ผลของสารต้านออกซิเจนต่อเสถียรภาพเชิงออกซิเดทีฟของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

นางสาวกาญจนา พงษ์ตระกูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF ANTIOXIDANT ON OXIDATIVE STABILITY OF BIODEISEL FROM PALM OIL

Miss Kanchana Phongtrakul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของสารต้านออกซิเจนต่อเสถียรภาพเชิงออกซิเดทีฟของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม
โดย	นางสาวกาญจนา พงษ์ตระกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กาญจนา พงษ์ตระกูล : ผลของสารต้านออกซิเจนต่อเสถียรภาพเชิงออกซิเดทีฟของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม.(EFFECT OF ANTIOXIDANT ON OXIDATIVE STABILITY OF BIODEISEL FROM PALM OIL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี, 148 หน้า.

ไบโอดีเซล สามารถผลิตจากน้ำมันปาล์มหลายชนิด เช่น น้ำมันปาล์มรีไฟน์ น้ำมันปาล์มดิบ และไขปาล์มสเตียริน ซึ่งจะมีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำมันปาล์ม และมีสเถียรภาพที่ดีขึ้น โดยใช้สารต้านต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น คือสารประเภท ฟีโนลิค สารผสมของอะลิฟาติคเอสเทอร์(ผลิตภัณฑ์ทางการค้า) สารผสมของฟีนอล(ผลิตภัณฑ์ทางการค้า) โดยใช้ปริมาณที่ 100, 250 และ 500 ppm ที่อุณหภูมิ 110, 150 และ 200 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทดสอบ 743 รังสิแมท ในการทดสอบพบว่า ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส สารผสมของฟีนอลที่ 250 ppmไขปาล์มสเตียรินจะให้ค่า เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Reduction time) สูงสุดคือ 41.06 ชั่วโมง ในขณะเดียวกัน น้ำมันที่ไม่ได้เติมสารต้านออกซิเดชั่นจะมีค่า เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น 22.76 ชั่วโมง สำหรับไขปาล์มสเตียริน น้ำมันปาล์มดิบ 20.76 ชั่วโมง น้ำมันปาล์มรีไฟน์ 20.63 ชั่วโมง และเมื่อทำการทดสอบน้ำมันปาล์มที่เติมสารต้านออกซิเดชั่น ทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เช่น ค่าความเป็นกรด กากถ่าน ไอโอดีน ความหนืด ปริมาณน้ำ จุดวาบไฟ โมโนกลีเซอร์ไรด์ ไดกลีเซอร์ไรด์ ไตรกลีเซอร์ไรด์ กลีเซอรีนอิสระ กลีเซอรีนทั้งหมด โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM และ EN พบว่าคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา 2552

4971404521 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIODIESEL / OXIDATION / STABILITY

KANCHANA PHONGTRAKUL : EFFECT OF ANTIOXIDANT ON OXIDATIVE STABILITY OF BIODEISEL FROM PALM OIL . THESIS ADVISOR : ASST.PROF. MONTREE WONGSRI, D.Sc.,148 pp.

Biodiesel can be manufactured from various kinds of palm oil such as refined palm, crude palm, and palm styrene that give the different of stability to oxidation reaction.Reduction inhibitors are from phenolic compound; amine compound, amide compound, and a mixture of phenol by the variation of 100, 250, and 500 ppm were added in order to improve the oxidation resistance of biodiesel. As presented at temperature of 110°C, 150°C, 200°C by Rancimat 743. A mixture of phenol 250 PPM at 110°C, palm styrene gave the highest value of the reduction time (41.06 hours) while the blank's value was 22.76 hours, crude palm 20.76 hours, refined palm 20.63 hours. Besides the improvement of anti-oxidant property, pH value, fossil, iodine, viscosity, water content, flash point, mono-glycerin, di-glycerin, and total glycerin by the standard of ASTM and EN has been presented in the tolerance of standard biodeisel specification.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือจากหน่วยงานและบุคคลหลายๆท่าน ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำวิธีการทำงานวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบรูณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์.ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร. สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ ผศ. ดร.วีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบริษัท ไทยโอลีโอเคมี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ น้ำมันปาล์มสำหรับใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณห้องทดลอง บริษัท Metrohm ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบและทำวิจัย ขอขอบคุณศูนย์วิเคราะห์และวิจัยวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ช่วยในการวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันไบโอดีเซล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนงานการดำเนินงาน.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎี	5
2.2 ปาล์มน้ำมัน.....	5
2.3 ไบโอดีเซล	9
2.4 กระบวนการผลิตผลไบโอดีเซล.....	11
2.4.1 การใช้โดยตรงและการผสม.....	11
2.4.2 ไมโครอิมัลชั่น.....	12
2.4.3 การแตกสลายด้วยความร้อน.....	12
2.4.4 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น.....	13
2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานเอสเทอรฺนิฟิเคชั่น.....	18
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของน้ำมันปาล์ม.....	19

2.7 ข้อดีของไบโอดีเซล..... 26
2.8 คุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล..... 25
2.8.1 อุณหภูมิการกลั่น 25
2.8.2 จุดวาบไฟ 26
2.8.3 ค่าความร้อนสูง..... 26
2.8.4 ค่าความหนืด..... 26
2.8.5 จุดเริ่มไหล..... 27
2.8.6 จุดเกิดหมอก..... 27
2.8.7 ความหนาแน่น..... 27
2.8.8 สี..... 27
2.8.9 ปริมาณคาร์บอนเหลือและปริมาณเถ้า..... 28
2.8.10 ปริมาณกำมะถัน..... 28
2.8.11 ค่าซีเทน 28
2.8.12 ดัชนีซีเทน..... 29
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 33
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี..... 33
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 33
3.3 วิธีการทดลอง 34
3.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างน้ำมันปาล์ม 34
3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง 35
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 36
4.1 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มตัวอย่าง..... 36
4.1.1 ค่าความเป็นกรด 36
4.1.2 กากถ่าน..... 37
4.1.3 ค่าไอโอดีน..... 37
4.1.4 ค่าความหนืด..... 38
4.1.5 ปริมาณน้ำ..... 38
4.1.6 จุดวาบไฟ..... 39
4.1.7 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์..... 39

4.1.8 โมโนกลีเซอไรด์..... 40
4.1.9 ไดโนกลีเซอไรด์..... 40
4.1.10 ไตรกลีเซอไรด์..... 40
4.1.11 กลีเซอรีนอิสระ..... 41
4.1.12 กลีเซอรีนทั้งหมด..... 41
4.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของน้ำมันปาล์ม..... 42
4.3 ผลการศึกษาตัวแปร..... 44
4.3.1 อิทธิพลของชนิดน้ำมันปาล์มในการทำปฏิกิริยา..... 44
4.3.2 อิทธิพลของชนิดของสารต้านต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ปริมาณใช้และอิทธิพลของอุณหภูมิ 45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ..... 59
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 59
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต..... 59
รายการอ้างอิง 60
ภาคผนวก..... 63
ภาคผนวก ก.1 ปริมาณการผลิตของน้ำมันพืช 7 ชนิด 64
ภาคผนวก ก.2 ปริมาณการผลิตของน้ำมันพืชและไขสัตว์ 17 ชนิด ของโลก..... ... 65
ภาคผนวก ก.3 ธาตุที่สำคัญในสารอินทรีย์ของกรดไขมัน..... 66
ภาคผนวก ข.1 คุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ 68
ภาคผนวก ข.2 แสดงคุณสมบัติและค่าของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ..... 69
ภาคผนวก ข.3 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล..... 69
ภาคผนวก ข.4 รายชื่อผู้ผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ 70
ภาคผนวก ค.1 คุณสมบัติของสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นประเภทฟีนอล..... 72
ภาคผนวก ค.2 คุณสมบัติของสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นประเภทฟีโนลิค..... 74
ภาคผนวก ค.3 คุณสมบัติของสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นประเภทอะลิฟาติค เมทิลเอสเทอร์..... 76
ภาคผนวก ง.1 รายงานผลการวิเคราะคุณภาพน้ำมันปาล์ม (MTEC) 77
ภาคผนวก ง.2 รายงานผลการวิเคราะคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ..... 79

ภาคผนวก ง.3 รายงานผลการวิเคราะคุณภาพไขปาล์สเตียริน…….…… 81
ภาคผนวก ง.4 รายงานผลการวิเคราะคุณภาพน้ำมันปาล์มรีไฟน์……..…….. 83
ภาคผนวก จ.1 เครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบค่าสเถียรภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น……..……... 86
ภาคผนวก ฉ.1 คุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ประกาศกรมธรกิจพลังงาน..... …….…… 89
ภาคผนวก ฉ.2 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล…… 90
ภาคผนวก ฉ.3 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล…… 90

ภาคผนวก ช.1 ผลการวิเคราะห์และทดสอบค่าสเถียรภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ……..…… 91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……..…… 148

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงาน.....	4
ตารางที่ ก.1	ปริมาณการผลิตของพืชน้ำมัน 7 ชนิด.....	61
ตารางที่ ก.2	ปริมาณการผลิตน้ำมันพืช และไขสัตว์ 17 ชนิดของโลก	62
ตารางที่ ก.3	ธาตุที่สำคัญในสารอินทรีย์ของกรดไขมัน.....	63
ตารางที่ ข.1	คุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์.....	65
ตารางที่ ข.2	แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.].....	66
ตารางที่ ข.3	คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันเซล.....	66
ตารางที่ ข.4	รายชื่อผู้ผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน B 100	67
ตารางที่ ค.1	คุณสมบัติทางเคมีของสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น ชนิดของสารประเภทฟีนอล.....	69
ตารางที่ ค.2	คุณสมบัติทางเคมีของสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น ชนิดของสารประเภทฟีโนลิค.....	71
ตารางที่ ค.3	คุณสมบัติทางเคมีของสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น ชนิดของสารประเภทอะลิฟาติคเอสเทอร์.....	73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างของไตรกลีเซอร์ไรด์…….…..……...	7
รูปที่ 2.2	โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มตัวอย่าง……..…..…..…	9
รูปที่ 2.3	ปฏิกิริยารวมของการเกิดเมทิลเอสเทอร์……..…...…..	9
รูปที่ 2.4	ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นของไตรกลีเซอร์ไรด์กับแอลกอฮอล์……..…..	13
รูปที่ 2.5	ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นจากกรดไขมันอิสระ……..……..	14
รูปที่ 2.6	ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นจากเอสเทอร์…….……..	15
รูปที่ 2.7	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่น…….……	15
รูปที่ 2.8	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส…….……	16
รูปที่ 2.9	ปฏิกิริยาอะมิโนไลซิสของไตรกลีเซอร์ไรด์…….……	17
รูปที่ 2.10	ตัวอย่างกระบวนการออกซิเดชั่นของฟีนอลและไนเตรชั่น…….	22
รูปที่ 2.11	ตัวอย่างกระบวนการออกซิเดชั่นของฟีนอลและไนเตรชั่น…….	23
รูปที่ 2.12	กระบวนการออกซิเดชั่น ของ อัลดีไฮด์…….….....	23
รูปที่ 2.13	กระบวนการออกซิเดชั่น ของโฟโต้คะตะลิสต์…….....……	24
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงอิทธิพลของอัตราการกวน……..	38
รูปที่ 4.1	กราฟออกซิเดทีฟ สเตบิวลิตี้โครของน้ำมันปาล์มตัวอย่าง รายงานออกมาเป็นค่า PI (Inperiod Time) …….……	43
รูปที่ 4.2	เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส…….……	47
รูปที่ 4.3	เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารอะลิฟาติคเอสเทอร์เป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส……...……	48
รูปที่ 4.4	เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส……...	49
รูปที่ 4.5	เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส……...…..	50
รูปที่ 4.6	เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารอะลิฟาติคเอสเทอร์เป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส…….....……..	51

ภาพที่		หน้า
รูปที่ 4.7	เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส…….…….....	52
รูปที่ 4.8	เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส…….…....…	53
รูปที่ 4.9	เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส…….……..…….	54
รูปที่ 4.10	เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส……...…	55
รูปที่ จ .1	เครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบค่าสเถียรภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น……..…….……..	83
รูปที่ ช .1	ผลการวิเคราะห์และทดสอบค่าสเถียรภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น……...…	15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ความต้องการใช้พลังงานทั่วโลกเพิ่มขึ้นทุกปี สวนทางกับปริมาณน้ำมันที่มีราคาสูงขึ้นและปริมาณลดน้อยลง คาดว่าอีกไม่กี่สิบปีข้างหน้าพลังงานจากน้ำมันดิบจะเริ่มขาดแคลน ทำให้ทุกประเทศทั่วโลกต้องแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ไว้รองรับ ซึ่งทำให้หลายๆประเทศรวมทั้งประเทศไทยหันมาให้ความสนใจ " ปาล์มน้ำมัน " เป็นพิเศษ โดยมองเห็นปาล์มน้ำมันมีศักยภาพเพียงพอที่จะเป็นพืชพลังงานทดแทนที่ดีได้ เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันมากและต้นทุนการผลิตต่ำ ทำให้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนตื่นตัวหันมาส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมัน รวมถึงการพัฒนาด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับด้านอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

ไบโอดีเซล (คณะกรรมาธิการพลังงาน) เป็นชื่อเรียกที่หมายถึง เชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืช หรือไขสัตว์ ซึ่งเป็นพืชผลจากเกษตรกรรม โดยผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างไขมันให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์

จากข้อมูลการผลิตน้ำมันพืชของโลกในปี พ.ศ. 2549 พบว่า แหล่งน้ำมันพืชที่สำคัญของโลกมี 5 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน น้ำมันเรพซีด น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันถั่งลิสง ปริมาณการผลิตรวมคิดเป็น 85 % ของปริมาณน้ำมันพืชที่ผลิตได้ทั้งโลก โดยปริมาณน้ำมันจากถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์มที่ผลิตได้มีปริมาณสูงสุดใกล้เคียงกัน ขณะที่ความต้องการน้ำมันพืชสูงขึ้นตามจำนวนประชากรโลก ทำให้ปริมาณการผลิตน้ำมันพืชของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากร

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชยืนต้นที่ให้ปริมาณน้ำมันค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น ปลูกได้เฉพาะในพื้นที่เขตร้อนชื้น จึงมีเพียง 42 ประเทศานั้นที่สามารถปลูกพืชชนิดนี้ได้ แตกต่างจากพืชน้ำมันชนิดอื่นที่เป็นพืชล้มลุก (ถั่วเหลือง เรพซีด ทานตะวัน และถั่วลิสง)

น้ำมันปาล์มนั้น เมื่อโดนความร้อนและอากาศจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทำให้สภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนใน ในอากาศ โดยที่ความร้อนและแสงแดดมีผลช่วยเร่งปฏิกิริยา เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออดซิ

เดชั่น นอกจากจะขึ้นอยู่กับประเภทและคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบแล้ว ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสูงแก่ไบโอดีเซลเป็นระยะเวลานาน อาจส่งผลให้เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงให้ความสนใจในการศึกษาสาร Antioxidant ที่เติมลงในน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อปรับปรุงการเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเพื่อให้ได้ณภาพตามที่มาตรฐานกำหนด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ของสาร Antioxidant ที่จะใช้เติมลงในน้ำมันไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์ม เพื่อให้มีเสถียรภาพสูงสุด และเพื่อให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด

2.ศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิที่มีอิทธิพล ต่อสาร Antioxidant ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ในการปรับปรุงเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ของไบโอดีเซล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของน้ำมันปาล์ม ดังนี้

1. ชนิดของน้ำมันปาล์ม 3 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบ , ไขปาล์มสเตียริน และน้ำมันปาล์มรีไฟน์
2. ชนิดของสารต้านต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น 3 ชนิด คือ สารประกอบฟีนอล , สารอะลิฟาติคเอสเทอร์ และสารประกอบฟีโนลิค
3. ปริมาณความเข้มข้นของสารต้านต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ที่ 50 , 100 , 250 และ 500 ppm
4. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 110 , 150 และ 200 องศาเซลเซียส
5. วิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล เพื่อให้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบชนิดของสาร Antioxidant ที่ให้เสถียรภาพได้ดีที่สุด

2. ทราบปริมาณของสาร Antioxidant ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการปรับปรุงเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ของไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์ม

3. งานวิจัยนี้ เป็นแนวทางสำหรับการวิจัยในอนาคต เพื่อที่จะสามารถนำไปพัฒนาปรับปรุง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ต่อเสถียรภาพของไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์ม ในระดับอุตสาหกรรมได้

4. เป็นการศึกษา เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาตร์สูงสุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 **แผนการดำเนินการ**

ลำดับที่	การดำเนินงาน	ส.ค 52	ก.ย 52	ต.ค-พ.ย 52	ธ.ค 52	ม.ค 53	ก.พ 53	มี.ค 53
1	ตรวจสอบเอกสารและรวบรวมข้อมูล							
2	ศึกษาปัจจัย และอิทธิพลที่มีผลต่อสาร Antioxidant ในน้ำมันไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์ม และทำการทดลองโดยเปรียบเทียบ *ปริมาณของของสาร Antioxidant ที่ให้ค่า Stability ที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบที่ปริมาณต่างๆกัน * ชนิดของสาร Antioxidant 2-3 ชนิด * Raw material (Feed Stock) 3 ชนิด * ที่สภาวะอุณหภูมิ 110 , 150 และ 200 ^{0}C							
3	ทดสอบคุณสมบัติ ของน้ำมัน ไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน ของกระทรวงพลังงาน (EN 14112) (Oxidation Stability at 110 ° c 6 hours)							
4	ประเมินผล สรุปผลการทดลอง และเขียน รายงาน							

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ประเทศไทยมีการนำเข้าและส่งออกน้ำมันปาล์มในรูปของน้ำมันปาล์มดิบ สกัดผ่านกรรมวิธี และชนิดเติมไฮโดรเจน การส่งออกน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของน้ำมันเมล็ดในปาล์มชนิดดิบและไขปาล์มสเตียรีน (Plam stearin) ถึงแม้ว่าปาล์มน้ำมันจะมีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตต่อไร่สูงกว่า น้ำมันชนิดอื่นๆ แต่เป็นผลิตผลทางการเกษตรที่ปลูกขึ้นเพื่อเป็นอาหารเท่านั้น มีปริมาณเหลือไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล ในขณะนี้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มียุทศาสตร์ปาล์มน้ำมัน ส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมัน โดยขยายพื้นที่เพาะปลูกอีก 4 ล้านไร่ ภายในปี พ.ศ. 2552 เพื่อป้อนการผลิตไบโอดีเซลตามแผนปฏิบัติการไบโอดีเซลของยุทธศาสตร์ทดแทน ที่มีเป้าหมายความต้องการไบโอดีเซล 8.5 ล้านลิตรต่อวัน ภายในปีพ.ศ. 2555

การผลิตไบโอดีเซล สามารถใช้น้ำมันทุกส่วนที่ได้จากปาล์มน้ำมันมาเป็นวัตถุดิบเช่น น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอลีน ไขสเตียรีน กรดไขมันปาล์มกลั่น และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม แต่ในการผลิตเชิงพาณิชย์จำเป็นต้องพิจารณาความคุ้มทุนทางเศรษศาสตร์ ดังนั้นจึงนิยมใช้ส่วนของน้ำมันปาล์ม ที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่มาใช้ก่อน เช่น ไขสเตียรีน หรือนำน้ำมันปาล์มดิบมาเป็นวัตถุดิบ เมื่อต้องการรักษาสมดุลของตลาดไม่ให้เกิดภาวะล้นตลาด โดยไม่นำน้ำมันส่วนที่มีราคาสูง เช่น น้ำมันปาล์โอลีน และน้ำมันเมล็ดในปาล์มเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากมีการใช้น้ำมันปาล์มโอลีนในการบริโภค และใช้น้ำมันเมล็ดในปาล์มเป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคมี (Oleochemical) และเครื่องสำอางค์อยู่แล้ว

2.2 ปาล์มน้ำมัน [สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว)]

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์จากน้ำมันปาล์ม เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้เป็นน้ำมันปรุงอาหาร บะหมี่สำเร็จรูป นมข้นหวาน เนยเทียม ครีมเทียม ขนมขบเคี้ยว ไอศกรีม สบู่ เครื่องสำอาง เป็นต้น นอกจากนั้นปาล์มยังเป็นพืชพลังงานของโลก โดยถูกนำไปใช้ในการผลิต ไบโอดีเซล ซึ่งจะเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญในอนาคต ทะลายปาล์มสดประกอบด้วยผลปาล์มจำนวนมากเกาะติดอยู่ บน

ก้านทะลาย น้ำมันเป็นส่วนที่ได้จากผลปาล์ม ซึ่งผลปาล์มจะให้น้ำมัน 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันปาล์มเป็นส่วนที่สกัดได้จากส่วนเปลือกนอกของผลปาล์ม ขณะที่น้ำมันเมล็ดในปาล์ม สกัดได้จากเมล็ดในของผลปาล์ม

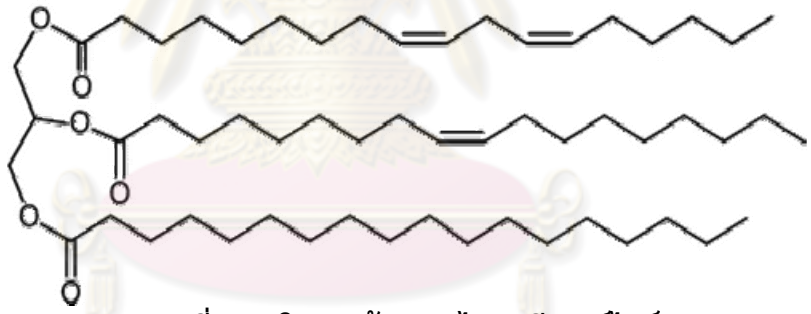
โดยทั่วไปแล้ว ทะลายปาล์มสดมีน้ำมันปาล์ม อยู่ในปริมาณ 20 - 21 % เมื่อคิดจากทะลายปาล์มสด แต่ในการผลิตในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มของประเทศ โดยเฉลี่ยแล้ว ปัจจุบันสามารถสกัดน้ำมันออกได้เพียง 17 % จากทะลายปาล์มสด สำหรับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม มีอยู่ในปริมาณ 5 % จากทะลายปาล์มสด หรือมีอยู่ในปริมาณ 50 % จากเมล็ดในปาล์ม น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอย่างมาก โดยน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันที่มีคาร์บอน 16 ตัว เป็นองค์ประกอบหลัก ในขณะที่น้ำมันเมล็ดในปาล์ม จะมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับน้ำมันมะพร้าว กล่าวคือ มีกรดไขมันที่มีคาร์บอน 12 ตัว เป็นองค์ประกอบหลัก น้ำมันปาล์มมีลักษณะเป็นของเหลวปะปนอยู่กับของแข็ง ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อจะนำน้ำมันปาล์มมาบรรจุขวดจำหน่าย เพื่อใช้การประกอบอาหาร จะต้องทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยการกำจัดกรด กำจัดสี และกลิ่นก่อน จากนั้นจึงทำการแยกส่วนของเหลวและของแข็งออกจากกัน ส่วนที่เป็นของเหลวที่แยกออกมาเรียกว่า น้ำมันปาล์มโอลีน สำหรับส่วนที่เป็นของแข็งเรียกว่า ปาล์มเสตียรีน หรือไขเสตียรีน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการทำเนยเทียม ครีมเทียม และสบู่ โดยทั่วไปแล้ว น้ำมันปาล์มโอลีน และปาล์มสเตียรีน มีปริมาณเป็นสัดส่วนระหว่าง 65 – 70 % ต่อ 30 – 35 % ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงาน

ประเทศไทยมีการนำเข้าและส่งออกน้ำมันปาล์มในรูปของน้ำมันปาล์มดิบ สกัดผ่านกรรมวิธี และชนิดเติมไฮโดรเจน การส่งออกน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของน้ำมันเมล็ดในปาล์มชนิดดิบและไขปาล์มสเตียรีน (Plam stearin) ถึงแม้ว่าปาล์มน้ำมันจะมีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตต่อไร่สูงกว่า น้ำมันชนิดอื่นๆ แต่เป็นผลิตผลทางการเกษตรที่ปลูกขึ้นเพื่อเป็นอาหารเท่านั้น มีปริมาณเหลือไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล ในขณะนี้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มียุทศาสตร์ปาล์มน้ำมัน ส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมัน โดยขยายพื้นที่เพาะปลูกอีก 4 ล้านไร่ ภายในปี พ.ศ. 2552 เพื่อป้อนการผลิตไบโอดีเซลตามแผนปฏิบัติการไบโอดีเซลของยุทธศาสตร์ทดแทน ที่มีเป้าหมายความต้องการไบโอดีเซล 8.5 ล้านลิตรต่อวัน ภายในปี พ.ศ. 2555

น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วนั้นจะมีสีแดง เกิดการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ โดยส่วนที่เป็นของเหลวอยู่ด้านบนเรียกว่า ปาล์มโอเลอิน (Palm olein) ส่วนล่างที่ข้นเรียกว่าปาล์มสเตียริน (Palm sterin) มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 2-5 ขึ้นอยู่กับคุณภาพของปาล์มสดที่เข้าสกัด จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 0.3 – 0.5 โดยปริมาตรขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต

องค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชและจากไขมันสัตว์คือ ไตรกลีเซอร์ไรด์ (Triglycerides) กรดไขมันอิสระ ฟอสฟอริค สเตอร์รอย น้ำ และอื่นๆ คำว่า น้ำมัน (oil) นั้นใช้กับไตรกลีเซอร์ไรด์ที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ส่วนคำว่าไขมัน (Fat) ใช้กับไตรกลีเซอร์ไรด์ซึ่งเป็นของแข็ง น้ำมันพืชโดยทั่วไปประกอบด้วยไตรกลีเซอร์ไรด์และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ประมาณร้อยละ 90-98 และร้อยละ 1-5 ตามลำดับ

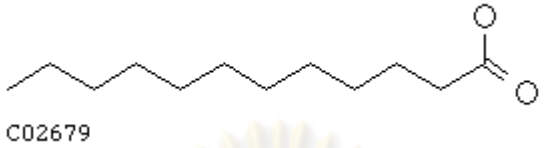
ไตรกลีเซอไรด์ คือ เอสเทอร์ซึ่งมีโมเลกุลของกรดไขมันสามโมเลกุล และ กลีเซอรอลหนึ่งโมเลกุล โดยโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไตรกลีเซอร์ไรด์

ไตรกลีเซอร์ไรด์เป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำมันพืช ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุด และเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ไขมันและน้ำมันเมื่อแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) จะมีสมบัติเป็นกรด ดังนั้นในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลชีวภาพจึงจำเป็นต้องทราบปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อจะได้ทราบปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นด่างที่ต้องใช้ในการผลิต การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชนั้น จะใช้วิธีการไตเตรทน้ำมันพืชด้วยสารละลายเบสโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

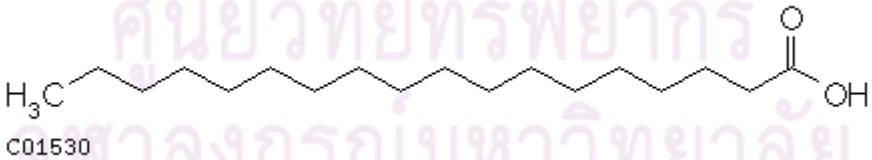
กรดไขมัน คือ สารกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกแอซิค (Carboxylic acid) มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.6 [Biodeisel Production Technology,2004] มีฤทธิ์เป็นกรด เป็นองค์ประกอบที่พบในน้ำมันพืชและมีผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



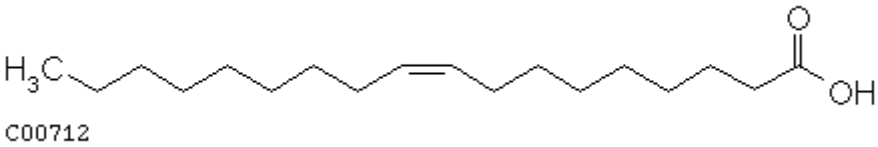
Lauric acid ; C12:0

Myrstic acid ; C14:0

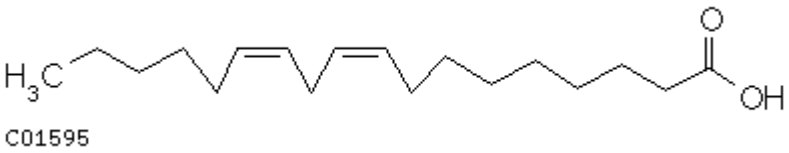
Palmitic acid ; C16:0



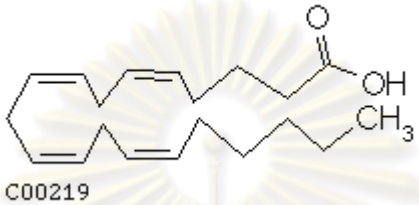
Stearic acid ; C18:0



Oleic acid ; C18:1



Linoleic acid ; C18:2



Arachidic acid ; C20:0

รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มตัวอย่าง

2.3 ไบโอดีเซล [สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว)]

ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืช หรือผลิตจากไขมันสัตว์ โดยเป็นผลิตผลจากเกษตรกรรม ผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างไขมันให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน ไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิง ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์

ไบโอดีเซล เป็นสารเอสเทอร์ ที่สังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างน้ำมันพืช หรือน้ำมันไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ การเรียกชื่อสารเอสเทอร์ที่ได้ จะขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมื่อใช้แอลกอฮอร์ เมทานอล จะเรียกสารที่ได้ว่า เมทิธเอสเทอร์ และถ้าใช้เอธานอลทำปฏิกิริยา จะเรียกสารที่ได้ว่าเอทิลเอสเทอร์ ตามทฤษฎีแล้ว กระบวนการผลิตไบโอดีเซล หรือการสังเคราะห์สารเอสเทอร์ จากน้ำมันพืช ไขสัตว์ ทำได้ 3 วิธีคือ

การทำปฏิกิริยา ของน้ำมันพืช กับแอลกอฮอร์ โดยใช้เบส หรือกรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยา หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น (Transesterification) สารเร่งจะทำงานในตำแหน่งที่แตกต่างกัน โดยที่เมื่อใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา เบสจะเร่งปฏิกิริยา ในตำแหน่งของแอลกอฮอล์ โดยการนำโปรตรอนจากแอลกอฮอล์ และเมื่อใช้กรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยา กรดจะเร่งปฏิกิริยาใน

ตำแหน่งที่เป็นกลุ่ม Carbonyl โดยให้โปรตรอน ในตำแหน่งที่เป็น Carbonyl หรือ –C=O ซึ่งจะทำให้การเกิดปฏิกิริยาว่องไวขึ้น การทำปฏิกิริยาของน้ำมันพืช กับแอลกอฮอล์ ที่อุณหภูมิและความดันสูง โดยใช้โพแทสเซี่ยมไฮดรอกไซด์ เป็นสารเร่งปฏิกิริยา

1. ปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำมันพืช ไขสัตว์ ให้เป็นกรดไขมัน และให้กรดไขมันทำปฏิกิริยาต่อกับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นเอสเทอร์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วน้ำมันพืชในปริมาณ 100 ส่วนทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ 10 ส่วน โดยมีสารเร่งปฏิกิริยาอยู่ด้วย จะได้ไบโอดีเซลในปริมาณ 100 ส่วน และกลีเซอรีน 10 ส่วน ในกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น นิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือปฏิกิริยา ส่วนกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชั่น มักจะใช้กรดกำมะถัน หรือกรดฟอสฟอริกเป็นสารเร่งปฏิกิริยา โดยผสมกับแอลกอฮอล์ก่อนส่งเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืช

ปฏิกิริยารวมของการผลิตไบโอดีเซล หรือการเกิดเมทิลเอสเทอร์ แสดงได้ดังปฏิกิริยา ต่อไปนี้ (ภาพที่ 2)

***

$$
\begin{array}{ccccccc}
CH_2OOCR_1 & & & & & & CH_2OH \\
| & & & & & & | \\
CH\ OOCR_2 & + & 3\ CH_3OH & \xrightarrow[\text{ด่าง หรือ กรด}]{\text{ตัวเร่งปฏิกิริยา}} & 3\ RCOOCH_3 & + & CH\ OH \\
| & & & & & & | \\
CH_2OOCR_3 & & & & & & CH_2OH
\end{array}
$$

ไตรกลีเซอไรด์ (TG) **เมทานอล**(ROH) **เมทิลเอสเทอร์**(ME) **กลีเซอรอล** (GL)

รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยารวมของการเกิดเมทิลเอสเทอร์

1. เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้ สภาวะ ในการผลิตที่อุณหภูมิและความดันต่ำ และใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้นกว่าการใช้กรด เป็นสารเร่งปฏิกิริยา
2. เป็นกระบวนการที่ให้ผล Yield ที่สูง และควบคุมการผลิตได้ง่าย
3. ไม่ต้องใช้วัสดุที่ต้องทนต่อความดันสูง ในการสร้างอุปกรณ์การผลิต ทำให้ค่าใช้จ่าย ในการสร้างอุปกรณ์การผลิตที่ต่ำลง

ดังนั้นในการผลิต จะต้องคำนึงถึงการทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ เพื่อให้ได้ผลสูงสุด และเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด นอกจากนั้นแล้วยังต้องให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานที่กำหนดด้วย เพื่อให้ต้นทุนในการผลิตต่ำสุด มีราคาที่สามารถแข่งขันได้ และมีผลิตภัณฑ์ที่สามารถจำหน่ายได้ในชิงพาณิชย์ ซึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผลได้ (Yield) ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่

1. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา
2. อัตราส่วนระหว่างน้ำมันและแอลกอฮอล์
3. ชนิดและความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา
4. การผสมสารตั้งต้น ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น

2.4 **กระบวนการผลิตไบโอดีเซล** (Khan,2002)

การผลิตไบโอดีเซลนั้นสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การใช้โดยตรงและการผสม ไมโครอิมัลชั่น กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบต่างๆ และวิธีที่พัฒนาขึ้นในปัจจุบัน คือการทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่สภาวะเหนือวิกฤติ

2.4.1. **การใช้โดยตรงและการผสม** (Direct use and Blending) (Agarwal,2007)

การใช้โดยตรงและการผสม คือ การนำน้ำมันพืชบริสุทธิ์ หรือการผสมน้ำมันพืชบริสุทธิ์กับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ ก่อนนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งอาจส่งผล

กระทบต่อเครื่องยนต์ เนื่องจากการที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูง อัตราส่วนของกรดและปริมาณกรดไขมัน การเกิดยางเหนียวจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชั่น ระหว่างการเก็บรักษาและการเผาไหม้

2.4.2. **ไมโครอิมัลชั่น** (Microemulsion) (Saravastava and Prasad , 2000)

ไมโครอิมัลชั่น เป็นวิธีที่ช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับความหนืดสูงของน้ำมันพืช โดยใช้ตัวทำละลาย เช่น เมทานอล และ 1- บิวทานอล เนื่องจาก ไมโครอิมัลชั่น คือคอลลอยด์ที่กระจายตัวในสภาวะสมดุลย์ โดยอนุภาคในคอลลอยด์นั้นส่วนมากมีขนาดอยู่ในช่วง 1 – 15 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการก่อรูปขึ้นเองจากของเหลว 2 ชนิด ซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกัน โดยน้ำมันที่ผลิตจากวิธีนี้จะมีลักษณะและคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีค่าซีเทน และค่าความร้อนต่ำกว่า

2.4.3. **การแตกสลายด้วยความร้อน** (Pyrolysis or thermal Cracking)(Agarwal,2007)

การแตกสลายด้วยความร้อน เป็นการเปลี่ยนสารประกอบหนึ่งไปเป็นสารประกอบอื่น โดยการใช้ความร้อนหรือการใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น Sio_2 หรือ AL_2O_3 ที่อุณหภูมิประมาณ 450 – 600 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ หรือเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นวัตถุดิบ การนำไขมันมาผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนนั้น เกิดขึ้นมาเป็นเวลากว่า 100 ปีแล้ว โดยเฉพาะในแหล่งที่ขาดแคลนปิโตรเลียม ซึ่งได้มีการคิดค้นกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนของไตรกลีเซอร์ไรด์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ดีเซล ไตรกลีเซอไรด์ที่ผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็กลง เช่น อัลเคน อัลคีน อะโรมาติก และกรดคาร์บอกซิลิค

2.4.4. **ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น** (Transterification of Alcoholysis) (Agarwal,2007)

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น (Transterification of Alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาของน้ำมันพืชหรือสัตว์และแอลกอฮอล์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งเอนไซด์ กรด และเบส ทำให้ได้สารประกอบเอสเทอร์ที่มีลักษณะและคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งแอลกอฮอล์ที่สามารถใช้ในปฏิกิริยานี้คือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอทิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากปฏิกิริยานี้ เป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับ ดังนั้น การเติมแอลกอฮอล์ที่มากเกินพอจะเป็นการบังคับปฏิกิริยา ให้เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ โดยจะเรียกไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา เช่น ถ้าใช้เมทานอล จะเรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ ถ้าเป็นเอทานอล จะเรียกว่าเอทิลเอสเทอร์ นอกจากนี้ยังได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ ซึ่งสามารถนำไปทำสบู่ และอุตสาหกรรมต่อเนื่องในการผลิตเครื่องสำอางค์

ปฏิกิริยาทั่วไปแสดงดังนี้.

$$
\begin{array}{lcl}
CH-COO-R_1 & & R_1-COO-R_4 \quad CH_2-OH \\
| & & + \quad | \\
CH-COO-R_2 \;+\; 3R_4OH & \xrightleftharpoons{\text{Catalyst}} & R_2-COO-R_4 \;+\; CH-OH \\
| & & + \quad | \\
CH-COO-R_3 & & R_3-COO-R_4 \quad CH_2-OH
\end{array}
$$

Triglyceride Alcohol Fatty acid esters Glycerol

รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นของไตรกลีเซอร์ไรด์กับแอลกอฮอล์

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น (Khan, 2002) ประกอบไปด้วยปฏิกิริยาแบบย่อยๆดังนี้ คือ

2.4.4.1. **ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่น** (Sponification)

ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นเป็นปฏิกิริยาที่สร้างสบู่ขึ้น บางครั้งเราจะเรียกปฏิกิริยานี้ว่า อัลคาร์ไลน์ไฮโดรไลซิส (Alkaline Hydrolysis) โดยมีสารตั้งต้น คือกรดไขมันอิสระกับสารละลายเบสและให้ความร้อนกับปฏิกิริยา หรือเอสเทอร์กับสารละลายเบส โดยมีน้ำร่วมในปฏิกิริยา ซึ่งจะเปลี่ยนไตรกลีเซอร์ไรด์ไปเป็นกลีเซอรอลและสารประกอบเกลือของกรดคาร์บอกซิลลิกดังแสดงในภาพที่ 3,4

ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นจากกรดไขมันอิสระ [Khan, 2002]

$$R\text{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{||}}{C}\text{–}OH + NaOH \xrightarrow{\text{Heat}} R\text{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{||}}{C}\text{–}ONa^{+} + H_2O$$

Free fatty acid Sodium hydroxide Salt Water

รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นจากกรดไขมันอิสระ

หรือปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นจากเอสเทอร์

$$R\text{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{||}}{C}-OR_1 + NaOH \xrightarrow{\text{Water}} R\text{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{||}}{C}-ONa^{+} + R_1OH$$

Ester Sodium hydroxide Ester Alcohol

รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นจากเอสเทอร์

2.4.4.2. **ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่น** (Esterification) [Khan, 2002]

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่นเป็นปฏิกิริยาที่สร้างเอสเทอร์ มีสารตั้งต้นคือกรดคาร์บอกซิลิก (กรดไขมันอิสระ) และแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดแก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก และกรดไฮโดรคลอริก ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่นแสดงดังภาพที่

$$R\text{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{||}}{C}-OH + R_1OH \underset{\longleftarrow}{\xrightarrow{H^{+}}} R\text{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{||}}{C}-OR_1 + H_2O$$

Free fatty acid Alcoho Ester Water

รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่น

2.4.4.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) [Khan, 2002]

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอร์ไรด์กับน้ำที่อุณหภูมิและความดันสูงซึ่งในโรงงานบางแห่งจะใช้ความดันระหว่าง 0.6 – 1.2 เมกกะปาสคาล และอุณหภูมิ 21 – 260 องศาเซลเซียสโดยไม่ต้องใช้ปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์ คือ กรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล ดังภาพที่ 6

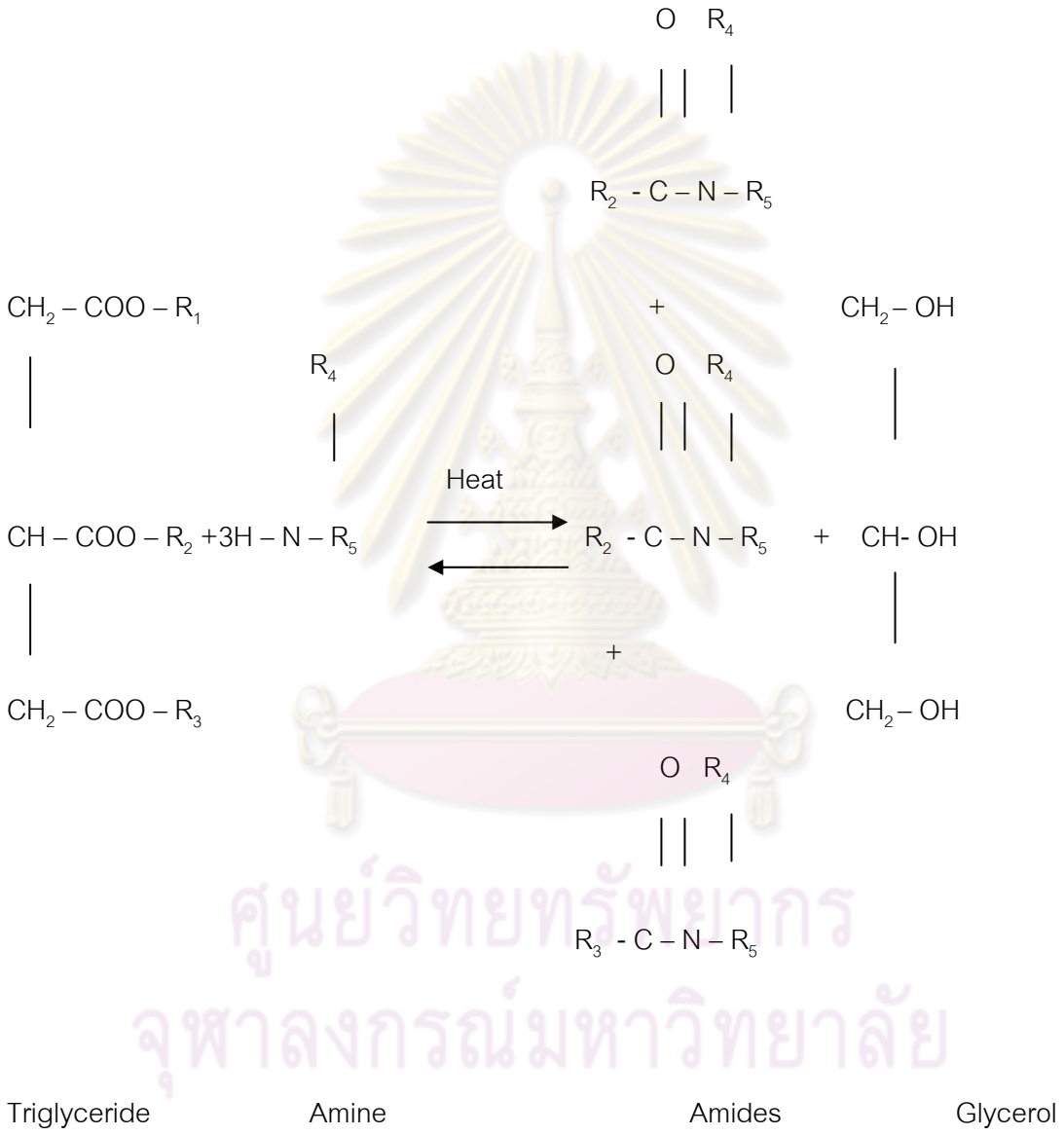
$$
\begin{array}{lcl}
CH_2 - COO - R_1 & & R_1\text{-}COO - H \quad + \quad CH_2 - OH \\
| & & | \\
CH - COO - R_2 \;+\; 3H_2O & \xrightleftharpoons{\text{Heat}} & R_2\text{-}COO - H \quad + \quad CH\text{-}OH \\
| & & | \\
CH_2 - COO - R_3 & & R_3\text{-}COO\text{-}H \quad + \quad CH_2 - OH
\end{array}
$$

Triglyceride Water Free fatty acid esters Glycerol

รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.4.4.4. **ปฏิกิริยาอะมิโนไลซิส** (Aminolysis) [Khan, 2002]

ปฏิกิริยาอะมิโนไลซิสเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของกลีเซอไรด์ และเอมีน ได้ เอไมด์และกลีเซอรอล จากนั้นเอสเทอร์จะเกิดจากการเติมหมู่นิวคลีโอฟิลิคที่ไปแทนที่เอทิลคาร์บอนอะตอมของเอไมด์ ปฏิกิริยานี้ จะเป็นไปอย่างช้าๆ ดังภาพที่ 7.



รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาอะมิโนไลซิสของไตรกลีเซอร์ไรด์

2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

(1). การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลโฟนิกเป็นต้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ คือ น้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมาก แต่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน ใช้อุณหภูมิสูง และใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันสูง เหมาะสำหรับกลีเซอไรด์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระและน้ำสูง (Xie et al.,2007)

(2). การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีราคาถูกกว่าสารชนิดอื่นๆ เป็นต้น โดยจะมีการเร่งปฏิกิริยาที่เร็วกว่า และเกิดการกัดกร่อนน้อยกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังให้ผลิตภัณฑ์ คือ น้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณที่สูงจึงมักนิยมใช้วิธีการนี้มาก ในการผลิตไบโอดีเซล (Xie et al.,2007)

แต่การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ก็มีข้อเสีย คือ ถ้าในน้ำมันมีกรดไขมันอิสระสูงและมีน้ำอยู่ในระบบของการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมาก จะทำให้เกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่น และได้สบู่เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้การแยกเอสเทอร์และกลีเซอรอลทำได้ยาก (Ma Hanna,1999)

(3) . การใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แม้ว่ากระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีระดับการเปลี่ยนไขมันเป็นเมทิลเอสเทอร์ที่สูงในระยะเวลาอันสั้น แต่ก็พบว่ามีข้อเสียหลายประการ เช่น การแยกกลีเซอรอลทำได้ยาก มีการรบกวนของกรดไขมันอิสระและน้ำในปฏิกิริยา และจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสียในภายหลังการใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นนั้นสามารถแก้ปัญหาที่เกิดจากการใช้กรด หรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ และสามารถแยกกลีเซอรอลออกมาได้ง่าย และมีการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ แต่ในทางกลับกันการใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ก็มีต้นทุนในการผลิตสูง และต้องควบคุมสภาวะในการเกิดปฏิกิริยาเป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (บริษัท พาราไซแอนติฟิค จำกัด , 2547)

(4) . การใช้เมทานอลในสภาวะเหนือวิกฤติ (Supercritical Methanol) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการให้ความร้อนเริ่มต้นกับน้ำมันที่ 350 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสภาวะเหนือวิกฤติเป็นเวลา 4 นาที (บริษัท พาราไซแอนติฟิค จำกัด , 2547) วิธีนี้มีข้อดี คือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่

มีของเสียจากกระบวนการ แต่อย่างไรก็ตามต้องใช้อุณหภูมิและความดันในระดับที่ค่อนสูงเพื่อทำให้เมทานอลอยู่ในสภาวะเหนือวิกฤติ (Demirbas , 2006)

(5) . การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalyst) ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะวัฏภาคที่แตกต่างกันกับสารตั้งต้น โดยส่วนใหญ่ตัวเร่งปฏิกิริยามักอยู่ในสถานะของแข็ง ในขณะที่สารตั้งต้นอยู่ในสถานะของแข็งหรือแก๊ส ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ เช่น CsX zeolites , Anionic clays, Calcium carbonate rock , EST-10 , Li/ CaO ZrO_2 และ KNO_3 / ZrO_2 เป็นต้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยลดปัญหาจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ในปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น ซึ่งยากต่อการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์นั้นอยู่ในสถานะเดียวกับสารที่ทำปฏิกิริยาและยังต้องใช้น้ำล้าง เพื่อแยกและทำความสะอาดตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมาก ดังนั้นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ จึงช่วยให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นออกจากตัว เร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ได้สารที่ต้องการได้ทันที เป็นการลดต้นทุนในการผลิตและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์เป็นตัวเร่งในระบบที่มีน้ำในปฏิกิริยา (Xie et al.,2007)

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของน้ำมันปาล์ม

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชต่างชนิดกัน จะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอร์ไรด์ ที่มีกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างของไตรกลีเซอร์ไรด์ถึงร้อยละ 94 – 96 % ของน้ำหนักโมเลกุล ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันมีคุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพเป็นไปตามกรดไขมัน ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้น เมื่อนำน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติ ตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบนั้นๆ การพิจารณาเลือกน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์ชนิดใดมาเป็นวัตถุดิบ มีข้อควรพิจารณาดังนี้

จุดหลอมเหลวและจุดเดือด

1. คุณสมบัติการไหล ที่อุณหภูมิต่ำ (Cold flow)
2. ค่าไอโอดีน และเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น
3. ค่าความร้อน
4. ค่าความหนืด
5. คุณสมบัติเชื้อเพลิง ในการหล่อลื่น (Fuel Lubricity)

ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืช เป็นดัชนีชี้บอกถึงปริมาณพันธะคู่ (Double Bond) ที่มีอยู่ในโครงสร้างของน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนสูง หมายความว่า น้ำมันพืชนั้น มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ซึ่งเมื่อนำมาผลิตไบโอดีเซล กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเมื่อนำมาผลิตไบโอดีเซล กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่อยู่ในไบโอดีเซลนั้น จะส่งผลให้เกิดการสะสมในถัง ระบบส่งน้ำมันเชื้อเพลิง และไส้กรอง นอกจากนั้น ค่าไอโอดีนที่สูง จะมีผลให้เกิดปัญหาเสถียรภาพ ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ที่ทำให้ไบโอดีเซล ที่ผลิตจากน้ำมันพืช ที่มีค่าไอโอดีนสูง มีอายุการเก็บรักษาสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

น้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมัน ไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง โดยเฉพาะกรดไขมันชนิดที่มีพันธะคู่มากกว่า 2 ตำแหน่ง และน้ำมันที่ผ่านกระบวนการ ที่ได้รับความร้อนมาแล้วหลายครั้ง มีแนวโน้มที่ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ จะมีค่าเสถียรภาพ ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นต่ำลงมาก ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซล จะต้องเลือกน้ำมันที่มีค่า ไอโอดีนที่ต่ำกว่า 120 ตามมาตรฐานที่กำหนด ค่าไอโอดีนของไบโอดีเซล นอกจากนั้นแล้วยังต้องพิจารณา ใช้น้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณต่ำ และไม่ผ่านกระบวนการที่ถูกความร้อน มาแล้วหลายครั้งและเป็นเวลานาน เพื่อช่วยเพิ่มค่าเสถียรภาพ ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซล

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เนื่องจากการเกิดสารประเภท เพอร์ออกไซด์ (Peroxide Linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่อยู่ในโครงสร้างของไบโอดีเซล ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดเมื่อ น้ำมันสัมผัสกับออกซิเจน ในอากาศ โดยที่ความร้อนและแสงแดด มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่โลหะเช่น ทองแดง และตะกั่ว ก็เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา เกิดได้เร็วยิ่งขึ้น ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดสารโพลิเมอร์ (Oxidation Polymerization) และเกิดของแข็ง ที่ไม่ละลายในไบโอดีเซล

เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น นอกจากจะขึ้นอยู่กับประเภท และคุณสมบัติของน้ำมันพืช ที่เป็นวัตถุดิบแล้ว ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสูง แก่ไบโอดีเซลเป็นระยะเวลานาน อาจส่งผลให้เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ที่กำหนด โดยให้มีค่าสูงกว่า 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส โดยทั่วไป Biodiesel ที่ยังไม่มีการเติม สารเติมแต่งหรือสารป้องกันการเกิด ปฏิกิริยา ออกซิเดชั่น ลงไป จะมี Reduction time ~ 0.45 - 3.18 ชั่วโมงเท่านั้น แต่หลังจาก เติมสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นแล้ว Reduction time จะเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 2 – 23 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ Feed Stock และชนิดของสาร ป้องกันการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นด้วย

*(International Fuel Technology)

ประเภทของสาร Antioxidant ชนิดต่าง ๆ

<u>Name of Additive</u> [International Fuel Technology]

[Summary of IFT Biodeisel Research and Testing Positive Impact on Biodeisel / Biodeisel Blend Stability]

1. BHT (Butylated Hydroxytoluene)

2. Propyl Gallate

3. ButylatednHydroxyanisole

4. Al alpha tocopherol

5. Octyated butylated diiiphenylamine

6. Phenolic thioether

7. Trisnonylphenyl phosphate

8. 2,5 ditert – pentyhydroquinone

9. Butylated phenol

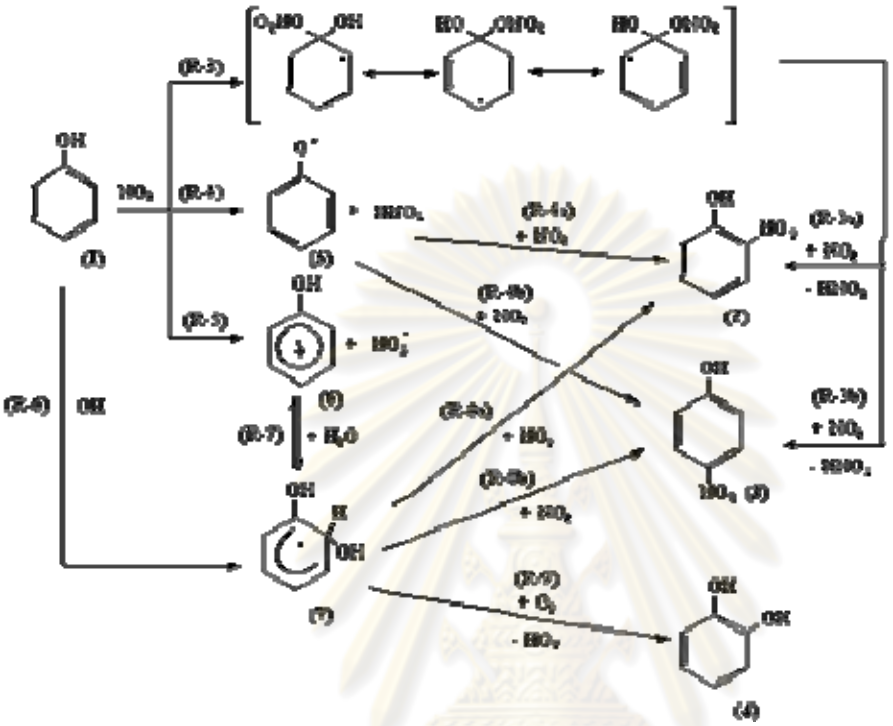
10. Hydroxyethylated amino ethylamine

11. Diphenylamine derivative

12. 2,6 diter – butyl 4 methyphenol

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

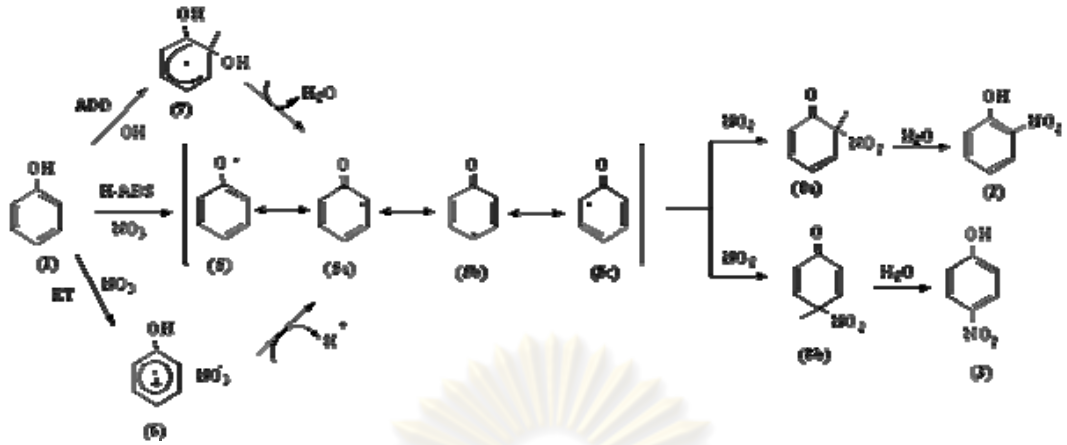
ตัวอย่างปฏิกิริยาออกซิเดชั่นแบบต่าง ๆ



รูปที่ 2.10 : Reactions involved phenol oxidation and nitration in the flash photolysis experiment

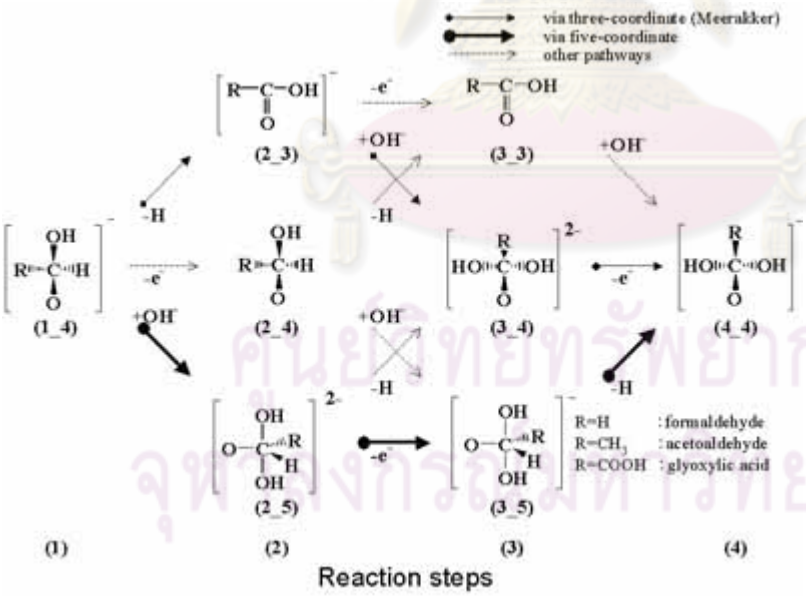
From gas phase studies, it is known that phenol reacts with NO_3 (R-3) leading to the formation mainly of 2-nitrophenol (2) (Atkinson et al., 1992).

ตัวอย่างกระบวนการออกซิเดชั่น ของ ฟีนอล



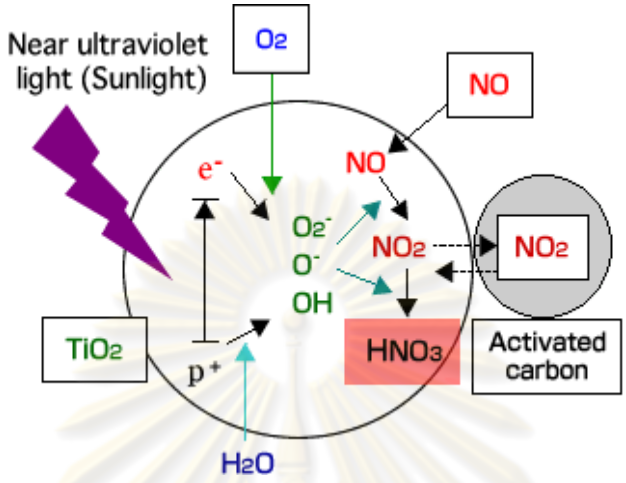
รูปที่ 2.11_ : Proposed oxidation mechanism of phenol in strongly acidic aqueous condition.

ตัวอย่างกระบวนการออกซิเดชั่น ของ อัลดีไฮด์



รูปที่ 2.12_ . 1-1 Reaction pathways for the oxidation process of aldehyde via all intermediates.

ตัวอย่างกระบวนการออกซิเดชั่น ของโฟโต้คะตะลิสต์



รูปที่ 2.13 Pollutant Oxidation Mechanism of Photocatalysts

2.7. **ข้อดีของไบโอดีเซล** [สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.),2549:4]

1. เป็นพลังงานที่ปราศจากสารพิษ ถูกย่อยสลายง่ายปลอดสารกำมะถันและเบนซิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง อีกทั้งไม่มีกลิ่นและควันพิษ
2. เป็นพลังงานที่ได้จากกระบวนการนำทรัพยากรที่ใช้แล้ว ได้แก่การนำน้ำมันพืชชนิดต่างๆ มาผลิตเป็นไบโอดีเซลใช้เองในท้องถิ่น ซึ่งจะช่วยลดปริมาณความถูกต้องการนำน้ำมันจากต่างประเทศ และยังช่วยประหยัดเงินตราของประเทศอีกด้วย
3. ช่วยลดปัญหาของสภาวะเรือนกระจก ที่ทำให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศสูงขึ้น ซึ่งมีผลเสียต่อสุขภาพและสภาวะแวดล้อม
4. ในกระบวนการเผาไหม้เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลธรรมดา ไบโอดีเซลสามารถผลิตก๊าซออกซิเจนได้ 10 % ในขณะเดียวกันสามารถลดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในอากาศได้ 44 % ลดปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งเครื่องยนต์เผาไหม้ไม่หมดลงได้ 68 % รวมทั้งอนุภาคของสารพิษหรือประจุขนาดเล็กของสารพิษลงได้ 40 % อีกด้วย

5. จุดวาบไฟของไบโอดีเซลสูงไม่ทำให้ติดไฟง่าย จึงไม่มีอันตราย ปลอดภัยต่อการขนย้ายและการเก็บรักษาโดยสามารถเก็บไว้ในถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียมได้ ยกเว้นถังคอนกรีตหรือภาชนะที่ผลิตจากสารประเภทโพลียูรีเทน และยางพารา
6. น้ำมันดีเซลมีกำมะถันสูง แต่น้ำมันไบโอดีเซลไม่มี ไบโอดีเซลช่วยหล่อลื่นแทนกำมะถันและลดฝุ่นละอองหรือควันดำ ให้ต่ำลง โดยไม่ทำให้เครื่องยนต์อุดตันเพราะเผาไหม้หมด

2.8 **คุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล** (ความรู้เกี่ยวกับปิโตรเลียม : 2548.)

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซลมีความหมายและผลกระทบต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.8.1 **อุณหภูมิการกลั่น** (Distillation)

คือ ความสามารถในการระเหยของน้ำมันซึ่งวัดโดยการกลั่น สมบัติข้อนี้มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะในเครื่องยนต์รอบปานกลางและรอบสูง การใช้เชื้อเพลิงที่ระเหยง่ายเกินไปจะทำให้กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงเนื่องจากอาจเกิด Vapour locks ในระบบเชื้อเพลิงหรือหยดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดไม่สามารถไปไกลได้เท่าที่ควรโดยทั่วไปช่วงการกลั่นของน้ำมันควรต่ำสุด โดยไม่ทำให้สมบัติทางด้านจุดวาบไฟ การลุกติดไฟ ค่าความร้อนตลอดจนค่าความใสเปลี่ยนไป การระเหยตัวและค่าการกลั่นที่เหมาะสม จะช่วยให้เครื่องยนต์ติดง่ายและเกิดควันจากท่อไอเสียน้อยเครื่องยนต์มีกำลังและประหยัดเชื้อเพลิง

2.8.2 **จุดวาบไฟ** (Flash point)

คือ อุณหภูมิที่น้ำมันดีเซลได้รับความร้อนแล้วสามารถทำให้เกิดการผสมระหว่างอากาศและไอของน้ำมันเหนือของเหลวแล้วติดไฟได้เมื่อมีประกายไฟเพียงเล็กน้อย หรือเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันจะลุกวาบไฟได้ ซึ่งจุดวาบไฟเป็นจุดที่บอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษา มีความสำคัญในด้านอันตรายจากอัคคีภัยในการขนส่งและการใช้งานเท่านั้น แต่ไม่มีความสำคัญโดยตรงต่อการสันดาปและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังใช้จุดวาบไฟสำหรับการตรวจสอบหากมีน้ำมันชนิดเบาเจือปนอยู่ ค่ามาตรฐานจะมีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วง 38 – 52 องศาเซลเซียส

2.8.3 **ค่าความร้อนขั้นสูง** (Heating value)

คือ ปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาไหม้อย่างสมบรูณ์ ซึ่งค่าความร้อนจะรวมความร้อนจากการควบแน่นไอน้ำที่เกิดปฏิกิริยาและความชื้นของเชื้อเพลิง ค่านี้แสดงถึงพลังงานสูงสุดของเครื่องยนต์ที่สามารถเป็นไปได้ในทางทฤษฎี

2.8.4 **ค่าความหนืด** (Viscosity)

เป็นค่าแสดงความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากการเคลื่อนที่ของของไหล ซึ่งเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และบอกถึงคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิวด้วย มีผลต่อการทำงานของปั๊มและหัวฉีดเพราะถ้าใสเกินไป หรือ ข้นเกินไปจะฉีดเป็นฝอยได้ไม่ค่อยดี เป็นผลเสียต่อการเผาไหม้ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ตกลงและเกิดควันดำ เครื่องยนต์รอบต่ำสามารถใช้น้ำมันที่มีความหนืดสูงกว่าเครื่องยนต์รอบสูง ความหนืดจะมีหน่วยเป็นพอยส์ (poise,P) ความหนืดของน้ำมันมีความสำคัญมากในการใช้งาน เพราะเป็นเครื่องบอกถึงความต้านทานการไหลตัวของน้ำมันและบอกถึงคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิวด้วย

2.8.5 **จุดเริ่มไหล** (Pour point)

คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้ ซึ่งเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไขของน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกับจุดเกิดหมอก แต่ใช้ความสามารถในการไหลในการวัดแทน ซึ่งตามมาตรฐานกำหนดว่า จุดเริ่มไหลคือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันไม่สามารถไหลได้ โดยทั่วไปจะมีค่าต่ำกว่าจุดเกิดหมอกประมาณ 5 ถึง 11 องศาเซลเซียส

2.8.6 **จุดเกิดหมอก** (Cloud point)

เป็นจุดที่สารพาราฟินจะตกผลึกเป็นไข หรืออุณหภูมิของน้ำมันดีเซลรวมตัวจนสามารถมองเห็นเป็นกลุ่มคล้ายหมอกได้ ซึ่งเป็นจุดอุดตันไส้กรองของน้ำมันได้ สำคัญมากในเขตหนาว ในประเทศไทยไม่มีข้อจำกัดนี้ สามารถทำได้โดยการใส่น้ำมันดีเซลไว้ในภาชนะใสแล้วลดอุณหภูมิด้วยอัตราคงที่จนสามารถมองเห็นกลุ่มหมอกได้ โดยทั่วไปจุดเกิดหมอกจะมีค่าประมาณ 10 ถึง 20 องศาเซลเซียส

2.8.7 **ความหนาแน่น** (Density)

เป็นค่าที่บอกถึงน้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์โดยตรง กล่าวคือการฉีดเชื้อเพลิงในแต่ละครั้งเครื่องยนต์จะวัดค่ารูปของปริมาตร ดังนั้นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะให้กำลังและโอกาสเกิดควันได้มากกว่า เนื่องจากมีมวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้มากกว่า โดยทั่วไปความหนาแน่นที่ยอมรับได้จะมีค่าระหว่าง 0.8 – 0.86 กรัมต่อมิลลิลิตร

2.8.8 **สี** (Color)

ปกติน้ำมันดีเซลจะมีสีชาอ่อน เพื่อป้องกันการปลอมปน จึงมีข้อกำหนดให้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วมีสีไม่เกิน 2.0 ส่วนน้ำมันดีเซลหมุนช้าให้มีสีเข้มคือ 4.5 - 7.5

2.8.9 **ปริมาณคาร์บอนเหลือและปริมาณเถ้า** (Ash)

เป็นค่าที่บ่งบอกว่าสารเหลืออยู่หลังจากเผาไหม้ในรูปของกากคาร์บอน และสารอนินทรีย์ตามลำดับ

2.8.10 **ปริมาณกำมะถัน** (Sulfur)

โดยมากจะบอกเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของกำมะถันในน้ำมันดีเซล ซึ่งปริมาณกำมะถันที่สูงเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของสารหล่อลื่นเพิ่มขึ้น และมีการปล่อยก๊าซ SO_x (SO_2 ,SO_3) มากซึ่งก๊าซดังกล่าวนอกจากจะเป็นมลพิษแล้วทำให้เกิดการกัดกร่อนและเหนี่ยวนำให้เกิดคราบคาร์บอนในกระบอกสูบอีกด้วย ดังนั้นในปัจจุบันปริมาณกำมะถันจึงถูกกำหนดให้มีค่าสูงไม่เกินร้อยละ 0.05

2.8.11 **ค่าซีเทน** (Cetane)

คือ ค่าที่บอกถึงคุณภาพของการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงโดยจะใช้อุณหภูมิติดไฟได้เอง จะเร็วหรือช้าขึ้นกับประเภทของไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในตัวน้ำมัน โดยพาราฟินจะติดไฟได้เร็วที่สุดตรงข้ามกับพวกอะโรมาติกจะติดไฟได้ช้าโดยเฉพาะอะโรมาติกที่มีจำนวนวงแหวนมาก การวัดจึงใช้ไฮโดรคาร์บอนสองประเภทดังกล่าวเป็นหลัก ค่าช่วงเวลาหน่วงก่อนจุดระเบิดใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงสองชนิดคือ ซีเทน (n-cetane) ให้ค่าซีเทนเท่ากับ 15 โดย

$$\text{Cetane number} = \%\ \text{n-cetane} + (0.15)\ (\%\ \text{Heptamethylnonane})$$

ซึ่งอุณหภูมิติดไฟที่เชื้อเพลิงสามารถลุกไหม้ได้เองในบรรยากาศที่ปราศจากประกายไฟเนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลใช้หลักการจุดระเบิดด้วยการอัดอากาศให้มีอุณหภูมิสูงจนสามารถจุดระเบิดได้เองแทนการจุดระเบิดด้วยหัวเทียน สำหรับสารที่มีค่าซีเทนต่ำจะทำให้การจุดระเบิดล่าช้าเนื่องจากเชื้อเพลิงต้องดูดความร้อนในปริมาณมากจนสามารถจุดระเบิดได้เอง ทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่เกิดการเผาไหม้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดสะสมและจุดระเบิดพร้อมกันทีเดียว ส่งผลให้ความดันภายในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเครื่องยนต์หยุด ชะงักเนื่องจากเสียจังหวะ ในทางตรงกันข้ามน้ำมันดีเซลมีเลขซีเทนสูงมากจะทำให้เครื่องยนต์มีกำลังต่ำเกินไป ดังนั้นค่ามาตรฐานของเลขซีเทนจึงมักกำหนดเฉพาะค่าต่ำสุดเท่านั้น ซึ่งจะมีค่าประมาณ 45

2.8.12 **ดัชนีซีเทน** (Cetane index)

เนื่องจากค่าซีเทนต้องใช้เครื่องยนต์พิเศษ สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่าย จึงใช้วิธีคำนวณแทน ซึ่งประมาณจากค่าความถ่วงจำเพาะและช่วงอุณหภูมิการกลั่นที่ 50 % ค่าที่ได้เรียกว่าดัชนีซีเทน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าซีเทนมากใช้แทนกันได้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ferrari และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ของไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองแบบต่างๆ คือ น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทำให้เป็นกลาง น้ำมันถั่วเหลืองกลั่น และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการใช้แล้วที่กำจัดน้ำออกแล้วบางส่วน โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rancimat ที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยวิธี Gas Chromatography (GC) จากการศึกษาพบว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองแบบต่างๆ มีการเสถียรภาพต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่แตกต่างกัน โดยไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทำให้เป็นกลางจะมีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นดีที่สุด รองลงมา คือ ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองกลั่น และไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการใช้แล้ว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทำให้เป็นกลางมีสาร Antioxidant ตามธรรมชาติอยู่เป็นจำนวนมาก ในขณะที่สาร Antioxidant บางส่วนในไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองแบบอื่นนั้น ถูกทำลายจากการผ่านกระบวนการทางความร้อนจึงทำให้มีการเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นต่ำ

Dumn (2005) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในไบโอดีเซล จากน้ำมันถั่วเหลืองของสาร Antioxidant ทั้ง 5 ชนิด คือ TBHQ (tert-butylhydroquinone) , BHA (butylated htdroxyanisole) , BHT (butylated hydroxytoluene) , PrG (propyl gallate) ซึ่งจะพบว่า BHA (butylated htdroxyanisole) มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในไบโอดีเซล และ a – Tocopherol มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสาร Antioxidant ลงในไบโอดีเซลจะช่วยเพิ่มการเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามความเข้มข้นของสาร Antioxidant ที่ใช้จนถึงความเข้มข้น 1,000 ppm และจะเพิ่มขึ้นอย่าช้าๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมากกว่า 1,000 ppm นอกจากนี้ยังพบว่า BHA หรือ TBHQ ในปริมาณความเข้มข้นถึง 3,000 ppm เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ระหว่างการจัดเก็บก่อนนำไปใช้งาน และ

BHT มีความเหมาะสมเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นต่ำ คือ 210 ppm ส่วน PrG มีปัญหาเรื่องการละลายที่ไม่สมบูรณ์ในไบโอดีเซล ในขณะที่ a – Tocopherol นั้นสามารถละลายได้ดีในไบโอดีเซล

Domingos และคณะ (2007) ทำการศึกษาอิทธิพลของสาร Antioxidant ชนิดต่างๆ คือ BHT (butylated htdroxyanisole) , BHA (butylated htdroxyanisole) ,และ TBHQ (tert- butylhydroquinone) ต่อ เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่มีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นต่ำ จากการศึกษาพบว่า BHT(butylated hydroxytoluene) มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซลที่ความเข้มข้น 200 – 7,000 ppm ส่วน TBHQ (tert- butylhydroquinone) จะมีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นมาก คือ 8,000 ppm ในขณะที่ BHA (butylated htdroxyanisole) ช่วยเพิ่ม Induction time น้อยมากเมื่อเติมในปริมาณความเข้มข้นมากกว่า 2,000 ppm และการผสมสาร Antioxidant แต่ละชนิดเข้าด้วยกันลงในไบโอดีเซลนั้น ไม่ได้มีประสิทธิภาพต่อการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นมากกว่าการเติมสารเพียงชนิดเดียว

McComick และคณะ (2007) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยทำการทดสอบการเกิดสารที่ไม่สามารถละลายได้ตามมาตรฐาน ASTM D 2274 และทดสอบการเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นด้วยเครื่อง Rancimat โดยวัดเป็นค่า Induction timeตามมาตรฐาน EN 14112 จากการทดลองพบว่า ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารที่ไม่ละลายและลดค่า Induction time นั่นคือลดการเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามปริมาณของสารที่ไม่ละลายที่เกิดขึ้นจะลดลงเมื่อปริมาณของสาร Antioxidant เพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของกลีเซอรีนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่า Induction time เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสาร Antioxidant เพิ่มขึ้น

Rekesh และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซล จากพืชทั้ง 5 ชนิด คือ สบู่ดำ เมล็ดทานตะวัน ถั่วเหลือง ปาล์ม และคาแรนเจียร์ (Karanjia) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงการเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซล และศึกษาหาชนิดและปริมารสาร Antioxidant

ที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่าการผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำและน้ำมันปาล์มจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำและลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซล และสาร Antioxidant ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซล คือ 2,6 ditertiarybutyl hydroxytoluene ซึ่งไบโอดีเซลที่มีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไบโอดีเซลทั้ง 2 ชนิดจะช่วยลดปริมาณสาร Antioxidant ที่ใช้ได้ 80 -90 %

National Renewable Energy Laboratory (2006)โดยทั่วไป Biodiesel ที่ยังไม่มีการเติม สารเติมแต่ง หรือสารป้องกันการเกิด ปฏิกิริยา ออกซิเดชั่น ลงไป จะมี Reduction time ~ 0.45 - 3.18 ชั่วโมงเท่านั้น แต่หลังจาก เติมสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นแล้ว Reduction time จะเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 2 – 23 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ Feed Stock และชนิดของสาร ป้องกันการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นด้วย (Stability of Biodiesel and Biodiesel Blend : Interm Report)

Vanessa และคณะ (2005) ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืช เป็นดัชนีชี้บอกถึงปริมาณพันธะคู่ (Double Bond) ที่มีอยู่ในโครงสร้างของน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนสูงหมายความว่า น้ำมันพืชนั้น มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ซึ่งเมื่อนำมาผลิตไบโอดีเซล กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่อยู่ในไบโอดีเซลนั้น จะส่งผลให้เกิดการสะสมในถัง ระบบส่งน้ำมันเชื้อเพลิง และไส้กรอง นอกจากนั้น ค่าไอโอดีนที่สูง จะมีผลให้เกิดปัญหาเสถียรภาพ ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ที่ทำให้ไบโอดีเซล ที่ผลิตจากน้ำมันพืช ที่มีค่าไอโอดีนสูง มีอายุการเก็บรักษาสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว น้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมัน ไม่อิ่มตัวในปริมาณสูงโดยเฉพาะกรดไขมันชนิดที่มีพันธะคู่มากกว่า 2 ตำแหน่ง และน้ำมันที่ผ่านกระบวนการ ที่ได้รับความร้อนมาแล้วหลายครั้ง มีแนวโน้มที่ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ จะมีค่าเสถียรภาพ ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นต่ำลงมาก ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซล จะต้องเลือกน้ำมันที่มีค่า ไอโอดีนที่ต่ำกว่า 120 ตามมาตรฐานที่กำหนด ค่าไอโอดีนของไบโอดีเซล นอกจากนั้นแล้วยังต้องพิจารณา ใช้น้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณต่ำ และไม่ผ่านกระบวนการที่ถูกความร้อน มาแล้วหลายครั้งและเป็นเวลานาน เพื่อช่วยเพิ่มค่าเสถียรภาพ ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซล

กรมธุรกิจพลังงาน (2548) การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เนื่องจากการเกิดสารประเภท เพอร์ออกไซด์ (Peroxide Linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่อยู่ในโครงสร้างของไบโอดีเซล ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดเมื่อ น้ำมันสัมผัสกับออกซิเจน ในอากาศ โดยที่ความร้อนและแสงแดด มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่โลหะเช่น ทองแดง และตะกั่ว ก็เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา เกิดได้เร็วยิ่งขึ้น ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดสารโพลิเมอร์ (Oxidation Polymerization) และเกิดของแข็ง ที่ไม่ละลายในไบโอดีเซล เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น นอกจากจะขึ้นอยู่กับประเภท และคุณสมบัติของน้ำมันพืช ที่เป็นวัตถุดิบแล้ว ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสูง แก่ไบโอดีเซลเป็นระยะเวลานาน อาจส่งผลให้เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ที่กำหนด โดยให้มีค่าสูงกว่า 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข , โครงการเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2550) ไบโอดีเซลที่ผลิตจกกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจะทำให้มีจุดขุ่น (Cloud point) จำนวนซีเทน (Cetane number) สูงขึ้น ปริมาณ NOx ลดลงและมีเสถียรภาพ (Stability) แต่ถ้ามีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูงจะให้ค่าจุดขุ่น จำนวนซีเทน เสถียรภาพลดลง และปริมาณ NOx เพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาชนิดและปริมาณของสาร Antioxidant รวมทั้งอุณหภูมิและปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อค่าเสถียรภาพของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์ม ในระดับห้องปฏิบัติการ และตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซล เพื่อให้ได้คุณภาพตามที่มาตรฐานกำหนด

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. น้ำมันปาล์ม 3 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบ , ไขปาล์มสเตียริน และ น้ำมันปาล์มรีไฟน์ (Feed Stock)
2. ชนิดของสาร Antioaidat 3 ชนิด คือ สารผสมของฟีนอล , สารอะลิฟาติคเอสเทอร์ และสารผสมฟีโนลิค
3. อะซีโตน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบ Rancimat 743
2. พาราฟิล์ม
3. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล , 2100 กรัม
4. ดรอปเลท
5. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 10 , 20 , 100 ml
6. หลอดทดลอง
7. กระบอกตวง ขนาด 10 , 100 ml
8. ปิเปต 1 , 5 , 10 ml
9. บีกเกอร์ขนาด 10 , 50 , 100 ml
10. ลูกยาง

3.3 วิธีการทดลอง

สำหรับการทดลองนี้จะทำการศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของน้ำมันปาล์มชนิดต่างๆกัน โดยทดสอบค่าเสถียรภาพต่อปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชั่นซึ่งใช้เครื่องทดสอบ Rancimat (Oxidation Stability) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยวิธีมาตรฐาน EN 14112 : ให้ความร้อนอุณหภูมิตามที่ต้องการทดสอบ เช่น 110องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักน้ำมันตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ปริมาณ 3 กรัม ซึ่งบรรจุภายในหลอดแก้วทดลองและอยู่ในระบบปิด ซึ่งจะมีการต่อสายท่ออากาศออกจากระบบปิด เพื่อนำอากาศส่วนที่อยู่ด้านบน ซึ่งก็คืออากาศส่วนที่ถูกออกซิไดซ์ ออกมาจุ่มลงในกระบอกแก้วซึ่งบรรจุน้ำ DI (deionization) ปริมาณ 80 มิลลิลิตร ที่ส่วนฝาของกระบอกแก้วนี้ จะมีตัววัดค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งจะส่งสัญญาณไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลเป็นกราฟ และ รายงานค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ออกมาเป็นค่า IP (Induction Period) สำหรับการทดลองนี้ได้ศึกษาชนิดของน้ำมันปาล์ม 3 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มรีไฟน์และไขปาล์มสเตียริน โดยใช้สารต้านออกซิเดชั่นที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ ฟีโนลิค สารผสมของอะลิฟาติคเอสเทอร์ สารผสมของฟีนอล โดยใช้ที่ปริมาณ 100 , 250 และ 500 ppm ที่อุณหภูมิ 110, 150 และ 200 องศาเซลเซียส

3.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างน้ำมันปาล์ม

นำตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่างๆ เช่น หาค่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Ester content), หาเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid ; FFA) , วิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity) วิเคราะห์หาปริมาณและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม (Fatty Acid Composition) ,วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value) , วิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine value) , วิเคราะห์จุดวาบไฟ (Flash point) , วิเคราะห์ปริมาณกากถ่าน (Carbon residue) , วิเคราะห์ปริมาณน้ำ (Water content) เป็นต้น

3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างน้ำมันจำนวน 3 กรัม และเตรียมสาร Antioxidant ที่ความเข้มข้น 50 ppm , 100 ppm , 250 ppm และ 500 ppm นำเข้าเครื่องทดสอบ 743 Rancimat

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซล

นำตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่างๆ เช่น หาเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid ; FFA) , วิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity) วิเคราะห์หาปริมาณและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม (Fatty Acid Composition) , วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value) , วิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine value) , วิเคราะห์จุดวาบไฟ (Flash point) , วิเคราะห์ปริมาณกากถ่าน (Carbon residue) , วิเคราะห์ปริมาณน้ำ (Water content) เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มตัวอย่าง

น้ำมันปาล์มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง และวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำมันปาล์ม ซึ่งใช้เป็นฟีดสต็อกสำหรับผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล (B100) ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติต่างๆว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด เนื่องจากจะมีผลโดยตรงต่อเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงนำน้ำมันปาล์มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นซึ่งได้รับความอนุเคราะห์การตรวจวัดและวิเคราะห์ผลโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

4.1.1 ค่าความเป็นกรด

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
ค่าความเป็นกรด	0.36	< 0.50

แสดงความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซล เป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมันพืช และปริมาณกรดที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ ทำให้อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมัน เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกจากปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันและผลของสภาวะในการจัดเก็บ

4.1.2 กากถ่าน

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
กากถ่าน	0.00	< 0.30

ปริมาณกากถ่านมีความสัมพันธ์กับปริมาณกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สบู่ และตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ยังหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล หากมีปริมาณกากถ่านสูงกว่าข้อกำหนด ชี้บอกถึงยังคงมีสารต่างๆที่กล่าวข้างต้นหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล นอกจากนั้นยังแสดงถึงแนวโน้มของปริมาณกากถ่านที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ กากถ่านมีผลต่อการอุดตันในหัวฉีดหรือที่ลูกสูบ ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง เครื่องยนต์สกปรกและต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องบ่อยครั้ง

4.1.3 ค่าไอโอดีน

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
ค่าไอโอดีน	38.69	< 120

ค่าไอโอดีนแสดงพันธะคู่ในน้ำมัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นไบโอดีเซล ค่าไอโอดีนต่ำแสดงถึงการมีสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างไบโอดีเซลสูง ทำให้ไม่มีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชั่น นอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังมีความสัมพันธ์กับจุดขุ่น ซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิในการเริ่มเกิดไข หรือจับตัวเป็นก้อนแข็ง ไบโอดีเซลที่มีค่าไอโอดีนต่ำจะมีจุดขุ่นสูง ซึ่งมีผลจากการใช้งานสภาพอากาศเย็น ไบโอดีเซลจกน้ำมันปล์มดิบมีค่ไอโอดีน 50 – 55 ประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนดให้ ค่าไอโอดีนไม่สูงกว่า 120 กรัมไอโอดีน / 100 กรัม

4.1.4 ค่าความหนืด

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
ค่าความหนืด	4.82	3.5 – 5.0

ความหนืดเกี่ยวข้องกับการไหล การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีด ในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยขนาดเล็กจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบ เกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลกำหนดให้ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าในช่วง 3.5 – 5.0 เซนติสโตกส์ ความหนืดยังเป็นดัชนีแสดงถึงการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอีกทางหนึ่ง

4.1.5 ปริมาณน้ำ

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
ปริมาณน้ำ	0.032	0.050

ปริมาณน้ำในน้ำมันทำให้การเผาไหม้ไม่ดี นอกจากนั้นน้ำในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกระหว่างน้ำกับเอสเทอร์ เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งส่งผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ และเป็นตัวเร่งให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังเก็บน้ำมัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หัวฉีดอุดตัน

4.1.6 จุดวาบไฟ

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
จุดวาบไฟ	> 230	> 120

จุดวาบไฟเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอของน้ำมัน แล้วทำให้น้ำมันติดไฟ มาตรฐานกำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 120 องศาเซลเซียส ปริมาณเมทานอลที่หลงเหลือในไบโอดีเซลทำให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ จุดวาบไฟมีผลต่อการขนส่ง เคลื่อนย้ายและจัดเก็บ ปริมณเมทานอลที่ยังคงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณมากกว่า 0.2% ส่งผลให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

4.1.7 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	98.57	> 96.5

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล และการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลที่สมบูรณ์ มาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 96.5โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณเอสเทอร์น้อยกว่าที่กำหนด ชี้บอกถึงยังมีโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์อยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณสูงกว่าที่กำหนด ส่งผลให้ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าสูง และเกี่ยวเนื่องกับการอุดตันในหัวฉีด หรือกระบอกสูบของเครื่องยนต์

4.1.8 **โมโนกลีเซอไรด์**

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
โมโนกลีเซอไรด์	0.24	< 0.80

4.1.9 **ไดโนกลีเซอไรด์**

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
ไดกลีเซอไรด์	0.06	< 0.20

4.1.10 **ไตรกลีเซอไรด์**

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
ไตรกลีเซอไรด์	0.11	< 0.20

ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ , ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นที่ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด กระบอกสูบ และวาล์วภายในเครื่องยนต์

4.1.11 กลีเซอรีนอิสระ

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
กลีเซอรีนอิสระ	0.004	$<$ 0.02

ปริมาณกลีเซอรีนอิสระที่ยังเหลืออยู่ในไบโอดีเซล เนื่องมาจากการแยกกลีเซอรีนไม่สมบูรณ์ ทำให้มีปัญหาการแยกชั้นของกลีเซอรีนในการจัดเก็บไบโอดีเซลรวมถึงการสะสมที่บริเวณด้านล่างของถังน้ำมัน กลีเซอรีนมีผลต่อการอุดตันที่หัวฉีดและระบบลำเลียงน้ำมัน

4.1.12 กลีเซอรีนทั้งหมด

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้	ค่าตามมาตรฐาน
กลีเซอรีนทั้งหมด	0.08	$<$ 0.25

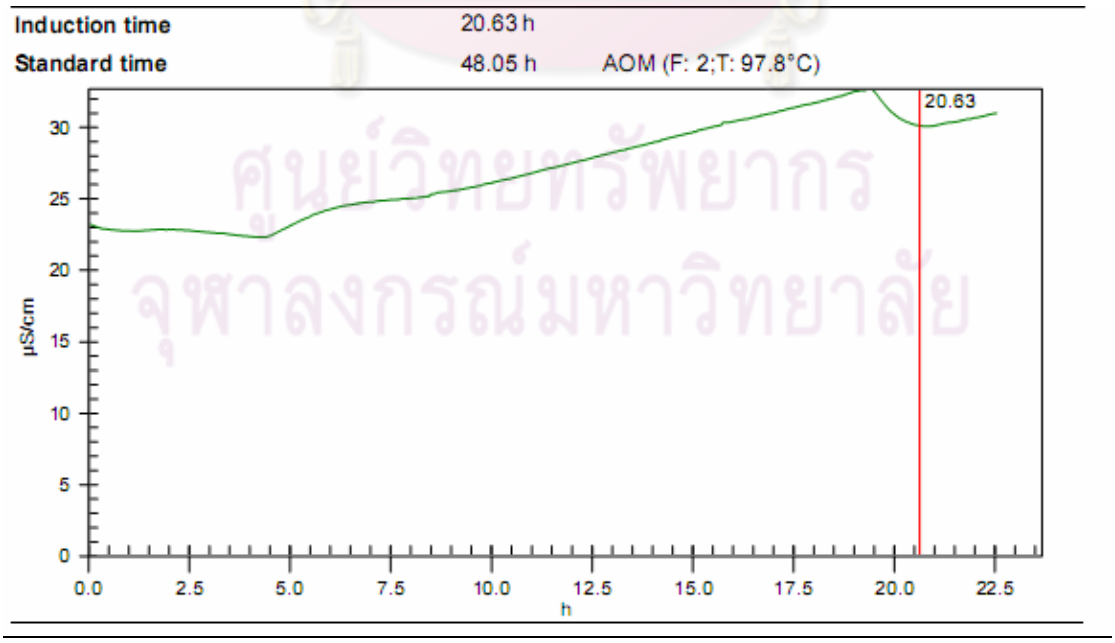
กลีเซอรีนทั้งหมดคือปริมาณของกลีเซอรีนอิสระ และปริมาณกลีเซอรีนในโมเลกุลโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ ที่เจือปนในองค์ประกอบไบโอดีเซล ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นไม่สมบูรณ์ มีผลก่อให้เกิดการอุดตันที่บริเวณหัวฉีดและไส้กรองและปัญหาการใช้งานในสภาพอากาศเย็น

4.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของน้ำมันปาล์ม

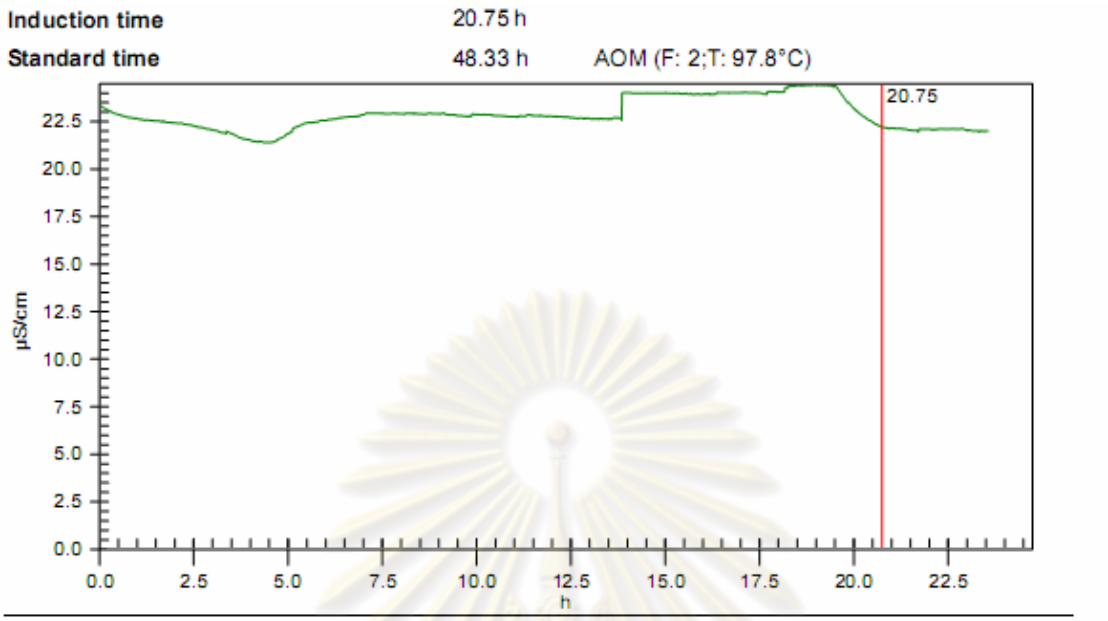
ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มตัวอย่างจากข้อ 4.1.1 ถึง 4.12 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มตัวอย่างที่นำมาทำการวิจัยครั้งนี้ สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด หลังจากนั้นวิเคราะห์หาค่าออกซิเดทีฟ ของน้ำมันปาล์มทั้ง 3 ชนิด ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ 2548

ชนิดของน้ำมัน	ปริมาณที่วัดได้	มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน
น้ำมันปาล์มดิบ	20.63	> 10 ชั่วโมง ที่ 110 °C
ไขปาล์มสเตียริน	20.75	> 10 ชั่วโมง ที่ 110 °C
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	22.72	> 10 ชั่วโมง ที่ 110 °C

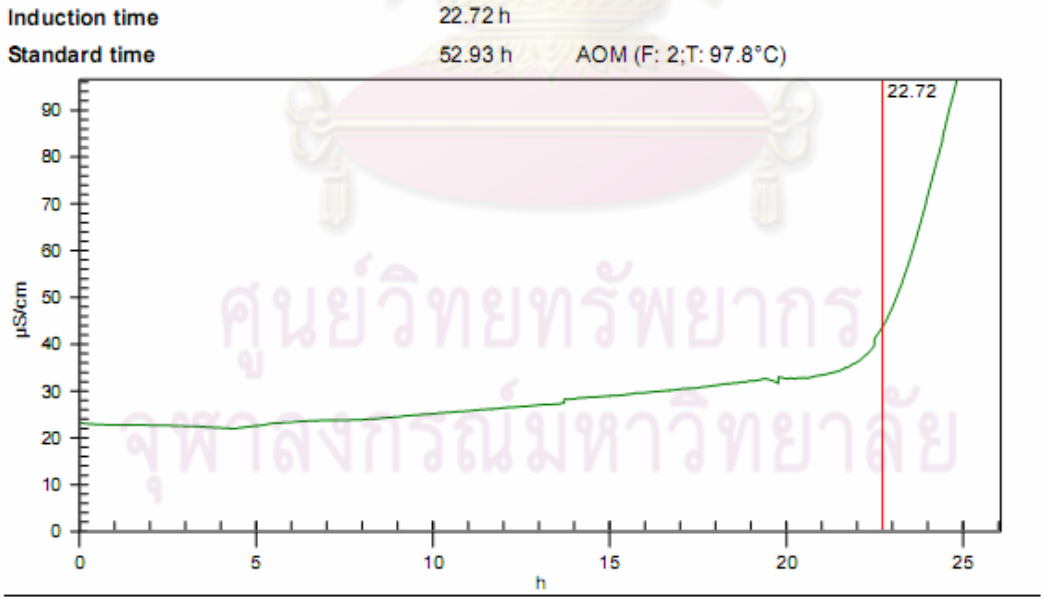
Crude palm Oil at 110°C



Palm Stearin at 110°C



Refinery palm at 110°C



รูปที่ 4.1 กราฟออกซิเดทีฟ สเตบิวลิตี้โครของน้ำมันปาล์มตัวอย่าง รายงานออกมาเป็นค่า PI (Inperiod Time)

4.3 ผลการศึกษาตัวแปร

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นโดยได้ศึกษาทั้งหมด 4 ตัวแปรซึ่งก็คือ

1. ชนิดของน้ำมันปาล์ม 3 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบ , ไขปาล์มสเตียริน และน้ำมันปาล์มรีไฟน์
2. ชนิดของสารต้านต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น 3 ชนิด คือ สารประกอบฟีนอล , สารอะลิฟาติคเอสเทอร์ และสารประกอบฟีโนลิค
3. ปริมาณความเข้มข้นของสารต้านต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ที่ 50 , 100 , 250 และ 500 ppm
4. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 110 , 150 และ 200 องศาเซลเซียส

ซึ่งทุกตัวแปรทำการทดสอบและวิจัยโดยใช้เครื่อง Rancimat 743

4.3.1 อิทธิพลผลของชนิดน้ำมันปาล์มในการทำปฏิกิริยา

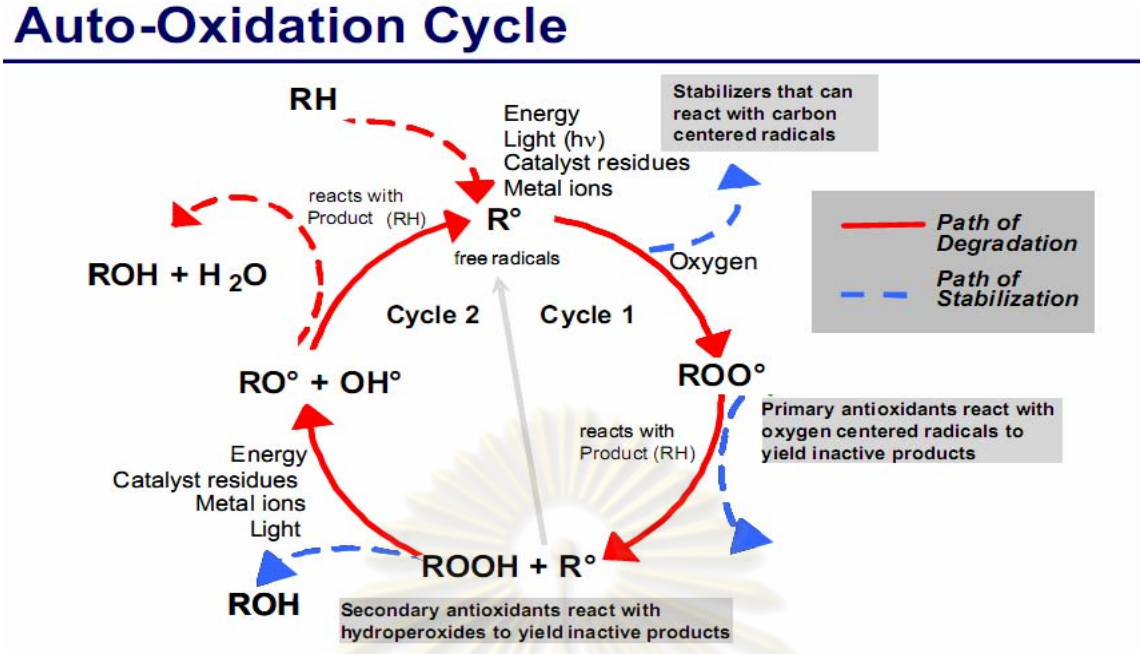
ชนิดของน้ำมัน	ปริมาณที่วัดได้	มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน
น้ำมันปาล์มดิบ	96.80	> 96.5
ไขปาล์มสเตียริน	98.57	> 96.5
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	97.28	> 96.5

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มทั้ง 3 ชนิด พบว่าไขปาล์มสเตียรินจะให้ค่าของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานจะพบว่าเป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานกำหนด ซึ่งปริมาณเมทิลเอสเทอร์ แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล และการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลที่สมบูรณ์ มาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 96.5โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณเอสเทอร์น้อยกว่าที่กำหนด ชี้บอกถึงยังมี

โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์อยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณสูงกว่าที่กำหนด ส่งผลให้ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Ferrari และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ของไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองแบบต่างๆโดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rancimat ที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยวิธี Gas Chromatography (GC) จากการศึกษาพบว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองแบบต่างๆ มีการเสถียรภาพต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่แตกต่างกัน โดยไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทำให้เป็นกลางจะมีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นดีที่สุด รองลงมา คือ ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองกลั่น และไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการใช้แล้ว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทำให้เป็นกลางมีสาร Antioxidant ตามธรรมชาติอยู่เป็นจำนวนมาก ในขณะที่สาร Antioxidant บางส่วนในไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองแบบอื่นนั้น ถูกทำลายจากการผ่านกระบวนการทางความร้อนจึงทำให้มีการเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นต่ำ ซึ่งผลของชนิดน้ำมันยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ National Renewable Energy Laboratory (2006) โดยทั่วไป Biodiesel ที่ยังไม่มีการเติม สารเติมแต่ง หรือสารป้องกันการเกิด ปฏิกิริยา ออกซิเดชั่น ลงไป จะมี Reduction time ~ 0.45 - 3.18 ชั่วโมงเท่านั้น แต่หลังจาก เติมสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นแล้ว Reduction time จะเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 2 – 23 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ Feed Stock และชนิดของสาร ป้องกันการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นด้วย (Stability of Biodiesel and Biodiesel Blend : Interm Report

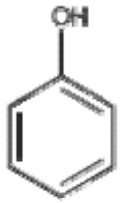
4.3.2 อิทธิพลผลของชนิดของสารต้านต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ,ปริมาณการใช้และอิทธิพลผลของอุณหภูมิ

ผลการศึกษาเมื่อใช้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ ฟีโนลิค สารผสมของอะลิฟาติคเอสเทอร์และสารผสมของฟีนอล พบว่าสารผสมของฟีนอลจะให้ค่า Reduction time สูงสุด คือ 41.06 ชั่วโมงถึงแม้ว่าสารแอนตี้ออกซิแดนซ์จะมีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นให้เกิดช้าลงได้ แต่อย่างไรก็ตามสารแอนตี้ออกซิแดนซ์แต่ละตัวจะมีกลไกในการยับยั้งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของน้ำมันควรใช้สารเติมแต่งประเภทผสมซึ่งสอดคล้องกับกลไกการทำงานของสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ดังรูป

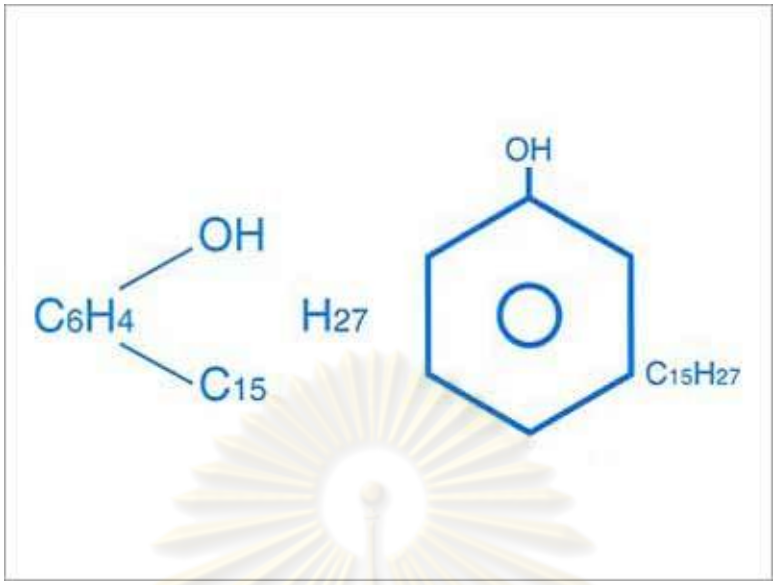


จะเห็นได้ว่ากลไกการทำงานของสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ จะมีทั้ง Primary Antioxidant และ Secondary Antioxidant ทั้งนี้เพื่อให้อะตอมของไฮโดรเจนไปเกาะกับฟรีเรดิคอลในน้ำมัน เพื่อให้กลายเป็นโมเลกุลที่เสถียร ซึ่งจำเป็นต้องใช้สารแอนตี้ออกซิแดนซ์ สองตัวหรือมากกว่า เพื่อให้มีอะตอมของไฮโดรเจนที่มากเกินพอเข้าไปทำปฏิกิริยากับกลุ่มไขมันที่ไม่อิ่มตัว ดังนั้นสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ที่ดีควรเป็นสารเติมแต่งประเภทผสม

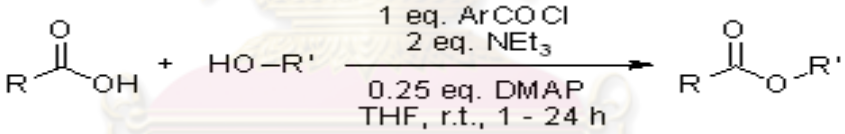
เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ทั้ง 3 ชนิด สามารถอธิบายได้จากโครงสร้างทางเคมี ซึ่งพิจารณาจากจำนวนหมู่ของ OH ของสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ซึ่งเข้าไปทำปฏิกิริยากับฟรีเรดิคอลในน้ำมัน ถ้าจำนวนหมู่ OH ของสารใดมีจำนวนมากกว่าซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าจะเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด



โครงสร้างทางเคมีของสารฟีนอล



โครงสร้างทางเคมีของสารฟีโนลิค



โครงสร้างทางเคมีของสารอะลิฟาติคเอสเทอร์

จากการพิจารณาโครงสร้างทางเคมีของสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าทุกตัวมีหมู่ OH เท่ากันหมดคือ หนึ่งหมู่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของLiangและคณะ (2005) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับผลของสารต้านออกซิเจนที่มาจากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ โดยศึกษาเสถียรภาพเชิงออกซิเดทีฟของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งทำการศึกษาเปรียบเทียบสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ที่มาจากธรรมชาติ คือ α-Tocopherolและสารแอนตี้ออกซิแดนซ์จากการสังเคราะห์ คือ BHTและTBHQ พบว่าเมื่อใช้ที่ความเข้มข้น 500 ppm โดยใช้เครื่องรังสิแมทในการทดสอบ สาร α-Tocophero วัดค่า RIP (Rancimat Induction Period)ได้ 6.42 ชั่วโมงและสาร

BHT วัดค่า RIP ได้13.1 ชั่วโมง ส่วนTBHQ วัดค่า RIP ได้ 30.2 ชั่วโมงดังนั้นสารแอนตี้ออกซิแดนซ์สังเคราะห์จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ธรรมชาติและเมื่อทำการเปรียบเทียบสารแอนตี้ออกซิแดนซ์สังเคราะหระหว่าง BHTและTBHQ พบว่าคุณสมบัติของสาร TBHQ ดีกว่าBHT ซึ่งสามารถอธิบายได้จากโครงสร้างทางเคมี ซึ่งสาร TBHQ มีหมู่ของ OH จำนวนสองหมู่ที่เข้าทำปฏิกิริยากับอะโรมาติกริง ส่วน BHT มีหมู่ของ OH จำนวนหนึ่งหมู่เท่านั้นดังนั้นสาร TBHQ จึงมีหมู่ของ OH มากกว่าในการเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ของเรดิเคิลของกรดไขมัน ซึ่งจะสามาระยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ดีกว่า ดังนั้นสาร TBHQ จึงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสาร BHTเมื่อใช้ในปริมาณที่เท่ากัน

นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนซ์ได้จากความสามารถในการละลาย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ International Fuel Technology โดยใช้สารแอนตี้ออกซิแดนซ์ ที่ 0.25 % ในน้ำมัน B 100 เงื่อนไขการทดลองคือวัดปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ที่เหลือในน้ำมัน หลังจากเติมสารไป 24 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้สาร บิวทิลเลท ฟีนอล จะเหลือสารที่ไม่ละลายในน้ำมันวัดได้จำนวน 231 มิลลิกรัม / กิโลกรัมและเมื่อใช้สาร ฟีโนลิค ไทโออีเทอร์ วัดได้จำนวน 290 มิลลิกรัม / กิโลกรัมดังนั้นสารบิวทิลเลท ฟีนอลจึงมีประสิทธิภาพในการละลายที่ดีกว่าสารฟีโนลิค ไทโออีเทอร์

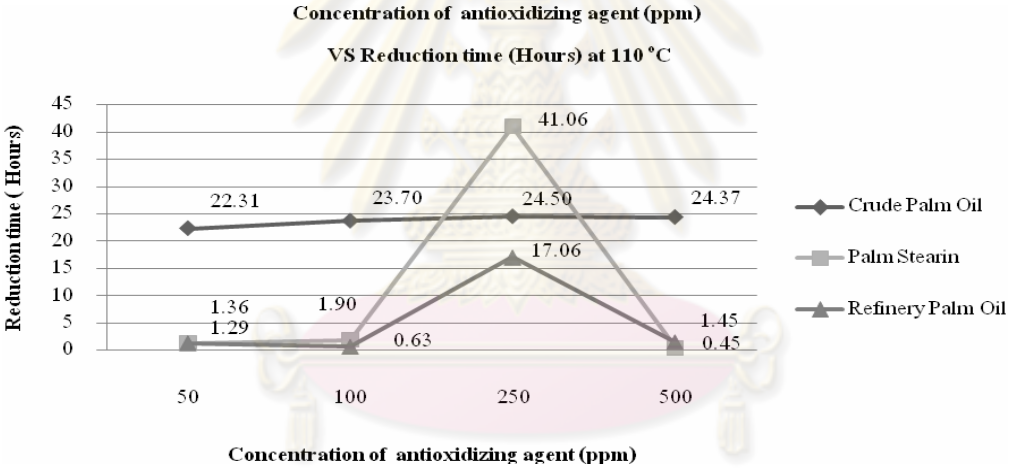
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารต้านออกซิเดชั่นที่ 50 ,100 , 250 และ 500 ppm จากการทดลองพบว่าปริมาณที่เหมาะสมที่สุด และให้ค่า Reduction time สูงสุด ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส คือ 250-500 ppm และเมื่อทำการทดลองที่ 150 องศาเซลเซียสปริมาณการใช้ที่เหมาะสม คือ 100 – 250 ppm และอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสปริมาณการใช้ที่เหมาะสม คือ 100 ppm.ทั้งนี้เนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูงซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น สารแอนตี้ออกซิแดนซ์ยังไม่ทันได้ทำปฏิกิริยากับฟรีเรดิคอลในน้ำมัน ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ ทำให้ปริมาณการใช้สารแอนตี้ออกซิแดนซ์ใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งปริมาณการใช้สารต้านออกซิเดชั่นที่แตกต่างกันนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dumn (2005) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในไบโอดีเซล จากน้ำมันถั่วเหลืองของสาร Antioxidant ทั้ง 5 ชนิด คือ TBHQ (tert-butylhydroquinone) , BHA (Butylated htdroxyanisole) , BHT (butylated hydroxytoluene) , PrG (propyl gallate) และ BHA (butylated htdroxyanisole) ซึ่งมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในไบโอดีเซล และ a – Tocopherol มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสาร Antioxidant ลงในไบโอดีเซลจะช่วยเพิ่มการเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

ของไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามความเข้มข้นของสาร Antioxidant ที่ใช้จนถึงความเข้มข้น 1,000 ppm และจะเพิ่มขึ้นอย่าช้าๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมากกว่า 1,000 ppm นอกจากนี้ยังพบว่า BHA หรือ TBHQ ในปริมาณความเข้มข้นถึง 3,000 ppm เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ระหว่างการจัดเก็บก่อนนำไปใช้งาน และ BHT มีความเหมาะสมเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นต่ำ คือ 210 ppm ส่วน PrG มีปัญหาเรื่องการละลายที่ไม่สมบูรณ์ในไบโอดีเซล ในขณะที่ a – Tocopherol นั้นสามารถละลายได้ดีในไบโอดีเซลทั้งนี้อิทธิพลของชนิดของสารต้านต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Domingos และคณะ (2007) ทำการศึกษาอิทธิพลของสาร Antioxidant ชนิดต่างๆ คือ BHT (butylated htdroxyanisole) , BHA (butylated htdroxyanisole) ,และ TBHQ (tert- butylhydroquinone) ต่อเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่มีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นต่ำ จากการศึกษาพบว่า BHT(butylated hydroxytoluene) มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไบโอดีเซลที่ความเข้มข้น 200 – 7,000 ppm ส่วน TBHQ (tert- butylhydroquinone) จะมีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นมาก คือ 8,000 ppm ในขณะที่ BHA (butylated htdroxyanisole) ช่วยเพิ่ม Induction time น้อยมากเมื่อเติมในปริมาณความเข้มข้นมากกว่า 2,000 ppm

อิทธิพลผลของอุณหภูมิ จากการทดสอบน้ำมัน 3 ชนิดคือน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มรีไฟน์และไขปาล์มสเตียรินโดยใช้สารต้านออกซิเดชั่นที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ ฟีโนลิค สารผสมของอะลิฟาติคเอสเทอร์ สารผสมของฟีนอล โดยใช้ที่ปริมาณ 100 , 250 และ 500 ppm ที่อุณหภูมิ 110, 150 และ 200 องศาเซลเซียสตามลำดับ จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ200 องศาเซลเซียสจะให้ค่า Reduction time โดยเฉลี่ยประมาณ 20-30 นาที ที่150องศาเซลเซียสประมาณ 1-2 ชั่วโมง และที่ 110องศาเซลเซียสประมาณ 20-30 ชั่วโมง

เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

ชนิดของน้ำมัน	ความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดทีฟ (ppm)			
	50 ppm	100 ppm	250 ppm	500 ppm
น้ำมันปาล์มดิบ	22.39	23.70	24.50	24.37
ไขปาล์มสเตียริน	1.36	1.90	41.06	0.95
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	1.29	0.63	17.06	1.45

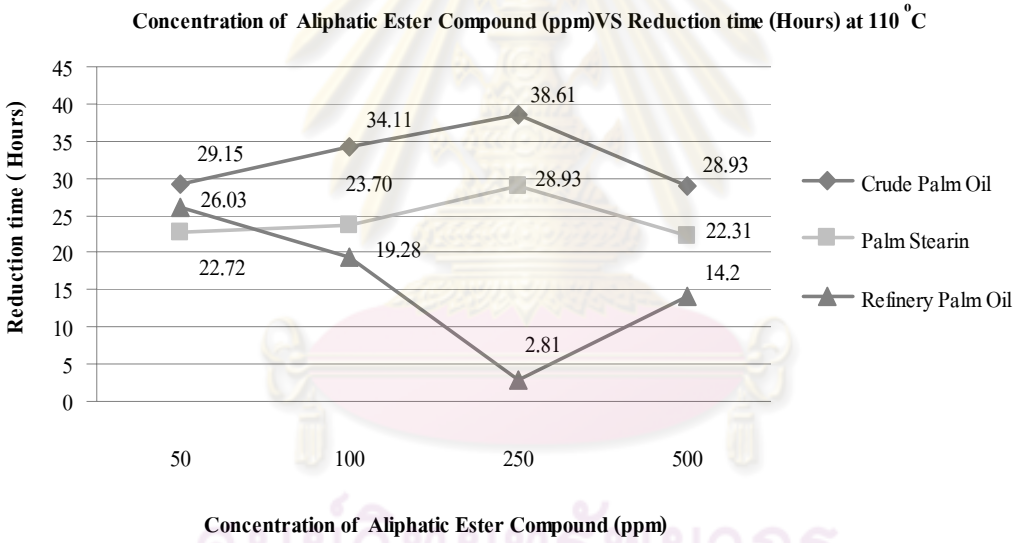


รูปภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเดทีฟสูงสุดเมื่อใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส คือ ไขปาล์มสเตียริน ที่ 250 ppm ได้ 41.06 ชั่วโมง

เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารอะลิฟาติคเอสเทอร์เป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

ชนิดของน้ำมัน	ความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดทีฟ (ppm)			
	50 ppm	100 ppm	250 ppm	500 ppm
น้ำมันปาล์มดิบ	29.15	34.11	38.61	28.93
ไขปาล์มสเตียริน	22.72	23.70	28.93	22.21
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	26.03	19.28	2.81	14.20

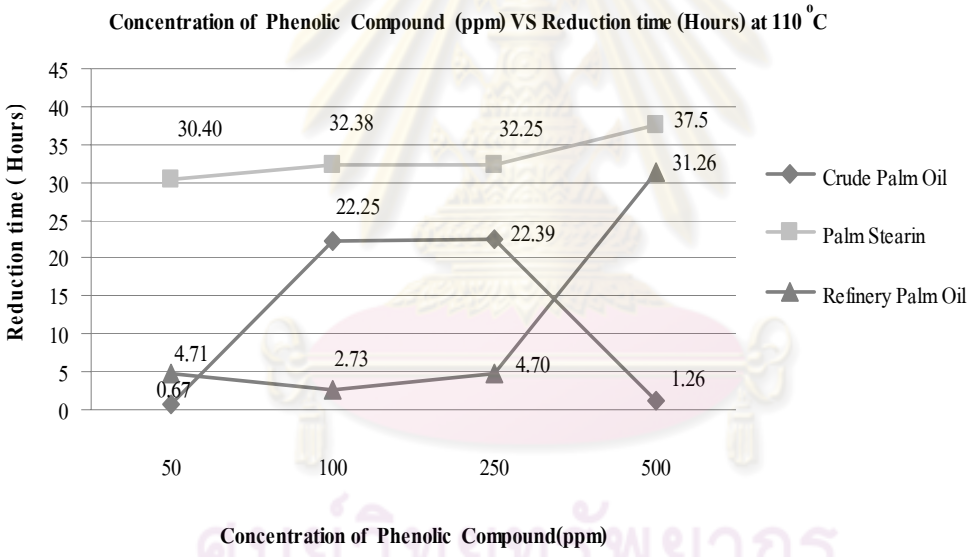


รูปภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารอะลิฟาติคเอสเทอร์เป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเดทีฟสูงสุดเมื่อใช้สารสารอะลิฟาติคเอสเทอร์เป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส คือ น้ำมันปาล์มดิบที่ 250ppm ได้38.61 ชั่วโมง

เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารประกอบฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

ชนิดของน้ำมัน	ความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดทีฟ (ppm)			
	50 ppm	100 ppm	250 ppm	500 ppm
น้ำมันปาล์มดิบ	0.76	22.25	22.39	1.26
ไขปาล์มสเตียริน	30.40	32.38	32.25	37.50
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	4.71	2.73	4.70	31.26

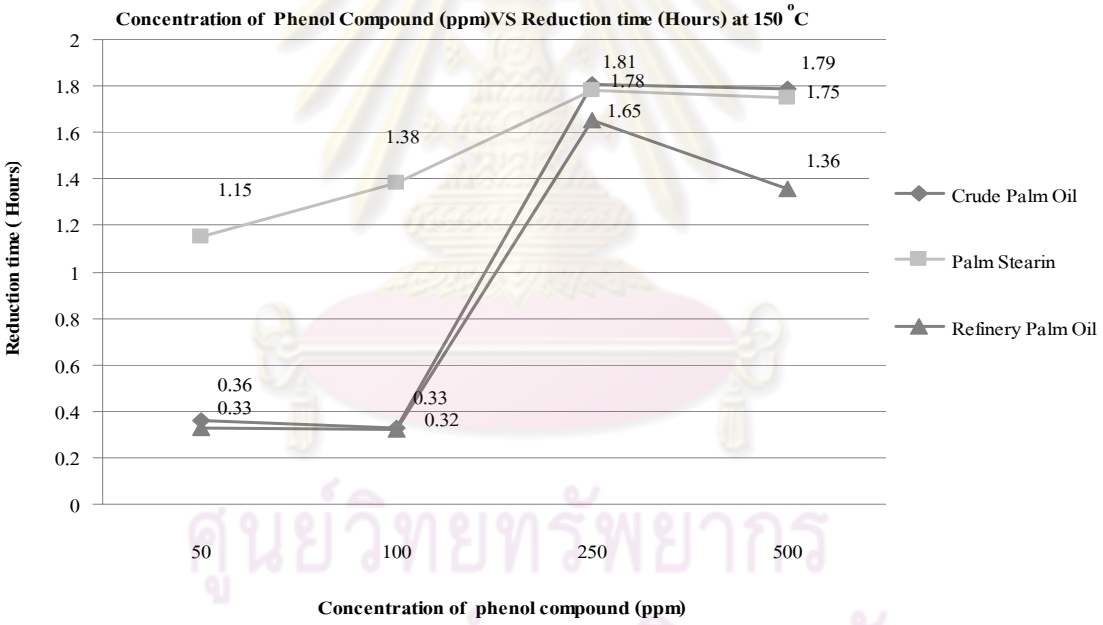


รูปภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเดทีฟสูงสุดเมื่อใช้สารฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส คือ น้ำมันปาล์มดิบที่ 500ppm ได้ 37.50 ชั่วโมง

เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ชนิดของน้ำมัน	ความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดทีฟ (ppm)			
	50 ppm	100 ppm	250 ppm	500 ppm
น้ำมันปาล์มดิบ	0.36	0.33	1.78	1.75
ไขปาล์มสเตียริน	1.15	1.38	1.81	1.79
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	0.33	0.32	1.65	1.36

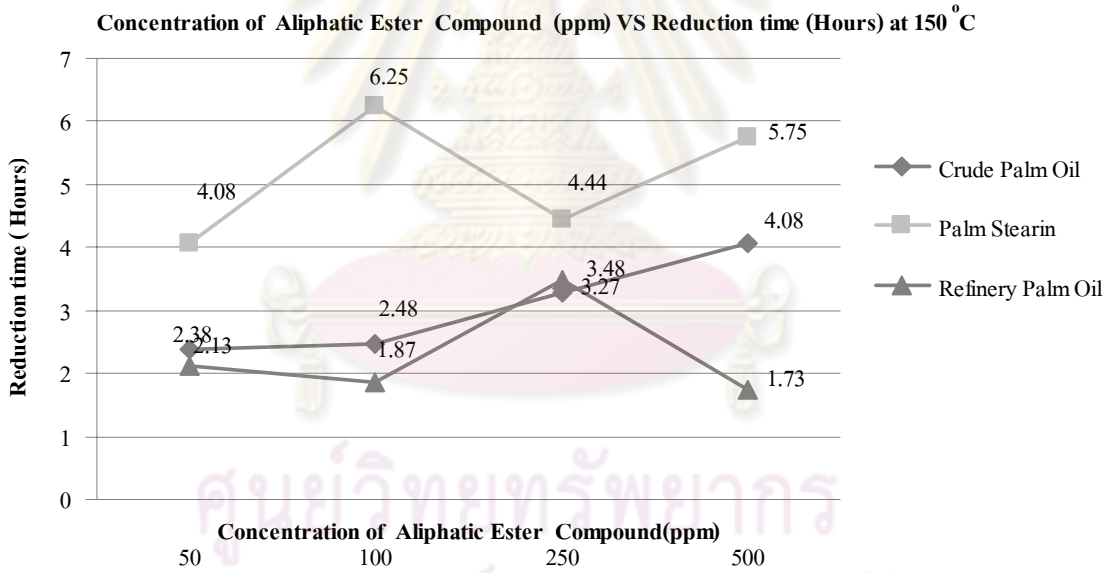


รูปภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเดทีฟสูงสุดเมื่อใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส คือ ไขปาล์มสเตียริน ที่ 250 ppm ได้ 1.81 ชั่วโมง

เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารอะลิฟาติคเอสเทอร์เป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ชนิดของน้ำมัน	ความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดทีฟ (ppm)			
	50 ppm	100 ppm	250 ppm	500 ppm
น้ำมันปาล์มดิบ	2.38	2.48	3.27	4.08
ไขปาล์มสเตียริน	4.08	6.25	4.44	5.75
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	2.13	1.87	3.48	1.73

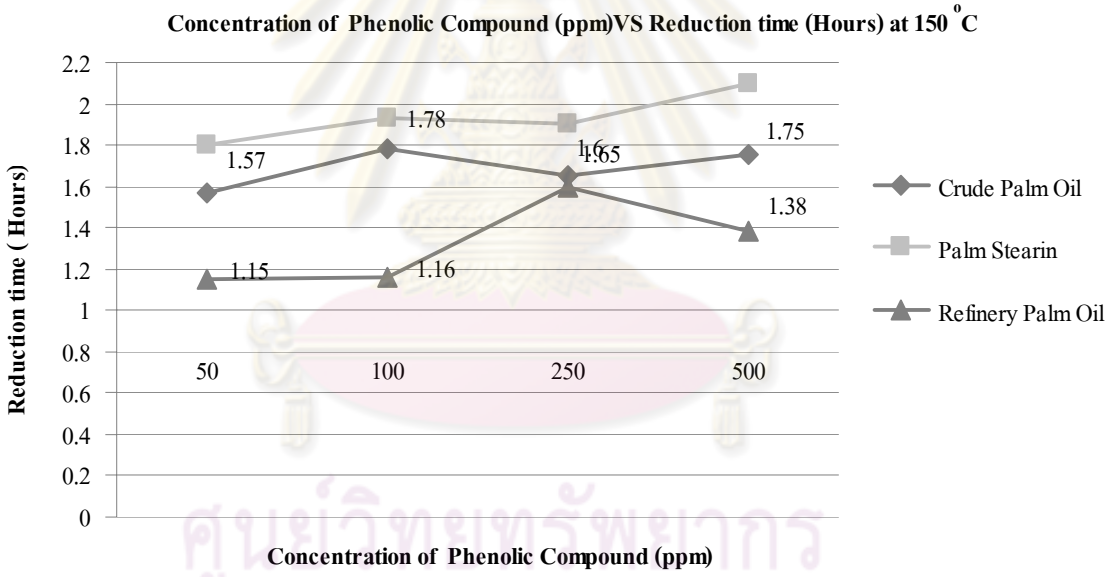


รูปภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารอะลิฟาติคเอสเทอร์เป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเดทีฟสูงสุดเมื่อใช้สารอะลิฟาติคเอสเทอร์เป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส คือ ไขปาล์มสเตียริน ที่ 100ppm ได้6.25 ชั่วโมง

เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารประกอบฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ชนิดของน้ำมัน	ความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดทีฟ (ppm)			
	50 ppm	100 ppm	250 ppm	500 ppm
น้ำมันปาล์มดิบ	1.57	1.78	1.65	1.75
ไขปาล์มสเตียริน	1.80	1.93	1.90	2.10
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	1.15	1.16	1.60	1.38

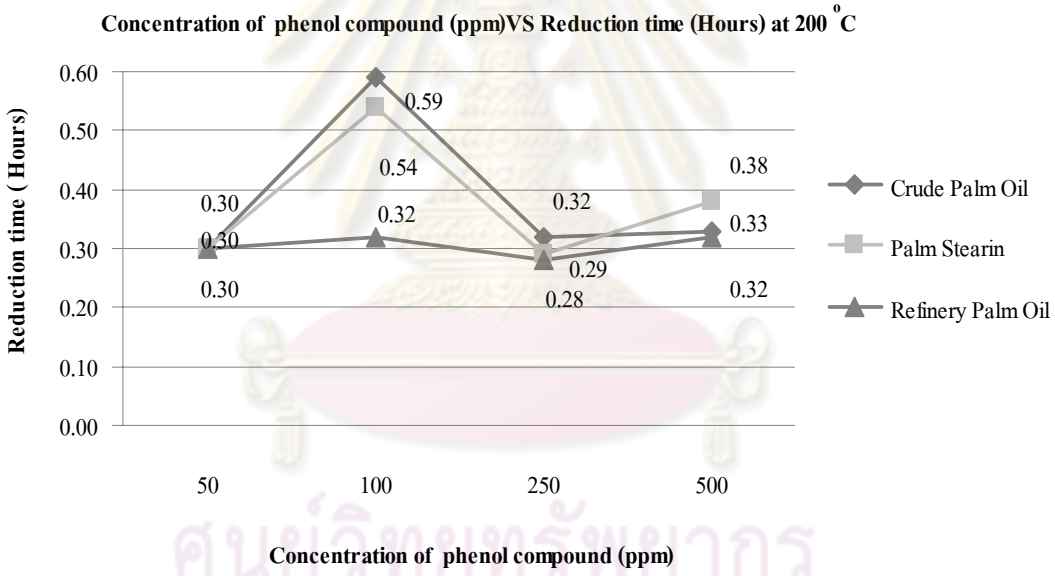


รูปภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเดทีฟสูงสุดเมื่อใช้สารฟีโนลิครเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส คือ ไขปาล์มสเตียริน ที่ 100ppm ได้ 1.93 ชั่วโมง

เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

ชนิดของน้ำมัน	ความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดทีฟ (ppm)			
	50 ppm	100 ppm	250 ppm	500 ppm
น้ำมันปาล์มดิบ	0.30	0.59	0.32	0.33
ไขปาล์มสเตียริน	0.30	0.54	0.29	0.38
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	0.30	0.32	0.28	0.32

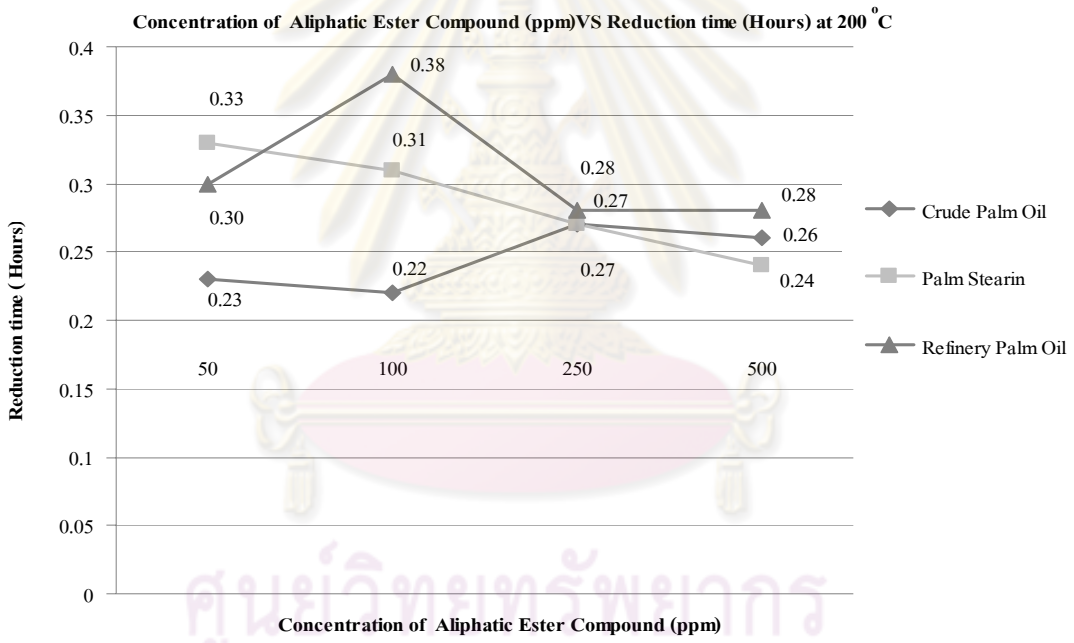


รูปภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเดทีฟสูงสุดเมื่อใช้สารผสมของฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส คือ น้ำมันปาล์มดิบ ที่ 100 ppm ได้ 0.59 ชั่วโมง

เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารอะลิฟาติคเอสเทอร์เป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

ชนิดของน้ำมัน	ความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดทีฟ (ppm)			
	50 ppm	100 ppm	250 ppm	500 ppm
น้ำมันปาล์มดิบ	0.23	0.22	0.27	0.26
ไขปาล์มสเตียริน	0.33	0.31	0.27	0.24
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	0.30	0.38	0.28	0.28

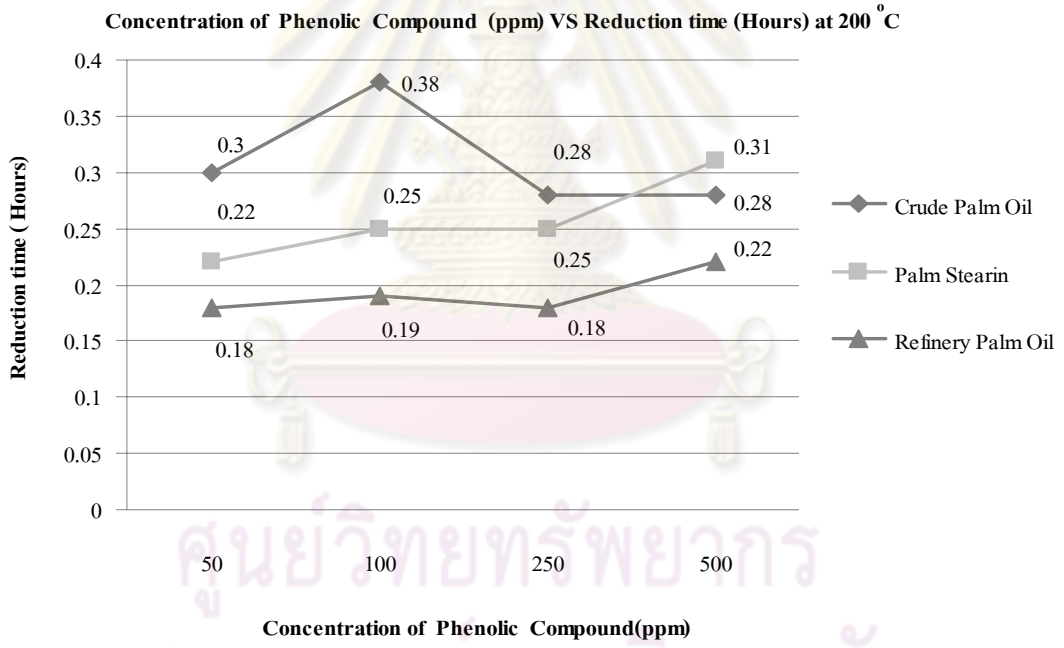


รูปภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเดทีฟสูงสุดเมื่อใช้สารอะลิฟาติค เอสเทอร์เป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส คือ น้ำมันปาล์มรีไฟน์ ที่ 100ppm ได้ 0.38 ชั่วโมง

เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารประกอบฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

ชนิดของน้ำมัน	ความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดทีฟ (ppm)			
	50 ppm	100 ppm	250 ppm	500 ppm
น้ำมันปาล์มดิบ	0.3	0.38	0.28	0.28
ไขปาล์มสเตียริน	0.22	0.25	0.25	0.31
น้ำมันปาล์มรีไฟน์	0.18	0.19	0.18	0.22



รูปภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบน้ำมัน 3 ชนิด โดยใช้สารฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเดทีฟสูงสุดเมื่อใช้สารฟีโนลิคเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส คือ น้ำมันปาล์มดิบ ที่ 100ppm ได้ 0.38 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำมันปาล์ม เพื่อให้มีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่ดีขึ้น โดยการเติมสารต้านออกซิเดชั่น พบว่าสารประเภทฟีโนลิคที่ปริมาณ 250 ppmณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำมันไขปาล์มเสตียรินจะให้ค่า Reduction time สูงสุด ที่ 41.06 ชั่วโมง ซึ่งโดยปกติน้ำมันที่ไม่เติมสารต้านออกซิเดชั่นทำการวัดค่า Reduction time ได้ 20.63 ชั่วโมง

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด อาจใช้งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการศึกษา เพื่อปรับปรุงและพัฒนาโดยอาจขยายไปสู่ระดับอุตสาหกรรมได้ โดยอาจจะศึกษาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติม ดังนี้

5.2.1 ศึกษาถึงต้นทุนในกระบวนการผลิต เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาตร์สูงสุด

5.2.2 ศึกษาเปรียบเทียบวัตถุดิบอื่นๆซึ่งใช้ในการผลิตไบโอดีเซลโดยอาจขยายไปสู่ภาคอุตสาหกรรมได้

5.2.3 พัฒนาสมบัติคุณสมบัติเชื้อเพลิงในการหล่อลื่น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์

5.2.4 พัฒนาสมบัติคุณสมบัติการไหลได้ที่อุณหภูมิต่ำ เป็นการวัดความสามารถในการใช้งานเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำหรือในภูมิประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น

5.2.5 ศึกษาเกี่ยวกับสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นตัวอื่น ซึ่งให้ค่าเสถียรภาพสูงสุด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กล้าณรงค์ ศีรอต,พูนสุข ประเสริฐสรรพ,สมพร อิศวิลานนท์และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ.2526 รายงานการวิจัยการศึกษาสถานภาพวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล.สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ธุรกิจพลังงาน, กรม .2548 รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและ คุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 124 ตอนพิเศษ 62 ง [ออนไลน์] .2549.แหล่งที่มา : http://www.doeb.go.th.(2550,ธันวาคม 18)

พิศสมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2544.ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือก : พิมพ์พินิจการพิมพ์. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย,2544

พิศสมัย เจนวนิชปัญจกุล .2548 . ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช,วิศวกรรมสาร,(มีนาคม-เมษายน) :46-54

ลลิตา อัตโน,2549. รอบรู้เรื่องราวไบโอดีเซล.: พิมพ์พินิจการพิมพ์.สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.),กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข. การควบคุมคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล . กระทรวงวิทยาศาสตร์ [ออนไลน์]. 2550.แหล่งที่มา: http://www.siriwan@dss.go.th (2551,ตุลาคม 17)

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. วิทยาการปาล์มน้ำมัน.การแปรรูปปาล์มน้ำมัน. [ออนไลน์]. 2550:แหล่งที่มา: http:www.doa.go.th. [2551, พฤษภาคม 20]

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ,สถาบัน.การผลิตและการตรวจสอบมาตรฐานไบโอดีเซลเบื้องต้น [ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.tistr.or.th

ภาษาอังกฤษ

Bondioli,P.,et.al.Storage Stability of Biodeisel.JAOCS,Vol.72,No.6.(1995)

Bondioli P,Gasparoli A,Bella LD and Tagliabue S, Evaluation of Biodeisel storage stability using reference methods.EurnJnLiquidnScinTechnol 104(2002): 777-784

Domingos,A.K.,Emir B.Saad,Wellington W.D. Vechiatto,Helena M. Wilhelmc and Luiz P. Ramos. The influence of BHA , BHT and TBHQ on the Oxidation Stability of Soybean Oil Ethyl Esters (Biodiesel). Brazillian Chemical Soiety 18 (2007):416-423

Dunn Ro,Effect of oxidation under accelerated conditions on fuel properties of methyl soyate(biodeisel).J Am Oil Chem Soc 79(2002):915-920

Dunn,R.O..Effect of antioxidant on the oxidative stability of methyl soyate(biodiesel) .Fuel Processing Technology 86(2005):1071 – 1085

Eibensteiner E.,et.al. Oxidation Stability of Fatty Acid Methyl Esters. Proceedings of the International Conference on Standardisation and Analysis of Biodeisel, Vienna,1995.

Ferrari,R.A.,Vanessa da Silva Oliveira and Aaaardalla Scabio.2005. Oxidation stability of biodiesel from soybean oilfatty acid ethyl esters.Sci.Agric. (Piracicaba,Braz.). 62(2005): 291-295

Frankel En,Liquid Oxidation ,2nd Ed. The Oily Press,Bridgewater, England,2005

Gerhard Knothe and Robert O.Dunn. Dependance of oil Stability Index of Fatty Compounds on their Structure and Concentration and Presence of Metals. JAOCH , Vol 80, No.3,(May/June 2003)

ISO/DIS 6886.2 : Animal and vegetable fats and oils.Determination of oxidative stability

Knothe,G.;Dunn,R.O.;and Bagby,M.O.Fuel and chemical from biomass. 1ted. Washington: ACS Publication,1996.

Mc Cormick,R.L.,M.Ratcliff,L.Moens and R.Lawrence.2007.Several factors affecting the stability of biodeisel in standard accelerated tests. Fuel Processing technology. 88(2007):651-657.

K.Shine Tyson,National Renewable Energy Laboratory. Biodeisel Handing and Use Guideline2001.Avaiable from:http://wwweer.energy.gov/cleancities/blend/pdfs/ 5845.pdf[2006,December]

National Reneable Energy Laboratory,Technical report .April, 2006U.S.Department of Energy,Energy, Efficency and Renewable Energy.Biodeisel Handing and Use Guidelines. Second Edition.,March 2006

Rekesh Sarin,Meeta Sharma,S.Sinharay and R.K.Malhotra,2007.Jatropha-Palm biodiesel blend:and Optimum mix for Asia.Fuel.86(2007):1365-1371

Robert O.Dunn,USDA,Peoria,IL,USA . Antioxidants for improving storage stability of biodeisel. 2(Febuary 2008):304-318

Srivastava,A.and R. Prasad.2000. Triglycerides – based disel fuels . Renewable and Sustainable Energy Review 4(2000):111 – 133.

T. Homma, I. Komatsu, A. Tamaki, H. Nakai, T. Osaka, "Molecular orbital study on the reaction mechanisms of electroless deposition processes Electrochim. Act, 47, 47 (2001).

T. Homma, A. Tamaki, H. Nakai, T. Osaka, "Molecular Orbital Study on the Reaction Process of Dimethylamine Borane as a Reductant for Electroless Deposition" J. Electroanal. Chem. 559(2003):131

T. Shimada, I. Komatsu, T. Homma, H. Nakai, T. Osaka, "Ab Initio Molecular Orbital Study of the Electron Emission Mechanism of TiCl3 as a Reductant for an Electroless Deposition Process Electrochemistry 72(2004):462

T. Shimada, K. Sakata, T. Homma, H. Nakai, T. Osaka, "Density Functional Theory study on the Oxidation Mechanisms of Aldehydes as Reductants for an Electroless Deposition Process Electrochim. Acta 51(May 2005): 906

Xie, W.,X.Huang and H.Li.2007. Soybean oil esters preparation using NaX zeolites Loaded with KOH as a heterogeneous catalyst.Bioresource technology.98(2007):936-939

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก. 1 ปริมาณการผลิตของพืชน้ำมัน 7 ชนิด ดังแสดงในตารางดังต่อไปนี้

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2547

ปี พ.ศ.	ปาล์มน้ำมัน	มะพร้าว	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	ทานตะวัน	ละหุ่ง	งา
2541	2,523	2,005	321	135	*	7	36
2542	3,413	2,110	319	138	*	7	37
2543	3,343	1,400	312	132	51	9	39
2544	4,097	1,396	261	107	32	9	39
2545	4,001	1,418	260	112	29	10	40
2546	4,903	1,432	231	76	32	10	40
2547	5,182	1,499	240	73	49	10	41

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

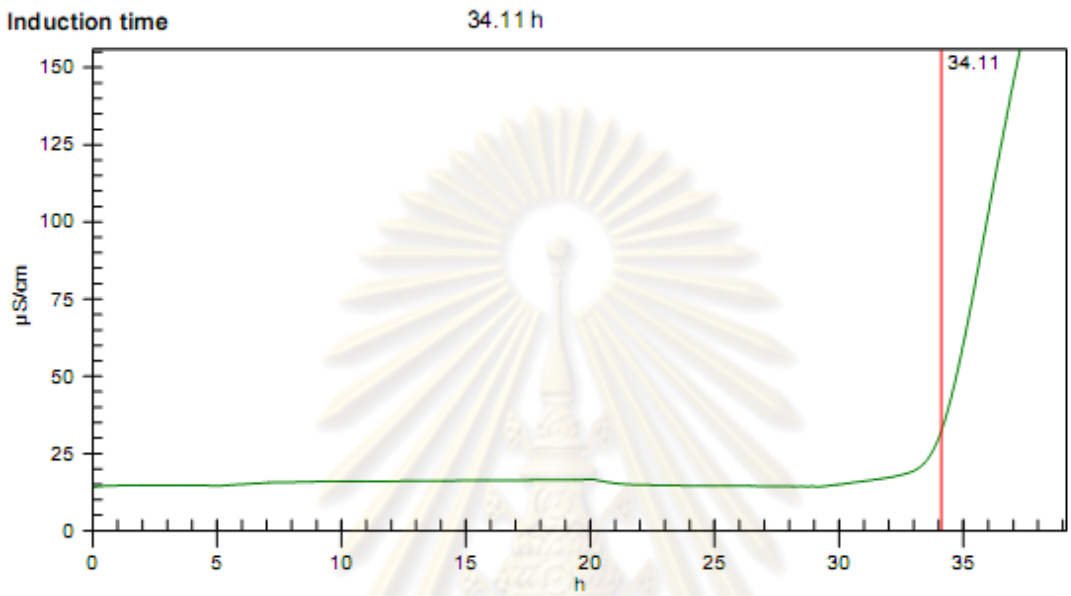
ตารางที่ ก. 2 ปริมาณการผลิตน้ำมันพืช และไขสัตว์ 17 ชนิดของโลก ระหว่างปี พ.ศ. 2543 – 2547 (พันตัน)

ที่มา : 1. Oil World Annual (1999 – 2005) & Oil World Monthly (1 July , 2005)

2. http : //www.mpob.gov.my

น้ำมันพืช / ไขสัตว์	2543	2544	2545	2546	2547
น้ำมันถั่วเหลือง	25,563	27,828	29,861	31,288	30,694
น้ำมันปาล์ม	21,868	23,984	25,392	28,109	30,651
น้ำมันเมล็ดเรพ	14,502	13,730	13,307	12,663	14,916
น้ำมันทานตะวัน	9,745	8,200	7,624	8,924	9,399
น้ำมันถั่วลิสง	4,539	5,141	5,181	4,511	4,732
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	3,850	4,052	4,234	3,982	4,400
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	2,698	2,947	3,042	3,344	3,557
น้ำมันมะพร้าว	3,261	3,499	3,145	3,286	3,032
น้ำมันมะกอก	2,540	2,761	2,718	2,903	2,978
น้ำมันข้าวโพด	1,966	1,962	2,016	2,015	2,015
น้ำมันงา	705	747	822	782	789
น้ำมันลีนสีด	705	648	585	597	631
น้ำมันละหุ่ง	495	515	438	430	495
น้ำมันพืชทั้งหมด	92,437	96,014	98,365	102,834	108,289
BUFFET	5,967	6,010	6,188	6,274	6,348
ไขวัว	8,202	7,693	8,073	8,043	8,137
น้ำมันปลา	1,411	1,131	934	990	1,095
น้ำมันหมู	6739	6,780	7,006	7,200	7,279
น้ำมัน / ไขสัตว์ทั้งหมด	22,319	21,614	22,201	22,507	22,859
รวมน้ำมันพืชและไขมันสัตว์	**114,758**	**117,628**	**120,566**	**125,341**	**131,149**

ตาราง ก.2 ตัวอย่างกราฟของน้ำมันปาล์มดิบ เมื่อเติมสารป้องกันการถูกออกซิเดชั่น
ค่าความเสถียร (Induction time) คือ 34.11 ชั่วโมง



ตาราง ก.3 ธาตุที่สำคัญในสารอินทรีย์ของกรดไขมัน

Name	Symbol	Atomic Number	Atomic Weight
Carbon	C	6	12.011
Hydrogen	H	1	1.008
Nitrogen	N	7	14.007
Oxygen	O	8	15.999
Phosphorus	P	15	30.974
Sulfur	S	16	32.06

ลำดับ	กรดไขมัน	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง
1.	Butyric acid	$C_4H_8O_2$	C4:0
2.	Caprylic	$C_8H_{16}O_2$	C8:0
3.	Capric	$C_{10}H_{20}O_2$	C10:0
4.	Lauric	$C_{12}H_{24}O_2$	C12:0
5.	Myristic	$C_{14}H_{28}O_2$	C14:0
6.	Palmitic	$C_{16}H_{32}O_2$	C16:0
7.	Palmitoleic acid	$C_{16}H_{30}O_2$	C16:1
8.	Stearic	$C_{18}H_{36}O_2$	C18:0
9.	Oleic	$C_{18}H_{34}O_2$	C18:1
10.	Elaidic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	C18:1
11.	Linoleic	$C_{18}H_{32}O_2$	C18:2
12.	Linolelaidic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	C18:2
13.	αLinolenic	$C_{18}H_{30}O_2$	C18:3
14.	Linolenic	$C_{18}H_{30}O_2$	C18:3
15.	Arachidic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	C20:0
16.	Arachidic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	C20:1(n9)
17.	Arachidic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	C20:2(n6)
18.	Arachidic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	C20:3(n3)
19.	Arachidic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	C20:3(n6)
20.	Behenic	$C_{22}H_{44}O_2$	C22:0
21.	Erucic	$C_{22}H_{42}O_2$	C22:1
22.	Erucic	$C_{22}H_{42}O_2$	C22:4
23.	Erucic	$C_{22}H_{42}O_2$	C22:6
24.	DHA	$C_{22}H_{44}O_2$	C22:6
25.	Lignoceric acid	$C_{24}H_{48}O_2$	C24:0
26.	Nervonic acid	$C_{22}H_{46}O_2$	C24:1

ภาคผนวก ข.

ตาราง ข.1 คุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันพ.ศ. 2550

(ที่มา : รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน)

รายการ	รายการข้อกำหนด	ระดับความเข้มข้น	หน่วยที่วัด	วิธีทดสอบ	เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด
1	Methyl ester	>96.5	%wt	EN14103	GC-FID
2	Linolenic acid methyl ester	<12	%wt	EN14103	GC-FID
3	Monoglyceride	<0.8	%wt	EN14105	GC-FID
4	Diglyceride	<0.2	%wt	EN14105	GC-FID
5	Triglyceride	<0.2	%wt	EN14105	GC-FID
6	Free glyceride	<0.2	%wt	EN14105	GC-FID
7	Total glycerin	<0.25	%wt	EN14105	GC-FID
8	Methanol	<0.2	%wt	EN14110	GC-FID
9	โลหะกลุ่ม 1 : Na,K	<5	ppm	EN14108	AAS
10	โลหะกลุ่ม 1 Ca,Mg	<5	ppm	EN14109	AAS
11	Phosphorus	<0.001	%wt	ASTM D495	ICP
12	Sulphur	<0.001	%wt	ASTM D2662	X-RAY
13	Water	<0.05	%wt	ASTM D2709	Centrifuge
14	Iodine value	<120	glodine/100g	EN 14111	-

ตาราง ข.2 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.]

ชนิด	ค่าความถ่วงจำเพาะ (21^0C,g/ml)	ความหนืด (21^0C,cSt)	ค่าความร้อน (kJ/kg)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
ทานตะวัน	0.918	60.0	39450
มะพร้าว	0.915	51.9	37,540
ถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
เมล็ดในสบู่ดำ	0.915	36.9	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

ตาราง ข.3 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติ	ดีเซล	ไบโอดีเซล
Fuel standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower heating value ,btu/gal	129.050	118.170
Kinematic viscosity,@40 ^{0}C	1.3-4.1	4.0-6.0
Specific gravity,kg/l@60 F	0.85	0.88
Density,lb/gal@15 ^{0}C	7.079	7.328
Water and sediment,vol%	0.05	0.05max
Carbon,wt%	87	77
Hydrogen,wt%	13	12
Oxygen ,wt%	0	11
Sulfur,wt%	0.05 max	0.05 max
Boiling point ^{0}C	180 - 340	315 - 350
Flash point ^{0}C	60-80	100 - 170
Cloud point ^{0}C	-15 to 5	-3 to 12
Pour point ^{0}C	-35 to -15	-15 to 10

ตาราง ข.4 รายชื่อผู้ผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน B 100

รายชื่อผู้ผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (บี100) ที่ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลจากกรมธุรกิจพลังงาน

ลำดับ	บริษัท	กำลังผลิต (ลิตร/วัน)	วัตถุดิบที่ใช้	วันที่ได้รับความเห็นชอบ	วันที่หมดอายุ	สถานที่ตั้งโรงงาน
1	บมจ. บางจากปิโตรเลียม	50,000	น้ำมันพืชใช้แล้ว CPO	7 มิ.ย. 50	6 มิ.ย. 53	210 หมู่ 1 ซอยสุขุมวิท 64 ถนนสุขุมวิท แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10260
2	บจ. ไบโอเอ็นเนอร์ยีพลัส	100,000	Palm Stearine	7 มิ.ย. 50	6 มิ.ย. 53	344 หมู่ 2 ถ. อุดมสรยุทธ ต. คลองจิก อ. บางปะอิน จ. พระนครศรีอยุธยา 13160
3	บมจ. พลังงานบริสุทธิ์	200,000	Palm Stearine	7 มิ.ย. 50	6 มิ.ย. 53	507 หมู่ 9 ถ. กบินทร์บุรี-นครราชสีมา ต. หนองกี่ อ. กบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี 25110
4	บจ. น้ำมันพืชปทุม	800,000	RBD PO	7 มิ.ย. 50	6 มิ.ย. 53	29/3 หมู่ 6 ถ. ปทุมธานี-ลาดหลุมแก้ว ต. คูบางหลวง อ. ลาดหลุมแก้ว จ. ปทุมธานี 12140
5	บจ. กรุงเทพพลังงานทดแทน	200,000	Palm Stearine RBD PO	7 มิ.ย. 50	6 มิ.ย. 53	39 หมู่ 5 ต. ท่าข้าม อ. บางปะกง จ. ฉะเชิงเทรา 24130
6	บจ. กรีน เพาเวอร์ คอร์ปอเรชั่น	200,000	Palm Stearine	15 มิ.ย. 50	14 มิ.ย. 53	217 หมู่15 ต. ท่าแซะ อ. ท่าแซะ จ. ชุมพร 86140
7	บจ. เอไอ เอนเนอร์จี	250,000	Palm Stearine CPO,RBD PO	15 มิ.ย. 50	14 มิ.ย. 53	55/2 หมู่ 8 ถ. เศรษฐกิจ 1 ต. คลองมะเดื่อ อ. กระทุ่มแบน จ. สมุทรสาคร 74110
8	บจ. วีระสุวรรณ	200,000	Palm Stearine RBD PO	15 มิ.ย. 50	14 มิ.ย. 53	53/2 หมู่ 5 ถ. เศรษฐกิจ ต. นาดี อ. เมือง จ. สมุทรสาคร 74000
9	บจ. ไทยโอลีโอเคมี	685,800	CPO	28 ธ.ค. 50	27 ธ.ค. 53	8 ซอย จี 12 ถ. ปกรณ์สงเคราะห์ราษฎร์ ต. มาบตาพุด อ. เมืองระยอง จ. ระยอง 21150
10	บจ. นิว ไบโอดีเซล	220,000	RBD PO	1 ส.ค. 51	31 ก.ค. 54	99/19 หมู่ 4 ถ. กญจนวิถี ต. บางกุ้ง อ. เมือง จ. สุราษฎร์ธานี 84000
11	บจ. เพียวไบโอดีเซล	300,000	CPO Palm Stearine	30 ธ.ค. 51	29 ธ.ค. 54	7/4 ถ. ปกรณ์สงเคราะห์ราษฎร์ ต. มาบตาพุด อ. เมืองระยอง จ. ระยอง 21150
12	บจ. สยามกัลฟ์ปิโตรเคมีคัล	1,200,000	Palm Stearine	30 ธ.ค. 51	29 ธ.ค. 54	88/6 ถ. ชลประธาน ต. บางแก้ว อ. บ้านแหลม จ. เพชรบุรี 76110
13	บจ. อี-เอสเทอร์	50,000	น้ำมันพืชใช้แล้ว Palm Stearine	24 ก.ค. 52	23 ก.ค. 55	126 หมู่ 3 ถ. พหลโยธิน ต. ป่าอ้อดอนชัย อ. เมืองเชียงราย จ. เชียงราย 57000
	รวม	4,455,800				

<u>หมายเหตุ</u> 1. การให้ความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่าย เป็นการให้ความเห็นชอบเป็นผู้ผลิตไบโอดีเซล มิใช่เป็นการรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

2. ผู้ผลิตไบโอดีเซลจะต้องผลิตและจำหน่ายไบโอดีเซลที่มีคุณภาพเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552

3. การจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลที่มีคุณภาพไม่เป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหนึ่งปี หรือปรับไม่เกินหนึ่งแสนบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

4. บจ. สยามกัลฟ์ปิโตรเคมีคัล รับจ้างผลิตให้กับ บจ. เทคนิคพลัสเอ็นจิเนียริ่ง

กันยายน 2552

รายชื่อผู้ค้าน้ำมันที่ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่าย ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (บี100) จากกรมธุรกิจพลังงาน

ลำดับ	บริษัท	วันที่ได้รับความเห็นชอบ	วันที่หมดอายุ	สถานที่ตั้ง
1	บมจ. ปตท.	14 มี.ค. 51	13 มี.ค. 54	555 ถ. วิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
2	บจ. เชลล์แห่งประเทศไทย	21 มี.ค. 51	20 มี.ค. 54	10 ถ. สุนทรโกษา แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110
3	บจ. เซฟรอน (ไทย)	28 มี.ค. 51	27 มี.ค. 54	123 ซอยเฉยพ่วง ถ. วิภาวดีรังสิต แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
4	บจ. ปิโตรนาส รีเทล (ประเทศไทย)	7 พ.ย. 51	6 พ.ย. 54	191 ถ. รัชดาภิเษก แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110
5	บจ. เทคนิคพลัสเอ็นจิเนียริง	26 ก.พ. 52	25 ก.พ. 53	89/4 หมู่ 1 ต. บางน้ำจืด อ. เมืองสมุทรสาคร จ. สมุทรสาคร 74000

กันยายน 2552

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

ค. 1 คุณสมบัติทางเคมีของสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น ชนิดของสารประเภทฟีนอล

Antioxidant for diesel fuels, biodiesel, gasoline, and jet fuel,

Chemical Composition	Sterically hindered phenols with at least 75% of 2,6-di-tert.-butyl-phenol and 25% of a mixture of mono-tert.butyl-phenol and tri-tert.-butyl-phenol

Properties

Appearance	Clear yellowish liquid.		
Physical Data	Density at 40 °C	ca. 930 kg/m³	ASTM D 4052
	Density at 20 °C	ca. 940 kg/m³	ASTM D 4052
	Viscosity at 40 °C	ca. 8 mm²/s	ASTM D 445
	Melting point	11 °C	ASTM D 87
	Freeze point	21 °C	ISO 1392
	Flash point	>100 °C	ISO 2719
	When stored at lower temperatures, Kerobit TP 26 behaves like a super-cooled liquid, crystallisation may occur sometimes. When solidified, the inhibitor should be warmed up to 40 °C in order to ensure homogeneity obeying safety precautions (pressure balance, etc.). A diluted solution of Kerobit TP 26 with a solidification point below -10 °C is available upon request (Kerobit TP 26 S).		
Quality Control	The above-listed data represent average values at the time of going to press of this Technical Information. They are intended as a guide to facilitate handling and cannot be regarded as specified data. Specified product data are issued as a separate product specification.		
Solubility	Soluble in hydrocarbons.		

Application

1) Use in mineral oil products
Kerobit TP 26 is an antioxidant for middle distillates, gasoline, and jet fuel. It prevents gum formation as well as autoxidation and improves storage stability. The inhibitor should be added directly to the unstable product streams, e.g. distillates from cracker units or hydrotreater effluents, to provide immediate protection.

The recommended injection rate is 20 - 100 ppm. The efficiency is evaluated by determination of the induction period according to ASTM D 525 (oxidation stability of gasoline) or by determination of the potential gum according to ASTM D 873 (oxidation stability and potential gum of jet fuel).

Kerobit TP 26 meets current specifications for jet fuels and gasoline for civil and military use. The DEF STAN qualification reference for the Kerobit TP 26 is RDE/A/609. Detailed information can be given upon request.

2) Use in Biodiesel
Kerobit TP 26 is used to improve the oxidation stability of fatty acid methyl esters (FAME). The oxidation stability of FAME is usually measured acc. EN 14112 (accelerated oxidation test, "Rancimat test"). Typical dosages are between 250 ppm and 1000 ppm, depending on type of FAME and the requirements.

Storage Stability

Kerobit TP 26 can be stored at least for one year in tightly closed containers in a cool, dry area. Partially emptied drums should be blanketed with dry nitrogen. The drums should be re-sealed properly afterwards to maintain product integrity. Multiple re-heating impairs product quality, like colour.

Bulk quantities should be stored in a stainless steel tank under nitrogen.

Packaging

180 kg steel drums or in bulk.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Safety

When using this product, the information and advice given in our **Safety Data Sheet** should be observed. Due attention should also be given to the **precautions** necessary for handling chemicals.

Note

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights, etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed.

February 2006

BASF Aktiengesellschaft
Performance Chemicals for
Automotive and Oil Industry
67056 Ludwigshafen, Germany
www.basf.com/automotive-oil

ค. 2 คุณสมบัติทางเคมีของสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น ชนิดของสารประเภทฟีโนลิค

Description

ETHANOX 4760E biodiesel stabilizer is a proprietary blend of antioxidants and a metal deactivator, used to prevent oxidation or loss of stability in biodiesels. The metal deactivator is designed to neutralize the catalytic effect of copper and other metals in promoting oxidation in biodiesel.

Features:

- Low-temperature fluidity
- Maximizes biodiesel storage life
- Inhibits the formation of decomposition products during storage
- Cost-effective when compared to other stabilization alternatives
- Effective at extending Rancimat values in a wide range of biodiesels and blends
- Maintains fresh biodiesel Rancimat values during extended storage
- Particularly effective in biodiesel produced from sources with residual metal content

Typical Properties

Appearance	clear amber to red liquid
Density (@ 25 °C)	0.95
Viscosity @ 40 °C, cSt	14
Flash point (PMCC), °C	100
Freeze point, °C	< -14
Activity	99

Recommended Dosage

The treat rate for ETHANOX 4760E biodiesel stabilizer will vary with the nature of the biodiesel and its processing conditions. Typical treat rates are between 100 ppm and 1000 ppm. Contact your Albemarle representative for specific recommendations.

Shipping Information

Container Information
Non-returnable 55-gallon steel drums

Safety and Handling Information

ETHANOX 4760E biodiesel stabilizer is a liquid product with a low viscosity and freezing point, and a high flashpoint. This allows the product to be easily and safely handled and blended into biodiesel under a wide range of conditions. Gentle heating using low-pressure steam or drum warmers may be employed to reduce product viscosity for more rapid transfer and blending. The product should not be heated above 55 °C as this will shorten storage life. A recommended storage temperature is between ambient and 30 °C. The typical shelf life for this product is 2 years at ambient temperature.

Before handling or using this product, the material safety data sheet (MSDS) should be read and understood. The MSDS can be obtained from your Albemarle sales representative.

Chemical Registration Numbers

CAS: Blend of registered products
EINECS: Blend of registered products
TSCA: Blend of registered products

ค. 3 คุณสมบัติทางเคมีของสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น ชนิดของสารประเภทอะลิฟาติค เมทิลเอสเทอร์

Composition information on ingredients

Weight %	Component
68.5%	aliphatic esters
30%	2-tert-butylhydroquinone
1.5%	citric acid

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

ง.1 รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์ม

ชนิดไขปาล์มสเตียรินโดยเติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น ที่ 250 ppm ทดสอบโดยศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTECH)

ผลการวิเคราะห์ :

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ตัวอย่างทดสอบ	หน่วย
1. ค่าความเป็นกรด	ASTM D664	0.36	มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม
2. กากถ่าน	ASTM D4530	0.00	ร้อยละโดยน้ำหนัก
3. ค่าไอโอดีน	EN 14111	38.69	กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม
4. ความหนืดคิเนมาติก ณ 40 องศาเซลเซียส	ASTM D445	4.82	เซนติสโตกส์
5. ปริมาณน้ำ	EN ISO 12937	0.069	ร้อยละโดยน้ำหนัก
6. จุดวาบไฟ	ASTM D93	> 230	องศาเซลเซียส
7. ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	EN 14103	95.75	ร้อยละโดยน้ำหนัก
8. โมโนกลีเซอไรด์	EN 14105	0.24	ร้อยละโดยน้ำหนัก
9. ไดกลีเซอไรด์	EN 14105	0.06	ร้อยละโดยน้ำหนัก
10. ไตรกลีเซอไรด์	EN 14105	0.11	ร้อยละโดยน้ำหนัก
11. กลีเซอรีนอิสระ	EN 14105	0.004	ร้อยละโดยน้ำหนัก
12. กลีเซอรีนทั้งหมด	EN 14105	0.08	ร้อยละโดยน้ำหนัก

ทดสอบโดย : .....

(นางสาวปานชีวา อุดมทรัพย์)

ผู้ช่วยนักวิจัย

ตรวจสอบโดย : .....บุปผา พุทธสวัสดิ์.....

(นางสาวบุปผา พุทธสวัสดิ์)

ผู้ช่วยนักวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2 รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์ม ชนิด B 100

ชนิดของน้ำมัน : น้ำมันปาล์มดิบ

PTT CHEMICAL PUBLIC COMPANY LIMITED

LABORATORY SERVICES, TESTING OPERATIONS SERVICES II

9 I-4 Road, Tambon Map Ta Phut, Amphoe Mueang Rayong,

Rayong 21150 Thailand

Tel : +66 (0) 3892-2000 Fax : +66 (0) 3892-5481

Page 1 of 1

CERTIFICATE OF ANALYSIS FOR

METHYL ESTER

Certificate No.: COA-L5-0907-00201

Job No. : II-L5-0907-000098

Supplement to Certificate No.: -

Customer : Thai Oleochemicals Co.,Ltd.

Address : 8 Soi G12, Eastern Industrial Estate,Pakorn Songkhrao-Rad Road,Tambol Map Ta Phut,Amphur Muang Rayong,Rayong 21150

Telephone : 081-8192190 Fax : 038-687923

Sample Description

Sample No. : 06-L5-I-O-0907001343 Sampling Point : 3100T008

Sampling by : TOL Operator Sampling Date/Time : July 03, 2009 / 00:00

Tested By : Kanyanee.T

Tested Date : July 04, 2009 Received Date : July 03, 2009

Sample Condition : Orange Liquid / Glass Bottle

Test Item	Unit	Result	Specification	Test Method
1. Oxidation Stability @110 oC	hrs	24	10 Min	DIN EN 14112:2003(E)

Notes :

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

For Plant QA Only

☑ On Spec ☐ Off Spec

Reported By : Songsak. S
(Mr.Songsak Srikaew)
(Laboratory Technician)
Date : July 04, 2009

Approved By : Pb. K
(Mr.Kitja Puengsomboon)
(Laboratory Supervisor)
Date : July 04, 2009

QA : A. Thavornchan
(Miss Agornsri Thavornchan)
(Chemist)
Date : July 07, 2009

Remark
1. Reported results are as-received sample.
2. This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of Laboratory Services, PTT Chemical Public Company Limited.
3. * In this certificate are changed or additional. And bold letter/numberic are OFF SPEC.

PTT CHEMICAL PUBLIC COMPANY LIMITED
LABORATORY SERVICES, TESTING OPERATIONS SERVICES II
9 I-4 Road, Tambon Map Ta Phut, Amphoe Mueang Rayong,
Rayong 21150 Thailand
Tel : +66 (0) 3892-2000 Fax : +66 (0) 3892-5481

CERTIFICATE OF ANALYSIS FOR METHYL ESTER

Certificate No.: COA-L5-0907-00178
Job No. : II-L5-0907-000097
Supplement to Certificate No.: -

Customer : Thai Oleochemicals Co.,Ltd.
Address : 8 Soi G12, Eastern Industrial Estate,Pakorn Songkhrao-Rad Road,Tambol Map Ta Phut,Amphur Muang Rayong,Rayong 21150
Telephone : 081-8192190 Fax : 038-687923

Sample Description

Sample No. : 06-L5-I-O-0907001246 Sampling Point : 3100T008
Sampling by : TOL Operator Sampling Date/Time : July 03, 2009 / 00:00
Tested By : Kaweewan.R,Vorapong.R,Sittipong.R,Wassana.K,Wason.S,Piyawan.P
Tested Date : July 03, 2009 Received Date : July 03, 2009
Sample Condition : Orange Liquid / Glass Bottle

Test Item	Unit	Result	Specification	Test Method
Test Item	Unit	Result	Specification	Test Method
1. Appearance	-	Clear,Bright	Clear & Bright	Visual
2. Acid value	mg KOH/g	0.35	0.50 Max	Inhouse Method Base on DIN EN ISO 660-1996
3. Cloud Point	deg.C	16	16 Max	ASTM D 2500-05
4. Methanol	% wt	0.01	0.20 Max	DIN EN 14110
5. Phosphorus	% wt	<0.0001	0.0010 Max	AOCS Official Method Ca 12-55 -93
6. Monoglyceride	% wt	0.32	0.80 Max	DIN EN 14105
7. Diglyceride	% wt	0.04	0.20 Max	DIN EN 14105
8. Triglyceride	% wt	<0.01	0.20 Max	DIN EN 14105
9. Free Glycerine	% wt	0.01	0.02 Max	DIN EN 14105
10. Total glycerine	% wt	0.10	0.25 Max	DIN EN 14105
11. Water Content	% wt	0.017	0.050 Max	ASTM E 203-01
12. Sulfated Ash	% wt	<0.005	0.02 Max	ASTM D 874-00
13. Carbon Residue on 10 % Distillation Residue	% wt	0.21	0.30 Max	Inhouse Method Base on ASTM D4530-03
14. Cold Filter Plugging Point	deg.C	10	12 Max	DIN EN 116
15. Copper Corrosion @ 50 oC	-	1a	No.1 Max	ASTM D 130-94 (Re.2000)E1
16. Density @ 15 oC	kg/m3	879	860-900	ASTM D 4052-96 (2002) E1
17. Density @ 30 oC	kg/m3	865	-	ASTM D 4052-96 (2002) E1
18. Total Contaminate	% wt	0.0008	0.0024 Max	DIN EN 12662
19. Methyl Ester	% wt	96.80	96.5 Min	DIN EN 14103
20. Linolenic Acid Methyl Ester	% wt	0.16	12 Max	DIN EN 14103
21. Flash Point	deg.C	167.0	120 Min	ASTM D 93-02a Procedure A
22. Iodine Value	g Iodine/100 g	53.5	120 Max	ISO 3961-1996
23. Kinematic Viscosity @ 40 deg.C	cSt	4.577	3.50-5.00	ASTM D 445-01
24. Group I Metal (Na+K)	ppm	0.02	5.0 Max	Inhouse Method Base on AAS. Technique
25. Group II Metal (Ca+Mg)	ppm	nil	5.0 Max	Inhouse Method Base on AAS. Technique
26. Oxidation Stability @110 oC	hrs	>10	10 Min	DIN EN 14112:2003(E)
27. Total Sulfur	% wt	0.0004	0.0010 Max	ASTM D 5453 -04

Notes :

Remark : 1. Reported results are as-received sample.
2. This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of Laboratory Services, PTT Chemical Public Company Limited.
3. * In this certificate are changed or additional. And bold letter/numberic are OFF SPEC.

ง.3 รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์ม ชนิด B 100

ชนิดของน้ำมัน : ไขปาล์มสเตียริน

PTT CHEMICAL PUBLIC COMPANY LIMITED

LABORATORY SERVICES, TESTING OPERATIONS SERVICES II

9 I-4 Road, Tambon Map Ta Phut, Amphoe Mueang Rayong,

Rayong 21150 Thailand

Tel : +66 (0) 3892-2000 Fax : +66 (0) 3892-5481

Page 1 of 1

CERTIFICATE OF ANALYSIS FOR

METHYL ESTER

Certifacate No.: COA-L5-0904-01585

Job No. : II-L5-0904-001031

Supplement to Certificate No.: -

Customer : Thai Oleochemicals Co.,Ltd.

Address : 8 Soi G12, Eastern Industrial Estate,Pakorn Songkhrao-Rad Road,Tambol Map Ta Phut,Amphur Muang Rayong,Rayong 21150

Telephone : 038-687921 **Fax :** 038-687923

Sample Description

Sample No. : 06-L5-I-O-0904013591 **Sampling Point :** 3300T003C

Sampling by : TOL **Sampling Date/Time :** April 26, 2009 / 04:00

Tested By : Wassana.K

Tested Date : April 26, 2009 **Received Date :** April 26, 2009

Sample Condition : Yellow Liquid /Glass Bottle

Test Item	Unit	Result	Specification	Test Method
1. Oxidation Stability @110 oC	hrs	46	10 Min	DIN EN 14112:2003(E)

Notes :

For Plant QA Only

☑ **On Spec** ☐ **Off Spec**

Reported By : Wassana K. (MissWassana Kasamsang) (Laboratory Technician) Date : April 30, 2009

Approved By : D. Jaengsawai (MissDuangdaw Jaengsawai) (Laboratory Supervisor) Date : May 01, 2009

QA : A. Thavomchan (MissAgomsri Thavomchan) (Chemist) Date : May 05, 2009

Remark
1. Reported results are as-received sample.
2. This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of Laboratory Services, PTT Chemical Public Company Limited.
3. * In this certificate are changed or additional. And bold letter/numberic are OFF SPEC.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PTT CHEMICAL PUBLIC COMPANY LIMITED
LABORATORY SERVICES, TESTING OPERATIONS SERVICES II
9 I-4 Road, Tambon Map Ta Phut, Amphoe Mueang Rayong,
Rayong 21150 Thailand
Tel : +66 (0) 3892-2000 Fax : +66 (0) 3892-5481

CERTIFICATE OF ANALYSIS FOR METHYL ESTER

Certifacate No.: COA-L5-0905-01481
Job No. : -
Supplement to Certificate No.: -

Customer : Thai Oleochemicals Co.,Ltd.
Address : 8 Soi G12, Eastern Industrial Estate,Pakorn Songkhrao-Rad Road,Tambol Map Ta Phut,Amphur Muang Rayong,Rayong 21150
Telephone : 038-687921 Fax : 038-687923

Sample Description

Sample No. : 06-L5-R-O-0905014629
Sampling Point : 3300T003C
Sampling by : TOL Operator
Sampling Date/Time : May 26, 2009 / 21:00
Tested By : Wimol.P,Pongpicha.B,Narimol.K,Wimonlux.S,Pisit.K
Tested Date : May 27, 2009
Received Date : May 27, 2009
Sample Condition : Yellow Liquid / Glass Bottle

Test Item	Unit	Result	Specification	Test Method
Test Item	Unit	Result	Specification	Test Method
1. Appearance	-	Clear,Bright	Clear & Bright	Visual
2. Acid value	mg KOH/g	0.30	0.50 Max	Inhouse Method Base on DIN EN ISO 660-1996
3. Cloud Point	deg.C	**20**	16 Max	ASTM D 2500-05
4. Methanol	% wt	0.08	0.20 Max	DIN EN 14110
5. Phosphorus	% wt	0.0003	0.0010 Max	AOCS Official Method Ca 12-55 -93
6. Monoglyceride	% wt	0.29	0.80 Max	DIN EN 14105
7. Diglyceride	% wt	0.04	0.20 Max	DIN EN 14105
8. Triglyceride	% wt	<0.01	0.20 Max	DIN EN 14105
9. Free Glycerine	% wt	0.01	0.02 Max	DIN EN 14105
10. Total glycerine	% wt	0.09	0.25 Max	DIN EN 14105
11. Water Content	% wt	0.032	0.050 Max	ASTM E 203-01
12. Sulfated Ash	% wt	<0.005	0.02 Max	ASTM D 874-00
13. Carbon Residue on 10 % Distillation Residue	% wt	<0.10	0.30 Max	Inhouse Method Base on ASTM D4530-03
14. Cold Filter Plugging Point	deg.C	**15**	12 Max	DIN EN 116
15. Copper Corrosion @ 50 oC	-	1a	No.1 Max	ASTM D 130-94 (Re.2000)E1
16. Density @ 15 oC	kg/m3	884	860-900	ASTM D 4052-96 (2002) E1
17. Density @ 30 oC	kg/m3	863	-	ASTM D 4052-96 (2002) E1
18. Total Contaminate	% wt	0.0008	0.0024 Max	DIN EN 12662
19. Methyl Ester	% wt	98.57	96.5 Min	DIN EN 14103
20. Linolenic Acid Methyl Ester	% wt	0.17	12 Max	DIN EN 14103
21. Flash Point	deg.C	167.5	120 Min	ASTM D 93-02a Procedure A
22. Iodine Value	g Iodine/100 g	51.0	120 Max	ISO 3961-1996
23. Kinematic Viscosity @ 40 deg.C	cSt	4.519	3.50-5.00	ASTM D 445-01
24. Group I Metal (Na+K)	ppm	nil	5.0 Max	Inhouse Method Base on AAS. Technique
25. Group II Metal (Ca+Mg)	ppm	nil	5.0 Max	Inhouse Method Base on AAS. Technique
26. Oxidation Stability @110 oC	hrs	>10	10 Min	DIN EN 14112:2003(E)
27. Total Sulfur	% wt	<0.0001	0.0010 Max	ASTM D 5453 -04

Notes : Cloud Point and CFPP can be accepted for PalmStearin-Methyl Ester

Remark
1. Reported results are as-received sample.
2. This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of Laboratory Services, PTT Chemical Public Company Limited.
3. * In this certificate are changed or additional. And bold letter/numberic are OFF SPEC.

ง.4 รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์ม ชนิด B 100

ชนิดของน้ำมัน : น้ำมันปาล์มรีไฟน์

PTT CHEMICAL PUBLIC COMPANY LIMITED

LABORATORY SERVICES, TESTING OPERATIONS SERVICES II

9 I-4 Road, Tambon Map Ta Phut, Amphoe Mueang Rayong,

Rayong 21150 Thailand

Tel : +66 (0) 3892-2000 Fax : +66 (0) 3892-5481

Page 1 of 1

CERTIFICATE OF ANALYSIS FOR

METHYL ESTER

Certifacate No.: COA-L5-0903-01376

Job No. : II-L5-0903-000813

Supplement to Certificate No.: -

Customer : Thai Oleochemicals Co.,Ltd.

Address : 8 Soi G12, Eastern Industrial Estate,Pakorn Songkhrao-Rad Road,Tambol Map Ta Phut,Amphur Muang Rayong,Rayong 21150

Telephone : 038-687921 Fax : 038-687923

Sample Description

Sample No. : 06-L5-I-O-0903009899 Sampling Point : 3300T003D

Sampling by : TOL Operator Sampling Date/Time : March 19, 2009 / 23:30

Tested By : Narimol.K

Tested Date : March 20, 2009 Received Date : March 20, 2009

Sample Condition : Yellow Liquid / Glass Bottle

Test Item	Unit	Result	Specification	Test Method
1. Oxidation Stability @110 oC	hrs	60	10 Min	DIN EN 14112:2003(E)

Notes :

For Plant QA Only

☑ On Spec ☐ Off Spec

Reported By : Pongpicha. (Pongpicha Boontun) (Laboratory Technician) Date : March 23, 2009

Approved By : Pb. K (Mr.Kitja Puengsomboon) (Laboratory Supervisor) Date : March 23, 2009

QA : A. Thavomchan (Miss Agorisri Thavomchan) (Chemist) Date : March 23, 2009

Remark 1. Reported results are as-received sample.
2. This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of Laboratory Services, PTT Chemical Public Company Limited.
3. * In this certificate are changed or additional. And bold letter/numberic are OFF SPEC.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PTT CHEMICAL PUBLIC COMPANY LIMITED
LABORATORY SERVICES, TESTING OPERATIONS SERVICES II
9 I-4 Road, Tambon Map Ta Phut, Amphoe Mueang Rayong,
Rayong 21150 Thailand
Tel : +66 (0) 3892-2000 Fax : +66 (0) 3892-5481

CERTIFICATE OF ANALYSIS FOR METHYL ESTER

Certifacate No.: COA-L5-0903-01288
Job No. : II-L5-0903-000813
Supplement to Certificate No.: -

Customer : Thai Oleochemicals Co.,Ltd.
Address : 8 Soi G12, Eastern Industrial Estate,Pakorn Songkhrao-Rad Road,Tambol Map Ta Phut,Amphur Muang Rayong,Rayong 21150
Telephone : 038-687921 **Fax :** 038-687923

Sample Description

Sample No. : 06-L5-I-O-0903009889 **Sampling Point :** 3300T003D
Sampling by : TOL Operator **Sampling Date/Time :** March 19, 2009 / 23:30
Tested By : Sittipong.R,Thiti.S,Kaweewan.R,Kanyanee.T,Kessaraporn.N,Wason.S,Somporn.S
Tested Date : March 20, 2009 **Received Date :** March 20, 2009
Sample Condition : Yellow Liquid / Glass Bottle

Test Item	Unit	Result	Specification	Test Method
1. Appearance	-	Clear,Bright	Clear & Bright	Visual
2. Acid value	mg KOH/g	0.42	0.50 Max	Inhouse Method Base on DIN EN ISO 660-1996
3. Cloud Point	deg.C	16	16 Max	ASTM D 2500-05
4. Methanol	% wt	0.04	0.20 Max	DIN EN 14110
5. Phosphorus	% wt	<0.0001	0.0010 Max	AOCS Official Method Ca 12-55 -93
6. Monoglyceride	% wt	0.44	0.80 Max	DIN EN 14105
7. Diglyceride	% wt	0.06	0.20 Max	DIN EN 14105
8. Triglyceride	% wt	<0.01	0.20 Max	DIN EN 14105
9. Free Glycerine	% wt	0.01	0.02 Max	DIN EN 14105
10. Total glycerine	% wt	0.13	0.25 Max	DIN EN 14105
11. Water Content	% wt	0.044	0.050 Max	ASTM E 203-01
12. Sulfate Ash	% wt	<0.001	0.02 Max	ASTM D 482-00a E1
13. Carbon Residue on 10 % Distillation Residue	% wt	0.16	0.30 Max	Inhouse Method Base on ASTM D4530-03
14. Cold Filter Plugging Point	deg.C	12	12 Max	DIN EN 116
15. Copper Corrosion @ 50 oC	-	1a	No.1 Max	ASTM D 130-94 (Re:2000)E1
16. Density @ 15 oC	kg/m3	875	860-900	ASTM D 4052-96 (2002) E1
17. Density @ 30 oC	kg/m3	864	-	ASTM D 4052-96 (2002) E1
18. Total Contaminate	% wt	0.0008	0.0024 Max	DIN EN 12662
19. Methyl Ester	% wt	97.28	96.5 Min	DIN EN 14103
20. Linolenic Acid Methyl Ester	% wt	0.24	12 Max	DIN EN 14103
21. Flash Point	deg.C	178.0	120 Min	EN ISO 3679
22. Iodine Value	g Iodine/100 g	50.0	120 Max	ISO 3961-1996
23. Kinematic Viscosity @ 40 deg.C	cSt	4.529	3.50-5.00	ASTM D 445-01
24. Group I Metal (Na+K)	ppm	0.31	5.0 Max	Inhouse Method Base on AAS. Technique
25. Group II Metal (Ca+Mg)	ppm	0.05	5.0 Max	Inhouse Method Base on AAS. Technique
26. Oxidation Stability @110 oC	hrs	>10	10 Min	DIN EN 14112:2003(E)
27. Total Sulfur	% wt	0.0008	0.0010 Max	ASTM D 5453 -04

Notes :

Remark
1. Reported results are as-received sample.
2. This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of Laboratory Services, PTT Chemical Public Company Limited.
3. * In this certificate are changed or additional. And bold letter/numberic are OFF SPEC.

PTT CHEMICAL PUBLIC COMPANY LIMITED
LABORATORY SERVICES, TESTING OPERATIONS SERVICES II
9 I-4 Road, Tambon Map Ta Phut, Amphoe Mueang Rayong,
Rayong 21150 Thailand
Tel : +66 (0) 3892-2000 Fax : +66 (0) 3892-5481

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

For Plant QA Only
☑ On Spec ☐ Off Spec

Reported By : Komkrit S.
(Mr.Komkrit Sawapalangkul)
(Laboratory Technician)
Date : March 20, 2009

Approved By : Pob. K
(Mr.Kitja Puengsomboon)
(Laboratory Supervisor)
Date : March 20, 2009

QA :
(Mrs.Sirintra Chatchawanpreecha)
Acting for Technical Manager)
Date : March 21, 2009

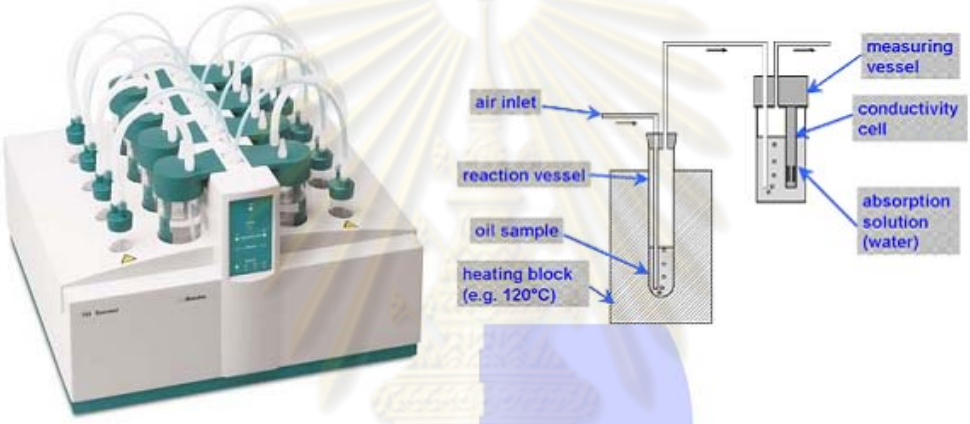
Remark 1. Reported results are as-received sample.
2. This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of Laboratory Services, PTT Chemical Public Company Limited.
3. * In this certificate are changed or additional. And bold letter/numberic are OFF SPEC.

ภาคผนวก จ.

จ.1 เครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบค่าสเถียรภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

เครื่อง Rancimat (Oxidation Stability)

เป็นเครื่องที่ใช้วิเคราะห์ค่าเสถียรภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ไบโอดีเซล ด้วยวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ EN 14112 ดังนี้

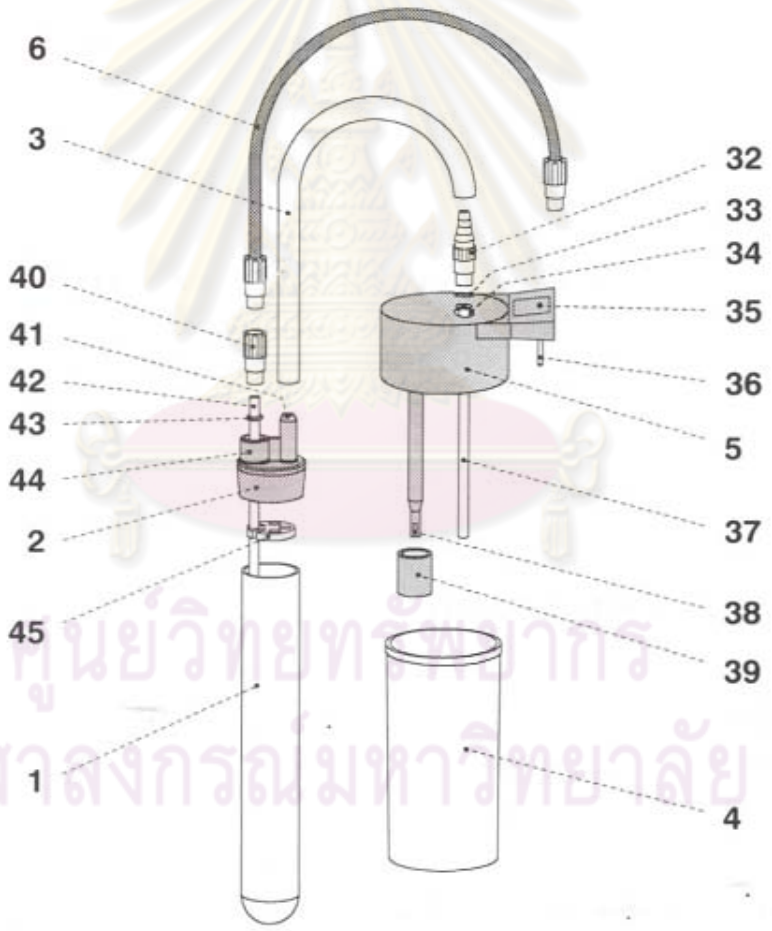


เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน :
เป็นค่าที่บ่งถึงความสามารถของน้ำมันที่จะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วได้ยางเหนียว และไบโอดีเซล ก็มีความไม่เสถียรเช่นเดียวกันกับน้ำมันตามธรรมชาติและไขมันจากสัตว์ ซึ่งเมื่อนำมาจัดเก็บไว้เป็นเวลานาน จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น คือเกิดการแปรสภาพของน้ำมันอย่างช้า ๆ ด้วยออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศ เกิดเป็นสารซึ่งถูกออกซิไดซ์ อยู่ในรูปของ aldehydes, alcohols และ carbonic acids ซึ่งมีผลกระทบต่อไอดี ห้องเผาไหม้และการเก็บสำรองน้ำมัน

ค่าความเสถียรของน้ำมันไบโอดีเซล จะต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง และในปัจจุบันมีการเติมสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant substances) เพื่อช่วยให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ช้าลงด้วย

วิธีมาตรฐานการวิเคราะห์ EN 14112 :

ให้ความร้อน อุณหภูมิ 110 ° ซ และเติมอากาศซึ่งมีอัตราการไหลของอากาศ 10 ลิตร/ชั่วโมง เข้าสู่ไบโอดีเซลน้ำหนัก 3.00 กรัมซึ่งบรรจุภายในหลอดทดลองแก้ว และอยู่ในระบบปิด ซึ่งมีการต่อสายท่ออากาศออกจากระบบปิด เพื่อนำอากาศส่วนที่อยู่ด้านบน ซึ่งคืออากาศส่วนที่ถูกออกซิไดซ์ออกมานั้นจุ่มลงในกระบอกแก้วซึ่งบรรจุน้ำ DI (deionization) ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ที่ส่วนฝาของกระบอกแก้วนี้จะมีตัวโพรพวัดค่าความนำไฟฟ้า ซึ่งจะส่งสัญญาณไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลเป็นกราฟ และรายงานค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันออกมาเป็นค่า IP (Induction period)



รูปที่ 1 แสดงชิ้นส่วนของอุปกรณ์และวิธีการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้กับเครื่อง Rancimat

1 Reaction vessel	36 Connection plug
2 Reaction vessel cover	37 PTFE tube
3 Connecting tubing (white)	38 Electrodes
4 Measuring vessel	39 Protective ring
5 Measuring vessel cover	40 Connection nipple
6 Connecting tubing (green)	41 Connection สำหรับ connection tubing[3]
32 Connection piece	42 Air inlet tube
33 Opening " Out "	43 Sealing ring
34 Opening " In "	44 Connection สำหรับ connection nipple[40]
35 Marking field	45 Foam barrier

<u>วิธีการวิเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยเครื่อง RANCIMAT</u>

1. ประกอบฝา Measuring vessel cover[5] โดย
   - ใส่หลอด PTFE tube[37] ใส่ลงไปในรูเปิด Opening "In"[34] ทางด้านบนของฝา
   - นำน็อตพลาสติก Connection piece[32] ขันลงไปในรูเปิด (IN) และสวมวงแหวนพลาสติกสีเขียว (Protective ring[39]) ลงไปที่ปลาย Electrodes[38]
2. ใส่น้ำกลั่นลงไปในถ้วย Measuring vessel[4] ปริมาตร 80 มิลลิลิตร (สังเกตได้จากขีดภายในถ้วย)
3. ประกอบฝา Measuring vessel cover[5] และถ้วย Measuring vessel[4] เข้าด้วยกัน จากนั้นนำไปใส่ในเครื่อง Rancimat
4. ประกอบ Reaction vessel cover[2] โดย
   - นำยาง Sealing ring[43] สวมลงไปในแท่ง Air inlet tube[45] โดยให้ยางห่างจากปลายแท่งแก้วประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นนำแท่ง Air inlet tube[45] ใส่ลงไปในรูเปิด Connection[44]
   - นำน็อตพลาสติก Connection nipple[40] ขันลงไปในรูเปิด Connection[44]
   - นำ Foam barrier เสียบลงไปบริเวณกึ่งกลางของแท่ง Air inlet tube[45]
5. ใส่สารตัวอย่างลงไปในหลอดทดลอง โดยชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างให้มีปริมาณ 3.00xx กรัม โดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 4 ตำแหน่ง
6. ประกอบฝา Reaction vessel cover[2] กับหลอดทดลองเข้าด้วยกัน โดยต้องแน่ใจแล้วว่าตัวฝากับหลอดทดลองปิดสนิทแล้ว จากนั้นนำชุดหลอดทดลองใส่ลงไปในเครื่อง Rancimat
7. เชื่อมท่อยาง Connecting tubing[3] (สีขาว) ระหว่าง Measuring vessel[4] กับชุดหลอดทดลอง
8. เชื่อมท่ออากาศ Connecting tubing[3] (สีเขียว) กับถ้วย Measuring vessel[4] เข้าด้วยกัน
9. ผลการทดลองจะแสดงอัตโนมัติหลังจากที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด

ภาคผนวก ฉ.

ตาราง ฉ.1 คุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันพ.ศ. 2550

(ที่มา : รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน)

รายการ	รายการข้อกำหนด	ระดับความเข้มข้น	หน่วยที่วัด	วิธีทดสอบ	เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด
1	Methyl ester	>96.5	%wt	EN14103	GC-FID
2	Linolenic acid methyl ester	<12	%wt	EN14103	GC-FID
3	Monoglyceride	<0.8	%wt	EN14105	GC-FID
4	Diglyceride	<0.2	%wt	EN14105	GC-FID
5	Triglyceride	<0.2	%wt	EN14105	GC-FID
6	Free glyceride	<0.2	%wt	EN14105	GC-FID
7	Total glycerin	<0.25	%wt	EN14105	GC-FID
8	Methanol	<0.2	%wt	EN14110	GC-FID
9	โลหะกลุ่ม 1 : Na,K	<5	ppm	EN14108	AAS
10	โลหะกลุ่ม 1 Ca,Mg	<5	ppm	EN14109	AAS
11	Phosphorus	<0.001	%wt	ASTM D495	ICP
12	Sulphur	<0.001	%wt	ASTM D2662	X-RAY
13	Water	<0.05	%wt	ASTM D2709	Centrifuge
14	Iodine value	<120	glodine/100g	EN 14111	-

ตาราง ฉ.2 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.]

ชนิด	ค่าความถ่วงจำเพาะ (21^0C,g/ml)	ความหนืด (21^0C,cSt)	ค่าความร้อน (kJ/kg)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
ทานตะวัน	0.918	60.0	39450
มะพร้าว	0.915	51.9	37,540
ถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
เมล็ดในสบู่ดำ	0.915	36.9	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

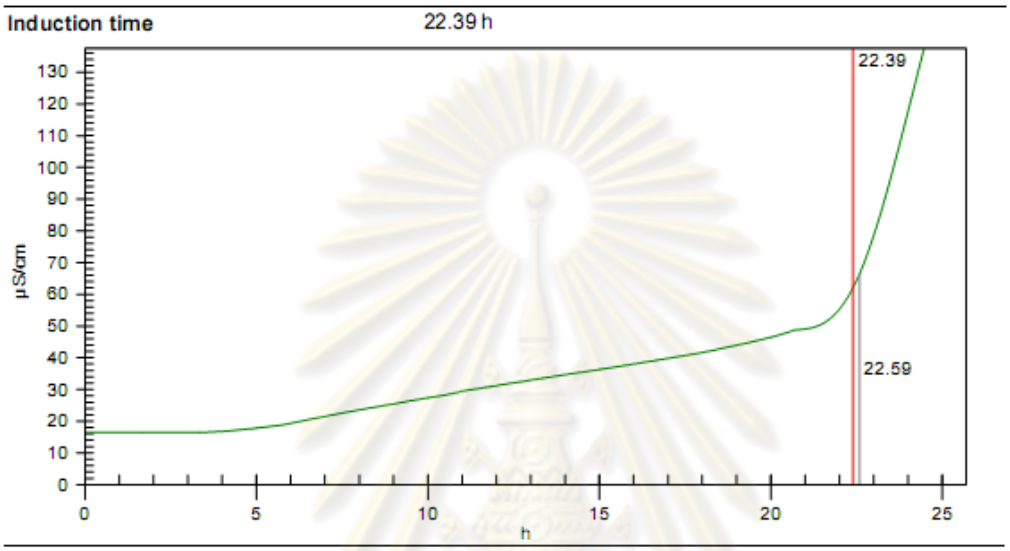
ตาราง ฉ.3 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติ	ดีเซล	ไบโอดีเซล
Fuel standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower heating value ,btu/gal	129.050	118.170
Kinematic viscosity,@40 ^{0}C	1.3-4.1	4.0-6.0
Specific gravity,kg/l@60 F	0.85	0.88
Density,lb/gal@15 ^{0}C	7.079	7.328
Water and sediment,vol%	0.05	0.05max
Carbon,wt%	87	77
Hydrogen,wt%	13	12
Oxygen ,wt%	0	11
Sulfur,wt%	0.05 max	0.05 max
Boiling point ^{0}C	180 - 340	315 - 350
Flash point ^{0}C	60-80	100 - 170
Cloud point ^{0}C	-15 to 5	-3 to 12
Pour point ^{0}C	-35 to -15	-15 to 10

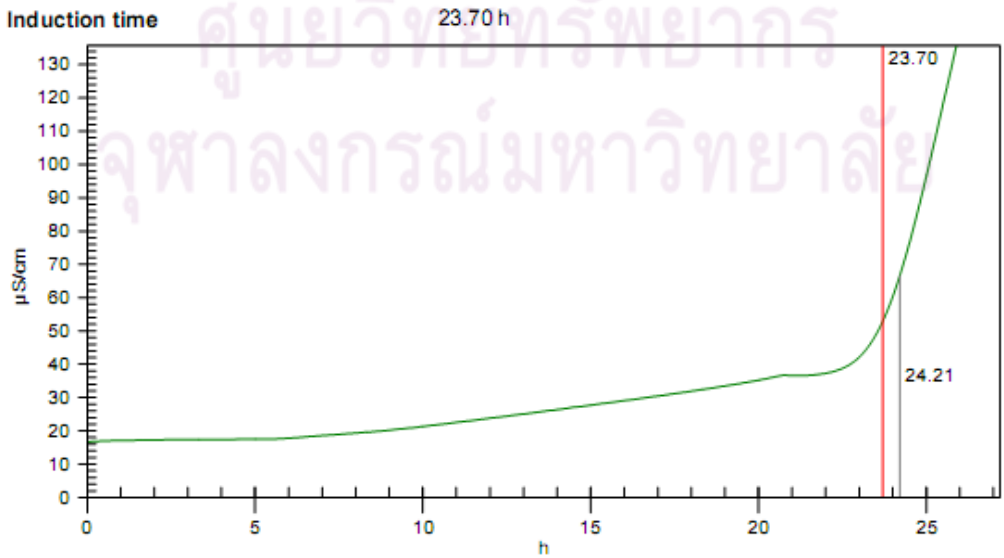
ภาคผนวก ช.

ช.1 ผลการวิเคราะห์และทดสอบค่าสเถียรภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

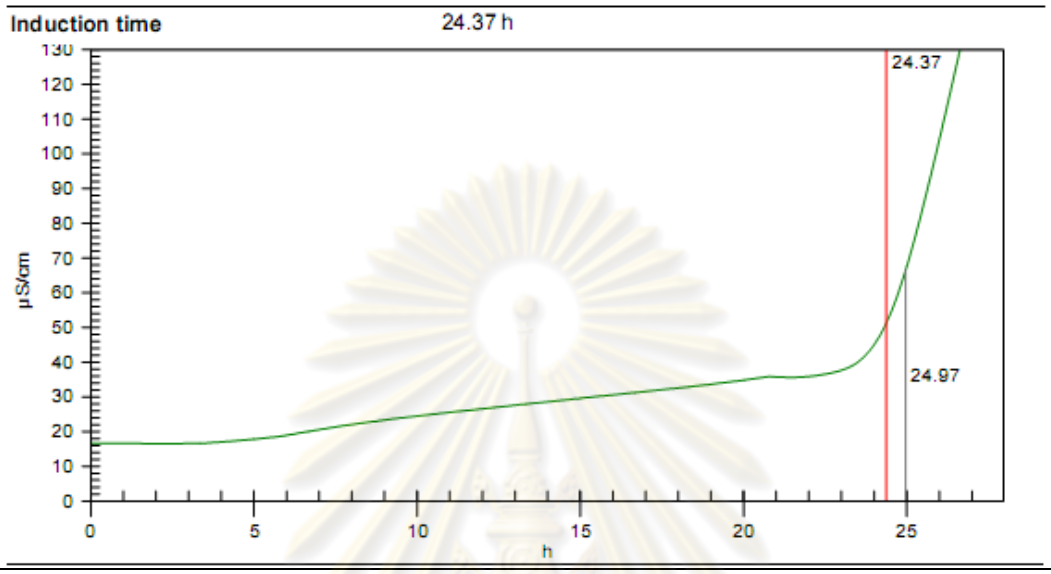
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenol 50ppm , Temp 110 °C



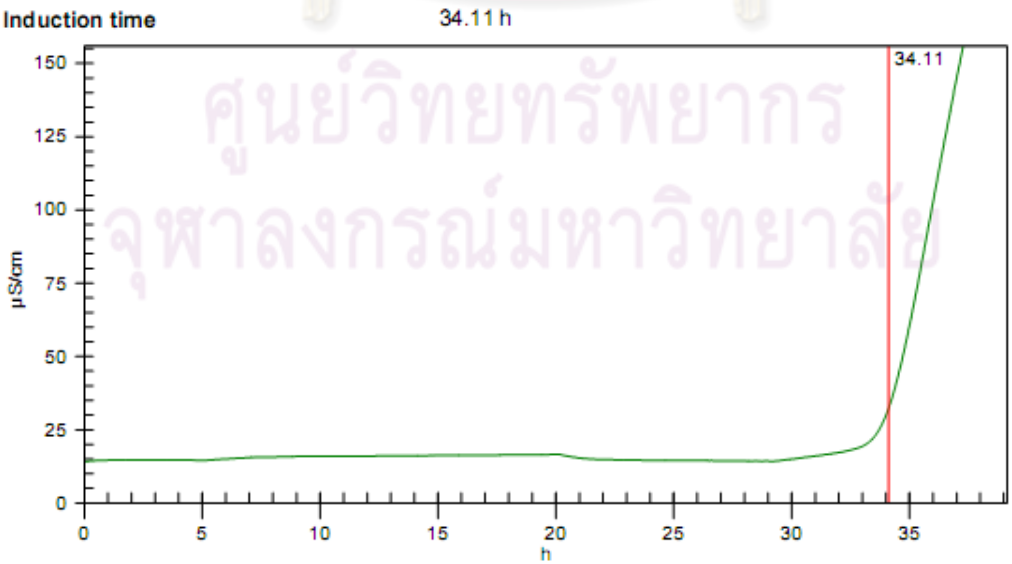
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenol 100ppm , Temp 110 °C



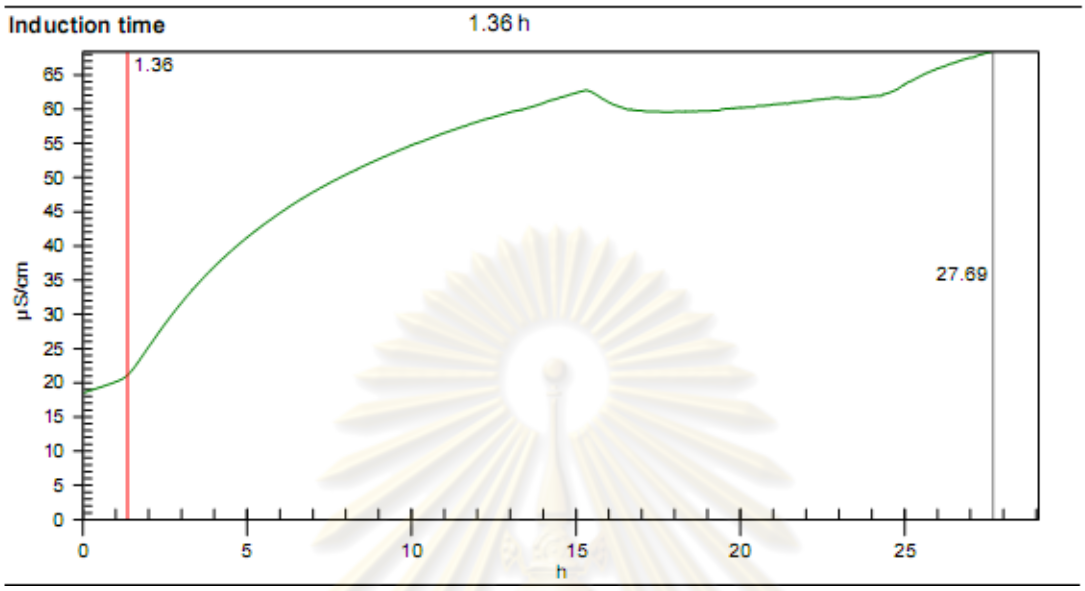
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenol 250ppm , Temp 110 °C



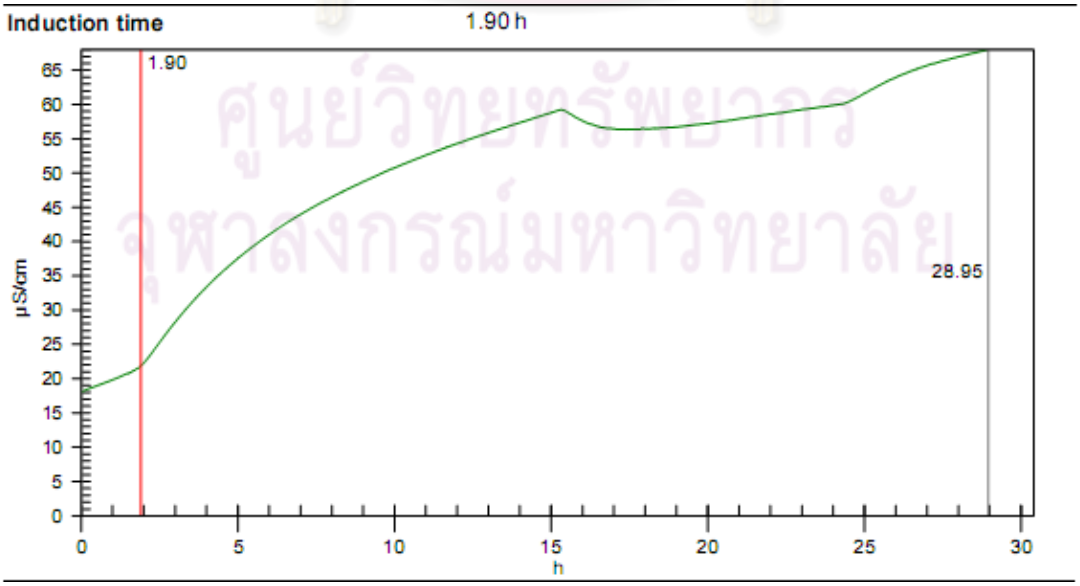
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenol 500ppm , Temp 110 °C



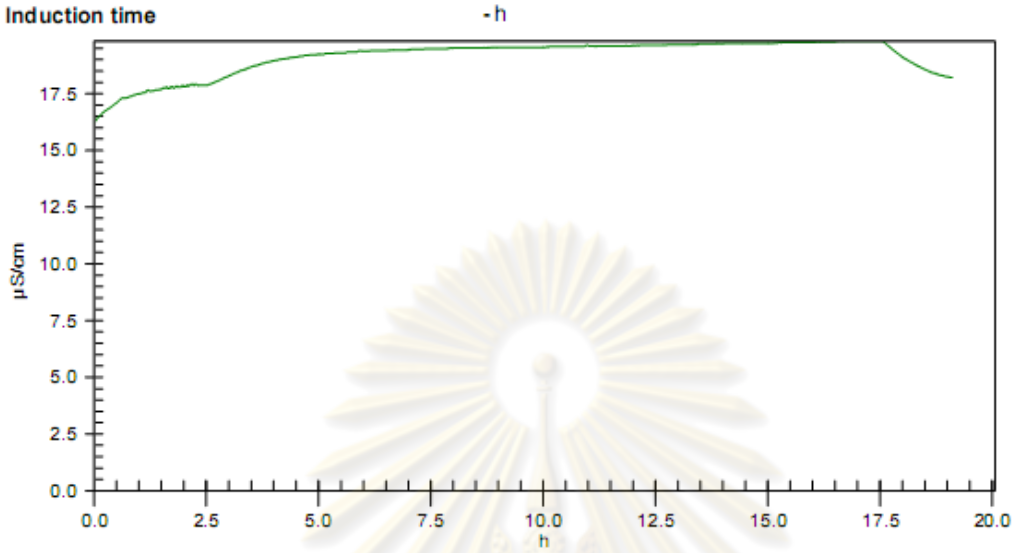
Palm Stearin , Type of Antioxidant : Phenol 50ppm , Temp 110 °C



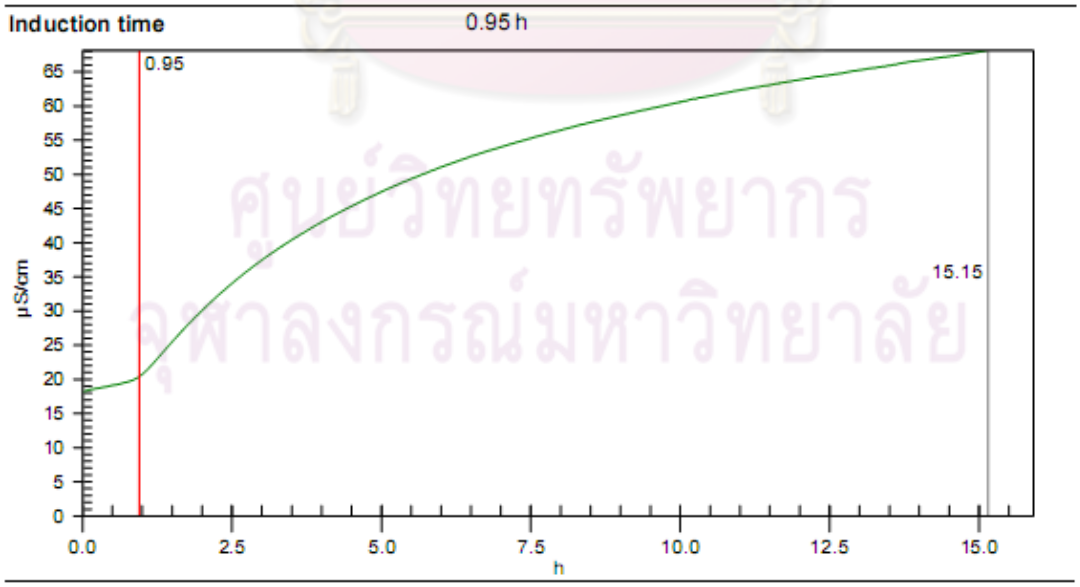
Palm Stearin , Type of Antioxidant : Phenol 100ppm , Temp 110 °C



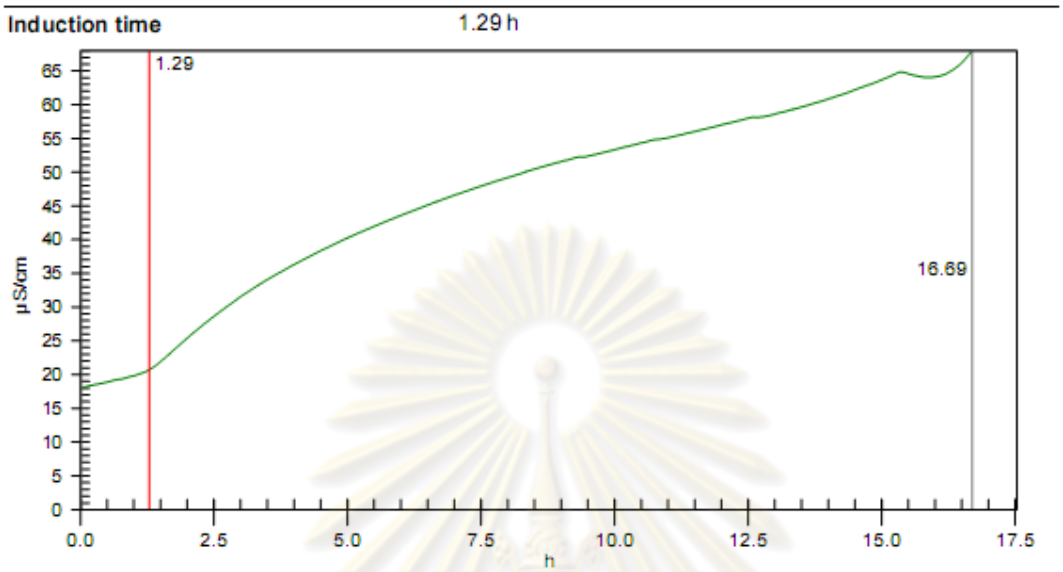
Palm Stearin , Type of Antioxidant : Phenol 250ppm , Temp 110 °C



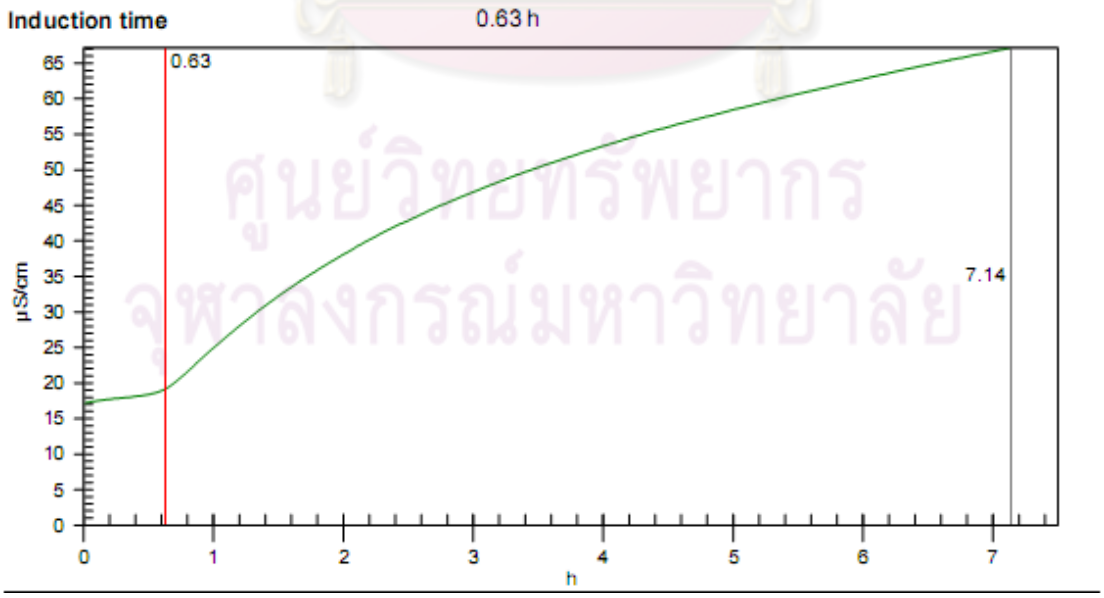
Palm Stearin ,Type of Antioxidant : Phenol 500 ppm , Temp 110 °C



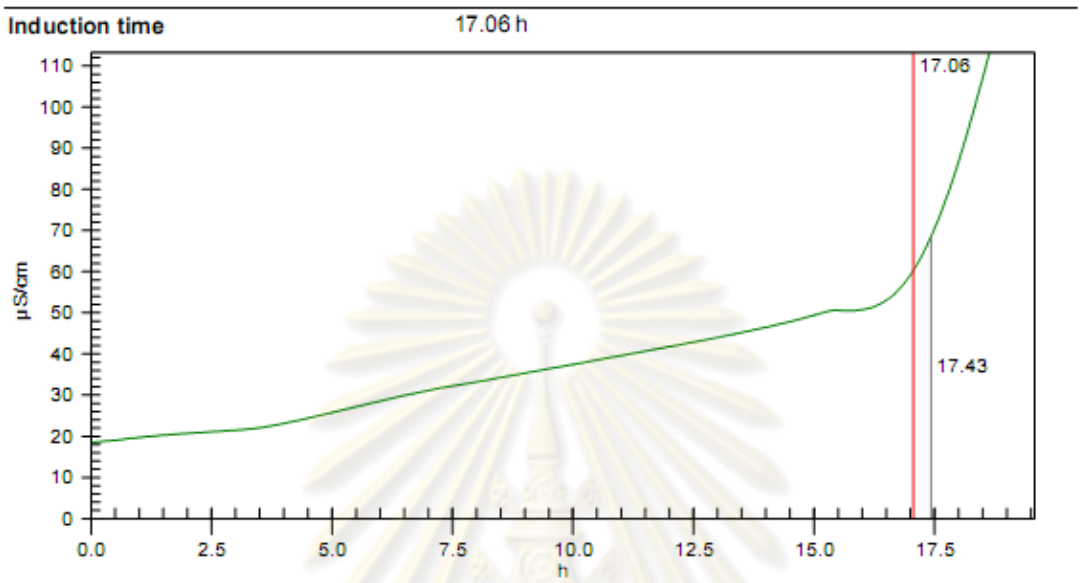
Refinery Palm , Type of Antioxidant : Phenol 50ppm , Temp 110 °C



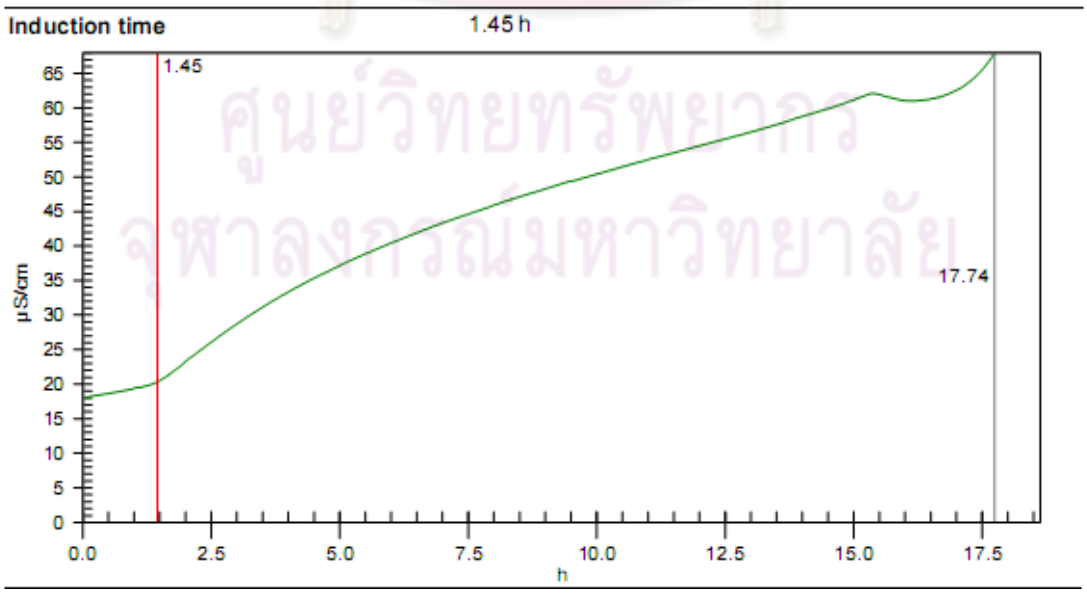
Refinery Palm , Type of Antioxidant : Phenol 100ppm , Temp 110 °C



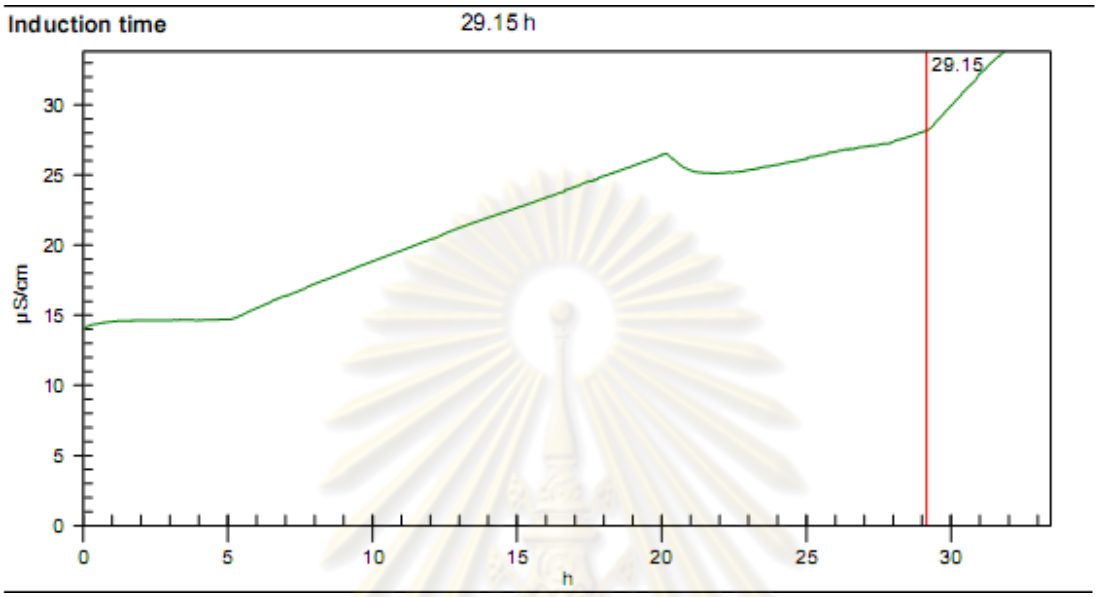
Refinery Palm , Type of Antioxidant : Phenol 250ppm , Temp 110 °C



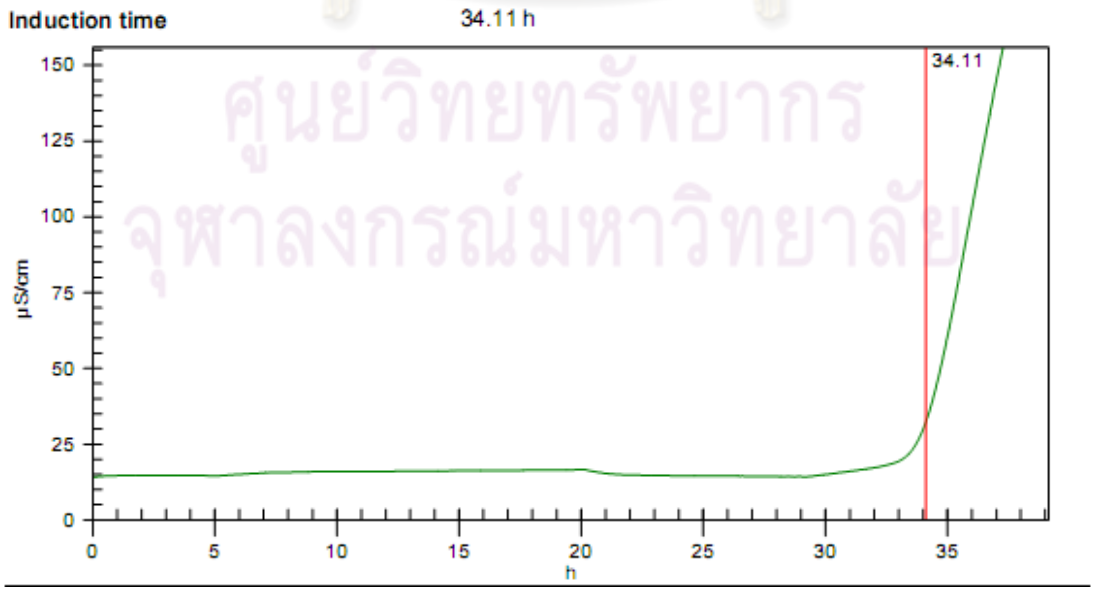
Refinery Palm , Type of Antioxidant : Phenol 500ppm , Temp 110 °C



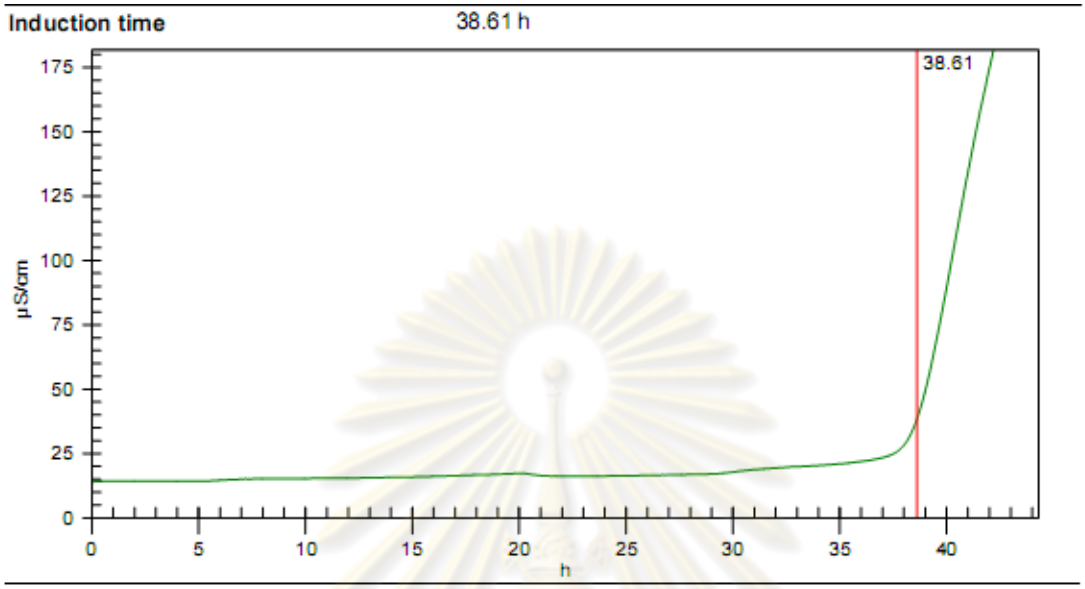
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 50ppm , Temp 110 °C



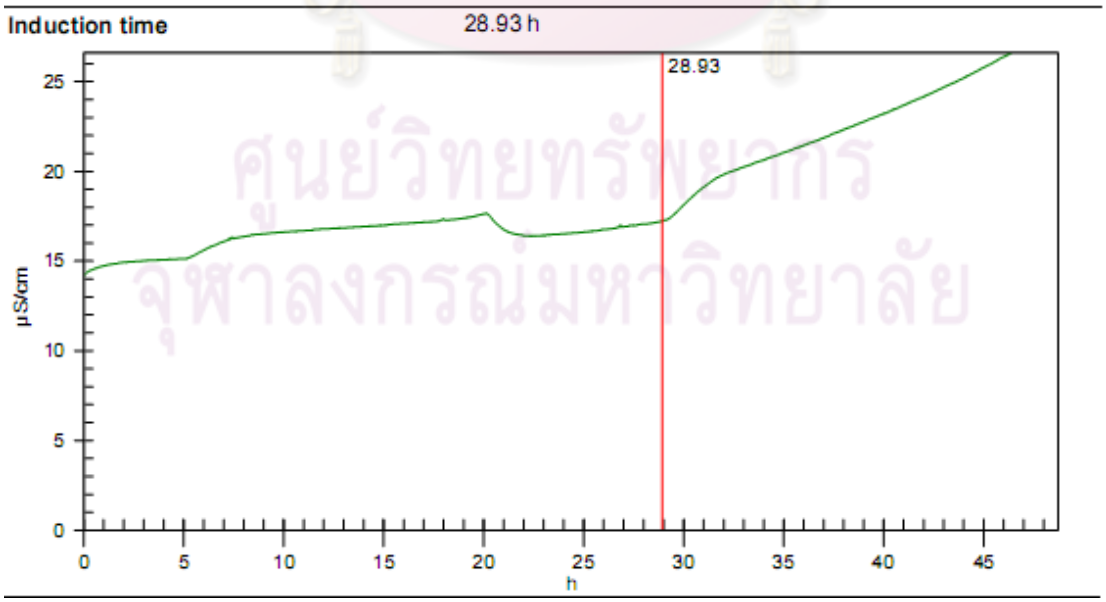
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 100ppm , Temp 110 °C



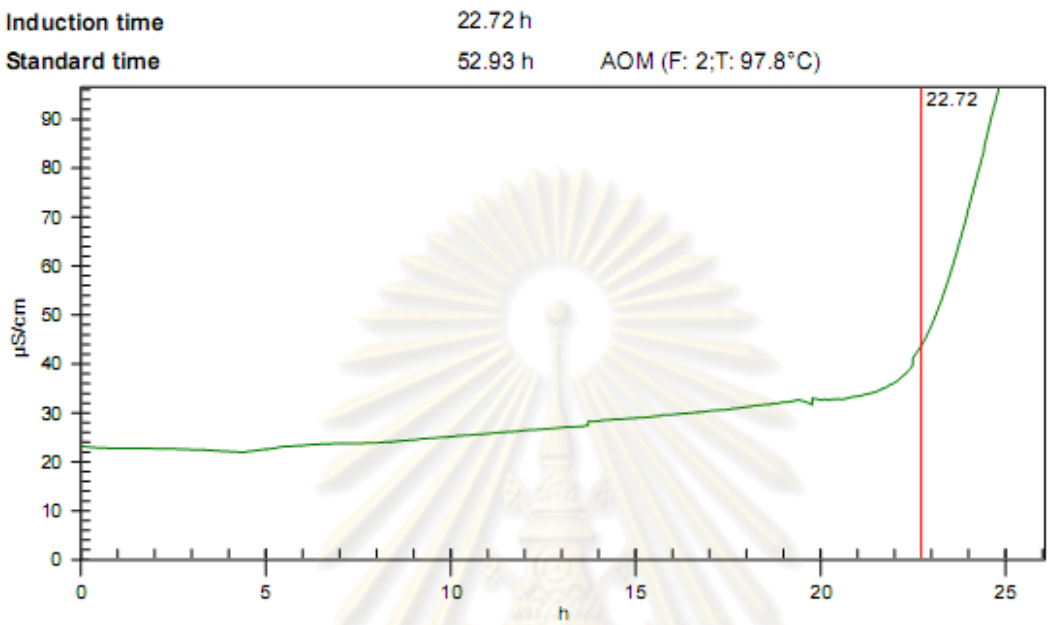
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 250ppm , Temp 110 °C



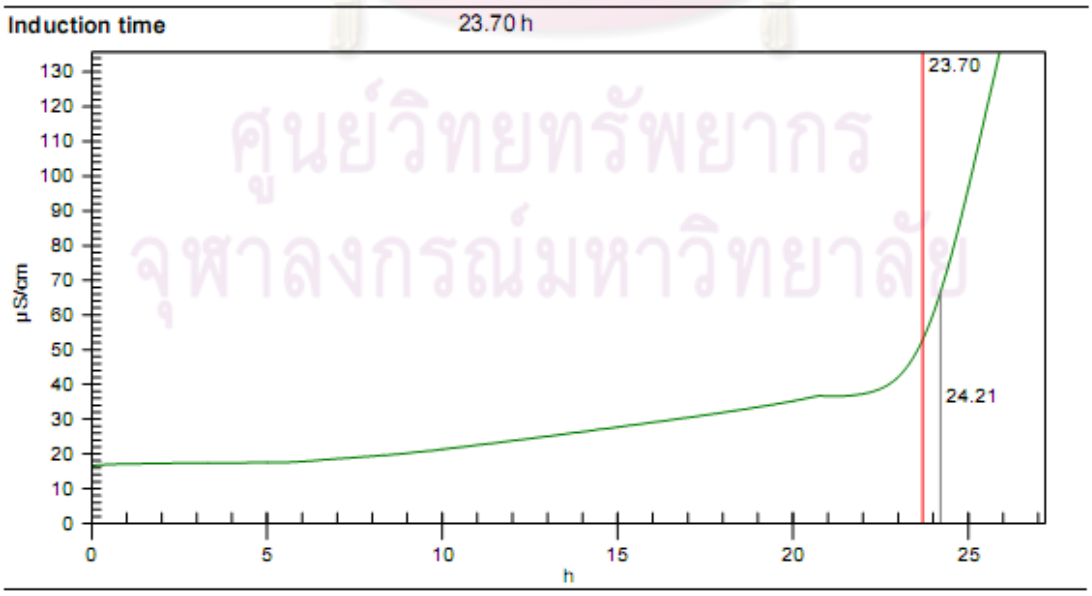
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 500ppm , Temp 110 °C



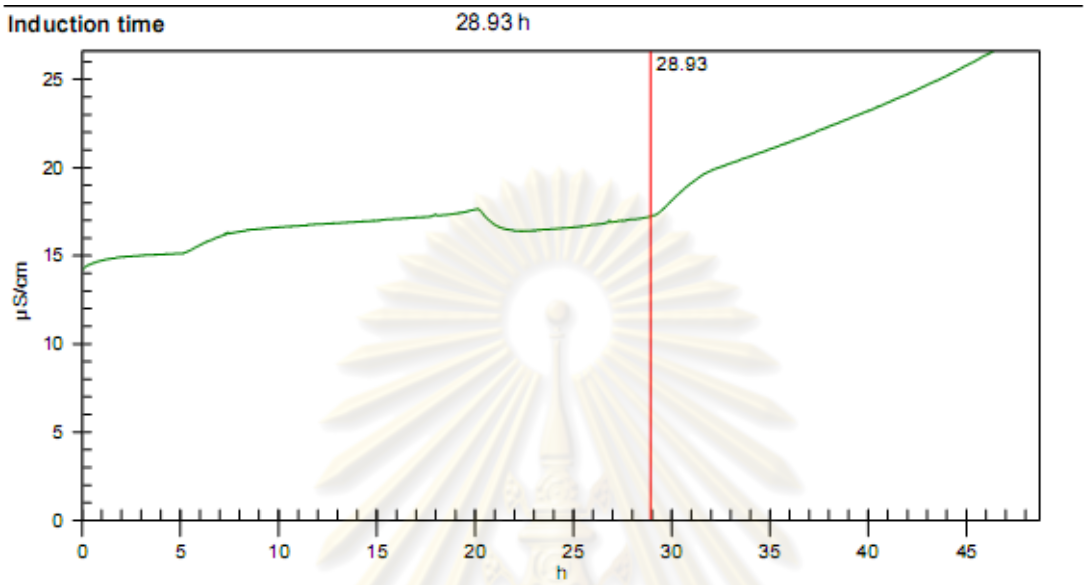
Palm Stearin Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 50 ppm, Temp 110 °C



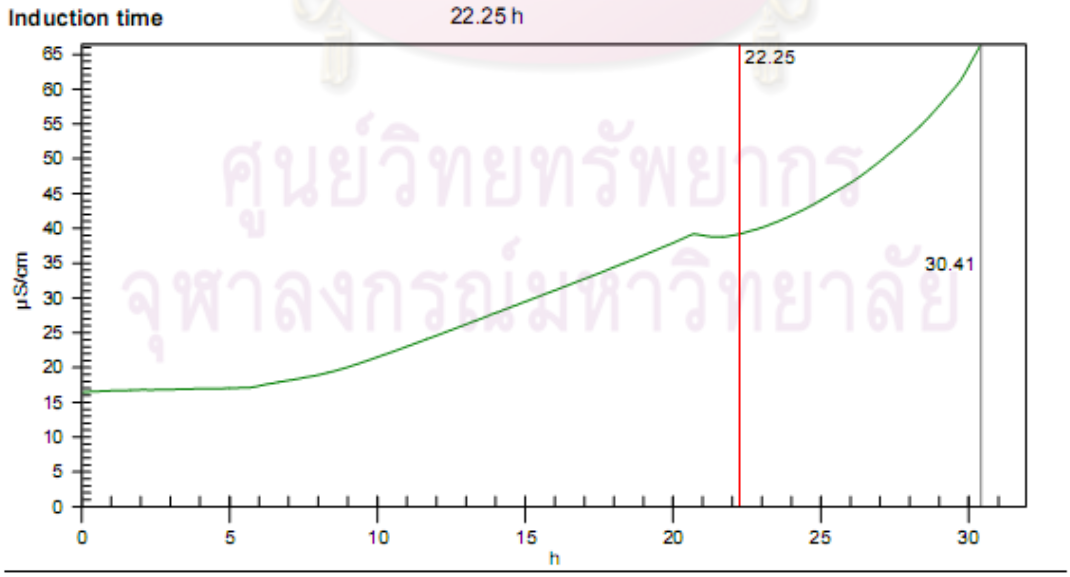
Palm Stearin Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 100ppm, Temp 110 °C



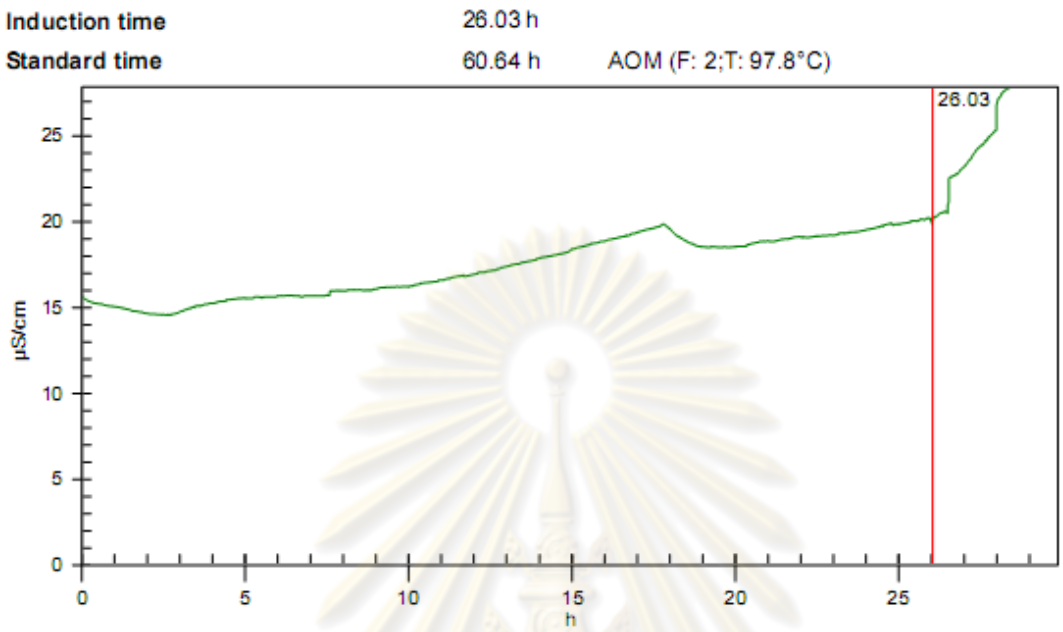
Palm Stearin Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 250ppm, Temp 110 °C



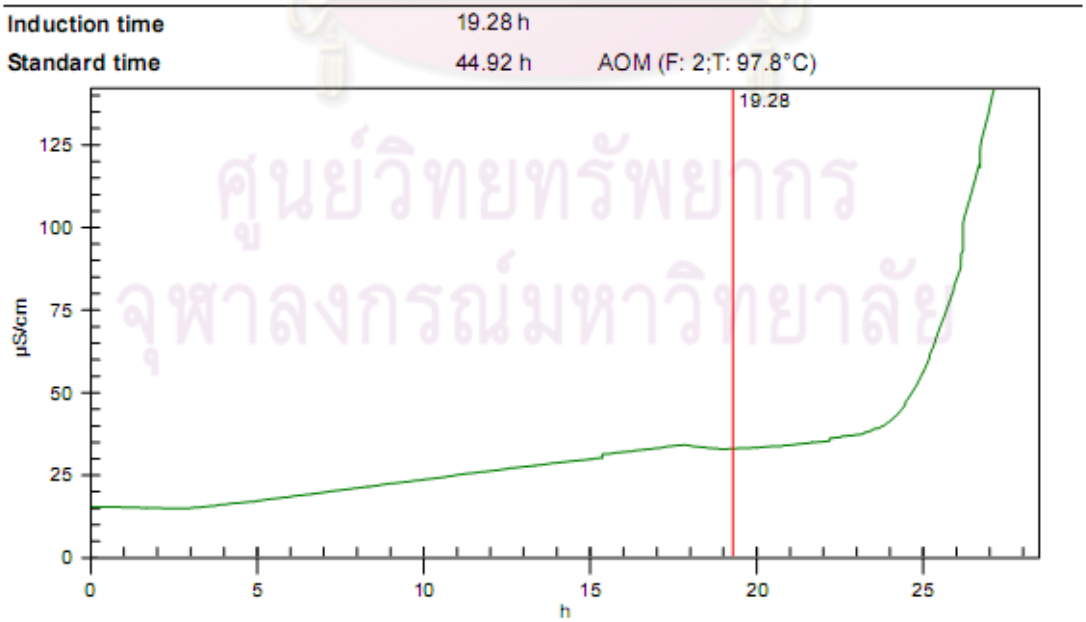
Palm Stearin Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 500ppm, Temp 110 °C



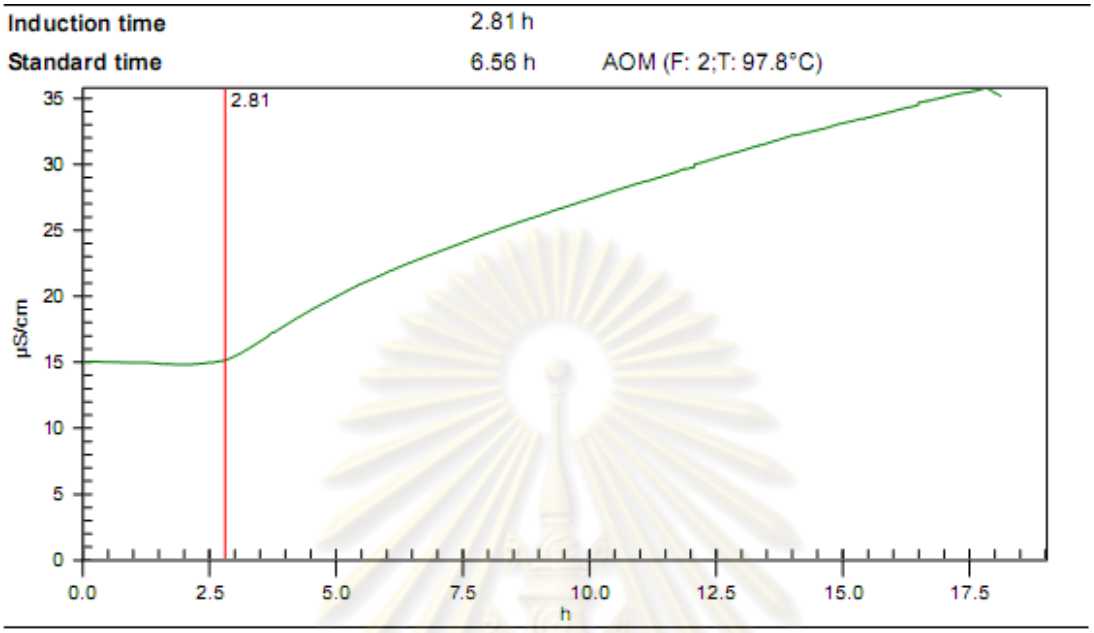
Refinery Palm , Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 50ppm, Temp 110 °C



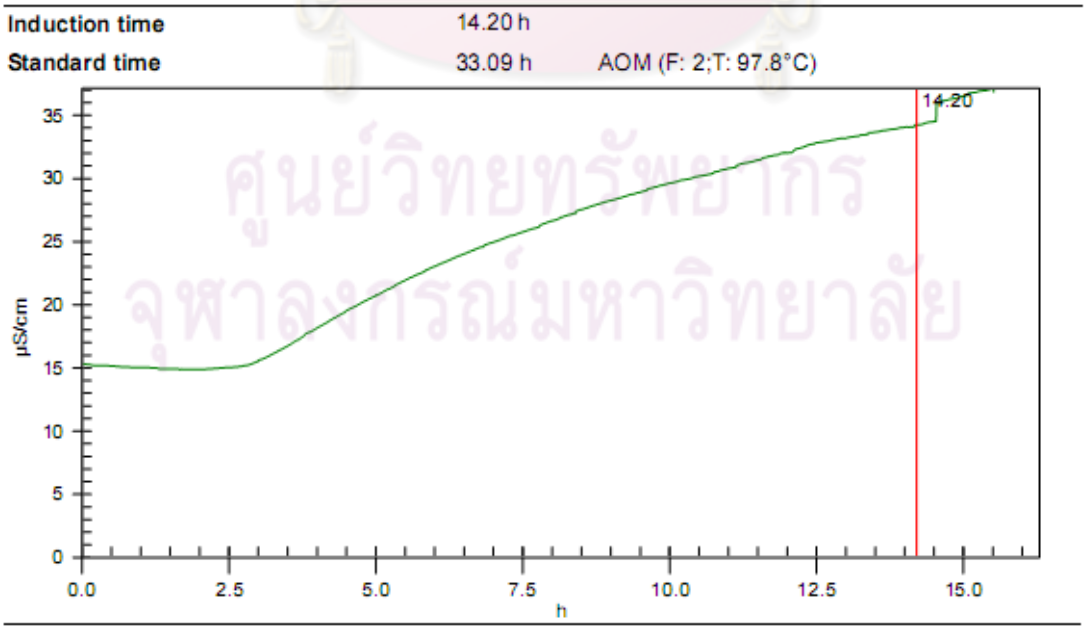
Refinery Palm , Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 100ppm, Temp 110 °C



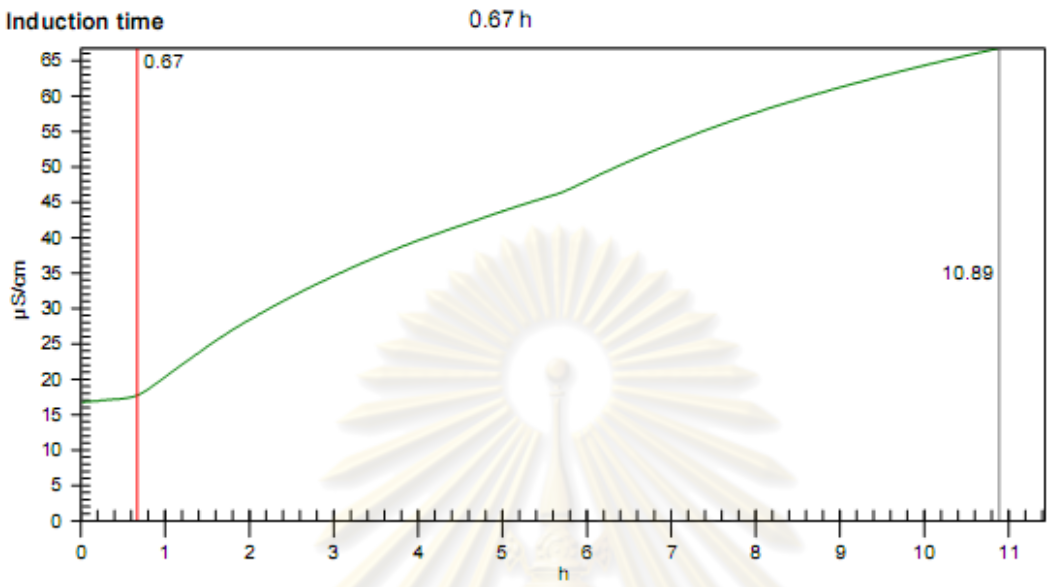
Refinery Palm , Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 250ppm, Temp 110 °C



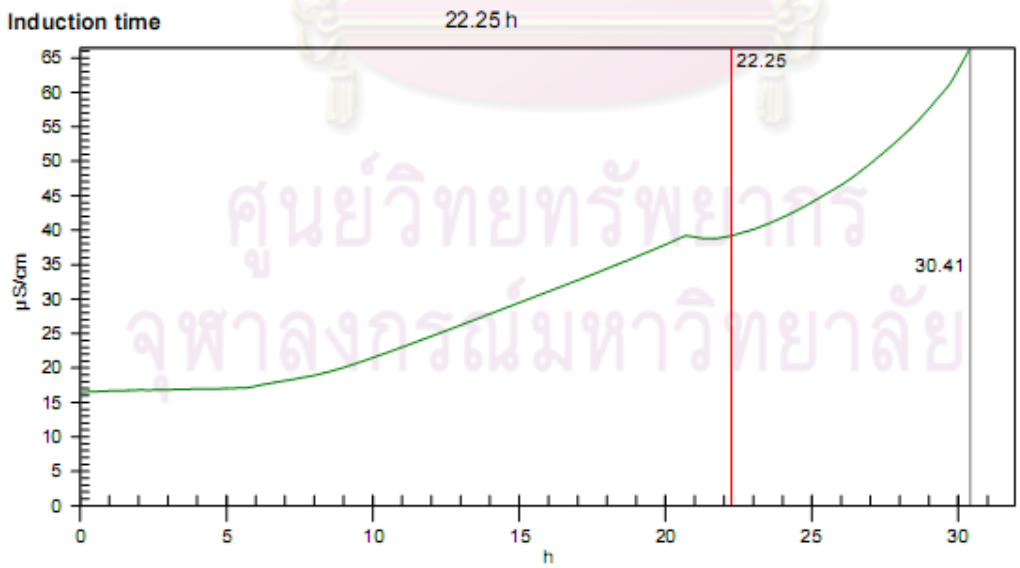
Refinery Palm , Type of Antioxidant : Aliphatic Ester, 500ppm, Temp 110 °C



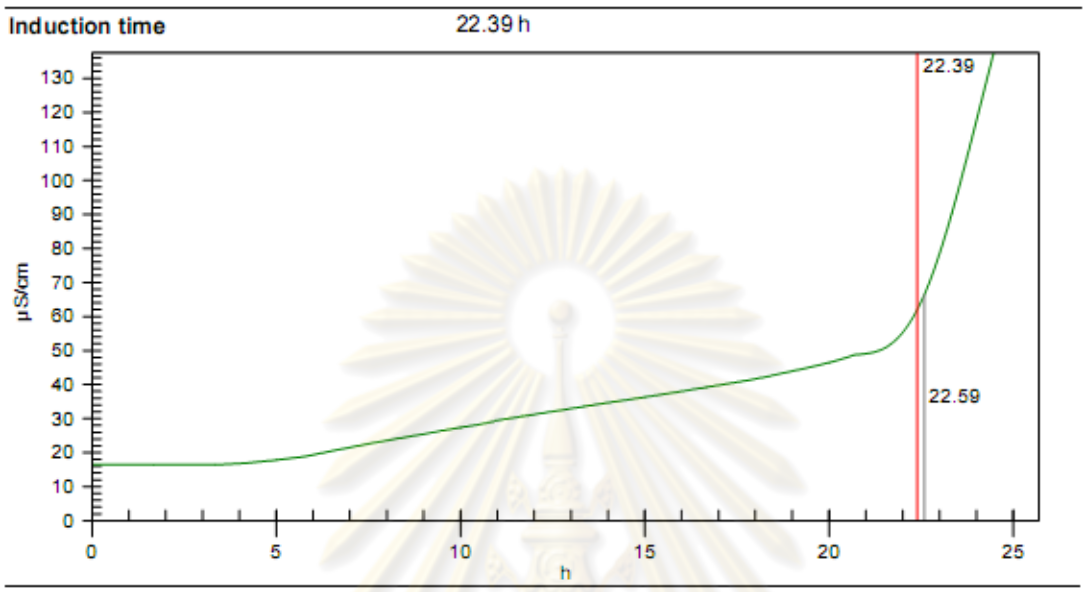
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenolic 50ppm , Temp 110 °C



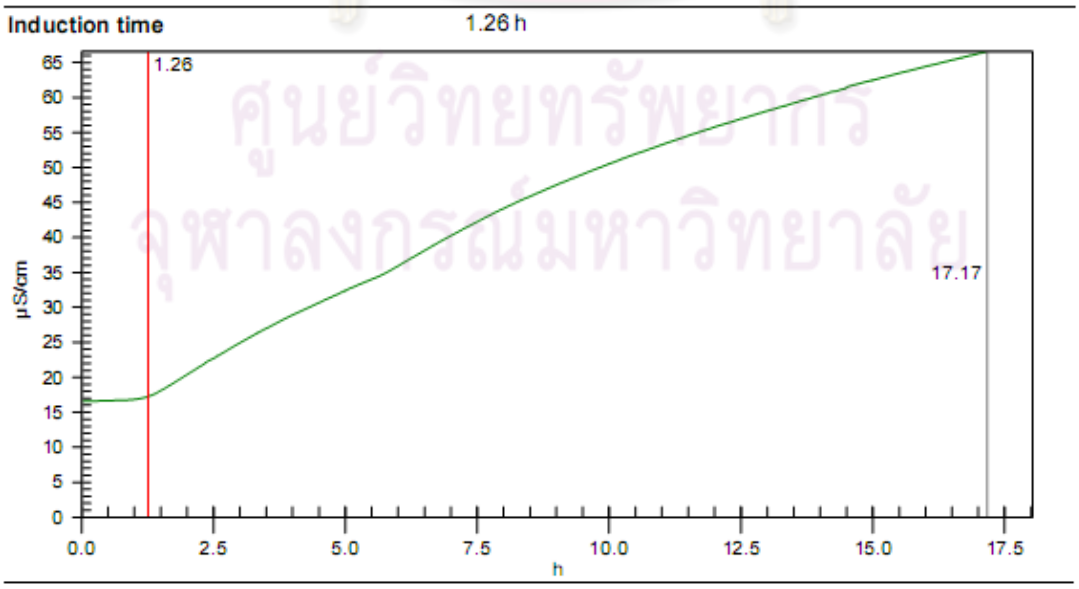
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenolic 100pm , Temp 110 °C



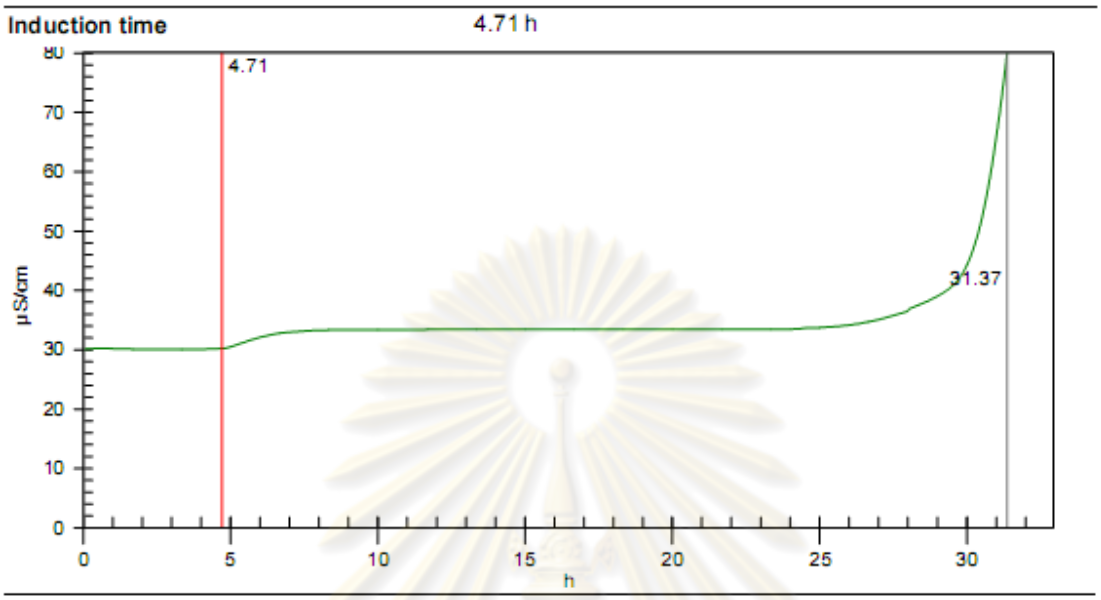
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenolic 250pm , Temp 110 °C



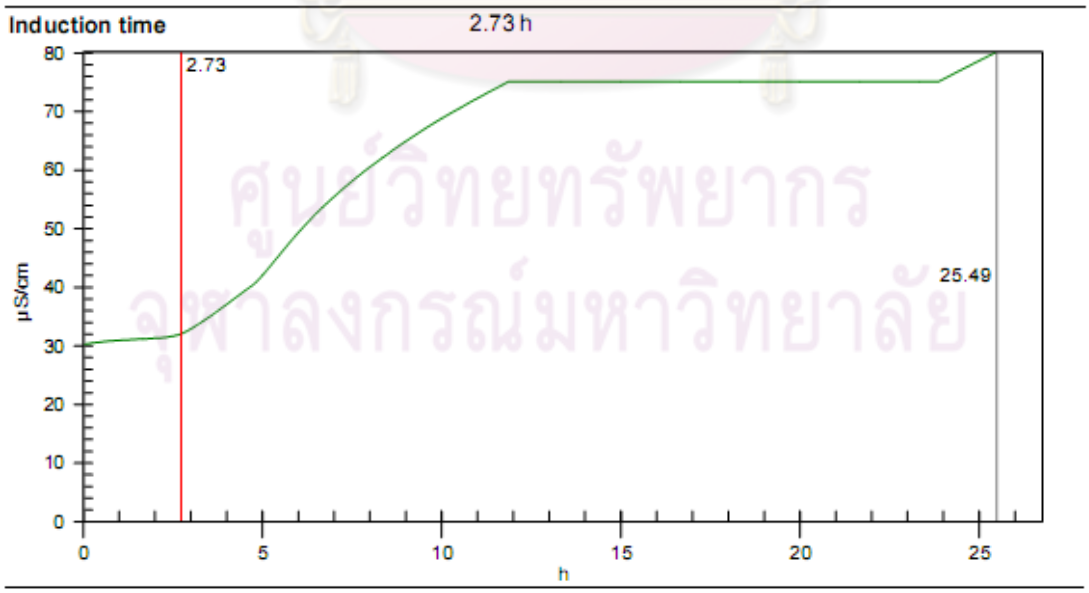
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenolic 500ppm, Temp 110 °C



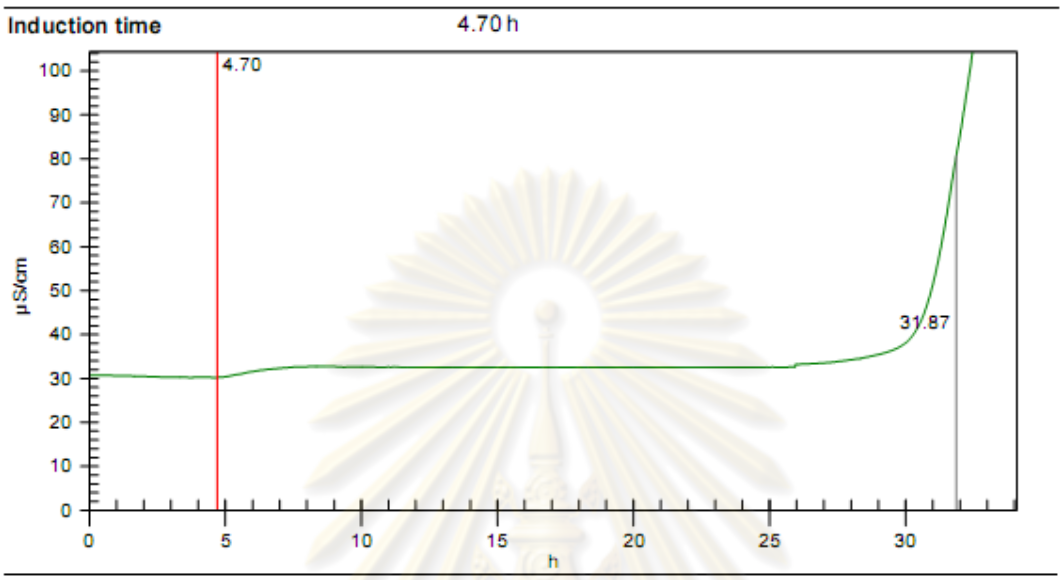
Refinery palm , Type of Antioxidant : Phenolic 50ppm, Temp 110 °C



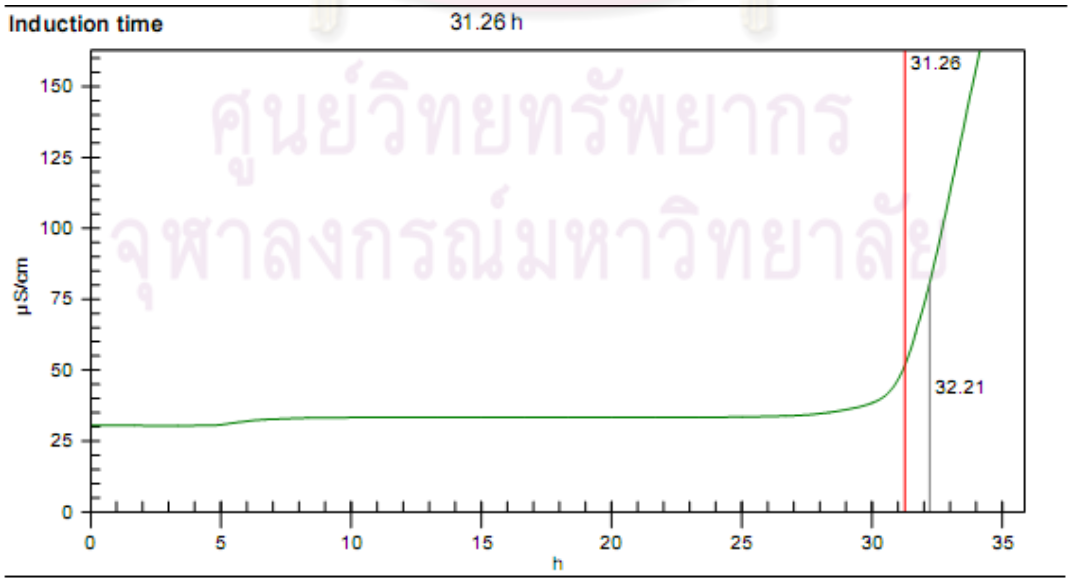
Refinery palm , Type of Antioxidant : Phenolic 100ppm, Temp 110 °C



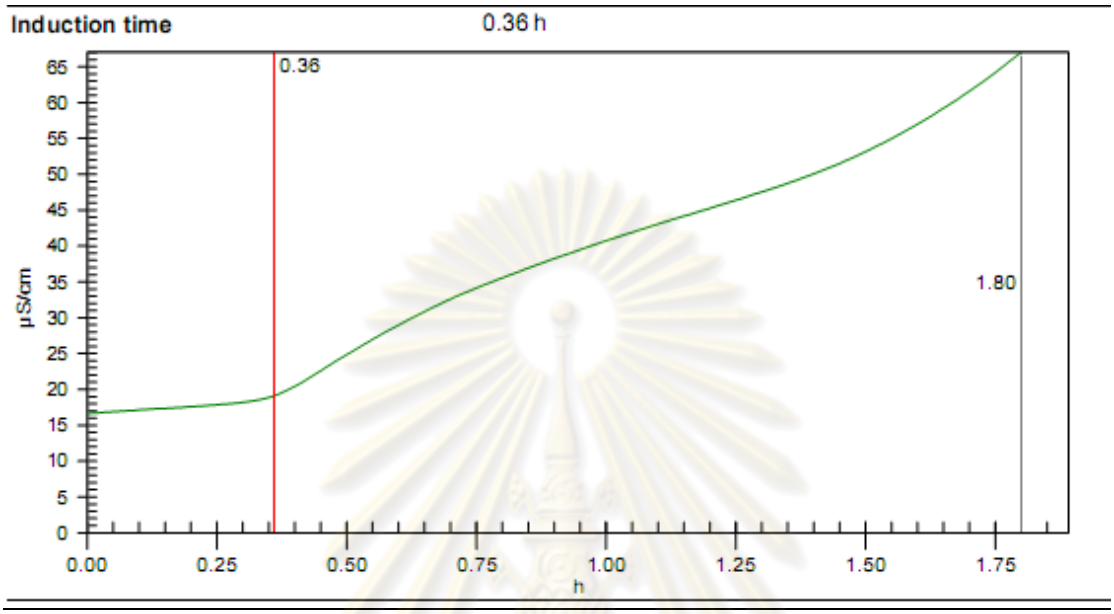
Refinery palm , Type of Antioxidant : Phenolic 250ppm, Temp 110 °C



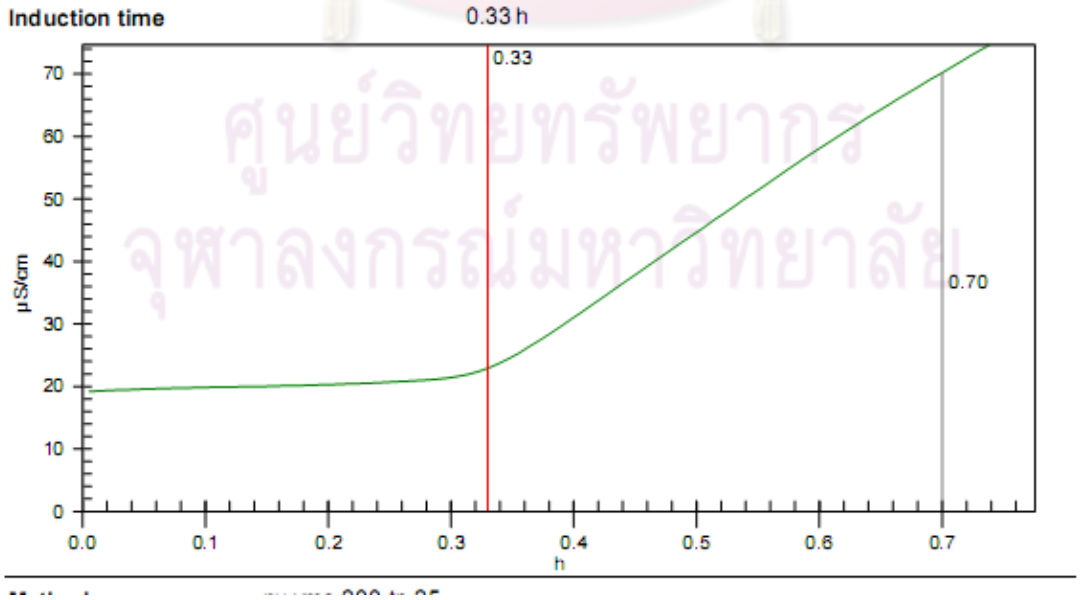
Refinery palm , Type of Antioxidant : Phenolic 500ppm, Temp 110 °C



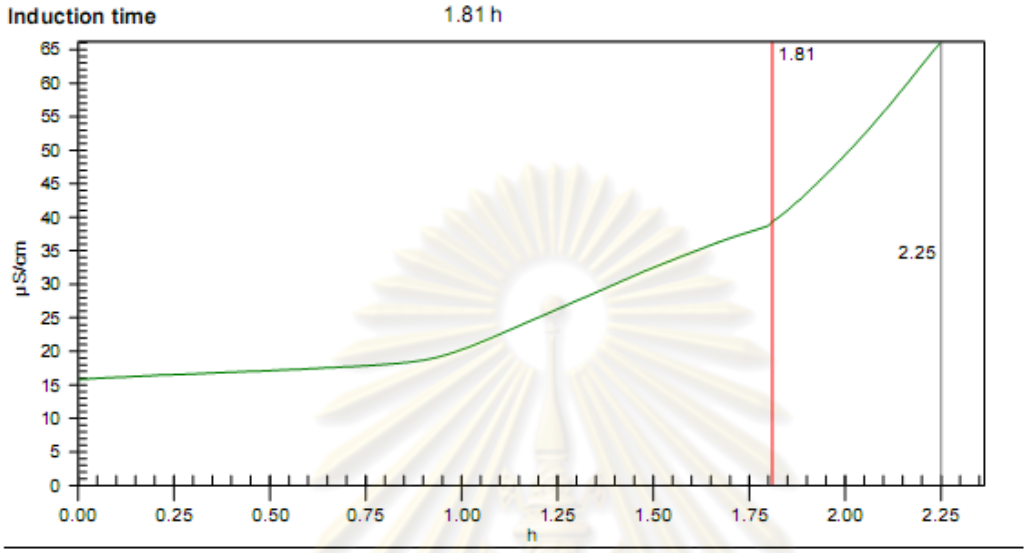
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenol 50ppm , Temp 150 °C



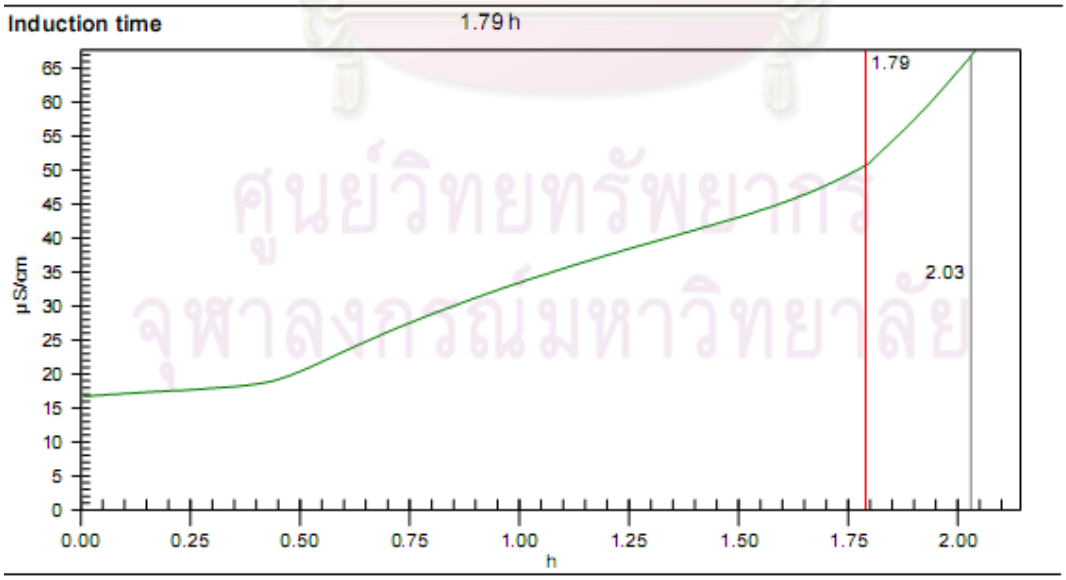
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenol 100ppm, Temp 150 °C



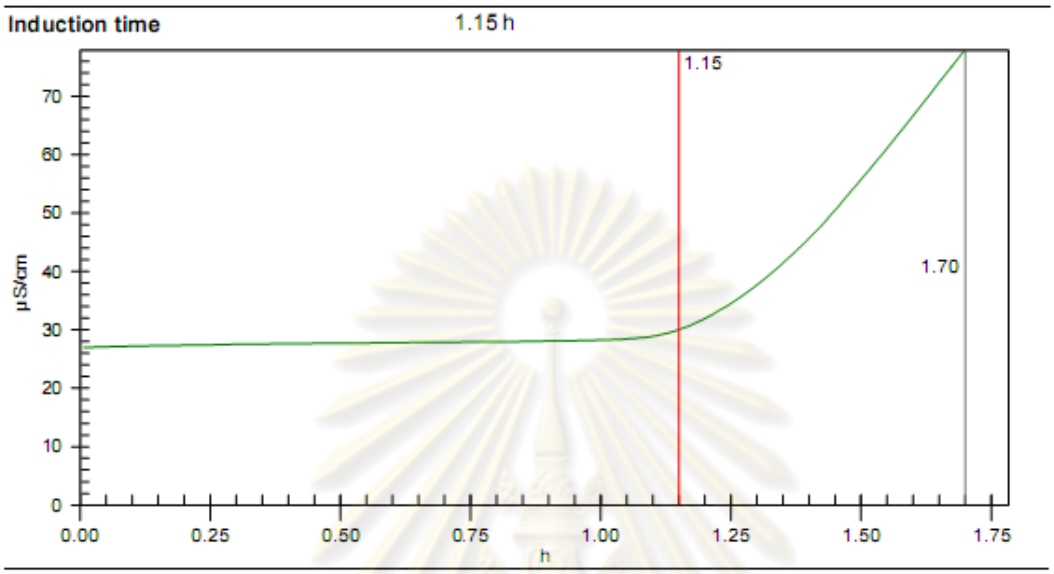
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenol 250ppm, Temp 150 °C



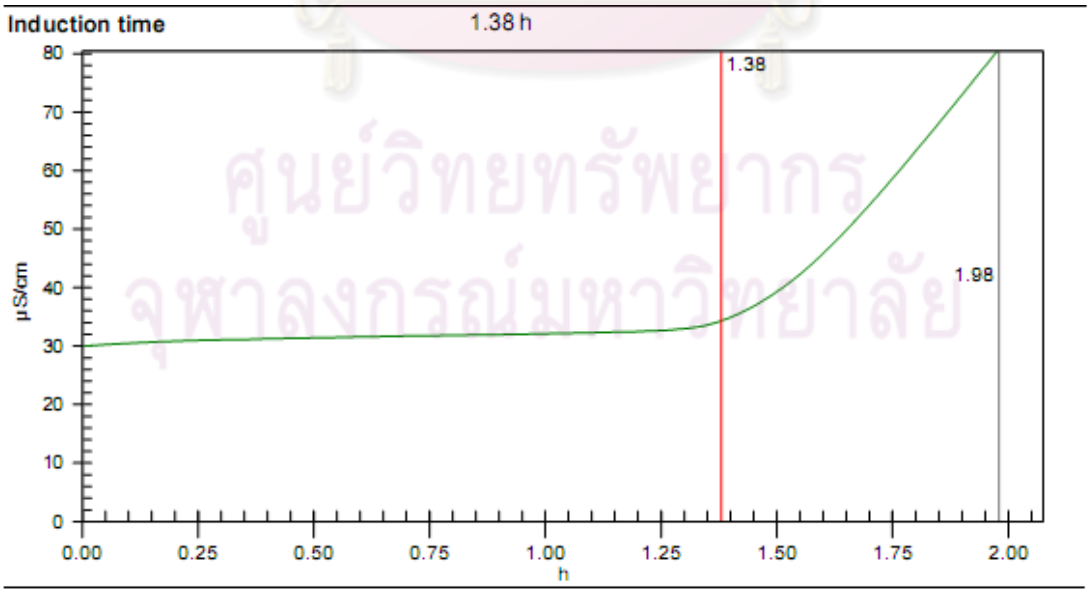
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Phenol 500ppm, Temp 150 °C



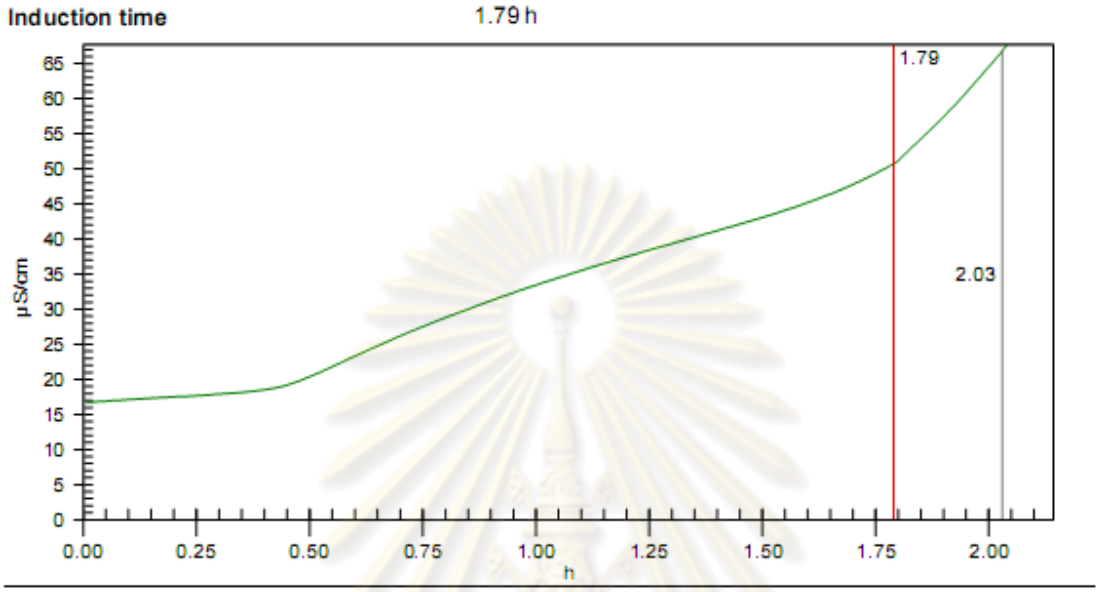
Palm Stearin, Type of Antioxidant : Phenol 50ppm, Temp 150 °C



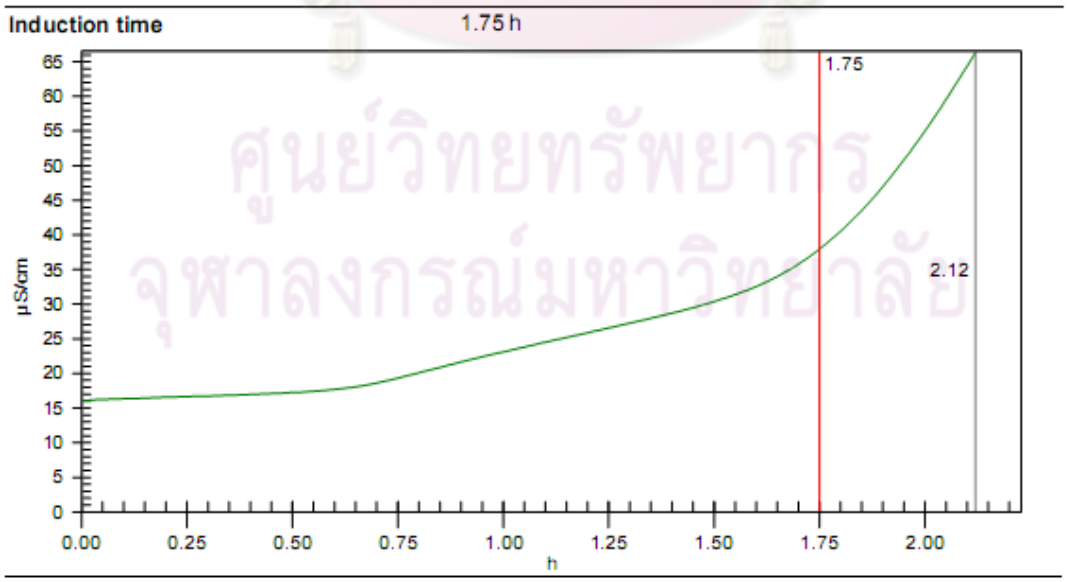
Palm Stearin, Type of Antioxidant : Phenol 100ppm, Temp 150 °C



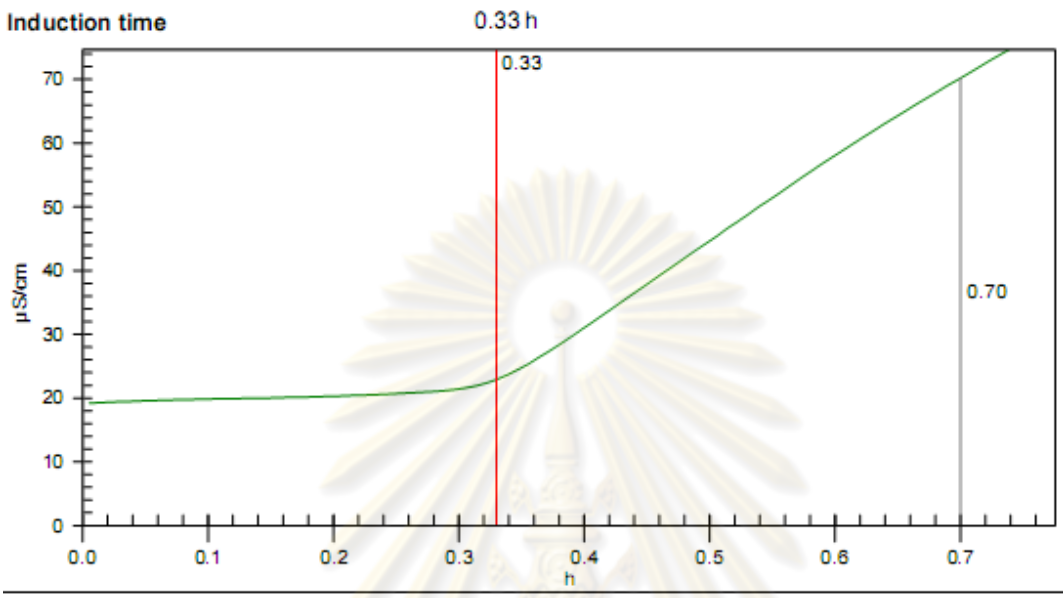
Palm Stearin, Type of Antioxidant : Phenol 250ppm, Temp 150 °C



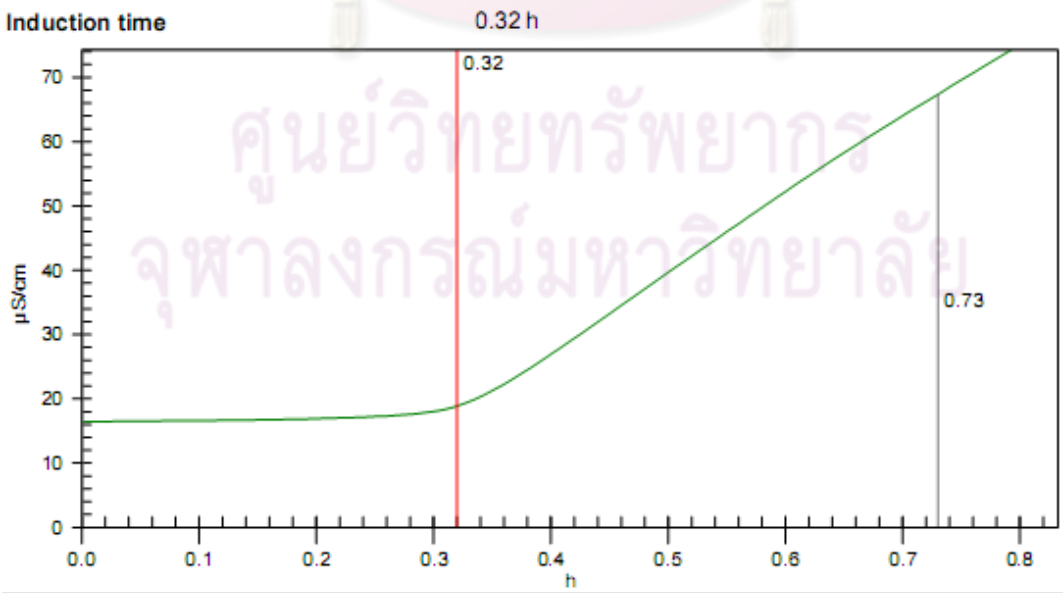
Palm Stearin, Type of Antioxidant : Phenol 500ppm, Temp 150 °C



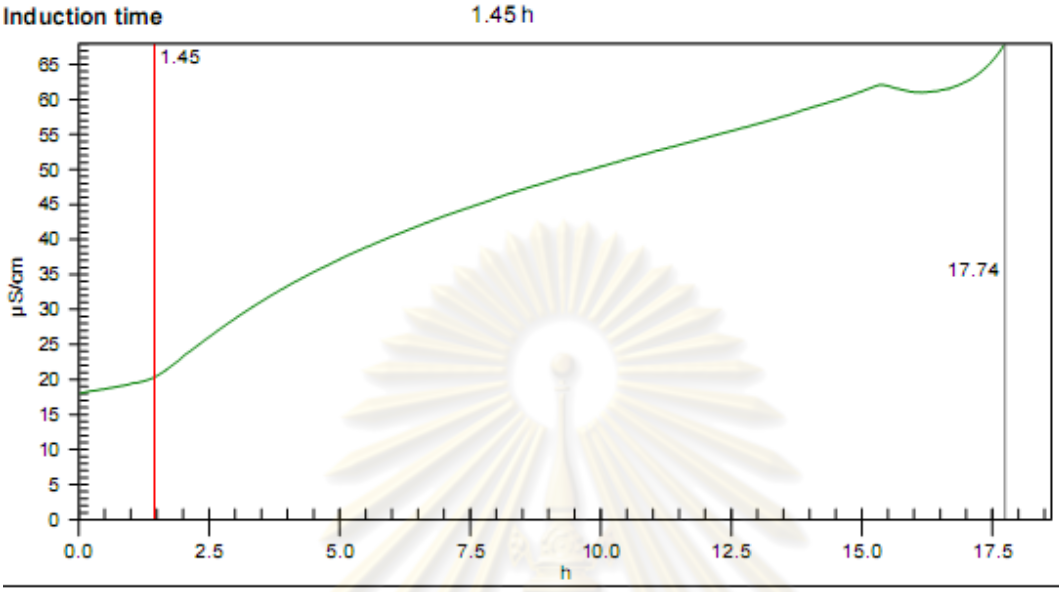
Refinery palm ,Type of Antioxidant : Phenol 50ppm, Temp 150 °C



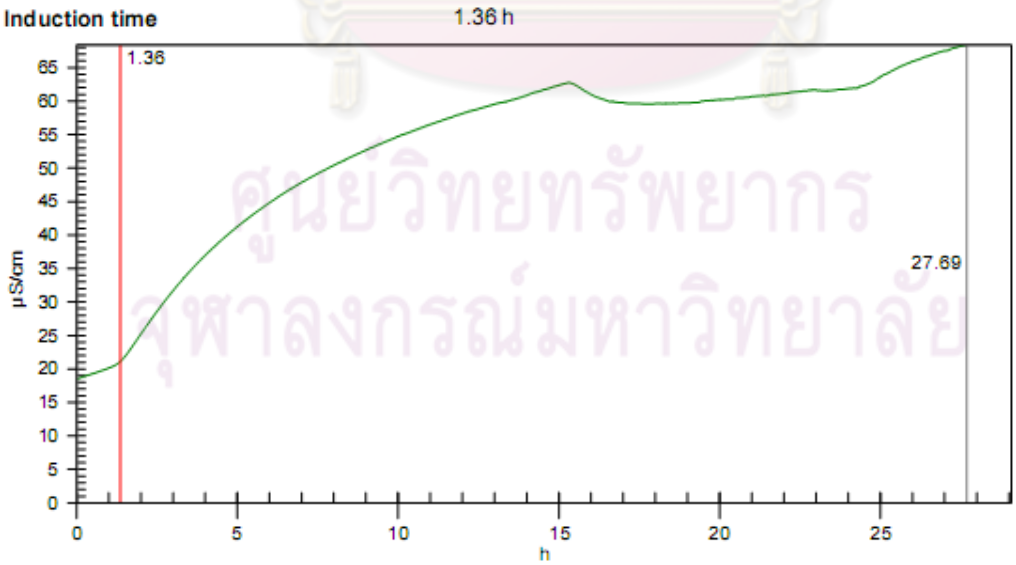
Refinery palm ,Type of Antioxidant : Phenol 100pm, Temp 150 °C



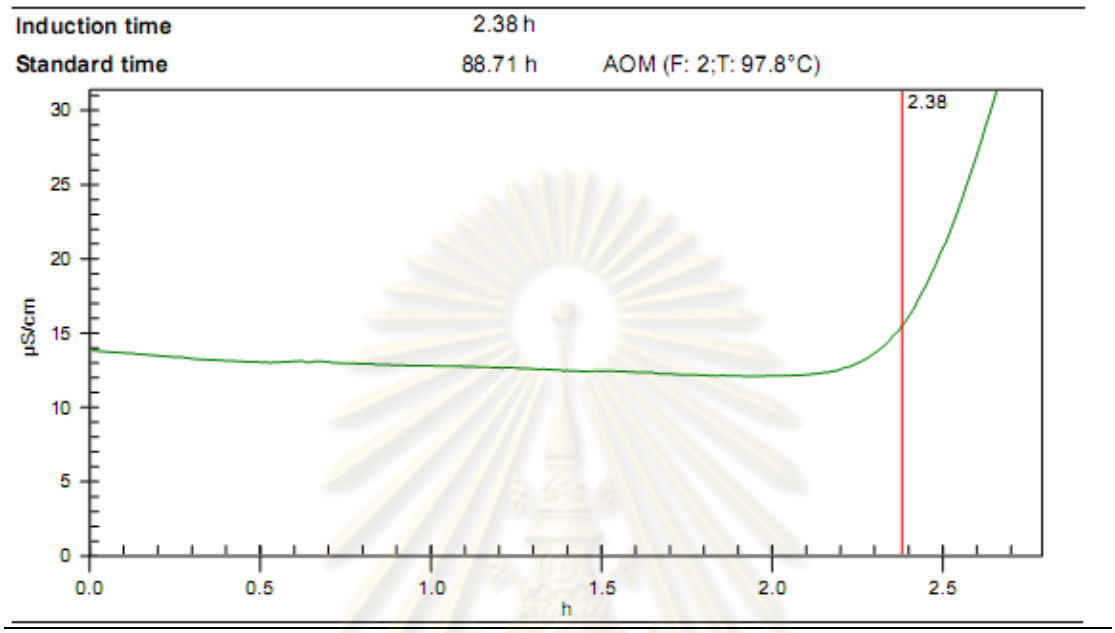
Refinery palm ,Type of Antioxidant : Phenol 250ppm Temp 150 °C



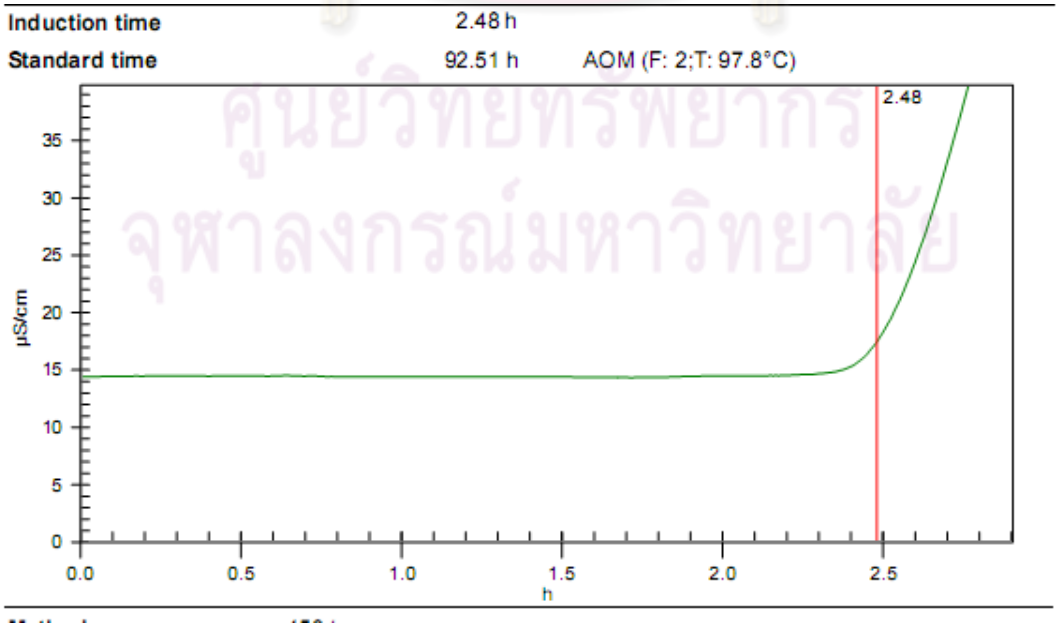
Refinery palm ,Type of Antioxidant : Phenol 500ppm Temp 150 °C



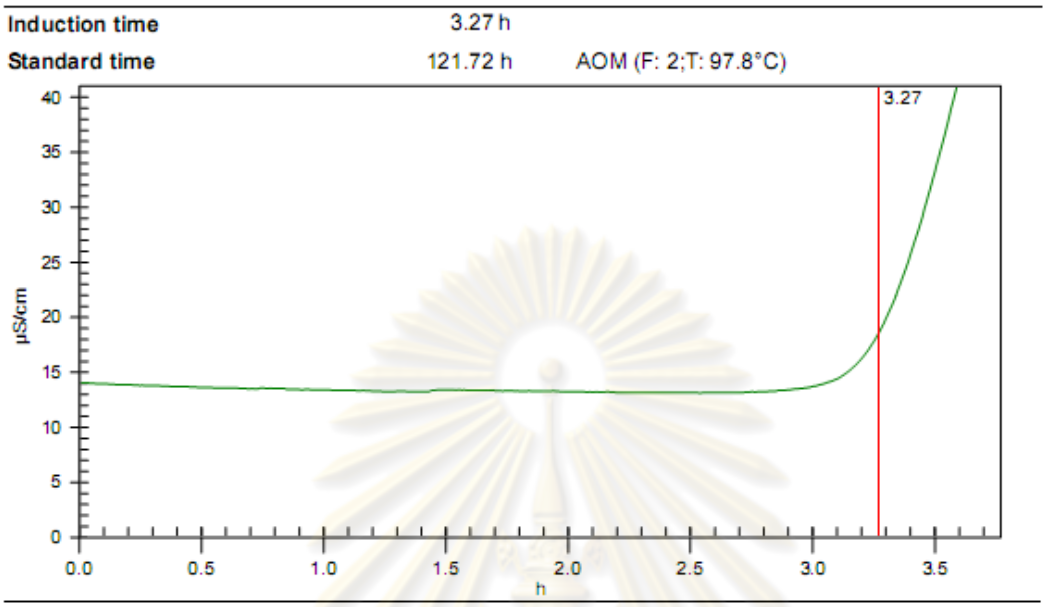
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Aliphatic ester 50 ppm 150 °C



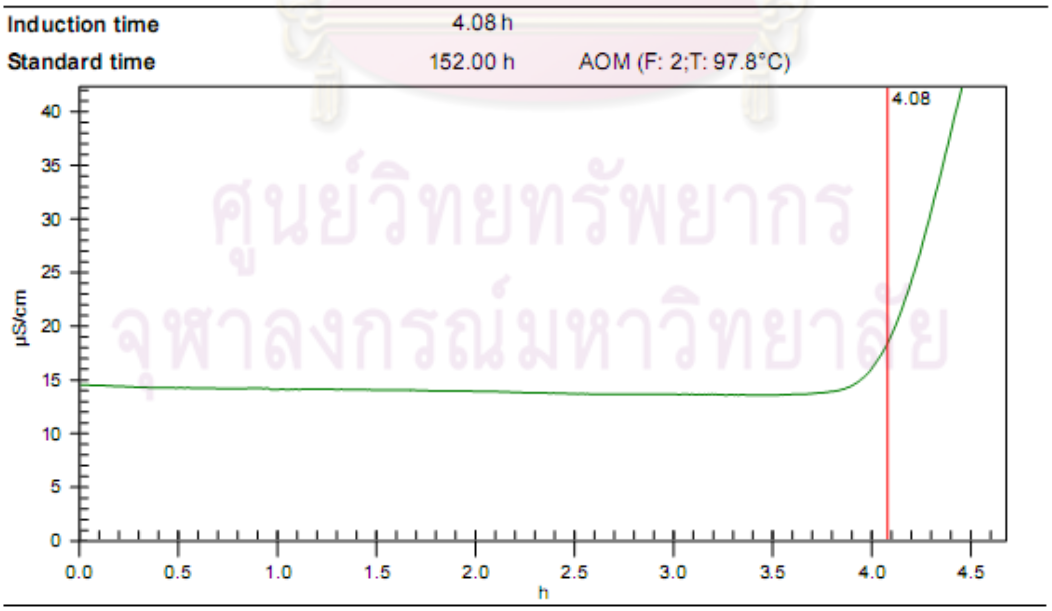
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Aliphatic ester 100ppm 150 °C



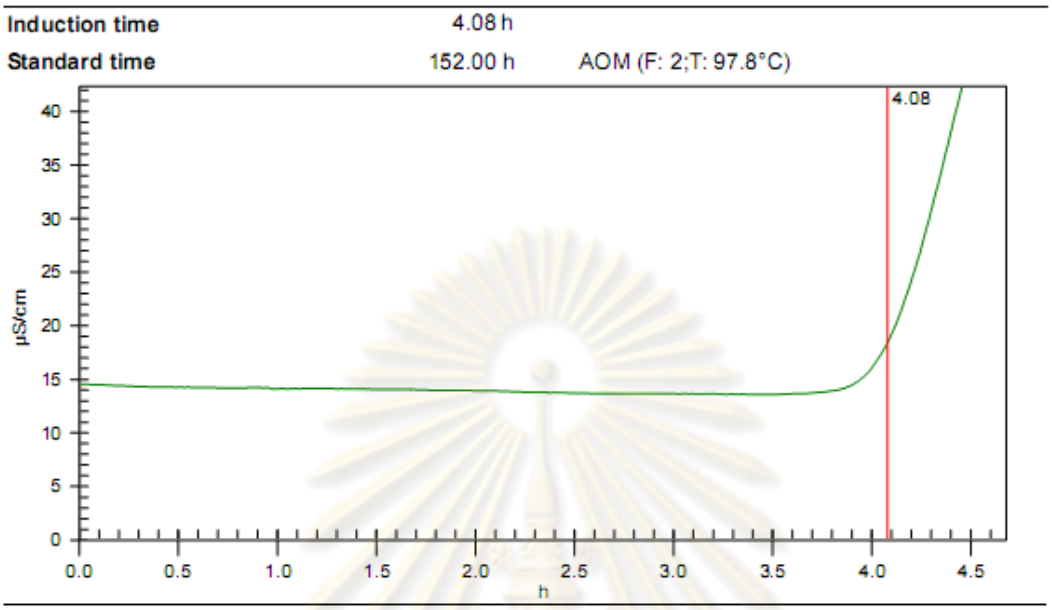
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Aliphatic ester 250ppm 150 °C



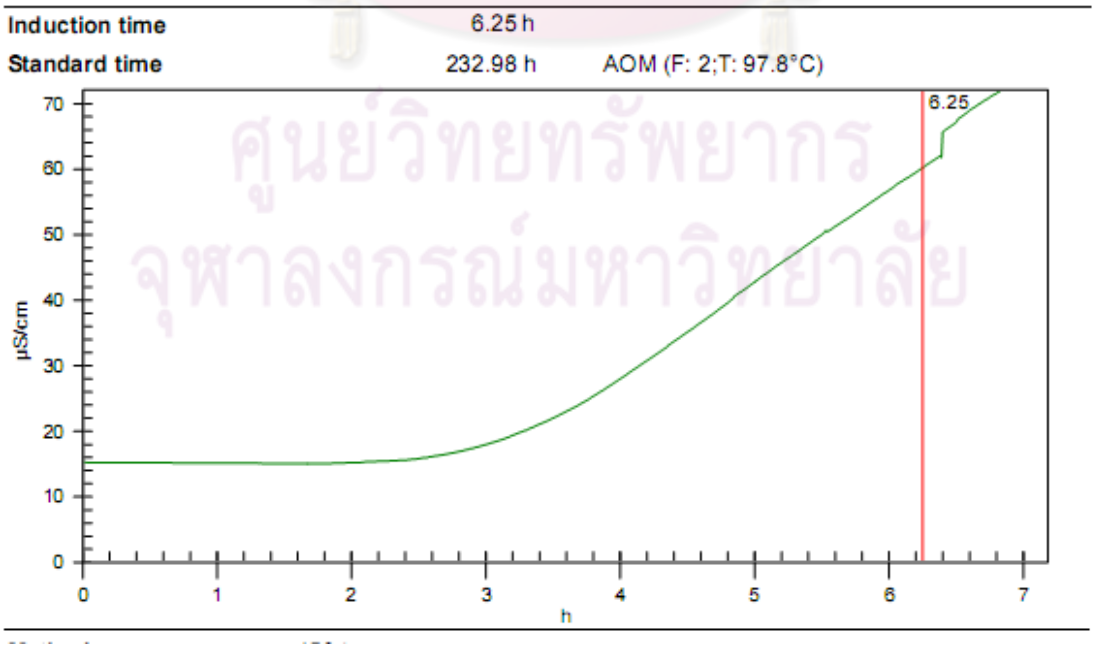
Crude palm Oil , Type of Antioxidant : Aliphatic ester 500ppm 150 °C



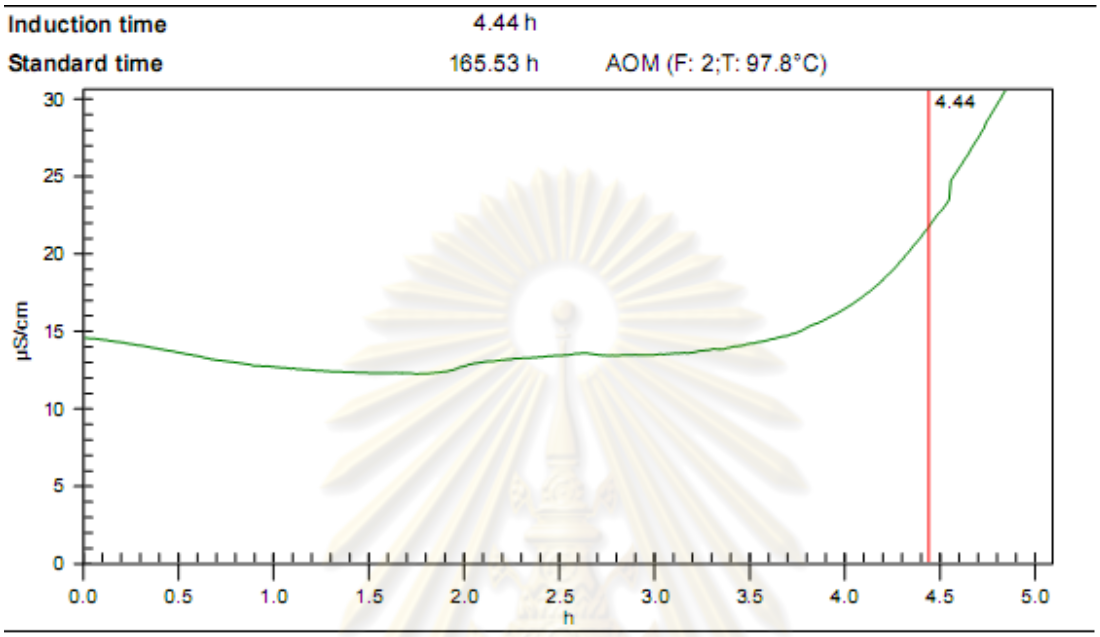
Palm Stearin, Type of Antioxidant : Aliphatic ester 50ppm 150 °C



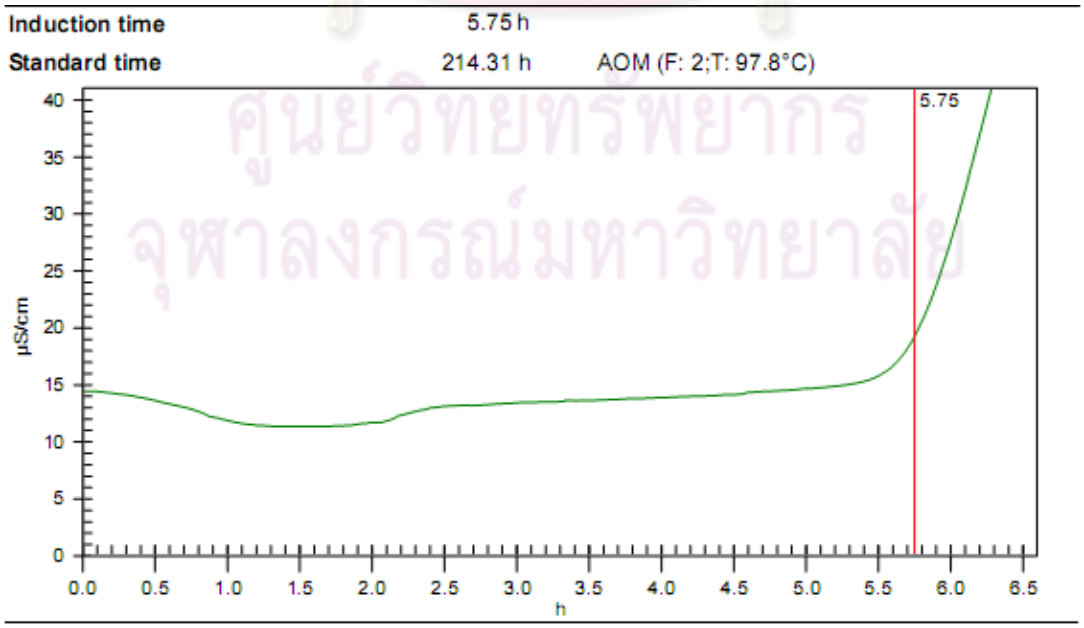
Palm Stearin, Type of Antioxidant : Aliphatic ester 100ppm150 °C



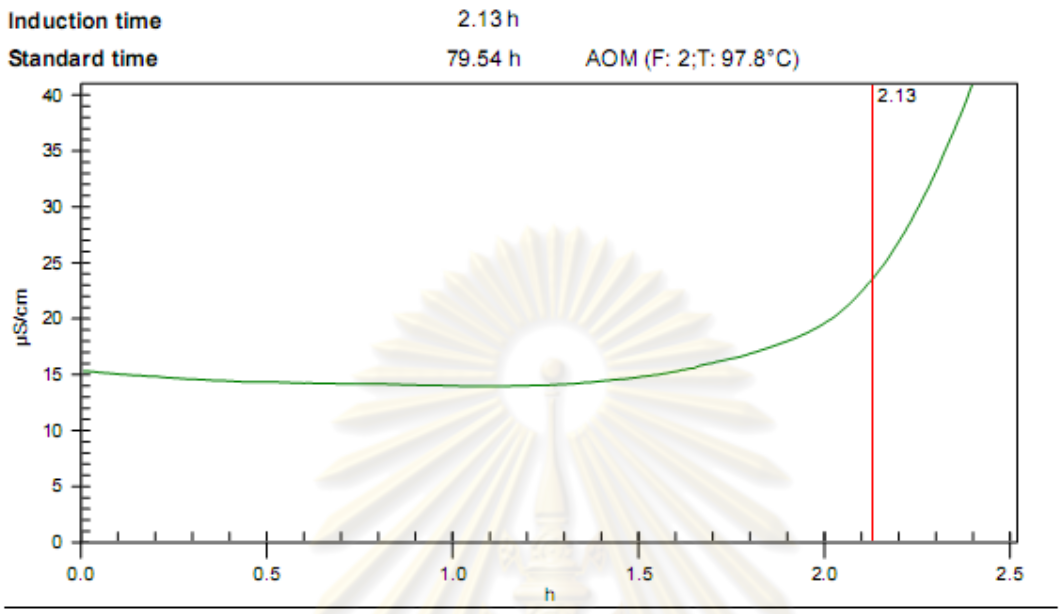
Palm Stearin, Type of Antioxidant : Aliphatic ester 250ppm150 °C



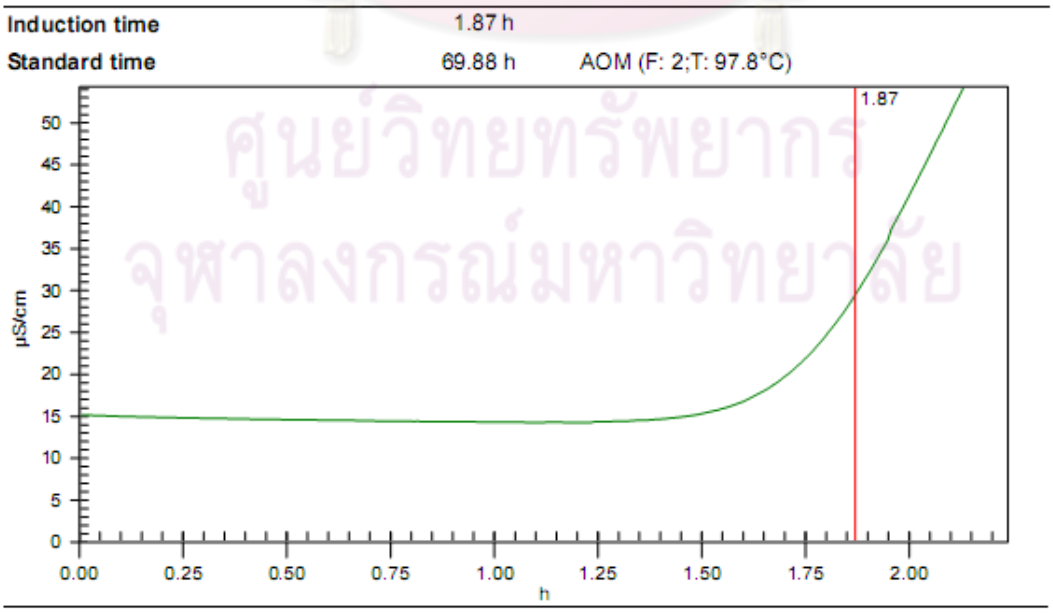
Palm Stearin, Type of Antioxidant : Aliphatic ester 500ppm150 °C



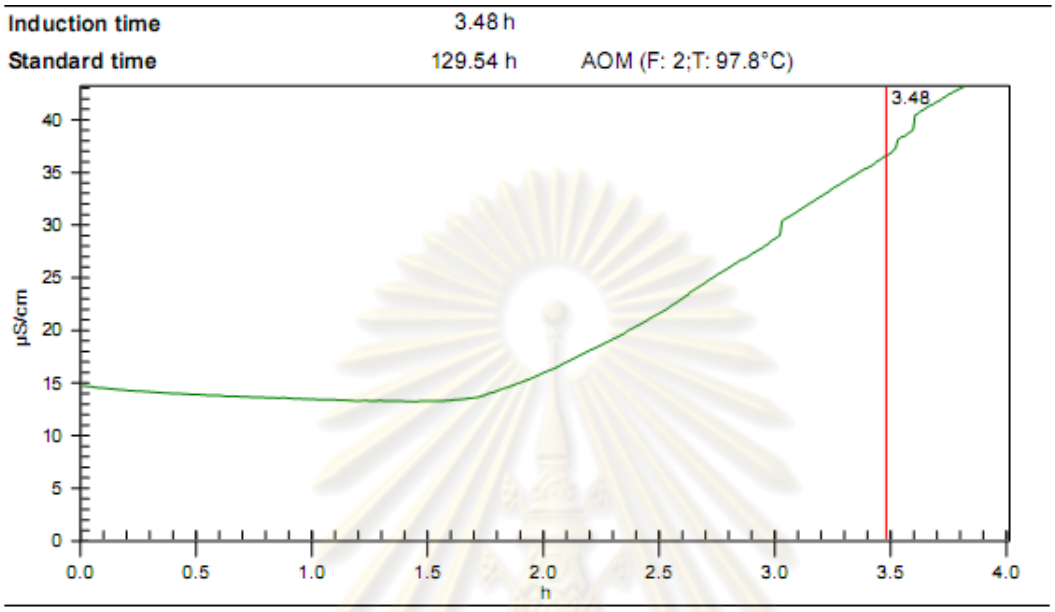
Refinery palm , Type of Antioxidant : Aliphatic ester 50ppm150 °C



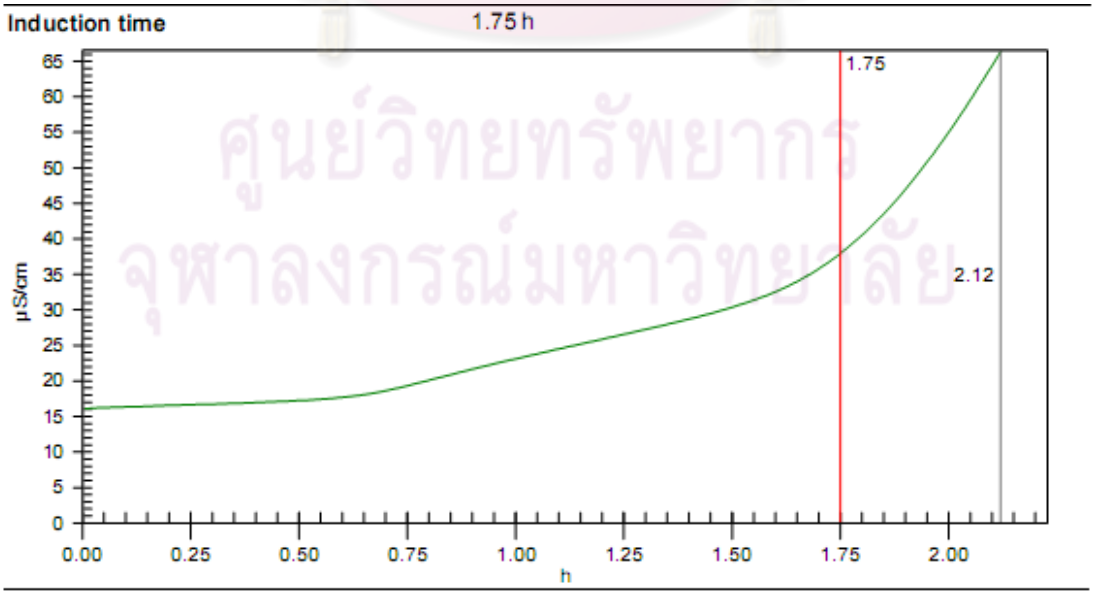
Refinery palm , Type of Antioxidant : Aliphatic ester100ppm150 °C



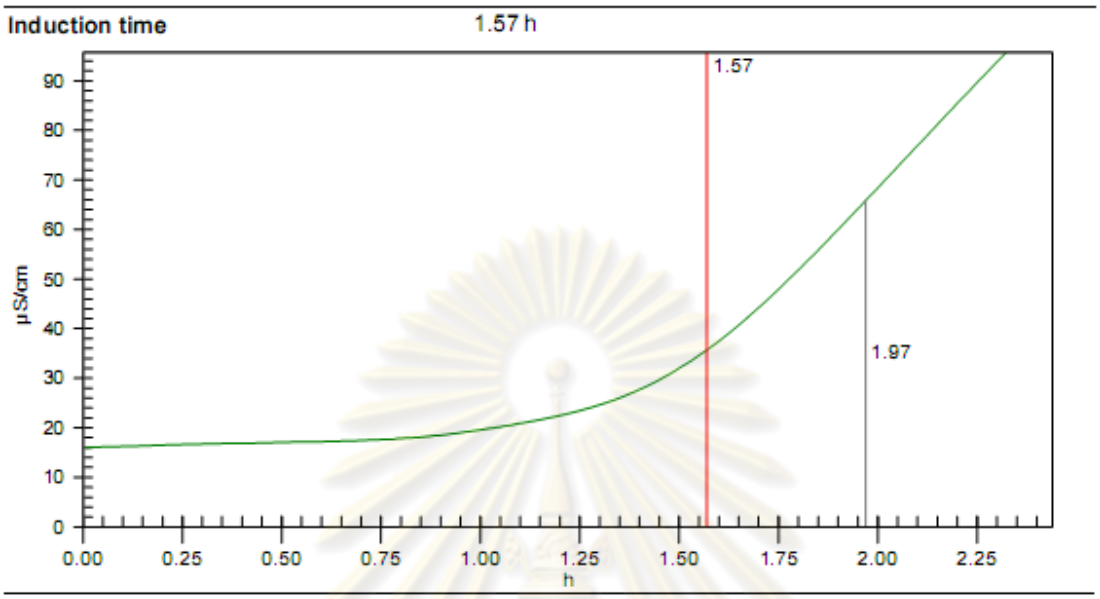
Refinery palm , Type of Antioxidant : Aliphatic ester250ppm150 °C



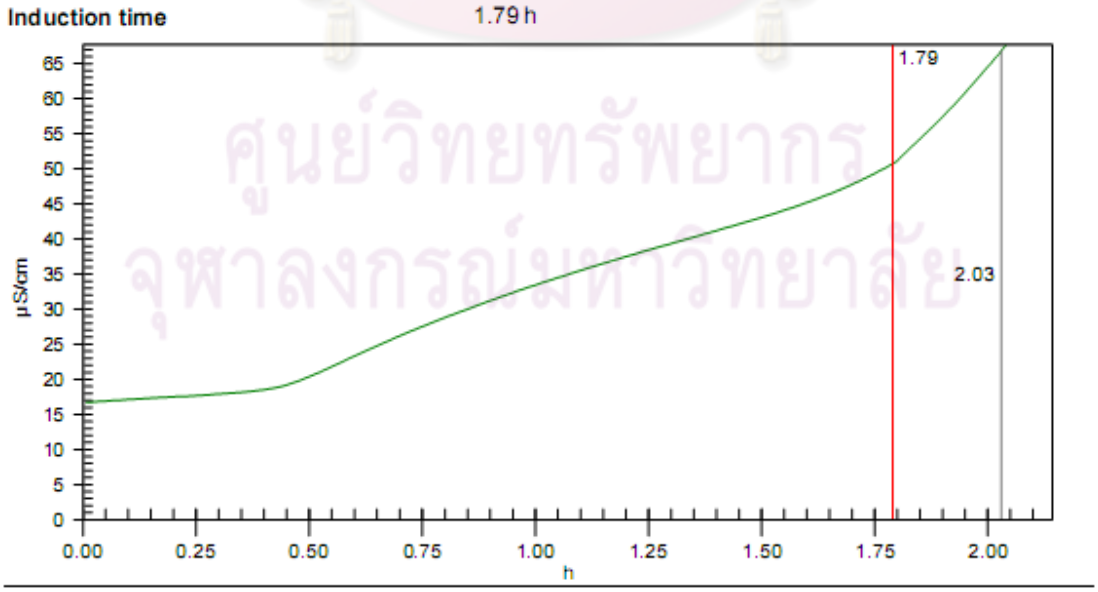
Refinery palm , Type of Antioxidant : Aliphatic ester500ppm150 °C



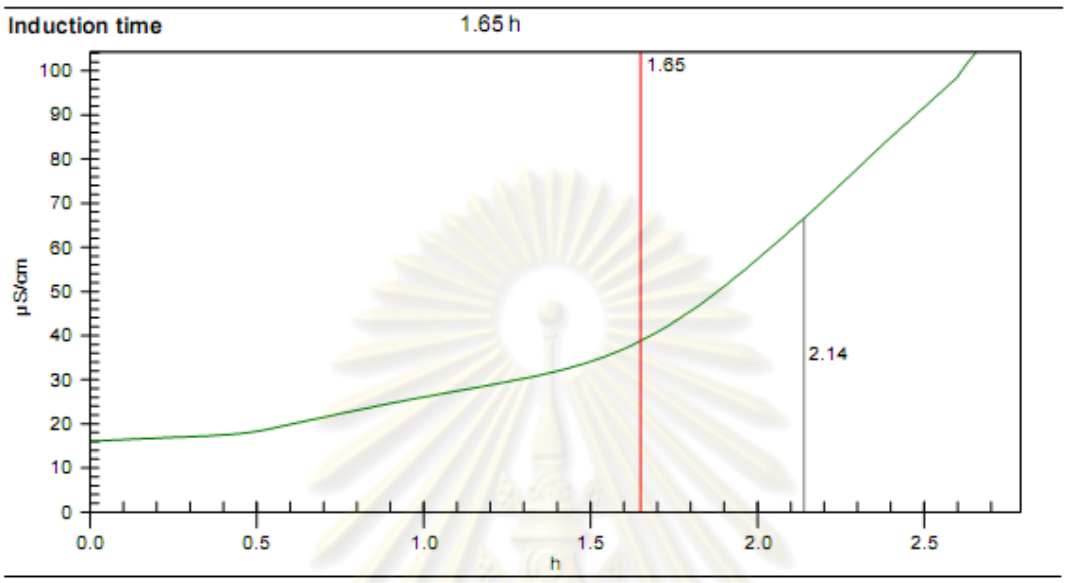
Crude palm Oil , Type of Antioxidant :Phenolic 50ppm 150 °C



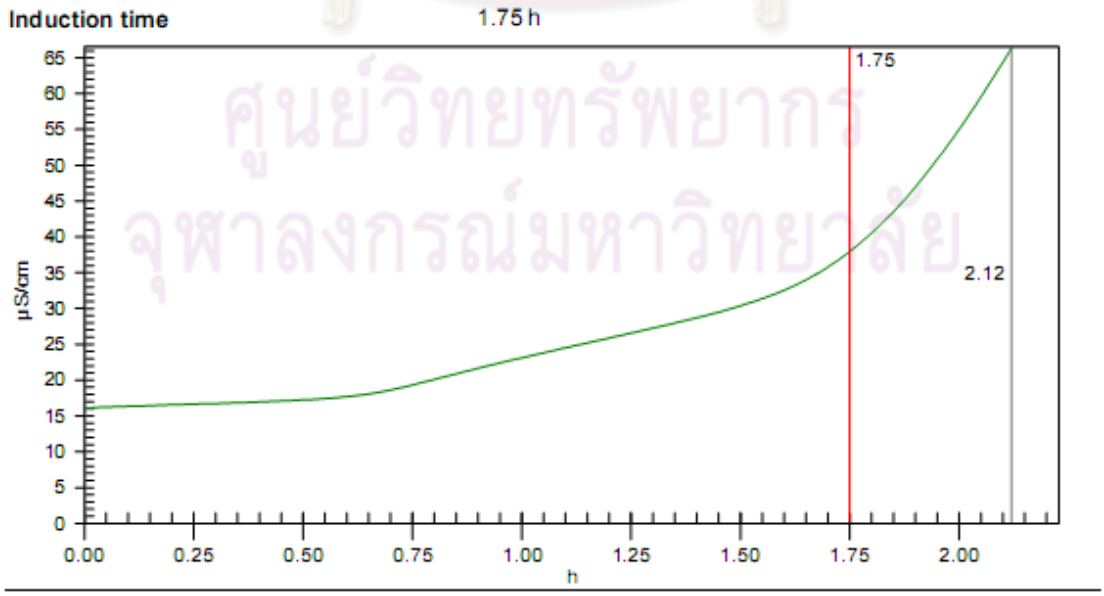
Crude palm Oil , Type of Antioxidant :Phenolic 100ppm 150 °C



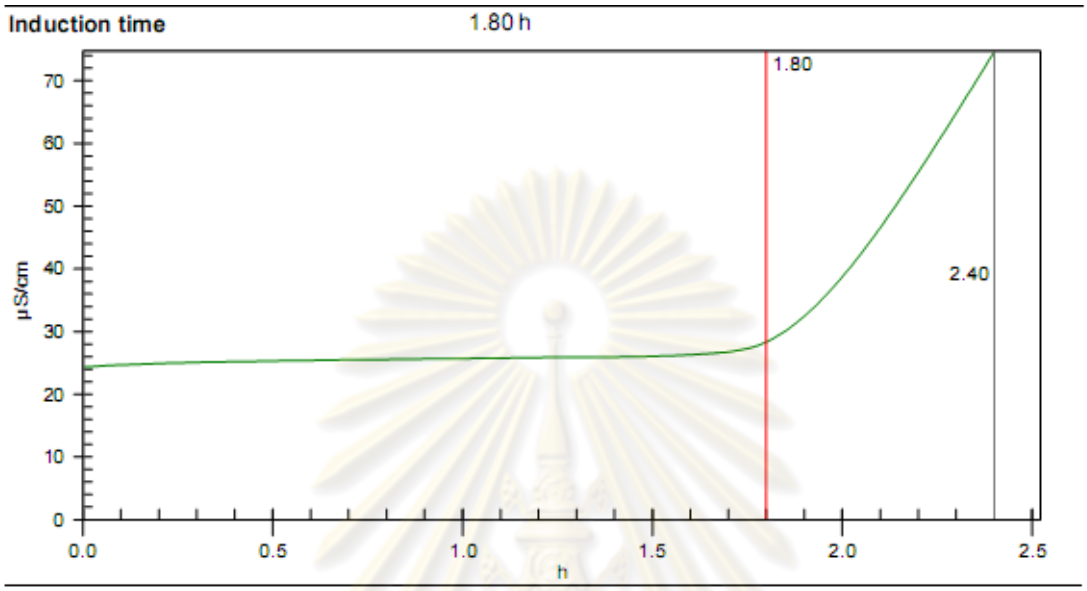
Crude palm Oil , Type of Antioxidant :Phenolic 250ppm 150 °C



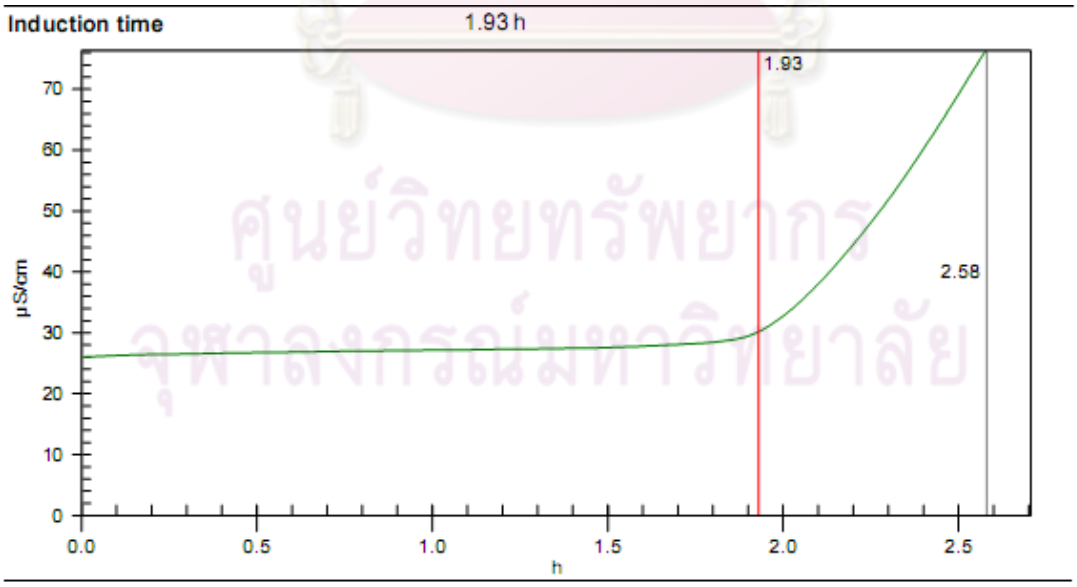
Crude palm Oil , Type of Antioxidant :Phenolic 500ppm 150 °C



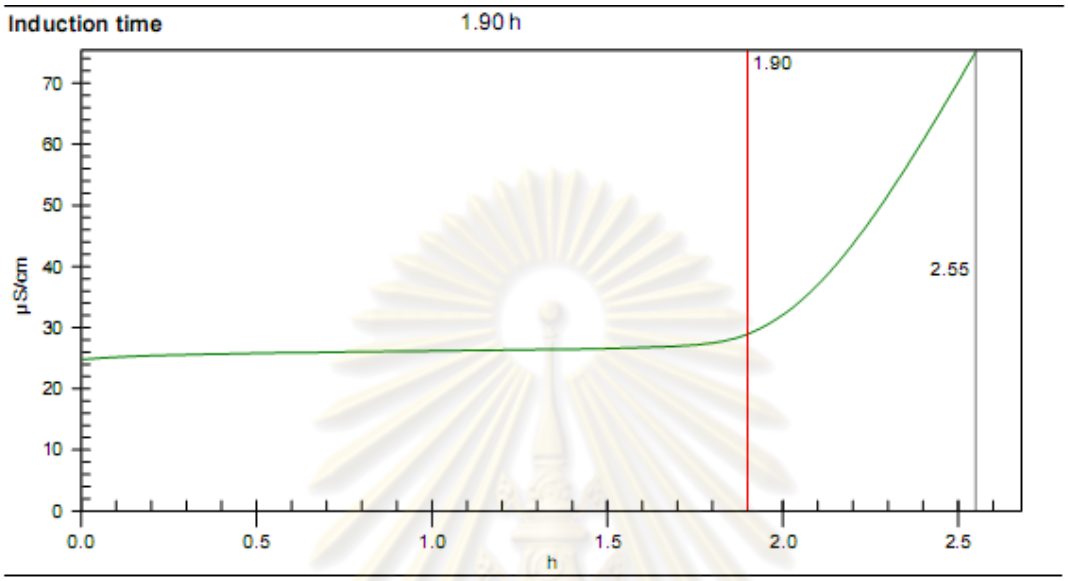
Palm Stearin , Type of Antioxidant :Phenolic 50ppm 150 °C



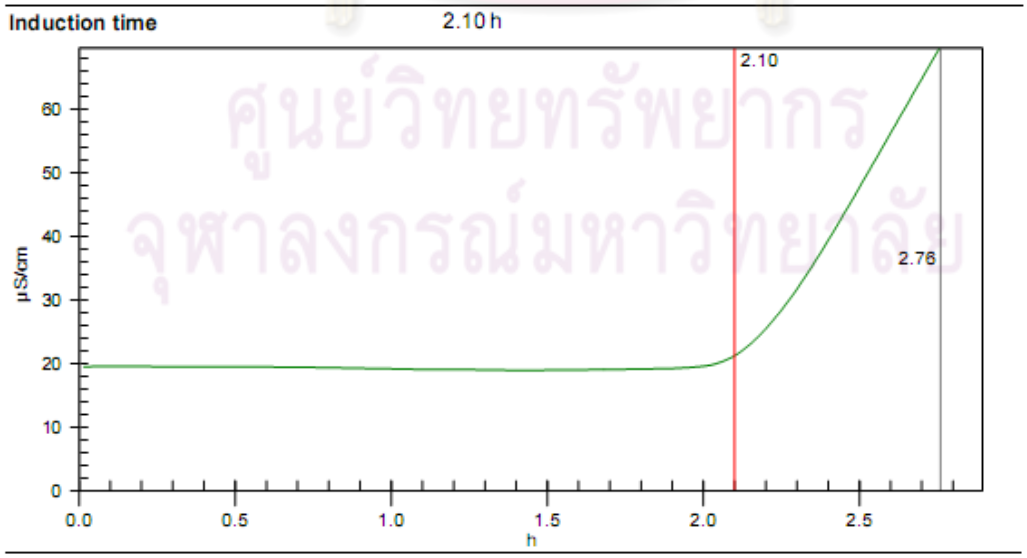
Palm Stearin , Type of Antioxidant :Phenolic100ppm 150 °C



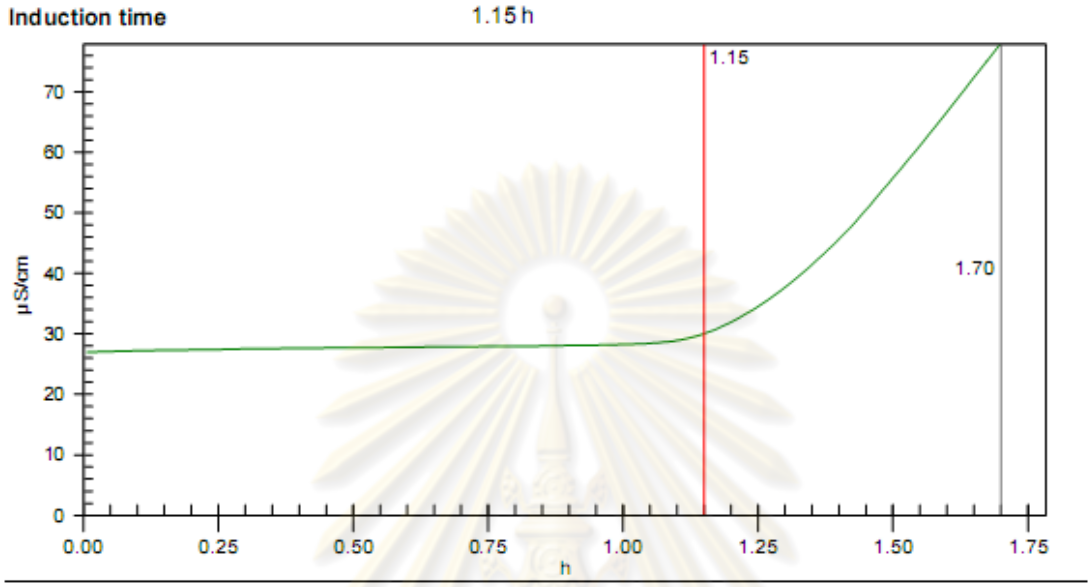
Palm Stearin , Type of Antioxidant :Phenolic250ppm 150 °C



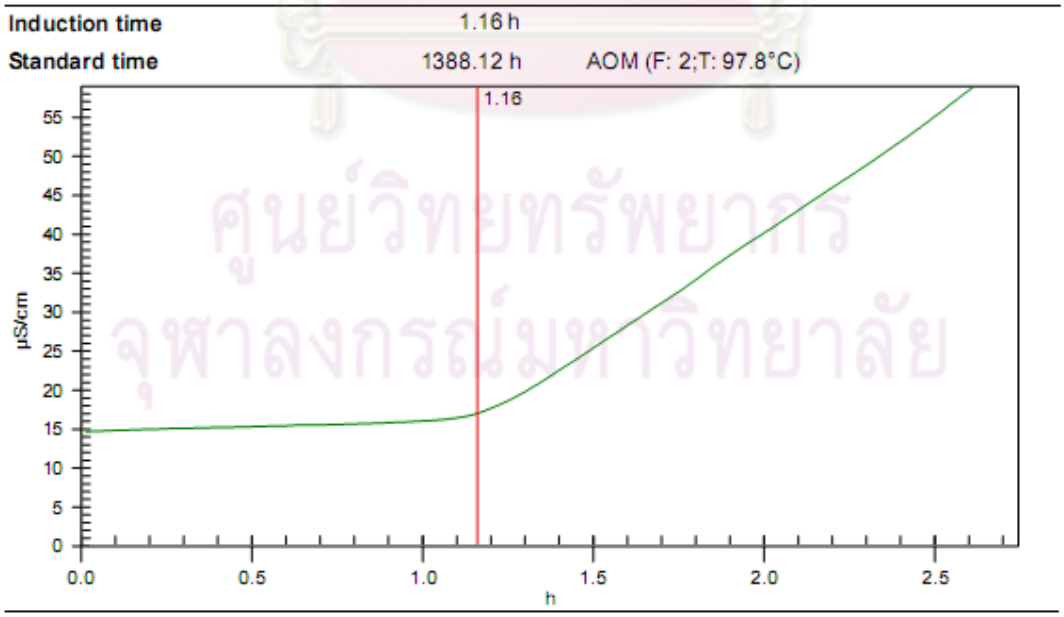
Palm Stearin , Type of Antioxidant :Phenolic500ppm 150 °C



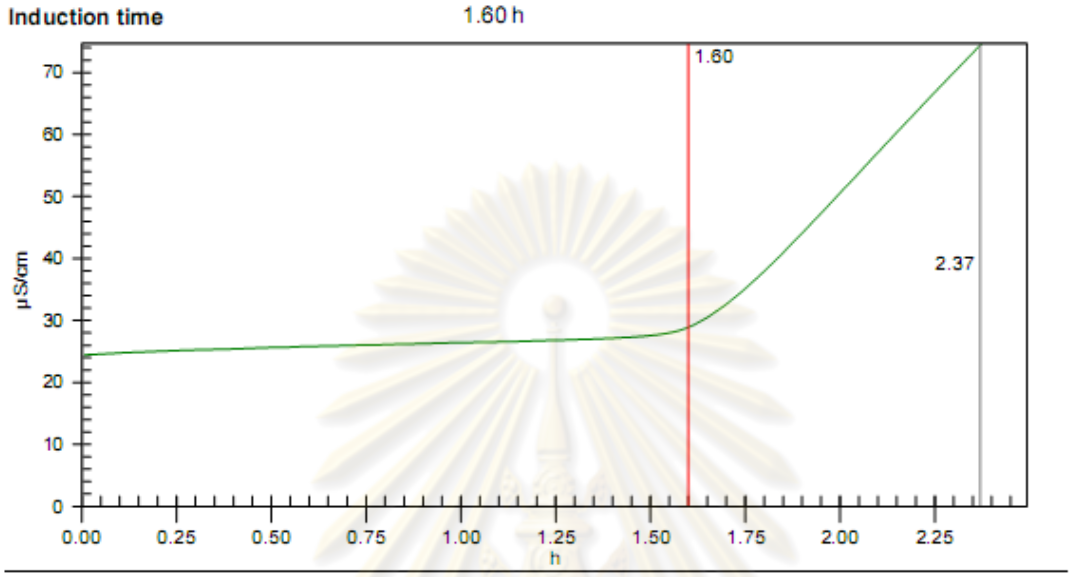
Refinery palm , , Type of Antioxidant :Phenolic50ppm 150 °C



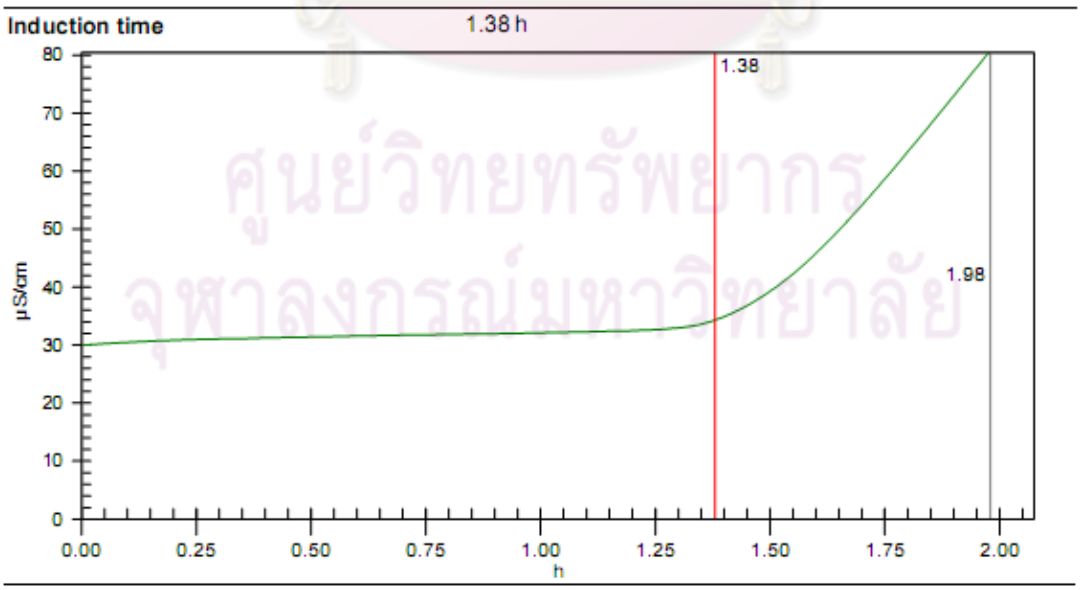
Refinery palm , , Type of Antioxidant :Phenolic 100ppm 150 °C



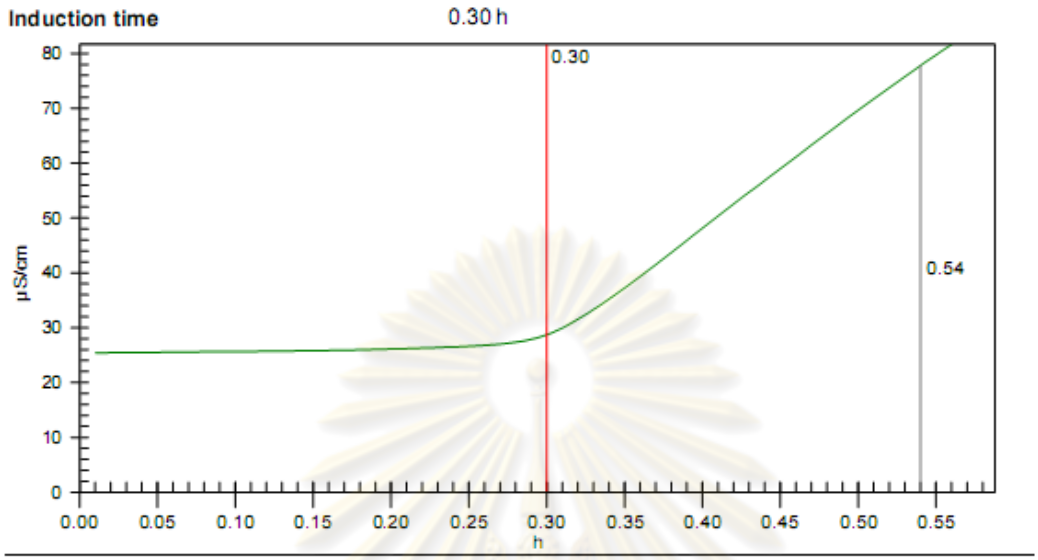
Refinery palm , , Type of Antioxidant :Phenolic 250ppm 150 °C



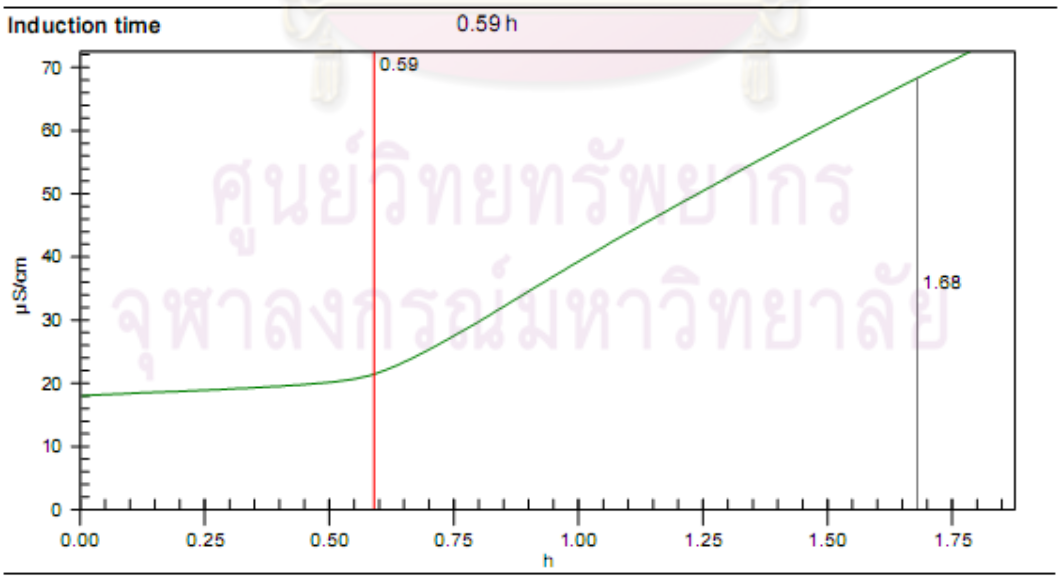
Refinery palm Refinery palm, Type of Antioxidant :Phenolic 500ppm 150 °C



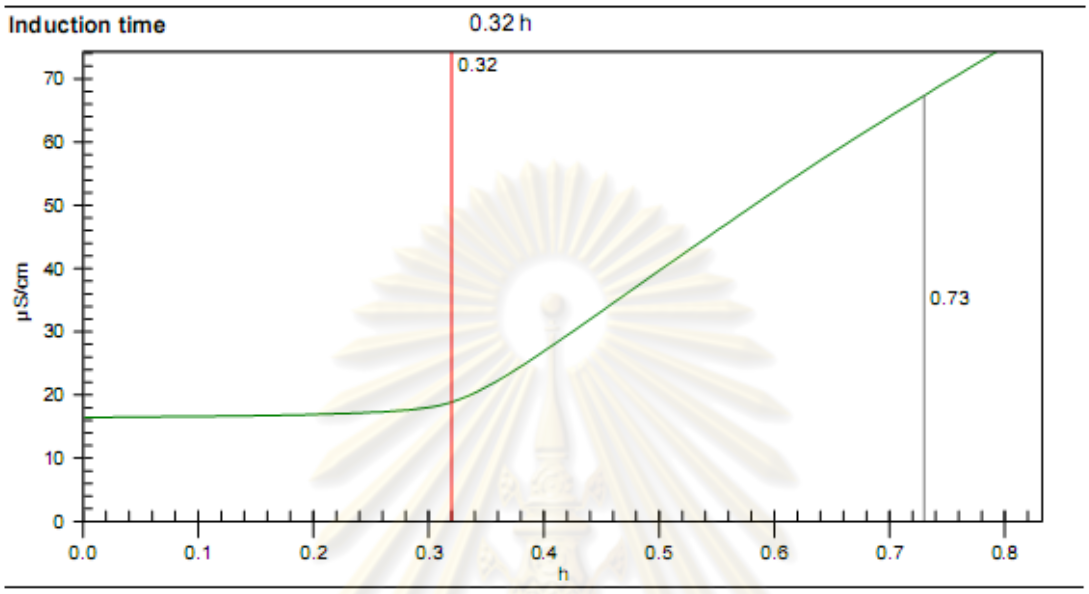
Crude palm Oil , Type of Antioxidant:Phenol 50ppm 200 °C



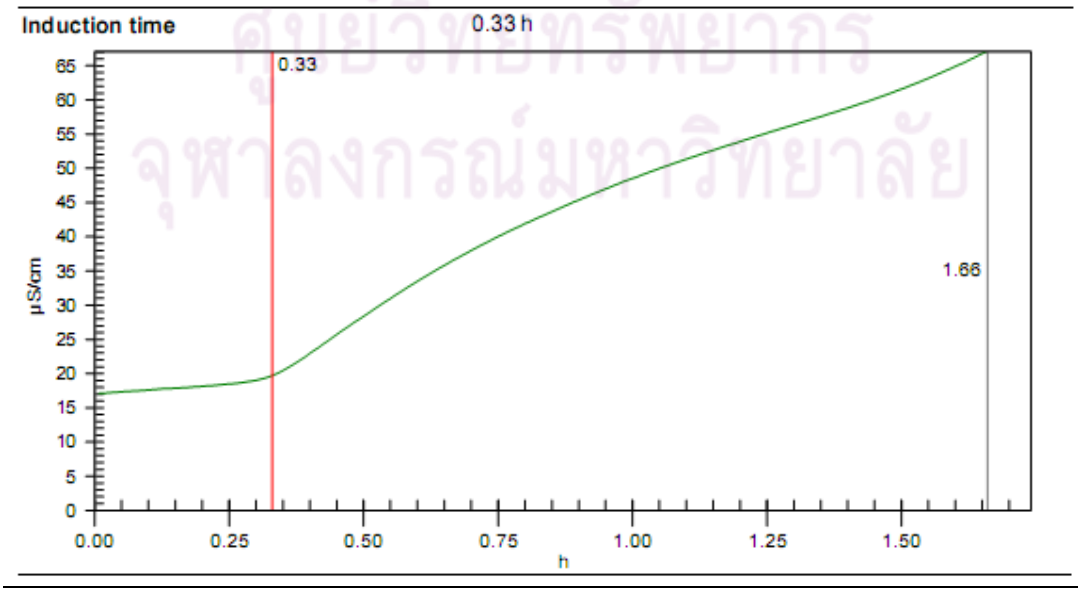
Crude palm Oil , Type of Antioxidant:Phenol100 ppm 200°C



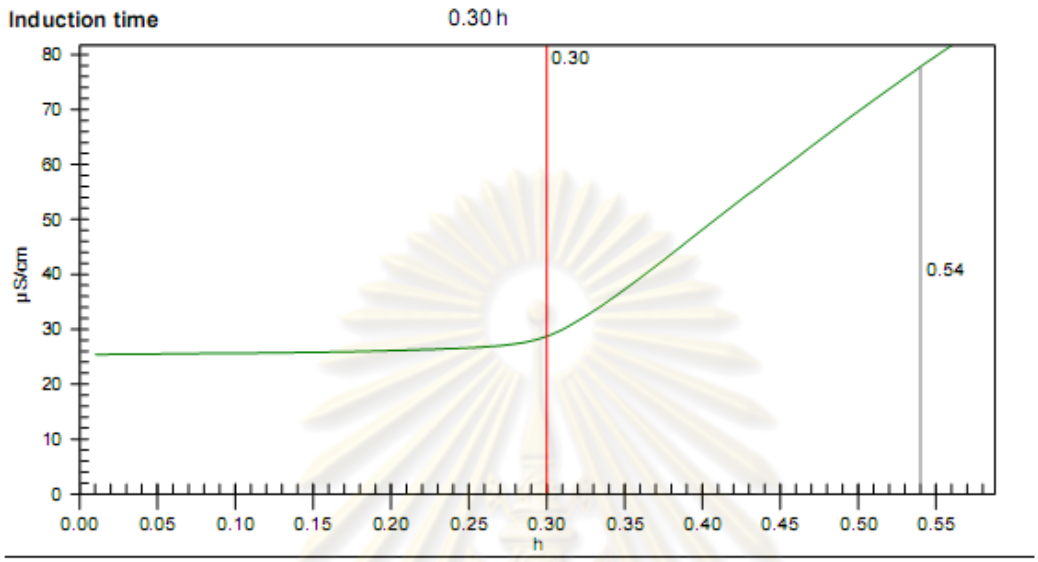
Crude palm Oil , Type of Antioxidant:Phenol250 ppm 200°C



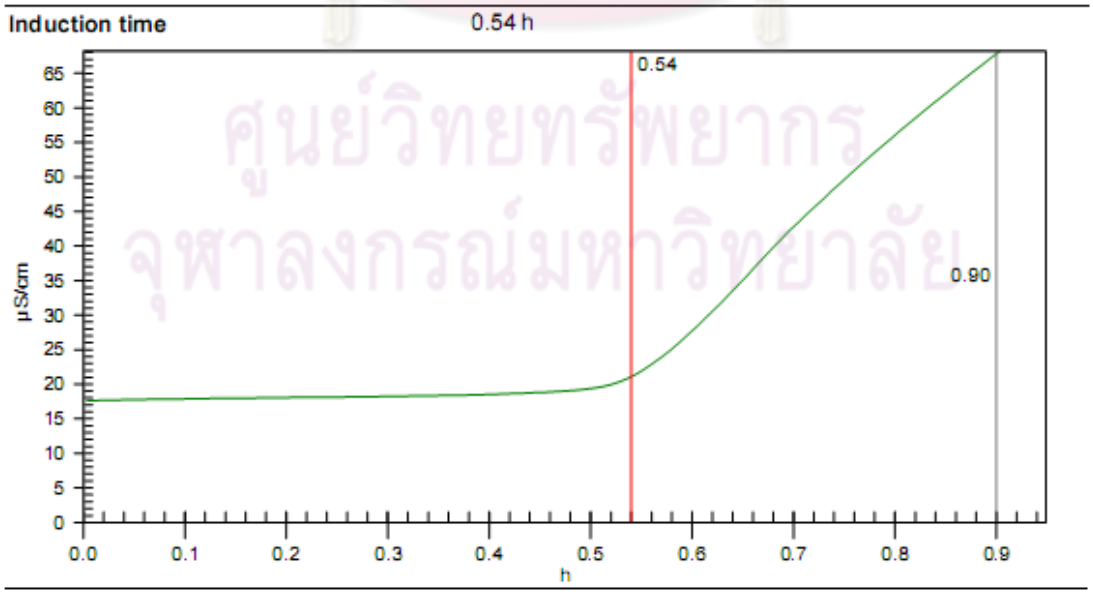
Crude palm Oil , Type of Antioxidant:Phenol500 ppm 200°C



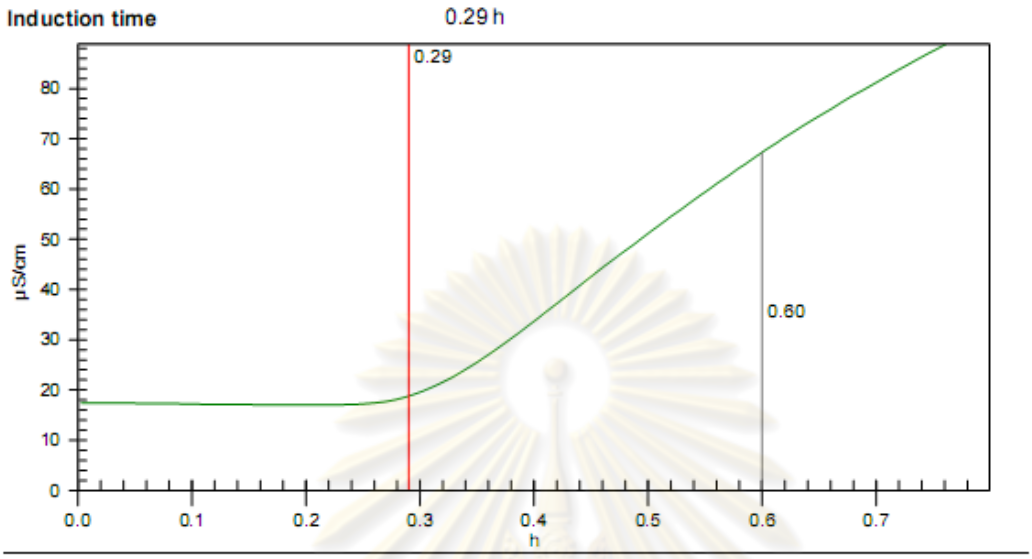
Palm Stearin, Type of Antioxidant:Phenol50 ppm 200°C



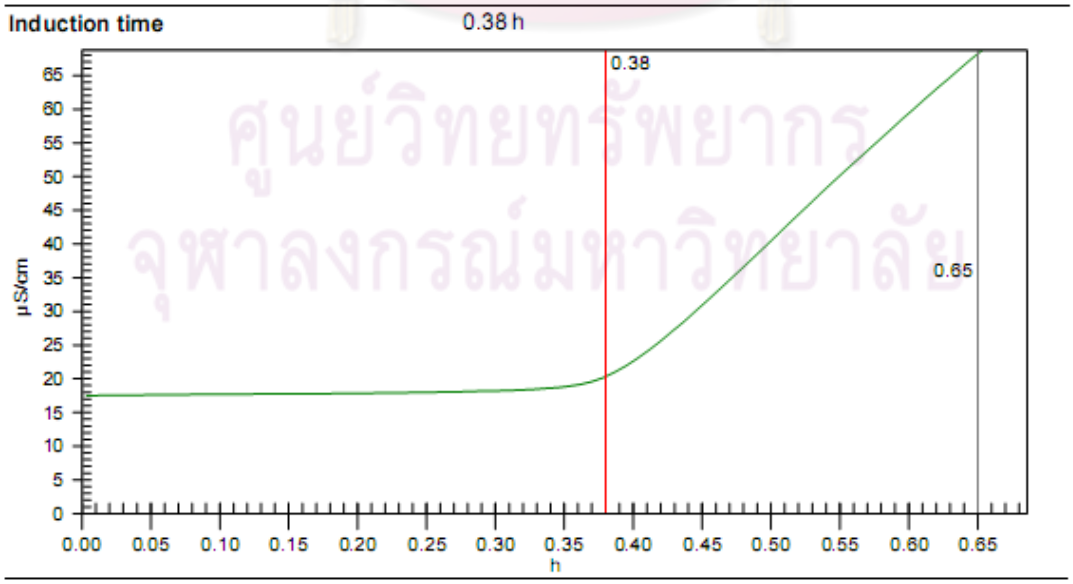
Palm Stearin, Type of Antioxidant:Phenol100ppm 200°C



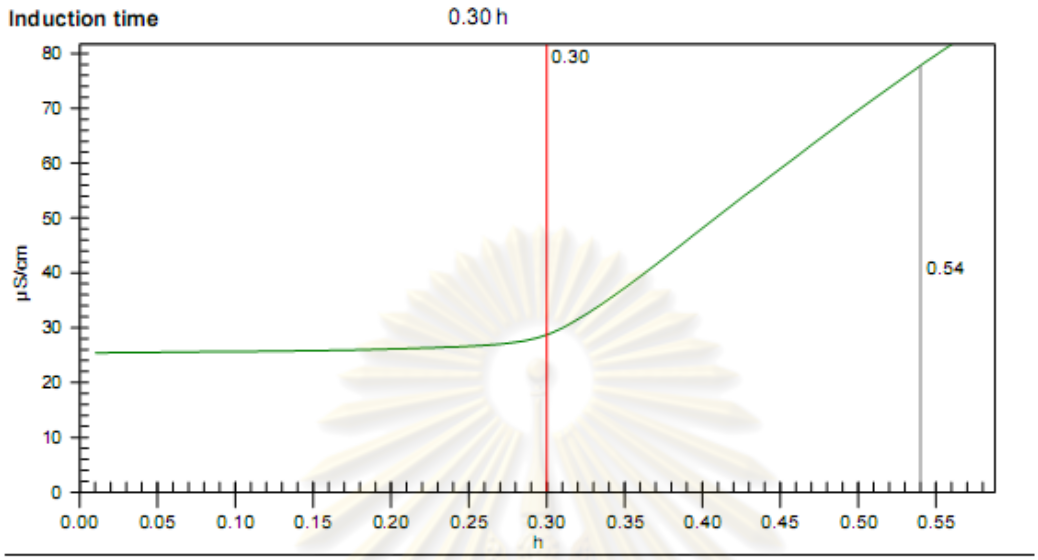
Palm Stearin, Type of Antioxidant:Phenol250ppm 200°C



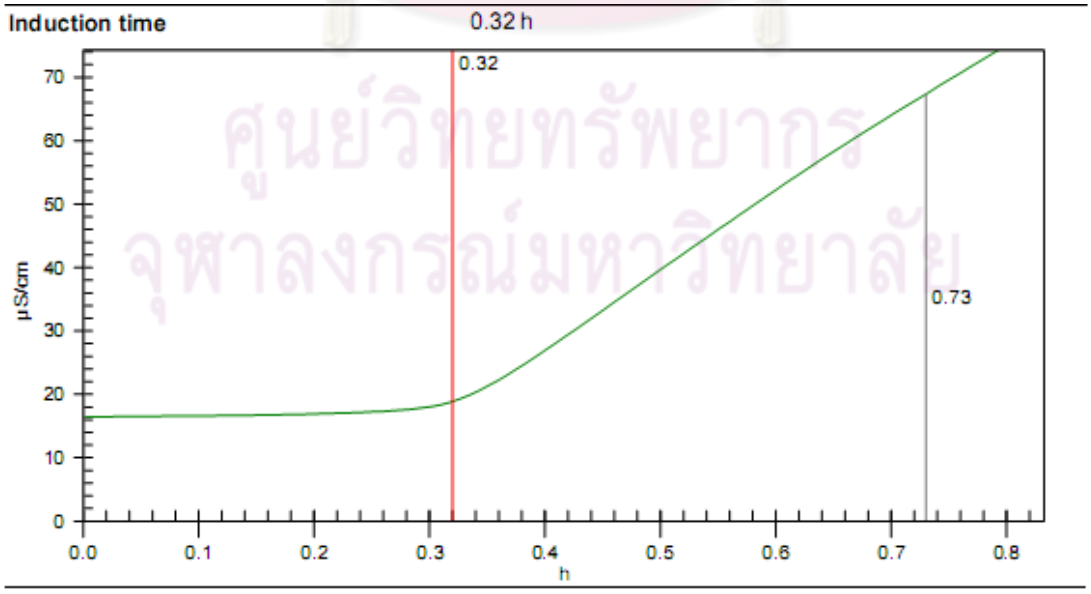
Palm Stearin, Type of Antioxidant:Phenol500ppm 200°C



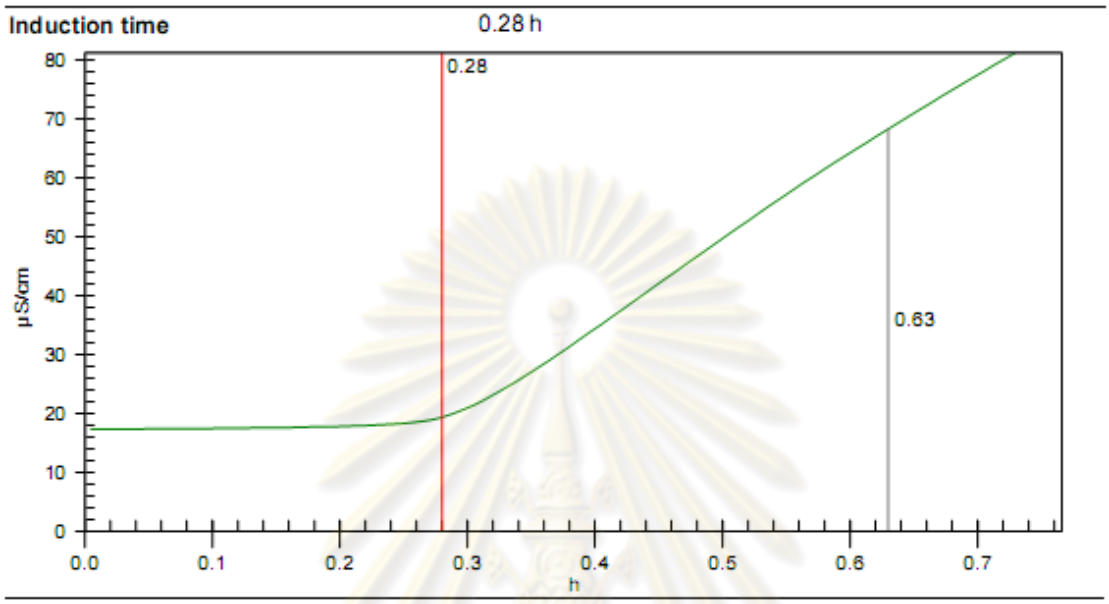
Refinery palm, Type of Antioxidant:Phenol50ppm 200°C



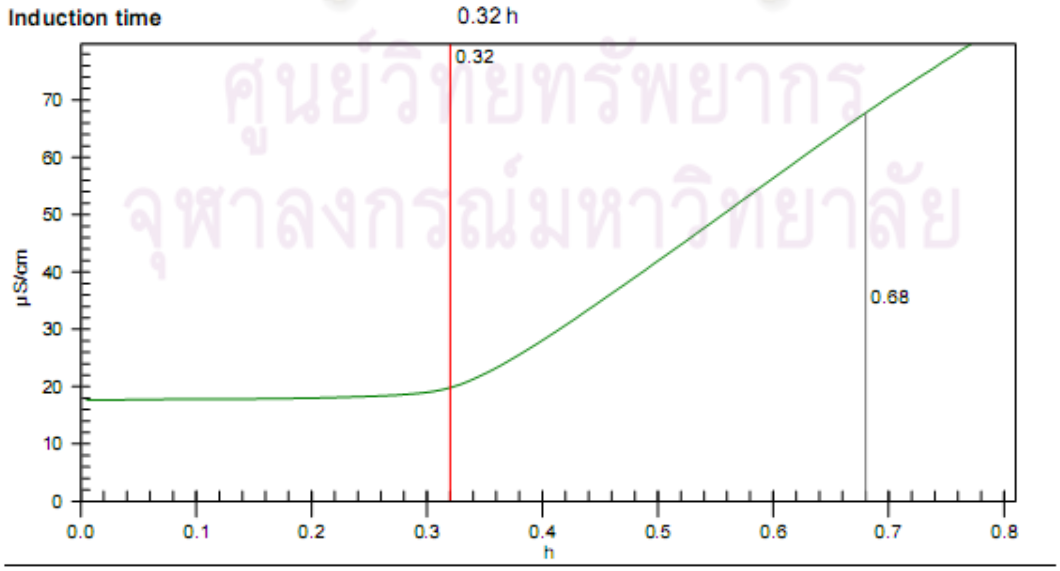
Refinery palm, Type of Antioxidant:Phenol 100ppm 200°C



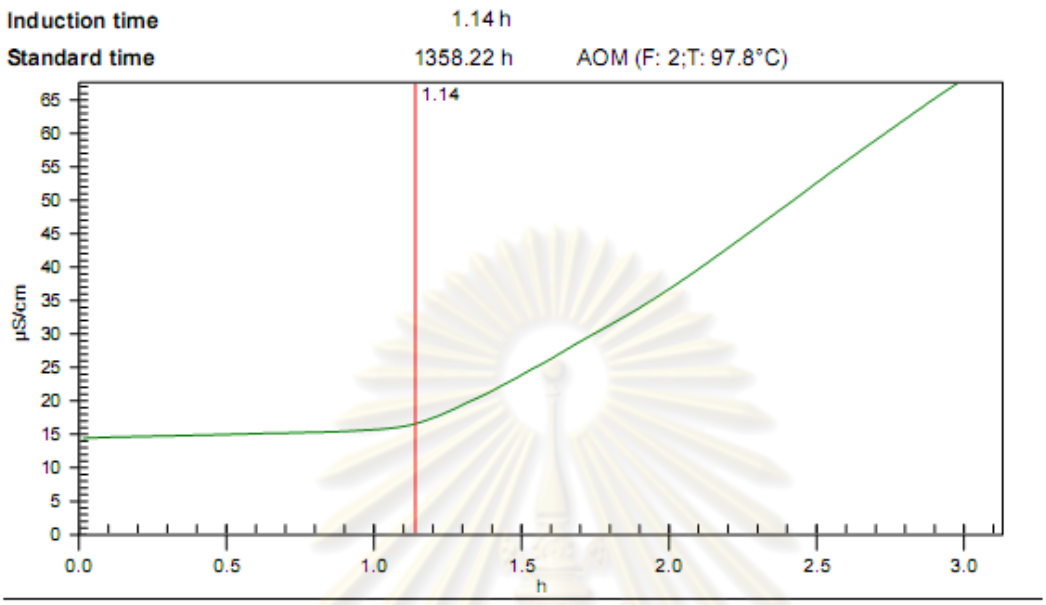
Refinery palm, Type of Antioxidant:Phenol 250ppm 200°C



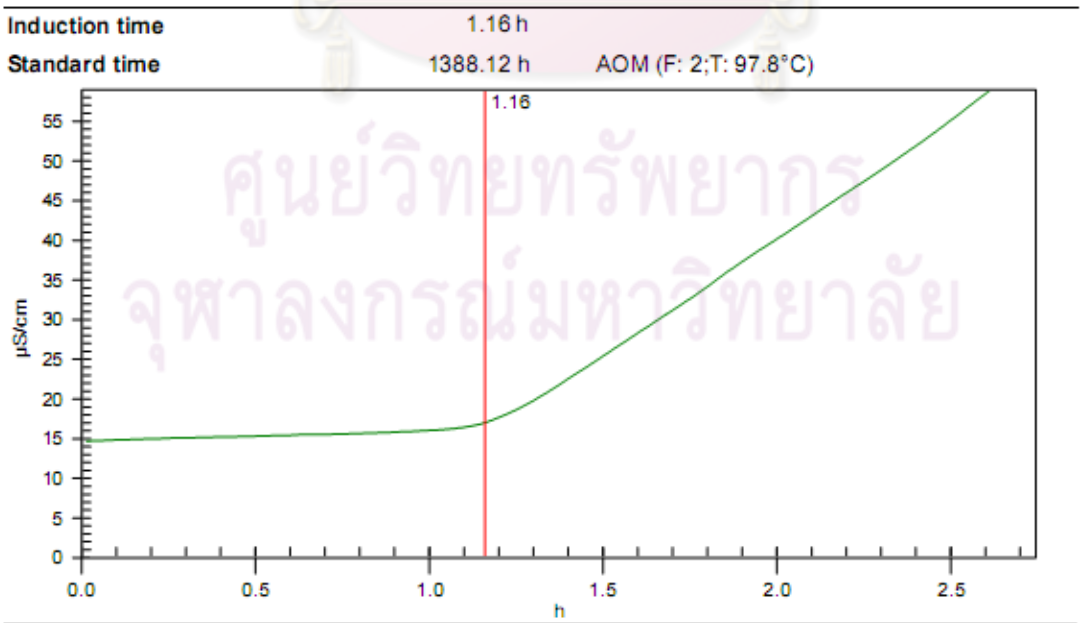
Refinery palm, Type of Antioxidant:Phenol 500ppm 200°C



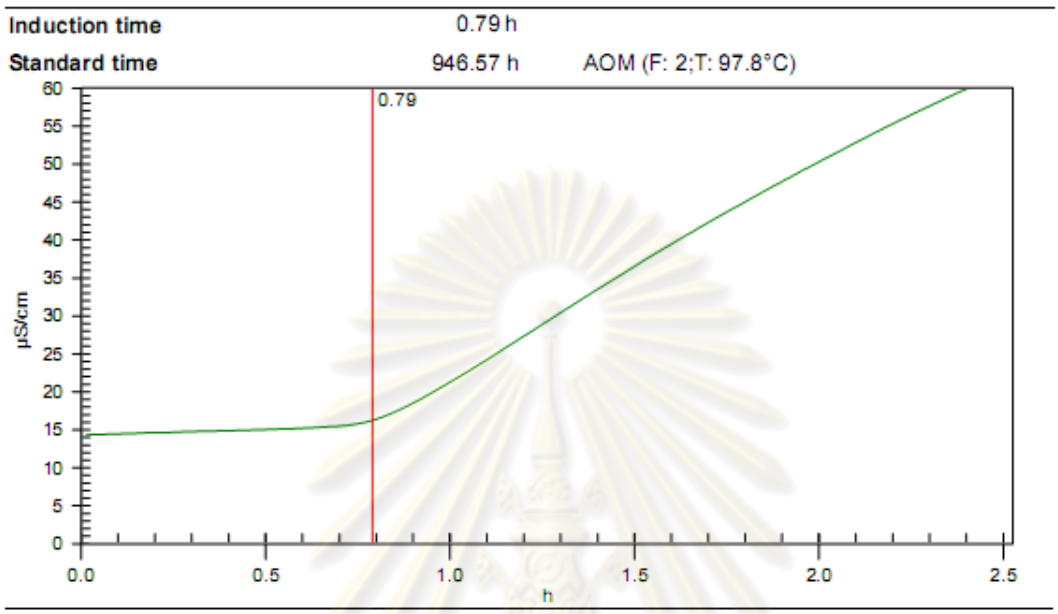
Crude palm Oil ,Type of Antioxidant: Aliphatic ester50ppm 200°C



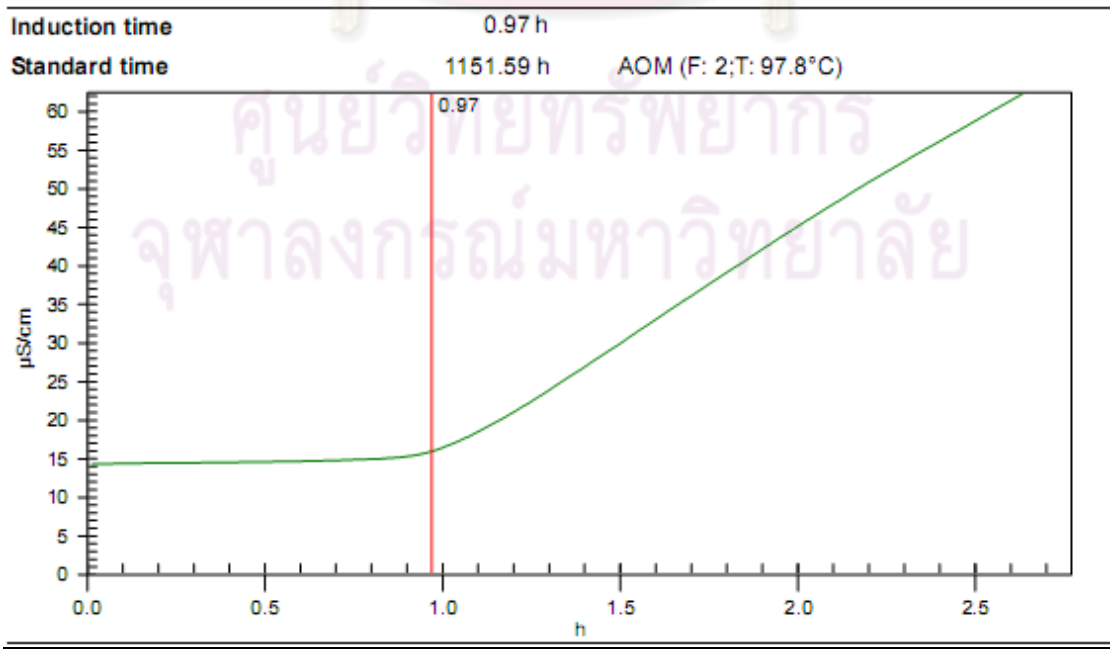
Crude palm Oil , Type of Antioxidant: Aliphatic ester 100 ppm 200°C



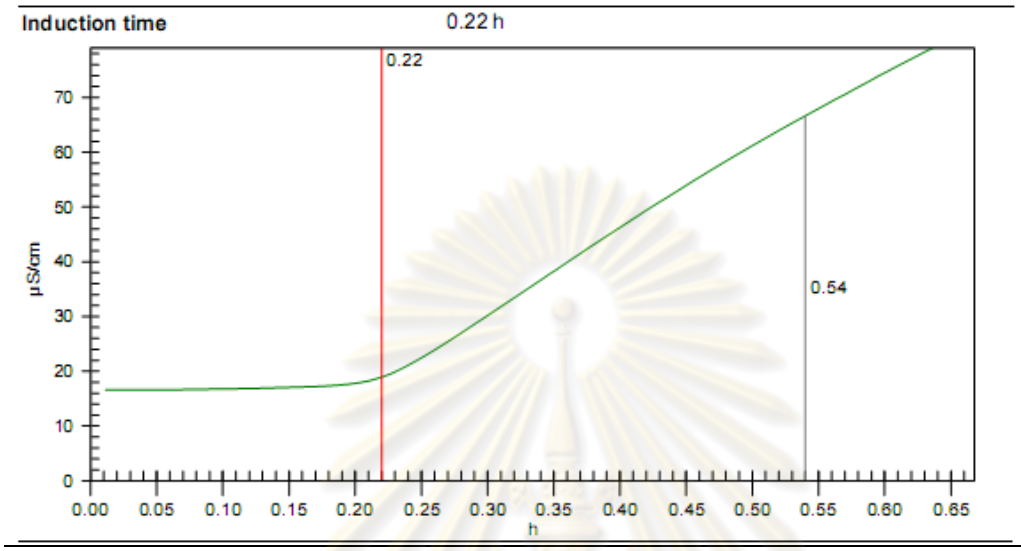
Crude palm Oil , Type of Antioxidant: Aliphatic ester 250 ppm 200°C



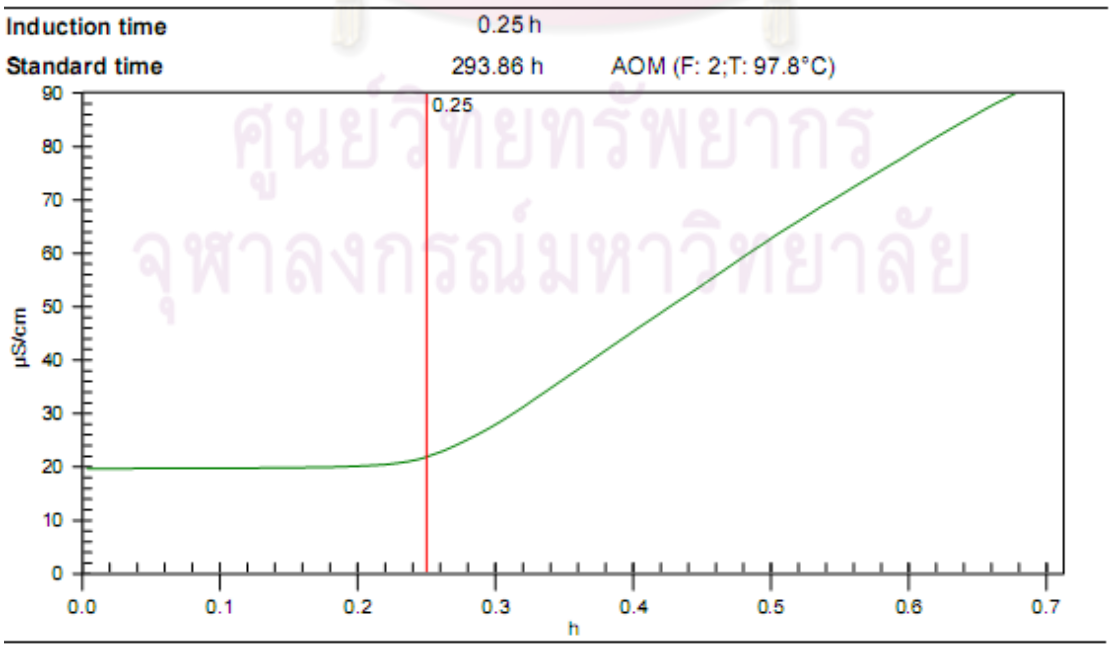
Crude palm Oil , Type of Antioxidant: Aliphatic ester 500ppm 200°C



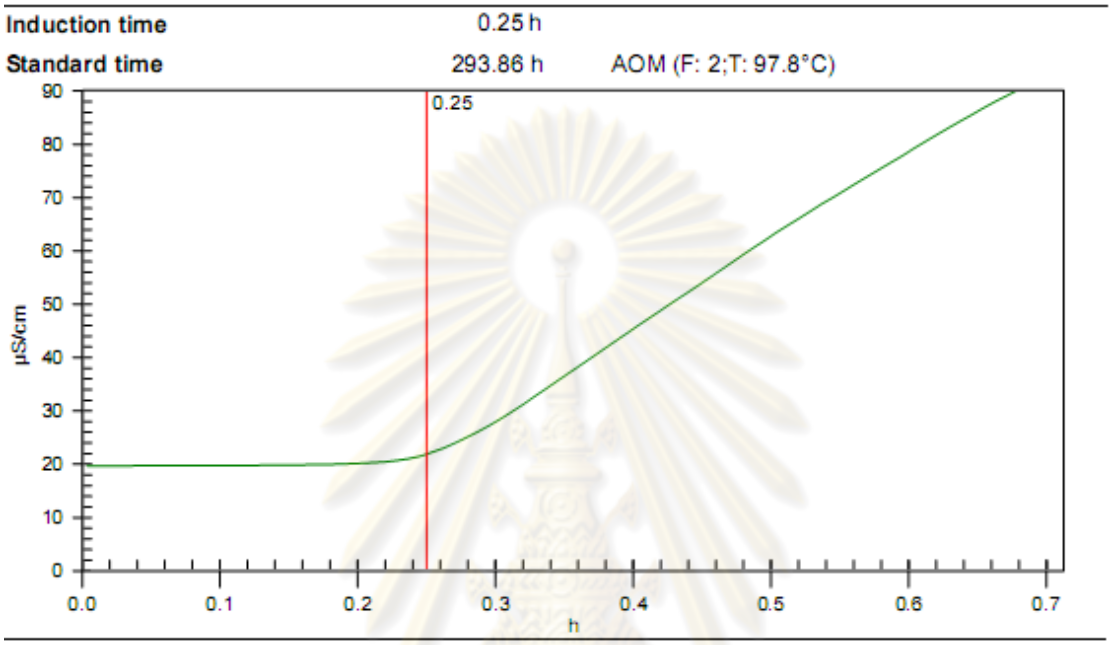
Palm Stearin , Type of Antioxidant: Aliphatic ester 50ppm 200°C



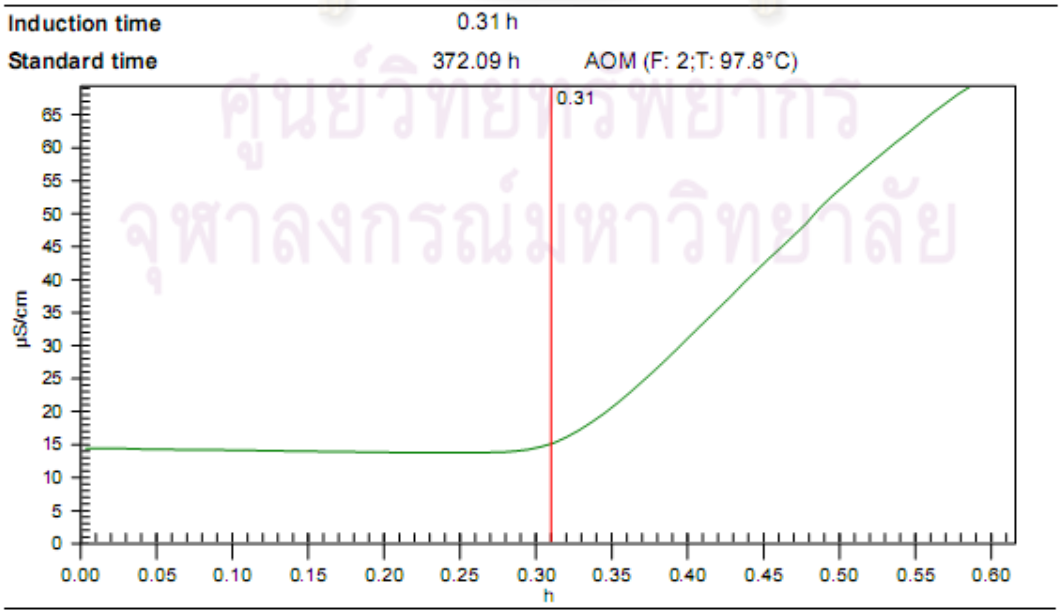
Palm Stearin , Type of Antioxidant: Aliphatic ester 100 ppm 200°C



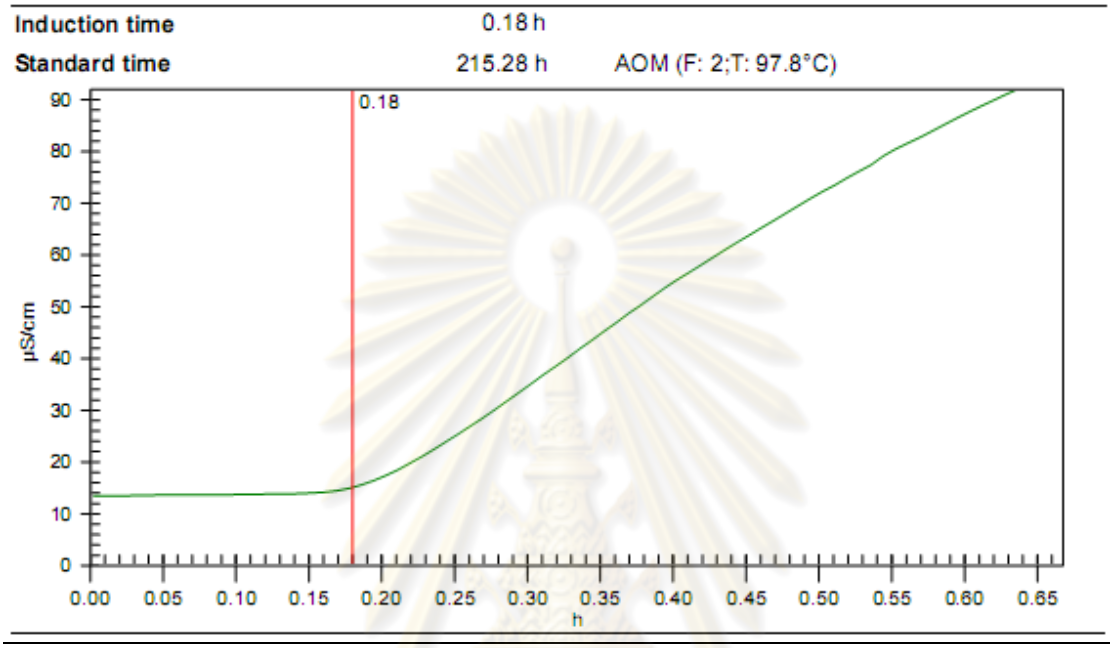
Palm Stearin , Type of Antioxidant: Aliphatic ester250 ppm 200°C



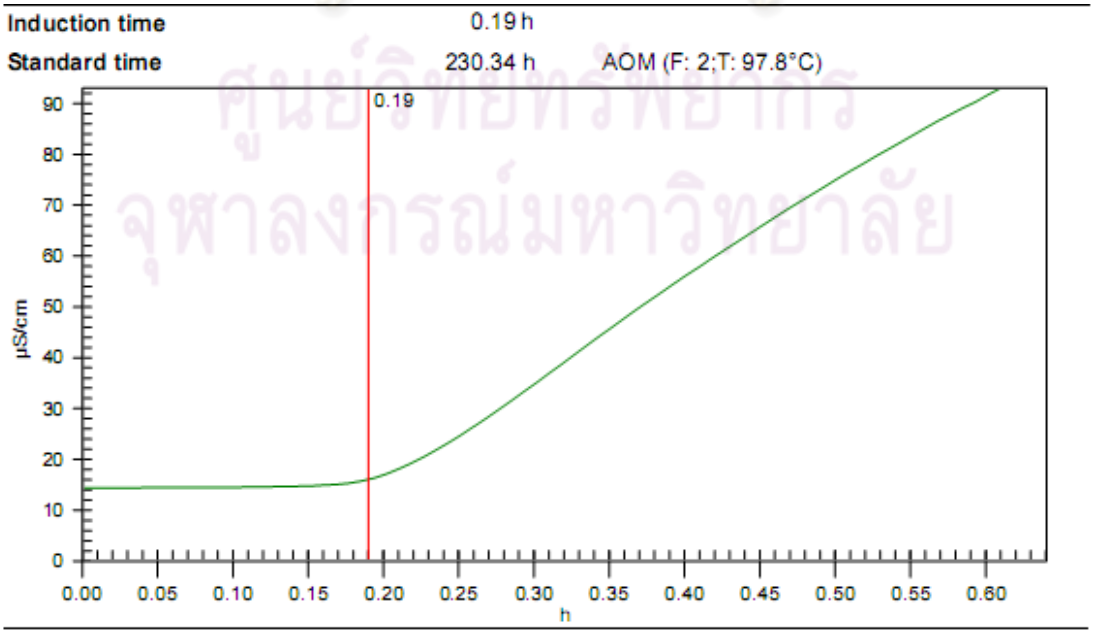
Palm Stearin , Type of Antioxidant: Aliphatic ester 500ppm 200°C



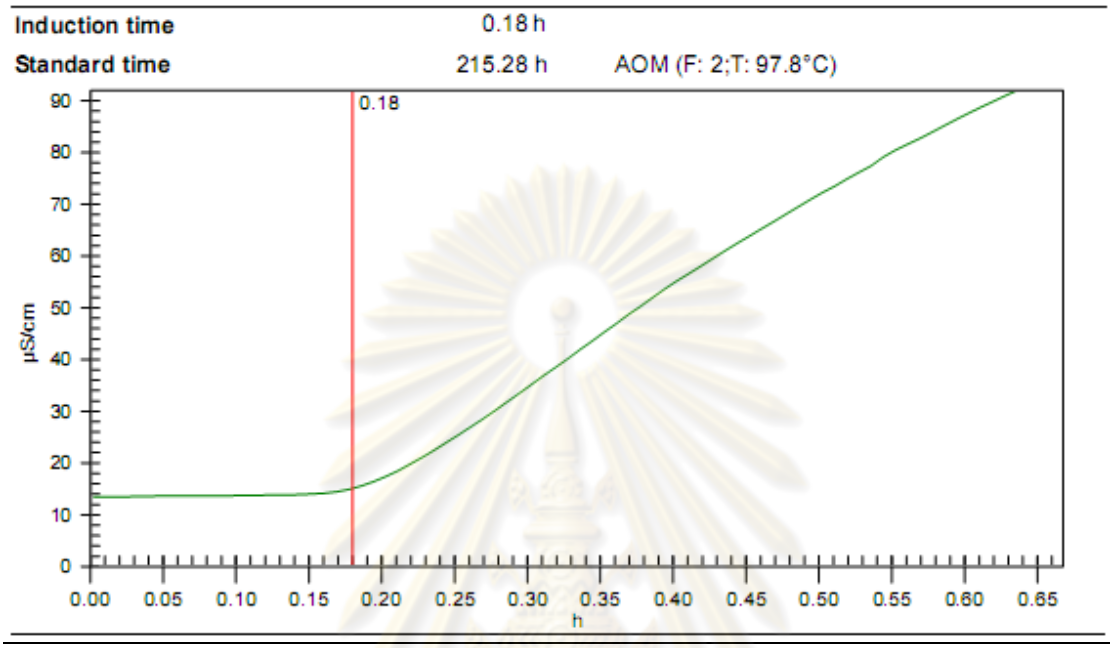
Refinery palm , Type of Antioxidant: Aliphatic ester 50ppm 200°C



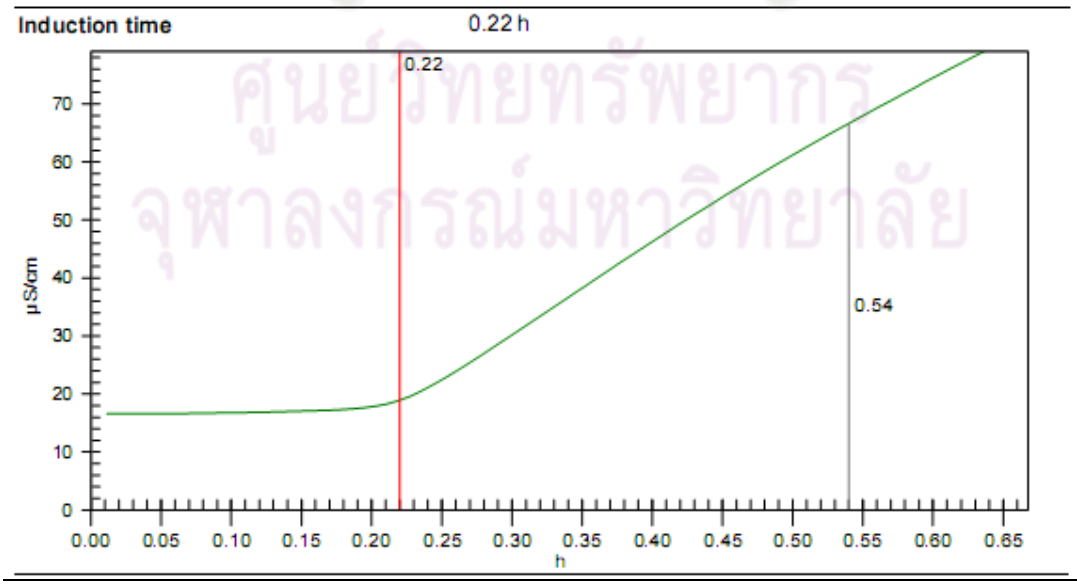
Refinery palm , Type of Antioxidant: Aliphatic ester 100ppm 200°C



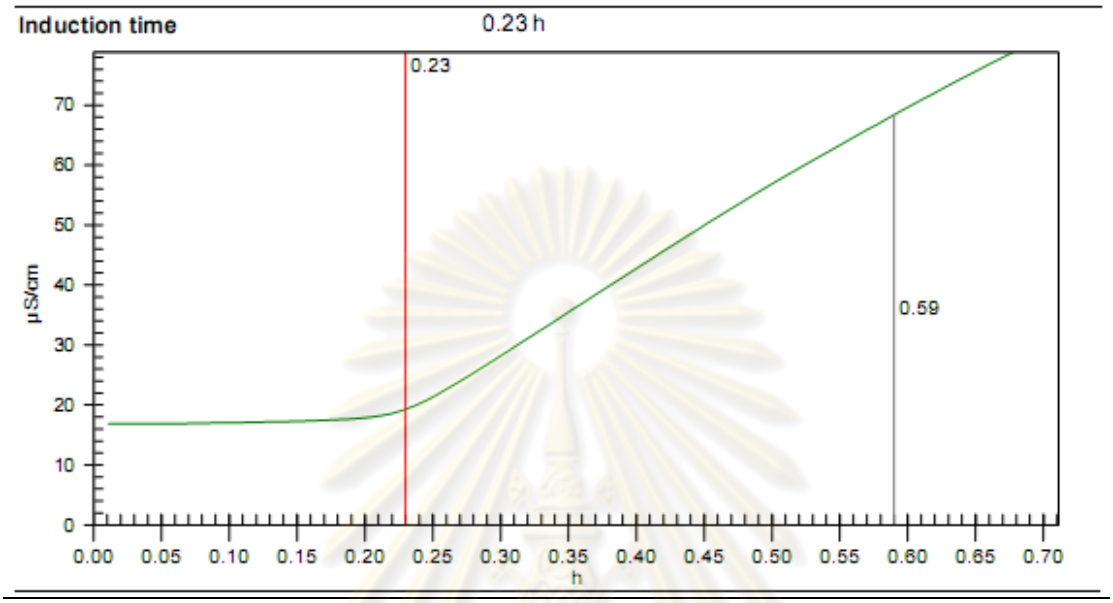
Refinery palm , Type of Antioxidant: Aliphatic ester 250 ppm 200°C



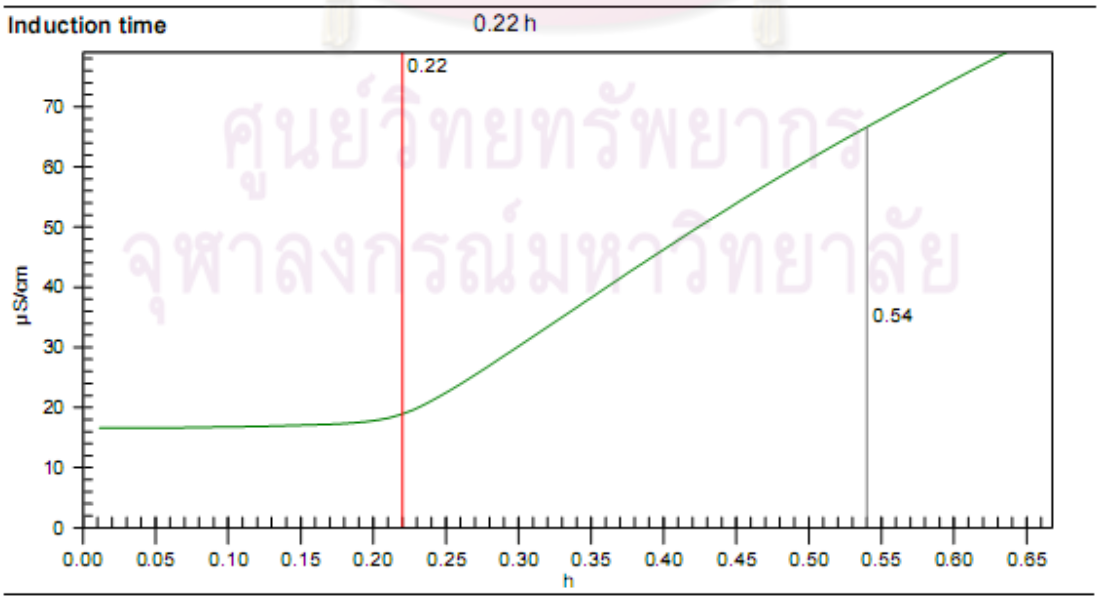
Refinery palm , Type of Antioxidant: Aliphatic ester 500 ppm 200°C



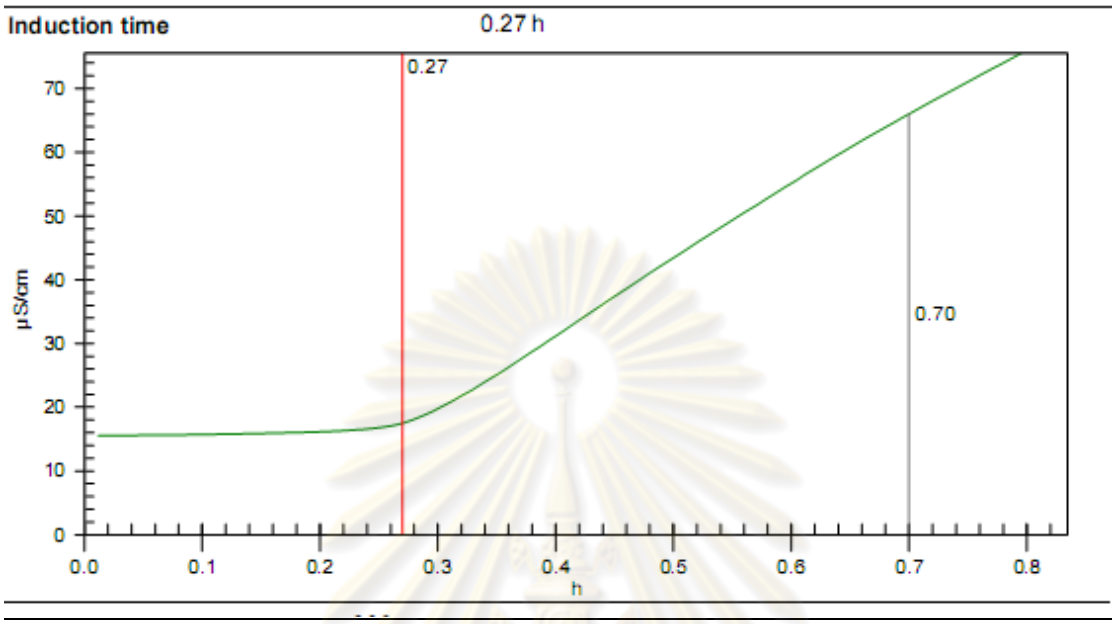
Crude palm Oil , Type of Antioxidant: Phenolic 50ppm 200°C



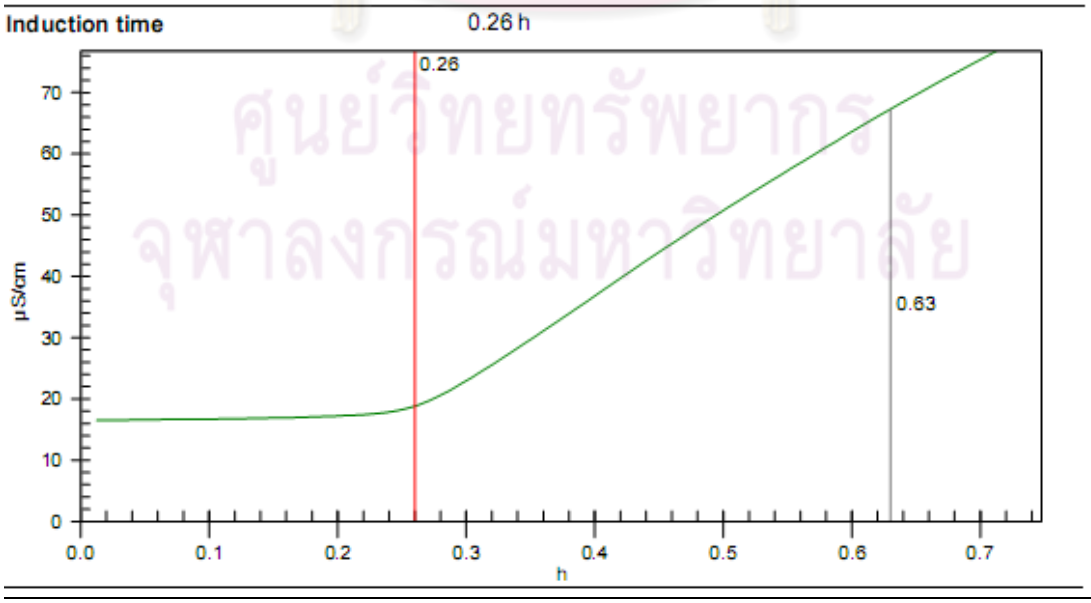
Crude palm Oil , Type of Antioxidant: Phenolic100ppm 200°C



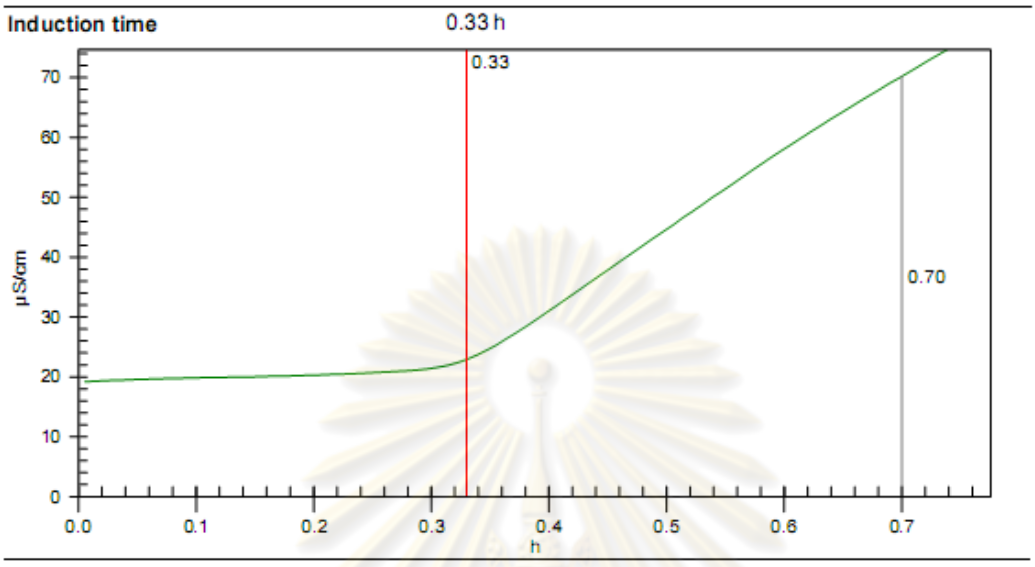
Crude palm Oil , Type of Antioxidant: Phenolic250ppm200°C



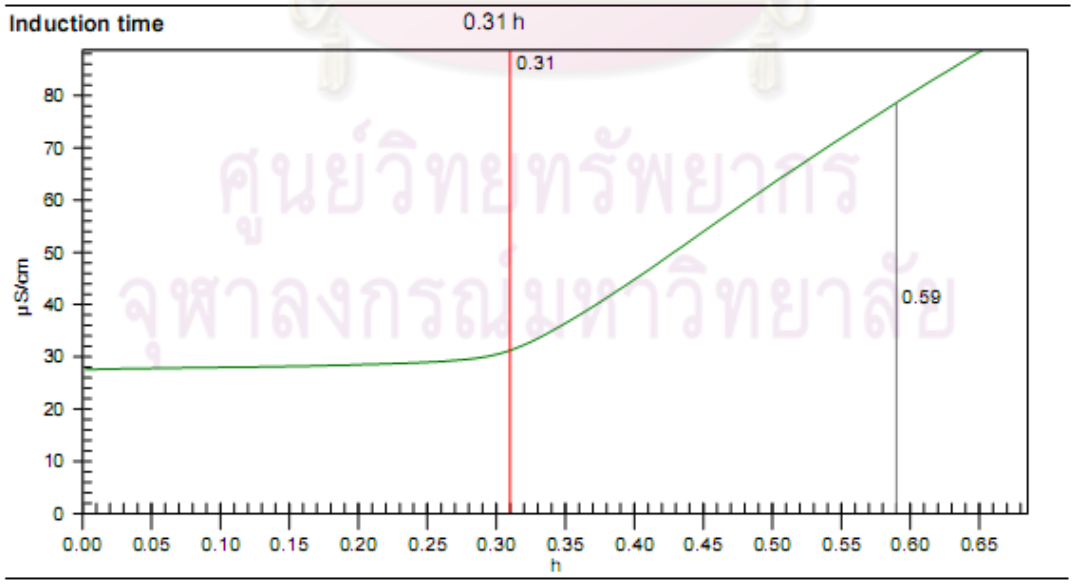
Crude palm Oil , Type of Antioxidant: Phenolic500ppm200°C



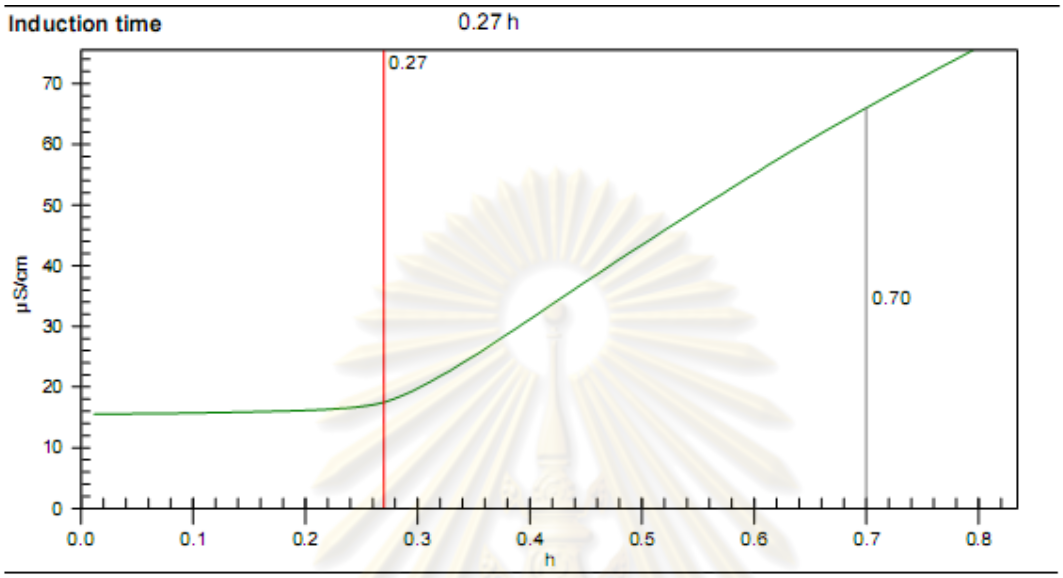
Palm Stearin , Type of Antioxidant: Phenolic50ppm200°C



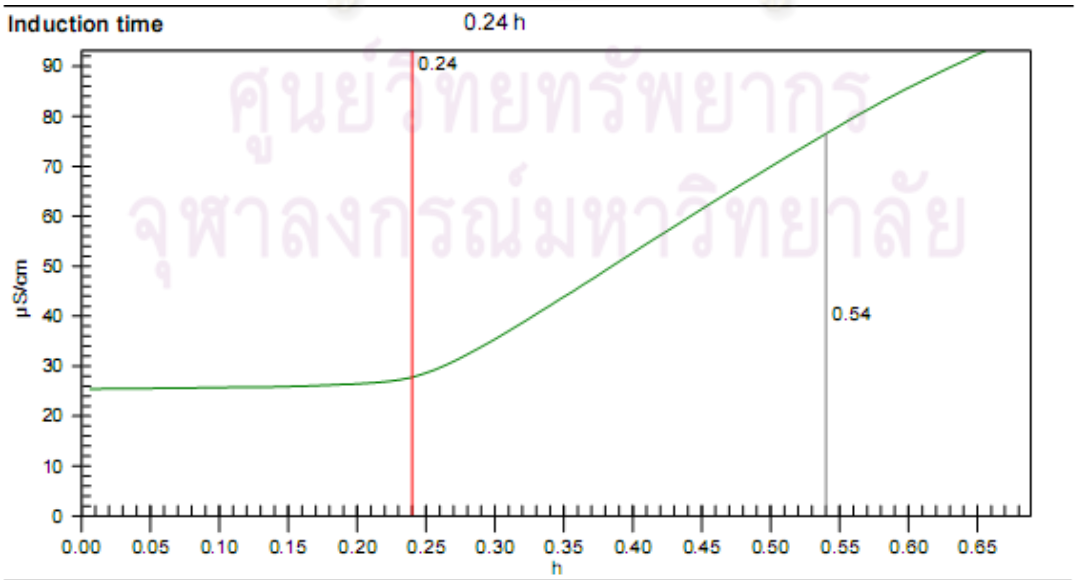
Palm Stearin , Type of Antioxidant: Phenolic 100 ppm 200°C



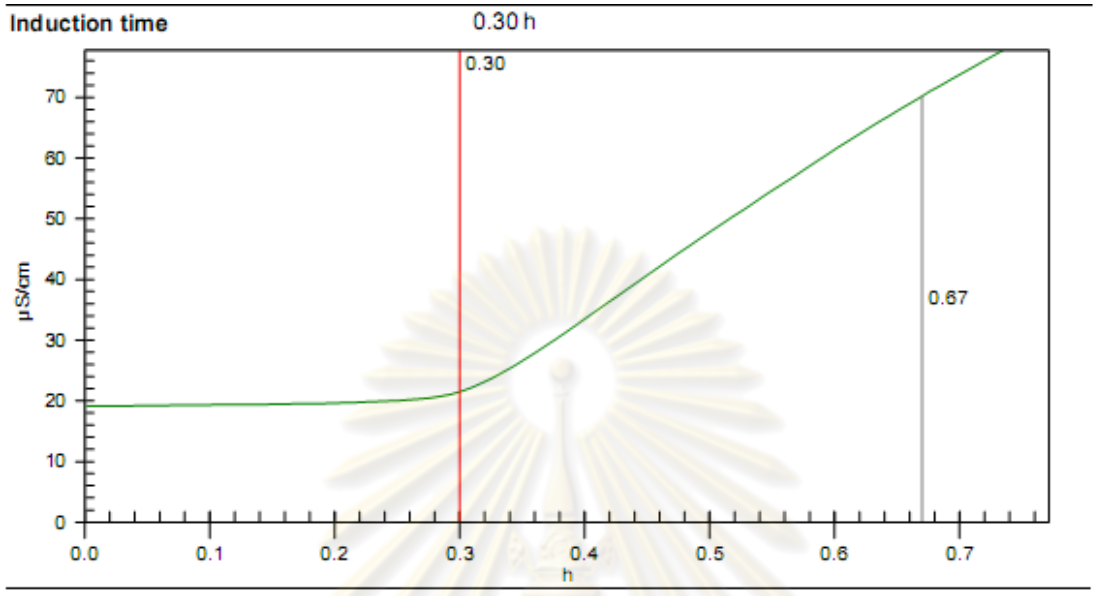
Palm Stearin , Type of Antioxidant: Phenolic 250 ppm 200°C



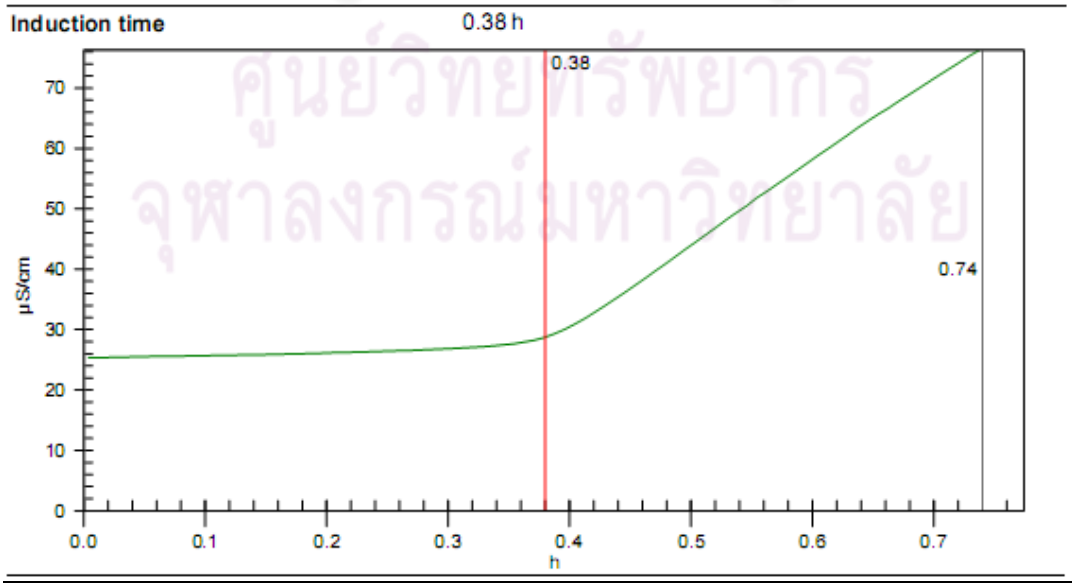
Palm Stearin , Type of Antioxidant: Phenolic 500 ppm 200°C



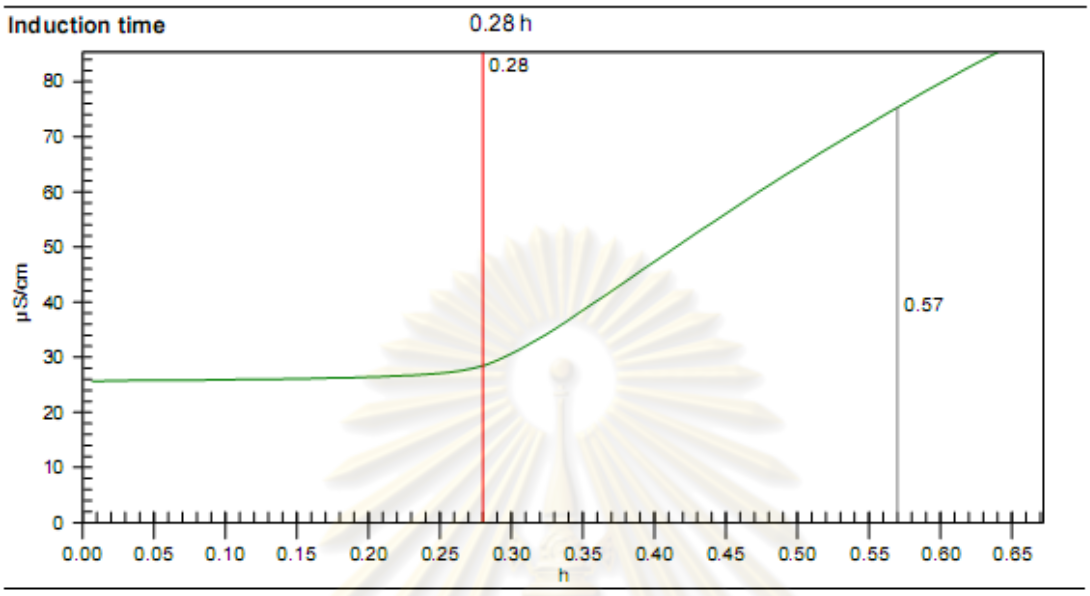
Refinery palm, Type of Antioxidant: Phenolic 50 ppm 200°C



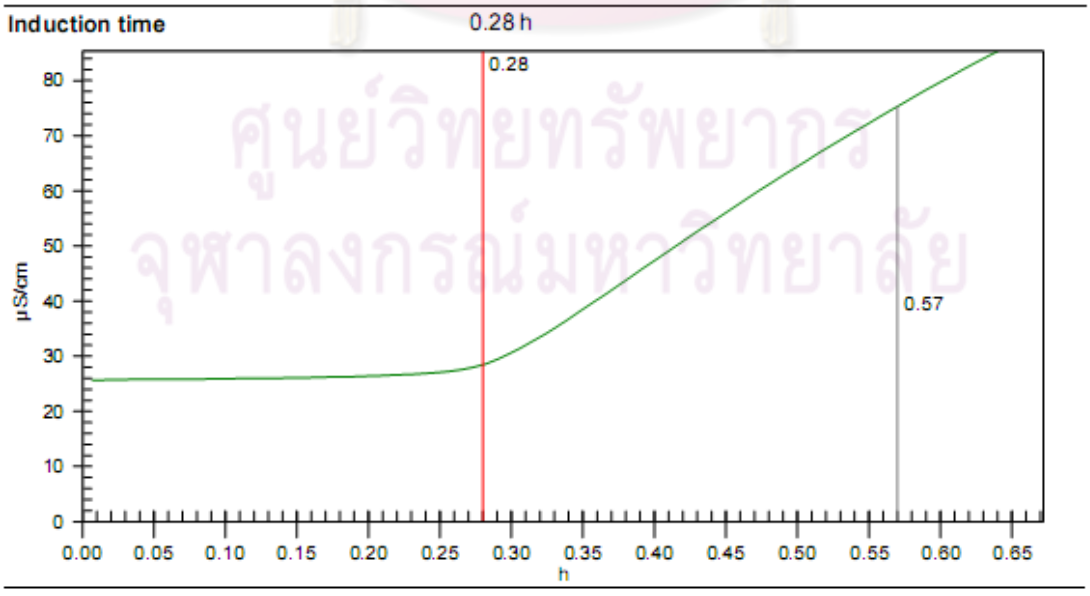
Refinery palm, Type of Antioxidant: Phenolic 100ppm 200°C



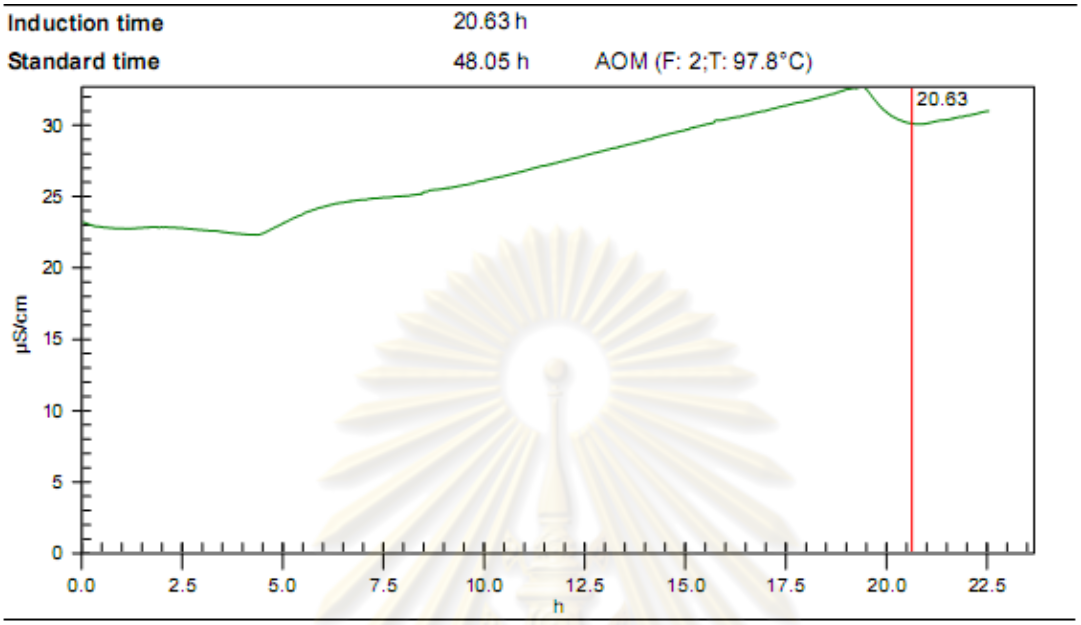
Refinery palm, Type of Antioxidant: Phenolic 250ppm 200°C



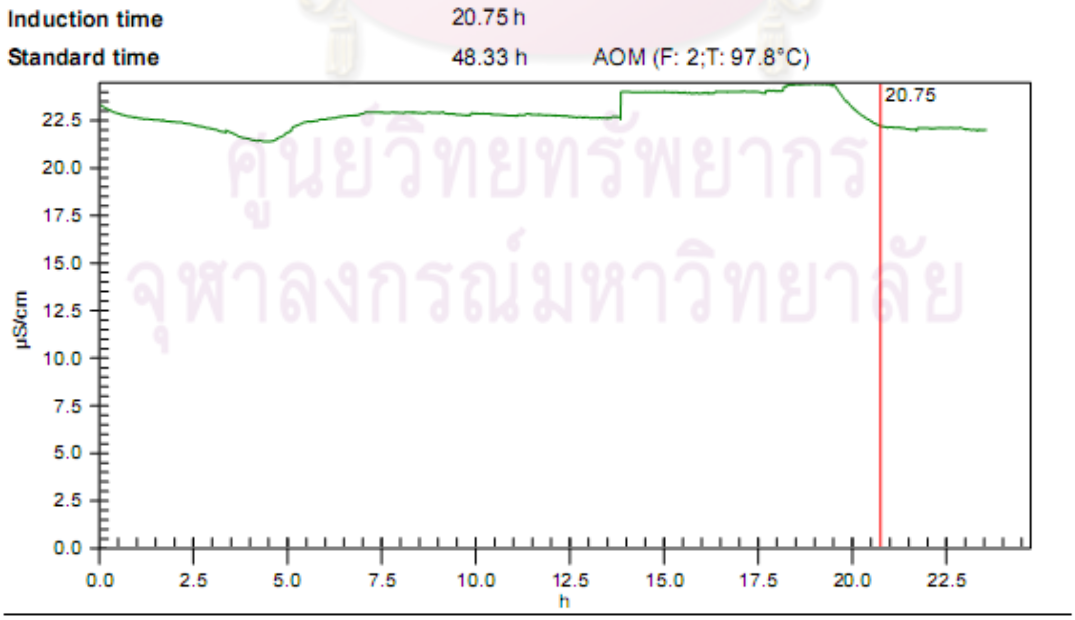
Refinery palm, Type of Antioxidant: Phenolic 500ppm 200°C



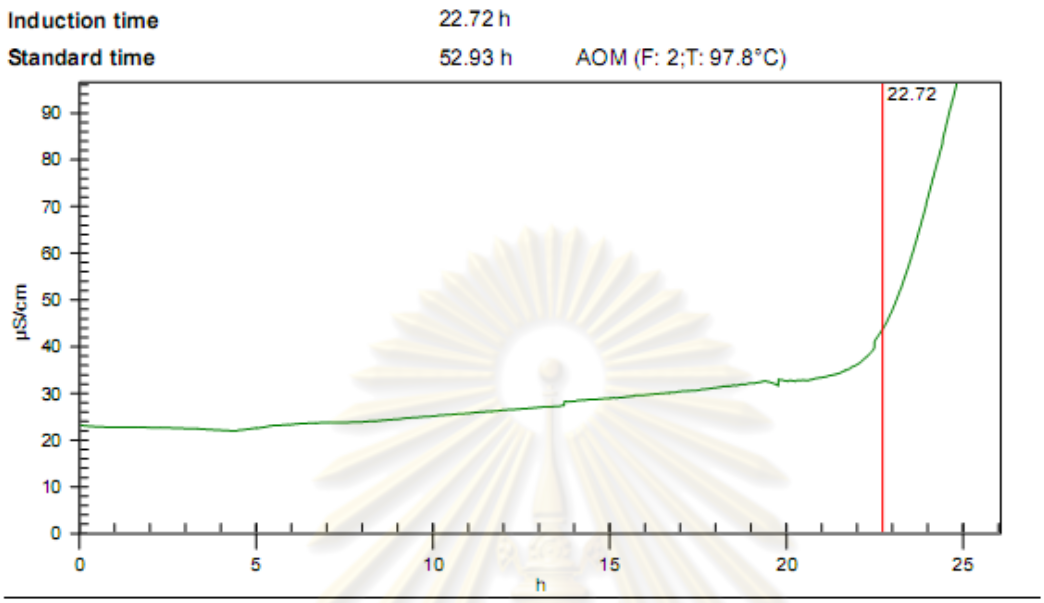
Crude palm Oil at 110°C



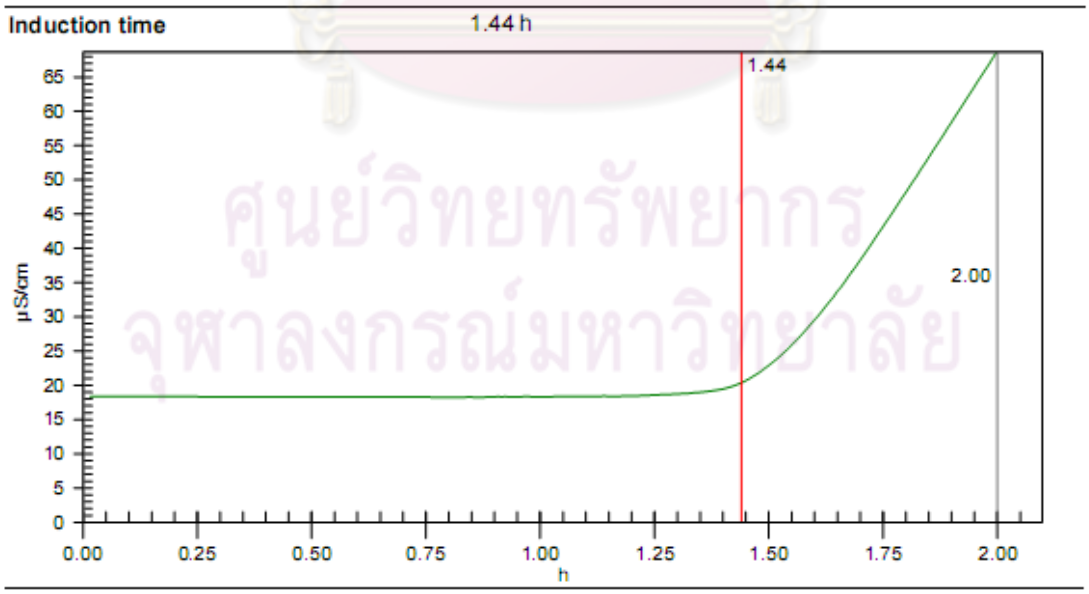
Palm Stearin at 110°C



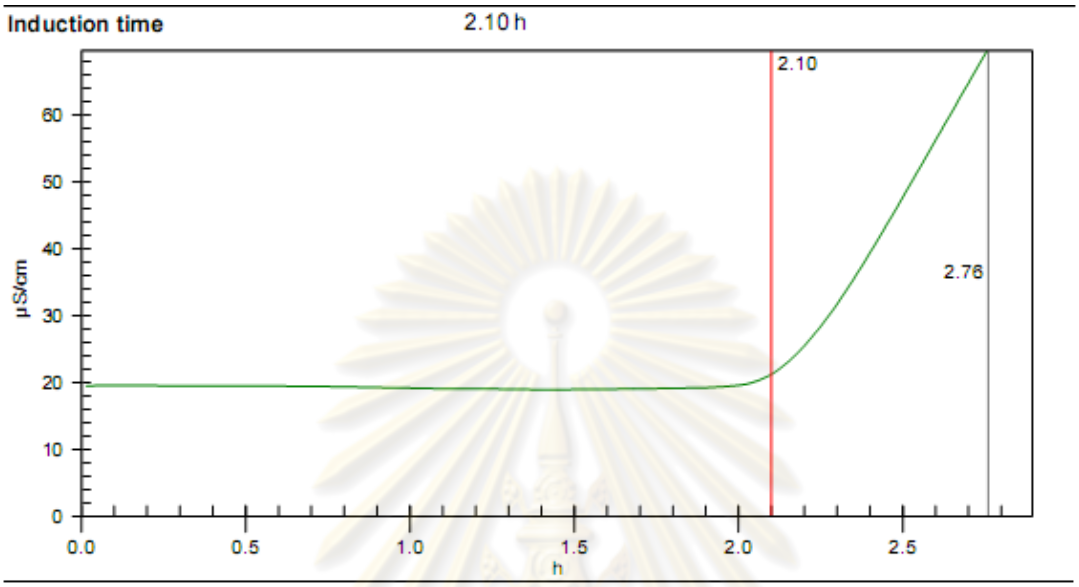
Refinery palm at 110°C



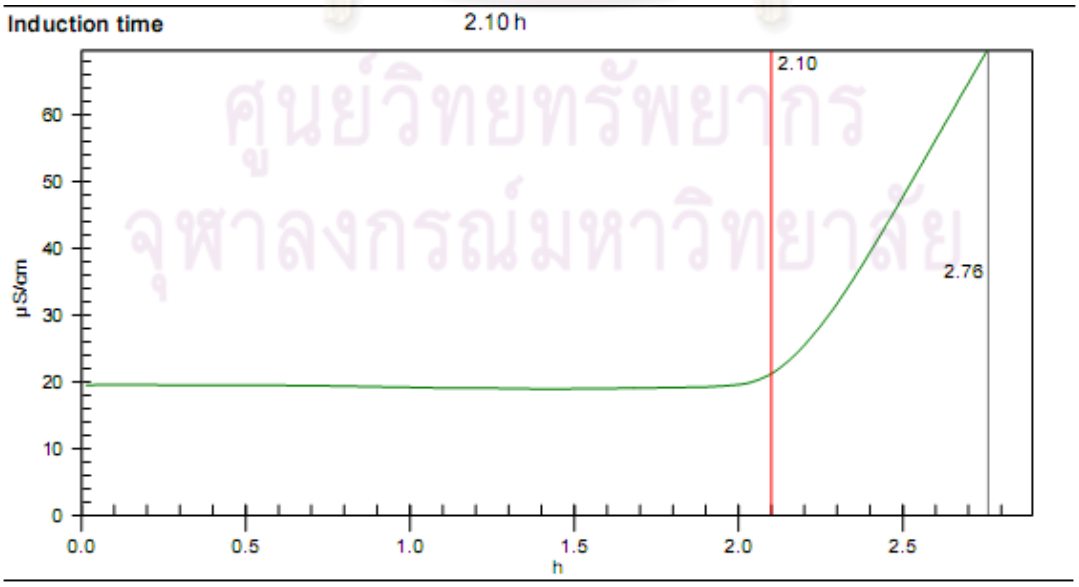
Crude palm Oil at 150°C



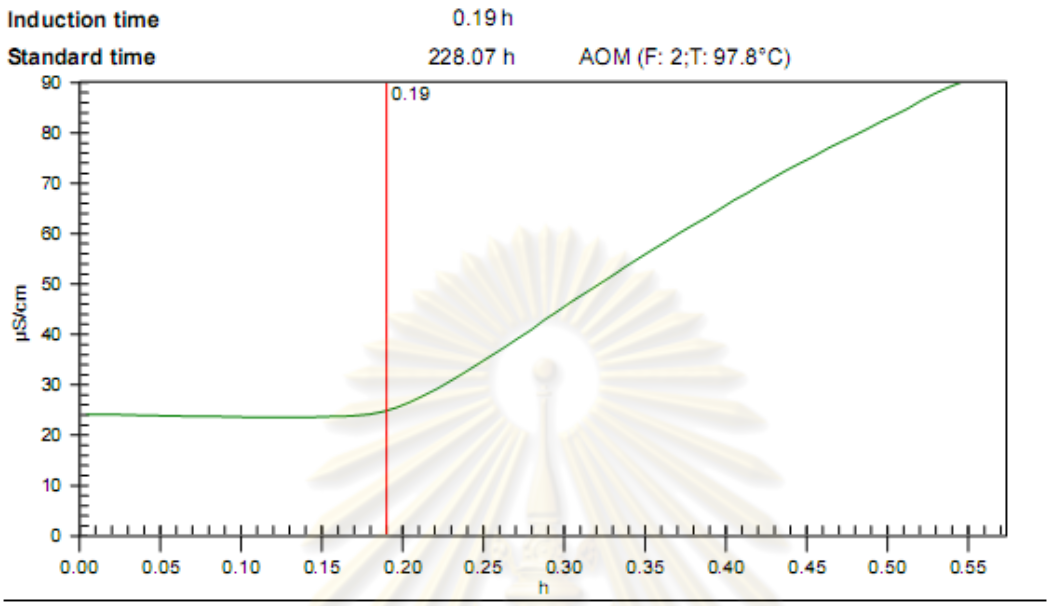
Palm Stearin at 150°C



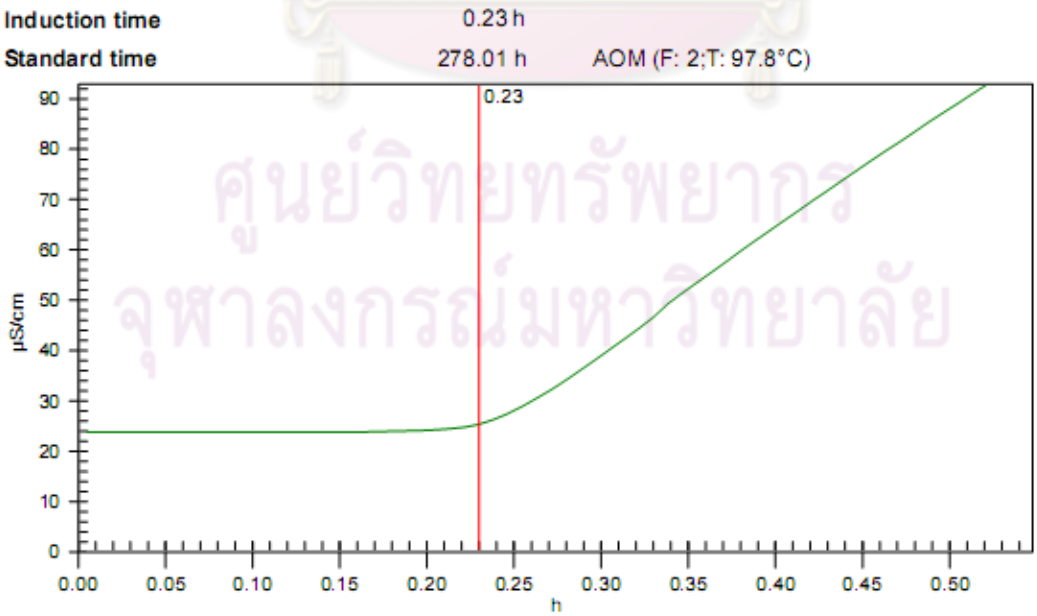
Refinery palm at 150°C



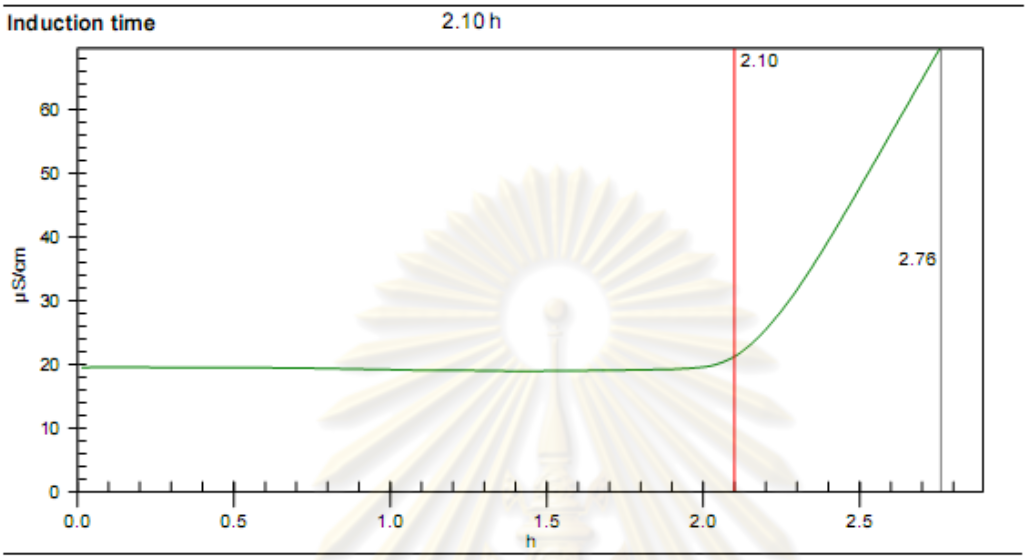
Crude palm Oil at 200°C



Palm Stearin at 200°C



Refinery palm at 200°C



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกาญจนา พงษ์ตระกูล สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สาขาวิชาเคมีสิ่งทอ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล และในปีการศึกษา 2549 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันทำงานที่บริษัท บีเอเอสเอฟ (ไทย) จำกัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย