การแยกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลว

นาย จิรพล รัชชุศิริ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4752-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21938155

THE REMOVAL OF USED LUBRICATING OIL FROM WASTE WATER BY LIQUID-LIQUID EXTRACTION

Mr. Jiraphol Ratchusiri

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2003

ISBN 974-17-4752-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลว
โดย	นายจิรพล รัชชุศิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ

คณะวิศวกรรมสาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราธร มงคลศรี)

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(คุณประไพรัตน์ ลาวัณย์วัฒนกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุพจน์ พัฒนะศรี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จิรพล รัชชุศิริ : การแยกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลว
(THE REMOVAL OF USED LUBRICATING OIL FROM WASTE WATER BY LIQUID-LIQUID EXTRACTION) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นางประไพรัตน์ ลาวัณย์วัฒนกุล, 119 หน้า. ISBN 974-17-4752-7.

เนื่องด้วยในปัจจุบันปัญหาการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นในแหล่งน้ำมีมากขึ้น ซึ่งเกิดจากการชะล้างเครื่องจักรหรือจากผลผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นในสถานีบริการต่างๆ โดยจะปนเปื้อนมากับน้ำเสียที่ปล่อยออกจากแหล่งอุตสาหกรรมหรือแหล่งชุมชนอยู่ในรูปของอิมัลชั่น (Emulsion) ทำให้การกำจัดน้ำมันในส่วนนี้ออกจากน้ำเสียนั้นทำได้ยาก งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการแยกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสีย โดยทำการทดลองแบบกะ (batch) ชนิดใบกวนแบบแผ่นเรียบ และแบบต่อเนื่องชนิดแบบจานหมุนมีรู โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลว ในการศึกษาใช้สารสกัด 2 ชนิดคือ น้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซล ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ อิทธิพลของปริมาณสารสกัด ความเร็วการกวน เวลาที่ใช้สกัด อัตราการไหลของสารสกัด โดยประสิทธิภาพของการสกัดสามารถเปรียบเทียบได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การสกัด

จากการทดลองพบว่า สามารถแยกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสีย โดยขึ้นกับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสกัดดังนี้ ในการทดลองแบบกะพบว่า ปริมาณสารสกัดที่เหมาะสม โดยปริมาณน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัดคือ 40 มิลลิลิตร และน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัดคือ 45 มิลลิลิตรและความเร็วรอบการกวนที่เหมาะสมคือ 600 รอบต่อนาทีสำหรับสารสกัดที่เป็นน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซล และในการทดลองแบบต่อเนื่องชนิดแบบจานหมุนมีรูพบว่า อัตราการไหลของสารสกัดมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสกัดโดยให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงสุดที่ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และที่ความเร็วรอบการกวน 250 รอบต่อนาทีสำหรับสารสกัดน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซล จากการทดลองทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพการสกัดดีที่สุดในการแยกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสีย กรณีแบบกะได้ค่าร้อยละการสกัดที่ 99.73 และ 99.37 กรณีแบบต่อเนื่องได้ค่าร้อยละการสกัดที่ 99.78 และ 98.95 สำหรับสารสกัดที่เป็นน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซล ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2546..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4371411321 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : USED LUBRICATING OIL REMOVAL / LIQUID-LIQUID EXTRACTION

JIRAPHOL RATCHUSIRI : THE REMOVAL OF USED LUBRICATING OIL FROM WASTE WATER BY LIQUID-LIQUID EXTRACTION . THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc. THESIS CO-ADVISOR : PRAPAIRATNA LAWANWATTANAKUL. 119 pp. ISBN 974-17-4752-7

Due to the current pollution is the contamination of used lubricating oil into the natural water source which is emitted from industrial, machine washing and car service station. Almost these sources will discharge used lubricating oil with waste water in the emulsion condition. This study focused on batch process with a flat blade and continuous process performed in a perforated rotating disc column by liquid-liquid extraction. The separation was studied by using kerosene and diesel as extractant. The parameters of this study are volume fraction of extractant, agitator speed and timing. To consider the efficiency of the extraction, the percentage of extraction was calculated.

The results from the studies revealed that the separation of used lubricating oil from waste water can be achieved by this process. For batch process, the optimum condition obtained for the kerosene is extractant volume 40 ml and for diesel is 45 ml and 600 rpm of agitator speed. For the continuous process, the optimum conditions obtained are extractant flow rate 200 ml/min and 250 rpm of agitator speed for all kerosene and diesel extractant. The percentage of extraction in case of bath process are 99.73 and 99.37 and in case of continuous process are 99.78 and 98.95 for all kerosene and diesel extractant.

Department.....CHEMICAL ENGINEERING.... Student 'ssignature .....

Field of study...CHEMICAL ENGINEERING ...Advisor 's signature.....

Academic year .....2003.....Co-advisor 'signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณ คุณประไพรัตน์ ลาวัณย์วัฒนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รวมทั้งขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธราธร มงคลศรี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร อาจารย์ ดร. สุพจน์ พัฒนะศรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยในส่วนของบัณฑิตศึกษามา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้องวิจัย Separation ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาและครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้สนับสนุนและกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูปภาพ..... ฌ

สัญลักษณ์..... ต

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมา..... 1

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา..... 7

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 8

1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 9

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย..... 10

2. ทฤษฎี..... 11

2.1 ปิโตรเลียมและผลผลิตจากปิโตรเลียม..... 11

2.2 ลักษณะและองค์ประกอบ..... 13

2.3 ประเภทของน้ำมันดิบ..... 14

2.4 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 15

2.5 น้ำมันหล่อลื่น..... 18

2.6 การสกัดด้วยตัวทำละลาย..... 25

2.7 เครื่องมือใช้สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลาย..... 30

2.8 เปอร์เซ็นต์ของการสกัด.....41

2.9 การสกัด..... 44

3. การทดลอง..... 46

3.1 สารเคมีและวัตถุดิบในการทดลอง..... 46

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 46

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การสกัด..... 50

3.4 วิธีการทดลอง..... 50

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 55

4.1 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การสกัดกับปริมาณสารสกัด รวมทั้งความเร็วรอบการกวนที่เหมาะสม โดยใช้น้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ..... 55

4.2 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การสกัดกับเวลาในการสกัดที่เหมาะสม โดยใช้น้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ..... 60

4.3 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การสกัดกับความเร็วรอบการกวนในการสกัด ที่เหมาะสม โดยใช้น้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ..... 65

4.4 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การสกัดกับเวลาในการสกัด รวมทั้งความเร็วรอบการกวนที่เหมาะสมที่เหมาะสม โดยใช้น้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบแผ่นจานหมุนมีรู..... 70

4.5 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การสกัดกับความเร็วรอบการกวนในการสกัด ที่เหมาะสม โดยใช้น้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบแผ่นจานหมุนมีรู..... 75

4.6 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การสกัดกับอัตราการไหลสารสกัด รวมทั้งความเร็วรอบการกวนที่เหมาะสม โดยใช้น้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบแผ่นจานหมุนมีรู..... 80

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 88

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 88

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 90

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....91
ภาคผนวก.....93
ภาคผนวก ก (ข้อมูลดิบ)..... .94
ภาคผนวก ข (การคำนวณ).....104
ภาคผนวก ค (คำนิยาม)..... 114
ภาคผนวก ง (แสดงวิธีการคำนวณ).....115
ภาคผนวก จ (แสดงเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย)..... 117
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 119

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 ปริมาณการใช้งานและสถานการณ์ของน้ำมันหล่อลื่นภายในประเทศ..... 2

2.1 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 17

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิของน้ำมัน..... 22

2.3 แสดง SAE Viscosity Number..... 24

2.4 ชนิดและการใช้งานของเครื่องสกัดแบบต่างๆ..... 33

2.5 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือสกัดชนิดต่างๆ..... 36

3.1 แสดงรายละเอียดของส่วนประกอบภายในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ..... 47

3.2 แสดงรายละเอียดของส่วนประกอบภายในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง..... 49

ก-1 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำมันก๊าดที่มีผลต่อการสกัด น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นสารสกัด ที่ความเร็วรอบของการกวนต่างๆ ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ..... 94

ก-2 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำมันดีเซลที่มีผลต่อการสกัด น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ที่ความเร็วรอบของการกวนต่างๆ อุปกรณ์การสกัดแบบกะ..... 95

ก-3 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสกัดที่มีผลต่อการสกัด น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นสารสกัด ที่ความเร็วรอบของการกวน 600 รอบต่อนาที และใช้ปริมาณน้ำมันก๊าด จำนวน 40 มิลลิลิตร ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ.....96

ก-4 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสกัดที่มีผลต่อการสกัด น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ที่ความเร็วรอบของการกวน 600 รอบต่อนาที และใช้ปริมาณน้ำมันก๊าด จำนวน 45 มิลลิลิตร ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ..... 97

ก-5 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบของการกวนที่มีผลต่อการสกัด น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นสารสกัด ที่เวลา ในการสกัด 15 นาที และใช้ปริมาณน้ำมันก๊าดจำนวน 40 มิลลิลิตร ในอุปกรณ์ การสกัดแบบกะ.....98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ก-6 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบของการกวนที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ที่เวลาในการสกัด 15 นาที และใช้ปริมาณน้ำมันดีเซลจำนวน 45 มิลลิลิตร ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ.....98

ก-7 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสกัดที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นสารสกัด ที่ความเร็วรอบของการกวน ต่างๆ และใช้อัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อนเท่ากัน (1:1) ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง.....99

ก-8 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสกัดที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ที่ความเร็วรอบของการกวน ต่างๆ และใช้อัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อนเท่ากัน (1:1) ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง..... 100

ก-9 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบของการกวนที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นสารสกัด ที่เวลาในการสกัด 20 นาที และใช้อัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อนเท่ากัน (1:1) ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง..... 101

ก-10 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบของการกวนที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นสารสกัด ที่เวลาในการสกัด 20 นาที และใช้อัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อนเท่ากัน (1:1) ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง..... 101

ก-11 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลอัตราการไหลของสกัดที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นสารสกัด ที่เวลาในการสกัด 20 นาที ที่ความเร็วรอบของการกวนต่างๆ และอัตราการไหลสายป้อนที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง.....102

ก-12 แสดงข้อมูลการศึกษาอิทธิพลอัตราการไหลของสกัดที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นสารสกัด ที่เวลาในการสกัด 20 นาที ที่ความเร็วรอบของการกวนต่างๆ และอัตราการไหลสายป้อนที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง..... 103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ข-1 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที..... 104
ข-2 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อ..... 104
ข-3 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อ..... 105
ข-4 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อ..... 105
ข-5 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที.....106
ข-6 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที.....106
ข-7 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที..... 107
ข-8 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที..... 107
ข-9 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์ การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 100, 150, 200, 250 และ 300 รอบต่อนาที และอัตราการไหลสารสกัดต่อสารป้อน (1:1) ที่อัตราการไหลสารสกัดและสารป้อน 100 มิลลิลิตรต่อนาที 108
ข-10 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์ การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 100, 150, 200, 250 และ 300 รอบต่อนาที และอัตราการไหลสารสกัดต่อสารป้อน (1:1) ที่อัตราการไหลสารสกัดและสารป้อน 100 มิลลิลิตรต่อนาที 108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ข-11 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อน (1:1, 1.5:1, 2:1) ที่อัตราการไหลสารสกัด 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และสารป้อนคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 109

ข-12 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อน (1:1, 1.5:1, 2:1) ที่อัตราการไหลสารสกัด 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และสารป้อนคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 109

ข-13 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อน (1:1, 1.5:1, 2:1) ที่อัตราการไหลสารสกัด 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และสารป้อนคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 110

ข-14 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อน (1:1, 1.5:1, 2:1) ที่อัตราการไหลสารสกัด 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และสารป้อนคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 110

ข-15 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อน (1:1, 1.5:1, 2:1) ที่อัตราการไหลสารสกัด 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และสารป้อนคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ข-16 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อน (1:1, 1.5:1, 2:1) ที่อัตราการไหลสารสกัด 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และสารป้อนคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 111

ข-17 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อน (1:1, 1.5:1, 2:1) ที่อัตราการไหลสารสกัด 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และสารป้อนคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 112

ข-18 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อน (1:1, 1.5:1, 2:1) ที่อัตราการไหลสารสกัด 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และสารป้อนคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 112

ข-19 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อน (1:1, 1.5:1, 2:1) ที่อัตราการไหลสารสกัด 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และสารป้อนคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 113

ข-20 แสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด, สปส.การกระจายตัว และแฟคเตอร์การสกัดต่อปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัดในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของสารสกัดต่อสารป้อน (1:1, 1.5:1, 2:1) ที่อัตราการไหลสารสกัด 100, 150 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และสารป้อนคงที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 113

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน..... 16

2.2 แสดงกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป..... 25

2.3 แสดงการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลวแบบไหลตามกัน..... 26

2.4 แสดงการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลวแบบไหลสวนกัน..... 27

2.5 แสดงลักษณะการไหลแบบต่างๆในการสกัดด้วยตัวทำละลาย..... 29

2.6 แสดงการเลือกเครื่องมือในการสกัดด้วยตัวทำละลาย..... 35

2.7 แสดงคอลัมน์แบบมีแผ่นจานหมุนรอบแกน..... 39

2.8 แสดงเครื่องสกัดแบบมิกเซอร์เซตเลอร์ และแบบใช้แรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลาง..... 40

2.9 แสดงการสกัดของเหลวด้วยของเหลวในเครื่องสกัดแบบชั้นเดียวและสองชั้น..... 43

3.1 แสดงอุปกรณ์การสกัดแบบกะ..... 47

3.2 แสดงอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่องที่มีแผ่นจานมีรู..... 48

3.3 แสดงรายละเอียดของใบกวนแบบแผ่นจานมีรู..... 49

4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับปริมาณน้ำมันก๊าดที่ใช้สกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบการกวน 200, 400, 600 และ 800 rpm..... 56

4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้สกัด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบการกวน 200, 400, 600 และ 800 rpm.....58

4.3 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดกับปริมาณสารสกัด ระหว่าง น้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบการกวน 200, 400, 600 และ 800 rpm..... 59

4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับเวลาที่ใช้สกัด สำหรับน้ำมันก๊าด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบการกวน 600 rpm.....61

4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับเวลาที่ใช้สกัด สำหรับน้ำมันก๊าด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบการกวน 600 rpm.....62

4.6 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดกับเวลาที่ใช้สกัด ระหว่างน้ำมันก๊าดและ น้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบการกวน 600 rpm.....64

4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับความเร็วรอบการกวน สำหรับ น้ำมันก๊าด ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วการกวน 200, 400, 600 และ 800 rpm..... 66

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับความเร็วรอบการกวน สำหรับน้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วการกวน 200,400,600 และ 800 rpm..... 67

4.9 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดกับความเร็วรอบการกวน ระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบกะ ที่ความเร็วรอบการกวน 200,400,600 และ 800 rpm..... 69

4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับเวลาที่ใช้สกัด สำหรับน้ำมันก๊าด ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบการกวน 100,150,200,250 และ 300 rpm..... 71

4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับเวลาที่ใช้สกัด สำหรับน้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบการกวน 100,150,200,250 และ 300 rpm..... 73

4.12 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดกับเวลาที่ใช้สกัด ระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบการกวน 100,150,200, 250 และ 300 rpm..... 75

4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับความเร็วรอบการกวน สำหรับน้ำมันก๊าด ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วการกวน 100,150,200, 250 และ 300 rpm..... 76

4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับความเร็วรอบการกวน สำหรับน้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วการกวน 100,150,200, 250 และ 300 rpm..... 78

4.15 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดกับความเร็วรอบการกวน ระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบการกวน 100,150,200,250 และ 300 rpm..... 79

4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับอัตราการไหลสารสกัด สำหรับน้ำมันก๊าด ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วการกวน 100,150,200, 250 และ 300 rpm..... 81

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับอัตราการไหลสารสกัด สำหรับน้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วการกวน 100,150,200, 250 และ 300 rpm..... 83

4.18 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดกับความเร็วรอบการกวน ระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วรอบการกวน 100,150,200,250 และ 300 rpm.....84

4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับจำนวนชั้นของการสกัด สำหรับน้ำมันก๊าด ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วการกวน 250 rpm และอัตราการไหลสารสกัดกับสารป้อนที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 85

4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดกับจำนวนชั้นของการสกัด สำหรับน้ำมันดีเซล ในอุปกรณ์การสกัดแบบต่อเนื่อง ที่ความเร็วการกวน 250 rpm และอัตราการไหลสารสกัดกับสารป้อนที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที..... 86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์

C	ความเข้มข้นของน้ำมันในสารละลาย, ppm
E	แฟคเตอร์การสกัด
F	มวลของสารป้อน, kg
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง
K	สัมประสิทธิ์การกระจายตัว
n,x,y	จำนวนโมล
S	มวลของสารสกัด, kg
X	สัดส่วนโมล
%wt	เปอร์เซ็นต์โดยมวล
d_{32}	เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของหยด, m
$t_{1/2}$	ฮาล์ฟไทม์ของปฏิกิริยา

ตัวยก

F	สายป้อน
E	สายเอกซ์แทรก
R	สายราฟฟิเนต
S	สายสกัด

ตัวห้อย

0	ก่อนชั้นที่ 1
1	ชั้นที่ 1
2	ชั้นที่ 2
N	ชั้นที่ N
n,x,y	จำนวนโมล

อักษรกรีก

γ	แรงตึงผิวระหว่างผิวสัมผัส, kg/s^2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ρ	ความหนาแน่น, kg/m^3
$\Delta\rho$	ความหนาแน่นระหว่างวัฏภาค, kg/m^3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย