อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายผสมกรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตต ต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง

นายวีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-575-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18625836

INFLUENCE OF ACETIC ACID-SODIUM ACETATE SOLUTION CONCENTRATION ON EXTRACTION OF ZINC IONS VIA A HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE

Mr. Weerawat Patthaveekongka

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-331-575-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายผสมกรดอะซิติกกับไซเดียมอะซิเตต ต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง
โดย	นายวีรวัฒน์ ปัดทวีกงคา
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบ

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

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา : อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายผสมกรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตตต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง (Influence of Acetic Acid – Sodium Acetate Solution Concentration on Extraction of Zinc Ions via a Hollow Fiber Supported Liquid Membrane) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช ; 118 หน้า. ISBN 974-331-575-6

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงความเข้มข้นของสารละลายผสมกรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตต ซึ่งเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง โดยที่เยื่อแผ่นเหลวเตรียมจากสารสกัด D2EHPA (Di-2-Ethylhexyl Phosphoric Acid) ที่มีความเข้มข้นของสารสกัดไม่เกิน 10% โดยปริมาตรในตัวทำละลาย Kerosene Jet A-1 สารป้อนเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นของไอออนสังกะสี 100 ppm และสารละลายสตริปเป็นสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ผลการศึกษาแสดงว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้ในกระบวนการโดยไม่มีสารละลายบัฟเฟอร์จะให้ประสิทธิภาพในการสกัดสูงเมื่อความเข้มข้นเป็น 0.9% โดยปริมาตร ในกรณีที่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในกระบวนการ นอกจากจะช่วยให้ค่า pH ในสารป้อนคงที่แล้วยังส่งผลให้การสกัดและการนำกลับมีประสิทธิภาพดีขึ้น นอกจากนี้สารละลายบัฟเฟอร์ยังลดความเข้มข้นของสารสกัดลงจาก 0.9% เหลือ 0.5% โดยปริมาตร เมื่อใช้สัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนที่เหมาะสมเท่ากับ 1:50 เมื่อพิจารณาถึงผลของอัตราการไหลที่ใช้ในกระบวนการพบว่าขณะที่อัตราการไหลสูงขึ้นประสิทธิภาพในการสกัดและการนำกลับจะลดต่ำลง จากการศึกษาวิจัยพบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมของระบบจะเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2541	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวเพียงแผ่นเดียว

3971765821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: ZINC / LIQUID MEMBRANE / EXTRACTION / HOLLOW FIBER / BUFFER

WEERAWAT PATTHAVEEKONGKA : INFLUENCE OF ACETIC ACID–SODIUM ACETATE SOLUTION CONCENTRATION ON EXTRACTION OF ZINC IONS VIA A HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc. THESIS CO-ADVISOR : DECHA CHATSIRIWECH, Ph.D. 118 pp. ISBN 974-331-575-6

This research studied the concentration of a mixture of acetic acid and sodium acetate solution which was a buffer solution affecting the extraction of zinc ions via a hollow fiber supported liquid membrane. The liquid membrane was prepared by diluting D2EHPA (Di-2-Ethylhexyl Phosphoric Acid) extractant in Kerosene Jet A-1 with a concentration less than 10% by volume. The feed solution was an aqueous of 100 ppm zinc ions, and the stripping solution was a sulfuric acid solution of 0.1 mole/liter. The result showed that extractant concentration in the process without any buffer solution obtained high efficiency when the concentration is 0.9% by volume. When the buffer solution is used in the process, it provided not only constant pH value of feed solution but also higher efficiencies of the extraction and the stripping. Moreover, the buffer solution could reduce extractant concentration from 0.9% to 0.5% by volume through an appropriate ratio of buffer solution to feed solution of 1:50. For an effect of flow rate in the process, it was shown that as the flow rate increased, the efficiency of extraction and stripping decreased. From the results, it was found that an appropriate flow rate of the system was equal to 100 ml/min.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต วีรวัฒน์ ปัทมวีกงกา

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมซึ่งได้ให้คำปรึกษา ตลอดจนคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจนัจที ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และขอบพระคุณสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทางด้านทุนวิจัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้ซึ่งให้กำเนิดและให้การสนับสนุนอีกทั้งยังให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน รวมทั้ง พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูปภาพ ..... ฑ
สัญลักษณ์ ..... ต
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 งานวิจัยที่ผ่านมา 2
1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 10
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 11
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 11
2 ทฤษฎี 12
2.1 การสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย 12
2.2 การสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลว 16
2.2.1 เยื่อแผ่นเหลวชนิดอิมัลชัน 19
2.2.2 เยื่อแผ่นเหลวที่ได้รับการพยุง 23
(1) ตัวรองรับชนิดแผ่นบาง 24
(2) ตัวรองรับชนิดเกลียววน 26
(3) ตัวรองรับชนิดเส้นใยกลวง 28
2.2.3 เยื่อแผ่นเหลวชนิดไฟฟ้าสถิตย์ 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 สารละลายบัฟเฟอร์ 35

3 การทดลอง 41

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 41

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 42

3.3 วิธีการทดลอง 45

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 53

4.1 ผลการศึกษาเลือกช่วงของความเข้มข้นของสารสกัด ที่เหมาะสมต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 54

4.2 ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 55

4.3 ผลการศึกษาการใช้สารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตต (สารละลายบัฟเฟอร์) ต่อการสกัดและการนำกลับไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวงที่ปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดต่าง ๆ 60

4.4 ผลการศึกษาอัตราการไหลต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 68

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 ผลการศึกษาสัดส่วนโดยปริมาตรของสารละลายผสมกรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตด (สารละลายบัฟเฟอร์) กับสารป้อนต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 71

4.6 ผลการเปรียบเทียบผลการทดลอง 73

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 75

5.1 สรุปผลการทดลอง 75

5.2 ข้อเสนอแนะ 76

รายการอ้างอิง 79

ภาคผนวก 82

ภาคผนวก ก (ข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลของชุดทดลอง) 83

ภาคผนวก ข (ข้อมูลดิบ) 91

ภาคผนวก ค (คำนิยาม) 112

ภาคผนวก ง (ตัวอย่างการคำนวณ) 113

ประวัติผู้วิจัย 118

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อด้อยของเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายกับเทคนิคการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลว	33
2-2	แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อด้อยของเทคนิคการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวชนิดต่างๆ	34
3-1	แสดงรายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	42
3-2	แสดงรายละเอียดของคุณลักษณะของชุดเส้นใยกลวง	43
4-1	แสดผลการเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยที่ผ่านมา	73
ก-1	ข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลภายนอกเส้นใยกลวงในชุดทดลอง (Shell side)	83
ก-2	ข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลภายในเส้นใยกลวงในชุดทดลอง (Tube side)	85
ก-3	ข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลภายนอกเส้นใยกลวงในชุดทดลอง (Shell side) ที่อัตราการไหลต่ำกว่า 100 ml/min	88
ก-4	ข้อมูลการเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลภายนอกเส้นใยกลวงในชุดทดลอง (Tube side) ที่อัตราการไหลต่ำกว่า 100 ml/min	89
ข-1	แสดงข้อมูลผลการทดลองการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบกะ	91
ข-2	แสดงข้อมูลผลการทดลองศึกษาเลือกช่วงของความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมต่อการศึกษาการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง	92

ตารางที่ (ต่อ) หน้า

ข-3 แสดงข้อมูลผลการทดลองศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง เมื่อไม่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในการสกัด 93

ข-4 แสดงข้อมูลผลการทดลองศึกษาการใช้สารละลายผสมระหว่าง กรดอะซิติก กับ โซเดียมอะซิเตต (สารละลายบัฟเฟอร์) ต่อการสกัดและการนำกลับไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวงที่ปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดต่าง ๆ 94

ข-5 แสดงข้อมูลผลการทดลองศึกษาสัดส่วนโดยปริมาตรของสารละลายผสมกรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตต (สารละลายบัฟเฟอร์) กับสารละลายที่มีองค์ประกอบของไอออนสังกะสี (สารป้อน) ต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 95

ข-6 แสดงข้อมูลผลการทดลองศึกษาอัตราการไหลต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 96

ข-7 แสดงข้อมูลค่าฟลักซ์ของผลการทดลองศึกษาเลือกช่วง [D2EHPA] ที่เหมาะสมต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 97

ข-8 แสดงข้อมูลค่าฟลักซ์ของผลการทดลองศึกษา [D2EHPA] ที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 98

ข-9 แสดงข้อมูลค่าฟลักซ์ของผลการทดลองศึกษาปริมาณ [D2EHPA] ที่เหมาะสมเมื่อกระบวนการใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในการสกัดที่สัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนเท่ากับ 1:50 99

ตารางที่ (ต่อ) หน้า

ข-10 แสดงข้อมูลค่าฟลักซ์ของผลการทดลองศึกษาสัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อนที่มีอิทธิพลต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 100

ข-11 แสดงข้อมูลค่าฟลักซ์ของผลการทดลองศึกษาอัตราการไหลต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 101

ข-12 แสดงข้อมูลสมดุลมวลของผลการทดลองศึกษาเลือกช่วง [D2EHPA] ที่เหมาะสมต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 102

ข-13 แสดงข้อมูลสมดุลมวลของผลการทดลองศึกษา [D2EHPA] ที่เหมาะสมต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวงเมื่อไม่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในการสกัด 103

ข-14 แสดงข้อมูลสมดุลมวลของผลการทดลองศึกษาปริมาณ [D2EHPA] ที่เหมาะสมเมื่อกระบวนการใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในการสกัด ที่สัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อน เท่ากับ 1:50 104

ข-15 แสดงข้อมูลสมดุลมวลของผลการทดลองศึกษาสัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อน ต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 105

ข-16 แสดงข้อมูลสมดุลมวลของผลการทดลองศึกษาอัตราการไหลต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 106

ข-17 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการของชุดการทดลองศึกษาเลือกช่วง [D2EHPA] ที่เหมาะสม 107

ตารางที่ (ต่อ) หน้า

ข-18 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนของชุดการทดลองศึกษา [D2EHPA] ที่เหมาะสม เมื่อไม่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในการสกัด 108

ข-19 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการของชุดการทดลองศึกษาปริมาณ [D2EHPA] ที่เหมาะสม เมื่อกระบวนการใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมในการสกัด ที่สัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อน เท่ากับ 1:50 109

ข-20 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการของชุดการทดลองศึกษาสัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อสารป้อน ต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 110

ข-21 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณ [D2EHPA] กับไอออนสังกะสีที่สะสมในกระบวนการของชุดการทดลองศึกษาอัตราการไหลต่อการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 111

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	แสดงขั้นตอนการสกัดและขั้นตอนการนำกลับ ในการสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย	12
2-2	แสดงขั้นตอนการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบอิมัลชัน	13
2-3	แสดงกลไกการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลว	16
2-4	แสดงขั้นตอนการสกัดแยกด้วยเยื่อแผ่นเหลวชนิดอิมัลชัน	20
2-5	แสดงลักษณะของอิมัลชันซ้อน (Double Emulsion) และกลไกการถ่ายโอนมวลในอิมัลชันซ้อน	21
2-6	แสดงลักษณะการใช้ตัวประสานในขบวนการเกิดอิมัลชันแบบ W/O/W และ O/W/O	22
2-7	แสดงรูพรุนจุลภาคของตัวรองรับชนิดแผ่นบางที่ทำจาก PTFE	24
2-8	แสดงลักษณะโดยทั่วไปของกระบวนการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยตัวรองรับชนิดแผ่นบาง	25
2-9	แสดงลักษณะของตัวรองรับชนิดเกลียววนและแสดงการแบ่งชั้นการไหลของวัฏภาคต่าง ๆ	27
2-10	แสดงรูพรุนจุลภาคของตัวรองรับชนิดเส้นใยกลวง	29
2-11	แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยกลวง ซึ่งแสดงลักษณะต่าง ๆ	30
2-12	แสดงลักษณะการปฏิบัติการของเยื่อแผ่นเหลวชนิดไฟฟ้าสถิตย์	31
2-13	แสดงกลไกการสกัดแยกไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวและใช้สารละลายบัฟเฟอร์เข้าร่วมดำเนินการสกัด	39
3-1	แสดงชุดการทดลองการสกัดไอออนสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง	44
3-2	แสดงรายละเอียดของตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ บนชุดการทดลอง	44

รูปที่ (ต่อ) หน้า

3-3 แสดงการปฏิบัติการไหลในลักษณะไหลผ่านครั้งเดียว (One-through-mode) 47

4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับที่ [D2EHPA] เท่ากับ 0.1%, 0.5%, 1.0%, 5.0%, 10.0%, 15.0%, 20.0% และ 25.0% โดยปริมาตร 54

4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับ กับ [D2EHPA] เท่ากับ 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 0.9% และ1.0% โดยปริมาตร 56

4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าฟลักซ์ในการสกัดและการนำกลับ กับ [D2EHPA] เท่ากับ 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 0.9% และ1.0% โดยปริมาตร 59

4-4 แสดงกลไกการเคลื่อนผ่านเยื่อแผ่นเหลวของไอออนสังกะสีและไฮโดรเนียมไอออน 61

4-5 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การสกัดกับเวลาในการทดลอง 62

4-6 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับกับ [D2EHPA] เท่ากับ 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 0.9% และ1.0% โดยปริมาตรเมื่อใช้สารละลายบัฟเฟอร์ 64

4-7 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การสกัดเปรียบเทียบระหว่างการใช้และไม่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ 65

4-8 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การนำกลับเปรียบเทียบระหว่างการใช้และไม่ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ 67

4-9 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับที่สัดส่วนของสารละลายบัฟเฟอร์เท่ากับ 1:100, 1:50, 1:25, 1:16.67, และ 1:12.50 ตามลำดับ 69

รูปที่ (ต่อ) หน้า

4-10 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การสกัดและการนำกลับ ที่อัตราการไหลเท่ากับ 20, 40, 60, 80, 100, 300, 500, 700 และ 900 ml/min 71

5-1 แสดงการปฏิบัติการไหลโดยสารมีอนไหลผ่านครั้งเดียว แต่สารละลายสตริปไหลในลักษณะไหลวนกลับ 77

ก-1 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลทั้งภายในและภายนอกเส้นใยกลวงของชุดทดลอง 87

ก-2 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลทั้งภายในและภายนอกเส้นใยกลวงของชุดทดลองที่อัตราการไหลต่ำกว่า 100 ml/min 90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์

D2EHPA	Di-2-Ethylhexyl Phosphoric Acid
F	สารป้อน
K	ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา
k	ค่าคงที่การสกัด
M	ไอออนโลหะ
m, n	จำนวนโมล
R	อัตราการสกัด
R'	อัตราการสตริป
RH	สารสกัด
S	สารละลายสตริป
[ ]	ความเข้มข้นของสารละลายนั้น
Q	อัตราการไหล
V	ปริมาตร

ตัวยก

——	วัฏภาคของสารละลายอินทรีย์
n	จำนวนโมล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวห้อย

a	ความเป็นกรด
ex	การสกัด
f	สารป้อน
i	ขาเข้า
o	ตำแหน่งผิวสัมผัสในฝั่งการสกัด
n	จำนวนโมล
s	สารละลายสตริป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย