การนำกลับมาซึ่งน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและแวกซ์จากแวกซ์ดิสทิลเลตโดยกระบวนการสเวตติง

นายสุริยัน หวังอุดม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0342-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19922607 24 ก.ย. 2546

RECOVERY OF LUBE BASE OIL AND WAX FROM WAX DISTILLATE BY THE SWEATING PROCESS

Mr. Suriyun Whungudcm

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

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0342-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำกลับมาซึ่งน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและแวกซ์จากแวกซ์ดิสทิลเลตโดยกระบวนการสเวตติง
โดย	นายสุริยัน หวังอุดม
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายนฤพนธ์ มัญมณี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจนัจที)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นายนฤพนธ์ มัญมณี)

..... กรรมการ
(อาจารย์ดร. สุพจน์ พัฒนะศรี)

สุริยัน หวังอุดม : การนำกลับมาซึ่งน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและแวกซ์จากแวกซ์ดิสทิลเลต โดยกระบวนการสเวตติง (RECOVERY OF LUBE BASE OIL AND WAX FROM WAX DISTILLATE BY THE SWEATING PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. อุรา ปานเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นายนฤพนธ์ มัญมณี,157 หน้า. ISBN 974-13-0342-4

งานวิจัยนี้ศึกษาการแยกน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและแวกซ์ออกจากแวกซ์ดิสทิลเลตโดยกระบวนการสเวตติง ซึ่งแวกซ์ดิสทิลเลตเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน แวกซ์ดิสทิลเลตที่ได้มีปริมาณน้ำมันปนอยู่สูงกว่าค่าที่ตลาดต้องการ ดังนั้นจึงต้องทำการแยกน้ำมันออก จากการศึกษาพบว่าต้องทำการสเวตถึงสองครั้งในแต่ละสารตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่ปนอยู่ในแวกซ์ตามต้องการ โดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ช่วงอุณหภูมิที่ใช้สเวต เวลาที่ใช้สเวต และอัตราการให้ความร้อน ช่วงอุณหภูมิที่ใช้สเวตมีผลต่อการแยกน้ำมันจากแวกซ์ดิสทิลเลตมากที่สุดคือ ถ้าใช้อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมทำให้การสเวตเกิดขึ้นได้ไม่ดี ส่งผลต่อผลผลิตร้อยละของแวกซ์ สำหรับแวกซ์ดิสทิลเลตเกรด 60 N ช่วงอุณหภูมิที่ใช้สเวตครั้งที่ 1 คือ 30-48 องศาเซลเซียส และ 36-48 องศาเซลเซียสสำหรับการสเวตครั้งที่ 2 สำหรับแวกซ์ดิสทิลเลตเกรด 150 N ช่วงอุณหภูมิที่ใช้สเวตครั้งที่ 1 คือ 34-53 องศาเซลเซียส และ 40-53 องศาเซลเซียสสำหรับการสเวตครั้งที่ 2 รองลงมาคือเวลาที่ใช้สเวต ถ้าใช้เวลามากไปทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก จากการทดลองเวลาที่เหมาะสมในการสเวตครั้งที่ 1 คือ 12 ชั่วโมง และการสเวตครั้งที่ 2 คือ 12 ชั่วโมง ทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เหลืออยู่ในแวกซ์เท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์ และ0.60 เปอร์เซ็นต์สำหรับแวกซ์ดิสทิลเลตเกรด 60N และ150N ตามลำดับ ซึ่งมีคุณภาพดีกว่าที่ตลาดต้องการ ซึ่งค่ามาตรฐานกำหนดไว้ที่ 1.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแวกซ์ดิสทิลเลตเกรด 500N และ 150BS พบว่าไม่สามารถแยกน้ำมันออกจากแวกซ์ได้ด้วยกระบวนการนี้ ในส่วนของอัตราการให้ความร้อนก็เป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่ง ที่อัตราการให้ความร้อนต่ำจะให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์สุดท้ายสูง

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4071501921 :MAJOR Chemical Engineering

KEY WORD: WAX DISTILLATE / SWEATING PROCESS

SURIYUN WHUNGUDOM : RECOVERY OF LUBE BASE OIL AND WAX FROM WAX DISTILLATE BY THE SWEATING PROCESS.THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF URA PANCHAROEN ,D.Eng.Sc.,THESIS COADVISOR : NARUPONT MANMANEE ,157 pp. ISBN 974-13-0342-4

This thesis studied the recovery of lube base oil and wax from wax distillate by sweating process.Wax distillate is by-product of lube base oil distillation. Its oil content is higher than that of market requirement. Thus oil needs to be separated. According to this study, each sample needs to be sweated twice. In order to obtain the satisfactory percentage of oil content. The parameter considered in the study comprises sweating temperature interval, sweating time and heating rate. Sweating temperature interval affects the most on separating oil from wax distillate. Inappropriate temperature led to poor sweat, then affected to percent yield of wax. Moreover, for wax distillate 60N in the first sweating temperature interval is 30-48 $^{\circ}$C and second sweating is 36-48 $^{\circ}$C. For wax distillate 150N in the first sweating temperature interval is 34-53 $^{\circ}$C and the second one is 40-53°C. Sweating time is of minor effect to the process. If spending too much time, will be wasted energy. From the experiment, the appropriate sweating time, for the 1st sweating is 12 hours, and the 2nd sweating, 12 hours. The percentage of oil content in the final wax distillate are 0.68 percent and 0.60 percent for 60N and 150N respectively which yield better product quality than market requirement, the standard value requires 1.0 percent oil content. Wax distillate 500N and 150BS, was found that the oil can not be separated by this process. Finally, heating rate is also was important parameter. Low heating rate yields better final product quantity.

Department Chemical Engineering	Student's signature……
Field of study Chemical Engineering	Advisor's signature……
Academic year 2000	Co-advisor's signature……

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีอย่างสมบูรณ์ โดยได้รับคำแนะนำและการสนับสนุนอย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา คุณนฤพนธ์ มัญมณี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้ให้ข้อเสนอแนะและรายละเอียดต่างๆ ในการรวบรวมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา และต้องขอขอบคุณ คุณสมชัย พัฒนมงคลชัย เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ช่วยในการตรวจวัดคุณสมบัติและค่าต่างๆ รวมทั้งให้คำแนะนำทางด้านเทคนิคต่างๆ ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย สุกาญจนัจที ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.สุพจน์ พัฒนะศรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ผู้ทำวิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ผู้ให้กำเนิดและให้การสนับสนุน อีกทั้งยังให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนในแผนกวิจัยและพัฒนาการดำเนินงาน บริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (มหาชน) ที่ช่วยเหลือข้อมูลทางด้านเอกสาร โดยเฉพาะคุณธัญญารัตน์ ธนะสิงห์ พนักงานในแผนกที่ได้ช่วยจัดพิมพ์และเรียบเรียงเอกสารชุดนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูปภาพ.....ด
สัญลักษณ์.....บ
คำนิยามศัพท์เทคนิค.....ป
บทที่
1. บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....3
1.5 ข้อจำกัดการวิจัย.....3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
1.7 ขั้นตอนการทำวิจัย.....4
2. ทฤษฎี.....5
2.1 ชนิดโครงสร้างและองค์ประกอบของน้ำมันดิบฐานต่างๆ.....5
2.2 ชนิดหรือฐานของน้ำมันดิบ.....5
2.2.1 น้ำมันดิบฐานแอสฟัลต์ (แนพธีน).....5
2.2.2 น้ำมันดิบฐานพาราฟิน.....5
2.2.3 น้ำมันดิบฐานผสม.....6
2.3 สารหล่อลื่น.....6
2.4 น้ำมันหล่อลื่น.....6
2.4.1 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน.....7
2.4.1.1 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากพืชหรือสัตว์.....7
2.4.1.2 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากปิโตรเลียมหรือน้ำมันแร่.....7
2.5 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากปิโตรเลียม.....8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.1 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันดิบฐานพาราฟินิก....8
2.5.2 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันดิบฐานแนพธินิก....9
2.5.3 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันดิบฐานอะโรแมติก....9
2.6 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันสังเคราะห์....10
2.7 กระบวนการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน....11
2.7.1 หน่วยกลั่นสุญญากาศ....11
2.7.2 หน่วยสกัดมลทินด้วยตัวทำละลาย....12
2.7.3 หน่วยแยกไข....12
2.8 ส่วนประกอบของปิโตรเลียม....14
2.9 ปิโตรเลียมแวกซ์....14
2.9.1 ชนิดผลึกของปิโตรเลียมแวกซ์....18
2.9.2 จุดหลอมเหลวและความถ่วงจำเพาะของไฮโดรคาร์บอนแวกซ์....18
2.9.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนคาร์บอนอะตอม น้ำหนักโมเลกุล และ จุดหลอมเหลว....19
2.9.4 การแบ่งแยกปิโตรเลียมแวกซ์ที่กลั่นได้....20
2.10 พาราฟินแวกซ์....21
2.10.1 พาราฟินแวกซ์ชนิดนุ่ม....21
2.10.2 พาราฟินแวกซ์ชนิดกลาง....22
2.10.3 พาราฟินแวกซ์ชนิดแข็ง....23
2.10.4 ผลผลิตของพาราฟินแวกซ์เมื่อทำการกลั่น....23
2.11 แวกซ์ดิสทิลเลต....24
2.11.1 สแลกแวกซ์....25
2.11.2 สเวตแวกซ์....26
2.11.3 รีไฟน์แวกซ์....26
2.11.4 ครูดสเกลแวกซ์....27
2.11.5 เซมิรีไฟน์แวกซ์....28
3. วิธีดำเนินการวิจัย....29
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย....29
3.2 สารตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย....30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....31
3.4 วิธีการทดลอง.....34
3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัดค่าต่างๆ.....41
3.5.1 การหาปริมาณน้ำมันที่อยู่ในแวกซ์.....41
3.5.2 การหาอุณหภูมิที่จุด congealing.....43
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....44
4.1 ผลการทดลองแวกซ์ดิสทิลเลตเกรด 60N.....46
4.2 ผลการทดลองแวกซ์ดิสทิลเลตเกรด 150N.....59
4.3 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรช่วงอุณหภูมิที่ใช้สเวตเกรด 60N และ 150N.....71
4.4 ผลการวิเคราะห์แวกซ์ดิสทิลเลตเกรด 500N.....73
4.5 ผลการทดลองแวกซ์ดิสทิลเลตเกรด 150BS.....73
4.6 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเวลาที่ใช้สเวตเกรด 60N และ 150N.....73
4.7 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรอัตราการให้ความร้อนเกรด 60N และ 150N.....75
4.8 ผลของลักษณะผลึกชนิดและเกรดต่างๆที่ผ่านการส่องด้วยกล้องจุลทัศน์.....77
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....83
5.1 สรุปผลการทดลอง.....83
5.2 ข้อเสนอแนะ.....85
รายการอ้างอิง.....86
ภาคผนวก.....87
ภาคผนวก ก (ข้อมูลอ้างอิง).....87
ภาคผนวก ข (ตัวอย่างการคำนวณ).....91
ภาคผนวก ค (การตรวจวัดค่าต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM).....94
ภาคผนวก ง (ข้อมูลการทดลอง).....106
ภาคผนวก จ (ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานและความคุ้มค่า).....150
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....157

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุล สูตรโมเลกุล (จำนวนของคาร์บอน อะตอม) จุดหลอมเหลวและความถ่วงจำเพาะสำหรับพาราฟินไฮโดรคาร์บอน ชนิดปกติ (Normal paraffin hydrocarbon).....19

2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนคาร์บอนอะตอม น้ำหนักโมเลกุล และ จุดหลอมเหลว.....19

4-1 แสดงการปรับเทียบค่าอุณหภูมิหน้าปัดตู้อบกับอุณหภูมิภายในตู้อบ.....44

ก-1 แสดงคุณสมบัติของแวกซ์เกรดต่าง ๆ จากหน่วยแยกไข.....88

ก-2 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเกรดต่าง ๆ จากหน่วยแยกไข.....89

ก-3 แสดงแฟคเตอร์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนหน่วย (conversion factor).....90

ก-4 แสดงค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของสารต่างๆ.....90

ง-1 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่ 1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 28.50 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 28-44 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 8 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....107

ง-2 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่ 2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 101.70 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 5.46 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 32-44 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 8 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....108

ง-3 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 28.50 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 28-44 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 10 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....109

ง-4 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 117.50 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 3.88 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 32-44 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 10 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง-5 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 28.50 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 34-52 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 6 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 3.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....111

ง-6 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 28.50 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 34-50 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 8 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....112

ง-7 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 31.52 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 30-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 6 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 3.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....113

ง-8 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 68.50 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 3.68 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 36-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 6 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....114

ง-9 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 259.7 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 31.52 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 30-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 8 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.3 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....115

ง-10 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 91.60 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 3.37 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 36-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 8 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....116

ง-11 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 259.2 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 31.52 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 30-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 10 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.8 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง-12 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 110.80 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 1.76 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 36-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 10 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....118

ง-13 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 31.52 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 30-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 12 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....119

ง-14 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 123.70 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 1.49 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 36-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 12 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....120

ง-15 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 31.52 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 30-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 15 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....121

ง-16 แสดงข้อมูลการสเวต 60N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 31.52 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 30-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 18 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....122

ง-17 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 247.70 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 25.20 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 28-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 8 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....123

ง-18 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 108.00 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 5.18 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 32-48 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 8 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....124

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง-19 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 250.50 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 25.20 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 30-50 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 10 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....125

ง-20 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 122.20 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 4.48 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 35-50 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 10 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....126

ง-21 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 249.60 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 25.20 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 28-52 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 12 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....127

ง-22 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 131.30 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 2.18 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 34-52 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 12 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....128

ง-23 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 205.20 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 24.15 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 36-54 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 6 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 3.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....129

ง-24 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 210.00 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 24.15 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 38-54 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 8 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....130

ง-25 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 263.70 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 25.75 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 34-53 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 6 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 3.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....131

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง-26 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 74.30 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 3.24 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 40-53 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 6 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....132

ง-27 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 261.00 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 24.31 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 34-53 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 8 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 2.4 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....133

ง-28 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 99.70 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 2.84 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 40-53 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 8 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....134

ง-29 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 264.80 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 24.31 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 34-53 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 10 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.9 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....135

ง-30 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 119.30 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 1.87 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 40-53 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 10 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.3 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....136

ง-31 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 262.20 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 24.31 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 34-53 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 12 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....137

ง-32 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่2 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 131.80 กรัม ปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์ 1.17 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 40-53 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 12 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.1 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....138

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง-33 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260.00 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 24.31 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 34-53 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 15 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....139

ง-34 แสดงข้อมูลการสเวต 150N แวกซ์ดิสทิลเลตครั้งที่1 ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260.00 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 24.31 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 34-53 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 19 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....140

ง-35 แสดงข้อมูลการสเวต 500N แวกซ์ดิสทิลเลต ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260.00 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 30.45 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 40-55 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 15 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....141

ง-36 แสดงข้อมูลการสเวต 500N แวกซ์ดิสทิลเลต ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260.00 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 30.45 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 55-70 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 15 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....142

ง-37 แสดงข้อมูลการสเวต 150BS แวกซ์ดิสทิลเลต ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260.00 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 31.27 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 40-55 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 15 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....143

ง-38 แสดงข้อมูลการสเวต 150BS แวกซ์ดิสทิลเลต ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260.00 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 31.27 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 55-70 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 15 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....144

ง-39 แสดงข้อมูลการสเวต 150BS แวกซ์ดิสทิลเลต ปริมาณแวกซ์เริ่มต้น 260.00 กรัม ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ 31.27 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการสเวต 70-82 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสเวต 12 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อนประมาณ 1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง.....145

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง-40 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองหา C_p ของฟุตออยล์.....146

ง-41 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองหา C_p ของฮาร์ดแวกซ์.....148

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	แสดงไดอะแกรมของหน่วยกลั่นสุญญากาศ	11
2-2	แสดงไดอะแกรมของหน่วยสกัดมลทินด้วยตัวทำละลาย	12
2-3	แสดงไดอะแกรมของหน่วยแยกไข	13
2-4	แสดงไดอะแกรมการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน	13
2-5	แสดงกระบวนการเพรสและสเวตติง	17
2-6	ผลึกของแวกซ์ชนิดต่างๆ	18
2-7	แสดงลักษณะผลึกของแวกซ์ ชนิดต่างๆ (กำลังขยาย 150 เท่า)	20
3-1	แสดงชิ้นตัวอย่างของแวกซ์ดิสทิลเลตก่อนทำการสเวต เกรด150N	30
3-2	แสดงชิ้นตัวอย่างของแวกซ์ดิสทิลเลตก่อนทำการสเวต เกรด 150BS	31
3-3	แสดงตู้อบ MEMMERT รุ่น UM 100	31
3-4	แสดงชุดควบคุมแผงหน้าปัดของตู้อบ	32
3-5	แสดงรูปร่างและลักษณะภายในของตู้อบ	32
3-6	แสดงชุดถาดรองและตะแกรง	33
3-7	แสดงลักษณะการวางชิ้นตัวอย่างแวกซ์ก่อนเข้าตู้อบ	35
4-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์ เกรด 60N สเวตครั้งที่ 1 ช่วงอุณหภูมิ 28-44 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0 และ 1.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8 และ 10 ชั่วโมง ตามลำดับ	46
4-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์ เกรด 60N สเวตครั้งที่ 2 ช่วงอุณหภูมิ 32-44 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.5 และ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8 และ 10 ชั่วโมง	47
4-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่ 1 ช่วงอุณหภูมิ 28-44 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0 และ 1.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8และ10 ชั่วโมง	48
4-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่ 2 ช่วงอุณหภูมิ 32-44 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.5 และ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8และ10 ชั่วโมง	48
4-5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับอุณหภูมิ สำหรับแวกซ์เกรด 60N ช่วงอุณหภูมิ 34-52 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 3.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6 ชั่วโมง	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับอุณหภูมิ สำหรับแวกซ์เกรด 60 N ช่วงอุณหภูมิ 34-50 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8 ชั่วโมง.....50

4-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด60N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 30-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 3.0,2.3,1.8และ1.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6,8,10และ12 ชั่วโมง ตามลำดับ.....50

4-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด60N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 36-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0,1.5,1.2และ1.0องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6,8,10และ12 ชั่วโมง ตามลำดับ.....51

4-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด60N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 30-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 3.0,2.3,1.8 และ1.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6.8,10และ12 ชั่วโมง ตามลำดับ.....51

4-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด60N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 36-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0,1.5,1.2 และ1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6.8,10 และ12 ชั่วโมง ตามลำดับ.....52

4-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 30-48และ34-52 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6 ชั่วโมง.....53

4-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 30-48และ34-52 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6 ชั่วโมง.....53

4-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 28-44,30-48 และ34-50 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0,2.3และ2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8 ชั่วโมง.....54

4-14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 32-44และ36-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8 ชั่วโมง.....54

4-15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 28-44,30-48และ34-50 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0,2.3 และ2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8 ชั่วโมง.....55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 32-44และ36-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8 ชั่วโมง.....55

4-17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 28-44และ30-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.6และ1.8 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 10 ชั่วโมง.....56

4-18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 32-44และ36-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 10 ชั่วโมง.....56

4-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 28-44และ30-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.6และ1.8 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 10 ชั่วโมง.....57

4-20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 32-44และ36-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 10 ชั่วโมง.....57

4-21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N ช่วงอุณหภูมิ 30-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.2และ1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 15และ18 ชั่วโมงตามลำดับ.....58

4-22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 60N ช่วงอุณหภูมิ30-48 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.2และ1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 15และ18 ชั่วโมงตามลำดับ.....58

4-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 28-48,30-50และ28-52 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.5,2.0และ2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8,10และ12 ชั่วโมงตามลำดับ.....59

4-24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด150N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 32-48,35-50 และ34-52 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0,1.5และ1.5 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8,10และ12 ชั่วโมงตามลำดับ.....59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4-25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับอุณหภูมิ สำหรับแวกซ์เกรด 150N ช่วงอุณหภูมิ 36-54 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 3.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6 ชั่วโมง.....60

4-26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับอุณหภูมิ สำหรับแวกซ์เกรด 150N ช่วงอุณหภูมิ 38-54 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 8 ชั่วโมง.....60

4-27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลาสำหรับแวกซ์ เกรด 150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 34-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.6,1.9,2.4 และ3.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6,8,10และ12 ชั่วโมง ตามลำดับ.....61

4-28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลาสำหรับแวกซ์ เกรด 150N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 40-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.2,1.6,1.3 และ1.1 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6,8,10และ12 ชั่วโมง ตามลำดับ.....62

4-29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 34-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 3.2,2.4,1.9 และ1.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 6,8,10และ12 ชั่วโมง ตามลำดับ.....62

4-30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลาสำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ40-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.2,1.6,1.3 และ1.1 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา6,8,10และ12 ชั่วโมง ตามลำดับ.....63

4-31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์ เกรด 150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 34-53และ36-54 องศาเซลเซียส อัตราการให้ ความร้อน 3.2และ3.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 6 ชั่วโมง.....63

4-32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 34-53และ36-54 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 3.2 และ3.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 6 ชั่วโมง.....64

4-33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์ เกรด 150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 28-48,34-53และ38-54 องศาเซลเซียส อัตรา การให้ความร้อน 2.5,2.4และ2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ตามลำดับ ใช้เวลา 8 ชั่วโมง.....64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4-34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 32-48และ40-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0 และ1.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 8 ชั่วโมง.....65

4-35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 28-48,34-53และ38-54 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.5,2.4 และ2.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 8 ชั่วโมง.....65

4-36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 32-48 และ40-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0และ1.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 8 ชั่วโมง.....66

4-37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 30-50และ34-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0 และ1.9 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 10 ชั่วโมง.....66

4-38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 35-50 และ40-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.5 และ1.3 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 10 ชั่วโมง.....67

4-39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 30-50 และ 34-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0 และ1.9 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 10 ชั่วโมง.....67

4-40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 35-50และ40-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.5 และ1.3 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 10 ชั่วโมง.....68

4-41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 28-52 และ 34-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0 และ1.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 12 ชั่วโมง.....68

4-42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 34-52และ40-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.5และ1.1 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 12 ชั่วโมง.....69

4-43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่1 ช่วงอุณหภูมิ 28-52และ34-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2.0 และ1.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 12 ชั่วโมง.....69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4-44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N สเวตครั้งที่2 ช่วงอุณหภูมิ 34-52และ40-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.5 และ1.1 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงตามลำดับ ใช้เวลา 12 ชั่วโมง.....70

4-45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลือในแวกซ์กับเวลา สำหรับแวกซ์ เกรด 150N ช่วงอุณหภูมิ 34-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.2และ1.0 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ใช้เวลา 15และ19 ชั่วโมงตามลำดับ.....70

4-46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแวกซ์ที่เหลือกับเวลา สำหรับแวกซ์เกรด 150N ช่วงอุณหภูมิ 34-53 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 1.2และ1.0 องศาเซลเซียส ต่อชั่วโมง ใช้เวลา 15และ19 ชั่วโมงตามลำดับ.....71

4-47 แสดงลักษณะโครงสร้างของผลึกพาราฟินแวกซ์.....77

4-48 แสดงลักษณะโครงสร้างของผลึกไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์.....78

4-49 แสดงลักษณะโครงสร้างของผลึกแวกซ์ที่มีน้ำมันปนอยู่ เกรด 60N.....78

4-50 แสดงลักษณะโครงสร้างของผลึกแวกซ์ที่มีน้ำมันปนอยู่ เกรด 150N.....79

4-51 แสดงลักษณะโครงสร้างของผลึกแวกซ์ที่มีน้ำมันปนอยู่ 1.4% เกรด 150N.....79

4-52 แสดงลักษณะโครงสร้างของผลึกแวกซ์ที่มีน้ำมันปนอยู่ เกรด 500N.....80

4-53 แสดงลักษณะโครงสร้างของผลึกแวกซ์ที่มีน้ำมันปนอยู่ เกรด 150BS.....80

4-54 แสดงชิ้นงานตัวอย่างแวกซ์หลังจากสเวตครั้งที่ 1.....81

4-55 แสดงชิ้นงานตัวอย่างแวกซ์หลังจากสเวตครั้งที่ 2.....81

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	
m	มวลของแวกซ์
c_p	ความจุความร้อนจำเพาะ
ΔT	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป
Q	ปริมาณความร้อน
%	เปอร์เซ็นต์
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส
cal	แคลอรี่
Watt	วัตต์
Btu	บีทียู
A	แอมแปร์
V	โวลท์
KWh	กิโลวัตต์ชั่วโมง

คำนิยามของศัพท์เทคนิค

สเวต (Sweat) : การทำให้เหงื่อออกโดยใช้ความร้อนในส่วนของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ การสเวต คือ การให้ความร้อนกับชิ้นงานโดยตู้อบเพื่อให้อนุภาคของน้ำมันที่แทรกตัวอยู่ภายในผ่านออกมา

แวกซ์ (Wax) หรือเรียกว่า ไข : เป็นส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอนอย่างหนึ่งที่ปนอยู่ภายในน้ำมัน ถ้าไม่แยกออกมาจะทำให้น้ำมันจับตัวเป็นก้อนที่อุณหภูมิต่ำ

ดิสทิลเลตออยล์ (Distillate Oil) : น้ำมันที่ได้จากการกลั่นน้ำมันเตาที่หอกลั่นที่ควบคุมความดันให้เป็นสุญญากาศ

ปิโตรเลียมแวกซ์ (Petroleum Wax) : ไขที่ได้จากกระบวนการแยกไขออกจากน้ำมันหนัก

ครูดปิโตรเลียม (Crude Petroleum) : ปิโตรเลียมดิบหรือน้ำมันดิบที่ได้จาการขุดเจาะ

แวกซ์ดิสทิลเลต (Wax Distillate) : ไขที่แยกออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่หน่วยแยกไขจะมีปริมาณน้ำมันปนอยู่ประมาณ 25-30 %

ราฟฟิเนทออยล์ (Raffinate Oil) หรือเรียกว่า พาราฟินดิสทิลเลต (Paraffin Distillate) : น้ำมันที่ได้จากการสกัดอะโรแมติกออกที่หน่วยสกัดด้วยตัวทำละลาย

สแลกแวกซ์ (Slack Wax) : แวกซ์ที่ผ่านการแยกน้ำมันออกแล้ว แต่ยังมีปริมาณน้ำมันปนอยู่ 10-20 เปอร์เซ็นต์

ไฮดรอลิคเพรส (Hydraulic Press) : เครื่องกดระบบไฮดรอลิค

สเวตออยล์ (Sweat Oil) : น้ำมันที่ได้จากการสเวต

สเวตแวกซ์ (Sweat Wax): แวกซ์ที่ได้จากการสเวต

สเกลแวกซ์ (Scale Wax) : แวกซ์ที่ผ่านการแยกน้ำมันออกแล้วยังมีปริมาณน้ำมันเหลืออยู่ 3-4%

ปิโตรลาทัม (Petrolatum) หรือเรียกว่า วาสลิน : ส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอนจำพวกไอโซพาราฟิน และไซโคลพาราฟิน ผลึกจะละเอียดและเหนียว

Congealing Point : เป็นวิธีการวัดค่าตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งเป็นจุดที่สารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นเจล (gel) เริ่มจับตัวเป็นก้อน

ครูดสเกลแวกซ์ (Crude Scale Wax) : แวกซ์ที่มีปริมาณน้ำมันปนอยู่ประมาณ 3.0 เปอร์เซ็นต์

รีไฟน์แวกซ์ (Refined Wax) : แวกซ์ที่มีปริมาณน้ำมันปนอยู่ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์

เซมิรีไฟน์แวกซ์ (Semirefined Wax) หรือเรียกว่า White Crude Scale Wax : ครูดสเกลแวกซ์สีขาว จะมีคุณภาพต่ำกว่า refined wax แต่ดีกว่า crude scale wax มีปริมาณน้ำมันปนอยู่ประมาณ 0.6 ถึง 3.0 เปอร์เซ็นต์

ฮาร์ดแวกซ์ (Hard Wax) : แวกซ์ที่ผ่านการแยกน้ำมันออกแล้ว มีน้ำหนักโมเลกุลและจุดหลอมเหลวสูง ประกอบด้วยจำนวนคาร์บอนอะตอมมากกว่า 20 อะตอม

ซอฟท์แวกซ์(Soft Wax) : แวกซ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล และจุดหลอมเหลวต่ำ มีจำนวนคาร์บอนอะตอมน้อยกว่า 20 อะตอม

ฟุตออยล์(Foot Oil) : ซอฟท์แวกซ์ที่มีน้ำมันปนอยู่

ฟิลเตอร์เพรส(Filter Press) : เป็นการแยกน้ำมันออกจากแวกซ์โดยกดด้วยเครื่องไฮดรอลิคซึ่งแวกซ์จะถูกห่อด้วยผ้ากรอง