ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249214

ผลของพหุสารสกัดจากสมุนไพรต่อการเจริญเติบโตของเชื้อสิวและการยับยั้งการสร้างสารก่อการอักเสบของเซลล์ผิวหนังมนุษย์

โดย

ภาสกานต์ เศรษฐนรากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการเภสัชกรรม บัณฑิตวิทยาลัย
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2554

b00253658

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

249214

ผลกระทบจากสภาวะของแสงและระยะเวลาในการเก็บรักษา ต่อคุณสมบัติของน้ำมันที่ผลิตจากขยะพลาสติก

โดย

นางสาวปิยาภรณ์ เศรษฐบรรจง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2554

อภินันทนาการ

The Effect of Light and Storage Time on the Properties of Liquid Fuel Derived from Plastic Waste

By

Miss Piyaporn Settabunjong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Thammasat University
2011

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวปิยาภรณ์ เศรษฐบรรจง

เรื่อง

ผลกระทบจากสภาวะของแสงและระยะเวลาในการเก็บรักษา
ต่อคุณสมบัติของน้ำมันที่ผลิตจากขยะพลาสติก

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ.2554

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____

(อาจารย์ ดร.พรระพีพัฒน์ ภาสบุตร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ _____

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรัตน์ ปัตรประกร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____

(อาจารย์ ดร.ภณิดา ซ้ายขวัญ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____

(อาจารย์ ดร.ศราวุธ ภู่ไพจิตร์กุล)

คณบดี _____

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรุยา วีสกุล)

บทคัดย่อ

249214

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันที่ผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก ที่เก็บรักษาไว้ในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้พลาสติกประเภทพอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำเป็นตัวแทนของขยะพลาสติกในกระบวนการไพโรไลซิสและใช้คาโอลินเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้คิดเป็นผลได้ของน้ำมันโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 71.83 เนื่องจากน้ำมันที่ผลิตได้จะต้องเก็บรวบรวมเพื่อนำไปกลั่นต่อไป ดังนั้นสภาวะที่ใช้เก็บรักษาน้ำมันจึงส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมัน โดยแสงและระยะเวลาเป็นปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาลักษณะภายนอกโดยเบื้องต้นของน้ำมันที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ พบว่า น้ำมันที่เก็บในที่ไม่มีแสงนั้น สีของน้ำมันจะค่อยๆ กลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม มีความข้นมากขึ้น และมีตะกอนเกิดขึ้น ส่วนน้ำมันที่เก็บในที่มีแสงสีจะค่อยๆ เปลี่ยนไปจนสุดท้ายกลายเป็นสีเหลืองเข้ม ในช่วงแรกของการเก็บรักษาน้ำมันจะใสมากขึ้น แต่ในช่วงหลังน้ำมันจะมีความข้นมากขึ้น และน้ำมันที่เก็บในที่มีแสงยังมีตะกอนเกิดขึ้นเล็กน้อย ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีทุกๆ 2 สัปดาห์ ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความร้อน และค่าความหนืดเชิงจลน์ ส่วนคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ และการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) สเปคโทรสโคปี พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นน้ำมันที่เก็บในที่ไม่มีแสงมีค่าความร้อนและค่าความหนืดเชิงจลน์เพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนและค่าเปอร์-ออกไซด์ไม่ค่อยเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่วนการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันไม่พบการเกิดขึ้นของสารใหม่ภายในน้ำมัน สำหรับน้ำมันที่เก็บในที่มีแสงนั้น ค่าความร้อนเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ค่าความหนืดเชิงจลน์มีค่าลดลงจนสัปดาห์ที่ 20 จึงเริ่มมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ค่าไอโอดีนลดลง ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันพบว่ามีสารใหม่เกิดขึ้นภายในน้ำมัน ได้แก่ สารกลุ่มคาร์บอนิล (C=O) กลุ่มไฮดรอกซิล (O-H) และกลุ่มอีเทอร์ (-O-) จากผลการทดลองจึงทำให้ทราบว่าทั้งแสงและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในน้ำมัน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน

Abstract

249214

This study is to investigate changes in properties of liquid fuel produced from plastic waste by pyrolysis process and kept under both daylight and dark conditions. In this study, low density polyethylene (LDPE) was used as a representative of plastic waste for pyrolysis and kaolin was used for catalysis. From the process used in this investigation, the average yield of liquid fuel was 71.83%. Since the liquid fuel produced must be collected to certain amount before it can be sent for distillation, the effects of storage conditions on quality of oil are important issues. Daylight and storage time were the factors investigated in this study. The appearance of oil was observed throughout 24 weeks. The color of the oil kept out of light gradually changed to dark brown and became more viscous with noticeable deposits. The oil kept and exposed to light, however, became clearer than its early stage and then became more viscous with a small amount of deposits. The color gradually changed to dark yellow. Apart from visual observation, physical and chemical properties of the oil were measured at every two weeks. The physical properties investigated were the heating (or calorific) value and kinematic viscosity whereas the chemical properties studied were the iodine value, peroxide value and the analysis of molecular structure of oil using Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy. The oil kept under dark showed an increase with time of heating value and kinematic viscosity. However, insignificant changes of iodine and peroxide values were observed and from the analysis of molecular structure no other substances were found. The oil kept under daylight, on the other hand, showed changes in different patterns. Heating value slightly changed. Iodine value decreased but peroxide value increased rapidly. Regarding kinematic viscosity, a decrease was observed until a storage time of 20 weeks then an increase was seen. From the analysis of molecular structure of oil, the other substances were observed in the oil such as carbonyl group (C=O), hydroxyl group (O-H) and ether group (-O-). From the results, daylight and storage time affect the oxidation and repolymerization reactions in oil that could cause the changes of the oil qualities.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรัตน์ ปัตรประกร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นที่ปรึกษาคอยให้คำแนะนำต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการทำงานวิจัยนี้ อีกทั้งยังให้การอบรมสั่งสอนผู้เขียนในทุกด้านมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.พรระพีพัฒน์ ภาสบุตร แห่งภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อาจารย์ ดร.ภณิดา ช้ายขวัญ แห่งภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และอาจารย์ ดร.ศราวุธ ภู่ไพจิตร์กุล แห่งภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้สละเวลาร่วมรับฟังการนำเสนอผลงานวิจัยและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณจิตตรา ดอกบัว คุณกิตติ เมธาวงศ์ คุณสากล ม่วงเขียว คุณสมศักดิ์ หิริรักษ์ดำรง และคุณไพรัตน์ รักพืช แห่งภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์การทดลองและการใช้ห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ศราวุธ ภู่ไพจิตร์กุล ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโทรมิเตอร์ (Fourier transform infrared (FT-IR) spectrometer) ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำและให้กำลังใจมาโดยตลอด

จึงขอกล่าวนามและแสดงความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

นางสาวปิยาภรณ์ เศรษฐบรรจง

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2554

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... (1)

กิตติกรรมประกาศ ..... (3)

สารบัญตาราง ..... (8)

สารบัญภาพประกอบ ..... (9)

บทที่

1. บทนำ 1-6

    1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
    1.2 วัตถุประสงค์ 4
    1.3 ขอบเขตการศึกษา 5
    1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 5

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7-24

    2.1 ความหมายของพลาสติก 7
    2.2 ประเภทของพลาสติก 7
    2.3 เทคโนโลยีการรีไซเคิลพลาสติก 8
    2.4 องค์ประกอบทั่วไปของเทคโนโลยีเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงาน 9
    2.5 คำนิยามของไพโรไลซิส 12
    2.6 ตัวแปรที่มีผลกระทบถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้ 13
    2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการ 14
    2.8 น้ำมันที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน 15

สารบัญ (ต่อ)

2.9 ปัญหาด้านคุณภาพของน้ำมันที่ได้..... 15

2.10 ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมัน..... 17

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 22

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย..... 25-31

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย..... 25

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำมัน..... 25

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมัน..... 26

3.4 วิธีการวิจัย..... 29

3.4.1 การผลิตน้ำมัน..... 29

3.4.2 การเก็บน้ำมัน..... 30

3.4.3 ลักษณะภายนอกโดยเบื้องต้นของน้ำมัน..... 30

3.4.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของน้ำมัน..... 30

3.4.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของน้ำมัน..... 31

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล..... 32-46

4.1 ปริมาณของน้ำมันที่ผลิตได้จากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก..... 32

4.2 ลักษณะภายนอกโดยเบื้องต้นของน้ำมันที่ผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก..... 32

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของน้ำมันที่ผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก..... 34

4.3.1 ค่าไอโอดีน..... 34

4.3.2 ค่าเปอร์ออกไซด์..... 35

4.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมัน..... 36

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของน้ำมันที่ผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก..... 41

สารบัญ (ต่อ)

4.4.1 ค่าความร้อน..... 41

4.4.2 ค่าความหนืดเชิงจลน์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส..... 43

4.4.3 สี ความข้น และการเกิดตะกอน..... 46

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 47-49

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 47

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 49

รายการอ้างอิง..... 50-56

ภาคผนวก..... 57-88

ภาคผนวก ก วิธีการวิจัย..... 58-68

ก.1 การผลิตน้ำมัน..... 58

ก.1.1 ขั้นตอนการเตรียมสารตั้งต้น..... 58

ก.1.2 ขั้นตอนการเตรียมก๊าซไนโตรเจน..... 58

ก.1.3 ขั้นตอนการไพโรไลซิส..... 58

ก.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของน้ำมัน..... 61

ก.2.1 ค่าความร้อน (Heating/Calorific Value)..... 61

ก.2.2 ค่าความหนืดเชิงจลน์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
(Kinematics Viscosity at 40°C)..... 62

ก.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของน้ำมัน..... 64

ก.3.1 ค่าไอโอดีน (Iodine Value)..... 64

ก.3.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)..... 66

ก.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมัน..... 68

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบ และตัวอย่างวิธีการคำนวณ 69-88

ข.1 ปริมาณของน้ำมันที่ผลิตได้จากกระบวนการไพโรไลซิส
ขยะพลาสติก..... 69

ข.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของน้ำมันที่ผลิตจาก
กระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก..... 72

ข.2.1 ค่าไอโอดีน (Iodine Value)..... 72

ข.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)..... 79

ข.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของน้ำมันที่ผลิตจาก
กระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก..... 84

ข.3.1 ค่าความร้อน (Heating/Calorific Value)..... 84

ข.3.2 ค่าความหนืดเชิงจลน์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
(Kinematics Viscosity at 40°C)..... 87

ประวัติการศึกษา..... 89

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของน้ำมันที่เก็บไว้ในสภาวะที่ไม่มีแสงและมีแสง	33
4.2	วิเคราะห์การดูดกลืนสัญญาณอินฟราเรดที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำมันที่นำมาทำการทดสอบ	41
ก.1	ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้เมื่อค่าคาดคะเนของค่าไอโอดีนเป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่น้อยกว่า 1.5 ถึง 200	66
ก.2	น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เมื่อค่าคาดคะเนของค่าเปอร์ออกไซด์เป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 90	68
ข.1	ผลได้ของน้ำมัน (%Yield) ที่ผลิตได้จากกระบวนการไพโรไลซิสถุงเย็น (LDPE)	69
ข.2	ผลจากการทดสอบหาค่าไอโอดีน (Iodine Value) ของ Blank	73
ข.3	ข้อมูลจากการทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน (Iodine Value) ของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงในระยะเวลาต่าง ๆ	74
ข.4	ผลการวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน (Iodine Value) ของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงในระยะเวลาต่าง ๆ	76
ข.5	ผลจากการทดสอบหาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) ของ Blank	79
ข.6	ข้อมูลจากการทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) ของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงในระยะเวลาต่าง ๆ	80
ข.7	ผลการวิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) ของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงในระยะเวลาต่าง ๆ	82
ข.8	ผลการวิเคราะห์หาค่าความร้อน (Heating/Calorific Value) ของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงในระยะเวลาต่าง ๆ	85
ข.9	ผลการวิเคราะห์หาค่าความหนืดเชิงจลน์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (Kinematics Viscosity at 40°C) ของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงในระยะเวลาต่าง ๆ	87

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1.1	เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลาสติกต่อคนของประเทศต่าง ๆ	2
1.2	ปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนได้ของกรุงเทพมหานครระหว่างปี พ.ศ. 2544 – 2551	2
1.3	สัดส่วนของวิธีการต่างๆ ที่ใช้กำจัดขยะ.....	3
1.4	วงจรของปิโตรเลียม – ผลิตภัณฑ์พลาสติก – ขยะพลาสติก.....	3
2.1	องค์ประกอบเชิงโครงสร้างโดยทั่วไปของเทคโนโลยีเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน..	10
2.2	ขั้นตอนการเสื่อมสภาพของน้ำมันผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน	18
2.3	แสงอินฟราเรดส่องผ่านตัวอย่างและตกสู่ตัวตรวจวัดสัญญาณ.....	22
3.1	เครื่องปฏิกรณ์แบบไพโรไลซิส	27
3.2	ชุดควบแน่น.....	28
3.3	เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโทรสโคปี ยี่ห้อ Vertex 70 รุ่น Bruker.....	28
3.4	เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ แบบ ISOPERIBOL ยี่ห้อ PARR รุ่น 1261	28
3.5	เครื่องวัดความหนืดแบบ Calibrated Viscometer ยี่ห้อ Cannon-Fenske Routine.	29
4.1	ความเปลี่ยนแปลงของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงเป็นระยะเวลา 3 และ 6 เดือน	33
4.2	การเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีนของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงในระยะเวลาต่าง ๆ.....	35
4.3	การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงในระยะเวลาต่าง ๆ.....	36
4.4	อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันที่ผลิตได้ใหม่	38
4.5	อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงเป็นระยะเวลา 45 สัปดาห์	39

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่มีแสงเป็นระยะเวลา 45 สัปดาห์ 39

4.7 เปรียบเทียบระหว่างอินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันที่ผลิตได้ใหม่, น้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสง และน้ำมันที่เก็บไว้ในที่มีแสง ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 45 สัปดาห์ 40

4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงในระยะเวลาต่าง ๆ 42

4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดเชิงจลน์ที่อุณหภูมิ 40°C ของน้ำมันที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงและที่มีแสงในระยะเวลาต่าง ๆ 45

ก.1 หน้าจอแสดงผลของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 60

ก.2 ตำแหน่ง A, B, C, D และ E บน Viscometer 63