

การลดความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูโดยใช้ลำอเล็กตรอนพลังงานสูง



นายธนวรรณ บัญญาษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A NOVEL APPROACH TO REDUCE VISCOSITY OF  
PALM OIL AND LARD USING HIGH-ENERGY ELECTRON BEAM

Mr. Thanawat Boonarsa



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

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์               | การลดความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูโดยใช้ลำ<br>อเล็กตรอนพลังงานสูง |
| โดย                             | นายธนวรรธน์ บุญอาษา  |
| สาขาวิชา                        | นิเวศวิทยเทคโนโลยี   |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง                                    |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง)

.....กรรมการ  
(ดร.พรณี แสงแก้ว)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ณรงค์ จันทน์ขาว)

ธนวรรณ บุญอาษา : การลดความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูโดยใช้ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง (A NOVEL APPROACH TO REDUCE VISCOSITY OF PALM OIL AND LARD USING HIGH-ENERGY ELECTRON BEAM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง, 76 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการการลดความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูโดยการฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูงโดยทำการศึกษา 4 ปัจจัยคือ ปัจจัยที่ 1 ชนิดของน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันหมู ปัจจัยที่ 2 ชนิดตัวทำละลาย ได้แก่ เอทานอลและน้ำมันดีเซล ปัจจัยที่ 3 สัดส่วนน้ำมันตัวอย่างกับตัวทำละลายที่ 1:3 1:1 และ 3:1 ปัจจัยที่ 4 ปริมาณรังสีที่ 1 กิโลเกรย์ 5 กิโลเกรย์ และ 10 กิโลเกรย์ที่ระดับพลังงาน 8 MeV จากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความหนืดก่อนและหลังฉายรังสีจากปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัย วิธีดำเนินงานวิจัยนำน้ำมันตัวอย่างมาผสมกับตัวทำละลายในสัดส่วนที่กำหนด จากนั้นนำไปฉายรังสีอิเล็กตรอนที่ปริมาณรังสีที่กำหนด ตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังทำการฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูงตามมาตรฐาน ASTM D 445 ด้วยเครื่องวัดความหนืดของน้ำมัน จากผลการตรวจวัดความหนืดพบว่า การฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูงมีผลต่อการลดความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง และผลของปัจจัยที่ศึกษาเป็นดังนี้ปัจจัยที่ 1 ชนิดของน้ำมัน พบว่า กรณีไม่ผสมตัวทำละลายน้ำมันปาล์มจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงมากที่สุดทั้ง 3 ปริมาณรังสี คือ 1 kGy เท่ากับ 0.49% , 5 kGy เท่ากับ 0.277 % และ 10 kGy เท่ากับ 0.22 % และกรณีผสมตัวทำละลายในสัดส่วนและนำไปฉายรังสีในปริมาณที่กำหนดพบว่าปริมาณรังสีที่ 5 kGy ของน้ำมันปาล์มผสมกับตัวทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 1:3 มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดมากที่สุดเท่ากับ 21.79% เมื่อเทียบกับน้ำมันหมูที่ผสมตัวทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 1:3 เช่นกัน รองลงมาคือที่ปริมาณรังสี 5 kGy ของน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 1:3 มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดเท่ากับ 15.95% และปริมาณรังสีที่ 5 kGy ของน้ำมันปาล์มผสมกับสารละลายเอทานอล ที่สัดส่วน 1:1 มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดเท่ากับ 13.20% ซึ่งปัจจัยที่ 2 ตัวทำละลายเอทานอลมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซล ปัจจัยที่ 3 สัดส่วนสารละลายที่ 1:3 ของสารละลายเอทานอลมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดมากที่สุด และปัจจัยที่ 4 ปริมาณรังสี ที่ 5 กิโลเกรย์มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดมากที่สุด

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

# # 5570218921 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS: ELECTRON BEAM, VISCOSITY REDUCTION, BIO PALM OIL, 76 OIL

THANAWAT BOONARSA: A NOVEL APPROACH TO REDUCE VISCOSITY OF PALM OIL AND LARD USING HIGH-ENERGY ELECTRON BEAM. ADVISOR: DOONYAPONG WONGSAWAENG, pp.

The purpose of this research was to study the process to reduce viscosity of palm oil and lard using high-energy electron beam. The following 4 factors were studied. The first one was oil type, which were palm oil and lard. The second one was solvent type, which were ethanol and diesel fuel. The third one was ratio of oil to solvent, which were 1:3, 1:1 and 3:1. The fourth one was radiation dose, which were 1, 5 and 10 kGy at 8 MeV from a high-energy electron beam accelerator. The viscosity before and after irradiation were measured and compared for each of the 4 factors studied. The research methodology was to mix oil with solvent at the specified ratio. The solution was irradiated with electron beam at the specified dose. The viscosity before and after irradiation were measured using a viscometer per ASTM D 445 standard. Results revealed that high-energy electron beam irradiation can reduce viscosity of oil samples. Effects of the studied parameters were as follows. For the first factor, without mixing with solvent, palm oil exhibited the highest viscosity reduction, which was 0.49% for 1 kGy, 0.277% for 5 kGy and 0.22% for 10 kGy. By mixing palm oil with ethanol at 1:3 ratio and irradiated at 5 kGy, the viscosity reduction was 21.79%. By mixing palm oil with diesel fuel at 1:3 ratio and irradiated at 5 kGy, the viscosity reduction was 15.95%. By mixing palm oil with ethanol at 1:1 ratio and irradiated at 5 kGy, the viscosity reduction was 13.20%. For the second factor, it was found that ethanol offered a higher viscosity reduction percentage than diesel fuel. For the third factor, it was found that the 1:3 ratio of ethanol solvent offered the highest viscosity reduction percentage. For the fourth factor, it was found that at 5 kGy, the viscosity reduction percentage was highest.

Department: Nuclear Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Nuclear Technology

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2015

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี ด้วยความเมตตาช่วยเหลือของ รศ. ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นผู้ให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์พร้อมทั้งช่วยตรวจทาน แก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันมีคุณค่า และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่อนุเคราะห์ให้ฉายอิเล็กตรอนจากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง รวมถึงเจ้าหน้าที่คอยให้ความรู้และคำแนะนำในการใช้เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง

ขอขอบคุณฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำมัน บริษัท ปตท.จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ เพื่อวิเคราะห์ผลงานวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒสำหรับความอนุเคราะห์ให้ใช้อุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดาที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆด้านด้วยความรักและความห่วงใยจนสามารถทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                         | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                      | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                         | ฉ    |
| สารบัญ.....                                  | ช    |
| สารบัญตาราง.....                             | 9    |
| สารบัญภาพ.....                               | 10   |
| บทที่1 บทนำ.....                             | 13   |
| 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญ.....             | 13   |
| 1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....           | 14   |
| 1.3. ขอบเขต.....                             | 14   |
| 1.4. วิธีดำเนินการวิจัย.....                 | 14   |
| 1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....          | 14   |
| 1.6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....              | 15   |
| บทที่2 ทฤษฎี.....                            | 17   |
| 2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel).....               | 17   |
| 2.2 ส่วนประกอบและโครงสร้างของน้ำมัน .....    | 23   |
| 2.3 ส่วนประกอบและโครงสร้างของตัวทำละลาย..... | 26   |
| 2.4 ลำอิเล็กตรอน (Electron Beam).....        | 32   |
| 2.5 หลักการลดความหนืดของน้ำมัน.....          | 35   |
| บทที่3 วิธีดำเนินการวิจัย.....               | 38   |
| 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....          | 38   |
| 3.2 การดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล.....        | 40   |

|  |    |
|--|----|
| 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล .....                   | 50 |
| บทที่4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล .....   | 51 |
| 4.1 ผลการลดลงของค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่าง..... | 51 |
| บทที่5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....       | 69 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....                        | 69 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ .....                           | 71 |
| รายการอ้างอิง .....                            | 73 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....               | 76 |





## สารบัญตาราง

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| ตารางที่ 2.1 | ความสามารถในการผลิตน้ำมันของพืชต่างๆ.....  | 23 |
| ตารางที่ 2.2 | องค์ประกอบของไขมัน .....   | 25 |
| ตารางที่ 2.3 | ค่าความถี่ของรังสีต่าง .....   | 32 |
| ตารางที่ 3.1 | การหาระยะเวลาในการฉายในปริมาณรังสีที่กำหนด .....   | 43 |
| ตารางที่ 4.1 | ตารางเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าความหนืดของน้ำมันแต่ละชนิดจาก 2 แหล่งที่มา... 51                                       |    |
| ตารางที่ 4.2 | ค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างที่ไม่ผสมกับตัวทำละลายทดสอบหาปริมาณรังสีที่เหมาะสม.....                                  | 52 |
| ตารางที่ 4.3 | ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูที่ผสมตัวทำละลายหลังฉายรังสีในปริมาณรังสีที่กำหนด .....                         | 52 |
| ตารางที่ 4.4 | ค่าความหนืดและเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันปาล์มก่อนฉายรังสีและหลังฉายรังสี โดยกำหนดเอทานอลและน้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลาย ..... | 54 |
| ตารางที่ 4.5 | ค่าความหนืดและเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันหมูก่อนฉายรังสีและหลังฉายรังสี โดยกำหนดเอทานอลและน้ำมันดีเซล เป็นตัวทำละลาย.....   | 55 |
| ตารางที่ 4.6 | เปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ลดลง กำหนดตัวแปร คือ ผสมตัวทำละลาย และไม่ผสมตัวทำละลายหลังการฉายรังสี.....    | 60 |
| ตารางที่ 4.7 | เปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันหมูที่ลดลงที่กำหนดตัวแปร คือ ผสมตัวทำละลาย และไม่ผสมตัวทำละลายหลังการฉาย.....         | 61 |
| ตารางที่ 4.8 | แสดงค่าความหนืดของน้ำมันก่อนและหลังฉายรังสี.....   | 66 |
| ตารางที่ 4.9 | แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดมากที่สุด 3 อันดับแรก.....   | 67 |

## สารบัญภาพ

|  |    |
|--|----|
| รูปที่ 2.1 รูตอล์ฟ ดีเซล (Rudolf C. Diesel : 1858 - 1913).....                         | 17 |
| รูปที่ 2.2 หอกลิ้นลำดับส่วนของน้ำมันดิบ แยกตามจุดเดือดได้เป็นประเภทของน้ำมันต่างๆ..... | 21 |
| รูปที่ 2.3 ความสามารถในการผลิตน้ำมันของพืชต่างๆ .....                                  | 24 |
| รูปที่ 2.4 ประเภทของลิพิดเชิงเดี่ยว .....  | 24 |
| รูปที่ 2.5 สารละลายเอทานอล .....   | 26 |
| รูปที่ 2.6 กระบวนการกลั่นน้ำมันดีเซล.....  | 29 |
| รูปที่ 2.7 ซีเทนผสมกับแอลฟาเมธิลแนฟทาลี .....  | 30 |
| รูปที่ 2.8 อาคารเครื่องเร่งอิเล็กตรอน สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ.....           | 33 |
| รูปที่ 2.9 กราฟแสดงปริมาณรังสีที่ลดลงตามความหนาของวัสดุทดสอบ .....                     | 34 |
| รูปที่ 2.10 หลักการทดสอบหาปริมาณรังสีที่ความหนาของวัสดุต่างกัน .....                   | 34 |
| รูปที่ 2.11 หลักการลดความหนืด.....   | 35 |
| รูปที่ 3.1 เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน.....  | 38 |
| รูปที่ 3.2 ห้องควบคุมเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน .....                                 | 38 |
| รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ CANNON VISCOSITY METER รุ่น CAV – 2000.....  | 39 |
| รูปที่ 3.4 การเตรียมน้ำมันตัวอย่างสำหรับเครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ .....           | 39 |
| รูปที่ 3.5 เครื่องชั่งสาร.....   | 40 |
| รูปที่ 3.6 เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน.....  | 40 |
| รูปที่ 3.7 น้ำมันปาล์ม ตรามรกต จากร้านLOTUS อ.องครักษ์ จ.นครนายก .....                 | 41 |
| รูปที่ 3.8 น้ำมันหมู จากตลาด อ.องครักษ์ จ.นครนายก.....                                 | 41 |
| รูปที่ 3.9 ตัวทำละลาย น้ำมันดีเซล เอทานอล.....   | 42 |
| รูปที่ 3.10 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มผสมกับตัวทำละลายแต่ละชนิดในสัดส่วนที่กำหนด.....         | 42 |
| รูปที่ 3.11 ตัวอย่างน้ำมันหมูผสมกับตัวทำละลายแต่ละชนิดในสัดส่วนที่กำหนด.....           | 43 |

|  |    |
|--|----|
| รูปที่ 3.12 ตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบหาปริมาณรังสีที่เหมาะสม .....   | 43 |
| รูปที่ 3.13 การฉายรังสีกับน้ำมันตัวอย่าง.....  | 44 |
| รูปที่ 3.14 เตรียมน้ำมันปาล์มที่ผสมกับตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดคือ น้ำมันดีเซล และเอทานอลเพื่อ<br>ฉายรังสีอิเล็กทรอนิกส์เพื่อหาปริมาณรังสีที่เหมาะสม ..... | 44 |
| รูปที่ 3.15 แยกตัวทำละลายเอทานอลและน้ำมันดีเซลออกจากน้ำมันตัวอย่าง .....   | 45 |
| รูปที่ 3.16 น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูที่ผ่านการฉายรังสีไปวัดหาค่าความหนืด.....   | 45 |
| รูปที่ 3.17 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูเพื่อเตรียมวัดความหนืดก่อนฉาย.....  | 46 |
| รูปที่ 3.18 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูเพื่อเตรียมฉายรังสี.....  | 47 |
| รูปที่ 3.19 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูผสมกับตัวทำละลายน้ำมันดีเซลและเอทานอลใน<br>สัดส่วนที่กำหนด.....   | 47 |
| รูปที่ 3.20 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูผสมกับตัวทำละลายน้ำมันดีเซลและเอทานอลใน<br>สัดส่วนที่กำหนด.....   | 48 |
| รูปที่ 3.21 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูผสมกับตัวทำละลายน้ำมันดีเซลและเอทานอลใน<br>สัดส่วนที่กำหนดเพื่อทำการฉายรังสี .....                          | 48 |
| รูปที่ 3.22 แยกเอทานอลและน้ำมันดีเซลออกจากน้ำมันตัวอย่าง .....   | 49 |
| รูปที่ 3.23 น้ำมันตัวอย่างหลังการฉายรังสีเพื่อตรวจวัดความหนืด .....  | 49 |
| รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความหนืดของน้ำมันแต่ละชนิด .....  | 53 |
| รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล.....   | 56 |
| รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล.....   | 56 |
| รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล.....   | 57 |
| รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันหมูที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซลที่<br>สัดส่วน 1:3 .....  | 57 |
| รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันหมูที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซลที่<br>สัดส่วน 1:1 .....  | 58 |
| รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันหมูที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซลที่<br>สัดส่วน 3:1 .....  | 58 |

|   |    |
|---|----|
| รูปที่ 4.8 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมูระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสม<br>ตัวทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 1:3.....        | 62 |
| รูปที่ 4.9 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมูระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสมตัว<br>ทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 1:1.....        | 62 |
| รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมูระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสม<br>ตัวทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 3:1.....       | 63 |
| รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมูระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสม<br>ตัวทำละลายน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 1:3.....   | 64 |
| รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมูระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสม<br>ตัวทำละลายน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 1:1.....   | 64 |
| รูปที่ 4.13 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมูระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสม<br>ตัวทำละลายน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 3:1.....   | 65 |
| รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมัน<br>หมู โดยเปลี่ยนตัวแปร ปริมาตรรังสี ..... | 66 |
| รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดของน้ำมันปาล์ม.....   | 68 |
| รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดของน้ำมันหมู.....   | 68 |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญ

เมื่อวิกฤตน้ำมันของโลกมีมากขึ้นเป็นลำดับ ราคาน้ำมันดิบสูงมากเป็นประวัติการณ์และไม่มีที่ท่าว่าจะลดลงบวกกับประชากรโลกเพิ่มสูงขึ้น แต่ทว่าน้ำมันดิบกำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ รวมถึงปัญหาทางภาคการเกษตรด้านผลผลิตล้นตลาดราคาตกต่ำ ปัญหาทางการเงินของหลายๆ ประเทศ และที่สำคัญคือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้นส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ทำให้มีการมองหาพลังงานทางเลือก ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาเป็นน้ำมันทางเลือกเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลผลิตมาจากพืช หรือไขมันสัตว์ โดยน้ำมันชนิดนั้นเมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์แล้วพบว่ามีความสมบัติในการเผาไหม้ได้ดีไม่ต่างจากน้ำมันจากปิโตรเลียม แต่ข้อดีก็ยังมีหลายอย่าง ซึ่งเริ่มมีงานวิจัยในการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้ดีขึ้น เพื่อประโยชน์ในการลดต้นทุนรวมถึงการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ในการใช้ไบโอดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจากการวิจัยพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม [1]

ปัญหาของการนำไบโอดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงหรือนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดก็คือ ค่าความหนืดของน้ำมันที่ยังสูงกว่าน้ำมันดีเซล กระบวนการแปรรูปไบโอดีเซลให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลต้องพิจารณาคุณสมบัติที่สำคัญคือ ความหนืด (Viscosity) เพราะส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของเครื่องยนต์ความเร็วรอบสูง [2] ดังนั้นหากสามารถลดความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลให้ได้ใกล้เคียงกับค่าความหนืดของน้ำมันดีเซล ส่งผลให้สามารถนำน้ำมันไบโอดีเซลมีความเหมาะสมนำมาใช้กับเครื่องยนต์มากขึ้น ในด้านเทคโนโลยีรังสีก็ได้มีงานวิจัยหลายงานที่ได้นำเอารังสีต่างๆ มาฉายเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล เช่น การใช้รังสีแกมมา ที่ปริมาณความแรงต่างๆ การใช้ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง เป็นต้น ซึ่งพบว่าการฉายรังสีสามารถทำให้โซ่พอลิเมอร์แตกออกเพราะรังสี และจะกลับมาอยู่ชิดกันแล้วเกาะเชื่อมโยงตัวกันใหม่เป็นโครงร่างแหสามมิติทำให้ความหนาแน่นสูงขึ้นกว่าเดิม ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้น แต่หากมีการละลายตัวทำละลายที่เหมาะสมก่อนที่จะฉายรังสี ตัวทำละลายจะทำให้โมเลกุลของน้ำมันเหล่านั้นอยู่ห่างกันมากขึ้น เมื่อสกัดเอาตัวทำละลายออกก็จะได้น้ำมันที่มีโมเลกุลที่สั้นลงส่งผลให้ความหนืดลดลง ในการเลือกตัวทำละลายนั้นจะต้องเลือกชนิดที่ไม่เกิดการสลายตัวเมื่อถูกฉายรังสี หรือไม่เกิดสารแปลกปลอมซึ่งจะเกิดจากการเสื่อมสลายของตัวทำละลายโดยรังสี และตัวทำละลายต้องหาง่าย หรือสกัดออกง่าย [2]

ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมา ที่เกี่ยวกับการลดความหนืดโดยใช้ตัวทำละลาย เช่น Xylene , N-Butanol หรือ Ethyl Alcohol คาร์บอนเตตระคลอไรด์ น้ำมันดีเซล น้ำ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้มีการใช้ตัวทำละลายสองตัวคือ เอทานอล และน้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันดีเซล และเอทานอลสามารถทำละลายน้ำมันตัวอย่างได้ดีและไม่เกิดการแยกชั้นเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ 2 วัน หลังทำการผสม

## 1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเงื่อนไขในการลดความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูโดยใช้เอทานอลและน้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลาย โดยการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ระดับพลังงาน 8 MeV

## 1.3. ขอบเขต

งานวิจัยนี้จะศึกษาหาเงื่อนไขจากตัวแปรต่อไปนี้ในการลดความหนืดของน้ำมัน

3.1 ปริมาณโดสของรังสีอิเล็กตรอน คือ 1 kGy, 5 kGy, 10 kGy ที่ระดับพลังงาน 8 MeV

3.2 ชนิดของน้ำมันก่อนผสมกับตัวทำละลาย คือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันหมู

3.3 ชนิดตัวทำละลาย คือ เอทานอลและน้ำมันดีเซล

3.4 ชนิดของน้ำมันกับสัดส่วนตัวทำละลาย คือ 1:3, 1:1, และ 3:1

## 1.4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับเคมีรังสีของน้ำมัน การพัฒนาเชื้อเพลิงไบโอดีเซล การวัดค่าความหนืด

4.2 ศึกษาหาวิธีที่ทำให้น้ำมันกับตัวทำละลายอยู่ด้วยกันได้ระหว่างการฉายรังสี และสามารถแยกออกจากกันได้หลังการฉายรังสีเสร็จสิ้น

4.3 ทำการฉาย ลำอิเล็กตรอน ที่ตัวแปรต่างๆตามรูปแบบการวิจัย เพื่อให้เกิดการเสื่อมสลายของโมเลกุลน้ำมันอย่างถาวร

4.4 ตรวจสอบวัดความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมก่อน-หลัง

4.5 ตรวจสอบคุณภาพและนัยสำคัญของผลการทดลอง โดยการวิเคราะห์ทางสถิติ

4.6 สรุปผลพร้อมเสนอแนวทางขยายผล

## 1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบปัจจัยที่สามารถลดความหนืดมากที่สุดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมู โดยใช้ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง สามารถนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่มากขึ้น

## 1.6.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

6.1 วัชรพล ปุณชันธ์ ประพัทธ์ สันติวารากร สมนึก อีระกุลพิศุทธิ์ และ ชนกนันท์ สุขกำเนิด (2545)[3] ทำการวิจัย ผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล พบว่า แรงบิดและกำลังที่ออกมาจากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจะมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 3-5% แต่อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด มีค่าใกล้เคียงกันและเมื่อทำการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตร B5- B10 พบว่า ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการทำงานหรือการสึกหรอของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล จึงสรุปได้ว่าสามารถใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลได้และไม่มีผลกระทบที่เป็นนัยสำคัญต่อเครื่องยนต์ แต่อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาวิจัยถึงผลกระทบต่อความสึกหรอของเครื่องยนต์ในระยะยาวต่อไป

6.2 กาญจนา บุญขำ และคณะ[4] การเพิ่มคุณค่าโทแพกไซไม่มีสีโดยลำโเล็กตรอน พบว่า สีน้ำตาลที่เกิดจากการฉายด้วยปริมาณรังสีต่ำๆ จะเข้มข้นตามปริมาณรังสีที่มากขึ้น ที่ปริมาณรังสีปานกลาง (500-1,000 เมกะแรด) จะเกิดสีน้ำตาลอมเขียว, ที่ปริมาณรังสีสูงมากขึ้น (1,000-5,000 เมกะแรด) เกิดสีน้ำตาลอมน้ำเงิน และที่ปริมาณรังสีสูงมากๆ (5,000-20,000 เมกะแรด) เกิดเป็นสีน้ำเงิน สีน้ำตาลเกิดจากศูนย์กลางสี (color center) 2 ชนิดที่แตกต่างกัน อย่างแรก เป็นของชนิดซีดจางลงโดยธรรมชาติ (fading nature) และอีกอย่างหนึ่ง เป็นของชนิดที่เสถียรโดยธรรมชาติ (K. Sassau, 1984) ศูนย์กลางสีน้ำตาลที่ปรากฏให้เห็น ส่วนใหญ่เป็นของชนิดซีดจางลง, และเมื่อทิ้งไว้ในแสงสว่างหรือให้ความร้อนที่ประมาณ 200 องศาเซลเซียส ผลที่ได้สีจะซีดจางลง กำลังของเครื่องเร่งอนุภาคเป็นสิ่งสำคัญสำหรับอัตราการได้รับรังสีของโทแพกไซจากอีเล็กตรอน เครื่องเร่งอนุภาคขนาด 10 kW สามารถฉายรังสีโทแพกไซได้ 15,000 กะรัต ถึง 45,000 กะรัตต่อวัน และ เครื่องเร่งอนุภาคขนาด 60 kW สามารถฉายรังสีโทแพกไซได้ 100,000 กะรัตต่อวัน ถึง 300,000 กะรัตต่อวัน

6.3 ฐิติมา คงรัตน์อาภรณ์ และคณะ[5] ทำการศึกษา ผลของการฉายลำอีเล็กตรอนและรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโตและการสร้างเม็ดสีของมอดยาสูบ พบว่า LD50 ของรังสีแกมมาต่อไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย เท่ากับ 419.11 425.53 798.72 และ 970.87 เกรย์ และ LD99 ของรังสีแกมมาต่อไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย เท่ากับ 829.84 842.55 1581.47 และ 1922.33 เกรย์ ตามลำดับ ส่วน LD50 ของลำอีเล็กตรอนต่อไข่ หนอนดักแด้ และตัวเต็มวัย เท่ากับ 425.43 420.52 771.61 และ 807.75 เกรย์ และ LD99 ของลำอีเล็กตรอนต่อไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย เท่ากับ 842.55 832.63 1527.78 และ 1599.35 เกรย์ โดยพบว่าความทนทานต่อรังสีเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการพัฒนาการเจริญเติบโต สรุปการทดลองได้ว่า ปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการกำจัดมอดยาสูบทุกระยะการเจริญเติบโตคือ 600 เกรย์ การศึกษาการสร้างเม็ดสีของหนอนมอดยาสูบ พบว่าการสร้างเม็ดสีเกิดกับหนอนวัยอ่อนไม่ฉายรังสีหลังการทำให้ตายโดยการแช่แข็ง แต่เกิดน้อยหรือไม่เกิดเลยในหนอนวัยอ่อนฉายรังสีแกมมาและลำอีเล็กตรอน การเกิดจะลดลงตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น ผลการทดลองเช่นนี้ไม่เกิดในหนอนวัยแก่

6.4 กิติพงษ์ เสถียรเสาวภากร (2550)[6] ทำการวิจัย ผลกระทบจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วต่อสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ทางการเกษตรแบบสูบเดียวในการใช้งานระยะยาว โดยเปรียบเทียบ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว 100 % กับน้ำมันไบโอดีเซลมาตรฐานในเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร พบว่าที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลให้แรงบิดและกำลังเบรคต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 5 % และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าประมาณ 10 % ในส่วนของการสึกหรอพบว่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

6.5 อำไพ ลีวัฒนะโชตินันท์ (2552)[7] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดโดยการใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 เพื่อลดความหนืดอย่างถาวรของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดที่ผ่านกระบวนการแล้วโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยทำการศึกษา 6 ปัจจัยได้แก่ ชนิดของน้ำมัน ตัวทำละลาย ปริมาณรังสี อัตราการผสมการเติมอากาศและไม่เติมอากาศระหว่างฉายรังสี และอุณหภูมิระหว่างการฉาย โดยผลที่ได้คือ ปัจจัยทั้ง 6 มีผลต่อการลดความหนืดอย่างถาวร ซึ่งเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความหนืดจะอยู่ในช่วง 7.63 – 46.92 % โดยกลุ่มตัวอย่างที่มีเปอร์เซ็นต์ลดลงมากที่สุดคือ น้ำมันมะพร้าวผสมกับ Ethyl Alcohol ที่สัดส่วน 3:2 ทำการฉายรังสีปริมาณ 30 kGy ที่อุณหภูมิ 75 °C มีการเติมอากาศระหว่างทำการฉายและจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 96.83% มีนัยสำคัญจาก 2 ปัจจัยหลักคือ ปริมาณรังสีแกมมาและการเติมอากาศ และ 5 ปัจจัยร่วมคือ ชนิดของน้ำมันกับตัวทำละลาย ชนิดของน้ำมันกับสัดส่วนสารละลาย ชนิดของน้ำมันและปริมาณรังสี ตัวทำละลายกับสัดส่วนสารละลายและสัดส่วนสารละลายกับปริมาณรังสี

6.6 ชนิด พรนำพา (2553)[8] แนวทางใหม่ในการลดความหนืดของน้ำมันพืชบางชนิดและน้ำมันหมูโดยใช้และคาร์บอนเตตราคลอไรด์เป็นตัวทำละลายขณะฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์ พบว่าการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยทำการควบคุมปัจจัยทั้งหมดพบว่า 4 ปัจจัยแรกมีผลในการลดความหนืดของน้ำมันอย่างถาวร โดยอัตราส่วนและปริมาณรังสีที่ดีที่สุดสำหรับน้ำมันแต่ละชนิดคือ สำหรับน้ำมันปาล์ม  $CCl_4$  : Oil ที่ 1:1 และที่ปริมาณรังสี 0.1 KGy มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความหนืดเท่ากับ 25.27% ได้ค่าความหนืด 30.16 cSt สำหรับน้ำมันมะพร้าว  $CCl_4$  : Oil ที่ 1:1 และปริมาณรังสี 0.5 kGy มีเปอร์เซ็นต์ความลดลงของความหนืดเท่ากับ 50.95% ได้ค่าความหนืด 14.73 cSt สำหรับน้ำมันหมู  $CCl_4$  : Oil ที่ 3:1 และปริมาณรังสี 0.1 kGy มีเปอร์เซ็นต์ความลดลงของความหนืดเท่ากับ 14.59% ได้ค่าความหนืด 33.13 cSt พบว่าปัจจัยที่ 5 คือการใส่ผลโลหะทั้ง 3 ชนิดร่วมกับใช้น้ำเป็นตัวทำละลายระหว่างการฉายรังสี ไม่มีผลต่อการลดลงของค่าความหนืด



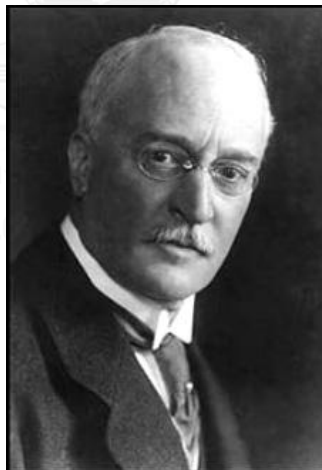
## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

น้ำมันไบโอดีเซลถูกคิดค้นและนำมาทดลองใช้ในเครื่องยนต์เป็นผลสำเร็จครั้งแรกเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม ค.ศ.1893 โดย "รูดอล์ฟ ดีเซล" (Rudolf C. Diesel : 1858 - 1913) วิศวกรชาวเยอรมัน ผู้ประดิษฐ์เครื่องยนต์ที่มีชื่อว่า "ดีเซล" เป็นผลสำเร็จในปี 1893 และจดสิทธิบัตรในปีถัดมา โดยการทดลองได้นำเครื่องยนต์ลูกสูบเดี่ยวที่ทำจากเหล็กยาว 3 เมตร ซึ่งมีล้อเฟืองติดอยู่ที่ฐานมาทดลองใช้กับน้ำมันไบโอดีเซล ที่ทำจากเมล็ดถั่วเหลืองได้เป็นผลสำเร็จเป็นครั้งแรกของโลกในเมืองอัคร์สเบิร์ก ประเทศเยอรมนี และเพื่อเป็นการระลึกถึงความสำเร็จในครั้งนั้น จึงทำให้วันนี้ถูกกำหนดให้เป็นวันไบโอดีเซลระหว่างประเทศในเวลาต่อมา[9]

ปัจจุบันความหมายของไบโอดีเซล คือ น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า Trans esterification ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่สามารถเปลี่ยนไขมันหรือ Triglycerides ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Mono Alkyl Ester) เช่น เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) เป็นต้น และกลีเซอรอล (Glycerol) โดยไบโอดีเซลชนิดนี้ถือว่าเป็นไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์และเป็นที่ยอมรับในสากล



รูปที่ 2.1 รูดอล์ฟ ดีเซล (Rudolf C. Diesel : 1858 - 1913)

ไบโอดีเซล มีสูตรทางเคมี  $R_1COOR_2$  ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ โดยจะใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง หรือใช้ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงก็ได้

R1 หมายประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง ให้เอทานอล และไบโอดีเซล เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงตามพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ.2543 และ พ.ศ.2548 COO หมายถึง กลุ่มแอลคิลจากกรดไขมัน

R2 หมายถึง กลุ่มแอลคิลจากแอลกอฮอล์

ไบโอดีเซล เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงตามพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ.2543และพ.ศ. 2548 ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 122 ตอนพิเศษ 30 ง (8 เม.ย.48) หน้า 2 (เอกสารภาษาไทย ชั้น 5) การผลิตไบโอดีเซลแบบนี้ตามกฎหมายต้องขายให้กับผู้ค้าน้ำมันตามมาตรา 7 เท่านั้น ซึ่งปัจจุบันมีบริษัทที่ได้รับอนุญาตให้ผลิตไบโอดีเซลชนิดเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมัน จำนวน 14 บริษัท ผลิตได้วันละ 1.2 ล้านลิตร โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบและไฮสเตรียรีนเป็นวัตถุดิบหลัก

วัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอดีเซลนั้นจะขึ้นกับพืชที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น สหภาพยุโรปใช้เมล็ดเรพ (Rape seed) เป็นวัตถุดิบ ฝรั่งเศสและสเปนใช้ดอกทานตะวันเป็นวัตถุดิบ ออสเตรีย เยอรมันและสหรัฐอเมริกาใช้ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ ส่วนวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันพืชสกัดใหม่อีก 8 ชนิด คือน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันละหุ่ง น้ำมันงา น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันสบู่ดำ โดยวัตถุดิบหลักของไบโอดีเซล ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีศักยภาพในการแข่งขันสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ ทั้งด้านการผลิตและการตลาด คือ มีต้นทุนการผลิตและราคาต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่น นอกจากนี้ปาล์มยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายทั้งในสินค้าอุปโภคและบริโภค นอกจากนี้ยังมีน้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าด เรียกว่าน้ำมันไบโอดีเซลแบบลูกผสมอีกด้วย

#### 2.1.1 ชนิดของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล[10]

แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามกระบวนการผลิต คือ

2.1.1.1 น้ำมันพืช (Straight Vegetable Oil) หรือน้ำมันจากสัตว์เชื้อเพลิงไบโอดีเซลประเภทนี้ได้มาจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆเช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่ว และน้ำมันจากสัตว์ เช่น น้ำมันหมู น้ำมันเหล่านี้สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงโดยที่ไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีใดๆซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้น้ำมันได้ในราคาที่ถูกลงและหากนำน้ำมันซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่น มาใช้ก็จะถูกขึ้นไปอีก อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11-17 เท่า และที่อุณหภูมิค่าน้ำมันพืชจะกลายเป็นไข จึงต้องมีการให้ความร้อนเพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชและป้องกันการเป็นไขในทุกๆส่วนของเครื่องยนต์ที่มีน้ำมันไหลผ่านเริ่มตั้งแต่ ถังน้ำมัน ท่อทางเดินน้ำมัน และ ตัวกรองน้ำมัน การฉีดน้ำมันเป็นฝอยจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับอากาศในกระบอกสูบได้ดีและจะเผาไหม้ได้หมดจดซึ่งน้ำมันพืชยังมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลแม้จะให้ความร้อนประมาณ 70 °C แล้วก็ตามจะทำให้หัวฉีดน้ำมันสามารถฉีดน้ำมันออกมาเป็นฝอยได้ยากทำให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ติดยาก การเผาไหม้ไม่ดีพอ และเกิดเขม่าขึ้นในเครื่องยนต์ ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์โดยตรงกับเครื่องยนต์จึงเกิดความยุ่งยากทั้งการเดินเครื่องและการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ มากไปกว่านั้นแล้วไบโอดีเซลแบบนี้ยังใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำเท่านั้นหากนำไปใช้กับเครื่องความเร็วรอบสูงความหนืดของน้ำมันจะทำให้ไม่สามารถฉีดน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้ได้ทันจังหวะที่ต้องการของเครื่องยนต์ทำให้เครื่องไม่สามารถสตาร์ทได้

2.1.1.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม (Veggie /Kero Mix) เชื้อเพลิงไบโอดีเซลประเภทนี้ได้มาจากการผสมน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์ (ไบโอดีเซลแบบแรก) กับน้ำมันก๊าด หรือน้ำมันดีเซล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์ลงให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล หากผสมน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับน้ำมันก๊าดจะเรียกว่าโคโคดีเซล (Coco-Diesel) หากผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลจะเรียกว่าปาล์มดีเซล (Palm-Diesel) อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการใช้งานโดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่น้ำมันก๊าด 20% และน้ำมันพืช 80% หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลประเภทนี้สามารถใช้ น้ำมันดีเซลในการสตาร์ทเครื่องยนต์ก่อนและใช้อีกที่ตอนก่อนเลิกใช้งาน เนื่องจากราคาน้ำมันก๊าดที่ค่อนข้างสูงทำให้ผู้ใช้บางรายลดปริมาณของน้ำมันก๊าดส่งผลให้น้ำมันที่ผสมได้มีความหนืดสูงเกินไปทำให้เกิดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์คล้ายกับปัญหาที่เกิดขึ้นกับไบโอดีเซลประเภทแรก

2.1.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นไบโอดีเซลอย่างแท้จริงมีกระบวนการผลิต เป็นที่ยอมรับในสากลและมีการใช้ในหลายประเทศ เช่น สหพันธรัฐเยอรมัน และสหรัฐอเมริกา ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์มีคุณสมบัติเหมือนน้ำมันดีเซลมากที่สุดใน 3 ประเภทของไบโอดีเซลจึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์และสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิดทั้งการเติมโดยตรงและผสมกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลประเภทนี้มีราคาสูงกว่าไบโอดีเซลประเภทอื่น การใช้น้ำมันดีเซลนำมาผสมด้วย เอสเทอร์ไบโอดีเซลสามารถจุดระเบิดได้ดีและมีการสันดาปสมบูรณ์ปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์เนื่องจากไม่มีกำมะถันอยู่ในวัตถุดิบตั้งต้น

## 2.1.2 คุณสมบัติของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับน้ำมันดีเซลปกติ แต่เผาไหม้สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล โอเสียมี่คุณภาพดีกว่า เนื่องจากมีออกซิเจนอยู่ในไบโอดีเซลทำให้การสันดาปสมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่า และเนื่องจากไม่มีกำมะถันในไบโอดีเซล จึงไม่มีปัญหาเรื่องสารซัลเฟต หรือมีซัลเฟอร์มอนอกไซด์น้อยกว่านั่นเอง และมีคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งคือเป็นสารหล่อลื่นช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลแล้ว โมเลกุลของไบโอดีเซลจะมีออกซิเจนอยู่ประมาณ 11% จึงช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นทำให้ลดมลพิษต่างๆได้ เช่น ลดคาร์บอนมอนอกไซด์ 15% ไฮโดรคาร์บอน 40% Particles 60% แต่ NOX เพิ่มเล็กน้อย นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังมีค่า Cetane Index สูง ทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่ายและเดินเรียบ มีปริมาณกำมะถันน้อยมาก ไม่มีสารอะโรมาติก และในระยะเวลา 3-4 สัปดาห์ไบโอดีเซลสามารถสลายในดินได้ 99% ส่วนน้ำมันดีเซลสามารถสลายได้ 70%

## 2.1.3 ข้อมูลการใช้ไบโอดีเซล[11]

ในต่างประเทศมีการผลิตและจำหน่ายไบโอดีเซลโดยมีคุณภาพตามมาตรฐาน ซึ่งปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐาน ASTM 6751 สหภาพยุโรปได้กำหนดมาตรฐาน EN 14214 ประเทศเยอรมนีได้กำหนดมาตรฐาน DIN 51606 ซึ่งการใช้ น้ำมันไบโอดีเซลจะนิยมใช้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลแบบผสมตามสูตรต่างๆเช่น

B2 (ไบโอดีเซล 2%:ดีเซล 98%) มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมินนิโซตาประเทศสหรัฐอเมริกา และจะบังคับใช้ ทั่วมลรัฐ ในปี พ.ศ. 2548

B5 (ไบโอดีเซล 5%:ดีเซล 95%) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส โดยกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายเป็นน้ำมันสูตร B5

B20 (ไบโอดีเซล 20%:ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ และสำนักงาน ป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ตามกฎหมาย ยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ (Alternative Motor Fuels Act:AMFA 1988) ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะ รถของบริษัทและรถของหน่วยงานราชการกว่า 147 แห่งรวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษ เช่น รถรับส่งนักเรียน รถประจำทาง เรือ หรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในเมืองแร่ ทั้งนี้ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตระบบหัวฉีดน้ำมันและเครื่องยนต์

B40 (ไบโอดีเซล 40%:ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อผลในการ ลดมลพิษ

B100 (ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ใช้ในประเทศเยอรมนีและออสเตรียโดย ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของประเทศ[12]

#### 2.1.4 ข้อดี ข้อเสียและเศรษฐกิจน้ำมัน

##### 2.1.4.1 ข้อดีของไบโอดีเซล

ด้านสิ่งแวดล้อมการใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษในอากาศอันเนื่องมาจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่สมบูรณ์ได้กรมอุทกหารเรือได้ทำการทดลองใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่ารถที่ใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 50 และสามารถลดแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ได้ร้อยละ 20 ลดฝุ่นละอองได้ร้อยละ 39 ลดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ร้อยละ 99 นอกจากนี้การใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นสามารถลดวงจรชีวิต (life-cycle) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO<sub>2</sub> ได้ร้อยละ 78 ซึ่งเป็นผลให้ลดภาวะโลกร้อน[13]

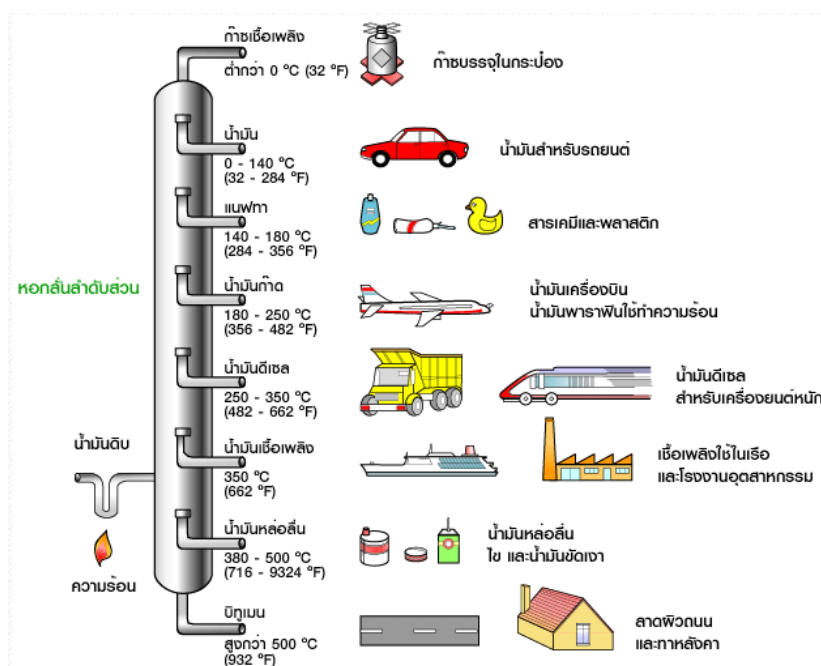
ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ การใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้เผาไหม้ในกระบอกสูบเป็นไปอย่างสมบูรณ์นอกจากนี้ค่าแรงบิดเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 7.5 และให้กำลังเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล[14]

ด้านเศรษฐศาสตร์ การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทโดยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล อีกทั้งช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศเพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 40,000 ktoe

ด้านความมั่นคงพลังงาน การใช้ไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ นับเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศแต่ทั้งนี้ต้องมีการวางแผนในการดำเนินการควบคู่ไปกับนโยบายและแผนทางด้านเกษตรของประเทศ

ด้านสมดุลการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้ น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินถึง 2.5 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้งานภายในประเทศเนื่องจากทั้ง น้ำมันดีเซลและน้ำมัน เบนซินเป็นผลผลิตจากการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบดังแสดงในรูปที่ 2.2

ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้



รูปที่ 2.2 หอกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบ แยกตามจุดเดือดได้เป็นประเภทของน้ำมันต่างๆ

#### 2.1.4.2 ข้อดีของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลจะกลายเป็นไขแข็งเมื่ออุณหภูมิต่ำ แต่เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลแล้วถือว่าไบโอดีเซลจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่อาจแก้ไขได้โดยการเติมสารเคมีหรือตกผลึกแล้วกรองส่วนแข็งออก ซึ่งวิธีนี้อาจสูญเสียไบโอดีเซลไปส่วนหนึ่ง หรืออาจผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่ต่างกัน

ไบโอดีเซลจะมีการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซลส่งผลให้ชิ้นส่วนยางของปั๊มน้ำมันเสื่อมคุณภาพเร็ว แต่ก็ไม่ได้สูงมากนัก ซึ่งเหตุการณ์นี้ได้แก้ปัญหาได้โดยใช้ยางสังเคราะห์ เช่น พวกไวทอน (Viton) แทน เพราะทนต่อไบโอดีเซลได้ดี

มีค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่ก็ถูกชดเชยโดยความหนาแน่นที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกันโดยรวมแล้วไบโอดีเซลจะเผาไหม้ได้ดีกว่า และจะได้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น

2.1.5 การพัฒนาเชื้อเพลิงไบโอดีเซลปัจจุบันได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพในรูปแบบต่างๆ กัน ดังต่อไปนี้

2.1.5.1 แอลกอฮอล์ชีวภาพ (Ethanol and Methanol)

2.1.5.2 แก๊สโซฮอล์ (Gasohol : Gasolin + Alcohol)

2.1.5.3 ไบโอดีเซล (Biological Diesel Oil)

2.1.5.4 น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel or Mono Alkyl Ester or Methyl Ester, Ethyl Ester)

2.1.5.5 น้ำมันดีโซฮอล์ (Diesohol : Diesel Oil + Alcohol +Additive)

#### 2.1.5.6 ไบโอดีเซลดิบในประเทศไทย (Crude Biological Diesel Oil)

- น้ำมันมะพร้าวดิบ (Crude Coconut Oil)
- น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO)
- น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (Crude Palm Kernel Oil, CPKO)
  - น้ำมันปาล์มดิบสกัดไข/น้ำมันปาล์มดิบโอเลอิน (Crude Palm Oil Olein)
  - ไขน้ำมันปาล์มดิบ/น้ำมันปาล์มดิบ สเตียร์น (Crude Palm Oil Stearin) ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (Refined Biological Diesel Oil or Refined Bleached Deodorized Biological Diesel Oil)
- น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีบริสุทธิ์ (Refined Coconut Oil or Refined Bleached Deodorized Coconut Oil)
- น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Palm Oil or Refined Bleached Deodorized Palm Oil)
  - น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Palm Kernel Oil)
  - น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์สกัดไขหรือน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์โอเลอิน (Refined Palm Oil Olein or Refined Bleached Deodorized Palm Oil Olein)
  - ไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์/น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์สเตียร์น (Refined Palm Oil Stearin or Refined Bleached Deodorized Palm Oil Stearin)

ปัจจัยอื่นๆที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย เช่น บางครั้งพืชน้ำมันที่มีผลผลิตต่ำกว่าแต่ใช้แรงงาน น้ำ และปุ๋ยน้อยกว่าพืชน้ำมันที่มีผลผลิตมาก ในบางพื้นที่พืชล้มลุกอาจเหมาะสมกว่า เพราะว่ามีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวสั้นกว่าพืชยืนต้น เช่น ปาล์มตามปัจจัยเสี่ยงของฤดูกาล ในทางกลับกัน พืชที่มีผลผลิตต่ำอาจต้องทำฟาร์มขนาดใหญ่ซึ่งอาจใช้น้ำมันรถไถมากกว่าน้ำมันพืชที่ผลิตได้ก็ได้ รวมไปถึงอัตราการส่วนน้ำมันต่อน้ำหนักพืชผลทางการเกษตรดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการผลิตน้ำมันของพืชต่างๆ[15]

| พืชน้ำมัน    | เปอร์เซ็นต์น้ำมัน<br>(ร้อยละโดยน้ำหนัก) | ผลได้น้ำหนัก<br>(กก./เฮกตาร์) | ผลได้น้ำมัน<br>(กก./ไร่) |
|--------------|---|-------------------------------|--------------------------|
| ถั่วเหลือง   | 18-20                                   | 450-506.3                     | 72-81                    |
| ดอกทานตะวัน  | 35-45                                   | 517.6-663.8                   | 82.8-106.2               |
| มะพร้าว      | 65-68                                   | 731.3-978.8                   | 117-156.6                |
| ปาล์มน้ำมัน  | 45-50                                   | 3,004.1-5,006.8               | 480.6-801.1              |
| เมล็ดในปาล์ม | 45-50                                   | 300.4-500.7                   | 48.1-80.1                |

## 2.2 ส่วนประกอบและโครงสร้างของน้ำมัน

น้ำมันพืชและไขมันจากสัตว์เป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งหรือที่เรียกกันว่า ลิพิด (Lipid) ซึ่งละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว และละลายได้ต่ำหรือละลายไม่ได้เลยในน้ำ องค์ประกอบของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์ประกอบด้วยเอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerol) หลายโมเลกุลรวมกัน

### 2.2.1 เอซิลกลีเซอรอล(Acylglycerol)

เอซิลกลีเซอรอลเกิดจากหน่วยย่อย คือ กลีเซอรอล(Glycerol:  $C_3H_8O_3$ ) ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งและ กรดไขมัน (Fatty acid :  $R-COOH$ ) หมู่ไฮดรอกซี (OH) ของกลีเซอรอลจะรวมตัวกับไฮโดรเจนในหมู่คาร์บอกซิล(COOH)ของกรดไขมัน เกิดกระบวนการขจัดน้ำออก(Dehydration)ได้ออกมาเป็นเอซิลกลีเซอรอล โดยโมเลกุลของกลีเซอรอลจะเกิดพันธะเอสเทอร์ (Ester Bond)กับกรดไขมัน 1-3 โมเลกุล สามารถเรียกได้ตามจำนวนโมเลกุลของกรดไขมันที่พันธะกับกลีเซอรอลได้คือ โมโนเอซิลกลีเซอรอล (Monoacylglycerol) ไดเอซิลกลีเซอรอล (Diacylglycerol)และไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerol) ซึ่งกรดไขมันมากมายที่อยู่ในพืชและสัตว์จะอยู่ในรูปของไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือเรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์(Triacylglycerol) และสามารถแบ่งได้เป็น

- Simple triglycerol คือ ไตรกลีเซอไรด์ที่มีโมเลกุลของกรดไขมันชนิดเดียวกัน
- Mixed triglycerol คือ ไตรกลีเซอไรด์ที่มีโมเลกุลของกรดไขมันต่างชนิดกัน ตั้งแต่ 2 หรือ 3ชนิด

ซึ่งในไขมันพืชและสัตว์ต่างประกอบด้วย Simple Triglycerol และ Mixed Triglycerol





กรดไขมันยังสามารถจำแนกเป็นกรดไขมันอิ่มตัว(Saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว(Unsaturated fatty acid) โดยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่คาร์บอนอะตอม ในหมู่ R ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด ไม่สามารถรับอะตอมของไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของมันได้อีก ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่คาร์บอนอะตอมในหมู่ R บางตำแหน่งยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะคู่หรือพันธะสามทำให้สามารถรับไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลได้อีกกรดไขมันไม่อิ่มตัวพบมากในน้ำมันพืช ได้แก่ กรดเลอิก กรดไลโนเลอิก ไขมันจากแหล่งต่างๆจะมีองค์ประกอบของกรดไขมันในปริมาณที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของไขมัน[16]

| ประเภทไขมัน       | ปริมาณกรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของกรดไขมันทั้งหมด) |                    |                                |
|-------------------|---|--------------------|--------------------------------|
|                   | กรดไขมันอิ่มตัว                                       | กรดไขมันไม่อิ่มตัว | กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายพันธะคู่ |
| <b>ไขมันสัตว์</b> |   |                    |                                |
| เนย               | 59  | 37                 | 4                              |
| วัว               | 54  | 44                 | 2                              |
| ไก่               | 40  | 38                 | 22                             |
| หมู               | 40  | 46                 | 14                             |
| <b>ไขมันพืช</b>   |   |                    |                                |
| ข้าวโพด           | 14  | 26                 | 60                             |
| งา                | 14  | 43                 | 43                             |
| ถั่วเหลือง        | 15  | 27                 | 58                             |
| มะพร้าว           | 92  | 6                  | 2                              |
| ปาล์ม             | 53  | 37                 | 10                             |

2.2.2.2 ลิพิดเชิงซ้อน หรือลิพิดเชิงประกอบ (Compound lipid) เป็นลิพิดที่มีโมเลกุลอื่นเป็นองค์ประกอบด้วย ได้แก่ ฟอสโฟลิพิด (Phospholipid) ไกลโคลิพิด(Glycolipid) และลิโปโปรตีน (Lipoprotein)

2.2.2.2.1 ฟอสโฟลิพิด เป็นชื่อที่ใช้แทนลิพิดใดๆที่มีกรดฟอสฟอริกรวมอยู่ด้วยในรูปของโมโนหรือไดเอสเทอร์ฟอสโฟลิพิดทำให้บริเวณที่มีหมู่ฟอสเฟตเป็นส่วนที่มีประจุเรียกว่าไฮโดรฟิลิกเฮด (Hydrophilic head) ทำให้สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ ส่วนบริเวณที่มีกรดไขมันเป็นส่วนที่ไม่มีประจุ เรียกว่า ไฮโดรโฟบิกเทล (Hydrophobic tails)

2.2.2.2.2 ไกลโคลิพิด เป็นลิพิดที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ลิพิดชนิดนี้พบที่ อวัยวะหลายแห่ง เช่น สมอง ไต ตับ

2.2.2.3 ลิโปโปรตีน เป็นไขมันที่มีโปรตีน หรือกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบรวม เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

2.2.2.4 อนุพันธ์ลิพิด (Derived lipid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างแตกต่างจากลิพิดทั่วไป แต่เนื่องจากมีสมบัติคล้ายลิพิด เช่น ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ จึงถูกจัดไว้ในกลุ่มลิพิด ตัวอย่างอนุพันธ์ลิพิดที่สำคัญ เช่น สเตอรอยด์ มีโครงสร้างทั่วไปเป็นวง 4 วง ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน 17 อะตอมและหมู่ R ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของสเตอรอยด์

## 2.3 ส่วนประกอบและโครงสร้างของตัวทำละลาย

### 2.3.1 เอทานอล (Ethanol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)

เป็นแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ สูตร  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  สามารถผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี และกระบวนการหมักวัตถุดิบจำพวกแป้ง และน้ำตาลด้วยจุลินทรีย์ นิยมนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีอื่นๆ หรือนำมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น ใช้เป็นตัวทำละลาย เครื่องดื่ม และเชื้อเพลิง เป็นต้น

ลักษณะเฉพาะ

สถานะ : ของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย และมีกลิ่นเฉพาะตัว

สูตร :  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$

น้ำหนักโมเลกุล : 46.07 กรัม/โมล

จุดเยือกแข็ง : -114.1 องศาเซลเซียส

จุดเดือด : 78.32 องศาเซลเซียส

จุดวาบไฟ : 14 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิวิกฤต : 243.1 องศาเซลเซียส

ความดันวิกฤต : 6383.48 kpa

ความหนาแน่น : 0.7893 กรัม/มิลลิลิตร

การละลายน้ำ : ละลายได้ดีมาก



รูปที่ 2.5 สารละลายเอทานอล

ประโยชน์ของเอทานอล

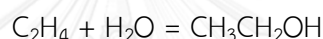
1. ใช้เป็นสารตั้งต้นหรือตัวทำละลาย เช่น การผลิตเครื่องสำอาง ยา น้ำหอม เป็นต้น
2. ใช้ผสมในเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มค่าออกเทน และลดปริมาณเชื้อเพลิงบางชนิด เช่น น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 (แอลกอฮอล์ 1 ส่วน น้ำมันเบนซิน 9 ส่วน) E20 (แอลกอฮอล์ 2 ส่วน น้ำมันเบนซิน 8 ส่วน)
3. เป็นส่วนผสมของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ต่างๆ
4. ใช้สำหรับการฆ่าเชื้อหรือล้างแผล เช่น แอลกอฮอล์ 75%
5. ใช้สำหรับการทำความสะอาด และฆ่าเชื้อในส่วนผสมของน้ำยาฆ่าเชื้อ

กระบวนการผลิต

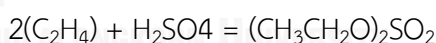
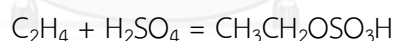
1. การสังเคราะห์

การสังเคราะห์เอทานอลสามารถสังเคราะห์ได้จากเอทิลีน ( $C_2H_4$ ) ด้วย 2 วิธี คือ

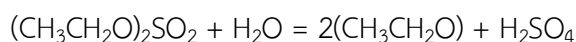
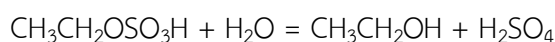
- ไตรแค ไฮเดรชันเอทิลีน ด้วยการทำปฏิกิริยาของเอทิลีนกับไอน้ำที่ความเข้มข้นเท่ากัน ที่ความดัน 5-8 เมกกะพาสกาล อุณหภูมิ 250-300 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ กรดฟอสฟอริก-ซิลิกาเจล และทั้งสแตนท์ออกไซด์-ซิลิกาเจล ทำให้ได้แอลกอฮอล์เข้มข้น 10-25% ดังสมการ



- อินไตรแค ไฮเดรชันเอทิลีน โดยขั้นแรก ใช้เอทิลีนความบริสุทธิ์ 35-95% ทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันทำให้ได้เอทานอลความเข้มข้นไม่เกิน 35% ดังสมการ



ขั้นที่ 2 การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเอทิลซัลเฟตใน 2 แบบ จนได้เอทานอล

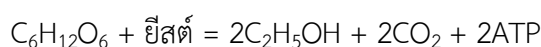


การสังเคราะห์วิธีนี้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลได้ 50-60% ด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก ทั้งนี้ วิธีการผลิตเอทานอลด้วยการสังเคราะห์นี้ปัจจุบันไม่ได้รับความนิยมเนื่องจาก มีต้นทุนสูง และไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

## 2. การหมักของจุลินทรีย์

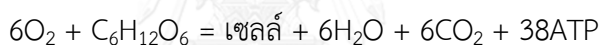
เป็นวิธีการดั้งเดิม และนิยมใช้ในการผลิตเอทานอลในปัจจุบัน เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ กระบวนการไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถหาวัตถุดิบในการผลิตได้ง่าย วัตถุดิบเหล่านี้ที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด และกากน้ำตาล

การผลิตเอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ เป็นกระบวนการหมักโดยใช้ยีสต์ที่ผลิตแอลกอฮอล์หมักกับวัตถุดิบจำพวกแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลส ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และเปลี่ยนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 10-15% ภายใต้ภาวะไร้อากาศ และผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์



จากสมการจะใช้กลูโคส 1 กรัม สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 0.511 กรัม คาร์บอนไดออกไซด์ 0.489 กรัม ทั้งนี้ ในสภาวะความเป็นจริงจะเกิดแอลกอฮอล์น้อยกว่า 0.511 กรัม เนื่องจากยีสต์จะนำน้ำตาลบางส่วนมาใช้สำหรับการเจริญเติบโต และเปลี่ยนเป็นสารอื่นๆ เช่น กลีเซอรอล และซันนิเคท เป็นต้น

แต่หากมีออกซิเจน ยีสต์จะใช้น้ำตาลสำหรับการสังเคราะห์เซลล์ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ



เอทานอลนำเอามาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ 3 รูปแบบ

### 1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง

ทดแทนน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล โดยเครื่องยนต์ของรถยนต์ต้องได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ ให้สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เนื่องจากเอทานอลสามารถกัดกร่อนโลหะ ยาง และพลาสติกบางชนิดที่ใช้เป็นชิ้นส่วนของรถยนต์และอุปกรณ์

### 2. นำไปผสมกับน้ำเบนซิน หรือน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ

ตามการเลือกใช้ของแต่ละประเทศ ซึ่งหากผสมกับน้ำมันเบนซินในสัดส่วนร้อยละ 10 โดยปริมาตร เรียกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (Gasohol) แต่ถ้าผสมสัดส่วนที่แตกต่างไปจากร้อยละ 10 โดยปริมาตร เช่นผสมในสัดส่วนร้อยละ 85 เรียกว่าน้ำมัน E85

### 3. ใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนน้ำมันเบนซิน

เนื่องจากเอทานอลมีค่าออกเทนสูง โดยค่าออกเทนจะเพิ่มขึ้นตามค่าสัดส่วนของเอทานอลที่ผสมในน้ำมันเบนซิน

การใช้เอทานอลจะช่วยพัฒนาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ไร้สารมลพิษ เช่น ซัลเฟอร์และมีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าเชื้อเพลิงทั่วไป ระบบเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลจึงสะอาดกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน หรือดีเซล อย่างไรก็ตามการนำเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์นั้น สามารถดำเนินการได้ดีในประเทศที่มีการผลิตพืชผลทางการเกษตรมากเพียงพอ

สามารถผลิตเอทานอลใช้กับยานพาหนะ เช่น ประเทศบราซิลใช้เอทานอลที่ผลิตจากอ้อย ส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกา เอทานอลส่วนใหญ่ผลิตจากข้าวโพด นอกจากการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์แล้ว ปัจจุบันยังมีการพยายาม ทดลองใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบินอีกด้วย

### 2.3.2 น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel)

น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel) เป็นน้ำมันที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ สำหรับใช้ในเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซล มีลักษณะใสออกเหลืองเล็กน้อย มีความหนืดมากกว่าน้ำมันเบนซิน

เครื่องยนต์ดีเซล หมายถึง เครื่องยนต์ที่ใช้การจุดระเบิดด้วยความร้อนจากการอัดอากาศเข้ากระบอกสูบจน เกิดความร้อนสำหรับการจุดระเบิด โดยที่ไม่ต้องใช้หัวเทียนเหมือนเครื่องยนต์เบนซิน เครื่องยนต์ดีเซลมักใช้ในรถกระบะ รถบรรทุก รถไฟ เรือ เป็นต้น

ลักษณะจำเพาะน้ำมันดีเซล

- จุดเดือด 250-350 องศาเซลเซียส
- จำนวนอะตอม C13-C14
- ประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอนที่มีแขนตรง
- องค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ กำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจน

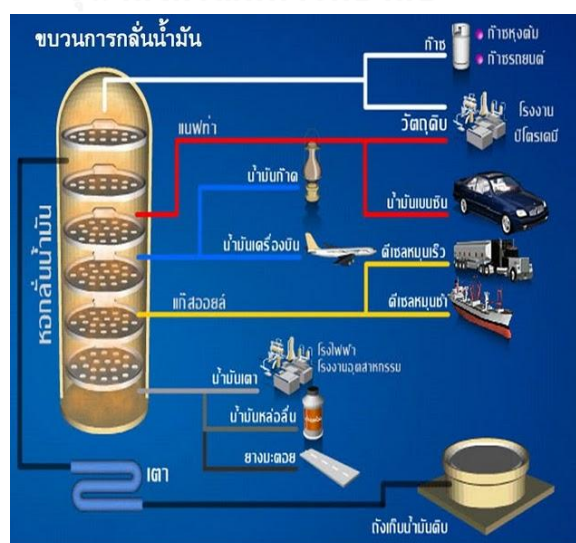
เกรดน้ำมันดีเซล (USBM)

น้ำมันดีเซลเกรด 1 ใช้สำหรับรถโดยสาร รถยนต์ส่วนบุคคล รถกระบะ

น้ำมันดีเซลเกรด 2 ใช้สำหรับรถบรรทุก รถแทรกเตอร์

น้ำมันดีเซลเกรด 3 ใช้สำหรับรถไฟดีเซล

น้ำมันดีเซลเกรด 4 ใช้สำหรับเครื่องจักรไอน้ำ เครื่องปั่นไฟ เรือเดินทะเล



รูปที่ 2.6 กระบวนการกลั่นน้ำมันดีเซล

1. น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (High Speed Diesel) หรือเรียกทั่วไปว่า น้ำมันโซล่า เป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ที่มีรอบหมุนมากกว่า 1000 รอบ/นาที ถือเป็นชนิดน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายมากในปัจจุบันตามปั้มน้ำมันต่างๆ สำหรับใช้ในรถกระบะ รถบรรทุก รถโดยสารเครื่องปั่นไฟขนาดเล็ก เป็นต้น

2. น้ำมันดีเซลหมุนช้า (Low Speed Diesel) บางครั้งเรียก น้ำมันซีโล้ เป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ที่มีรอบหมุน 300- 1000 รอบ/นาที มีจำหน่ายเฉพาะสำหรับเครื่องยนต์บางประเภทเท่านั้น เช่น รถไฟ เรือยนต์ เครื่องปั่นไฟขนาดใหญ่ เป็นต้น

คุณสมบัติน้ำมันดีเซลสำหรับเป็นเชื้อเพลิง

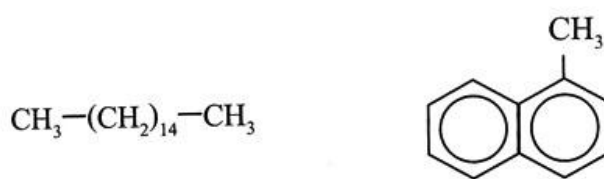
1. การติดไฟ (Ignition quality) เป็นคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่สามารถติดไฟได้ แม้ขณะอุณหภูมิของเครื่องต่ำ ความยากง่ายของการติดไฟขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน ซึ่งน้ำมันดีเซลชนิดที่มีวงแหวนมากจะติดไฟได้ช้า

2. ความสะอาดขณะเผาไหม้ (Cleanliness) หากประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ไม่มีปัญหาจะพบว่าน้ำมันดีเซลสามารถเผาไหม้ได้ สะอาดตามมาตรฐานเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่กำหนด

3. การกระจายตัวเป็นฝอย (Fluidity – atomization) น้ำมันดีเซลมีความหนืดมากกว่าน้ำเพียงเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของเกรดน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถสเปรย์เป็นละอองฝอยขนาดเล็กได้ในห้องเผาไหม้

4. ค่าการระเหย (Volatility) ค่าการระเหยของน้ำมันดีเซลมีผลต่อจุดเดือด จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ ขณะที่ฉีดพ่นเข้าห้องเผาไหม้

5. ค่าซีเทน (Cetane number) เป็นค่าแสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้เทียบกับซีเทนที่ผสมกับแอลฟาเมทิลแนฟทาลี ในน้ำมัน 100 กรัม ค่าซีเทนสูงแสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีของเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.7 ซีเทนผสมกับแอลฟาเมทิลแนฟทาลี

ข้อมูลความเป็นอันตราย

1. จุดวาบไฟ ( Flash Point ) ไม่น้อยกว่า 52 องศาเซลเซียส
2. ขีดจำกัดการติดไฟ ( Flammable limits )
  - ค่าต่ำสุด ( LEL ) 0.6
  - ค่าสูงสุด ( UEL ) 7.5
3. อุณหภูมิสามารถติดไฟได้เอง ( Auto ignition Temperature ) ไม่น้อยกว่า 250 องศาเซลเซียส

4. การเกิดปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reactivity) มีความคงตัวสูงขณะจัดเก็บ และการใช้งานในภาวะปกติ แต่ต้องหลีกเลี่ยงจากความร้อน เปลวไฟ และประกายไฟ
5. ควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง เช่น คลอเรต ไนเตรต และเปอร์ออกไซด์
6. สารที่เกิดจากการสลายตัว (Hazardous Decomposition Products) ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และผลิตภัณฑ์อื่นที่เกิดจากการเผาไหม้

ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

1. สามารถเข้าสู่ร่างกายทั้งทางผิวหนัง การสูดดม การดื่มกิน
2. อันตรายที่เกิดเฉพาะที่ เช่น ผิวหนัง ตา เยื่อบุ มักทำให้เกิดอาการระคายเคืองบริเวณที่สัมผัส
3. การสัมผัสในปริมาณมาก
  - กรณีหายใจเข้าจะทำให้การทำงานของระบบประสาทส่วนกลางลดลง เกิดอาการชัก และสูญเสียความรู้สึก
  - กรณีเข้าสู่กระเพาะอาหารจะทำให้รู้สึกคลื่นไส้ อาเจียน และมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง
  - การสัมผัสทางตา และผิวหนัง จะทำให้เกิดอาการคัน และระคายเคือง
4. การสัมผัสในปริมาณน้อย และยาวนาน จะทำให้เป็นโรคผิวหนัง โรคระบบประสาท โรคไต โรคตับ โรคโลหิตจาง โรคมะเร็งในเม็ดเลือดและโรคมะเร็งที่ไต

ข้อมูลความปลอดภัย

1. ควรจัดเก็บในภาชนะปิดสนิท และห่างจากแสงแดด ความร้อน เปลวไฟ และประกายไฟ
2. อาคารจัดเก็บ ควรมีระบบระบายอากาศ
3. ควรสวมผ้าปิดจมูกหรือหน้ากากประเภทกรองสารอินทรีย์
4. ต้องใส่ถุงมือที่ทำจากยางชนิดที่ทำจากยาง นีโอพรีน ไนไตรล หรือโพลีเอทิลีน
5. เมื่อเกิดเพลิงไหม้ถึงดับเพลิงที่ใช้ได้ ได้แก่ ถังดับเพลิงประเภทคาร์บอนไดออกไซด์ ผงเคมีแห้ง และโฟม และไม่ควรรู้ใช้น้ำในการดับไฟเป็นอันขาด

การปฐมพยาบาล

1. กรณีสัมผัสสารเคมีทางผิวหนัง (Skinning Contacting) ให้ล้างบริเวณที่สัมผัสด้วย สบู่และน้ำ
2. กรณีสัมผัสสารเคมีทางตา (Eye Contacting) ล้างตาด้วยน้ำอย่างน้อย 15 นาที แล้วจึงไปพบแพทย์
3. กรณีสัมผัสสารเคมีโดยการหายใจ (Respiratory Contacting) รีบเคลื่อนย้ายผู้ป่วยไปในที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ แล้วจึงปรึกษาแพทย์

## 2.4 ลำอิเล็กตรอน (Electron Beam)

ในกระบวนการผลิตลำอิเล็กตรอนนั้น อิเล็กตรอนที่เกิดจากเครื่องยิงอิเล็กตรอนถูกเร่งให้มีความต่างศักย์ 150-250000 โวลต์ ภายใต้สภาวะสุญญากาศ อิเล็กตรอนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ทะลุผ่านช่องกระจกไปยังผลิตภัณฑ์เป้าหมาย ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตลำอิเล็กตรอน เรียกว่า เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน (Electron acceleration) หรือเครื่องกำเนิดอิเล็กตรอน (EB generator)

อิเล็กตรอน (อังกฤษ: electron) (สัญลักษณ์  $e^-$ ) เป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ไม่มีใครรู้จักส่วนประกอบหรือโครงสร้างพื้นฐานของมัน ในคำกล่าวอื่น ๆ เช่น คาดกันโดยทั่วไปว่ามันจะเป็นอนุภาคที่เป็นมูลฐาน อิเล็กตรอนมีมวลที่เป็นประมาณ  $1/1836$  เท่าของโปรตอน โมเมนตัมเชิงมุมภายใน (สปิน) ของอิเล็กตรอนเป็นค่าครึ่งจำนวนเต็มในหน่วยของ  $\hbar$  ซึ่งหมายความว่ามันเป็นเฟอร์มิออน (fermion) ปฏิยานุภาคของอิเล็กตรอนเรียกว่าโพสิตรอน มันเป็นเหมือนกันกับอิเล็กตรอน ยกเว้นแต่จะมีค่าประจุไฟฟ้าและอื่น ๆ ที่มีลักษณะตรงกันข้าม เมื่ออิเล็กตรอนชนกันกับโพสิตรอน อนุภาคทั้งสองอาจระจัดกระจายออกจากกันและกัน หรือถูกประลัย (annihilate) โดยสิ้นเชิง การผลิตคู่ (หรือมากกว่านั้น) เกิดขึ้นจากโฟตอนรังสีแกมมา อิเล็กตรอน ซึ่งถือเป็นรุ่นแรกของตระกูลอนุภาคเลปตอน (lepton) มีส่วนร่วมในแรงโน้มถ่วง มีปฏิสัมพันธ์กับแรงแม่เหล็กไฟฟ้าและแรงแบบอ่อน อิเล็กตรอนเช่นเดียวกับสสารทั้งหมด มีคุณสมบัติทางกลศาสตร์ควอนตัมของทั้งอนุภาคและคลื่น วิ่งอยู่รอบๆ นิวเคลียสตามระดับพลังงานของอะตอมนั้นๆ โดยส่วนมากของอะตอม จำนวนอิเล็กตรอน ในอะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้าจะมีเท่ากับจำนวน โปรตอน เช่น ไฮโดรเจนมีโปรตอน 1 ตัว และอิเล็กตรอน 1 ตัว ฮีเลียมมีโปรตอน 2 ตัว และอิเล็กตรอน 2 ตัว และจัดอยู่ในรังสีประเภทที่แตกตัวเป็นประจุหรือไอออน (ionizing radiation) ซึ่งแตกต่างจากไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดที่เป็นรังสีประเภทที่ไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (non-ionizing radiation)

ตารางที่ 2.3 ค่าความถี่ของรังสีต่าง

| รังสี          | ความถี่(Hz)         | ความยาวคลื่น( $\mu\text{m}$ ) |
|----------------|---------------------|-------------------------------|
| ลำอิเล็กตรอน   | $10^{21} - 10^{18}$ | $10^{-7} - 10^4$              |
| อัลตราไวโอเล็ต | $10^{17} - 10^{16}$ | $10^{-2} - 1$                 |
| อินฟราเรด      | $10^{15} - 10^{12}$ | 1 – 100                       |
| ไมโครเวฟ       | $10^{12} - 10^{10}$ | $10^3 - 10^5$                 |

ข้อดีของการฉายด้วยลำอิเล็กตรอน คือ ไม่มีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ใช้พลังงานต่ำ ไม่ก่อให้เกิดรังสีตกค้าง สามารถควบคุมในการผลิตลำอิเล็กตรอนได้ด้วยการเปิด-ปิดสวิตช์ ลำอิเล็กตรอนมีพลังงานในการทะลุทะลวงสูง [17]

เมื่อฉายลำอิเล็กตรอนลงบนวัสดุจะเกิดการถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนวงนอกสุดที่โคจรรอบนิวเคลียสของวัสดุและเกิดการหลุดออกจากอะตอม ได้เป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระ (Free electron) อิเล็กตรอนบางตัวที่ได้รับพลังงานจากลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและมีพลังงานสูงขึ้นทำให้เกิดเป็นฟรีเรดิคัล (Free radical) นอกจากนี้ระหว่างการฉายลำ



อิเล็กตรอนจะเกิดปฏิกิริยาการตัดขาดสายโซ่ (Chain Scission) และปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโมเลกุลไปพร้อมๆกัน แต่ผลลัพธ์สุดท้ายจะขึ้นอยู่กับว่าปฏิกิริยาใดสามารถเกิดขึ้นได้มากกว่ากัน การฉายลำอิเล็กตรอนจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆของวัสดุ ไม่ว่าจะเป็นสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางเคมี ขนาดของอนุภาค สมบัติการหลอมเหลว ความเข้ากันได้ของวัสดุ สมบัติเชิงพื้นผิว และสมบัติอื่นๆ

ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง เปรียบเทียบกับรังสีแกมมาให้ปริมาณรังสีได้สูงกว่า อำนาจทะลุทะลวงต่ำกว่า ทำอันตรกิริยาเฉพาะบริเวณผิว ส่วนรังสีแกมมาให้ปริมาณรังสีได้ทั่วถึงทั้งวัสดุมากกว่า ต้องมีการระบายความร้อนที่ดีจากผิววัสดุที่ฉายรังสี ปิด/เปิดเครื่องได้ตามต้องการ•ให้ความแรงรังสีคงที่เมื่อเวลาผ่านไป (ต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 ความแรงรังสีจะลดลงประมาณ 12% ต่อปี โรงงานฉายรังสีแกมมาจาก Co-60 ต้องเพิ่มต้นกำเนิดรังสี ทุก ๆ 5 ปี )

### เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง

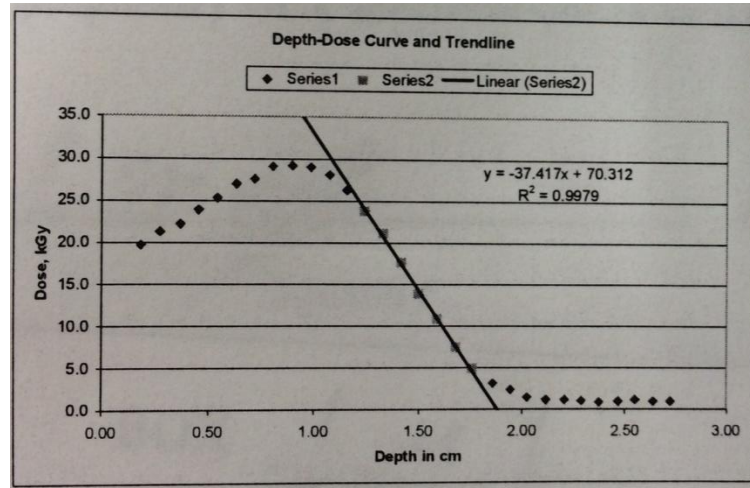
เครื่องเร่งอนุภาค (Particle accelerator) เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาสำหรับการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะด้าน นิวเคลียร์ฟิสิกส์ เพื่อใช้เพิ่มความเร็วของอนุภาค เช่น อิเล็กตรอน ให้มีความเร็วเข้าใกล้แสง และเข้าชนอะตอมเป้าหมาย ทำให้สามารถตรวจวัด วิเคราะห์อนุภาคและรังสีที่เกิดขึ้นจากการชนกัน ข้อมูลที่ได้จะทำให้ทราบเกี่ยวกับอนุภาคภายในอะตอมและแรงยึดเหนี่ยวอะตอม



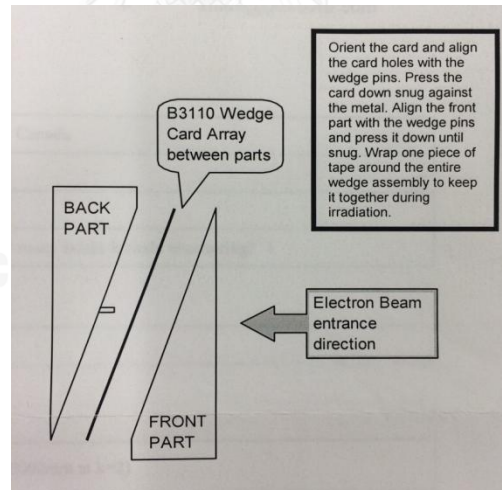
รูปที่ 2.8 อาคารเครื่องเร่งอิเล็กตรอน สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ได้ติดตั้งเครื่องเร่งอนุภาคไว้ ณ ศูนย์รังสีอัญมณี ซึ่งเป็นเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง มีหลักการคือ ใช้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเพื่อเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนที่ได้จากเครื่องยิง อิเล็กตรอนให้มีความเร็วหรือพลังงานจลน์สูง ในระบบสุญญากาศ โดยเครื่องเร่งอนุภาคใช้หลักการเดียวกับหลอดรังสีคาโทด สำหรับเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงนี้สามารถปรับเปลี่ยน พลังงานได้ในช่วง 8-21.5 MeV ที่กำลังงานสูงสุด 10 kW ให้ปริมาณรังสีสูงได้ลำอนุภาคเฉลี่ย 25 kGy/รอบ มีประโยชน์ในการบริการฉายรังสีอัญมณีเพื่อเพิ่มมูลค่าแก่อัญมณีให้มีสี เปลี่ยนไปจากเดิมและมีสีสดใสสวยงามขึ้น ซึ่งปัจจุบัน สทศ. ประสบความสำเร็จในการฉายรังสีอัญมณี เช่น โทแพซ จากสีฟ้าอ่อนหรือใส ให้มีสีฟ้าเข้มทำให้โทแพซมีราคาเพิ่มขึ้นกระรัตละ 5-30 เท่า[4] นอกจากนี้เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงยังมีประโยชน์ในการ

สนับสนุนการวิจัยต่างๆ เช่น การวิจัยเพื่อปรับปรุงพอลิเมอร์ให้มีความแข็งแรง ความเหนียว ทนทานต่อสารเคมี การวิจัยเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชโดยเฉพาะข้าวให้มีผลผลิตสูง ทนทานต่อโรคได้ดี การวิจัยเพื่อปรับปรุงอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำ ได้แก่ ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ไอซี ให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง เป็นต้น



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงปริมาณรังสีที่ลดลงตามความหนาของวัสดุทดสอบ



รูปที่ 2.10 หลักการทดสอบหาปริมาณรังสีที่ความหนาของวัสดุต่างกัน

## 2.5 หลักการลดความหนืดของน้ำมัน

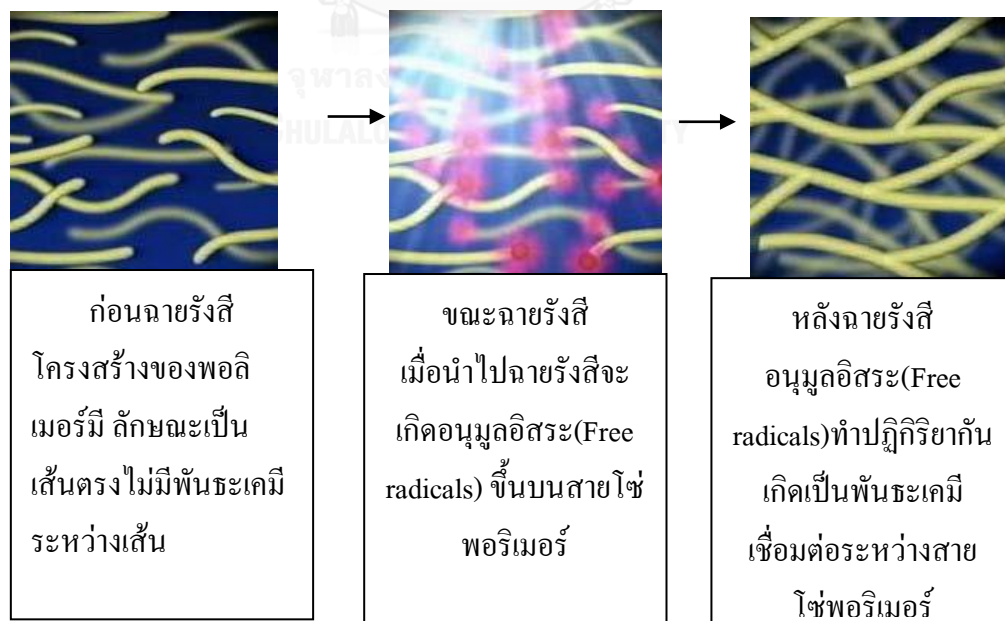
การเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยรังสีเพียงเล็กน้อย อาจส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์เปลี่ยนไปได้มากซึ่งจะทำให้ได้คุณสมบัติที่เปลี่ยนไป ปฏิกริยาเคมีที่สำคัญที่ต้องการให้เกิดโดยรังสีคือการเกิดคลอสลิงค์ หรือการเกิดร่างแหสามมิติ (Cross Linking) หรืออีกปฏิกิริยา คือ การทำให้เสื่อมสลาย (Degradation) จากปฏิกิริยานี้ขนาดของโมเลกุลจะถูกตัดทอนลงโดยรังสีทำให้ได้โมเลกุลใหม่ที่มีขนาดเล็กลง

การเกิด Cross Linking โดยทั่วไปจะทำให้โมเลกุลแข็งแรงมากยิ่งขึ้น เช่น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความต้านแรงดึงสูงขึ้น ทนทานต่อความร้อน เปลวไฟ ตัวทำละลายมากขึ้น แต่ในทางกลับกัน การเกิดการเสื่อมสลายจะมีผลตรงกันข้ามโดยปกติน้ำมันที่ถูกฉายรังสีจะเกิดทั้ง Cross Linking และการเสื่อมสลายไปพร้อมๆกันขึ้นอยู่กับว่าน้ำมันชนิดไหนจะเกิดปฏิกิริยาใดมากกว่ากัน

ในการลดความหนืดของน้ำมันพืช และไขมันในสัตว์จะใช้หลักการทางเคมีรังสีของพอลิเมอร์ โดยการใช้การฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงตัดสายโซ่ของกรดไขมันของ Triglyceride ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ให้ขาดออกจากกัน ทำให้สายโซ่ของน้ำมันมีขนาดสั้นลงส่งผลให้มีความหนืดลดลง(จุดเดือดต่ำลงด้วย)

### 2.5.1 การเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ (Cross Linking)

การเชื่อมโยงข้ามหรือครอสลิงก์คือการเกิดพันธะเคมีที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์กลายเป็นโครงร่างที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นโดยทั่วไปแล้วครอสลิงก์จะช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้นเช่นความแข็งแรงความเหนียวความทนทานต่อสารเคมีและสมบัติสำคัญอื่นๆ



รูปที่ 2.11 หลักการลดความหนืด

โมเลกุลในสถานะกระตุ้นสูงจะแตกตัว (Dissociate) โดยเกิดสายโซ่ขาดได้เป็นอนุมูลอิสระของโพลิเมอร์ 2 สายที่มีโมเลกุลเล็กลง หรือแยกเป็นอนุมูลอิสระอัลคิล อนุมูลอิสระไฮโดรเจน หลังจากนั้นจะเกิดการรวมตัวกันใหม่ซึ่งอาจได้ทั้งโมเลกุลเดิมหรือโมเลกุลใหม่ที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นและแข็งแรงขึ้น

## 2.5.2 เครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด (Viscometer)

การแสดงถึงความยากหรือง่ายในการที่ของเหลวอย่างหนึ่งจะสามารถไหลไปได้โดยตัวของมันเอง เช่นมีของเหลวอยู่สองชนิดที่มีอุณหภูมิเท่ากัน ชนิดหนึ่งไหลไปได้อย่างง่ายดายหรือไหลได้เร็ว ในขณะที่อีกชนิดไหลไปได้อย่างเชื่องช้า เราจะพูดว่าของเหลวชนิดแรกมีความหนืดต่ำหรือน้อย ส่วนชนิดที่สองมีความหนืดสูงหรือมากนั่นเอง ดังนั้นจึงอาจให้คำจำกัดความอย่างง่ายได้ว่า ความหนืดคือ ความสามารถในการต้านทานการไหล ของเหลวใดที่มีความหนืดมากจะมีความสามารถในการต้านทานการไหลสูง ของเหลวใดที่มีความหนืดน้อย[18] จะมีความสามารถในการต้านทานการไหลต่ำ วิธีการหาความหนืดของน้ำมันจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “Viscometer” ซึ่งเป็นการจับเวลาที่ของเหลวจำนวนหนึ่งไหลผ่านรูมาตรฐานที่กำหนดไว้ ณ อุณหภูมิที่กำหนด หน่วยของความหนืดคือ  $\text{dyne}\cdot\text{sec}\cdot\text{cm}^{-2}$  หรือ  $\text{gram}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{sec}^{-1}$  เรียกเป็น poise และ Viscometer ที่ใช้ในการหาความหนืดมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ปัจจุบันทั่วโลกได้ตกลงใช้ระบบเดียวกันคือ Kinematic Viscometer (cSt) สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$V = Ct$$

โดยที่ V คือ kinematic viscosity มีหน่วยเป็น cSt (centistokes ;  $\text{mm}^2/\text{s}$ )

C คือ ค่าคงที่ของ Viscometer มีหน่วยเป็น cSt/s

t คือ Flow time ที่ได้จากการจับเวลา มีหน่วยเป็นวินาที (second ; s)

แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าหน่วยจะต่างกันและวัดที่อุณหภูมิต่างกัน ก็สามารถเทียบกลับมายังหน่วยและอุณหภูมิที่ต้องการได้ โดยอาศัยกราฟน้ำมัน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิดังแสดงในสมการข้างต้น

ตัวอย่างมาตรฐานวัดความหนืด หรือ เครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด ซึ่งมีหลายชนิดดังนี้คือ

1. บับเบิลวิสโคมิเตอร์ (Bubble Viscometer) มาตรฐานความหนืดชนิดนี้นิยมใช้วัดความหนืดของน้ำมัน และสารยึดเกาะ เครื่องจะประกอบด้วยหลอดมาตรฐานที่ฝาดหลอดถูกผนึกจำนวน 41 หลอดบรรจุของเหลวที่เรียงลำดับ ความหนืดต่ำที่สุดถึงของเหลวที่มีความหนืดสูงที่สุดแสดงค่าเป็นความหนืดคิเนมาติก

2. ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด (Ford Viscosity Cups) เป็นวิธีการทดสอบที่สถานประกอบการอุตสาหกรรม นิยมใช้กันมากเนื่องจากสะดวกและรวดเร็ว ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ดทำด้วยวัสดุที่ทนการกัดกร่อนและตัวทำละลาย เช่น ทองเหลือง หรือ อลูมิเนียม ที่กันถ้วยมีทางออกที่มีลักษณะเหมือนกรวย ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ดที่ใช้ในงาน ทดสอบทางเซรามิกมี 3 ขนาด คือ ถ้วย

หมายเลข 2 หมายเลข 3 และหมายเลข 4 ถ้วยแต่ละขนาดมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางออกต่างกัน และเหมาะสำหรับการหาความหนืดของสารได้ในช่วงต่างกัน

การทดสอบความหนืดด้วยถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด นอกจากจะต้องเลือกถ้วยที่เหมาะสมแล้วจะต้องควบคุมอุณหภูมิขณะทดสอบ รวมทั้งควบคุมสภาพของแรงทำต่างๆในขณะการทดสอบ ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ค่าความหนืดได้

3. มาตรการความหนืดแบบรูดฟิลด์ เป็นมาตรการความหนืดที่มีหน่วยการวัดเป็นเซนติปีวส์ เครื่องมือประกอบด้วย แท่งโลหะทรงกระบอก (Spindle) และหมุนอยู่ในของเหลวที่ต้องการวัด โลหะทรงกระบอกนี้ต่อเข้ากับมอเตอร์เพื่อช่วยให้โลหะทรงกระบอกหมุนได้ และวัดแรงเสียดทานของของเหลวออกมาเป็นองศาการหมุน (Degree of Twist) ซึ่งค่านี้สามารถนำมาคำนวณเปลี่ยนค่าเป็นเซนติปีวส์ โดยการคูณค่าคงที่ตามที่กำหนดมากับเครื่อง (Factor) หรือสามารถอ่านค่า เป็นเซนติปีวส์ ได้เลยจากเครื่อง หรือเครื่องสามารถนำมาต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้คอมพิวเตอร์รายงานผลการทดสอบ

มาตรการความหนืดแบบรูดฟิลด์แต่ละรุ่นจะมีรายละเอียดเฉพาะในการใช้งานที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปสิ่งที่จะต้องพิจารณาาก่อนคือ การเลือกขนาดของหัวทดสอบให้เหมาะสมกับช่วงความหนืดของสารที่ต้องการวัด โดยพิจารณา ประกอบกับคู่มือ ซึ่งหัวทดสอบที่ใช้สำหรับวัดความหนืดในมาตรวัดนี้จะมีหลายหัวทดสอบ นอกจากการเลือกหัวเข็มทดสอบแล้ว การกำหนดความเร็วรอบก็จำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับความหนืดของสาร เหมาะสมกับหัวทดสอบ รวมทั้งเป็นไปตามมาตรฐานเดิมที่เคยปฏิบัติหากความเร็วรอบไม่เหมาะสมกับหัวทดสอบ แล้วเครื่องจะไม่ทำงาน หลังจากนั้นจึงทำการวัดค่าความหนืดตามวิธีการเฉพาะของแต่ละเครื่อง

4. มาตรการความหนืดแบบเกลเลนแคมป์ (Gallenkamp Torsion Viscometer) เป็นมาตรวัดความหนืดที่มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับแบบรูดฟิลด์แต่มีข้อดีคือ ใช้งานง่าย และวัดได้อย่างรวดเร็ว ทนทานแข็งแรงกว่าแต่ราคาถูกกว่า โดยเครื่องจะประกอบด้วยลวดที่แขวนมาจากด้านบนที่ปลายด้านล่างมีโลหะ ทรงกระบอก (Cylinder) ซึ่งสามารถหมุนได้อย่างอิสระไปพร้อมกับแกน การวัดจะทำการหมุนโลหะทรงกระบอกให้ครบ 360 องศาแล้วปล่อยให้หมุนกลับ ในภาชนะที่บรรจุของเหลว ตัวอย่าง ค่ามุมที่หมุนกลับจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความข้นเหลวของตัวอย่างแผ่นบอกองศาที่ติดอยู่กับลวดเหนือโลหะทรงกระบอกขึ้นไปจะทำให้การหมุนเที่ยงตรงขึ้นซึ่งความหนืดสามารถพิจารณาได้จากองศาการหมุนและนำมาเปรียบเทียบกัน ลวดและโลหะทรงกระบอกมีหลายขนาดในแต่ละเครื่อง แต่ไม่ว่าจะใช้ขนาดใดก็ตามสิ่งสำคัญในการปรับให้เครื่องมือเที่ยงตรง คือ โลหะทรงกระบอกต้องหมุนได้อย่างอิสระ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยการหมุนโลหะทรงกระบอก ให้ครบรอบแล้วปล่อยให้หมุนกลับในอากาศค่าการหมุน(Over swing) จะต้องกลับไม่เกิน3องศา

## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ และเครื่องมือที่ใช้ร่วมในการวิจัย ซึ่งจะกล่าวต่อไปในส่วนของ การดำเนินการเก็บข้อมูล

#### 3.1.1 เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง

เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง สามารถปรับเปลี่ยนพลังงานได้ในช่วง 8 MeV-21.5 MeV ที่ กำลังงานสูงสุดที่ 10 kW ปริมาณรังสีสูงสุดได้ลำอนุภาคเฉลี่ยต่อรอบ 25 kGy/รอบ ปริมาณรังสี สามารถปรับเปลี่ยนได้จากการปรับความเร็วของสายพาน ตัวเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนผลิตโดย บริษัท Mevex Corporation Ltd. รุ่น MB 20-16 ประเทศแคนาดา



รูปที่ 3.1 เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน



รูปที่ 3.2 ห้องควบคุมเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน

### 3.1.2 เครื่องวัดความหนืด

เครื่องวัดความหนืดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ(Automatic Viscometer) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำมัน สำนักงานพระโขนงและคลังน้ำมันพระโขนง บริษัท ปตท.จำกัด(มหาชน)ให้ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ CANNON VISCOSITY METER รุ่น CAV – 2000 ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ CANNON VISCOSITY METER รุ่น CAV – 2000

ซึ่งมีความแม่นยำสูงและสามารถวัดค่าได้โดยตรง ค่าความหนืดที่วัดได้มีหน่วยเป็นเซนติสโตกรก (cSt) เป็นวิธีการทดสอบตามหลักมาตรฐานที่กำหนดโดย American Society for Testing and Materials (ASTM) เครื่องวัดความหนืดจะทำการตรวจวัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM ใช้สำหรับวัดความหนืดของน้ำมันจำพวกไบโอดีเซล หลักการในการตรวจวัดจะประมวลผลเลือกช่วงในการทดสอบโดยอัตโนมัติ และมีการกำหนดค่า Repeatability โดยทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยและประมวลผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีวิธีใช้งานดังต่อไปนี้

3.1.2.1 เติมน้ำมันตัวอย่างใส่ในถ้วยแก้วที่มีขนาดเฉพาะสำหรับเครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ CANNON VISCOSITY METER รุ่น CAV – 2000 โดยเติมน้ำมันตัวอย่างให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 3 ใน 4 ของถ้วยแก้ว



รูปที่ 3.4 การเตรียมน้ำมันตัวอย่างสำหรับเครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ

3.1.2.2 นำถ้วยแก้วที่บรรจุน้ำมันตัวอย่างวางลงในช่องบรรจุบนรางของเครื่องทดสอบ ตั้งโปรแกรมการทำงานโดยป้อนข้อมูลหมายเลขรางทดสอบเครื่อง เครื่องจะทำการดูดน้ำมันในถ้วยแก้วเข้า เครื่องทดสอบและส่งไปยังกระบอแก้ว น้ำมันที่อยู่ในกระบอแก้วจะถูกทำให้มีอุณหภูมิ 40 °C เมื่อได้อุณหภูมิที่กำหนดน้ำมันตัวอย่างจะถูกปล่อยลงสู่ถ้วยแก้วอีกครั้งพร้อมทำการจับเวลาในการเคลื่อนที่ของน้ำมันโดยอัตโนมัติ ในการตรวจวัดแต่ละครั้งเครื่องจะทำการทดสอบ 3 รอบ เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยและบันทึกผล

### 3.2 การดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

ก่อนที่จะทำการวิจัยได้มีการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น อนุภาคอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของน้ำมัน คุณสมบัติของตัวทำละลาย และการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อนำข้อมูลมาปรับและเปรียบเทียบในงานวิจัย

3.2.1 จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ร่วมในการวิจัยดังต่อไปนี้

3.2.1.1 เครื่องชั่งสาร ยี่ห้อ OHAUS



รูปที่ 3.5 เครื่องชั่งสาร

3.2.1.2 เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน ยี่ห้อ OkWell



รูปที่ 3.6 เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน



### 3.2.1.3 น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง

- น้ำมันปาล์มโอเลอิน ตรามรกต สกัดได้จากเนื้อปาล์มที่มีสัดส่วนชนิดกรดไขมันเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ กรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง



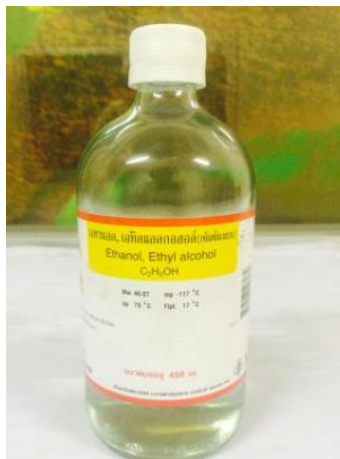
รูปที่ 3.7 น้ำมันปาล์ม ตรามรกต จากร้านLOTUS อ.องครักษ์ จ.นครนายก

- น้ำมันหมู (ตลาดอ.องครักษ์) มีกรรมวิธีการผลิตโดยการให้ความร้อนกับมันหมูจนน้ำมันแตกออกจากเซลล์และได้น้ำมันออกมาโดยคุณภาพของน้ำมันหมูขึ้นกับตำแหน่งของ มันหมูที่นำมาผลิต เนื่องจากน้ำมันหมูที่ใช้แล้วเมื่อปล่อยทิ้งไว้จะเกิดกลิ่นเหม็นหืน และการแข็งตัว เป็นไขเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเปลี่ยนมาใช้น้ำมันหมูที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน



รูปที่ 3.8 น้ำมันหมู จากตลาด อ.องครักษ์ จ.นครนายก

3.2.1.4 ตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัย คือ สารละลายเอทานอลและน้ำมันดีเซล (จากปั้ม Esso อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี)

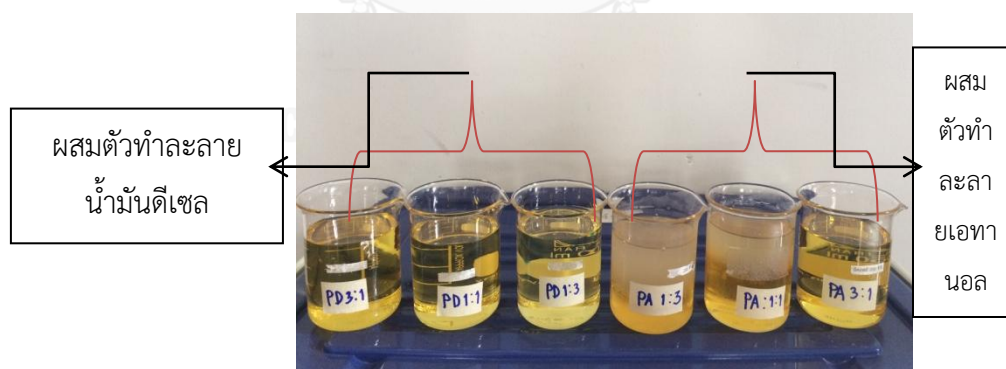


รูปที่ 3.9 ตัวทำละลาย น้ำมันดีเซล เอทานอล

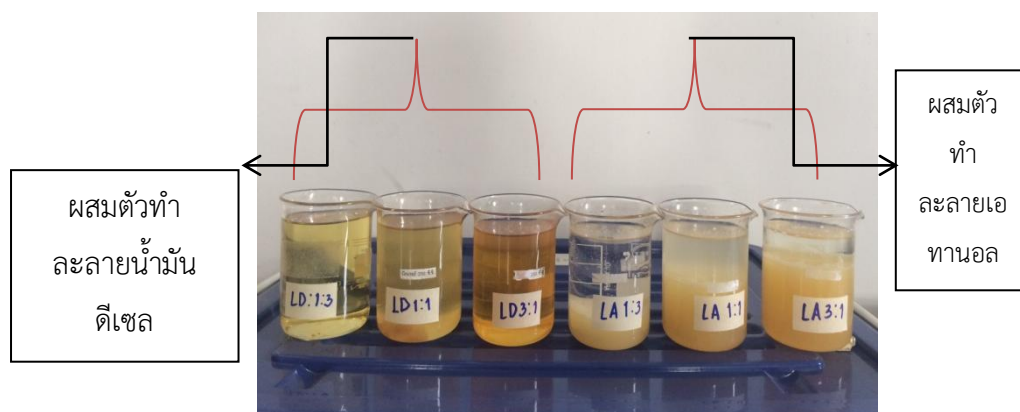
3.2.2 ทดสอบคุณสมบัติและความเข้ากันของตัวทำละลายกับน้ำมันแต่ละชนิด

3.2.2.1 ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด

3.2.2.2 ทำการทดสอบการเข้ากันของน้ำมันกับตัวทำละลายแต่ละชนิด โดยผสมในอัตราส่วน 1:3, 1:1 และ 3:1 ที่ปริมาตร 250 mL ตามลำดับ โดยทำการผสมตัวทำละลายกับน้ำมันแล้วปล่อยทิ้งไว้ 2 วัน(48 ชม.) และสังเกตน้ำมันตัวอย่างหลังจากปล่อยทิ้งว่ามีการแยกชั้นกันหรือไม่



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มผสมกับตัวทำละลายแต่ละชนิดในสัดส่วนที่กำหนด



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างน้ำมันหมูผสมกับตัวทำละลายแต่ละชนิดในสัดส่วนที่กำหนด

### 3.2.3 ทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาขอบเขตของปริมาณรังสีที่เหมาะสม

โดยใช้ช่วงของการทดสอบตั้ง ตั้งแต่ 1 kGy ถึง 30kGy และใช้น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูเป็นน้ำมันตัวอย่าง ในการวัดปริมาณรังสีเพื่อให้ได้ค่าปริมาณรังสีที่ต้องการ จะต้องคำนวณเวลาในการฉาย โดยการทำงานของเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนจะให้กำหนดค่าปริมาณรังสีที่ต้องการจากนั้น เครื่องจะกำหนดเวลาในการฉายรังสี ยกตัวอย่าง ตั้งค่าที่ 10 kGy เครื่องจะเช็คให้ความเร็วในการผ่านเครื่องเร่งอนุภาคเท่ากับ 0.188m/mine โดยความหนาของน้ำมันไม่เกิน 2 cm

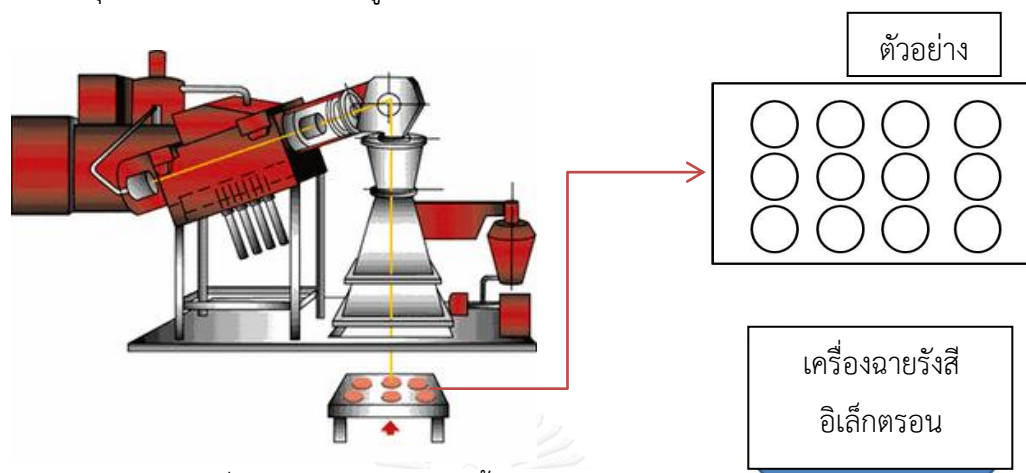
#### ตารางที่ 3.1การหาระยะเวลาในการฉายในปริมาณรังสีที่กำหนด

| ปริมาณรังสี (kGy) | เวลาในการฉาย (min) | ความหนาของวัสดุ (cm) |
|-------------------|--------------------|----------------------|
| 1                 | 0.188              | 2                    |
| 5                 | 0.376              | 2                    |
| 10                | 1.88               | 2                    |
| 20                | 3.76               | 2                    |
| 30                | 5.64               | 2                    |

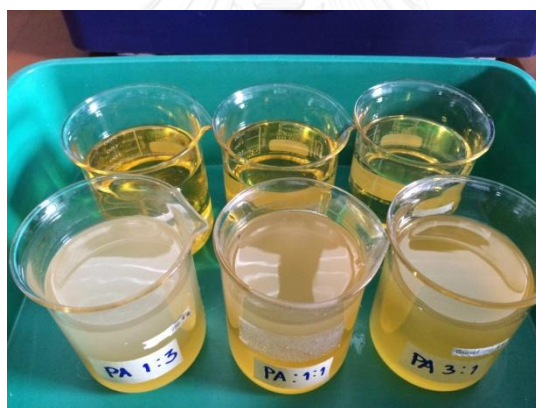


รูปที่ 3.12 ตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสม

3.2.3.1 ทำการผสมน้ำมันตัวอย่างกับตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดในอัตราส่วน 1:3, 1:1, 3:1 หลังจากนั้นทำการฉายรังสีโดยฉายที่ปริมาณรังสี 1 kGy ที่ระดับพลังงาน 8 MeV ของเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง โดยเริ่มทำการฉายรังสีที่น้ำมันปาล์มก่อน



รูปที่ 3.13 การฉายรังสีกับน้ำมันตัวอย่าง



รูปที่ 3.14 เตรียมน้ำมันปาล์มที่ผสมกับตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดคือ น้ำมันดีเซล และเอทานอลเพื่อฉายรังสีอิเล็กตรอนเพื่อหาปริมาณรังสีที่เหมาะสม

3.2.3.2 ทำซ้ำข้อ 3.2.3.1 เปลี่ยนปริมาณรังสีเป็น 5, 10, 20 kGy และ 30 kGy ตามลำดับ

3.2.3.3 ทำซ้ำข้อ 3.2.3.1-3.2.3.2 เปลี่ยนน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันหมู

3.2.3.4 แยกตัวทำละลายกับน้ำมันตัวอย่างออกจากกันโดยใช้การกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย และนำไปต้มเพื่อให้ไขมันดีเซลระเหยหมด



รูปที่ 3.15 แยกตัวทำละลายเอทานอลและน้ำมันดีเซลออกจากน้ำมันตัวอย่าง

3.2.3.5 เมื่อแยกตัวทำละลายเอทานอลและน้ำมันดีเซลออกจากน้ำมันตัวอย่างแล้วทำการวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ บันทึกผลการทดลองได้ตามตารางที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.16 น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูที่ผ่านการฉายรังสีไปวัดหาค่าความหนืด

3.2.4

ตรวจวัดความหนืดของน้ำมันตัวอย่างจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกันและจากการที่ฉายรังสีโดยผสมกับตัวทำละลายและไม่ผสมตัวทำละลาย ค่าความหนืดที่วัดได้อ่านเครื่องวัดความหนืดอัตโนมัติ บันทึกข้อมูลตามตาราง

3.2.5 สรุปตัวแปรที่จะทำการศึกษาซึ่งคาดว่าจะมีผลค่าการลดลงของความหนืดเมื่อทำการฉายรังสี โดยมีปัจจัยที่จะทำการศึกษากำหนด 4 ข้อ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.5.1 ชนิดของน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันปาล์ม และ น้ำมันหมู

3.2.5.2 ชนิดของตัวทำละลายระหว่างการฉายรังสี

3.2.5.3 สัดส่วนสารละลาย (น้ำมัน : ตัวทำละลาย) ระหว่าง 1:3, 1:1, 3:1

3.2.5.4 ปริมาณรังสีที่ฉาย คือ 1, 5 และ 10 kGy เลือกจากค่าความหนืดที่ลดลงจากตาราง

3.2.6 วิธีการดำเนินการฉายรังสี มีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

3.2.6.1 วัดความหนืดของน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดโดยไม่ผสมตัวทำละลายก่อนฉายรังสี อิเล็กตรอน



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูเพื่อเตรียมวัดความหนืดก่อนฉาย

3.2.6.2 วัดความหนืดของน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดที่ผสมตัวทำละลายก่อนฉายรังสี อิเล็กตรอน

3.2.6.3 ทำการฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูง กับน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดที่ไม่ผสมกับตัวทำละลาย ที่ปริมาณ 1 , 5 และ 10 kGy ตามลำดับ



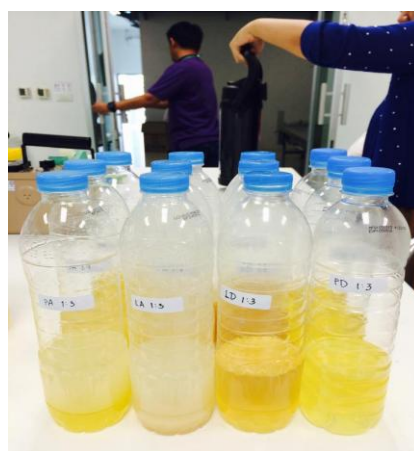
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูเพื่อเตรียมฉายรังสี

3.2.6.4 ทำการฉายรังสีอิเล็กทรอนิกส์พลังงานสูง กับน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดที่ผสมกับตัวทำละลาย ที่ปริมาณ 1, 5 และ 10 kGy ตามลำดับ

3.2.6.5 วัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดที่ไม่ผสมตัวทำละลาย หลังฉาย ที่ปริมาณรังสี 1,5 และ 10 kGy ตามลำดับ พร้อมบันทึกผลในตาราง

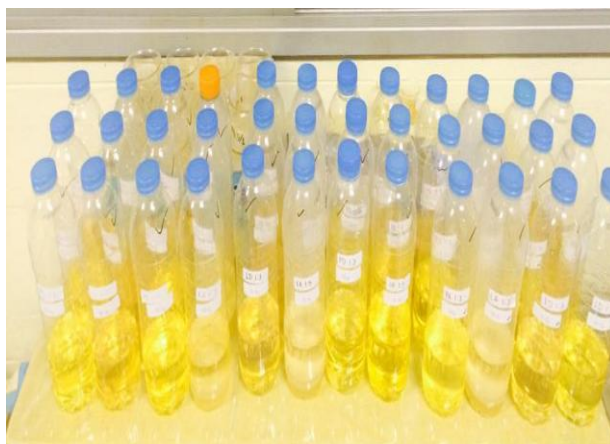
3.2.6.6 วัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดที่ผสมตัวทำละลาย หลังฉาย ที่ปริมาณรังสี 1,5 และ 10 kGy ตามลำดับ พร้อมบันทึกผลในตาราง

3.2.6.7 แบ่งกลุ่มน้ำมันตัวอย่างเป็น 2 กลุ่มแล้วผสมตัวทำละลายตามอัตราส่วนที่กำหนดคือ 1:3, 1:1 และ 3:1 (น้ำมันตัวอย่าง : ตัวทำละลาย) โดยกลุ่มที่ 1 ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย กลุ่มที่ 2 ใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูผสมกับตัวทำละลาย

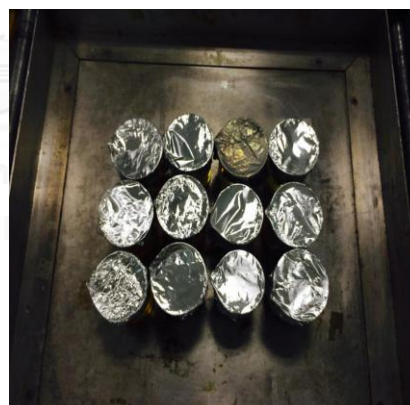
เอทานอลและน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่กำหนด



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูผสมกับตัวทำละลาย  
เอทานอลและน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่กำหนด

3.2.6.8 ทำการวัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ที่ผสมกับตัวทำละลายทั้ง 2 กลุ่มก่อนฉายรังสีอิเล็กตรอนพร้อมบันทึกผลในตาราง

3.2.6.9 ทำการฉายรังสีอิเล็กตรอนที่ปริมาณ 1 kGy ระดับพลังงาน 8 MeV กับน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ที่ผสมกับตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด



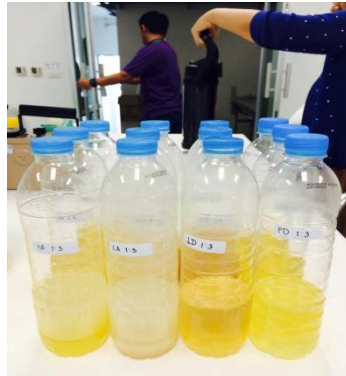
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูผสมกับตัวทำละลายน้ำมันดีเซลและเอทานอล  
ในสัดส่วนที่กำหนดเพื่อทำการฉายรังสี

3.2.6.10 ทำการฉายรังสีอิเล็กตรอนปริมาณพลังงานสูงที่ปริมาณ 5 kGy กับน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ที่ผสมกับตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด

3.2.6.11 ทำการฉายรังสีอิเล็กตรอนปริมาณพลังงานสูงที่ปริมาณ 10 kGy กับน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ที่ผสมกับตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด

3.2.6.12 นำน้ำมันตัวอย่างที่ผสมกับตัวทำละลายเอทานอลมาแยก ด้วยวิธีการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย





รูปที่ 3.22 แยกเอทานอลและน้ำมันดีเซลออกจากน้ำมันตัวอย่าง

3.2.6.9 วัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ที่ผ่านการฉายอิเล็กตรอนพลังงานสูง ทั้ง 2 กลุ่ม ที่ปริมาณรังสี 1, 5, 10 kGy ตามลำดับ ด้วยเครื่องวัดแบบอัตโนมัติ CANNON VISCOSITY METER จากบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน)พร้อมบันทึกผลในตาราง



รูปที่ 3.23 น้ำมันตัวอย่างหลังการฉายรังสีเพื่อตรวจวัดความหนืด

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

แนวทางวิเคราะห์ผลการทดลองน้ำมันตัวอย่างโดยการฉายรังสีโดยควบคุมตัวแปรทั้งหมดคือ ชนิดของน้ำมัน ชนิดของตัวทำละลาย สัดส่วนระหว่างน้ำมันตัวอย่างกับสารละลาย ปริมาณรังสี เมื่อทำการตรวจวัดค่าความหนืดโดยเครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติทั้งก่อนและหลังการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดมีแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

3.3.1 วิเคราะห์ผลการลดความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนที่ผสมตัวทำละลายก่อนและหลังการฉายรังสีตามมาตรฐาน เพื่อการศึกษาผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสี ดำเนินการเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับค่าความหนืดก่อนทำการฉายรังสีและหลังการฉายรังสีในปริมาณรังสีที่กำหนดพบว่า ที่ปริมาณรังสีต่างๆทำให้ความหนืดของน้ำมันตัวอย่างลดลง เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันตัวอย่างที่ผสมตัวทำละลายจะพบว่ามีค่าการลดลงหลังการฉายแต่ลดลงไม่มาก

3.3.2 วิเคราะห์ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อศึกษาผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในการทดลองโดยนำเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดของแต่ละตัวแปรมาเปรียบเทียบ

3.3.2.1 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังการฉาย โดยกำหนดตัวแปร คือ ชนิดของน้ำมัน ชนิดของตัวทำละลาย สัดส่วนระหว่างน้ำมันกับตัวทำละลาย ปริมาณรังสีเดียวกัน

3.3.2.2 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างที่ผสมตัวทำละลายเทียบกับน้ำมันตัวอย่างที่ไม่ผสมตัวทำละลาย ที่กำหนดปริมาณรังสีเดียวกันจะพบว่าน้ำมันหมูที่ใช้แล้วเมื่อนำมาฉายรังสี ความหนืดไม่ลดลง แต่เมื่อนำน้ำมันหมูที่ยังไม่ได้ใช้งาน มาฉายรังสีมีการลดลงของความหนืดเล็กน้อย และลองเปรียบเทียบโดยเอาน้ำมันหมูที่ใช้แล้วกับยังไม่ได้ฉายมาผสมตัวทำละลายแล้วนำไปฉายรังสี พบว่าความหนืดของน้ำมันหมูที่ยังไม่ใช้มีการลดลง แต่น้ำมันหมูที่ใช้แล้วกลับเพิ่มขึ้น

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 ผลการลดลงของค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่าง

4.1.1 เปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูที่มาจากแหล่งต่างๆก่อนฉายรังสี นำไปวัดหาค่าความหนืด ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าความหนืดของน้ำมันแต่ละชนิดจาก 2 แหล่งที่มา

| ชนิดน้ำมัน         | แหล่งที่มา    |                | ค่าความหนืด (cSt) ที่ 40 °C |               | เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง |
|--------------------|---------------|----------------|-----------------------------|---------------|------------------------|
|                    | ตัวอย่างที่ 1 | ตัวอย่างที่ 2  | ตัวอย่างที่ 1               | ตัวอย่างที่ 2 |                        |
| น้ำมันปาล์ม        | ยี่ห้อมรกต    | ยี่ห้อคิง      | 40.22                       | 40.54         | 0.32                   |
| น้ำมันหมูใช้แล้ว   | ตลาดไท        | ตลาดอ.องครักษ์ | 37.49                       | 38.21         | 0.72                   |
| น้ำมันหมูยังไม่ใช้ | ตลาดไท        | ตลาดอ.องครักษ์ | 36.52                       | 35.63         | 0.09                   |
| น้ำมันไบโอดีเซล    | เกณฑ์ขั้นต่ำ  | เกณฑ์ขั้นสูง   | 2.56                        | 0.86          | 66.41                  |

ในตารางที่ 4.1 จากการทดสอบพบว่าน้ำมันที่มาจากแหล่งที่มาต่างกันมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความหนืดอยู่ในช่วง 0.8-2.97 หากเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างกับน้ำมันไบโอดีเซลมาตรฐานจะพบว่าค่าความหนืดมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งหากต้องการนำน้ำมันตัวอย่างไปใช้งานได้จริงจะต้องลดความหนืดให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน และอีกประเด็นคือการเปรียบเทียบน้ำมันหมูที่ใช้แล้วกับน้ำมันหมูที่ยังไม่ใช้ จะมีค่าความหนืดที่ต่างกันเพราะเมื่อน้ำมันที่ได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิส เมื่อปล่อยทิ้งไว้ น้ำมันจะไฮโดรไลนเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้น หรือการนำไปทอดครั้งที่ 2 หรือครั้งที่ 3 กลีเซอรอลจะสลายตัวได้สารพวกโพลีเมอร์ซึ่งจะระเหยเป็นควันและมีกลิ่นเหม็น เมื่อปล่อยทิ้งไว้นานจะได้เกลือของกรดไขมัน[14] และค่าความหนืดของน้ำมันแต่ละที่มีความแตกต่างกันดังนั้นจึงเลือกชนิดของน้ำมันคือ น้ำมันปาล์ม กับน้ำมันหมูที่ยังไม่ผ่านการใช้

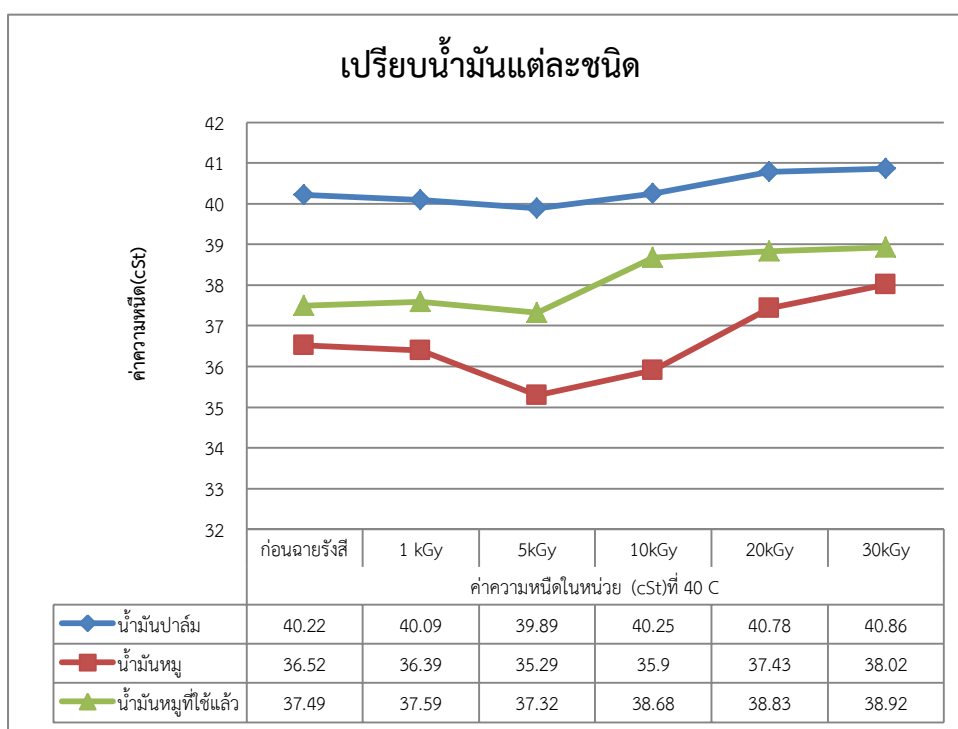
ตารางที่ 4.2 ค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างที่ไม่ผสมกับตัวทำละลายทดสอบหาปริมาณรังสีที่เหมาะสม

| ชนิดน้ำมัน          | ค่าความหนืดในหน่วย (cSt) ที่ 40 °C |       |       |       |       |       |
|---------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                     | ก่อนฉายรังสี                       | 1 kGy | 5kGy  | 10kGy | 20kGy | 30kGy |
| น้ำมันปาล์ม         | 40.22                              | 40.09 | 39.89 | 40.25 | 40.78 | 40.86 |
| น้ำมันหมู           | 36.52                              | 36.39 | 35.29 | 35.90 | 37.43 | 38.02 |
| น้ำมันหมูที่ใช้แล้ว | 37.49                              | 37.59 | 37.32 | 38.68 | 38.83 | 38.92 |

ตารางที่ 4.3 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูที่ผสมตัวทำละลายหลังฉายรังสีในปริมาณรังสีที่กำหนด

| ปริมาณรังสี | ค่าความหนืด (cSt) ที่ 40 °C |       |           |       |  |
|-------------|-----------------------------|-------|-----------|-------|--|
|             | น้ำมันปาล์ม                 |       | น้ำมันหมู |       |  |
| 1 kGy       | PA 1:3                      | 14.68 | LA 1:3    | 15.68 | PA คือ น้ำมันปาล์มผสมกับเอทานอล<br>PD คือ น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซล<br>LA คือ น้ำมันหมูผสมกับเอทานอล<br>LD คือ น้ำมันหมูผสมกับน้ำมันดีเซล |
|             | PA 1:1                      | 26.73 | LA 1:1    | 20.35 |  |
|             | PA 3:1                      | 31.38 | LA 3:1    | 30.42 |  |
|             | PD 1:3                      | 10.32 | LD 1:3    | 15.35 |  |
|             | PD 1:1                      | 20.21 | LD 1:1    | 25.76 |  |
|             | PD 3:1                      | 29.95 | LD 3:1    | 30.97 |  |
| 5 kGy       | PA 1:3                      | 11.17 | LA 1:3    | 16.32 |  |
|             | PA 1:1                      | 23.81 | LA 1:1    | 25.28 |  |
|             | PA 3:1                      | 29.32 | LA 3:1    | 32.88 |  |
|             | PD 1:3                      | 9.01  | LD 1:3    | 14.89 |  |
|             | PD 1:1                      | 18.83 | LD 1:1    | 24.85 |  |
|             | PD 3:1                      | 29.55 | LD 3:1    | 31.54 |  |
| 10 kGy      | PA 1:3                      | 16.64 | LA 1:3    | 15.75 |  |
|             | PA 1:1                      | 27.35 | LA 1:1    | 28.44 |  |
|             | PA 3:1                      | 32.65 | LA 3:1    | 34.34 |  |
|             | PD 1:3                      | 11.82 | LD 1:3    | 15.78 |  |
|             | PD 1:1                      | 20.13 | LD 1:1    | 25.57 |  |
|             | PD 3:1                      | 30.24 | LD 3:1    | 31.26 |  |
| 20 kGy      | PA 1:3                      | 18.59 | LA 1:3    | 16.92 |  |
|             | PA 1:1                      | 29.87 | LA 1:1    | 29.17 |  |
|             | PA 3:1                      | 36.97 | LA 3:1    | 36.84 |  |

|        |        |       |        |       |
|--------|--------|-------|--------|-------|
|        | PD 1:3 | 20.19 | LD 1:3 | 18.73 |
|        | PD 1:1 | 29.97 | LD 1:1 | 29.59 |
|        | PD 3:1 | 37.98 | LD 3:1 | 36.61 |
| 30 kGy | PA 1:3 | 22.44 | LA 1:3 | 18.78 |
|        | PA 1:1 | 30.63 | LA 1:1 | 30.12 |
|        | PA 3:1 | 38.87 | LA 3:1 | 38.71 |
|        | PD 1:3 | 20.42 | LD 1:3 | 19.73 |
|        | PD 1:1 | 29.82 | LD 1:1 | 28.46 |
|        | PD 3:1 | 37.85 | LD 3:1 | 39.58 |



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความหนืดของน้ำมันแต่ละชนิด

จากตารางที่ 4.1 สรุปได้ว่าเลือกชนิดของน้ำมันคือ น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูที่ยังไม่ใช้งาน เป็นชนิดของน้ำมันตัวอย่างในตัวแปรที่ 2 คือ ชนิดของน้ำมันตัวอย่าง เพราะว่าน้ำมันหมูที่ใช้แล้วเมื่อปล่อยทิ้งไว้จะมีกลิ่นเหม็นและมีเกลือของกรดไขมันทำให้ควบคุมคุณภาพให้เท่ากันได้ยาก และยังมี ความหนืดมากกว่าน้ำมันหมูที่ยังไม่ใช้ จึงเลือกที่จะใช้น้ำมันหมูที่ยังไม่ใช้

จากตารางที่ 4.2 – 4.3 และรูปภาพที่ 4.1 พบว่า กราฟของความหนืดของน้ำมันจะลดลง เล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีแต่เมื่อเพิ่มถึงสูงขึ้นถึงระดับ 20 kGy - 30 kGy ความหนืดของน้ำมันจะ เพิ่มขึ้นจึงทำให้สรุปได้ว่า ปริมาณรังสีต่ำๆมีผลต่อการลดลงของความหนืดน้ำมัน

4.1.2 ค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างหลังการฉายรังสี โดยมีตัวแปรเป็นปัจจัยทั้ง 4 คือ ชนิดของน้ำมัน ชนิดของตัวผสม และอัตราส่วนของตัวทำละลาย และปริมาณรังสี เปรียบเทียบกับน้ำมันก่อนการฉายรังสี ดังแสดงในตารางที่ 4.4 - 4.5 และรูปที่ 4.2 - 4.7

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดและเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันปาล์มก่อนฉายรังสีและหลังฉายรังสี โดยกำหนดเอทานอลและน้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลาย

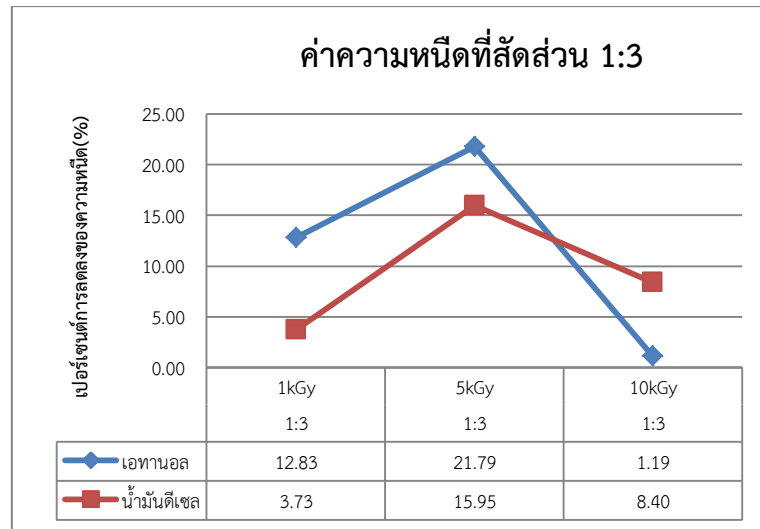
| รหัส | ปัจจัยที่กำหนด |                 |             | ค่าความหนืด |        |        |             |        |        |        |             | ค่าความหนืดที่ลดลง |               |
|------|----------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|-------------|--------------------|---------------|
|      | อัตราส่วน      | ปริมาณรังสี kGy | ตัวทำละลาย  | ก่อน 1      | ก่อน 2 | ก่อน 3 | เฉลี่ย ก่อน | หลัง 1 | หลัง 2 | หลัง 3 | เฉลี่ย หลัง | cSt                | เปอร์เซ็นต์ % |
| PA   | 1:3            | 1               | เอทานอล     | 16.88       | 16.7   | 16.94  | 16.84       | 14.50  | 14.88  | 14.66  | 14.68       | 2.16               | 12.83         |
| PA   | 1:1            | 1               | เอทานอล     | 27.40       | 27.47  | 27.42  | 27.43       | 26.77  | 26.7   | 26.72  | 26.73       | 0.7                | 2.55          |
| PA   | 3:1            | 1               | เอทานอล     | 32.65       | 32.72  | 32.67  | 32.68       | 31.31  | 31.45  | 31.38  | 31.38       | 1.3                | 3.98          |
| PA   | 1:3            | 5               | เอทานอล     | 16.88       | 16.78  | 16.86  | 16.84       | 13.11  | 13.24  | 13.16  | 13.17       | 3.67               | 21.79         |
| PA   | 1:1            | 5               | เอทานอล     | 27.40       | 27.48  | 27.41  | 27.43       | 23.76  | 23.86  | 23.81  | 23.81       | 3.62               | 13.20         |
| PA   | 3:1            | 5               | เอทานอล     | 32.63       | 32.72  | 32.69  | 32.68       | 29.38  | 29.26  | 29.32  | 29.32       | 3.36               | 10.28         |
| PA   | 1:3            | 10              | เอทานอล     | 16.89       | 16.78  | 16.85  | 16.84       | 16.69  | 16.59  | 16.64  | 16.64       | 0.2                | 1.19          |
| PA   | 1:1            | 10              | เอทานอล     | 27.39       | 27.48  | 27.42  | 27.43       | 27.38  | 27.24  | 27.43  | 27.35       | 0.08               | 0.29          |
| PA   | 3:1            | 10              | เอทานอล     | 32.63       | 32.72  | 32.69  | 32.68       | 32.70  | 32.61  | 32.64  | 32.65       | 0.03               | 0.09          |
| PD   | 1:3            | 1               | น้ำมันดีเซล | 10.69       | 10.77  | 10.70  | 10.72       | 10.29  | 10.36  | 10.31  | 10.32       | 0.4                | 3.73          |
| PD   | 1:1            | 1               | น้ำมันดีเซล | 20.61       | 20.69  | 20.65  | 20.65       | 20.27  | 20.15  | 20.21  | 20.21       | 0.44               | 2.13          |
| PD   | 3:1            | 1               | น้ำมันดีเซล | 30.17       | 30.27  | 30.22  | 30.22       | 29.91  | 30.00  | 29.94  | 29.95       | 0.27               | 0.89          |
| PD   | 1:3            | 5               | น้ำมันดีเซล | 10.65       | 10.76  | 10.75  | 10.72       | 9.07   | 8.95   | 9.01   | 9.01        | 1.71               | 15.95         |
| PD   | 1:1            | 5               | น้ำมันดีเซล | 20.70       | 20.62  | 20.63  | 20.65       | 18.78  | 18.89  | 18.82  | 18.83       | 1.82               | 8.81          |
| PD   | 3:1            | 5               | น้ำมันดีเซล | 30.18       | 30.27  | 30.21  | 30.22       | 29.50  | 29.61  | 29.54  | 29.55       | 0.67               | 2.22          |
| PD   | 1:3            | 10              | น้ำมันดีเซล | 10.76       | 10.68  | 10.72  | 10.72       | 9.76   | 9.89   | 9.81   | 9.82        | 0.96               | 8.40          |
| PD   | 1:1            | 10              | น้ำมันดีเซล | 20.63       | 20.68  | 20.64  | 20.65       | 20.17  | 20.09  | 20.13  | 20.13       | 0.52               | 2.52          |
| PD   | 3:1            | 10              | น้ำมันดีเซล | 30.18       | 30.26  | 30.22  | 30.22       | 30.29  | 30.19  | 30.24  | 30.24       | 0.02               | 0.07          |

\*หมายเหตุ ดำเนินการแยกตัวทำละลายออกก่อนตรวจวัดความหนืด

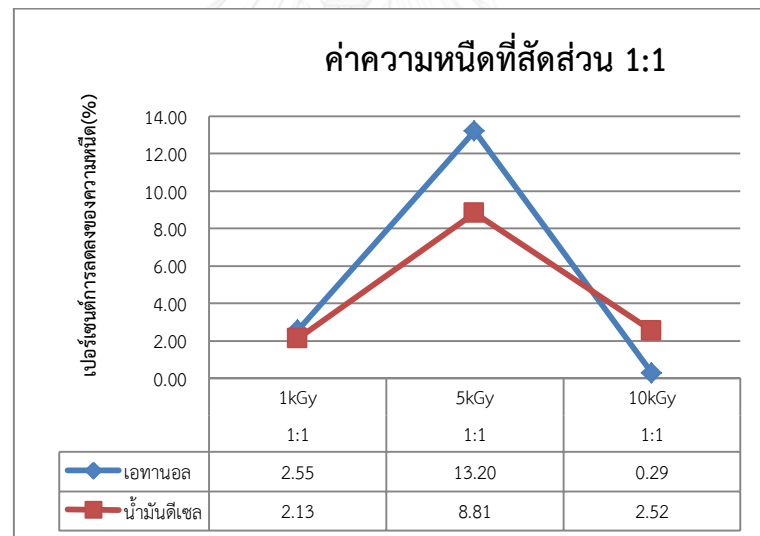
ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดและเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันหมู่มาก่อนฉายรังสีและหลังฉายรังสี โดยกำหนดเอทานอลและน้ำมันดีเซล เป็นตัวทำละลาย

| รหัส | ปัจจัยที่กำหนด |                |             | ค่าความหนืด |        |        |             |        |        |        |             | ค่าความหนืดที่ลดลง |               |
|------|----------------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|-------------|--------------------|---------------|
|      | อัตราส่วน      | ปริมาณรังสีkGy | ตัวทำละลาย  | ก่อน 1      | ก่อน 2 | ก่อน 3 | เฉลี่ย ก่อน | หลัง 1 | หลัง 2 | หลัง 3 | เฉลี่ย หลัง | cSt                | เปอร์เซ็นต์ % |
| LA   | 1 : 3          | 1              | เอทานอล     | 16.68       | 16.79  | 15.94  | 16.47       | 15.85  | 15.39  | 15.8   | 15.68       | 0.79               | 4.80          |
| LA   | 1 : 1          | 1              | เอทานอล     | 28.35       | 28.98  | 28.83  | 28.72       | 25.36  | 25.43  | 25.26  | 25.35       | 3.37               | 9.73          |
| LA   | 3 : 1          | 1              | เอทานอล     | 35.89       | 34.53  | 33.74  | 34.72       | 32.43  | 32.32  | 32.51  | 32.42       | 2.3                | 5.69          |
| LA   | 1 : 3          | 5              | เอทานอล     | 16.68       | 16.79  | 15.94  | 16.47       | 15.79  | 15.82  | 15.85  | 15.82       | 0.95               | 6.98          |
| LA   | 1 : 1          | 5              | เอทานอล     | 28.35       | 28.98  | 28.83  | 28.72       | 25.56  | 25.83  | 24.95  | 24.88       | 3.84               | 11.98         |
| LA   | 3 : 1          | 5              | เอทานอล     | 35.89       | 34.53  | 33.74  | 34.72       | 31.88  | 31.97  | 31.79  | 31.86       | 2.84               | 8.30          |
| LA   | 1 : 3          | 10             | เอทานอล     | 16.68       | 16.79  | 15.94  | 16.47       | 15.83  | 15.61  | 15.81  | 15.75       | 0.72               | 4.37          |
| LA   | 1 : 1          | 10             | เอทานอล     | 28.35       | 28.98  | 28.83  | 28.72       | 25.92  | 25.33  | 25.07  | 25.44       | 3.28               | 8.97          |
| LA   | 3 : 1          | 10             | เอทานอล     | 35.89       | 34.53  | 33.74  | 34.72       | 32.64  | 32.57  | 32.81  | 32.74       | 1.98               | 4.09          |
| LD   | 1 : 3          | 1              | น้ำมันดีเซล | 15.78       | 16.04  | 15.34  | 15.72       | 15.63  | 15.41  | 15.01  | 15.35       | 0.37               | 2.35          |
| LD   | 1 : 1          | 1              | น้ำมันดีเซล | 26.45       | 26.76  | 25.9   | 26.37       | 25.55  | 26.02  | 25.71  | 25.76       | 0.61               | 2.31          |
| LD   | 3 : 1          | 1              | น้ำมันดีเซล | 31.72       | 31.82  | 31.5   | 31.68       | 30.51  | 31.26  | 31.14  | 30.97       | 0.71               | 3.24          |
| LD   | 1 : 3          | 5              | น้ำมันดีเซล | 15.78       | 16.04  | 15.34  | 15.72       | 14.89  | 15.05  | 14.73  | 14.89       | 0.83               | 5.28          |
| LD   | 1 : 1          | 5              | น้ำมันดีเซล | 26.45       | 26.76  | 25.9   | 26.37       | 24.79  | 25.06  | 24.7   | 24.85       | 1.52               | 5.76          |
| LD   | 3 : 1          | 5              | น้ำมันดีเซล | 31.72       | 31.82  | 31.5   | 31.68       | 30.33  | 30.35  | 30.32  | 30.34       | 1.34               | 5.44          |
| LD   | 1 : 3          | 10             | น้ำมันดีเซล | 15.78       | 16.04  | 15.34  | 15.72       | 15.49  | 15.50  | 15.51  | 15.50       | 0.22               | 1.58          |
| LD   | 1 : 1          | 10             | น้ำมันดีเซล | 26.45       | 26.76  | 25.9   | 26.37       | 25.51  | 25.54  | 25.66  | 25.57       | 0.8                | 3.03          |
| LD   | 3 : 1          | 10             | น้ำมันดีเซล | 31.72       | 31.82  | 31.5   | 31.68       | 30.87  | 30.86  | 30.83  | 30.87       | 0.81               | 3.33          |

\*หมายเหตุ ดำเนินการแยกตัวทำละลายออกก่อนตรวจวัดความหนืด

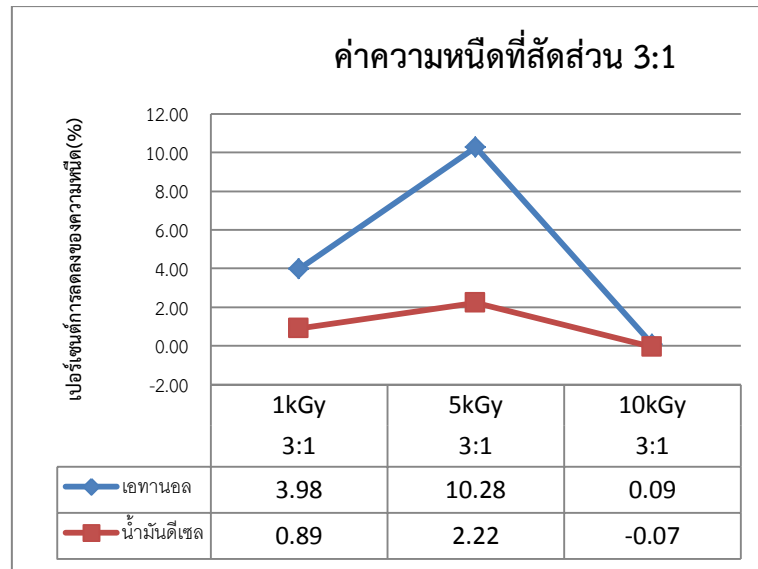


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล  
ที่สัดส่วน 1:3

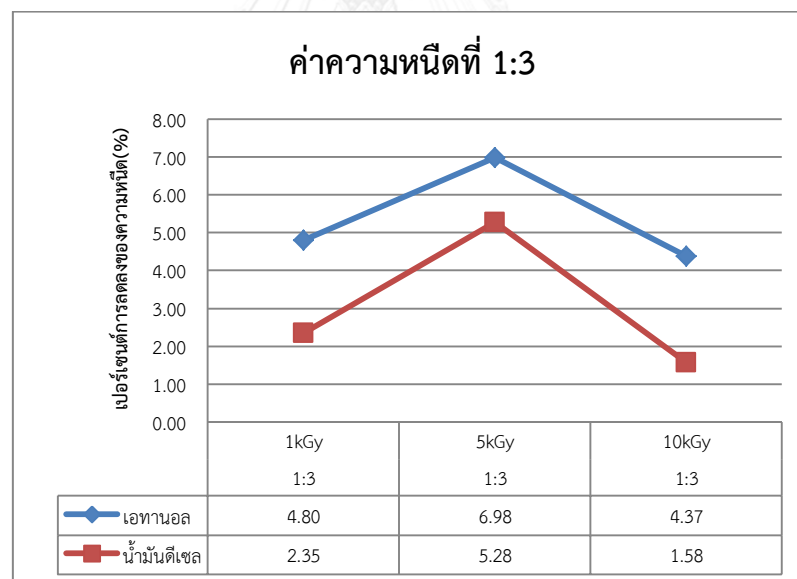


รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล  
ที่สัดส่วน 1:1

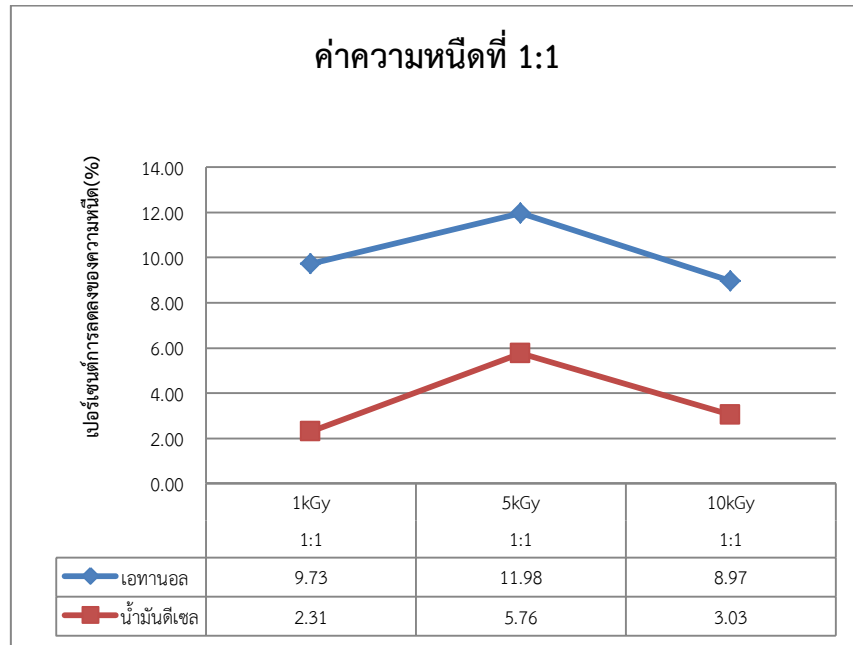




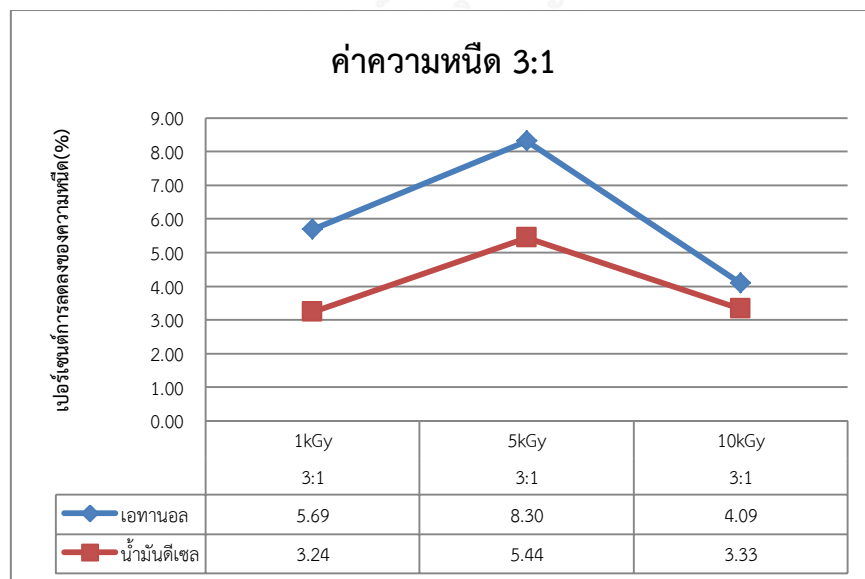
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล  
ที่สัดส่วน 3:1



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันหมูที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล  
ที่สัดส่วน 1:3



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันหมูที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล  
ที่สัดส่วน 1:1



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบน้ำมันหมูที่ผสมตัวทำละลายระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล  
ที่สัดส่วน 3:1

จากรูปที่ 4.2-4.4 พบว่าที่ปริมาณรังสีที่ 5 kGy ที่สัดส่วน 1:3, 1:1, 3:1 เป็นปริมาณรังสีที่สามารถทำให้ค่าความหนืดลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณรังสี 1 และ 10 kGy และยังพบว่าตัวทำละลายเอทานอลมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลทุกสัดส่วน แต่จะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นจากกราฟที่ปริมาณรังสี 10 kGy จะพบว่าค่าความหนืดของตัวทำละลายเอทานอลต่ำกว่าน้ำมันดีเซล จึงทำให้สรุปได้ว่าค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มจะลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มมากเกินไปก็จะทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มต่ำลง

จากรูปที่ 4.5-4.7 พบว่าที่ปริมาณรังสีที่ 5 kGy ที่สัดส่วน 1:3, 1:1, 3:1 เป็นปริมาณรังสีที่สามารถทำให้ค่าความหนืดลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณรังสี 1 และ 10 kGy และยังพบว่าตัวทำละลายเอทานอลมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลทุกสัดส่วน จึงทำให้สรุปได้ว่าค่าความหนืดของน้ำมันหมูจะลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น เหมือนกับน้ำมันปาล์มแต่เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มมากเกินไปก็จะทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันหมูสูงขึ้น



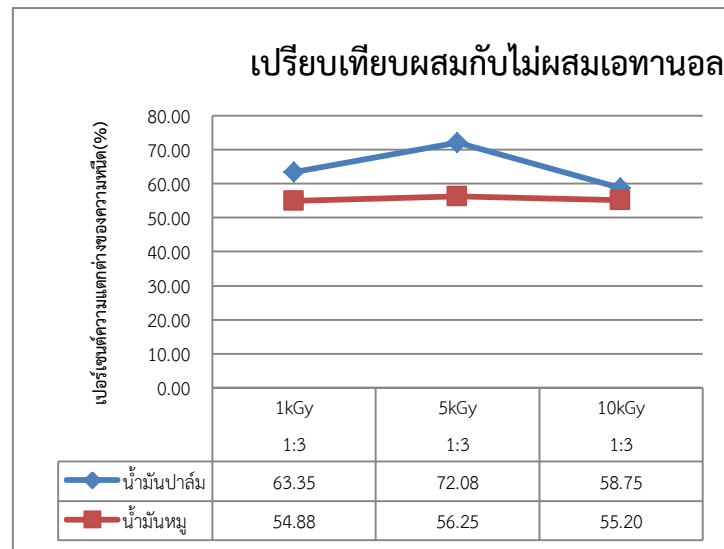
4.1.3 ค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างหลังการฉายรังสี โดยมีตัวแปรเป็นปัจจัยทั้ง 4 คือ ชนิดของน้ำมัน ชนิดของตัวทำละลาย และสัดส่วนของตัวทำละลาย และปริมาณรังสี เปรียบเทียบกับค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างที่ไม่ได้ผสมตัวทำละลายหลังการฉายรังสี คือ ปริมาณรังสีเพียงอย่างเดียว ในปริมาณรังสีเดียวกัน

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ลดลง กำหนดตัวแปร คือ ผสมตัวทำละลายและไม่ผสมตัวทำละลายหลังการฉายรังสี

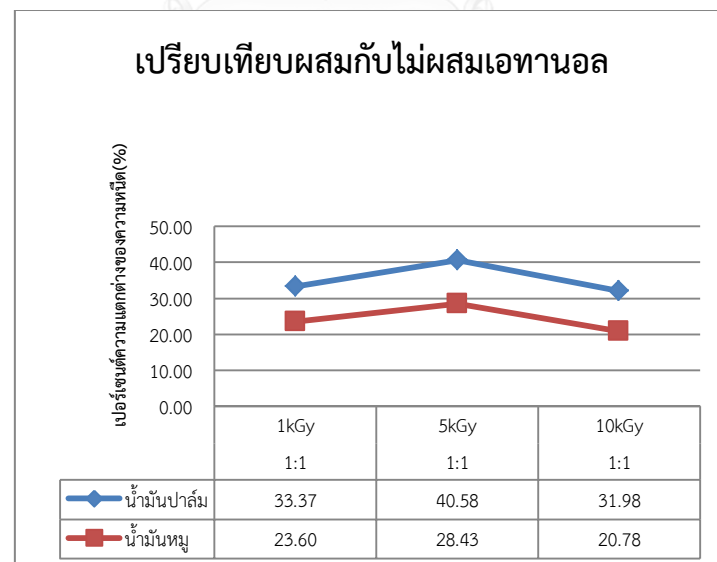
| รหัสตัวอย่าง  | ปัจจัยที่กำหนด |                   |             | ค่าความหนืด                     |                              | ค่าความหนืดที่ลดลง |               |
|---------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------|---------------|
|               | อัตราส่วน      | ปริมาณรังสี (kGy) | ตัวทำละลาย  | หลังฉาย<br>ไม่ผสม<br>ตัวทำละลาย | หลังฉาย<br>ผสม<br>ตัวทำละลาย | cSt                | เปอร์เซ็นต์ % |
| PD 1 1:3 (1)  | 1 : 3          | 1                 | น้ำมันดีเซล | 40.06                           | 10.32                        | 29.74              | 74.24         |
| PD 1 1:1 (1)  | 1 : 1          | 1                 | น้ำมันดีเซล | 40.12                           | 20.21                        | 19.91              | 49.63         |
| PD 1 3:1 (1)  | 3 : 1          | 1                 | น้ำมันดีเซล | 40.11                           | 29.95                        | 10.16              | 25.33         |
| PD 1 1:3 (5)  | 1 : 3          | 5                 | น้ำมันดีเซล | 40.01                           | 9.01                         | 31                 | 77.48         |
| PD 1 1:1 (5)  | 1 : 1          | 5                 | น้ำมันดีเซล | 40.07                           | 18.83                        | 21.24              | 53.01         |
| PD 1 3:1 (5)  | 3 : 1          | 5                 | น้ำมันดีเซล | 39.5                            | 29.55                        | 9.95               | 25.19         |
| PD 1 1:3 (10) | 1 : 3          | 10                | น้ำมันดีเซล | 40.34                           | 11.82                        | 28.52              | 70.70         |
| PD 1 1:1 (10) | 1 : 1          | 10                | น้ำมันดีเซล | 40.21                           | 20.13                        | 20.08              | 49.94         |
| PD 1 3:1 (10) | 3 : 1          | 10                | น้ำมันดีเซล | 40.22                           | 30.24                        | 9.98               | 24.81         |
| PA 1 1:3 (1)  | 1 : 3          | 1                 | เอทานอล     | 40.06                           | 14.68                        | 25.38              | 63.35         |
| PA 1 1:1 (1)  | 1 : 1          | 1                 | เอทานอล     | 40.12                           | 26.73                        | 13.39              | 33.37         |
| PA 1 3:1 (1)  | 3 : 1          | 1                 | เอทานอล     | 40.11                           | 31.38                        | 8.73               | 21.77         |
| PA 1 1:3 (5)  | 1 : 3          | 5                 | เอทานอล     | 40.01                           | 11.17                        | 28.84              | 72.08         |
| PA 1 1:1 (5)  | 1 : 1          | 5                 | เอทานอล     | 40.07                           | 23.81                        | 16.26              | 40.58         |
| PA 1 3:1 (5)  | 3 : 1          | 5                 | เอทานอล     | 39.5                            | 29.32                        | 10.18              | 25.77         |
| PA 1 1:3 (10) | 1 : 3          | 10                | เอทานอล     | 40.34                           | 16.64                        | 23.7               | 58.75         |
| PA 1 1:1 (10) | 1 : 1          | 10                | เอทานอล     | 40.21                           | 27.35                        | 12.86              | 31.98         |
| PA 1 3:1 (10) | 3 : 1          | 10                | เอทานอล     | 40.22                           | 32.65                        | 7.57               | 18.82         |

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันหมูที่ลดลงที่กำหนดตัวแปร คือ ผสมตัวทำละลาย และไม่ผสมตัวทำละลายหลังการฉาย

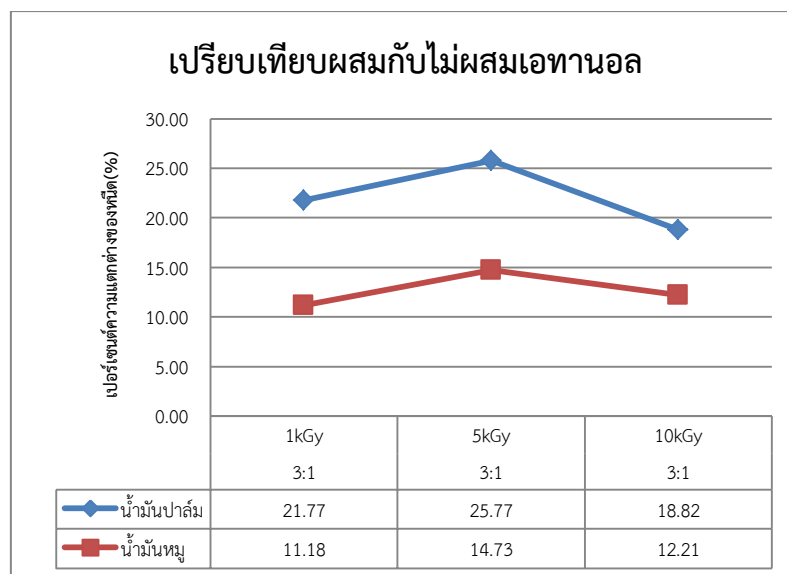
| รหัสตัวอย่าง  | ปัจจัยที่กำหนด |                   |             | ค่าความหนืด                     |                              | ค่าความหนืดที่ลดลง |               |
|---------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------|---------------|
|               | อัตราส่วน      | ปริมาณรังสี (kGy) | ตัวทำละลาย  | หลังฉาย<br>ไม่ผสม<br>ตัวทำละลาย | หลังฉาย<br>ผสม<br>ตัวทำละลาย | cSt                | เปอร์เซ็นต์ % |
| LD 1 1:3 (1)  | 1 : 3          | 1                 | น้ำมันดีเซล | 36.36                           | 15.35                        | 21.01              | 57.78         |
| LD 1 1:1 (1)  | 1 : 1          | 1                 | น้ำมันดีเซล | 36.08                           | 25.76                        | 10.32              | 28.60         |
| LD 1 3:1 (1)  | 3 : 1          | 1                 | น้ำมันดีเซล | 36.73                           | 30.97                        | 5.76               | 15.68         |
| LD 1 1:3 (5)  | 1 : 3          | 5                 | น้ำมันดีเซล | 35.67                           | 14.89                        | 20.78              | 58.26         |
| LD 1 1:1 (5)  | 1 : 1          | 5                 | น้ำมันดีเซล | 35.32                           | 24.85                        | 10.47              | 29.64         |
| LD 1 3:1 (5)  | 3 : 1          | 5                 | น้ำมันดีเซล | 34.88                           | 31.54                        | 3.34               | 9.58          |
| LD 1 1:3 (10) | 1 : 3          | 10                | น้ำมันดีเซล | 35.96                           | 15.78                        | 20.18              | 56.12         |
| LD 1 1:1 (10) | 1 : 1          | 10                | น้ำมันดีเซล | 35.9                            | 25.57                        | 10.33              | 28.77         |
| LD 1 3:1 (10) | 3 : 1          | 10                | น้ำมันดีเซล | 35.85                           | 31.26                        | 4.59               | 12.80         |
| LA 1 1:3 (1)  | 1 : 3          | 1                 | เอทานอล     | 36.36                           | 15.68                        | 20.68              | 56.88         |
| LA 1 1:1 (1)  | 1 : 1          | 1                 | เอทานอล     | 36.08                           | 20.35                        | 15.73              | 43.60         |
| LA 1 3:1 (1)  | 3 : 1          | 1                 | เอทานอล     | 36.73                           | 30.42                        | 6.31               | 17.18         |
| LA 1 1:3 (5)  | 1 : 3          | 5                 | เอทานอล     | 35.67                           | 16.32                        | 19.35              | 54.25         |
| LA 1 1:1 (5)  | 1 : 1          | 5                 | เอทานอล     | 35.32                           | 25.28                        | 10.04              | 28.43         |
| LA 1 3:1 (5)  | 3 : 1          | 5                 | เอทานอล     | 34.88                           | 32.88                        | 2                  | 5.73          |
| LA 1 1:3 (10) | 1 : 3          | 10                | เอทานอล     | 35.96                           | 15.75                        | 20.21              | 56.20         |
| LA 1 1:1 (10) | 1 : 1          | 10                | เอทานอล     | 35.9                            | 28.44                        | 7.46               | 20.78         |
| LA 1 3:1 (10) | 3 : 1          | 10                | เอทานอล     | 35.85                           | 34.34                        | 1.51               | 4.21          |



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมีระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสมตัวทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 1:3

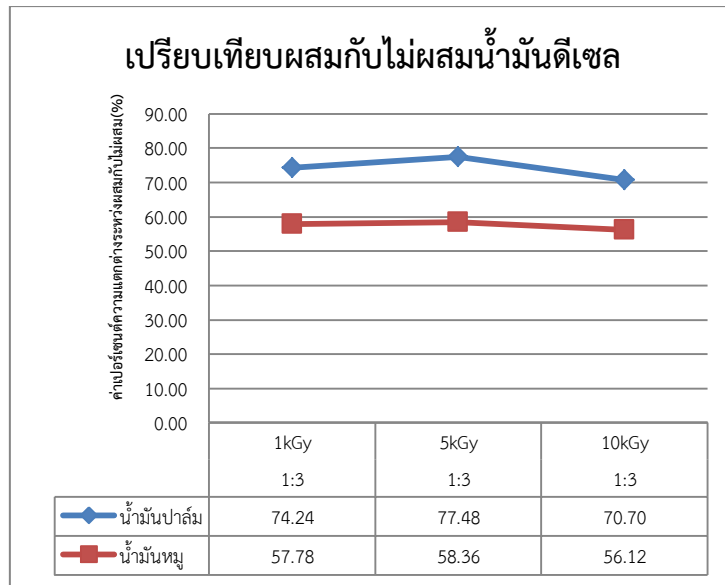


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมีระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสมตัวทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 1:1

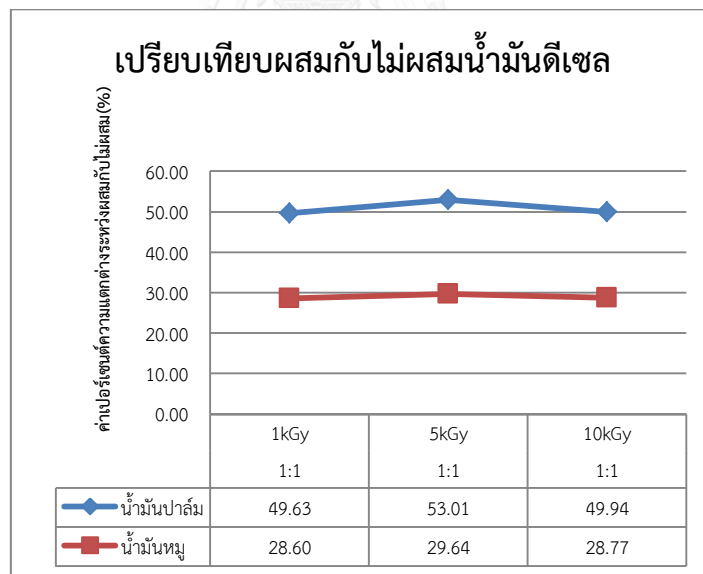


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมีระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสมตัวทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 3:1

จากรูปที่ 4.8-4.10 จะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างการผสมกับไม่ผสมตัวทำละลายมีค่าสูงมากเนื่องมาจากการที่สัดส่วนของการผสมมีผลต่อการลดลงของความหนืด แต่เมื่อสัดส่วนของตัวทำละลายลดลงค่าความหนืดของน้ำมันก็เพิ่มขึ้น นั่นแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของตัวทำละลายสามารถที่จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมีได้ทำให้ความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงจากการที่ฉายรังสีให้กับน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมีโดยไม่ผสมกับตัวทำละลายจะพบว่าค่าความหนืดลดลงน้อยมากเป็นในปริมาณรังสีต่ำแต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณรังสี เป็นเพราะว่าเมื่อฉายรังสีโครงสร้างจะขาดเป็นสายสั้น แต่เมื่อไม่มีตัวทำละลายมากันระหว่างสายโซ่ที่ขาด สายโซ่จะเกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงร่างแหสามมิติทำให้มีคุณสมบัติที่แข็งแรงขึ้น นั่นแสดงว่าความหนืดก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าหากผสมตัวทำละลาย หลังการฉายรังสีก็จะมีตัวทำละลายมาขึ้นไม่ให้เกิดการเชื่อมโยงกันของสายโซ่ ยังมีตัวทำละลายมากเท่าไร ก็จะสามารถกั้นสายโซ่ได้มาก สายโซ่ไม่สามารถเชื่อมโยงกันได้ทำให้คุณสมบัติความแข็งแรงของสายโซ่ลดลง จึงทำให้ความหนืดลดลง

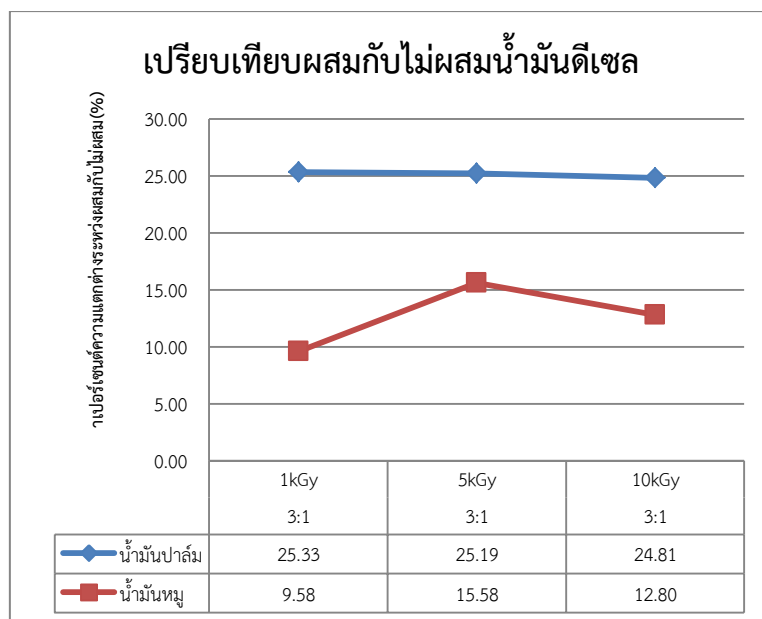


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมูระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสมตัวทำละลายน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 1:3



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมูระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสมตัวทำละลายน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 1:1





รูปที่ 4.13 กราฟแสดงเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมีระหว่างผสมตัวทำละลายกับไม่ผสมตัวทำละลายน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 3:1

จากรูปที่ 4.10 - 4.13 กราฟจะมีลักษณะเหมือนกรณีของเอทานอล คือ ความแตกต่างระหว่างการผสมกับไม่ผสมตัวทำละลาย สัดส่วนในการผสมมีผลต่อความหนืดของน้ำมัน และยังพบว่าความหนืดของน้ำมันจะลดลงเป็นกราฟสามเหลี่ยม นั่นคือ จะลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นแต่ขณะเดียวกันเมื่อปริมาณรังสีมากเกินไปความหนืดของน้ำมันก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

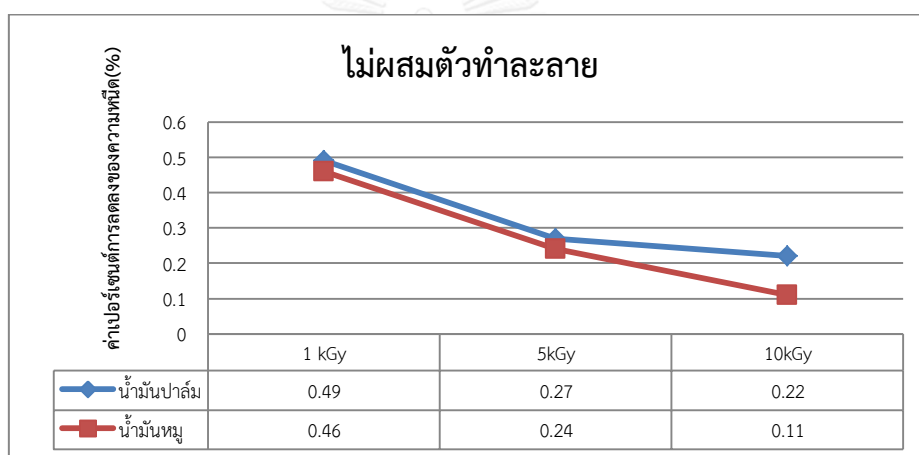
#### 4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.2.1 สรุปผลการลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังการฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูง โดยกำหนดตัวแปรที่ควบคุมข้อ 1 คือ ปริมาณรังสี แบ่งออกเป็น 2 กรณี

4.2.1.1 เปรียบเทียบน้ำมันที่ไม่ได้ผสมตัวทำละลาย พบว่า เมื่อฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูงกับน้ำมันโดยไม่ผสมตัวทำละลาย น้ำมันปาล์มจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงมากที่สุดทั้ง 3 ปริมาณรังสี คือ 1 kGy เท่ากับ 0.49% , 5 kGy เท่ากับ 0.277 % และ 10 kGy เท่ากับ 0.22 % ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันหมีเพียงเล็กน้อย ดังนั้นปริมาณรังสีที่มีความสามารถในการลดได้มากที่สุดคือ 1 kGy , 5 kGy และ 10 kGy ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความหนืดจะแปรผกผันกับปริมาณรังสี ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.8 ค่าความหนืดของน้ำมันก่อนและหลังฉายรังสี

| ชนิดน้ำมัน  | ปริมาณรังสี kGy | ค่าความหนืด (cSt) ที่ 40 C |               | ค่าความหนืดที่ลดลง |                |
|-------------|-----------------|----------------------------|---------------|--------------------|----------------|
|             |                 | เฉลี่ยก่อนฉาย              | เฉลี่ยหลังฉาย | cSt                | เปอร์เซ็นต์(%) |
| น้ำมันปาล์ม | 1               | 40.22                      | 40.02         | 0.2                | 0.49           |
| น้ำมันหมู   | 1               | 36.56                      | 36.33         | 0.23               | 0.46           |
| น้ำมันปาล์ม | 5               | 40.22                      | 40.11         | 0.11               | 0.27           |
| น้ำมันหมู   | 5               | 36.56                      | 36.41         | 0.15               | 0.24           |
| น้ำมันปาล์ม | 10              | 40.22                      | 40.13         | 0.09               | 0.22           |
| น้ำมันหมู   | 10              | 36.56                      | 36.39         | 0.17               | 0.11           |



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันหมู โดยเปลี่ยนตัวแปร ปริมาณรังสี

เนื่องจากเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นจะทำให้สายโซ่ขาดมากขึ้น แต่ระหว่างนั้นไม่มีตัวทำละลายมาขึ้นจึงทำให้เมื่อเวลาผ่านไป สายโซ่จะเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหสามมิติ จึงทำให้สายโซ่แข็งแรงขึ้น นั่นคือ ความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น

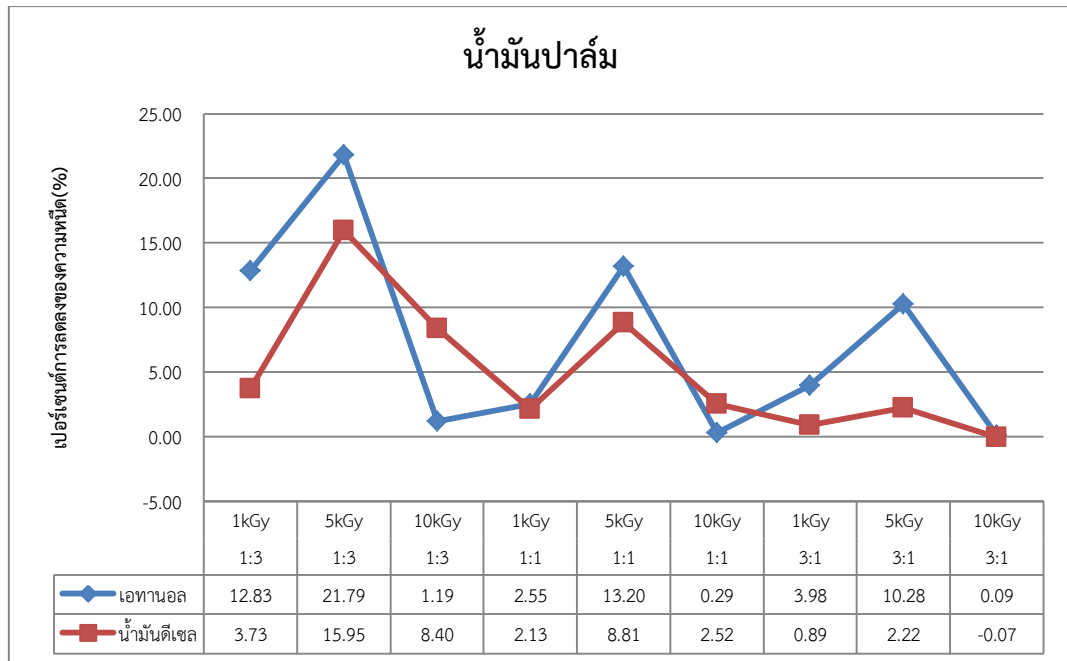
4.2.2 เปรียบเทียบน้ำมันตัวอย่างที่ผสมตัวทำละลาย เมื่อฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูงกับน้ำมันตัวอย่างที่ผสมตัวทำละลาย ที่สัดส่วนตามเงื่อนไข พบว่า ปริมาณรังสีที่ 5 kGy ของน้ำมันปาล์มผสมกับตัวทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 1:3 มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดมากที่สุดเท่ากับ 21.79% เมื่อเทียบกับน้ำมันหมูที่ผสมตัวทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 1:3 เช่นกัน รองลงมาคือที่ปริมาณรังสี 5 kGy ของน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 1:3 มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดเท่ากับ 15.95% และปริมาณรังสีที่ 5 kGy ของน้ำมันปาล์มผสมกับสารละลายเอทานอล ที่สัดส่วน 1:1 มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดเท่ากับ 13.20% ดังนั้น

สรุปได้ว่าปริมาณรังสีที่มีความสามารถในการลดได้มากที่สุดคือ 5 kGy, 1 kGy และ 10 kGy ตามลำดับดังตาราง 4.9

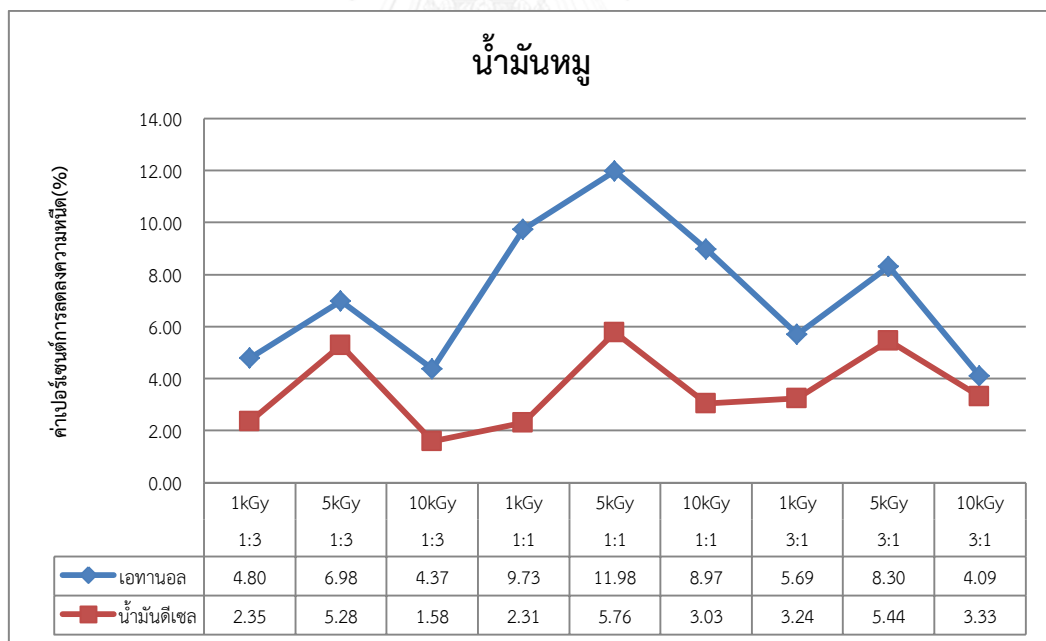
ตารางที่ 4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดมากที่สุด 3 อันดับแรก

| รหัสตัวอย่าง | ปัจจัยที่กำหนด |                   |             | ค่าความหนืด   |               | ค่าความหนืดที่ลดลง |               |
|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|
|              | อัตราส่วน      | ปริมาณรังสี (kGy) | ตัวทำละลาย  | เฉลี่ยก่อนฉาย | เฉลี่ยหลังฉาย | cSt                | เปอร์เซ็นต์ % |
| PA 1:3       | 1:3            | 5                 | เอทานอล     | 16.84         | 13.11         | 3.67               | 21.79         |
| PD 1:3       | 1:3            | 5                 | น้ำมันดีเซล | 10.72         | 9.07          | 1.71               | 15.95         |
| PA 1:1       | 1:1            | 5                 | เอทานอล     | 27.43         | 23.76         | 3.62               | 13.20         |

สรุปผลการลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างที่ผสมกับชนิดตัวทำละลายในสัดส่วนต่างๆ หลังการฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูงในปัจจัยที่ 2 คือ ชนิดตัวทำละลาย เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันตัวอย่างที่ผสมกับชนิดตัวทำละลายที่สัดส่วน 1:1, 1:3 และ 3:1 โดย น้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด (น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมู) ผสมกับตัวทำละลายเอทานอล และ น้ำมันดีเซล หลังจากฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีต่างๆ พบว่า ตัวทำละลายที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดมากที่สุดคือ น้ำมันปาล์มผสมกับตัวทำละลายเอทานอล ที่สัดส่วน 1:3 (น้ำมันปาล์ม:เอทานอล) ที่ปริมาณรังสี 5 kGy เท่ากับ 21.79% อันดับที่ 2 คือ น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซล ที่สัดส่วน 1:3 (น้ำมันปาล์ม : น้ำมันดีเซล) ที่ปริมาณรังสี 5 kGy เท่ากับ 15.95% และอันดับ 3 คือ น้ำมันปาล์มผสมกับตัวทำละลายเอทานอล ที่สัดส่วน 1:1 (น้ำมันปาล์ม : เอทานอล) ที่ปริมาณรังสี 5 kGy เท่ากับ 13.20 % ดังนั้นสรุปได้ว่าตัวทำละลายเอทานอลสามารถให้ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความหนืดมากกว่าตัวทำละลายน้ำมันดีเซล ดังรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดของน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดของน้ำมันหมู

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลน้ำมันที่มาจากแหล่งที่มาต่างกันมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความหนืดอยู่ในช่วง 0.8-2.97 หากเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างกับน้ำมันไบโอดีเซลมาตรฐานจะพบว่าค่าความหนืดมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งหากต้องการนำน้ำมันตัวอย่างไปใช้งานได้จริงจะต้องลดความหนืดให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน และอีกประเด็นคือการเปรียบเทียบน้ำมันหมูที่ใช้แล้วกับน้ำมันหมูที่ยังไม่ใช้ จะมีค่าความหนืดที่แตกต่างกันเพราะเมื่อน้ำมันที่ได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิส เมื่อปล่อยทิ้งไว้ น้ำมันจะไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้น หรือการนำไปทอดครั้งที่ 2 หรือครั้งที่ 3 กลีเซอรอลจะสลายตัวได้สารพวกอโรลีนซึ่งจะระเหยเป็นควันและมีกลิ่นเหม็น เมื่อปล่อยทิ้งไว้นานจะได้เกลือของกรดไขมัน และค่าความหนืดของน้ำมันแต่ละที่มีความแตกต่างกันทำให้ควบคุมคุณภาพได้ยาก ดังนั้นจึงเลือกชนิดของน้ำมันคือ น้ำมันปาล์ม กับน้ำมันหมูที่ยังไม่ใช้งาน

5.1.2 สรุปผลการลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างที่ผสมกับชนิดตัวทำละลายหลังการฉายรังสีอิเล็กตรอนปีมพลังงานสูงในปัจจุบันที่ 3 คือ สัดส่วนการผสมระหว่างน้ำมันตัวอย่างกับตัวทำละลาย ที่สัดส่วนการผสมระหว่างน้ำมันตัวอย่างกับตัวทำละลาย ที่สัดส่วน 1:3 มีผลต่อการลดลงของความหนืดมากที่สุดของน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด รองลงมาคือ ที่สัดส่วน 1:1 และ 3:1 ตามลำดับ

5.1.3 สรุปผลการลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างที่ผสมกับชนิดตัวทำละลายหลังการฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูงในปัจจุบันที่ 4 คือ ชนิดของน้ำมันตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

5.1.3.1 เปรียบเทียบน้ำมันตัวอย่างไม่ได้ผสมตัวทำละลายหลังจากฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีต่างๆโดยน้ำมันตัวอย่าง 2 ชนิด พบว่า น้ำมันหมูมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดมากกว่าน้ำมันปาล์ม

5.1.3.2 เปรียบเทียบน้ำมันตัวอย่างที่ผสมกับตัวทำละลายที่สัดส่วน 1:1 ,1:3 , 3:1 โดยน้ำมันตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด (น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมู)ผสมกับตัวทำละลายเอทานอล และ น้ำมันดีเซล หลังจากฉายรังสีอิเล็กตรอนพลังงานที่ปริมาณรังสีต่างๆ พบว่า น้ำมันตัวอย่างที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดมากที่สุดคือ น้ำมันปาล์ม สามารถทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดมีค่ามากกว่าน้ำมันหมู

จากงานวิจัยนี้ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตตัวแปรที่กำหนดขึ้นมีผลต่อการลดลงของความหนืดของน้ำมัน สามารถลดความหนืดของน้ำมันปาล์ม และน้ำมันหมูเฉลี่ย ที่ 7.02 cSt คิดเป็น 31.41% จากข้อมูลกราฟความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆหากนำข้อมูลตัวแปรมาจับความสัมพันธ์กันสามารถสรุปได้แนวทางเงื่อนไขที่ดีที่สุดตามขอบเขตตัวแปรที่ตั้งไว้ ดังนี้

1. ชนิดของน้ำมันกับตัวทำละลายที่ให้ผลดีที่สุดคือ ตัวทำละลายเอทานอล ทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันหมู

2. ชนิดของน้ำมันกับสัดส่วนการผสมกับตัวทำละลายที่ให้ผลดีที่สุดคือ การผสมน้ำมันปาล์มที่สัดส่วน 1:3

3. ชนิดของน้ำมันกับปริมาณรังสี ที่ให้ผลดีที่สุดคือ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการฉายรังสีอิเล็กตรอนที่ 5 kGy

4. ชนิดตัวทำละลายกับสัดส่วนการผสมที่ให้ผลดีที่สุดคือ ตัวทำละลายเอทานอล ที่สัดส่วน 1:3

5. สัดส่วนการผสมกับปริมาณรังสีที่ให้ผลดีที่สุด คือ สัดส่วน 1:3 ที่ผ่านการฉายรังสีอิเล็กตรอนที่ 5 kGy

ผลตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบงานวิจัยนี้ คือ ใช้ น้ำมันปาล์มผสมกับตัวทำละลายเอทานอลที่สัดส่วน 1:3 โดยฉายรังสีอิเล็กตรอนที่ปริมาณรังสี 5 kGy จากข้อมูลกราฟที่แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความหนืดอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งตัวแปรทั้งหมดมีผลต่อความหนืดของน้ำมัน

จากข้อมูลทั้งหมดตัวแปรที่กำหนดขึ้นมาล้วนมีผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันลดลง เช่น น้ำมันแต่ละชนิดก็มีโครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำไปผสมกับตัวทำละลายโครงสร้างของน้ำมันย่อมเกิดปฏิกิริยาทำให้โครงสร้างของน้ำมันเปลี่ยนไปจากพันธะคู่อาจกลายเป็นพันธะเดี่ยว อีกทั้งตัวทำละลายยังมีความสำคัญมากในช่วงที่เวลาหลังการฉายรังสีเนื่องจากสายโซ่ถูกรังสีตัดสาย ในระหว่างนั้นสายโซ่จะกลับมาเชื่อมโยงกันเกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติซึ่งโครงร่างนี้จะทำให้โมเลกุลแข็งแรงมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้นดังนั้นจึงต้องมีตัวทำละลายในน้ำมันเพื่อเป็นตัวขุ่นไม่ให้เกิดร่างแหสามมิติ (Cross Linking) การเลือกตัวทำละลายจึงเป็นตัวแปรสำคัญอีกประการ เพราะต้องมีคุณสมบัติที่เข้ากับโครงสร้างของน้ำมัน และยังคงคำนึงถึงราคาต้นทุนการในจัดหา

และอีกตัวแปรที่สำคัญคือ ปริมาณรังสี ใช้อินนาคอิเล็กตรอนจากเครื่องเร่งอนุภาค อิเล็กตรอนพลังงานสูง ในการเตรียมเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนจะต้องมีการคำนวณหาค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสม เพราะว่าการฉายรังสีอิเล็กตรอนมีข้อจำกัดคือ การทะลุทะลวงในเนื้อวัสดุน้อยหากวัสดุหรือตัวอย่างมีความหนามาก ปริมาณรังสีก็จะลดลงตามความหนาของวัสดุ โดยมาตรฐานสำหรับน้ำหรือน้ำมันที่เป็นตัวอย่างในการฉายรังสีจะต้องเตรียมตัวอย่างหนาไม่เกิน 2 cm เพราะปริมาณรังสีสูงสุดที่ความหนา 1 cm แล้วจากนั้นจะปริมาณรังสีจะค่อยๆลดลงตามความหนาที่เพิ่มขึ้น ด้วยข้อจำกัดนี้ในการเตรียมตัวอย่างจะต้องเตรียมภาชนะที่เป็นลักษณะทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสูงไม่เกิน 2.5 cm และจะต้องมีถุงพลาสติกหรือถุงซิปปิดครอบในภาชนะด้วยเพราะว่าป้องกันการกระเด็นออกจากภาชนะ ในการตั้งค่าปริมาณรังสีโดยที่ห้องควบคุมจะมีคอมพิวเตอร์ควบคุมอัตโนมัติ ป้อนค่าปริมาณรังสีที่เราต้องการแล้วจากนั้นจะมีค่า Fraction คือจำนวนรอบไป-กลับ เพื่อกำหนดให้เครื่องฉายที่รอบให้ได้ปริมาณรังสีที่กำหนด หลังจากการฉายใหม่ๆจะพบว่าน้ำมันทั้ง 2 ชนิดมีความใสและสังเกตเห็นความหนืดน้อยกว่าช่วงก่อนเข้า แต่เมื่อเวลาผ่านไปน้ำมันเริ่มมีความหนืดเป็นเพราะตัวทำละลายไม่สามารถกั้นการเชื่อมโยงของสายโซ่ได้หมด ทำให้สายโซ่ที่เหลือเชื่อมโยงกันเกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติ ยิ่งปริมาณรังสีสูงยิ่งทำให้สายโซ่ขาดและสายสั้นมีจำนวนเยอะแต่จำนวนตัวทำละลายที่มากขึ้นมีน้อย ทำให้สายโซ่สั้นที่ขาดมีจำนวนมากเกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงร่างสามมิติที่แข็งแรงมากกว่าเดิม ทำให้ความหนืดยิ่งสูงขึ้น แต่หากปริมาณรังสีต่ำๆจะทำให้สายโซ่ขาดไม่เยอะและยังยาวอยู่ ตัวทำละลาย

สามารถที่กั้นได้หมดไม่ให้เกิดการเชื่อมโยงกันจึงทำให้ไม่เกิดโครงร่างแหสามมิติ ความแข็งแรงของสายโซ่ลดลงทำให้ความหนืดของน้ำมันลดต่ำลงด้วย แต่ถ้าหากปริมาณรังสีต่ำมากเกินไปจนไม่สามารถตัดสายโซ่ขาดได้ความแข็งแรงของสายโซ่ก็ยังเท่าเดิมจึงทำให้ความหนืดของน้ำมันไม่ลดลง ดังนั้นปริมาณรังสีจึงมีผลต่อการลดความหนืดของน้ำมันอย่างชัดเจน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเทคนิคทางด้านรังสีมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานทดแทน ในด้านของน้ำมันไบโอดีเซล หากมีขยายผลนำเทคนิคด้านรังสีมาพัฒนาควรจะทำการศึกษาทดลองเปลี่ยนตัวทำละลายเพื่อเป็นการลดต้นทุน หรือทดลองเปลี่ยนสัดส่วนการผสมระหว่างน้ำมันกับตัวทำละลายหรือชนิดของน้ำมัน เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวมีผลต่อความหนืดของน้ำมัน หากมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องอาจจะทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันลดลงได้มากขึ้น และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันให้ใกล้เคียงกับคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลต่อไป หรืออาจจะนำเทคนิคการฉายรังสีอิเล็กทรอนิกส์ไปพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติด้านอื่นๆของน้ำมันไบโอดีเซลให้สามารถผสมกับน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากสัตว์ให้สามารถนำไปใช้ได้จริง





## รายการอ้างอิง

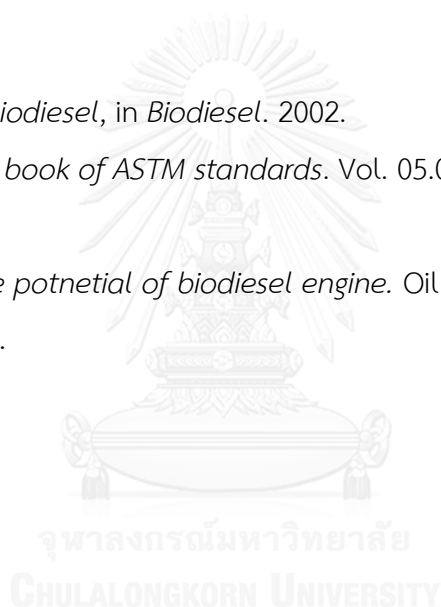
### ภาษาไทย

1. กระทรวงพลังงาน. นโยบายด้านพลังงานของรัฐบาล. 2557; Available from: [www.energy.go.th](http://www.energy.go.th).
2. สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ, แนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์, in การประชุมระดมความคิด 2544, กรุงเทพมหานคร: โรงแรมมารวยการ์เดน
3. วัชรพล ปุณชันน์, et al., ผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับกำรใช้น้ำมันดีเซล. วิศวกรรมสาร มข., 2549. **33**(3): p. 193-208.
4. กาญจนา บุญซ้ำ, การเพิ่มคุณค่าโทแพกไซไม่มีสีโดยล้าอเล็กตรอน. โครงการวิจัยฟิสิกส์และวิทยาการก้าวหน้า สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2556.
5. ลูติมา คงรัตน์อาภรณ์, et al., ผลของการฉายล้าอเล็กตรอนและรังสีแกมมาต่อการเจริญเติบโตและการสร้างเม็ดสี. ว.วิทยาศาสตร์การเกษตร, 2549. **44**(2).
6. กิติพงษ์ เสถียรเสาวภาคร์, ผลกระทบจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วต่อสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ทางการเกษตรแบบสูบเดียวในการใช้งานระยะยาว. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, 2550.
7. ลีวัฒนะโชตินันท์, อ., การลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดโดยการใชัรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร.
8. พรนำพา, ช., แนวทางใหม่ในการลดความหนืดของน้ำมันพืชบางชนิดและน้ำมันหมูโดยใช้น้ำและคาร์บอนเตตราคอลลไรต์เป็นตัวทำละลายขณะฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60, in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2553, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร.
9. ชาคริต ทองอุไร and ศ. คลังแก้ว, เทคนิคการผลิตไบโอดีเซลให้ได้คุณภาพ. ศูนย์บริการประชาชนที่ 3 จ.มหาสารคาม, 2553.
12. กรมธุรกิจพลังงาน, กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร. 2556: กรุงเทพมหานคร.
14. กนกอร รจนากิจ and จินดา เจริญพรพาณิชย์, ผลกระทบจากการใช้น้ำมันพืชดิบต่อสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์การเกษตร, in การประชุมวิชาเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19. 2548.

15. คณิต วัฒนวิเชียร and พิชญ์ ปริญญาจารย์, ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อค่าควันดำและคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์เกษตรขนาดเล็กชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า, in การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18. 2547.
16. วนัย ใหญ่คามิ and พงษ์พันธ์ ชัยนเนียม, การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและการทดสอบคุณภาพเบื้องต้น. วารสารบริการวิชาการ, 2550. **15**(4).
17. เจริญสุข, ด., ลำอเล็กทรอนิกส์เพื่อปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มผลิตภาพในการผลิต, in *Research and Development Center for Thai Rubber Industry*. 2554: กรุงเทพมหานคร.
18. ธัญเทพ เทพตะขบ, อ.อ., เครื่องวัดความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D445, in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2554, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

#### ภาษาอังกฤษ

10. Agency, E.P., *Biodiesel*, in *Biodiesel*. 2002.
11. ASTM, *Annual book of ASTM standards*. Vol. 05.01. 2001, Washington DC: USA.
13. Kramer W, *The potnetial of biodiesel engine*. Oil and Fat International, 1995. **11**(3): p. 32-34.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนวรรธน์ บุญอาษา เกิดวันที่ 10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 จังหวัดกาฬสินธุ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2555

นำเสนอผลงานทางวิชาการในรูปแบบภาคบรรยาย ในการประชุมสัมมนาวิชาการ นำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 16 และการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 3 "งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น" ในวันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์

