การแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยกระบวนการสกัดแบบของเหลว-ของเหลว

นายโชคชัย สุทธิปรีชา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-633-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18760710

WATER REMOVAL FROM BASE LUBRICATING OIL BY LIQUID-LIQUID EXTRACTION

Mr.Chokchai Sutthipreecha

A Thesis Submitted in Partial Fulfiment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN 974-584-633-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยกระบวนการสกัดแบบของเหลว-ของเหลว
โดย	นายโชคชัย สุทธิปรีชา
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชระภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นางรัตนาวลี อินโอชานนท์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย กาญจนัจที)

..... กรรมการ
(ดร.สุพจน์ พัฒนะศรี)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

โชคชัย สุทธิปรีชา : การแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยกระบวนการสกัดแบบของเหลว-ของเหลว (WATER REMOVAL FROM BASE LUBRICATING OIL BY LIQUID-LIQUID EXTRACTION) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นางรัตนาวลี อินโอชานนท์, 169 หน้า. ISBN 974-584-633-3

ในการทำวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะแยกน้ำที่แขวนลอยออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยใช้กรรมวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว ศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เปลี่ยนไปจะมีผลต่อระบบอย่างไร อธิบายถึงสมบัติของตัวทำละลายว่าทำหน้าที่อย่างไรในการสกัดเอาน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

อุปกรณ์ที่สำคัญในการทำวิจัยคือ หอสกัดแยกของเหลวด้วยของเหลวโดยอิงหลักการทำงานของระบบ scheibel

จากผลการวิจัยพบว่า สามารถที่จะแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้โดยใช้ตัวทำละลายคือ Polyethylene glycol (PEG) 300 ซึ่งสามารถที่จะลดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจาก 3578 ppm. ให้ลดลงเหลือประมาณ 30 ppm. ที่สภาวะสมดุล จากการวิจัยยังพบว่าอัตราการไหลของตัวทำละลาย, อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีน้ำแขวนลอยอยู่, ความเร็วของมอเตอร์, เวลาที่ใช้ในการสัมผัสกันของสาร ตลอดจนพื้นที่ผิวในการสัมผัสกันของสาร จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันในการดำเนินเข้าสู่สภาวะสมดุลของระบบ กล่าวคือเมื่ออัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมากขึ้น ปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานย่อมสูงขึ้นด้วย แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของตัวทำละลาย, ความเร็วมอเตอร์, และเวลาที่ใช้ในการสัมผัสกันของสารให้สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานลดลงจนกระทั่งระบบปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุล และถึงแม้จะมีการเพิ่มค่าของตัวแปรต่าง ๆ ให้สูงมากขึ้นอีก ก็จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมดุล จากการวิจัยพบว่า สภาวะระบบที่เหมาะสมในการเข้าสู่สมดุลคือ ที่อัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็น 1:2 ที่ความเร็วมอเตอร์ 500 รอบ/นาที

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้พิมพ์เฉพาะเล่มเดียว

C317832: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: BASE OIL / LIQUID-LIQUID EXTRACTION/ SUSPENSION

CHOKCHAI SUTTHIPREECHA:: WATER REMOVAL FROM BASE LUBRICATING OIL BY LIQUID-LIQUID EXTRACTION. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc., THESIS CO-ADVISOR : MRS.RATANAVALEE IN-OCHANON, B.Sc. 169 pp. ISBN 974-584-633-3

Objectives of this analysis are to study how to separate water suspended in base oil by liquid-liquid extraction, to study the effect of various parameters in the extraction process, to explain properties of the solvent and its function in extraction of water from base oil and try to save time and cost in extracting water out of base oil. The most important equipment required for this research is the liquid-liquid extraction column based on standard function of the Scheibel system.

Research results are as follows. Water can be extracted from base oil by using the solvent Polyethylene glycol (PEG) 300 which reduces water volume in base oil from 3678 ppm to 30 ppm (steady state). It was also found that there is a relationship in approaching the steady state of the system among flow rate of the solvent, flow rate of base oil with suspended water, motor speed, and time used for the solvent to contact the water-oil solution as well as surface area. The higher the flow rate of base oil, the higher the volume of water in the base oil. When flow rate of the solvent, motor speed and contact time were increased, water volume in the base oil decreased until the system approached steady state. Various combinations of the above parameters were tested, but there was no effect on the steady state. The research also found that the optimum conditions to achieve the steady state are a ratio of flow rate of solvent to flow rate of base oil of 1:2 and a motor speed of 500 rpm.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคุณรัตนาวลี อินโอชานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของงานวิจัยมาด้วยดีตลอด ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่อการทำวิจัยในครั้งนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ จากส่วนควบคุมคุณภาพ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย และเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การช่วยเหลือสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวทุกท่าน ซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ช
กิตติกรรมประกาศ..... ค
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูป..... ฎ
สัญญลักษณ์ และคำย่อ..... ต

บทที่

1. บทนำ..... 1
   1.1 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย 2
   1.2 ขอบเขตของงานวิจัย 3
   1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย 4

2. วารสารปริทัศน์..... 5
   2.1 น้ำมันปิโตรเลียม..... 5
      2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม..... 5
      2.1.2 ลำดับส่วนปิโตรเลียม..... 6
   2.2 น้ำมันหล่อลื่น..... 11
      2.2.1 การหล่อลื่น..... 11
      2.2.2 การผสมน้ำมันหล่อลื่น..... 12
      2.2.3 ประเภทของน้ำมันหล่อลื่น..... 13
   2.3 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 14
      2.3.1 ความถ่วงจำเพาะ..... 14

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

2.3.2 ความหนืด..... 15
2.3.3 ดรรชนีความหนืด..... 15
2.3.4 จุดไหลเท..... 16
2.3.5 Viscosity- Gravity constant..... 16
2.3.6 สมบัติทนต่อการออกซิไดส์..... 17
2.4 องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 25
2.5 โครงสร้างของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 28
2.5.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์..... 28
2.5.2 น้ำมันแร่..... 28
2.5.3 น้ำมันสังเคราะห์..... 29
2.5.4 โครงสร้างประเภทสารประกอบพาราฟิน..... 30
2.5.5 โครงสร้างประเภทสารประกอบแนฟทีน..... 31
2.5.6 โครงสร้างประเภทสารประกอบแอโรแมติก..... 32
2.6 การผลิตและการทำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้บริสุทธิ์..... 39
2.6.1 กระบวนการกลั่นภายใต้สูญญากาศ..... 39
2.6.2 กระบวนการขจัดเอสฟัลต์ด้วยโพรเพน..... 40
2.6.3 กระบวนการสกัดด้วย furfural..... 40
2.6.4 กระบวนการแยกไขด้วย MEK..... 40
2.6.5 กระบวนการฟอกด้วยดิน(clay)..... 40
2.7 การสกัดแยกสาร..... 44
2.7.1 การสกัดแยกของเหลวด้วยของเหลว..... 44
2.7.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการสกัดแยก
ของเหลวด้วยของเหลว..... 45
2.7.3 ประสิทธิภาพของการสกัดแยกสาร..... 49

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

2.7.4 ระบบของเหลว 3 ชนิดแบบต่างๆ..... 55
2.8 หอสกัดสารแบบชายห์เบลท์..... 56

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... 60
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 60
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 60
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดของเหลวด้วยของเหลว... 60
3.2.2 เครื่องเหวี่ยงแยกสาร..... 63
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 65
3.3.1 เครื่องทดสอบหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน. 64
3.3.2 เครื่องทดสอบหาองค์ประกอบทางโครงสร้าง
ของสาร 66
3.4 วิธีการทดลอง..... 73
3.4.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ใน
น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 73
3.4.2 การทดสอบหาตัวทำละลายที่จะนำมาใช้ในการ
ทำวิจัย 73
3.4.3 การทดสอบการตกค้างของตัวทำละลายในน้ำมัน
หล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำออกแล้ว.. 73
3.4.4 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น
พื้นฐานที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทำวิจัย..... 73
3.4.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ
เมื่ออัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่..... 74

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

3.4.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ
เมื่ออัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่... 74

4. ผลการทดลอง..... 76
4.1 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน... 76
4.1.1 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมัน
หล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ..... 76
4.1.2 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมัน
หล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพไม่ปกติ..... 76
4.2 ผลการทดสอบหาตัวทำละลายที่จะนำมาใช้
ในการทำวิจัยในครั้งนี้..... 76
4.3 ผลการทดสอบการตกค้างของตัวทำละลายในน้ำมัน
หล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำออกแล้ว..... 80
4.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ..... 80
4.4.1 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของ
ตัวทำละลายคงที่..... 80
4.4.2 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของ
น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่..... 86

5. วิจารณ์ผลการทดลอง..... 89
5.1 การหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 89
5.1.1 การหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
ที่มีสภาพปกติ..... 89

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

5.1.2 การหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
ที่มีสภาพไม่ปกติ..... 89
5.2 การทดสอบหาตัวทำละลายที่จะนำมาใช้ในการวิจัย..... 93
5.3 การทดสอบการตกค้างของตัวทำละลายในน้ำมัน
หล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำออกแล้ว..... 93
5.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ..... 95
5.4.1 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหล
ของตัวทำละลายคงที่..... 95
5.4.2 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหล
ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่.....105
5.5 การละลายของน้ำในตัวทำละลาย
Polyethylene Glycol 300.....109
5.6 ข้อแตกต่างการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยวิธี
การให้ความร้อนกับวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว...110
5.7 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการแยกน้ำออกจากน้ำมัน
หล่อลื่นพื้นฐาน โดยวิธีการให้ความร้อน กับวิธีการสกัด
ของเหลวด้วยของเหลว.....112

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....114
6.1 เมื่ออัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่.....114
6.2 เมื่ออัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่.....115
6.3 ข้อเสนอแนะ.....116

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

เอกสารอ้างอิง.....118
ภาคผนวก.....121
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง.....122
ภาคผนวก ข. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากแหล่งต่างๆ และสมบัติของตัวทำละลาย.....158
ประวัติผู้เขียน.....169

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 วิธีมาตรฐานที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และน้ำมันหล่อลื่น..... 21
2.2 สมบัติของสารไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 27
2.3 ตัวอย่างองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ C_{25}-C_{35} จากแหล่งน้ำมันดิบ Ponca city,U.S.A..... 33
2.4 ข้อกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมัน..... 34
4.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ..... 77
4.2 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพไม่ปกติ..... 78
4.3 การทดสอบความสามารถในการละลายน้ำของตัวทำละลายชนิดต่างๆ.... 79
5.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ..... 90
5.2 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพไม่ปกติ..... 91
5.3 การทดสอบความสามารถในการละลายน้ำของตัวทำละลายชนิดต่างๆ.... 94
5.4 เปรียบเทียบข้อแตกต่างการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยวิธีการให้ความร้อน กับวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว.....111
5.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยวิธีการให้ความร้อน กับวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว.....113
ก.1 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำออกแล้ว โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 ลิตร/นาที ที่ความเร็วมอเตอร์ 100 รอบ/นาที.....123
ก.2 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำออกแล้ว โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 ลิตร/นาที ที่ความเร็วมอเตอร์ 300 รอบ/นาที.....124
ก.3 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำออกแล้ว โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

0.2 ลิตร/นาที ที่ความเร็วมอเตอร์ 500 รอบ/นาที.....125
ก.4 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการ
แยกน้ำออกแล้ว โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่
0.2 ลิตร/นาที ที่ความเร็วมอเตอร์ 700 รอบ/นาที.....126
ก.5 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการ
แยกน้ำออกแล้ว โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่
0.2 ลิตร/นาที ที่ความเร็วมอเตอร์ 900 รอบ/นาที.....127
ก.6 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการ
แยกน้ำออกแล้ว โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
คงที่ 0.2 ลิตร/นาที ที่ความเร็วมอเตอร์ 100 รอบ/นาที.....128
ก.7 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการ
แยกน้ำออกแล้ว โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
คงที่ 0.2 ลิตร/นาที ที่ความเร็วมอเตอร์ 300 รอบ/นาที.....129
ก.8 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการ
แยกน้ำออกแล้ว โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
คงที่ 0.2 ลิตร/นาที ที่ความเร็วมอเตอร์ 500 รอบ/นาที.....130
ก.9 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการ
แยกน้ำออกแล้ว โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
คงที่ 0.2 ลิตร/นาที ที่ความเร็วมอเตอร์ 700 รอบ/นาที.....131
ก.10 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการ
แยกน้ำออกแล้ว โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
คงที่ 0.2 ลิตร/นาที ที่ความเร็วมอเตอร์ 900 รอบ/นาที.....132
ก.11 ความสามารถในการละลายน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ของสาร
ประกอบอินทรีย์.....143

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.12 ตัวอย่างในการเลือกใช้ตัวทำละลายในกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลว.....146
ก.13 ตัวอย่างสารดูดความชื้น(Drying agent).....151
ก.14 การคำนวนค่าใช้จ่ายในการให้ความร้อน และค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน.....152
ข.1 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจาก Chaina Gulf Coperation, Taiwan.....159
ข.2 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจาก British Petroleum, England.....160
ข.3 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจาก Shell Eastern Petroleum(Pte) Ltd.....161
ข.4 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 500 SN จาก Petroleum Authority of Thailand.....162
ข.5 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 150 SN จาก Petroleum Authority of Thailand.....163
ข.6 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 150 BS จาก Petroleum Authority of Thailand.....164
ข.7 คุณสมบัติของตัวทำละลาย Polyethylene Glycol(PEG) 300 จาก I.C.I Co.,Ltd USA.....165
ข.8 คุณสมบัติของตัวทำละลาย Polyethylene Glycol(PEG) 400 จาก I.C.I Co.,Ltd USA.....166

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างสารตั้งต้น intermidiate และผลิตภัณฑ์สุดท้าย	9
2.2	แบบต่างๆ ของกระบวนการผลิตน้ำมัน	10
2.3	ลักษณะแรงเสียดทานแบบสไลดิ่ง	11
2.4	ลักษณะแรงเสียดทานแบบโรลลิ่ง	11
2.5	กราฟเทอร์มอลออกซิเดชั่นของน้ำมันหล่อลื่นโดยวิธี TG	22
2.6	อินฟาเรดสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก่อนและหลังเกิดออกซิไดส์	23
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างวิธี TG กับวิธี IP 306/79	24
2.8	ปริมาณของสารไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ ในแต่ละลำดับส่วนปิโตรเลียม ของ Ponca city petroleum	26
2.9	ตัวอย่างของสารประกอบประเภทพาราฟิน	31
2.10	ตัวอย่างของสารประกอบประเภทแนพทีน	31
2.11	ตัวอย่างของสารประกอบประเภทแอโรมาติก	32
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีความหนืดกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ตามมาตรฐาน ASTM D943 ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากแหล่งน้ำมันดิบเดียวกัน	35
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีความหนืดกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ตามมาตรฐาน ASTM D943 ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากแหล่งน้ำมันดิบต่างแหล่งกันหรือต่างกระบวนการผลิต	36
2.14	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ตามมาตรฐาน ASTM D943	37
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ตามมาตรฐาน ASTM D2272	38
2.16	กระบวนการที่ใช้ในการผลิตและการทำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้บริสุทธิ์	41
2.17	แสดงลักษณะองค์ประกอบของน้ำมันดิบ	42

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.18 กระบวนการกลั่นภายใต้สูญญากาศ..... 42
2.19 กระบวนการขจัดแอสฟัลต์ด้วยโพรเพน..... 43
2.20 กระบวนการสกัดด้วย furfural..... 43
2.21 กระบวนการแยกไขด้วย MEK..... 43
2.22 การถ่ายเทมวลสารเกิดที่บริเวณรอยต่อของวัฏภาค..... 46
2.23 การถ่ายเทมวลสารเกิดเร็วขึ้นเมื่อใช้ใบพัดกวน..... 46
2.24 หลังจากหยุดกวนวัฏภาคของสารจะแยกออกจากกันอีกครั้ง..... 46
2.25 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการสกัดของเหลวด้วยของเหลว..... 47
2.26 แผนภูมิสมดุลเส้นคอนจูเกต..... 48
2.27 ค่าการเลือกในการสกัดด้วยของเหลว..... 48
2.28 แผนภูมิค่าการเลือก..... 50
2.29 แผนภูมิปองชองสำหรับการสกัดด้วยของเหลว..... 53
2.30 แผนภูมิการไหลของกระแสในกระบวนการสกัดย้อนทาง ที่มีหน่วยสกัด 2 หน่วย 1-1, m-m, n,n เป็นเมมเบรนสมมุติของการถ่ายเทมวลสาร..... 53
2.31 การสกัดย้อนทางที่มีหน่วยสกัด 2 หน่วย..... 54
2.32 ระบบของเหลว 3 ชนิดแบบต่างๆ..... 57
2.33 หอสกัดสารแบบชายห์เบลท์คอลัมน์..... 59
3.1 อุปกรณ์สกัดของเหลวด้วยของเหลว(แบบแปลน)..... 61
3.2 อุปกรณ์สกัดของเหลวด้วยของเหลว(รูปถ่าย)..... 62
3.3 อุปกรณ์เครื่องเหวี่ยงแยกสาร..... 64
3.4 ตัวอย่างการทดสอบเพื่อหาตัวทำละลาย ก่อน-หลังการเหวี่ยงแยกสาร.. 64
ซ้าย: ตัวอย่างก่อนการทดสอบ
ขวา: ตัวอย่างหลังการทดสอบ

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.5 อุปกรณ์ทดสอบหาปริมาณน้ำ..... 65
3.6 อุปกรณ์ทดสอบหาปริมาณน้ำ(ขณะเครื่องกำลังทำงาน)..... 65
3.7 อุปกรณ์วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโครงสร้างของสาร..... 66
3.8 อุปกรณ์สกัดของเหลวผสมด้วยของเหลว..... 67
3.9 แสดงการแบ่งวัฏภาคระหว่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกับสารละลายผสม.... 68
3.10 แสดงการแบ่งวัฏภาคระหว่างตัวทำละลาย PEG 300
กับสารละลายผสม..... 68
3.11 ส่วนต่างๆของอุปกรณ์บนเครื่องสกัดของเหลวผสมด้วยของเหลว..... 70
(a) D.C. Motor Control Unit
(b) Speed meter Reading
(c) Rotameter
3.12 ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก่อนผ่านกระบวนการแยกน้ำด้วย
ตัวทำละลาย PEG 300..... 71
3.13 ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานหลังผ่านกระบวนการแยกน้ำด้วย
ตัวทำละลาย PEG 300..... 71
3.14 ตัวอย่างเปรียบเทียบน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก่อนและหลัง
ผ่านกระบวนการแยกน้ำด้วยตัวทำละลาย PEG 300..... 72
ซ้าย: ตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการแยกน้ำด้วยตัวทำละลาย PEG 300
ขวา: ตัวอย่างก่อนผ่านกระบวนการแยกน้ำด้วยตัวทำละลาย PEG 300
4.1 อินฟาเรดสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ..... 81
4.2 อินฟาเรดสเปกตรัมของตัวทำละลาย PEG 300..... 82
4.3 อินฟาเรดสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการ
แยกน้ำด้วยตัวทำละลาย PEG 300..... 83

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 l/min..... 85

4.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับความเร็วมอเตอร์ เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 l/min..... 85

4.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับอัตราการไหลของตัวทำละลาย เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 l/min..... 87

4.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับความเร็วมอเตอร์ เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 l/min.. 88

5.1 อินฟาเรดสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ..... 96

5.2 อินฟาเรดสเปกตรัมของตัวทำละลาย PEG 300..... 97

5.3 อินฟาเรดสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำด้วยตัวทำละลาย PEG 300..... 98

5.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 l/min.....102

5.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับความเร็วมอเตอร์ เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 l/min.....104

5.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับอัตราการไหลของตัวทำละลาย เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 l/min.....107

5.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับความเร็วมอเตอร์ เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 l/min..108

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำกับเวลา โดยกำหนดให้
อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 ลิตร/นาที
ที่ความเร็วมอเตอร์ 100 รอบ/นาที.....133
ก.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำกับเวลา โดยกำหนดให้
อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 ลิตร/นาที
ที่ความเร็วมอเตอร์ 300 รอบ/นาที.....134
ก.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำกับเวลา โดยกำหนดให้
อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 ลิตร/นาที
ที่ความเร็วมอเตอร์ 500 รอบ/นาที.....135
ก.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำกับเวลา โดยกำหนดให้
อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 ลิตร/นาที
ที่ความเร็วมอเตอร์ 700 รอบ/นาที.....136
ก.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำกับเวลา โดยกำหนดให้
อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 ลิตร/นาที
ที่ความเร็วมอเตอร์ 900 รอบ/นาที.....137
ก.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำกับเวลา โดยกำหนดให้
อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 ลิตร/นาที
ที่ความเร็วมอเตอร์ 100 รอบ/นาที.....138
ก.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำกับเวลา โดยกำหนดให้
อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 ลิตร/นาที
ที่ความเร็วมอเตอร์ 300 รอบ/นาที.....139
ก.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำกับเวลา โดยกำหนดให้
อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 ลิตร/นาที
ที่ความเร็วมอเตอร์ 500 รอบ/นาที.....140

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำกับเวลา โดยกำหนดให้
อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 ลิตร/นาที
ที่ความเร็วมอเตอร์ 700 รอบ/นาที.....141
ก.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำกับเวลา โดยกำหนดให้
อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 ลิตร/นาที
ที่ความเร็วมอเตอร์ 900 รอบ/นาที.....142
ก.11 อินฟาเรดสเปกตรัมของตัวทำละลาย Polyethylene glycol
(PEG) 400.....167
ก.12 อินฟาเรดสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำ
ออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยใช้ตัวทำละลาย Polyethylene
glycol(PEG) 400.....168

สัญญลักษณ์และคำย่อ

V.I. = ค่าดรรชนีความหนืด

V.G.C. = ค่า Viscosity-Gravity constant

cSt = หน่วยความหนืดเซ็นติสโตก

P.pt. = จุดไหลเท

TG = วิธี thermalgravimetry

O.C. = ส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ถูกออกซิไดส์

$\%C_A$ = ร้อยละของอะตอมคาร์บอนที่ถูกออกซิไดส์

$\%C_P$ = ร้อยละของอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างพาราฟิน

$\%C_N$ = ร้อยละของอะตอมคาร์บอนในวงแหวนแนฟทีน

n-d-m = การคำนวนหาค่าเฉลี่ยตัวแปรองค์ประกอบเฉลี่ยของน้ำมันโดยสมบัติทางเคมีฟิสิกส์