การผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันเตาใสเบา และน้ำมันเตาใสหนัก โดยกระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลาย และกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

นาย วีระศักดิ์ ธนาพรสิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปิโตรเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-013-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016438
i 10308222

THE PRODUCTION OF LUBE BASES FROM LIGHT DISTILLATE OIL AND HEAVY DISTILLATE OIL BY SOLVENT DEWAXING AND SOLVENT EXTRACTION

Mr. Verasak Tanaponsin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Program of Petrochemistry

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-013-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันเตาใสเบา และน้ำมันเตาใสหนัก โดยกระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลาย และกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย
โดย	นายวีระศักดิ์ ธนาพรสิน
ภาควิชา	สหสาขาวิชาปิโตรเคมี - โพลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. โสภณ เริงสำราญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. อมร เพชรสม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.โสภณ เริงสำราญ)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

_____ กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.เผด็จ สิทธิสุนทร)

_____ กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต)

VERASAK TANAPONSIN : THE PRODUCTION OF LUBE BASES FROM LIGHT DISTILIATE OIL AND HEAVY DISTILIATE OIL BY SOLVENT DEWAXING AND SOLVENT EXTRACTION. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.SOPHON REONGSUMRANG, Ph.D. ; AMORN PETSOM, Ph.D. ; 128 pp.

The demand of lubricating oils in Thailand are growing rapidly during this decades. In 1989, up to 1,540 barrels per day of lubricating oils, value about 2,000 million baht per year, with increased 6.1 percent over 1988, were imported. Light distillate oil (LD) and Heavy distillate oil (HD) were produced from vacuum distillation from Fang crude and were used as low quality fuel oils because of their high wax content. In order to up grade these LD and HD oils for lubricating application, these oils must be refined by suitable processes. From our study, two suitable refining processes were as follow. The pour point of these oils could be improved by the solvent dewaxing. A mixture of MEK and toluene (1:1) was used as solvent to precipitate the wax. After one stage solvent dewaxing by Dilchill dewaxing process at -20^{o}C and used a volume ratio of oil to solvent 1:3, the recovered LD and HD oils gave the pour point at. 11 and 6^{o}C, respectively. Secondly, the viscosity index and oxidation characteristics of the dewaxed oils could be improved by solvent extraction. It was found that the most important factors were the oil to solvent ratio and the operating temperature. The variables of amount of solvent applied and temperature of the extraction were thus to be interrelated and the desired quality oils could be produced with either high solvent dosage and low temperature or a low solvent dosage and high temperature. However, the maximum yield of a given quality oil was produced when a high solvent dosage and low extraction temperature were employed. For this study, ^{13}C-NMR and TG method have been applied to the determination of lube bases composition and to evaluate oxidation stability of lube bases, respectvely, instead several standard method. Because these method were more easy and more accurate.

Currently, the demand of lubricating oil is so great for construction of the econimic-size lube bases production factory, from various oil products in the country, is necessary. Especially, LD and HD oils from distillation of Fang crude are apperopriate to be used as lube bases through som improvement in quality by solvent dewaxing and solvent extraction as previous discussion.

ภาควิชา ปิโตรเคมี-โพลิเมอร์

สาขาวิชา ปิโตรเคมี

ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

วีระศักดิ์ ธนาพรสิน : การผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันเตาใสเบา และน้ำมันเตาใสหนัก โดยกระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลาย และกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย (THE PRODUCTION OF LUBE BASES FROM LIGHT DISTILIATE OIL AND HEAVY DISTILLATE OIL BY SOLVENT DEWAXING AND SOLVENT EXTRACTION) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.โสภณ เริงสำราญ : อ.ดร.อมร เพชรสม ; 128 หน้า. ISBN 974-577-013-2

ปัจจุบันนี้ความต้องการใช้น้ำมันหล่อลื่นในประเทศมีมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ในปี 2532 มีการนำเข้าถึง 1,540 บาร์เรลต่อวัน คิดเป็นเงินประมาณ 2,000 ล้านบาทต่อปี เพิ่มขึ้น 6.1 เปอร์เซนต์เมื่อเทียบกับปี 2531 น้ำมันเตาใสเบา (LD) และน้ำมันเตาใสหนัก (HD) ที่ผลิตจากการกลั่นน้ำมันดิบฝางในหอกลั่นสุญญากาศ ปัจจุบันใช้เป็นน้ำมันเตาคุณภาพต่ำ ทั้งนี้เพราะมีไขปนอยู่มาก เพื่อให้น้ำมันเตาใสเบาและน้ำมันเตาใสหนักสามารถนำไปใช้ในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นที่มีมูลค่าสูงขึ้นนั้นจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันด้วยกระบวนการที่เหมาะสม จากการวิจัยนี้พบว่ากระบวนการที่เหมาะสมมีด้วยกัน 2 กระบวนการ กระบวนการแรกเป็นการปรับปรุงจุดไหลเทด้วยการตกผลึกแยกไขด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ตัวทำละลายผสมของ MEK กับโทลูอีน ในอัตราส่วน 1:1 ภายหลังผ่านการแยกไขด้วยกระบวนการแยกไขแบบ Dilchill ครั้งเดียวภายใต้อุณหภูมิแยกไขที่ -20^{o}ซ. และใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อตัวทำละลายที่ 1:3 จะทำให้น้ำมันเตาใสเบาและน้ำมันเตาใสหนักภายหลังการแยกไขมีจุดไหลเท 11 และ 6^{o}ซ. ตามลำดับ กระบวนการที่สองเป็นการปรับปรุงค่าดรรชนีความหนืดและสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันที่ผ่านการแยกไข โดยกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่าปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการนี้คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันกับตัวทำละลาย และอุณหภูมิการสกัด โดยที่ปริมาณตัวทำละลายกับอุณหภูมิการสกัดจะมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นจะสามารถผลิตน้ำมันให้มีคุณภาพตามที่กำหนดโดยการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายและลดอุณหภูมิการสกัดหรือเพิ่มอุณหภูมิการสกัดและลดปริมาณตัวทำละลายแต่ในทางปฏิบัติเพื่อให้ได้น้ำมันคุณภาพตามที่ต้องการในปริมาณสูงแล้วจะต้องใช้ปริมาณตัวทำละลายมากและใช้อุณหภูมิการสกัดต่ำ สำหรับการวิจัยนี้การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันวิเคราะห์ด้วยวิธี ^{13}C-NMR และวิเคราะห์สมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ ด้วยวิธี TG แทนการวิเคราะห์แบบมาตรฐานทั่วไป เพราะทำได้สะดวกกว่าและให้ผลถูกต้องกว่า

อนึ่งจากปริมาณความต้องการน้ำมันหล่อลื่นในประเทศปัจจุบันนี้เพียงพอที่จะตั้งโรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีขนาดเหมาะสมทางเศรษฐกิจได้ โดยใช้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ผลิตได้ในประเทศ โดยเฉพาะน้ำมันเตาใสเบาและน้ำมันเตาใสหนักที่ผลิตจากน้ำมันดิบฝางมีความเหมาะสมที่จะใช้ผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลาย และกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายดังกล่าวแล้ว

ภาควิชา ปิโตรเคมี-โพลิเมอร์

สาขาวิชา ปิโตรเคมี

ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ด้วยดี โดยความช่วยเหลือของท่าน รองศาสตราจารย์ ดร. โสภณ เริงสำราญ และ ท่านอาจารย์ ดร. อมร เพชรสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านกรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะและความคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ทั้งในแง่ของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ตลอดจนวิธีและขั้นตอนการทดลอง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เผด็จ สิทธิสุนทร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต ที่กรุณาให้คำชี้แนะที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิจัย ขอขอบคุณ ผอ.แสวง บุญญาสุวัฒน์ ผอ.นิญญา พลวิชัย คุณรัตนาวลี อินโอชานนท์ และพวกพี่ ที่กองควบคุมคุณภาพ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยทุกท่านที่กรุณา อำนวยความสะดวกทั้งสถานที่ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ที่ช่วยเหลือในการจัดทำรูปเล่มตลอดจนกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณกองทุนเชื้อเพลิง คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนการวิจัย จนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ กรมการพลังงานทหาร และ คุณสมควร ดิลกสัมพันธ์ บริษัทวีระสุวรรณจำกัด ที่กรุณามอบตัวอย่างน้ำมัน ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ข้อแนะนำ และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เพื่อให้สำเร็จสมบูรณ์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา และผู้มีอุปการะคุณทุกท่านที่สนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข
กิตติกรรมประกาศ..... ค
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูป..... ฏ
สัญญลักษณ์ และคำย่อ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. วารสารปริทัศน์..... 4
   2.1 น้ำมันปิโตรเลียม..... 4
      2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม..... 4
      2.1.2 ลำดับส่วนปิโตรเลียม..... 5
      2.1.3 โรงกลั่นน้ำมันฝาง..... 9
   2.2 น้ำมันหล่อลื่น..... 11
      2.2.1 การหล่อลื่น..... 11
      2.2.2 การผสมน้ำมันหล่อลื่น..... 13
      2.2.3 ประเภทของน้ำมันหล่อลื่น..... 14
   2.3 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 14
      2.3.1 ความถ่วงจำเพาะ..... 15
      2.3.2 ความหนืด..... 15
      2.3.3 ดรรชนีความหนืด..... 16
      2.3.4 จุดไหลเท..... 16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.3.5 Viscosity - gravity constant	16
	2.3.6 สมบัติทนต่อการออกซิไดส์	17
2.4	องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน	24
	2.4.1 อิทธิพลขององค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีผลต่อสมบัติการออกซิไดซ์	28
	2.4.2 การหาองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยวิธี ^{13}C-NMR	28
2.5	การผลิตและการทำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้บริสุทธิ์	37
	2.5.1 กระบวนการกลั่นภายใต้สุญญากาศ	38
	2.5.2 กระบวนการขจัดแอสฟัลต์ด้วยโพรเพน	38
	2.5.3 กระบวนการสกัดด้วย furfural	38
	2.5.4 กระบวนการแยกไขด้วย MEK	42
	2.5.5 กระบวนการฟอกด้วยดินเหนียว (clay)	42
2.6	กระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลาย	42
	2.6.1 การปรับปรุงกระบวนการแยกไขจากน้ำมันด้วยตัวทำละลาย	51
2.7	กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย	54
	2.7.1 ตัวทำละลายที่ใช้สกัดน้ำมันหล่อลื่น	56
	2.7.2 หอสกัดแบบ Rotating disc contactor (RDC)	63
	2.7.3 สมดุลระหว่างน้ำมันและตัวทำละลาย	63
3.	อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	69
3.1	สารที่ใช้ในการทดลอง	69
3.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	69
	3.2.1 อุปกรณ์ในกระบวนการแยกไขออกจากน้ำมันด้วยตัวทำละลาย	69

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.2.2 อุปกรณ์ในกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย..... 70
3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์..... 70
3.3 วิธีทดลอง..... 70
การแยกไขออกจากน้ำมันด้วยตัวทำละลาย..... 70
3.3.1 หาสมบัติทางกายภาพบางประการของน้ำมันเตาใสหนัก และน้ำมันเตาในเบา..... 70
3.3.2 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกไข ด้วยตัวทำละลาย..... 76
3.3.3 หาสภาวะที่เหมาะสมในการลดจุดไหลเทของ น้ำมันเตาใสหนักและน้ำมันเตาใสเบา..... 77
การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย..... 77
3.3.4 หาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีบางประการ ของน้ำมันเตาใสหนัก และน้ำมันเตาใสเบา..... 77
3.3.5 ศึกษาสมดุลของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้ furfural เป็นตัวทำละลาย... 77
3.3.6 หาร้อยละโดยปริมาตรที่ 15 °ซ. ของน้ำมันภายหลัง การสกัดด้วยตัวทำละลาย และวิเคราะห์สมบัติของ น้ำมันภายหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย..... 77
3.3.7 ศึกษาผลของตัวแปรอุณหภูมิของสมดุลการสกัด และ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันกับตัวทำละลาย ที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย..... 77
3.3.8 วิธีวิเคราะห์..... 78

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.3.9 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันในรูป $\%C_A$ กับเปอร์เซนต์ของสารประกอบที่ถูกออกซิไดส์ (O.C.) ของน้ำมันเตาใสหนักและน้ำมันเตาใสเบาภายหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย..... 78

4. ผลการทดลอง..... 79

การแยกไขจากน้ำมันด้วยตัวทำละลาย..... 79

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเตาใสหนักและน้ำมันเตาใสเบา ที่ใช้ในการศึกษาการแยกไข..... 79

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่าง ๆ ในการแยกไข... 79

4.2.1 ผลการศึกษาผลกระทบและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันเตาใสหนักต่อตัวทำละลายผสม..... 79

4.2.2 ผลการศึกษาผลกระทบและหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกผลึกแยกไข..... 80

4.2.3 ผลการศึกษาผลกระทบและหาจำนวนครั้งของการตกผลึกไขที่เหมาะสม..... 80

4.2.4 ผลการศึกษาการแยกไขน้ำมันเตาใสหนักและน้ำมันเตาใสเบาด้วยตัวทำละลายผสมภายใต้สภาวะที่เหมาะสม..... 80

การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย..... 84

4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีบางประการของน้ำมันเตาใสหนัก และน้ำมันเตาใสเบา..... 84

4.4 ผลการศึกษาสมดุลของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย..... 85

4.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย..... 88

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.5.1 ผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการสกัดและปริมาณของตัวทำละลายต่อสมบัติของน้ำมันภายหลังการสกัด.....	88
	4.5.2 ผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการสกัดและปริมาณของตัวทำละลายต่อปริมาณของน้ำมันภายหลังการสกัด.....	88
	4.5.3 ผลการศึกษาอิทธิพลตัวแปรอุณหภูมิของสมดุลการสกัดและอัตราส่วนระหว่างน้ำมันกับตัวทำละลาย ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดด้วย furfural.....	88
	4.6 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันในรูป $\%C_A$ กับเปอร์เซนต์ของสารประกอบที่ถูกออกซิไดส์ (O.C.) ของน้ำมันเตาใสหนักและน้ำมันเตาใสเบาภายหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย..	95
5.	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	97
6.	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	104
เอกสารอ้างอิง.....		107
ภาคผนวก.....		111
	ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง.....	112
	ภาคผนวก ข. สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากแหล่งต่าง ๆ.....	125
ประวัติผู้เขียน.....		128

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติของน้ำมันดิบแม่สูนหลวง	11
2.2	วิธีมาตรฐานที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และน้ำมันหล่อลื่น	20
2.3	สมบัติของสารไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน	27
2.4	ข้อกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์ของน้ำมัน	29
2.5	ผลการเปรียบเทียบค่า $\%C_A$, $\%C_P$ และ $\%C_N$ ที่ได้จากวิธี ^{13}C-NMR กับวิธี n-d-m	36
2.6	สมบัติต่าง ๆ ของตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการแยกไข	48
2.7	อัตราส่วนของ MEK กับโทลูอีน ที่มีผลต่อการใช้งานในการแยกไขออกจากน้ำมัน	50
2.8	เปรียบเทียบโครงสร้าง และสมบัติบางประการของตัวทำละลาย furfural , MP และ Phenol	58
2.9	เปรียบเทียบสมบัติของ furfural , MP และ Phenol ในกระบวนการสกัดแยกสาร	59
4.1	สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเตาใสหนัก และน้ำมันเตาใสเบา	79
4.2	จุดไหลเทและปริมาณน้ำมันภายหลังผ่านการแยกไข	84
4.3	สมบัติของน้ำมันเตาใสหนักและน้ำมันเตาใสเบา ที่ใช้ศึกษาการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย	85
ก.1	ผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันเตาใสหนักต่อตัวทำละลายผสม.	112
ก.2	ผลการทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกผลึกไข	112
ก.3	ผลการทดลองหาจำนวนครั้งของการตกผลึกไขที่เหมาะสม	113
ก.4	ผลการทดลองการสกัดน้ำมันเตาใสหนักด้วยตัวทำละลาย furfural	114
ก.5	ผลการทดลองการสกัดน้ำมันเตาใสเบาด้วยตัวทำละลาย furfural	115
ก.6	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันเตาใสหนักภายหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยวิธี ^{13}C-NMR	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันเตาใสเบาภายหลังการสกัด
ด้วยตัวทำละลายโดยวิธี ^{13}C-NMR 118
ก.8 ผลการวิเคราะห์สมบัติทนต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันเตาใสหนัก
ก่อนและหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยวิธี TG 119
ก.9 ผลการวิเคราะห์สมบัติทนต่อการออกซิไดส์ของน้ำมันเตาใสเบา
ก่อนและหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยวิธี TG 120
ข.1 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจาก China Gulf Corportion , Taiwan . 125
ข.2 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจาก British Petroleum , England..... 126
ข.3 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจาก
Shell Eastern Petroleum (Pte) Ltd..... 127

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสารตั้งต้น intermidiate และผลิตภัณฑ์สุดท้าย..... 7

2.2 แบบต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตน้ำมัน..... 8

2.3 ลักษณะแรงเสียดทานแบบสไลดิ่ง..... 12

2.4 ลักษณะแรงเสียดทางแบบโรลลิ่ง..... 12

2.5 กราฟเทอร์มอลออกซิเดชั่นของน้ำมันหล่อลื่น โดยวิธี TG 21

2.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก่อนและหลังเกิดออกซิไดส์..... 22

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธี TG กับวิธี IP 306/79 23

2.8 ปริมาณของสารไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ในแต่ละลำดับส่วนปิโตรเลียม
ของ Ponca city petroleum 25

2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีความหนืดกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์
ตามมาตรฐาน ASTM D 943 ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
จากแหล่งน้ำมันดิบเดียวกัน..... 30

2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีความหนืดกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์
ตามมาตรฐาน ASTM D 943 ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากแหล่งน้ำมันดิบ
ต่างแหล่งกันหรือต่างกระบวนการผลิต..... 31

2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์
ตามมาตรฐาน ASTM D 943..... 32

2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันกับสมบัติเสถียรต่อการออกซิไดส์
ตามมาตรฐาน ASTM D 2272 33

2.13 สเปกตรัม ^{1}H-NMR ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 35

2.14 สเปกตรัม ^{13}C-NMR ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 35

2.15 กระบวนการที่นิยมใช้ในการผลิต และการทำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้บริสุทธิ์..... 39

2.16 แสดงลักษณะองค์ประกอบของน้ำมันดิบ..... 40

2.17 กระบวนการกลั่นภายใต้สุญญากาศ..... 40

2.18 กระบวนการขจัดแอสฟัลต์ด้วยโพรเพน..... 41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.19	กระบวนการสกัดด้วย furfural	41
2.20	กระบวนการแยกไขด้วย MEK	41
2.21	กระบวนการ pressing และ sweating	43
2.22	กระบวนการแยกไขโดยใช้ตัวทำละลาย	43
2.23	กระบวนการแยกไขด้วยโพรเพน	46
2.24	Ketone dewaxing process	52
2.25	Dilchill dewaxing process	53
2.26	แผนภูมิอย่างง่ายของกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย	55
2.27	กระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย furfural	61
2.28	ลักษณะภายในหอสกัดแบบ RDC	62
2.29	แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงสมดุลของระบบ อะซิโตน MIK และ น้ำ	64
2.30	แสดงการสกัดแบบ 3 ขั้นตอนของหอสกัดแบบต่อเนื่องสวนทางกันภายใต้สภาวะ (a) อุณหภูมิการสกัดคงที่ (b) อุณหภูมิการสกัดเปลี่ยนแปลง	68
3.1	ขั้นตอนการทดลองแยกไขด้วยตัวทำละลาย	69
3.2	ขั้นตอนการทดลองการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย	70
3.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการแยกไขด้วยตัวทำละลาย	71
3.4	อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย	73
3.5	ลักษณะน้ำมันก่อนและหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย	75
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดไหลเทของน้ำมันที่เหลืออยู่ภายหลังการทดลองแยกไขกับอัตราส่วนของน้ำมันเตาใสหนักต่อตัวทำละลายผสม	81
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ภายหลังการทดลองแยกไขกับอัตราส่วนของน้ำมันเตาใสหนักต่อตัวทำละลายผสม	81
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดไหลเทของน้ำมันที่เหลืออยู่ภายหลังการทดลองแยกไขกับอุณหภูมิการตกผลึกไข	82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ภายหลังการทดลองแยกไขกับอุณหภูมิการตกผลึกไข	82
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดไหลเทของน้ำมันที่เหลืออยู่ภายหลังการทดลองแยกไขกับจำนวนครั้งของการตกผลึกไข	83
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ภายหลังการทดลองแยกไขกับจำนวนครั้งของการตกผลึกไข	83
4.7	แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงสมดุลของการสกัดน้ำมันเตาใสหนักด้วย furfural ที่อุณหภูมิ 60 , 80 , 100 และ 120 °ซ	86
4.8	แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงสมดุลของการสกัดน้ำมันเตาใสเบาด้วย furfural ที่อุณหภูมิ 60 , 80 , 100 และ 120 °ซ	87
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการสกัดและปริมาณตัวทำละลายกับค่า V.G.C. ของน้ำมันเตาใสหนักภายหลังการสกัด	89
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการสกัดและปริมาณตัวทำละลายกับค่าดรรชนีความหนืดของน้ำมันเตาใสหนักภายหลังการสกัด	89
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการสกัดและปริมาณตัวทำละลายกับองค์ประกอบของน้ำมันในรูป $\%C_A$ ของน้ำมันเตาใสหนักภายหลังการสกัด	90
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการสกัดและปริมาณตัวทำละลายกับค่า V.G.C. ของน้ำมันเตาใสเบาภายหลังการสกัด	90
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการสกัดและปริมาณตัวทำละลายกับค่าดรรชนีความหนืดของน้ำมันเตาใสเบาภายหลังการสกัด	91
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการสกัดและปริมาณตัวทำละลายกับองค์ประกอบของน้ำมันในรูป $\%C_A$ ของน้ำมันเตาใสเบาภายหลังการสกัด	91
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการสกัดและปริมาณตัวทำละลายกับปริมาณของน้ำมันที่เหลือภายหลังการสกัดของน้ำมันเตาใสหนัก	92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการสกัดและปริมาณตัวทำละลายกับปริมาณของน้ำมันที่เหลือภายหลังการสกัดของน้ำมันเตาใสเบา	92
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า V.G.C. กับปริมาณของน้ำมันเตาใสหนักภายหลังการสกัดที่อุณหภูมิการสกัด 60 , 80 , 100 และ 120 °ซ	93
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า V.G.C. กับปริมาณของน้ำมันเตาใสเบาภายหลังการสกัดที่อุณหภูมิการสกัด 60 , 80 , 100 และ 120 °ซ	93
4.19	แสดงอิทธิพลของตัวแปรอุณหภูมิของสมดุลการสกัด และอัตราส่วนระหว่างน้ำมันกับตัวทำละลาย ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันเตาใสหนักด้วย furfural	94
4.20	แสดงอิทธิพลของตัวแปรอุณหภูมิของสมดุลการสกัด และอัตราส่วนระหว่างน้ำมันกับตัวทำละลาย ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันเตาใสเบาด้วย furfural	94
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันในรูป $\%C_A$ กับเปอร์เซนต์ของสารประกอบที่ถูกออกซิไดส์ (O.C.) ของน้ำมันเตาใสหนักภายหลังการสกัด	96
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของน้ำมันในรูป $\%C_A$ กับเปอร์เซนต์ของสารประกอบที่ถูกออกซิไดส์ (O.C.) ของน้ำมันเตาใสเบาภายหลังการสกัด	96
5.1	แสดงลักษณะการเลือกละลายของตัวทำละลาย furfural ที่อุณหภูมิต่าง ๆ สำหรับน้ำมันเตาใสหนัก	100
5.2	แสดงลักษณะการเลือกละลายของตัวทำละลาย furfural ที่อุณหภูมิต่าง ๆ สำหรับน้ำมันเตาใสเบา	100
ก.1	สเปคตรัม ^{13}C-NMR ของน้ำมันเตาใสหนักภายหลังการแยกไข	121
ก.2	สเปคตรัม ^{13}C-NMR ของน้ำมันเตาใสเบาภายหลังการแยกไข	122
ก.3	กราฟเทอร์มอลออกซิเดชั่นของน้ำมันเตาใสหนักภายหลังการแยกไขโดยวิธี TG	123
ก.4	กราฟเทอร์มอลออกซิเดชั่นของน้ำมันเตาใสเบาภายหลังการแยกไขโดยวิธี TG	124

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์ และคำย่อ

HD	=	น้ำมันเตาใสหนัก
LD	=	น้ำมันเตาใสเบา
V.I.	=	ค่าดรรชนีความหนืด
V.G.C.	=	ค่า Viscosity - Gravity constant
cSt	=	หน่วยความหนืดเซนทริสโตก
P.pt.	=	จุดไหลเท
TG	=	วิธี thermalgravimetry
O.C.	=	สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ถูกออกซิไดส์
$\%C_A$	=	ร้อยละของอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างวงแหวนแอโรแมติก
$\%C_P$	=	ร้อยละของอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างโซ่พาราฟิน
$\%C_N$	=	ร้อยละของอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างวงแหวนแนฟทีน
n-d-m	=	การคำนวณหาค่าเฉลี่ยตัวแปรองค์ประกอบเฉลี่ยของน้ำมันโดยสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์