การกำจัดไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วโดยการสกัดของเหลวด้วยของเหลว

นายสมนึก ภาคพานิชย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2538

ISBN 974-632-631-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16661328

ZINC ION REMOVAL FROM USED LUBRICATION OIL BY LIQUID-LIQUID EXTRACTION

Mr. Somnuek Phakpanich

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-631-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วโดยการสกัดของเหลวด้วยของเหลว
โดย	นายสมนึก ภาคพานิชย์
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

..... กรรมการ
(รองศาสตร์จารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สมนึก ภาคพานิชย์ : การกำจัดไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วโดยการสกัดของเหลวด้วยของเหลว (ZINC ION REMOVAL FROM USED LUBRICATION OIL BY LIQUID-LIQUID EXTRACTION) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ. 99 หน้า. ISBN 970-632-631-7

การกำจัดไอออนของโลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว เป็นขั้นตอนหนึ่งในกรรมวิธีกำจัดสิ่งไม่พึงประสงค์ออกไปเพื่อนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ได้อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายที่จะกำจัดไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว โดยใช้การสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์และศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนค่าของตัวแปรต่าง ๆ ว่าจะมีผลกระทบอย่างไรต่อระบบที่ศึกษา

จากผลการวิจัยพบว่า สามารถที่จะกำจัดไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว โดยใช้กระบวนการดังกล่าวข้างต้น ในที่นี้สารละลายที่ใช้เป็นตัวสกัดแยกคือสารละลายแอมโมเนียม-ซัลเฟต ที่มีความเข้มข้นประมาณ 8 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักในน้ำ ซึ่งที่ภาวะสมดุลสามารถที่จะลดปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วจาก 1,650 ppm ลดลงเหลือประมาณ 10 ppm นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ตัวแปรมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของระบบคือ อัตราการไหลของตัวสกัดแยกสาร,อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วและความเร็วรอบของมอเตอร์ กล่าวคือเมื่ออัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณไอออนของโลหะสังกะสี ก็จะถูกกำจัดออกได้น้อยลงเนื่องจาก ระยะเวลาที่น้ำมันสัมผัสกับสารที่ใช้เป็นตัวสกัดแยกนั้นน้อยลง แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของตัวสกัดแยกสารและความเร็วของรอบมอเตอร์ให้สูงขึ้น จะมีผลทำให้ปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วถูกกำจัดออกได้เพิ่มมากขึ้น จนถึงค่าค่าหนึ่งและเมื่อระบบปรับตัวเข้าสู่ภาวะสมดุล แม้จะมีการเพิ่มค่าของตัวแปรต่าง ๆ ให้สูงมากขึ้นอีก ก็จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะสมดุลของระบบ ซึ่งหมายถึงปริมาณไอออนของโลหะสังกะสี จะไม่ถูกกำจัดออกไปมากกว่าเดิม สำหรับภาวะสมดุลของระบบ ที่เหมาะสมในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ ที่อัตราการไหลของตัวสกัดแยกสารต่ออัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วเป็น 1:5 ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 900 รอบ/นาที

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา - ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

##C317941 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: USED LUBRICATION OIL / ZINC ION REMOVAL / LIQUID- LIQUID EXTRACTION / SCHEIBEL COLUMN
SOMNUEK PHAKPANICH : ZINC ION REMOVAL FROM USED LUBRICATION OIL BY LIQUID - LIQUID EXTRACTION. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc. 99 pp. ISBN 974-632-631-7

Removal of contaminated metal ions is a part of regeneration process of used lubrication oil. This study is focus on the removal of Zinc ion from used lubricating oil by liquid-liquid extraction which Ammonium sulphate was used as the extractant and Scheibel column was used as reactor and to study the effect of various parameters in the extraction process.

This study, Ammonium sulphate was used at the concentration of 8 percent by weight. From the results, we found that at the steady state Zinc ion was removed from 1,650 ppm to 10 ppm. Furthermore, we found that flow rate of extractant, flow rate of used lubricating oil and speed of motor effected the degree of extraction. Increase of used lubricating oil flow rate caused less Zinc ion removed but increase of extractant flow rate and increase of motor speed gave the same effect, more Zinc ion removed. However, Zinc ion could not be completely removed eventhough the parameters which direct effect the degree of extraction were adjusted. The conditions giving the highest efficiency of extraction are a ratio of extractant flow rate to used lubricating oil flow rate of 1:5 and a motor speed of 900 rpm.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา - ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือของท่านรองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมถึงการแก้ไขปัญหาที่พบในระหว่างการทดลอง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ คุณโชคชัย สุทธิปรีชา ส่วนควบคุมคุณภาพ การปิโตรเลี่ยมแห่งประเทศไทย และเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดาซึ่งให้การสนับสนุนด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข
กิตติกรรมประกาศ..... ค
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูป..... ฎ

บทที่

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

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 5
   2.1 น้ำมันปิโตรเลียม..... 5
      2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม..... 5
      2.1.2 ล่าดับส่วนปิโตรเลียม..... 6
   2.2 น้ำมันหล่อลื่น..... 9
      2.2.1 การหล่อลื่น..... 9
      2.2.2 การผสมน้ำมันหล่อลื่น..... 10
      2.2.3 ประเภทของน้ำมันหล่อลื่น..... 11
   2.3 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น..... 12
      2.3.1 การเสื่อมสลายของน้ำมันหล่อลื่น
      พื้นฐาน..... 12

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

2.3.2 สารเพิ่มคุณภาพถูกใช้หมดไป..... 13
2.3.3 สิ่งที่เกิดจากภายในเครื่องจักรหรือ
เครื่องยนต์..... 13
2.3.4 สารจากภายนอกเข้าไปปะปน..... 14
2.4 การตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว..... 14
2.4.1 สี..... 16
2.4.2 จุดวาบไฟ..... 16
2.4.3 ความหนืด..... 16
2.4.4 ค่าความเป็นกรด..... 18
2.4.5 ค่าความเป็นด่าง..... 19
2.4.6 ปริมาณน้ำ..... 20
2.4.7 สิ่งที่ไม่ละลาย..... 21
2.4.8 การเจือจางเนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิง..... 22
2.4.9 ค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า..... 22
2.4.10 ปริมาณโลหะ..... 23
2.5 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว..... 24
2.5.1 ใช้ในงานหล่อลื่นที่ไม่รุนแรง..... 24
2.5.2 ใช้ในงานที่ไม่เกี่ยวกับการหล่อลื่น..... 24
2.5.3 ใช้ผสมกับเชื้อเพลิง..... 24
2.6 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว
เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่..... 25
2.6.1 กรรมวิธีขจัดสิ่งไม่พึงประสงค์ออก..... 26
2.6.2 การกลั่นล่าดับส่วนภายใต้สูญญากาศ..... 26
2.6.3 การปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสม..... 26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

2.7 การสกัดแยกสาร..... 27
2.7.1 การสกัดแยกของเหลวด้วยของเหลว..... 27
2.7.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการสกัดแยก
ของเหลวด้วยของเหลว..... 29
2.7.3 ประสิทธิภาพของการสกัดแยกสาร..... 33
2.7.4 ระบบของเหลว 3 ชนิดแบบต่างๆ..... 39
2.8 หอสกัดสารแบบไซน์เบลคอลัมน์..... 41

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... 43
3.1 สารที่ใช้ในการทดลอง..... 43
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 43
3.2.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดของเหลวด้วย
ของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์..... 43
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 46
3.3.1 เครื่องตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะ
สังกะสีในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว..... 46
3.4 วิธีการทดลอง..... 50
3.4.1 การตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสี
ที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว..... 50
3.4.2 การทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสม
ของตัวสกัดแยกสาร..... 50
3.4.3 การทดลองหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่
มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว..... 50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.4.4 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปร
เมื่อให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกคงที่..... 50
3.4.5 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปร
เมื่ออัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้
งานแล้วคงที่..... 52

4. ผลการทดลอง..... 54
4.1 ผลการตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสี
ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว..... 54
4.2 ผลการทดสอบเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ
ตัวทำละลายที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัย..... 55
4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ..... 56
4.3.1 กำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยก
คงที่..... 56
4.3.2 กำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่น
ที่ใช้งานแล้วคงที่..... 60

5. วิจารณ์ผลการทดลอง..... 63
5.1 การหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่มีอยู่ในน้ำมัน
หล่อลื่นที่ใช้งานแล้วก่อนการทดลอง..... 63
5.2 การหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของตัว
สกัดแยกที่จะนำมาใช้ในการวิจัย..... 63
5.3 การหาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ..... 64

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

5.3.1 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกคงที่ 64

5.3.2 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วคงที่ 66

5.4 การสกัดแยกไอออนของโลหะสังกะสีที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วโดยใช้สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต[$(NH_4)_2SO_4$]เป็นตัวสกัดแยก 82

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 85

6.1 สรุปผลการทดลอง 85

6.1.1 กำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกคงที่ 70

6.1.2 กำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วคงที่ 70

6.2 ข้อเสนอแนะ 71

เอกสารอ้างอิง 73

ภาคผนวก 75

ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง 76

ภาคผนวก ข. คุณสมบัติและองค์ประกอบของตัวสกัดแยกและวิธีการใช้เครื่องตรวจวัดปริมาณโลหะ 96

ประวัติผู้เขียน 99

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว..... 15
2.2 เกณฑ์การตัดสินค่าความหนืดโดยทั่วไป..... 17
2.3 เกณฑ์การตัดสินค่าความเป็นกรดโดยทั่วๆไป..... 19
2.4 เกณฑ์กำหนดปริมาณน้ำโดยทั่วไป..... 20
4.1 ผลการตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสึงกะสีในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว..... 54
4.2 ผลการทดสอบเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของตัวสกัดแยกสาร..... 56
ก.1 ผลการทดลองตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 100 รอบ/นาที..... 76
ก.2 ผลการทดลองตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 300 รอบ/นาที..... 77
ก.3 ผลการทดลองตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 500 รอบ/นาที..... 78
ก.4 ผลการทดลองตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 700 รอบ/นาที..... 79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.5 ผลการทดลองตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 900 รอบ/นาที..... 80

ก.6 ผลการทดลองตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว คงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 100 รอบ/นาที..... 81

ก.7 ผลการทดลองตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว คงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 300 รอบ/นาที..... 82

ก.8 ผลการทดลองตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว คงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 500 รอบ/นาที..... 83

ก.9 ผลการทดลองตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว คงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 700 รอบ/นาที..... 84

ก.10 ผลการทดลองตรวจวัดหาปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีที่ผ่านกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไซน์เบลคอลัมน์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว คงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 900 รอบ/นาที..... 85

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสารตั้งต้น intermediate และผลิตภัณฑ์สุดท้าย... 8
2.2 ลักษณะแรงเสียดทานแบบสไลดิ่ง..... 9
2.3 ลักษณะแรงเสียดทานแบบโรลลิ่ง..... 9
2.4 การถ่ายเทมวลสารเกิดที่บริเวณรอยต่อของวัฏภาค..... 29
2.5 การถ่ายเทมวลสารเกิดเร็วขึ้นเมื่อใช้ใบพัดกวน..... 29
2.6 เมื่อหยุดการกวนวัฏภาคของสารทั้งสองจะแยกออกจากกัน..... 30
2.7 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการสกัดของเหลวด้วยของเหลว..... 30
2.8 แผนภูมิสมดุลแสดงเส้นคอนจูเกต..... 31
2.9 ค่าการเลือกในการสกัดด้วยของเหลว..... 32
2.10 แผนภูมิค่าการเลือก..... 34
2.11 แผนภูมิปองชองสำหรับการสกัดด้วยของเหลว..... 36
2.12 แผนภูมิการไหลของกระแสในกระบวนการสกัดย้อนทางที่มีหน่วยสกัด 2 หน่วย 1-1,m-m,n-n เป็นเมมเบรนสมมุติของการถ่ายเทมวลสาร.... 37
2.13 การสกัดย้อนทางที่มีหน่วยสกัด 2 หน่วย..... 37
2.14 ระบบของเหลว 3 ชนิดแบบต่างๆ..... 40
2.15 หอสกัดสารแบบไชน์เบลคอลัมน์ (Scheibel column)..... 42
3.1 ชุดอุปกรณ์สกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไชน์เบลคอลัมน์(แบบแปลน).. 44
3.2 ชุดอุปกรณ์สกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบไชน์เบลคอลัมน์(รูปถ่าย).... 45
3.3 อุปกรณ์ตรวจวัดหาปริมาณโลหะ (AAS)..... 46
3.4 อุปกรณ์อ่านความเร็วรอบของมอเตอร์..... 47
3.5 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์..... 47
3.6 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล..... 48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.7 ตัวอย่างแสดงการเปรียบเทียบน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วก่อน(บน) และหลัง(ล่าง)ผ่านกระบวนการกำจัดไอออนของโลหะสังกะสีด้วยสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต..... 49

4.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว เมื่อให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที..... 58

4.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับความเร็วรอบของมอเตอร์ เมื่อให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยกคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที..... 59

4.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับอัตราการไหลของตัวสกัดแยก เมื่อให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที..... 61

4.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับความเร็วรอบของมอเตอร์ เมื่อให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที..... 62

ก.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับเวลา โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยก คงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 100 รอบ/นาที..... 86

ก.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับเวลา โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยก คงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 300 รอบ/นาที..... 87

ก.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับเวลา โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยก คงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 500 รอบ/นาที..... 88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับเวลา โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยก คงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 700 รอบ/นาที..... 89

ก.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับเวลา โดยกำหนดให้อัตราการไหลของตัวสกัดแยก คงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 900 รอบ/นาที..... 90

ก.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับเวลา โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 100 รอบ/นาที..... 91

ก.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับเวลา โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 300 รอบ/นาที..... 92

ก.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับเวลา โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 500 รอบ/นาที..... 93

ก.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับเวลา โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์ 700 รอบ/นาที..... 94

ก.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไอออนของโลหะสังกะสีกับเวลา โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

งานแล้วคงที่ ที่ 0.2 ลิตร/นาที ความเร็วรอบของมอเตอร์
900 รอบ/นาที..... 95