การสกัดแยกและนำกลับไอออนทองแดง โครเมียม และสังกะสี จากสารละลายผสมของไอออน โดยใช้เทคนิคเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวงแบบต่อเนื่อง

นางสาวขวัญตา นัครเรือง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4297-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EXTRACTION AND RECOVERY OF COPPER, CHROMIUM AND ZINC IONS FROM MIXTURE SOLUTION OF ION BY USING CONTINUOUS HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE TECHNIQUE

Miss Kwanta Nakararueng

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 974-17-4297-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดแยกและนำกลับไอออนทองแดง โครเมียม และสังกะสี จากสารละลายผสมของไอออน โดยใช้เทคนิคเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวงแบบต่อเนื่อง
โดย	นางสาวขวัญตา นัครเรือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชนัญ ลีพิพัฒน์ไพบูลย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราธร มงคลศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชนัญ ลีพิพัฒน์ไพบูลย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มล. ศุภกนก ทองใหญ่)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขวัญตา นัครา เรือง : การสกัดแยกและนำกลับไอออนทองแดง โครเมียม และสังกะสี จากสารละลายผสมของไอออนโดยใช้เทคนิคเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวงแบบต่อเนื่อง. (EXTRACTION AND RECOVERY OF COPPER, CHROMIUM AND ZINC IONS FROM MIXTURE SOLUTION OF ION BY USING CONTINUOUS HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE TECHNIQUE). อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. อุรา ปานเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. ณัฐชนัญ ลีพิพัฒน์ไพบูลย์, 99 หน้า, ISBN 974-17-4297-5

งานวิจัยนี้ศึกษาการแยกไอออนทองแดงและโครเมียมจากสารละลายโลหะผสม (ทองแดง โครเมียม และสังกะสี) โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง ใช้โมดูลเส้นใยกลวง 2 คอลัมน์ ซึ่งโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์แรกบรรจุด้วยสารสกัด LIX 84-I สำหรับการสกัดไอออนทองแดง ส่วนโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สองบรรจุด้วยสารสกัดอะลิควอตสำหรับการสกัดไอออนโครเมียม ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารสกัด ความเข้มข้นของสารละลายสตริป และจำนวนรอบในการผ่านโมดูลเส้นใยกลวง จากผลการทดลองพบว่า ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในสารละลายป้อนคือ 2.5 และเมื่อปฏิบัติการให้ผ่านโมดูลเส้นใยกลวง 1 รอบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม จะให้ค่าร้อยละการสกัดไอออนทองแดงและโครเมียมเป็น 72.83 และ 88.04 ตามลำดับ ส่วนค่าร้อยละการนำกลับมีค่า 46.74 และ 75 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการผ่านโมดูลเส้นใยกลวงเป็น 3 รอบ จะทำให้ได้ค่าร้อยละการสกัดและนำกลับที่สูงขึ้น เนื่องจากเป็นการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งได้ค่าร้อยละการสกัดไอออนทองแดงและโครเมียมเป็น 77.17 และ 100 ตามลำดับ ส่วนร้อยละการนำกลับมีค่า 50 และ 79.35 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....ขวัญตา นัครา เรือง.....

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

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

4370237321 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: COPPER / CHROMIUM / ZINC / HOLLOW FIBER / LIQUID MEMBRANE / CONTINUOUS

KWANTA NAKARARUENG : EXTRACTION AND RECOVERY OF COPPER, CHROMIUM AND ZINC IONS FROM MIXTURE SOLUTION OF ION BY USING CONTINUOUS HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc., THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. NATCHANUN LEEPIPATPIBOON, Dr.Rer.Nat., 99 pp. ISBN 974-17-4297-5.

This research studies about the separation of copper and chromium ions from mixed metal solution (copper, chromium and zinc) by using hollow fiber supported liquid membrane (HFSLM). This system consists of two HFSLM columns, the first column is contained with LIX 84-I extractant for extracting copper ion and the second column is contained with Aliquat extractant for extracting chromium ion. The effects of different parameters such as the pH of feed solution, the extractant concentration, the stripping concentration and the number of runs through hollow fiber module were studied. From the experiment, it was found that the optimum pH of feed solution is 2.5. When operated through HFSLM module one cycle under the optimum condition, the percentage of copper and chromium ion extraction are 72.83 and 88.04 respectively and the percentage of copper and chromium ion recovery are 46.74 and 75 respectively. The percentage of extraction and recovery can be increased by operating 3 cycles because of increasing resident time for reaction which the extraction of copper and chromium are 77.17 and 100, the recovery of copper and chromium are 50 and 79.35 respectively.

Department....CHEMICAL..ENGINEERING... Student 's signature..Kwanta Nakararueng

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

Academic year.....2003..... Co-advisor 's signature..Natchanun Leepipatpiboon

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชนัญ ลีพิพัฒน์ไพบูลย์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ตลอดจนคำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ธราธร มงคลศรี ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มล. ศุภกนก ทองใหญ่ ซึ่งเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณหน่วยงานและบุคลากรอีกหลายท่านที่กรุณาสละเวลาให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำ ดังนี้คือ ดร. สิรินาฏ เลาหะโรจนพันธ์ นักนิวเคลียร์เคมี และนายสุรัตน์ มีขันทอง เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมทั้งศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทั้งนี้ขอขอบพระคุณ คุณอิศรา เกษมเศรษฐ จากบริษัท Henkel จำกัด ที่เล็งเห็นความสำคัญของการวิจัย และได้ให้ความอนุเคราะห์เรื่องสารเคมี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และพี่น้องของผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุน อีกทั้งยังให้กำลังใจมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณ คุณวีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา คุณประกร รามกุล และคุณณรรฐพล วิจิตรเฉลิมพงษ์ จากห้องวิจัย Mass Separation รวมทั้งเพื่อนๆ รุ่นพี่ และรุ่นน้องทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูปภาพ ..... ฏ
สัญลักษณ์ ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมา 1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา 5
1.3 วัตถุประสงค์ 9
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10
บทที่ 2 ทฤษฎี 12
2.1 กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่น 12
2.2 เยื่อแผ่นเหลว 17
2.2.1 กลไกการถ่ายเทมวล 17
2.2.1.1 การถ่ายเทแบบสวนทาง (Counter-Transport) 18
2.2.1.2 การถ่ายเทแบบทางเดียวกัน (Co-Transport) 19
2.2.2 รูปแบบของเยื่อแผ่นเหลว 20
2.2.2.1 เยื่อแผ่นเหลวชนิดอิมัลชัน (Emulsion Liquid Membrane).. 21
2.2.2.2 เยื่อแผ่นเหลวชนิดที่ได้รับการพยุง (Supported Liquid Membrane) 24
2.2.2.2.1 ตัวรองรับแบบแผ่นบาง 24
2.2.2.2.2 ตัวรองรับแบบเกลียววน 26
2.2.2.2.3 ตัวรองรับแบบเส้นใยกลวง 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2.3 เยื่อแผ่นเหลวชนิดไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Pseudo Liquid Membrane) 30
2.3 ชนิดของสารสกัดและตัวทำละลาย 33
2.3.1 ชนิดของสารสกัด 33
2.3.1.1 สารสกัดชนิดกรด (Acidic extractants) 33
2.3.1.2 สารสกัดชนิดเบส (Basic extractants) 34
2.3.1.3 สารสกัดชนิดโซลเวท (Solvating extractants) 35
2.3.2 ตัวทำละลายอินทรีย์ 36
บทที่ 3 สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง 38
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 38
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 39
3.3 วิธีการทดลอง 41
3.4 ขั้นตอนการทำความสะอาดตัวรองรับเส้นใยกลวง 48
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง 49
4.1 ผลของความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนที่มีต่อการสกัดและนำกลับโลหะ.. 50
4.2 ผลของความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้สกัดโลหะ 54
4.2.1 ผลของความเข้มข้นของสารสกัด LIX 84-I ที่มีต่อการสกัดและนำกลับโลหะทองแดง 54
4.2.2 ผลของความเข้มข้นของสารสกัดอะลิควอตที่มีต่อการสกัดและนำกลับโลหะโครเมียม 57
4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายสตริปในการนำกลับโลหะ 61
4.3.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายสตริปกรดซัลฟูริกในการนำกลับโลหะทองแดง 61
4.3.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายสตริปโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการนำกลับโลหะโครเมียม 64
4.4 ผลของจำนวนรอบในการผ่านโมดูลเส้นใยกลวงที่มีต่อการสกัดและนำกลับโลหะ. 66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ 69

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1 สรุปผลการทดลอง 69
5.2 ข้อเสนอแนะ 71
รายการอ้างอิง 72
ภาคผนวก 76
ภาคผนวก ก (ข้อมูลการเปรียบเทียบมาตรฐานการวัดอัตราการไหลของชุดทดลอง) ... 77
ภาคผนวก ข (คำนิยาม) 79
ภาคผนวก ค (ข้อมูลดิบและผลการคำนวณ) 80
ภาคผนวก ง (ตัวอย่างการคำนวณ) 93
ภาคผนวก จ (การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP อะตอมมิกอิมิสชันสเปกโทรสโกปี) 96
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ทรัพยากรแร่ที่คาดว่าจะเหลือในสหรัฐ เมื่อเทียบกับความต้องการใช้ในสหรัฐ 1
2.1 กระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่น 16
2.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของเยื่อแผ่นเหลวที่ได้รับการพยุงกับชนิดอิมัลชัน 29
2.3 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวชนิดต่างๆ 32
3.1 รายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 38
3.2 คุณสมบัติของตัวรองรับเส้นใยกลวงที่ใช้ในการทดลอง 40
4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การแยกของโลหะเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง
ในสารละลายป้อน 54
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การแยกของโลหะเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัด
LIX 84-I ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่ง 57
4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแยกของโลหะเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัด
อะลิ ควอตในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สอง 60
4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การแยกของโลหะเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารละลายสตริป
กรดซัลฟูริกในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่ง 63
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การแยกของโลหะเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารละลายสตริป
โซเดียมไฮดรอกไซด์ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สอง..... 66
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การแยกของโลหะเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการผ่านโมดูลเส้นใยกลวง 68
ก.1 ข้อมูลสำหรับปรับค่ามาตรฐานของชุดควบคุมอัตราการไหล
ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่ง 77
ก.2 ข้อมูลสำหรับปรับค่ามาตรฐานของชุดควบคุมอัตราการไหล
ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สอง..... 77
ค.1 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนต่อการสกัดและนำกลับ.. 81
ค.2 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของการศึกษาความเป็นกรด-ด่าง
ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและนำกลับ 82
ค.3 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารสกัด LIX 84-I ต่อการสกัดและนำกลับ ... 83
ค.4 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของการศึกษาความเข้มข้นของสารสกัด
LIX 84-I ต่อการสกัดและนำกลับ 84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค.5 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดอะลิควอตต่อการสกัดและนำกลับ ... 85
ค.6 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของการศึกษาความเข้มข้นของสารสกัด
อะลิควอตต่อการสกัดและนำกลับ 86
ค.7 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารละลายสตริปกรดซัลฟูริก
ต่อการสกัดและนำกลับ 87
ค.8 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของการศึกษาความเข้มข้นของ
สารละลายสตริปกรดซัลฟูริกต่อการสกัดและนำกลับ 88
ค.9 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารละลายสตริปโซเดียมไฮดรอกไซด์
ต่อการสกัดและนำกลับ 89
ค.10 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของการศึกษาความเข้มข้นของ
สารละลายสตริปโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการสกัดและนำกลับ 90
ค.11 ข้อมูลผลการทดลองศึกษาจำนวนรอบในการผ่านโมดูลเส้นใยกลวง
ต่อการสกัดและนำกลับ 91
ค.12 ข้อมูลร้อยละการสกัดและการนำกลับของการศึกษาจำนวนรอบ
ในการผ่านโมดูลเส้นใยกลวงต่อการสกัดและนำกลับ 92
จ.1 แสดงค่าสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์โลหะด้วยเครื่อง ICP สเปกโทมิเตอร์.... 98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 กลไกการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวแบบสวนทาง 18
2.2 กลไกการแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวแบบสวนทาง 20
2.3 ลักษณะการกระจายของกลุ่มอิมัลชัน 22
2.4 เยื่อแผ่นเหลวชนิดอิมัลชัน 23
2.5 กระบวนการดำเนินการด้วยเยื่อแผ่นเหลวชนิดอิมัลชัน 23
2.6 รูพรุนจุลภาคของตัวรองรับชนิดแผ่นบางที่ทำจากพอลิเตรตตระฟลูออโรเอททิลีน 25
2.7 กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวรองรับชนิดแผ่นบาง 25
2.8 ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยตัวรองรับแบบเกลียววน 26
2.9 ลักษณะรูพรุนจุลภาคของตัวรองรับแบบเส้นใยกลวง 27
2.10 ลักษณะเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง 28
2.11 แสดงลักษณะการปฏิบัติการของเยื่อแผ่นเหลวชนิดไฟฟ้าสถิตย์ 30
3.1 สูตรโครงสร้างของสารสกัด LIX 84-I 39
3.2 สูตรโครงสร้างของสารสกัด Methyltrioctylammonium chloride (Aliquat) 39
3.3 อุปกรณ์ชุด Liqui-Cel® Laboratory ที่ใช้ในการทดลอง 39
3.4 ลักษณะของโมดูลเส้นใยกลวงที่ใช้ในการทดลอง 40
3.5 ลักษณะการปฏิบัติการ 42
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนกับ
ร้อยละการสกัดของโลหะ 51
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนกับ
ร้อยละการนำกลับของโลหะ 52
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด LIX 84-I ในคอลัมน์ที่หนึ่ง
กับร้อยละการสกัดไอออนทองแดง 55
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด LIX 84-I ในคอลัมน์ที่หนึ่ง
กับร้อยละการนำกลับไอออนทองแดง 56
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดอะลิควอตในคอลัมน์ที่สอง
กับร้อยละการสกัดไอออนโครเมียม 58

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดอะลิควอตในคอลัมน์ที่สอง
กับร้อยละการนำกลับไอออนโครเมียม 59
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสตริปกรดซัลฟูริก
ในคอลัมน์ที่หนึ่งกับร้อยละการสกัดไอออนทองแดง 62
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสตริปกรดซัลฟูริก
ในคอลัมน์ที่หนึ่งกับร้อยละการนำกลับทองแดง 63
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสตริปโซเดียมไฮดรอกไซด์
ในคอลัมน์ที่สองกับร้อยละการสกัดไอออนโครเมียม 64
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสตริปโซเดียมไฮดรอกไซด์
ในคอลัมน์ที่สองกับร้อยละการนำกลับไอออนโครเมียม 65
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการผ่านโมดูลกับร้อยละการสกัดของโลหะ 67
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการผ่านโมดูลกับร้อยละการนำกลับของโลหะ 68
ก.1 เปรียบเทียบการวัดอัตราการไหลมาตรฐานทั้งฝั่งท่อและฝั่งเปลือก
ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่ง 78
ก.2 เปรียบเทียบการวัดอัตราการไหลมาตรฐานทั้งฝั่งท่อและฝั่งเปลือก
ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สอง 78
จ.1 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP 97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์

D	สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient)
J	ฟลักซ์
M	โมลต่อลิตร
n	จำนวนโมล
ppm	ส่วนต่อหนึ่งล้านส่วน
P	ค่าการเลือกผ่าน (Permeability)
Q	อัตราการไหล
r	ขนาดโมเลกุลของสารที่แพร่ผ่าน
R	ระยะทางในการแพร่
T	อุณหภูมิของสารละลาย
% v/v	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

อักษรกรีก

α	สัมประสิทธิ์การแยก (Separation factor)
η	ความหนืดของสารละลาย
Π	ค่าคงที่มีค่า 3.14
$\propto$	อนันต์

ตัวห้อย

aq	สารละลายเอเควียส
F	สารละลายป้อน
M_1	โมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่ง
M_2	โมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สอง
org	สารละลายอินทรีย์
S	สารละลายสตริป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์ (ต่อ)

ตัวห้อย (ต่อ)

S_1	สารละลายสตริปสำหรับโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่ง
S_2	สารละลายสตริปสำหรับโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สอง

ตัวยก

___	วัฏภาคของสารละลายอินทรีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย