิโลโวลต์ พบว่า

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนร้อยละปริมาณของส่วนประกอบของสารตั้งต้นหลังกระบวนการพลาสมา ณ ภาวะต่างๆ

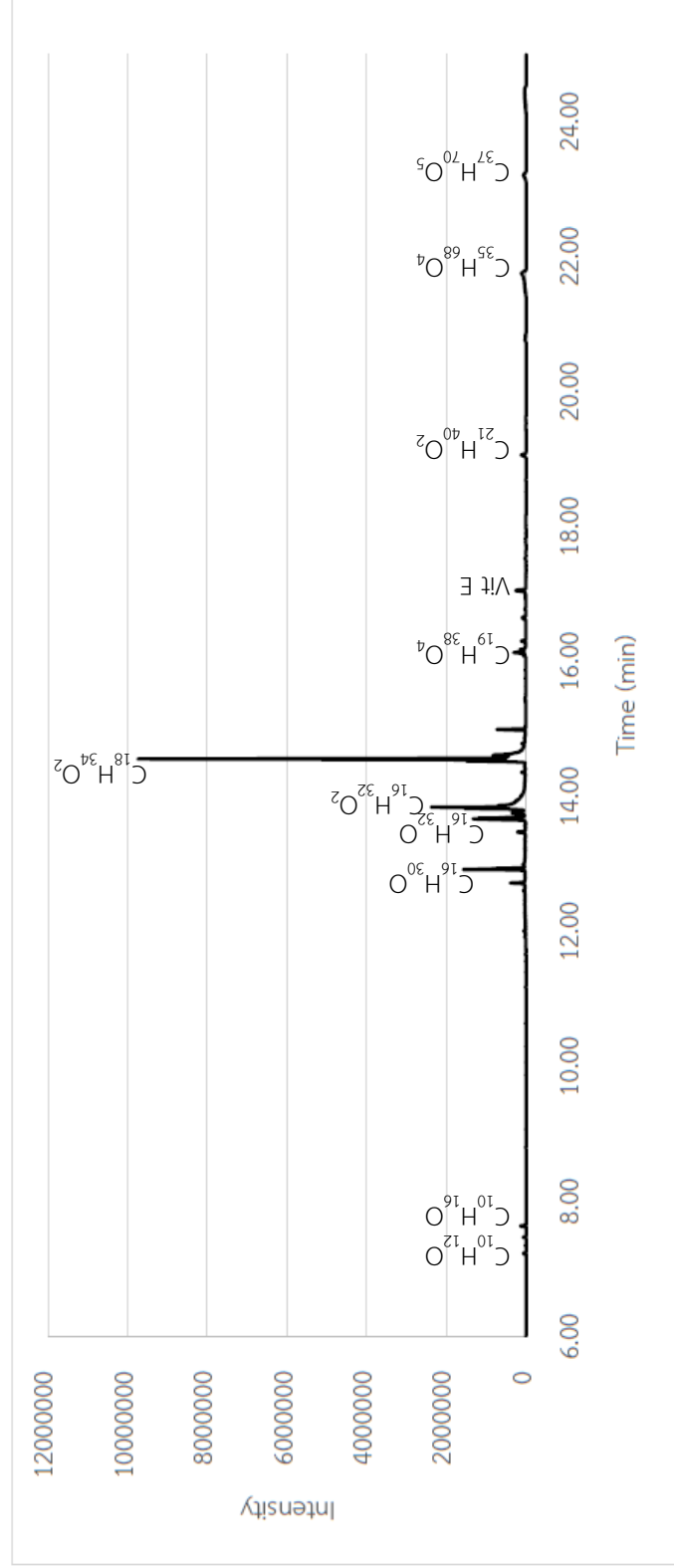
การทดลองที่	ความถี่ของพัลส์ (กิโลเฮิร์ตซ์)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ (%โดยน้ำหนัก)		
			แก๊ส	ของเหลว	ของแข็ง
1	100	0.55	3.160	96.823	0.017
2	150	0.55	4.118	95.860	0.022
3	190	0.55	5.170	94.799	0.031
4	100	0.65	3.700	96.280	0.020
5	100	0.75	3.720	96.180	0.100
6	35	1.2	4.230	95.74	0.030
7	45	1.2	4.498	94.97	0.532
8	15	1.5	2.987	97.004	0.009
9	25	1.5	3.107	96.882	0.011
10	35	1.5	5.097	93.89	1.013
11	45	1.5	5.285	93.05	1.665

สัญญาณที่มีความเข้มสูงสุดคือ สัญญาณของกรดไขมันโอเลอิก และรองลงมาคือสัญญาณของกรดไขมันพาล์มมิติก โดยที่สารประกอบทั้ง 2 ต่างก็เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันพาล์ม ซึ่งเหมือนกับการแตกตัวน้ำมันหรือไขมันด้วยกระบวนการไพโรไลซิสด้วยความร้อน [28] ส่วนสัญญาณอื่นๆ เป็นสารประกอบที่ถูกแตกตัวให้กลายเป็นโมเลกุลหรือสายโซ่ที่สั้นลง ตัวอย่างเช่น พาราฟิน โอเลอีน สารประกอบพวกคีโตน ในทำนองเดียวกันกับการแตกตัวน้ำมันพาล์มด้วยเทคนิคพลาสมาที่ภาวะความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.2 กิโลโวลต์ แสดงดังภาพกราฟโครมาโทแกรมที่ 4.14 มีความสัมพันธ์ในการแตกตัวของสัญญาณที่คล้ายคลึงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างสัญญาณของกรดไขมันโอเลอิก กับสัญญาณของกรดไขมันพาล์มมิติกจะเห็นว่าอัตราส่วนจากสัญญาณของกราฟที่ให้พลังงานสูงกว่า ศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าจะมีอัตราส่วนของกรดไขมันโอเลอิกเทียบกับกรดไขมันพาล์มมิติกที่ต่ำลง ซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มพลังงานจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่สูงขึ้นด้วยการทำให้เกิดการแตกพันธะของสายโซ่ยาวออก จากนั้นจึงได้ทำการศึกษาการเพิ่มสำหรับตัวแปรค่าศักย์ไฟฟ้าที่เป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งส่งผลต่อการให้พลังงานในการแตกตัวของน้ำมันพาล์มด้วยเทคนิค

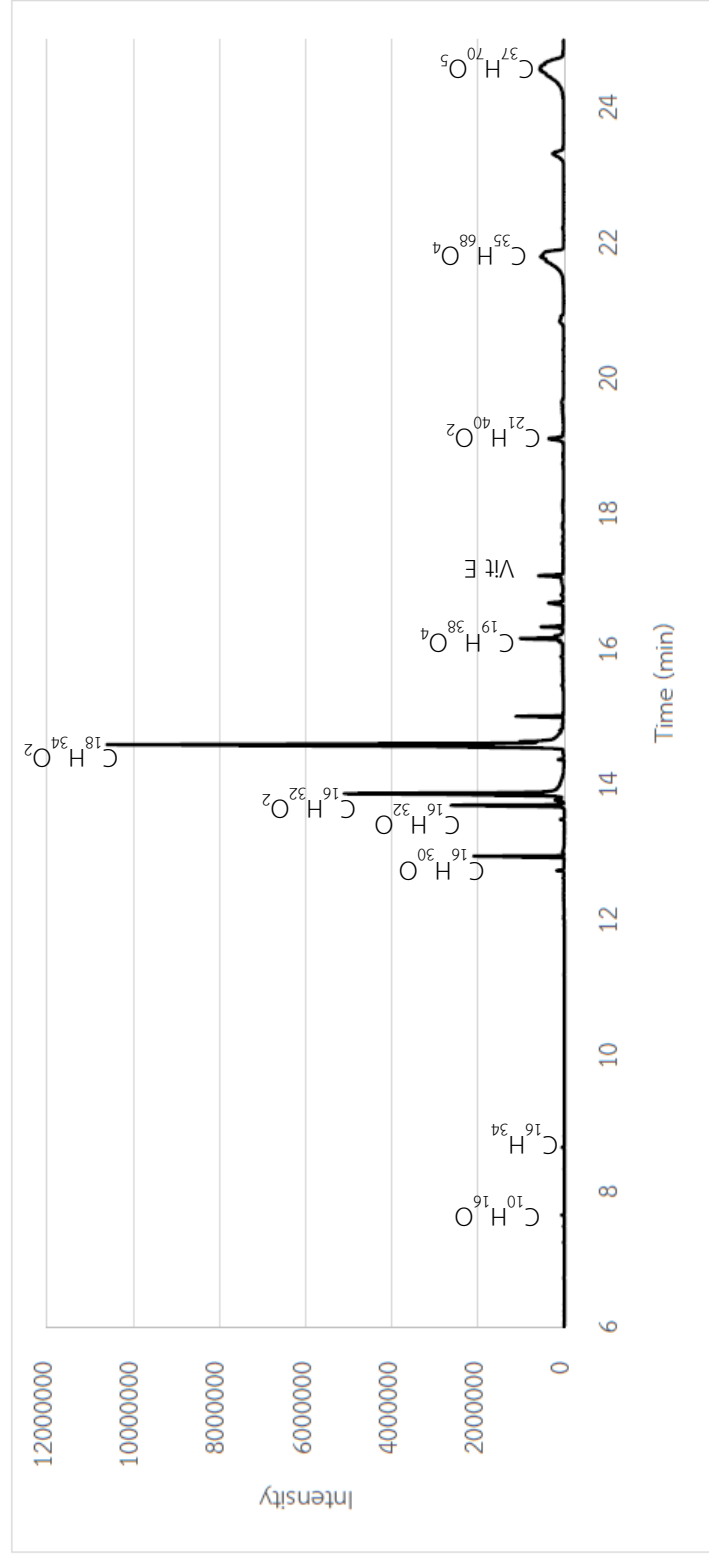
พลาสมา ซึ่งแสดงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวในภาพกราฟโครมาโทแกรมที่ 4.15 ณ ภาวะความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.5 กิโลโวลต์ แต่ความถี่ของพัลส์คงเดิมที่ 45 กิโลเฮิรตซ์ จากโครมาโทแกรมยังคงแสดงสัญญาณที่มีความเข้มสูงสุดเป็น สัญญาณของกรดไขมันโอเลอิกและรองลงมา เป็นสัญญาณของกรดไขมันปาล์มมิติกเช่นเดียวกับการแตกตัวที่ภาวะอื่นๆ แต่จากกราฟโครมาโทแกรมยังแสดงการแตกตัวของสารประกอบอื่นมากขึ้น เช่น สัญญาณของเฮกซะเดคคาโนอิก (Hexadecanoic,  $C_{35}H_{68}O_4$ ) เป็นหนึ่งในอนุพันธ์ของกรดไขมันปาล์มมิติกจากการแตกตัวไตรกลีเซอไรด์ เป็นไตรกลีเซอไรด์ที่ยังคงประกอบด้วยกรดไขมันของปาล์มมิติกอีก 2 โมเลกุลในโครงสร้าง ซึ่งหมายความว่าพลังงานจากพลาสมาเข้าไปแตกตัวที่พันธะระหว่างโมเลกุลของกลีเซอรอลแล้วทำให้กรดไขมันหลุดออก 1 โมเลกุล ซึ่งจากการเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าแล้วพบสารประกอบอื่นๆ เพิ่มขึ้น เพราะค่าศักย์ไฟฟ้าส่งผลต่อพลังงานในการแตกตัวโดยตรง ดังนั้นเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าขึ้นก็จะส่งผลต่อปริมาณของแก๊ส และของแข็งที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน [24, 30] ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาสัดส่วนร้อยละ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ (ในหัวข้อที่ 4.5)



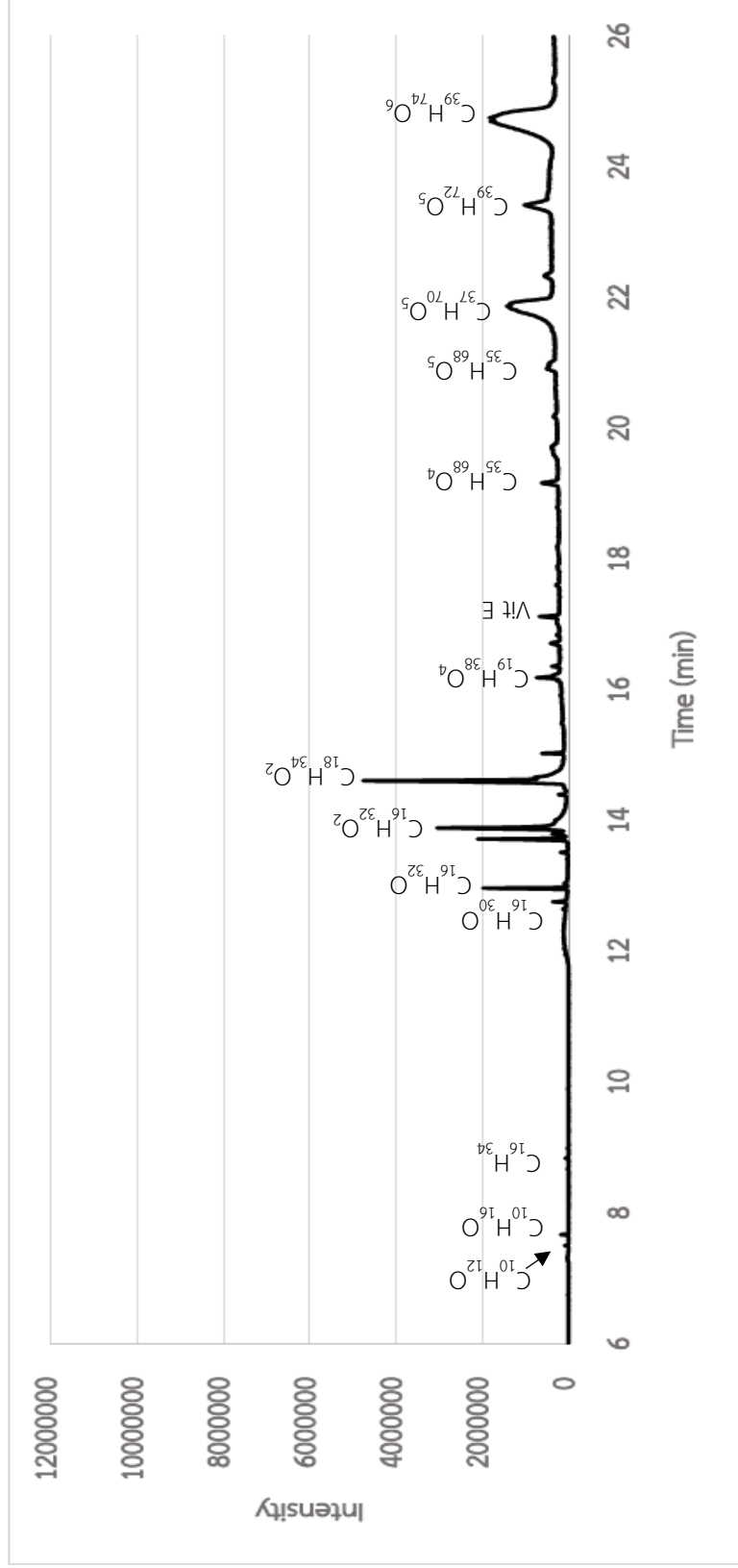




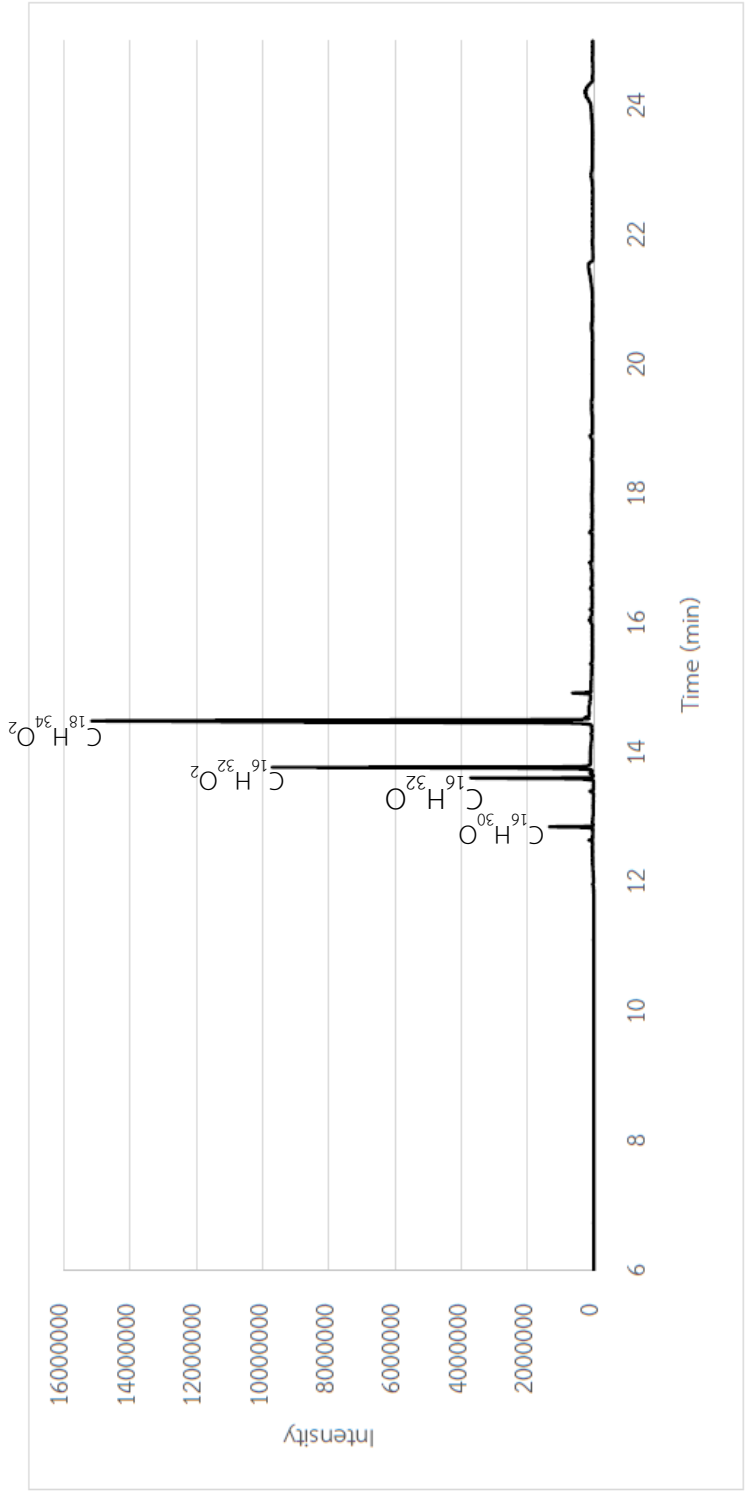
ภาพที่ 4.13 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยเครื่องกลั่นตัวน้ำส้มด้วยเทคนิคพลาสมาที่ภาวะความถี่ของพัลส์ 150 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.55 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที



ภาพที่ 4.14 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกระบวนการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมาที่ภาวะความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.2 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที



ภาพที่ 4.15 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการแตกตัวน้ำมันปลาด้วยเทคนิคพลาสมาที่ภาวะความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที



ภาพที่ 4.16 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ผลจากการแตกตัวของน้ำมันปลาผสมร่วมกับการเติมน้ำปริมาณ 50% โดยน้ำหนักของน้ำมันปลาต้ม ด้วยเทคนิคพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของพัลส์ 45 กิโลเมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.2 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

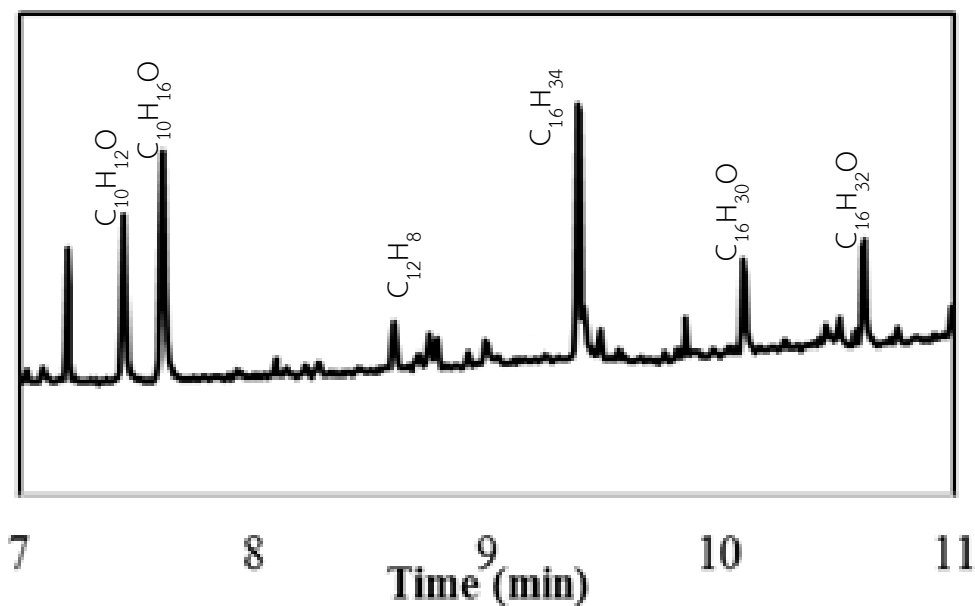
#### 4.6.2 การศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวจากน้ำมันปาล์ม ร่วมกับการเติมน้ำปริมาณ 50% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม

จากการศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวจากน้ำมันปาล์ม ร่วมกับการเติมน้ำปริมาณ 50% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโทมิเตอร์นั้น แสดงดังภาพโครมาโทแกรมที่ 4.16 ซึ่งจากการวิเคราะห์กราฟโครมาโทแกรมพบว่าสัญญาณที่มีความเข้มสูงสุดได้แก่ สัญญาณของกรดไขมันโอเลอิก และรองลงมาคือ สัญญาณของกรดไขมันปาล์มมิติก ซึ่งคล้ายคลึงกับกราฟโครมาโทแกรมของการแตกตัวเพียงน้ำมันปาล์มอย่างเดียว แต่ที่แตกต่างกันคือโครมาโทแกรมของการแตกตัวน้ำมันปาล์มที่มีการเติมน้ำร่วมด้วยนั้น จะไม่แสดงสัญญาณของสารประกอบจำพวกไดกลีเซอไรด์ หรือสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่าการเกิดแตกตัวของน้ำมันปาล์มที่มีการเติมน้ำร่วมด้วยนั้น น้ำในระบบเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระดังสมการที่ 3 [21] ซึ่งอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล กับอนุมูลอิสระของไฮโดรเจนช่วยในการแตกตัวในระบบได้ดีขึ้น



#### 4.6.3 การศึกษาเชื้อเพลิงเหลวจากองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวจากน้ำมันปาล์ม

ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการแตกตัวน้ำมันปาล์มผ่านกระบวนการไพโรไลซิสซึ่งใช้เทคนิคพลาสมาสำหรับการให้พลังงานแทนการใช้พลังงานความร้อนในการแตกตัว หลังจากการแตกตัวน้ำมันปาล์มแล้วได้ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโทมิเตอร์ ซึ่งจากภาพที่ 4.17 แสดงส่วนหนึ่งของโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เหลวที่ผ่านการแตกตัวแล้ว พบสารประกอบเฮกซะเดคเคน (hexadecane) เป็นส่วนหนึ่งในองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลว และเมื่อเพิ่มความถี่ของพัลส์ หรือความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น จะพบว่าอัตราส่วนความเข้มของสัญญาณของสารประกอบเฮกซะเดคเคนจะเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยจากการศึกษาเฮกซะเดคเคน มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$  เป็นโครงสร้างแบบโซ่ตรง ซึ่งถูกเรียกอีกอย่างว่า ซีเทน (cetane) ที่ใช้สำหรับการวัดค่าซีเทนในการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง หรือใช้สำหรับการปรับค่าซีเทนให้กับน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์จึงสามารถสรุปได้ว่าการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมายังมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการแตกตัวแต่ยังคงต้องมีการพัฒนาตัวแปร และการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันก่อนนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวสำหรับการใช้ในเครื่องยนต์ต่อไป

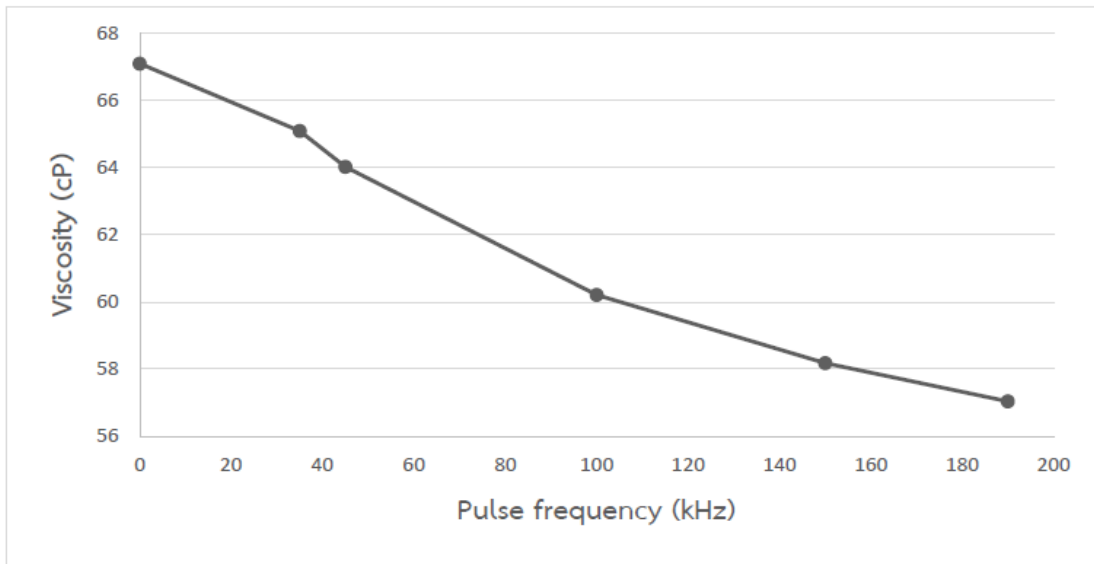


ภาพที่ 4.17 ส่วนหนึ่งของโครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโทมิเตอร์

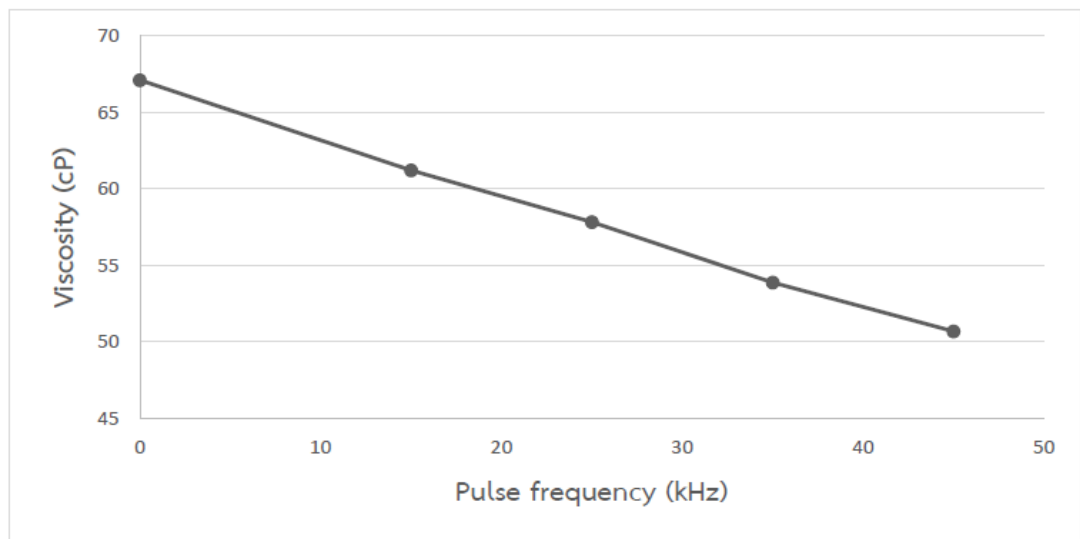
#### 4.7 การศึกษาความหนืดของผลิตภัณฑ์เหลว

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของผลิตภัณฑ์เหลวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่มีความหนืดเท่ากับ 67.10 เซนติพอยส์ เมื่อเพิ่มความถี่ของพัลส์ขึ้นเรื่อยๆ จากภาพที่ 4.18 แสดงกราฟของค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.55 กิโลโวลต์ ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของความถี่ของพัลส์จาก 35-190 กิโลเฮิร์ตซ์ ผลปรากฏว่าการให้ความถี่ของพัลส์ที่สูงขึ้นนั้นส่งผลต่อพลังงานที่ใช้ในการแตกตัว จึงทำให้ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 67.10 ถึง 57.04 เซนติพอยส์ เนื่องจากพลังงานความร้อนจากพลาสมาได้ทำการแตกตัวสายโซ่คาร์บอนยาว ให้มีสายโซ่ที่สั้นลง ซึ่งส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบภายในผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กลง ซึ่งเมื่อโมเลกุลที่เล็กลงแล้วจึงส่งผลให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์ลดลงตามไปด้วย ดังผลปรากฏนี้ทำให้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหลวจากน้ำมันปาล์ม ในหัวข้อที่ 4.6 ที่แสดงสารประกอบต่างๆในผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กลงจากน้ำมันปาล์มเดิม ในทำนองเดียวกันกับภาพที่ 4.19 แสดงกราฟของค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ความต่างศักย์คงที่ที่ 1.5 กิโลโวลต์ ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของความถี่ของพัลส์จาก 15-45 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของค่าความต่างศักย์ที่ส่งผลต่อพลังงานด้วยเช่นกัน ก็ยังคงแสดงผลในส่วน of ค่าของความหนืดที่มีค่าลดลงเช่นกัน จาก 67.10 ลดลงถึง 50.68 เซนติพอยส์ ซึ่งเช่นเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่

ศึกษาการเพิ่มเวลา ที่เป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อพลังงานในการแตกพันธะ แล้วส่งผลให้ความหนืดมีค่าลดลง [23]



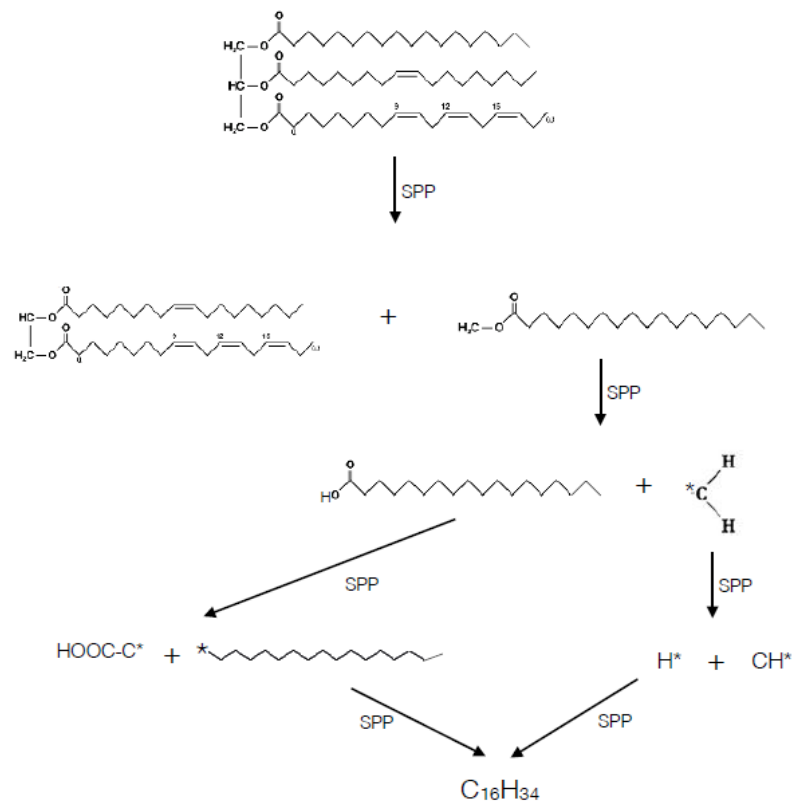
ภาพที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของผลิตภัณฑ์ เมื่อความถี่ของพัลส์ที่เพิ่มขึ้น ณ ความต่างศักย์ที่ 0.55 กิโลโวลต์ ณ เวลา 40 นาที



ภาพที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของผลิตภัณฑ์ เมื่อความถี่ของพัลส์ที่เพิ่มขึ้น ณ ความต่างศักย์ที่ 1.5 กิโลโวลต์ ณ เวลา 40 นาที

#### 4.8 การศึกษากลไกในการเกิดผลิตภัณฑ์

สำหรับการศึกษากลไกในการเกิดผลิตภัณฑ์สำหรับการแตกตัวน้ำมันปาล์มให้เป็นสายโซ่ที่มีโมเลกุลเล็กลง จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโทมิเตอร์ในหัวข้อที่ 4.6 พบว่าผลิตภัณฑ์หลักประกอบไปด้วยกรดโอเลอิก กรดปาล์มมิติก และอนุพันธ์ย่อยๆตามลำดับ จากนั้นการศึกษาผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวตามจุดประสงค์ของงานวิจัยพบ เฮกซะเดคเคน ที่เป็นสายโซ่ตรง มีสูตรโมเลกุล  $C_{16}H_{34}$  ซึ่งวิเคราะห์ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโทมิเตอร์ เช่นเดียวกัน จึงสันนิษฐานกลไกในการแตกตัวด้วยพลังงานจากเทคนิคพลาสมาดังนี้



โดยจากการผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ นอกเหนือจากผลิตภัณฑ์หลักอย่างเช่น กรดโอเลอิก และกรดปาล์มมิติกแล้ว ยังพบสารประกอบจำพวกไดกลีเซอไรด์ที่เกิดจากการแตกพันธะในหมู่ของกลีเซอรอลในโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์จากน้ำมันปาล์ม ซึ่งจากการสันนิษฐานกลไกข้างบนดังกล่าวพบได้ว่า อนุมูลอิสระที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมานั้น เข้าไปรวมตัวกับโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายตรงที่เกิดจากการแตกพันธะแล้วกลายไปเข้าข้างหนึ่งขาดอิเล็กตรอนเช่นเดียวกัน เมื่อรวมตัวแล้วจึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับกลไกการเกิดอนุมูลอิสระ ในหัวข้อที่ 4.2



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 ธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิค

##### พลาสมา

การศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า ธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการแตกตัวน้ำมันปาล์มสามารถตรวจวัดด้วยเครื่อง Optical Emission Spectrometer (OES) ซึ่งธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นนั้นได้แก่ H CH C<sub>2</sub> และอะตอมคาร์บอน

ส่วนการแตกตัวน้ำมันปาล์มร่วมกับการเติมน้ำในปริมาณ 50% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มนั้น พบว่า ธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการแตกตัวเกิดขึ้นเหมือนกับการแตกตัวน้ำมันปาล์มอย่างเดียว เพียงแต่มีการแตกตัวของ H และอะตอมของออกซิเจนเพิ่มขึ้นจากโมเลกุลของน้ำ

##### 5.1.2 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการแตกตัวน้ำมันปาล์ม

เทคนิคพลาสมาเป็นการใช้พลังงานความร้อนในการแตกตัวจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้พลังงานความร้อนผ่านอิเล็กโทรดสู่สารอินทรีย์ในระบบ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทั้งตัวแปรระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา ความต่างศักย์ไฟฟ้า ความถี่ของพัลส์ ซึ่งล้วนแต่เป็นตัวแปรที่ส่งผลโดยตรงต่อพลังงานที่ใช้ในการแตกตัวทั้งสิ้น จากผลการวิจัยพบว่าในทุกกรณีที่เพิ่มตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งสูงขึ้น ก็เสมือนกับการเพิ่มพลังงานความร้อนให้แก่ระบบในการแตกตัว ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีการแตกตัวเพิ่มขึ้นซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมี 3 สถานะ ได้แก่ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง

##### 5.1.3 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าการเพิ่มทุกๆ ตัวแปรส่งผลต่อการแตกตัวน้ำมันปาล์มทั้งสิ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ภาวะที่ดีที่สุดในการแตกตัวคือ ความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร เป็นภาวะที่สูงที่สุดที่ใช้ในการศึกษา เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทั้งต้องคำนึงถึงความปลอดภัยที่อาจจะเกิดขึ้น เพราะสารตั้งต้นที่ใช้ทดลองหรือผลิตภัณฑ์เหลวที่เกิดขึ้นนั้นเมื่อเจอความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆอาจเกิดการลุกติดไฟ จึงไม่สามารถปรับภาวะในการทดลองให้สูงกว่านี้ได้

#### 5.1.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวโดยแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโทมิเตอร์

ผลิตภัณฑ์เหลวที่นำมาวิเคราะห์ พบสารประกอบเฮกซะเดคเคน หรือที่เรียกว่า ออกเทนเป็นสารประเภทหนึ่งในกลุ่มของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง รวมทั้งยังเจอสารประกอบจำพวกคีโตน และแอลกอฮอล์ที่สามารถนำไปพัฒนา หรือปรับปรุงคุณภาพต่อเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในอนาคตได้อีกด้วย

#### 5.1.5 ประสิทธิภาพของพลังงานจากพลาสมาในการแตกตัวน้ำมันปาล์ม

พลังงานของพลาสมาสามารถเกิดการแตกตัวในสารอินทรีย์ หรือน้ำมันปาล์มได้ เช่นเดียวกับการเกิดการแตกตัวในสารอินทรีย์ชนิดเบนซีน [25] ทั้งนี้ยังมีประสิทธิภาพของพลังงานเพียงพอที่จะแตกตัวพันธะในน้ำมันปาล์มให้กลายเป็นสายโซ่ที่สั้นลงอีกด้วย ที่สำคัญกว่าเทคนิคเดิมในการแตกตัวพันธะของน้ำมันปาล์มให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว นั่นคือ เทคนิคพลาสมาสามารถเกิดได้ อนุญาตให้มีห้อง และสามารถควบคุมพลังงานได้อย่างสะดวก

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- หากมีการพัฒนาเครื่องมือในอนาคตที่ดีขึ้น ควรมีการพัฒนาภาวะในการแตกตัวที่สูงขึ้น เพื่อเพิ่มพลังงานในการแตกตัวที่ดีขึ้น
- ควรมีการศึกษาการเติมน้ำ และการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแตกตัวที่ดีขึ้น

### รายการอ้างอิง

1. Maher, K.D. and D.C. Bressler, *Pyrolysis of triglyceride materials for the production of renewable fuels and chemicals*. Bioresour Technol, 2007. **98**(12): p. 2351-68.
2. ปีโตรเลียม. [16 สิงหาคม 2559]; Available from: [http://www.nakhamwit.ac.th/pingpong\\_web/Petro\\_Chem.htm](http://www.nakhamwit.ac.th/pingpong_web/Petro_Chem.htm).
3. จันทรสุข, น., ความรู้เกี่ยวกับปีโตรเลียม. บริษัท เกียวโด เนชั่น พรินติ้ง เซอร์วิส จำกัด, 2556.
4. การกลั่นน้ำมันดิบ. [16 สิงหาคม 2559]; Available from: <http://www.ezydthai.com/index.php/study1>.
5. วงษ์สวาท, บ. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นปีโตรเลียม สมบัติ และการใช้ประโยชน์. [6 กันยายน 2559]; Available from: [http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd\\_site/crude\\_distrillation.htm](http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/crude_distrillation.htm)
6. พลังงานทดแทนคืออะไร. [21 สิงหาคม 2559]; Available from: <http://www.thaibiotech.info/what-is-alternative-energy.php>
7. ปิยนุช ธนวรานิช, เชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันมะพร้าวโดยการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาบน HZSM-5. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
8. Luo, Y., et al., *The thermal cracking of soybean/canola oils and their methyl esters*. Fuel Processing Technology, 2010. **91**(6): p. 613-617.
9. Voet, D., and Voet, J, *Biochemistry*. Wiley, 1995.
10. ญัฐกฤตต์ เพชรนะ, ไปโอแก๊สโซลีนจากกระบวนการคละตะไลติกแครกกิ่งน้ำมันปาล์มรีไฟน์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2554.
11. Silva, V.T., and Sousa, L.A, *The Role of Catalysis for the Sustainable Production of Bio-fuels and Bio-chemicals*. Elsevier publishing company, 2013.
12. ปาล์มน้ำมัน, in กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547.
13. เหลืองอาภาพงศ์, พ., คู่มือชาวสวนปาล์มน้ำมัน, in คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

14. การแปรรูปปาล์มน้ำมัน. [25 สิงหาคม 2559]; Available from: <http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html>.
15. Demirbas, A., *Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals*. Energy Conversion and Management, 2001. **42**: p. 1357-1378.
16. Hewitt, B. *Biochar as the new black gold*. [8 กันยายน 2559]; Available from: <http://grist.org/article/2009-08-13-ag-boosters-tout-biochar-as-offset-enhancer/full/>.
17. Van de Beld, B., E. Holle, and J. Florijn, *The use of pyrolysis oil and pyrolysis oil derived fuels in diesel engines for CHP applications*. Applied Energy, 2013. **102**: p. 190-197.
18. Tani, H., Shimiuchi, M., Haga, H., Fujimoto, K., *Development of direct production process of diesel fuel from vegetable oils*. Journal of The Japan Institute of Energy, 2011. **90**: p. 466-470.
19. Liu, C.-j., G.P. Vissokov, and B.W.L. Jang, *Catalyst preparation using plasma technologies*. Catalysis Today, 2002. **72**(3-4): p. 173-184.
20. Takai, O., *Solution plasma processing (SPP)*. Pure and Applied Chemistry, 2008. **80**(9).
21. Pootawang, P., N. Saito, and O. Takai, *Ag nanoparticle incorporation in mesoporous silica synthesized by solution plasma and their catalysis for oleic acid hydrogenation*. Materials Letters, 2011. **65**(6): p. 1037-1040.
22. Lima, D.G., et al., *Diesel-like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oils*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2004. **71**(2): p. 987-996.
23. Prasertsung, I., et al., *Preparation of low molecular weight chitosan using solution plasma system*. Carbohydrate Polymers, 2012. **87**(4): p. 2745-2749.
24. Kang, J., O.L. Li, and N. Saito, *Synthesis of structure-controlled carbon nano spheres by solution plasma process*. Carbon, 2013. **60**: p. 292-298.
25. Li, H.O.L., et al., *Comparison between the Mechanism of Liquid Plasma Discharge Process in Water and Organic Solution*. Journal of The Institute of Electrostatics Japan, 2013. **37**: p. 22-27.

26. *Atomic spectra database*. [7 กรกฎาคม 2559]; Available from: <https://www.nist.gov/pml/atomic-spectra-database>.
27. Watthanaphanit, A. and N. Saito, *Effect of polymer concentration on the depolymerization of sodium alginate by the solution plasma process*. *Polymer Degradation and Stability*, 2013. **98**(5): p. 1072-1080.
28. Adenike, O.A., K.D. Ajay, and N.B. Narendra, *Production of Diesel-Like Fuel and Other Value-Added chemical from pyrolysis of animal fat*. *Energy & Fuels*, 2005. **19**: p. 1735-1741.
29. Lu, Q., W.-Z. Li, and X.-F. Zhu, *Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils*. *Energy Conversion and Management*, 2009. **50**(5): p. 1376-1383.
30. Ucar, S. and A.R. Ozkan, *Characterization of products from the pyrolysis of rapeseed oil cake*. *Bioresour Technol*, 2008. **99**(18): p. 8771-6.





## ภาคผนวก ก

สภาวะที่ใช้ในการศึกษาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา

ตารางที่ ก-1 แสดงสภาวะต่างๆ และตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ความต่างศักย์ไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ความถี่ของพัลส์ (กิโลเฮิรตซ์)	ระยะเวลาของพัลส์ (ไมโครวินาที)	ระยะเวลาที่ทำปฏิกิริยา (นาที)
0.55	35	2	40
	45		
	100		
	150		
	190		
0.65	100		
0.75			
1.2	35	2	
	45		
1.5	15		3
	15		5
	15		10
	15		20
	15		40
	25		
	35		
	45		

จากการศึกษาสภาวะต่างๆของพลาสมาที่พลังงานต่ำ พบว่า ณ สภาวะที่พลังงานต่ำ และระยะในการทำปฏิกิริยาล้วนๆ ยังไม่เพียงพอที่จะสามารถแตกตัวน้ำมันปาล์มให้กลายเป็นสายโซ่

ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก หรือเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ได้ในปริมาณมาก ดังนั้นจึงทำการศึกษาสภาวะพลังงานของพลาสมาที่ใช้ในการแตกตัวสูงขึ้น เพื่อเพิ่มการแตกตัว





## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์ธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการแตกตัวด้วยเทคนิคพลาสมา

#### 1.1 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Optical Emission Spectrometer (OES)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาธาตุ และองค์ประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการแตกตัวของน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมาจากเครื่อง Optical Emission Spectrometer รุ่น USB2000+ ที่สามารถบันทึกได้ในช่วงระหว่าง 339.2-1022.5 นาโนเมตร ร่วมกับระบบสื่อสารสัญญาณด้วยเส้นใยแก้ว (Fiber transmission) ประเภท UV-VIS ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาสร้างกราฟระหว่างความยาวคลื่นในหน่วยนาโนเมตร กับความเข้มของสัญญาณจากนั้นนำกราฟไปเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงของสถาบัน National Institute of Standards and Technology และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการแปรกราฟข้อมูลเพื่อศึกษาธาตุ และองค์ประกอบ

##### 1.1.1 หลักการของเครื่อง Optical Emission Spectrometer (OES)

เครื่อง Optical Emission Spectrometer (OES) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาชนิด และปริมาณของธาตุ โดยใช้หลักการการกำเนิด X-ray โดยที่จะเป็นการวิเคราะห์พลังงานของ X-ray ที่ได้จากผิวชิ้นงาน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ 30 ธาตุได้ในเวลา 1-2 นาที อิเล็กตรอนในอะตอมของชิ้นงานที่มีระดับพลังงานต่ำสุด เรียกว่าระดับพื้น (ground state) จะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานสูงขึ้น เรียกว่าระดับพลังงานกระตุ้น (excited state) อะตอมที่อยู่ในสภาวะนี้จะไม่เสถียร จึงพยายามลดพลังงานลงมา จึงปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของแสง (light emission) หรือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัว แสงที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านไปยังระบบแยกความยาวคลื่นแสง ซึ่งเรียกว่า Spectrometer ที่มีลักษณะเป็นเลนส์นูน และปริซึมสามเหลี่ยม เพื่อให้เกิดการหักเหของแสง เป็น Spectrum จากนั้นแสงที่ถูกแยกความยาวคลื่นแล้วจะถูกส่งไปยัง Detector เพื่อเปลี่ยนความเข้มแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และระบบวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าให้เป็นความเข้มข้นของธาตุ

## ภาคผนวก ค

### การตรวจสอบสัญญาณทางไฟฟ้า

#### 1.1 การตรวจสอบสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป (oscilloscope)

วิธีการตรวจสอบสัญญาณทางไฟฟ้าในการศึกษาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา โดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคป (oscilloscope) รุ่น DLM2024 ของเพื่อดูค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่แท้จริงที่เกิดขึ้นระหว่างที่เกิดการจุดพลาสมาในน้ำมันปาล์ม

##### 1.1.1 เครื่องออสซิลโลสโคป (oscilloscope)

ออสซิลโลสโคป หมายถึงออสซิลโลสโคปที่ใช้หลอดรังสีแคโทดสโคป เป็นเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการวัดแสดงรูปคลื่นสัญญาณต่างๆ ออกมาเป็นภาพ จากนั้นจะปรากฏบนจอหลอดภาพให้เห็นได้ เช่น การวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า ที่เป็นไฟฟ้า (AC หรือ DC) การวัดความถี่ของสัญญาณ การวัดเฟสของสัญญาณ และรวมถึงการวัดสัญญาณพัลส์ การอ่านค่าแอมพลิจูดของสัญญาณจะเป็น สัญญาณ-ทู-สัญญาณ หรือค่าสัญญาณและค่าเวลาเป็นวินาที

หลักการทำงานของออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคปจะใช้หลักการบังคับการบ่ายเบนของลำอิเล็กตรอนภายในหลอดภาพรังสีแคโทด (Cathode ray tube ; CRT) ด้วยระบบการบ่ายเบนทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic deflection) ซึ่งหน้าที่หลักของออสซิลโลสโคป คือ รับสัญญาณ แสดงภาพของสัญญาณที่รับ และวิเคราะห์สัญญาณ

## ภาคผนวก ง

### การหาร้อยละสัดส่วนปริมาณของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษาการหาร้อยละสัดส่วนปริมาณของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยามีทั้งหมด 3 สถานะ คือ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์สัดส่วนของผลิตภัณฑ์จากวิธีการหาสมมูลน้ำหนัก มีวิธีการดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ปริมาตร 200 มิลลิลิตรก่อนนำไปเข้าปฏิกิริยาด้วยเทคนิคพลาสมา
2. ชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เหลวหลังผ่านปฏิกิริยาด้วยเทคนิคพลาสมาแล้ว เพื่อหาน้ำหนักของก๊าซที่สูญหายไปจากปฏิกิริยา
3. ตกตะกอนของแข็ง หรือผงคาร์บอนที่อยู่ในผลิตภัณฑ์เหลวด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง เพื่อแยกผงคาร์บอนออก
4. นำผงคาร์บอนที่ตกตะกอนแล้วไปกรองแยกออก
5. นำผงคาร์บอนไปอบแห้งเพื่อระเหยน้ำออก ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. ชั่งน้ำหนักผงคาร์บอน
7. นำมาคำนวณสมมูลน้ำหนัก เพื่อหาสัดส่วนปริมาณ และร้อยละของแต่ละสถานะ

## ภาคผนวก จ

### การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลว

#### 1.1 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมา ดังนั้นจึงใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ Agilent รุ่น 7890A ต่อกับ JMS-Q1050GC ชนิดของคอลัมน์ที่ใช้คือ HP-5 ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวหลังผ่านเทคนิคพลาสมา เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ ถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงมากในการวิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ประเภทต่างๆ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณที่ต้องการความแม่นยำสูง สามารถเปรียบเทียบผลวิเคราะห์กับฐานข้อมูล (Library) เพื่อความถูกต้องได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารมาตรฐาน

##### 1.1.1 หลักการของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์กลุ่มที่ระเหยได้ง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) และสารประกอบอินทรีย์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ปานกลาง (Semi-Volatile Organic Compounds)

หลักการของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีใช้เทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสมโดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบของสารผสมบนเฟสคงที่ (Stationary phase) ภายใต้การพาของเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) สำหรับเครื่องจีซี เฟสคงที่คือสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ส่วนเฟสเคลื่อนที่คือ แก๊สฮีเลียม เมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ผ่านเข้าสู่เครื่องจีซี สารดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (Liquid) เป็นแก๊ส (Gas) และส่วนแก๊สของสารผสมจะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยแก๊สฮีเลียม ซึ่งภายในคอลัมน์จะเกิดการแยกสารผสม (Separation) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Stationary phase) และสารผสม ทั้งนี้ในการแยกสารผสมให้เป็นสารเชิงเดี่ยวนั้น อาศัยความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล จุดเดือด โครงสร้างของสาร และสมบัติทางเคมีในการทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ซึ่งหลังจากที่สารแต่ละชนิดถูกแยกเป็นส่วนๆแล้ว จะเคลื่อนที่อยู่ภายในคอลัมน์ในเวลาที่แตกต่างกัน จากนั้นสารเชิงเดี่ยว

แต่ละชนิดจะผ่านเข้าอุปกรณ์วัดสัญญาณ (Detector) และแปรผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม (Chromatogram) ซึ่งสารเชิงเดี่ยวแต่ละสารจะมีระยะเวลาที่อยู่ในคอลัมน์ (Retention time, RT) เฉพาะตัว

### 1.1.2 หลักการของเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์

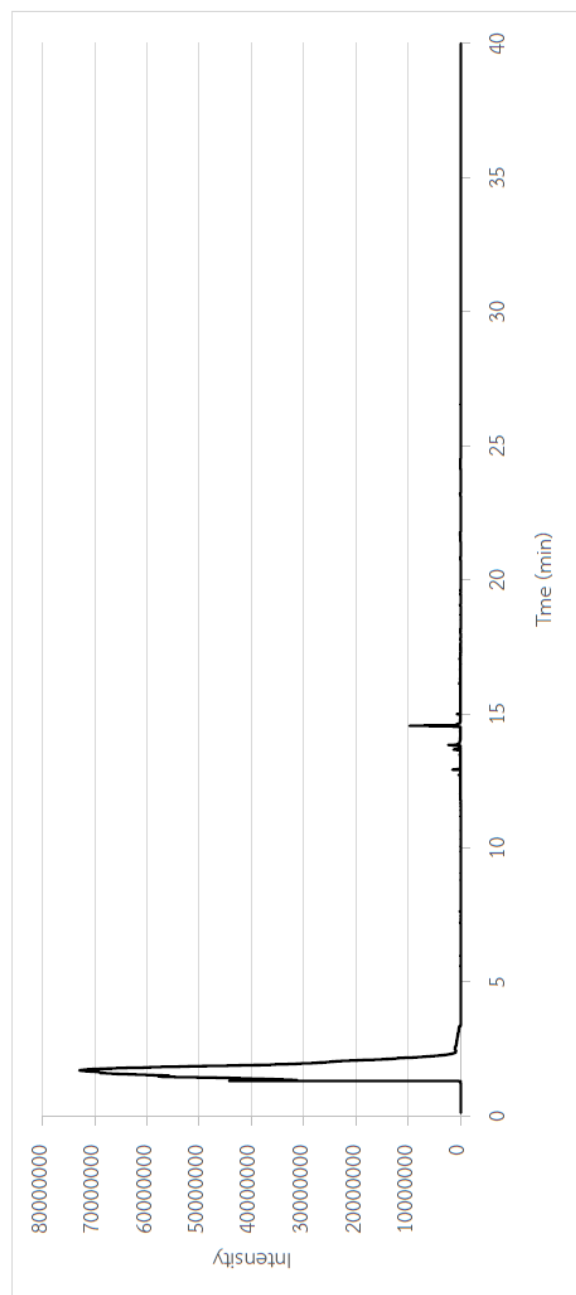
จากโมเลกุลของสารเชิงเดี่ยวจะเปลี่ยนให้เป็นไอออน (ionization) โดยใช้ส่วนผลิตไอออน (ion source) หลังจากนั้นไอออนที่เกิดขึ้นจะผ่านเข้าสู่ส่วนวิเคราะห์มวล (mass analyzer) และจะไปตกกระทบที่เครื่องตรวจวัดไอออน (ion detector) แปลงเป็นสัญญาณที่สัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มของไอออน จากนั้นจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล (digital signal) และถูกบันทึกลงในระบบการจัดเก็บข้อมูล ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณให้อยู่ในรูปของ แมสสเปกตรัม (mass spectrum)



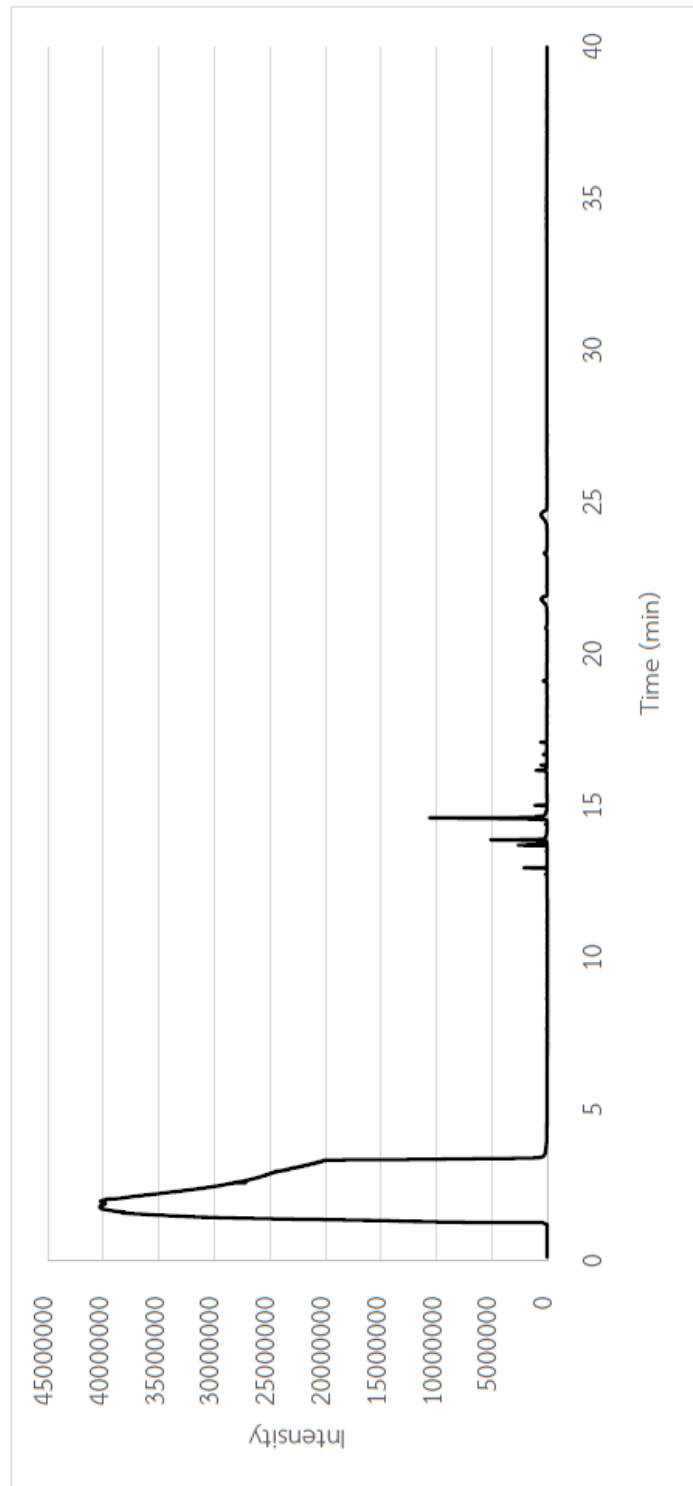
## ภาคผนวก ฉ

กราฟโครมาโทแกรมที่วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรมิเตอร์

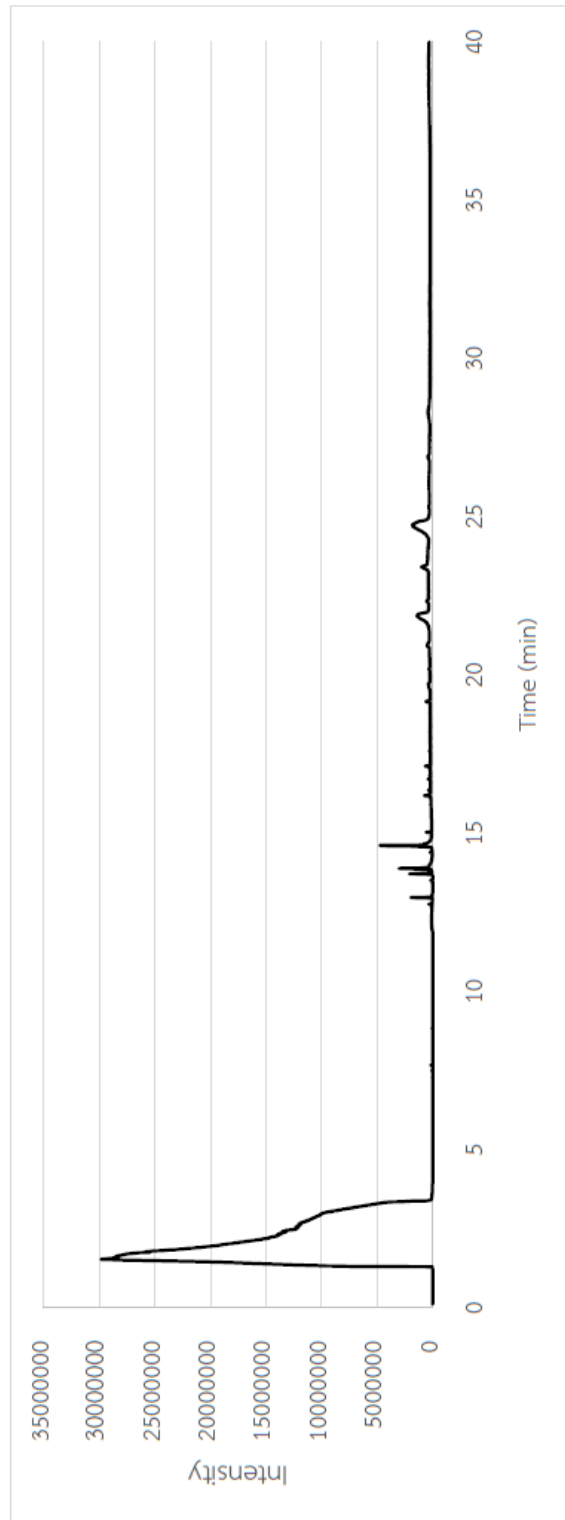
ฉ-1. กราฟโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยพลาสมาในสถานะความถี่ของพัลส์ 150 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.55 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที และระยะห่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร



ฉ-2. กราฟโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยพลาสมาในสภาวะความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.2 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที และระยะห่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร

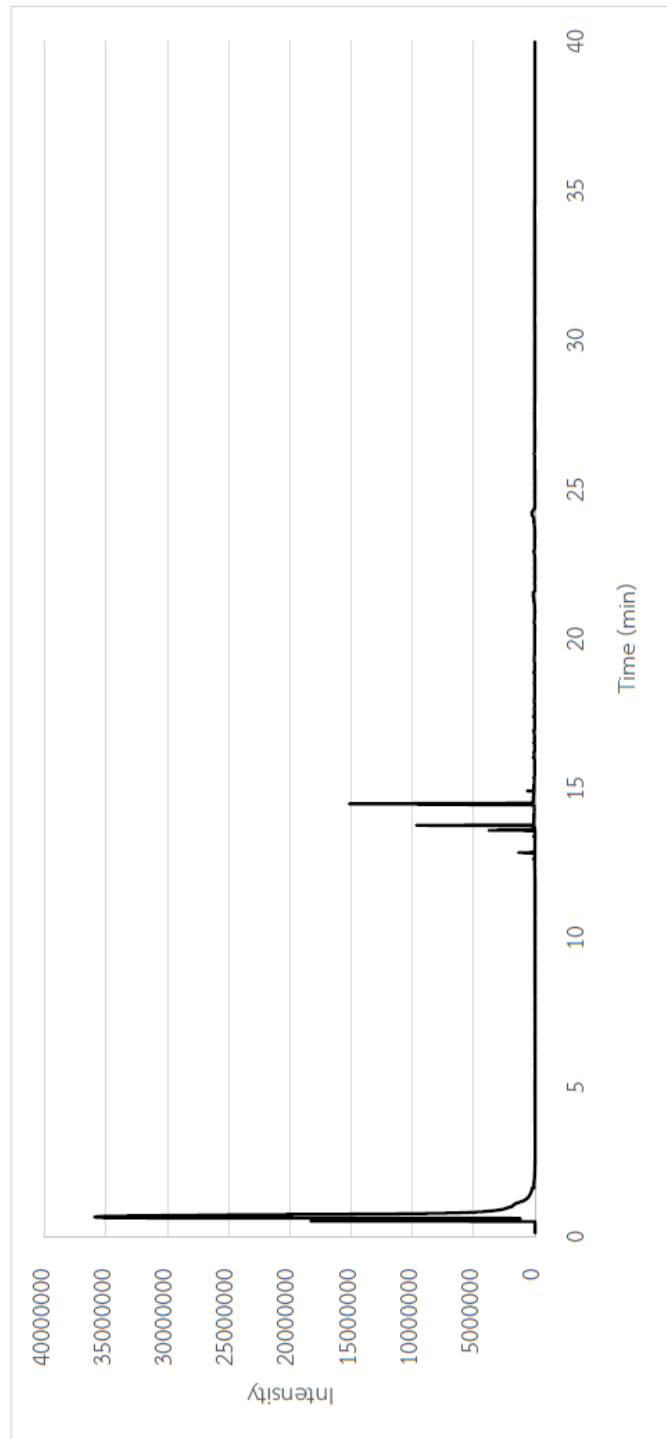


ฉ-3 กราฟโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยพลาสมาในสภาวะความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.5 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที และระยะห่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร





ฉ-4 กราฟโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์เหลวจากการแตกตัวน้ำมันปาล์มร่วมกับการเติมน้ำ ปริมาณ 50% โดย น้ำหนักของน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคพลาสมาที่สภาวะความถี่ของพัลส์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.2 กิโลโวลต์ ระยะเวลาของพัลส์ 2 ไมโครวินาที ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที และระยะห่างอิเล็กโทรด 0.5 มิลลิเมตร



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพิมพ์พกา มีประเสริฐสกุล เกิดเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2535 ที่ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีการศึกษา 2556 และได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2557 กำลังจะจบปี การศึกษาในปีการศึกษา 2559

### ประสบการณ์นำเสนอผลงาน

นำเสนอผลงานแบบปากเปล่า หัวข้อ “Plasma processing for cracking vegetable oil to short chain hydrocarbon as liquid fuels via pyrolysis reaction” ในงาน The 5th Asian Conference on Innovative Energy and Environmental Chemical Engineering (ASCONIEEChE) จัดขึ้นโดย The Society of Chemical Engineers, Japan ระหว่างวันที่ 13-16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ที่เมืองโยโกฮาม่า ประเทศญี่ปุ่น

นำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ หัวข้อ "New insights into vegetable oil pyrolysis by cold plasma technique" ในงาน The 2017 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies (2017 AEDCEE) จัดขึ้นโดย มหาวิทยาลัยทักษิณ และมหาวิทยาลัย de Moncton ประเทศแคนาดา ระหว่างวันที่ 25-26 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 ที่โรงแรม Pullman Bangkok King Power ประเทศไทย