

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการสกัดแบบกะของไอออนโคบอลต์ในสารละลายกรดเกลือด้วย
เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยแบบแผ่น



นายไววิทย อัครเรศวิมาน
นายสมนึก ศรีเสริมสิน
นายเอกสิทธิ์ เรืองรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 36748
วันที่, เดือน, ปี..... 28 ส.ค. 2543

รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้า
ติดต่อ: โทร. 0-2616-1111 หรือ 0-2616-1112 ในวันและเวลาราชการ

A PRELIMINARY STUDY FOR BATCH EXTRACTION OF COBALT IONS IN
HYDROCHLORIC ACID SOLUTION WITH FLAT-SHEET SUPPORTED
LIQUID MEMBRANE



Mr. Vaivit Arkaresvimun

Mr. Somnuk Srisermsin

Mr. Akkasit Ruangrat

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Bachelor of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการสกัดแบบกะของไอออนโคบอลต์ใน
สารละลายกรดเกลือด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยแบบแผ่น
โดย นาย ไวยวิทย์ อัครเรศวิมาน
นาย สมนึก ศรีเสริมสิน
นาย เอกสิทธิ์ เรืองรัตน์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์นภกร อัมพิพิธ

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

นภกร อัมพิพิธ

ประธานกรรมการ

(อาจารย์นภกร อัมพิพิธ)

กรรมการ

(ดร.ประกอบ กิจไชยา)

กรรมการ

(อาจารย์รินฤดี เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการสกัดแบบกะของไอออนโคบอลต์ในสารละลายกรด
เกลือด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยแบบแผ่น

โดย นาย ไวยวิทย์ อัครเรศวิมาน

นาย สมนึก ศรีเสริมสิน

นาย เอกสิทธิ์ เรืองรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์นภกร อัมพิพิธ

ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการสกัดพร้อมกับการดึงกลับของไอออนโคบอลต์(Co^{2+}) ออกจากสารละลายป้อนเข้าสู่สารละลายสตริปด้วยกระบวนการสกัดแบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยแบบแผ่นและยังได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อระบบการสกัดนี้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบกะของไอออนโคบอลต์ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยแบบแผ่น ซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบของการปั่นกวนทั้งสารละลายป้อนและสารละลายสตริป ความเข้มข้นของสารสกัดซึ่งได้แก่ D2EPHA ในโทลูอีนในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 12 ถึง 24 โดยปริมาตร ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนในช่วงที่เป็นกรด และชนิดของสารละลายสตริปซึ่งได้แก่ สารละลายกรดเกลือและสารละลายกรดออกซาลิก

จากการทดลองพบว่า การใช้ความเร็วรอบสูงในการปั่นกวนสารละลายป้อนและสารละลายสตริปสูงขึ้นจะทำให้เกิดการสกัดได้สูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ทั้งในการสารละลายกรดออกซาลิกเป็นสารละลายสตริปไม่สามารถใช้ได้ในระบบนี้เนื่องจากการอุดตันบนเส้นใยด้วยตะกอนของโคบอลต์ออกซาเลต อย่างไรก็ตามเมื่อใช้กรดเกลือเป็นสารละลายสตริป ไอออนโคบอลต์มากกว่าร้อยละ 50 ถูกสกัดและดึงกลับ ซึ่งถ้าเพิ่มความเป็นความเป็นกรด-เบสที่สารละลายป้อนเป็นค่า pH = 6 จะทำให้เกิดการสกัดมากกว่าร้อยละ 65 ของไอออนโคบอลต์ทั้งหมด

Report Title BATCH EXTRACTION OF COBALT IONS IN HYDROCHLORIC ACID
SOLUTION WITH FLAT-SHEET SUPPORTED LIQUID MEMBRANE

By Mr.Vaivit Arkaresvimun
Mr.Somnuk Srisermsin
Mr.Akkasit Ruangrat

Advisor Nopphakorn Thamphiphit

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project found out the possibility of simultaneously extracting and stripping cobalt ions from feed solutions into strip solutions by using a flat-sheet supported liquid membrane system. Various factors which had effects on this extraction system was examined in order to find the good condition for the batch extraction of cobalt ions with flat-sheet supported liquid membrane system also studied including the speed of agitations for both feed and strip solutions, the concentrations of D2EHPA used as an extractant in toluene in the range of 12%-24% by volume, the pH of feed solutions within the acidic-pH range, and the types of strip solutions that is hydrochloric acid and oxalic acid solutions.

From the experimental results, it was found that the high speed of agitation for both feed and strip solutions improved the extraction. Furthermore, oxalic acid solution could not be employed as a strip solution due to membrane clogging with cobalt oxalate in this system. However, when the hydrochloric acid was used as a strip solution, more than 50% of cobaltous ions were extracted and stripped. By using the feed pH of 6, D2EHPA concentration of 16%, agitation speed of 41%, and hydrochloric acid of pH 1 as a strip solution; more than 65% of cobalt ions were extracted.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลือสนับสนุนจากหลาย ๆ ฝ่าย ซึ่งคณะผู้จัดทำใคร่ขอแสดงความขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา ผู้คอยให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ไอออนโคบอลต์ด้วย UV ตลอดจนแนวทางในการแก้ปัญหาหลาย ๆ ประการที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง รวมถึงอาจารย์นภกร รั้มพิพิธ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

เจ้าหน้าที่เทคนิคภาควิชาวิศวกรรมเคมี และวิทยาศาสตร์เคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังลาดกระบัง และเจ้าหน้าที่เทคนิคภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์การทดลองที่ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำในการวิเคราะห์ไอออนโคบอลต์ด้วย AA

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดระยะเวลา 4 ปีที่ผ่านมา รวมทั้งพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วง ซึ่งคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	V
กิตติกรรมประกาศ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	3
1.2 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	6
2.1 กระบวนการเยื่อแผ่นเหลว.....	7
2.2 ลักษณะเฉพาะของกระบวนการเยื่อแผ่นเหลว.....	15
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง.....	21
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3.2 การดำเนินการทดลอง.....	22
3.3 การทดลอง.....	23
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	28
4.1 ผลการทดลองที่ 1.....	28
4.2 ผลการทดลองที่ 2.....	29
4.3 ผลการทดลองที่ 3.....	31
4.4 ผลการทดลองที่ 4.....	33
4.5 ผลการทดลองที่ 5.....	35
4.6 ผลการทดลองที่ 6.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ผลการทดลองที่ 7	39
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	42
5.1 สรุปผลการทดลอง	42
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	43
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	46
ภาคผนวก ข	48
หนังสืออ้างอิง	64



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 สมบัติทางกายภาพบางประการของโคบอลต์และนิกเกิล	3
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการสกัดโคบอลต์ในบีกเกอร์	28
ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 40 %	48
ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 41 %	49
ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 43 %	50
ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 45 %	51
ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 12 VV%	52
ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 16 VV%	53
ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 20 VV%	54
ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 24 VV%	55
ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองที่ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน pH เท่ากับ 4	56
ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองที่ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน pH เท่ากับ 5	57
ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองที่ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน pH เท่ากับ 6	58
ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นไอออนโคบอลต์ในสารละลายป้อน เท่ากับ 500 ppm	59
ตารางที่ ข.13 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นไอออนโคบอลต์ในสารละลายป้อน เท่ากับ 1000 ppm	60
ตารางที่ ข.14 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นไอออนนิกเกิลในสารละลายป้อน เท่ากับ 500 ppm	61
ตารางที่ ข.15 ผลการทดลองเมื่อใช้กรดออกซาลิกเป็นสารละลายสตริป	62
ตารางที่ ข.16 ผลการทดลองเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นสารละลายสตริป	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 กลไกการสกัดโคบอลต์ด้วยกรดโค-2-เอซิลเฮกซิลฟอสฟอริก.....	8
รูปที่ 2.2 ลักษณะของไมคูลเส้นใยกลวง.....	10
รูปที่ 2.3 ลักษณะของไมคูลตัวรองรับแบบเส้นใยม้วน.....	11
รูปที่ 2.4 ESPLIM (Electrostatic pseudo-liquid membrane)	14
รูปที่ 2.5 ระบบการสกัดแบบกะด้วยเยื่อแผ่นเหลวพุงตัวด้วยเส้นใยแบบแผ่น.....	18
รูปที่ 2.6 เกรเดียนของความเข้มข้นในระบบเยื่อแผ่นเหลว ที่พุงด้วยเส้นใยแบบแผ่น.....	19
รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายป้อนที่ความเร็วรอบ ของการปั่นกววนต่างกัน.....	29
รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายสตริป ที่ความเร็วรอบ ของการปั่นกววนต่างกัน.....	30
รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายป้อน ที่ปริมาณสารสกัดต่างกัน.....	32
รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ ในสารละลายสตริป ที่ปริมาณสารสกัดต่างกัน.....	32
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ ในสารละลายป้อน ที่ความเป็นกรดเบสต่างกัน.....	34
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ ในสารละลายสตริป ที่ปริมาณสารสกัดต่างกัน.....	34
รูปที่ 4.7 % Extraction ในสารละลายป้อนที่ความเข้มข้นของ ไอออนโคบอลต์ต่างกัน.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8	ความเข้มข้นของโคบอลต์ในสารละลายป้อนที่ ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ต่างกัน.....	36
รูปที่ 4.9	ความเข้มข้นของโคบอลต์ในสารละลายสตริป ที่ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ต่างกัน.....	36
รูปที่ 4.10	ความเข้มข้นของโคบอลต์ไอออนในสารละลายสตริป เมื่อใช้กรดออกซาลิก เป็นสารละลายสตริป.....	37
รูปที่ 4.11	ผลของสารละลายสตริปด้านสารละลายสตริป.....	38
รูปที่ 4.12	ผลของการเปลี่ยนสารละลายสตริปเป็นกรดออกซาลิก ที่มีผลต่อ % Extraction และ % Recovery.....	38
รูปที่ 4.13	ผลกระทบของไอออนนิกเกิลต่อการสกัด % Extraction.....	39
รูปที่ 4.14	แสดงผลกระทบของไอออนนิกเกิลต่อการสกัด % Recovery.....	40
รูปที่ 4.15	เปรียบเทียบการสกัดกับ $[Co^{2+}]$	40
รูปที่ 4.16	ค่า Separation factor (α).....	41

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตโลหะเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจและการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนา อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการผลิตยังประสบปัญหาต่างๆ มากมาย เช่น ปริมาณวัตถุดิบที่ลดลงเนื่องจากทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด ต้นทุนการผลิตที่สูง และปัญหามลภาวะจากกระบวนการผลิต เป็นต้น เมื่อใช้ปัญหาที่กล่าวมาเป็นจุดเริ่มต้นในการพิจารณากระบวนการผลิต ทำให้เห็นถึงความจำเป็นในการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด การเปลี่ยนของเสียให้เป็นผลผลิต การประหยัดการใช้ทรัพยากร การเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการลดค่าใช้จ่าย ความเสี่ยง และอันตรายในการผลิต โดยการศึกษาค้นคว้าหากระบวนการผลิตใหม่หรือพัฒนากระบวนการผลิตที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และมีโลหะหรือสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการปนเปื้อนไปกับน้ำทิ้งน้อยที่สุด รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

เนื่องจากกระบวนการแยกเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการผลิต นับตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบให้มีความบริสุทธิ์ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการผลิต รวมไปถึงจนถึงการทำผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้มีความบริสุทธิ์ตามความต้องการของตลาด อุตสาหกรรมผลิตโลหะจึงนิยมใช้ การสกัดไอออนโลหะโดยการแลกเปลี่ยนไอออนแบบเลือก (Selective ion exchange) โดยเฉพาะการสกัดสินแร่จากเหมืองแร่ และการนำไอออนจากน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ อย่างไรก็ตามการใช้เทคนิคนี้โดยทั่วไป เช่น การสกัดแบบคอลัมน์ (Column extractions) ไม่เหมาะสมกับการใช้งานประเภทนี้เนื่องจากต้องใช้สารป้อนที่มีความเข้มข้นสูง ต้องใช้สารพาหรือสารสกัด (Carrier or Extractant)

ปริมาณมาก อีกทั้งสารพาดังกล่าวมีโอกาสหลุดติดไปกับน้ำทิ้งของกระบวนการ เป็นเหตุให้ต้องมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำต่อไป การลดค่าใช้จ่ายเหล่านี้สามารถกระทำได้โดยการใช้กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลว (Liquid membrane) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นในหลายเทคนิค

เทคนิคการสกัดเทคนิคหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจอย่างมากในการสกัดโลหะ ได้แก่ เทคนิคเยื่อแผ่นของเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (Hollow-fiber supported liquid membrane, HFSLM) เนื่องจากมีข้อได้เปรียบเหนือเทคนิคอื่น ๆ ซึ่งได้แก่ มีพื้นที่ผิวของการสกัดต่อปริมาตรสูงกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Solvent extraction) เช่น เมื่อเส้นใยมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.3 มิลลิเมตรและผนังหนา 150 ไมครอน จะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเท่ากับ 2,500 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร [Schulz, 1988] เป็นต้น ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์และสารสกัดที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวในปริมาณน้อยกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์และการสกัดด้วยวิธีเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน (Emulsion liquid membrane) ใช้พลังงานน้อย และมีความสามารถในการเลือกสกัดเฉพาะไอออนโลหะบางตัวสูงกว่าการสกัดด้วยการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) แต่ก็มีข้อเสียเปรียบได้แก่ ราคาของโมดูล (Module) ค่อนข้างสูง ความดันตกคร่อม (Pressure drop) สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเส้นใยกลวงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเล็ก นอกจากนี้ยังต้องล้างโพลีเมอร์ที่ใช้เป็นตัวพุงด้วยสารเคมีเป็นประจำเพื่อให้ฟลักซ์คงที่เสมอ [Loiacono et al., 1986; Tavlarides et al., 1987; Teramoto et al., 1987]

ในการศึกษาแบบจำลองของระบบที่สร้างขึ้นนี้ เป็นเทคนิคการสกัดโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยแบบแผ่น (Flat-sheet supported liquid membrane) เนื่องจากระบบนี้มีแนวโน้มว่าสามารถให้ผลการสกัดในอุตสาหกรรมเมื่อเทียบกับระบบเยื่อแผ่นเหลวแบบอื่น ๆ ที่มีราคาสูงกว่า และยังสามารถนำข้อสรุปที่ได้จากการทดลองในด้านขนาดพื้นที่ผิวที่ส่งผลต่อการสกัดที่ได้จากการทดลองไปใช้กับเทคนิคเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงที่มีการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม

จากการประเมินเบื้องต้นจากเอกสารทางวิชาการต่าง ๆ สำหรับการสกัดแบบกะของ ไอออนโคบอลต์ ด้วยการสกัดแบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยแบบแผ่น ซึ่งพบว่ามีศักยภาพในการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมกระบวนการได้ โดยเฉพาะการสกัดโคบอลต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ 1.1 สมบัติทางกายภาพบางประการของโคบอลต์และนิกเกิล

สมบัติ	โคบอลต์	นิกเกิล
จำนวนอะตอม	27	28
น้ำหนักอะตอม	58.9332	58.71
รัศมีโควาเลนต์ (Å)	1.16	1.15
รูปแบบของไอออน	2+ (cobaltous) 3+ (cobaltic)	2+ (nickelous) 3+ (nickelic)
จุดหลอมเหลวปกติ (°C)	1,495	1,453
จุดเดือดปกติ (°C)	2,900	2,732
ความจุความร้อนที่ 0 °C (Specific heat capacity)	0.1028	0.1032

1.1 วัตถุประสงค์

1) เพื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการสกัดแบบกะของไอออนโคบอลต์ (Co^{2+}) ด้วยกระบวนการการสกัดแบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยแบบแผ่น

3) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบกะของไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยแบบแผ่น

4) เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้ กับผลการศึกษาที่ผู้อื่นได้ทำไว้โดยเทคนิคการแยกอื่น ๆ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ การสกัดแบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาค้นคว้าเอกสารทางวิชาการต่าง ๆ สำหรับการสกัดไอออนโลหะโดยการสกัดแบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยแบบแผ่น

2) ออกแบบ สั่งซื้อ และจัดสร้างอุปกรณ์ทดลอง

3) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดแบบกะของไอออนโคบอลต์ ได้แก่

3.1) ความเป็นกรด - เบส ของสารละลายป้อนและสารละลายสตริป โดยควบคุมให้คงที่ในแต่ละกะ

3.2) ความเร็วรอบของการปั่นกวนสารละลายป้อนและสารละลายสตริป

3.3) ความเข้มข้นของสารสกัดในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้เป็นเยื่อแผ่นเหลว

3.4) ชนิดของสารละลายสตริป

3.5) ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะหนักในสารละลายป้อน

3.6) ผลของไอออนโลหะอื่นที่มีต่อการสกัด

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1) การศึกษาข้อมูลและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสกัดโลหะด้วยวิธีต่าง ๆ

2) การออกแบบ สั่งซื้อ และจัดสร้างอุปกรณ์การทดลอง

3) การทดสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ก่อนทำการทดลองจริง

4) การดำเนินการทดลอง

5) การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

6) การสรุปและการเสนอแนะผลการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) การทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทำให้ทราบข้อมูลเบื้องต้นในการสกัดแบบกะของไอออนโคบอลต์ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยแบบแผ่น
- 2) สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแบบกะของไอออนโคบอลต์
- 3) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตที่ใช้โคบอลต์เป็นสารป้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

เยื่อแผ่น (Membrane) คือ วัสดุที่ทำหน้าที่เป็นตัวกั้นกลางซึ่งแบ่งสารละลาย 2 เฟส ออกจากกัน และจำกัดการถ่ายเทสารเคมีองค์ประกอบต่าง ๆ ให้มีความจำเพาะมาก ๆ ชนิดของเยื่อแผ่นเหลวสามารถแบ่งตามลักษณะขององค์ประกอบพื้นฐานออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) เยื่อแผ่นชนิดเอกพันธ์ (Homogeneous membrane) คือ เยื่อแผ่นที่ประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานเพียงชนิดเดียวขณะใช้งาน เช่น เยื่อแผ่นเหลวที่ทำจากแก้ว เยื่อแผ่นเหลวที่ทำจากสารโพลีเมอร์ เป็นต้น เยื่อแผ่นชนิดนี้นิยมใช้ในการกรอง

2) เยื่อแผ่นชนิดวิวิธพันธ์ (Heterogeneous membrane) คือ เยื่อแผ่นที่ประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานสองชนิดขึ้นไปขณะใช้งาน โดยมากเป็นการนำเยื่อแผ่นชนิดเอกพันธ์มาทำการประยุกต์เพื่อให้งานมีลักษณะที่เฉพาะมากขึ้น เช่น ในรูปของเยื่อแผ่นเหลว (Liquid membrane)

ถ้าหากแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของเยื่อแผ่น ก็จะแบ่งเยื่อแผ่นออกได้หลายแบบ เช่น มีโครงสร้างแบบสมมาตรหรืออสมมาตร มีสถานะเป็นของแข็งหรือของเหลว อาจเป็นกลางทางไฟฟ้า หรือมีประจุเป็นบวกหรือลบหรืออาจมีทั้ง 2 ขั้วก็ได้ เพื่อใช้ในการเลือกผ่านองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกัน ความหนาของเยื่อแผ่นเหลวอาจแปรผันได้ตั้งแต่น้อยกว่า 100 ไมโครเมตร จนถึงมากกว่า 1 เซนติเมตร เพื่อประโยชน์ในการทำงานและความทนทานต่อสภาวะที่ต่างกัน เยื่อแผ่นอาจมีความต้านทานไฟฟ้าตั้งแต่หลายเมกะโอห์ม จนถึงน้อยกว่า 1 โอห์ม การถ่ายเทมวลผ่าน เยื่อแผ่นเหลวที่อาจเกิดขึ้นโดยอาศัยการพา (Convection) หรือการแพร่ (Diffusion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำโดยสนามไฟฟ้า หรือเกรเดียนท์ของความเข้มข้น ความดัน และ อุณหภูมิก็ได้

2.1 กระบวนการเยื่อแผ่นเหลว

กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวเป็นกระบวนการแยกที่รวมเอาขั้นตอนการสกัดและขั้นตอนการ ดึงกลับ (Stripping) ให้เกิดอยู่ในขั้นตอนเดียว ปฏิกริยาจะเกิดที่ผิวสัมผัสของเยื่อแผ่นเหลว โดยอาศัยสารพาเป็นตัวเลือกผ่านไอออนของสารที่ต้องการ

โดยกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวจะประกอบด้วยของเหลว 3 เฟสด้วยกัน คือ เฟสของสาร ละลายป้อน เยื่อแผ่นของเหลว และสารละลายสตริบ

2.1.1 กลไกการถ่ายเทมวลที่ใช้ในกระบวนการสกัดทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 กลไกหลักคือ

2.1.1.1 กลไกการถ่ายเทโดยไม่อาศัยตัวพา (Unfacilitated transport)

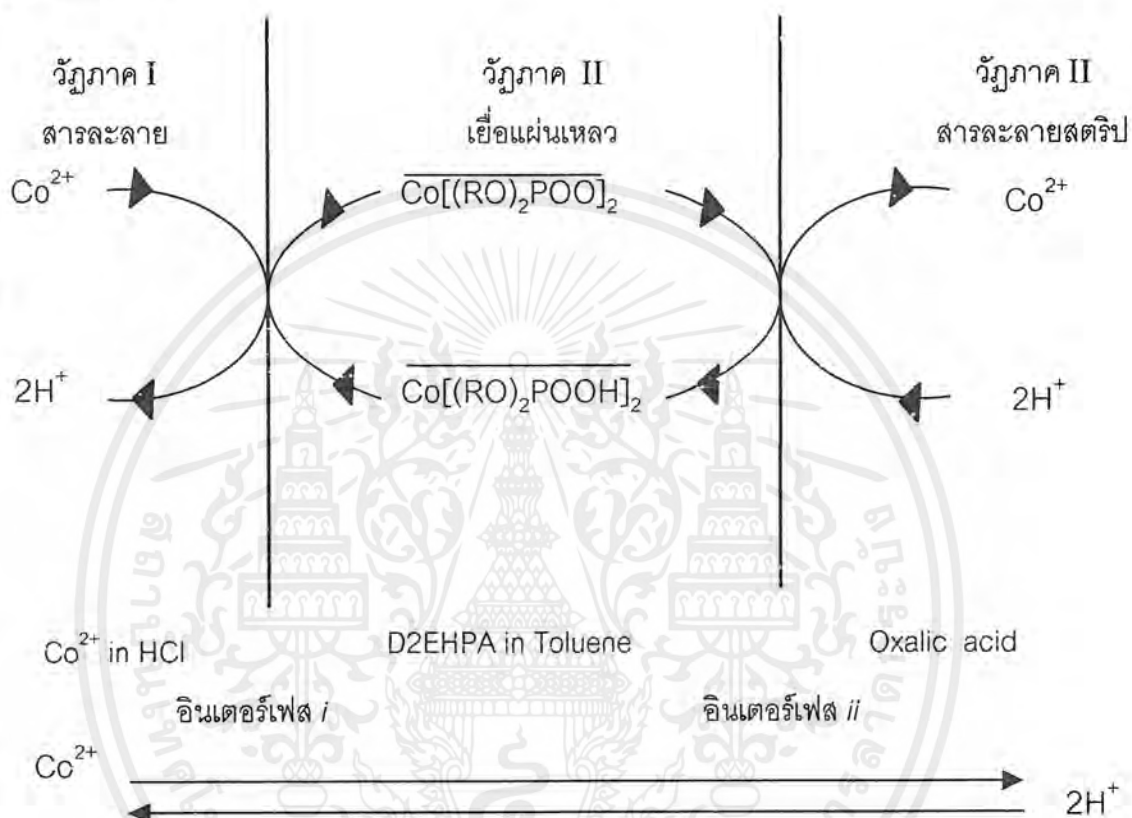
กลไกนี้เป็นกลไกที่อาศัยความสามารถละลายที่ดีกว่าของตัวถูกละลาย ในตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่ง กลไกนี้นับเป็นกลไกพื้นฐานสำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายทั่วไป อย่างไรก็ตาม ถ้าในสารละลายป้อนมีตัวถูกละลายหลายชนิดที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย ที่ใช้เป็นตัวสกัดแล้ว กลไกนี้จะให้ความสามารถในการเลือกต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความ บริสุทธิ์ค่อนข้างต่ำ

2.1.1.2 กลไกการถ่ายเทโดยอาศัยตัวพา (Facilitated transport)

กลไกนี้มีความสามารถในการเลือกสูงกว่ากลไกแบบที่ 1 และเหมาะ สำหรับไอออนที่ไม่สามารถละลายในวัฏภาคเยื่อแผ่นได้ เช่น ไอออนโลหะ เป็นต้น โดยกลไกนี้ ต้องใช้ตัวพาหรือสารสกัดในการเลือกผ่านเฉพาะไอออนที่ต้องการสกัด โดยการทำให้ปฏิบัติกริยาเคมี กับสารสกัดดังกล่าวที่พื้นผิวสัมผัส (อินเตอร์เฟส i) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน สารประกอบ เชิงซ้อนนี้ซึ่งจะแพร่ผ่านวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวด้วยความแตกต่างของความเข้มข้น ไปยังพื้นที่ผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัสและเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับคายไอออนดังกล่าวออก (อินเตอร์เฟส *ii*) จากนั้นสารสกัดจะแพร่กลับไปที่อินเตอร์เฟส *i* เพื่อเริ่มปฏิกิริยาการสกัดต่อไป ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งชี้ดบนตัวอักษรหมายถึง ภูมิภาคเยื่อแผ่น



รูปที่ 2.1 กลไกการสกัดโคบอลต์ด้วยกรดได - 2 - เอริลเฮกซิลฟอสฟอริก

2.1.2 รูปลักษณะของเยื่อแผ่นเหลว

ในการดำเนินการสกัด รูปร่าง (Configuration) เยื่อแผ่นเหลวสามารถถูกเตรียมขึ้น ในรูปร่างลักษณะต่าง ๆ ได้ 3 แบบใหญ่ ๆ เพื่อให้มีความหนาของเยื่อแผ่นที่เหมาะสมกับระบบดังต่อไปนี้

2.1.2.1 เยื่อแผ่นเหลวที่เคลื่อนที่ไม่ได้

เยื่อแผ่นเหลวที่เคลื่อนที่ไม่ได้ (Immobilized liquid membranes)

หรือที่นิยมเรียกว่า Supported liquid membrane มีลักษณะสำคัญคือ เยื่อแผ่นเหลวจะถูกทำได้ โดยการเติมเต็ม (fulfilled) ในรูพรุนของตัวพองที่โดยมากเป็นวัสดุจำพวกโพลีเมอร์ด้วยเยื่อแผ่นเหลว วัสดุรองรับควรมีความพรุนสูง เพื่อเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทมวล และมีขนาดรูพรุนที่เล็กพอที่จะรองรับเยื่อแผ่นเหลว เนื่องจากเยื่อแผ่นเหลวจะยึดติดกับตัวพองโดยอาศัยแรง Capillary force (Hydrostatic pressure) เพียงอย่างเดียว ชนิดของวัสดุรองรับสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ วัสดุรองรับชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งจะใช้พองวัสดุเยื่อแผ่นที่เป็นสารละลายอินทรีย์สำหรับระบบ น้ำ - น้ำมัน - น้ำ และวัสดุรองรับชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งจะใช้พองวัสดุเยื่อแผ่นที่เป็นสารละลายเอควิวสสำหรับระบบ น้ำมัน - น้ำ - น้ำมัน รูปร่างลักษณะของเยื่อแบบแผ่นยังแบ่งได้เป็น 3 ชนิดตามรูปแบบของวัสดุรองรับได้แก่

1) ตัวรองรับแบบแผ่นแบน

ตัวรองรับแบบแผ่นแบน (Flat-sheet support) มีลักษณะเป็นแผ่น ซึ่งอาจเป็น 2 แผ่นวางขนานกันและบรรจุของเหลวที่เป็นเยื่อแผ่น (Membrane liquid) ระหว่างตัวรองรับทั้งสองแผ่นนี้ หรืออาจใช้เพียงแผ่นเดียวและเคลือบฝัง (Impregnate) ของเหลวดังกล่าวซึ่งจะช่วยลดความหนาของชั้นเยื่อแผ่นเหลวลงได้มาก

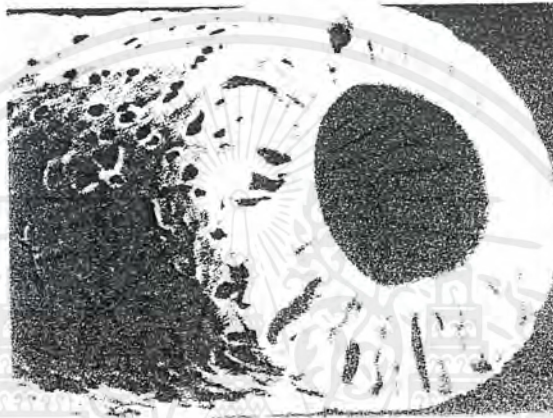
2) ตัวรองรับแบบเส้นใยกลวง

ตัวรองรับแบบเส้นใยกลวงลักษณะจะคล้ายกับตัวรองรับแบบแผ่นแบนที่ใช้แผ่นโพลีเมอร์เพียงแผ่นเดียว แต่โพลีเมอร์ที่ใช้จะอยู่ในรูปของเส้นใยกลวงแทนแบบแผ่นแบนซึ่ง HFSLM จะให้พื้นที่การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรสูงมาก รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของโพลีเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic polymer)

ในการดำเนินการสกัดจำเป็นต้องเคลือบฝังสารละลายอินทรีย์ในรูพรุนของเส้นใยกลวง

โดยการหมუნเวียนสารละลายอินทรีย์เข้าสู่ Tubeside ของเส้นใยกลวงประมาณ 5-10 นาที ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายอินทรีย์จะซึมเข้าสู่รูพรุนด้วยสัมพรรคภาพ (ความชอบ, Affinate) ระหว่างโพลีเมอร์ กับสารละลายอินทรีย์ (Like dissolves like) และจะถูกซังอยู่ภายในด้วย Capillary force จากนั้นล้างสารละลายอินทรีย์ที่ค้างอยู่ภายในออก และเริ่มต้นป้อนสารละลายป้อนและสารละลายสตริปเข้าสู่ภายในโมดูลพร้อมกัน โดยอาจให้ไหลตามกันหรือสวนทางกันก็ได้ และให้สารละลายใด ไหลใน tubeside ก็ได้ []



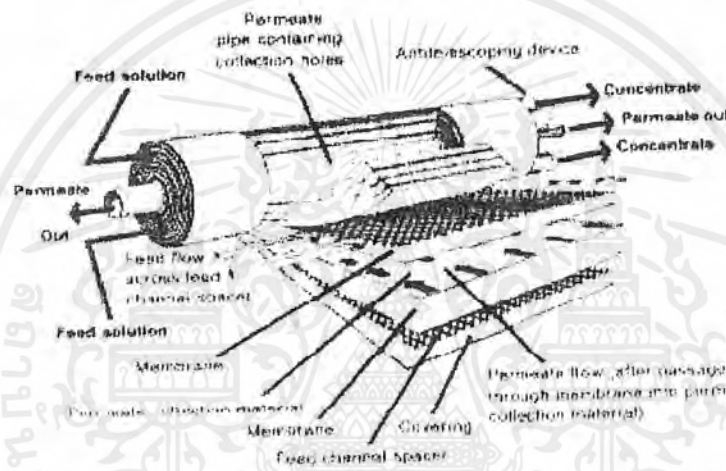
รูปที่ 2.2 ลักษณะของโมดูลเส้นใยกลวง

3) ตัวรองรับแบบเส้นใยม้วน

ตัวรองรับแบบเส้นใยม้วน (Spiral - wound support) นี้จะใช้แทนโมดูลของเส้นใยกลวงเมื่อสารละลายป้อนมีความสกปรกมาก เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกลวงเล็กมาก ทำให้เกิดการอุดตันได้ง่ายเมื่อสารละลายป้อนมีสิ่งเจือปนมาก ลักษณะของเส้นใยแบบม้วนจะคล้ายกับเส้นใยแบบแผ่นแบน เพียงแต่นำมาม้วนให้กะทัดรัดขึ้น โดยสารละลายเอเควียสทั้ง 2 เฟสจะต้องไหลเป็นเกลียว ขนานไปกับผิวหน้าของเยื่อแผ่นเหลว ดังรูป 2.3

2.1.2.2 เยื่อแผ่นเหลวที่เคลื่อนที่ได้

เยื่อแผ่นของเหลวที่เคลื่อนที่ได้หรือเรียกว่าเยื่อแผ่นของเหลวที่ไม่ถูกพุง (Mobilized liquid membrane หรือ Unsupported liquid membrane) ได้แก่ เยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน (Emulsion liquid membrane) ลักษณะของอิมัลชัน คือ จะประกอบด้วยเฟสภายใน (Internal or encapsulated) และตัวเยื่อแผ่นเหลวเอง โดยเฟสภายในจะถูกล้อมรอบด้วย



รูปที่ 2.3 ลักษณะของโมดูลตัวรองรับแบบเส้นใยม้วน (Spiral - wound support)

เฟสเยื่อแผ่น จากนั้นต้องนำอิมัลชันนี้ไปสัมผัสกับเฟสภายนอก (External phase) เพื่อให้เกิดการสกัด และการดึงกลับขึ้นพร้อม ๆ กัน ขั้นตอนการดำเนินงานสามารถสรุปเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1) การเตรียมอิมัลชัน (Emulsification)

โดยปกติแล้วเมื่อกวนสารละลาย 2 ชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน จะเกิดอิมัลชันขึ้น แต่อิมัลชันดังกล่าวจะคงรูปอยู่ไม่นาน ดังนั้น เพื่อให้อิมัลชันที่เตรียมขึ้นมี

ความเสถียรตลอดการดำเนินการสกัด จึงต้องเติมสารทำให้เสถียรหรือสารลดแรงตึงผิว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Stabilizer, emulsifier, หรือ surfactant) ทั้งนี้การเตรียมอิมัลชันต้องใช้ความเร็วรอบสูง ๆ (ประมาณ 10,000 รอบต่อนาที) โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Homogenizer เพื่อให้อิมัลชันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมยิ่งเล็กเท่าใด พื้นที่ผิวต่อปริมาตรของทรงกลมก็จะมีเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Encapsulated droplet จะอยู่ในช่วง 1-3 ไมครอน และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Emulsion globule จะอยู่ในช่วง 0.1-1.2 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขนาดดังกล่าวขึ้นอยู่กับความแรงของการกวน ความหนืดของสารละลายทั้ง 2 ชนิด ที่เกิดเป็นอิมัลชัน และธรรมชาติและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว

ELM ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ a water-in-oil (เขียนย่อว่า W/O) emulsion เมื่อ Internal phase เป็นสารละลายเอเคเวียสและ Oil-in-water (O/W) emulsion เมื่อเฟสภายในเป็นสารละลายอินทรีย์ W/O emulsion ถูกนำไปสัมผัสกับสารละลายเอเคเวียส จะได้ระบบของ W/O/W ในขณะที่ถ้าเป็น W/O emulsion จะได้ระบบของ O/W/O ดังนั้นชนิดของสารลดแรงตึงผิวจึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะของอิมัลชัน กล่าวคือ Hydrophilic surfactant สำหรับ O/W emulsion และ Hydrophobic surfactant สำหรับ W/O emulsion

2) การสกัดและดึงกลับ (Extraction and stripping steps)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการนำอิมัลชันที่เตรียมขึ้นในขั้นตอนแรก ไปสัมผัสกับเฟสภายนอกหรือเฟสต่อเนื่อง (Continuous phase) เพื่อให้เกิดการสกัดและการดึงกลับขึ้น โดยปกติแล้วการเตรียมอิมัลชันจะให้สารละลายสตริบเป็นเฟสภายในและสารละลายป้อนเป็นเฟสต่อเนื่อง เพื่อเป็นการแยกและเพิ่มความเข้มข้นให้กับตัวถูกละลายที่ถูกสกัดมา นอกจากนี้จะทำให้สามารถทิ้งราฟิเนตได้ทันที ในขณะที่วัฏภาคภายในที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ต้องผ่านขั้นตอนต่อไป

3) การพัก (Setting)

เมื่อการสกัดเสร็จสิ้นแล้ว จะยุติการกวนเพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างกราฟิเนตกับอิมัลชันที่มีตัวถูกละลายที่ถูกสกัดได้ แล้วนำอิมัลชันไปบำบัดในขั้นต่อไป

4) การแตกอิมัลชัน (Demulsification)

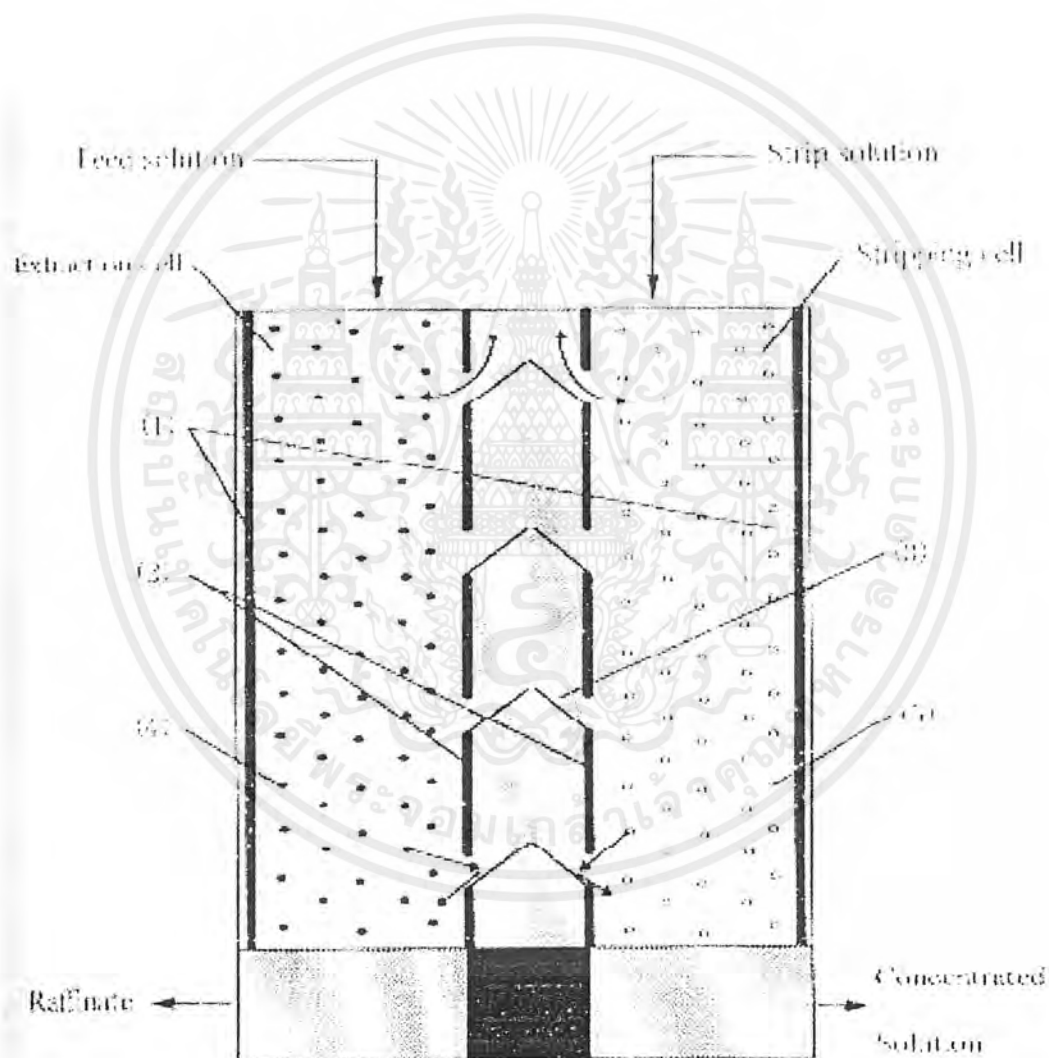
ขั้นตอนนี้เป็น การแตกอิมัลชัน เพื่อนำตัวถูกละลายที่สกัดได้ในสารละลายสตริปไปใช้งาน และ/หรือเพื่อนำสารละลายเยื่อแผ่นเหลวไปใช้เตรียมอิมัลชันขึ้นมาใหม่ โดยทั่วไป การแตกอิมัลชันนิยมใช้อยู่ 2 วิธีได้แก่ การเติมสารแตกอิมัลชัน (Demulsifier) เพื่อยับยั้งการทำงานของ Emulsifier แต่วิธีนี้อาจทำให้ไม่สามารถนำสารละลายเยื่อแผ่นเหลวไปใช้ได้อีกต่อไป และการใช้กระแสไฟฟ้าในการแตกตัวของอิมัลชัน

2.1.3 Electrostatic Pseudo-Liquid Membrane (ESPLIM)

เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ถูกคิดค้นขึ้นเมื่อไม่นานมานี้ โดย Gu และคณะ ในปี ค.ศ. 1988 ซึ่งเป็นการรวมเทคนิคของไฟฟ้าสถิต (Electrostatic) กับหลักการของเยื่อแผ่นเหลว ESPLIM มีข้อดีเหนือกว่ากระบวนการเยื่อแผ่นเหลวอื่น คือ ลดการดำเนินการที่ซับซ้อนของเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน และเอาชนะความไม่เสถียรของเยื่อแผ่นเหลวที่ถูกพองได้ ซึ่งกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวนี้นี้เป็นกระบวนการที่ไม่มีสมดุลของการถ่ายเทมวล (Non-equilibrium mass transfer) ข้อด้อยประการหนึ่งของเทคนิคนี้ คือ ต้องใช้ของเหลวที่ใช้เป็นเยื่อแผ่นในปริมาณมาก เนื่องจากระบบนี้ใช้ของเหลวที่เป็นเยื่อแผ่นของเหลวที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ESPLIM จะเกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์พิเศษดังรูปที่ 2.4

ในกระบวนการนี้ ของเหลวเยื่อแผ่นของเหลวจะเป็นเฟสต่อเนื่อง และสารละลาย เอเควีลทั้งสองจะถูกพ่นเป็นละอองเข้าสู่แต่ละฝั่งของถังปฏิกรณ์ ซึ่งถูกแยกด้วยแผ่นกั้น (Divider) แผ่นกั้นดังกล่าวจะเป็นแผ่นพลาสติกสามเหลี่ยมยกขึ้นตรงกลาง และถูกร้อยเชื่อมกันด้วยเส้นลวด สามเหลี่ยมปลายแหลมนี้อาจทำหน้าที่ป้องกันการไหลข้ามฝั่งของสาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายเอเควียส ในขณะที่เส้นลวดทำหน้าที่เป็นสายดิน ที่ข้างถึงด้านในจะต่อกับสายไฟแรงสูง เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าให้กับสารละลายเอเควียส ทำให้เกิดการกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ในของเหลวเยื่อแผ่นเหลว ปฏิกริยาการสกัดจะเกิดขึ้นที่รอบ ๆ หยดของสารละลายป้อน จากนั้นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแล้วจะแพร่ไปสู่ฝั่งสารละลายสตริปด้วยความแตกต่างของความเข้มข้น ปฏิกริยาการดึงกลับจะเกิดขึ้นที่



รูปที่ 2.4 ESPLIM (Electrostatic pseudo-liquid membrane) (1) ขั้วไฟแรงดันสูง

(2) ขั้วลบ (3) แผ่นกั้น (4) หยดละอองของสารละลายป้อน (5) หยด

ละอองของสารละลายสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบ ๆ หยดของสารละลายสตริป กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ระบบ จะมีผลต่อหยดน้ำเท่านั้น เนื่องจากในระบบริบนี้หยดน้ำจะมีขั้ว แต่เยื่อแผ่นเหลวจะไม่มีขั้ว ดังนั้น เมื่อหยดน้ำไหลเข้าสู่แผ่นพลาสติกจะเกิดการรวมตัวเป็นหยดใหญ่ขึ้น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวไม่มีกระแสไฟฟ้าที่ทำหน้าที่กระจายหยดน้ำ และเมื่อหยดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะตกลงสู่ฝั่งของตัวเองด้วยแรงดึงดูดของโลก และเมื่อเข้าสู่สนามไฟฟ้า หยดน้ำมันก็จะกระจายเป็นหยดเล็ก ๆ อีกครั้ง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น และเมื่อหยดน้ำตกลงมาเรื่อย ๆ ตามแรงดึงดูดโลกจนถึงบริเวณที่ไม่มีกระแสไฟฟ้า ก็จะมีการรวมตัวเป็นหยดใหญ่ขึ้นและตกลงสู่ถังพัก ก่อนถูกปล่อยจากถังปฏิกรณ์ [Gu, Z. M. 1990.]

2.2 ลักษณะเฉพาะของกระบวนการเยื่อแผ่นของเหลว

กระบวนการสกัดด้วยสารสกัดนั้น เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป โดยถือเป็นพื้นฐานของกระบวนการแยก ในกระบวนการดังกล่าว สารที่ต้องการแยก จะละลายรวมอยู่ในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ จึงทำให้การแยกโดยวิธีอื่นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากสารเหล่านั้นละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกันหมด การแยกโดยอาศัยกระบวนการทางกลจึงเป็นไปได้ยาก การสกัดจึงอาศัยความสามารถในการละลายในตัวทำละลายที่ต่างกัน โดยแพร่เข้าสู่สารที่สามารถละลายได้ดีกว่า แล้วทำให้สารที่ต้องการนั้นเข้าสู่อีกเฟสหนึ่ง โดยต้องอาศัยพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนเป็นจำนวนมากและต้องพิจารณาอัตราในการสกัดอีกด้วย เพื่อให้เกิดการสกัดได้สูงขึ้น จึงต้องเพิ่มพื้นที่สัมผัสที่เกิดปฏิกิริยาหรือการเพิ่มอัตราการสกัดให้มากขึ้น กระบวนการสกัดนั้นอาศัยอุปกรณ์ที่สำคัญ 2 ชนิดคือ เครื่องปั่นกววน (Mixer-settler) เพื่อให้เกิดการสร้างฟิล์มบาง ๆ ให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา การสกัดอาจใช้เป็นแบบสมดุลงเดียวหรือทำการต่อเชื่อมเข้าด้วยกันเป็นแบบหลายสมดุลง และอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างสารสกัดกับสารป้อน (Counter current contacting equipment) โดยมักจะอยู่ในรูปแบบของคอลัมน์ หรือเครื่องเหวี่ยงแบบหมุนเพื่อให้เกิดจำนวนชั้นสมดุลงมาก ๆ ในเครื่องเดียว

วิธีการสกัดโดยใช้เครื่องสกัดแบบปกตินั้นมีข้อด้อยหลายประการดังนี้

- 1) ควบคุมการรวมตัวและแตกออกของสารที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ปัญหาการเกิดอิมัลชันของสารทำให้การสกัดเป็นไปได้ยาก
- 3) ปัญหาการท่วม (Flooding) และข้อจำกัดด้านปริมาณการป้อนสารในการป้อนสารแบบต่อเนื่อง

- 4) ต้องรักษาให้ความหนาแน่นของทั้งสองเฟสมีความต่างกันอยู่เสมอ
- 5) ค่าใช้จ่ายที่สูง และการบำรุงรักษาที่ลำบาก
- 6) การขยายขนาด เป็นไปได้ยากเนื่องจากต้องอาศัยพื้นที่ในการแลกเปลี่ยน เฟส

ข้อได้เปรียบของ HFSLM เหนือ SLM ทั่ว ๆ ไป ได้แก่

- 1) ใช้พลังงานน้อย
- 2) ค่าบำรุงรักษาต่ำ เนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่มาก การสึกหรอจึงต่ำ
- 3) สามารถใช้สารสกัดที่มีราคาแพงแต่คุณภาพสูงได้ เนื่องจากปริมาณของของเหลวที่ใช้เป็นเยื่อแผ่นเหลวน้อยมาก ๆ ใช้เพียงเติมในรูพรุนให้เต็มเท่านั้น

แม้ HFSLM จะมีข้อได้เปรียบมากมายเหนือกระบวนการอื่น ๆ แต่ก็มีข้อด้อยประการสำคัญ คือ ช่วงชีวิต (Lifetime) ที่สั้นของเยื่อแผ่นเหลว เนื่องจากของเหลวที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวจะถูกชะออกจากรูพรุนด้วยความสามารถในการละลายในสารละลายเอควิวสทั้ง 2 เฟส และแรงเฉือนเนื่องจากการไหลของของไหล ตามอุดมคติแล้ว ของเหลวที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวจะต้องไม่ละลายเลยในสารละลายเอควิวสทั้ง 2 เฟส แต่ถ้าของเหลวดังกล่าวสามารถละลายได้ในสารละลายทั้ง 2 เฟส จะสามารถลดการละลายได้โดยการทำให้สารละลายทั้ง 2 เฟสอิ่มตัวก่อน (Presaturated) ด้วยของเหลวดังกล่าว

สมบัติที่ดีของตัวแปรกระบวนการ (Process parameters) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวของ ได้แก่

- 1) เยื่อแผ่นของเหลวต้องมีความหนืดต่ำ เพื่อให้มีความต้านทานต่อการแพร่ต่ำ ๆ แต่ต้องไม่ต่ำมากเกินไป เพราะของเหลวเยื่อแผ่นเหลวอาจถูกชะไปกับสารละลายเอควิวสด้วยแรงเฉือนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

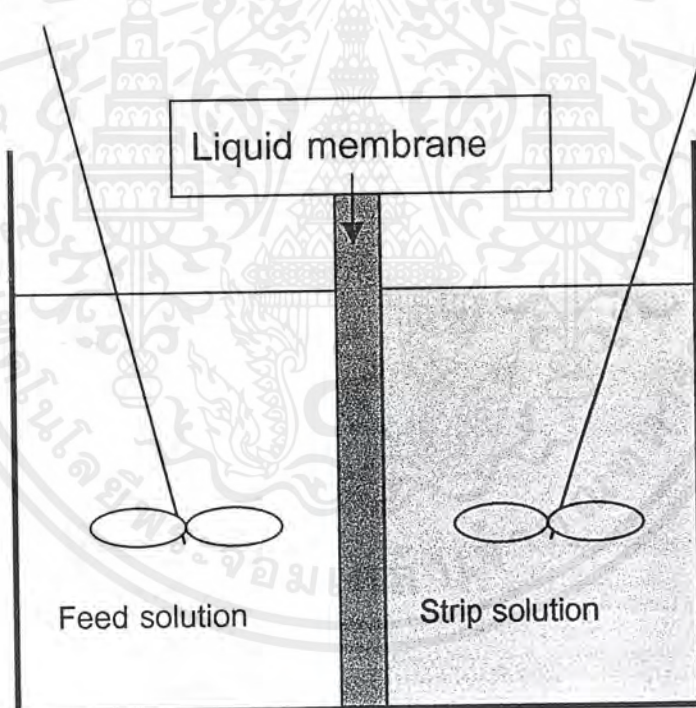
2) สารละลายเอเควียสทั้งสองควรมีอุณหภูมิสูง เพื่อเร่งปฏิกิริยาเคมีให้เกิดขึ้นเร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่สูงขึ้นของสารละลายเอเควียสจะเพิ่มความสามารถในการละลายของของเหลวเยื่อแผ่นเหลวด้วย

คุณสมบัติที่ดีสำหรับโพลีเมอร์เส้นใยที่นำมาเป็นตัวพองเยื่อแผ่นเหลว [Schulz, G., 1988; Tanigaki, M., Ueda, M., and Eguchi, W., 1988]

- 1) เส้นใยควรมีความพรุนสูง (High porosity) เพื่อให้มีพื้นที่การถ่ายเทมวลสูง
- 2) รูพรุนจุลภาคควรมีขนาดเล็ก เพื่อป้องกันมิให้สารเจือปนขนาดใหญ่ผ่านไปได้และเพิ่มช่วงชีวิตของเยื่อแผ่นเหลว ในขณะที่เดียวกันถ้าขนาดของรูพรุนนั้นเล็กเกินไปก็จะขัดขวางการแพร่ของไอออน ทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทมวลลดลง โดยปกติในการสกัดไอออนโลหะจะใช้ขนาดของรูพรุนจุลภาคในช่วง 0.1-1.0 ไมครอน
- 3) เส้นใยควรมีผนังบาง เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวล แต่ถ้าผนังของเส้นใยบางมากเกินไป ก็จะมีผลทำให้ช่วงชีวิตของเยื่อแผ่นเหลวลดลง
- 4) วัสดุที่ใช้ควรเป็นชนิดไม่ชอบน้ำ
- 5) วัสดุที่ใช้ควรเป็นโพลีเมอร์ที่ทนต่อสารเคมี เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของเส้นใย
- 6) ราคาไม่แพง

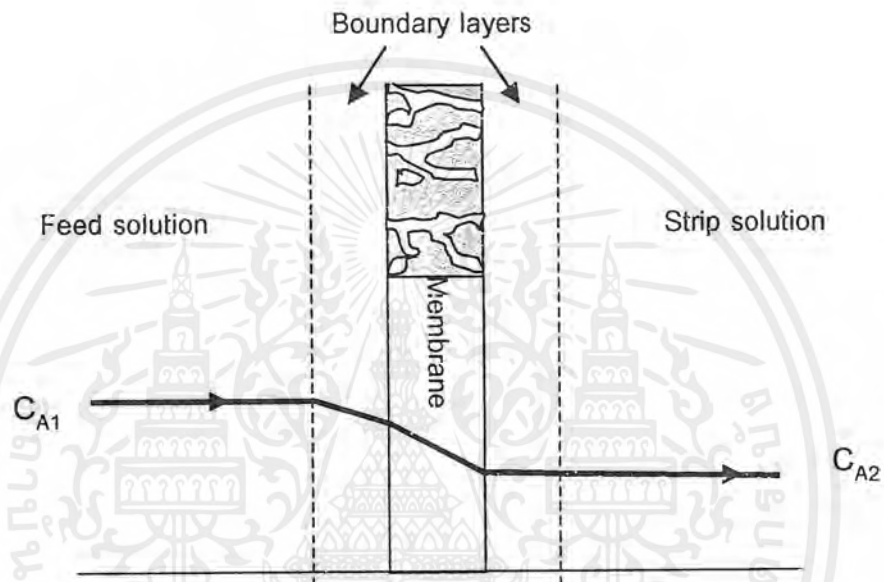
การสกัดโคบอลต์ด้วยโมดูลเส้นใยแบบแผ่นชนิดไม่ชอบน้ำซึ่ง จะมีลักษณะของรูพรุนจุลภาค (Microporous flat sheet) จำนวนมาก จะเริ่มต้นด้วยการละลายโคบอลต์คลอไรด์ในสารละลายกรดเกลือเป็นสารละลายป้อน ขณะเดียวกันก็ละลายสารสกัดซึ่งในที่นี้ คือ กรดได-2-เอทิลเฮกซิลฟอสฟอริก (Di-2-ethylhexyl phosphoric acid, D2EHPA) ในตัวทำละลายอินทรีย์ จากนั้นเคลื่อนสารละลายอินทรีย์ที่ได้นี้ลงบนแผ่นเส้นใยดังกล่าวโดยการแช่แผ่นเส้นใยลงในสารละลายอินทรีย์ สารละลายอินทรีย์นี้จะซึม (Permeate) เข้าสู่รูพรุนจุลภาคด้วยสัมพรรคภาพของอิเล็กตรอน เกิดเป็นเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยแบบแผ่น ขึ้นต่อไปกระบวนการสกัดและการดึงกลับจะเริ่มขึ้น เมื่อเยื่อแผ่นเหลวที่ได้ถูกนำไปสัมผัสกับสารละลายป้อน และสาร

ละลายสตริป ซึ่งได้แก่ สารละลายกรดออกซาลิก [Ohtsuka, 1990] สารละลายทั้งสองจะถูกบรรจุอยู่ในภาชนะเดียวกันโดยมีเยื่อแผ่นเหลวที่ถูกพุงด้วยเส้นใยแบบแผ่นกั้นกลาง เพื่อแยกสารละลายทั้งสองชนิดออกจากกัน ทั้งนี้สารละลายเจือน้ำทั้งสองจะถูกทำให้อิ่มตัวก่อน (Presaturated) ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ เพื่อลดการละลายของสารละลายอินทรีย์ที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวออกมาในสารละลายเจือน้ำนั้น เป็นการเพิ่มชีวิตของเยื่อแผ่นเหลว [Tanigaki et al., 1988]



รูปที่ 2.5 ระบบการสกัดแบบกะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงตัวด้วยเส้นใยแบบแผ่น

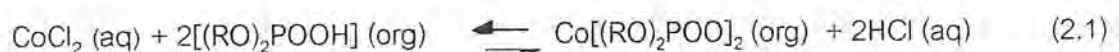
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เกรเดียนของความเข้มข้นในระบบเยื่อแผ่นเหลว ที่พองด้วยเส้นใยแบบแผ่นแบน

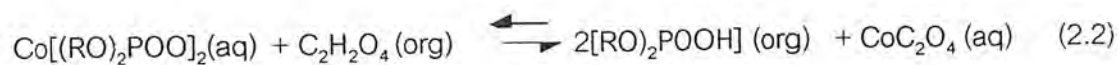
เมื่อสารละลายป้อนสัมผัสกับสารละลายอินทรีย์ ไอออนโคบอลต์จะถูกเลือกสกัดเข้าสู่สารละลายอินทรีย์ โดยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารสกัดที่ผิวสัมผัส i จากนั้นสารประกอบเชิงซ้อนจะแพร่ไปยังผิวสัมผัส ii ด้วยเกรเดียนของความเข้มข้น และเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเป็นไอออนโคบอลต์กับสารสกัด ซึ่งไอออนโคบอลต์จะถูกดึงออกสู่สารละลายสตริป ตามสมการต่อไปนี้

ที่อินเตอร์เฟส i ระหว่างสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลว

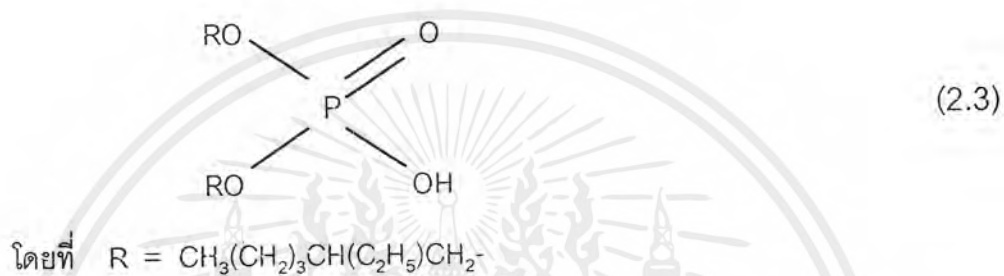


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อินเตอร์เฟส ii ระหว่างสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลว



โดยที่กรดได-2-เอธิลเฮกซิลฟอสฟอริก มีสูตรโครงสร้างเป็น



บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

สารที่ใช้	ขนาด/ความเข้มข้น	บริษัทที่ผลิต
โคบอลต์คลอไรด์ ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	99% minimum	Farmilia Carlo erba group
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	1.00 mole/Litre	Ajax Chemicals
กรดออกซาลิก ($(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	97% by volume	Ajax Chemicals
กรดไฮโดรคลอริก (HCl)	37% by volume	Farmilia Carlo erba group
โทลูอีน ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)	99.5% by volume	BDH Laboratories Supplies
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)	35% by volume	Merck
นิกเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	97.0% minimum	Ajax Chemicals
เมทานอล (CH_3OH)	20 L	Reagent Chemicals Industries
โพแทสเซียมฟีทาเลต ($\text{HOOC}_5\text{H}_4\text{COOK}$)	99.5% minimum	Farmitalia Carlo Erba
2-เอทิลเฮกซิลฟอสเฟต ($\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_4\text{P}$)	95% minimum	Zigma Chemical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) Spectrophotometer (JENWAY 640S UV(VIS)) MODEL 6405
- 2) pH- Indicator papier Universalindicator MERCK
- 3) ชุดเครื่องปั่นกววนซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ขนาดเล็ก 220V 2 ตัว และถังกววน
- 4) เครื่องชั่ง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- 5) บีกเกอร์ขนาด 250 cm³
- 6) ขวดวัดปริมาตรขนาด 50, 500 และ 1,000 cm³
- 7) บีเปตขนาด 1, 2, 5, 10 และ 50 cm³
- 8) เข็มฉีดยาสําหรับเก็บสารตัวอย่าง
- 9) กระจบอกร้ํากล้น
- 10) ขวดเก็บสารตัวอย่าง
- 11) เส้นใยแบบแผ่น ซึ่งมีลักษณะเฉพาะดังนี้
 - Polypropylene filters
 - ขนาดของช่องเปิด : 105 μm
 - % พื้นที่ช่องเปิด : 26
 - ความหนา : 212 μm
 - ขนาด : 30 x 30 Cm

3.2 การดำเนินการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) เตรียมสารละลายป้อนให้มีไอออนโคบอลต์เข้มข้น 500 ppm ด้วยการละลายโคบอลต์คลอไรด์ในน้ำกลั่นปริมาณ 8.000 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 4000 ml
- 2) เตรียมสารละลายอินทรีย์ปริมาตร 50 ml ด้วยการละลายได-2-เอธิลเฮกซิลฟอสเฟตในตัวทำละลายโทลูอีนให้มีความเข้มข้น 20 V/V%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เตรียมสารละลายสเตรปให้มีความเข้มข้น pH ประมาณ 1.0 ด้วยการละลายกรดเกลือ ปริมาตร 32 ml ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 4000 ml

4) เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้น pH ประมาณ 4.5 ปริมาตร 500 ml นำไป ผสมกับสารละลายป้อนที่เตรียมเอาไว้

5) นำเส้นใยเมมเบรนแบบแผ่นไปจุ่มลงในอ่างที่บรรจุสารละลายอินทรีย์ไว้ เพื่อทำ การเคลือบ จากนั้นนำไปใส่ในโครงอลูมิเนียม แล้วนำไปตรึงบนตำแหน่งที่เตรียมไว้กลางถัง

6) นำสารละลายป้อนและสารละลายสเตรปพร้อม ๆ กัน ซึ่งสารละลายทั้งสองจะ แยกกันด้วยเส้นใยแบบแผ่นที่เคลือบสารละลายอินทรีย์แล้ว จากนั้นปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน โดยใช้ความเร็วรอบที่เท่ากันทั้งสองฝั่ง ปล่อยให้ระบบเกิดการสกัดและการดึงกลับ จับเวลาและ เก็บสารตัวอย่างจากสารละลายป้อนและสารละลายสเตรปทุก ๆ 1 นาที เพื่อนำไปวัดปริมาณ โคบอลต์ต่อเวลา

7) นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณโคบอลต์ด้วย UV - VIS และบันทึกผล การทดลอง

3.3 การทดลอง

3.3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาความเป็นไปได้ของการสกัดโคบอลต์ในปึกเกอร์

1) เตรียมสารละลายป้อนให้มีความเข้มข้น 500 ppm ด้วยการละลายโคบอลต์ คลอไรด์ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 ml นำสารละลายที่เตรียมได้นี้ไปวัดค่า pH และวัด ปริมาณโคบอลต์ บันทึกผลการทดลอง

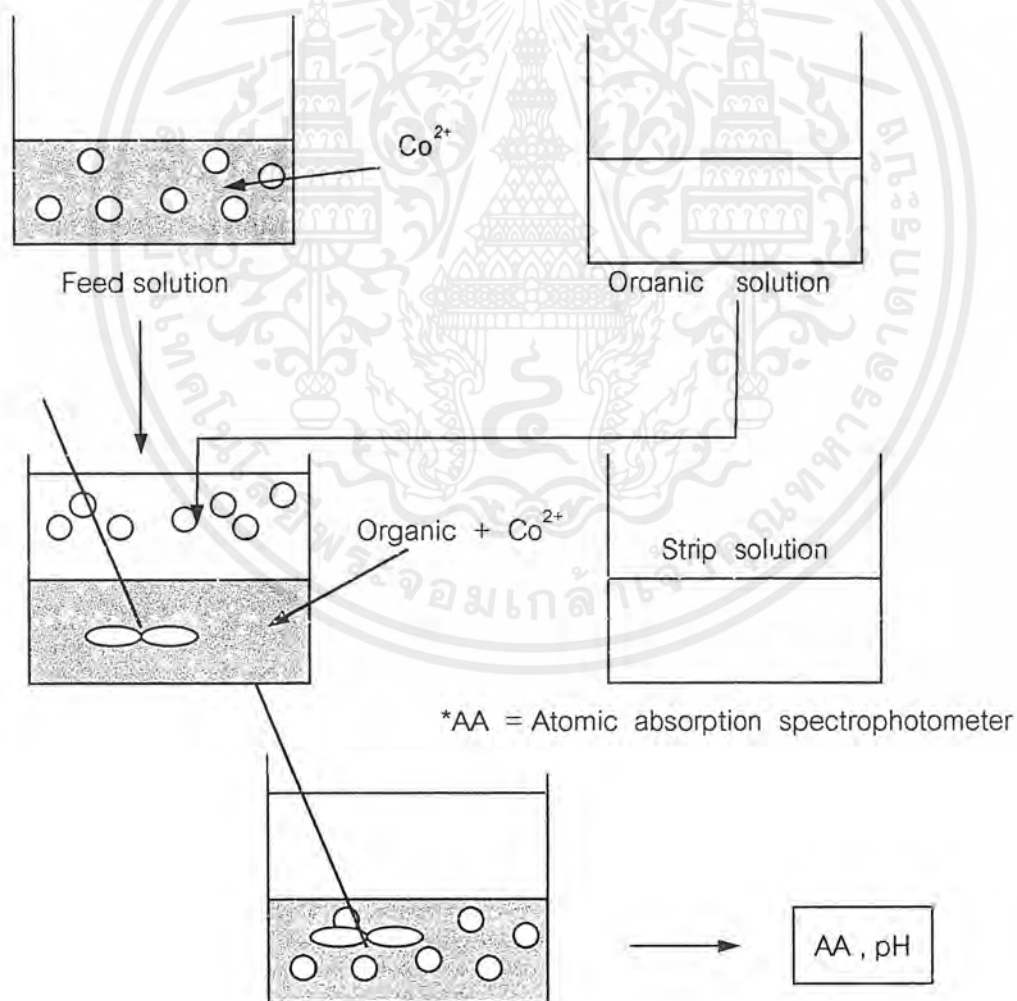
2) เตรียมสารละลายอินทรีย์ปริมาตร 100 ml ด้วยการละลายกรดได-2-เอซิลเฮกซิล ฟอสเฟตในตัวทำละลายโทลูอีนให้มีความเข้มข้น 20 VV% ปริมาตร 100 ml

3) เตรียมสารละลายสเตรปให้มีความเข้มข้น pH ประมาณ 1.0 ด้วยการละลายกรดออกซาลิก จำนวน 5.5 กรัมในน้ำกลั่น และปรับปริมาตร 100 ml

4) นำสารละลายป้อนผสมกับสารละลายอินทรีย์ และนำไปปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน โดยใช้ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ที่งไว้สักครู่ สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ดึงเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายป้อนไปวัดค่า pH และวัดปริมาณโคบอลต์บนที่กผล

5) นำส่วนสารละลายอินทรีย์ที่ผสมกับสารละลายสตริป และนำไปปั่นกวนที่ความเร็วรอบ เท่ากับข้อ (4) ที่งไว้สักครู่สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ดึงเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายสตริปไปวัดค่า pH และปริมาณโคบอลต์ บนที่กผลการทดลอง

6) ทำการทดลองเหมือนข้อ (1)-(5) โดยเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 1000 รอบต่อนาที ชั้นตอนทั้งหมด สามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 Cobalt batch experiment diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดลองที่ 2 การหาความเร็วรอบของการปั่นกวนที่เหมาะสม

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดลองหาผลกระทบจากความเร็วยรอบของการปั่นกวนที่มีต่อลักษณะการสกัด และเพื่อเลือกลักษณะการปั่นกวนที่มีความสามารถในการสกัดที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อ ๆ ไปได้ ในระบบของการสกัดไอออนโคบอลต์ที่มีความเข้มข้น 500 ppm ที่ละลายในน้ำปริมาตร 4 ลิตร โดยมีสารละลายสตริปเป็นกรดไฮโดรโครอลิกที่มีความเข้มข้น

และมีการดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.2.1 แต่แปรผันความเร็วรอบในการปั่นกวนโดยใช้ความเร็วรอบ 50% ของความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ และทำการเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 45, 43, 41, และ 40% ของความเร็วรอบสูงสุด

3.3.3 การทดลองที่ 3 การหาความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสม

การทดลองนี้มีเพื่อทำการทดสอบหาผลของความเข้มข้นของสารสกัดที่มีต่อการสกัด โดยสารสกัดที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ D2EPHA โดยมีโพลูอินเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากสารสกัดนี้เป็นสารที่มีราคาที่ยากแพง การทดสอบนี้จึงจำเป็นเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดกับระบบการสกัดด้วยวิธีเยื่อแผ่นเหลวแบบพุงโดยที่สามารถประหยัดได้มากที่สุด โดยสารสกัดในกระบวนการนี้จะถูกเคลือบฝังอยู่ในรูพรุนของตัวกลางที่ใช้พุงนั่นเองโดยอาศัยแรงคาปิลารีของรูพรุนที่จะช่วยพุงไม่ให้สารสกัดหลุดออก ในการสกัดโดยใช้ระบบของการสกัดไอออนโคบอลต์ที่มีความเข้มข้น 500 ppm ในน้ำปริมาตร 4 ลิตร โดยมีสารละลายสตริปเป็นกรดไฮโดรโครอลิกที่มีค่า pH เป็น 1

โดยดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.2.1 แต่แปรผันความเข้มข้นของสารสกัดในข้อ 2) จาก 20 V/V% เป็น 12, 16, และ 24 V/V%

3.3.4 การทดลองที่ 4 การหาค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสม

เนื่องจากผลการทดลองในตัวแปรที่กล่าวมาข้างต้นในการทดลองที่ 1 และ 2 พบว่า เมื่อทำการทดลองไปจนกระทั่งความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ ในสารละลายทั้งสองฝั่งมีค่าคงที่แล้ว ค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายป้อนจะมีค่าเปลี่ยนไป โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก $\text{pH} = 6$ เป็น $\text{pH} = 1$ และจากการศึกษาถึงกระบวนการแลกเปลี่ยนที่เกิดขึ้นพบว่า pH นั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้น เพราะไอออน H^+ ที่มีในสารละลายจะเป็นตัวแลกเปลี่ยนกับไอออนโคบอลต์ที่มีในสารละลายป้อน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเป็นการทำการศึกษาผลกระทบของความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนเมื่อเริ่มต้นที่ต่างกันนั้น จะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการสกัด และเพื่อเลือกค่า pH เริ่มต้นที่สามารถให้ผลของการสกัดได้ดีที่สุดในการทดลองต่อไป

โดยดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.2.1 แต่แปรผันค่า pH ในข้อ 4) เป็น 4, 5, และ 6 ตามลำดับ

3.3.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโคบอลต์

การทดลองนี้มีเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพิ่มเติม โดยดูผลกระทบที่เกิดจากความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่มีต่อผลของการสกัด เนื่องจากความเข้มข้นของโคบอลต์ในการทดลองถือเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในระบบ การทดลองนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อ ศึกษาผลกระทบของไอออนโคบอลต์ที่มีต่อการสกัดเพื่อ

โดยดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.2.1 แต่แปรผันความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์จาก 500 ppm เป็น 1000 ppm

3.3.6 การทดลองที่ 6 การศึกษาผลของชนิดของสารละลายสตริป

เนื่องจากในการทดลองที่ผ่านมาได้ใช้สารละลายสตริป เป็นสารละลายกรดไฮโดรครอริก ซึ่งไอออนโคบอลต์ที่ถูกดึงกลับมาอยู่ในรูปของ โคบอลต์คลอไรด์ที่สามารถละลายน้ำได้ จึงคาดว่าสกัดนั้นเกิดได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถเกิดได้ถึง 100% ตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปริมาณไอออนโคบอลต์ในสารละลายสตริปจะเพิ่มขึ้นตามเวลาดังนั้นเพื่อให้การสกัดสามารถดำเนินไปได้อย่างสมบูรณ์เปลี่ยนไอออนโคบอลต์ให้เป็นรูปตะกอนซึ่งในที่นี้ คือ ตะกอนของโคบอลต์ออกซาลेट ที่เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำได้ เพื่อทำให้ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายสตริปมีค่าที่เกือบเป็นศูนย์ตลอดเวลา การทดลองนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้สารละลายสตริปที่เกิดเป็นตะกอนกับไอออนโคบอลต์ที่สกัดได้ และเปรียบเทียบผลกับสารละลายกรดเกลือ

ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.2.1 แต่เปลี่ยนชนิดของสารละลายสตริปในข้อ 3) จากกรดเกลือ เป็นกรดออกซาลิกโดยชั่ง $((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ 144.337 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 4000 มิลลิลิตร

3.3.7 การทดลองที่ 7 การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการแยกไอออนโคบอลต์จากนิกเกิล การทดลองนี้มีเพื่อหาปัจจัยเพิ่มเติมที่มีผลต่อการสกัด โดยดูผลกระทบของไอออนนิกเกิลที่ผสมอยู่ในสารละลายของไอออนโคบอลต์ที่มีต่อผลของการสกัด เนื่องจากการที่นิกเกิลนั้นมีสมบัติใกล้เคียงกับโคบอลต์มากทั้งทางกายภาพและทางเคมี ดังนั้นการแยกนิกเกิลออกจากโคบอลต์ได้นั้นจึงเป็นความจำเป็นอย่างหนึ่งที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงความสามารถในการสกัดได้อย่างดี

ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.2.1 แต่เพิ่มนิกเกิลลงในสารละลายป้อน ในข้อ 1) โดยการละลาย $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 8.0874 กรัม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองที่ 1

จากการศึกษาความเป็นไปได้ของการสกัดโคบอลต์ในบีกเกอร์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการสกัดโคบอลต์ในบีกเกอร์

สภาวะการทดลอง	การทดลองที่	
	I (500 rpm)	II (1000 rpm)
pH เริ่มต้นของสารละลายป้อน	5.99	5.99
pH ของราฟไฟเนต	2.56	2.36
pH ของสารละลายสตรีป	1.33	1.63
ความเข้มข้นของโคบอลต์ในราฟไฟเนต	412	357
ความเข้มข้นของโคบอลต์ในสารละลายสตรีป	81	128

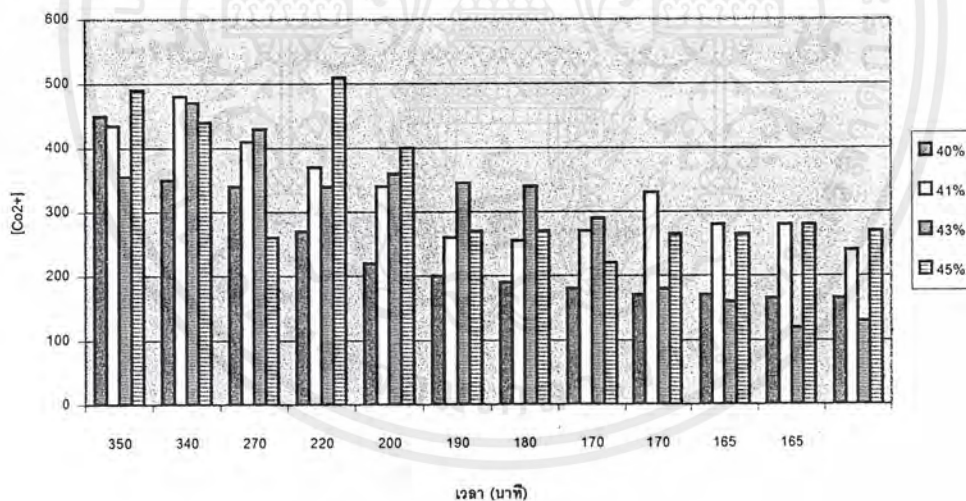
จากตารางที่ 4.1 เห็นได้ว่า D2EHPA ในโทลูอีนนี้สามารถสกัดโคบอลต์ได้ประมาณ 16% และเมื่อเพิ่มความเร็วยกขึ้นพบว่า การสกัดเกิดมากขึ้น เนื่องจากความเร็ว

รอบในการปั่นกวนทำให้เฟสทั้งสองผสมกันได้ดีขึ้น พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟสทั้งสองมากขึ้น การถ่ายเทมวลจึงมากขึ้นด้วย

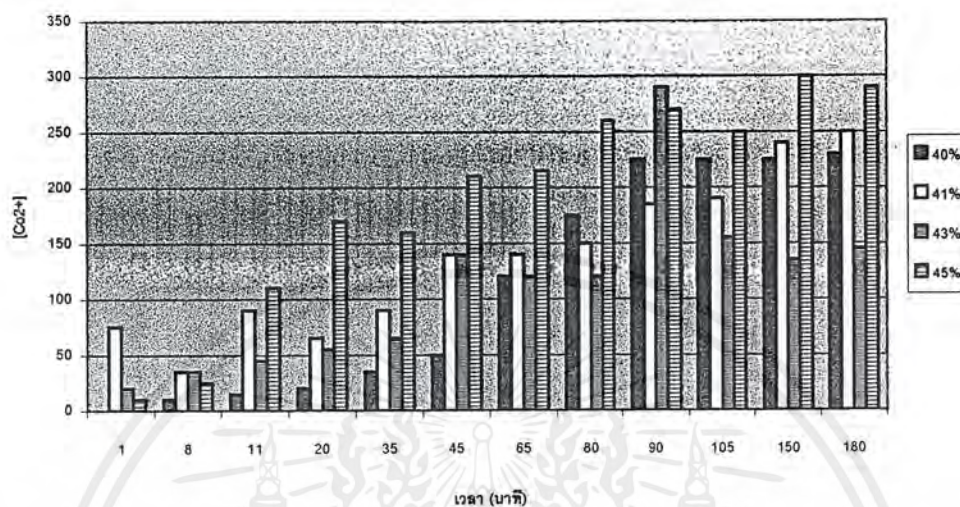
4.2 ผลการทดลองที่ 2

การศึกษาความเร็วรอบของการปั่นกวนที่มีผลต่อความสามารถในการสกัด

ในการทดลองทำโดยการเปลี่ยนความเร็วในการปั่นกวนออกเป็น 4 ค่ามีค่าดังนี้คือ 40%, 41%, 43%, และ 45% โดยแบ่งตามค่า% ของความเร็วรอบการปั่นกวนสูงสุดที่มอเตอร์ทั้งสองสามารถทำได้ โดยสมมติฐานให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วคงที่ในการทดลองนั้น ๆ ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ดังนี้



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายป้อน ที่ความเร็วรอบของการปั่นกวนต่างกัน



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายสตรีป ที่ความเร็วยรอบของการปั่นกววนต่างกัน

จากผลการทดลอง สังเกตได้จากความเข้มข้นของโคบอลต์ในด้านของสารละลายป้อนจะลดลงอย่างรวดเร็ว หากมีความเร็วยรอบในปั่นกววนที่มีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วยรอบในการปั่นกววนที่มีค่าน้อยกว่าแล้ว จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบในการปั่นกววนให้มากขึ้นก็จะทำให้การถ่ายเทมวลมากขึ้นด้วยจึงทำให้ผลการสกัดเกิดได้เร็วขึ้น เช่น เมื่อใช้ความเร็วยรอบต่ำที่สุดในการทดลองนี้ คือ ที่ 40% ของความเร็วยรอบสูงสุดในการปั่นกววน ความเข้มข้นของโคบอลต์ในสารละลายป้อนจะลดลงจนมีความเข้มข้นเท่ากับ 180 ppm ในเวลาประมาณ 180 นาที ในขณะที่ความเร็วยรอบ 45% จะใช้เวลาประมาณ นาทีในการลดความเข้มข้นของโคบอลต์ลงเหลือ ppm ความเร็วยรอบในการปั่นกววนก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับในฝั่งสารละลายสตรีป

เมื่อทำการทดลองแล้ว รอบการปั่นกวนที่เลือกใช้ คือ รอบการปั่นกวนที่ 40% ดังนี้

1) เป็นรอบการปั่นกวนที่ให้ผลของการสกัดที่มีค่ามากที่สุด และผลของการดึงกลับ เป็นอันดับที่สอง โดยที่ความเร็วรอบการปั่นกวนสูงสุด ก็จะมีความสามารถในการถ่ายเทมวลมากขึ้น เพราะการปั่นกวนจะทำให้พื้นที่ผิวการถ่ายเทมวลมากขึ้นด้วย

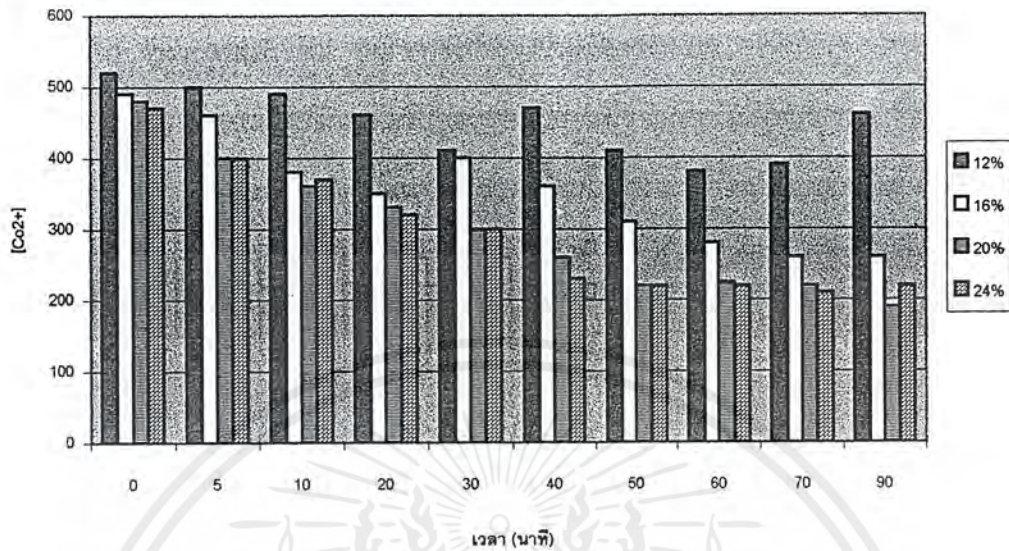
2) สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นได้ง่ายและลดข้อผิดพลาด เมื่อทดลองในตัวแปรอื่น ๆ เพราะมีการเกิดการสกัดที่ช้า จึงสามารถตรวจสอบได้สะดวกกว่าที่ความเร็วรอบที่ 45% ที่เกิดการสกัดอย่างรวดเร็วทำให้การตรวจสอบทำได้ลำบาก และมีโอกาสผิดพลาดได้สูง

4.3 ผลการทดลองที่ 3

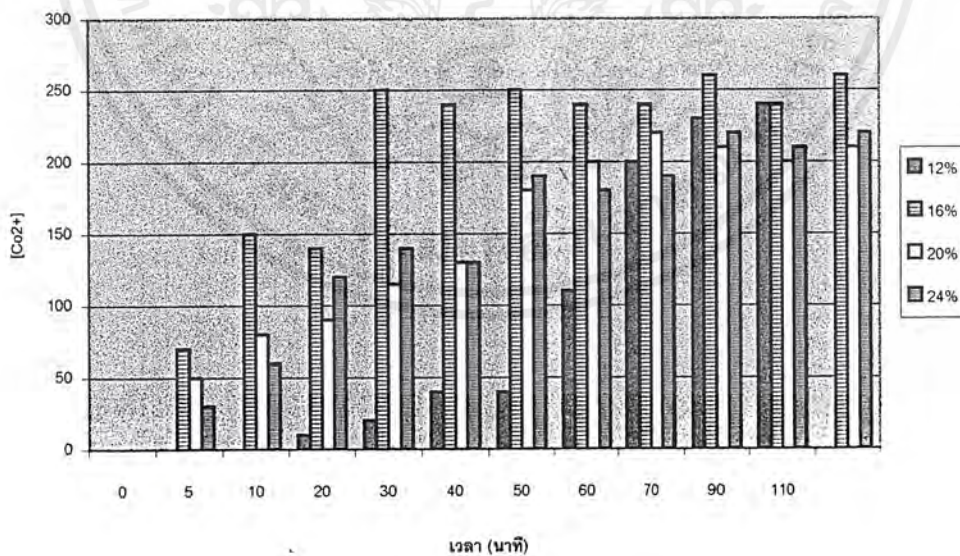
การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดที่มีผลต่อการสกัด

ในการทดลองศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด ทำได้โดยการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารสกัด (D2EPHA) ในตัวทำละลาย โทลูอีน 4 ค่า ซึ่งได้มีผลการทดลองและวิเคราะห์ผลดัง รูปที่ 4.3 และ 4.4

จากผลการทดลอง เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด การสกัดจะเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ ความเข้มข้นของสารสกัดที่มีค่าน้อยกว่า การสกัดก็จะเกิดขึ้นช้ากว่าคือเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่ใช้สารสกัด 24% โดยปริมาตร จะมีค่ามากกว่าประมาณ 6 เท่าของการสกัดที่ใช้สารสกัด 12% โดยปริมาตรเนื่องจากปริมาณสารสกัดที่มีมากก็จะมีตัวแลกเปลี่ยนไอออนโคบอลต์มากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายป้อนที่ปริมาณสารสกัดต่างกัน



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายสตริป ที่ปริมาณสารสกัดต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

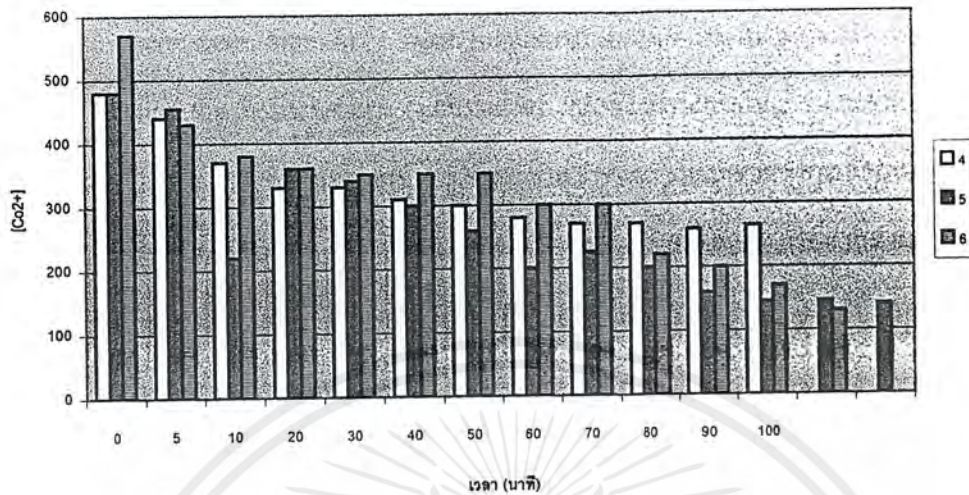
การสกัดที่ความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 16% จะได้ผลของการสกัดที่มีค่ามากที่สุด โดยค่าความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายสตริปที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จะอยู่ในช่วงระหว่าง 200 ถึง 250 ppm ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าต่างกันไม่มากนัก และเมื่อทำสมดุลมวลแล้ว แต่การสกัดที่ 20% และ 24% จะมีความเข้มข้นของโคบอลต์ที่หายไป เพราะความเกาะเกาะที่เกิดจากโครงสร้างของสารสกัด ดังกล่าวว่าการสกัดที่ความเข้มข้นของสารสกัดที่มีค่ามาก ๆ กลับได้ค่าที่ไม่ต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มค่าการสกัดในช่วง 16% ซึ่งนอกจากจะให้ความเข้มข้นด้านสารละลายสตริปที่มีค่ามากแล้ว ยังประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย ดังนั้นความเข้มข้นของสารสกัดที่เลือกใช้คือ ความเข้มข้นของสารสกัดต่อตัวทำละลาย 16%

4.4 ผลการทดลองที่ 4

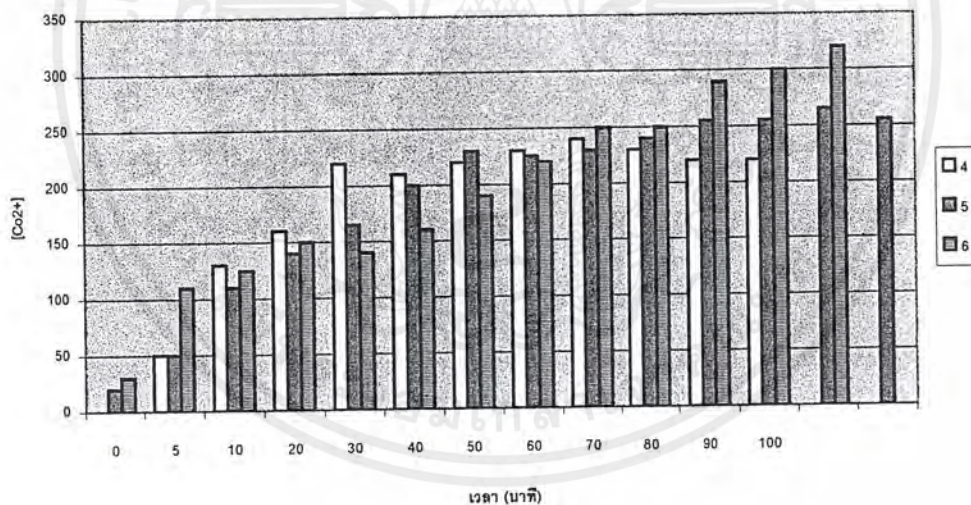
การศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนที่มีผลต่อการสกัด

การทดลองศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน โดยการแปรผันจาก 4, 5, และ 6 ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และ 4.6

จากการทดลองพบว่าการเพิ่มค่าความเป็นกรด-เบสไม่มีผลต่อความเร็วในการสกัดอย่างเห็นได้ชัด จากกราฟที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าช่วงเริ่มต้นความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในด้านของสารสกัดจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน จนกระทั่งเวลาผ่านไปมากขึ้นจะเริ่มเห็นความเปลี่ยนแปลง โดยความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายสกัดที่ค่าความเป็นกรด-เบส น้อยกว่าจะเริ่มคงที่ คือ ไม่เกิดการสกัดแล้ว ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-เบสสูงกว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปจนกระทั่งมีค่าที่คงที่ และค่าที่คงที่นี้จะมีค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนมีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ มีค่าประมาณ 2 นอกจากนี้ที่ความเป็นกรดเบสเริ่มต้นของสารละลายป้อนเท่ากับ 6 ให้ค่าการสกัดที่ดีที่สุด



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายป้อน ที่ความเป็นกรด-เบสต่างกัน



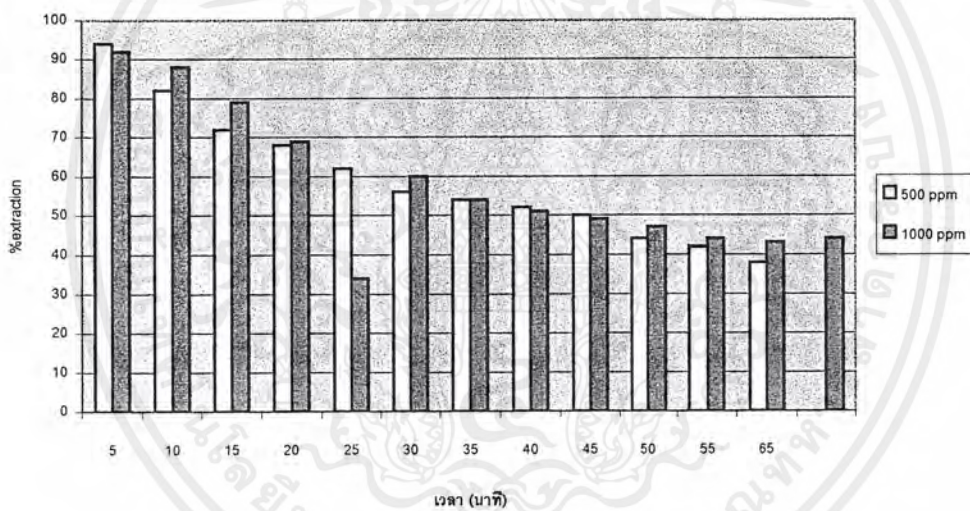
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายสตริป ที่ปริมาณความเข้มข้นสารสกัดต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

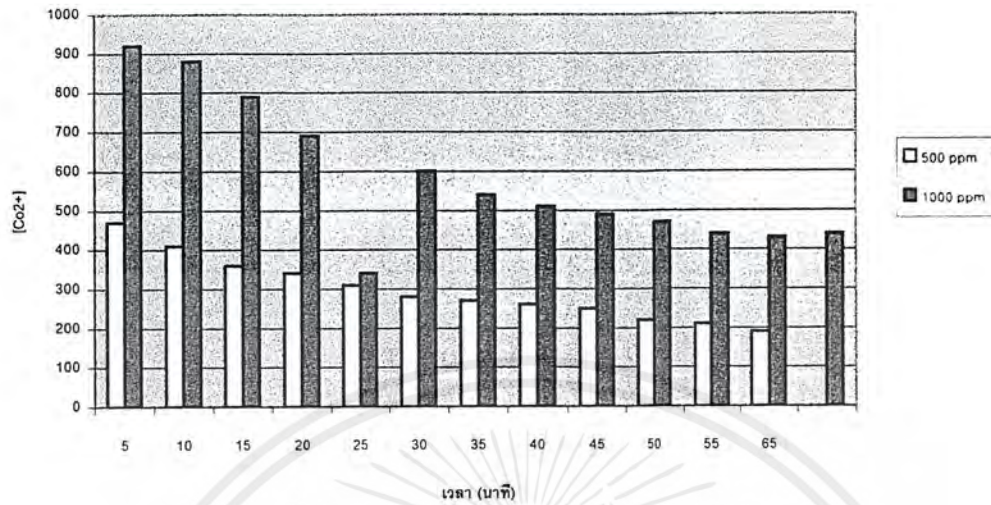
4.5 ผลการทดลองที่ 5

การศึกษาผลของความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่มีต่อผลการสกัด

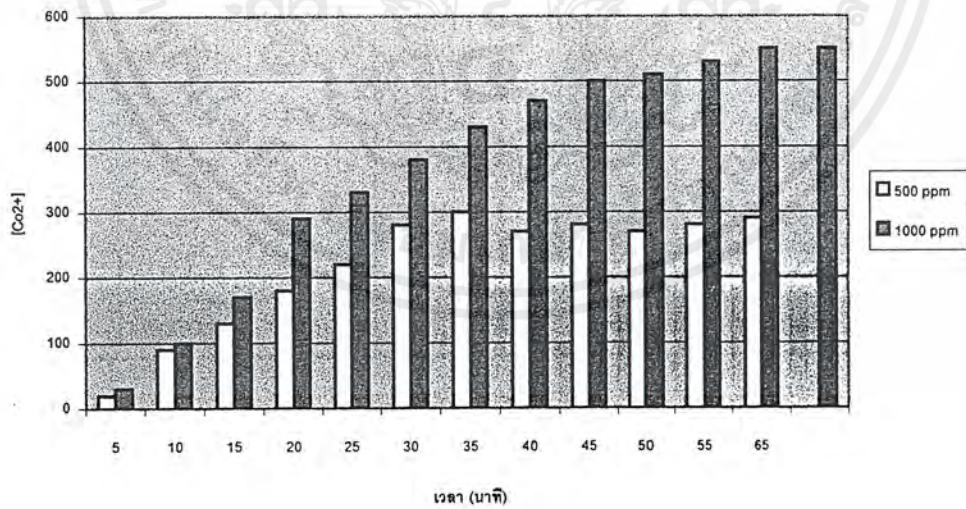
การทดลองนี้ใช้ไอออนโคบอลต์ที่มีค่าความเข้มข้นต่างกัน 2 ค่าคือ 500 และ 1000 ppm โดยยังคงสภาวะต่าง ๆ ในการทดลองที่เหมือนกันทั้งสองการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลองดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 4.7 % Extraction ในสารละลายป้อน ที่ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ต่างกัน



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของโคบอลต์ในสารละลายป้อน ที่ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ต่างกัน



รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของโคบอลต์ในสารละลายสตริป ที่ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

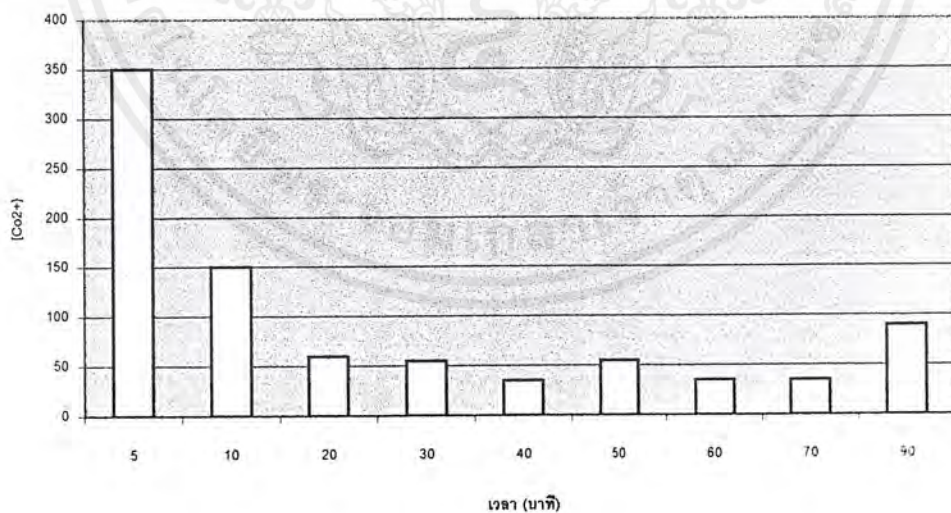
จากรูปที่ 4.7 เห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์เพิ่มขึ้นกลับไม่ทำให้การสกัดเกิดได้ดีขึ้นเนื่องจาก % การสกัดไม่มีการเพิ่มขึ้นเลย โดยยังมี % การสกัดใกล้เคียงกัน แสดงว่าความสามารถในการสกัดที่ 1000 ppm นั้นยังไม่ใช่จุดสูงสุดของความสามารถในการสกัด

หากดูความสามารถในการสกัดแล้วที่ความเข้มข้น 1000 ppm นั้นมีความสามารถในการสกัดเป็น 2 เท่า แสดงว่ายิ่งสารมีความเข้มข้นมากเท่าไรการสกัดก็จะสามารถเกิดได้จำนวนมากขึ้นตามไปด้วย

4.6 ผลการทดลองที่ 6

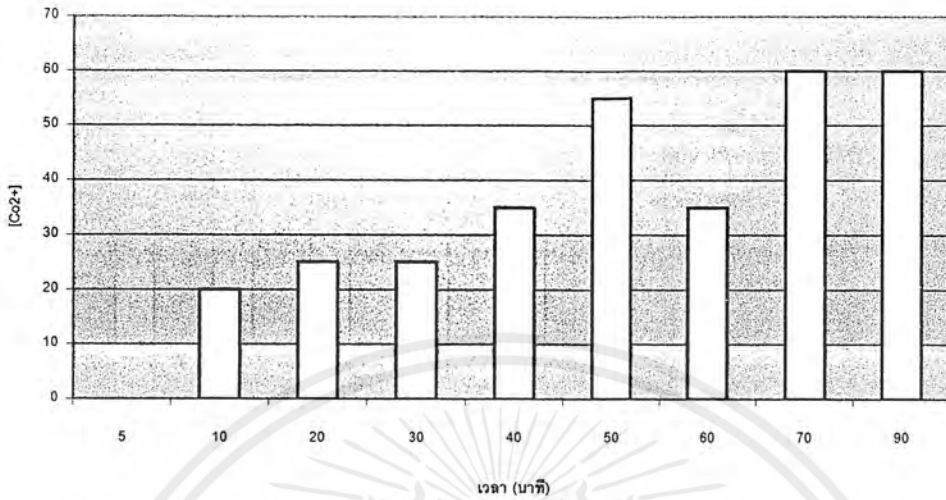
การศึกษาผลของการเปลี่ยนสารละลายสตริปเป็นกรดออกซาลิก

การทดลองทำได้โดยการใช้ออกซาลิกเป็นสารละลายสตริป ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10-4.12 และการวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้ ดังต่อไปนี้

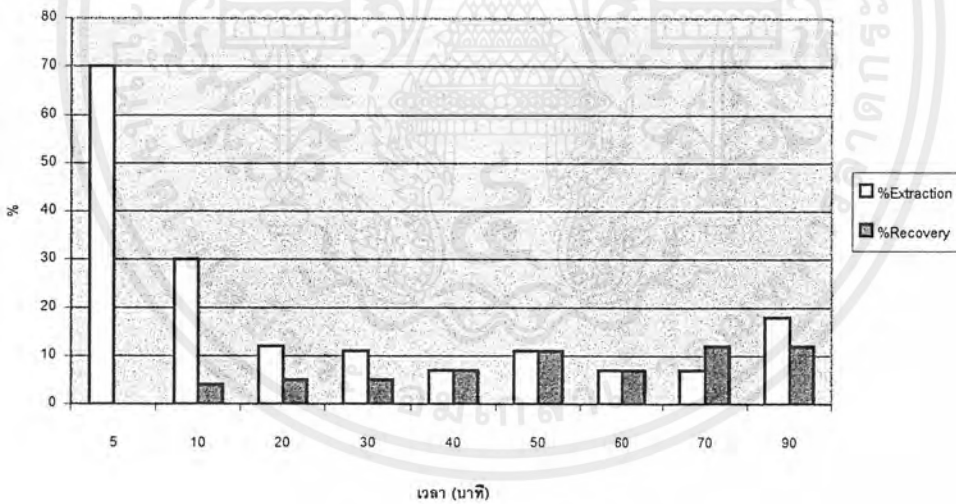


รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์เมื่อใช้ออกซาลิกเป็นสารละลายสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายสตริป



รูปที่ 4.12 ผลของการใช้กรดออกซาลิกเป็นสารละลายสตริป ที่มีผลต่อ % Extraction และ % Recovery

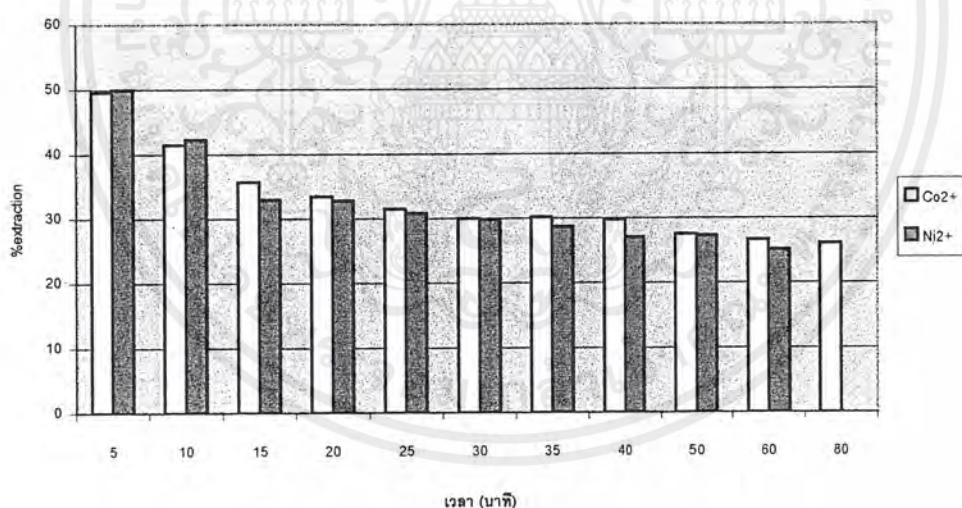
จากการทดลองพบว่าการสกัดดำเนินไปได้ดีในช่วงแรกโดยมี % Extraction ที่สูงถึง 70% ซึ่งสูงกว่าการใช้กรดเกลือเป็นสารละลายสตริป แต่ % Recovery กลับมีค่าน้อยกว่ามาก ทั้งนี้ในขณะที่ทำการทดลองพบว่ามีตะกอนเกิดขึ้นในฝั่งสารละลายป้อน และเกาะอยู่บริเวณผนังเมมเบรน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนมาก ทำให้การสตริปเป็นไปได้น้อยลง เนื่องจากกรดออกซาลิกเป็นกรดอินทรีย์จึงสามารถแพร่ผ่าน hydrophobic membrane ไปสู่ฝั่งสารละลายป้อน และเกิดเป็นตะกอนชั้นในฝั่งสารละลายป้อน ทำให้เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโคบอลต์ในสารละลายป้อน จึงดูเหมือนมีไอออนโคบอลต์น้อยลง ดังนั้นการใช้กรดออกซาลิกเป็นสารละลายสตริปนั้นจึงไม่เหมาะสมกับระบบนี้

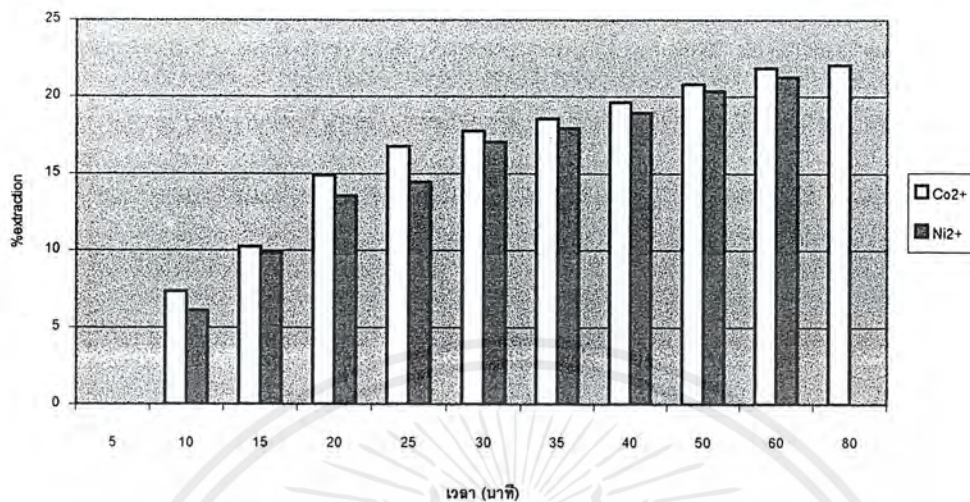
4.7 ผลการทดลองที่ 7

การทดสอบผลของไอออนนิกเกิลที่มีต่อการสกัดไอออนโคบอลต์

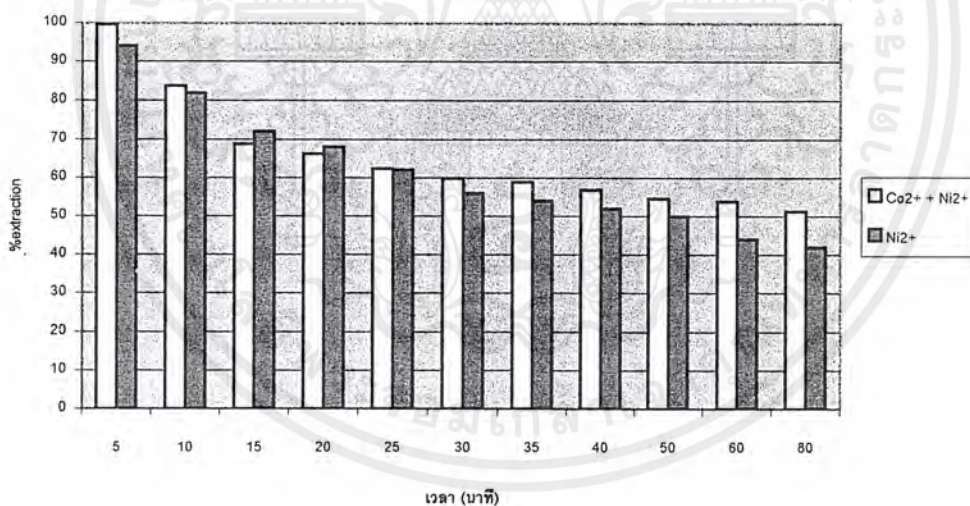
ในการทดลองทำได้โดยการเติมไอออนของนิกเกิลเพิ่มลงในสารละลายป้อน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 - 4.16



รูปที่ 4.13 ผลกระทบของไอออนนิกเกิลต่อการสกัด % Extraction



รูปที่ 4.14 แสดงผลกระทบบของไฮออนนิกเกิดต่อการสกัด % Recovery



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบการสกัดที่ความเข้มข้น Co²⁺ 1000 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปได้เป็น ดังนี้

1) เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นกววน ผลการสกัดจะให้ผลที่ดีขึ้น โดยสามารถสกัดไอออนโคบอลต์ได้มากขึ้นเพราะการปั่นกววนที่มีความเร็วมากขึ้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวที่เกิดการสกัดมากขึ้น จึงทำให้การถ่ายเทมวลเกิดมากขึ้นด้วย โดยที่ควรควบคุมความเร็วรอบทั้งสองด้านให้มีค่าที่เท่ากันเพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างแรงที่พุงเยื่อแผ่นเหลว ไม่ให้หลุดลอยไปตามการไหล

2) เมื่อเพิ่ม % สารสกัดจะเป็นให้การสกัดเกิดขึ้นได้มากขึ้นด้วย เนื่องจากความเข้มข้นของสารสกัดที่มากขึ้นก็จะสามารถทำให้การถ่ายเทไอออนโคบอลต์กับไฮโดรเจนเกิด ได้มากขึ้นตามไปด้วย เพราะมีตัวกลางที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนมากขึ้น แต่ความเข้มข้นนี้ก็จะมีที่ค่าจำกัดค่าหนึ่งเนื่องจากลักษณะของสาร D2EPHA นั้นมีโครงสร้างที่เกาะกันแน่นหากมีมากเกินไปก็จะเป็นการเกาะกั การเคลื่อนที่ของสารประกอบเชิงซ้อนของโคบอลต์ในเมมเบรน

3) เมื่อเพิ่มค่า pH ในสารละลายป้อน จะเป็นผลให้การสกัดได้ดีมากขึ้น เนื่องจากจะทำให้ไอออนของไฮโดรเจนเกิดการถ่ายเทและแลกเปลี่ยนกับไอออนโคบอลต์มากขึ้น ดังนั้นการรักษาค่า pH ให้มีค่าที่มากอยู่เสมอจะสามารถทำให้เกิดการสกัดดีอยู่เสมอ

4) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ให้มีค่ามากขึ้น พบว่าในการเพิ่มเป็น 1000 ppm นั้นยังไม่เป็นขีดความสามารถสูงสุดของการสกัดนี้ ดังนั้นความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์นั้นไม่มีผลต่อความสามารถในการสกัด ระบบนี้สามารถให้การสกัดแม้ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์มีค่ามาก ๆ ได้

5) สารละลายสตริปที่เหมาะสมกับการสกัดด้วยเมมเบรนแบบไม่ชอบน้ำ คือ กรดไฮโดรคลอริก เนื่องจากเป็นสารที่ไม่ใช่สารอินทรีย์จึงไม่สามารถผ่านเมมเบรนชนิดนี้ได้ สำหรับกรดออกซาลิกนั้นสามารถผ่านเมมเบรนชนิดนี้ได้จึงไม่เหมาะในกับเมมเบรนชนิดนี้

6) ผลของไอออนของนิกเกิลที่มีต่อการสกัดในระบบนี้ ปรากฏว่าการแยกสกัดไอออนของโคบอลต์ออกจากนิกเกิลนั้นยังไม่สามารถแยกได้ในการทดลองนี้ เนื่องจากยังต้องมีการควบคุมค่าความเป็นกรด-เบส ที่จะเป็นสิ่งที่ควบคุมการแยกไอออนทั้งสองออกจากกัน

7) ภาวะที่ดีที่สุดสำหรับระบบนี้ คือ

ความเร็วรอบการปั่นกวนที่ 40% ของความเร็วรอบสูงสุด

ความเข้มข้นของสารสกัด 16% โดยปริมาตร

ค่า pH ของระบบเป็น 6

สารละลายสตริปที่เลือกใช้ คือ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1) ควรทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AA ซึ่งจะให้ผลที่แน่นอนกว่าแทนการใช้เครื่อง UV-visible เพราะต้องทำการทำไอออนโคบอลต์ให้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีชั้นตอนที่ยุ่งยาก ทำให้ผลการทดลองนั้นมีข้อผิดพลาดมาก

2) อุปกรณ์ปรับความเร็วและมอเตอร์ที่ใช้ไม่เหมาะสม จึงทำให้ผลการทดลองเรื่องรอบการปั่นกวนให้ผลที่ไม่แน่นอน ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนอุปกรณ์ทั้งสองชนิดใหม่ให้มีความเหมาะสมมากขึ้นเพื่อให้เกิดผลที่น่าเชื่อถือที่สุด

3) ในการทดลองตัวแปรอีกหลายชนิดไม่ได้มีการทดลองเนื่องจากเวลาที่ไม่มีเพียงพอและขาดสารเคมีบางชนิด จึงขอแนะนำให้ทำการทดลองดังต่อไปนี้

3.1) ตัวแปรของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อช่วงชีวิตของเยื่อแผ่นเหลว เช่น ความเข้มข้นความเป็นกรด-เบส ความเร็วรอบในการปั่นกวน เพื่อให้เยื่อแผ่นเหลวมีช่วงชีวิตที่นานที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

- 3.2) ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดในสภาวะต่าง ๆ และที่มีต่อช่วงชีวิตของเชื้อแผ่น
เหลว
- 3.3) ผลของการเปลี่ยนความเป็นกรดเบสของสารสกัดและเลือกเปลี่ยนสารสกัดในตัว
ทำละลายประเภทต่างๆ ให้เหมาะสม
- 3.4) ศึกษาการใช้เครื่องควบคุม pH ชนิดไตเตรตด้วยเบสเข้มข้น เพื่อควบคุมค่าความ
เป็นกรด-เบสที่แม่นยำมากขึ้น
4. พัฒนาระบบให้เป็นรูปแบบของระบบต่อเนื่องที่ให้ผลที่ดีกว่า แล้วพิจารณาผลที่เกิดขึ้น
กับระบบแบบกะ เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละระบบ และเลือกระบบที่เหมาะสมกับการใช้ใน
อุตสาหกรรมที่สุด
5. นำน้ำเสียจากโรงงานที่เกิดขึ้นจริงมาทำการทดลองเพื่อให้ทราบผลในการใช้งานจริง



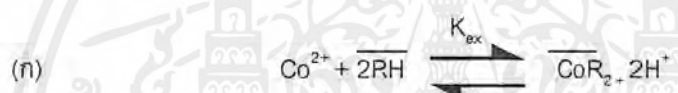
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

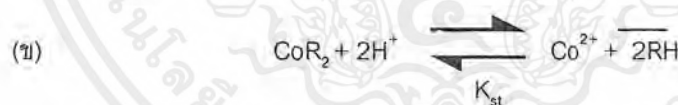
ภาคผนวก ก

ความสามารถในการนำไอออนโคบอลต์ที่ละลายอยู่ในน้ำ กลับมาใช้ใหม่นั้นสามารถนำมาโดยใช้ระบบของเยื่อแผ่นเหลวแบบพวย สามารถทำได้โดยสามารถสกัดไอออนโคบอลต์ ได้ประมาณ 50%

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไอออนโคบอลต์และ สารสกัด D2EHPA เป็นดังนี้



ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นจะเหมือนกันกับด้านฝั่งสารละลายสตริปเพียงแต่มีการเปลี่ยนทิศทางของปฏิกิริยาเท่านั้น



เมื่อ RH เป็นโมเลกุลของสารสกัด, D2EHPA โดยค่าคงที่สมดุลของการสกัด (extraction equilibrium) เป็นดังนี้

$$(ค) \quad K_{ex} = \frac{[\overline{\text{CoR}_2}] * [\text{H}^+]^2}{[\text{Co}^{2+}] * [\overline{\text{RH}}]}$$

และค่าคงที่สมดุลของการสตริป (stripping equilibrium) เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(ง) \quad K_{st} = \frac{[Co^{2+}] * [RH]}{[CoR_2] * [H^+]^2}$$

% Extraction คือ

$$(จ) \quad \% \text{ Extraction} = \frac{C_0 - C_1}{C_0}$$

% Recovery คือ

$$(ฉ) \quad \% \text{ Recovery} = \frac{C_{1,s}}{C_0}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข.1 ข้อมูลผลการทดลองสำหรับการศึกษาผลกระทบจากความเร็วยวของของการปั่นกววน

สภาวะการทดลอง

ความเร็วยวของของการปั่นกววน 40%

สารละลายป้อน Co^{2+} 500 ppm ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 8.0767 \text{ g} / 4000 \text{ ml}$),

Buffer pH = 4.5 (500 ml)

สารละลายสตริป สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl 0.1M), pH = 1

สารละลายอินทรีย์ 20 V/V% D2EHPA ในโทลูอีน

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองที่ความเร็วยวในการปั่นกววนเท่ากับ 40 %

Time (min)	$[\text{Co}^{2+}]_F$ (ppm)	$[\text{Co}^{2+}]_S$ (ppm)	M_F	M_S	Mole lost	%Extraction	%Recovery
1	450	0	0.0305	0.0000	0.0034	90	0
8	350	10	0.0238	0.0007	0.0095	70	2
11	340	15	0.0231	0.0010	0.0098	68	3
20	270	20	0.0183	0.0014	0.0143	54	4
35	220	35	0.0149	0.0024	0.0166	44	7
45	200	50	0.0136	0.0034	0.0170	40	10
65	190	120	0.0129	0.0081	0.0129	38	24
80	180	175	0.0122	0.0119	0.0098	36	35
90	170	225	0.0115	0.0153	0.0071	34	45
105	170	225	0.0115	0.0153	0.0071	34	45
150	165	225	0.0112	0.0153	0.0075	33	45
180	165	230	0.0112	0.0156	0.0071	33	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะการทดลอง

ความเร็วรอบของการปั่นกววน 41%

สารละลายป้อน Co^{2+} 500 ppm ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 8.0722 \text{ g/ 4000 ml}$),

Buffer pH = 4.5 (500 ml)

สารละลายสตริป สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl 0.1M), pH = 1

สารละลายอินทรีย์ 20 V/V% D2EHPA ในโทลูอีน

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองที่ความเร็วรอบในการปั่นกววนเท่ากับ 41 %

Time (min)	$[\text{Co}^{2+}]_F$ (ppm)	$[\text{Co}^{2+}]_S$ (ppm)	M_F	M_S	Mole lost	%Extraction	%Recovery
0.5	435	75	0.0295	0.0051	-0.0007	87	15
1	480	35	0.0326	0.0024	-0.0010	96	7
2	410	90	0.0278	0.0061	0.0000	82	18
3	370	65	0.0251	0.0044	0.0044	74	13
4	340	90	0.0231	0.0061	0.0048	68	18
5	260	140	0.0176	0.0095	0.0068	52	28
7	255	140	0.0173	0.0095	0.0071	51	28
9	270	150	0.0183	0.0102	0.0054	54	30
12	330	185	0.0224	0.0126	-0.0010	66	37
15	280	190	0.0190	0.0129	0.0020	56	38
20	280	240	0.0190	0.0163	-0.0014	56	48
40	240	250	0.0163	0.0170	0.0007	48	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะการทดลอง

ความเร็วรอบของการปั่นกวน 43%

สารละลายป้อน Co^{2+} 500 ppm ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 8.0767 \text{ g} / 4000 \text{ ml}$),
Buffer pH = 4.5 (500 ml)

สารละลายสตริป สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl 0.1M), pH = 1

สารละลายอินทรีย์ 20 VV% D2EHPA ในโทลูอีน

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 43 %

Time (min)	$[\text{Co}^{2+}]_F$ (ppm)	$[\text{Co}^{2+}]_S$ (ppm)	M_F	M_S	Mole lost	%Extraction	%Recovery
0.5	355	20	0.0241	0.0014	0.0085	71	4
1.5	470	35	0.0319	0.0024	-0.0003	94	7
2	430	45	0.0292	0.0031	0.0017	86	9
3	340	55	0.0231	0.0037	0.0071	68	11
4	360	65	0.0244	0.0044	0.0051	72	13
6	345	140	0.0234	0.0095	0.0010	69	28
8	340	120	0.0231	0.0081	0.0027	68	24
10	290	120	0.0197	0.0081	0.0061	58	24
15	180	290	0.0122	0.0197	0.0020	36	58
30	160	155	0.0109	0.0105	0.0126	32	31
45	120	135	0.0081	0.0092	0.0166	24	27
60	130	145	0.0088	0.0098	0.0153	26	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะการทดลอง

ความเร็วรอบของการปั่นกววน 45%

สารละลายป้อน Co^{2+} 500 ppm ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 8.0818 \text{ g/ 4000 ml}$),

Buffer pH = 4.5 (500 ml)

สารละลายสกัดรีป สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl 0.1M), pH = 1

สารละลายอินทรีย์ 20 V/V% D2EHPA ในโทลูอีน

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองที่ความเร็วรอบในการปั่นกววนเท่ากับ 45 %

Time (min)	$[\text{Co}^{2+}]_F$ (ppm)	$[\text{Co}^{2+}]_S$ (ppm)	M_F	M_S	Mole lost	%Extraction	%Recovery
0.5	490	10	0.0333	0.0007	0.0000	98	2
1	440	25	0.0299	0.0017	0.0024	88	5
2	260	110	0.0176	0.0075	0.0088	52	22
3	510	170	0.0346	0.0115	-0.0122	102	34
4	400	160	0.0271	0.0109	-0.0041	80	32
5	270	210	0.0183	0.0143	0.0014	54	42
10	270	215	0.0183	0.0146	0.0010	54	43
15	220	260	0.0149	0.0176	0.0014	44	52
30	265	270	0.0180	0.0183	-0.0024	53	54
45	265	250	0.0180	0.0170	-0.0010	53	50
60	280	300	0.0190	0.0204	-0.0054	56	60
80	270	290	0.0183	0.0197	-0.0041	54	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 ผลการทดลองสำหรับการศึกษาผลกระทบจากความเข้มข้นของสารสกัดในตัวทำละลายอินทรีย์

สภาวะการทดลอง

สารละลายอินทรีย์ 12 VV% D2EHPA ในโทลูอีน

สารละลายป้อน Co^{2+} 500 ppm ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 8.0730 \text{ g} / 4000 \text{ ml}$),

Buffer pH = 4.5 (500 ml)

สารละลายสตริป สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl 0.1M), pH = 1

ความเร็วรอบของการปั่นกววน 40%

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 12 VV%

Time (min)	$[\text{Co}^{2+}]_F$ (ppm)	$[\text{Co}^{2+}]_S$ (ppm)	M_F	M_S	Mole lost	%Extraction	%Recovery
0	520	0	0.0353	0.0000	-0.0014	104	0
5	500	0	0.0339	0.0000	0.0000	100	0
10	490	0	0.0333	0.0000	0.0007	98	0
20	460	10	0.0312	0.0007	0.0020	92	2
30	410	20	0.0278	0.0014	0.0048	82	4
40	470	40	0.0319	0.0027	-0.0007	94	8
50	410	40	0.0278	0.0027	0.0034	82	8
60	380	110	0.0258	0.0075	0.0007	76	22
70	390	200	0.0265	0.0136	-0.0061	78	40
90	460	230	0.0312	0.0156	-0.0129	92	46
110	430	240	0.0292	0.0163	-0.0115	86	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะการทดลอง

สารละลายอินทรีย์ 16 V/V% D2EHPA ในโทลูอีน

สารละลายป้อน Co^{2+} 500 ppm ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 8.088 \text{ g} / 4000 \text{ ml}$),

Buffer pH = 4.5 (500 ml)

สารละลายสกัดป สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl 0.1M), pH = 1

ความเร็วรอบของการปั่นกววน 40%

ตารางที่ ๑.6 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 16 V/V%

Time (min)	[Co ²⁺]F (ppm)	[Co ²⁺]S (ppm)	M _F	M _S	Mole lost	%Extraction	%Recovery
0	490	0	0.0333	0.0000	0.0007	98	0
5	460	70	0.0312	0.0048	-0.0020	92	14
10	380	150	0.0258	0.0102	-0.0020	76	30
20	350	140	0.0238	0.0095	0.0007	70	28
30	400	250	0.0271	0.0170	-0.0102	80	50
40	360	240	0.0244	0.0163	-0.0068	72	48
50	310	250	0.0210	0.0170	-0.0041	62	50
60	280	240	0.0190	0.0163	-0.0014	56	48
70	260	240	0.0176	0.0163	0.0000	52	48
80	260	260	0.0176	0.0176	-0.0014	52	52
90	250	240	0.0170	0.0163	0.0007	50	48
100	260	260	0.0176	0.0176	-0.0014	52	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะการทดลอง

- สารละลายอินทรีย์ 20 V/V% D2EHPA ในโทลูอีน
- สารละลายป้อน Co^{2+} 500 ppm ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 8.085 \text{ g/4000 ml}$),
Buffer pH = 4.5 (500 ml)
- สารละลายสตรีป สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl 0.1M), pH = 1
- ความเร็วรอบของการปั่นกววน 40%

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 20 V/V%

Time (min)	$[\text{Co}^{2+}]_F$ (ppm)	$[\text{Co}^{2+}]_S$ (ppm)	M_F	M_S	Mole lost	%Extraction	%Recovery
1	480	0	0.0326	0.0000	0.0014	96	0
5	400	50	0.0271	0.0034	0.0034	80	10
10	360	80	0.0244	0.0054	0.0041	72	16
20	330	90	0.0224	0.0061	0.0054	66	18
30	300	115	0.0204	0.0078	0.0058	60	23
40	260	130	0.0176	0.0088	0.0075	52	26
50	220	180	0.0149	0.0122	0.0068	44	36
60	225	200	0.0153	0.0136	0.0051	45	40
80	220	220	0.0149	0.0149	0.0041	44	44
90	190	210	0.0129	0.0143	0.0068	38	42
100	210	200	0.0143	0.0136	0.0061	42	40
120	200	210	0.0136	0.0143	0.0061	40	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 ข้อมูลผลการทดลองสำหรับการศึกษามลกระทบจากความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน

สภาวะการทดลอง

สารละลายป้อน Co^{2+} 500 ppm ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 8.0778 \text{ g/ 4000 ml}$),

Buffer pH = 4 (500 ml)

สารละลายสตริป สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl 0.1M), pH = 1

สารละลายอินทรีย์ 16 V/V% D2EHPA ใน โทลูอีน

ความเร็วรอบของการปั่นกววน 40%

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองที่ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน pH เท่ากับ 4

Time (min)	$[\text{Co}^{2+}]_F$ (ppm)	$[\text{Co}^{2+}]_S$ (ppm)	M_F	M_S	Mole lost	%Extraction	%Recovery
0	480	0	0.0326	0.0000	0.0014	96	0
5	440	50	0.0299	0.0034	0.0007	88	10
10	370	130	0.0251	0.0088	0.0000	74	26
20	330	160	0.0224	0.0109	0.0007	66	32
30	330	220	0.0224	0.0149	-0.0034	66	44
40	310	210	0.0210	0.0143	-0.0014	62	42
50	300	220	0.0204	0.0149	-0.0014	60	44
60	280	230	0.0190	0.0156	-0.0007	56	46
70	270	240	0.0183	0.0163	-0.0007	54	48
80	270	230	0.0183	0.0156	0.0000	54	46
90	260	220	0.0176	0.0149	0.0014	52	44
100	265	220	0.0180	0.0149	0.0010	53	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะการทดลอง

- สารละลายป้อน Co^{2+} 500 ppm ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 8.0839 \text{ g} / 4000 \text{ ml}$),
 Buffer pH = 5 (500 ml)
- สารละลายสตริป สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl 0.1M), pH = 1
- สารละลายอินทรีย์ 16 VV% D2EHPA ใน โทลูอีน
- ความเร็วรอบของการปั่นกววน 40%

ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองที่ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน pH เท่ากับ 5

Time (min)	$[\text{Co}^{2+}]_F$ (ppm)	$[\text{Co}^{2+}]_S$ (ppm)	M_F	M_S	Mole lost	%Extraction	%Recovery
5	480	20	0.0326	0.0014	0.0000	96	4
10	455	50	0.0309	0.0034	-0.0003	91	10
15	220	110	0.0149	0.0075	0.0115	44	22
20	360	140	0.0244	0.0095	0.0000	72	28
25	340	165	0.0231	0.0112	-0.0003	68	33
30	300	200	0.0204	0.0136	0.0000	60	40
35	260	230	0.0176	0.0156	0.0007	52	46
40	200	225	0.0136	0.0153	0.0051	40	45
45	225	230	0.0153	0.0156	0.0031	45	46
50	200	240	0.0136	0.0163	0.0041	40	48
55	160	255	0.0109	0.0173	0.0058	32	51
60	145	255	0.0098	0.0173	0.0068	29	51
75	145	265	0.0098	0.0180	0.0061	29	53
90	140	255	0.0095	0.0173	0.0071	28	51

หนังสืออ้างอิง

- Da Haan, A. B.; Bartels, P. V.; and De Grauw, J. 1988. Extraction of metals ions from waste water. *Journal of Membrane Science* 45: 281-197.
- Gu, Z. M. 1990. A new liquid membrane technology-Electrostatic pseudo liquid membrane. Elsevier Science Publishers (3): 77-88.
- Koros, W. J. and R. T. Chem: in R. W. Rousseau (ed.). 1987. Spiral-wound separator. *Handbook of Separation Process Technology*, Wiley, New York, p. 838.
- Loiacono, O.; Drioli, E.; and Molinari, R. 1986. Metal ions separation and concentration with supported liquid membranes. *Journal of Membrane Science* 28: 123-138.
- Majumda, S. and Sirkar, K. K. 1992. Hollow-fiber contained liquid membrane. In W.S. Winston Ho, and K. K. Sirkar (eds.), *Membrane handbook*, pp. 764-808. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Medal™ Membrane Separation System brochure, Du Pont-Air Liquide, 1989.
- Ohtsuka, N. 1990. Cobalt recovery method. U.S. Patent 4,908,462. 13 March 1990.
- Schulz, G. 1988. Separation techniques with supported liquid membranes. *Desalination* 68: 191-202.
- Tanigaki, M.; Shiode, T.; Ueda, M.; and Eugichi, W. 1988. Facilitated transport of zinc chloride through hollow fiber supported liquid membrane. Part 1. Transport mechanism. *Separation Science and Technology* 23 (10&11): 1145-1159.
- Tanigaki, M.; Shiode, T.; Ueda, M.; and Eugichi, W. 1988. Facilitated transport of zinc chloride through hollow fiber supported liquid membrane. Part 2. Membrane stability. *Separation Science and Technology* 23 (10&11): 1161-1169.

Tavlarides, L. L.; Bae, J. H.; and Lee, C. K. 1987. Solvent extraction, membranes, and ion exchange in hydrometallurgical dilute metal separation. *Separation Science and Technology* 22 (2&3): 581-617.

Teramoto, M.; Matsuyama, H.; Takaya, H.; and Asano, S. 1987. Development of spiral-type supported liquid membrane module for separation and concentration of metal ions. *Separation Science and Technology* 22 (11): 2175-2201.

นภกร อัมพิพิธ. 1996. การสกัดแบบกะของไอออนโคบอลต์ในสารละลายกรดเกลือด้วยการสกัดแบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงในหลอดเดียว. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้