

การลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิด  
โดยการใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60



นางสาว อำไพ ลีวัณณะโชติพันธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VISCOSITY REDUCTION FOR CERTAIN VEGETABLE AND ANIMAL OIL  
USING GAMMA RAY FROM COBALT- 60.



MISS AMPHAI LEWWATTANACHOTINAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิด  
โดยการใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60

โดย

นางสาว อำไพ ลีวัฒน์มะโชติพันธ์

สาขาวิชา

สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี

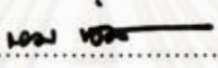
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง

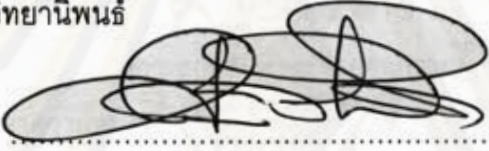
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

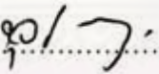
รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์

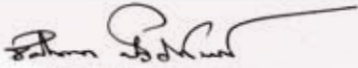
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

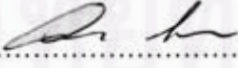
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศhiratวงศ์)

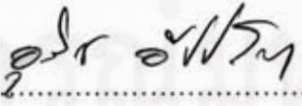
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สัมชาย นิลสุวรรณโฆสิต)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(อาจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. อูริช อัสชโคสิต)

อำเภอ ลี้วัดมนะโชติพันธ์ : การลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิด โดยการใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 (VISCOSITY REDUCTION FOR CERTAIN VEGETABLE AND ANIMAL OIL USING GAMMA RAY FROM COBALT-60) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ 119 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษากระบวนการลดความหนืดอย่างถาวรของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดที่ผ่านกระบวนการแล้วโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยทำการศึกษา 6 ปัจจัยหลัก ปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดของน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี และน้ำมันหมู ปัจจัยที่ 2 คือ ตัวทำละลาย ระหว่าง Ethyl Alcohol และ Diesel ปัจจัยที่ 3 คือ สัดส่วนการผสม (น้ำมันตัวอย่าง:ตัวทำละลาย)ที่ 4:1 และ 3:2 ปัจจัยที่ 4 ปริมาณรังสีแกมมาที่ 30 และ 50 kGy ปัจจัยที่ 5 คือ การเติมอากาศและไม่เติมอากาศระหว่างการฉายรังสี ปัจจัยที่ 6 คือ อุณหภูมิระหว่างฉายรังสีที่ 40 และ 75 °C เมื่อทำการฉายรังสีแกมมาแล้วกรณีตัวทำละลายไม่ใช่ Diesel จะทำการสกัดตัวทำละลายออกจากน้ำมันตัวอย่างโดยการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่ายและวัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมตามมาตรฐาน ASTM D445 ทำการวิเคราะห์ผลการลดค่าความหนืดจากการฉายรังสีและตรวจสอบคุณภาพและนัยสำคัญของผลการวิจัยโดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ General Linear Model (GLM)

ผลการวิจัยพบว่า การฉายรังสีแกมมาโดยทำการควบคุมปัจจัยทั้ง 6 มีผลต่อการลดความหนืดอย่างถาวรของน้ำมันตัวอย่างส่งผลให้ความหนืดหลังทำการฉายรังสีมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 7.63 - 46.92 % โดยกลุ่มตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์ความหนืดลดลงมากที่สุดคือ น้ำมันมะพร้าวผสมกับ Ethyl Alcohol ที่สัดส่วน 3:2 ทำการฉายรังสีปริมาณ 30 kGy ที่อุณหภูมิ 75 °C มีการเติมอากาศระหว่างทำการฉาย และจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าที่ระดับความมั่นใจ 96.83 % มีนัยสำคัญจาก 2 ปัจจัยหลักคือ ปริมาณรังสีแกมมาและการเติมอากาศ และ 5 ปัจจัยร่วมคือ ชนิดของน้ำมันกับตัวทำละลาย ชนิดของน้ำมันกับสัดส่วนสารละลาย ชนิดของน้ำมันและปริมาณรังสี ตัวทำละลายกับสัดส่วนสารละลาย และสัดส่วนสารละลายกับปริมาณรังสี

ภาควิชา.....นิเวศวิทยเทคโนโลยี.....  
สาขาวิชา.....นิเวศวิทยเทคโนโลยี.....  
ปีการศึกษา.....2552.....

ลายมือชื่อนิสิต.....อำเภอ ลี้วัดมนะโชติพันธ์.....  
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

## 5070522121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : GAMMA RAY / COBALT-60 / VISCOSITY REDUCTION / BIODIESEL

AMPHAI LEWWATTANACHOTINAN : VISCOSITY REDUCTION FOR CERTAIN VEGETABLE AND ANIMAL OIL USING GAMMA RAY FROM COBALT-60. THESIS ADVISOR : DOONYAPONG WONGSAWAENG, Ph.D, THESIS CO-ADVISOR : CHYAGRID SIRI-UPATHUM, 119 pp.

The purpose of this research work is to study a permanent viscosity reduction process of certain processed vegetable oils and lard using gamma ray from Cobalt-60. Six main factors were studied. The first were oil types, which were palm oil, coconut oil and lard. The second were solvent types, which were ethyl alcohol and diesel oil. The third were oil:solvent ratios of 4:1 and 3:2. The fourth was gamma ray dose at 30 and 50 kGy. The fifth was adding or not adding air during irradiation. The sixth was temperature of 40 and 75 °C during irradiation. For the cases that the solvent was not diesel gasoline, the solvent was extracted by a simple fractional distillation technique. Subsequently, the samples were tested for the change in viscosity using ASTM D445 standard. Finally, the quality and significance of the data obtained were statistically analyzed using General Linear Model (GLM).

Results indicate that gamma irradiation by controlling the six factors result in permanent viscosity reduction in the range of 7.63 - 46.92 %. Samples exhibiting the largest viscosity reduction were controlled the following way: coconut oil, ethyl alcohol, 3:2 ratio, 30 kGy dose, air bubbling during irradiation, temperature of 75°C. Statistical analysis revealed that at the 96.83 % confidence level, the following two factors contribute the most: gamma ray dose and adding/not adding air during irradiation. The following five factors also contribute, but to a lesser extent: oil types and solvent types, oil types and oil:solvent ratios, oil types and gamma ray dose, solvent types and oil:solvent ratios, and oil:solvent ratios and gamma ray dose.

Department :..... Nuclear Technology.....

Field of Study :..... Nuclear Technology.....

Academic Year :..... 2009.....

Student's Signature 

Advisor's Signature 

Co-Advisor's Signature 

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา จากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีการศึกษา 2552 และทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตครั้งที่ 3 ปีงบประมาณ 2552

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ดุจยพงศ์ วงศ์แสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความรู้คำแนะนำตลอดจนแนวความคิดต่าง ๆ ระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สัจชัย นิลสุวรรณโฆษิต ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ. อรรถพร ภัทรสุมันต์ และ ดร.อุริช อัครโคสิต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ข้อชี้แนะและคำแนะนำในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณขวัญฤดี เขียวแสง และ คุณสฤษฎี แสงสุวรรณ ฝ่ายควบคุมคุณภาพ สำนักงานพระโขนง บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือตรวจวัดความหนืดแบบอัตโนมัติตลอดการวิจัยนี้ และ เลขานุการ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้งานและการวิเคราะห์ผลปริมาณรังสีโดย opti-chromic detector

ขอขอบคุณ อ.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉิมไชย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ถ่ายทอดความรู้และคำแนะนำในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ General Linear Model ซึ่งทำให้ผลการวิจัยนี้สามารถอ้างอิงความถูกต้องได้ตามหลักการและเหตุผลทางวิชาการ

ขอขอบคุณเหล่าอาจารย์และบุคลากรภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์เสมอมา ตลอดจนน้องๆ ร่วมรุ่นที่ให้ความเอื้อเฟื้อและมิตรภาพที่ดีระหว่างทำการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่รักอย่างยิ่งที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด อนึ่งคุณค่าใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเป็นกตัญญูตราบาบุชาแด่บิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
<b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>6</b>
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	6
2.1.1 เคมีรังสีของน้ำมัน.....	6
2.1.2 ไบโอดีเซล .....	8
2.1.3 อุปกรณ์/อุปกรณ์ของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล.....	15
2.1.4 การวัดค่าความหนืด .....	20
2.1.5 พื้นฐานเคมีของกรดไขมันและน้ำมัน.....	27
2.1.6 โคบอลต์.....	37
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	42

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....</b>	<b>46</b>
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	46
3.1.1 เครื่องฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 .....	46
3.1.2 เครื่องทดสอบค่าความหนืดแบบอัตโนมัติ (Automatic Viscometer) ...	48
3.2 การดำเนินการเก็บข้อมูลในการวิจัย.....	51
3.2.1 จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ.....	51
3.2.2 ทดสอบคุณสมบัติและความเหมาะสมของตัวทำละลายของน้ำมันแต่ ละชนิด.....	57
3.2.3 ทดสอบเบื้องต้นเพื่อกำหนดขอบเขตที่เหมาะสม.....	61
3.2.4 ทดสอบนัยสำคัญจากแหล่งผลิตน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์ต่อค่า ความหนืดเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล.....	65
3.2.5 สรุปตัวแปรที่จะทำการศึกษา.....	66
3.2.6 ดำเนินการฉายรังสีตามแนวทางที่กำหนด.....	69
3.2.7 ตรวจวัดค่าความหนืดเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการฉายรังสี.....	73
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	76
3.3.1 วิเคราะห์ผลการลดความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมก่อน และหลังทำการฉายรังสีตามมาตรฐาน ASTM D 445 .....	76
3.3.2 วิเคราะห์ผลการลดค่าความหนืดของแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	76
3.3.3 วิเคราะห์ผลทางสถิติตรวจสอบคุณภาพของผลการวิจัยและนัยสำคัญ ของตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	76
3.3.4 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสม หลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 กับค่าความหนืดตามข้อกำหนด มาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน .....	78



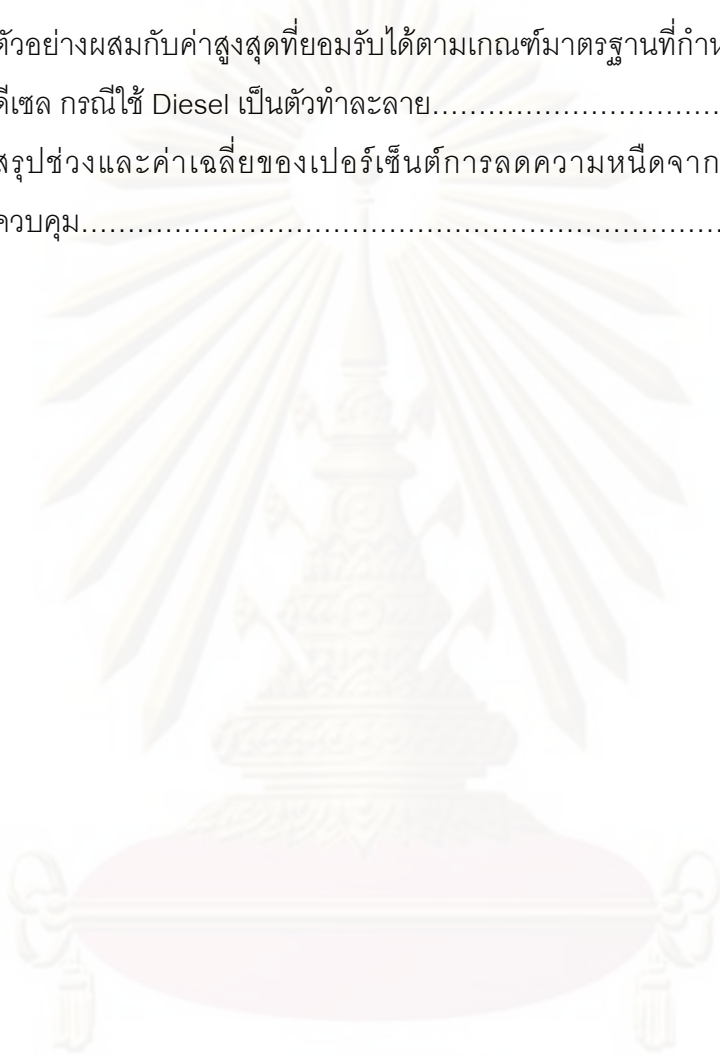
	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....</b>	<b>79</b>
4.1. ผลการลดความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมโดยฉายรังสีแกมมา จากโคบอลต์-60 .....	79
4.1.1 ผลการลดความหนืดน้ำมันตัวอย่างโดยฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์- 60 โดยไม่มีการใช้ตัวแปรร่วม .....	79
4.1.2 ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและ หลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ตามรูปแบบการทดลองที่ กำหนด....	80
4.2 ผลการลดค่าความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	91
4.3. การวิเคราะห์ทางสถิติตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลและหาค่าสำคัญของ ปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	98
4.3.1 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ.....	99
4.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล.....	100
4.3.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) .....	102
4.4 วิเคราะห์เปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมหลังทำ การฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 กับค่าความหนืดตามข้อกำหนดมาตรฐาน คุณภาพไบโอดีเซล ของกรมธุรกิจพลังงาน .....	104
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>108</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	108
5.1.1 สรุปผลการลดความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมจากฉาย รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 .....	108
5.1.2 สรุปผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	108
5.1.3 สรุปการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อตรวจสอบนัยสำคัญของแต่ละปัจจัย.....	110
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	114
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	116

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสามารถในการผลิตน้ำมันของพืชต่างๆ.....	19
2.2	ข้อกำหนดค่าความหนืดของน้ำมันชนิดต่างๆ.....	27
2.3	องค์ประกอบกรดไขมันของไขมันสัตว์และน้ำมันพืช .....	29
2.4	ค่าอุณหภูมิของจุดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ.....	32
2.5	ค่าซาฟอนนิฟิเคชัน (S.N.) ของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	34
2.6	ค่าไอโอดีน (I.N.) ของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	34
2.7	ค่าไรเอิท - ไมเซล (Reichert Meissel number ; R.M.N.) ของไขมันและ น้ำมันชนิดต่างๆ.....	36
2.8	ค่าเฮเนอ์ (Hehner) ของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ.....	37
2.9	ผลกระทบต่อร่างกายจากการได้รับรังสีโคบอลต์-60.....	41
3.1	คุณสมบัติทางเคมีของตัวทำละลายที่นำมาทดสอบ.....	57
3.2	ผลการวัดความหนืดอย่างง่ายโดยการจับเวลาการไหลในการทดสอบเบื้องต้น	62
3.3	วิเคราะห์ผลเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนืดในการทดสอบเบื้องต้น.....	63
3.4	นัยสำคัญของแหล่งผลิตน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์ต่อค่าความหนืด เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล.....	66
3.5	ระยะเวลาและแนวทางการควบคุมกลุ่มตัวอย่างระหว่างทำการฉายรังสี.....	69
3.6	รหัสกลุ่มตัวอย่างอธิบายประกอบผังการวางกลุ่มตัวอย่างในการฉายรังสี.....	72
4.1	ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังทำ การฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยไม่มีการใช้ตัวแปรร่วม.....	79
4.2	ผลการตรวจวัดความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมก่อนทำการ ฉายรังสี .....	80
4.3	ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังทำ การฉายรังสีของน้ำมันปาล์มทำละลายกับ Ethyl Alcohol.....	81
4.4	ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างผสมก่อนและ หลังทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันปาล์มผสมกับ Diesel.....	82

ตารางที่		หน้า
4.5	ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีทำละลายกับ Ethyl Alcohol.....	83
4.6	ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างผสมก่อนและหลังทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีผสมกับ Diesel.....	84
4.7	ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันหมูทำละลายกับ Ethyl Alcohol.....	85
4.8	ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างผสมก่อนและหลังทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันหมูผสมกับ Diesel.....	86
4.9	ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวทำละลาย ระหว่าง Ethyl Alcohol กับ Diesel .....	91
4.10	ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการผสม (น้ำมันตัวอย่าง: ตัวทำละลาย) ระหว่าง 4:1 และ 3:2.....	92
4.11	ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีแกมมา ระหว่าง 30 และ 50 kGy .....	93
4.12	ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเติมอากาศและไม่เติมอากาศระหว่างทำการฉายรังสี.....	94
4.13	ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการฉายรังสีระหว่าง 45 และ 75 °C.....	95
4.14	ข้อมูลที่มีแนวโน้มผิดปกติจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ GLM .....	99
4.15	ผลการวิเคราะห์ Analysis of Variance for %Diff.....	102
4.16	ผลการเปรียบเทียบความหนืดหลังการฉายรังสีของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมกับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดของไบโอดีเซล กรณีใช้ Ethyl Alcohol เป็นตัวทำละลาย.....	105

ตารางที่		หน้า
4.17	ผลการเปรียบเทียบความหนืดหลังการฉายรังสีของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมกับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดของไบโอดีเซล กรณีใช้ Diesel เป็นตัวทำละลาย.....	106
5.1	สรุปช่วงและค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดจากแต่ละปัจจัยควบคุม.....	109



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นโดยรังสี.....	6
2.2	กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์.....	9
2.3	ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ.....	11
2.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของราคาผลิตผลทางการเกษตรเปรียบเทียบกับ ราคาน้ำมันดีเซลปีพ.ศ. 2544 - 2552.....	16
2.5	แผนยุทธศาสตร์การอนุรักษ์พลังงาน ในช่วงปี พ.ศ. 2545 - 2554.....	17
2.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความต้องการน้ำมันดีเซลและ ปริมาณไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ พ.ศ. 2545-2550.....	18
2.7	เครื่องวัดความหนืดแบบไหลผ่าน Capillary Tube ชนิด Capillary Viscometer.....	23
2.8	เครื่องวัดความหนืดแบบไหลผ่าน Capillary Tube ชนิด Jel Meter Viscometer.....	23
2.9	เครื่องวัดความหนืดแบบ Falling Weight.....	24
2.10	เครื่องวัดความหนืดแบบวัดค่าความคงตัวด้วยค่าของการหมุนรอบตัวชนิด Stormier Viscometer.....	25
2.11	โครงสร้างโมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัว.....	28
2.12	โครงสร้างโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว .....	29
2.13	ผังการสลายตัวของโคบอลต์-60.....	38
2.14	เครื่องแกมมาไนฟ์ (gamma knife) .....	39
2.15	เครื่องฉายรังสีอาหารที่มีแท่งโคบอลต์-60 แขนอยู่ในบ่อน้ำด้านล่าง.....	40
3.1	เครื่องฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	46
3.2	อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีแกมมาชนิดแผ่น แบบ opti-chromic detector.....	47
3.3	ตำแหน่งและค่าการวัดปริมาณรังสีที่ตำแหน่งต่างๆของเครื่องฉายรังสี.....	47
3.4	เครื่องวัดความหนืดอัตโนมัติ CANNON VISCOSITY METER รุ่น CAV-2000	48
3.5	ชื่อบริษัทผู้ผลิตและรุ่นเครื่องวัดความหนืดอัตโนมัติที่ใช้ในการวิจัย.....	49

ภาพที่	หน้า	
3.6	ค่ามาตรฐาน ASTM ในการควบคุมอุณหภูมิน้ำมันตัวอย่างระหว่างทำการวัด ความหนืด.....	49
3.7	การเตรียมน้ำมันตัวอย่างสำหรับเครื่องวัดความหนืด CANNON VISCOSITY METER.....	50
3.8	เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (Hot Plate Stirrer/ Magnetic Stirrer) .....	51
3.9	Fiberglass Heating Tape.....	52
3.10	Voltage Regulator & Thermocouple.....	52
3.11	ปั๊มลม รุ่น AL-200.....	53
3.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอากาศและความดันของปั๊ม ลม.....	53
3.13	เครื่องมือวัดความเร็วลมชนิดหลายฟังก์ชัน (Multi-Function) รุ่น Testo 435..	54
3.14	น้ำมันปาล์มโอเลอิน (R.B.D. Palm Olein) ตรามรกต.....	55
3.15	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี (Refined coconut oil) ตราดอกไม้.....	55
3.16	น้ำมันหมู (Lard) แฉงที่ 77 ตลาดสามย่าน กรุงเทพฯ.....	56
3.17	ตัวทำละลายที่ใช้ทดสอบการละลายของน้ำมัน.....	56
3.18	การผสมน้ำมันปาล์มกับตัวทำละลาย.....	58
3.19	น้ำมันปาล์มกับตัวทำละลายเมื่อทำการเขย่าให้เข้ากัน .....	58
3.20	น้ำมันปาล์มกับตัวทำละลายเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ 2 วันหลังทำการเขย่า .....	58
3.21	การผสมน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับตัวทำละลาย .....	59
3.22	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับตัวทำละลายเมื่อทำการเขย่าให้เข้ากัน .....	59
3.23	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับตัวทำละลายเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ 2 วันหลังทำการ เขย่า .....	59
3.24	การผสมน้ำมันหมูกับตัวทำละลาย .....	60
3.25	น้ำมันหมูผ่านกรรมวิธีกับตัวทำละลายเมื่อทำการเขย่าให้เข้ากันการ.....	60
3.26	น้ำมันหมูผ่านกรรมวิธีกับตัวทำละลายเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ 2 วันหลังทำการเขย่า...	60
3.27	การวัดความหนืดอย่างง่ายในการทดสอบความเป็นไปได้เบื้องต้น.....	61
3.28	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหนืดของน้ำมันตัวอย่างผสมน้ำมันดีเซลหลัง ฉายรังสีกับน้ำมันดีเซล.....	64

ภาพที่	หน้า
3.29	65
3.30	65
3.31	67
3.32	68
3.33	70
3.34	71
3.35	71
3.36	73
3.37	73
3.38	74
3.39	74
3.40	75
3.41	75
4.1	79
4.2	80
4.3	87

ภาพที่	หน้า	
4.4	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความหนืดหลังทำการฉายรังสีที่ลดลงของน้ำมันปาล์มผสมกับ Diesel.....	87
4.5	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความหนืดหลังทำการฉายรังสีที่ลดลงของน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีทำละลายกับ Ethyl Alcohol.....	88
4.6	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความหนืดหลังทำการฉายรังสีที่ลดลงของน้ำมันของน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีผสมกับ Diesel.....	88
4.7	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความหนืดหลังทำการฉายรังสีที่ลดลงของน้ำมันหมูทำละลายกับ Ethyl Alcohol.....	89
4.8	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความหนืดหลังทำการฉายรังสีที่ลดลงของน้ำมันหมูผสมกับ Diesel.....	89
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสีจากการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวทำละลายระหว่าง Ethyl Alcohol และ Diesel.....	96
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสีจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการผสม (น้ำมันตัวอย่าง:ตัวทำละลาย) ระหว่าง 4:1 และ 3:2.....	96
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสีจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีแกมมาระหว่าง 30 และ 50 kGy.....	97
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการลดค่าความหนืดโดยการฉายรังสีจากกาเติมอากาศและไม่เติมอากาศระหว่างทำการฉายรังสี.....	97
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการลดค่าความหนืดโดยการฉายรังสีจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการฉายรังสีระหว่าง 45 และ 75°C.....	98
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล .....	100
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบความอิสระของข้อมูล.....	101
4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการความมีเสถียรภาพของข้อมูล .....	101
4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของนัยสำคัญแบบ Interaction Plot for %Diff.....	103
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของนัยสำคัญแบบ Main Effects Plot for %Diff ....	103



ภาพที่		หน้า
4.19	ข้อมูลมาตรฐานค่าความหนืดจากข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซล (ไบโอดีเซลชุมชน) ของกรมธุรกิจพลังงาน.....	104
4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์จำนวนเท่าของความหนืดหลังการฉายรังสีของน้ำมัน ตัวอย่างผสมเทียบกับค่าสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล กรณีใช้ Ethyl Alcohol เป็นตัวทำละลาย.....	107
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์จำนวนเท่าของค่าความหนืดหลังการฉายรังสีของ น้ำมันตัวอย่างเทียบกับค่าความหนืดสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล กรณีใช้ Diesel เป็นตัวทำละลาย.....	107
5.1	กราฟแสดงค่าสูงสุดและต่ำสุดของเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมาจากแต่ละปัจจัย.....	109
5.2	กราฟแสดงผลสรุปค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมาจากแต่ละปัจจัย.....	110
5.3	ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญของชนิดของน้ำมันกับชนิดตัวทำละลาย.....	111
5.4	ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญของชนิดของน้ำมันกับสัดส่วนสารละลาย.....	111
5.5	ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญจากชนิดของน้ำมันกับปริมาณรังสีที่ฉาย.....	112
5.6	ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญจากชนิดของตัวทำละลายกับสัดส่วนสารละลาย.....	112
5.7	ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญจากสัดส่วนสารละลายกับปริมาณรังสีที่ฉาย..	113
5.8	ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญจากการควบคุมการเติมอากาศระหว่างฉายรังสี.....	113
5.9	ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญจากการควบคุมอุณหภูมิระหว่างทำการฉายรังสี.....	114

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกมีความผันผวนสูง ปริมาณการอุปโภคบริโภคของประชากรในโลกมีอัตราการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นจากอัตราการเพิ่มของประชากรและการขยายตัวทางด้านเทคโนโลยีและเศรษฐกิจ ส่งผลให้แหล่งพลังงานปิโตรเลียมมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนในอนาคตอันใกล้ โดยเฉพาะน้ำมันดีเซล ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้ น้ำมันดีเซลถึงประมาณร้อยละ 44 ของปริมาณการใช้น้ำมันสำเร็จรูปโดยกลุ่มผู้ใช้น้ำมันดีเซลส่วนใหญ่อยู่ในภาคเกษตรกรรมและภาคการขนส่ง ปัจจุบันได้มีการศึกษาพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อนำมาใช้ในรูปแบบต่าง ๆ กันแต่ยังไม่มีการนำพลังงานทดแทนมาใช้เป็นที่แพร่หลายเนื่องจากต้นทุนการผลิตพลังงานทดแทนในปัจจุบันยังมีราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานเชิงพาณิชย์ (สุภาพ สุทธิรักษ์, 2550) ดังนั้นการทำการศึกษาค้นคว้าเทคโนโลยีด้านการผลิตพลังงานทดแทนให้สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ควรให้ความสำคัญและมุ่งเน้นทำการศึกษอย่างจริงจังก่อนที่จะเกิดสภาวะขาดแคลนแหล่งพลังงาน พลังงานทดแทนหนึ่งที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้คือ “ไบโอดีเซล (Biodiesel)” เป็นเชื้อเพลิงจากผลผลิตทางการเกษตร เช่น ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ละหุ่ง และน้ำมันงา เป็นต้น มีแนวทางการนำไปใช้งานโดยใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนโดยตรง นำไปผสมกับน้ำมันดีเซล หรือผ่านกระบวนการทางเคมีก่อนนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตามประเทศไทยมีเพียงการนำน้ำมันพืชดิบมาผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดเพื่อใช้แทนน้ำมันดีเซลและจำหน่ายในบางท้องถิ่น อาทิ อ.บางคนที จ.สมุทรสงคราม และ อ.ทับสะแก จ.ประจวบคีรีขันธ์ เป็นต้น ยังไม่มีการนำน้ำมันจากพืชหรือน้ำมันจากสัตว์มาผลิตเพื่อใช้เป็นพลังงานในเชิงพาณิชย์

ไบโอดีเซลมีข้อดีทางเทคนิคหลายประการ เช่น การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อย การเผาไหม้สมบูรณ์ คุณสมบัติการหล่อลื่นและเลขซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซลธรรมดา จุดวาบไฟสูงทำให้ปลอดภัยในการจัดเก็บและในกรณีที่เกิดการรั่วไหลไบโอดีเซลสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามไบโอดีเซลมีข้อจำกัดหลายประการซึ่งส่วนใหญ่เป็นข้อจำกัดทางสังคมและเศรษฐศาสตร์เป็นส่วนใหญ่ ประการที่หนึ่งการผลิตไบโอดีเซลมีราคาแพงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลเป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการผลิตที่ยังมีข้อจำกัดด้านเทคโนโลยี ประการที่สองคือกำลังการผลิตพืชน้ำมันน้อยกว่าปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลมากจึงส่งผลให้ต้นทุนด้านวัตถุดิบ

ในการผลิตของไบโอดีเซลยังคงมีราคาสูงและแปรผันตามราคาของพืชน้ำมันเป็นหลัก ประการที่สามทัศนคติของประชาชนต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้้ำมันดีเซลเป็นการใช้ไบโอดีเซลยังไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจากขาดการเผยแพร่และยืนยันผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องให้ประชาชนรับทราบทั่วกัน ดังนั้นควรมีการรณรงค์ให้ความรู้ความเข้าใจให้ประชาชนทราบถึงข้อดีของไบโอดีเซลและการพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้มีราคาถูกลง

ประเทศไทยเริ่มมีการส่งเสริมการพัฒนาเชื้อเพลิงไบโอดีเซลอย่างเป็นทางการเป็นรูปธรรมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 โดยการส่งเสริมการใช้้ำมันปาล์มแทนน้ำมันดีเซลเพื่อสนองพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวและเพื่อแก้ไขปัญหาความตกต่ำของปาล์มน้ำมันและน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี ได้มีการศึกษาและจัดทำแนวทางในการพัฒนาไบโอดีเซลให้เป็นพลังงานพาณิชย์โดยมีใจความสำคัญดังนี้

1. ไบโอดีเซล ประกอบด้วย ดีเซลปาล์มดิบ/ดีเซลมะพร้าวดิบคือน้ำมันปาล์มดิบ/น้ำมันมะพร้าวดิบผสมหรือไม่ผสมน้ำมันปิโตรเลียมแล้วใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล และดีเซลปาล์มบริสุทธิ์/ดีเซลมะพร้าวบริสุทธิ์คือน้ำมันปาล์ม/น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีที่กลั่นบริสุทธิ์ผสมหรือไม่ผสมน้ำมันปิโตรเลียมแล้วใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล
2. การทดสอบนำไบโอดีเซลไปใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลพบว่าการใช้ดีเซลมะพร้าวดิบและดีเซลปาล์มดิบในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วอาจมีปัญหาต่อเครื่องยนต์ได้ กล่าวคือดีเซลมะพร้าวดิบและดีเซลปาล์มดิบเหมาะสมที่จะใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำที่ใช้กับจักรกลการเกษตรเรือประมงและเรือขนส่งสินค้าอื่นๆ และดีเซลปาล์มบริสุทธิ์และดีเซลมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ต้องมีมาตรฐานคุณภาพเดียวกับน้ำมันดีเซลที่ใช้ทั่วประเทศจึงสามารถใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปได้
3. การจัดวางรูปแบบการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลให้เป็นพลังงานเชิงพาณิชย์ ได้แก่ การกำหนดมาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลที่ไม่มีผลเสียต่อเครื่องยนต์และมีมลพิษต่ำกว่าการใช้้ำมันดีเซล การหาส่วนผสมไบโอดีเซลลูกผสมที่มีคุณภาพไม่ต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่กรมธุรกิจพลังงานประกาศกำหนด การแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดกับเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซล การกำหนดมาตรการระยะยาวเพื่อให้เกิดการผลิตและใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลมากขึ้น การพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลของเครื่องจักรกลการเกษตรและเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้าเพื่อให้ใช้ไบโอดีเซลดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลทั้งชนิดบริสุทธิ์และดิบ การลดค่าใช้จ่ายตลอดขั้นตอนการผลิตตั้งแต่การปลูกและผลิตพืชน้ำมันไปจนถึงการผลิตไบโอดีเซล การหาพืชชนิดอื่นที่ประชาชนไม่นิยมบริโภคเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล การเรียกเก็บภาษีสรรพสามิตของไบโอดีเซลถูกผสมเฉพาะส่วนของน้ำมันดีเซล

ในการแปรรูปไบโอดีเซลให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลต้องพิจารณาคุณสมบัติสำคัญคือค่าความหนืด (Viscosity) เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของเครื่องยนต์โดยเฉพาะเครื่องยนต์ความเร็วรอบสูง (วัชรพล ปุณจันทร์ และคณะ, 2549) และไบโอดีเซลที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก ที่ผ่านมามีการวิจัยเกี่ยวกับการลดความหนืดของไบโอดีเซลโดยกรรมวิธีต่างๆหลากหลายแต่ยังไม่มีการศึกษาแนวทางการลดความหนืดของน้ำมันโดยการฉายรังสี การวิจัยนี้จึงจัดได้ว่าเป็นการสนับสนุนรูปแบบแผนงานการพัฒนาคุณสมบัติไบโอดีเซลในการนำไปใช้งานโดยตรงหรือการปรับปรุงสัดส่วนการผสมน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์ในไบโอดีเซลถูกผสมในสัดส่วนที่มากขึ้น และการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล ปัจจุบันการบริโภคน้ำมันหมูมีแนวโน้มลดลงจึงเป็นแนวทางการเพิ่มแหล่งวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้ในประเทศไทยและไม่กระทบต่อการบริโภคของประชากรอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60
- 1.2.2 เพื่อศึกษานัยสำคัญของปัจจัยควบคุมที่ทำการศึกษาต่อการลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60
- 1.2.3 เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลการวิจัยและนัยสำคัญของตัวแปรที่ทำการศึกษาโดยการวิเคราะห์ผลทางสถิติ
- 1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดหลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 กับค่าความหนืดตามข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษากระบวนการลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี และน้ำมันหมู โดยการฉายรังสีแกมมาจาก โคบอลต์-60 ทำการควบคุมปัจจัยดังนี้คือ ชนิดน้ำมัน ชนิดตัวทำละลาย สัดส่วนการผสม (น้ำมัน:ตัวทำละลาย) ปริมาณรังสี การเติมอากาศ และอุณหภูมิระหว่างฉายรังสี

1.3.2 ตรวจสอบค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ตามมาตรฐาน ASTM D 445

1.3.3 วิเคราะห์ผลการลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 จากการควบคุมตัวแปรที่ทำการศึกษา

1.3.4 วิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลการวิจัยและนัยสำคัญของตัวแปรที่ทำการศึกษา

1.3.5 เปรียบเทียบค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมหลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 กับค่าความหนืดตามข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดอย่างถาวรโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60

1.4.2 ทราบนัยสำคัญในการลดความหนืดน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดในการควบคุมปัจจัยดังนี้ ชนิดน้ำมัน ชนิดตัวทำละลาย สัดส่วนสารละลาย (น้ำมัน:ตัวทำละลาย) ปริมาณรังสีแกมมา การเติมอากาศ และอุณหภูมิระหว่างการฉายรังสี

1.4.3 ผลการเปรียบเทียบการลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 กับคุณสมบัติค่าความหนืดของไบโอดีเซลตามกำหนดมาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับเคมีรังสีของน้ำมัน การพัฒนาเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ข้อดีและข้อด้อยของไบโอดีเซล การวัดค่าความหนืด และอุปสงค์/อุปทานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล

1.5.2 กำหนดรูปแบบปัจจัยที่จะทำการวิจัยและคัดเลือกตัวแปรของแต่ละปัจจัยที่มีความเหมาะสมและคาดว่าจะส่งผลสนับสนุนต่อการเสื่อมสลายของโมเลกุลน้ำมันที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 อย่างถาวรตามที่ได้ศึกษาค้นคว้าวิจัย

1.5.3 จัดหาน้ำมัน สารเคมี และอุปกรณ์ต่างๆที่เหมาะสม

1.5.4 ทดสอบนัยสำคัญของแหล่งที่มาของน้ำมันต่อการบ่งชี้คุณสมบัติค่าความหนืด โดยตรวจวัดค่าความหนืดของน้ำมันแต่ละชนิดที่มีแหล่งที่มาหรือผู้ผลิตแตกต่างกัน

1.5.5 ทดสอบผลการลดความหนืดของน้ำมันที่ทำการศึกษาโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยไม่มีตัวแปรร่วม

1.5.6 ทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่ตัวแปรต่างๆตามรูปแบบการวิจัย เพื่อให้เกิดการเสื่อมสลายของโมเลกุลน้ำมันอย่างถาวร

1.5.7 กรณีที่ตัวทำละลายอาจจะส่งผลต่อเครื่องยนต์เมื่อนำไปใช้งานจริง ทำการสกัดตัวทำละลายออกจากน้ำมันตัวอย่างโดยการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย

1.5.8 ตรวจวัดความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมก่อน-หลังฉายรังสีทุกตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM D 445

1.5.9 วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การลดความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60

1.5.10 ตรวจสอบคุณภาพและนัยสำคัญของผลการทดลอง โดยการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ General Linear Model (GLM) จากโปรแกรม Mini Tab

1.5.11 สรุปผลพร้อมเสนอแนวทางขยายผล



การเกิดคลอสลิงค์โดยทั่วไปจะทำให้โมเลกุลแข็งแรงมากยิ่งขึ้น เช่น มีความแข็งเพิ่มขึ้น ความต้านแรงดึงสูงขึ้น ทนทานต่อความร้อน เปลวไฟ ตัวทำละลายมากยิ่งขึ้น และมีการยึดที่ทำให้เกิดผลเสียน้อยลง ในทางกลับกันการเกิดการเสื่อมสลายจะมีผลในทางตรงกันข้าม ปกติเมื่อน้ำมันถูกฉายรังสีจะเกิดคลอสลิงค์และเกิดเสื่อมสลายไปพร้อมๆกันขึ้นอยู่กับว่าน้ำมันชนิดใดจะเกิดปฏิกิริยาคลอสลิงค์และเสื่อมสลายมากกว่ากัน (เกศินี เหมวิเชียร และคณะ, 2550)

หลักเกณฑ์ที่ทำนายว่าสารโวนิลโครงสร้างในรูปของ  $(-CH_2-CHR-)_n$  จะเกิดคลอสลิงค์ ขณะที่สารโครงสร้างในรูปของ  $(-CH_2-CR_1R_2-)_n$  จะมีโอกาสการเสื่อมสลายสูงเมื่อฉายรังสี นอกจากนี้การที่สายโซ่มีหมู่เกาะจะไม่ทำให้เกิด Franck-Rabinowitch cage effect กล่าวคือพวก active species จะไม่รวมกันเองแต่จะไปทำให้สายโซ่ของสารในตัวเองขาดได้ง่ายขึ้น สำหรับสารที่ไม่มีหมู่ข้างๆสายโซ่เกาะจะมีอิสระในการเคลื่อนที่ของสายโซ่ตามแนวแกนเมื่อเกิดอนุมูลอิสระขึ้นที่สายโซ่โดยใช้รังสี จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่อีกสายโซ่หนึ่งที่อยู่ข้างเคียงได้จึงเกิดการเชื่อมโยงของสายน้ำมันได้โดยง่าย สำหรับสารอื่นที่ไม่ใช่สารโวนิลก็พบว่ามีสมมติฐานนี้ก็ใช้ได้เช่นกันและอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ด้วยเงื่อนไขต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ชนิดของแก๊สที่บรรจุอยู่ และส่วนประกอบที่ผสมอยู่ในสารที่ฉายรังสีโดยเฉพาะสารที่ใจใจเติมลง (additive)

การเสื่อมสลายหลายชนิดจะมีการเร่งการเสื่อมสลายในภาวะที่มีตัวเติมออกซิเจนนั้น ออกซิเจนที่มีอยู่ระหว่างการฉายรังสีน้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งมีอิทธิพลต่อการแตกตัวด้วยรังสี (Radiolysis) โดยเมื่อมีการฉายรังสีให้กับน้ำมันบางชนิดจะเกิดอนุมูลอิสระทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล ซึ่งออกซิเจนที่มีอยู่ระหว่างการฉายรังสีจะทำการรวมตัวกับอนุมูลอิสระเกิดเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกซี ทำให้เกิดการตัดทอนโมเลกุล ของน้ำมัน

ผลของอุณหภูมิเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลด้วยวิธีทางรังสีและทางเคมีแตกต่างกัน การฉายรังสีเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงนั้นสัดส่วนของโครงสร้างที่เป็นผลึกทั้งก่อนและหลังการฉายรังสีจะใกล้เคียงกันมากโดยปริมาณของโครงสร้างที่เป็นผลึกจะสัมพันธ์กับความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลว (Heat of fusion) คือเมื่อปริมาณการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นจะทำให้โครงสร้างที่เป็นผลึกลดลงเนื่องจากการเชื่อมโยงจะรบกวนการเกิดโครงสร้างระหว่างการเย็นตัวลงหลังจากการหลอมเหลว นอกจากนี้โครงสร้างที่เป็นผลึกจะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการหลอมเหลวหรือการเย็นตัวลงในครั้งต่อไป



## 2.1.2 ไบโอดีเซล

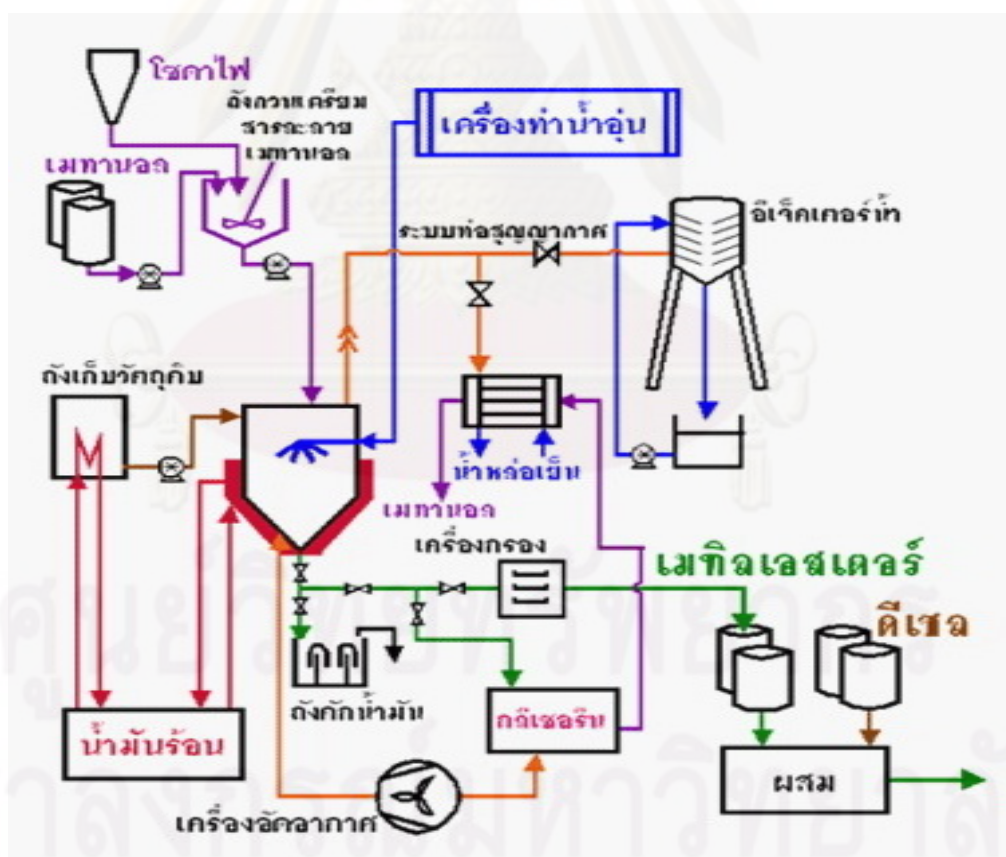
2.1.2.1 ชนิดของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามกระบวนการผลิต คือ

2.1.2.1.1 น้ำมันพืช (Straight Vegetable Oil) หรือน้ำมันจากสัตว์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลประเภทนี้ได้มาจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่ว และน้ำมันจากสัตว์ เช่น น้ำมันหมู น้ำมันเหล่านี้สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงโดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีใดๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้น้ำมันได้ในราคาที่ถูกลงและหากนำน้ำมันซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นมาใช้ก็จะถูกขึ้นไปอีก อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11-17 เท่า และที่อุณหภูมิตัวน้ำมันพืชจะกลายเป็นไข จึงต้องมีการให้ความร้อนเพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชและป้องกันการเป็นไขในทุกๆ ส่วนของเครื่องยนต์ที่มีน้ำมันไหลผ่านเริ่มตั้งแต่ ถังน้ำมัน ท่อทางเดินน้ำมัน และ ตัวกรองน้ำมัน การฉีดน้ำมันเป็นฝอยจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับอากาศในกระบอกสูบได้ดีและจะเผาไหม้ได้หมดจดซึ่งน้ำมันพืชยังมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลแม้จะให้ความร้อนประมาณ 70 °C แล้วก็ตามจะทำให้หัวฉีดน้ำมันสามารถฉีดน้ำมันออกมาเป็นฝอยได้ยากทำให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ติดยาก การเผาไหม้ไม่ดีพอ และเกิดเขม่าขึ้นในเครื่องยนต์ ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์โดยตรงในเครื่องยนต์จึงเกิดความยุ่งยากทั้งการเดินเครื่องและการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ มากกว่านั้นแล้วไบโอดีเซลแบบนี้ยังใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำเท่านั้นหากนำไปใช้กับเครื่อง ความเร็วรอบสูงความหนืดของน้ำมันจะทำให้ไม่สามารถฉีดน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้ได้ทันจังหวะที่ต้องการของเครื่องยนต์ทำให้เครื่องไม่สามารถสตาร์ทได้ (วัชรพล ปุณชันท์ และคณะ, 2549)

2.1.2.1.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม (Veggie / Kero Mix) เชื้อเพลิงไบโอดีเซลประเภทนี้ได้มาจากการผสมน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์ (ไบโอดีเซลแบบแรก) กับน้ำมันก๊าด หรือ น้ำมันดีเซล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์ลงให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล หากผสมน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับน้ำมันก๊าดจะเรียกว่าโคโคดีเซล (Coco-Diesel) หากผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลจะเรียกว่าปาล์มดีเซล (Palm-Diesel) อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการใช้งาน โดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่น้ำมันก๊าด 20 % และน้ำมันพืช 80 % (อนุตร จำลองกุล, 2550) หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลประเภทนี้สามารถใช้น้ำมันดีเซลในการสตาร์ทเครื่องยนต์ก่อนและใช้อีกทีตอนก่อนเลิกใช้งาน เนื่องจากราคาของน้ำมันก๊าดที่

ค่อนข้างสูงทำให้ผู้ใช้บางรายลดปริมาณของน้ำมันที่ใส่ส่งผลให้น้ำมันที่ผสมได้มีความหนืดสูงเกินไปทำให้เกิดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์คล้ายกับปัญหาที่เกิดขึ้นกับไบโอดีเซลประเภทแรก

2.1.2.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นไบโอดีเซลอย่างแท้จริงมีกระบวนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นที่ยอมรับในสากลและมีการใช้ในหลายประเทศ เช่น สหพันธรัฐเยอรมัน และสหรัฐอเมริกา ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์มีคุณสมบัติเหมือนน้ำมันดีเซลมากที่สุดใน 3 ประเภทของไบโอดีเซลจึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์และสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิดทั้งการเติมโดยตรงและผสมกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลประเภทนี้มีราคาสูงกว่าไบโอดีเซลประเภทอื่น (อาชัย พิทยภาคย์ และคณะ, 2545) การใช้งานปัจจุบันจึงนำน้ำมันดีเซลมาผสมด้วย เอสเทอร์ไบโอดีเซลสามารถจุดระเบิดได้ดีและมีการสันดาปสมบูรณ์ ปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์เนื่องจากไม่มีกำมะถันอยู่ในวัตถุดิบตั้งต้น (ชาคริต ทองอุไร และคณะ, 2545)



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์  
(ที่มา : <http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/process.php>)

### 2.1.2.2 ข้อดีของไบโอดีเซล

2.1.2.2.1 ด้านสิ่งแวดล้อม การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษในอากาศ อันเนื่องมาจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่สมบูรณ์ได้ กรมอุทกหารเรือได้ทำการทดลองใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่ารถที่ใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 50 และสามารถลดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ร้อยละ 20 ลดฝุ่นละอองได้ร้อยละ 39 ลดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ร้อยละ 99 นอกจากนี้การใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นสามารถลดวงจรชีวิต (life-cycle) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ได้ร้อยละ 78 ซึ่งเป็นผลให้ลดภาวะโลกร้อน (กุลวุฒิ วัฒนาเมธี, 2545)

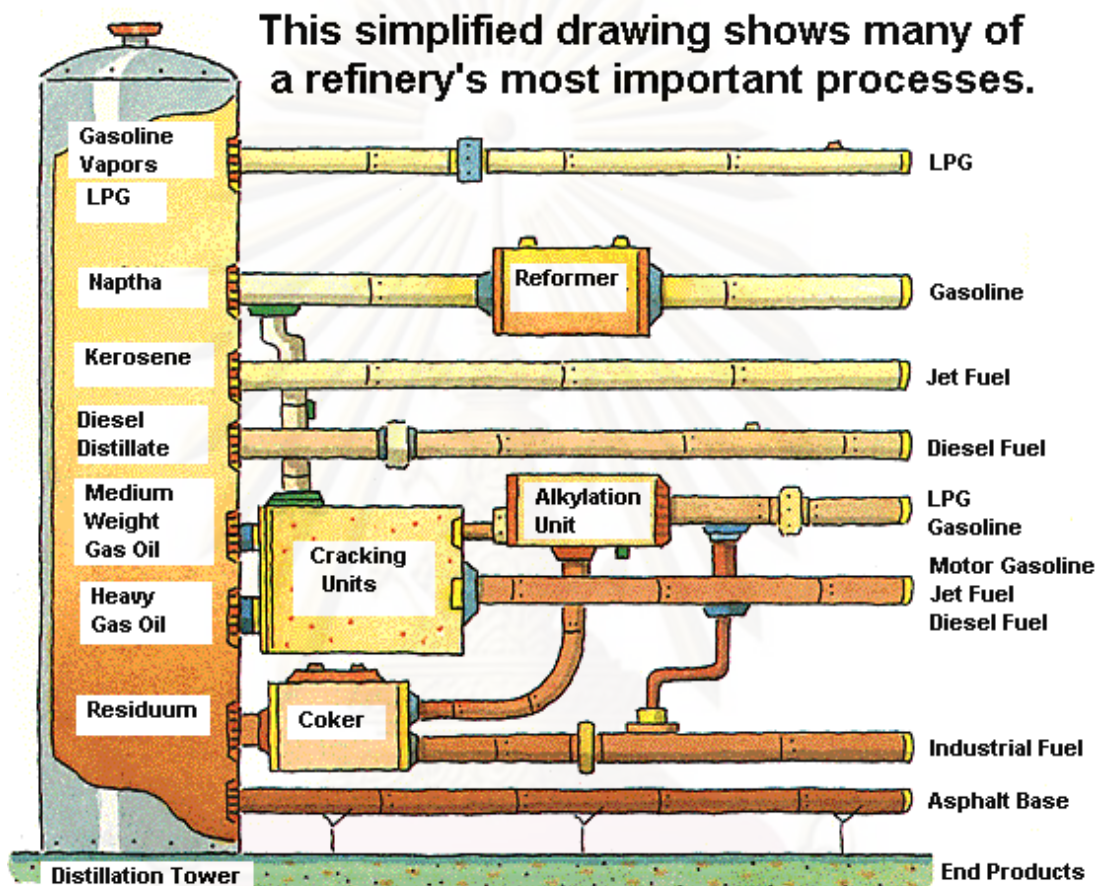
2.1.2.2.2 ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ การใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จะช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้เผาไหม้ในกระบอกสูบเป็นไปอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ค่าแรงบิดเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 7.5 และให้กำลังเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

2.1.2.2.3 ด้านเศรษฐศาสตร์ การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทโดยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล อีกทั้งช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศเพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 40,000 ktoe (ประชุม เวศม์วิบูลย์, 2524)

2.1.2.2.4 ด้านความมั่นคงพลังงาน การใช้ไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ นับเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศแต่ทั้งนี้ต้องมีการวางแผนในการดำเนินการควบคู่ไปกับนโยบายและแผนทางด้านเกษตรของประเทศ

2.1.2.2.5 ด้านสมดุลการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้ น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินถึง 2.5 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้งานภายในประเทศเนื่องจากทั้งน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินเป็นผลผลิตจากการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบดังแสดงในรูปที่ 2.3 (สถาบันส่งเสริมการสอน

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, เล่มที่4) ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้



รูปที่ 2.3 ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ (ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เล่มที่4 หน้าที่ 76)

2.1.2.3 ข้อดีของไบโอดีเซล มีดังต่อไปนี้ เป็นของแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันดีเซล ปลดปล่อยแก๊สไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซลส่งผลให้ชิ้นส่วนยางของปั้มน้ำมันเสื่อมคุณภาพเร็ว (คณิต วัฒนวิเชียร และคณะ, 2547) และค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่ข้อดีนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานเพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้นจึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง ส่วนข้อดีอื่นๆของไบโอดีเซลสามารถดำเนินการแก้ไขได้โดยการผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ

2.1.2.4 การทดสอบคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม การทดสอบคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมตามมาตรฐาน ASTM เป็นมาตรฐานควบคุมการผลิตของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่างๆ โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีค่าคุณสมบัติต่างๆที่สำคัญอยู่ในกรอบเกณฑ์ที่ระบุไว้เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบในการใช้งานทั้งกับตัวเครื่องยนต์และการปลดปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม ในประเทศไทยหน่วยงานที่เป็นผู้กำหนดคุณลักษณะต่างๆของน้ำมันเชื้อเพลิงคือ กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งในข้อกำหนดประกอบไปด้วยคุณลักษณะต่างๆที่สำคัญดังต่อไปนี้

2.1.2.4.1 ความถ่วง เฉพีไอ เป็นตัวเลขที่แสดงค่าความหนักเบาของน้ำมันหรือตัวทำละลายต่างๆ น้ำมันเบาจะมีค่าความถ่วง เฉ พี ไอ สูงกว่าน้ำมันหนัก เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความถ่วง เฉพีไอ เรียกว่า ไฮโดรมิเตอร์

2.1.2.4.2 การความดันไอเป็นแรงดันที่เกิดจากส่วนที่ระเหยได้ง่ายกว่าของน้ำมันที่กระทำต่อพื้นที่ของภาชนะที่บรรจุ ความดันไอของน้ำมันขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของไอระเหยและปริมาตรของของเหลวภายในภาชนะนั้น (Vapor/Liquid volume ratio, V/L) ของเหลวที่ระเหยง่ายจะมีค่าอัตราส่วน V/L สูง เช่น พวกลูกน้ำมันเบาต่างๆ

2.1.2.4.3 การกักคร่อนของน้ำมันเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ กำมะถันหรือสารประกอบของกำมะถัน และพวกเกลืออินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในน้ำมัน แต่ส่วนใหญ่จะเกิดจากสารประกอบของพวกกำมะถัน เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเมอร์แคปแทน วิธีการทดสอบการกักคร่อนอาจจะใช้แผ่นทองแดง หรือ แผ่นเงิน เพราะมีความไวต่อการเกิดการกักคร่อน

2.1.2.4.4 การกลั่นแบบ ASTM มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมนับตั้งแต่การกลั่นน้ำมันดิบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียมชนิดต่างๆ และในการตรวจสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงบางชนิด เนื่องจากอุณหภูมิจุดเดือดที่เปอร์เซ็นต์ของการกลั่นต่างๆ มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น การสตาร์ทเครื่องยนต์ การเร่งเครื่องยนต์ เป็นต้น

2.1.2.4.5 ความหนืด เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญมากต่อการใช้งานของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ทั้งนี้เพราะความหนืดจะมีผลต่อระบบการฉีดเป็น

ฝอยของน้ำมันมีผลต่อการหล่อลื่นชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความหนืด เรียกว่า วิสโคมิเตอร์ (Viscometer)

2.1.2.4.6 ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง หมายถึงค่าพลังงานความร้อนที่ให้ออกมา เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีจะให้ค่าความร้อนมากกว่าเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำ การทดสอบคุณภาพในการให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า บอมบ์คาลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ปริมาณของพลังงานความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาเมื่อมวลของเชื้อเพลิงหนึ่งหน่วยถูกเผาไหม้ในภาชนะปิดที่ปริมาตรคงที่พร้อมกับผลิตภัณฑ์ก๊าซและน้ำที่เกิดขึ้นจากการควบแน่น เรียกว่า ค่าความร้อนทั้งหมดของการเผาไหม้ (gross heat of combustion) ส่วนค่าความร้อนที่เกิดขึ้นที่ความดันคงที่ เรียกว่า ค่าความร้อนสุทธิของการเผาไหม้ (net heat of combustion)

2.1.2.4.7 จุดอะนิลีน (aniline point) คืออุณหภูมิต่ำสุดของสารละลายสมดุระหว่างสารอะนิลีนกับน้ำมันตัวอย่างที่มีปริมาตรเท่ากัน การหาค่าจุดอะนิลีนเป็นการคาดคะเนปริมาณของอะโรมาติกที่มีอยู่ในน้ำมันดีเซล

2.1.2.4.8 การวัดสีของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม มีประโยชน์ในการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมและช่วยตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันในเบื้องต้นมี 2 วิธี คือแบบ ASTM และ แบบเซย์โบลท์

2.1.2.4.9 จุดวาบไฟ (flash point) หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่ทำให้เกิดไอน้ำมันเป็นปริมาณมากพอและเมื่อสัมผัสเปลวไฟก็จะลุกไหม้ทันทีและดับภายในเวลา 1 วินาที ถ้าติดไฟนานกว่า 5 วินาที เรียกว่า จุดติดไฟ (fire point)

2.1.2.4.10 จุดไหลเท หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้เมื่อได้รับความเย็น จุดไหลเทของน้ำมันขึ้นอยู่กับปริมาณไฮพาราฟินที่มีปนอยู่ในน้ำมัน ถ้าน้ำมันมีจุดไหลเทสูงแสดงว่าในน้ำมันมีปริมาณไฮพาราฟินปนอยู่มาก

2.1.2.4.11 ค่าความคงตัวของจาระบี (consistency) คือ ความอ่อนแข็งของจาระบีที่มีความสำคัญต่อการบรรจุและการใช้งาน ความคงตัวของจาระบีจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความชื้น

2.1.2.4.12 เถ้าซัลเฟต คือ สิ่งที่เหลือจากการเผาจนเป็นเถ้าถ่าน แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟริกและนำไปเผาต่อจนได้น้ำหนักคงที่ ปริมาณของเถ้าซัลเฟตจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันหล่อลื่นใหม่ และในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วจะใช้อบปริมาณการลดลงของสารเพิ่มคุณภาพที่ถูกใช้งานไป

2.1.2.4.13 จุดควีน หมายถึง ระยะเวลาสูงของเปลวไฟขณะที่ยังไม่มีควันที่ได้จากการจุดติดไฟของไส้ตะเกียงมาตรฐาน เป็นคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันก๊าดและน้ำมันเครื่องบินไอพ่น น้ำมันที่มีองค์ประกอบเป็นอะโรมาติกมากจะให้เปลวไฟที่มีจุดควีนสูงกว่าน้ำมันที่มีองค์ประกอบเป็นพาราฟิน

2.1.2.5 การพัฒนาเชื้อเพลิงไบโอดีเซลปัจจุบันได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพในรูปแบบต่างๆ กัน ดังต่อไปนี้

2.1.2.5.1 แอลกอฮอล์ชีวภาพ (Ethanol and Methanol)

2.1.2.5.2 แก๊สโซฮอล (Gasohol : Gasolin + Alcohol)

2.1.2.5.3 ไบโอดีเซล (Biological Diesel Oil)

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

2.1.2.5.3.2 น้ำมันดีโซฮอล (Diesohol : Diesel Oil + Alcohol + Additive)

2.1.2.5.4 ไบโอดีเซลดิบในประเทศไทย (Crude Biological Diesel Oil)

2.1.2.5.4.1 น้ำมันมะพร้าวดิบ (Crude Coconut Oil)

2.1.2.5.4.2 น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO)

2.1.2.5.4.3 น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (Crude Palm Kernel Oil, CPKO)

- น้ำมันปาล์มดิบสกัดไข/น้ำมันปาล์มดิบโอลลีน (Crude Palm Oil Olein)
- ไขน้ำมันปาล์มดิบ/น้ำมันปาล์มดิบสเตียริน (Crude Palm Oil Stearin) ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (Refined Biological Diesel Oil or Refined Bleached Deodorized Biological Diesel Oil)

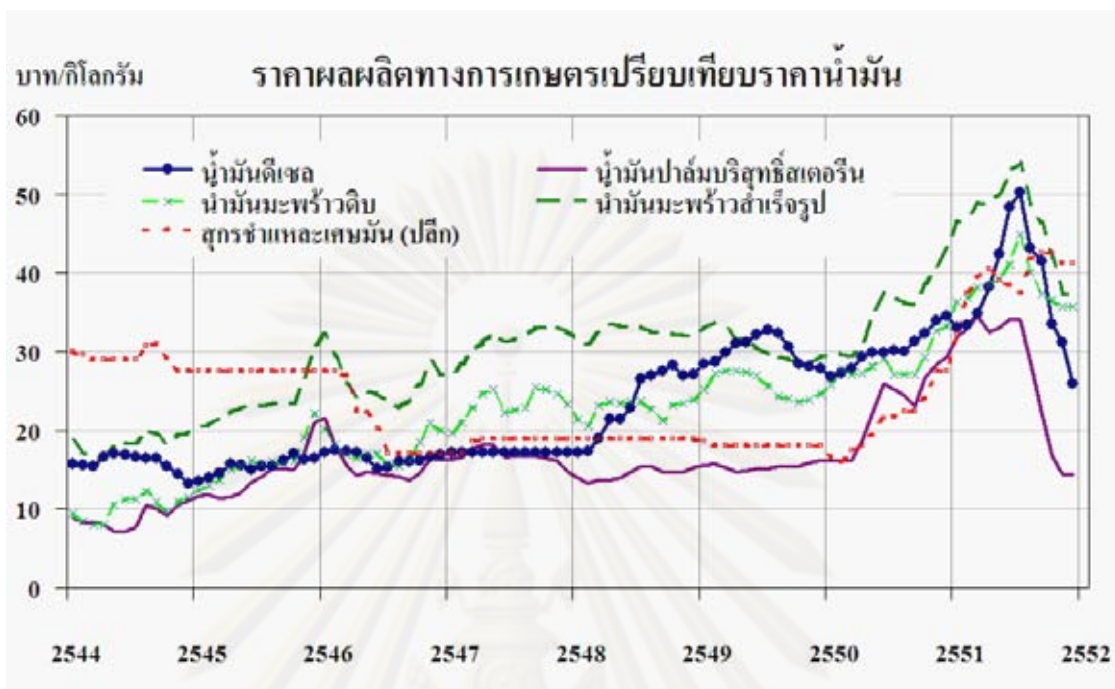
2.1.2.5.4.4 น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีบริสุทธิ์ (Refined Coconut Oil or Refined Bleached Deodorized Coconut Oil)

2.1.2.5.4.5 น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Palm Oil or Refined Bleached Deodorized Palm Oil)

- น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Palm Kernel Oil)
- น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์สกัดไขหรือน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์โอลลีน (Refined Palm Oil Olein or Refined Bleached Deodorized Palm Oil Olein)
- ไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์/น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์สเตียริน (Refined Palm Oil Stearin or Refined Bleached Deodorized Palm Oil Stearin)

2.1.3 อุปสงค์/อุปทานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2544 ซึ่งเป็นช่วงที่ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นและขณะที่พืชผลของปาล์มและมะพร้าวมีราคาตกต่ำรัฐบาลจึงต้องเข้าไปช่วยเหลือแทรกแซงราคาเพื่อแก้ไขปัญหา และเกิดกระแสเรื่องกรณาน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลและน้ำมันเตาอย่างแพร่หลาย ดังนั้นการนำน้ำมันจากพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่รัฐบาลให้ความสนใจและให้การสนับสนุน แต่ประเทศไทยขณะนั้นยังคงเป็นเพียงการใช้ในท้องถิ่นเท่านั้นราคาน้ำมันดีเซลจึงยังคงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อนำราคาน้ำมันดีเซลมาเปรียบเทียบกับพืชผลทางการเกษตรที่สามารถนำมาทำไบโอดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 2.4





รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของราคาผลิตผลทางการเกษตร  
เปรียบเทียบกับราคาน้ำมันดีเซลปีพ.ศ. 2544 - 2552

จะเห็นว่าราคาน้ำมันมะพร้าวสำเร็จรูปและน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์สเตอรินที่นำมาทำเป็นไบโอดีเซลในช่วงแรกมีแนวโน้มการปรับตัวของราคาสอดคล้องกับราคาน้ำมันดีเซล เนื่องจากเทคโนโลยีในการผลิตไบโอดีเซลยังขาดการพัฒนาสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ ดังนั้นรัฐบาลจึงได้กำหนดแผนยุทธศาสตร์การอนุรักษ์พลังงาน ในช่วงปี พ.ศ. 2545-2554 (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2543-2547) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1.3.1 แผนยุทธศาสตร์ช่วงปี พ.ศ. 2545-2547

2.1.3.1.1 ให้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ รวมทั้งน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

2.1.3.1.2 ให้มีการศึกษาวิจัยทางด้านสายพันธุ์เพื่อเพิ่มอัตราผลิตของพืชน้ำมันชนิดต่างๆ

2.1.3.2 แผนยุทธศาสตร์ช่วงปี พ.ศ. 2548–2554

2.1.3.2.1 ในส่วนของปาล์มน้ำมันจะต้องมีการนำเอาน้ำมันปาล์มส่วนที่เหลือจากการบริโภคมาทำเป็นไบโอดีเซลทั้งหมด

2.1.3.2.2 ในส่วนของน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 เป็นต้นไป จะต้องนำเอามะพร้าวส่วนที่เหลือจากการบริโภคภายในประเทศ มาแปรรูปไบโอดีเซลทั้งหมด

**แผนปฏิบัติการการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซล**

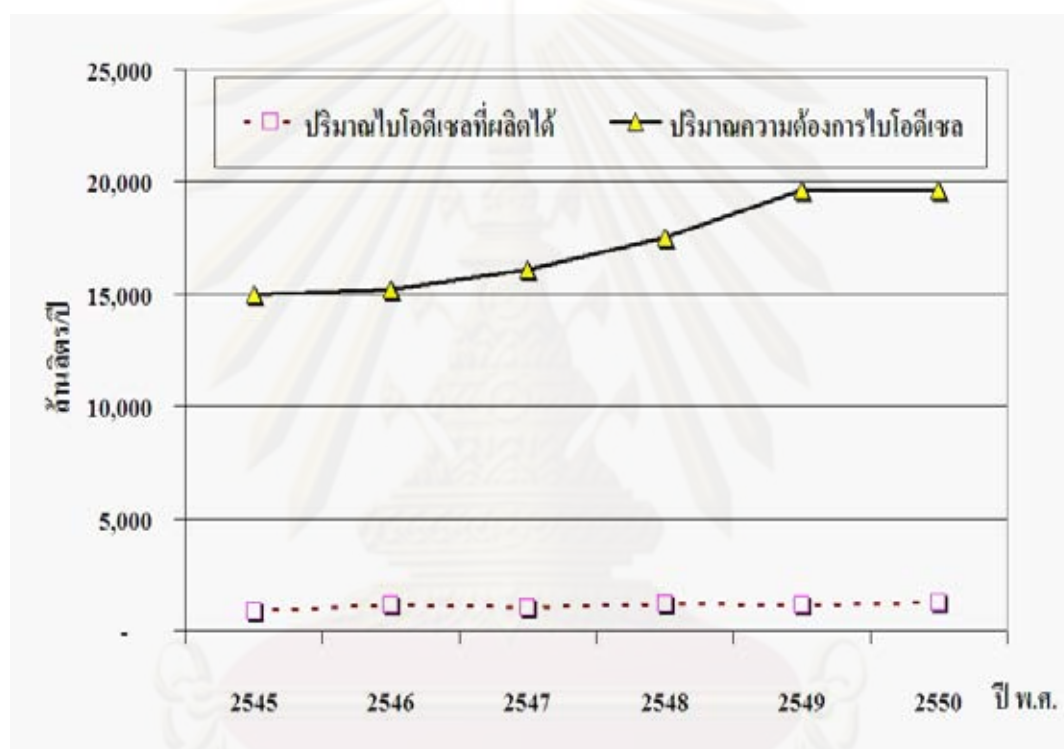
	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555
<b>ไบโอดีเซลชุมชน, มาตรฐานไบโอดีเซล</b>								
<b>จำหน่ายไบโอดีเซล 5% ในบางพื้นที่</b>								
<b>จำหน่ายไบโอดีเซล 2% ทั่วประเทศ ก.พ. 51</b>								
<b>จำหน่ายไบโอดีเซล 5% ทั่วประเทศ</b>								
<b>เพิ่มพื้นที่ปลูก ปาล์มใหม่ (ล้านไร่)</b>	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>ความต้องการ B100 (ล้านลิตร/วัน)</b>	0.0007*	0.006*	0.13	1.20	1.33	1.38	3.02	3.14
<b>จำหน่าย B2 &amp; B5 &amp; B100 (ล้านลิตร/วัน)</b>	0.015	0.12	8.2	54.6	54.6	54.6	60.3	62.7
<b>ความต้องการ CPO เพื่อผลิต B100 (ล้านตัน/ปี)</b>	0.0002	0.002	0.045	0.35	0.35	0.35	0.84	0.87

หมายเหตุ 1) ข้อมูลพื้นที่ปลูก น้ำมันปาล์มดิบ และการใช้ในประเทศ ปี2551 – 2555 เป็นข้อมูลจากแผนพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม ปี 2551 – 2555 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (ก.ศ. 50)  
 2) ความต้องการ CPO เพื่อผลิต B100 ที่กล่าวใช้ผลิตขึ้นผลิต B100 แล้ว สำหรับปี 48-49 เป็นข้อมูลจำหน่าย B5 จาก สท.

รูปที่ 2.5 แผนยุทธศาสตร์การอนุรักษ์พลังงาน ในช่วงปี พ.ศ. 2545–2554

นอกเหนือจากนั้นยังมีน้ำมันพืชที่ใช้แล้วโดยในที่นี้คิดเฉพาะที่ได้จากกลุ่มอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำมันทอดและภัตตาคารขนาดใหญ่รวมทั้งร้านฟาสต์ฟู้ดต่าง ๆ เท่านั้น พิจารณาร่วมกับน้ำมันจากเมล็ดสับปะรด ซึ่งในช่วงปี พ.ศ. 2548–2549 จะเป็นช่วงการศึกษาวิจัยในทุก ๆ ด้านในขั้นสุดท้ายทั้งคุณสมบัติ ผลกระทบต่อเครื่องยนต์ ด้านเศรษฐศาสตร์ และการ

พัฒนาพันธุ์พืชเพื่อเพิ่มผลผลิต สำหรับในช่วงปี พ.ศ. 2550-2551 จะเป็นช่วงทดลองผลิตไบโอดีเซลในระดับโรงงานต้นแบบ จากรายงานปริมาณการผลิตน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ของประเทศไทย จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หากพิจารณาให้น้ำมันพืชทั้งหมดถูกเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลซึ่งมีความหนาแน่นประมาณ 850 กรัมต่อลิตรก็จะสามารถคำนวณปริมาณไบโอดีเซลที่สามารถผลิตต่อปีเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการใช้น้ำมันดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความต้องการน้ำมันดีเซล และปริมาณไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ พ.ศ. 2545-2550

จากกราฟในรูปที่ 2.6 พบว่าปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าประมาณ 10 เท่า (อาชัย พิทยภาคย์, 2545) ซึ่งในความเป็นจริงน้ำมันพืชเหล่านี้จะถูกนำไปประกอบเป็นอาหารดังนั้นปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ควรน้อยกว่านี้และจะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตน้ำมันพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงต่ำกว่าปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล ถ้าคนไทยยังมีพฤติกรรมการใช้พลังงานเช่นเดิมและไม่มีการเพิ่มกำลังการผลิตน้ำมันพืชหากมีการนำพืชน้ำมันที่ใช้ในการประกอบอาหารอาหารไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงในปริมาณมากจะทำให้ราคาน้ำมันพืชมีราคาสูงขึ้นแต่ยัง

ผลิตน้ำมันพืชได้เท่าเดิมดังเช่นปัจจุบัน หรือถ้าผลิตน้ำมันพืชได้มากเกินไปราคาของผลผลิตทางการเกษตรก็ตกต่ำลงส่งผลให้เกษตรกรต้องรับภาระหนักเช่นเดิมในอดีต

ปัจจัยอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย เช่น บางครั้งพืชน้ำมันที่มีผลผลิตต่ำกว่าแต่ใช้แรงงาน น้ำ และปุ๋ยน้อยอาจดีกว่าพืชน้ำมันที่มีผลผลิตมาก ในบางพื้นที่พืชล้มลุกอาจเหมาะสมกว่าเพราะว่ามีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวสั้นกว่าพืชยืนต้น เช่น ปาล์มตามปัจจัยเสี่ยงของฤดูกาล ในทางกลับกันพืชที่มีผลผลิตต่ำอาจต้องทำฟาร์มขนาดใหญ่ซึ่งอาจใช้น้ำมันรถไถมากกว่า น้ำมันพืชที่ผลิตได้ก็ได้ รวมไปถึงจนถึงอัตราการสวนน้ำมันต่อน้ำหนักพืชผลทางการเกษตรดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการผลิตน้ำมันของพืชต่างๆ

พืชน้ำมัน	เปอร์เซ็นต์น้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ผลได้น้ำมัน (กก./ เฮกตาร์)	ผลได้น้ำมัน (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

ที่มา : Oil World Annual 2001

ดังนั้นจึงควรมีการวางแผนทางการขยายพื้นที่ปลูกพืชน้ำมันต่างๆและสำรวจจัดเก็บน้ำมันพืชใช้แล้วจากครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมอย่างจริงจังเพื่อนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ไม่ต้องปลูกพืชน้ำมันมากขึ้น นอกจากนี้ น้ำมันหมูซึ่งมีแนวโน้มการบริโภคลดลงเนื่องจากเหตุผลทางด้านโภชนาการก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่เราควรนำมาพิจารณาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลเช่นกัน

## 2.1.4 การวัดค่าความหนืด (Viscosity)

2.1.4.1 นิยามของความหนืดคือการแสดงถึงความยากหรือง่ายในการที่ของเหลวอย่างหนึ่งจะสามารถไหลไปมาได้โดยตัวมันเอง เช่น มีของเหลวอยู่สองชนิดที่มีอุณหภูมิเท่ากันชนิดหนึ่งไหลไปได้อย่างง่ายดายหรือเร็วในขณะที่อีกชนิดหนึ่งไหลไปได้อย่างเชื่องช้า จะกล่าวได้ว่าของเหลวชนิดแรกมีความหนืดต่ำหรือน้อย ส่วนชนิดที่สองมีความหนืดสูงดังนั้นจึงอาจให้คำจำกัดความอย่างง่าย ๆ ได้ว่า “ความหนืดคือความสามารถในการต้านทานการไหล น้ำมันใดที่มีความหนืดมากจะมีความสามารถในการต้านทานการไหลสูง น้ำมันใดที่มีความหนืดน้อยจะมีความสามารถในการต้านทานการไหลต่ำ”

2.1.4.2 หน่วยวัดค่าของไหล ค่าความหนืดและความคงตัวของของไหล (fluid) วัดได้จากค่าแรงต้านการไหล เมื่อมีแรงเฉือนทำให้เกิดการไหลขึ้นเมื่อแรงต้านการไหลเท่ากับแรงเฉือนจะเกิดการคงตัวขึ้นเรียกแรงต้านการไหลนี้ว่าแรงหนืด สำหรับของไหลพวก Newtonian และความคงตัวสำหรับกรไหลพวก Non-Newtonian ค่าความหนืดของของไหลพวก Newtonian จะมีค่าคงที่เมื่อความดันและอุณหภูมิคงที่ ซึ่งต่างจากค่าความคงตัวของของไหลพวก Non-Newtonian ซึ่งจะให้ค่าแตกต่างกันตามคุณสมบัติของของไหลแต่ละชนิดคือพวก pseudo plastic materials พวก plastic material และ พวก Dilatants เป็นต้น การวัดค่าความหนืดและความคงตัวจึงมีวิธีวัดค่าแตกต่างกันตามพวกของไหล คือพวก Newtonian และ Non-Newtonian อีกทั้งหน่วยการวัดค่าความหนืดของของไหลก็แตกต่างกัน คือ

2.1.4.2.1 หน่วยวัดค่าของไหลพวก Newtonian ค่าของแรงต้านการไหลของพวก Newtonian เรียกว่า ความหนืด (viscosity of Absolute viscosity) ซึ่งมีหน่วยการวัดค่าเรียกว่า "poise" ตามชื่อของนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส Poiseuille ค่า 1 poise เท่ากับค่าแรงเฉือน (shear force) 1 dyne/ตารางเซนติเมตร ที่ทำให้เกิดเกรเดียนต์ของอัตราเร็วจากแรงเฉือนขึ้น 1 เซนติเมตรต่อวินาทีต่อเซนติเมตร ค่า 1 poise เท่ากับ 100 centipoises (Mechanical Engineering Laboratory, NEWYORK, 1990)

2.1.4.2.2 หน่วยวัดค่าของไหลพวก Non-Newtonian ค่าของแรงต้านการไหลของพวก Non-Newtonian เรียกว่า consistency หรือความคงตัว อาจวัดค่าความคงตัวนี้ได้โดยวิธีคล้ายกับการวัดค่าความหนืด (viscosity) เรียกว่าการวัดค่า Apparent viscosity ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงต้านการไหลของของเหลวที่อัตราเร็วของแรงเฉือนอันหนึ่ง ค่าของ apparent

viscosity ของของเหลวพวก Non-Newtonian นี้จะแตกต่างของอัตราเร็วของแรงเฉือน การวัดค่า apparent viscosity คือการวัดค่าความหนืดอันเกิดจากการต้านการไหลของของเหลวซึ่งเกิดขึ้นระหว่างชั้นของของไหลนั้นซึ่งเป็นพวก Non-Newtonian fluid โดยกำหนดอัตราเร็วของแรงเฉือน ดังนั้นค่าของ apparent viscosity ของของไหลพวก Non-Newtonian จะแตกต่างกันไปตามเกรเดียนต์ของอัตราเร็วจากแรงเฉือน หน่วยวัดค่าความคงตัว (apparent viscosity หรือ consistency) นี้จะแตกต่างกันตามเครื่องมือที่ใช้วัดค่า ตัวอย่าง เช่น การวัดค่าความคงตัวด้วยเครื่องมือ Stormer viscosimeter จะมีหน่วยวัดค่าเป็นระยะเวลา (วินาที) ที่แกนเครื่องวัดหมุนอยู่ในตัวอย่างที่นำมาวัดค่าเป็นจำนวน 100 รอบ ส่วนหน่วยวัดค่าความคงตัวของเครื่องมือ Bostwick consistometer จะมีหน่วยเป็นระยะทางที่ตัวอย่างไหลไปในเวลา 30 วินาที ค่าความคงตัวเหล่านี้เป็นค่าในหน่วยของ apparent viscosity ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นค่าในหน่วยของ absolute viscosity ได้ด้วยตารางเปลี่ยนค่า (conversion chart) ซึ่งบริษัทผู้สร้างเครื่องมือวัดค่าจะต้องมีให้

ปัจจุบันทั่วโลกได้ตกลงใช้ระบบเดียวกันคือ Kinematic viscometer (cSt) แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าหน่วยจะต่างกันและวัดที่อุณหภูมิต่างกัน ก็สามารถเทียบกลับมายังหน่วยและอุณหภูมิที่ต้องการได้โดยอาศัยกราฟน้ำมัน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิ ดังสมการที่ 2.1 และ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดแบบ kinematic viscosity และ dynamic viscosity ดังสมการที่ 2.2

$$v = Ct \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.1}$$

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 มีหน่วยเป็น วินาที (second ;s)

$$\eta = \rho v \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.2}$$

โดยที่  $\eta$  คือ dynamic viscosity มีหน่วยเป็น cP (centipoise;  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )

$\rho$  คือ ค่าความหนาแน่นของของเหลว มีหน่วยเป็น  $\text{kg}/\text{m}^3$

2.1.4.3 วิธีการหาความหนืดของน้ำมันใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “viscometer” ซึ่งเป็นการจับเวลาที่ของเหลวจำนวนหนึ่ง (น้ำมัน) ไหลผ่านรูมาตรฐานที่กำหนดไว้ ณ อุณหภูมิที่กำหนด และ viscometer ที่ใช้ในการหาค่าความหนืดมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ดังเช่น

2.1.4.3.1 การไหลผ่าน capillary tube ดังแสดงในรูปที่ 2.7 การวัดค่าความหนืดของของเหลวพวก Newtonian หรือพวกของเหลวบริสุทธ์ ระบบนี้นิยมใช้กันมากซึ่งวิธีวัดค่าความหนืดทำโดยจับเวลาที่ตัวอย่างไหลผ่าน capillary tube ที่ทราบความยาว ในขณะที่เครื่องวัดนี้อยู่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ ค่าที่ได้เป็นค่าของ relative viscosity เอาไปคูณกับค่า absolute viscosity ของตัวอย่างนั้น เครื่องมือที่ใช้วัดความหนืดอีกประเภทหนึ่งที่สร้างในระบบเดียวกันคือ เครื่องมือ Jelmeter ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งได้พัฒนาขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาที่สถานีทดลองเกษตรเมือง Delaware เป็นแบบที่คล้ายกับแบบ Ostwald เครื่องมือ Jelmeter นี้ใช้วัดอัตราส่วนผสมของน้ำตาล สารเพคติน และกรดในการทำเยลลี่ แยม และแยมผิวส้ม

2.1.4.4 วิธีการหาความหนืดของน้ำมันใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “viscometer” ซึ่งเป็นการจับเวลาที่ของเหลวจำนวนหนึ่ง (น้ำมัน) ไหลผ่านรูมาตรฐานที่กำหนดไว้ ณ อุณหภูมิที่กำหนด และ viscometer ที่ใช้ในการหาค่าความหนืดมีอยู่หลายระบบด้วยกัน เช่นแบบของระบบการวัดค่าความหนืดและความคงตัวประกอบด้วยแนวทางการวัดหลายรูปแบบ รูปแบบที่เป็นที่นิยมได้แก่

2.1.4.4.1 การไหลผ่าน capillary tube ดังแสดงในรูปที่ 2.7 การวัดค่าความหนืดของของเหลวพวก Newtonian หรือพวกของเหลวบริสุทธ์ ระบบนี้นิยมใช้กันมากซึ่งวิธีวัดค่าความหนืดทำโดยจับเวลาที่ตัวอย่างไหลผ่าน capillary tube ที่ทราบความยาว ในขณะที่เครื่องวัดนี้อยู่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิต่ำค่าที่ได้เป็นค่าของ relative viscosity เอาไปคูณกับค่า absolute viscosity ของตัวอย่างนั้น เครื่องมือที่ใช้วัดความหนืดอีกประเภทหนึ่งที่สร้างในระบบเดียวกันคือ เครื่องมือ Jelmeter ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งได้พัฒนาขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาที่สถานีทดลองเกษตรเมือง Delaware เป็นแบบที่คล้ายกับแบบ Ostwald เครื่องมือ Jelmeter นี้ใช้วัดอัตราส่วนผสมของน้ำตาล สารเพคติน และกรดในการทำเยลลี่ แยม และแยมผิวส้ม



รูปที่ 2.7 เครื่องวัดความหนืดแบบไหลผ่าน Capillary Tube ชนิด Capillary Viscometer



รูปที่ 2.8 เครื่องวัดความหนืดแบบไหลผ่าน Capillary Tube ชนิด Jel Meter Viscometer



2.1.4.4.2 การใช้ Falling Weight ระบบการวัดค่าความคงตัวของระบบนี้ใช้วัดเวลาที่จานน้ำหนักที่มีรูปร่าง ขนาด และน้ำหนักตามที่กำหนดจมลงไปในตัวอย่างที่วัดค่าในระยะเวลาของความลึกที่กำหนดไว้ เช่น เครื่องวัดความคงตัว Gardner Mobilometer ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เครื่องมือนี้ใช้วัดความคงตัวของน้ำมัน น้ำเชื่อม และผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเนยสูง เช่น มายองเนส และผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ



รูปที่ 2.9 เครื่องวัดความหนืดแบบ Falling Weight

2.1.4.4.3 การหมุนแกนเครื่องมือที่วัดค่าในตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ระบบการวัดค่าความคงตัวด้วยค่าของการหมุนรอบตัวของที่หมุนหรือ กระบอกหมุนในตัวอย่างนี้เป็นระบบการวัดค่าที่ใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรม ได้มีการประดิษฐ์เครื่องมือวัดค่าหลายชนิด เช่น เครื่องวัดความคงตัว Brookfield Synchrolectic-Viscosimeter ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งอ่านหาออกมาได้เป็นหน่วย centipoise และเครื่องวัดค่าความคงตัว Stormer Viscosimeter ซึ่งวัดค่าระยะเวลาที่แกนเครื่องมือเป็นจำนวนรอบที่กำหนดในตัวอย่างที่นำมาวัดค่า การหมุนของแกนเครื่องวัดเกิดจากน้ำหนักถ่วงที่ตกลงไป การเพิ่มน้ำหนักจะเพิ่มอัตราเร็วของการแยกชั้นค่าที่วัดได้จะเป็นค่า relative viscosity ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นค่าในหน่วย absolute viscosity ด้วยการคำนวณเทียบค่า



รูปที่ 2.10 เครื่องวัดความหนืดแบบวัดค่าความคงตัว  
ด้วยค่าของการหมุนรอบตัวชนิด Stormer Viscometer

2.1.4.5 ความสำคัญของค่าความหนืดต่อคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง คือ ผลกระทบของค่าความหนืดต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ต้องคำนึงถึงโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ชนิดหนัก เช่นน้ำมันดีเซล (diesel fuel) น้ำมันเตา (fuel oil) รวมทั้งน้ำมันหล่อลื่น (lube oil) สำหรับน้ำมันดีเซล ความหนืดถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะความหนืดจะมีผลต่อการทำงาน of เครื่องยนต์ในแง่ต่างๆ ดังนี้คุณภาพในการฉีดเป็นฝอย (quality of atomization) การหล่อลื่นระบบหัวฉีด (lubrication of injection system) การสึกหรอของระบบหัวฉีด (wear of injection system)

คุณภาพในการฉีดเป็นฝอย (quality of atomization) ของน้ำมันดีเซลจะขึ้นอยู่กับค่าความหนืดเป็นสำคัญ กล่าวคือน้ำมันที่มีความหนืดสูงเกินไปคุณภาพในการฉีดเป็นฝอยจะลดลงทำให้เกิดเป็นหยดน้ำมันขนาดใหญ่ (large droplet) และมีแนวโน้มที่จะทำให้ น้ำมันพุ่งเป็นลำหรือเป็นเส้นแทนที่จะเป็นฝอยเล็กๆ เนื่องจากเกิดการฉีดที่แรงมาก ซึ่งมีผลต่อการกระจายตัวของน้ำมันและการผสมกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ได้ไม่ดีทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้สูญเสียกำลังและสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และในเครื่องยนต์ขนาดเล็กน้ำมันที่ถูกฉีดออกไปจะไปเกาะที่ผนังกระบอกสูบ (cylinder wall) ชะล้างฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นที่เคลือบอยู่และไหลลงสู่ห้องน้ำมันเครื่อง (crankcase) ทำให้เกิดน้ำมันเครื่องใส (crankcase dilution) และเกิดการสึกหรออย่างมาก ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดต่ำไปก็จะให้การฉีดเป็นฝอยที่อ่อนมากและละอองน้ำมันพุ่งไปไม่ไกลพอที่จะทำให้เกิดการผสมที่ดีในห้องเผาไหม้การเผาไหม้จึงไม่สมบูรณ์ได้กำลังน้อยและสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ น้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะเกิดการรั่วไหลที่ปั๊มหัวฉีดได้ง่าย มิเตอร์วัดปริมาณน้ำมันจะทำงานคลาดเคลื่อน ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะลดลง ชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบเชื้อเพลิงและระบบหัวฉีดจะสึกหรอเร็วขึ้น (นายยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์ และคณะ, 2546) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันดีเซลนอกจากจะเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงแล้วยังทำหน้าที่ในการหล่อลื่นระบบเชื้อเพลิงและระบบหัวฉีดด้วย น้ำมันดีเซลที่ดีจึงต้องมีความหนืดพอเหมาะที่จะทำหน้าที่ในส่วนนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การกำหนดค่าความหนืดจึงต้องกำหนดทั้งค่าต่ำสุด (minimum) และค่าสูงสุด (maximum) โดยที่ค่าต่ำสุดจะต้องอยู่ในระดับที่พอเพียงสำหรับการหล่อลื่นระบบหัวฉีด (injection system) และไม่เกิดการรั่วไหลที่ปั๊มหัวฉีด ส่วนค่าสูงสุดก็ต้องคำนึงถึงคุณภาพในการฉีดเป็นฝอยเป็นหลักและเนื่องจากความหนืดเป็นปริมาณที่ผันแปรกับอุณหภูมิกล่าวคือความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การกำหนดค่าความหนืดจึงต้องระบุอุณหภูมิควบคู่เอาไว้ด้วยเสมอ เช่น 1.8-5.0 cSt. ที่อุณหภูมิ 40 °C ด้วยเหตุนี้แต่ละประเทศจึงอาจกำหนดค่าความหนืดของน้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ประเภทเดียวกันหรือน้ำมันชนิดเดียวกันไว้ต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภูมิอากาศของประเทศนั้นๆ เช่น ประเทศหนาวอาจกำหนดค่าต่ำสุดมีค่า 1.4 cSt ที่ 40 °C ในขณะที่ประเทศในเขตร้อนอาจกำหนดค่าต่ำสุดไว้ถึง 1.8 cSt. ที่ 40 °C สำหรับประเทศไทยได้กำหนดค่าความหนืดของน้ำมันชนิดต่างๆไว้ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดค่าความหนืดของน้ำมันชนิดต่างๆ

ผลิตภัณฑ์ (products)	ความหนืด, cSt		อุณหภูมิที่ทดสอบ, °C
	min	max	
น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (HSD)	1.8	5.0	40
น้ำมันดีเซลหมุนช้า (LSD)	-	8.0	40
	-	6.0	50
น้ำมันเตาเบอร์ 1(Fuel Oil No.1)	7	80	50
น้ำมันเตาเบอร์ 2(fuel oil No.2)	81	180	50
น้ำมันเตาเบอร์ 3(fuel oil No.3)	181	230	50
น้ำมันเตาเบอร์ 4(fuel oil No.4)	231	280	50
น้ำมันเตาเบอร์ 5 (fuel oil No.5)	3	30	100
navy special	23	48	50

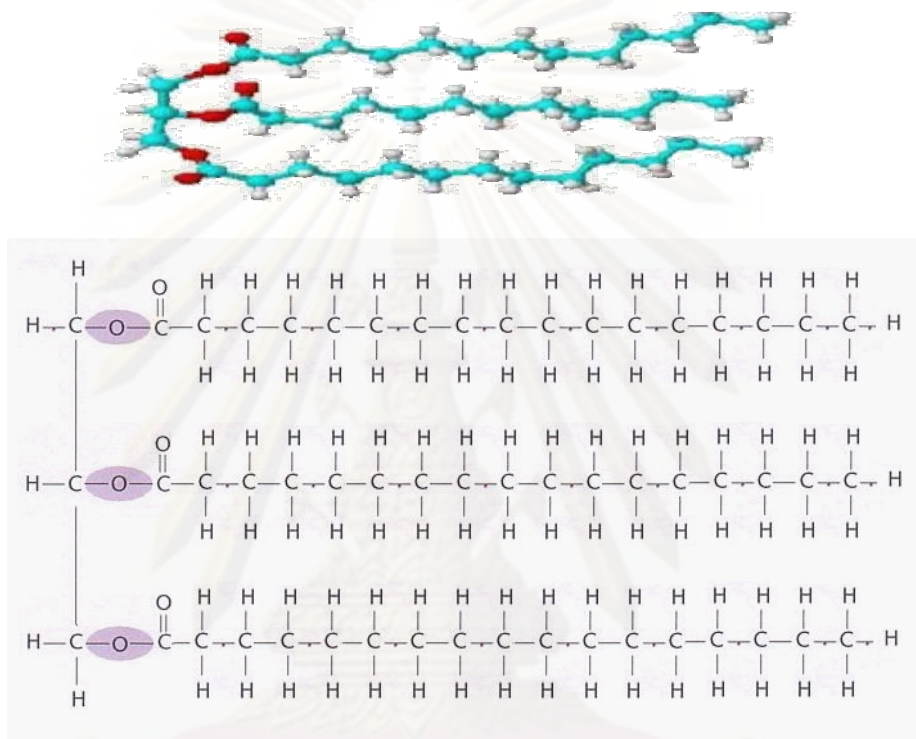
ที่มา : การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2533 หน้า 116

### 2.1.5 พื้นฐานเคมีของกรดไขมันและน้ำมัน

2.1.5.1 ชนิดของไขมัน โดยทั่วไปไขมันและน้ำมันในธรรมชาติเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุลกับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กรดไขมันอาจเป็นชนิดเดียวกันทั้ง 3 โมเลกุลหรือคนละชนิดก็ได้ซึ่งจะส่งผลให้ไขมันมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป โดยกรดไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอะตอมเกาะกันเป็นเส้นตรงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) และชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid)

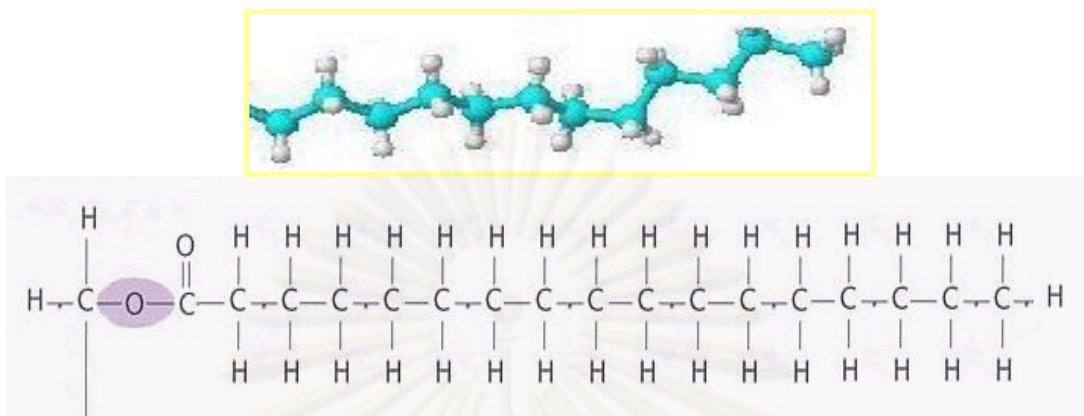
2.1.5.1.1 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจึงจับตัวเป็นก้อนแข็งเมื่อเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ โครงสร้างประกอบด้วยโซ่ของคาร์บอนอะตอมในหมู่ R ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมดไม่สามารถรับอะตอมของไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของมันได้อีก เมื่อความยาวโซ่เพิ่มขึ้นก็จะเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นของแข็งได้และยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น จุดหลอมเหลว

จุดเดือด และค่าดัชนีหักเหแสงของไขมัน เป็นต้น กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีในไขมันสัตว์ทั่วไป ได้แก่ กรดพาล์มิติล (Palmitic Acid) กรดสเตียริก (Stearic Acid) เป็นซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 16 อะตอม ส่วนในไขมันพืชมักพบกรดไขมันชนิดอิ่มตัวพวกที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างโมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัว

2.1.5.1.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) พบมากในน้ำมันพืช เป็นกรดไขมันที่คาร์บอนอะตอมในหมู่ R บางตำแหน่งยึดเหนี่ยวกันเป็นพันธะคู่หรือพันธะสามทำให้สามารถรับไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลได้อีกดังแสดงในรูปที่ 2.12 ที่พบในธรรมชาติ ได้แก่ กรดโอเลอิก (Oleic Acid) กรดไลโนเลอิก (Linoleic Acid) เป็นต้น สภาพการมีพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนให้กับพันธะคู่ได้เมื่อมีตัวเร่ง (Catalyst) ที่เหมาะสม จะได้ผลิตภัณฑ์กรดไขมันชนิดอิ่มตัวทำให้ไขมัน และน้ำมันมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวยังเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยให้เป็นสารพวกเพอร์ออกไซด์ (Peroxide) และของผสมที่ระเหยได้ของพวกอัลดีไฮด์ (Aldehyde) คีโตน (Ketone) และกรดต่างๆ ปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนอาจเกิดขึ้นได้โดยการช่วยเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซิเดส (Enzyme Lipoxidase)



รูปที่ 2.12 โครงสร้างโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (น้ำมันพืช, น้ำมันปาล์ม)

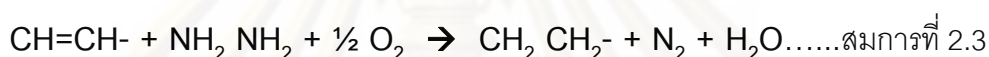
กรดไขมันที่พบในธรรมชาติมักมีคาร์บอนอะตอมเป็นจำนวนคู่และมีส่วนประกอบสำคัญดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของไขมันสัตว์และน้ำมันพืช

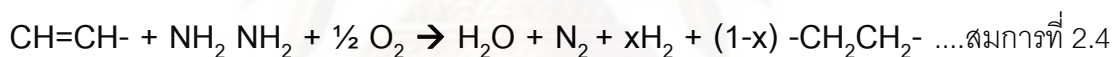
กรดไขมัน	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก					
	ไขมันสัตว์	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	น้ำมันปาล์มสเตียรีน	น้ำมันปาล์มโอเลอิน
C6	-	0.2	-	0.3	-	-
C8	-	8	-	4.4	-	-
C10	-	7	-	3.7	-	-
C12	-	48.2	-	48.3	0.3	0.2
C14	2.5	18	-	15.6	1.3	1
C16	26.6	8.5	6.5	7.8	55	39.8
C18	21.8	2.3	4.2	2	5.1	4.4
C18:1	42.8	5.7	26	15.1	29.5	42.5
C18:2	2.33	2.1	52.6	2.7	7.4	11.2
Other	4	-	8	0.1	0.7	0.9

2.1.5.2 เกิดปฏิกิริยาภายในโซ่กรดไขมัน กรดไขมันทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าการเพิ่มจำนวนอะตอมของคาร์บอนทำให้มวลโมเลกุลสูงขึ้นมีผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีค่าสูงขึ้นด้วย โดยการเกิดปฏิกิริยาภายในโซ่กรดไขมันประกอบด้วย

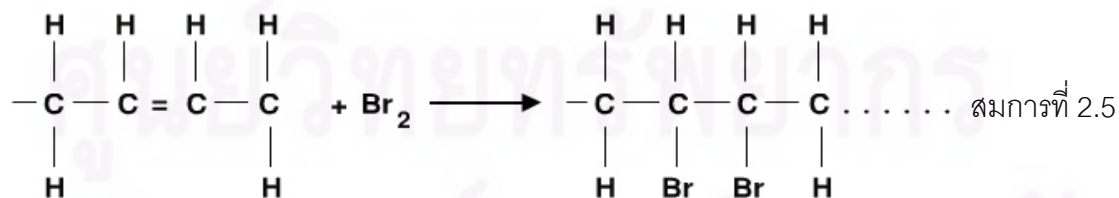
2.1.5.2.1 ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน และรีดักชัน จะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่น นิเกิล ทองคำขาว และพาลลาเดียม เป็นต้น เมื่อเติมก๊าซไฮโดรเจนลงไปพันธะคู่ของการไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะเปลี่ยนไปเป็นกรดที่อิ่มตัว ซึ่งเป็นการลดระดับความไม่อิ่มตัวของการไขมัน การลดพันธะคู่บางส่วนอาจทำได้โดยการใช้ไฮดราซีน และออกซิเจน ดังแสดงในสมการที่ 2.3



แต่จากการทดสอบพบว่า ผลิตผลจากปฏิกิริยาการลดพันธะคู่บางส่วนของกรดโอเลอิกนั้น ประกอบด้วยก๊าซไฮโดรเจนปริมาณร้อยละ 4.5 - 5 ดังแสดงในสมการที่ 2.4



2.1.5.2.2 ปฏิกิริยาฮาโลจิเนชัน ปฏิกิริยานี้ใช้สำหรับการวิเคราะห์สมบัติของไขมันและน้ำมัน เป็นปฏิกิริยาการเติมคลอรีน โปรตีน ไอโอดีนโมโนคลอไรด์ และไอโอดีนโมโนโบรไมด์ลงในพันธะคู่ โดยการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมของกรดไม่อิ่มตัว และอนุพันธ์ของมัน ดังสมการที่ 2.5



2.1.5.3 คุณสมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน คุณสมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน มีประโยชน์ในการใช้จำแนก และบ่งชี้ชนิดของน้ำมันและไขมัน คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่

2.1.5.3.1 จุดหลอมเหลว (melting point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันละลาย ซึ่งไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ อาจกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวกันหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอนเป็นต้น จุดหลอมเหลวของไขมันและน้ำมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ จุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันลดลง

2.1.5.3.2 จุดแข็งตัว (solidifying point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็ง อุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มแข็งตัวเป็นของแข็งเรียกว่าการเกิดโซลิดิฟิเคชัน (solidification) และเรียกจุดนี้ว่าจุดแข็งตัว โดยอุณหภูมิจุดนี้มักจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2 - 3 °C ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์หลายๆ ชนิดต่างกันโมเลกุล จะมีจุดแข็งตัวจะเป็นช่วงกว้างบางที่เรียกว่า ไตเตอร์ (titer) ไขมัน และน้ำมันแต่ละชนิดจะมีไตเตอร์ (titer) แตกต่าง

2.1.5.3.3 การละลาย (solubility) ไขมันและน้ำมันทุกชนิดไม่สามารถละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมัน ได้แก่ ปีโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) เฮกเซน (hexane) ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) คลอโรฟอร์ม (chloroform) เบนซีน (benzene) เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) อะซีโตน (acetone) คาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbondisulphide) ไฮโคลเฮกเซน (cyclohexane) และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbontetrachloride) เป็นต้น

2.1.5.3.4 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันและไขมันนิยามวัดที่อุณหภูมิ 25 °C ยกเว้นกรณีที่ไขมันเป็นของแข็งและมีจุดหลอมเหลวสูง อาจวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 °C ไขมันหรือน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นหรือมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย



2.1.5.3.5 ดัชนีการหักเหของแสง (refractive index) เป็นการวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้นเมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น การหักเหของแสงจากอากาศผ่านทะลุน้ำมันตัวอย่างจะเกิดการหักเหของแสงที่วัดเป็นองศา เป็นต้น ค่าการหักเหของแสงมีประโยชน์ในการบ่งชี้และตรวจสอบชนิดคุณภาพและความบริสุทธิ์ของไขมันและน้ำมัน การวัดค่าการหักเหของแสงนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 °C แต่ถ้าไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงจะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 °C ค่าการหักเหของแสงของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆจะขึ้นอยู่กับความยาวของคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน จำนวนพันธะคู่และชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบโดยไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นหรือมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้นจะมีค่าการหักเหของแสงเพิ่มขึ้น และถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง

2.1.5.3.6 จุดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ (smoke point, flash point and fire point) จุดควันคืออุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น จุดวาบไฟคืออุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นไอแล้วรวมตัวกับอากาศเกิดการติดไฟขึ้น จุดติดไฟคืออุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันเกิดการเผาไหม้ ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันนั้นมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดควัน ถ้าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันอิสระต่ำจะทำให้มีจุดควันสูง แต่ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจุดควัน จุดวาบไฟและจุดติดไฟจะลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าอุณหภูมิของจุดควัน จุดวาบไฟ และจุดติดไฟ

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)	จุดควัน (°C)	จุดวาบไฟ (°C)	จุดติดไฟ (°C)
0.40	426	620	690
1.0	320	585	680

ที่มา : ศศิเกษม และพรรณี (2530)

2.1.5.3.7 สี (color) สีเป็นตัวชี้บ่งคุณภาพของน้ำมันได้ สีจะแตกต่างกันตามรงควัตถุที่ปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการสกัดน้ำมันและวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี ซึ่งน้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม

2.1.5.4 คุณสมบัติทางเคมีของไขมัน เนื่องจากไขมันแต่ละชนิดมีส่วนประกอบและโครงสร้างของโมเลกุลแตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติทางเคมีและเกิดปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ แตกต่างกันไป คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่

2.1.5.4.1 การไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ไขมันบางชนิดจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยกรด ด่าง และเอนไซม์ การไฮโดรไลซิสไขมันด้วยด่างเรียกว่า ซาฟอนนิฟิเคชัน (saponification) ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่า สบู่ ไขมันที่ถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยด่างเรียกว่า ซาฟอนนิฟิเคชันเมทเทอร์ ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของไขมันชนิดต่างๆ ด้วยด่างสรุปได้ดังนี้ อันซาฟอนนิฟิเคชันเมทเทอร์หมายถึงสารที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมันซึ่งจะเหลืออยู่ภายหลังการทำซาฟอนนิฟิเคชัน ได้แก่ สารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและสเตอรอล โคเลสเตอรอล และไฟโตสเตอรอล (phytosterol) เป็นต้น โดยปกติไขมันหรือน้ำมันจะมีอันซาฟอนนิฟิเคชันเมทเทอร์ปนอยู่ไม่เกินร้อยละ 2 ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสอาจเกิดขึ้นจากการที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนสูง เช่น การทอดอาหาร ไขมันหรือน้ำมันจะไฮโดรไลซ์ได้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นกลีเซอรอลจะสลายตัวได้สารพวกอโครลีน (acrolein) ซึ่งจะระเหยกลายเป็นควันและมีกลิ่นเหม็น เป็นต้น ไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์แต่ละชนิดมักมีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ค่อนข้างแน่นอน

ดังนั้นปริมาณต่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อไขมันหรือน้ำมันจำนวนหนึ่งจะมีค่าแน่นอนและเป็นค่าเฉพาะ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติเฉพาะของไขมันหรือน้ำมัน แต่ละชนิดได้ เรียกค่านี้ว่า ค่าซาฟอนนิฟิเคชัน (saponification number หรือ Saponification value) (S.N. หรือ S.V.) ค่าซาฟอนนิฟิเคชันคือจำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่และกลีเซอรอล ค่า S.N. ใช้เป็นตัวชี้บ่งขนาดโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ไขมันหรือน้ำมันที่มีค่า S.N. สูงแสดงว่ากรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมากดังนั้นจึงต้องใช้ต่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ตัวอย่างค่าซาฟอนนิฟิเคชันของน้ำมันดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าซาฟอนนิฟิเคชัน (S.N.) ของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำมัน	ค่าซาฟอนนิฟิเคชัน(S.N.)
น้ำมันมะพร้าว	253
น้ำมันปาล์ม	200
น้ำมันหมู	195
น้ำมันฝ้าย	193
น้ำมันถั่วเหลือง	192

ที่มา : ศศิเกษม และพรณี (2530)

2.1.5.4.2 กระบวนการฮาโลจิเนชัน (halogenation) เป็นปฏิกิริยาการเติมสารพวกฮาโลเจน (halogen) เข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในโมเลกุลของไขมัน ฮาโลเจนที่นิยมใช้เป็นตัวชี้บ่งปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวคือ ค่าไอโอดีน (Iodine number หรือ Iodine value ; I.N. หรือ I.V.) ค่าไอโอดีนคือจำนวนกรัมของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมัน 100 กรัม ค่า I.N. เป็นตัวชี้บ่งว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าไอโอดีน (I.N.) ของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ

น้ำมัน	ปริมาณไอโอดีน (I.N.)
น้ำมันมะกอก	83.8
น้ำมันมะกอกที่ถูกออกซิไดซ์	77.3
น้ำมันหมู	73.3
น้ำมันหมูที่ถูกออกซิไดซ์	56.2
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	105.2
น้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ถูกออกซิไดซ์	90.2
น้ำมันถั่วเหลือง	130 - 138
ไขวัว	35 - 45

ที่มา : ศศิเกษม และพรณี (2530)

ถ้าค่า I.N. สูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบมากและ จะเกิดการหืนชนิดที่เกิดจากการมีออกซิเจนในปฏิกิริยาได้ง่ายด้วย การหาค่า I.N. มี 2 วิธีคือใช้ สารละลายของวิจ (wij solution) ซึ่งเป็นสารละลายไอโอดีนละลายอยู่ในกรดอะซิติกและมี ไอโอดีนโมโนคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนอีกวิธีหนึ่งใช้สารละลายฮานัส (Hanus reagent) เป็นสารละลายไอโอดีนละลายอยู่ในกรดอะซิติกและมีไอโอดีนโมโนโบรมไนด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทำปฏิกิริยาต้องเติมสารละลายไอโอดีนให้มากเกินพอ ปริมาณไอโอดีนที่เหลือหาได้โดยการไต เตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐานโดยใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น การเกิดกลืนหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมันจึงทำ ให้มีกลิ่น และสมบัติบางประการเปลี่ยนไป ไขมันและน้ำมันบางชนิดเมื่อเกิดการหืนแบบมี ความชื้นอยู่ในปฏิกิริยาล้วนไม่สามารถสังเกตได้ด้วยการดมกลิ่นหรือชิมรส จึงต้องทำการตรวจ วิเคราะห์โดยวิธีทางเคมีคือวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ค่าที่ได้เรียกว่าค่าของกรด (Acid value ; A.V.) ค่า A.V. ของไขมันหรือน้ำมัน คือจำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมัน หรือน้ำมันจำนวน 1 กรัมเป็นกลาง ซึ่งนิยม เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดโอเลอิก ดังนั้นค่า A.V. จะเป็นตัวบ่งชี้สภาวะการหืนของไขมันและ น้ำมัน ถ้าค่า A.V. สูงแสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระมากแสดงว่าเกิดการ หืนมาก

2.1.5.4.3 ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value ; P.V.) หมายถึง จำนวน มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรตไขมัน หรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึงจำนวนมิลลิลิตรสมมูลของเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนที่มีในไขมัน หรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่า P.V. สูงแสดงว่าเกิด oxidative rancidity มาก

2.1.5.4.4 ค่าไรเอิท - ไมเซล (Reichert Meissel number ; R.M.N.) เป็น การวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ และสามารถละลายได้ในน้ำ (volatile water soluble fatty acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ในโมเลกุล 4 - 6 อะตอม คือ กรดบิวทิริก และ กรดคาโปรอิก ตามลำดับ ค่า R.M.N. หมายถึงจำนวนมิลลิลิตรของสารละลายต่าง เช่น โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัลที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันที่ระเหยได้ และละลายในน้ำ ซึ่งกลั่นออกมาจากไขมันหรือน้ำมันจำนวน 5 กรัม เป็นกลาง ค่า R.M.N. นิยมใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อทดสอบการปลอมปนของเนย ซึ่งในการผลิตเนยอาจใช้น้ำมันชนิดอิ่มตัวทดแทนไขมันนม รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าไรเอิท - ไมเซล (Reichert Meissel number ; R.M.N.)ของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ

น้ำมัน	ค่าไรเอิทไมเซล (R.M.N.)
ไขมันเนย	25.0 - 33.0
น้ำมันละหุ่ง	1.0 - 2.0
น้ำมันมะพร้าว	6.6 - 8.1
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	0.7 - 0.9
มันหมู	0.2 - 0.6
น้ำมันหมู	0.00
น้ำมันปาล์ม	0.8 - 1.9
น้ำมันถั่วลิสง	0.5
ไขวัว	0.2 - 0.5

ที่มา : ศศิเกษม และพรณี (2530)

2.1.5.4.5 ค่าโพแลงสเก (Polenske number; P.N.) เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ และไม่สามารถละลายในน้ำ (volatile water insoluble fatty acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ในโมเลกุลระหว่าง 8 ถึง 11 อะตอม ได้แก่ กรดคาปริลิก คาปริค ลอริก และไมริสติก เป็นต้น สำหรับกรดคาปริลิกและคาปริคละลายในน้ำได้บ้างเล็กน้อย ดังนั้นอาจพบกรดเหล่านี้ในส่วนที่ละลายได้ในน้ำด้วย ซึ่งจะมีผลต่อทั้งค่า R.M.N. และ P.V. ค่า P.N. หมายถึงจำนวนมิลลิลิตรของสารละลายคาร์บอนเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันที่ระเหยได้แต่ไม่สามารถละลายในน้ำซึ่งกลั่นออกมาจากไขมันหรือน้ำมันจำนวน 5 กรัม เป็นกลาง ค่า P.N. ใช้ชี้บ่งความแตกต่างระหว่างเนยและน้ำมันมะพร้าว ค่า P.N. ของเนยประมาณ 1.6 - 3.5 ส่วนของน้ำมันมะพร้าวประมาณ 12 - 18

2.1.5.4.6 ค่าเฮเนอร์ (Hehner) หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่ไม่ละลาย (insoluble fatty acid) ที่มีอยู่ในไขมันนั้น ๆ ค่าเฮเนอร์ นอกจากเป็นค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ไขมันทั่ว ๆ ไปยังใช้ในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเนยได้ เช่นเดียวกับค่าไรเอิท - ไมเซล และค่าโพแลงสเก ดังแสดงค่าตัวอย่างของน้ำมันต่างๆในตารางที่ 2.8

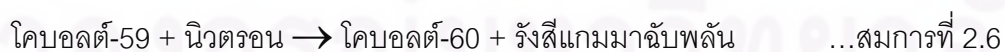
ตารางที่ 2.8 ค่าเฮเนอร์ (Hehner) ของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ

น้ำมัน	ค่าเฮเนอร์ (HEHNER)
ไขมันเนย	86.5 - 89.5
น้ำมันมะพร้าว	82.5 - 90.5
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	95.0 - 96.0
มันหมู	93.0 - 95.0
น้ำมันหมู	97.0
น้ำมันปาล์ม	94.5 - 97.0
ไขวัว	95.0 - 96.0

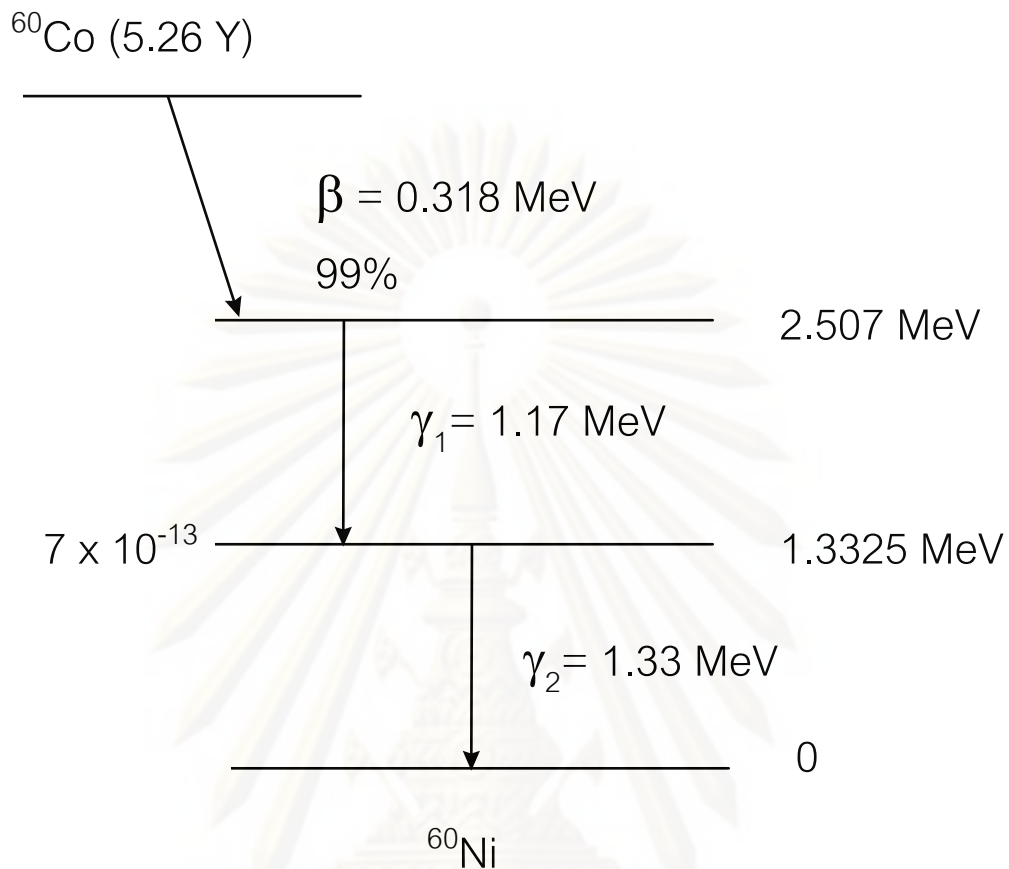
ที่มา : ศศิเกษม และพรณี (2530)

## 2.1.6 โคบอลต์

2.1.6.1 คำนิยามของโคบอลต์ โคบอลต์เป็นชื่อของธาตุหมายเลขที่ 27 มีสัญลักษณ์เป็น "Co" มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 59 หน่วย มีไอโซโทปเสถียรเพียงไอโซโทปเดียว คือ โคบอลต์-59 ค้นพบโดยนักเคมีชาวสวีเดน ชื่อ จอร์จ แบรินท (George Brandt) เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2278 ชื่อของธาตุนี้ได้ตั้งจากคำว่า "Kobold" ซึ่งเป็นชื่อผีที่ชอบขโมยเงิน ในนิทานพื้นบ้านของเยอรมัน โคบอลต์-59 เป็นโลหะชนิดหนึ่ง มีสีเงินวาว ส่วนโคบอลต์-60 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีของโคบอลต์-59 โดยมีมวลอะตอมเท่ากับ 60 ไม่ปรากฏอยู่ในธรรมชาติ แต่ผลิตขึ้นโดยการนำเอานิวไคลด์ที่เสถียร คือ โคบอลต์-59 ไปอบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ปฏิกิริยาก่อนกัมมันต์สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.6



โคบอลต์-60 ที่เกิดจะเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีมีครึ่งชีวิต 5.26 ปี และสลายตัวให้รังสีบีตาพลังงาน 0.318 MeV และรังสีแกมมาพลังงาน 1.17 และ 1.33 MeV แสดงผังการสลายตัวได้ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ผังการสลายตัวของโคบอลต์-60

2.1.6.2 การประยุกต์ใช้งานโคบอลต์-60 ในปัจจุบันมีการใช้โคบอลต์-60 อย่างแพร่หลายทั้งในทางการแพทย์ การเกษตร การวิจัย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทางอุตสาหกรรม แต่ประชาชนส่วนใหญ่ยังไม่ทราบถึงประโยชน์ที่ใช้กันอย่างมากมายในประเทศ บทความนี้จึงเป็นการนำเสนอเพื่อให้เกิดความรู้และความเข้าใจ

#### 2.1.6.2.1 ทางกรเกษตร

- การปรับปรุงพันธุ์พืช โดยการกลายพันธุ์ (Mutation Breeding) ในประเทศไทยเราได้ใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ปรับปรุงพันธุ์พืชให้ได้พันธุ์ใหม่ พันธุ์พืชที่มีชื่อเสียงในปัจจุบัน 8 ชนิด คือ ข้าวพันธุ์ กข6, กข10, กข15 ถั่วเหลืองพันธุ์ดอยคำ เก๊กฮวย KU1 คาร์เนชั่น (ชัชชุมพล) เบญจมาศ พันธุ์ golden cremon และกล้วยหอมทอง KU1 (กรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

- การกำจัดแมลงศัตรูพืชโดยการทำหมัน (Sterile Insect Technique) แมลงวันผลไม้ บนดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ (โดยสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ร่วมกับ กรมส่งเสริมการเกษตร)
- การถนอมอาหาร (Food Preservation) โดยศูนย์วิจัยรังสีอาหารและผลิตผลการเกษตรของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ได้ให้บริการแก่ผู้ผลิตและจำหน่ายอาหารและผลิตผลทางการเกษตร ดังนี้
 

ยับยั้งการงอก :	มันฝรั่ง หอมใหญ่ กระเทียม ขิง
ชะลอการสุก :	มะม่วง มะละกอ
ชะลอการบาน :	เห็ด
ทำลายพยาธิ :	เนื้อหมู แหนม
ลดבקเตรีและเชื้อรา:	พลาสติก เนื้อสด กุ้งแช่แข็ง เครื่องเทศ
ควบคุมแมลง :	ข้าว ถั่วเขียว ผลไม้แห้ง ปลาแห้ง มะขามหวาน

2.1.6.2.2 ทางกรแพทย์ ในประเทศไทยมีการใช้เครื่องฉายรังสีโคบอลต์-60 โดยมีกัมมันตภาพรังสีที่ใช้อยู่ประมาณ 10,000 คูรี สำหรับการรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็ง และเนื้องอกในโรงพยาบาล และสถาบันทางการแพทย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เป็นลักษณะของเครื่องแกมมาไนฟ์ (gamma knife) ที่ใช้โคบอลต์-60 เป็นต้นกำเนิดรังสี



รูปที่ 2.14 เครื่องแกมมาไนฟ์ (gamma knife)



2.1.6.2.3 ทางอุตสาหกรรมในโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 165 แห่ง ในประเทศไทยได้นำเอาสารกัมมันตรังสีมาใช้ในกระบวนการควบคุมผลผลิต และการสำรวจโดยมี 30 โรงงานที่ได้นำเอาสารกัมมันตรังสีโคบอลต์-60 มาใช้ ดังนี้

- การวัดระดับ เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานพลาสติก โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานเหล็ก โรงงานปิโตรเคมี
- การวัดความหนา เช่น โรงงานโลหะ เช่น แผ่นเหล็ก ทองแดง นิกเกิล
- การวัดความหนาแน่น เช่น โรงงานพลาสติก โรงงานกระเบื้อง
- การสำรวจหุลุมเจาะ เพื่อเสาะหาแหล่งแร่
- การฉายรังสีเวชภัณฑ์ เช่น เข็มฉีดยา ถังมือ ชุดผ่าตัด ยารักษาโรค การทำลายพยาธิ บักเตอรี และการปลอดเชื้อโรค
- การฉายรังสีอาหารและผลิตภัณฑ์เกษตร ทำลายพยาธิ ลดจำนวนบักเตอรี และเชื้อรา กำจัดแมลงศัตรูพืช ตลอดจนการปรับปรุงพันธุ์พืช และการถนอมอาหารเพื่อยับยั้งการงอก ชะลอการสุก โดยมีแท่งโคบอลต์-60 เก็บรักษาแช่อยู่ปอน้ำด้านล่างเครื่องฉายรังสี

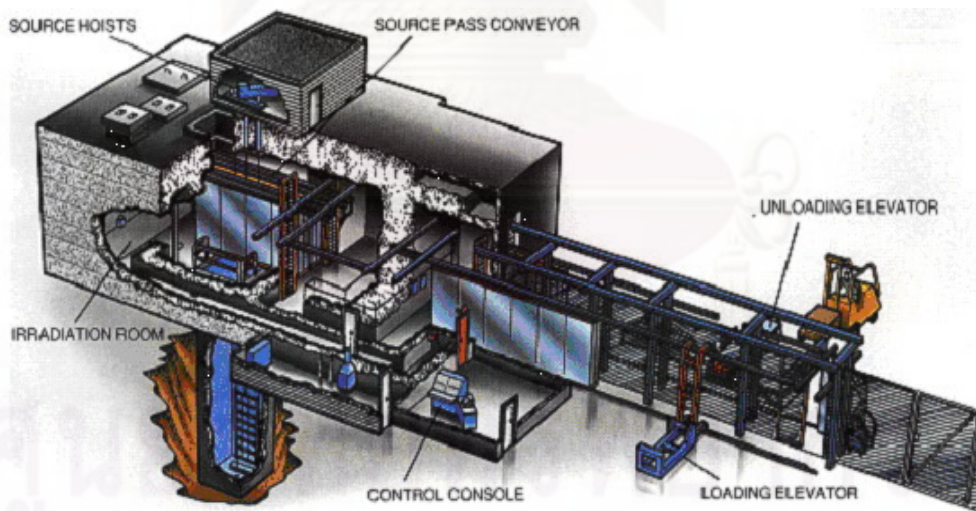


Figure 1: JS-8900 Unit Carrier Irradiator

รูปที่ 2.15 เครื่องฉายรังสีอาหารที่มีแท่งโคบอลต์-60 แช่อยู่ในปอน้ำด้านล่าง

2.1.6.3 อันตรายรังสีจากโคบอลต์-60 เนื่องจากรังสีเป็นพลังงานรูปหนึ่งย่อมมีผลกระทบต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ ทาง International Commission on Radiological Protection (ICRP) ซึ่งเป็นองค์การสากลในการป้องกันอันตรายจากรังสีได้รวบรวมผลกระทบจากรังสีต่อร่างกายไว้ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ผลกระทบต่อร่างกายจากการได้รับรังสีโคบอลต์-60

ปริมาณรังสี (มิลลิซีเวิร์ต)	อาการ
2.2	เป็นระดับรังสีปกติในธรรมชาติ ที่มนุษย์แต่ละคนได้รับใน 1 ปี
5	เกณฑ์สูงสุดที่อนุญาตให้สาธารณชนได้รับใน 1 ปี
50	เกณฑ์สูงสุดที่อนุญาตให้ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีได้รับใน 1 ปี
250	ไม่ปรากฏอาการผิดปกติใดๆ ทั้งระยะสั้นและระยะยาว
500	เม็ดเลือดขาวลดลงเล็กน้อย
1,000	มีอาการคลื่นเหียน และอ่อนเพลีย เม็ดเลือดขาวลดลง
3,000	อ่อนเพลีย อาเจียน ท้องเสีย เม็ดเลือดขาวลดลง ผม่วง เบื่ออาหาร ตัวซีด คอแห้ง มีไข้ อายุสั้น อาจเสียชีวิต ภายใน 3-6 สัปดาห์
6,000	อ่อนเพลีย อาเจียน ท้องร่วงภายใน 1-2 ชั่วโมง เม็ดเลือดลดลงอย่างรวดเร็ว ผม่วง มีไข้ อักเสบบริเวณปาก และลำคออย่างรุนแรง มีเลือดออก มีโอกาสเสียชีวิตถึง 50% ภายใน 2-6 สัปดาห์
10,000	มีอาการเหมือนข้างต้นผิวหนังพองบวม ผม่วงเสียชีวิต ภายใน 2-3 สัปดาห์

## 2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 เกศินี เหมวิเชียร และคณะ (2550), ทำการวิจัยผลของการฉายรังสีแกมมาต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและแป้งมันสำปะหลัง โดยนำพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง โดยผสมแป้งในอัตราส่วน 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วนำไปขึ้นรูปให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องหล่อพิมพ์แบบอัดความดัน และนำแผ่นพลาสติกที่ได้มาตัดให้เป็นตัวอย่างที่มีรูปทรงคล้ายกระดูก นำตัวอย่างไปฉายรังสีแกมมาในอากาศ ด้วยปริมาณรังสี 10 20 50 และ 100 kGy พบว่าความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสี แต่ในขณะเดียวกัน กลับลดลงตามความเข้มข้นของแป้ง

2.2.2 กุลวุฒิ วัฒนาเมธี (2545), ทำการวิจัยศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอลและน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันก๊าดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผสมกับน้ำมันก๊าดและเอทานอลในอัตราส่วน 5%, 10% โดยปริมาตร พบว่าคุณสมบัติของน้ำมันผสมมีคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงดีด้อยกว่าน้ำมันดีเซลแต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนผสมน้ำมันก๊าดและเอทานอลมีค่าสมบัติที่ดีกว่า และเมื่อนำน้ำมันผสมไปใช้งานจริงกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า มีสมรรถนะการเผาไหม้แรงบิดต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 1-4 % และอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11 - 19% ส่วนการปล่อยมลพิษก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOX) สูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 1 - 8 % และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 2-3 เท่า

2.2.3 คณิต วัฒนวิเชียร และพิชญ์ ปริญาจารย์ (2547), ทำการวิจัยผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อค่าควันดำและคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์เกษตรขนาดเล็กชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีปริมาณควันดำเพิ่มสูงขึ้นตามชั่วโมงการทำงานและสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล การสุ่มวิเคราะห์พบว่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าเกินระดับการเตือนขั้นวิกฤตในชั่วโมงการทำงาน ปริมาณเหล็กและตะกั่วมีปริมาณที่สูงมากเมื่อใช้งานเกินอายุน้ำมันหล่อลื่น มีสภาพการสึกหรอในเบรังก้านสูบอีก เขม่าจับตัวปริมาณหนาที่ปลายหัวฉีด ปริมาณตะกอนตกค้างในกระบอกใส่กรองน้ำมันเชื้อเพลิงมีปริมาณที่มากกว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซล และพบคราบตะกอนสีแดงส้มที่ผนังฝาสูบของเครื่องยนต์อีกด้วย

2.2.4 ชาคริต ทองอุไร และคณะ (2545), ทำการวิจัยเพื่อแปรรูปน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตรโดยน้ำมันปาล์มดิบผ่านกระบวนการแยกยางเหนียวและลดกรดก่อนทำปฏิกิริยากับเมทานอลและโซดาไฟในสัดส่วน น้ำมัน:เมทานอล:โซดาไฟ โดยน้ำหนักเท่ากับ 100:20:1 พบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีคุณสมบัติสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่ต่างกับน้ำมันดีเซลมากนัก โดยต้นทุนการผลิตขึ้นกับราคาน้ำมันปาล์มดิบโดยมีค่าใช้จ่ายในการแปรรูปเป็นเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 4.50 บาท/ลิตร

2.2.5 วัชรพล ปุณจันทร์และคณะ (2545), ทำการวิจัยผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล พบว่าแรงบิดและกำลังที่ออกมาจากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจะมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 3 – 5 % แต่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตร B5 – B10 พบว่าไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการทำงานหรือการสึกหรอของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล จึงสรุปได้ว่าสามารถใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลได้และไม่มีผลกระทบที่เป็นนัยสำคัญต่อเครื่องยนต์ แต่อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาวิจัยถึงผลกระทบต่อความสึกหรอของเครื่องยนต์ในระยะยาวต่อไป

2.2.6 นำยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์ และคณะ (2546), ทำการวิจัยการแตกสลายโครงสร้างของน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยความร้อน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการใช้ น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัมมาทำปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยความร้อนภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และให้ควบแน่นที่อุณหภูมิ 400 °C ได้สารละลายสีเหลืองใส เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเชื้อเพลิงพบว่าจุดไหลเทเท่ากับ 0.77°C ปริมาณของเถ้าเท่ากับ 0.012% ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.834 ความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C และ 50°C เท่ากับ 3.57 เซนติสโตกส์ และ 2.98 เซนติสโตกส์ตามลำดับ จุดวาบไฟเท่ากับ 18.5°C ค่าการวัดสีเท่ากับ 2.5-3.5 และค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 43,937 กิโลจูล/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของการกำหนดคุณภาพเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลพบว่าคุณสมบัติกายภาพและเชื้อเพลิงทุกค่าอยู่ในเกณฑ์ ยกเว้นค่าการวัดสี

2.2.7 สุรัชย์ จิรชาติ (2539), ทำการวิจัยการเผาไหม้น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล โดยการนำน้ำมันพืชที่ผลิตในประเทศมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด วิเคราะห์ใช้ทฤษฎีการถ่ายเทมวลทำนายอัตราการเผาไหม้ของหยดน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล และนำมาประยุกต์เพื่อทำนายสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล จากการทำนายการเผาไหม้ของหยดน้ำมันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. ภายใต้การพาแบบธรรมชาติ ได้อัตราการเผาไหม้ของหยดน้ำมันพืชเรียงค่าจากสูงไปต่ำได้ดังนี้ น้ำมันดีเซล, น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี, น้ำมันปาล์ม, น้ำมันรำข้าว, น้ำมันถั่วเหลือง ตามลำดับซึ่งใน ผลอัตราการเผาไหม้ของหยดน้ำมันระหว่างค่าที่ทำนายจากทฤษฎีและค่าจากการทดสอบได้ผลที่สอดคล้องกัน โดยอัตราการเผาไหม้จากการทดสอบคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีอยู่เปอร์เซ็นต์ -6.2 ถึง 5.7

2.2.8 สุภาพ สุทธิรักษ์ (2550), ทำการวิจัยการดำเนินธุรกิจการผลิตไบโอดีเซลของชุมชนกรณีน้ำมันใช้แล้ว โดยศึกษาสภาพทั่วไป, พฤติกรรมและทัศนคติของผู้ใช้ไบโอดีเซลจนถึงผลการดำเนินธุรกิจการผลิตไบโอดีเซลของชุมชน พบว่าผลการดำเนินธุรกิจไบโอดีเซล ดำเนินการผลิตโดยเครื่องจักรขนาดกำลังการผลิต 100 และ 400 ลิตร/ครั้ง โดยทำการผลิตโดยเฉลี่ย 21,600 ลิตร/ปี มีอัตราผลตอบแทนสุทธิเปอร์เซ็นต์ 24.19 ปริมาณการผลิต คิดเป็นจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 4,127.39 ลิตร/ปี ปัญหาและอุปสรรคได้แก่ ด้านการผลิต การตลาด เงินทุน และกฎระเบียบนโยบายและมาตรการของภาครัฐ

2.2.9 อาชัย พิทยภาคย์ และคณะ (2546), ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่นในการสร้างโรงสกัดน้ำมันถั่วเหลือง และถั่วลิสงดิบขนาดเล็กสำหรับกลุ่มเกษตรกรในท้องถิ่นภาคเหนือของประเทศโดยใช้เครื่องสกัดน้ำมันแบบบีบอัดด้วยสกรูเป็นเครื่องต้นแบบ พบว่าการลงทุนในการจัดสร้างโรงงานสกัดน้ำมันพืชของกลุ่มเกษตรกรมีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากตัวอย่างเครื่องสกัดน้ำมันที่เลือกมามีอัตราผลตอบแทนและระยะเวลาคืนทุนอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่ารุ่นอื่นๆ ทั้งในกรณีลงทุนเองและกู้เงินมาลงทุนคือ ถ้าลงทุนเอง มีอัตราผลตอบแทนภายในประมาณ 64% และ 510% และระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 1.5 ปี และ 0.2 ปี และถ้ากู้เงินมาลงทุนมูลค่าปัจจุบันมีอัตราผลตอบแทนภายในประมาณ 47 % และ 490 % และระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 2.1 ปี และ 0.2 ปีสำหรับถั่วเหลือง และถั่วลิสง ตามลำดับ

2.2.10 อมรเทพ คชตั้ง และคณะ (2550), ทำการวิจัยผลกระทบของรังสีแกมมาต่อโครงสร้างโปรตีนไหม Bombyx mori ที่ใช้ในงานประยุกต์ทางชีวการแพทย์ โดยการนำเส้นไหมที่ผ่านการฉายรังสีไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยอาศัย FTIR พบว่าเส้นไหมที่ฉายรังสีมีการดูดกลืนพลังงานที่สูงขึ้นทำให้ได้สเปกตรัมที่มีความเข้มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ฉายรังสี โดยรังสีแกมมาสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ พอลิเปปไทด์ในโครงสร้าง  $\beta$ -sheet และทำให้พันธะเปปไทด์ของไฟโบรอินอ่อนแอลงและทำลายการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่เปปไทด์ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมโยงของ secondary structure จาก  $\beta$ -sheet เป็น random coil



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย เครื่องฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 และเครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ

3.2.1 เครื่องฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.1 มีโครงสร้างเป็นผนังตะกั่วที่มีต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายในและมีแผ่นเพลทสำหรับวางตัวอย่างเข้าไปฉายรังสี (sample irradiation chamber) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 นิ้ว จำนวน 4 ตำแหน่ง ปริมาณรังสีที่ตัวอย่างได้รับจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแผ่นเพลทที่เลือกใช้และระยะเวลาในการฉาย ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องฉายรังสีเป็นระบบนิวเมติกโดยขณะที่ยังไม่ใช้งานต้นกำเนิดรังสีจะถูกเก็บไว้ในกำบังใต้พื้นดิน เนื่องจากแผ่นเพลทไม่สามารถเคลื่อนที่ระหว่างทำการฉายรังสีได้ ดังนั้นต้องทำการคำนวณเวลาในการฉายเพื่อทำการฉายรังสีเพื่อทำการสลับตำแหน่งในการวางเพื่อให้เกิดความสมดุลของปริมาณรังสีที่ได้รับในแต่ละตัวอย่าง

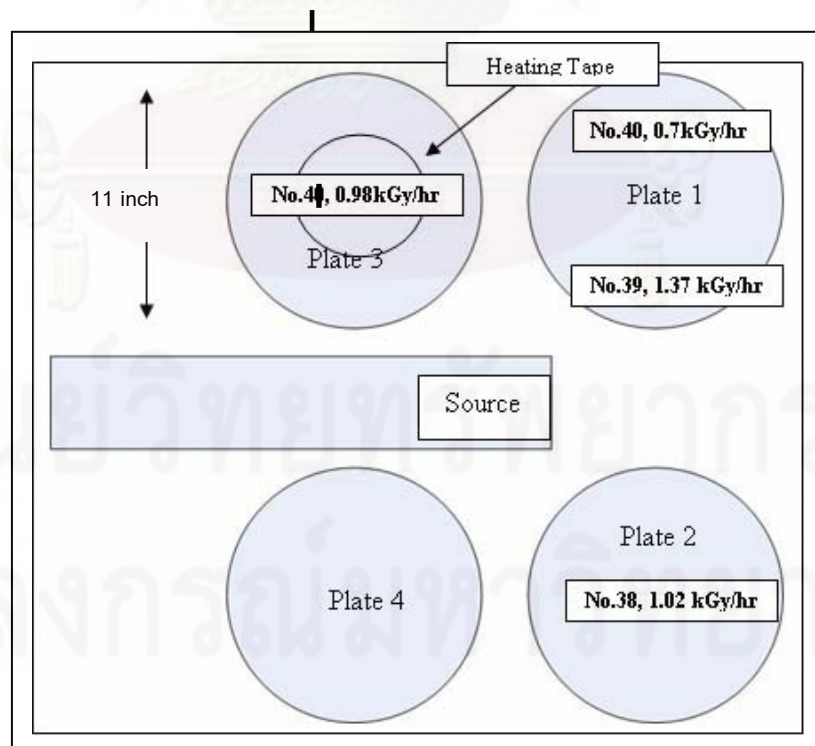


รูปที่ 3.1 เครื่องฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60  
ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทำการวัดปริมาณรังสีโดย opti-chromic detector ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จำนวน 4 แผ่น เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีแกมมาชนิดแผ่นวางในตำแหน่งต่างๆ ทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง 45 นาที นำแผ่นวัดปริมาณรังสีแกมมาไปทำการตรวจวัดปริมาณรังสีในแต่ละตำแหน่งวางดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีแกมมาชนิดแผ่น แบบ opti-chromic detector



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งและค่าการวัดปริมาณรังสีที่ตำแหน่งต่างๆของเครื่องฉายรังสี



ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีระหว่างการฉายโดยหาค่าปริมาณรังสีเฉลี่ยเมื่อทำการฉายรังสีบนเพลท 1 (ค่าเฉลี่ย No.39 และ No.40) เพลท 2 (No.38) และเพลท 4 (No.41) มีอัตราปริมาณรังสีเป็น 1.02 kGy/hr

3.2.2 เครื่องทดสอบค่าความหนืดแบบอัตโนมัติ (Automatic Viscometer) ได้รับความอนุเคราะห์จากฝ่ายควบคุมคุณภาพ สำนักงานพระโขนงและคลังน้ำมันพระโขนง บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ให้ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ CANNON VISCOSITY METER รุ่น CAV-2000 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 เป็นเครื่องวัดความหนืดที่มีความแม่นยำสูงและสามารถทำการวัดค่าได้โดยตรง ค่าความหนืดที่วัดได้มีหน่วยเป็น เซนติสโตรก (cSt) ไม่ต้องนำผลการตรวจวัดมาแปลงค่าโดยการคำนวณ เป็นวิธีการทดสอบตามหลักมาตรฐานที่กำหนดโดย American Society for Testing and Materials (ASTM)



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความหนืดอัตโนมัติ CANNON VISCOSITY METER รุ่น CAV-2000



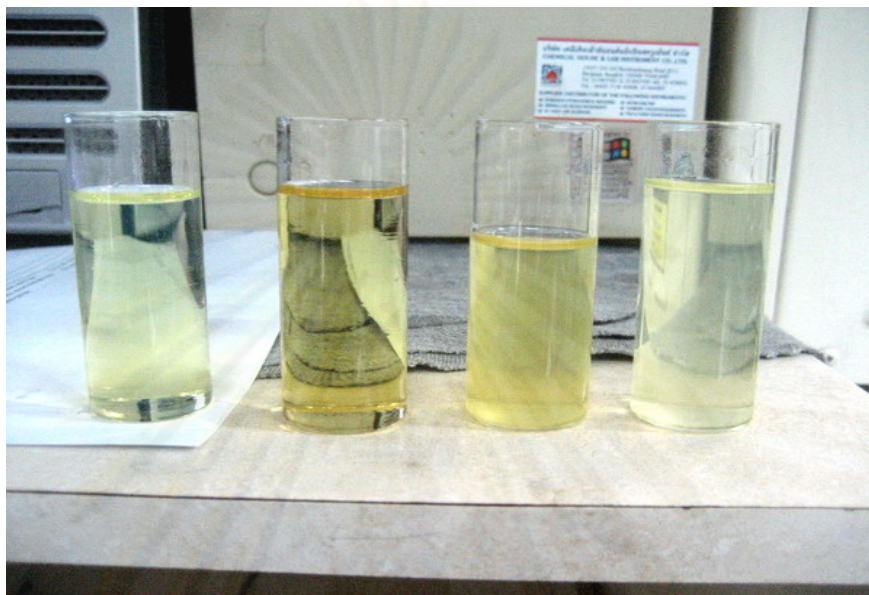
รูปที่ 3.5 ชื่อบริษัทผู้ผลิตและรุ่นเครื่องวัดความหนืดอัตโนมัติที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องจะทำการตรวจวัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 40 °C และมีการควบคุมอุณหภูมิตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM ดังแสดงในรูปที่ 3.6 มีหลักการตรวจวัดโดยประมวลผลเลือกช่วงในการทดสอบโดยอัตโนมัติและมีการกำหนดค่า Repeatability โดยทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยมาทำการประมวลผลแสดงค่าที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ มีวิธีการใช้งานดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 ค่ามาตรฐาน ASTM ในการควบคุมอุณหภูมิน้ำมันตัวอย่างระหว่างทำการวัดความหนืด

3.1.1.1 นำน้ำมันตัวอย่างเทใส่ลงในปริมาณประมาณ 3 ใน 4 ของถ้วยแก้วที่ใช้กับเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การเตรียมน้ำมันตัวอย่างสำหรับเครื่องวัดความหนืด CANNON VISCOSITY METER

3.1.1.2 นำถ้วยแก้วบรรจุลงในรางของเครื่องทดสอบตั้งโปรแกรมการทำงานโดยป้อนข้อมูลหมายเลขรางทดสอบเครื่อง เครื่องจะทำการดูดน้ำมันในถ้วยแก้วเข้าเครื่องทดสอบและส่งไปยังกระบอกแก้ว น้ำมันที่อยู่ในกระบอกแก้วจะถูกทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น  $40^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูป 3.8 เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดไว้จะปล่อยน้ำมันในกระบอกแก้วลงสู่ถ้วยแก้วพร้อมกับจับเวลาในการเคลื่อนที่ของน้ำมันโดยอัตโนมัติ โดยในการตรวจวัดแต่ละครั้งเครื่องจะทำทดสอบ 2 รอบแล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยเมื่อเครื่องทำงานเสร็จจะแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์

อ่านค่าและบันทึกผลจากหน้าจอแสดงผล

3.1.1.3 นำถ้วยแก้วบรรจุลงในรางของเครื่องทดสอบตั้งโปรแกรมการทำงานโดยป้อนข้อมูลหมายเลขรางทดสอบเครื่อง เครื่องจะทำการดูดน้ำมันในถ้วยแก้วเข้าเครื่องทดสอบและส่งไปยังกระบอกแก้ว น้ำมันที่อยู่ในกระบอกแก้วจะถูกทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดไว้จะปล่อยน้ำมันในกระบอกแก้วลงสู่ถ้วยแก้วพร้อมกับจับเวลาในการเคลื่อนที่ของน้ำมันโดยอัตโนมัติ โดยในการตรวจวัดแต่ละครั้งเครื่องจะทำทดสอบ 2 รอบแล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยเมื่อเครื่องทำงานเสร็จจะแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์

3.1.1.4 อ่านค่าและบันทึกผลจากหน้าจอแสดงผล

### 3.2. การดำเนินการเก็บข้อมูลในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ เคมีรังสี ไปโอดีเซล การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ ข้อดีและข้อด้อยของดีเซลชีวภาพ การวัดค่าความหนืด และอุปสงค์/อุปทานของน้ำมันดีเซล พบว่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยรังสีเพียงเล็กน้อยอาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีไปได้มากปฏิกิริยาทางเคมีสำคัญที่มีการเปลี่ยนแปลงคือการคลอสลิงค์หรือการเกิดเป็นร่างแหสามมิติหรือการทำให้พันธะเคมีในโมเลกุลของน้ำมันขาดโดยรังสี องค์ประกอบของน้ำมันมีหมู่ข้างๆเป็นสายโซ่ระเกะกระจะมีอิสระในการเคลื่อนที่ของสายโซ่ตามแนวแกนเมื่อโซ่หมู่อัลคิลขาดออกเพราะรังสีและเกิดอนุมูลอิสระขึ้นที่สายโซ่จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่อีกสายโซ่หนึ่งที่อยู่ข้างเคียงก่อให้เกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงร่างแหสามมิติทำให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นหรือสายโซ่ถูกตัดขาดอย่างถาวรส่งผลให้น้ำมันที่มีโมเลกุลที่สั้นลงทำให้ค่าความหนืดลดลงและสามารถระเหยง่ายขึ้น โดยมีรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

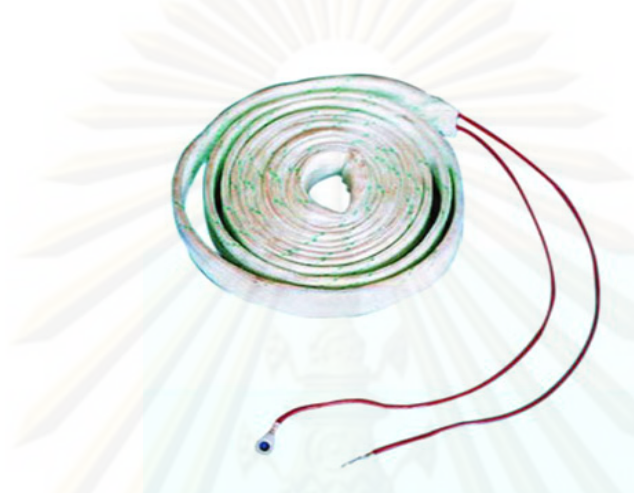
3.2.1 จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ นอกเหนือจากเครื่องฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 และ เครื่องทดสอบค่าความหนืดแบบอัตโนมัติ (Automatic Viscometer) แล้วยังมีเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ร่วมในการวิจัยดังต่อไปนี้

3.2.1.1 เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (Hot Plate Stirrer/ Magnetic Stirrer) Model Hp-3000 (Jeio Tech Co., Ltd.) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ Temp. Range up to 380°C Speed 100 – 1,650 rpm และ Capacity 50 ml – 5 L ดังแสดงในรูปที่ 3.8 มีการนำมาใช้งานเพื่อให้ความร้อนกับน้ำมันตัวอย่างผสมในการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย



รูปที่ 3.8 เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (Hot Plate Stirrer/ Magnetic Stirrer)

3.2.1.2 Fiberglass Heating Tape มีรายละเอียดต่อไปนี้ Max temperature: 250°C Insulating resistance: >2mΩ Normal life expectancy: 3,000 hours Relative humidity: <80% (no ex-gas) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 มีการนำมาใช้งานเพื่อให้ความร้อนกับน้ำมัน ตัวอย่างระหว่างทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60



รูปที่ 3.9 Fiberglass Heating Tape

3.2.1.3 Voltage Regulator และ Thermocouple มีรายละเอียดต่อไปนี้ Load capacity up 1200 Watts Variable output voltage from 5 to 95% Thermocouple (304 Stainless Steel) Length 6 In Lead, Size 0.188 In Error Accuracy +/- 0.75 ดังแสดงในรูปที่ 3.10 มีการนำ Voltage Regulator มาใช้งานร่วมกับ Fiberglass Heating Tape และใช้ Thermocouple ในการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการ

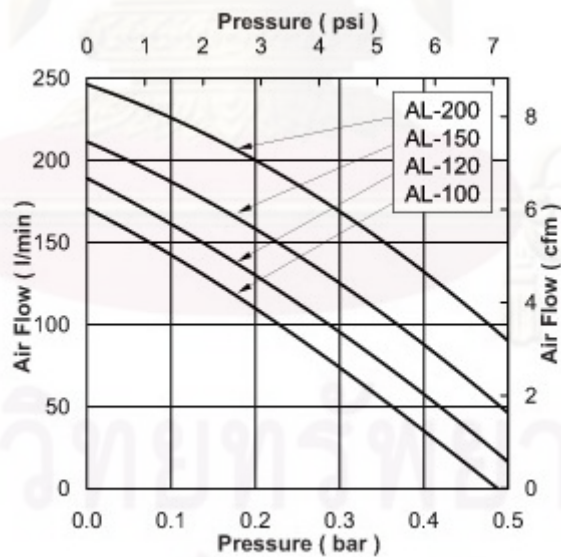


รูปที่ 3.10 Voltage Regulator & Thermocouple

3.2.1.4 ปั๊มลม รุ่น AL-200 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้  
กำลังไฟฟ้า 220V/50Hz ปริมาณลม 200 ลิตร/นาที ผลิตลมที่แรงดัน 0.20 บาร์ ตาม  
ความสัมพันธ์แสดงดังกราฟในรูปที่ 3.12 มีการนำมาใช้งานเพื่อผลิตอากาศระหว่างทำการฉาย  
รังสี



รูปที่ 3.11 ปั๊มลม รุ่น AL-200



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอากาศและความดันของปั๊มลม

3.2.1.5 เครื่องมือวัดความเร็วลมชนิดหลายฟังก์ชัน (Multi-Function) รุ่น Testo 435 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 สามารถตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม มีการนำไปใช้เพื่อตั้งค่าวาล์วควบคุมลมแต่ละหัวจ่ายในการทดลองให้มีปริมาณเท่ากัน



รูปที่ 3.13 เครื่องมือวัดความเร็วลมชนิดหลายฟังก์ชัน (Multi-Function) รุ่น Testo 435

### 3.2.1.6 น้ำมันที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1.6.1 น้ำมันปาล์มโอเลอิน (R.B.D. Palm Olein) ตรามรกต (Morakot R.B.D. Palm Olein) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 สกัดได้จากเนื้อปาล์มมีสัดส่วนชนิดกรดไขมันเรียงลำดับจากปริมาณมากไปหาน้อยดังนี้ กรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ประกอบด้วยกรดไขมัน oleic 43% (Monounsaturated) และ linoleic 11% (poly-unsaturated)



รูปที่ 3.14 น้ำมันปาล์มโอเลอิน (R.B.D. Palm Olein) ตรามรกต

3.2.1.6.2 น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี (Refined Coconut Oil) ตราดอกไม้ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 เป็นน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีผสมกับน้ำมันจากเมล็ดปาล์มในอัตราส่วน 1:1 ผู้ผลิต : บริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด มีกรรมวิธีผลิตโดยสกัดน้ำมันจากเนื้อมะพร้าวแห้งโดยการบีบหรือสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยการกำจัดกรดไขมันอิสระ ฟอสฟอรัส และกำจัดกลิ่น



รูปที่ 3.15 น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี (Refined Coconut Oil) ตราดอกไม้



3.2.1.6.3 น้ำมันหมู (Lard) แผงที่ 77 ตลาดสามย่าน กรุงเทพฯ ดังแสดง  
 ในรูปที่ 3.16 มีกรรมวิธีการผลิตโดยการให้ความร้อนกับมันหมูจนน้ำมันแตกออกจากเซลล์และ  
 และมีน้ำมันไหลออกมา โดยคุณภาพของน้ำมันหมูขึ้นอยู่กับตำแหน่งของมันหมูที่นำมาผลิต



รูปที่ 3.16 น้ำมันหมู (Lard) แผงที่ 77 ตลาดสามย่าน กรุงเทพฯ

3.2.1.7 ตัวทำละลายที่ทำการศึกษานี้เลือกใช้ในการวิจัยนอกเหนือจากน้ำมันดีเซล  
 ได้แก่ Ethyl Alcohol N-Butanol และ Xylene ดังแสดงในรูปที่ 3.17

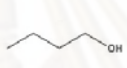
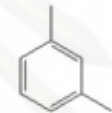



รูปที่ 3.17 ตัวทำละลายที่ใช้ทดสอบการละลายของน้ำมัน

### 3.2.2 ทดสอบคุณสมบัติและความเหมาะสมของตัวทำละลายของน้ำมันแต่ละชนิด

3.2.2.1 ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของตัวทำละลายชนิดต่างๆ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางเคมีของตัวทำละลายที่นำมาทดสอบ

ชื่อ (IUPAC NAME)	N-BUTANOL	XYLENE	ETHYL ALCOHOL
สูตรเคมี (Molecular Formula)	$C_4H_{10}O$	$C_8H_{10}$	$C_2H_6O$
สูตรโครงสร้าง			
น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight)	74.12	106.17	46.07
จุดเยือกแข็ง (Melting Point; °C)	-89.5	-48	-114
จุดเดือด (Boiling Point; °C)	117.2	138	78
จุดวาบไฟ (Flat Point; °C)	30	26	13
ความหนืด (Viscosity; mPa.sec)	2.95	0.62	1.41
ความถ่วงจำเพาะ (Density; น้ำ = 1)	0.81	0.86	0.789

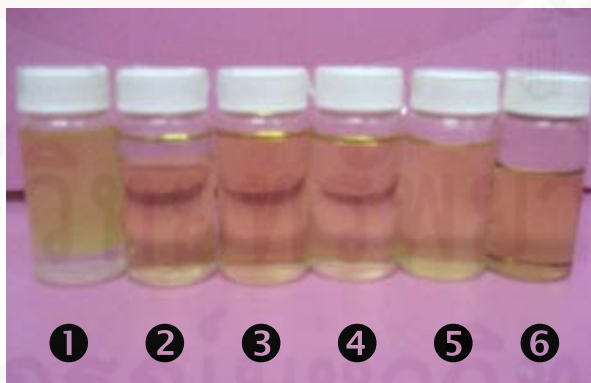
3.2.2.2 ทำการทดสอบการเข้ากันได้ของน้ำมันแต่ละชนิดกับตัวทำละลายต่างๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้ ชนิดที่ 1-น้ำเปล่า, ชนิดที่ 2- Xylene, ชนิดที่ 3-N-Butanol ,ชนิดที่ 4- Ethyl Alcohol และชนิดที่ 5-น้ำมันดีเซล โดยทำการผสมในอัตราส่วนน้ำมันต่อตัวทำละลายเป็น 9 : 1 แล้วทำการเขย่าพบว่าน้ำมันตัวอย่างผสมผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และทดสอบปล่อยน้ำมันตัวอย่างผสมดังกล่าวทิ้งไว้ 2 วันโดยไม่ได้ทำการเขย่าอีก ดังแสดงในรูปที่ 3.18 – 3.26 พบว่าน้ำมันตัวอย่างผสมส่วนใหญ่เกิดการแยกชั้นของเหลวอย่างเห็นได้ชัดเจน ยกเว้นสารละลายที่มี Ethyl Alcohol และ น้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลายที่ไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำมันกับตัวทำละลาย ดังนั้นในการวิจัยจึงพิจารณาเลือก Ethyl Alcohol และ น้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลายเนื่องจากไม่เกิดการแยกชั้นหลังการผสมถึงแม้จะปล่อยทิ้งไว้ถึง 2 วัน ส่งผลให้การวิจัยมีความสะดวกมากขึ้น เนื่องจากกระหว่างการฉายรังสีไม่ต้องกวนสารตลอดเวลา



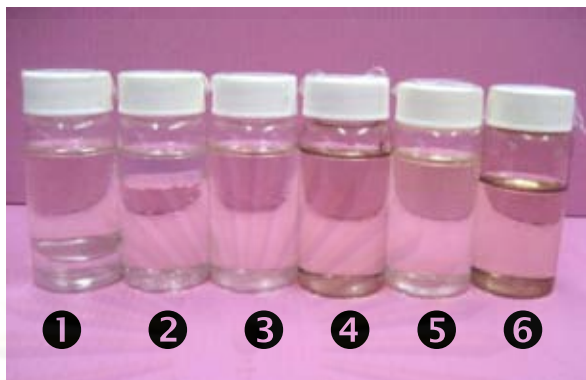
รูปที่ 3.18 การผสมน้ำมันปาล์มกับตัวทำละลาย  
(1-น้ำเปล่า 2-Xylene 3-N-Butanol 4- Ethyl Alcohol 5-Diesel Oil 6-Palm Oil)



รูปที่ 3.19 น้ำมันปาล์มกับตัวทำละลายเมื่อทำการเขย่าให้เข้ากัน  
(1-น้ำเปล่า 2-Xylene 3-N-Butanol 4- Ethyl Alcohol 5-Diesel Oil 6-Palm Oil)



รูปที่ 3.20 น้ำมันปาล์มกับตัวทำละลายเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ 2 วันหลังทำการเขย่า  
(1-น้ำเปล่า 2-Xylene 3-N-Butanol 4- Ethyl Alcohol 5-Diesel Oil 6-Palm Oil)



รูปที่ 3.21 การผสมน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับตัวทำละลาย  
(1-น้ำเปล่า 2-Xylene 3-N-Butanol 4- Ethyl Alcohol 5-Diesel Oil 6- Refined Coconut Oil)



รูปที่ 3.22 น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับตัวทำละลายเมื่อทำการเขย่าให้เข้ากัน  
(1-น้ำเปล่า 2-Xylene 3-N-Butanol 4- Ethyl Alcohol 5-Diesel Oil 6- Refined Coconut Oil)



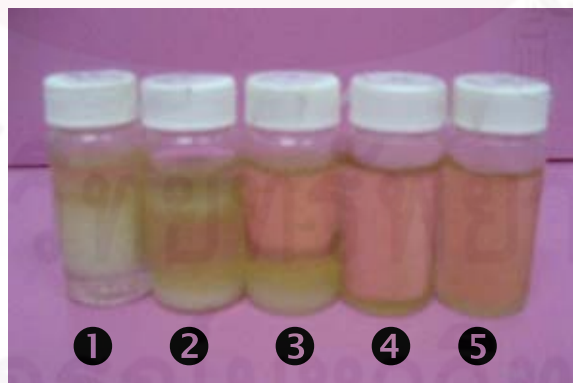
รูปที่ 3.23 น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับตัวทำละลายเมื่อปล่อยให้ตั้งไว้ 2 วันหลังทำการเขย่า  
(1-น้ำเปล่า 2-Xylene 3-N-Butanol 4- Ethyl Alcohol 5-Diesel Oil )



รูปที่ 3.24 การผสมน้ำมันหมูกับตัวทำละลาย  
(1-น้ำเปล่า 2-Xylene 3-N-Butanol 4- Ethyl Alcohol 5-Diesel Oil 6-Lard Oil)



รูปที่ 3.25 น้ำมันหมูผ่านกรรมวิธีกับตัวทำละลายเมื่อทำการเขย่าให้เข้ากัน  
(1-น้ำเปล่า 2-Xylene 3-N-Butanol 4- Ethyl Alcohol 5-Diesel Oil 6-Lard Oil)



รูปที่ 3.26 น้ำมันหมูผ่านกรรมวิธีกับตัวทำละลายเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ 2 วันหลังทำการเขย่า  
(1-น้ำเปล่า 2-Xylene 3-N-Butanol 4- Ethyl Alcohol 5-Diesel Oil)

3.2.2.3 สรุปตัวทำละลายที่จะนำมาวิจัยโดยเมื่อพิจารณาถึงการนำน้ำมันต่างๆ ไปใช้งานจริงหลังทำการฉายรังสี พบว่ากรณีที่ใช้ไขมันดีเซลเป็นตัวทำละลายสามารถนำสารละลายหลังทำการฉายรังสีไปใช้งานได้ทันทีเนื่องจากน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์อยู่แล้วและค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างผสมที่ได้มีค่าต่ำกว่าน้ำมันตัวอย่างที่ไม่ทำการผสม ส่วนการใช้ Ethyl Alcohol เป็นตัวทำละลายพบว่าหลังทำการฉายรังสีต้องทำการสกัด Ethyl Alcohol ออกจากน้ำมันตัวอย่างก่อนนำไปใช้งานเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาต่างๆที่จะส่งผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ สามารถทำการสกัด Ethyl Alcohol ออกจากน้ำมันตัวอย่างโดยใช้วิธีการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย เนื่องจาก Ethyl Alcohol มีจุดเดือดเพียง 78 °C

3.2.3 ทดสอบเบื้องต้นเพื่อกำหนดขอบเขตที่เหมาะสม ในการทดสอบเบื้องต้นจะทำการตรวจสอบประเมินค่าสารละลาย สัดส่วนการละลาย และปริมาณรังสีที่ทำการฉายที่เหมาะสม โดยใช้การวัดค่าความหนืดอย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 3.27 โดยการจับเวลาการไหลแล้วนำเวลาในการไหลที่บันทึกได้มาเทียบสัดส่วนกับค่ามาตรฐาน



รูปที่ 3.27 การวัดความหนืดอย่างง่ายในการทดสอบความเป็นไปได้เบื้องต้น

ทำการกำหนดขั้นตอนการทดสอบความเป็นไปได้เบื้องต้นดังนี้

3.2.3.1 ผสมน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วน 9 : 1

3.2.3.2 แบ่งน้ำมันตัวอย่างผสมที่ได้เป็น 3 ส่วนไปทำการฉายรังสีแกมมาจาก Co-60 ที่ความแรง 30 50 และ 70 kGy

3.2.3.3 หลังการฉายรังสีทำการตรวจวัดค่าความหนืดอย่างง่าย โดยวิธีการจับเวลาการไหลของสารละลาย โดยทำการจับเวลาในการการไหลของสารละลาย 2 ml จากหลอดคาปรารีที่มีขนาดและระยะความสูงเท่ากัน

3.2.3.4 ทำการทดสอบซ้ำข้อ 3.2.3.1- 3.2.3.3 โดยเปลี่ยนสัดส่วนน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีกับน้ำมันดีเซลเป็น 7:3 และ 1:1

3.2.3.5 ทำการทดสอบซ้ำข้อ 3.2.3.1 - 3.2.3.4 โดยเปลี่ยนจากน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีเป็นน้ำมันปาล์ม

3.2.3.6 บันทึกผลการวัดความหนืดอย่างง่ายโดยการจับเวลาการไหลในการทดสอบเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลการวัดความหนืดอย่างง่ายโดยการจับเวลาการไหลในการทดสอบเบื้องต้น

ปริมาณ (ml)		อัตราส่วน	ปริมาณรังสี (kGy)	เวลาในการไหลของน้ำมัน(Sec)							
สารตั้งต้น	ตัวทำละลาย			น้ำมันผสมมะพร้าวดีเซล				น้ำมันผสมปาล์มดีเซล			
				ก่อนฉายรังสี	หลังฉายรังสี			ก่อนฉายรังสี	หลังฉายรังสี		
			ครั้ง1	ครั้ง2	เฉลี่ย	ฉายรังสี	ครั้ง1	ครั้ง2	เฉลี่ย		
10	10	1 : 1	30	40.3	38.2	38.1	38.1	47.1	41.5	42.8	42.1
10	10	1 : 1	50	42.1	38.2	39.0	38.6	44.4	40.9	41.0	40.9
10	10	1 : 1	70	43.1	38.0	37.4	37.7	47.9	41.4	41.8	41.6
14	6	7 : 3	30	70.6	63.7	65.4	64.5	81.6	71.2	70.7	70.9
14	6	7 : 3	50	70.3	63.9	66.3	65.1	78.8	70.4	69.5	69.9
14	6	7 : 3	70	70.1	64.2	62.4	63.3	79.6	70.1	69.8	70.0
18	2	9 : 1	30	120.4	108.0	108.7	108.3	133.6	120.3	119.5	119.9
18	2	9 : 1	50	125.6	105.4	105.5	105.5	135.2	122.4	118.7	120.6
18	2	9 : 1	70	124.9	105.2	106.2	105.7	135.2	121.4	121.9	121.6

## 3.2.3.7 วิเคราะห์ผลเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนืดได้ดังตารางที่ 3.3

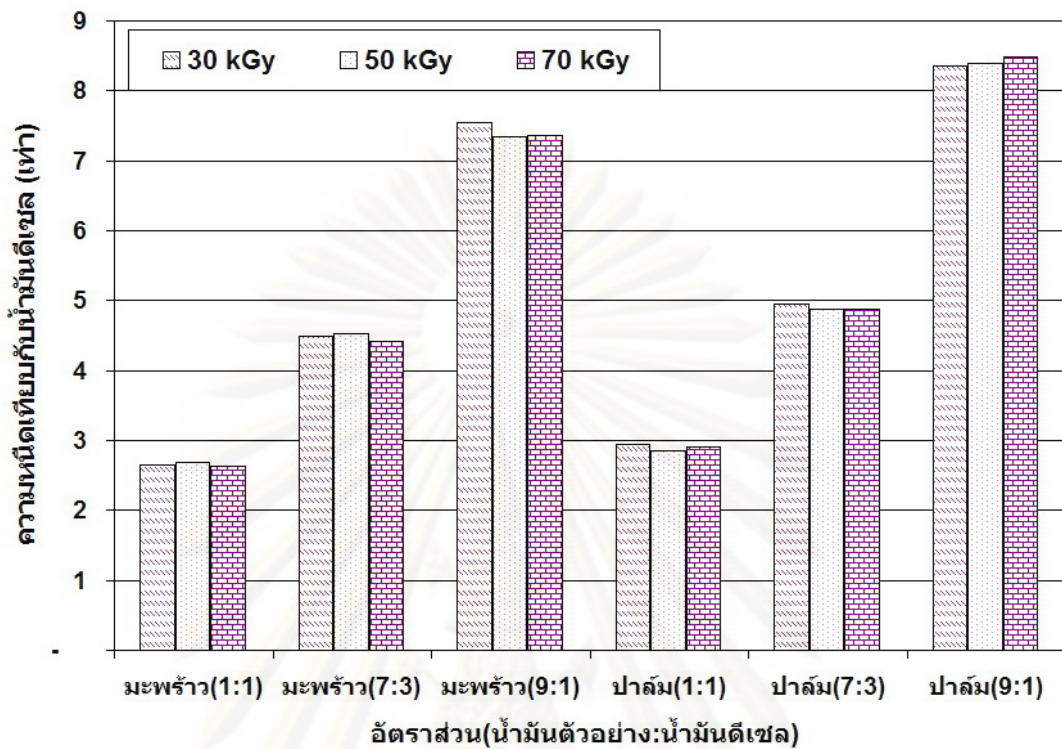
ตารางที่ 3.3 วิเคราะห์ผลเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนืดในการทดสอบเบื้องต้น

อัตราส่วนการผสม	ปริมาณรังสี (kGy)	เวลาในการไหล (Sec)				เปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดลดลง (%)	
		น้ำมันผสมมะพร้าวดีเซล		น้ำมันผสมปาล์มดีเซล		น้ำมันผสมมะพร้าวดีเซล	น้ำมันผสมปาล์มดีเซล
		ก่อนฉายรังสี	เฉลี่ยหลังฉายรังสี	ก่อนฉายรังสี	เฉลี่ยหลังฉายรังสี		
1 : 1	30	40.3	38.1	47.1	42.1	5.35	10.58
1 : 1	50	42.1	38.6	44.4	40.9	8.36	7.90
1 : 1	70	43.1	37.7	47.9	41.6	12.54	13.12
7 : 3	30	70.6	64.5	81.6	70.9	8.60	13.07
7 : 3	50	70.3	65.1	78.8	69.9	7.45	11.30
7 : 3	70	70.1	63.3	79.6	70.0	9.61	12.12
9 : 1	30	120.4	108.3	133.6	119.9	10.03	10.24
9 : 1	50	125.6	105.5	135.2	120.6	16.04	10.83
9 : 1	70	124.9	105.7	135.2	121.6	15.38	10.02

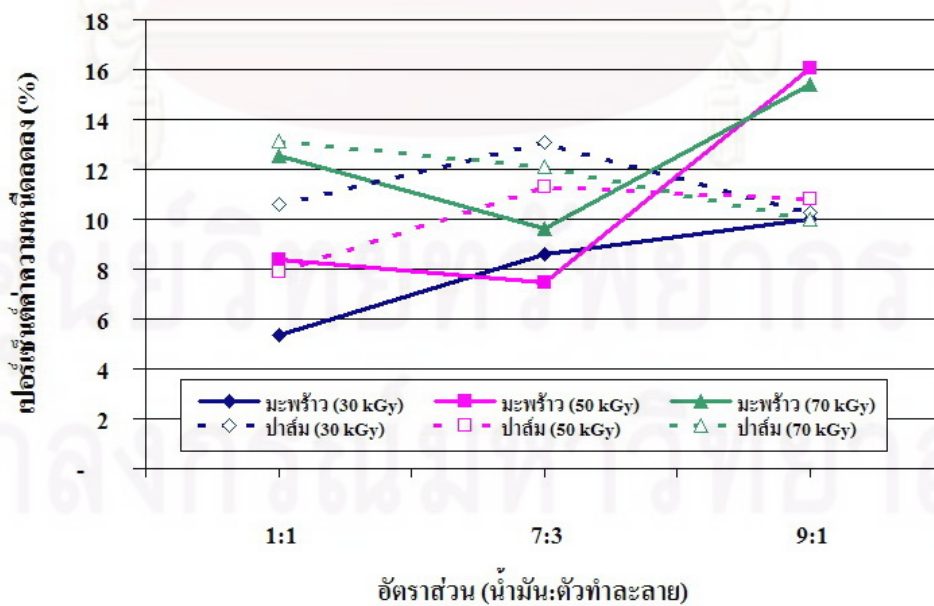
จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า การฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ส่งผลให้น้ำมันผสมมีค่าความหนืดลดลง 5.35 – 16.04% ซึ่งตัวแปรที่ทำการควบคุมเพียง 2 ปัจจัยคือ ปริมาณรังสีที่ฉายและปริมาณสัดส่วนสารละลาย พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลแล้วยังมีค่าความหนืดสูงกว่าถึง 2.5 – 8.5 เท่า (น้ำมันดีเซลมีเวลาในการไหล 14.35 วินาที) ดังแสดงในรูปที่ 3.28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

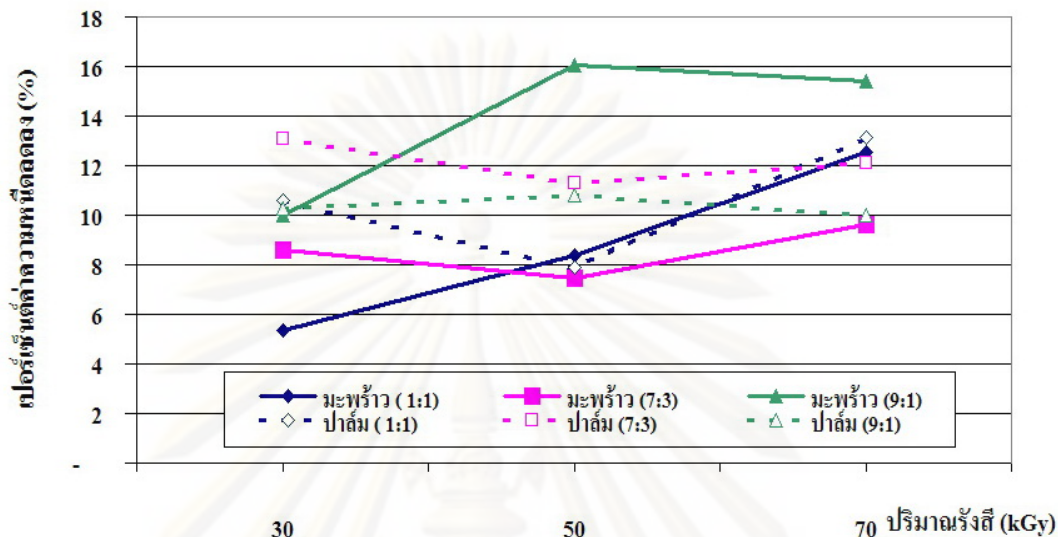




รูปที่ 3.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างผสมน้ำมันดีเซลหลังฉายรังสีกับน้ำมันดีเซล



รูปที่ 3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความหนืดและอัตราส่วนผสม



รูปที่ 3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นและปริมาณรังสีที่ฉาย

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพบว่าสัดส่วนสารละลายและปริมาณรังสีที่ฉายส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น แต่ไม่มีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงจากแต่ละปัจจัยที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.29 และ 3.30 สาเหตุเกิดความคลาดเคลื่อนของรูปแบบการวัดค่าความชื้นอย่างง่ายไม่เหมาะสมกล่าวคือค่าความชื้นที่ทำการตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ในการทำการทดสอบจริงจึงต้องใช้รูปแบบการวัดค่าความชื้นที่มีความถูกต้องและแม่นยำกว่านี้โดยการขอความอนุเคราะห์จาก บริษัท ปตท. จำกัด และทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเพื่อสรุปแนวทางการควบคุมปัจจัยต่างๆระหว่างการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60

3.2.4 ทดสอบนัยสำคัญของแหล่งผลิตน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์ โดยการตรวจวัดค่าความชื้นของน้ำมันแต่ละชนิดจาก 2 แหล่งที่มาที่แตกต่างกันเพื่อทำการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความชื้นจากแหล่งที่มา ดังแสดงในตารางที่ 3.4 พบว่าแต่ละกลุ่มชนิดน้ำมันที่มาจากแหล่งที่มาต่างกันมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความชื้นอยู่ในช่วง 2.024 – 6.49 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่ามากและน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ของไบโอดีเซลตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ข้อกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ.2549

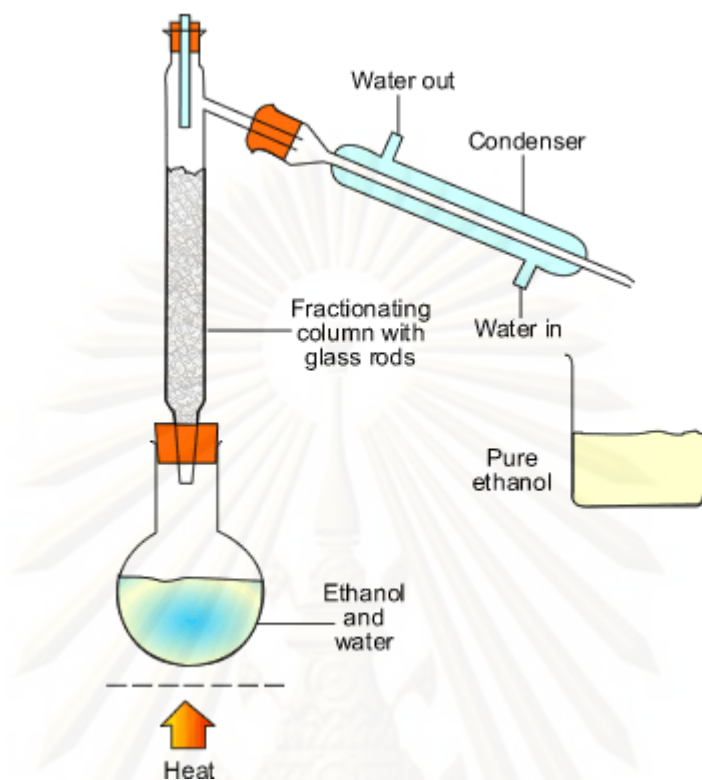
ตารางที่ 3.4 นัยสำคัญจากแหล่งผลิตน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์ต่อค่าความหนืดเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล

ชนิดน้ำมัน	แหล่งที่มา		ค่าความหนืด (sCt) ที่ 40 °C		เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	
น้ำมันปาล์ม	ตรามรกต	ตราคิง	40.01	39.2	2.02
น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี	ตราดอกไม้	ตราไฟป๊อป	29.79	30.4	2.05
น้ำมันหมู	ตลาดสามย่าน	ตลาดบางจาก	38.69	41.2	6.49
น้ำมันไบโอดีเซล	เกณฑ์ขั้นต่ำ	เกณฑ์ขั้นสูง	1.9	8.0	76.25

3.2.5 สรุปตัวแปรที่จะทำการศึกษาซึ่งคาดว่าจะมีผลกระทบต่อการลดความหนืดเมื่อทำการฉายรังสีจากโคบอลต์-60 โดยมีปัจจัยที่จะทำการศึกษาจำนวน 6 ปัจจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.5.1 ชนิดของน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันหมู น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี และน้ำมันปาล์มโอเลอิน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีแหล่งที่มาภายในประเทศและความแตกต่างของแหล่งที่มาไม่ส่งผลต่อการวิจัยอย่างมีนัยสำคัญ

3.2.5.2 ตัวทำละลาย ระหว่าง น้ำมันดีเซล และ Ethyl Alcohol เนื่องจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าสามารถทำละลายน้ำมันที่เลือกใช้ได้และไม่เกิดการแยกชั้นเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ 2 วันหลังทำการผสมทำให้ไม่ต้องทำการกวนน้ำมันผสมระหว่างการฉายรังสี นอกจากนี้ในการใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลายทำให้ไม่ต้องทำการแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันและส่งผลให้ค่าความหนืดน้ำมันที่นำไปใช้งานใกล้เคียงน้ำมันดีเซลมากขึ้น ส่วน Ethyl Alcohol ถึงแม้จะต้องมีการสกัดออกก่อนนำน้ำมันหลังการฉายรังสีไปใช้งานแต่สามารถทำการสกัด Ethyl Alcohol ออกจากน้ำมันได้ด้วยวิธีกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 3.31 เนื่องจากมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมันต่างๆค่อนข้างมากและมีราคาถูกกว่าน้ำมันดีเซล



รูปที่ 3.31 การกลั่นลำดับส่วนอย่างง่ายเพื่อสกัด Ethyl Alcohol ออกจากน้ำมันตัวอย่าง  
(ที่มา: [www.lks.ac.th/student/kroo\\_su/chem11/sub07.html](http://www.lks.ac.th/student/kroo_su/chem11/sub07.html))

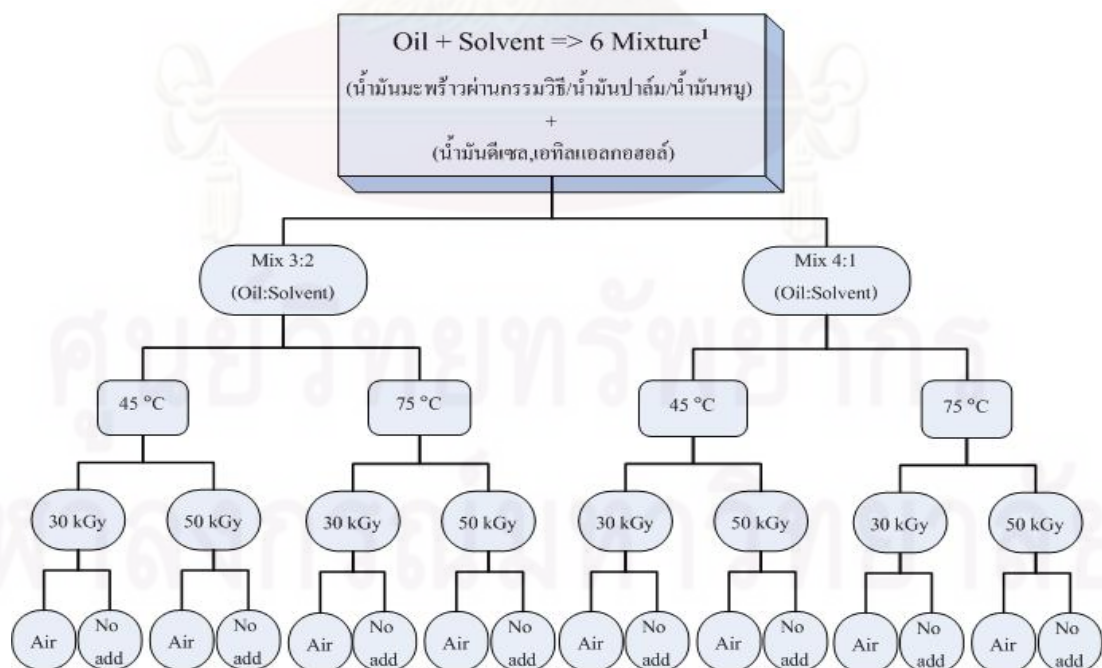
3.2.5.3 สัดส่วนสารละลาย (น้ำมัน:ตัวทำละลาย) ระหว่าง 4:1 และ 3:2 เนื่องจากการทดสอบเบื้องต้นยังไม่สามารถระบุผลกระทบจากสัดส่วนสารละลายที่ชัดเจนจึงทำการกำหนดแนวทางจากการศึกษางานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งพบว่าสัดส่วนของตัวทำละลายที่มากจะส่งผลดีต่อการลดความหนืดโดยหมู่อัลคิลที่ถูกตัดขาดจะไม่กลับมาเกิดการเชื่อมโยงกันอีก แต่ในทางกลับกันการที่สัดส่วนของตัวทำละลายมากส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการมากขึ้นทั้งค่าใช้จ่ายในส่วนตัวทำละลายและปริมาณรังสีที่ฉายต่อปริมาณน้ำมันที่นำไปใช้งาน

3.2.5.4 ปริมาณรังสีแกมมาที่ฉาย ระหว่าง ทำการฉายรังสีที่ปริมาณ 30 kGy และ 50 kGy เนื่องจากปริมาณที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดการเสื่อมสลายได้และจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าเมื่อทำการฉายรังสีที่ปริมาณ 30 kGy กับ 50 kGy ค่าความหนืดหลังการฉายมีการเปลี่ยนแปลงพอสมควร แต่ระหว่างการฉายรังสีที่ปริมาณ 50 kGy กับ 70 kGy นั้นค่าความหนืดหลังการฉายมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงกำหนดขอบเขตการวิจัยที่ปริมาณการฉายรังสี 30 kGy และ 50 kGy

3.2.5.5 ผลของการเติมอากาศระหว่างฉายรังสี ระหว่าง การเติมอากาศและการไม่เติมอากาศระหว่างการฉาย ในการทดสอบเบื้องต้นไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรทางด้านสารประกอบระหว่างการฉายรังสีพบว่าความหนืดหลังการฉายรังสียังมีค่าไม่ต่ำพอที่จะนำมาใช้ทดแทนไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ได้ จึงทำการศึกษางานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้องพบว่าสารที่เหมาะสมระหว่างการฉายจะช่วยทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพในการพันธะหมู่อัลคิลได้ดีขึ้น และก๊าซออกซิเจนส่งผลต่อการฉายรังสีในสารต่างๆให้เกิดการเสื่อมสลายมากขึ้นโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงอนุมูลอิสระในโพลีเมอร์เป็นเปอร์ออกซี

3.2.5.6 คุณหมุมิระหว่างการฉาย ระหว่าง 45 °C (คุณหมุมิปกติระหว่างการฉาย) และ 75 °C ในการทดสอบเบื้องต้นไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรทางด้านสารประกอบระหว่างการฉายรังสีพบว่าความหนืดหลังการฉายรังสียังมีค่าไม่ต่ำพอที่จะนำมาใช้ทดแทนไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ได้ จึงทำการศึกษางานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้องพบว่าคุณหมุมิสูงจะทำให้เกิดการ Degrade ไวขึ้นและการฉายรังสีที่คุณหมุมิสูงกว่า 70 °C จะสามารถป้องกันการเกิดการเชื่อมโยงจากการฉายรังสี

จากตัวแปรที่จะทำการศึกษสามารถเขียนเป็นแผนผังการวิจัยได้ดังแสดงในรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 แผนผังปัจจัยที่จะศึกษาการลดความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60

### 3.2.6 ดำเนินการฉายรังสีตามแนวทางที่กำหนด มีรายละเอียดในการดำเนินการดังนี้

3.2.6.1 แบ่งทำการฉายเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างผสมที่ 45 °C (อุณหภูมิปกติระหว่างทำการฉายรังสี) และกลุ่มที่ 2 ควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างผสมที่ 75 °C เนื่องเพื่อความสะดวกในการควบคุมอุณหภูมิระหว่างฉายรังสี

3.2.6.2 คำนวณระยะเวลาในการฉายรังสีและการสลับตำแหน่งระหว่างทำการฉาย เพื่อความสมดุลของปริมาณรังสีของแต่ละน้ำมันตัวอย่าง จากสรุปผลการตรวจวัดมีอัตราปริมาณรังสี 1.02 kGy/hr สามารถจัดลำดับการสลับตำแหน่งของน้ำมันที่ฉายรังสีให้แต่ละตัวอย่างได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ยเท่ากันดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ระยะเวลาและแนวทางการควบคุมกลุ่มตัวอย่างระหว่างทำการฉายรังสี

ปริมาณรังสีที่ฉาย (kGy)	ระยะเวลาในการฉาย (ชั่วโมง:นาที)	หมายเหตุ
7.5	07 ชั่วโมง 21 นาที	ทำการสลับตำแหน่งการฉายครั้งที่ 1
15	14 ชั่วโมง 42 นาที	ทำการสลับตำแหน่งการฉายครั้งที่ 2
22.5	22 ชั่วโมง	ทำการสลับตำแหน่งการฉายครั้งที่ 3
30	29 ชั่วโมง 25 นาที	เก็บตัวอย่างที่กลุ่มที่กำหนดปริมาณรังสี 30 kGy แล้วจัดเรียงที่น้ำมันตัวอย่างที่เหลือรูปตัว L
40	39 ชั่วโมง 13 นาที	ทำการสลับตำแหน่งการฉายครั้งที่ 4
50	49 ชั่วโมง	เก็บตัวอย่างที่ต้องการปริมาณรังสี 50 kGy

3.2.6.3 เตรียมจุกยางสำหรับกรณีที่มีการเพิ่มอากาศระหว่างการฉายรังสีโดยมีท่อนำก๊าซ 2 ท่อเพื่อเป็นทางไหลเวียนอากาศเข้าและออก ดังแสดงในรูปที่ 3.33 และปรับตั้งวาล์วควบคุมหัวจ่าย ดังแสดงในรูปที่ 3.34 ให้ปริมาณอากาศแต่ละจุดมีค่าเท่ากันแต่เนื่องจากธรรมชาติการไหลของอากาศในท่อจะพบว่าหัวจ่ายที่อยู่ใกล้ทางอากาศเข้ามากกว่าจะมีอัตราการไหลของอากาศมากกว่าหัวจ่ายที่อยู่ไกลกว่า อีกทั้งยังมีการสูญเสียระหว่างสายส่ง ดังนั้นจึงต้องทำการลือกวาล์วควบคุมที่อัตราการไหลของอากาศที่เท่ากันจากการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยเครื่องมือวัดความเร็วลมชนิดหลายฟังก์ชันและใช้สายยางที่มีความยาวเท่ากันทุกจุด โดยทำการประเมินความเร็วอากาศที่จะปรับตั้งเพื่อให้ปริมาณการผลิตอากาศจากปั๊มลมเพียงพอสำหรับทุกหัวจ่าย มีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

ปั๊มลมมีกำลังการผลิตอากาศ 200 ลิตร/นาที จำนวนหัวจ่าย 24 จุด  
คิดเป็นกำลังการปล่อยอากาศ 8.33 ลิตร/นาที หรือ 0.139 m<sup>3</sup>/วินาที  
จากสมการการคำนวณความเร็วของอากาศในท่อ

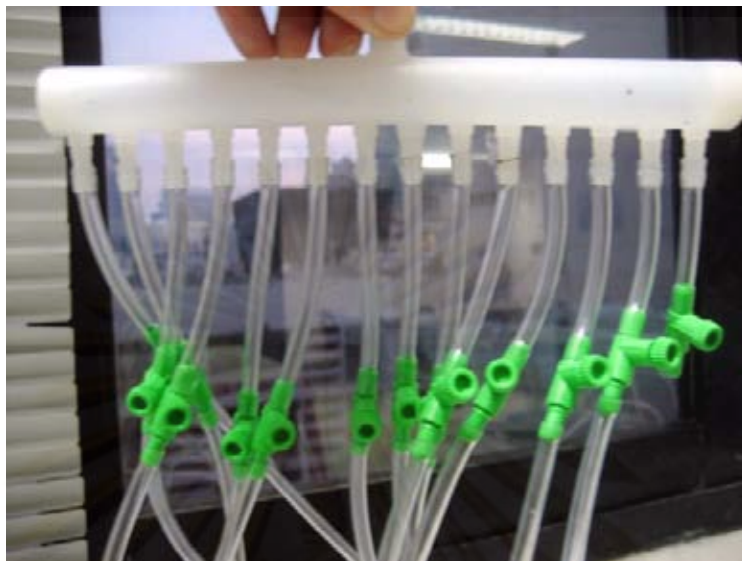
$$\begin{aligned} v &= Q/A && \text{.....สมการที่ 3.1} \\ &= (0.139 \times 1,000) / (\pi \times 0.2^2 \times 100) \\ &= 11.05 && \text{m/s} \end{aligned}$$

เผื่อค่า safety factor ที่ 50 % ดังนั้นจึงตั้งค่าความเร็วลมที่หัวจ่าย 5 m/s

3.2.6.4 ดำเนินการฉายรังสีตามแนวทางที่ได้กำหนดไว้โดยมีผังการวางน้ำมัน  
ตัวอย่างผสมในการฉายรังสีดังที่แสดงในรูปที่ 3.33 และ 3.34 และมีรหัสกลุ่มตัวอย่างอธิบาย  
รายละเอียดตามตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.33 การเตรียมจุกยางที่มีท่อนำก๊าซ 2 ท่อสำหรับให้อากาศไหลเวียนเข้าออก



รูปที่ 3.34 วาล์วควบคุมอากาศและลักษณะการกระจายหัวจ่ายที่ใช้ในการทดลอง

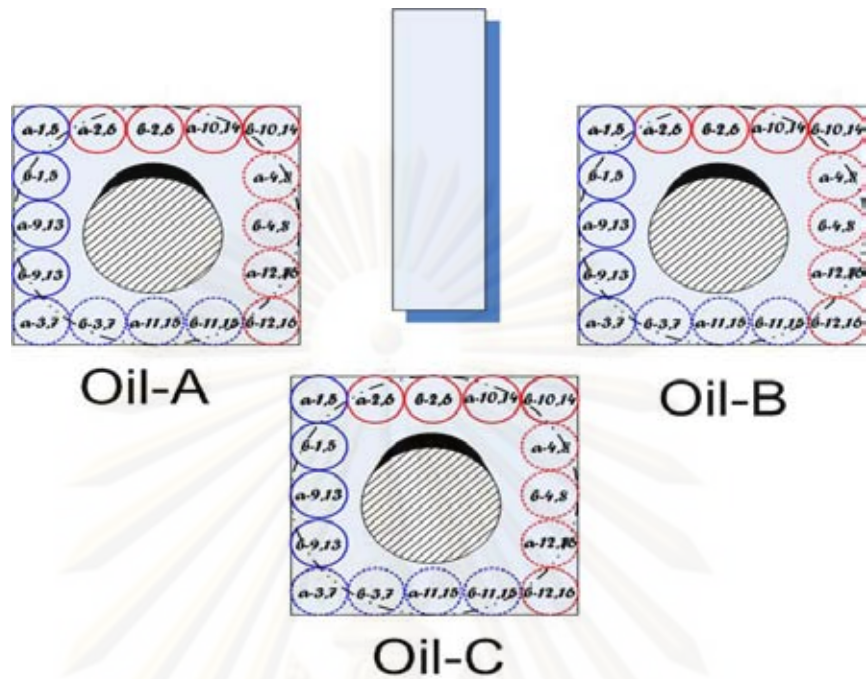


รูปที่ 3.35 ลักษณะการวางกลุ่มตัวอย่างจริงในการฉายรังสี



ตารางที่ 3.6 รหัสกลุ่มตัวอย่างอธิบายประกอบผังการวางกลุ่มตัวอย่างในการฉายรังสี

น้ำมันปาล์ม (A) / น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี (B) / น้ำมันหมู (C)					
ตัวทำละลาย	อัตราส่วน	ปริมาณรังสี (kGy)	การเติมอากาศ	45 °C	75 °C
Ethyl Alcohol	4:1	30	อากาศ	a 1	a 5
Ethyl Alcohol	4:1	30	ไม่มี	a 2	a 6
Ethyl Alcohol	4:1	50	อากาศ	a 3	a 7
Ethyl Alcohol	4:1	50	ไม่มี	a 4	a 8
Ethyl Alcohol	3:2	30	อากาศ	a 9	a 13
Ethyl Alcohol	3:2	30	ไม่มี	a 10	a 14
Ethyl Alcohol	3:2	50	อากาศ	a 11	a 15
Ethyl Alcohol	3:2	50	ไม่มี	a 12	a 16
Diesel	4:1	30	อากาศ	b 1	b 5
Diesel	4:1	30	ไม่มี	b 2	b 6
Diesel	4:1	50	อากาศ	b 3	b 7
Diesel	4:1	50	ไม่มี	b 4	b 8
Diesel	3:2	30	อากาศ	b 9	b 13
Diesel	3:2	30	ไม่มี	b 10	b 14
Diesel	3:2	50	อากาศ	b 11	b 15
Diesel	3:2	50	ไม่มี	b 12	b 16



รูปที่ 3.36 ผังการวางกลุ่มตัวอย่างในการฉายรังสี

3.2.7 ตรวจวัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างเปรียบเทียบก่อนและหลังฉายรังสีโดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ CANNON VISCOSITY METER รุ่น CAV-2000 ที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) กรณีที่ตัวทำละลายเป็น Ethyl Alcohol จะทำการสกัดตัวทำละลายออกจากน้ำมันตัวอย่างก่อนนำไปตรวจวัดค่าความหนืดทั้งก่อนและหลังทำการฉายรังสี น้ำมันตัวอย่างและน้ำมันตัวอย่างผสมหลังทำการฉายรังสีแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 3.37 – 3.41



รูปที่ 3.37 น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลหลังทำการฉายรังสี



รูปที่ 3.38 น้ำมันปาล์มผสม Ethyl Alcohol หลังทำการฉายรังสีที่ทำการสกัด Ethyl Alcohol ออก



รูปที่ 3.39 น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีผสมน้ำมันดีเซลหลังทำการฉายรังสี



รูปที่ 3.40 น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีผสม Ethyl Alcohol หลังทำการฉายรังสี  
ที่ทำการสกัด Ethyl Alcohol ออก



รูปที่ 3.41 น้ำมันหมูผสมน้ำมันดีเซลหลังทำการฉายรังสีและน้ำมันหมูผสม Ethyl Alcohol  
หลังทำการฉายรังสีที่ทำการสกัด Ethyl Alcohol ออก

3.2.8 ทำการสรุปผลการลดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมทั้งก่อน  
และหลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

### 3.3. การวิเคราะห์ข้อมูล

แนวทางการวิเคราะห์ผลการลดความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมโดยการฉายรังสีแกมมาจากการควบคุมปัจจัยทั้ง 6 เมื่อทำการตรวจวัดค่าความหนืดโดยเครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติทั้งก่อนและหลังทำการฉายรังสีแกมมาตามรูปแบบการทดลองที่กำหนด มีแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

3.3.1 วิเคราะห์ผลการลดความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมก่อนและหลังทำการฉายรังสีตามมาตรฐาน ASTM D 445 เป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อศึกษาผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ทำการเปรียบเทียบผลการลดความหนืดทุกกลุ่มตัวอย่างที่ดำเนินการเป็นค่าเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับค่าความหนืดก่อนทำการฉายรังสี

3.3.2 วิเคราะห์ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ทำการศึกษา เป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อศึกษาผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยในการทดลอง โดยนำเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดของแต่ละกลุ่มตัวอย่างจากข้อ 3.3.1 มาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดจากแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษา เช่น ปัจจัยอุณหภูมิทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดกลุ่มตัวอย่างที่มีฉายรังสีที่อุณหภูมิระหว่าง 45 กับ 75 °C ของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นชนิดน้ำมันชนิดเดียวกัน ใช้ตัวทำละลายเหมือนกัน มีสัดส่วนการผสมเท่ากัน และการควบคุมการเติมอากาศระหว่างฉายรังสีเหมือนกัน

3.3.3 วิเคราะห์ผลทางสถิติตรวจสอบนัยสำคัญของปัจจัยที่ทำการศึกษา เป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลการวิจัยและศึกษานัยสำคัญของปัจจัยที่ทำการศึกษา โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ General Linear Model (GLM) โดยโปรแกรม Mini Tab (STATSOFT INC, 1984-2008) เป็นการวิเคราะห์พิจารณาผลอันเกิดจากชุดตัวแปรต้นคือเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดหลังฉายรังสีจากหัวข้อ 3.3.1 ในคราวเดียวกันและร่วมกันเหมือนกับการวิเคราะห์ถดถอย เพื่อให้ GLM นำไปหาค่าผลกระทบจากชุดตัวแปรต้นในการวิจัย โดยในการวิเคราะห์แบบ GLM แบ่งการทดสอบเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square;  $R^2$ ) การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.3.1 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square;  $R^2$ ) โดยนำผลเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดจากการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย (input variables) ตามรูปแบบการทดลองที่ออกแบบ เพื่อประเมินว่าปัจจัยใดมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญโดยกำหนดระดับนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ที่ 95 % หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่ามากแสดงให้เห็นว่าผลการวิจัยสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบสมการทางคณิตศาสตร์ ในทางกลับกันหากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าน้อยแสดงว่าผลการวิจัยนั้นมีสิ่งที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์เป็นจำนวนมาก ในเบื้องต้นหากผลการวิเคราะห์ข้อมูลรวมมีค่า  $R^2 < 95\%$  สามารถดำเนินการแยกข้อมูลที่มีความผิดปกติทางสถิติออกจากข้อมูลรวมซึ่งโปรแกรมจะมีการแสดงผลในส่วนนี้อยู่แล้วเพื่อนำกลุ่มข้อมูลชุดหลังที่ผ่านการคัดกรองไปทำการวิเคราะห์ผลอีกครั้งหนึ่ง หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในครั้งที่ 2 นี้ยังคงมีค่า  $R^2 < 95\%$  ควรดำเนินการปรับรูปแบบการทดลองใหม่เนื่องจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติสรุปได้ว่าผลที่ได้จากการทดลองนั้นไม่มีคุณภาพเพียงพอที่จะนำมาเป็นตัวแทนผลสรุปการวิจัยในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ทั้งนี้ในการคัดกรองข้อมูลผลการทดลองที่ผิดปกติออกจากผลการทดลองรวมควรดำเนินการเพียงแค่ครั้งเดียวเท่านั้นเนื่องจากจะส่งผลต่อภาพรวมการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลอง

3.3.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลโดยการทดสอบ 3 รูปแบบ คือ การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) การทดสอบความอิสระของข้อมูล (Independent Test) และการทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (Variance Stability Test) เป็นการตรวจสอบข้อมูลผลการทดลองที่ได้ออกแบบโดยรวมว่ามีรูปแบบการเก็บข้อมูลเหมาะสมเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อสรุปผลนัยสำคัญของปัจจัยในการวิจัยที่ออกแบบ

3.3.3.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เป็นการวิเคราะห์ถึงนัยสำคัญของตัวแปรต่างๆในการวิจัยที่เกิดจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และ ปัจจัยร่วม (Interaction Effect) โดยใช้ค่า P-Value ในตาราง Estimated Effects and Coefficients เป็นเกณฑ์เพื่อประเมินว่าปัจจัยใดมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญโดยกำหนดระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) = 0.05 นั่นคือค่า P-Value ควรมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายถึงค่าความเสี่ยงในการไม่ยอมรับสมมติฐานอยู่ในเกณฑ์ต่ำกล่าวคือปัจจัยนั้นมีนัยสำคัญต่อผลการวิจัยตามเงื่อนไขปัจจัยที่ทำการควบคุม หากปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมของตัวแปรใดไม่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 หมายถึงผลการวิจัยตามตัวแปรต้นนั้นมีค่าความเสี่ยงในการไม่ยอมรับสมมติฐานอยู่ในเกณฑ์สูงกล่าวคือ

ตัวแปรนั้นไม่มีนัยสำคัญต่อผลการวิจัยตามเงื่อนไขปัจจัยที่ทำการควบคุมโดยทำการพิจารณาผลจากปัจจัยร่วมก่อนแล้วจึงพิจารณาผลจากปัจจัยหลักของตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มของปัจจัยร่วมที่มีนัยสำคัญ

3.3.4 เปรียบเทียบค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมหลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ของตัวอย่างที่มีเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดน้อยที่สุด มากที่สุด และค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มปัจจัยที่ทำการศึกษากับค่าความหนืดตามข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซล ของกรมธุรกิจพลังงาน เป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อศึกษาความเป็นไปได้หรือแนวทางการขยายผลในการประยุกต์การใช้งานเทคนิครังสีนิวเคลียร์ โดยทำการเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมกับค่าความหนืดสูงสุดตามตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ข้อกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ.2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

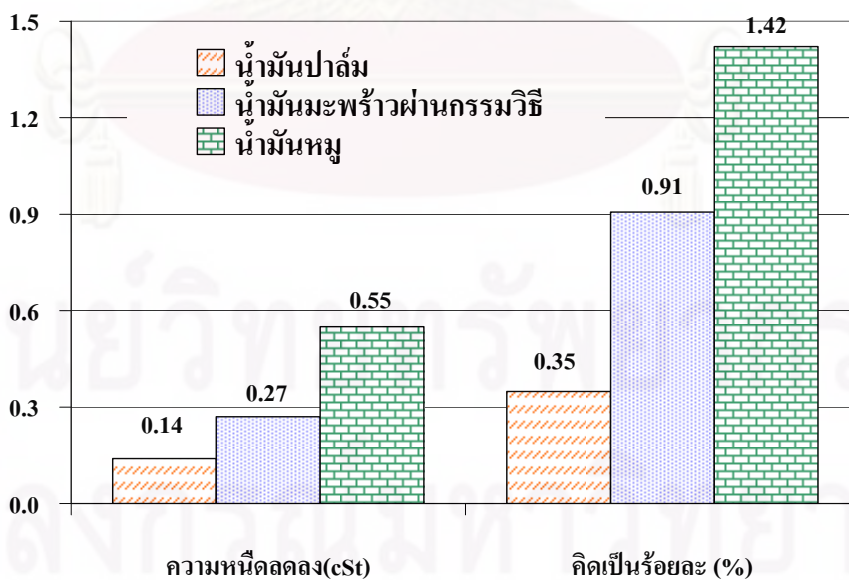
### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1. ผลการลดค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60

4.1.1 ผลการลดค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่างโดยฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยไม่มีการใช้ตัวแปรร่วม ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยไม่มีการใช้ตัวแปรร่วม

ชนิดน้ำมัน	ค่าความหนืด (cSt)		ค่าความหนืดลดลง	
	ก่อนฉายรังสี	หลังฉายรังสี	cSt	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
น้ำมันปาล์ม	40.15	40.01	0.14	0.35
น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี	29.79	29.52	0.27	0.91
น้ำมันหมู	38.69	38.14	0.55	1.42



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความความสัมพันธ์ของค่าความหนืดที่ลดลงและเปรียบเทียบเป็นร้อยละของน้ำมันตัวอย่างโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยไม่มีการใช้ตัวแปรร่วม



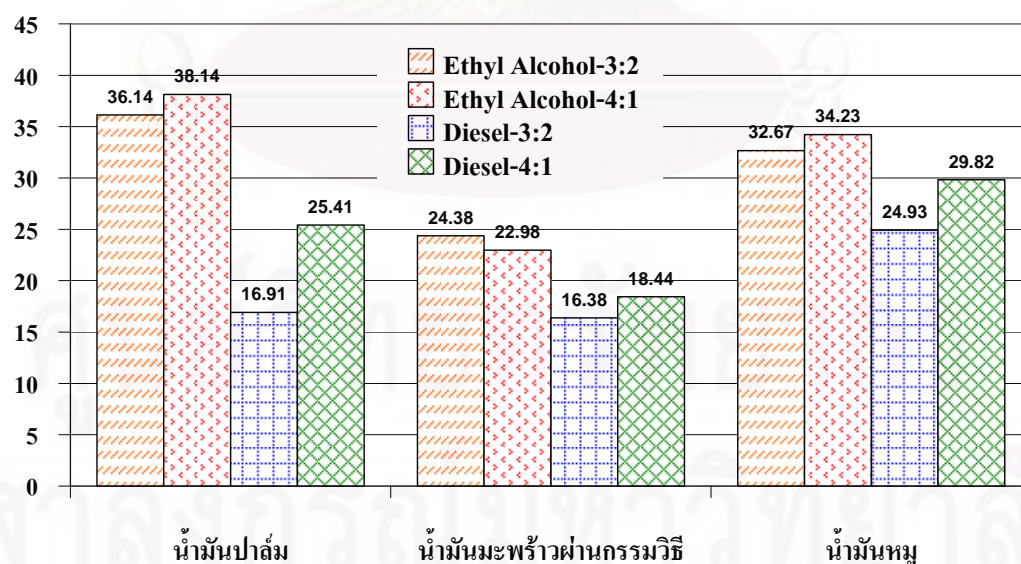
4.1.2 ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมก่อนและหลังทำการฉายรังสี มีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

4.1.2.1 ตรวจวัดค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมก่อนทำการฉายรังสี ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 โดยกลุ่มน้ำมันตัวอย่างที่ผสมกับ Ethyl Alcohol จะทำการสกัดออกจากน้ำมันก่อนตรวจวัดค่าความหนืด

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวัดความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมก่อนทำการฉายรังสี

รายละเอียดน้ำมันตัวอย่างผสม		ค่าความหนืดก่อนทำการฉายรังสี (cSt)		
ตัวทำละลาย	สัดส่วนการผสม (น้ำมัน:ตัวทำละลาย)	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าว ผ่านกรรมวิธี	น้ำมันหมู
Ethyl Alcohol	3:2	36.14	24.38	32.67
Ethyl Alcohol	4:1	38.14	22.98	34.23
Diesel	3:2	16.91	16.38	24.93
Diesel	4:1	25.41	18.44	29.82

ค่าความหนืด (cSt)



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง /น้ำมันตัวอย่างผสมก่อนทำการฉายรังสี

4.1.2.2 ตรวจวัดความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมหลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ตามรูปแบบการทดลองกำหนดชุดตัวแปร 6 ปัจจัย คือ ชนิดน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี และน้ำมันหมู ชนิดตัวทำละลาย ระหว่าง Ethyl Alcohol กับ Diesel สัดส่วนการผสม (น้ำมันตัวอย่าง:ตัวทำละลาย) ระหว่าง 4:1 และ 3:2 ปริมาณรังสีแกมมา ระหว่าง 30 และ 50 kGy การเติมอากาศและไม่เติมอากาศ และอุณหภูมิ ระหว่างฉายรังสีที่ 45 และ 75 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.3 - 4.5 และรูปที่ 4.3 - 4.8

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันปาล์มทำละลายกับ Ethyl Alcohol

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่กำหนด				ค่าความหนืด (cSt)		ค่าความหนืดลดลง	
	สัดส่วนการผสม	ปริมาณรังสี (kGy)	การเติมอากาศ	อุณหภูมิ (°C)	ก่อนฉายรังสี	หลังฉายรังสี	cSt	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
PA33A4	3:2	30	มี	45	36.14	22.17	13.97	38.66
PA33A7	3:2	30	มี	75	36.14	22.09	14.05	38.88
PA33N4	3:2	30	ไม่มี	45	36.14	23.62	12.52	34.64
PA33N7	3:2	30	ไม่มี	75	36.14	23.41	12.73	35.22
PA35A4	3:2	50	มี	45	36.14	22.22	13.92	38.52
PA35A7	3:2	50	มี	75	36.14	22.18	13.96	38.63
PA35N4	3:2	50	ไม่มี	45	36.14	23.68	12.46	34.48
PA35N7	3:2	50	ไม่มี	75	36.14	23.59	12.55	34.73
PA43A4	4:1	30	มี	45	38.14	23.42	14.72	38.59
PA43A7	4:1	30	มี	75	38.14	23.33	14.81	38.83
PA43N4	4:1	30	ไม่มี	45	38.14	25.04	13.10	34.35
PA43N7	4:1	30	ไม่มี	75	38.14	24.77	13.37	35.06
PA45A4	4:1	50	มี	45	38.14	23.47	14.67	38.46
PA45A7	4:1	50	มี	75	38.14	23.41	14.73	38.62
PA45N4	4:1	50	ไม่มี	45	38.14	25.41	12.73	33.38
PA45N7	4:1	50	ไม่มี	75	38.14	25.33	12.81	33.59

**หมายเหตุ** ดำเนินการกลั่นลำดับส่วนแยก Ethyl Alcohol ออกจากน้ำมันก่อนตรวจวัดความหนืด

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างผสมก่อนและหลังทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันปาล์มผสมกับ Diesel

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่กำหนด				ค่าความหนืด (cSt)		ค่าความหนืดลดลง	
	สัดส่วนการผสม	ปริมาณรังสี (kGy)	การเติมอากาศ	อุณหภูมิ (°C)	ก่อนฉายรังสี	หลังฉายรังสี	cSt	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
PD33A4	3:2	30	มี	45	12.67	16.91	4.24	25.07
PD33A7	3:2	30	มี	75	12.56	16.91	4.35	25.72
PD33N4	3:2	30	ไม่มี	45	13.97	16.91	2.94	17.39
PD33N7	3:2	30	ไม่มี	75	13.86	16.91	3.05	18.04
PD35A4	3:2	50	มี	45	12.73	16.91	4.18	24.72
PD35A7	3:2	50	มี	75	12.69	16.91	4.22	24.96
PD35N4	3:2	50	ไม่มี	45	13.98	16.91	2.93	17.33
PD35N7	3:2	50	ไม่มี	75	13.91	16.91	3	17.74
PD43A4	4:1	30	มี	45	22.68	25.41	2.73	10.74
PD43A7	4:1	30	มี	75	22.48	25.41	2.93	11.53
PD43N4	4:1	30	ไม่มี	45	23.47	25.41	1.94	7.63
PD43N7	4:1	30	ไม่มี	75	23.38	25.41	2.03	7.99
PD45A4	4:1	50	มี	45	22.82	25.41	2.59	10.19
PD45A7	4:1	50	มี	75	22.76	25.41	2.65	10.43
PD45N4	4:1	50	ไม่มี	45	23.45	25.41	1.96	7.71
PD45N7	4:1	50	ไม่มี	75	23.33	25.41	2.08	8.19

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีทำละลายกับ Ethyl Alcohol

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่กำหนด				ค่าความหนืด (cSt)		ค่าความหนืดลดลง	
	สัดส่วนการผสม	ปริมาณรังสี (kGy)	การเติมอากาศ	อุณหภูมิ (°C)	ก่อนฉายรังสี	หลังฉายรังสี	cSt	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
CA33A4	3:2	30	มี	45	13.67	24.38	10.71	43.93
CA33A7	3:2	30	มี	75	12.94	24.38	11.44	46.92
CA33N4	3:2	30	ไม่มี	45	14.67	24.38	9.71	39.83
CA33N7	3:2	30	ไม่มี	75	13.87	24.38	10.51	43.11
CA35A4	3:2	50	มี	45	14.02	24.38	10.36	42.49
CA35A7	3:2	50	มี	75	13.77	24.38	10.61	43.52
CA35N4	3:2	50	ไม่มี	45	14.88	24.38	9.5	38.97
CA35N7	3:2	50	ไม่มี	75	14.12	24.38	10.26	42.08
CA43A4	4:1	30	มี	45	14.89	22.98	8.09	35.2
CA43A7	4:1	30	มี	75	14.36	22.98	8.62	37.51
CA43N4	4:1	30	ไม่มี	45	16.23	22.98	6.75	29.37
CA43N7	4:1	30	ไม่มี	75	15.73	22.98	7.25	31.55
CA45A4	4:1	50	มี	45	15.23	22.98	7.75	33.72
CA45A7	4:1	50	มี	75	14.98	22.98	8	34.81
CA45N4	4:1	50	ไม่มี	45	18.54	22.98	4.44	19.32
CA45N7	4:1	50	ไม่มี	75	17.65	22.98	5.33	23.19

**หมายเหตุ** ดำเนินการกลั่นลำดับส่วนแยก Ethyl Alcohol ออกจากน้ำมันก่อนตรวจวัดความหนืด

ตารางที่ 4.6 ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างผสมก่อนและหลังทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีผสมกับ Diesel

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่กำหนด				ค่าความหนืด (cSt)		ค่าความหนืดลดลง	
	สัดส่วนการผสม	ปริมาณรังสี (kGy)	การเติมอากาศ	อุณหภูมิ (°C)	ก่อนฉายรังสี	หลังฉายรังสี	cSt	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
CD33A4	3:2	30	มี	45	10.11	16.38	6.27	38.28
CD33A7	3:2	30	มี	75	9.67	16.38	6.71	40.96
CD33N4	3:2	30	ไม่มี	45	11.7	16.38	4.68	28.57
CD33N7	3:2	30	ไม่มี	75	11.22	16.38	5.16	31.5
CD35A4	3:2	50	มี	45	10.23	16.38	6.15	37.55
CD35A7	3:2	50	มี	75	9.78	16.38	6.6	40.29
CD35N4	3:2	50	ไม่มี	45	11.71	16.38	4.67	28.51
CD35N7	3:2	50	ไม่มี	75	11.24	16.38	5.14	31.38
CD43A4	4:1	30	มี	45	13.76	18.44	4.68	25.38
CD43A7	4:1	30	มี	75	13.18	18.44	5.26	28.52
CD43N4	4:1	30	ไม่มี	45	14.42	18.44	4.02	21.8
CD43N7	4:1	30	ไม่มี	75	13.76	18.44	4.68	25.38
CD45A4	4:1	50	มี	45	14.98	18.44	3.46	18.76
CD45A7	4:1	50	มี	75	14.26	18.44	4.18	22.67
CD45N4	4:1	50	ไม่มี	45	16.23	18.44	2.21	11.98
CD45N7	4:1	50	ไม่มี	75	15.92	18.44	2.52	13.67

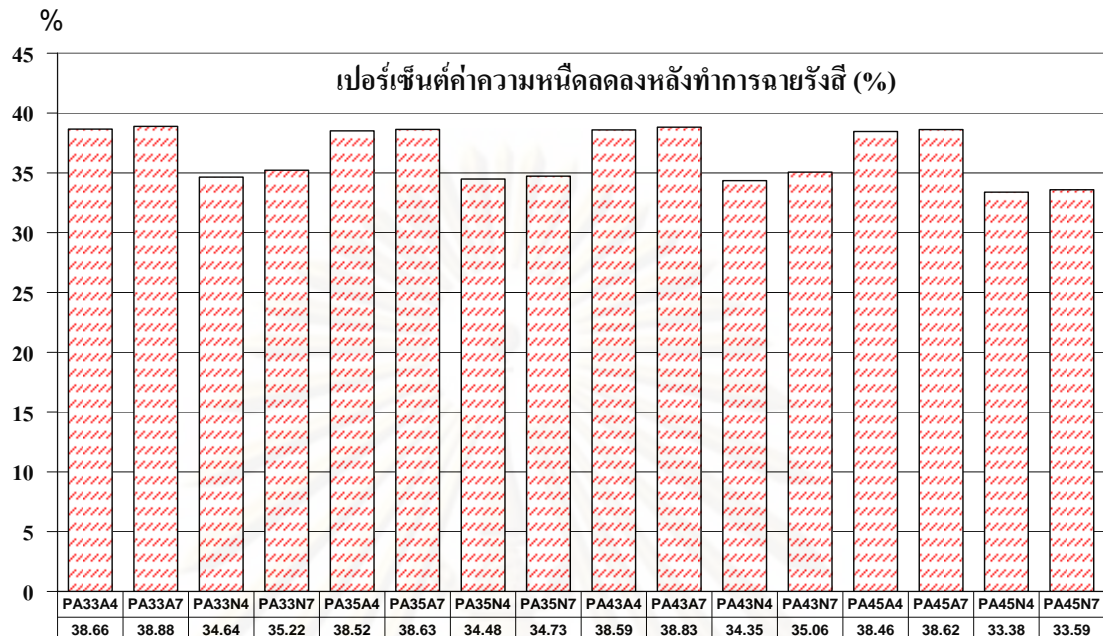
ตารางที่ 4.7 ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันหมู่มัถจะละลายกับ Ethyl Alcohol

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่กำหนด				ค่าความหนืด (cSt)		ค่าความหนืดลดลง	
	สัดส่วนการผสม	ปริมาณรังสี (kGy)	การเติมอากาศ	อุณหภูมิ (°C)	ก่อนฉายรังสี	หลังฉายรังสี	cSt	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
LA33A4	3:2	30	มี	45	22.78	32.67	9.89	30.27
LA33A7	3:2	30	มี	75	22.72	32.67	9.95	30.46
LA33N4	3:2	30	ไม่มี	45	24.48	32.67	8.19	25.07
LA33N7	3:2	30	ไม่มี	75	24.14	32.67	8.53	26.11
LA35A4	3:2	50	มี	45	22.86	32.67	9.81	30.03
LA35A7	3:2	50	มี	75	22.85	32.67	9.82	30.06
LA35N4	3:2	50	ไม่มี	45	24.67	32.67	8.00	24.49
LA35N7	3:2	50	ไม่มี	75	24.17	32.67	8.50	26.02
LA43A4	4:1	30	มี	45	23.42	34.23	10.81	31.58
LA43A7	4:1	30	มี	75	23.44	34.23	10.79	31.52
LA43N4	4:1	30	ไม่มี	45	25.75	34.23	8.48	24.77
LA43N7	4:1	30	ไม่มี	75	25.27	34.23	8.96	26.18
LA45A4	4:1	50	มี	45	23.56	34.23	10.67	31.17
LA45A7	4:1	50	มี	75	23.57	34.23	10.66	31.14
LA45N4	4:1	50	ไม่มี	45	25.87	34.23	8.36	24.42
LA45N7	4:1	50	ไม่มี	75	25.41	34.23	8.82	25.77

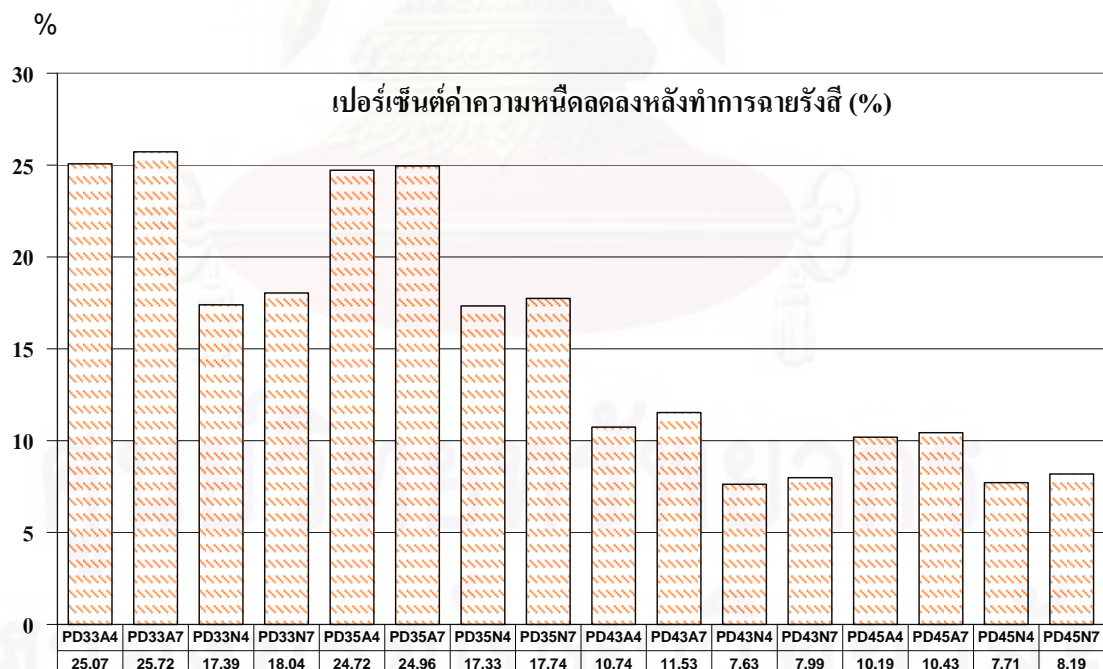
**หมายเหตุ** ดำเนินการกลั่นลำดับส่วนแยก Ethyl Alcohol ออกจากน้ำมันก่อนตรวจวัดความหนืด

ตารางที่ 4.8 ผลการตรวจวัดและการเปรียบเทียบค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่างผสมก่อนและหลัง  
ทำการฉายรังสี ตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดของน้ำมันหมูผสมกับ Diesel

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่กำหนด				ค่าความหนืด (cSt)		ค่าความหนืดลดลง	
	สัดส่วน การผสม	ปริมาณ รังสี (kGy)	การเติม อากาศ	อุณหภูมิ (°C)	ก่อน ฉายรังสี	หลัง ฉายรังสี	cSt	คิดเป็น เปอร์เซ็นต์
LD33A4	3:2	30	มี	45	18.46	24.93	6.47	25.95
LD33A7	3:2	30	มี	75	18.18	24.93	6.75	27.08
LD33N4	3:2	30	ไม่มี	45	19.38	24.93	5.55	22.26
LD33N7	3:2	30	ไม่มี	75	19.00	24.93	5.93	23.79
LD35A4	3:2	50	มี	45	18.52	24.93	6.41	25.71
LD35A7	3:2	50	มี	75	18.27	24.93	6.66	26.71
LD35N4	3:2	50	ไม่มี	45	20.02	24.93	4.91	19.7
LD35N7	3:2	50	ไม่มี	75	19.86	24.93	5.07	20.34
LD43A4	4:1	30	มี	45	24.89	29.82	4.93	16.53
LD43A7	4:1	30	มี	75	24.59	29.82	5.23	17.54
LD43N4	4:1	30	ไม่มี	45	26.62	29.82	3.20	10.73
LD43N7	4:1	30	ไม่มี	75	25.68	29.82	4.14	13.88
LD45A4	4:1	50	มี	45	25.29	29.82	4.53	15.19
LD45A7	4:1	50	มี	75	24.93	29.82	4.89	16.40
LD45N4	4:1	50	ไม่มี	45	26.77	29.82	3.05	10.23
LD45N7	4:1	50	ไม่มี	75	26.13	29.82	3.69	12.37

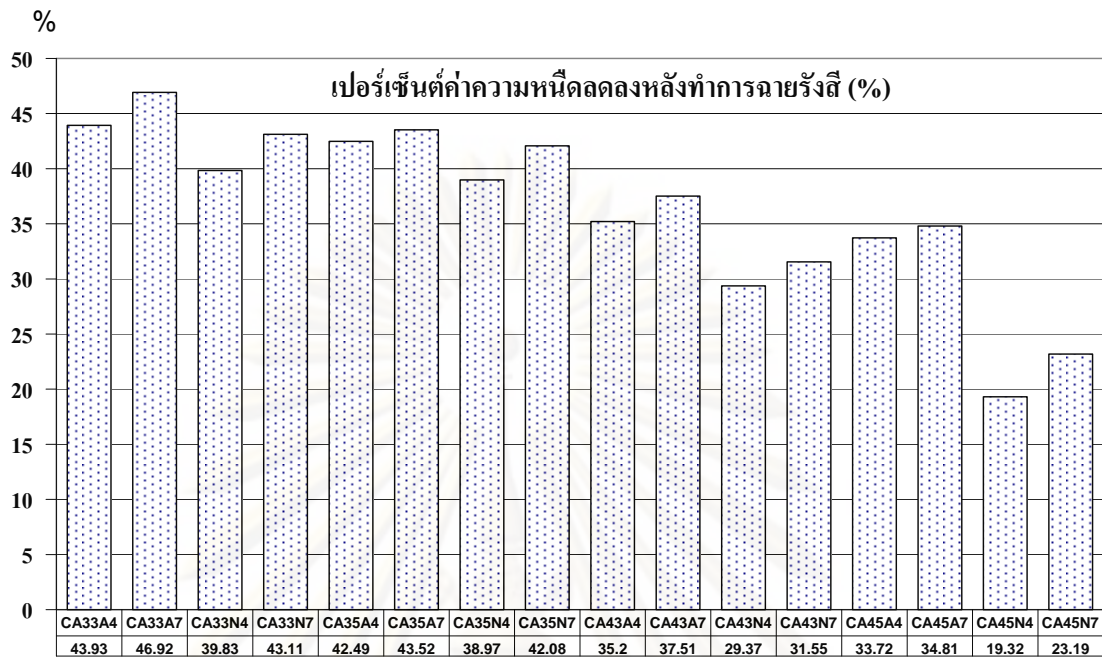


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดหลังทำการฉายรังสีที่ลดลง  
ของน้ำมันปาล์มทำละลายกับ Ethyl Alcohol

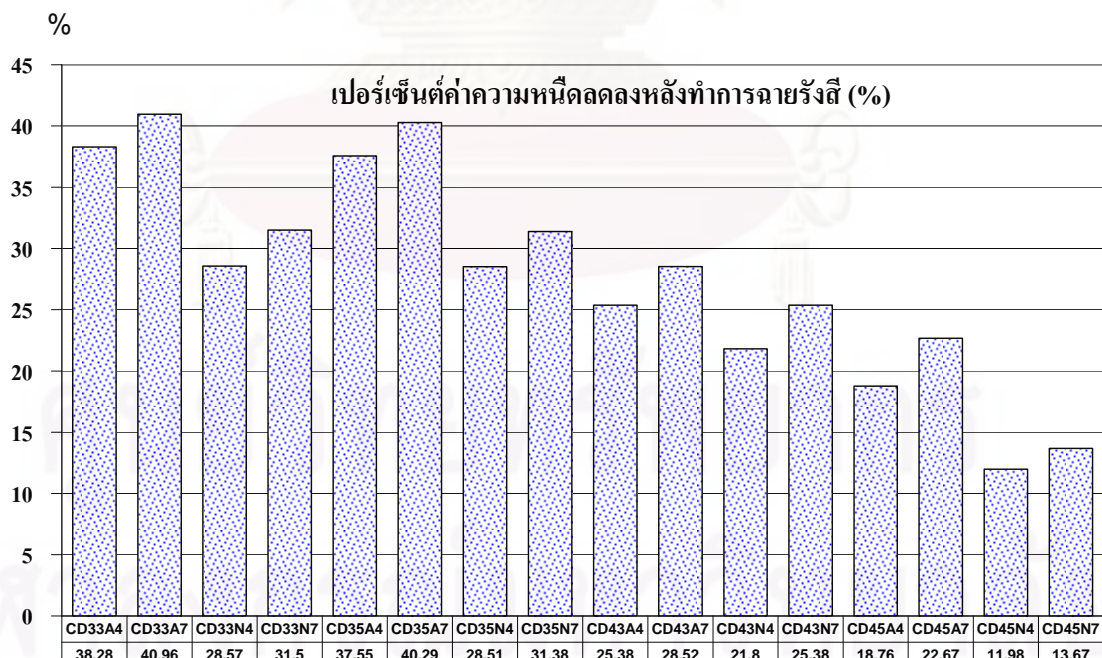


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดหลังทำการฉายรังสีที่ลดลง  
ของน้ำมันปาล์มผสมกับ Diesel

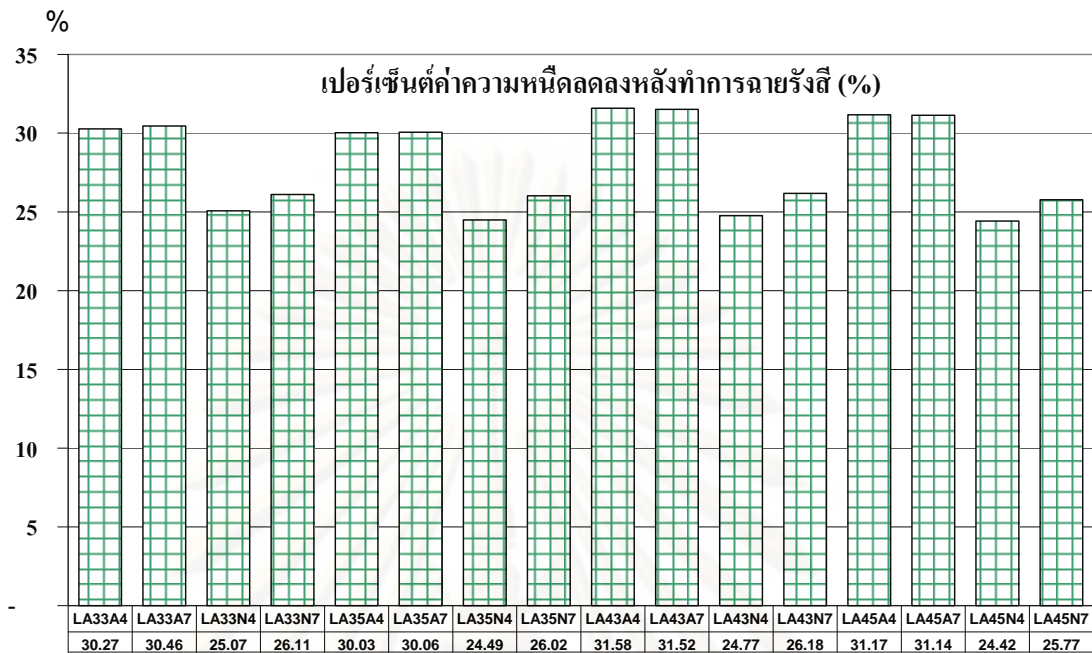




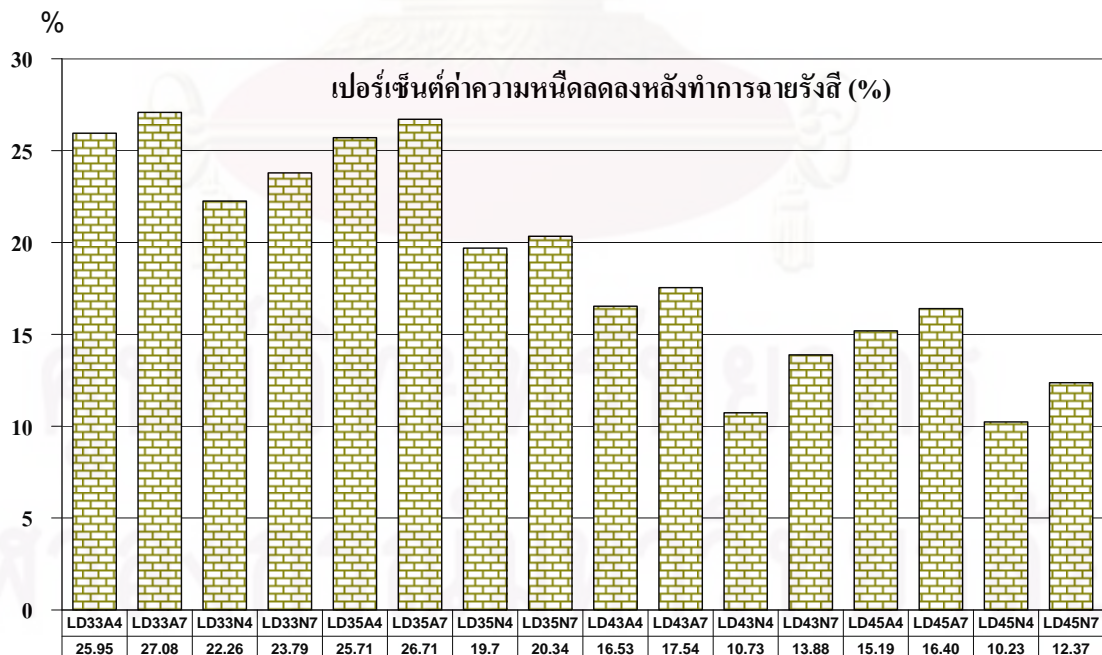
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดลดลงหลังทำการฉายรังสีที่ลดลง  
ของน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีทำละลายกับ Ethyl Alcohol



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดลดลงหลังทำการฉายรังสีที่ลดลง  
ของน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีผสมกับ Diesel



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดลดลงหลังทำการฉายรังสีที่ลดลง  
ของน้ำมันหมู่ว่าละลายกับ Ethyl Alcohol



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดลดลงหลังทำการฉายรังสีที่ลดลง  
ของน้ำมันหมูผสมกับ Diesel

#### 4.2. ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ทำการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมหลังทำการฉายรังสีเปรียบเทียบกับก่อนฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยทำการเปรียบเทียบแต่ละกลุ่มปัจจัยที่ทำการศึกษาจะได้รับความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดจากการฉายรังสีของแต่ละปัจจัยที่ควบคุม ดังนี้

- ชนิดน้ำมัน ระหว่าง น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี และน้ำมันหมู
- ชนิดตัวทำละลาย ระหว่าง Ethyl Alcohol และ Diesel
- สัดส่วนการผสม (น้ำมันตัวอย่าง:ตัวทำละลาย) ระหว่าง 4:1 และ 3:2
- ปริมาณรังสีแกมมา ระหว่าง 30 และ 50 kGy
- การเติมอากาศ ระหว่าง การเติมอากาศ และ การไม่เติมอากาศระหว่างการฉาย
- อุณหภูมิระหว่างการฉาย ระหว่าง 45 และ 75 °C

โดยผลการลดค่าความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงแต่ละปัจจัยสามารถสรุปผลได้ดังแสดงในตารางที่ 4.9 – 4.13 และรูปที่ 4.9 – 4.13

ตารางที่ 4.9 ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวทำละลายระหว่าง Ethyl Alcohol และ Diesel

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่ควบคุม				เปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดลดลง (%)		
	สัดส่วนการผสม	ปริมาณรังสี(kGy)	การเติมอากาศ	อุณหภูมิ (°C)	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี	น้ำมันหมู
X33A4	3:2	30	มี	45	13.59	5.65	4.32
X33A7	3:2	30	มี	75	13.16	5.96	3.38
X33N4	3:2	30	ไม่มี	45	17.25	11.26	2.81
X33N7	3:2	30	ไม่มี	75	17.18	11.61	2.32
X35A4	3:2	50	มี	45	13.80	4.94	4.32
X35A7	3:2	50	มี	75	13.67	3.23	3.35
X35N4	3:2	50	ไม่มี	45	17.15	10.46	4.79
X35N7	3:2	50	ไม่มี	75	16.99	10.70	5.68
X43A4	4:1	30	มี	45	27.85	9.82	15.05
X43A7	4:1	30	มี	75	27.30	8.99	13.98
X43N4	4:1	30	ไม่มี	45	26.72	7.57	14.04
X43N7	4:1	30	ไม่มี	75	27.07	6.17	12.30
X45A4	4:1	50	มี	45	28.27	14.96	15.98
X45A7	4:1	50	มี	75	28.19	12.14	14.74
X45N4	4:1	50	ไม่มี	45	25.67	7.34	14.19
X45N7	4:1	50	ไม่มี	75	25.40	9.52	13.40

ตารางที่ 4.10 ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการผสม (น้ำมันตัวอย่าง:ตัวทำละลาย) ระหว่าง 4:1 และ 3:2

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่ควบคุม				เปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดลดลง (%)		
	ตัวทำละลาย	ปริมาณรังสี(kGy)	การเติมอากาศ	อุณหภูมิ (°C)	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี	น้ำมันหมู
AX3A4	Ethyl Alcohol	30	มี	45	0.07	8.73	1.31
AX3A7	Ethyl Alcohol	30	มี	75	0.05	9.41	1.06
AX3N4	Ethyl Alcohol	30	ไม่มี	45	0.29	10.46	0.30
AX3N7	Ethyl Alcohol	30	ไม่มี	75	0.16	11.56	0.07
AX5A4	Ethyl Alcohol	50	มี	45	0.06	8.77	1.14
AX5A7	Ethyl Alcohol	50	มี	75	0.01	8.71	1.08
AX5N4	Ethyl Alcohol	50	ไม่มี	45	1.10	19.65	0.07
AX5N7	Ethyl Alcohol	50	ไม่มี	75	1.14	18.89	0.25
DX3A4	Diesel	30	มี	45	14.33	12.90	9.42
DX3A7	Diesel	30	มี	75	14.19	12.44	9.54
DX3N4	Diesel	30	ไม่มี	45	9.76	6.77	11.53
DX3N7	Diesel	50	ไม่มี	75	10.05	6.12	9.91
DX5A4	Diesel	50	มี	45	14.53	18.79	10.52
DX5A7	Diesel	50	มี	75	14.53	17.62	10.31
DX5N4	Diesel	50	ไม่มี	45	9.62	16.53	9.47
DX5N7	Diesel	50	ไม่มี	75	9.55	17.71	7.97

ตารางที่ 4.11 ผลการลดค่าความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีแกมมาระหว่าง 30 และ 50 kGy

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่ควบคุม				เปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดลดลง (%)		
	ตัวทำละลาย	สัดส่วนการผสม	การเติมอากาศ	อุณหภูมิ (°C)	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี	น้ำมันหมู
A3XA4	Ethyl Alcohol	3:2	มี	45	0.14	1.44	0.24
A3XA7	Ethyl Alcohol	3:2	มี	75	0.25	3.40	0.40
A3XN4	Ethyl Alcohol	3:2	ไม่มี	45	0.16	0.86	0.58
A3XN7	Ethyl Alcohol	3:2	ไม่มี	75	0.49	1.03	0.09
A4XA4	Ethyl Alcohol	4:1	มี	45	0.13	1.48	0.41
A4XA7	Ethyl Alcohol	4:1	มี	75	0.21	2.70	0.38
A4XN4	Ethyl Alcohol	4:1	ไม่มี	45	0.97	10.05	0.35
A4XN7	Ethyl Alcohol	4:1	ไม่มี	75	1.47	8.36	0.41
D3XA4	Diesel	3:2	มี	45	0.35	0.73	0.24
D3XA7	Diesel	3:2	มี	75	0.76	0.67	0.37
D3XN4	Diesel	3:2	ไม่มี	45	0.06	0.06	2.56
D3XN7	Diesel	3:2	ไม่มี	75	0.30	0.12	3.45
D4XA4	Diesel	4:1	มี	45	0.55	6.62	1.34
D4XA7	Diesel	4:1	มี	75	1.10	5.85	1.14
D4XN4	Diesel	4:1	ไม่มี	45	0.08	9.82	0.50
D4XN7	Diesel	4:1	ไม่มี	75	0.20	11.71	1.51

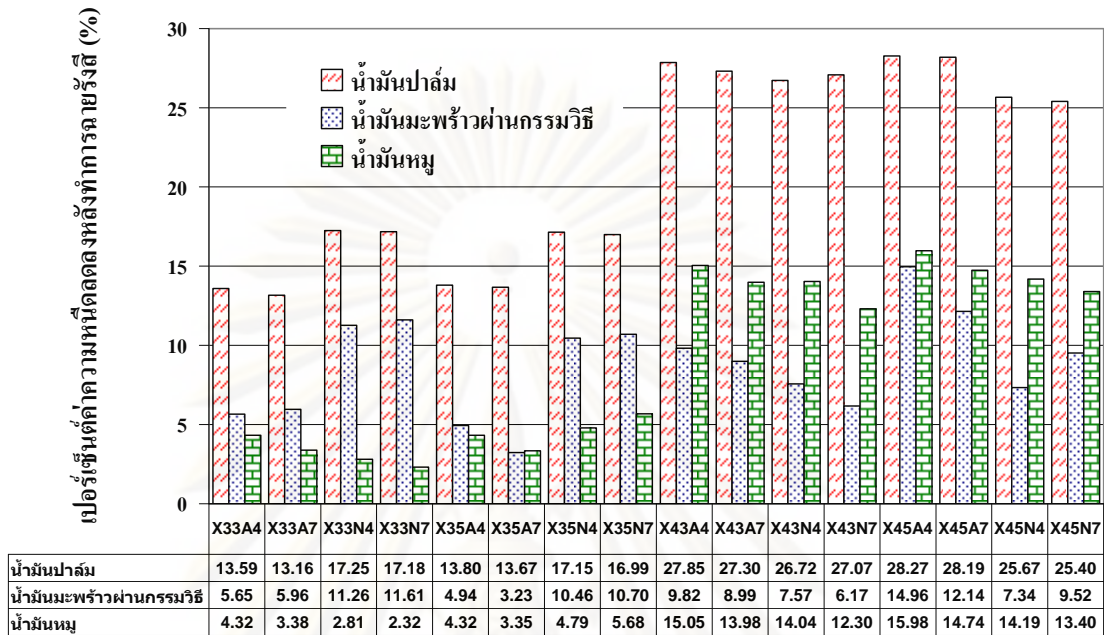
ตารางที่ 4.12 ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเติมอากาศและไม่เติมอากาศระหว่างทำการฉายรังสี

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่ควบคุม				เปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดลดลง (%)		
	ตัวทำละลาย	สัดส่วนการผสม	ปริมาณรังสี(kGy)	อุณหภูมิ (°C)	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี	น้ำมันหมู
A33X4	EthylAlcohol	3:2	30	45	4.02	4.10	5.20
A33X7	EthylAlcohol	3:2	30	75	3.66	3.81	4.35
A35X4	EthylAlcohol	3:2	50	45	4.04	3.52	5.54
A35X7	EthylAlcohol	3:2	50	75	3.90	1.44	4.04
A43X4	EthylAlcohol	4:1	30	45	4.24	5.83	6.81
A43X7	EthylAlcohol	4:1	30	75	3.77	5.96	5.34
A45X4	EthylAlcohol	4:1	50	45	5.08	14.40	6.75
A45X7	EthylAlcohol	4:1	50	75	5.03	11.62	5.37
D33X4	Diesel	3:2	30	45	7.68	9.71	3.69
D33X7	Diesel	3:2	30	75	7.68	9.46	3.29
D35X4	Diesel	3:2	50	45	7.39	9.04	6.01
D35X7	Diesel	3:2	50	75	7.22	8.91	6.37
D43X4	Diesel	4:1	30	45	3.11	3.58	5.80
D43X7	Diesel	4:1	30	75	3.54	3.14	3.66
D45X4	Diesel	4:1	50	45	2.48	6.78	4.96
D45X4	Diesel	4:1	50	75	2.24	9.00	4.03

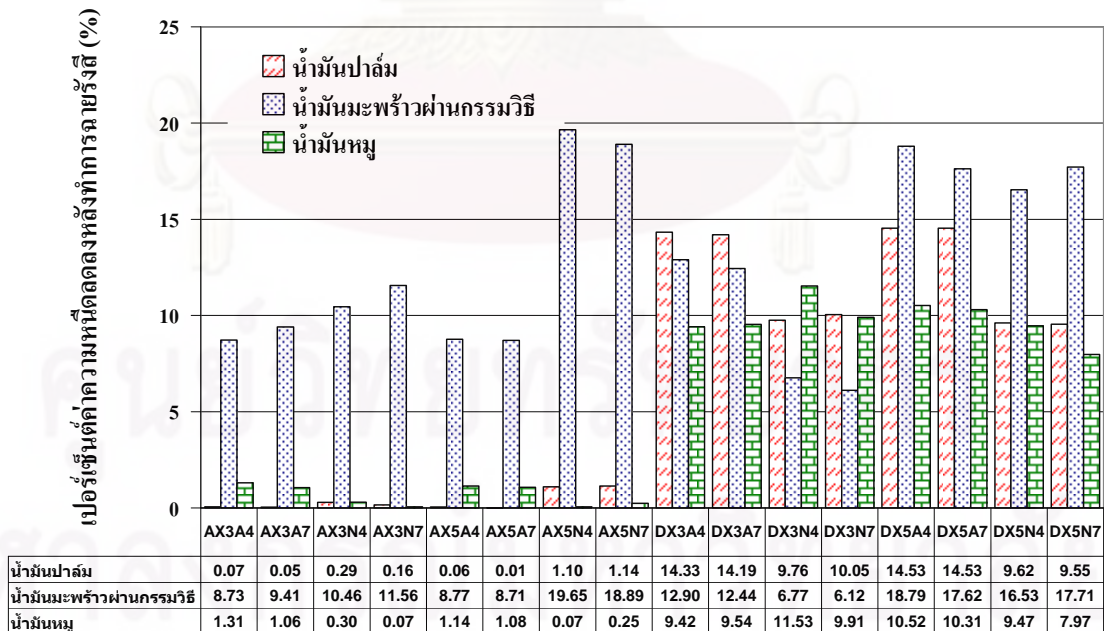
ตารางที่ 4.13 ผลการลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการฉายรังสีระหว่าง 45 และ 75 °C

รหัส	ปัจจัยอื่นๆ ที่ควบคุม				เปอร์เซ็นต์ค่าความหนืดลดลง (%)		
	ตัวทำละลาย	สัดส่วนการผสม	ปริมาณรังสี(kGy)	การเติมอากาศ	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี	น้ำมันหมู
A33AX	EthylAlcohol	3:2	30	มี	0.22	2.99	0.19
A33NX	EthylAlcohol	3:2	30	ไม่มี	0.58	3.28	1.04
A35AX	EthylAlcohol	3:2	50	มี	0.11	1.03	0.03
A35NX	EthylAlcohol	3:2	50	ไม่มี	0.25	3.11	1.53
A43AX	EthylAlcohol	4:1	30	มี	0.24	2.31	0.06
A43NX	EthylAlcohol	4:1	30	ไม่มี	0.71	2.18	1.41
A45AX	EthylAlcohol	4:1	50	มี	0.16	1.09	0.03
A45NX	EthylAlcohol	4:1	50	ไม่มี	0.21	3.87	1.35
D33AX	Diesel	3:2	30	มี	0.65	2.68	1.13
D33NX	Diesel	3:2	30	ไม่มี	0.65	2.93	1.53
D35AX	Diesel	3:2	50	มี	0.24	2.74	1.00
D35NX	Diesel	3:2	50	ไม่มี	0.41	2.87	0.64
D43AX	Diesel	4:1	30	มี	0.79	3.14	1.01
D43NX	Diesel	4:1	30	ไม่มี	0.36	3.58	3.15
D45AX	Diesel	4:1	50	มี	0.24	3.91	1.21
D45NX	Diesel	4:1	50	ไม่มี	0.48	1.69	2.14

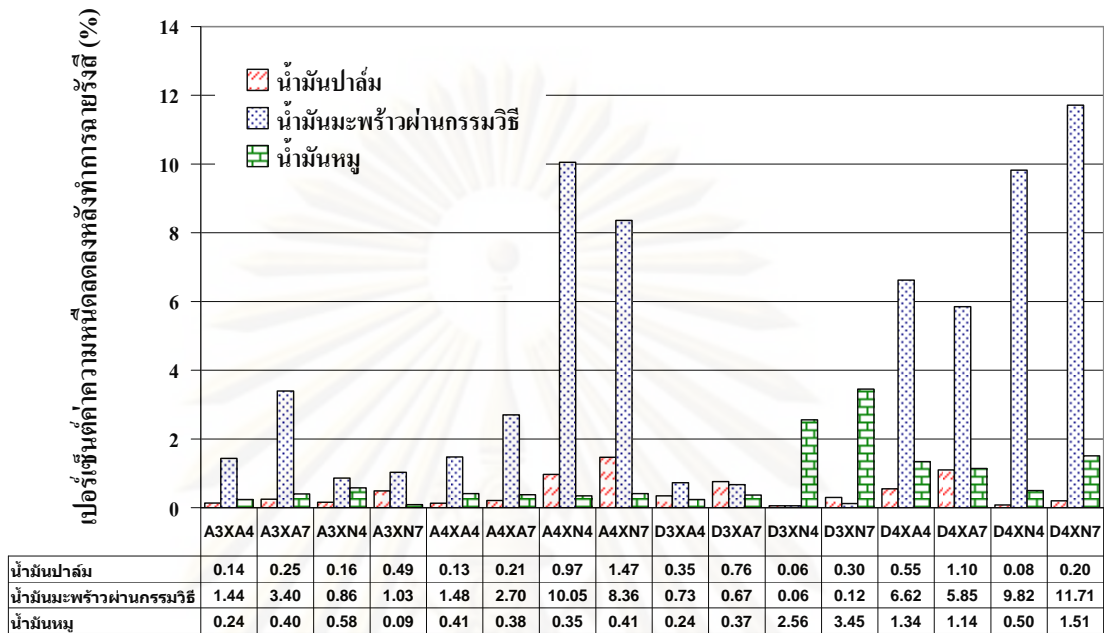




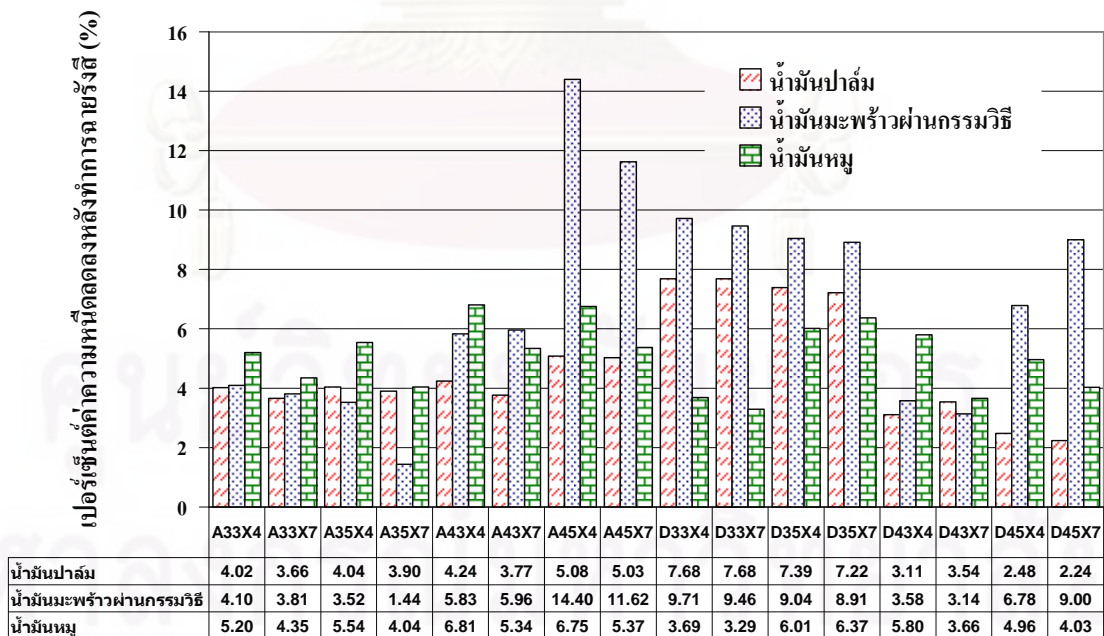
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมา จากการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวทำละลายระหว่าง Ethyl Alcohol และ Diesel



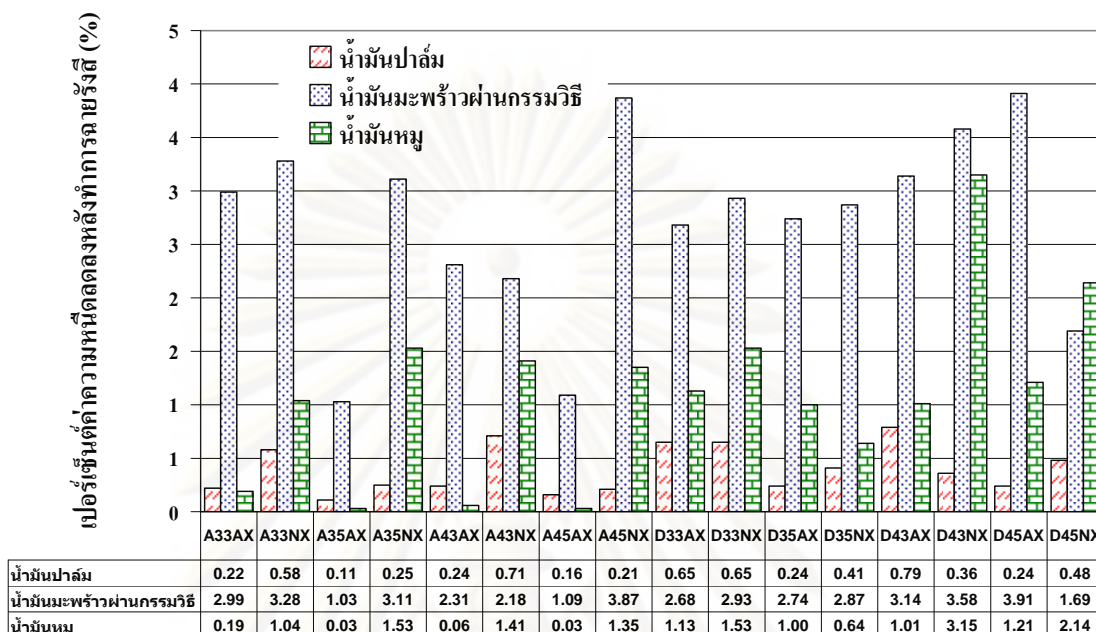
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมา จากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการผสม (น้ำมันตัวอย่าง:ตัวทำละลาย) ระหว่าง 4:1 และ 3:2



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมา จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีแกมมาระหว่าง 30 และ 50 kGy



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมา จากการเปลี่ยนแปลงการเติมอากาศและไม่เติมอากาศระหว่างทำการฉายรังสี



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมา จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการฉายรังสี 45 และ 75 °C

### 4.3. การวิเคราะห์ทางสถิติตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลและนัยสำคัญของปัจจัยที่ทำการศึกษา

ดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ General Linear Model (GLM) โดยโปรแกรม Mini Tab จากการกำหนดชุดตัวแปรในการวิจัยเพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์บางชนิดอย่างถาวรโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ดังนี้

- ชนิดน้ำมัน ระหว่าง น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี และน้ำมันหอย
- ชนิดตัวทำละลาย ระหว่าง Ethyl Alcohol และ Diesel
- สัดส่วนการผสม (น้ำมันตัวอย่าง:ตัวทำละลาย) ระหว่าง 4:1 และ 3:2
- ปริมาณรังสีแกมมา ระหว่าง 30 และ 50 kGy
- การเติมอากาศ ระหว่าง การเติมอากาศ และ การไม่เติมอากาศระหว่างการฉายรังสี
- อุณหภูมิระหว่างการฉาย ระหว่าง 45 และ 75 °C

ดำเนินการพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรม Mini Tab มีแนวทางการพิจารณาวิเคราะห์ผลดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R$ ; Square; $R^2$ ) จากผลการวิเคราะห์ค่า

$$S = 2.10280 \quad R\text{-Sq} = 96.83 \% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 95.64 \%$$

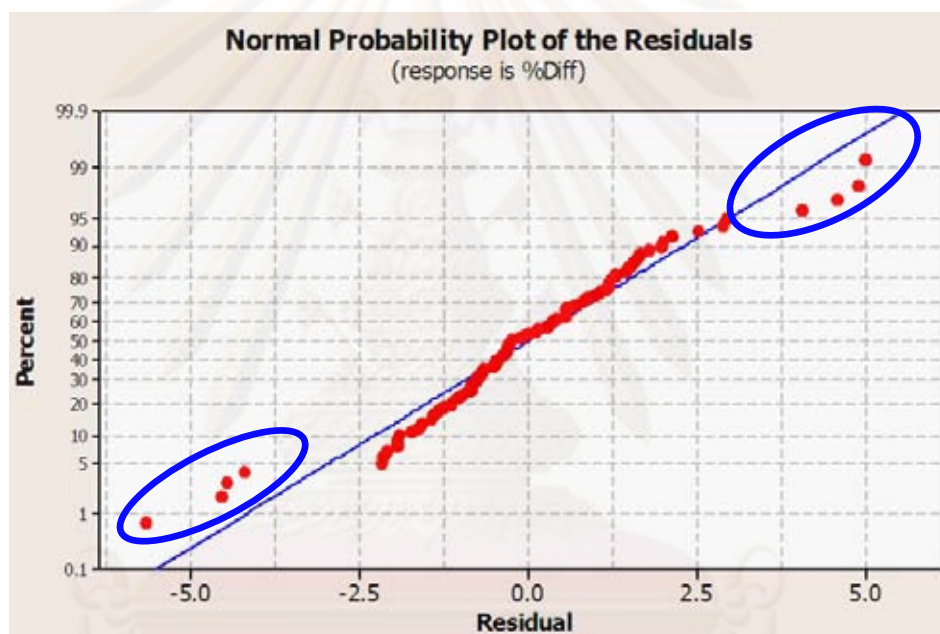
พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจคือ 96.83 % โดยพบข้อมูลที่มีแนวโน้มมีความผิดปกติจำนวน 8 ข้อมูล คิดเป็น 8.33 % จากจำนวนข้อมูลรวม 96 ข้อมูล แต่สามารถนำข้อมูลผลการทดลองทั้งหมดดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้และไม่ควรทำการตัดชุดข้อมูลที่มีแนวโน้มผิดปกติออกจากการวิเคราะห์นี้เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อนัยสำคัญรวมของการวิจัยสามารถสรุปผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจได้ว่าผลการลดความหนืดในการทดลองส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงตามรูปแบบที่กำหนดเป็นเงื่อนไขที่ระดับความเชื่อมั่น 96.83 % และรายละเอียดข้อมูลที่มีแนวโน้มความผิดปกติแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลที่มีแนวโน้มผิดปกติจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ GLM

ชุดข้อมูลที่	Code	%Diff	Fit SE	Fit Residual	Standard Residual	Diff Residual
39	CA35N4	38.97	34.9139	1.1152	4.0561	2.28 R
40	CA35N7	42.08	37.1870	1.1152	4.8930	2.74 R
47	CA45N4	19.32	24.9997	1.1152	-5.6797	-3.19 R
48	CA45N7	23.19	27.4107	1.1152	-4.2207	-2.37 R
51	CD33N4	28.57	33.0347	1.1152	-4.4647	-2.50 R
52	CD33N7	31.50	36.0486	1.1152	-4.5486	-2.55 R
59	CD43N4	21.80	17.2430	1.1152	4.5570	2.56 R
60	CD43N7	25.38	20.3949	1.1152	4.9851	2.80 R

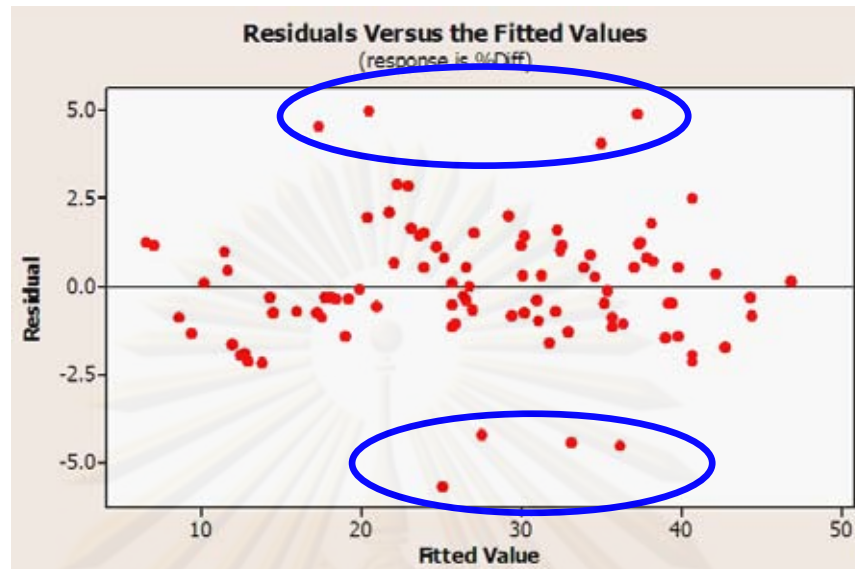
4.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลโดยการทดสอบ 3 รูปแบบ คือ การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) การทดสอบความอิสระของข้อมูล (Independent Test) และการทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (Variance Stability Test) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.2.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล พบว่าข้อมูลมีค่าเกาะกลุ่มอยู่ตามเส้นแนวโน้มดังแสดงในรูปที่ 4.14 สรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ว่าข้อมูลส่วนใหญ่สามารถอ้างอิงหรือทำนายผลได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์โดยข้อมูลที่มีแนวโน้มแตกต่างจากข้อมูลส่วนใหญ่ในกลุ่มจำนวน 8 ข้อมูลตามที่ได้แสดงในตาราง 4.14



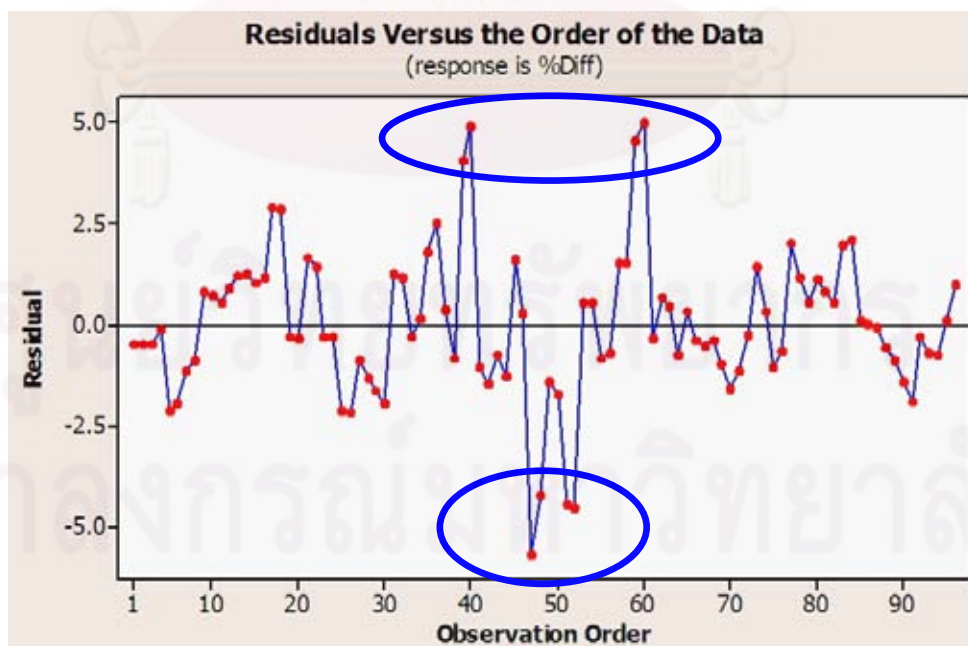
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล

4.3.2.2 การทดสอบความอิสระของข้อมูล พบว่าภาพรวมข้อมูลมาจากลักษณะการเก็บผลแบบสุ่มกระจายและมีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันดังแสดงในรูปที่ 4.15 สรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ว่าข้อมูลมีแนวโน้มที่จะสามารถทำการวิเคราะห์ผลได้อย่างครอบคลุมโดยมีข้อมูลที่มีแนวโน้มแตกต่างจากข้อมูลส่วนใหญ่ในกลุ่มจำนวน 8 ข้อมูลตามที่ได้แสดงในตาราง 4.14



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบความอิสระของข้อมูล

4.3.2.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล พบว่าค่าความเบี่ยงเบนของกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่อยู่มีค่าอยู่ในช่วง  $\pm 2.5$  แสดงในรูปที่ 4.16 สรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีความน่าเชื่อถือเพียงพอโดยมีข้อมูลที่มีแนวโน้มแตกต่างจากข้อมูลส่วนใหญ่ในกลุ่มจำนวน 8 ข้อมูลตามที่ได้แสดงในตาราง 4.14



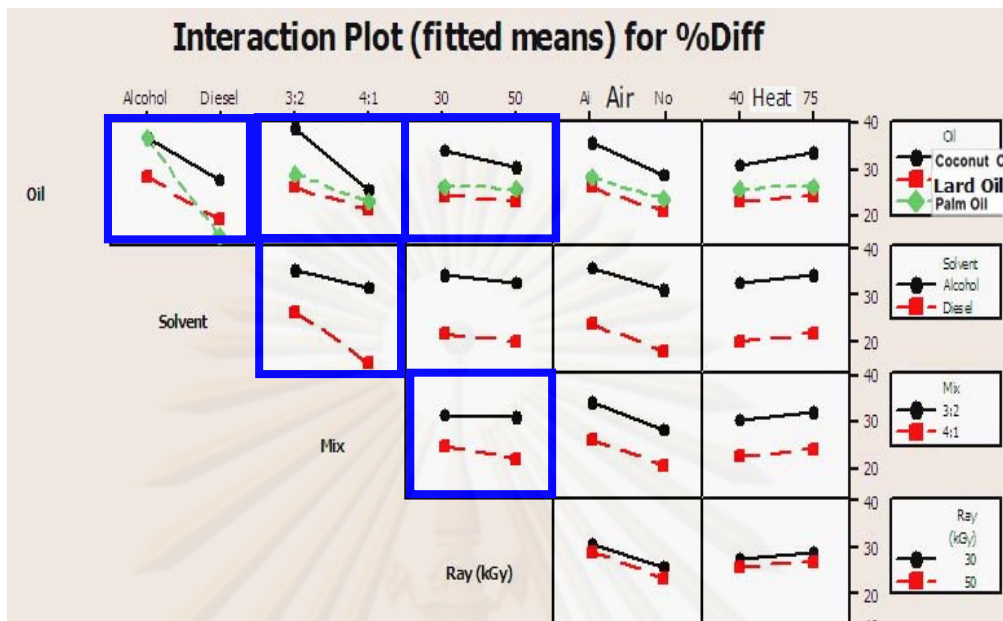
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลทั้งการทดสอบ 3 รูปแบบ ได้ว่า ข้อมูลคุณภาพเพียงพอที่จะนำมาเป็นตัวแทนสรุปผลอ้างอิงตามหลักการทางสถิติในการวิจัยได้ ส่วนชุดข้อมูลที่มีค่าเบี่ยงเบนอยู่นอกกลุ่มคือมีค่าใกล้  $\pm 5$  เป็นชุดข้อมูลที่อาจจะมีแนวโน้มที่มีความผิดปกติตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.3.1 แต่ไม่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ภาพรวมอย่างมีนัยสำคัญ

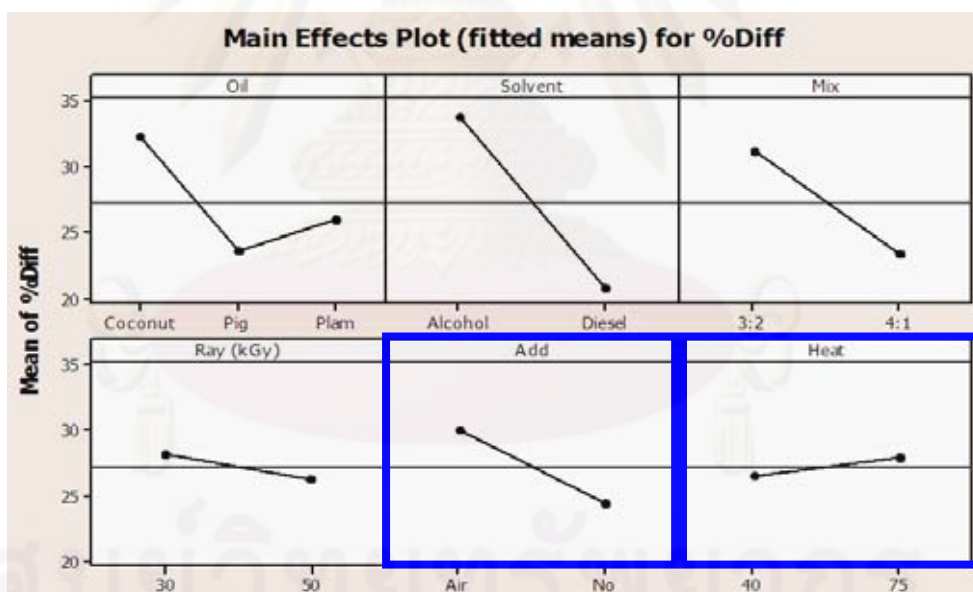
4.3.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) พิจารณาค่า P-Value จากแต่ละปัจจัยดังแสดงผลในตารางที่ 4.15 โดยเลือกพิจารณาจากค่าที่เป็นผลจาก ปัจจัยร่วม (Interaction Effect) และผลที่เกิดปัจจัยหลัก (Main Effect) ตามลำดับ มีความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยดังที่แสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ Analysis of Variance for %Diff, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P-Value
Oil	2	1,281.33	1,281.33	6,40.67	44.89	0
Solvent	1	4,058.99	4,058.99	4,058.99	917.96	0
Mix	1	1,497.29	1,497.29	1,497.29	338.62	0
Dose (kGy)	1	76.20	76.20	76.20	17.23	0
Air	1	740.3	740.31	740.31	167.43	0
Heat	1	46.72	46.72	46.72	10.57	0.002
Oil*Solvent	2	806.97	806.97	403.48	91.25	0
Oil*Mix	2	299.82	299.82	149.91	33.90	0
Oil* Dose (kGy)	2	62.91	62.91	31.45	7.11	0.002
Oil*Air	2	22.13	22.13	11.06	2.50	0.089
Oil*Heat	2	22.70	22.70	11.35	2.57	0.084
Solvent*Mix	1	372.45	372.45	372.45	84.23	0
Solvent* Dose (kGy)	1	1.91	1.91	1.91	0.43	0.514
Solvent* Air	1	1.25	1.25	1.25	0.28	0.597
Solvent*Heat	1	1.35	1.35	1.35	0.30	0.583
Mix*Ray (kGy)	1	24.03	24.03	24.03	5.43	0.023
Mix * Air	1	0.03	0.03	0.03	0.01	0.94
Mix *Heat	1	0.11	0.11	0.11	0.03	0.873
Dose (kGy)*Add	1	5.87	5.87	5.87	1.33	0.253
Dose (kGy)*Heat	1	0.43	0.43	0.43	0.10	0.757



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ห้้นัยสำคัญแบบ Interaction Plot



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ห้้นัยสำคัญแบบ Main Effects Plot

สรุปผลปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการวิจัยที่ระดับความเชื่อมั่น 96.83 % เกิดจาก ปัจจัยร่วมจำนวน 6 กลุ่มเงื่อนไข ได้แก่ ชนิดน้ำมันกับชนิดตัวทำละลาย ชนิดน้ำมันกับสัดส่วน การผสม ชนิดน้ำมันกับปริมาณรังสีที่ฉาย ชนิดตัวทำละลายกับสัดส่วนการผสม สัดส่วนการผสม กับปริมาณรังสีที่ฉาย และเกิดจากปัจจัยหลักของตัวแปรต้นจำนวน 2 ปัจจัย คือ การเติมอากาศ และอุณหภูมิระหว่างทำการฉาย



#### 4.4. การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมหลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 กับค่าความหนืดตามข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน

ข้อกำหนดคุณลักษณะด้านค่าความหนืดของไบโอดีเซลดังที่แสดงในรูปที่ 4.19 มีข้อกำหนดค่าความหนืดต้องมีค่าอยู่ในช่วง 1.9 – 8 cSt

รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน  
เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน)  
พ.ศ. ๒๕๕๙

รายการ	ข้อกำหนด	ขีดรากลุ่มค่า	วิธีทดสอบ <sup>๑</sup>		
1	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 <sup>๐</sup> ซ (Density at 15 <sup>๐</sup> C,	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร kg/m <sup>๓</sup> )	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 <sup>๐</sup> ซ (Viscosity at 40 <sup>๐</sup> C,	เซนติสโตกส์ cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	1.9 8.0	ASTM D 445
3	จุดวาบไฟ (Flash Point,	องศาเซลเซียส °C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93

รูปที่ 4.19 ข้อมูลมาตรฐานค่าความหนืดจากข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซล(ไบโอดีเซลชุมชน) ของกรมธุรกิจพลังงาน

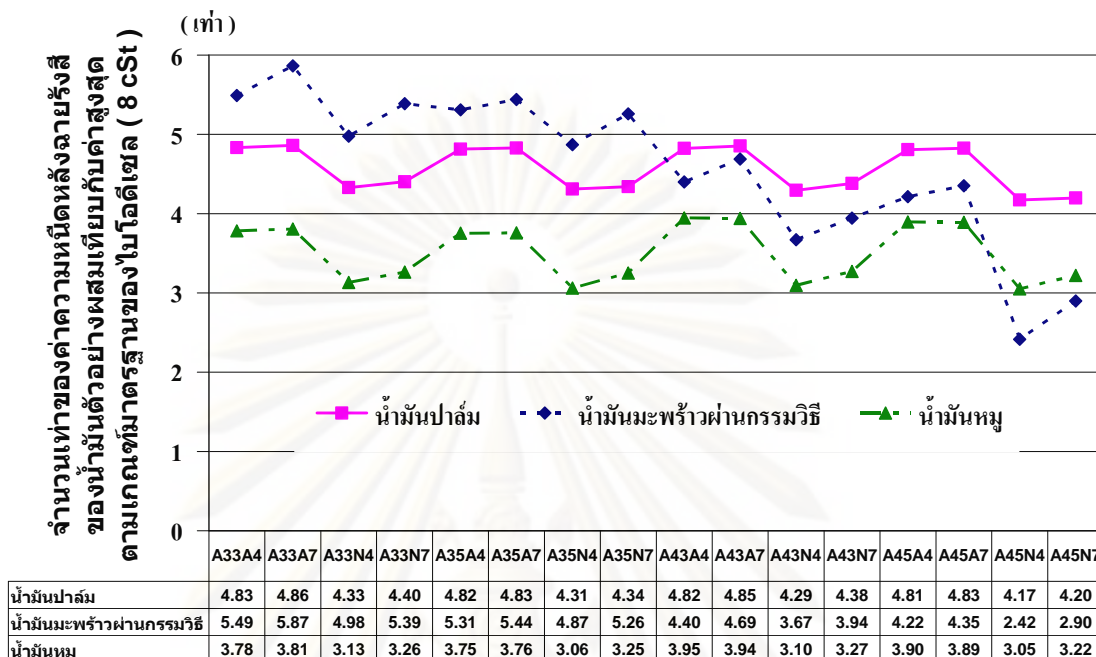
เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐานกับผลการเปรียบเทียบค่าความหนืดหลังการฉายรังสีของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมที่ทำการฉายรังสี โดยดำเนินการเปรียบเทียบแบ่งเป็น 2 ส่วนตามชนิดตัวทำละลาย ได้แก่ กรณีใช้ Ethyl Alcohol และกรณีใช้ Diesel เป็นตัวทำละลาย เนื่องจากตรวจวัดค่าความหนืดนั้นได้แบ่งตามลักษณะการนำไปใช้งานจริง คือ กรณีใช้ Ethyl Alcohol เป็นตัวทำละลายจะทำการสกัดตัวทำละลายออกจากน้ำมันตัวอย่างก่อนนำไปใช้งานเพื่อป้องกันผลกระทบอื่นที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ ส่วนกรณีใช้ Diesel เป็นตัวทำละลายหลังทำการฉายรังสีสามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ทันที รายละเอียดผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 14.16 - 14.17 และรูปที่ 14.20 – 14.21

ตารางที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนืดหลังการฉายรังสีของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมกับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซล กรณีใช้ Ethyl Alcohol เป็นตัวทำละลาย

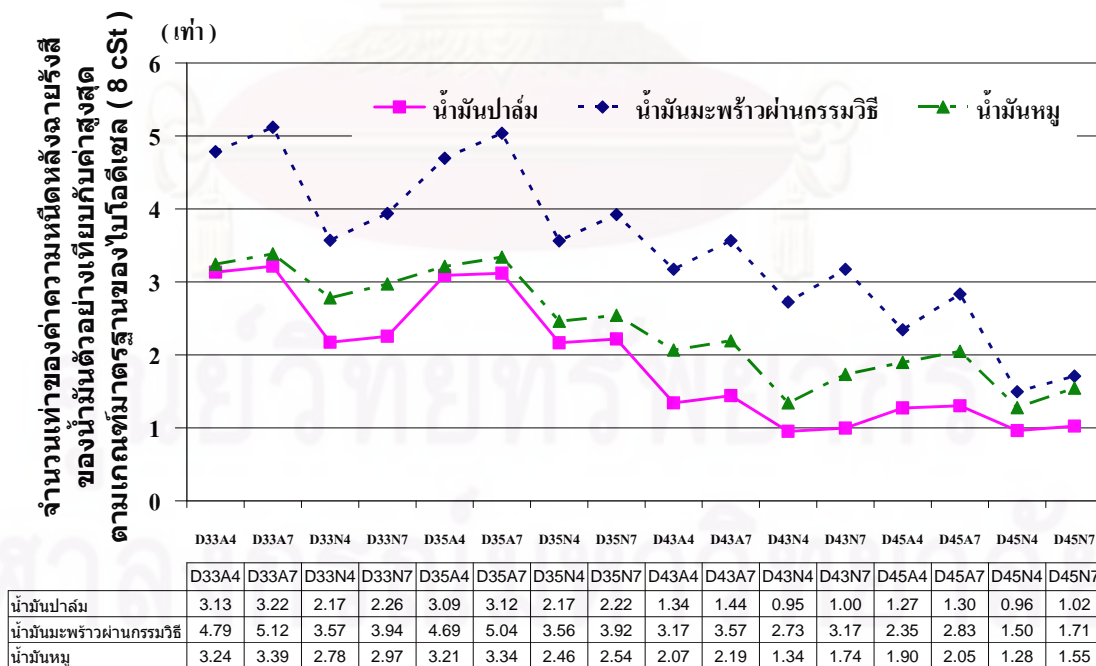
รหัส	สัดส่วนการผสม	ปริมาณรังสี(kGy)	การเติมอากาศ	อุณหภูมิ (°C)	จำนวนเท่าของค่าความหนืดหลังการฉายรังสีเปรียบเทียบกับเกณฑ์สูงสุดที่ยอมรับได้ ( 8 cSt)		
					น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี	น้ำมันหมู
A33A4	3:2	30	มี	40	4.83	5.49	3.78
A33A7	3:2	30	มี	75	4.86	5.87	3.81
A33N4	3:2	30	ไม่มี	40	4.33	4.98	3.13
A33N7	3:2	30	ไม่มี	75	4.40	5.39	3.26
A35A4	3:2	50	มี	40	4.82	5.31	3.75
A35A7	3:2	50	มี	75	4.83	5.44	3.76
A35N4	3:2	50	ไม่มี	40	4.31	4.87	3.06
A35N7	3:2	50	ไม่มี	75	4.34	5.26	3.25
A43A4	4:1	30	มี	40	4.82	4.40	3.95
A43A7	4:1	30	มี	75	4.85	4.69	3.94
A43N4	4:1	30	ไม่มี	40	4.29	3.67	3.10
A43N7	4:1	30	ไม่มี	75	4.38	3.94	3.27
A45A4	4:1	50	มี	40	4.81	4.22	3.90
A45A7	4:1	50	มี	75	4.83	4.35	3.89
A45N4	4:1	50	ไม่มี	40	4.17	2.42	3.05
A45N7	4:1	50	ไม่มี	75	4.20	2.90	3.22

ตารางที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนืดหลังการฉายรังสีของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมกับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซล กรณีใช้ Diesel เป็นตัวทำละลาย

รหัส	สัดส่วนการผสม	ปริมาณรังสี (kGy)	การเติมอากาศ	อุณหภูมิ (°C)	จำนวนเท่าของค่าความหนืดหลังการฉายรังสีเปรียบเทียบกับเกณฑ์สูงสุดที่ยอมรับได้ ( 8 cSt)		
					น้ำมันปาล์ม	น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี	น้ำมันหมู
D33A4	3:2	30	มี	40	3.13	4.79	3.24
D33A7	3:2	30	มี	75	3.22	5.12	3.39
D33N4	3:2	30	ไม่มี	40	2.17	3.57	2.78
D33N7	3:2	30	ไม่มี	75	2.26	3.94	2.97
D35A4	3:2	50	มี	40	3.09	4.69	3.21
D35A7	3:2	50	มี	75	3.12	5.04	3.34
D35N4	3:2	50	ไม่มี	40	2.17	3.56	2.46
D35N7	3:2	50	ไม่มี	75	2.22	3.92	2.54
D43A4	4:1	30	มี	40	1.34	3.17	2.07
D43A7	4:1	30	มี	75	1.44	3.57	2.19
D43N4	4:1	30	ไม่มี	40	0.95	2.73	1.34
D43N7	4:1	30	ไม่มี	75	1.00	3.17	1.74
D45A4	4:1	50	มี	40	1.27	2.35	1.90
D45A7	4:1	50	มี	75	1.30	2.83	2.05
D45N4	4:1	50	ไม่มี	40	0.96	1.50	1.28
D45N7	4:1	50	ไม่มี	75	1.02	1.71	1.55



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์จำนวนเท่าของค่าความเหน็ดหลังการฉายรังสีของน้ำมันตัวอย่างผสมเทียบกับค่าสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล กรณีใช้ Ethyl Alcohol



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์จำนวนเท่าของค่าความเหน็ดหลังการฉายรังสีของน้ำมันตัวอย่างเทียบกับค่าสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล กรณีใช้ Diesel เป็นตัวทำละลาย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการลดความหนืดของน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมโดยการใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลจากการเปลี่ยนแปลงแต่ละปัจจัยที่ทำการควบคุมได้ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการลดค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมโดยการใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60

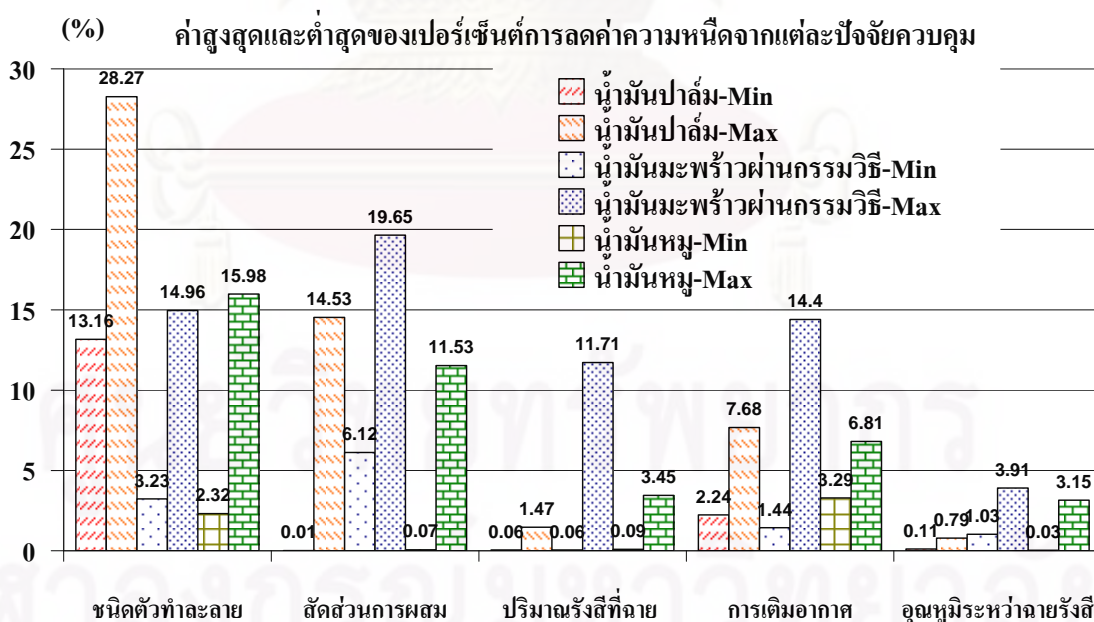
5.1.1.1 นัยสำคัญของแหล่งที่มา น้ำมันต่อค่าความหนืด พบว่าน้ำมันหมูมีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนืดแตกต่างจากแหล่งที่มามากที่สุดคือ 2.51 cSt คิดเป็น 6.49 % ส่วนน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีและน้ำมันปาล์มมีค่าความหนืดความแตกต่างใกล้เคียงกันคือ 0.61 และ 0.81 คิดเป็น 2.05 และ 2.02 % ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงความหนืดจากแหล่งที่มาที่มากับช่วงเกณฑ์ค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ยอมรับได้ของมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีค่าแตกต่างกันถึง 6.1 sCt คิดเป็น 76.25 % ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแหล่งที่มาที่แตกต่างกันของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี และน้ำมันหมูที่ทำการศึกษาวิจัยไม่มีนัยสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อการศึกษาวิจัย

5.1.1.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนืดน้ำมันตัวอย่างก่อนและหลังทำการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 โดยไม่มีการใช้ตัวแปรร่วม พบว่าน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี และน้ำมันหมูมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดจากการฉายรังสีมีค่าน้อยไปมากตามลำดับ กล่าวคือผลเฉพาะปัจจัยการฉายรังสีจะส่งผลการเปลี่ยนแปลงกับน้ำมันหมูมากที่สุดแต่อย่างไรก็ดีการลดความหนืดได้เพียง 1.42 % ยังคงมีค่าความหนืดสูงกว่าค่าสูงสุดของค่ามาตรฐานไบโอดีเซลถึง 4.76 เท่า ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาแนวทางดำเนินการควบคุมปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการฉายรังสีแกมมาเพื่อลดความหนืดน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี และน้ำมันหมูที่ทำการศึกษาให้มีแนวโน้มสามารถนำไปใช้ทดแทนไบโอดีเซลได้มากขึ้น

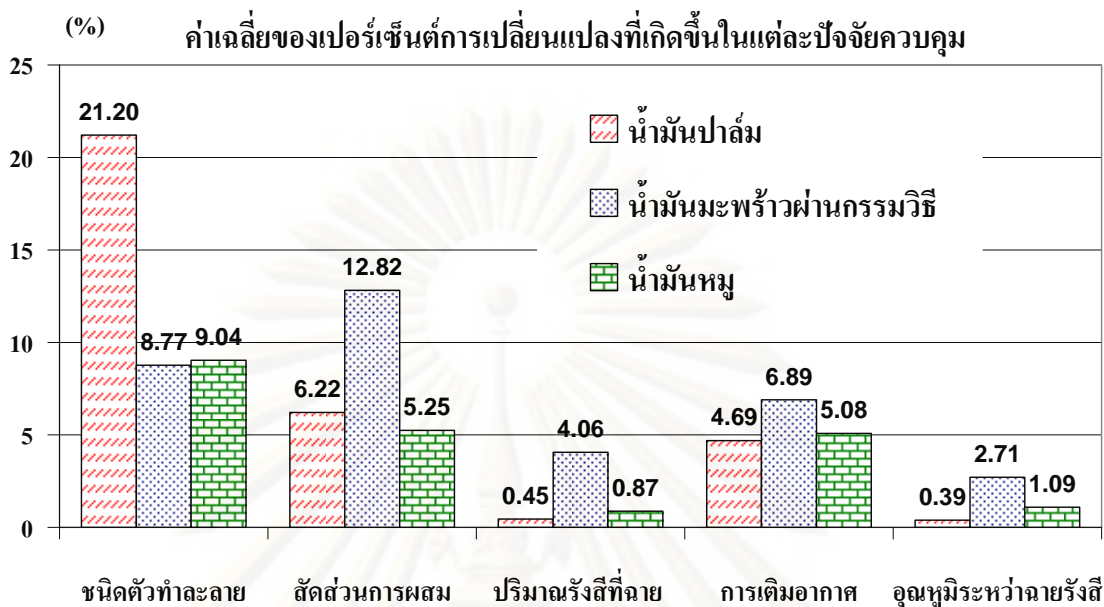
5.1.2 สรุปผลการลดค่าความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัย สามารถสรุปผลช่วงการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปัจจัยที่เกิดขึ้นร่วมกับองค์ประกอบปัจจัยอื่นๆ รวมไปถึงจนถึงค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การลดความหนืดจากการเปลี่ยนแปลงแต่ละปัจจัยที่ศึกษา สามารถสรุปรายละเอียดช่วงการลดความหนืดและค่าเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 5.1 และสามารถนำข้อมูลมาแสดงเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5.1 สรุปช่วงและค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยควบคุม

ปัจจัยที่ศึกษา	น้ำมันปาล์ม			น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี			น้ำมันหมู		
	Min	Max	Average	Min	Max	Average	Min	Max	Average
ชนิดตัวทำละลาย	13.16	28.27	21.20	3.23	14.96	8.77	2.32	15.98	9.04
สัดส่วนการผสม	0.01	14.53	6.21	6.12	19.65	12.81	0.07	11.53	5.24
ปริมาณรังสี (kGy)	0.06	1.47	0.45	0.06	11.71	4.05	0.09	3.45	0.87
การเติมอากาศ	2.24	7.68	4.69	1.44	14.4	6.89	3.29	6.81	5.07
อุณหภูมิ	0.11	0.79	0.39	1.03	3.91	2.71	0.03	3.15	1.09



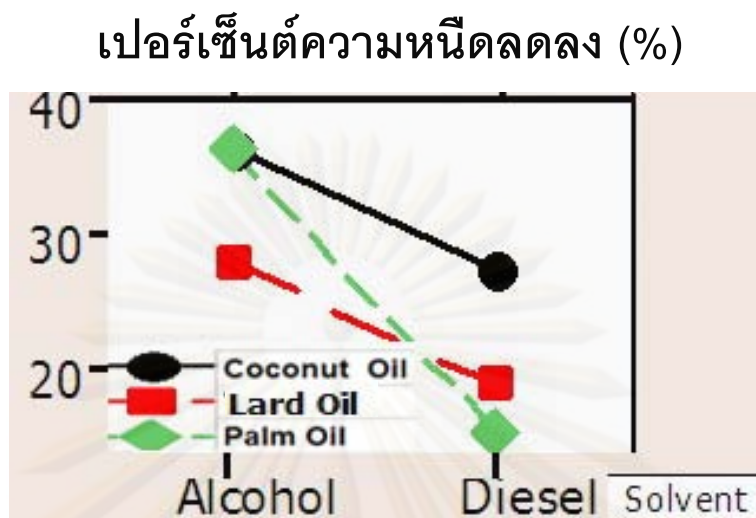
กราฟที่ 5.1 กราฟแสดงค่าสูงสุดและต่ำสุดของเปอร์เซ็นต์การลดความหนืด โดยการฉายรังสีแกมมาจากการเปลี่ยนแปลงแต่ละปัจจัย



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลสรุปค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การลดความหนืด โดยการฉายรังสีแกมมาจากการเปลี่ยนแปลงแต่ละปัจจัย

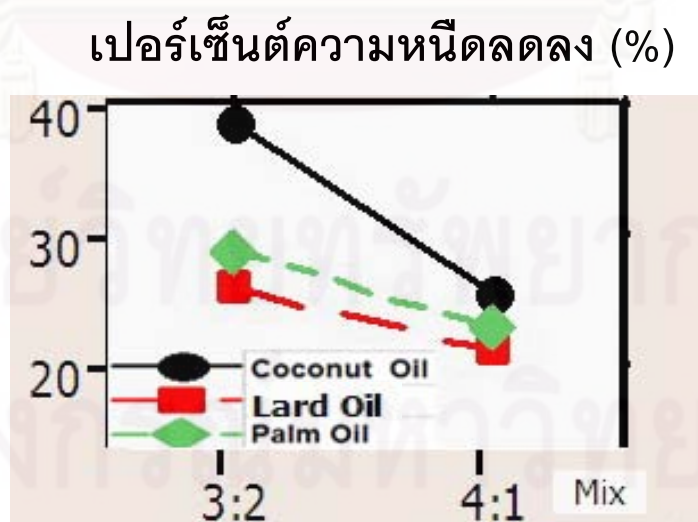
5.1.3 สรุปการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อตรวจสอบนัยสำคัญของแต่ละปัจจัยพบว่าข้อมูลมีระดับความเชื่อมั่นที่ 96.83 % เกิดจากปัจจัยร่วมจำนวน 6 กลุ่มเงื่อนไข ได้แก่ ชนิดน้ำมันกับชนิดตัวทำละลาย ชนิดน้ำมันกับสัดส่วนการผสม ชนิดน้ำมันกับปริมาณรังสีที่ฉาย ชนิดตัวทำละลายกับสัดส่วนการผสม สัดส่วนการผสมกับปริมาณรังสีที่ฉาย และเกิดจากปัจจัยหลักของตัวแปรต้นจำนวน 2 ปัจจัย คือ การเติมอากาศ และ อุณหภูมิระหว่างทำการฉาย สามารถดำเนินการพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์เฉพาะส่วนขยายของปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดความหนืดโดยการฉายรังสีได้ดังต่อไปนี้

5.1.3.1 ชนิดน้ำมันกับชนิดตัวทำละลาย พบว่าการใช้ Ethyl Alcohol ตัวทำละลายให้ผลดีว่าน้ำมันดีเซล และให้ผลดีที่สุดกับน้ำมันหมูและน้ำมันปาล์มในระดับใกล้เคียงกัน แสดงภาพขยายกราฟสรุปผลจากการวิเคราะห์แบบ GLM แสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญของชนิดน้ำมันกับชนิดตัวทำละลาย

5.1.3.2 ชนิดน้ำมันกับสัดส่วนการผสม (น้ำมัน:ตัวทำละลาย) พบว่าการผสมน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีที่สัดส่วน 3:2 ให้ผลดีกว่าที่สัดส่วน 4:1 และการใช้น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีให้ผลดีกว่าการใช้น้ำมันปาล์มหรือน้ำมันหมู แสดงภาพขยายกราฟสรุปผลจากการวิเคราะห์แบบ GLM แสดงได้ดังรูปที่ 5.4

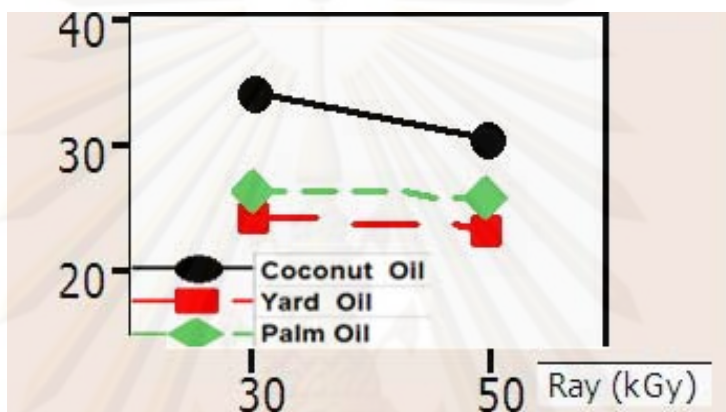


รูปที่ 5.4 ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญของชนิดน้ำมันกับสัดส่วนการผสม



5.1.3.3 ชนิดน้ำมันกับปริมาณรังสีที่ฉาย พบว่าการใช้น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีฉายรังสีที่ปริมาณ 30 kGy ให้ผลดีกว่าที่ 50 kGy และการใช้น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีให้ผลดีกว่าการใช้น้ำมันปาล์มหรือน้ำมันหมู แสดงภาพขยายกราฟสรุปผลจากการวิเคราะห์แบบ GLM แสดงได้ดังรูปที่ 5.5

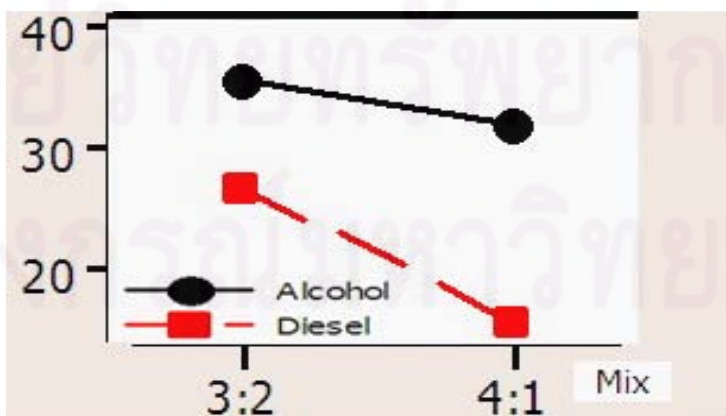
เปอร์เซ็นต์ความหนืดลดลง (%)



รูปที่ 5.5 ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญจากชนิดของน้ำมันกับปริมาณรังสีที่ฉาย

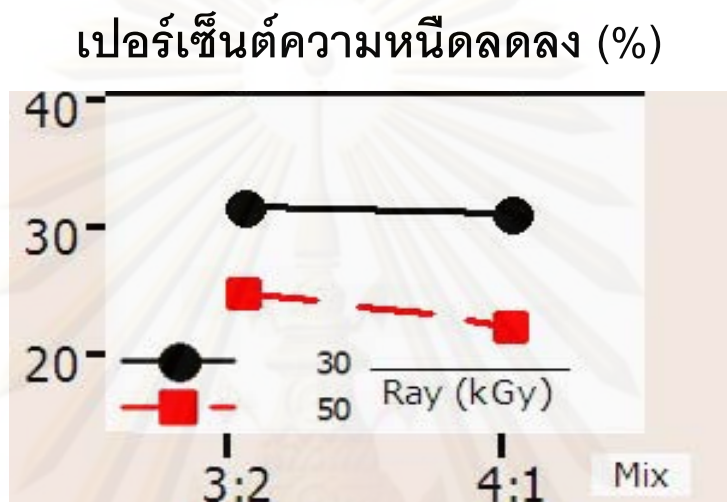
5.1.3.4 ชนิดตัวทำละลายกับสัดส่วนการผสม (น้ำมัน:ตัวทำละลาย) พบว่าการใช้ Ethyl Alcohol ผสมที่สัดส่วน 3:2 ให้ผลดีกว่าการผสมที่สัดส่วน 4:1 และการใช้ Ethyl Alcohol ให้ผลดีกว่าการใช้น้ำมันดีเซล แสดงภาพขยายกราฟสรุปผลจากการวิเคราะห์แบบ GLM แสดงได้ดังรูปที่ 5.6

เปอร์เซ็นต์ความหนืดลดลง (%)



รูปที่ 5.6 ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญจากชนิดตัวทำละลายกับสัดส่วนการผสม

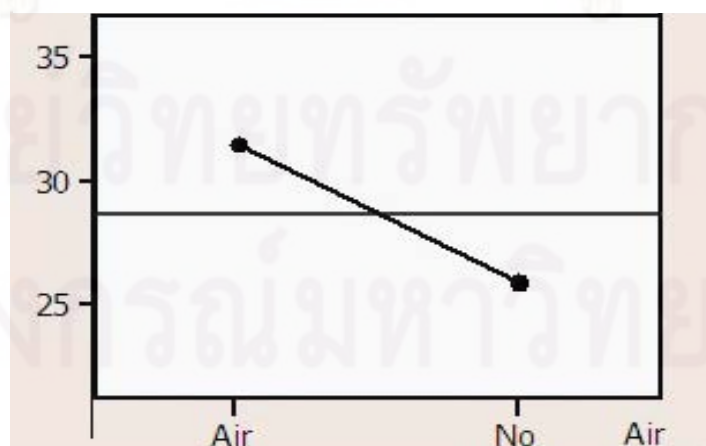
5.1.3.5 สัดส่วนการผสม (น้ำมัน:ตัวทำละลาย) กับปริมาณรังสีที่ฉาย พบว่าการผสมที่สัดส่วน 3:2 โดยฉายรังสีปริมาณ 30 kGy ให้ผลดีว่าการฉายรังสีที่ 50 kGy และการผสมที่สัดส่วน 3:2 ดีกว่าการผสมที่สัดส่วน 4:1 แสดงภาพขยายกราฟสรุปผลจากการวิเคราะห์แบบ GLM แสดงได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญจากสัดส่วนการผสมกับปริมาณรังสีที่ฉาย

5.1.3.6 การเติมอากาศระหว่างฉายรังสี พบว่าการเติมอากาศให้ผลดีว่าการไม่เติมอากาศระหว่างทำการฉายรังสี แสดงภาพขยายกราฟสรุปผลจากการวิเคราะห์แบบ GLM แสดงได้ดังรูปที่ 5.8

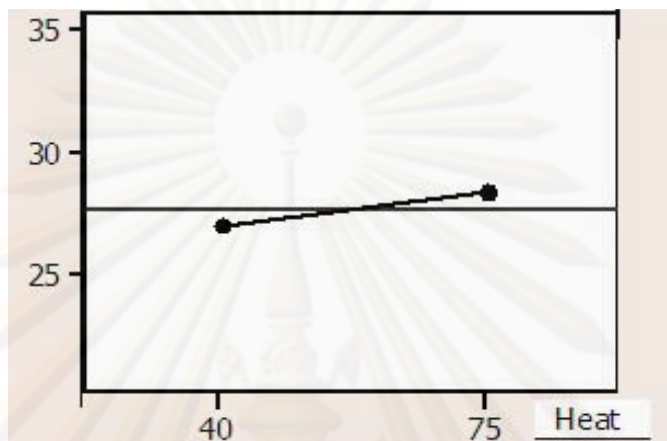
**เปอร์เซ็นต์ความหนืดลดลง (%)**



รูปที่ 5.8 ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญจากการควบคุมการเติมอากาศระหว่างฉายรังสี

5.1.3.7 อุณหภูมิระหว่างทำการฉายรังสี พบว่าการฉายรังสีที่อุณหภูมิ 75 °C ให้ผลที่ดีกว่า 45 °C แสดงภาพขยายกราฟสรุปผลการวิเคราะห์แบบ GLM แสดงได้ดังรูปที่ 5.9

### เปอร์เซ็นต์ความหนืดลดลง (%)



รูปที่ 5.9 ภาพขยายกราฟแสดงนัยสำคัญจากการควบคุมอุณหภูมิระหว่างทำการฉายรังสี

## 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาผลการลดความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 จากการควบคุมปัจจัยในการวิจัยนี้สามารถลดความหนืดของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีและน้ำมันหมูได้เฉลี่ย 7.42 sCt คิดเป็น 27.23 % เปรียบเทียบกับเกณฑ์สูงสุดของคุณลักษณะน้ำมันไบโอดีเซลที่ยอมรับได้เป็น 2.41 เท่า กล่าวคือในเบื้องต้นสามารถนำน้ำมันหลังทำการฉายรังสีแกมมาที่ทำการศึกษาไปใช้เป็นไบโอดีเซลผสมจะสามารถทำการผสมน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลได้ในอัตราส่วนที่มากขึ้น แต่หากจะพิจารณานำไปพัฒนาใช้ทดแทนไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์จะต้องมีการศึกษาแนวทางการกำหนดปัจจัยต่างๆในการเตรียมวัตถุดิบและดำเนินการฉายรังสีให้สามารถลดความหนืดได้มากกว่านี้

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลและนัยสำคัญของปัจจัยต่อการลดความหนืดน้ำมันตัวอย่าง/น้ำมันตัวอย่างผสมโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ในการวิจัยนี้พบว่ามีระดับความเชื่อมั่นที่ 96.83 % โดยมีนัยสำคัญจากปัจจัยร่วมจำนวน 6 กลุ่มเงื่อนไข ได้แก่ ชนิดน้ำมันกับชนิดตัวทำละลาย ชนิดน้ำมันกับสัดส่วนการผสม ชนิดน้ำมันกับปริมาณรังสีที่ฉาย ชนิดตัวทำละลายกับสัดส่วนการผสม สัดส่วนการผสมกับปริมาณรังสีที่ฉาย และเกิดจากปัจจัยหลัก

เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีนัยสำคัญ สามารถสรุปแนวทางปัจจัยที่ให้ผลดีที่สุดทั้งจากปัจจัยร่วมและปัจจัยหลักโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ชนิดน้ำมันกับชนิดตัวทำละลายที่ให้ผลดีที่สุด คือ สามารถใช้ Ethyl Alcohol เป็นตัวทำละลายร่วมกับน้ำมันหมู่น้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี
2. ชนิดน้ำมันกับสัดส่วนการผสม (น้ำมัน:ตัวทำละลาย) ที่ให้ผลดีที่สุด คือ การผสมน้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีที่สัดส่วนการผสม 3:2
3. ชนิดน้ำมันกับปริมาณรังสีที่ฉายที่ให้ผลดีที่สุด คือ การใช้น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธีทำการฉายรังสีปริมาณ 30 kGy
4. ชนิดของตัวทำละลายกับสัดส่วนการผสม (น้ำมัน:ตัวทำละลาย) คือ การใช้ Ethyl Alcohol เป็นตัวทำละลายที่สัดส่วนการผสม 3:2
5. สัดส่วนการผสม(น้ำมัน:ตัวทำละลาย) กับปริมาณรังสีที่ฉายที่ให้ผลดีที่สุด คือ การผสมที่สัดส่วน 3:2 และฉายรังสีปริมาณ 30 kGy
6. อุณหภูมิระหว่างฉายรังสีที่อุณหภูมิ 75°C
7. การเติมอากาศระหว่างการฉายรังสี

สรุปผลปัจจัยที่เหมาะสมจากรูปแบบการวิจัยที่ออกแบบ คือ การใช้น้ำมันมะพร้าวผ่านกรรมวิธี ทำละลายโดย Ethyl Alcohol ผสมที่สัดส่วน (น้ำมัน:ตัวทำละลาย) 3:2 ทำการฉายรังสีปริมาณ 30 kGy โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 75°C และทำการเติมอากาศระหว่างทำการฉายรังสี เนื่องจากกลุ่มปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการลดความหนืดโดยการฉายรังสีได้มากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มปัจจัยอื่นๆ ถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะบ่งบอกว่าอาจจะเป็นชุดข้อมูลที่อาจจะมีคุณสมบัติแต่เมื่อพิจารณาแล้วว่าการทำการวิจัยได้มีการควบคุมปัจจัยเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนไม่ให้เกิดขึ้นและระบบการวัดค่าความหนืดเป็นไปตามมาตรฐานสากลที่เชื่อถือได้

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการต่อยอดการประยุกต์ใช้เทคนิคเคมีรังสีให้เกิดประโยชน์ ซึ่งจากผลการวิจัยนี้สามารถพัฒนาไบโอดีเซลจากผลผลิตให้สามารถผสมน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์ที่ปรับสภาพความหนืดโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 กับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดได้ในสัดส่วนที่มากขึ้น จัดว่าเป็นการเริ่มต้นพัฒนาทางเลือกแหล่งพลังงานหมุนเวียนใหม่ที่มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์มากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มสัดส่วนการผสมน้ำมันที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ผลิตในประเทศไทยได้มากขึ้น ซึ่งในการนำเทคนิคการลดความหนืดของน้ำมันโดยการฉายรังสีแกมมาไปใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากผลผลิตในเชิงการค้าต้องทำการศึกษายาวผลเพิ่มเติมทั้งทางผลกระทบจากการฉายรังสีต่อคุณสมบัติอื่นของน้ำมันและต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการนำไปใช้งานจริง และควรทำการศึกษาพัฒนาเทคนิคการควบคุมปัจจัยในการฉายรังสีแกมมาให้สามารถลดความหนืดได้มากกว่านี้ควบคู่ไปกับทางด้านเศรษฐศาสตร์ทั้งการวางแผนควบคุมราคาวัตถุดิบและและต้นทุนในการผลิต โดยที่ผ่านมาน้ำมันพืชมีความผันผวนของราคาในบางช่วงปีเนื่องจากยังขาดการวางแผนและควบคุมการเพาะปลูกระยะยาวที่ดี นอกจากนี้ในการเลือกใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลายส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูงและต้องได้รับผลกระทบจากความผันแปรของราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกอีกเช่นกัน ดังนั้นกรอบนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ของรัฐบาลจึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษารายละเอียดให้ครบถ้วนทุกด้านรวมทั้งผลกระทบต่างๆทั้งทางบวกและทางลบต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมเพื่อเป็นแนวทางดำเนินการได้อย่างเหมาะสม

## รายการอ้างอิง

กุลวุฒิ วัฒนาเมธี. การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอลและน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันก๊าดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

เกศินี เหมวิเชียร พิริยาธร สุวรรณมาลา และ วรรัตน์ กังสัณฤทธิ์. ผลของการฉายรังสีแกมมาต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและแป้งมันสำปะหลัง. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิเวศลิขัย ครั้งที่ 10 (16-17 สิงหาคม 2550).

คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, สำนักงาน สำนักงานนายกรัฐมนตรี. แผนอนุรักษ์พลังงานและแนวทาง หลักเกณฑ์ เงื่อนไข และลำดับความสำคัญการใช้จ่ายเงินของกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2543 – 2547.

คณิต วัฒนวิเชียร และ พิชญ์ ปริญาจารย์. ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อค่าควันท่ำและคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์เกษตรขนาดเล็กชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 (18-20 ตุลาคม 2547).

ชาคริต ทองอุไร สัตนหทัย กลิ่นพิกุล ชิต ลิ้มวรรณ และเสถียร วาณิชวิริยะ. การวิจัยเพื่อแปรรูปน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร. รายงานการวิจัยเพื่อการแปรรูปน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545.

นายยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์ วัฒนชัย ตรุศบรรจง อวยชัย บำรุงชูเกียรติ และ สุภัทรา โพธิ์พวง. การแตกสลายโครงสร้างของน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยความร้อน. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 ( กันยายน 2546).

ธุรกิจพลังงาน, กรม. กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน, 2548.

ประชุม เวคมวิบูลย์. ปัญหาพลังงานกับการพัฒนาพลังงานหมุนเวียน. เอกสารวิจัยส่วนบุคคล  
วิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร นักศึกษาวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร รุ่นที่ 23, 2523  
- 2524.

วัชรพล ปุณชันท์ ประพัทธ์ สันติวรการ สมนึก ธีระกุลพิศุทธิ์ และ ชนกนันท์ สุขกำเนิด.  
ผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล. วิศวกรรมสาร มข.  
ปีที่ 33 ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม - มิถุนายน 2549) : 193-208.

วีรานันท์ พงศาภักดี. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงกลุ่มกับ GLM (Analysis of Categorical data  
With GLM). มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2537.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม. หนังสือวิชา  
เคมี โครงสร้างที่2 เล่มที่4.

สุภาพ สุทธิรักษ์. การดำเนินธุรกิจการผลิตไบโอดีเซลของชุมชนกรณีน้ำมันใช้แล้ว. TECHNICAL  
PAPERS เล่มที่ 302 (มีนาคม 2550) : 1-98.

อาชัย พิทยภาคย์ นคร ทิพย์าวงศ์ และวสันต์ จอมภักดี. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการ  
สกัดน้ำมันพืชเชิงกลหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น. Naresuan University Journal  
(พฤศจิกายน 2545) : 9-20.

อนุตร จำลองกุล. เชื้อเพลิงชีวภาพ. www.thailandindustry.com, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด  
(มหาชน), 2550.

อมรเทพ คชตั้ง ประทีป มีศิลป์ บุญญา สุดาทิศ รัชนีย์ อุดมแสงเพชร บวรลักษณ์ อุนคานนท์.  
ผลกระทบของรังสีแกมมาต่อโครงสร้างโปรตีนไหม Bombyx mori ที่ใช้ในงานประยุกต์  
ทางชีวการแพทย์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย  
ไทย ครั้งที่ 17 (2550).

NEWYORK JOHN WILEY & SONS, INC. Mechanical Engineering Laboratory, NEWYORK,  
1990.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอำไพ ลีวัฒนชะโชตินันท์ เกิดเมื่อวันที่ 7 เดือนมกราคม พุทธศักราช 2522 ที่ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า กำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี การศึกษา 2543 ได้เข้าทำงานที่ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตำแหน่งวิศวกรโครงการ(ที่ปรึกษาด้านพลังงาน) และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย