

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล
ในสารละลายกรดเกลือเจือจางโดยใช้เยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน



นายธีระ อนุกุลประเสริฐ

น.ส.ศุมาวดี สิงหนิยม

น.ส.พรทิพย์ จักรวิชัยอำรง

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมึก.....

เลขทะเบียน..... 36756

วัน, เดือน, ปี... 28... 2548

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Preliminary Study for separating cobalt ions from nickel ions
in dilute hydrochloric acid by Using Emulsion Liquid Membrane



Mr. Theera Anukunprasert

Miss Thumavadee Singhaniyom

Miss Porntip Jakwichtamrong

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Bachelor Degree of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออน
นิกเกิลในสารละลายกรดเกลือเจือจางโดยการใช้เยื่อแผ่นของเหลว
อิมัลชัน

โดย นายธีระ อนุกุลประเสริฐ
น.ส.ศุมาวดี สิงหนิยม
น.ส.พรทิพย์ จักรวิชัยธำรง

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์นภกร อัมพิพิธ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

นภกร อัมพิพิธ

ประธานกรรมการ

(อาจารย์นภกร อัมพิพิธ)

อัครเดช วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ กรรมการ

(ผศ.ดร.อัครเดช วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

กรรมการ

(ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิลในสารละลายกรดเกลือเจือจางโดยใช้เยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน

โดย นายธีระ อนุกุลประเสริฐ
นส.รুমาวดี สิงหนิยม
น.ส.พรทิพย์ จักรวิชัยธำรง

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ นภกร ธัมพิพิธ

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิลในสารละลายกรดเกลือเจือจางโดยใช้เยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน ซึ่งชั้นเยื่อแผ่นของเหลวเตรียมโดยนำสารสกัดคือ Di-2-ethylhexyl phosphoric acid (D2EHPA) ผสมกับสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) คือ SPAN 80 และตัวทำละลายอินทรีย์คือ n-heptane จากนั้นนำเยื่อแผ่นของเหลวที่เตรียมได้ปั่นกวนกับสารละลายกรดเกลือซึ่งมี pH เท่ากับ 1 ในอัตราส่วนโดยปริมาตรเท่ากับ 1:1 ด้วยเครื่องปั่นกวนความเร็วรอบสูงเพื่อเตรียมอิมัลชัน ในการสกัดแยกจะนำอิมัลชันที่เตรียมได้มาปั่นกวนกับสารป้อนคือ สารละลายยัฟเฟอร์ของโซเดียมอะซิเตตและกรดอะซิติกซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลเท่ากับ 1,000 ppm โดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรเท่ากับ 1:2 ผลของการสกัดแยกสามารถวิเคราะห์โดยการวัดความเข้มข้นของไอออนโลหะทั้ง 2 ชนิดที่เหลือในสารป้อนโดยใช้เครื่อง Atomic Adsorption (AA)

ปัจจัยต่าง ๆ ที่ศึกษาเพื่อการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิลในการทำวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ความเข้มข้นของ SPAN 80 และ D2EHPA ค่า pH เริ่มต้นของสารป้อน ความเร็วรอบในการปั่นกวนเพื่อสกัดแยก และความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล คือ ความเข้มข้นของ D2EHPA และ SPAN 80 เท่ากับ 5% และ 8% โดยปริมาตรของเยื่อแผ่นตามลำดับ ค่า pH ประมาณ 4.0 – 5.0 ความเร็วรอบในการเตรียมอิมัลชันเท่ากับ 20,500 รอบต่อนาที และ ความเร็วรอบในการสกัดแยกเท่ากับ 800 รอบต่อนาที ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิลมากที่สุดคือ การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ส่วนปัจจัยอื่น ๆ นั้นเป็นปัจจัยเสริมให้เปอร์เซ็นต์การสกัดเพิ่มขึ้น และส่งผลถึงค่าการเลือกผ่านสารน้อยมาก นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดลองสกัดแบบอนุกรมซึ่งพบว่า การสกัดแบบอนุกรมช่วยเพิ่มค่าความสามารถในการเลือกผ่านน้อยมาก และพบว่าการใช้สารสกัดคือ D2EHPA เพียงชนิดเดียวยังไม่สามารถแยกไอออนของโคบอลต์ออกจากไอออนของนิกเกิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Report Title A Preliminary Study for separating cobalt ions from nickel ions in dilute hydrochloric acid by Using Emulsion Liquid Membrane

By Mr. Theera Anukunprasert
 Miss Thumavadee Singhaniyom
 Miss Pomtip Jakwichtamrong

Advisor Mr. Noppakorn Thamphiphit

A Report for completed the Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering, Engineering Faculty

Abstract

This work studied the possibility for separation of cobalt ions from nickel ions in the dilute hydrochloric acid solutions by using Emulsion Liquid Membrane. Liquid membrane was prepared by mixing Di-2-ethylhexyle phosphoric acid (D2EHPA) with SPAN 80 and N-heptane. Next, the liquid membrane was agitated with a hydrochloric acid solution of which the pH was approximately 1, with a volume ratio of 1:1 by using a high-speed homogenizer for preparing emulsion. The obtained emulsion was mixed with the acidic buffer solutions of sodium acetate and acetic acid containing initial cobalt ions and nickel ions concentrations of 1,000 ppm with the volume ratio of 1:2. The results of the extractions were analyzed by measuring the concentration of cobalt ions and nickel ions that remained in the external phase by using the Atomic Absorption (AA).

The important factors, which were studied in this experiment, were the concentrations of SPAN 80 and D2EHPA, the initial pH of the feed, the mixing speed of the emulsion preparation step, and the speed of the mixing step.

The optimum results for the separation of cobalt ions from nickel ions were 5 vol.% D2EHPA, 8 vol.% SPAN 80, the initial pH of the feed of about 4-5, the mixing speed for the emulsion preparation step of 20,500 rpm , and the speed for the mixing step of 800 rpm. The most important factor for the separation of cobalt ions and nickel ions was the initial pH of the feed. Other factors had little effect on the separation and only supported the conditions for improving the percentage of extraction. The last part of this work was the extraction of cobalt ions from nickel ions in a series. The results showed that the extraction in a series had no significance in improving the selectivity of the separation. In addition, it was found that the separation of cobalt ions from nickel ions was not effective with the use of only D2EHPA.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ญ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	บ
บทที่ 1 บทนำ	1
- วัตถุประสงค์	4
- ขอบเขตการศึกษา	4
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎี	6
- ขั้นตอนในการใช้เยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันในการสกัด	10
- สมบัติของสารลดแรงตึงผิว	17
- สมบัติตัวทำละลาย	20
- สมบัติสารสกัด	20
- ความเสถียรของเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน	24
บทที่ 3 กลไกการถ่ายเทมวลของเยื่อแผ่นของเหลวแบบอิมัลชัน	31
- Uniform flat sheet model	32
- Hollow sphere model	32
- Hollow sphere-advancing front model	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
- Immobilized globule-advancing front model และ Immobilized hollow spherical globule-advancing front model	33
บทที่ 4 วิธีการทดลองและขั้นตอนการทดลอง	38
- การทดลองที่ 1	39
- การทดลองที่ 2	41
- การทดลองที่ 3	43
- การทดลองที่ 4	44
- การทดลองที่ 5	45
- การทดลองที่ 6	47
- การทดลองที่ 7	48
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	50
- การทดลองที่ 1	50
- การทดลองที่ 2	51
- การทดลองที่ 3	54
- การทดลองที่ 4	54
- การทดลองที่ 5	65
- การทดลองที่ 6	65
- การทดลองที่ 7	74
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	76
- สรุปผลการทดลอง	76
- ข้อเสนอแนะ	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
- Immobilized globule-advancing front model และ Immobilized hollow spherical globule-advancing front model	33
บทที่ 4 วิธีการทดลองและขั้นตอนการทดลอง	38
- การทดลองที่ 1	39
- การทดลองที่ 2	41
- การทดลองที่ 3	43
- การทดลองที่ 4	44
- การทดลองที่ 5	45
- การทดลองที่ 6	47
- การทดลองที่ 7	48
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	50
- การทดลองที่ 1	50
- การทดลองที่ 2	51
- การทดลองที่ 3	54
- การทดลองที่ 4	54
- การทดลองที่ 5	65
- การทดลองที่ 6	65
- การทดลองที่ 7	74
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	76
- สรุปผลการทดลอง	76
- ข้อเสนอแนะ	79

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการครั้งนี้จนประสบผลสำเร็จ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณผู้มีส่วนช่วยเหลือในการทำโครงการครั้งนี้ ทั้งการให้ข้อมูลและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างหาค่าไม่ได้

รศ.ดร.จิรการนต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ช่วยให้คำแนะนำในเรื่องของการสกัดด้วยเยื่อแผ่นของเหลว รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องปั่นกวนความเร็วรอบสูง และชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ศ.ดร.สำรวย สังข์สะอาด อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูง ที่ใช้ในการแตกอิมัลชัน

อาจารย์พลผดุง ผดุงกุล และ รศ.ดร.ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ อาจารย์ชาย ชมพูอินไหว อาจารย์ประจำภาควิชาไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้ให้คำแนะนำแนวทางในการสร้างเครื่องแตกอิมัลชัน ในส่วนเครื่องสร้างแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูง โดยใช้หลักการทางเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ และการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าความต่างศักย์สูง

หัวหน้าภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี และเครื่อง AA ที่ใช้ในการวิเคราะห์ รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ นภกร ธัมพิพิธ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการนี้จนสำเร็จ ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ ซึ่งคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

16 มีนาคม 2543

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ความสามารถและลักษณะในการละลายน้ำของสาร ที่มีค่า pH ต่าง ๆ	10
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างของการสกัดโดยใช้กลไกการถ่ายเทแบบ FT 1	12
ตารางที่ 2.3	ตัวอย่างการสกัดโดยใช้กลไกแบบ FT 2	14
ตารางที่ 2.4	ผลของชนิดอิมัลชันที่มีต่อการเพอมีเอชันของคอปเปอร์ไอออน	19
การทดลองชุดที่ 1 การหาเปอร์เซ็นต์ SPAN 80 ที่เหมาะสม		
ตารางที่ ก.1.1	SPAN 80 = 2 vol.%	86
ตารางที่ ก.1.2	SPAN 80 = 4 vol.%	87
ตารางที่ ก.1.3	SPAN 80 = 6 vol.%	87
ตารางที่ ก.1.4	SPAN 80 = 8 vol.%	88
ตารางที่ ก.1.5	SPAN 80 = 10 vol.%	88
ตารางที่ ก.1.6	SPAN 80 = 12 vol.%	89
การทดลองชุดที่ 2 การหาเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของสารสกัดในเยื่อแผ่นที่เหมาะสม		
- การทดลองชุดที่ 2.1 โดยมี SPAN 80 = 8 vol.%		
ตารางที่ ก.2.1.1	D2EHPA = 5 vol.%	93
ตารางที่ ก.2.1.2	D2EHPA = 7 vol.%	94
- การทดลองชุดที่ 2.2 โดยมี SPAN 80 = 10 vol.%		
ตารางที่ ก.2.2.1	D2EHPA = 5 vol.%	94
ตารางที่ ก.2.2.2	D2EHPA = 7 vol.%	95
ตารางที่ ก.2.2.3	D2EHPA = 9 vol.%	95


สารบัญญัตราจ (ต่อ)

	หน้า
- การทดลองชุดที่ 2.3 โดยมี SPAN 80 = 12 vol.%	
ตารางที่ ก.2.3.1 D2EHPA = 5 vol.%	96
ตารางที่ ก.2.3.2 D2EHPA = 7 vol.%	96
ตารางที่ ก.2.3.3 D2EHPA = 9 vol.%	97
การทดลองชุดที่ 3 การหาค่าช่วง pH เริ่มต้นของสารป้อนที่เหมาะสม	
ตารางที่ ก.3.1 การหาค่าช่วง pH เริ่มต้นของสารป้อนที่เหมาะสมสำหรับ ปฏิกิริยาการสกัดและการแยกของโคบอลต์ไอออน	98
การทดลองชุดที่ 4 การหาค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาการ สกัดและดึงกลับของโคบอลต์ไอออนออกจากนิกเกิลไอออน	
- การทดลองชุดที่ 4.1 โดยมี SPAN 80 = 8 vol.%	
ตารางที่ ก.4.1.1 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 4.25	99
ตารางที่ ก.4.1.2 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 5.71	100
- การทดลองชุดที่ 4.2 โดยมี SPAN 80 = 10 vol.%	
ตารางที่ ก.4.2.1 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 3.25	100
ตารางที่ ก.4.2.2 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 4.00	101
ตารางที่ ก.4.2.3 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 5.99	101
- การทดลองชุดที่ 4.3 โดยมี SPAN 80 = 12 vol.%	
ตารางที่ ก.4.3.1 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 3.25	102
ตารางที่ ก.4.3.2 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 4.00	102
ตารางที่ ก.4.3.3 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 5.71	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
การทดลองชุดที่ 5 การหาค่าความเร็วรอบที่ใช้ปั่นกวนในการสกัดและการแยกที่เหมาะสม	
ตารางที่ ก.5.1 ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวน = 500 rpm	108
ตารางที่ ก.5.2 ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวน = 650 rpm	108
ตารางที่ ก.5.3 ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวน = 800 rpm	109
ตารางที่ ก.5.4 ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวน = 950 rpm	109
ตารางที่ ก.5.5 ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวน = 1000 rpm	109
การทดลองชุดที่ 6 การหาค่าความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นอิมัลชันที่เหมาะสม	
ตารางที่ ก.6.1 ความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นอิมัลชัน = 13500 rpm	113
ตารางที่ ก.6.2 ความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นอิมัลชัน = 20500 rpm	113
ตารางที่ ก.6.2 ความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นอิมัลชัน = 24000 rpm	114
การทดลองชุดที่ 7 ทดลองทำการสกัดแบบต่อเนื่อง	
ตารางที่ ก.7 การสกัดแบบต่อเนื่อง	117

สารบัญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 2.1	ลักษณะของเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน	7
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างการเกิดอิมัลชันโดยการเกิดอันตรกิริยาของน้ำกับน้ำมัน โดยมีสารลดแรงตึงผิว	8
รูปที่ 2.3	ลำดับเฟสภายในเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน	8
รูปที่ 2.4	ค่าสเกลของค่า HLB	9
รูปที่ 2.5	ขั้นตอนการสกัดด้วยเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน	11
รูปที่ 2.6	การสกัดฟินอลโดยใช้กลไกแบบ FT 1	12
รูปที่ 2.7	ตัวอย่างกลไก FT 2	13
รูปที่ 2.8	โพรไฟล์ความเข้มข้นตามกลไก FT 2	15
รูปที่ 2.9	เครื่องแตกอิมัลชันโดยใช้แรงเฉือน	17
รูปที่ 2.10	การกระจายของกลุ่มอิมัลชัน	18
รูปที่ 2.11	สูตรโครงสร้างของ SPAN 80	20
รูปที่ 2.12	ตัวอย่างกลไกการถ่ายเทผ่านเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันแบบ FT 2	22
รูปที่ 2.13	สูตรโครงสร้างของ D2EHPA	24
รูปที่ 2.14	กลไกในการแพร่ผ่านของการบวมน้ำ	28
รูปที่ 2.15	Swelling mechanism via entrainment เมื่อ  แทนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว ส่วนหัวคือส่วนที่ชอบน้ำ ส่วนหางคือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ	29
รูปที่ 3.1	รูปแบบการถ่ายเทมวลแบบ Uniform flat sheet model	32
รูปที่ 3.2	รูปแบบการถ่ายเทมวลแบบ Hollow sphere-advancing front Model	33
รูปที่ 3.3	รูปแบบการถ่ายเทมวลแบบ Immobilized hollow spherical globule-advancing front model	34

สารบัญญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.4	กลไกการถ่ายเทมวลของโคบอลต์ไอออน	35
รูปที่ 3.5	ความแตกต่างของความเข้มข้นของโคบอลต์ไอออนที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงในชั้นเยื่อแผ่น	36
รูปที่ 5.1	ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80	52
รูปที่ 5.2	ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80	52
รูปที่ 5.3	ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA	55
รูปที่ 5.4	ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA	55
รูปที่ 5.5	ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลืออยู่ในสารป้อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA	56
รูปที่ 5.6	ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA	56
รูปที่ 5.7	ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลืออยู่ในสารป้อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 12 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA	57
รูปที่ 5.8	ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 12 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA	57
รูปที่ 5.9	กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ และไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 5 vol.%	58

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ และไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 7 vol.%	58
รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ และไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 5 vol.%	59
รูปที่ 5.12 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ และไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 7 vol.%	59
รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ และไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 9 vol.%	60
รูปที่ 5.14 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ และไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 5 vol.%	60
รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ และไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 7 vol.%	61
รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ และไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 9 vol.%	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.17 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารบ่อน ที่ D2EHPA เท่ากับ 5 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80	62
รูปที่ 5.18 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารบ่อน ที่ D2EHPA เท่ากับ 5 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80	62
รูปที่ 5.19 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารบ่อน ที่ D2EHPA เท่ากับ 7 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80	63
รูปที่ 5.20 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารบ่อน ที่ D2EHPA เท่ากับ 7 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80	63
รูปที่ 5.21 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารบ่อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH เริ่มต้นของสารบ่อน	66
รูปที่ 5.22 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารบ่อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH เริ่มต้นของสารบ่อน	66
รูปที่ 5.23 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารบ่อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH เริ่มต้นของสารบ่อน	67
รูปที่ 5.24 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารบ่อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH เริ่มต้นของสารบ่อน	67
รูปที่ 5.25 ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่เหลือในสารบ่อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 12 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH เริ่มต้นของสารบ่อน	68
รูปที่ 5.26 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารบ่อน ที่ SPAN 80 เท่ากับ 12 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH เริ่มต้นของสารบ่อน	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.27 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์กับไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน ณ เวลา 30 วินาที ที่ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลง ค่า pH เริ่มต้นของสารป้อน	69
รูปที่ 5.28 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์กับไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน ณ เวลา 30 วินาที ที่ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลง ค่า pH เริ่มต้นของสารป้อน	69
รูปที่ 5.29 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์กับไอออนนิกเกิลที่เหลืออยู่ในสารป้อน ณ เวลา 30 วินาที ที่ SPAN 80 เท่ากับ 12 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลง ค่า pH เริ่มต้นของสารป้อน	70
รูปที่ 5.30 กราฟแนวโน้มของการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิลเมื่อค่า pH สูงขึ้นโดยใช้ D2EHPA เป็นสารสกัด [Ohtsuka, 1990]	70
รูปที่ 5.31 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อนที่ D2EHPA เท่ากับ 5 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80	71
รูปที่ 5.32 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อนที่ D2EHPA เท่ากับ 5 vol.% เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80	71
รูปที่ 5.33 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อนเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการปั่นกววน	72
รูปที่ 5.34 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อนเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการปั่นกววน	72
รูปที่ 5.35 ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อนเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน	73

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.36 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน	73
รูปที่ 5.37 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อทำการทดลองการสกัดแยกแบบต่อเนื่อง	75
รูปที่ ก.1.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 2 vol.%	90
รูปที่ ก.1.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 4 vol.%	90
รูปที่ ก.1.3 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 6 vol.%	91
รูปที่ ก.1.4 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.%	91
รูปที่ ก.1.5 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.%	92
รูปที่ ก.1.6 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 12 vol.%	92
รูปที่ ก.4.1.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อ pH เริ่มต้น เท่ากับ 4.25	104
รูปที่ ก.4.1.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อ pH เริ่มต้น เท่ากับ 5.71	104
รูปที่ ก.4.2.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อ pH เริ่มต้น เท่ากับ 3.25	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก.4.2.2กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อ pH เริ่มต้น เท่ากับ 4.00	105
รูปที่ ก.4.2.3กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อ pH เริ่มต้น เท่ากับ 5.99	106
รูปที่ ก.4.3.1กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อ pH เริ่มต้น เท่ากับ 3.25	106
รูปที่ ก.4.3.2กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อ pH เริ่มต้น เท่ากับ 4.00	107
รูปที่ ก.4.3.3กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลืออยู่ในสารป้อน เมื่อ pH เริ่มต้น เท่ากับ 5.99	107
รูปที่ ก.5.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเร็วรอบในการปั่นกววนเท่ากับ 500 rpm	110
รูปที่ ก.5.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเร็วรอบในการปั่นกววนเท่ากับ 650 rpm	110
รูปที่ ก.5.3 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเร็วรอบในการปั่นกววนเท่ากับ 800 rpm	111
รูปที่ ก.5.4 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเร็วรอบในการปั่นกววนเท่ากับ 950 rpm	111
รูปที่ ก.5.5 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเร็วรอบในการปั่นกววนเท่ากับ 1000 rpm	112

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก.6.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน เท่ากับ 13500 rpm	115
รูปที่ ก.6.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน เท่ากับ 20500 rpm	115
รูปที่ ก.6.3 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล ที่เหลือในสารป้อน เมื่อความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน เท่ากับ 24000 rpm	116
รูปที่ ค.1 เครื่องปั่นกวนความเร็วรอบสูง (Homogenizer)	119
รูปที่ ค.2 ชุดเครื่องกวนผสม (Agitator) ที่ใช้ในการปั่นกวนเพื่อสกัดแยก ไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล	120
รูปที่ ง.1 เครื่องแตกอิมัลชัน (Electrical coalescer)	125

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์

J_{Co}	=	Permeation rate ของไอออนโคบอลต์ในเฟสของ
D_{Co}	=	Diffusivity ของไอออนโคบอลต์
D_C	=	Diffusivity ของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออนโคบอลต์กับ D2EHPA
$[Co^{2+}]$	=	ความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย
$[Ni^{2+}]$	=	ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย
$\overline{[Co^{2+}]}$	=	ความเข้มข้นของสารเชิงซ้อนที่เกิดจากไอออนของโคบอลต์จับตัวกับ D2EHPA
$[Co^{2+}]_0$	=	ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโคบอลต์ในสารละลาย
$[Ni^{2+}]_0$	=	ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนนิกเกิลในสารละลาย
$[(RO)_2POO]$	=	ความเข้มข้นของ D2EHPA
k_1, k_{-1}	=	ค่าคงที่ของ Interfacial reaction rate
%E	=	เปอร์เซ็นต์การสกัด (%Extraction)
E	=	ความแรงสนามไฟฟ้า
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ
L	=	ระยะห่างระหว่างหยดน้ำสองหยด

อักษรย่อ

LM	=	Liquid Membrane
ELM	=	Emulsion Liquid Membrane
SLM	=	Supported Liquid Membrane

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

HLB = Hydrophilic to Lipophilic Balance

อักษรกรีกโรมัน

τ = ค่าคงที่ของเมมเบรน (Membrane constant)

δ = ความหนาของชั้นเยื่อแผ่นเมื่อคิดเป็นแผ่นบางแล้ว

α = Separation factor

ϵ_c = Dielectric constant ของชั้นสารละลายอินทรีย์

ϵ_d = ค่า Dielectric constant ของสารละลายที่แขวนลอยในตัวทำละลายอินทรีย์

ตัวห้อย

0 = ระบุให้ตัวแปรที่กำหนดอยู่ระหว่างอินเตอร์เฟสของสารป้อนและชั้นเยื่อแผ่น

l = ความหนาของชั้นเยื่อแผ่น เมื่อคิดความหนาด้วยรูปแบบการถ่ายเทมวลแบบแฟลทชีท

s = ระบุให้ตัวแปรที่กำหนดอยู่ระหว่างอินเตอร์เฟสของสารละลายสรีปและชั้นเยื่อแผ่น

ตัวยก

ขีดบนตัวอักษรหมายถึงในเฟสอินทรีย์

บทที่ 1

บทนำ

กระบวนการแยกสารนับเป็นหัวใจสำคัญในอุตสาหกรรมเคมี ทั้งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและในขั้นตอนการทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้บริสุทธิ์ กระบวนการแยกสารที่นิยมใช้กระบวนการหนึ่ง ได้แก่ กระบวนการสกัด ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ความเข้มข้นเป็นแรงขับเคลื่อน จึงต้องใช้สารป้อน (Feed) ที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง เพื่อให้การแยกเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในกระบวนการที่สารป้อนมีความเข้มข้นของสารละลายต่ำ การใช้กระบวนการสกัดทั่ว ๆ ไปในการแยกสารดังกล่าว จะทำได้ยากและมีประสิทธิภาพต่ำ อีกทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดมักจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีต้นทุนในการลงทุนค่อนข้างสูง ดังนั้น ในกระบวนการแยกสารที่มีความเข้มข้นต่ำจึงต้องการกระบวนการแยกที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งได้แก่ กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน (Emulsion Liquid Membrane: ELM) เช่น ในการสกัด ไอออนสังกะสีจากน้ำเสีย กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันสามารถสกัดสารป้อนที่มีความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น 100 – 350 ส่วนในล้านส่วน ให้ลดลงเหลือน้อยกว่า 1 ส่วนในล้านส่วน [Cahn and Li, 1991] นอกจากนี้กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันยังสามารถดำเนินการได้ง่าย รวมทั้งประหยัดทั้งเวลา ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ด้วยเหตุนี้กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันจึงนับได้ว่าเป็นทางเลือกที่ดีทางเลือกหนึ่ง

กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวอิมัลชันถูกค้นพบเป็นครั้งแรกโดย N. N. Li ในปี ค.ศ. 1968 จากนั้นได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้จริงในกระบวนการอุตสาหกรรม ในช่วงแรกผลงานการวิจัยส่วนมากจะมุ่งศึกษาด้านการสกัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น ใช้ในการสกัดแอมโมเนีย [Li and Shrier, 1972] โลหะอัลคาไลน์ [Reusch and Cussler, 1973] ฟีนอล [Cahn and Li, 1974] กรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์

จากน้ำเสีย [Halwachs, et al, 1980] ต่อมาจึงได้มีการประยุกต์ใช้งานกว้างขวางขึ้นโดยมีการนำเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันมาใช้สกัดสารจำพวกโลหะหนัก เช่น การแยกไอออนนิกเกิลในสารละลายจากการชุบโลหะ (Electroplating solution) ในกระบวนการชุบเคลือบโลหะเพื่อนำไอออนนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ [Draxler and Marr, 1986] การแยกไอออนสังกะสีออกจากน้ำเสีย [Draxler and Marr, 1988] เป็นต้น และจากนั้นจึงได้ขยายวงกว้าง โดยนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกโลหะหนักชนิดอื่น ๆ อาทิ เช่น แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และปรอท [Marr, et al., 1990] นอกจากนี้กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันยังสามารถประยุกต์ใช้งานกับกระบวนการทางชีวภาพอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น การแยกกรดอะมิโน สารแอนติไบโอติก และฟอสโฟลิปิดจากกระบวนการหมัก [Thien, et al., 1986; Ho and Cowan, 1987; Thien and Hatton, 1988]

กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันได้ถูกพัฒนาจนสามารถประยุกต์ใช้งานได้จริงกับกระบวนการอุตสาหกรรมเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1986 โดยใช้ในการแยกสังกะสี [Draxler, et al., 1988] และฟีนอล [Zhang, et al., 1987] ซึ่งทั้งสองกระบวนการถือเป็นกระบวนการที่สำคัญของเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน นอกจากระบบที่กล่าวมาแล้ว ระบบเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันที่นับได้ว่ามีความสำคัญอีกระบบหนึ่งคือ กระบวนการบำบัดไซยาไนด์ในน้ำเสียจากเหมืองทอง [Cahn and Li, 1991]

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวเป็นกระบวนการที่สามารถใช้แยกสารได้หลากหลาย และมีความสามารถในการเจาะจงเพื่อเลือกสกัดสูง ดังนั้นจึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการแยกสารที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน เช่น ไนโอเบียมกับแทนทาลัม โคบอลต์กับนิกเกิล เป็นต้น โดยเฉพาะโคบอลต์กับนิกเกิลซึ่งเป็นโลหะที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมและเป็นโลหะที่แยกได้ยากมากคู่หนึ่ง เนื่องจากธาตุทั้งสองเป็นธาตุทรานซิชันในหมู่ VIII B ของตารางธาตุที่มีสมบัติหลายประการใกล้เคียงกัน ได้แก่ มีเลขเชิงอะตอม 27 และ 28 น้ำหนักเชิงอะตอม 58.93 และ 58.71 รัศมีโควาเลนต์ 1.16 และ 1.15 Å จุดหลอมเหลว 1,495 และ 1,453 จุดเดือด 2,870 °C และ 2,732 °C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ที่ 0°C เท่ากับ 0.1028 และ 0.1032 cal / (g)(°C) ตามลำดับ [นภกร รัชมพิพิธ, 2539]

ผลงานวิจัยในการแยกนิกเกิลกับโคบอลต์ที่ผ่านมามีหลายวิธี เช่น การตกตะกอนโดยการเติมโซดาแอช [Kenneth, 1977] การสกัดแยกโดยใช้ระบบสารสกัดหลายตัวซึ่งได้แก่ Di-2-ethylhexyl-phosphoric acid (D2EHPA) กับ 2-ethylhexyl phosphonic acid (EHPNA) และ/หรือ Mono-2-ethylhexyl ester 3,5,5-trimethylhexyl phosphonic acid mono-3,5,5-trimethylhexyl ester (TMHPNA) และ/หรือ Isodecyl phosphonic acid monoisodecyl ester (IDPNA) โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นเคโรซีน [Akihiro et al., 1980] หรือใช้ D2EHPA กับ EHPNA เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล โดยมีการเติมแอลกอฮอล์เข้าไปในชั้นอินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด [Ohtsuka, 1990] เนื่องจากกระบวนการสกัดด้วยของเหลว-ของเหลวใช้สารสกัดในปริมาณมากและสารสกัดมักมีราคาแพง ดังนั้นจึงทำให้ต้นทุนในการแยกไอออนของโคบอลต์กับนิกเกิลค่อนข้างสูง ในระยะหลังจึงมีการนำกระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวที่มีตัวรองรับ (Supported Liquid Membrane: SLM) มาใช้แยกไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล เช่น การสกัดโดยใช้ Trilaurylammonium chloride (TLAHCL) เป็นสารสกัด และใช้ Triethylbenzene เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งมีประสิทธิภาพดี แต่ใช้เวลาในการแยกค่อนข้างนาน [Chiarizai and Castagnola, 1984] นอกจากนั้นยังมีการแยกโดยเปลี่ยนสารสกัดและชั้นอินทรีย์อีกมาก [Danesi et al., 1984] อย่างไรก็ตามการใช้กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวแบบที่มีตัวรองรับ ยังพบปัญหาการละลายของชั้นอินทรีย์ปนไปกับสารป้อนหรือสารละลายสตริป (Stripping solution) อยู่มาก ดังนั้นในระยะหลัง จึงมีผู้สนใจใช้เยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันในการแยกไอออนโคบอลต์และนิกเกิล ซึ่งมีผู้ทำการทดลองไว้หลายระบบ เช่น ใช้ชั้นอินทรีย์เป็นโทลูอีน เคโรซีน และใช้สารสกัด คือ D2EHPA [Winstan and Sirkar, 1992] หรืออาจใช้ระบบสารสกัดหลายชนิด

ดังนั้นในการทำโครงการครั้งนี้ จึงเลือกศึกษาการแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล โดยใช้แอมัลแกมเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ แทนโทลูอีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหยง่าย และใช้ SPAN 80 เป็นสารลดแรงตึงผิวและ D2EHPA เป็นสารสกัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการแยกไอออนโคบอลต์และนิกเกิลในสารละลายกรดเกลือเจือจาง ซึ่งสามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมการสกัดในการแยกไอออนของโลหะทั้งสองชนิดออกจากกัน หรือเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องการแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนของโลหะชนิดอื่น ๆ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในที่นี้สามารถใช้ไอออนนิกเกิลเป็นตัวแทนได้ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้งานกระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันในการแยกไอออนของโลหะที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้ เช่น การแยกไอออนของโลหะ 3 ชนิดออกจากกัน เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีของกระบวนการแยกสารโดยกระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน
2. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล โดยใช้กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน ซึ่งได้แก่ เปรอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของสารลดแรงตึงผิว เปรอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของสารสกัด ค่าความเป็นกรด-เบส (ค่า pH) ของสารป้อน ความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน และความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกววนเพื่อให้เกิดการแยกและการสกัด

ขอบเขตการศึกษา

โครงการนี้ได้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสกัดและการดึงกลับไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล และตัวแปรที่มีผลต่อการแตกอิมัลชันดังนี้

1. ศึกษาผลกระทบของค่า pH ของสารป้อนในช่วง 2-6 โดยให้ค่า pH ของสารละลายสตรีปคงที่เท่ากับ 1
2. ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ในช่วง 2-12 เปรอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
3. ศึกษาผลกระทบของสารสกัดในช่วง 5-9 เปรอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจทฤษฎีและกลไกของกระบวนการแยกสาร โดยการใช้กระบวนการเยื่อผ่านของเหลวอิมัลชัน
2. สามารถสรุปปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพรวมในการแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิลในสารละลายกรดเกลือเจือจาง โดยกระบวนการเยื่อผ่านของเหลวอิมัลชันได้
3. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ได้กับกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมีต่อไป



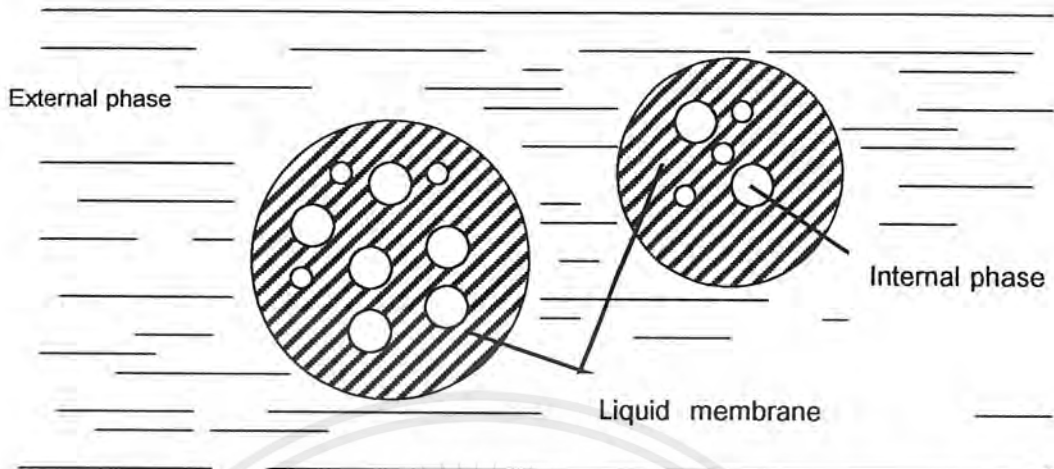
บทที่ 2

ทฤษฎีเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน

กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลว (Liquid Membrane; LM) เป็นกระบวนการที่ปฏิกริยาการแยกและการดึงกลับเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน โดยที่ของเหลวที่เป็นเยื่อแผ่นของเหลวทำหน้าที่เป็นชั้นการแยกแบบเลือกผ่าน (Selective separation layer) คือ เลือกผ่านเฉพาะตัวถูกละลายที่ต้องการสกัดเท่านั้น นอกจากนี้ยังทำหน้าที่แยกเฟสของสารป้อนและเฟสของสารละลายสตริปออกจากกัน ดังนั้นในกระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวจะประกอบด้วย 3 เฟส คือ เฟสของสารป้อน เฟสเยื่อแผ่น และเฟสของสารละลายสตริป

กระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน เป็นกระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีสารสกัดละลายอยู่ในเยื่อแผ่นของเหลวทำหน้าที่เป็นสารเลือกผ่านเฉพาะตัวถูกละลายที่สนใจ ทำให้กระบวนการที่มีความสามารถในการเลือกผ่าน (Selectivity) สูงมาก ใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก อีกทั้งยังสามารถดำเนินการได้ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบกะ (Batch operation)

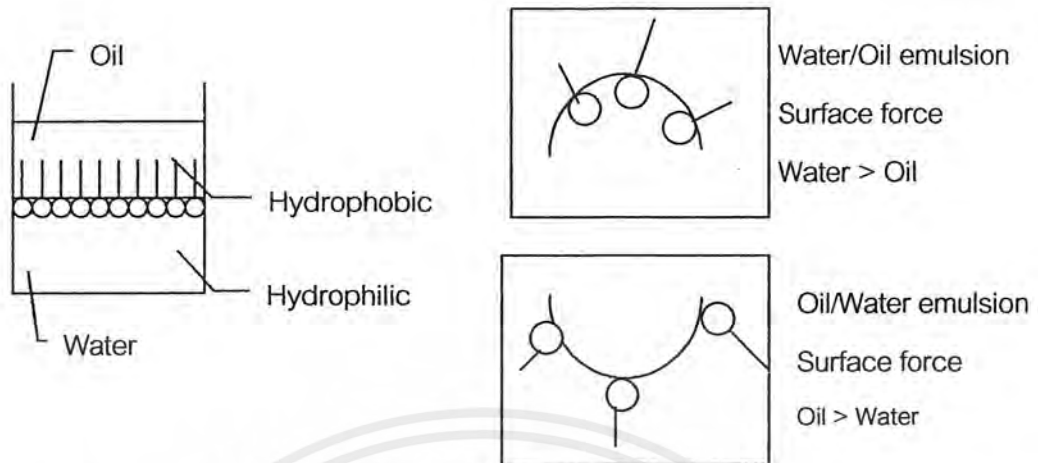
เยื่อแผ่นของเหลวในกรณีนี้มีลักษณะเป็นอิมัลชัน โดยสารที่ต้องการสกัดจะถูกละลายและเลือกผ่านเข้าไปในสารสกัดซึ่งอยู่ในรูปของอิมัลชัน ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารในหยดอิมัลชันจากเฟสภายนอก เข้าสู่เฟสภายในซึ่งมีลักษณะเป็นหยดเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วในหยดอิมัลชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดังนั้นการแยกสารโดยวิธีนี้จึงมีพื้นที่ผิวในการสกัดสูงมาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการแยกสูง และสามารถทำให้สารที่สกัดได้มีความเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อให้ปริมาตรของเฟสภายในน้อย ๆ โดยทั่วไปเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันจะให้พื้นที่ในการแยกต่อหน่วยปริมาตรประมาณ 1,000-3,000 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร



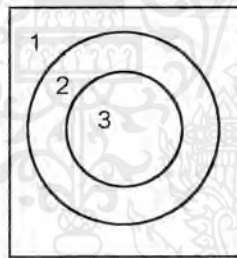
รูปที่ 2.1 ลักษณะของเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน (ELM) [Winston and Sirkar, 1992]

เยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันสามารถเตรียมได้จากของเหลว 2 ชนิดซึ่งไม่ละลายกัน (Immiscible liquids) และเมื่อใส่สารลดแรงตึงผิว (Surfactant, Emulsifier) ลงไปและกวนผสมเข้าด้วยกัน ก็จะเป็นอิมัลชัน โดยสารลดแรงตึงผิวจะเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับน้ำและน้ำมัน เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ดังนั้นสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาน้ำ และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาเฟสน้ำมัน ดังรูปที่ 2.2

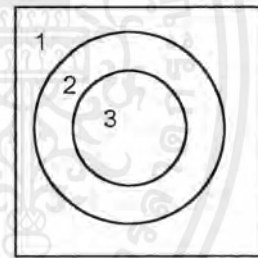
โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวมีความสามารถในการละลายในเฟสน้ำและในเฟสน้ำมันได้แตกต่างกัน หากเกิดการละลายของส่วนมีขั้วในเฟสน้ำได้ดีกว่าน้ำมัน จะทำให้แรงตึงผิวของส่วนที่ชอบน้ำมันมากกว่า เกิดเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (Oil in Water, O/W) แต่ถ้การละลายเกิดได้ดีกว่าในเฟสน้ำมัน แรงตึงผิวบริเวณส่วนที่ชอบน้ำจะมากกว่า ทำให้เกิดอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (Water in Oil, W/O) แต่ในการใช้งานของอิมัลชันของเหลวโดยทั่วไปในอุตสาหกรรม มักจะเตรียมอิมัลชันแบบน้ำ ในน้ำมันแล้วปั่นกวนกับตัวกลางที่เป็นน้ำ (Aqueous medium) ทำให้เกิดระบบที่ซับซ้อนขึ้น คือ มีลำดับของเฟสเป็นน้ำในน้ำมันในน้ำ (Water in Oil in Water, W/O/W) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการเกิดอิมัลชันโดยการเกิด Interaction ของน้ำกับน้ำมัน โดยมีสารลดแรงตึงผิว (ส่วนที่ชอบน้ำแสดงโดยรูปวงกลม และส่วนที่ไม่ชอบน้ำแสดงโดยเส้นตรง) [รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541]



ก) เยื่อแผ่นของเหลวเป็นเฟสน้ำ



ข) เยื่อแผ่นของเหลวเป็นเฟสน้ำมัน

รูปที่ 2.3 ลำดับของเฟสภายในเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน

โดยส่วนที่แรงเงา คือเฟสน้ำมัน ส่วนที่ไม่แรงเงา คือเฟสน้ำ ตามลำดับ

ก) เยื่อแผ่นของเหลวเป็นเฟสน้ำ ข) เยื่อแผ่นของเหลวเป็นเฟสน้ำมัน

[รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541]

ดังนั้น ในการสกัดด้วยเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันจึงแบ่งออกเป็น 3 เฟสคือ

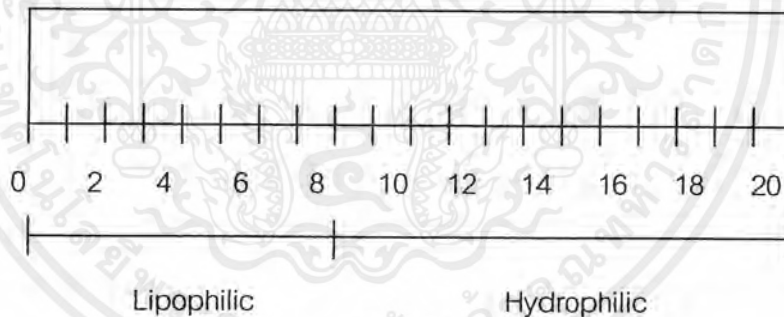
1. เฟสภายนอก โดยมากเป็นเฟสที่มีสารที่ต้องการแยก เช่น น้ำทิ้งที่มีโลหะหนักเจือปน
2. เฟสเยื่อแผ่นหรือเฟสสกัด เป็นเฟสที่มีสารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม ในบางกรณีอาจมีการผสมสารอื่น ๆ เช่น ตัวพา ลงไปด้วย

3. เฟสภายใน ส่วนมากทำหน้าที่แยกตัวถูกละลายจากเฟสเยื่อแผ่น

โดยทั่วไป ในการจะกำหนดว่าการเกิดอิมัลชันจะเป็นแบบน้ำในน้ำมันในน้ำ หรือน้ำมันในน้ำในน้ำมันนั้นจะกำหนดได้โดยใช้ค่า HLB (Hydrophilic/Lipophilic balance) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงการดุลของส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำ โดยทั่วไปค่า HLB จะคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 [รัตน จิระรัตนานนท์, 2541]

$$HLB = \frac{\%(\text{weight})\text{hydrophilic}}{5} \quad (2.1)$$

ดังนั้นค่า HLB จึงมีค่าอยู่ในช่วง 0-20 ทั้งนี้การเกิดระบบแบบน้ำ/น้ำมัน/น้ำ โดยทั่วไปมักจะทำอยู่ในช่วงของค่า HLB ในช่วงประมาณ 6-8 ส่วนลักษณะการเกิดอิมัลชันแบบอื่น ๆ การไม่เกิดอิมัลชัน หรือความสามารถและรูปแบบในการละลายน้ำก็สามารถประเมินได้จากค่า HLB เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และตารางที่ 2.1



1-3	สารต้านการเกิดโฟม (Antifoam agent)
3-8	สารลดแรงตึงผิวประเภทน้ำในน้ำมัน (W/O emulsifiers)
8-16	สารลดแรงตึงผิวประเภทน้ำมันในน้ำ (O/W emulsifiers)
13-16	สารซักฟอก (Detergents)
16-20	สารทำให้ละลาย (Solubilizers)

รูปที่ 2.4 ค่าสเกลของค่า HLB [Marr and Kopp, 1982]

ตารางที่ 2.1 ความสามารถและลักษณะในการละลายน้ำของสารที่มีค่า HLB ต่าง ๆ
[Marr and Kopp, 1982]

Solubility behavior in water	HLB-value
Not dispersible in water	1 to 4
Poorly dispersible	3 to 6
Milky dispersions after prolonged shaking	6 to 8
Stable milky dispersions	8 to 10
Transparent to clear dispersions	10 to 13
Clear, colloidal solution	Over 15

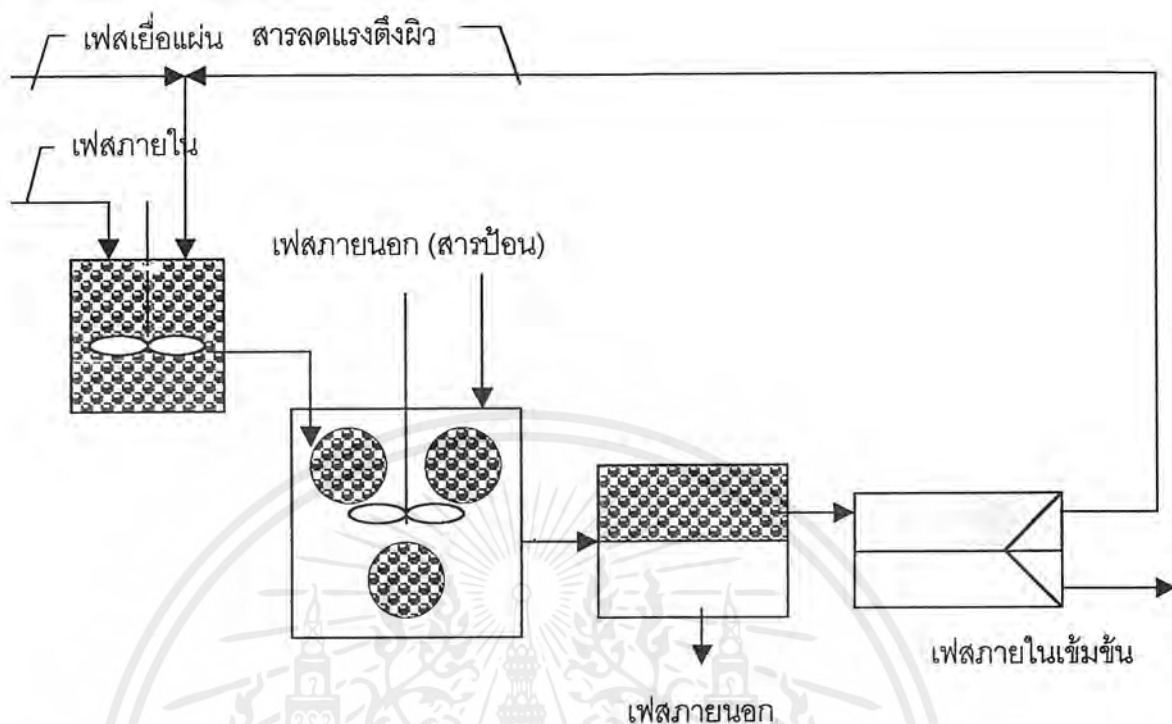
2.1 ขั้นตอนในการใช้เยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันในการสกัด

ขั้นตอนในการสกัดของเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 2.5

- 1) การเตรียมอิมัลชัน (Emulsification)
- 2) การสกัดและการดึงกลับ (Extraction and Stripping or Recovery)
- 3) การแยกชั้น (Settling)
- 4) การแตกอิมัลชัน (Demulsification)

2.1.1 การเตรียมอิมัลชัน

การเตรียมอิมัลชันทำได้โดยผสมสารละลายที่เป็นเฟสภายใน ซึ่งได้แก่ น้ำกับเฟสเยื่อแผ่นอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิว และสารเติมแต่งที่จำเป็น เช่น สารสกัดหรือตัวพาและตัวทำละลายอินทรีย์ จากนั้นปั่นกวนด้วยความเร็วรอบสูง (อาจสูงถึง 20,000 รอบต่อนาที) เพื่อทำให้เกิดอิมัลชันซึ่งสารละลายสตริปจะกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ปริมาณมาก ทำให้พื้นที่ผิวในการสกัดสูงมาก ดังแสดงในขั้นตอนแรกของรูปที่ 2.5 จากนั้นจะนำอิมัลชันที่เตรียมได้ไปปั่นกวนกับสารละลายป้อนเพื่อให้เกิดการสกัดและการดึงกลับพร้อม ๆ กันต่อไป ทั้งนี้เฟสเยื่อแผ่นที่ทำหน้าที่กั้นระหว่างเฟสภายในกับเฟสภายนอกจะต้องเป็นเฟสที่มีความคงตัว และไม่ละลายในเฟสใดเฟสหนึ่ง และหากเลือกตัวพาที่เหมาะสมจะช่วยให้แยกองค์ประกอบที่ต้องการจากองค์ประกอบหลายชนิดในสารละลายดังกล่าว



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการสกัดด้วยเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน

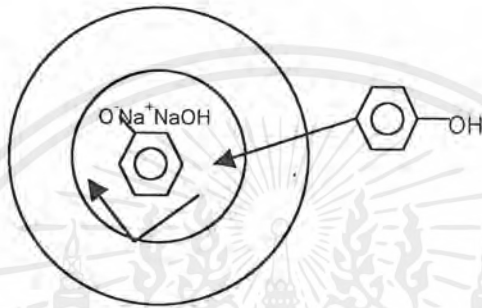
2.1.2 การสกัดและการดึงกลับ

เมื่อให้อิมัลชันที่เตรียมขึ้นเกิดการกระจายในเฟสภายนอก จะเกิดการสกัดและการดึงกลับพร้อม ๆ กัน โดยการสกัดจะเกิดในเฟสเยื่อแผ่น ส่วนการดึงกลับจะเกิดในเฟสภายใน การสกัดด้วยเยื่อแผ่นของเหลวจะแตกต่างจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายจะถูกจำกัดด้วยสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ ในขณะที่การแยกโดยใช้เยื่อแผ่นของเหลวมีวิธีช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลให้สูงขึ้น โดยอาศัยกลไกที่เรียกว่า Facilitated Transport ซึ่งปกติสามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ

2.1.2.1 Facilitated Transport Type-1: FT 1

ในกลไกแบบนี้เฟสเยื่อแผ่น ประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิวกับตัวทำละลายอินทรีย์ (น้ำมัน) เท่านั้น ไม่มีสารสกัด ตัวถูกละลายจากเฟสภายนอกสามารถละลายและ

แพร่ผ่านเฟสเยื่อแผ่นมาทำปฏิกิริยากับสารในเฟสภายใน เกิดเป็นสารใหม่ซึ่งไม่สามารถแพร่กลับ
ไปในเยื่อแผ่นได้ ดังนั้นความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสภายในจึงเป็นศูนย์อยู่เสมอ ทำให้มี
แรงขับเคลื่อน (Driving force) ให้เกิดการแยกอยู่ตลอดเวลา แม้ในกรณีที่เฟสภายนอกมีความเข้มข้น
ต่ำมาก ๆ ก็ตาม ตัวอย่างระบบที่ใช้กลไกนี้ เช่น การสกัดฟีนอลออกจากน้ำเสียซึ่งมีไอออนของ
คลอไรด์ปนอยู่ โดยใช้สารละลายเฟสภายในเป็นเบสดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การสกัดฟีนอลโดยใช้กลไกแบบ FT 1 [Winston and Sirkar, 1992]

นอกจากตัวอย่างข้างต้นแล้ว กลไกในการสกัดแบบ FT 1 ยังสามารถ
ประยุกต์ใช้กับระบบอื่น ๆ อีกหลายระบบ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

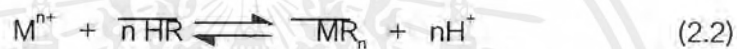
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการสกัดโดยใช้กลไกการถ่ายเทแบบ FT 1

สารที่ต้องการแยก	เฟสภายนอก	เฟสเยื่อแผ่น		เฟสภายใน	ประสิทธิภาพ	อ้างอิง
		สารลดแรงตึงผิว	น้ำมัน			
กรดอะซิติก	กรดอะซิติก (1-5 g/l)	ECA 4360 (4%)	LOPS	NaOH	>90.0%	1
แอมโมเนีย	แอมโมเนีย (4 g/l, pH 10.5)	SPAN 80 (2%)	S100N	H ₂ SO ₄ (20%)	-	2
	แอมโมเนีย (10g/l, pH 12)	SPAN 80 (2%)	พาราฟิน	H ₂ SO ₄ (20%)	99.5%	
ไซยาไนด์	HCN (0.1g/l, pH 6-7)	โพลีเอมีน	พาราฟิน	NaOH	99.0%	3
		E 644 (1%)	หรือ เคโรซีน			

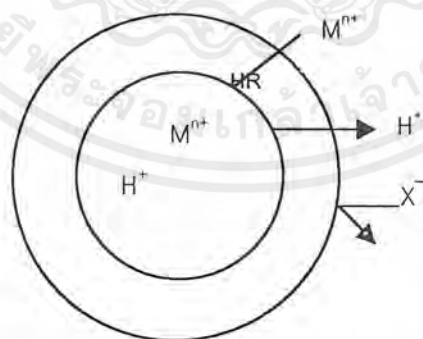
หมายเหตุ อ้างอิง 1 : [Terry, Li, and Ho, 1982] ; 2 : [Downs and Li, 1981] ; 3 : [Qian, Ma, and Shi, 1989]

2.1.2.2 Facilitated Transport Type-2: FT 2

เป็นกลไกที่ต้องอาศัยตัวพาหรือสารสกัดที่ละลายอยู่ในเฟสเยื่อแผ่น โดยที่สารสกัดจะจับตัวถูกละลายจากเฟสภายนอก เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน และแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเข้ามาที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟสภายในกับตัวทำละลายอินทรีย์ โดยมีความแตกต่างของความเข้มข้นเป็นแรงขับเคลื่อน ส่วนมากมักจะพบในการสกัดไอออนของโลหะหนัก เนื่องจากโลหะดังกล่าวไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้นในการสกัดไอออนของโลหะหนัก หรือสารที่สามารถละลายในเยื่อแผ่นได้ไม่ดี จึงจำเป็นต้องใช้ตัวพาในการสกัด ซึ่งปฏิกิริยาที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่นกับเฟสภายนอก คือ ปฏิกิริยาการสกัด (Extraction) และปฏิกิริยาที่ผิวสัมผัสของเยื่อแผ่นกับเฟสภายใน คือ การดึงกลับ (Stripping) ดังสมการที่ 2.2



ระหว่างปฏิกิริยาการสกัด โปรตรอนจะถูกปล่อยออกสู่เฟสภายนอก ในขณะที่ตัวพา (HR) จะจับกับไอออนของโลหะ (M^{n+}) แทนโปรตรอนที่ปล่อยออกไป เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (MR_n) ซึ่งจะแพร่ถึงผิวเยื่อแผ่นด้านเฟสภายในที่มีกรดเข้มข้น จากนั้นโปรตรอนของกรดจะเป็นตัวดึง M^{n+} ออกไป และปล่อยสารสกัด (HR) เป็นอิสระดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกลไก FT 2 [Winston and Sirkar, 1992]

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าไอออนลบ (X^-) ในเฟสภายนอก ไม่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารสกัดได้ จึงยังคงอยู่ในเฟสภายนอก ทำให้ M^{n+} มีทิศทางการ

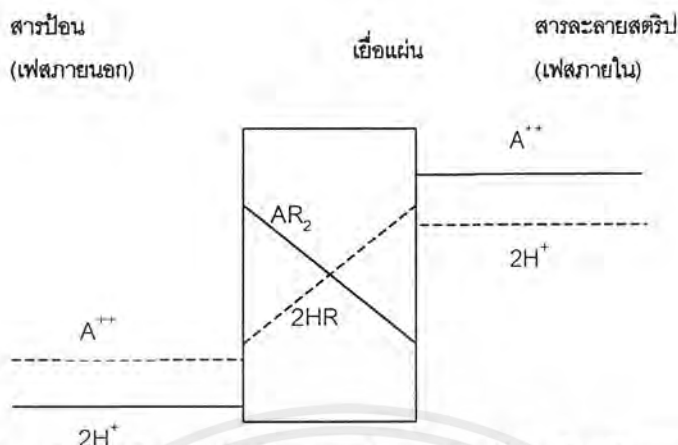
ถ่ายเทตรงกันข้ามโปรตรอน ซึ่งการถ่ายเทแบบนี้เรียกว่า “การถ่ายเทแบบสวนทางกัน” (Counter-transport)

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการสกัดโดยใช้กลไกแบบ FT 2

สารที่ ต้องการแยก	เฟสภายนอก	สารสกัด	เฟสเยื่อแผ่น		เฟสภายใน	ประสิทธิภาพ	อ้างอิง
			สารลดแรง ตึงผิว	น้ำมัน			
โครเมียม	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (0.3 g/l)	Alamine 336 เบส	SPAN 80 0.1%	ไฮโซพาราฟิน และโพลีเอมีน 3%	NaOH (10-20%)	90.7%	1
โคบอลต์	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ (pH 3.1)	D2EHPA 6.3%	SPAN 80 2%	ไซโคเฮกเซน	HNO_3 2M	-90%	2
	CoSO_4 (0.1g/l)	D2EHPA กรด	ECA 4360	LOPS	H_2SO_4 (50-200g/l)	-95%	3
นิกเกิล	Ni^{2+} (2.2 g/l)	DTPA, 5% กรด	ECA 4360 3% SPAN 80 0.2%	Shellisol T	H_2SO_4 (250g/l)	-	4

หมายเหตุ อ้างอิง 1 : [Kitagawa et al., 1977] ; 2 : [Strzelbicki, 1978] ;
3 : [Gu, Wasan, and Li, 1986] ; 4 : [Drexler and Marr, 1989]

รูปที่ 2.8 แสดงโพรไฟล์ความเข้มข้นในกลไก FT 2 โดย A^{++} แทนไอออนของโลหะ การสกัดและการแยกจะเกิดขึ้นตลอดเวลา เนื่องจากแรงขับเคลื่อนของความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนและ A^{++} ทำให้ได้อัตราการสกัดที่สูงอยู่ตลอดเวลา โดยความเข้มข้นของ A^{++} ในเฟสภายในจะมากกว่าเฟสภายนอกถึง 70 เท่าของความเข้มข้นเฟสภายนอก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า “Pumping effect” การสกัดและการแยกที่เกิดขึ้นนี้จึงไม่ถูกจำกัดด้วย สมดุลระหว่างเฟส ดังเช่นที่เกิดกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย และสามารถใช้สกัดที่มีความเข้มข้นในเฟสภายนอกต่ำมากได้ เช่น สารละลายโครเมียมที่มีความเข้มข้น 100 ppm จะใช้เวลาในการสกัดเพียง 4 นาที ซึ่งใช้เวลาในการสกัดน้อยมาก โดยความเข้มข้นที่เหลืออยู่นั้นใกล้ 0 มาก [รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541]



รูปที่ 2.8 โพรไฟล์ความเข้มข้นตามกลไก FT 2 [รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541]

2.1.3 การแยกชั้น

หลังจากการสกัด จำเป็นต้องหยุดการกววนและปล่อยทิ้งไว้สักพักเพื่อแยกเฟสภายนอกออกจากเยื่อแผ่นของเหลว ให้เกิดการแยกชั้นอย่างสมบูรณ์ ดังแสดงในขั้นตอนที่ 3 ของรูปที่ 2.5 สำหรับเยื่อแผ่นน้ำมัน ชั้นของอิมัลชันและเฟสภายในซึ่งเบากว่าจะอยู่ชั้นบน และเฟสภายนอก (ซึ่งถูกแยกองค์ประกอบแล้ว) ที่หนักกว่าจะอยู่ชั้นล่าง จากนั้นสามารถนำอิมัลชันชั้นบนไปแยกในขั้นต่อไป

2.1.4 การแตกอิมัลชัน

เป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน เนื่องจากต้องการแยกสารที่สกัดได้ซึ่งอยู่ในเฟสภายใน และเยื่อแผ่นของเหลวซึ่งต้องการนำกลับไปใช้งานใหม่ออกจากกัน การแตกอิมัลชันมีอยู่ 2 วิธีหลัก คือ

2.1.4.1 วิธีทางเคมี (Chemical treatment)

การแตกอิมัลชันทางเคมีเป็นการเติมสารแตกอิมัลชัน (Demulsifier) ลงไป ซึ่งสารแตกอิมัลชันสามารถถูกแยกออกโดยการกลั่น การแตกอิมัลชันทางเคมีได้ผลดี แต่อาจทำให้เฟสเยื่อแผ่นมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก และเป็นกระบวนการที่ใช้

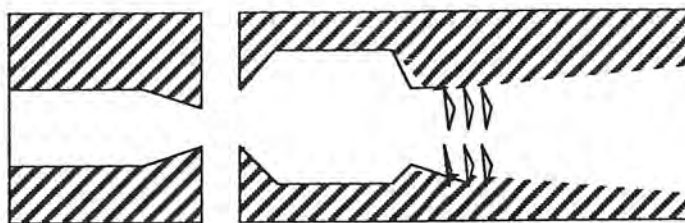
พลังงานสูง ดังนั้น การทำลายอิมัลชันด้วยวิธีทางเคมีจึงไม่เหมาะกับเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันบางประเภท

2.1.4.2 วิธีทางกายภาพ (Physical treatment)

การใช้วิธีทางกายภาพ มีทั้งวิธีการที่ง่ายจนถึงวิธีการที่ซับซ้อน ซึ่งการเลือกใช้วิธีการใดนั้นจะขึ้นอยู่กับระบบในการสกัด การแตกอิมัลชันโดยวิธีการทางกายภาพมีหลายวิธี ดังนี้

- การให้ความร้อน (Heating)
- การหมุนเหวี่ยง (Centrifugation)
- การใช้ตัวทำละลายบางชนิด (Solvent)
- การใช้ไฟฟ้าสถิต (Electrostatic field)
- การใช้แรงเฉือน (Sheer stress)

วิธีทางกายภาพที่ให้ผลที่ดีที่สุด มีต้นทุนต่ำและค่าใช้จ่ายไม่แพง คือ การใช้ไฟฟ้าสถิต โดยใช้ผลของไฟฟ้าสถิต ในการแยกเฟสของสารละลายสไตรีนของอิมัลชันออกจากเฟสของน้ำมัน วิธีที่กล่าวถึงนี้เป็นวิธีที่ในปัจจุบันใช้แยกเกลือออกจากน้ำมันดิบซึ่งอยู่ในรูปของอิมัลชันเช่นกัน แต่ประเด็นที่ควรพิจารณาก็คือ ในอิมัลชันของน้ำมันดิบจะมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำเพียง 5 vol.% ในขณะที่ระบบอิมัลชันที่เราเตรียมขึ้นเองอาจมีเปอร์เซ็นต์น้ำถึง 50 vol.% ก็ได้ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้จึงต้องประยุกต์แรงดันไฟฟ้าศักย์สูงเพื่อช่วยแรงดึงดูดระหว่างหยดน้ำ และแรงให้เกิดการรวมตัวเร็วขึ้น นอกจากนั้น Feng และคณะ พบว่าเมื่อใช้แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์เป็นเวลา 10 นาที และเพิ่มความถี่จาก 0.6 เป็น 5 กิโลเฮิร์ตซ์ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรวมตัวจาก 50 เป็น 100% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Draxler และคณะ [รัตนจักรรัตน์, 2541] นอกจากนั้นยังมีอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือใช้การสร้างแรงเฉือน ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ใช้การสร้างแรงเฉือนโดยทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เครื่องแตกอิมัลชันโดยการใช้แรงเฉือน [Marr, Bart, and Drexler, 1989]

2.2 สมบัติของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวที่ดี ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

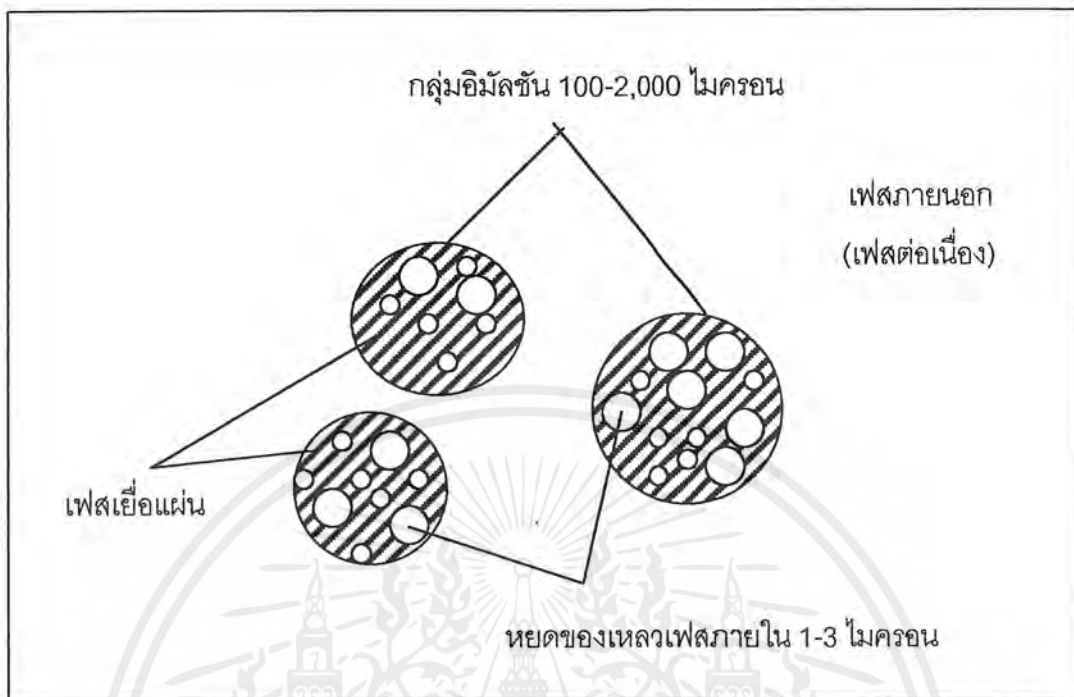
- มีความคงทนต่อกรด ด่าง และแบคทีเรีย
- ไม่เป็นพิษ ราคาถูก
- สารลดแรงตึงผิวต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารสกัด ถ้าต้องใส่สารสกัดในเฟสเยื่อแผ่น
- ไม่ทำให้เกิดความต้านทานต่อการถ่ายเทมวล

โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นกลุ่ม SPAN 80 และ ECA 4360 สารลดแรงตึงผิวที่เลือกใช้ ควรมีค่า HLB ระหว่าง 6-8 คำนวณจากสมการ 2.1

ดังนั้นหากโมเลกุลประกอบด้วยกลุ่ม Hydrophilic เพียงอย่างเดียว จะมีค่า HLB = 20 และละลายน้ำได้ดีมาก นอกจากนี้การผลิตอิมัลชันที่มีความคงตัว และมีพื้นที่ในการถ่ายเทมวลสูง ยังควรควบคุมตัวแปรอื่น ๆ อีก เช่น

- ความหนืดของเยื่อแผ่นน้ำมันอยู่ระหว่าง 30-1,000 mPa.s
- อัตราส่วนระหว่างเฟสภายนอกต่อเฟสเยื่อแผ่น เท่ากับ 0.2 : 2.0
- อัตราส่วนระหว่างเฟสภายนอกต่อเฟสภายใน เท่ากับ 0.2 : 0.05

ตามเกณฑ์ที่กล่าวถึงข้างต้นจะทำให้ได้กลุ่มอิมัลชัน (Globules) ที่มีขนาด 100-2,000 ไมครอน และหยดของเหลวของเฟสภายในมีขนาด 1-3 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การกระจายของกลุ่มอิมัลชัน [รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541]

ปัจจุบันมีสารลดแรงตึงผิวอยู่ไม่กี่ชนิดที่สามารถใช้ได้กับเยื่อแผ่นของเหลว ซึ่งสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.4 ซึ่งแสดงผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการซึม (Permeation) ของไอออนทองแดง ทั้งนี้สารลดแรงตึงผิวนิยมใช้มากที่สุดคือกลุ่ม SPAN 80 และ ECA 4360 แต่อย่างไรก็ตามสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดจะมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการซึม (Permeation) ของไอออนทองแดง

ในการทำโครงงานครั้งนี้ได้เลือกใช้ SPAN 80 (Sorbitan monooleate) เป็นสารลดแรงตึงผิว ซึ่ง SPAN 80 มีสมบัติสำคัญ ได้แก่ มีน้ำหนักโมเลกุล 480 ทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียร มีความต้านทานต่อการถ่ายเทมวลต่ำ มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง แต่มีข้อเสียคือ จับตัวกับน้ำได้ ทำให้เยื่อแผ่นเกิดการบวมน้ำเนื่องจากแรงดันออสโมติก (Osmotic swelling) และไม่คงตัวทางเคมี เช่น อาจเกิดไฮโดรไลซิสเมื่อมีน้ำ โครงสร้างของ SPAN 80 แสดงดังรูปที่ 2.1

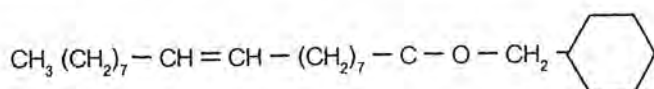
ตารางที่ 2.4 ผลของชนิดอิมัลชันที่มีต่อการเพอไมเอชันของไอออนทองแดง
[Winstan and Sirkar, 1992]

ชนิดของสารลดแรงตึงผิว	ความต้านทานต่อการถ่ายเทมวล	ออสโมซิส (Osmosis)	ความเสถียรของอิมัลชัน	การสลายตัวของสารสกัด
PX100	++	+	++	--
SPAN 20	+	-	+	-
SPAN 40	-	--	++	--
SPAN 60	--	+	++	--
SPAN 80	+	-	++	-
SPAN 65	--	++	++	++
SPAN 85	+	--	-	+
TWEEN 65	--	--	+	-
TWEEN 85	-	--	+	-
PA 18	++	++	++	++

หมายเหตุ สัญลักษณ์ในตารางมีความหมายดังนี้

- ++ = เหมาะสมกับการสกัดไอออนทองแดงด้วย Acoga PT 5050 เป็นอย่างยิ่ง
- + = เหมาะสม
- = ไม่เหมาะสม
- = ไม่ควรใช้

อย่างไรก็ตามในการเลือกใช้สารลดแรงตึงผิว ควรพิจารณาถึงความคงตัวของอิมัลชันและประสิทธิภาพในการสกัดของแต่ละระบบด้วย



รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของ SPAN 80 [Winstan and Sirkar, 1992]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สมบัติของตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้

- มีค่าการละลายในเฟสน้ำ (ทั้งเฟสภายในและเฟสภายนอก)
- เมื่อผสมกับสารลดแรงตึงผิวและตัวพาแล้ว ควรเป็นเนื้อเดียว
- มีความหนืดปานกลาง ซึ่งช่วยให้เฟสเยื่อแผ่นมีความคงตัว
- มีความหนาแน่นต่างจากเฟสน้ำเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแยกชั้นได้
- ราคาถูก หาได้ง่าย
- ไม่เป็นพิษ มีจุดวาบไฟสูง เพื่อความปลอดภัย

ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้กันโดยมากมักจะเป็นพวกอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbons) ที่มีจุดเดือดจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbons) และฮาโลจีนไฮโดรคาร์บอน (Halogenate hydrocarbons) ตัวอย่างเช่น เคลโรซีน แนพธา โทลูอิน นอร์มอลโอดีเคเคน หรือนอร์มัลเฮปเทน เป็นต้น [Akihiro et al., 1980]

2.4 สมบัติสารสกัด

ในการเลือกสารที่ละลายในเฟสเยื่อแผ่นที่เหมาะสม ต้องอาศัยความเข้าใจทั้งทางด้านเคมี เทอร์โมไดนามิกส์ และจลนศาสตร์ โดยสารสกัดสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

2.4.1 สารสกัดที่เป็นกรด

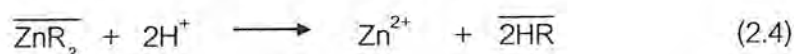
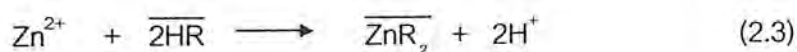
ในการสกัดไอออนบวก ไอออนบวกต้องรวมตัวกับไอออนลบเพื่อให้ได้สารประกอบที่ไม่มีประจุ สารสกัดที่เป็นกรดใช้ได้ผลดีมากในการสกัดไอออนบวก ตัวอย่างของสารสกัดที่เป็นกรด มีดังต่อไปนี้

- กลุ่มสารพวกคีเลตติง (Chelating) ได้แก่ ไฮดรอกซีออกไซม์ (Hydroxyoximes)
- สารประกอบจำพวกอัลคิลฟอสฟอรัส (Alkylphosphorous) เช่น D2EHPA

หรือ DBP (Dibutylphosphoric acid)

- สารประกอบจำพวก Crown ethers เช่น Crown ether carboxylic acid

ตัวอย่างปฏิกิริยาของสารสกัดที่เป็นกรดเป็นดั่งสมการที่ 2.3 และ 2.4 ซึ่งในที่นี้เป็นการสกัดไอออนของสังกะสี



2.4.2 สารสกัดที่เป็นเบส

สารสกัดที่เป็นเบสส่วนมากเป็นสารประกอบพวกเอมีน (Amines) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น

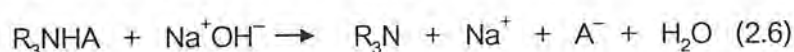
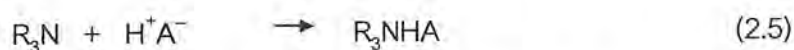
- Primene JMT เป็น Primary amine
- Amberlite LA-2 เป็น Secondary amine
- Alamine 336 เป็น Tertiary amine

สารสกัดเหล่านี้จะสกัดไอออนลบที่เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรวมตัวกับกลุ่มต่าง ๆ เช่น ไฮยาเนตและโครเมต

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับสารสกัดที่เป็นเบสอาจเป็นได้ 2 แบบ คือ

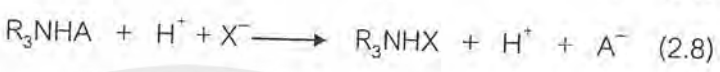
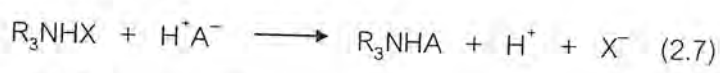
2.4.2.1 การถ่ายเทแบบทางเดียวกัน (Co-transport)

การถ่ายเทแบบนี้ใช้เมื่อสารสกัดเป็นเบส และตัวแยกที่ต้องการเป็นเบส โดยตัวอย่างของปฏิกิริยาการสกัดและปฏิกิริยาการการแยกแสดงได้ดั่งสมการที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

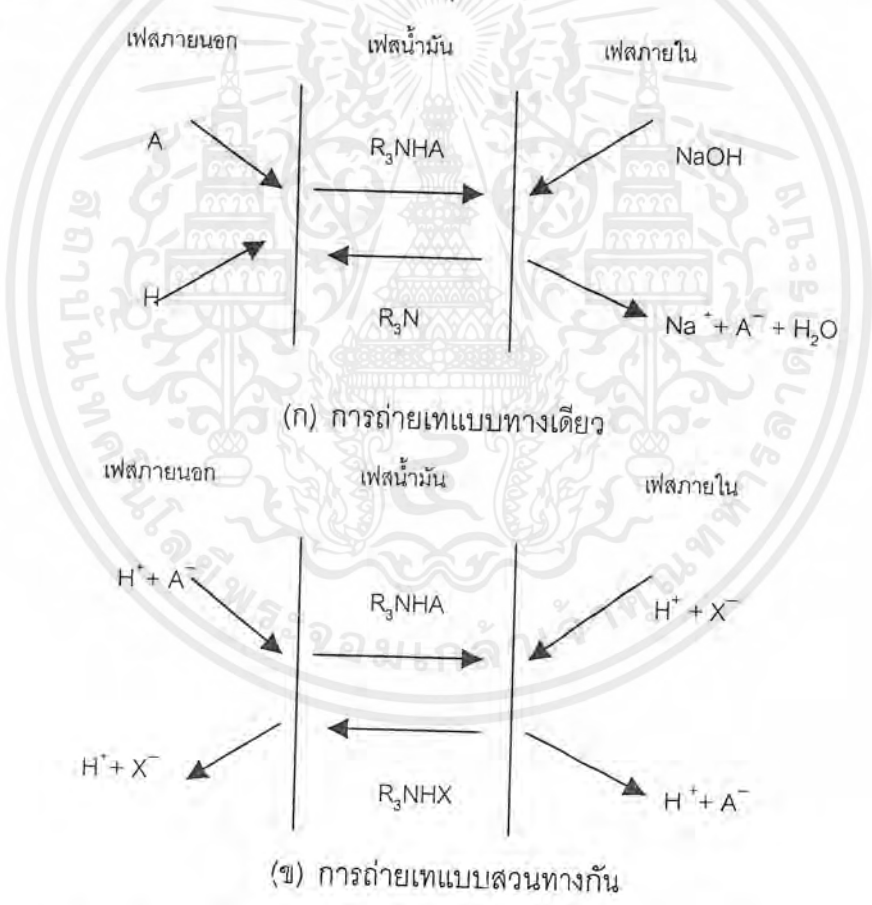


2.4.2.2 การถ่ายเทแบบสวนทางกัน (Counter-transport)

การถ่ายเทแบบนี้ใช้เมื่อสารสกัดเป็นเบสแต่ตัวแยกเป็นกรด กลุ่มไอออนของโลหะลบ A^- และ H^+ ถ่ายเทในทิศทางตรงกันข้ามตามปฏิกิริยาการสกัดและการดึงกลับดังสมการที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ



กลไกของการถ่ายเทแบบทางเดียวและการถ่ายเทแบบสวนทางแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างกลไกการถ่ายเทผ่านเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันแบบ FT 2

(ก) การถ่ายเทแบบทางเดียว (ข) การถ่ายเทแบบสวนทางกัน

[รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541]

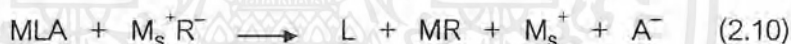
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 สารสกัดที่เป็นกลาง

สารสกัดชนิดนี้ใช้สกัดโลหะที่อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่มีประจุ หรือเป็นไอออนบวกลบที่รวมกันอยู่ สารสกัดที่เป็นกลางซึ่งเป็นที่ศึกษากันอยู่ ได้แก่ สารประกอบจำพวก ออกาโนฟอสไฟริล (Organophosphoryl) เช่น

- Tri-n-butyl phosphate (TBP)
- Tri-n-butyl phosphine oxide (TBPO)
- Tri-n-octyl phosphine oxide (TOPO)
- Dicyclohexano-18-crown-6 (DC18C6) เป็นต้น

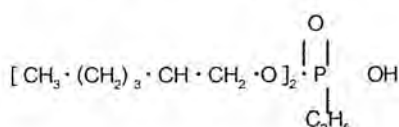
เมื่อใช้สารสกัดที่เป็นกลาง การสร้างแรงขับเคลื่อนที่เกิดขึ้นทำได้โดยใส่สารเชิงซ้อนของโลหะไว้ในเฟสน้ำมันเพื่อเป็นตัวแยกโลหะที่ต้องการออกจากเฟสเยื่อแผ่น โดยมีปฏิกิริยาการสกัดและการดึงกลับดังแสดงในสมการที่ 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ



ตัวอย่างของการสกัดสารต่าง ๆ โดยใช้ตัวพา หรือสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 และ 2.3

สารสกัดชนิดนี้ใช้ในการสกัดไอออนบวก โดยที่ไอออนบวกต้องรวมตัวกับไอออนลบเพื่อให้ได้สารประกอบที่ไม่มีประจุ สารสกัดที่เป็นกรดใช้ได้ผลดีมากในการสกัดไอออนบวก

ในที่นี้แสดงสูตรโครงสร้างเฉพาะของ D2EHPA เนื่องจากในการทำโครงการครั้งนี้ได้ใช้สารดังกล่าวเป็นสารสกัด ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สูตรโครงสร้างของ D2EHPA [Bailes, Hanson, and Hughes, 1976]

2.5 ความเสถียร (Stability) ของเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน

ในกระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน การพิจารณาสมรรถนะของเยื่อแผ่นอาจจะพิจารณาโดยความสามารถในการแยกองค์ประกอบที่ต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรและปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องซึ่งพอจะสรุปได้ ดังนี้

2.5.1 การรั่วซึมของเยื่อแผ่น (Membrane leakage)

การรั่วซึมของเยื่อแผ่นของเหลว หมายถึง การที่อิมัลชันแตกออกบางส่วน ทำให้ตัวถูกละลายรั่วซึมจากเฟสภายนอกเข้าไปยังเฟสภายใน หรือจากเฟสภายในไปยังเฟสภายนอก โดยไม่ผ่านกลไกการสกัดและการแยกตามสมควรจะเป็น จึงส่งผลให้แรงขับเคลื่อนในการแยกลดลง อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อความบริสุทธิ์ของสารที่เราต้องการจะแยกอีกด้วย ดังนั้นการรั่วซึมจึงนับเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะมีผลต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบ

หากมีการรั่วซึมเกิดขึ้น แสดงว่าเยื่อแผ่นไม่คงตัว ดังนั้นจึงต้องกลับไปพิจารณาว่าชนิดของสารลดแรงตึงผิวเป็นชนิดใด เหมาะสมหรือไม่ อีกทั้งช่วงความเข้มข้นที่ใช้ก็มีผลโดยตรงกับเปอร์เซ็นต์ของการรั่วไหลเช่นกัน ซึ่งต้องแก้ปัญหาไปตามเหตุ โดยทั่วไปสาเหตุของการรั่วซึมพอจะแบ่งได้ดังนี้

2.5.1.1 การรั่วซึมซึ่งเป็นผลจากการเตรียมเยื่อแผ่น (Effect of membrane formulation)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมเยื่อแผ่นได้แก่ สมบัติของสารลดแรงตึงผิว ตัวทำละลายอินทรีย์ สารละลายสไตรีน และอัตราส่วนของชั้นอินทรีย์และสารละลายสไตรีน ซึ่งนับว่ามีผลต่อการรั่วซึมของอิมัลชันเป็นอย่างมาก

โดยทั่วไป สารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดจะมีผลต่อความเสถียรของเยื่อแผ่นไม่เท่ากัน เช่น เยื่อแผ่นที่ใช้สารพวกโพลีเอมีน (เช่น ECA 4360) เป็นสารลดแรงตึงผิว ซึ่งมีลักษณะเป็นไฮยิวจะมีความเสถียรมากกว่าพวก Sorbitol oleates (เช่น SPAN 80) ดังนั้นเยื่อแผ่นที่

เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวจำพวกนี้จึงมีความเสถียรสูง [Draxler and Marr, 1986; Qian, Ma, Shi, 1989; Zhang et al., 1990] นอกจากนี้ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวก็นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง โดยทั่วไปหากความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีค่าสูง ความเสถียรของอิมัลชันจะสูงขึ้น แต่ก็จะมีความเข้มข้นที่จุดวิกฤติอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งไม่ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นเท่าไร ความเสถียรของเยื่อแผ่นก็จะคงที่และเท่ากับความเสถียรที่จุดวิกฤติ [Goto et al., 1987; Ma and Shi, 1987] โดยทั่วไป ช่วงความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้กัน จะอยู่ในช่วง 2-5% โดยปริมาตรของเยื่อแผ่น [Braun and Frang, 1978] เนื่องจากหากความเข้มข้นมากกว่านี้ นอกจากจะไม่ได้ช่วยให้เยื่อแผ่นเสถียรขึ้นแล้ว ยังส่งผลทำให้มีความต้านทานต่อการถ่ายเทมวลเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ความหนืดก็มีผลต่อความเสถียรของเยื่อแผ่นเช่นกัน ความหนืดของเยื่อแผ่นโดยส่วนใหญ่จะขึ้นกับชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้เตรียมอิมัลชัน โดยหากตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้มีความหนืดสูง ก็จะทำให้เยื่อแผ่นที่เตรียมได้มีความเสถียรขึ้น

หากเพิ่มอัตราส่วนโดยปริมาตรของเยื่อแผ่นและสารละลายสไตรีน จะลดผลของการรั่วซึมได้ แต่อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาชนิดของสารละลายสไตรีนด้วย เช่น ชั้นเยื่อแผ่นที่เตรียมจากการใช้ SPAN 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว จะไม่ทนต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

2.5.1.2 การรั่วซึมซึ่งเป็นผลมาจากการเตรียมอิมัลชัน (Effect of emulsion preparation)

โดยทั่วไปอิมัลชันที่เตรียมจากการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบสูง จะทำให้ได้อิมัลชันที่มีขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้อิมัลชันที่ได้มีความเสถียรสูง หากมีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวอยู่มากเพียงพอ นอกจากนี้ การที่อิมัลชันนั้นมีขนาดเล็ก ยังมีผลต่อพื้นที่ในการสกัดและดึงกลับที่เพิ่มขึ้นด้วย

2.5.2 การบวมน้ำ (Swelling)

การบวมน้ำเป็นปรากฏการณ์ที่มีการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในชั้นเยื่อแผ่น ทำให้ความเข้มข้นภายในสารละลายสไตริปลดลง ทำให้ลดความแตกต่างของความเข้มข้นที่เป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการแยก การบวมน้ำจะส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการถ่ายเทมวลของเยื่อแผ่นของเหลว และหากน้ำซึมผ่านเข้าไปมาก ๆ อิมัลชันจะแตกออก ทำให้ความเสถียรของอิมัลชัน ลดลง ทำให้มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพพรอมของการสกัดและการดั่งกลับอย่างมาก

โดยทั่วไปการบวมน้ำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การบวมน้ำจากแรงดันออสโมติก (Osmotic swelling) และการบวมน้ำเนื่องจากการรวมตัวของช่องว่างระหว่างหยดอิมัลชัน (Attributed swelling)

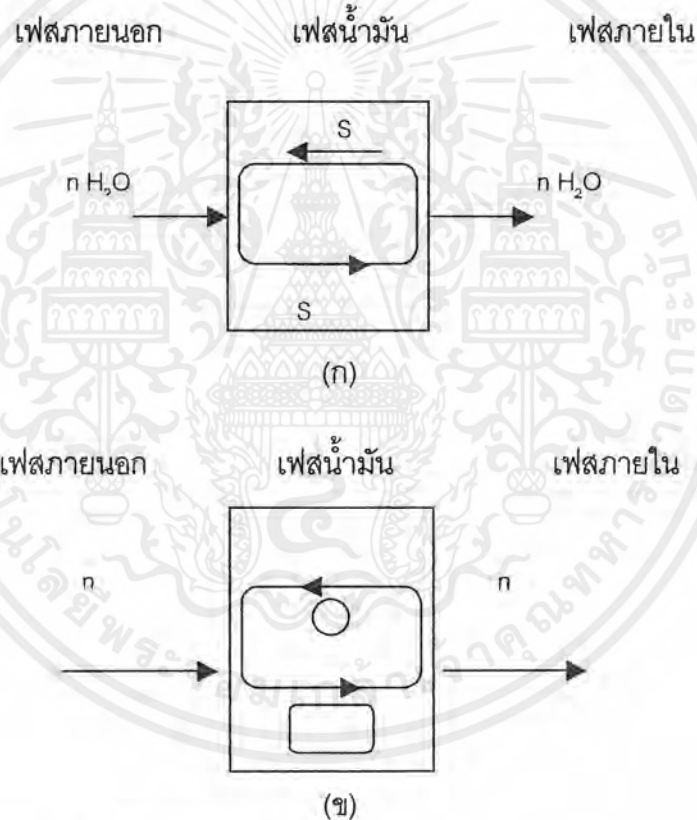
2.5.2.1 การบวมน้ำจากแรงดันออสโมติก

เกิดจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเฟสภายนอก และเฟสภายใน ซึ่งมีการสรุปว่าอาจเกิดได้ 2 กลไก คือ อาจเกิดจากการที่ส่วนที่มีชั้นของสารลดแรงตึงผิวเกิดการรวมตัวเป็นสารเชิงซ้อนกับน้ำ แล้วแพร่ผ่านชั้นเยื่อแผ่นเข้าไปในยังเฟสภายใน (Mechanism via hydrated surfactant molecules) หรืออาจเกิดจากการรวมตัวของสารลดแรงตึงผิวกลายเป็น Micelles โดยส่วนที่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวจะหันเข้าหากัน และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำออกข้างนอก ทำให้สามารถนำโมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเข้ามายังเฟสภายในได้ (Mechanism via reversed micelles) ซึ่งกลไกทั้ง 2 แบบ แสดงในรูปที่ 2.14

2.5.2.2 การบวมน้ำเนื่องจากการรวมตัวของช่องว่างระหว่างหยดอิมัลชัน

การกลับเฟสเนื่องจากการรวมตัวของหยดอิมัลชัน ทำให้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างหยดอิมัลชัน หากช่องว่างมีขนาดเล็กมากสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหากันและเกิดการกลับเฟสภายในที่สุด กลไกการแพร่แบบนี้เรียกว่า "Swelling mechanism via entrainment" ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.15

วิธีการป้องกันการเกิดปรากฏการณ์การบวมน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเลือกสารลดแรงตึงผิวให้เหมาะสมกับระบบ การเพิ่มความหนืดและความคงทนของเยื่อแผ่น แต่ในที่นี้ก็ควรพิจารณาค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลด้วย หรืออาจเพิ่มความเสถียรของเยื่อแผ่นโดยการเพิ่มความหนาของเยื่อแผ่นด้วยการลดปริมาณของเฟสภายในลง ในบางกรณีที่เป็นอาจใช้การเติมสารพวก Nontransport salt ในสารป้อน หรือเติมสาร Reagent ต่าง ๆ เช่น Cyclohexanone ในระบบที่ใช้ SPAN 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว เป็นต้น ซึ่งการกระทำดังกล่าวจะช่วยลดผลกระทบจากการบวมน้ำได้



รูปที่ 2.14 กลไกในการแพร่ผ่านของ Swelling

(ก) Mechanism via hydrated surfactant molecules

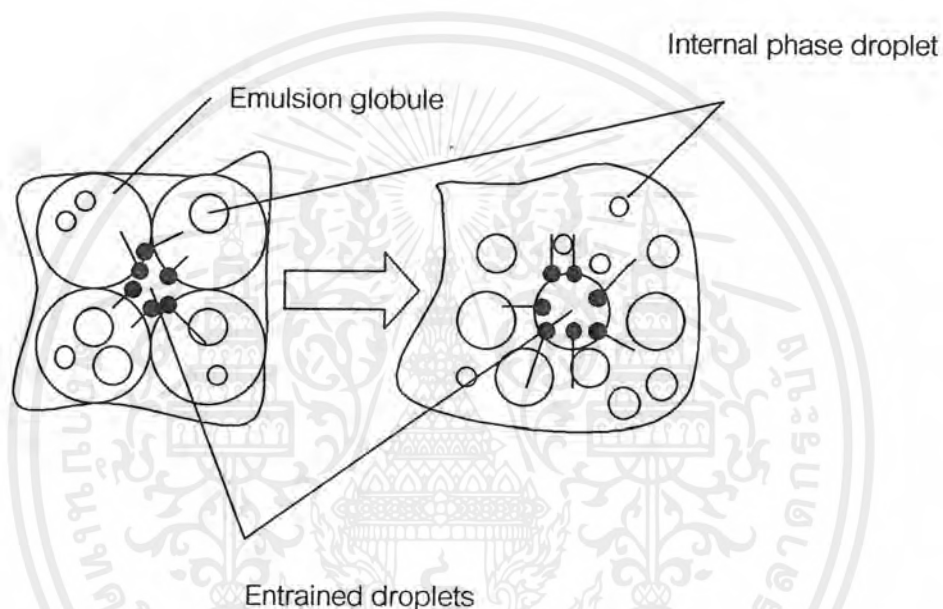
(ข) Mechanism via reversed micelles

เมื่อสัญลักษณ์วงกลมแทนกลุ่มของสารลดแรงตึงผิวที่จับตัวกันเป็น Micelle ส่วน Micelle ที่จับโมเลกุลของน้ำแทนด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยม

[Winstan and Sirkar, 1992]

2.5.3 ความเข้มข้นของสารสกัด

ตามกลไกการสกัดแบบ FT 2 ต้องมีสารสกัดซึ่งทำปฏิกิริยากับตัวถูกละลายที่ต้องการแยก ได้เป็นสารประกอบอยู่ในเยื่อแผ่น ดังนั้นความเข้มข้นของสารสกัดจึงสัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยา หากความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น จะทำให้ปฏิกิริยาการแยกและการสกัดเกิดได้ดีขึ้น



รูปที่ 2.15 Swelling mechanism via entrainment เมื่อ ● แทนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว ส่วนหัวคือส่วนที่ชอบน้ำ ส่วนหางคือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ [Winstan and Sirka, 1992]

2.5.4 ค่า pH

ถ้าในการสกัดและการแยกมีการใช้กรดหรือเบสเป็นสารสกัด จะต้องมีการควบคุมค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี โดยพิจารณาจากกลไกที่เกี่ยวข้อง จากการศึกษาของ Shiau และ Jung [รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541] ที่ศึกษาปฏิกิริยาการแยกและการสกัดของไอออนผสมหลายชนิด โดยใช้เยื่อแผ่นของเหลวแบบอิมัลชันพบว่า สำหรับสารป้อนที่สารสกัดทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะได้ง่าย ถ้าค่า pH ต่ำ จะทำให้อัตราการสกัดต่ำ แต่ที่ค่า pH สูง ๆ ก็

จะทำให้ไอออนของโลหะตกตะกอน ดังนั้นหากค่า pH ของเฟสภายในยิ่งต่ำ ก็จะทำให้ผลต่างของความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนเพิ่มขึ้น อัตราการสกัดจึงสูง แต่ถ้าค่าเฟสภายในมีความเป็นกรดมาก ๆ อิมัลชันก็จะมีผลต่อความเสถียรของอิมัลชัน กล่าวคือ อิมัลชันอาจแตกได้



บทที่ 3

กลไกการถ่ายเทมวล (Mechanism of mass transfer)

โดยทั่วไปโมเดลการถ่ายเทมวลในรูปแบบต่าง ๆ นั้นจะใช้ในการทำนายอัตราการถ่ายเทมวลของตัวถูกละลายที่ต้องการจะสกัดและดึงกลับ อีกทั้งยังใช้อธิบายถึงปัจจัยต่าง ๆ ในการดำเนินการ ซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวล

โดยทั่วไปรูปแบบการถ่ายเทมวลของระบบเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน จะนำพื้นฐานของกลไกการถ่ายเทมวลของระบบเยื่อแผ่นของเหลวแบบมีชั้นรองรับมาปรับปรุง โดยทั่วไปสมมติฐานที่ใช้กับระบบเยื่อแผ่นของเหลวแบบมีชั้นรองรับนั้น มีดังนี้

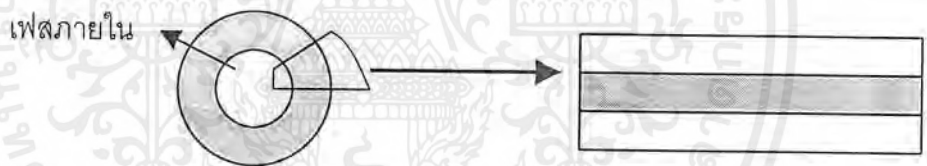
- ให้การผสมของสารละลายทั้ง 2 ด้านของเยื่อแผ่นเกิดการผสมกันเป็นอย่างดี ดังนั้นจึงไม่คิดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลของชั้นสารละลายทั้ง 2 ด้านของเยื่อแผ่น
- ชั้นเยื่อแผ่นไม่มีการเคลื่อนที่
- ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State)
- ค่าการแพร่ของตัวถูกละลายมีค่าคงที่
- มีสมดุลการถ่ายเทมวลที่ Interface ของเยื่อแผ่นทั้ง 2 ด้าน

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ระบบของเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชันมีกลไกการถ่ายเทอยู่ 2 รูปแบบ คือ FT 1 และ FT 2 แต่หากให้ขั้นตอนการแพร่ของสารเชิงซ้อนซึ่งเกิดจากการจับตัวของตัวถูกละลายที่ต้องการสกัดกับสารสกัด เป็นขั้นที่กำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาการสกัดและการดึงกลับ รูปแบบการถ่ายเทมวลที่ใช้อธิบายกลไกการแพร่แบบ FT 1 และ FT 2 จะเป็นรูปแบบเดียวกัน

รูปแบบการถ่ายเทมวลของระบบเยื่อแผ่นของเหลวอิมัลชัน พอจะจำแนกได้ 4 รูปแบบ
ดังนี้

3.1 Uniform flat sheet model

รูปแบบการถ่ายเทมวลแบบนี้จะกำหนดให้สารละลายเฟสภายในซึ่งเป็นหยดเล็ก ๆ ซึ่งกระจายตัวในหยดอิมัลชันนั้น คิดปริมาตรรวมกันให้เสมือนกับเป็นวงกลมขนาดใหญ่เพียงวงเดียว และให้ส่วนเล็ก ๆ ของพื้นที่ผิวของวงกลมเป็นเสมือนแผ่นบาง ๆ ดังรูปที่ 3.1 โดยกำหนดให้ความหนาของชั้นเยื่อแผ่นบางมากและถือว่ามีค่าคงที่ นอกจากนี้ยังถือว่าเยื่อแผ่นไม่มีการเคลื่อนที่ และเกิดการผสมกันเป็นอย่างดีในสารละลายทั้ง 2 ด้านของเยื่อแผ่น จึงไม่คิดความต้านทานในทั้ง 2 ด้านของสารละลาย ดังนั้นรูปแบบการถ่ายเทมวลแบบนี้จึงคล้ายกับระบบของเยื่อแผ่นของเหลวแบบมีชั้นรองรับเป็นอย่างมาก



รูปที่ 3.1 รูปแบบการถ่ายเทมวลแบบ Uniform flat sheet model
[นพภาพร พานิช, 2537] (พื้นที่ส่วนที่แรเงาคือเยื่อแผ่นของเหลว)

3.2 Hollow sphere model

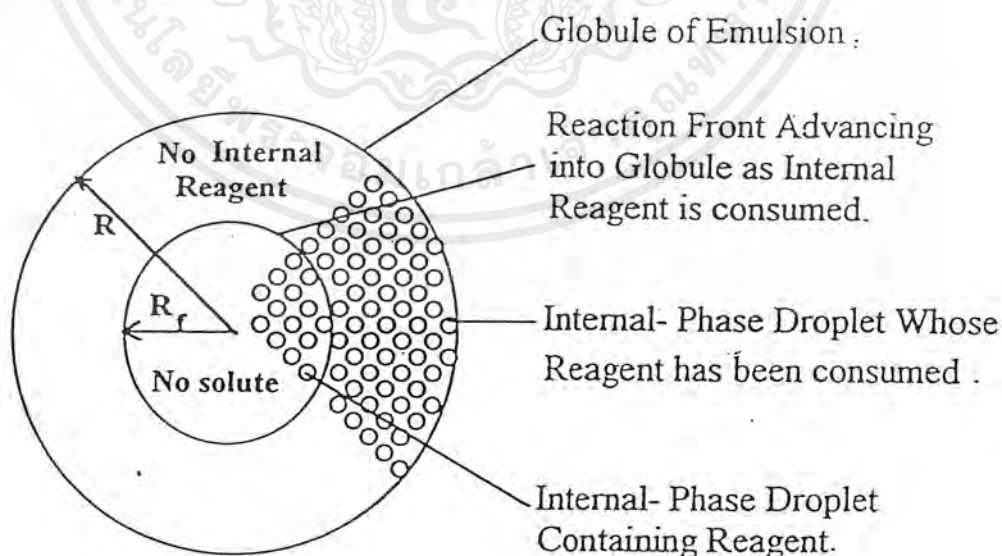
เป็นรูปแบบการถ่ายเทมวลที่คล้ายกับแบบ Flat sheet แต่ในที่นี้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับระบบอิมัลชันมากขึ้น คือ จะคิดการถ่ายเทผ่านรูปทรงกลม โดยไม่สมมติว่าผิวที่ถ่ายเทมีลักษณะเหมือนแผ่นราบแบบ Flat Sheet

3.3 Hollow sphere-advancing front model

รูปแบบการถ่ายเทมวลแบบนี้จะมีความเหมือนจริงมากขึ้น คือ กำหนดให้เฟสภายในซึ่งมีลักษณะเป็นหยดเล็ก ๆ ซึ่งกระจายตัวในอิมัลชันนั้นมีขนาดเท่า ๆ กัน แยกเป็นอิสระจากกันในหยดอิมัลชันและไม่มีการเคลื่อนที่ การถ่ายเทมวลจะเกิดจากการถ่ายเทจากผิวของทรงกลมเข้ามายังภายในจนถึงจุดศูนย์กลางของวงกลมในที่สุด รูปแบบการถ่ายเทมวลแบบนี้จึงใช้อธิบายปรากฏการณ์การถ่ายเทมวลได้ดีกว่า 2 แบบแรก แต่จะมีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณและการวัดค่าตัวแปรมากขึ้น ลักษณะการถ่ายเทมวลแบบนี้แสดงดังรูปที่ 3.2

3.4 Immobilized globule-advancing front model และ Immobilized hollow spherical globule-advancing front model

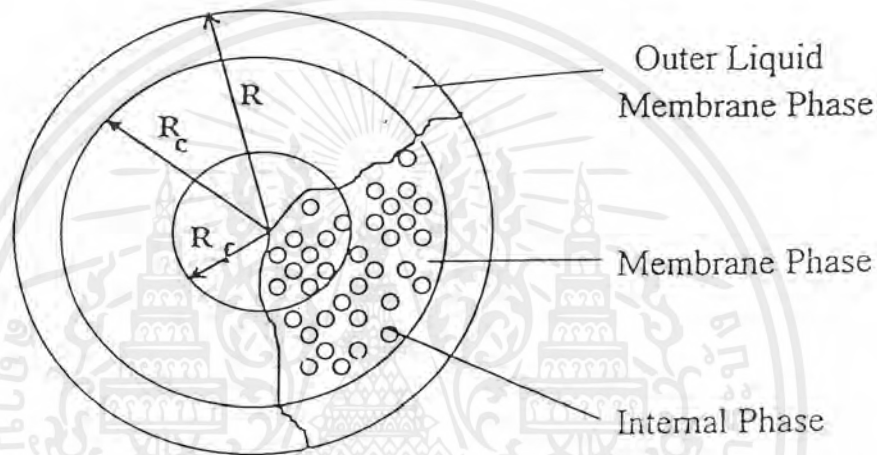
การถ่ายเทมวลแบบนี้มีลักษณะคล้ายกับระบบจริงมาก คือ นอกจากจะมีการกระจายตัวของเฟสภายในแบบ Hollow sphere-advancing front model แล้ว ยังคำนึงถึงสมดุลในแต่ละตำแหน่งของเยื่อแผ่นและเฟสภายในในแต่ละตำแหน่งอีกด้วย และในกรณีของ Immobilized hollow spherical globule-advancing front model นั้น ยังมีการคิดขึ้นของความต้านทานการถ่ายเทมวลบริเวณผิวของทรงกลมอีกด้วย ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแบบการถ่ายเทมวลแบบ Hollow sphere-advancing front model

[นภาพพร พานิช, 2537]

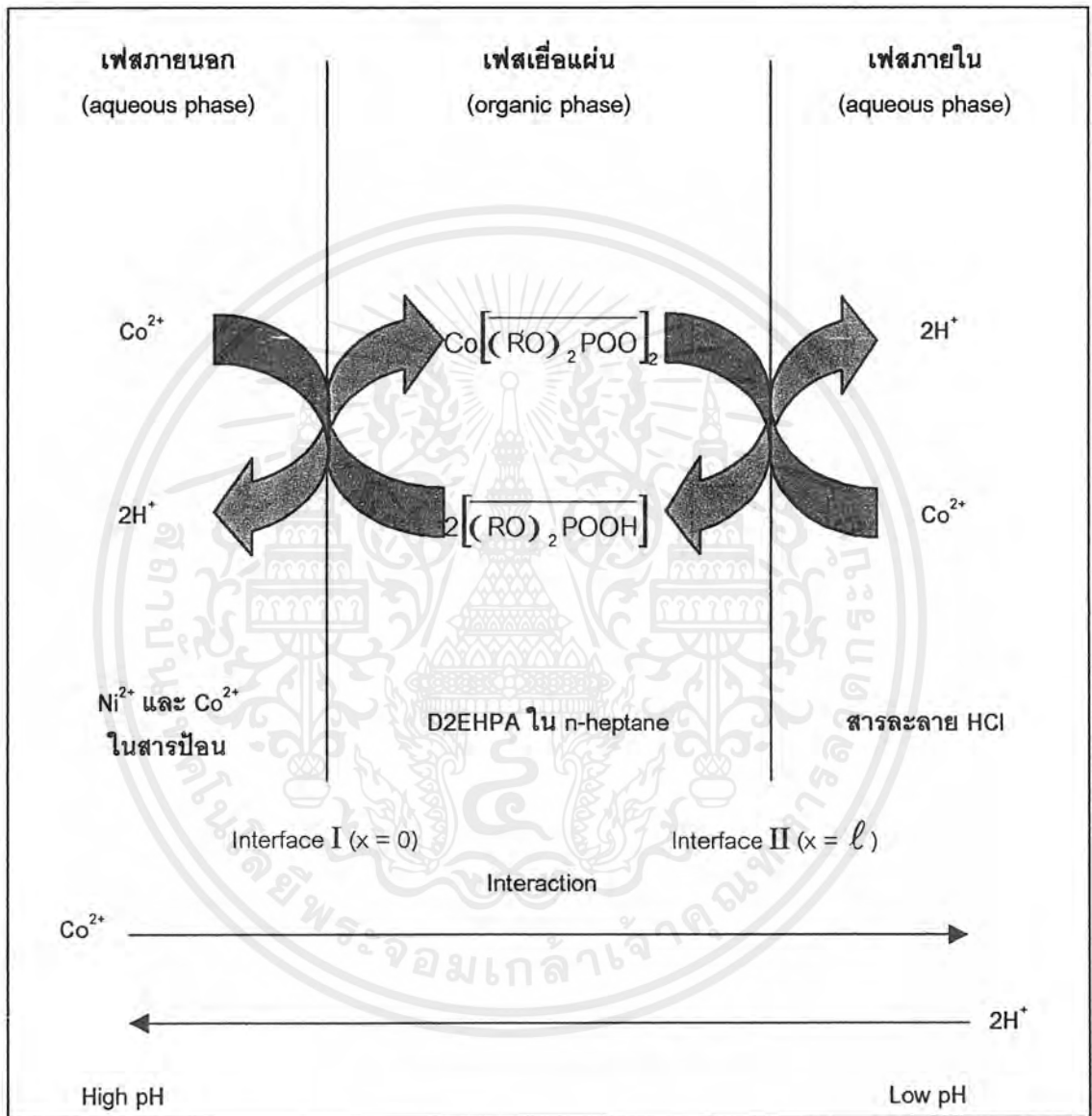
แต่อย่างไรก็ตาม ในการทำการทดลองทั่วไปนั้น รูปแบบของ Uniform flat sheet model นับเป็นรูปแบบที่นิยมใช้ เนื่องจากง่ายและให้ผลถูกต้องพอสมควร นอกจากนั้นการใช้รูปแบบการถ่ายเทมวลในลักษณะที่เหมือนระบบจริงมาก ๆ จะมีความซับซ้อน และมักจะยากกับการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการคำนวณ รูปแบบการถ่ายเทมวลอย่างง่ายจึงนิยมใช้มากกว่า ในโครงการนี้ ขอยกตัวอย่างกลไกการถ่ายเทเฉพาะไอออนโคบอลต์โดยใช้รูปแบบการถ่ายเทมวลแบบ Uniform flat sheet model ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 รูปแบบการถ่ายเทมวลแบบ Immobilized hollow spherical globule-advancing front model [นพภาพร พานิช, 2537]

จากรูปที่ 3.4 กลไกการสกัดและการแยกของไอออนโคบอลต์นั้นเริ่มจากที่ Interface I ($X=0$) มีความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์มากกว่า ดังนั้น สมดุลจะเลื่อนไปทางขวาและเกิดปฏิกิริยาการสกัดดังสมการที่ 3.1 โดยไอออนโคบอลต์จะจับตัวกับสารสกัด $2[(RO)_2POO]_2$ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 ซึ่งในที่นี้คือ D2EHPA ซึ่งจับกับไฮโดรเนียมไอออนอยู่ $2[(RO)_2POOH]_2$ เพื่อเกิดเป็นสารเชิงซ้อน $(Co[(RO)_2POO]_2)$ และคายไฮโดรเนียมไอออนออกสู่เฟสภายนอก จากนั้นสารเชิงซ้อนจะแพร่ผ่านเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ เมื่อการแพร่มาถึง Interface II ($X=l$) ปฏิกิริยาการแยกจะเกิดขึ้นดังสมการที่ 3.2 เนื่องจากความแตกต่างของไฮโดรเนียมไอออน จึงทำให้สมดุลเลื่อนไปทางซ้ายมือ

ไอออนโคบอลต์จะถูกคายออกมา จากนั้นสารสกัดจะจับตัวกับไฮโดรเนียมไอออนในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และแพร่ผ่านมายัง Interface I อีกครั้งเพื่อเกิดปฏิกิริยาการสกัด และดำเนินไปเช่นนี้เรื่อย ๆ เนื่องจากมีแรงขับเคลื่อนเกิดขึ้นตลอดเวลา

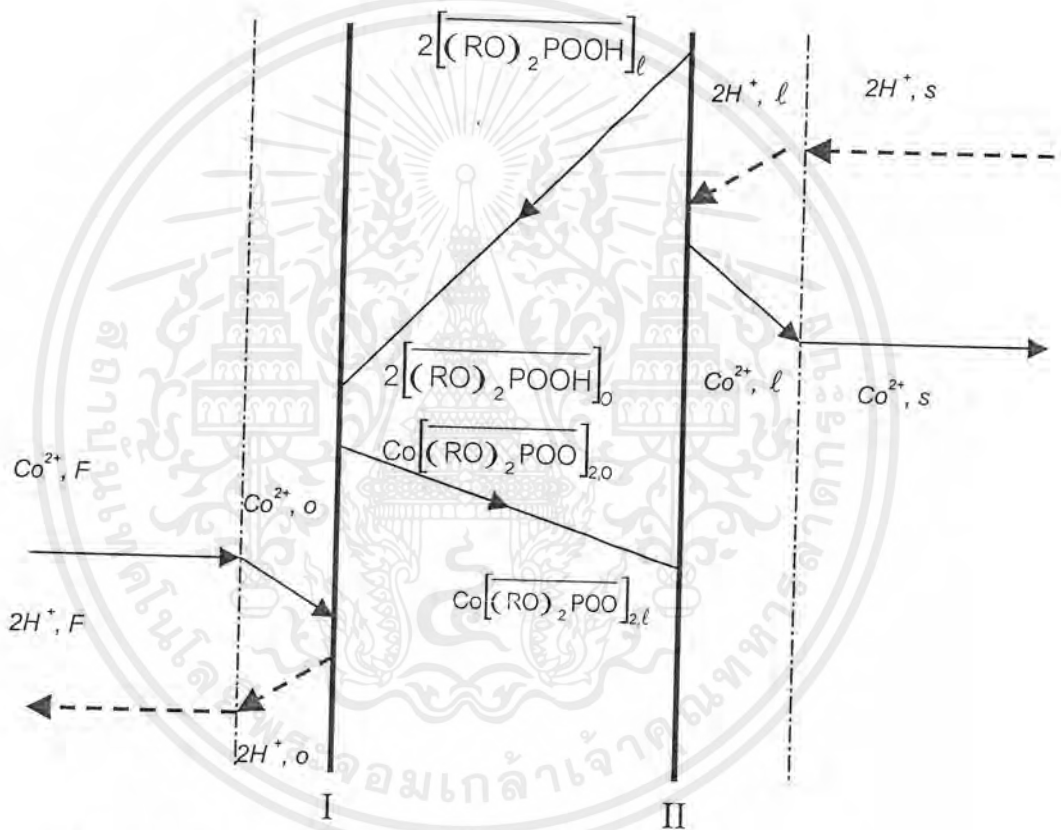


รูปที่ 3.4 กลไกการถ่ายเทมวลของไอออนโคบอลต์

Interface I



Interface II



รูปที่ 3.5 ความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในชั้นเยื่อแผ่นมีลักษณะเป็นเส้นตรง

กำหนดให้ความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ในชั้นเยื่อแผ่นมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 3.4 ดังนั้นจะได้ว่า

- Permeation rate ของไอออนโคบอลต์ในเฟสภายนอก คือ

$$J_{\text{Co},F} = \frac{D_{\text{Co},F}}{\delta} ([\text{Co}^{2+}]_F - [\text{Co}^{2+}]_0) \quad (3.3)$$

- Interfacial reaction rate ที่ Interface I ระหว่างเฟสภายนอกและเฟสเยื่อแผ่น คือ

$$R_1 = k_1 [\text{Co}^{2+}]_0 \overline{[(\text{RO})_2\text{POO}]_0}^2 - k_{-1} [\text{Co}^{2+}]_0 [\text{H}^+]^2 \quad (3.4)$$

- Permeation rate ของสารเชิงซ้อนของไอออนโคบอลต์และ D2EHPA คือ

$$J_{\text{Co}} = \frac{D_c}{l\tau} ([\text{Co}^{2+}]_0 - [\text{Co}^{2+}]_I) \quad (3.5)$$

- Interfacial reaction rate ที่ Interface II ระหว่างเฟสเยื่อแผ่นและเฟสภายใน คือ

$$R_{-1} = k_{-1} [\text{Co}^{2+}]_I [\text{H}^+]_I^2 - k_1 [\text{Co}^{2+}]_I \overline{[(\text{RO})_2\text{POO}]_I}^2 \quad (3.6)$$

- Permeation rate ของไอออนโคบอลต์ในเฟสภายใน คือ

$$J_{\text{Co},S} = \frac{D_{\text{Co},S}}{\delta} ([\text{Co}^{2+}]_I - [\text{Co}^{2+}]_S) \quad (3.7)$$

เมื่อกำหนดให้ $\frac{D_{\text{Co},F}}{\delta} = k_{\text{Co},F}$ และ $\frac{D_{\text{Co},S}}{\delta} = k_{\text{Co},S}$ ที่สภาวะคงตัวจะได้ว่า

$$J = J_{\text{Co},F} = R_1 = J_c = R_{-1} = J_{\text{Co},S} \quad (3.8)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ 3.3 – 3.7 ลงในสมการที่ 3.8 และจัดรูปใหม่ จะได้ว่า Permeation rate รวมของไอออนโคบอลต์จะได้ดังสมการที่ 3.9

$$J = \frac{\frac{[(RO)_2POO]_0^2 [Co^{2+}]_F}{[H^+]_0^2} - \frac{[(RO)_2POO]_l^2 [Co^{2+}]_S}{[H^+]_l^2}}{\frac{[(RO)_2POO]_0^2}{k_{co,F} [H^+]_0^2} + \frac{1}{k_1} \left(\frac{1}{[H^+]_0^2} + \frac{1}{[H^+]_l^2} \right) + \frac{[(RO)_2POO]_l^2}{k_{co,S} [H^+]_l^2} + \frac{k_{-1}(lt)}{k_1 D_c}} \quad (3.9)$$

และเมื่อกำหนดให้ขั้นตอนการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเป็นขั้นกำหนดปฏิกิริยา และให้

$$K_{ex} = \frac{k_1}{k_{-1}} \quad \text{จะได้ว่า Permeation rate จะลดรูปลงดังสมการที่ 3.10}$$

$$J = \frac{K_{ex} D_c [(RO)_2POO]_0^2 [Co^{2+}]_F}{(lt)[H^+]_0^2} - \frac{[(RO)_2POO]_l^2 [Co^{2+}]_S}{[H^+]_l^2} \quad (3.10)$$

ถ้ากำหนดให้การสกัดเป็นแบบ Infinite state จะได้ว่า $[Co^{2+}]_S \rightarrow 0$ ดังนั้นจะได้

Permeation rate ดังสมการที่ 3.11

$$J = \frac{D_c K_{ex} [(RO)_2POO]_0^2 [Co^{2+}]_F}{(lt)[H^+]_0^2} \quad (3.11)$$

จากสมการ 3.11 พอจะสรุปได้ว่า Permeation rate แปรผกผันกันกับค่า pH เริ่มต้นของเฟส ภายนอกหรือสารป้อน ดังนั้นปฏิกิริยาการสกัดและการแยกของไอออนโคบอลต์มีแนวโน้มจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่ค่า pH เริ่มต้นของสารละลายมีค่าสูงๆ ได้ดีกว่าค่า pH ต่ำๆ นั่นคือสารป้อนเริ่มต้นควรมีความเป็นเบสอยู่ในระดับหนึ่ง แต่ไม่ควรเป็นเบสมากเกินไป เนื่องจากโคบอลต์สามารถจับตัวกับไอออนบางตัวในสารป้อนและตกตะกอนที่ค่า pH ประมาณ 7 ได้

บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลอง

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีดังต่อไปนี้

1) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

- 1.1) กรดเกลือเข้มข้น 37 weight%
- 1.2) สารลดแรงตึงผิว SPAN 80
- 1.3) D2EHPA (di(2-ethylhexyl) phosphoric acid)
- 1.4) นอร์มอลเฮปเทน
- 1.5) $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 1.6) $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 1.7) น้ำกลั่น
- 1.8) กรดอะซิติกความเข้มข้น 36 weight% (CH_3COOH)
- 1.9) โซเดียมอะซิเตต ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
- 1.10) กรดซิตริก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- 1.11) โซเดียมฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

- 2.1) เครื่องปั่นกวนความเร็วสูง (Homogenizer)
- 2.2) ชุดเครื่องกวนผสมซึ่ง ประกอบด้วย มอเตอร์ขนาดเล็ก และถังกวนที่มีลักษณะเป็นกรวยแยก
- 2.3) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH meter)
- 2.4) เครื่องชั่ง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- 2.5) ปีกเกอร์ขนาดต่าง ๆ ($10\text{-}1,000\text{ cm}^3$)
- 2.6) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 cm^3

- 2.7) ขวดวัดปริมาตรขนาด 10, 25, 100, 250, 500 และ 1,000 cm³
- 2.8) กระจกตวงขนาด 25, 100 และ 1,000 ml
- 2.9) บีเปตขนาด 1, 10 และ 50 ml
- 2.10) หลอดหยด
- 2.11) กระจกนํ้ากลั่น
- 2.12) ขวดเก็บสารตัวอย่าง

การดำเนินการทดลอง

การทดลองที่ 1 การหาค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมในการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิลโดยใช้เฟสเยื่อแผ่นที่มีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่าง ๆ กัน 6 ค่า คือ 2, 4, 6, 8, 10, และ 12 vol.% โดยที่ตัวแปรอื่นๆ ถูกควบคุมให้คงที่ คือ ความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลในสารป้อนอย่างละ 1,000 ppm pH ของสารป้อน เท่ากับ 5 pH ของสารละลายสตริปเท่ากับ 1 ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 5 vol.% ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1.1 เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 5 เตรียมได้โดย

- เตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 M โดยการเจือจางกรดอะซิติกเข้มข้น 36 weight% 11.44 มิลลิลิตร ในนํ้ากลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
- เตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0.2 M โดยการละลายโซเดียมอะซิเตต 27.20 กรัมในนํ้ากลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
- เมื่อต้องการสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 5 ให้ทำการผสมสารละลายกรดอะซิติก 0.2 M และสารละลายโซเดียมอะซิเตต 0.2 M ในอัตราส่วน 29.5 ต่อ 70.5

1.2 เตรียมสารป้อนที่มีความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลอย่างละ 1,000 ppm และควบคุมค่า pH ที่ 5 ได้โดยละลาย $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 4.0375 กรัม และ $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 4.0489 กรัมลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH เท่ากับ 5

1.3 เตรียมเฟสเยื่อแผ่นที่มีความเข้มข้นของสารสกัด 5 vol.% และสารลดแรงตึงผิว 2 vol.% ได้โดยเทสารลดแรงตึงผิว SPAN 80 1 กรัม ลงผสมกับสารสกัด D2EHPA 2.5 มิลลิลิตร แล้วละลายสารทั้งสองในนอร์มอลเฮปเทน 46.5 มิลลิลิตร จะได้เฟสเยื่อแผ่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นตามต้องการ เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีความหนืดสูงมาก ไม่สามารถตวงวัดปริมาตรแน่นอนได้ จึงต้องใช้ในการชั่งน้ำหนักแทน ซึ่ง SPAN 80 นี้มีความหนาแน่น 1 กรัมต่อมิลลิลิตร

1.4 เตรียมสารละลายสตริปที่มีค่า pH เท่ากับ 1 โดยใช้สารละลายกรดเกลือ ความเข้มข้น 37 weight% มาเจือจางในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 0.1 M นำไปวัดค่า pH แล้วปรับให้ได้ค่า pH เท่ากับ 1 ทั้งนี้สารละลายสตริปนี้จะต้องเตรียมให้เพียงพอที่จะใช้ในทุกรอบทดลอง เพื่อให้ค่า pH ของสารละลายสตริปในแต่ละการทดลอง มีค่าเท่ากันเสมอ

1.5 เตรียมอิมัลชันโดยนำเฟสเยื่อแผ่นมาปั่นผสมในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วรอบสูงที่ความเร็วรอบ 18,500 รอบต่อนาที แล้วค่อย ๆ เทสารละลายสตริปลงในขวดรูปชมพู่ขณะปั่นผสม ใช้เวลาในการปั่นกวน 5 นาที

1.6 ทำการสกัดแยกโดยเทสารป้อนลงในเครื่องปั่นกวน เปิดเครื่องให้ทำการปั่นด้วยความเร็ว 400 รอบต่อนาที จากนั้นเทอิมัลชันที่เตรียมไว้ลงในสารป้อนอย่างรวดเร็วและเริ่มจับเวลา

1.7 เก็บสารตัวอย่างที่เวลา 30 วินาที 1, 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 นาที โดยเมื่อต้องการเก็บสารตัวอย่างให้หยุดมอเตอร์และรอให้สารป้อนแยกตัวออกจากชั้นอิมัลชัน สารป้อนจะอยู่ชั้นล่าง ให้ไซเออสารป้อนนั้นออกมาทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลที่เหลืออยู่ภายหลังการสกัด

1.8 นำสารป้อนที่ยังไม่ผ่านการสกัดแยกและสารตัวอย่างที่เก็บได้ มาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และนิกเกิลด้วยเครื่อง AA แต่เนื่องจากเครื่อง AA นี้

สามารถอ่านค่าความเข้มข้นของไอออนโลหะได้เพียงในช่วง 1-20 ppm ดังนั้น จึงต้องนำสารป้อนและสารตัวอย่างจากการสกัดแยกมาเจือจางก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยในการทดลองนี้คาดการณ์ให้สารตัวอย่างที่ได้จากการสกัดมีความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และนิกเกิลเหลืออยู่ประมาณ 10-300 ppm ทำการเจือจางสารตัวอย่างและสารป้อน 0.4 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

1.9 ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในเฟสเยื่อแผ่นเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 vol.%

1.10 นำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบ เพื่อหาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมที่สุด

การทดลองที่ 2 การหาค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมในการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล

จากการทดลองที่ 1 พบว่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ 8, 10 และ 12 vol.% ให้ผลการสกัดแยกที่ดีใกล้เคียงกัน ในการทดลองนี้จึงทำการสกัดแยกด้วยความเข้มข้นของสารสกัด 5, 7 และ 9 vol.% ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 8, 10 และ 12 vol.% เพื่อดูผลของความเข้มข้นของสารสกัดในการสกัดแยกไอออนของโคบอลต์ออกจากไอออนของนิกเกิล โดยควบคุมตัวแปรอื่นๆ ให้คงที่ คือ ความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลในสารป้อนอย่างละ 1000 ppm pH ของสารป้อน เท่ากับ 5 pH ของสารละลายสตริปเท่ากับ 1 ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 5 vol.% ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

2.1 เตรียมสารป้อนที่มีความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลอย่างละ 1,000 ppm ที่ควบคุม pH อยู่ที่ 5 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติกและโซเดียมอะซิเตต (วิธีการเดียวกับในการทดลองที่ 1)

2.2 เตรียมเฟสเยื่อแผ่นที่มีความเข้มข้นของสารสกัด 5 vol.% และสารลดแรงตึงผิว 8 vol.% ได้โดยเทสารลดแรงตึงผิว SPAN 80 4 กรัมลงผสมกับสารสกัด D2EHPA 2.5 มิลลิลิตร แล้วละลายสารทั้งสองด้วยนอร์มอลเฮปเทน 43.5 มิลลิลิตร

2.3 สารละลายสไตริปที่มีค่า pH เท่ากับ 1 ที่เตรียมจากการทดลองที่ 1

2.4 เตรียมอิมัลชันโดยนำเฟสเยื่อแผ่นมาปั่นผสมในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วรอบสูง ที่ความเร็วรอบ 18,500 รอบต่อนาที แล้วค่อย ๆ เทสารละลายสไตริปลงในขวดรูปชมพู่ขณะปั่นผสม ใช้เวลาในการปั่นกวน 5 นาที

2.5 ทำการสกัดแยกโดยสารป้อนลงในเครื่องปั่นกวน เปิดเครื่องให้ทำการปั่นด้วยความเร็ว 400 รอบต่อนาที จากนั้นเทอิมัลชันที่เตรียมไว้ลงในสารป้อนอย่างรวดเร็วและเริ่มจับเวลา

2.6 เก็บสารตัวอย่างที่เวลา 30 วินาที 1, 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 นาที โดยเมื่อต้องการเก็บสารตัวอย่างให้หยุดมอเตอร์และรอให้สารป้อนแยกตัวออกจากชั้นอิมัลชัน สารป้อนจะอยู่ชั้นล่าง ให้ไขเอาสารป้อนนั้นออกมาทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลที่เหลืออยู่ภายหลังการสกัด

2.7 นำสารป้อนและสารตัวอย่างจากการสกัดแยก ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และนิกเกิลด้วยเครื่อง AA

2.8 ทำการทดลองซ้ำที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 8 vol.% แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 7 vol.% และ 9 vol.%

2.9 ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 10 vol.% โดยใช้ความเข้มข้นของสารสกัด 3 ค่า คือ 5, 7 และ 9 vol.% ในทำนองเดียวกัน ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 12 vol.% ให้ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารสกัดต่างกัน 3 ค่า คือ 5, 7 และ 9 vol.%

2.10 นำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบเพื่อหาความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการสกัดแยก

การทดลองที่ 3 การหาช่วงค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแยก ไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล

เนื่องจาก $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ สามารถตกตะกอนได้ในสารละลายที่มีค่า pH สูง จึงจำเป็นต้องทราบผลการละลายของ $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ในช่วง pH ต่างๆ ซึ่งในการทดลองนี้จะทดลองละลาย $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ต่างกัน 3 ค่า คือ 3, 5 และ 7 สารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติกและโซเดียมอะซิเตตไม่สามารถให้สารละลายที่มีค่า pH ที่ 3 และ 7 ได้จึงต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์กรดซิตริกและโซเดียมฟอสเฟตแทน โดยควบคุมตัวแปรอื่นๆ ให้คงที่ คือ ความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลในสารป้อนอย่างละ 1,000 ppm pH ของสารป้อน เท่ากับ 5 pH ของสารละลายสตริปเท่ากับ 1 ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 5 vol.% ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

3.1 สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH เท่ากับ 5 เตรียมได้ด้วยวิธีการเดียวกันในการทดลองที่ 1 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติกและโซเดียมอะซิเตต

3.2 เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH เท่ากับ 3 จากสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.1 M ผสมกับสารละลายโซเดียมฟอสเฟตเข้มข้น 0.2 M ด้วยอัตราส่วน 79.45 ต่อ 20.55 สารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.1 M เตรียมได้จากการละลายกรดซิตริก 19.213 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร สารละลายโซเดียมฟอสเฟตเข้มข้น 0.2 M เตรียมจากการละลายโซเดียมฟอสเฟต 35.599 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

3.3 เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH เท่ากับ 7 จากการผสมสารละลายบัฟเฟอร์กรดซิตริกเข้มข้น 0.1 M 29.85 vol.% กับสารละลายโซเดียมฟอสเฟตเข้มข้น 0.2 M 70.25 vol.%

3.4 นำสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้ทั้งหมดมาอย่างละ 25 มิลลิลิตร แล้วละลาย $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงไปเล็กน้อยให้สีของสารละลายใกล้เคียงกับสารป้อนที่มีความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และนิกเกิล 1,000 ppm แล้วสังเกตผลการละลายของ $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ในสารละลายบัฟเฟอร์แต่ละค่า pH

การทดลองที่ 4 การหาค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาการสกัด แยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล

ในกระบวนการสกัดแยก ค่าความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือค่า pH ที่แตกต่างกันในสารป้อนและสารละลายสตรีป เป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการสกัด ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองเพื่อหาค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนที่ให้ประสิทธิภาพในการสกัดแยกดีที่สุด โดยควบคุมตัวแปรอื่นๆ ให้คงที่ คือ ความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลในสารป้อนอย่างละ 1,000 ppm pH ของสารป้อน เท่ากับ 5 pH ของสารละลายสตรีปเท่ากับ 1 ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 5 vol.% ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

4.1 เตรียมสารป้อนที่มีความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และนิกเกิลอย่างละ 1,000 ppm ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติกและโซเดียมอะซิเตตที่มีค่า pH 3, 6, 5 และ 5.6 โดย

4.1.1 สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 3.6 เตรียมจากการผสมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 M 92.5 vol.% กับสารละลายโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0.2 M 7.5 vol.%

4.1.2 สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 5 เตรียมจากการผสมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 M 29.5 vol.% กับสารละลายโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0.2 M 70.5 vol.%

4.1.3 สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 5.6 เตรียมจากการผสมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 M 9.5 vol.% กับสารละลายโซเดียมอะซิเตตเข้มข้น 0.2 M 90.5 vol.%

4.2 เตรียมเฟสเยื่อแผ่นที่มีความเข้มข้นของสารสกัด 5 vol.% สารลดแรงตึงผิว 8 vol.% โดยผสมสารลดแรงตึงผิว SPAN 80 4 กรัม กับสารสกัด D2EHPA 2.5 มิลลิลิตร แล้วละลายสารทั้งสองด้วยนอร์มอลเฮปเทน 43.5 มิลลิลิตร

4.3 สารละลายสตรีปที่มีค่า pH เท่ากับ 1 ที่เตรียมจากการทดลองที่ 1

4.4 เตรียมอิมัลชันวิธีเดียวกันกับการทดลองที่ 1

4.5 ทำการสกัดแยกเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยใช้สารป้อนที่มีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 3.6

4.6 เก็บสารตัวอย่างจากการสกัดแยกที่เวลา 30 วินาที 1, 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 นาที

4.7 นำสารตัวอย่างและสารป้อนไปเจือจางและวิเคราะห์หาปริมาณไอออนโคบอลต์และนิกเกิลด้วยเครื่อง AA

4.8 ทำการทดลองซ้ำที่เฟสเยื่อแผ่นมีองค์ประกอบต่าง ๆ คงที่โดยเปลี่ยนค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนเป็น 5 และ 5.6

4.9 ทำการทดลองที่ค่า pH ของสารป้อนเท่ากับ 3.6, 5 และ 5.6 ซ้ำ โดยใช้เฟสเยื่อแผ่นที่มีความเข้มข้นของสารสกัด 5 vol.% คงที่และสารลดแรงตึงผิว 10 vol.% และ 12 vol.%

4.10 นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบ เพื่อหาค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดแยก

การทดลองที่ 5 การหาค่าความเร็วรอบที่ใช้ปั่นกวนในการสกัดแยกที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล

จากการทดลองที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและสารสกัดที่ 8 vol.% และ 5 vol.% (ตามลำดับ) มีความเหมาะสมที่สุดในการสกัดแยก ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและสารสกัดที่ 8 vol.% และ 5 vol.% ในการหาความเร็วรอบของการปั่นกวนในการสกัดแยกที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดแยก โดยที่ตัวแปรอื่นๆ ถูกควบคุมให้คงที่ คือ ความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลในสารป้อนอย่างละ 1,000 ppm pH ของสารป้อน เท่ากับ 5 pH ของสารละลายสตริปเท่ากับ 1 ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 5 vol.% ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

5.1 เตรียมสารป้อนที่มีความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และนิกเกิลอย่างละ 1,000 ppm และมีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 5 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติกและสารละลายโซเดียมอะซิเตต ซึ่งเตรียมได้เช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1

5.2 เตรียมเฟสเยื่อแผ่นที่มีความเข้มข้นของสารสกัด 5 vol.% สารลดแรงตึงผิว 8 vol.% โดยผสมสารลดแรงตึงผิว SPAN 80 4 กรัมกับสารสกัด D2EHPA 2.5 มิลลิลิตร แล้วละลายสารทั้งสองด้วยนอร์มอลเฮปเทน 43.5 มิลลิลิตร

5.3 สารละลายสตริปที่มีค่า pH เท่ากับ 1 ที่ใช้ในการทดลอง เตรียมจากการทดลองที่ 1

5.4 เตรียมอิมัลชันวิธีเดียวกันกับการทดลองที่ 1

5.5 ทำการสกัดแยกโดยเทสารป้อนลงในเครื่องปั่นกวน เปิดเครื่องให้ทำการปั่นด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที จากนั้นเทอิมัลชันที่เตรียมไว้ลงในสารป้อนอย่างรวดเร็วและเริ่มจับเวลา

5.6 เก็บสารตัวอย่างจากการสกัดแยกที่เวลา 30 วินาที 1, 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 นาที

5.7 นำสารตัวอย่างและสารป้อนไปเจือจาง และวิเคราะห์หาปริมาณไอออนโคบอลต์และนิกเกิลด้วยเครื่อง AA

5.8 ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวนเป็น 650, 800 และ 1,000 รอบต่อนาที

5.9 นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบ เพื่อหาว่าความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวนค่าใดเหมาะสมที่สุด

การทดลองที่ 6 การหาค่าความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นอิมัลชันที่เหมาะสม สำหรับการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล

ในการทดลองนี้จะใช้ค่าความเข้มข้นของสารสกัดและสารลดแรงตึงผิว ค่า pH เริ่มต้นของสารป้อน และความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวนเพื่อทำการสกัดที่เหมาะสม ในการทดลองหาความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน โดยที่ตัวแปรอื่นๆ ถูกควบคุมให้คงที่ คือ ความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลในสารป้อนอย่างละ 1,000 ppm pH ของสารป้อน เท่ากับ 5 pH ของสารละลายสตริปเท่ากับ 1 ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 5 vol.% ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

- 6.1 เตรียมสารป้อนเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 5
- 6.2 เตรียมเฟสเยื่อแผ่นเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 5
- 6.3 สารละลายสตริปที่มีค่า pH 1 ที่ใช้ในการทดลอง เตรียมได้จากการทดลองที่ 1
- 6.4 เตรียมอิมัลชันโดยนำเฟสเยื่อแผ่นมาปั่นผสมในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วรอบสูง ที่ความเร็วรอบ 13,500 รอบต่อนาที แล้วค่อยๆ เทสารละลายสตริปลงในขวดรูปชมพู่ขณะปั่นผสม ใช้เวลาในการปั่นกวน 5 นาที
- 6.5 ทำการสกัดแยกโดยเทสารป้อนลงในเครื่องปั่นกวน เปิดเครื่องให้ทำการปั่นด้วยความเร็ว 800 รอบต่อนาที จากนั้นเทอิมัลชันที่เตรียมไว้ลงในสารป้อนอย่างรวดเร็วและเริ่มจับเวลา
- 6.6 เก็บสารตัวอย่างจากการสกัดแยกที่เวลา 30 วินาที 1, 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 นาที
- 6.7 นำสารตัวอย่างและสารป้อนไปเจือจาง และวิเคราะห์หาปริมาณไอออนโคบอลต์และนิกเกิลด้วยเครื่อง AA
- 6.8 ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวนเพื่อเตรียมอิมัลชันเป็น 20,500 และ 24,000 รอบต่อนาที

6.9 นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบ เพื่อหาว่าความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวนค่าใดเหมาะสมที่สุด

การทดลองที่ 7 การทดลองสกัดแยกโดยใช้ระบบต่อเนื่องแบบอนุกรม

เนื่องจากผลการทดลองที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าการสกัดแยกเกิดขึ้นเร็วมาก คือ ในช่วง 1 นาทีแรกของการสกัด ปริมาณไอออนของโคบอลต์จะลดลงอย่างมาก ดังนั้นเพื่อให้ประสิทธิภาพการสกัดแยกเพิ่มขึ้น จึงได้ทำการทดลองนำระบบการสกัดแยก 3 ระบบมาต่ออนุกรมกัน โดยที่ตัวแปรอื่นๆ ถูกควบคุมให้คงที่ คือ ความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลในสารป้อนอย่างละ 1000 ppm pH ของสารป้อน เท่ากับ 5 pH ของสารละลายสตริปเท่ากับ 1 ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 5 vol.% ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

7.1 เตรียมสารป้อนเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 5

7.2 เตรียมเฟสเยื่อแผ่นเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 5 ไว้ 3 ชุด

7.3 ใช้สารละลายสตริปที่ได้จากการทดลองที่ 1

7.4 เตรียมอิมัลชัน 3 ชุด โดยนำเฟสเยื่อแผ่นมาปั่นผสมในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วรอบสูง ที่ความเร็วรอบ 24,000 รอบต่อนาที แล้วค่อย ๆ เทสารละลายสตริปลงในขวดรูปชมพู่ขณะปั่นผสม ใช้เวลาในการปั่นกวน 5 นาที

7.5 ทำการสกัดแยกโดยเทสารป้อนที่เตรียมและอิมัลชันที่เตรียมไว้ลงในเครื่องปั่นกวน เปิดมอเตอร์ให้เครื่องปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที เริ่มจับเวลา

7.6 เก็บสารตัวอย่างครั้งที่แรกใช้เวลา 45 วินาที และครั้งที่สองใช้เวลา 1 นาที

7.7 เปลี่ยนอิมัลชันชุดใหม่มาใช้ในการสกัดแยกสารป้อนชุดเดิม โดยปิดมอเตอร์ให้หยุดปั่นกวนและรอให้สารป้อนแยกชั้นกับอิมัลชัน ไซสารป้อนเก็บไว้ ส่วนที่เป็นอิมัลชันให้เททิ้ง นำสารป้อนมาปั่นกวนกับอิมัลชันชุดใหม่และจับเวลาต่อ เก็บสารตัวอย่างครั้งที่สามใช้เวลา 1 นาที 45 วินาที และครั้งที่สี่ใช้เวลา 3 นาที

7.8 เปลี่ยนอิมัลชันที่ใช้ในการสกัดแยกอีกครั้ง และจับเวลาต่อ เก็บสารตัวอย่างอีกครั้งที่เวลา 5 นาที

7.9 นำสารตัวอย่างและสารป้อนไปเจือจาง และวิเคราะห์หาปริมาณไอออนโคบอลต์และนิกเกิลด้วยเครื่อง AA

7.10 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการสกัดแยก เปรียบเทียบกับการสกัดแยกด้วยอิมัลชันชุดเดียว



บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองซึ่งวัดค่าความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลด้วยเครื่อง AA ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 240.7 นาโนเมตร และ 232 นาโนเมตร ตามลำดับ ได้แสดงในภาคผนวก ก ในที่นี้จึงเสนอกฎที่สำคัญต่อการสรุปผลการทดลองมาแสดงไว้เท่านั้น

การทดลองชุดที่ 1

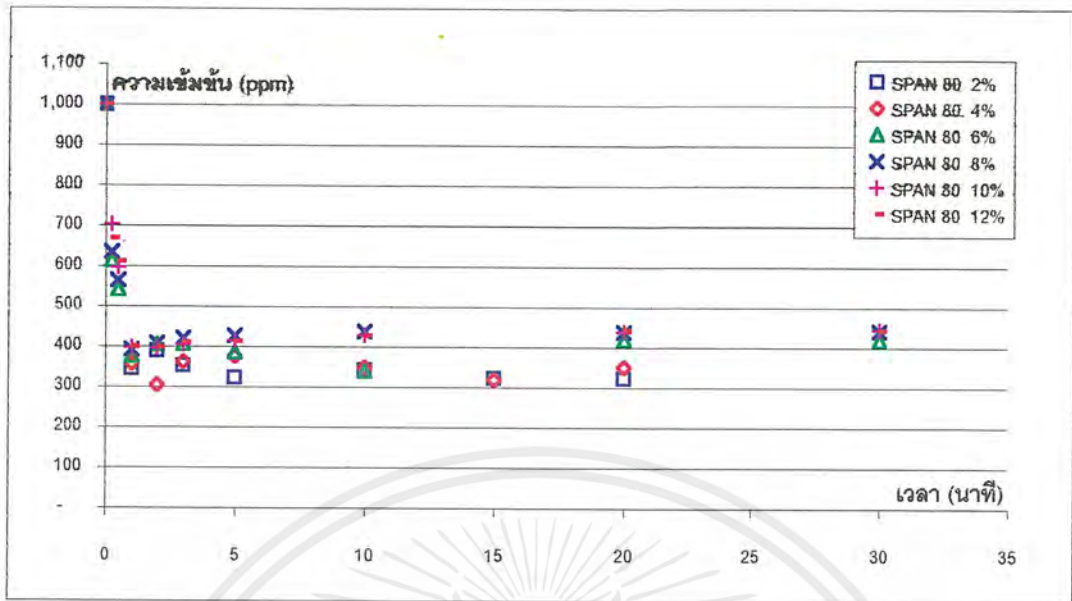
จากกราฟรูปที่ 5.1 และ 5.2 สำหรับการทดลองชุดที่ 1 สรุปได้ว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของ SPAN 80 ที่ใช้ในการสกัดอยู่ในช่วง 8 vol.% ถึง 12 vol.% ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 2 vol.% 4 vol.% และ 6 vol.% นั้น พบว่ามีอิมัลชันแตกตัวเกิดเป็นชั้นอินทรีย์ลอยอยู่บนผิวหน้าของชั้นอิมัลชันและการแตกตัวจะพบอย่างชัดเจนที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 2 vol.% และ 4 vol.% โดยปริมาตรของเยื่อแผ่น แม้จากกราฟรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าการสกัดของ SPAN 80 ที่ความเข้มข้นดังกล่าวดูเหมือนจะมีเปอร์เซ็นต์การสกัด (% Extraction) ดีกว่า กล่าวคือมีไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลเหลืออยู่ในสารป้อนน้อยกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์การสกัดที่ได้นั้น น่าจะมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการทดลองจะเห็นได้ชัดเจนว่าตัวทำละลายอินทรีย์ที่แยกตัวออกมาเนื่องจากการแตกตัวของอิมัลชันเปลี่ยนสีจากไม่มีสีเป็นสีน้ำเงินอมม่วง ซึ่งสีที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นผลเนื่องมาจากไอออนของโคบอลต์ที่จับตัวกับ D2EHPA และถูกสกัดเข้าไปอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ ทำให้เปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์ลดต่ำลง ส่วนไอออนนิกเกิลนั้นแม้สีจะปรากฏไม่ชัดเจนเนื่องจากสีอ่อนกว่าของโคบอลต์แต่จากกราฟรูปที่ 5.2 พบว่าไอออนนิกเกิลก็ถูกสกัดเข้าไปอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์เช่นเดียว

กัน ดังกราฟรูปที่ 5.2 ดังนั้นความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลในสารป้อนของชุดที่ความเข้มข้น SPAN 80 เท่ากับ 2 vol.% และ 4 vol.% จึงลดต่ำกว่าปกติ นอกจากนั้น การแตกตัวของอิมัลชันยังทำให้เกิดการแกว่งของความเข้มข้นในสารสกัดเป็นอย่างมาก เนื่องจากสารละลายสไตรีนซึ่งเป็นเฟสภายในเกิดการผสมกับสารป้อน ในบางช่วงเวลาความเข้มข้นจึงสูงหรือต่ำกว่าปกติ และจากความไม่เสถียรนี้เอง ทำให้เกิดการแกว่งของความเข้มข้นในการสกัดเป็นอย่างมาก ดังนั้นที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 2 vol.% 4 vol.% และ 6 vol.% จึงไม่เหมาะสำหรับการสกัดแยก

ส่วนที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% 10 vol.% และ 12 vol.% นั้นผลสรุปยังไม่ชัดเจนจึงต้องทำการทดลองต่อไปในชุดที่ 2

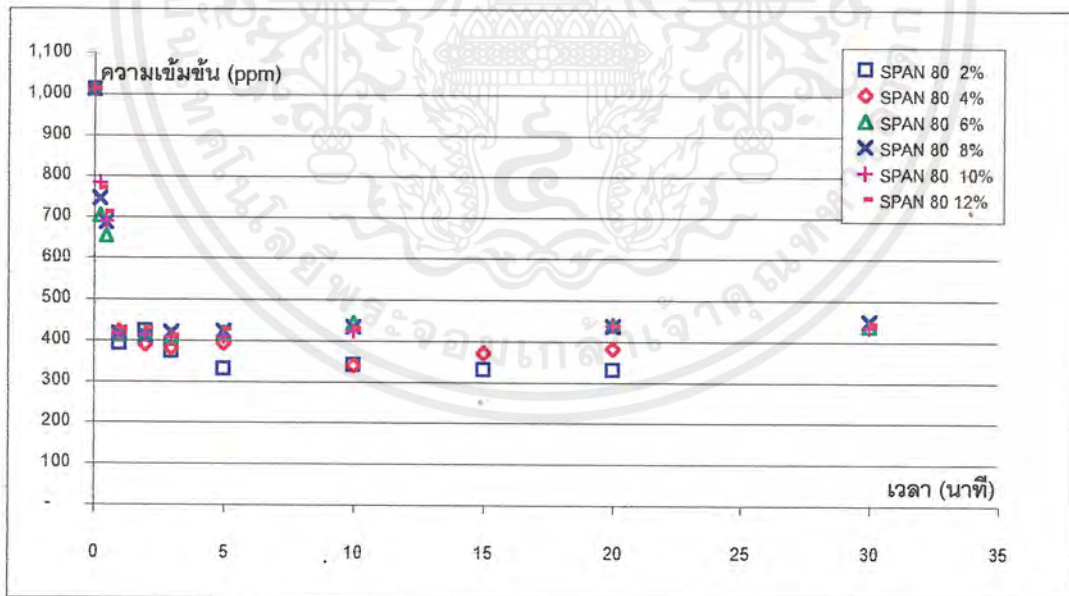
การทดลองชุดที่ 2

จากกราฟรูปที่ 5.3 ถึง 5.8 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น ทั้งไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลมีเปอร์เซ็นต์การสกัดเพิ่มสูงขึ้น แม้การเพิ่มจะไม่มากนักและจากรูปที่ 5.9 ถึง 5.16 สังเกตว่าเมื่อใช้ D2EHPA เท่ากับ 9 vol.% ทั้งชุดที่ใช้ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% และ 12 vol.% จะทำให้ค่าการเลือกลดลงคือสกัดไอออนนิกเกิลได้ดีขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ในการสกัดจะสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งชุดที่ใช้ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 12 vol.% จะเห็นได้ไม่ชัดเจนนักเนื่องจากมีความต้านทานการถ่ายเทมวลสูง ดังในการทดลองชุดที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% จึงไม่ได้ทดลองที่ค่าความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 9 vol.% แต่ผลจากการทดลองของชุดการทดลองที่ใช้มีความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% ดังรูปที่ 2.15 และ 2.16 ก็พอจะบอกแนวโน้มได้ค่อนข้างชัดเจนว่า เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจะมีผลทำให้ค่าการเลือกลดลง ซึ่งจากกราฟพบช่วงห่างของการแยกไอออนโคบอลต์กับไอออนนิกเกิลลดลงพอสมควรเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ D2EHPA จาก 5 vol.% เป็น 7 vol.% ซึ่งผลที่ได้จะชัดเจนกว่าชุดการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% และ 12 vol.% เนื่องจากความต้านทานการถ่ายเทมวลที่ต่ำกว่านั่นเอง โดยทั่วไป



รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80

EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.76 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm [Ni]₀ 1,013 ppm



รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80

EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.76 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm [Ni]₀ 1,013 ppm

นั้นความเข้มข้นของ D2EHPA ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่น่าจะมีผลกระทบต่อค่าการเลือก เนื่องจากเป็นความจำเพาะระหว่างไอออนนั้นและสารสกัดซึ่งขึ้นกับลักษณะเฉพาะของแต่ละสาร แต่ไม่น่าแปรผันกับความเข้มข้น แต่จากการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้นของ D2EHPA ที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อค่าการเลือกด้วยแม้จะไม่มากนัก ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลเนื่องมาจากการที่ไอออนโคบอลต์สามารถจับตัวกับเกลืออะซิเตตซึ่งเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ได้ ทำให้ D2EHPA สามารถจับกับไอออนนิกเกิลได้ดีขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ D2EHPA สูงขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการจับกับไอออนโคบอลต์นั้นไม่ดี เนื่องจากมีการรวมตัวกับเกลืออะซิเตต จึงทำให้ค่าการเลือกผ่านต่ำลงและมีแนวโน้มการสกัดไอออนนิกเกิลได้ดีกว่าไอออนโคบอลต์ แต่ในระบบที่ใช้บัฟเฟอร์ชนิดอื่น ๆ นั้น คาดว่าความเข้มข้นของ D2EHPA ไม่น่าจะส่งผลต่อค่าการเลือกผ่านที่ขึ้นหรือลดลง ดังนั้น ในการทดลองครั้งนี้ซึ่งใช้กรดอะซิติกและโซเดียมอะซิเตตเป็นบัฟเฟอร์ เนื่องจากมีความต้านทานการถ่ายเทมวลที่ต่ำกว่านั่นเอง

เมื่อลองพลอตกราฟค่าความเข้มข้นของ SPAN 80 ที่ 10 vol.% และ 12 vol.% โดยให้ความเข้มข้นของ D2EHPA คงที่ที่ 5 vol.%, 7 vol.% และ 9 vol.% และค่าความเข้มข้นของ SPAN 80 ที่ 8 vol.% ดังกราฟรูปที่ 5.17 ถึง 5.20 พบว่าที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% ให้ผลในในการสกัดดีที่สุด ไม่ว่าความเข้มข้น D2EHPA จะเป็น 5 vol.%, 7 vol.% และ 9 vol.% ก็ตาม ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลเนื่องมาจากค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลที่มีค่าน้อยกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ SPAN 80 ในปริมาณที่น้อย จึงไม่เพิ่มค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลให้สูงเหมือนการทดลองที่ใช้ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% และ 12 vol.% แต่จากกราฟรูปที่ 5.17, 5.19 และ 5.20 พบว่าไอออนโคบอลต์ของชุดที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 12 vol.% สกัดได้ดีกว่าที่ 10 vol.% ซึ่งผลที่ได้ขัดกับข้อสันนิษฐานเรื่องความต้านทานการถ่ายเทมวลที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว แต่หากพิจารณาที่ค่า pH ดังแสดงผลในการทดลองชุดที่ 2.2.1, 2.2.2, 2.3.1 และ 2.3.2 พบว่าค่า pH ของชุดที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% จะลดลงต่ำกว่าค่า pH ของชุดที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 12 vol.% ซึ่งโดยปกติในการสกัดไอออนโคบอลต์ 1 ไอออนโดย D2EHPA จะ

เกิดการถ่ายเทไฮโดรเนียมไอออนมายังสารป้อนเท่ากับ 2 ไอออนดังแสดงในสมการที่ 3.1 และ 3.2 ทำให้ค่า pH ของสารป้อนลดลง ซึ่งหากปฏิกิริยาการสกัดแยกเกิดขึ้นได้ดีมากเท่าไร ค่า pH ในสารป้อนก็จะต่ำลงมากเท่านั้น ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 12 vol.% สกัดดีกว่าความเข้มข้นที่ 10 vol.% น่าจะเกิดจากความผิดพลาดในการเจือจางเพื่อวิเคราะห์ผลโดยใช้ AA ซึ่งสามารถทำการทดลองเพื่อยืนยันผลสรุปอีกครั้งได้ในการทดลองชุดที่ 4

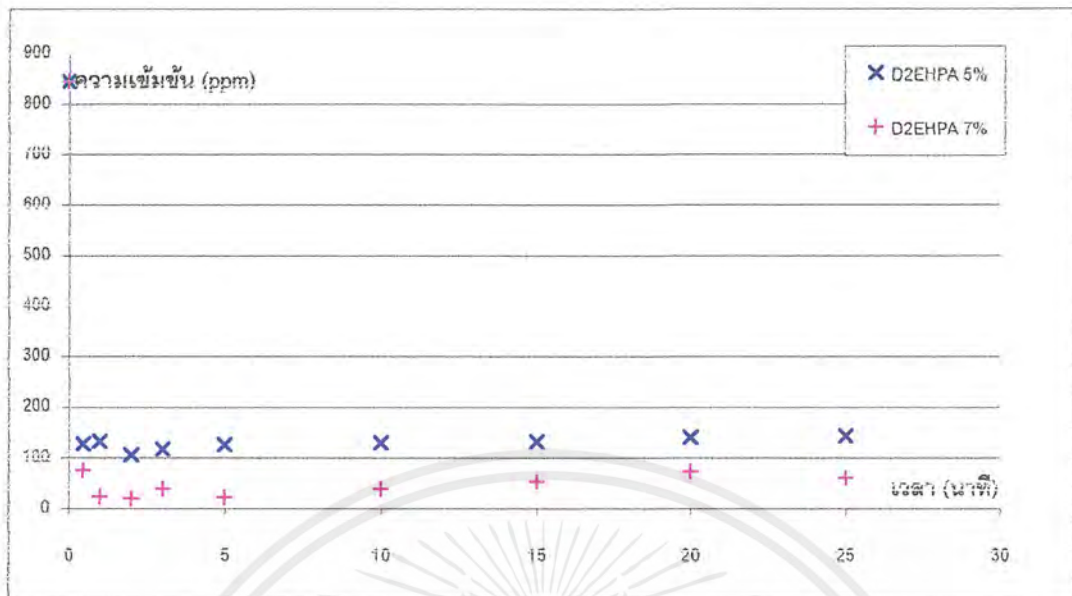
การทดลองครั้งต่อไปจึงทดลองที่ค่าความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 5 vol.% เนื่องจากมีความเหมาะสมทั้งเปอร์เซ็นต์การสกัดซึ่งต่ำกว่าค่าความเข้มข้นของ D2EHPA เท่ากับ 7 vol.% เพียงเล็กน้อย แต่มีความหนืดที่ต่ำกว่า และมีแนวโน้มของการเลือกผ่านที่ดีกว่าแม้จะไม่มากนัก ส่วนผลของความเข้มข้นของ SPAN 80 ที่สันนิษฐานว่าเกิดความผิดพลาดจากการเจือจาง สามารถทดลองเพื่อยืนยันสมมติฐานได้ในการทดลองชุดที่ 4

การทดลองชุดที่ 3

จากตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก ก. พบว่าไอออนโคบอลต์สามารถจับตัวกับบัพเฟอร์ซึ่งในที่นี้ คือ โซเดียมอะซิเตตและกรดอะซิติก ที่ค่า pH มากกว่า 6 ดังผลในการทดลองชุดที่ 4 จึงได้ศึกษาค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนให้อยู่ในช่วง 3 ถึง 6 เพื่อไม่ให้เกิดการตกตะกอนของไอออนโคบอลต์เกิดขึ้น

การทดลองชุดที่ 4

จากกราฟรูปที่ 5.21 ถึง 5.26 พบว่าเมื่อค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนเพิ่มขึ้น มีผลให้เปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีแรงขับเคลื่อนให้เกิดการสกัดเพิ่มขึ้นนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนทั้ง 2 ชนิดไม่ได้นับบอกถึงค่าความสามารถในการเลือกผ่าน ทั้งนี้การพิจารณาค่าความสามารถในการเลือกผ่านในที่นี้จะใช้เกณฑ์ที่เวลาในช่วง 30 วินาที ถึง 1 นาที เนื่องจากในการสกัดแยก ระบบใช้เวลา



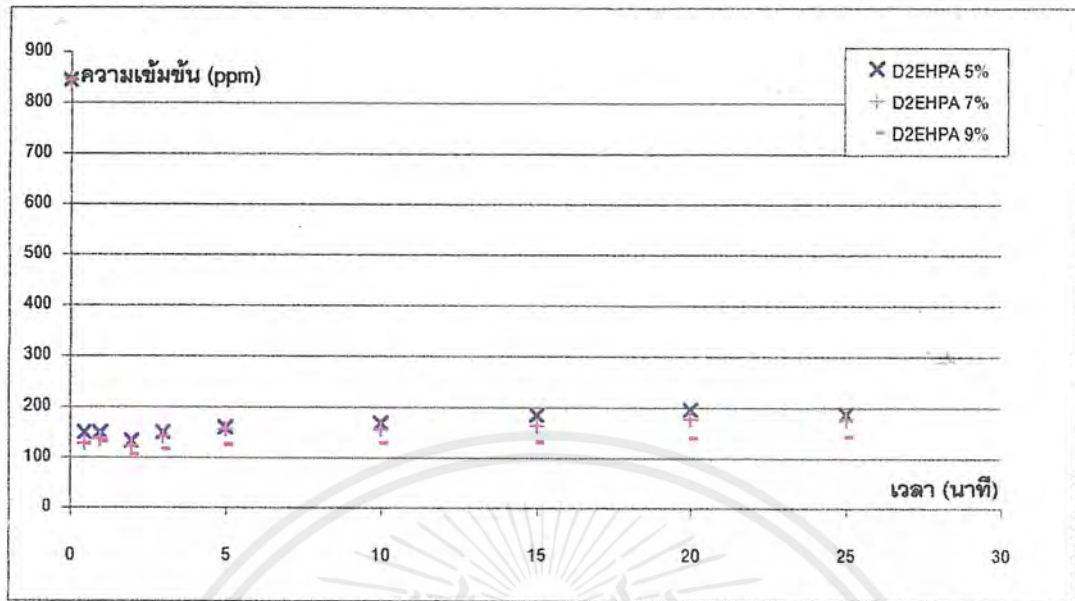
รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือนิสารป้อนเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 844 ppm
 pH 4.79 AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



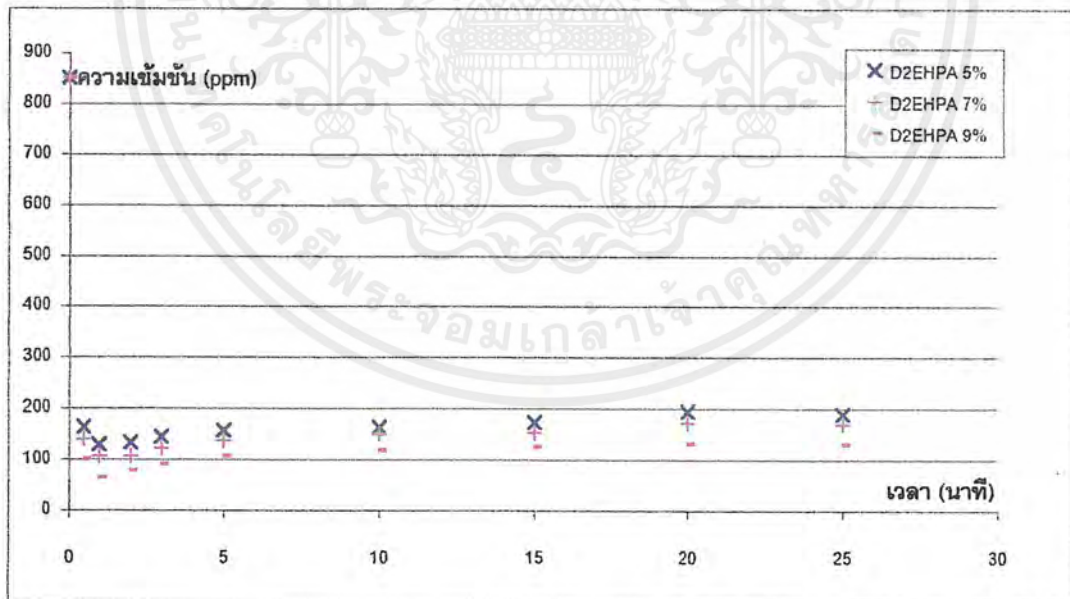
รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือนิสารป้อนเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 844 ppm
 pH 4.79 AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



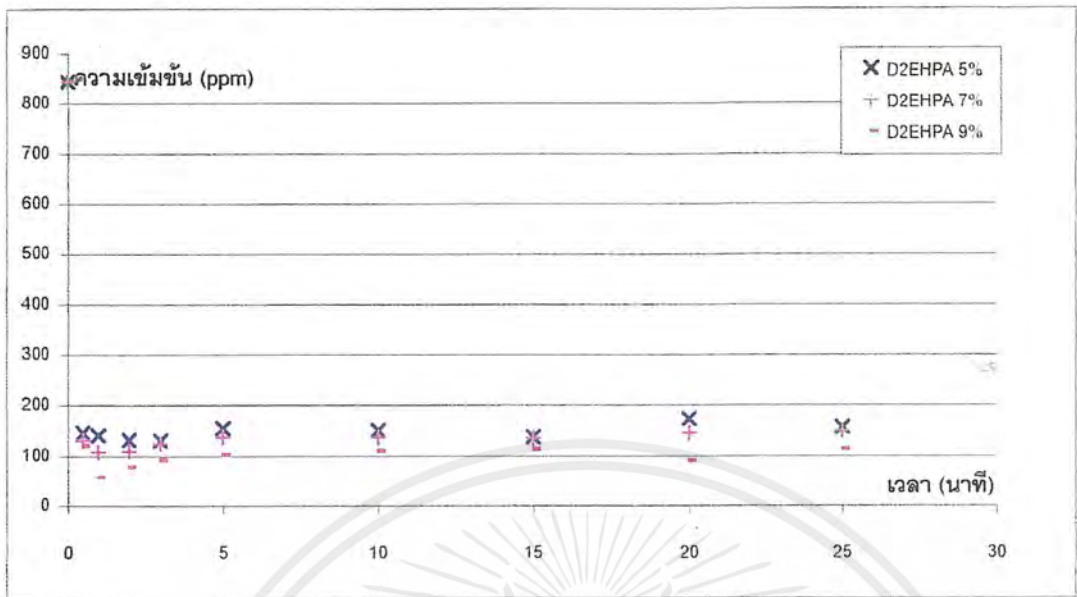
รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน
เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA

SPAN 80 10 vol.% EPS 18,500 rpm $[Co]_0$ 844 ppm
pH 4.79 AS 400 rpm $[Ni]_0$ 850 ppm



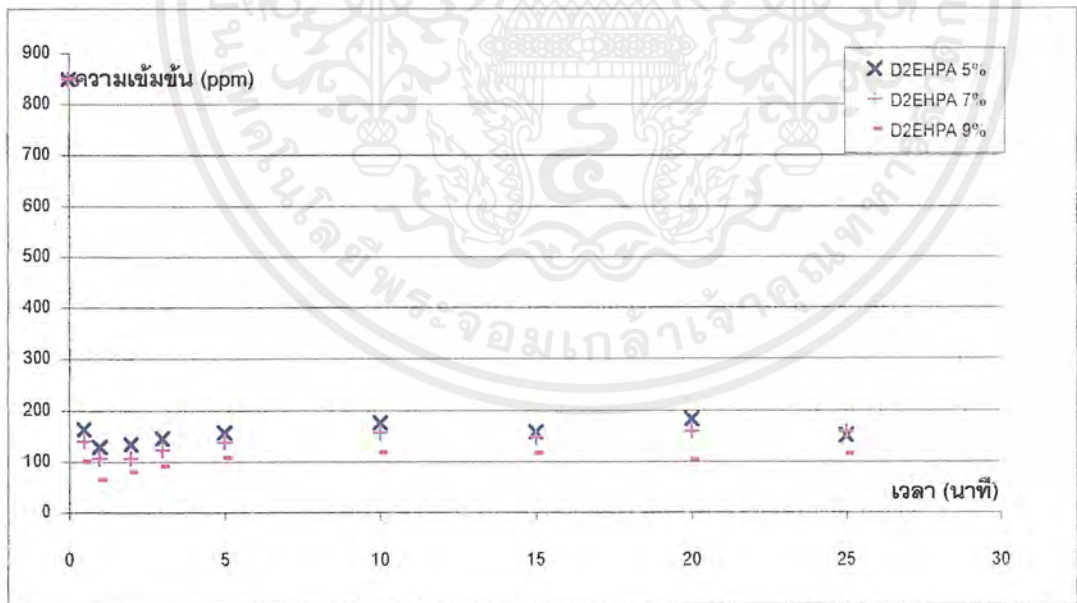
รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน
เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA

SPAN 80 10 vol.% EPS 18,500 rpm $[Co]_0$ 844 ppm
pH 4.79 AS 400 rpm $[Ni]_0$ 850 ppm



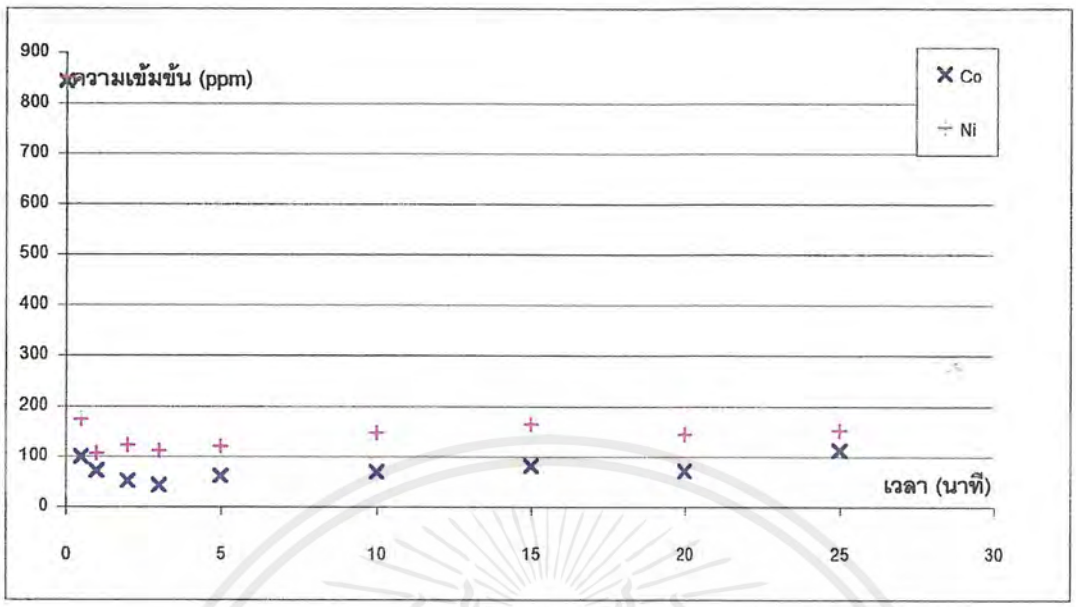
รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA

SPAN 80 12 vol.% EPS 18.500 rpm [Co]₀ 844 ppm
 pH 4.79 AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



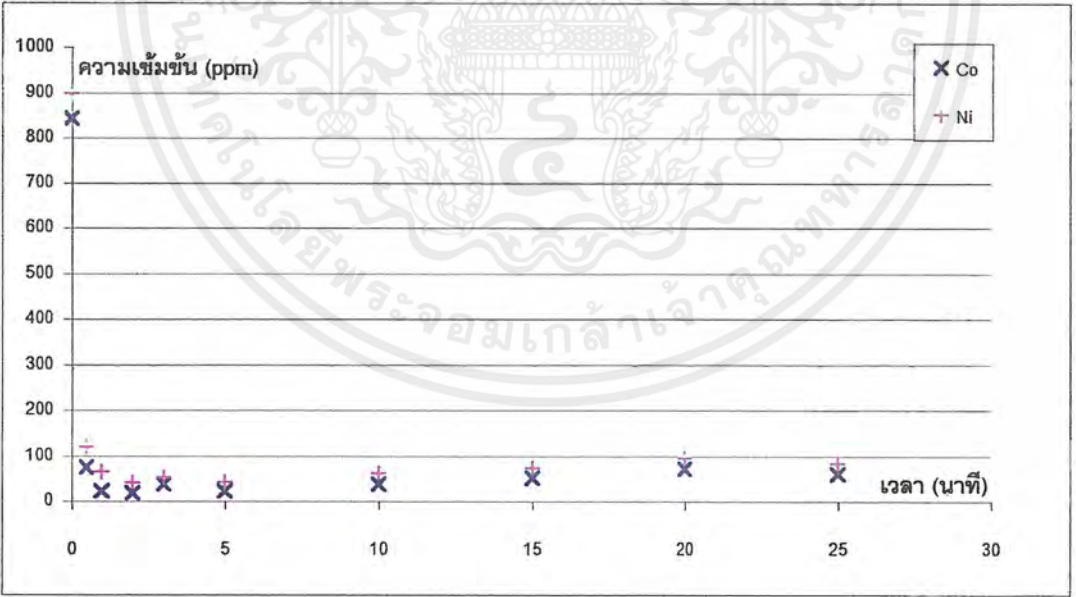
รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ D2EHPA

SPAN 80 12 vol.% EPS 18.500 rpm [Co]₀ 844 ppm
 pH 4.79 AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือนิสารป้อน

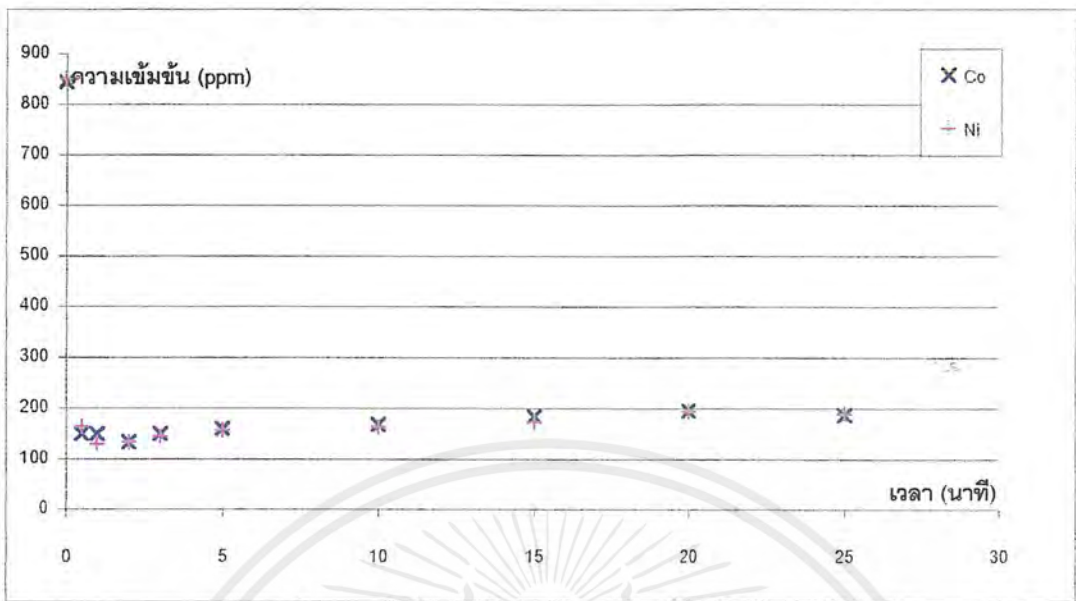
SPAN 80	8 vol.%	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	844 ppm		
pH	4.79	D2EHPA	5 vol.%	AS	400 rpm	[Ni] ₀	850 ppm



รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือนิสารป้อน

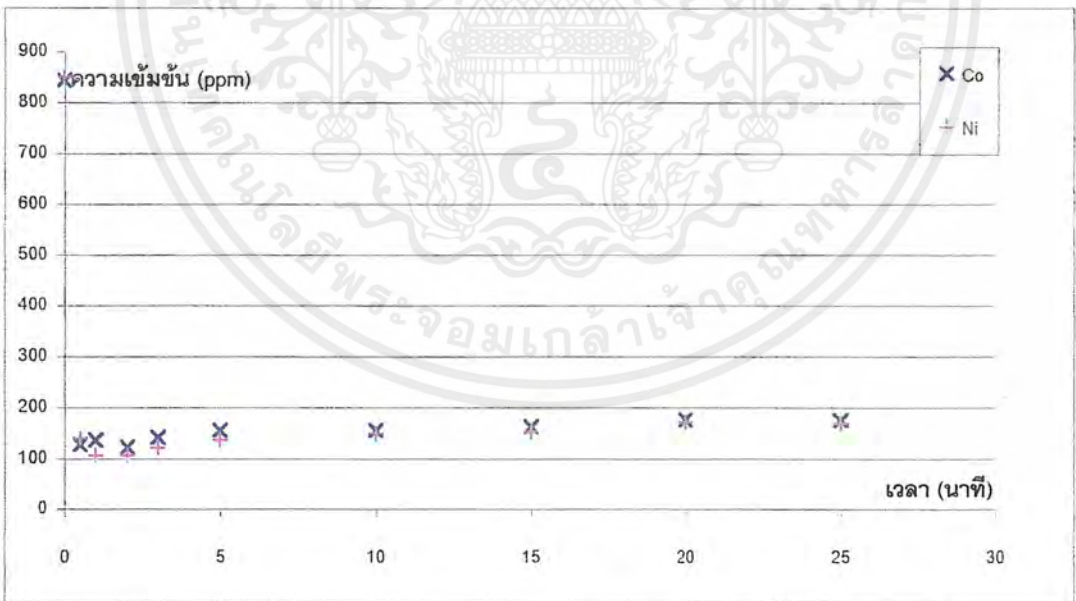
SPAN 80	8 vol.%	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	844 ppm		
pH	4.79	D2EHPA	7 vol.%	AS	400 rpm	[Ni] ₀	850 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



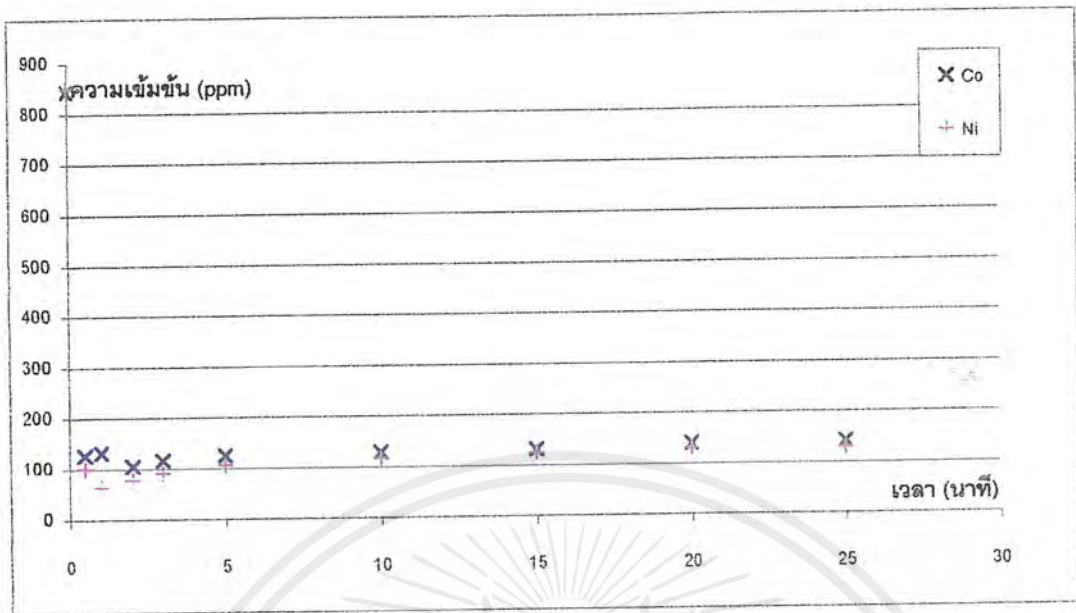
รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 10 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 844 ppm
 pH 4.79 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



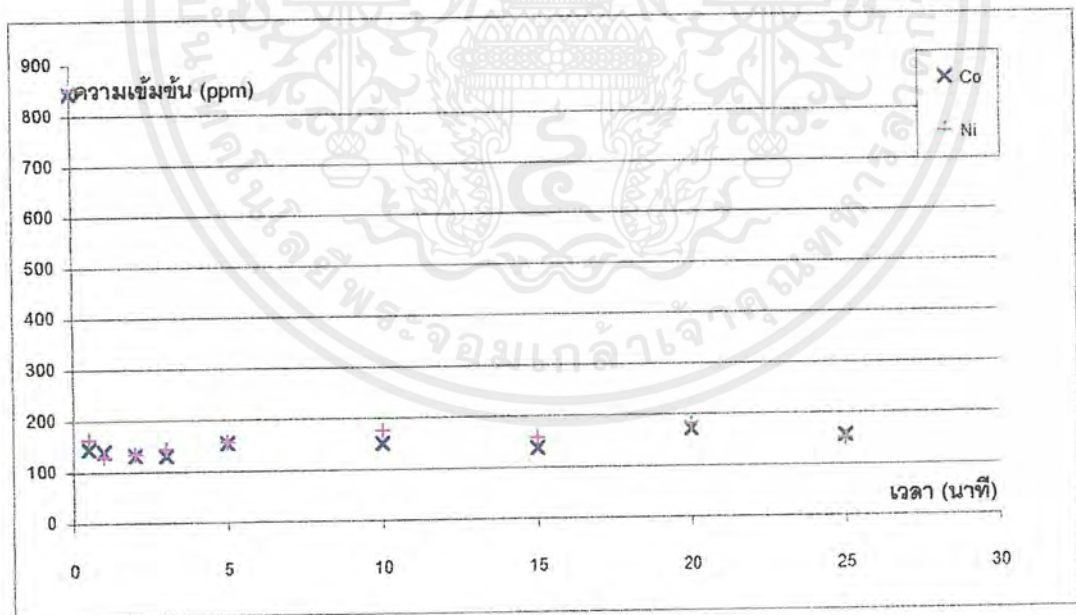
รูปที่ 5.12 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 10 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 844 ppm
 pH 4.79 D2EHPA 7 vol.% AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



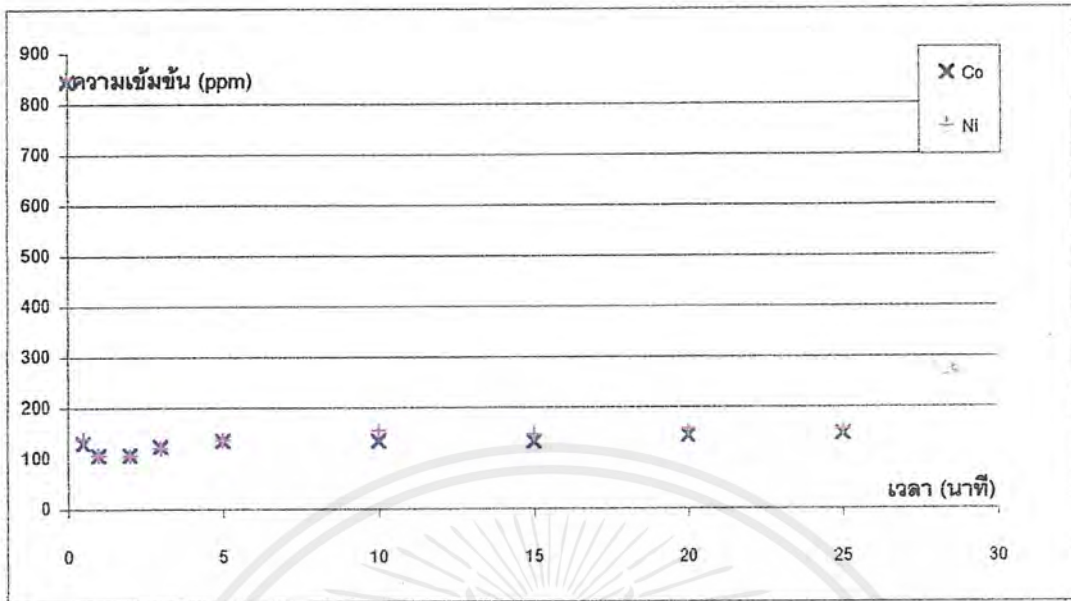
รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

	SPAN 80	10 vol.%	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	844 ppm	
pH	4.79	D2EHPA	9 vol.%	AS	400 rpm	[Ni] ₀	850 ppm



รูปที่ 5.14 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

	SPAN 80	12 vol.%	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	844 ppm	
pH	4.79	D2EHPA	5 vol.%	AS	400 rpm	[Ni] ₀	850 ppm



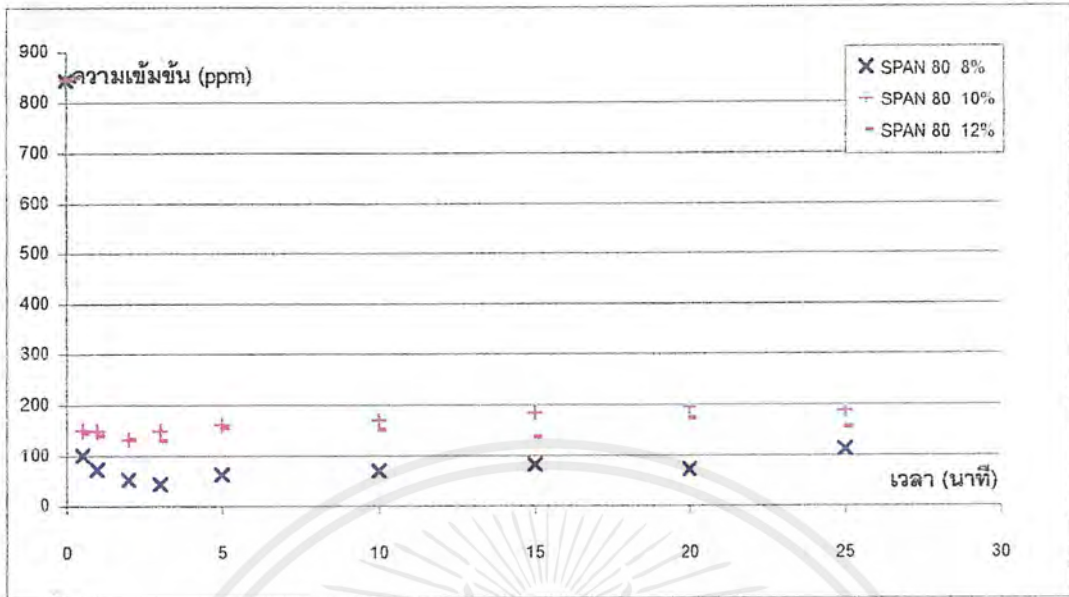
รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80	12 vol.%	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	844 ppm		
pH	4.79	D2EHPA	7 vol.%	AS	400 rpm	[Ni] ₀	850 ppm



รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80	12 vol.%	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	844 ppm		
pH	4.79	D2EHPA	9 vol.%	AS	400 rpm	[Ni] ₀	850 ppm



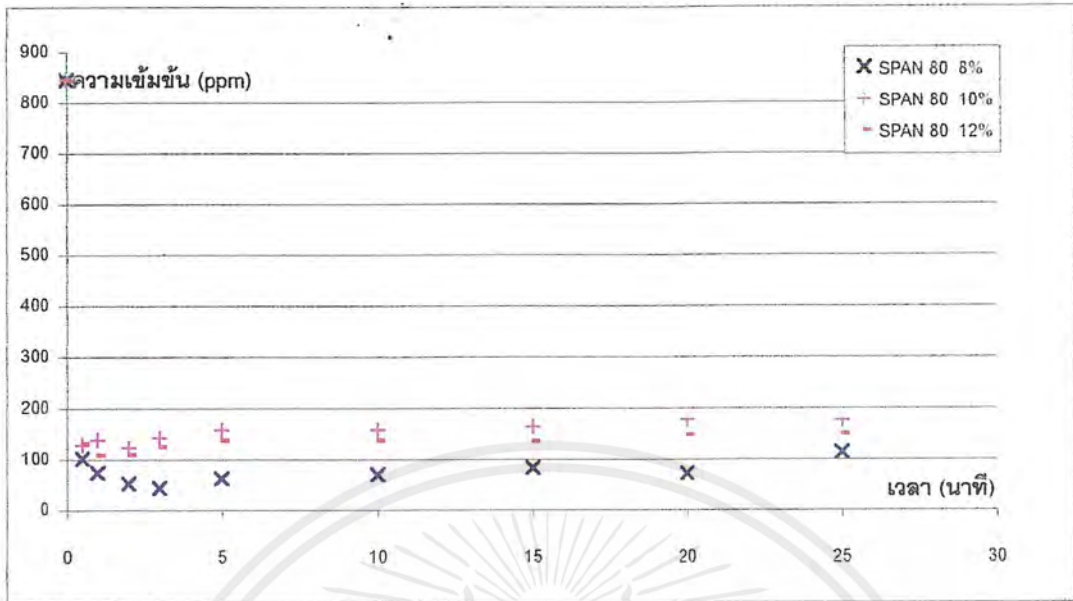
รูปที่ 5.17 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80

pH 4.79 D2EHPA 5 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 844 ppm
AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



รูปที่ 5.18 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80

pH 4.79 D2EHPA 5 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 844 ppm
AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80

pH 4.79 D2EHPA 7 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 844 ppm
AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80

pH 4.79 D2EHPA 7 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 844 ppm
AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm

ไม่ถึง 2 นาที และในช่วง 2 นาทีแรกแนวโน้มของการเลือกผ่านไอออนโคบอลต์จะดีกว่าไอออนนิกเกิล ซึ่งหากใช้เวลานานกว่านี้ นอกจากค่าความสามารถในการเลือกผ่านจะลดลงแล้ว เเปอร์เซ็นต์ในการสกัดยังเพิ่มสูงขึ้นไม่มาก อีกทั้งอิมัลชันยังสามารถแตกได้จากการปั่นกวนเวลานานอีกด้วย

จากการทดลองเมื่อพลอตกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลกับช่วง pH ที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ 5.27 ถึง 5.29 พบว่าที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 สูง ๆ นั้น เเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของการสกัดจะแสดงได้ไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากความเข้มข้นของ SPAN 80 ที่เพิ่มนั้นจะเพิ่มค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลของไอออนโลหะทั้ง 2 ชนิด ทำให้ค่าการเลือกผ่านเห็นได้ไม่ชัดเจน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการทดลองชุดที่ค่าความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% และ 12 vol.% แต่จากกราฟยังพอจะเห็นแนวโน้มว่าการสกัดแยกจะเกิดขึ้นได้ดีที่ค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนประมาณ 4.00 ถึง 4.50 แต่หากต้องการเห็นผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น สามารถพิจารณาค่าได้จากชุดการทดลองที่ค่าความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% ซึ่งพบว่าที่ค่า pH มากกว่า 4.80 จะให้เปอร์เซ็นต์การสกัดที่ดี แต่ก็ไม่สามารถจะแยกไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลได้ดีเนื่องจากที่ค่า pH สูง ๆ การสกัดไอออนนิกเกิลจะเกิดขึ้นได้ดีกว่าไอออนโคบอลต์ดังแสดงแนวโน้มได้จากกราฟรูปที่ 5.30 ซึ่ง Ohtsuka และคณะได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ แต่หากพิจารณาที่ค่า pH ในช่วง 4.00 ถึง 4.80 พบว่าค่า pH ในช่วงนี้จะให้ค่าความสามารถในการเลือกผ่านได้ดีกว่า แม้เปอร์เซ็นต์การสกัดจะมีค่าน้อยกว่าค่า pH ที่มากกว่า 4.80 เพียงเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับการทดลองชุดที่ใช้ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% และ 12 vol.% ด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากพิจารณาจากการทดลองทั้งหมดพบว่าชุดการทดลองที่ให้ผลดี เมื่อพิจารณาทั้งในแง่ของการเลือกผ่านและเปอร์เซ็นต์การสกัด คือชุดที่ใช้ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% และค่า pH ในช่วง 4.0 ถึง 4.80

จากรูปข้างต้น หากพิจารณาในแง่ของความเข้มข้นของ SPAN 80 ที่มีผลต่อการสกัดซึ่งทำต่อจากการทดลองที่ชุด 2 จะพบว่าจากกราฟรูปที่ 5.28 และ 5.29 เมื่อลองลากกราฟที่ค่า pH เท่ากับ 4.79 ซึ่งเท่ากับค่า pH ที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2 พบว่าเปอร์เซ็นต์การสกัดที่อ่าน

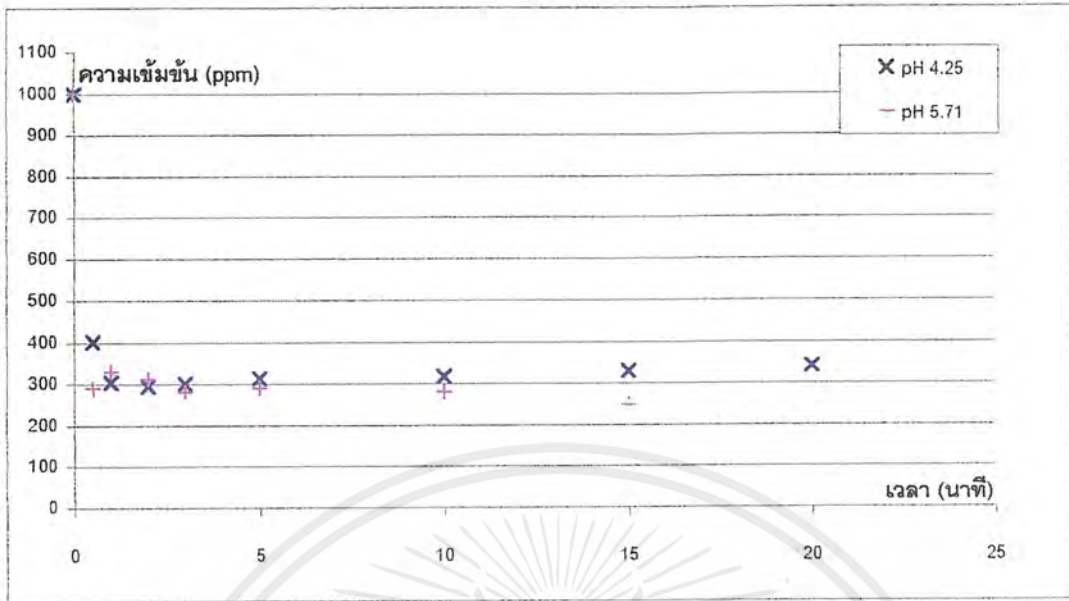
ค่าได้ของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลชุดที่ความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% โดยปริมาตรของเยื่อแผ่นจะมีค่ามากกว่าที่ 12 vol.% โดยปริมาตรของเยื่อแผ่น และหากพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดที่ค่า pH อื่นๆ ก็พบว่าแนวโน้มเช่นเดียวกันกับที่ค่า pH เท่ากับ 4.79 ดังนั้นจึงได้ข้อสรุปที่ชัดเจนว่า เมื่อความเข้มข้นของ SPAN 80 เพิ่มขึ้นจะทำให้ความต้านทานการถ่ายเทมวลมากขึ้น จึงเป็นผลทำให้เปอร์เซ็นต์ในการสกัดลดลง และในที่นี้เมื่อพิจารณาในแง่ของความเสถียรของอิมัลชัน ความต้านทานการถ่ายเทมวล และค่าการเลือกผ่านแล้ว ความเข้มข้นของ SPAN 80 ที่เหมาะสมกับการสกัดแยกจึงเท่ากับ 8 vol.%

การทดลองที่ 5

จากกราฟรูปที่ 5.33 และ 5.34 พบว่าความเร็วรอบของการปั่นกวนไม่มีผลต่อการเลือกผ่านหรือเปอร์เซ็นต์ในการสกัดมากนัก แต่จากการทดลองพบว่าความเร็วรอบในการปั่นกวนที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล คือ 800 รอบต่อนาที เนื่องจากความเร็วรอบในการปั่นกวนที่สูงกว่านี้ ทำให้ระบบอิมัลชันไม่เสถียร ซึ่งสังเกตได้จากผลการทดลองที่ความเร็วรอบเท่ากับ 950 และ 1,000 รอบต่อนาที แต่ที่ความเร็วรอบต่ำกว่านี้ จะทำให้การกระจายตัวของอิมัลชันยังไม่ดีเท่าที่ควร และจากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวนสูงๆ เมื่อเวลามากกว่า 10 นาทีอิมัลชันจะเกิดการแตกและกลับเฟสเป็นเนื้อเดียวกับสารป้อน จึงไม่สามารถทำการทดลองต่อได้ ดังแสดงในผลการทดลองชุดที่ 5 และจากกราฟรูปที่ 5.34 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนนิกเกิลของการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที ต่ำที่สุด ซึ่งทำให้ในการทดลองนี้มีความสามารถในการเลือกสูงสุด จึงเหมาะสมสำหรับการสกัดแยก

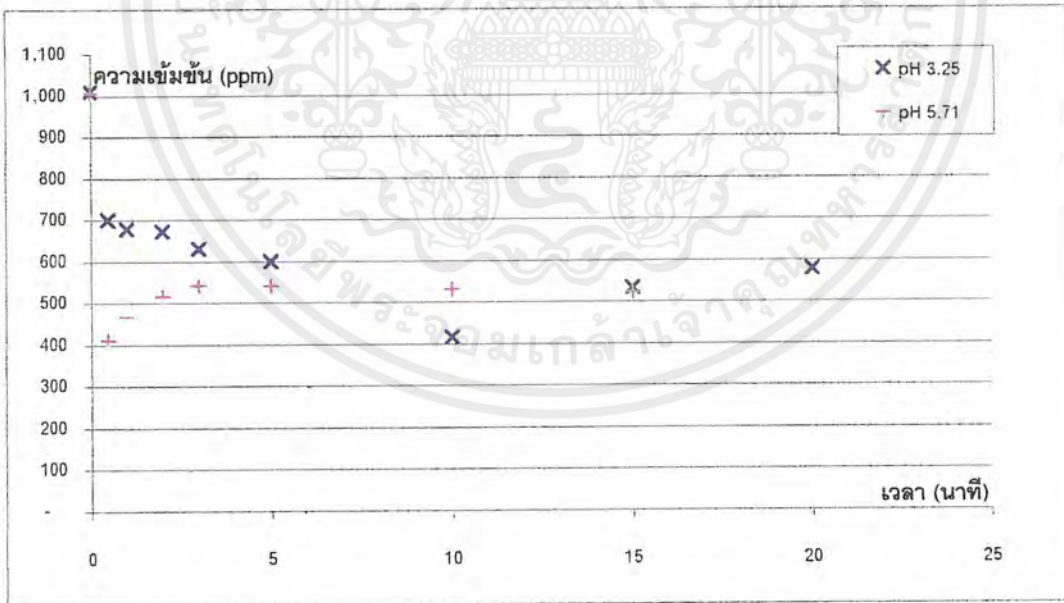
การทดลองที่ 6

จากกราฟรูปที่ 5.35 และ 5.36 พบว่าความเร็วรอบในการเตรียมอิมัลชันที่สูงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การสกัดของทั้งไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลสูงขึ้น เนื่องจากยิ่งใช้ความเร็ว



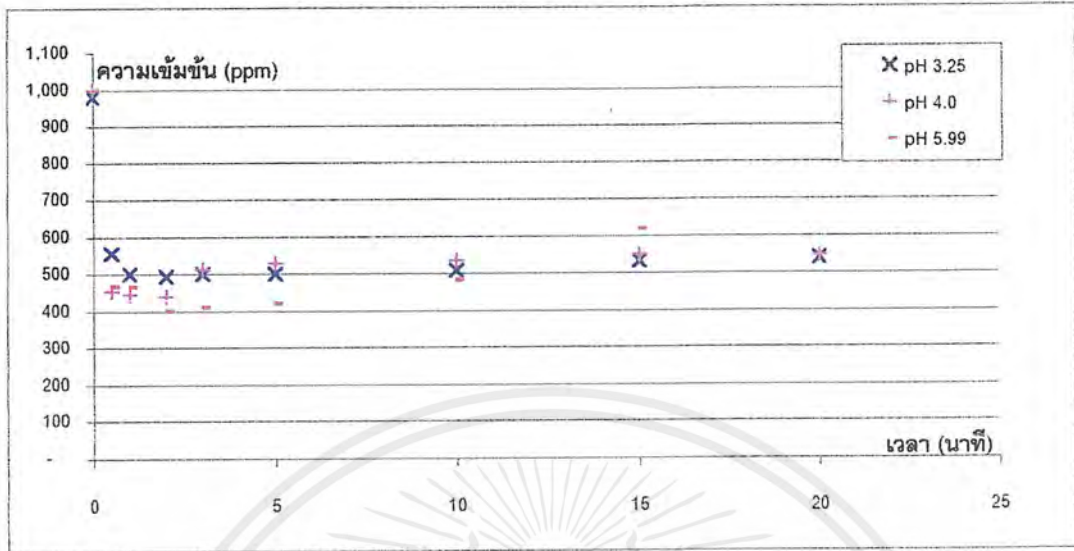
รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อนเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm
 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm



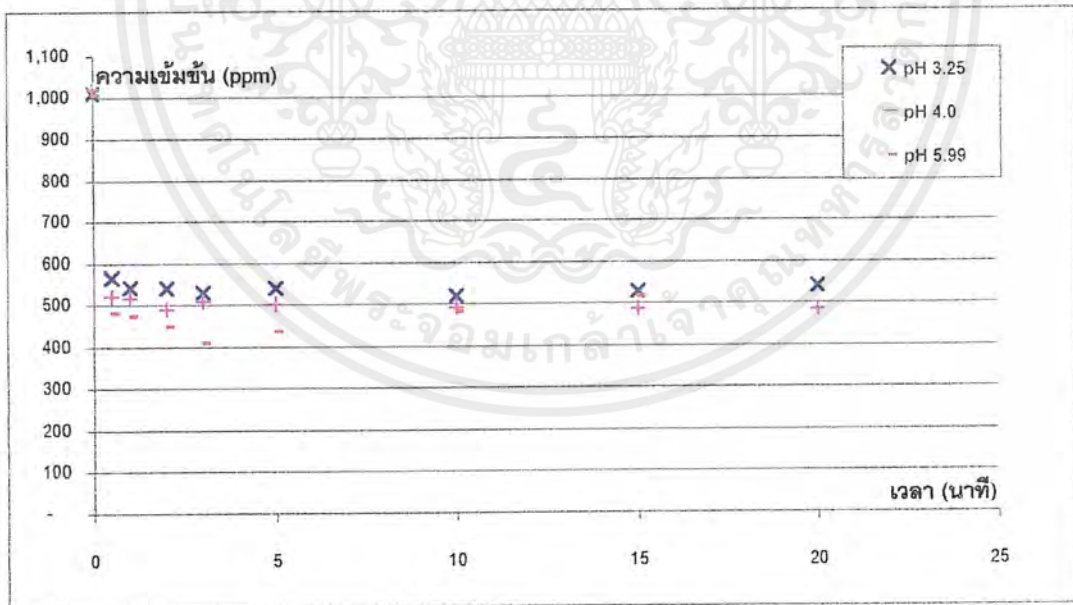
รูปที่ 5.22 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อนเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm
 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm



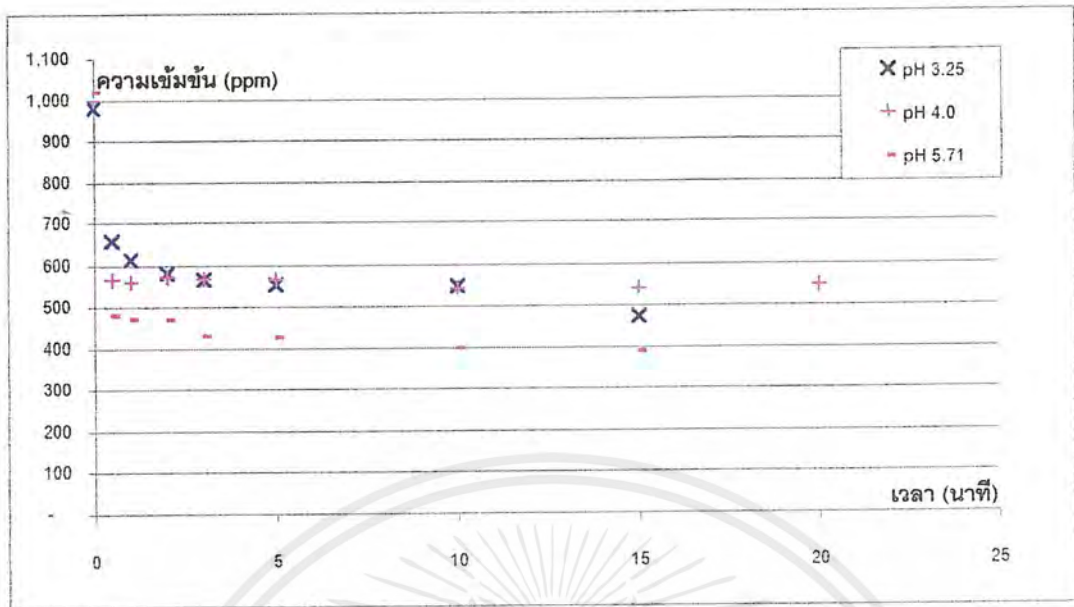
รูปที่ 5.23 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไลออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH

SPAN 80 10 vol.% EPS 18,500 rpm
 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm



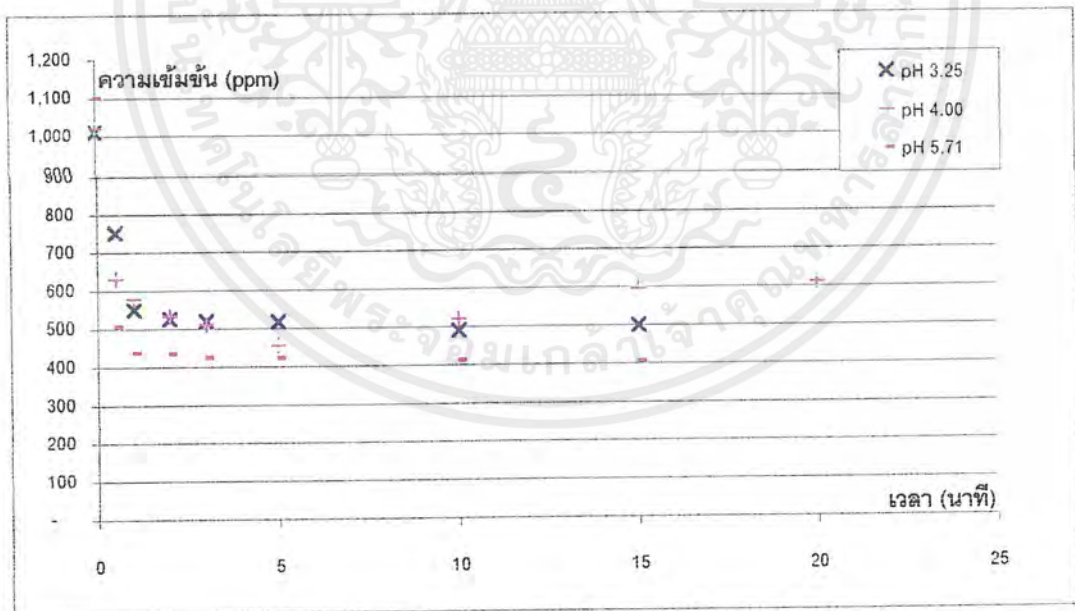
รูปที่ 5.24 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไลออนนิเกิลที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH

SPAN 80 10 vol.% EPS 18,500 rpm
 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm



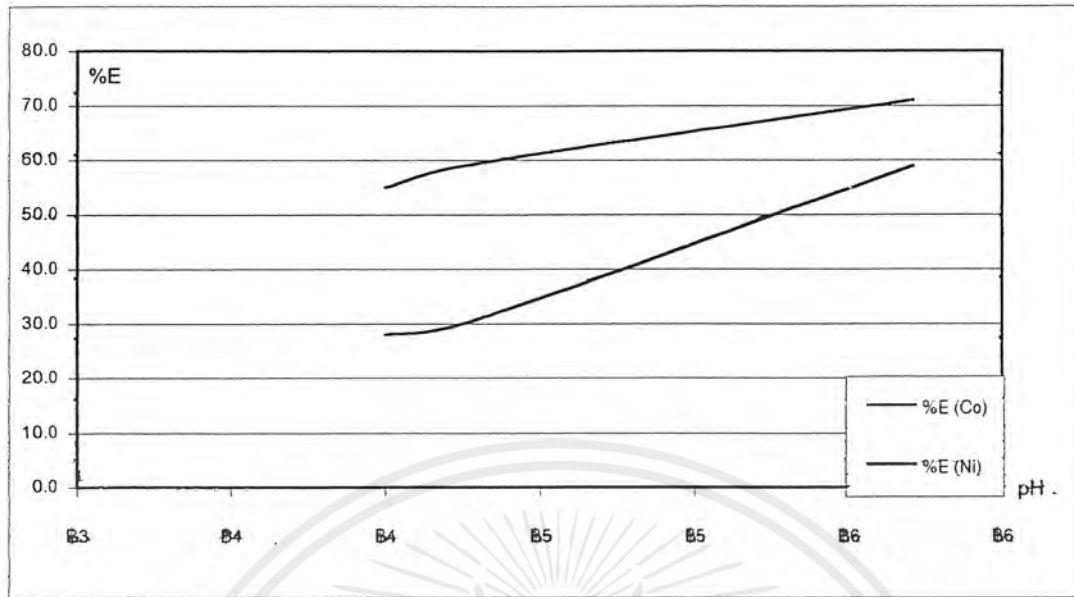
รูปที่ 5.25 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อนเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH

SPAN 80 12 vol.% EPS 18.500 rpm
 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm



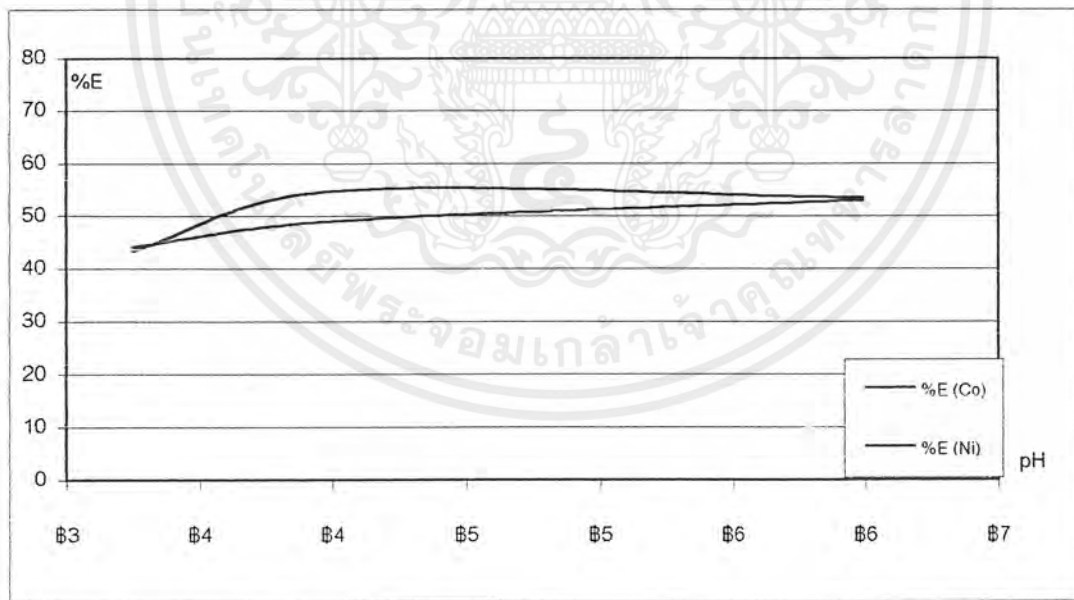
รูปที่ 5.26 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อนเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH

SPAN 80 12 vol.% EPS 18.500 rpm
 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm



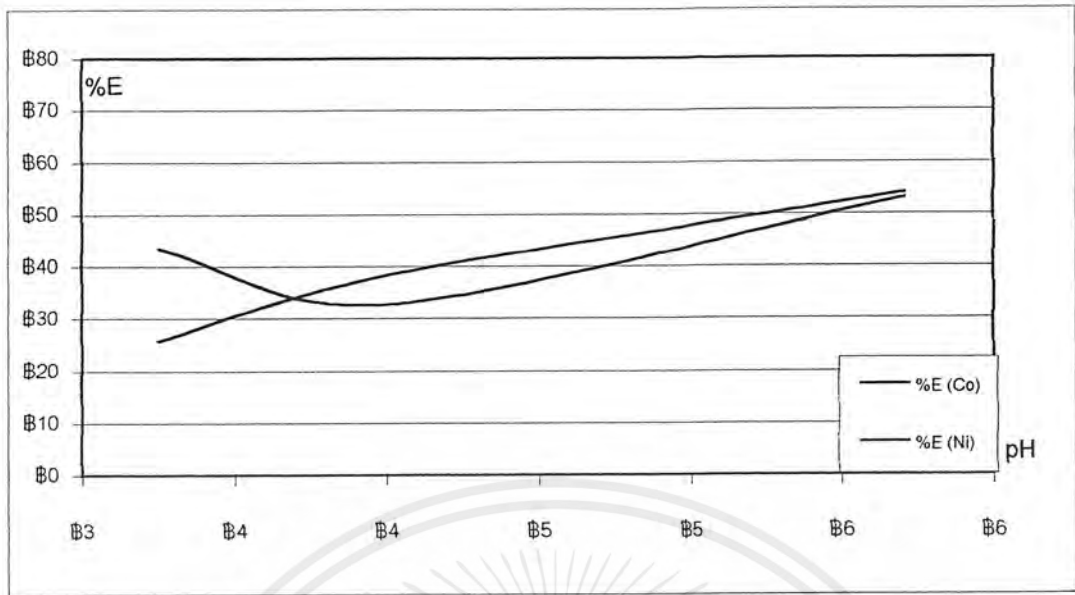
รูปที่ 5.27 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์กับไอออนนิกเกิลที่เหลือนในสารป้อน ณ เวลา 30 วินาที เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm
 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm



รูปที่ 5.28 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์กับไอออนนิกเกิลที่เหลือนในสารป้อน ณ เวลา 30 วินาที เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH

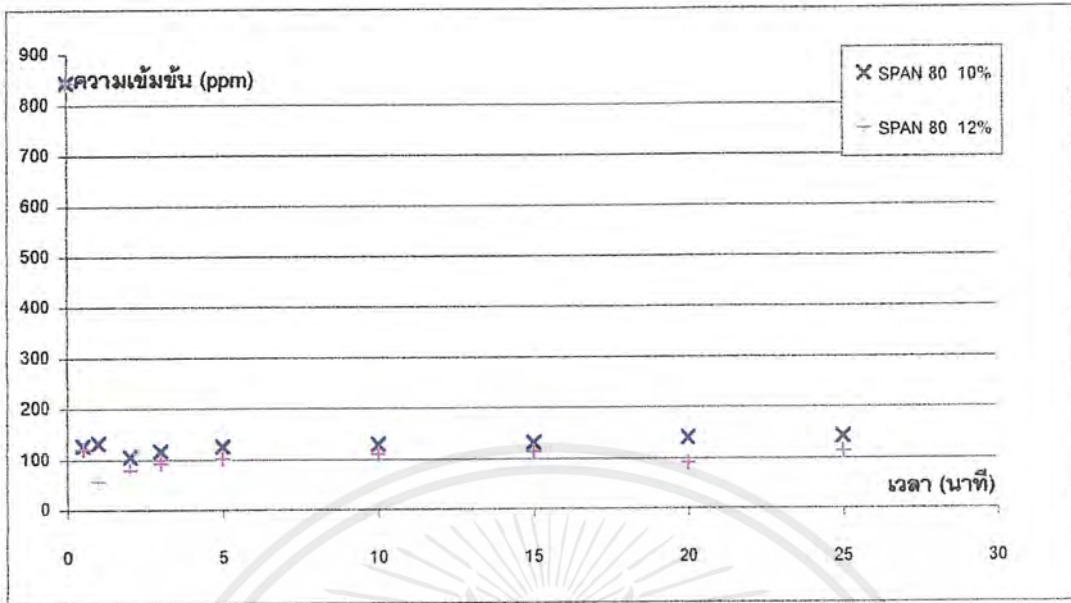
SPAN 80 10 vol.% EPS 18,500 rpm
 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm



รูปที่ 5.29 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์กับไอออนนิกเกิลที่เหลือนิสารป้อน ณ เวลา 30 วินาที เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH

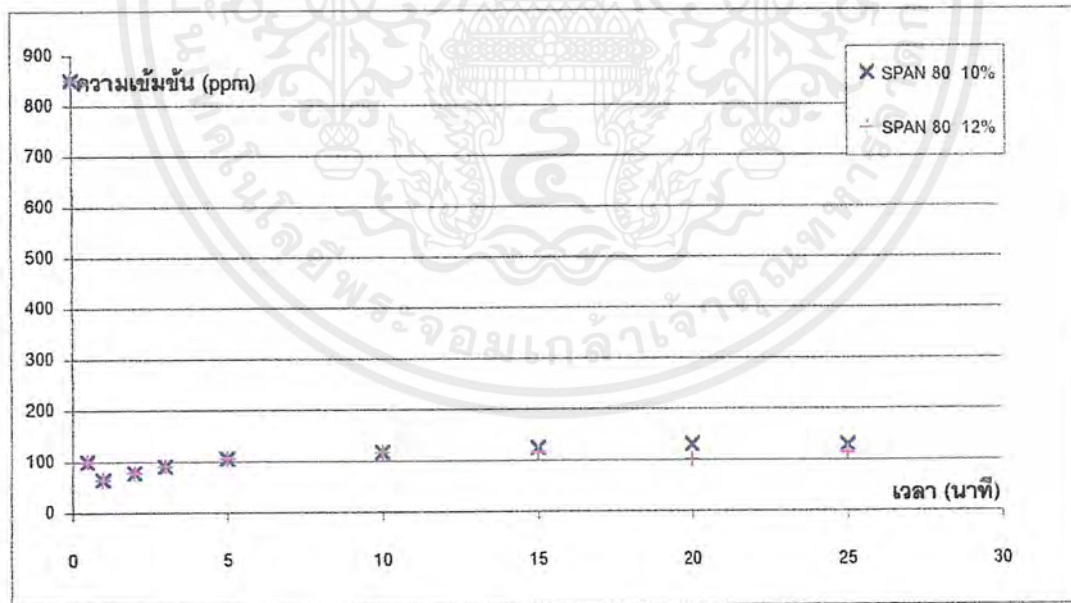
SPAN 80	12 vol. %	EPS	18,500 rpm
D2EHPA	5 vol. %	AS	400 rpm

รูปที่ 5.30 กราฟแนวโน้มของการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิลเมื่อค่า pH สูงขึ้น โดยใช้ D2EHPA เป็นสารสกัด [Ohtsuka, 1990]



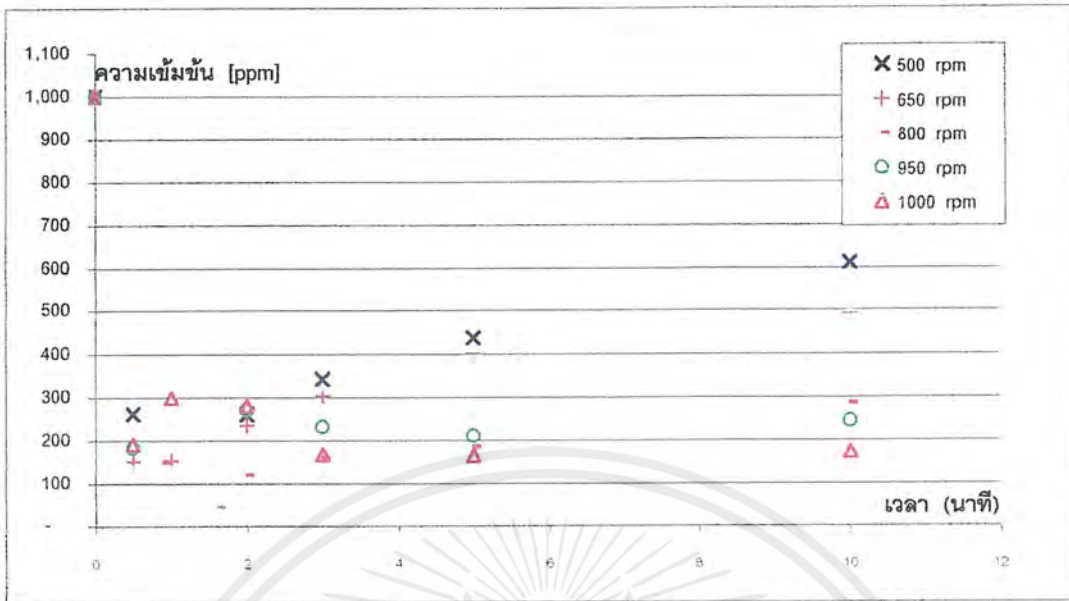
รูปที่ 5.31 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80

pH 4.79 D2EHPA 9 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 844 ppm
AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



รูปที่ 5.32 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ SPAN 80

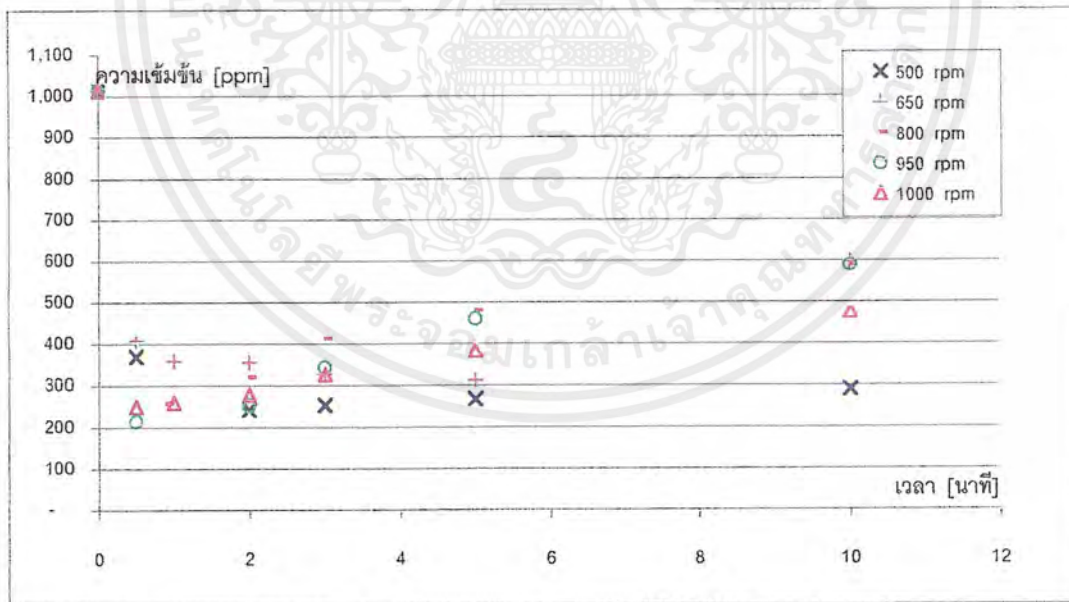
pH 4.79 D2EHPA 9 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 844 ppm
AS 400 rpm [Ni]₀ 850 ppm



รูปที่ 5.33 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการปั่นกวน

SPAN 80 8 vol.% EPS 18.500 rpm

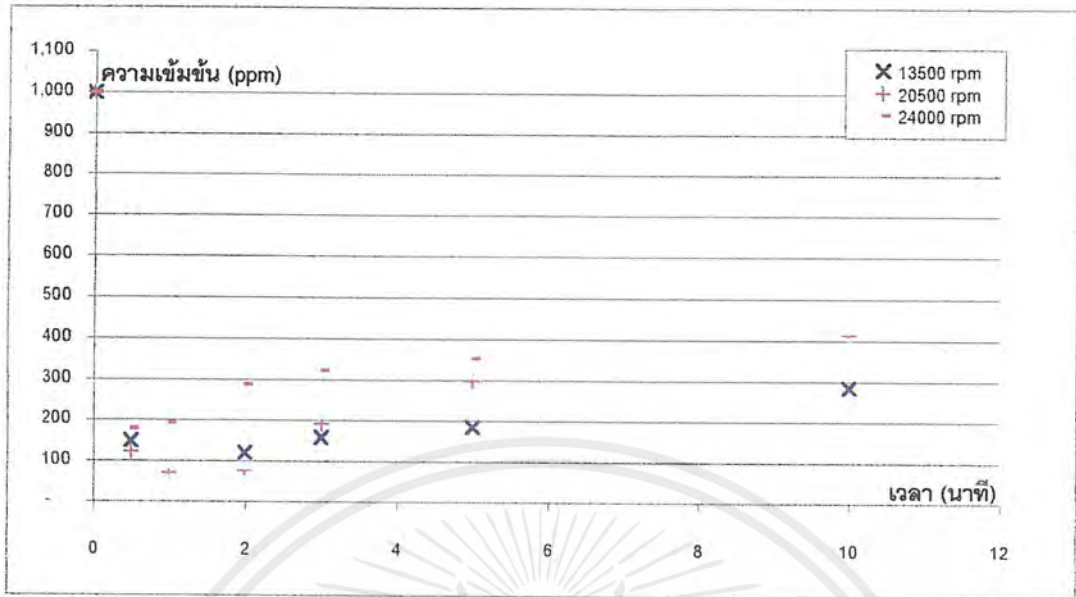
pH 4.7 D2EHPA 5 vol.%



รูปที่ 5.34 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการปั่นกวน

SPAN 80 10 vol.% EPS 18.500 rpm

pH 4.77 D2EHPA 5 vol.%



รูปที่ 5.35 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์ที่เหลือในสารป้อน
เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการเตรียมอิมัลชัน

SPAN 80 8 vol.%

pH 4.62 D2EHPA 5 vol. % AS 800 rpm



รูปที่ 5.36 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน
เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการเตรียมอิมัลชัน

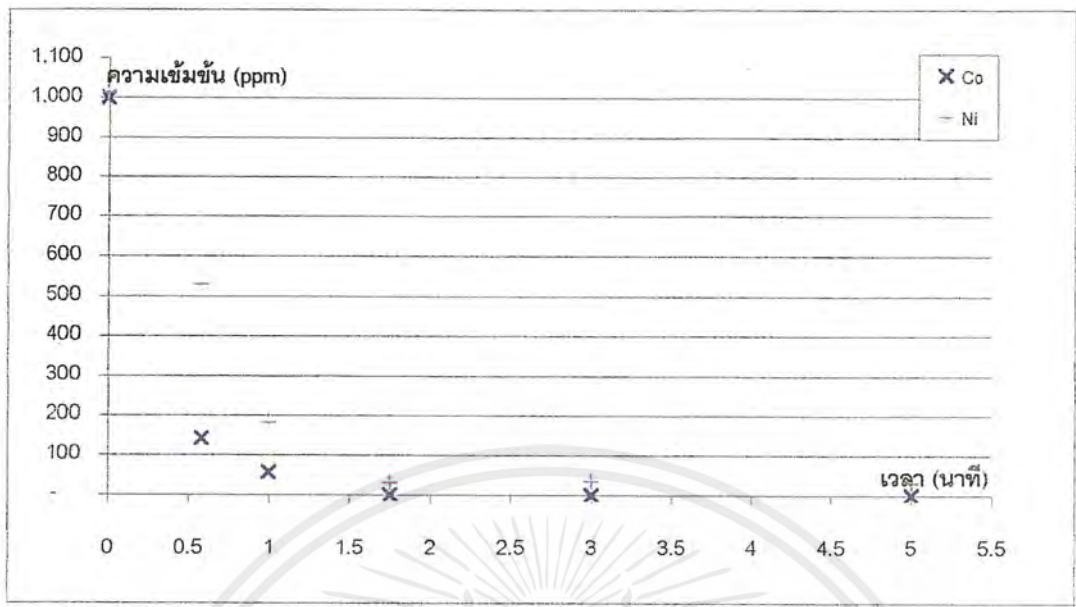
SPAN 80 8 vol.%

pH 4.62 D2EHPA 5 vol. % AS 800 rpm

รอบสูงในการเตรียมอิมัลชัน หยอดของสารละลายสไตรีนก็จะมียิ่งเล็ก ทำให้พื้นที่ในการสกัดเพิ่มสูงขึ้น แต่หากความเร็วรอบสูงเกินไป จะทำให้หยดอิมัลชันมีขนาดเล็กและบางมาก ดังนั้นหากเกิดการรวมน้ำ อิมัลชันก็สามารถแตกได้ง่าย ซึ่งสามารถดูได้จากผลการทดลองชุดที่ 6 ดังนั้นค่าความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชันที่เหมาะสมทั้งค่าความสามารถในการเลือก และเปอร์เซ็นต์การสกัดของทั้งไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล คือ 20,500 รอบต่อนาที

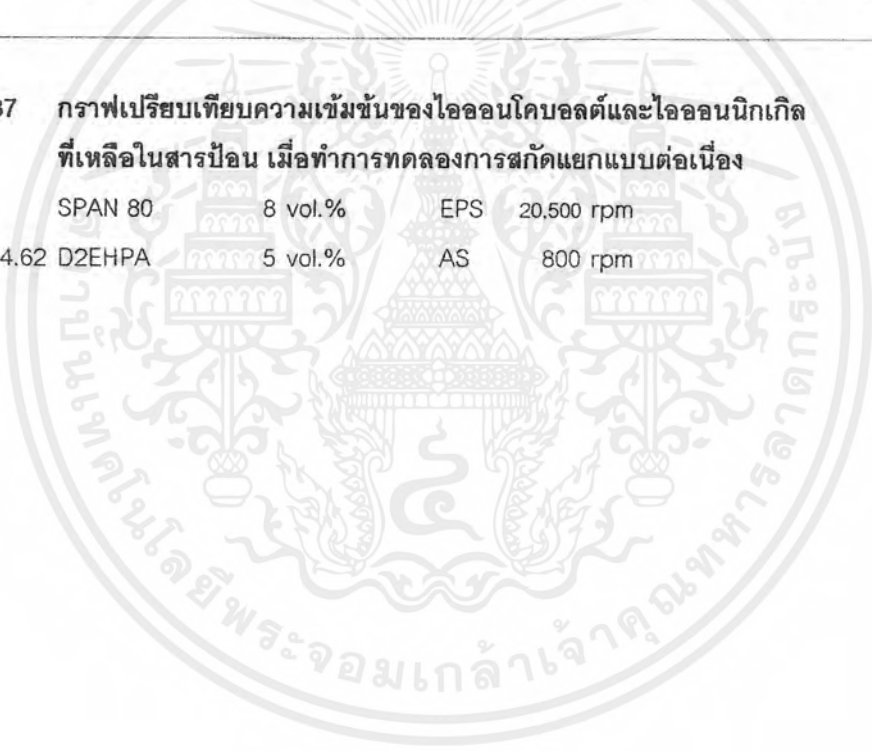
การทดลองที่ 7

จากการทดลองที่ 7 เป็นการทดลองเพื่อจะพยายามเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด โดยนำหลักการของการสกัดแบบอนุกรม (Extraction in series) มาใช้ แต่จากกราฟรูปที่ 5.37 ซึ่งแสดงผลการสกัดแบบอนุกรมจะเห็นว่า แม้จะเพิ่มช่วงการแยกไอออนโคบอลต์จากไอออนนิกเกิลให้มากขึ้นได้ แต่ค่าความสามารถในการเลือกผ่านในเวลา 30 วินาที ผลที่ได้นั้นไม่แตกต่างจากการสกัดครั้งเดียวมากนัก ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลจากการทิ้งให้อิมัลชันแยกตัวกับสารป้อนนั้นต้องใช้เวลาประมาณ 1 นาทีแล้วจึงแยกสารป้อนไปสกัดในขั้นต่อไปได้ แต่ในระหว่างระยะเวลา 1 นาทีที่รอการดึงกลับตัวอย่างสมบูรณ์นั้น ปฏิบัติการสกัดและการดึงกลับยังเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นค่าความสามารถในการเลือกผ่านจึงตกลงและมีค่าความสามารถในการเลือกผ่านไม่เท่ากับค่าจริง ๆ ที่ต้องการ ณ เวลา 30 วินาที จึงทำให้การสกัดแบบอนุกรมเพื่อแยกไอออนทั้งสองออกจากกันไม่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ



รูปที่ 5.37 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน เมื่อทำการทดลองการสกัดแยกแบบต่อเนื่อง

SPAN 80 8 vol.% EPS 20,500 rpm
 pH 4.62 D2EHPA 5 vol.% AS 800 rpm



บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังนี้

6.1.1 ตามทฤษฎีความเข้มข้นของ SPAN 80 ที่เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลสูงขึ้น และเปอร์เซ็นต์ในการสกัดจะลดลง เพราะสารลดแรงตึงผิวจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างผิวสัมผัสของเฟสเยื่อแผ่นและสารป้อน จึงทำให้เกิดอิมัลชันได้ ดังนั้น เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นสูง สารลดแรงตึงผิวจะรวมตัวชิดกันยิ่งขึ้น ซึ่งแม้จะทำให้อิมัลชันมีความเสถียรเพิ่มขึ้น แต่ก็เป็นตัวกั้นการถ่ายเทมวลให้เกิดยากขึ้นเช่นกัน ซึ่งจากการทดลองเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการสกัดแยก พบว่าเป็นจริงตามทฤษฎีที่กล่าวมา แต่ในการทดลองเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมที่สุดในการสกัด พบว่าที่ความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA เท่ากับ 5 vol.% และ 7 vol.% เมื่อเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว SPAN 80 เป็น 8 vol.% 10 vol.% และ 12 vol.% แนวโน้มในการสกัดแยกไม่เป็นไปตามทฤษฎี โดยที่ค่าความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 8 vol.% จะให้เปอร์เซ็นต์การสกัดดีที่สุด และความเข้มข้นของ SPAN 80 เท่ากับ 10 vol.% และ 12 vol.% ให้เปอร์เซ็นต์การสกัดรองลงมาจาก SPAN 80 8%

6.1.2 เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การสกัดจะเพิ่มขึ้น เพราะความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นทำให้สารสกัดจับกับไอออนโลหะได้มากขึ้น และส่งผลต่อค่าการเลือกในระบบสกัดแยกที่ใช้เกลืออะซิเตตเป็นบัฟเฟอร์ ที่มีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ

สารสกัดแม้จะไม่มากนักก็ตาม เนื่องจากในการทดลองโคบอลต์สามารถจับตัวกับเกลืออะซิเตตได้อีกทั้งไม่สามารถควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการสกัดแยกได้

6.1.3 เมื่อค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนมีค่าสูงขึ้น จะทำให้แรงขับเคลื่อนในการดึงกลับมากขึ้น แต่ในทางกลับกันจะทำให้ค่าความสามารถในการเลือกต่ำลง เนื่องจากที่ค่า pH สูง ๆ นิกเกิลจะสามารถจับกับสารสกัดได้ดีขึ้น ดังนั้นค่าความสามารถในการเลือกจึงต่ำลง [Ohtsuko,1990]

6.1.4 เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นกววนและการเตรียมอิมัลชัน มีผลให้เปอร์เซ็นต์การสกัดสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ความเร็วรอบไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการเลือกผ่าน เพราะความเร็วรอบที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ขนาดหยดของอิมัลชันหรือขนาดหยดของสารละลายสไตริปเล็กลง จึงให้พื้นที่ผิวในการสกัดมากขึ้น ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ในการสกัดจึงเพิ่มขึ้นด้วย

6.1.5 ค่าที่เหมาะสมในการดำเนินการสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิลตามขอบเขตในการทดลองครั้งนี้ เมื่อใช้ D2EHPA เป็นสารสกัดและใช้ SPAN 80 เป็นสารลดแรงตึงผิวคือ

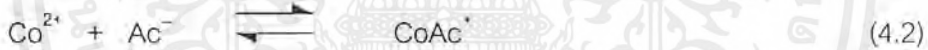
- SPAN 80 เท่ากับ 8%
- D2EHPA เท่ากับ 5%
- ค่า pH ในช่วง 4.0 ถึง 5.0
- ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกววนเท่ากับ 800 รอบต่อนาที
- ความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชันเท่ากับ 20,500 รอบต่อนาที

จากการทดลองพบว่าแม้จะเปลี่ยนแปลงค่าในการดำเนินงานมากเพียงใด ค่า Separation factor ซึ่งในที่นี้นิยามว่า เปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์ต่อเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนนิกเกิล ก็ไม่สามารถมีค่าเกิน 2 ได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าที่ต่ำมาก และไม่เหมาะสมกับการดึงกลับเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลเนื่องมาจาก

1) การทดลองนี้ทำในอุณหภูมิห้อง ซึ่งไม่มีการควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการสกัด ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้วมีแนวโน้มว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปฏิกิริยาการสกัดและการดึงกลับจะเกิดได้ดีขึ้น [Fujimoto, 1980] ทำให้ผลการทดลองที่วัด ได้แกว่งและไม่สม่ำเสมอ จึงยากแก่การวิเคราะห์ผล

2) ไอออนโคบอลต์สามารถจับตัวกับไอออนของเกลืออะซิเตต และแพร่ผ่านเข้าไปในเยื่อแผ่น จากนั้นจึงรวมตัวอีกครั้งกับ D2EHPA [Danesi, P.R.; et al. 1984] ดังสมการที่ 4.1 ถึง 4.4 ซึ่งนอกจากจะทำให้บัฟเฟอร์ไม่สามารถควบคุมค่า pH และทำให้ค่า Separation factor ต่ำลงแล้ว (สังเกตได้จากค่า pH ที่วัดจากการทดลองซึ่งตกลงอย่างรวดเร็วมาก โดยเฉพาะในการสกัดช่วงแรก ๆ) ยังเพิ่มโอกาสที่ D2EHPA จะจับกับไอออนนิกเกิลได้อีกด้วย ทำให้ค่า Separation factor ต่ำลงอย่างมากอีกด้วย

2.1) ปฏิกิริยาการรวมตัวของโคบอลต์และเกลืออะซิเตต



2.2) ปฏิกิริยาการแพร่ผ่านเข้าไปในชั้นเยื่อแผ่นของสารเชิงซ้อน



3) เมื่อไอออนโคบอลต์ถูกสกัดด้วยสารสกัดแล้ว สารสกัดจะปล่อยไฮโดรเนียมไอออน ออกสู่สารป้อนในปริมาณ 2 เท่าของไอออนโคบอลต์ที่ถูกสกัดได้ ทำให้ค่า pH ตกลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นความสามารถในการเลือกจึงต่ำมาก เพราะระบบบัฟเฟอร์ไม่สามารถใช้ได้ ซึ่งโดยทั่วไปหากต้องการคุมค่า pH ให้แม่นยำอยู่ที่ค่าหนึ่งจะการใช้การไตเตรท ในการสกัดแบบธรรมดา และระบบเยื่อแผ่นของเหลวแบบมีชั้นรองรับสามารถให้วิธีการนี้ได้ เนื่องจากมีเวลาในการสกัด นานจึงสามารถการใช้การไตเตรทเพื่อการควบคุมค่า pH ได้ แต่จากการทดลองพบว่ามีวนอกระบบ

อิมัลชันไม่สามารถจุ่มขั้วอิเล็กโทรดลงไปในระบบได้ เนื่องจากอิมัลชันซึ่งเป็นสารละลายอินทรีย์ จะเกาะที่ผิวหน้าของขั้วอิเล็กโทรด ทำให้ไม่สามารถวัดค่า pH ได้ อีกทั้งเวลาในการสกัดแยกยัง รวดเร็วมาก ดังนั้นในเวลา 1 นาทีแรกแม้จะสามารถอ่านค่า pH ได้ก็ตาม แต่การไทเทรตเพื่อ ให้ได้ค่า pH คงที่ นั้นไม่สามารถทำได้

4) D2EHPA มีความสามารถในการเลือกจับกับไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลต่ำ มาก ดังนั้นในการสกัดหากต้องการดึงกลับไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล ควรใช้สาร สกัดที่มีค่าความสามารถในการเลือกผ่านสูงกว่า D2EHPA เช่น EHPNA [Ohtsuka, 1990] แต่สารพวกนี้มักมีราคาแพงกว่า D2EHPA มาก ดังนั้นอาจจะพัฒนาระบบการสกัดต่อโดยใช้ D2EHPA ผสมกับสารสกัดที่ราคาสูงกว่าแต่มีค่าความสามารถในการเลือกผ่านที่ดีกว่า D2EHPA เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การสกัดที่ไม่ต้องสูงมากนัก แต่คุ้มกับการลงทุนเพื่อการพัฒนากระบวนการสกัดแยก ไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิลต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะต่าง ๆ สำหรับแนวทางการศึกษาระบบนี้ต่อไปมีดังนี้

6.2.1 ควรพัฒนาระบบการสกัดโดยใช้ D2EHPA และสารสกัดที่มีประสิทธิภาพสูง กว่า เช่น EHPNA เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การสกัดที่ไม่ต้องสูงมากนัก แต่คุ้มกับการลงทุนเพื่อการพัฒนาในการสกัดแยกไอออนทั้งสองชนิดนี้ และวิธีนี้คาดว่าจะมีความเป็นไปได้สูงเนื่องจากมีผู้ ทดลองได้ลองใช้กับการสกัดแบบธรรมดามาแล้วและให้ผลดีพอสมควร [Ohtsuka, 1990] ดังนั้น หากนำมาใช้ในกระบวนการเยื่อแผ่นของเหลวแบบอิมัลชัน น่าจะทำให้ประสิทธิภาพในการสกัด แยกสูงขึ้น

6.2.2 ควรใช้ระบบบัฟเฟอร์ร่วมกับการไตเตรทโดยการใช้ขั้วอิเล็กโทรดในการวัด pH ซึ่งอิมัลชันไม่สามารถรบกวนค่าวัดได้ เพราะน่าจะทำให้การควบคุมค่า pH มีประสิทธิภาพมากขึ้น และควรเลือกใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่ไม่จับตัวกับไอออนที่ต้องการสกัด เช่น หากต้องการ

สกัดไอออนโคบอลต์ก็ควรใช้ Succinate และ Succinic acid ในการเตรียมบัฟเฟอร์ และควรศึกษาผลของไอออนต่าง ๆ ซึ่งปนอยู่ในสารป้อนที่ต้องการจะสกัดด้วยว่า มีผลต่อการสกัดและอิมัลชันเพียงใด

6.2.3 ควรศึกษาการแตกอิมัลชันโดยการประยุกต์แรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูง เนื่องจากโดยทั่วไปการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัดนั้น จะสมมติว่าไม่มีไอออนของโลหะเหลือค้างอยู่ในชั้นเยื่อแผ่น แต่ในความเป็นจริงไอออนโลหะอาจตกค้างในชั้นเยื่อแผ่นได้ ดังนั้นหากสามารถแตกอิมัลชันเพื่อวัดปริมาณไอออนของโลหะในสารละลายสเตริปได้ ก็จะทำให้สามารถหาค่าปริมาณการสกัดที่แท้จริงได้ ซึ่งทฤษฎีเบื้องต้นและการออกแบบเครื่องแตกอิมัลชันโดยวิธีนี้ ได้ถูกรวบรวมไว้ในภาคผนวก ก เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นแก่ผู้สนใจจะศึกษาต่อไป



บรรณานุกรม

- Akihiro, F.; Higashi, O.; Isami M. N.; and Kazuo, N. 1980. Separation of Cobolt and Nikel by Solvent Extraction. US. Patent 4,196,076.
- Bailes, P. J.; Hanson, C.; and Hughes, M. A. 1976. Liquid-liquid Extraction: Metals Originally published.
- Boey, S. C.; Garcia, M. C.; and Tyle, D. L. 1987. Extraction of citric acid by liquid membrane extraction. Chem. Eng. Res. Des (65): 218-223.
- Braun, T. and Frag, A. B. 1978. Liquid Sandwichtransfer Extraction: Optimization and Analytical Use Analysis Chim. Acta 100: 619.
- Cahn, R. P. and Li, N. N. 1974. Separation of phenol from wastewater by the liquid membrane technique. Separation Science 9(6): 505-519.
- Chiarizia, R. and Casagnola, A. 1984. Transfer rate and separation of Fe(III), Co(II) and Ni(II) chloride species by a supported liquid membrane. Solvent Extraction and Ion Exchange 2(3): 479-506.
- Creado, H. A. and Oshima, K. Encyclopedia of Separation Techniques pp. 19-75.
- Danesi, P. R.; Reichley-Yinger, Li; Cianetti, C.; and Rickert, P. G. 1984. Separation of Cobalt and Nikel by Liquid-Liquid Extraction and Supported Liquid Membranes with D2EHPA. Solvent Extraction and Ion Exchange 2(6): 781-814.

- Danesi, P. R.; and Rickert, P. G. 1986. Some observations on the performance of hollow-fiber supported liquid membranes for Co-Ni separations. Solvent Extraction and Ion Exchange 4(1): 149-164.
- Draxler, J. and Marr, J. 1986. Emulsion liquid membranes, Part I: Phenomenon and industrial application. Chemical Engineering Process 20: 319-329.
- Draxler, J.; Fürst, W.; and Marr, R. J. 1988. Separation of metal species by emulsion liquid membranes. Journal of Membrane Science 38: 281-293.
- Drowns, H. H. and Li N. N.; 1981. Extraction of ammonia from municipal wastewater by the liquid membrane process. Journal of Separation Process Technology 2(4): 19-24
- Goto, M.; Matsumoto, M.; Kondo, K.; and Nakashio, F. 1987. Development of new surfactant membrane process. Journal of Membrane Science 57: 161-174.
- Gu, Z. M.; Wasan, D. T.; and Li, N. N. 1986. Ligand-accelerated liquid membrane extraction of metal ions. Journal of Membrane Science 26: 129-142.
- Halwachs, W.; Flascher, E.; and Schugerl, K. 1980. Liquid membrane transport - a highly selective separation processes for organic solute. Journal of Membrane Science 6: 33.
- Ho, C. S. and Cowan, R. M. 1987. Separating lactic acid from fermentation broth with liquid surfactant membranes. Paper read at the 194th ACS National Meeting, 30 August - 4 September 1987. New Orleans, LA.

- HO, W. S.; Hatton, T. A.; Lightfoot, E. N.; and Li, N. N. 1982. Batch extraction with liquid surfactant membranes: A diffusion controlled model. *AIChE Journal* 28: 662-670.
- Hsu, E. C.; Li, N. N.; and Sugal, T. 1983a. Electrodes for electrical coalescence of liquid emulsions. *U.S. Patent 4, 415, 426.*
- Hu, S. B., and Wiecek, J. M., 1998. Emulsion liquid membrane extraction of Cu using a hollow-fiber contractor. *AIChE Journal* 44(3): 571-581.
- Kenneth, H. L. 1977. Heavy Metal Removal. *Industrial Pollution Control.*
- Kitagawa, T.; Nishikawa, Y.; Frankenfeld, J. W.; and Li, N. N. 1977. Wastewater treatment by liquid membrane process. *Environmental Science and Technology* 11(6): 602-605.
- Kitakawa, T. and Nishikawa, Y. 1977. Wastewater treatment by liquid membrane process. *Journal of Environment Science and Technology* 11(6): 602-605.
- Li, N. N. and Shrier, A. L. 1972. Liquid membrane water treating. In *Recent Development in Separation Science*, Li, N.N. ed., Vol. 1, pp. 163. Boca Raton, FL.: CRC Press.
- Ma, X. S. and Shi, Y. J. 1987. Study of operating condition affecting mass transfer rate in liquid surfactant membrane process. *Separation Science and Technology* 22(2&3): 819-829.
- Marr, R. and Kopp, A. 1982. Liquid membrane technology - A Survey of phenomena, mechanisms, and models. *Feder Republic of Germany/Austria* 22(1): 45-46.

- Marr, R. J.; Bart, H. J.; and Draxler, J. 1990. Liquid membrane permeation. Chemical Engineering Process 27: 59-64.
- Ohtsuka et al. 1990. Cobalt Recovery Method. US. Patent 4,908,462.
- Qian, X. L.; Ma, X. S.; and Shi, Y. J. 1989. Removal of cyanide from wastewater with liquid membranes. Water Treatment 4: 99-111.
- Raghuraman, B.; Tirmizi, N.; and Wiencek, J. 1994. Emulsion liquid membranes for wastewater treatment: Equilibrium models for some typical metal-extractant systems. Journal of Environment Science and Technology 28: 1090-1098.
- Reusch, C. F. and Cussler, E. I. 1973. Selective membrane transport. AIChE Journal 19: 736.
- Scott, K.; and R. Hughes. 1996. Industrial Membrane Separation Technology, Blankie Academic and Professional, 258-270.
- Strzelbicki, J. 1978. Separation of cobalt by liquid surfactant membranes. Separation Science and Technology 13: 141.
- Terry, R. E.; Li, N. N.; and Ho, W. S. 1982. Extraction of phenolic compounds and organic acids by liquid membranes. Journal of Membrane Science 10: 305-323.
- Thien, M. P.; Hatton, T. A.; and Wang, D. I. C. 1986. Liquid emulsion membranes and their applications in biochemical separations. ACS Symp. Ser 314: 67-77.

- Winston, W. S. and Sirkar, K. K., et al. 1992. Emulsion liquid membrane. Membrane Handbook pp. 597-717. Chapman and Hall.
- Zhang, R. H. and Xiao, L. 1989. Design of a liquid membrane system for extracting rare earths. Water Treatment 4: 473-481.
- Zhang, R. H. and Xiao, L. 1990. Design of a liquid membrane system for extracting rare earths. Journal of Membrane Science 51(3): 249-258.
- Zhang, X. J.; Huang, P. Y.; and Chen, X. X. 1988. Chemical demulsification in liquid membrane separation. Proc. First Sino-Jap. Symp. Liq. Membr. 24-27 September 1988, Hangzhou, China, 83-85.
- Zhang, X. J.; Liu, J. H.; and Lu, T. S. 1987. Industrial applications of liquid membrane separation for phenolic wastewater treatment. Water treatment 2:127-135.
- นภาพร พานิช. 2537. การสกัดฟีนอลลาโนนและทริปโทเฟนโดยวิธีการเยื่อแผ่นเหลว. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นภกร รั่มพิพิธ. 2539. การสกัดแบบกะของไอออนโคบอลต์ในสารละลายกรดเกลือด้วยการสกัดแบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงตัวด้วยเส้นใยกลวงในห่อเดี่ยว. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนา จิระรัตนานนท์. 1998. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. พิมพ์ครั้งที่ 1. หน้า 245-268.

ภาคผนวก ก.

การทดลองชุดที่ 1

การหาเปอร์เซ็นต์ SPAN 80 ที่เหมาะสม

pH สารป้อน = 4.76

D2EHPA = 5 vol. %

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 1,000 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,013 ppm

ตารางที่ ก.1.1

SPAN 80 = 2 vol. %

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,013	0.0000	0.0000	4.76	0.0000
1	345	392	0.6550	0.6130	4.04	1.0685
2	390	423	0.6100	0.5824	3.96	1.0473
3	353	373	0.6470	0.6318	3.93	1.0241
5	323	331	0.6770	0.6732	3.91	1.0056
10	343	341	0.6570	0.6634	3.88	0.9904
15	322	331	0.6780	0.6732	3.85	1.0071
20	323	330	0.6770	0.6742	3.84	1.0041

ตารางที่ ก.1.2

SPAN 80 = 4 vol. %

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,013	0.0000	0.0000	4.76	0
1	357	421	0.6430	0.5844	4.01	1.1003
2	305	390	0.6950	0.6150	3.94	1.1301
3	362	381	0.6380	0.6239	3.92	1.0226
5	377	393	0.6230	0.6120	3.91	1.0179
10	349	340	0.6510	0.6644	3.89	0.9799
15	320	372	0.6800	0.6328	3.88	1.0746
20	352	383	0.6480	0.6219	3.87	1.0419

ตารางที่ ก.1.3

SPAN 80 = 6 vol. %

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,013	0.0000	0.0000	4.71	-
0.25	614	703	0.3860	0.3060	4.55	1.2613
0.5	542	655	0.4580	0.3534	4.45	1.2960
1	377	414	0.6230	0.5913	4.37	1.0536
2	406	413	0.5940	0.5923	4.33	1.0029
3	407	411	0.5930	0.5943	4.31	0.9979
5	386	419	0.6140	0.5864	4.3	1.0471
10	340	443	0.6600	0.5627	4.28	1.1729
20	420	440	0.5800	0.5656	4.27	1.0254
30	419	438	0.5810	0.5676	4.27	1.0236

ตารางที่ ก.1.4

SPAN 80 = 8 vol.%

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,013	0.0000	0.0000	4.71	0.0000
0.25	635	746	0.3650	0.2636	4.53	1.3848
0.5	565	688	0.4350	0.3208	4.42	1.3559
1	393	417	0.6070	0.5884	4.34	1.0317
2	409	411	0.5910	0.5943	4.31	0.9945
3	422	420	0.5780	0.5854	4.3	0.9874
5	428	423	0.5720	0.5824	4.28	0.9821
10	438	434	0.5620	0.5716	4.27	0.9833
20	439	437	0.5610	0.5686	4.26	0.9866
30	442	450	0.5580	0.5558	4.25	1.0040

ตารางที่ ก.1.5

SPAN 80 = 10 vol.%

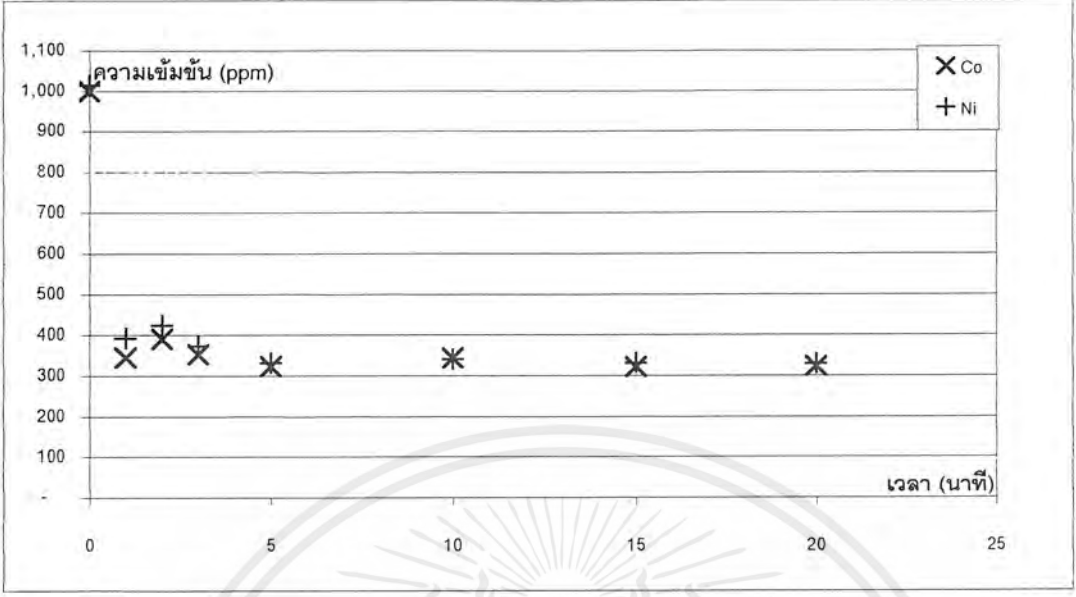
เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,013	0.0000	0.0000	4.71	0.0000
0.25	702	783	0.2980	0.2270	4.57	1.3125
0.5	596	690	0.4040	0.3189	4.42	1.2670
1	398	415	0.6020	0.5903	4.39	1.0198
2	396	413	0.6040	0.5923	4.25	1.0198
3	406	407	0.5940	0.5982	4.24	0.9929
5	415	409	0.5850	0.5962	4.21	0.9811
10	429	423	0.5710	0.5824	4.29	0.9804
20	439	438	0.5610	0.5676	4.29	0.9883
30	445	436	0.5550	0.5696	4.27	0.9744

ตารางที่ ก.1.6

SPAN 80 = 12 vol.%

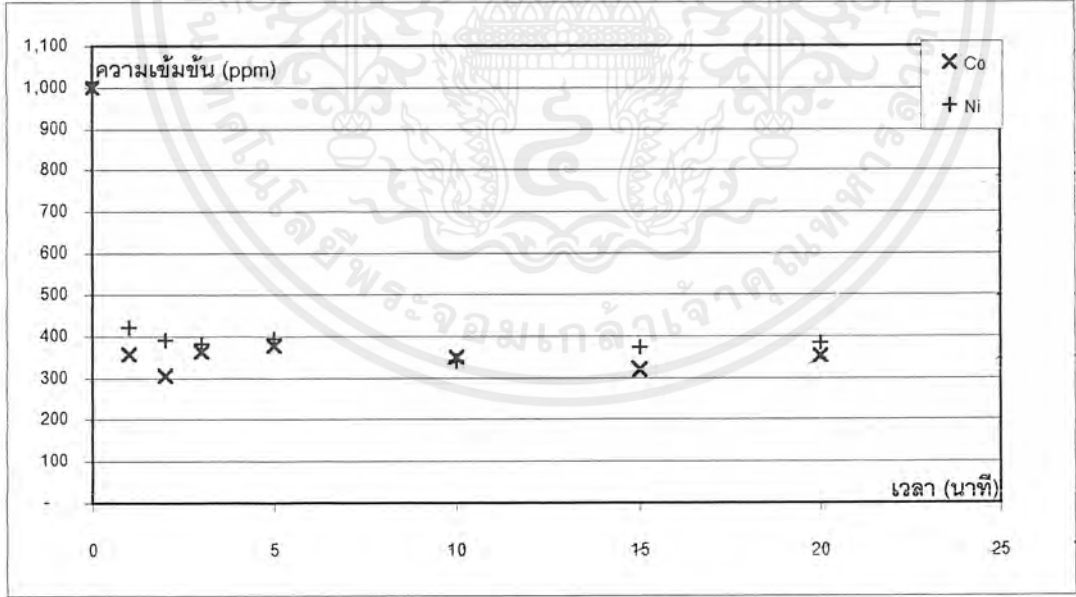
เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,013	0.0000	0.0000	4.71	0.0000
0.25	668	771	0.3320	0.2389	4.55	1.3897
0.5	610	711	0.3900	0.2981	4.45	1.3082
1	401	427	0.5990	0.5785	4.36	1.0355
2	399	430	0.6010	0.5755	4.32	1.0443
3	410	411	0.5900	0.5943	4.30	0.9928
5	414	427	0.5860	0.5785	4.29	1.0130
10	428	431	0.5720	0.5745	4.27	0.9956
20	444	437	0.5560	0.5686	4.28	0.9778
30	444	443	0.5560	0.5627	4.25	0.9881

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

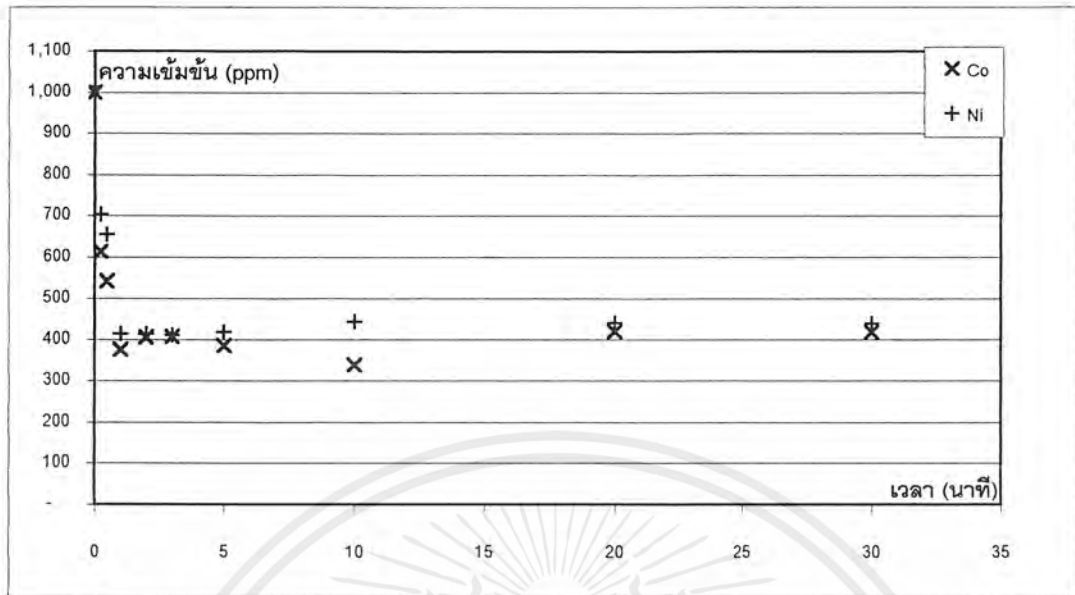
SPAN 80 2 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.76 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm [Ni]₀ 1,013 ppm



รูปที่ ก.1.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

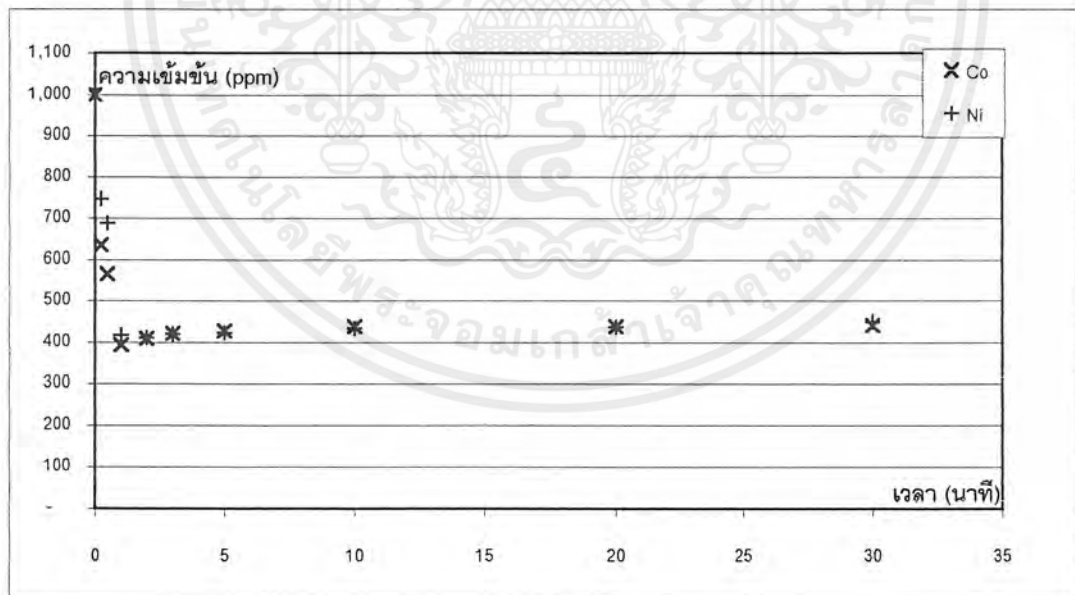
SPAN 80 4 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.76 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm [Ni]₀ 1,013 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



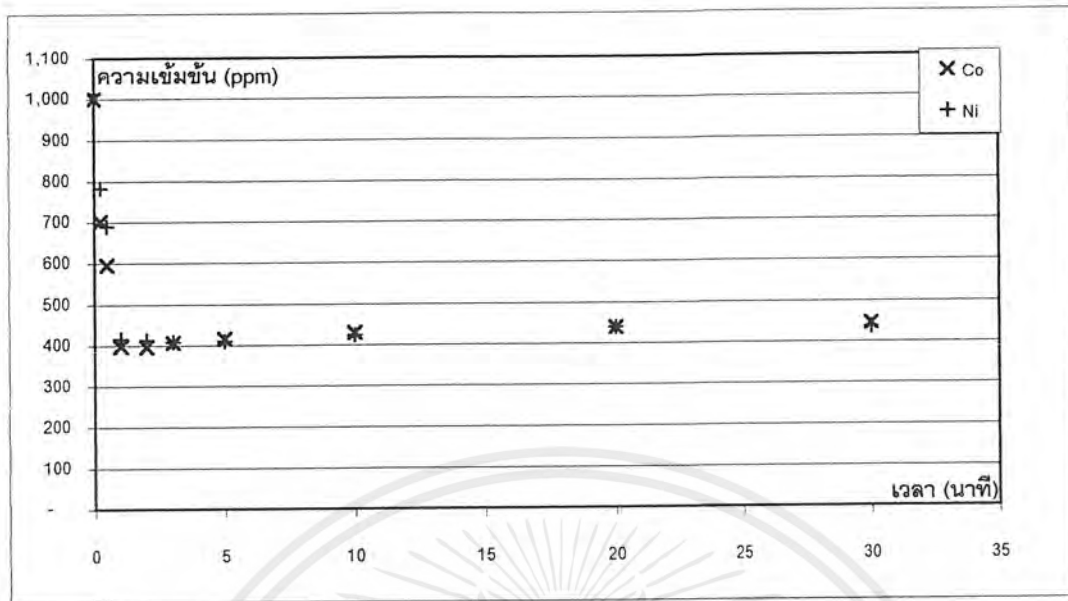
รูปที่ ก.1.3 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือนิสารป้อน

SPAN 80	6 vol. %	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	1,000 ppm
pH	4.76	D2EHPA	5 vol. %	AS	400 rpm
				[Ni] ₀	1,013 ppm



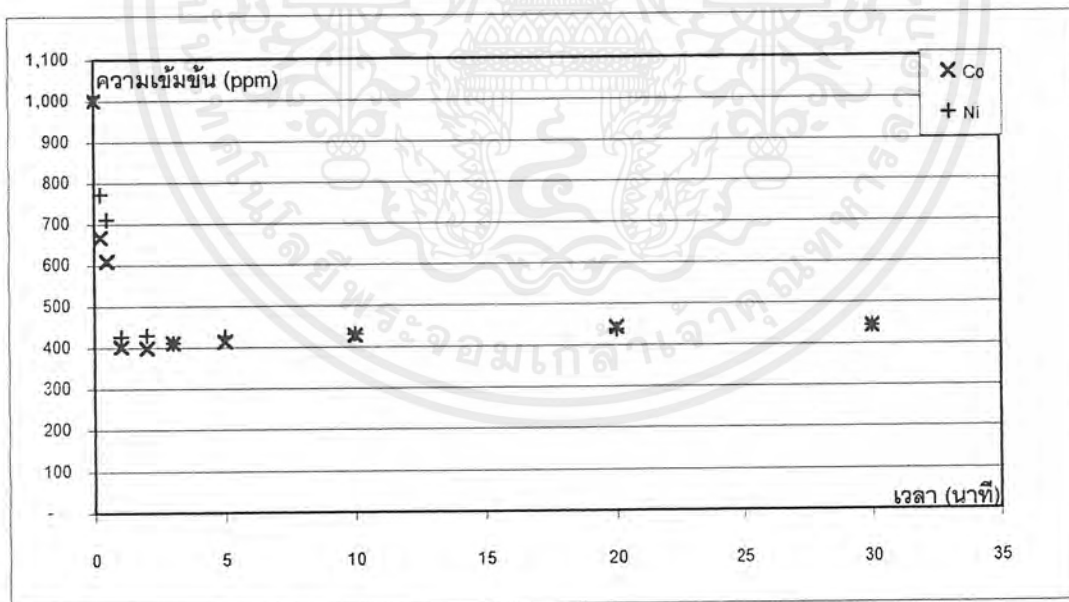
รูปที่ ก.1.4 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือนิสารป้อน

SPAN 80	8 vol. %	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	1,000 ppm
pH	4.76	D2EHPA	5 vol. %	AS	400 rpm
				[Ni] ₀	1,013 ppm



รูปที่ ก.1.5 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 10 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.76 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm [Ni]₀ 1,013 ppm



รูปที่ ก.1.6 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 12 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.76 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm [Ni]₀ 1,013 ppm

การทดลองชุดที่ 2

การหาเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของสารสกัดในเยื่อแผ่นที่เหมาะสม

pH ของสารป้อน = 4.79

D2EHPA = 5 vol. %

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 844 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 850 ppm

ชุดที่ 2.1 การหาเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของสารสกัดในเยื่อแผ่นที่เหมาะสม

โดยมี SPAN 80 = 8 vol. %

ตารางที่ ก.2.1.1 D2EHPA = 5 vol. %

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	844	850	0.0000	0.0000	4.79	0.0000
0.5	101	174.5	0.8803	0.7947	4.50	1.1077
1	73	107	0.9135	0.8741	4.33	1.0451
2	52	123	0.9384	0.8553	4.30	1.0972
3	43	112	0.9491	0.8682	4.29	1.0931
5	62	121	0.9265	0.8576	4.27	1.0803
10	70	148	0.9171	0.8259	2.27	1.1104
15	83	166	0.9017	0.8047	4.27	1.1205
20	72	145	0.9147	0.8294	4.28	1.1028
25	113	153	0.8661	0.8200	4.28	1.0562

ตารางที่ ก.2.1.2 D2EHPA = 7 vol.%

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	844	900	0.0000	0.0000	4.79	0.0000
0.5	74.5	121	0.9117	0.8656	4.23	1.0533
1	23	65	0.9727	0.9278	3.91	1.0485
2	19	41	0.9775	0.9544	3.59	1.0241
3	38	53	0.9550	0.9411	3.38	1.0147
5	22	43	0.9739	0.9522	3.30	1.0228
10	38	62	0.9550	0.9311	3.22	1.0256
15	52	74	0.9384	0.9178	3.17	1.0225
20	73	96	0.9135	0.8933	3.17	1.0226
25	61	83	0.9277	0.9078	3.16	1.0220

ชุดที่ 2.2 การหาเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของสารสกัดในเยื่อแผ่นที่เหมาะสม
โดยมี SPAN 80 = 10 vol.%

ตารางที่ ก.2.2.1 D2EHPA = 5 vol.%

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	844	850	0.0000	0.0000	4.79	0.0000
0.5	150	163	0.8223	0.8082	4.37	1.0174
1	149	129	0.8235	0.8482	4.27	0.9708
2	133	133	0.8424	0.8435	4.24	0.9987
3	149	145	0.8235	0.8294	4.21	0.9928
5	160	157	0.8104	0.8153	4.20	0.9940
10	169	163	0.7998	0.8082	4.18	0.9895
15	185	174	0.7808	0.7953	4.19	0.9818
20	196	195	0.7678	0.7706	4.17	0.9963
25	188	190	0.7773	0.7765	4.16	1.0010

ตารางที่ ก.2.2.2 D2EHPA = 7 vol.%

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	844	850	0.0000	0.0000	4.79	0.0000
0.5	128	140	0.8483	0.8353	4.26	1.0156
1	137	106	0.8377	0.8753	4.18	0.9570
2	123	106	0.8543	0.8753	4.14	0.9760
3	142	122	0.8318	0.8565	4.11	0.9711
5	156	137	0.8152	0.8388	4.09	0.9718
10	156	150	0.8152	0.8235	4.05	0.9898
15	163	153	0.8069	0.8200	4.05	0.9840
20	177	172	0.7903	0.7976	4.06	0.9908
25	176	170	0.7915	0.8000	4.08	0.9893

ตารางที่ ก.2.2.3 D2EHPA = 9 vol.%

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	844	850	0.0000	0.0000	4.79	0.0000
0.5	127	100	0.8495	0.8824	4.15	0.9628
1	132	65	0.8436	0.9235	4.11	0.9135
2	105	79	0.8756	0.9071	4.08	0.9653
3	117	91	0.8614	0.8929	4.07	0.9646
5	126	107	0.8507	0.8741	4.05	0.9732
10	129	118	0.8472	0.8612	4.02	0.9837
15	132	126	0.8436	0.8518	4.02	0.9904
20	141	132	0.8329	0.8447	4.04	0.9861
25	143	130	0.8306	0.8471	4.01	0.9805

ชุดที่ 2.3 การหาเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของสารสกัดในเยื่อแผ่นที่เหมาะสม
โดยมี SPAN 80 = 12 vol.%

ตารางที่ ก.2.3.1 D2EHPA = 5 vol.%

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	844	850	0.0000	0.0000	4.79	0.0000
0.5	145	163	0.8282	0.8082	4.53	1.0247
1	140	129	0.8341	0.8482	4.46	0.9834
2	132	134	0.8436	0.8424	4.43	1.0015
3	130	145	0.8460	0.8294	4.4	1.0200
5	155	157	0.8164	0.8153	4.39	1.0013
10	151	176	0.8211	0.7929	4.37	1.0355
15	138	158	0.8365	0.8141	4.36	1.0275
20	173	183	0.7950	0.7847	4.38	1.0131
25	157	152	0.8140	0.8212	4.35	0.9912

ตารางที่ ก.2.3.2 D2EHPA = 7 vol.%

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	844	850	0.0000	0.0000	4.79	0.0000
0.5	130	140	0.8460	0.8353	4.5	1.0128
1	107	106	0.8732	0.8753	4.44	0.9976
2	108	106	0.8720	0.8753	4.4	0.9963
3	124	122	0.8531	0.8565	4.38	0.9960
5	136	137	0.8389	0.8388	4.35	1.0000
10	136	156	0.8389	0.8165	4.34	1.0274
15	135	148	0.8400	0.8259	4.35	1.0172
20	146	159	0.8270	0.8129	4.34	1.0173
25	149	158	0.8235	0.8141	4.32	1.0115

ตารางที่ ก.2.3.3 D2EHPA = 9 vol.%

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	844	850	0.0000	0.0000	4.79	0.0000
0.5	120	100	0.8578	0.8824	4.44	0.9722
1	57	65	0.9325	0.9235	4.37	1.0097
2	78	79	0.9076	0.9071	4.34	1.0006
3	92	91	0.8910	0.8929	4.32	0.9978
5	102	107	0.8791	0.8741	4.31	1.0058
10	110	118	0.8697	0.8612	4.31	1.0099
15	114	116	0.8649	0.8635	4.3	1.0016
20	91	103	0.8922	0.8788	4.27	1.0152
25	114	115	0.8649	0.8647	4.27	1.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองชุดที่ 3

การหาค่าช่วง pH เริ่มต้นของสารป้อนที่เหมาะสม

ตารางที่ ก.3.1 การหาค่าช่วง pH เริ่มต้นของสารป้อนที่เหมาะสม
สำหรับปฏิกิริยาการสกัดและการแยกของโคบอลต์ไอออน

ค่า pH เริ่มต้นของสารละลายบัฟเฟอร์ ก่อนละลายไอออนโลหะ	ค่า pH เริ่มต้นของสารละลายบัฟเฟอร์ หลังละลายไอออนโลหะ
5.10	4.22
6.04	5.88
7.00	เกิดการตกตะกอนของโคบอลต์ไอออน ที่จับตัวกับบัฟเฟอร์

การทดลองชุดที่ 4

การหาค่า pH เริ่มต้นของสารป้อนที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาการสกัด
และดึงกลับของโคบอลต์ไอออนออกจากนิกเกิลไอออน

D2EHPA = 5 vol.%

ชุดที่ 4.1 การหาค่า pH ที่เหมาะสมโดยมี SPAN 80 = 8 vol.%

ตารางที่ ก.4.1.1 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 4.25

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 1,000 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,010 ppm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,010	0.0000	0.0000	4.25	0.0000
0.5	402	701	0.5980	0.3059	4.12	1.9546
1	303	679	0.6970	0.3277	4.07	2.1268
2	295	672	0.7050	0.3347	4.05	2.1067
3	300	630	0.7000	0.3762	4.04	1.8605
5	313	600	0.6870	0.4059	4.04	1.6924
10	318	416	0.6820	0.5881	4.04	1.1596
15	330	534	0.6700	0.4713	4.05	1.4216
20	342	580	0.6580	0.4257	4.06	1.5455

ตารางที่ ก.4.1.2 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 5.71

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 1,000 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,005 ppm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,005	0.0000	0.0000	5.71	0.0000
0.5	290	410	0.7100	0.5920	5.00	1.1992
1	330	468	0.6700	0.5343	4.90	1.2539
2	312	515	0.6880	0.4876	4.89	1.4111
3	280	542	0.7200	0.4607	4.87	1.5629
5	290	540	0.7100	0.4627	4.85	1.5345
10	281	532	0.7190	0.4706	4.84	1.5277
15	250	524	0.7500	0.4786	4.85	1.5670

ชุดที่ 4.2 การหาค่า pH ที่เหมาะสมโดยมี SPAN 80 = 10 vol.%

ตารางที่ ก.4.2.1 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 3.25

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 980 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,010 ppm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	980	1,010	0.0000	0.0000	3.25	0.0000
0.5	556	565	0.4327	0.4406	3.23	0.9820
1	500	543	0.4898	0.4624	3.22	1.0593
2	493	540	0.4969	0.4653	3.21	1.0679
3	501	530	0.4888	0.4752	3.21	1.0285
5	500	540	0.4898	0.4653	3.20	1.0525
10	510	520	0.4796	0.4851	3.20	0.9885
15	533	530	0.4561	0.4752	3.23	0.9598
20	543	542	0.4459	0.4634	3.22	0.9623

ตารางที่ ก.4.2.2 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 4.00

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 1,000 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,020 ppm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,020	0.0000	0.0000	4.00	0.0000
0.5	453	520	0.5470	0.4902	3.68	1.1159
1	444	516	0.5560	0.4941	3.49	1.1252
2	439	490	0.5610	0.5196	3.39	1.0797
3	512	508	0.4880	0.5020	3.36	0.9722
5	528	502	0.4720	0.5078	3.33	0.9294
10	535	492	0.4650	0.5176	3.32	0.8983
15	551	488	0.4490	0.5216	3.32	0.8609
20	548	486	0.4520	0.5235	3.32	0.8634

ตารางที่ ก.4.2.3 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 5.99

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 1,000 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,005 ppm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,005	0.0000	0.0000	5.99	0.0000
0.5	467	480	0.5330	0.5224	4.96	1.0203
1	465	473	0.5350	0.5294	4.90	1.0107
2	400	450	0.6000	0.5522	4.89	1.0865
3	410	411	0.5900	0.5910	4.89	0.9982
5	421	437	0.5790	0.5652	4.89	1.0245
10	483	482	0.5170	0.5204	4.89	0.9935
15	618	518	0.3820	0.4846	4.89	0.7883

ชุดที่ 4.3 การหาค่า pH ที่เหมาะสมโดยมี SPAN 80 = 12 vol.%

ตารางที่ ก.4.3.1 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 3.25

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 980 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,010 ppm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	980	1,010	0.0000	0.0000	3.25	0.0000
0.5	658	750	0.4350	0.2574	3.20	1.6898
1	613	549	0.4410	0.4564	3.21	0.9662
2	581	526	0.4280	0.4792	3.22	0.8931
3	565	519	0.4330	0.4861	3.20	0.8907
5	553	517	0.4340	0.4881	3.20	0.8891
10	548	490	0.4580	0.5149	3.20	0.8896
15	474	501	0.4590	0.5040	3.27	0.9108

ตารางที่ ก.4.3.2 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 4.00

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 1,000 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,020 ppm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,020	0.0000	0.0000	4.00	0.0000
0.5	565	630	0.3286	0.3824	3.78	0.8593
1	559	578	0.3745	0.4333	3.60	0.8642
2	572	532	0.4071	0.4784	3.49	0.8510
3	567	511	0.4235	0.4990	3.40	0.8486
5	566	457	0.4357	0.5520	3.36	0.7894
10	542	521	0.4408	0.4892	3.35	0.9011
15	541	596	0.5163	0.4157	3.35	1.2421
20	548	612	0.4520	0.4000	3.35	1.1300

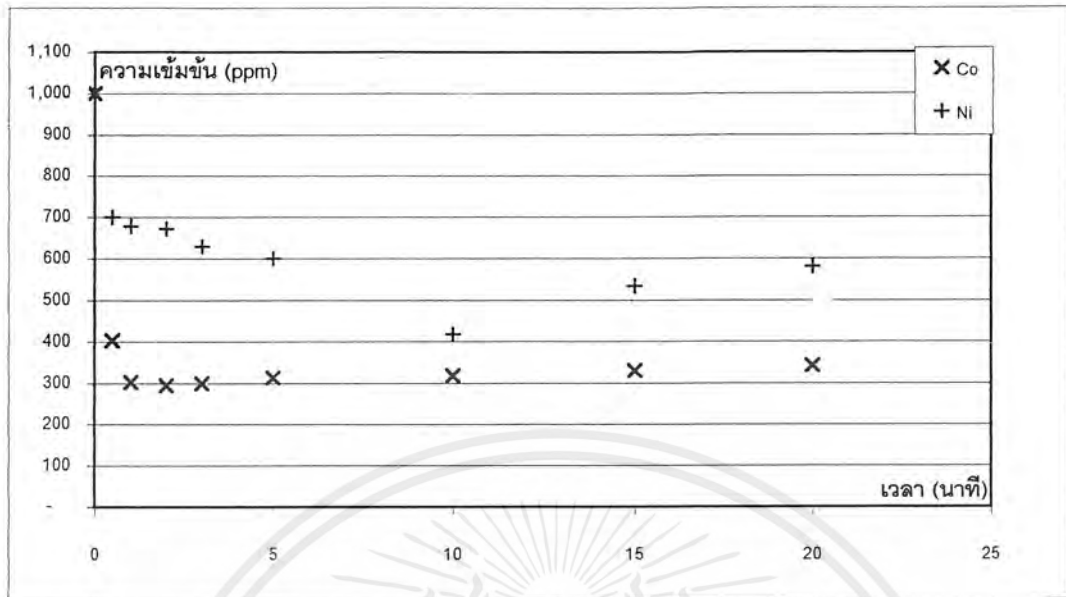
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4.3.3 pH เริ่มต้นของสารป้อน = 5.71

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 1,020 ppm

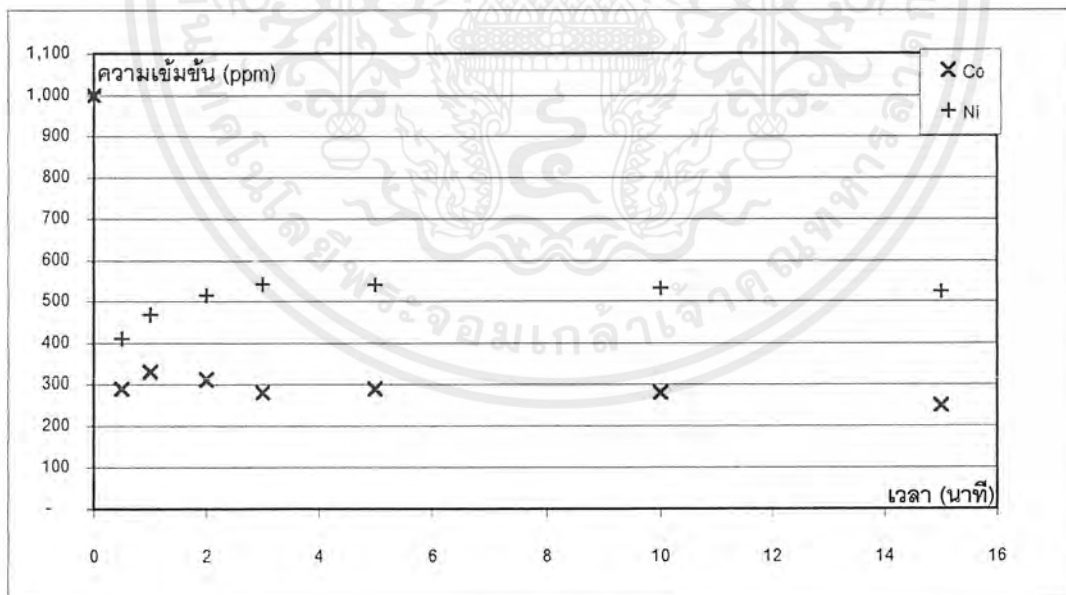
ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,100 ppm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,020	1,100	0.0000	0.0000	5.71	0.0000
0.5	480	506	0.5294	0.5400	5.23	0.9804
1	471	438	0.5382	0.6018	5.16	0.8943
2	470	435	0.5392	0.6045	5.16	0.8919
3	431	425	0.5775	0.6136	5.17	0.9410
5	426	422	0.5824	0.6164	5.17	0.9448
10	400	413	0.6078	0.6245	5.17	0.9733
15	390	405	0.6176	0.6318	5.18	0.9776



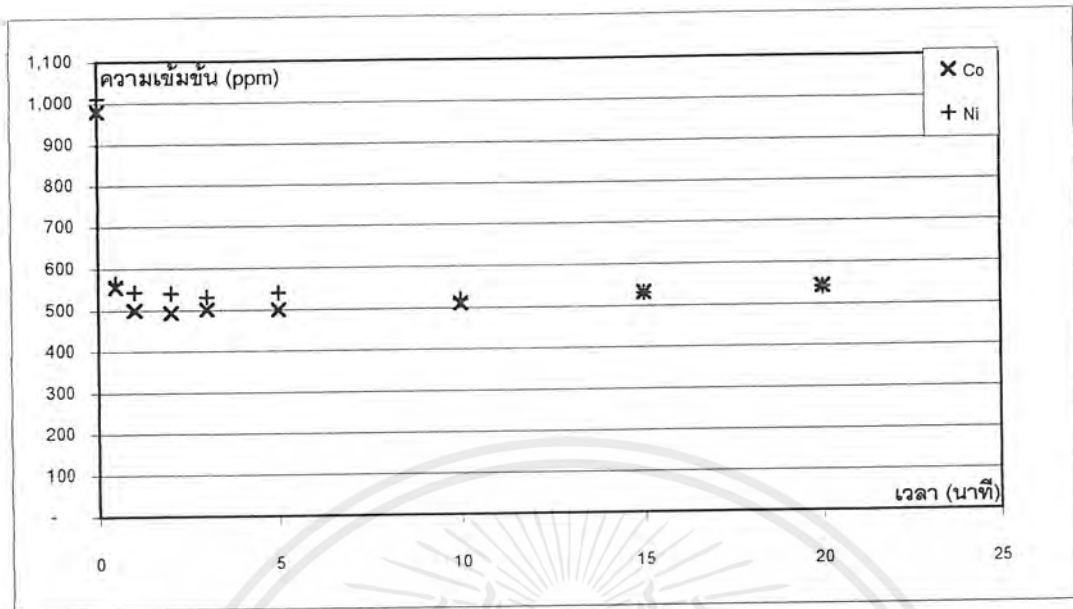
รูปที่ ก.4.1.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm $[Co]_0$ 1,000 ppm
 pH 4.25 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm $[Ni]_0$ 1,010 ppm



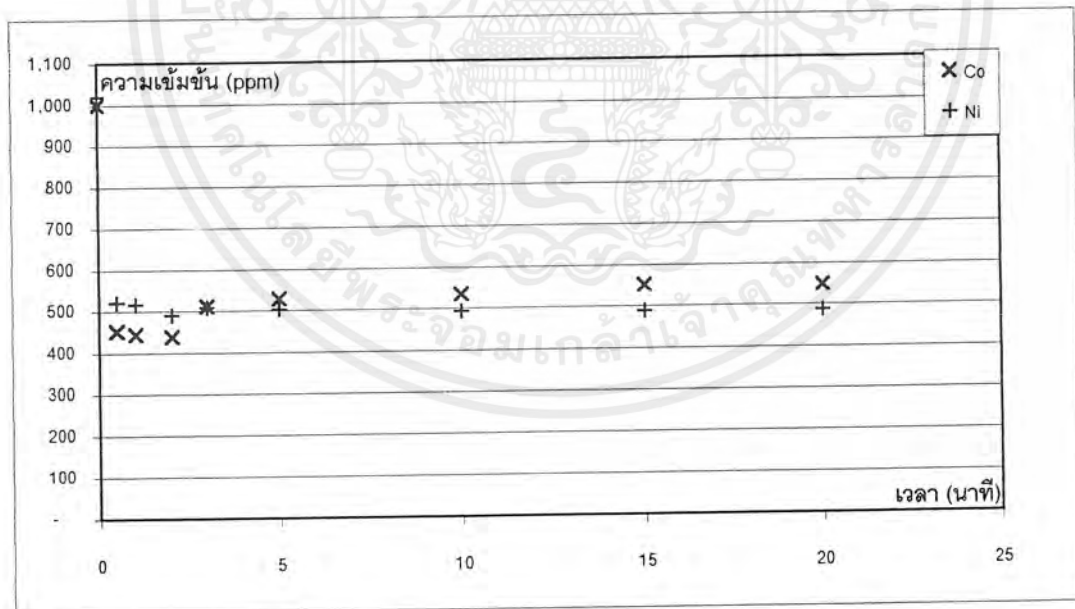
รูปที่ ก.4.1.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm $[Co]_0$ 1,020 ppm
 pH 5.71 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm $[Ni]_0$ 1,100 ppm



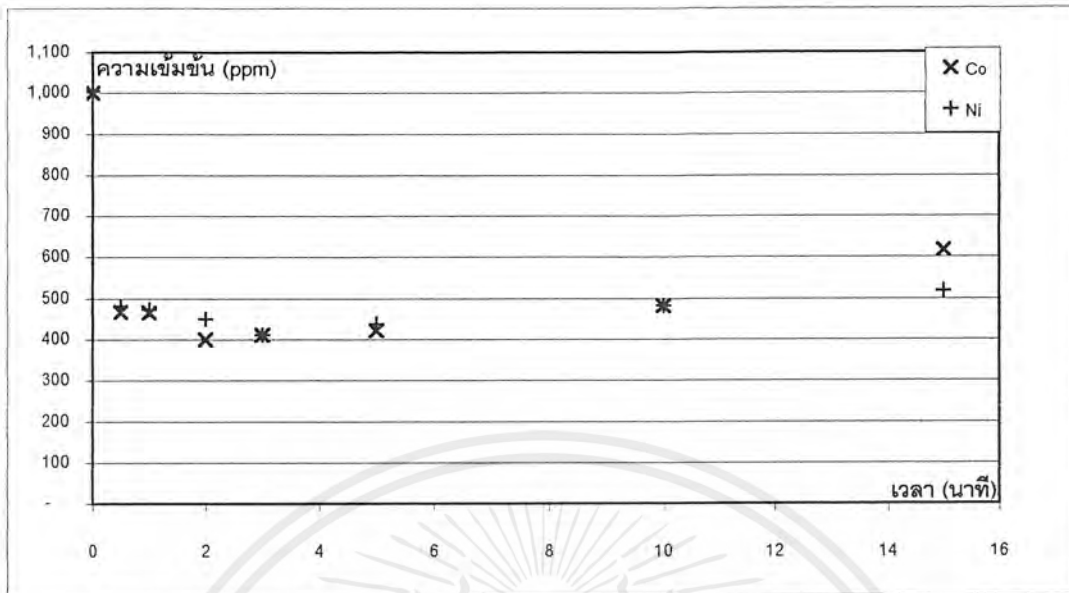
รูปที่ ก.4.2.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือในสารป้อน

	SPAN 80	10 vol.%	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	980 ppm	
pH	3.25	D2EHPA	5 vol.%	AS	400 rpm	[Ni] ₀	1,010 ppm



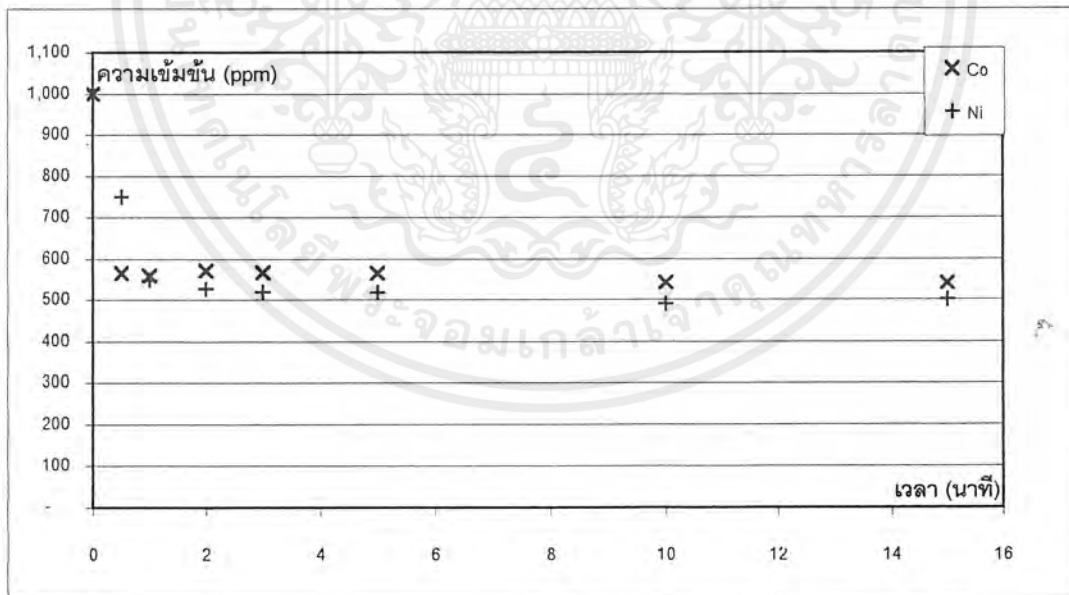
รูปที่ ก.4.2.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือในสารป้อน

	SPAN 80	10 vol.%	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	1,000 ppm	
pH	4.00	D2EHPA	5 vol.%	AS	400 rpm	[Ni] ₀	1,020 ppm



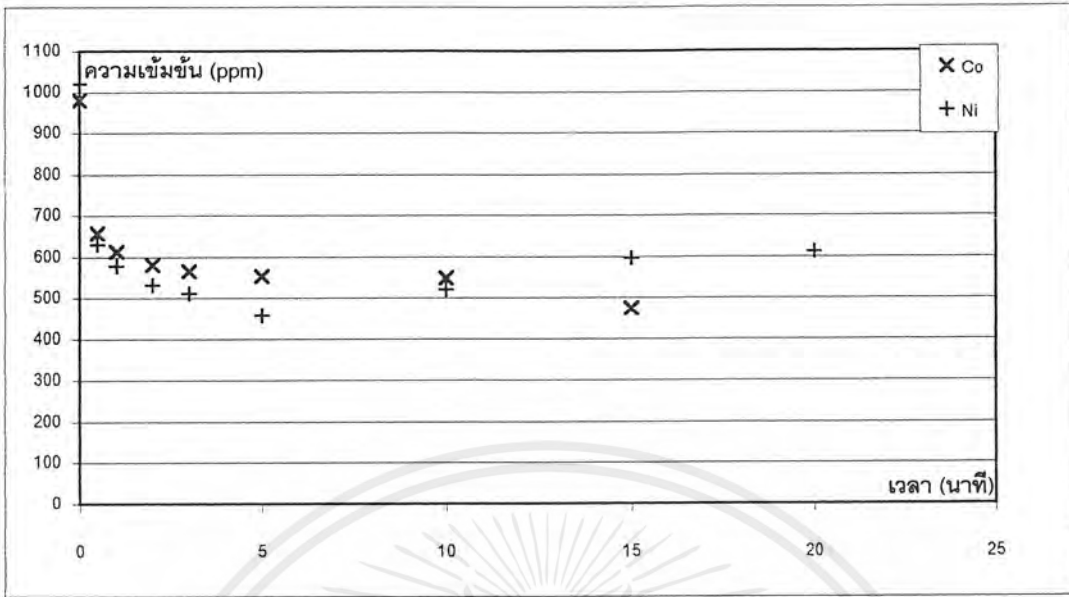
รูปที่ ก.4.2.3 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 10 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 5.99 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm [Ni]₀ 1,005 ppm



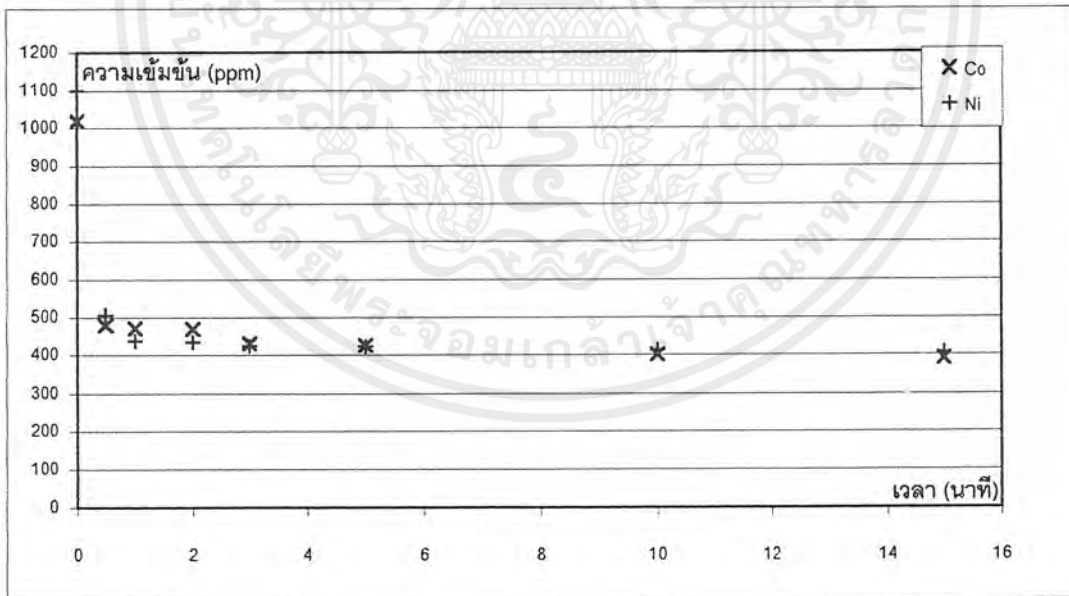
รูปที่ ก.4.3.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 12 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 980 ppm
 pH 3.25 D2EHPA 5 vol.% AS 400 rpm [Ni]₀ 1,010 ppm



รูปที่ ก.4.3.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือในสารป้อน

	SPAN 80	12 vol.%	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	1,000 ppm
pH	4.00	D2EHPA	5 vol.%	AS	400 rpm	[Ni] ₀ 1,020 ppm



รูปที่ ก.4.3.3 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือในสารป้อน

	SPAN 80	12 vol.%	EPS	18,500 rpm	[Co] ₀	1,020 ppm
pH	5.99	D2EHPA	5 vol.%	AS	400 rpm	[Ni] ₀ 1,100 ppm

การทดลองชุดที่ 5

การหาค่าความเร็รรอบที่ใช้ปั่นกวนในการสกัดและการแยกที่เหมาะสม
สำหรับการแยกโคบอลต์ไอออนออกจากนิกเกิลไอออน

pH เริ่มต้นของสารป้อน = 4.77

SPAN 80 = 8 vol. %

D2EHPA = 5 vol. %

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 1,000 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,012 ppm

ตารางที่ ก.5.1

ความเร็รรอบที่ใช้ในการปั่นกวน = 500 rpm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,012	0.0000	0.0000	4.77	0.0000
0.5	262	369	0.7380	0.6354	3.97	1.1615
2	260	242	0.7400	0.7609	3.18	0.9726
3	342	252	0.6580	0.7510	3.09	0.8762
5	438	267	0.5620	0.7362	3.04	0.7634
10	611	290	0.3890	0.7134	3.00	0.5452

ตารางที่ ก.5.2

ความเร็รรอบที่ใช้ในการปั่นกวน = 650 rpm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,012	0.0000	0.0000	4.77	0.0000
0.5	151	408	0.8490	0.5968	3.71	1.4225
1	152	359	0.8480	0.6453	3.29	1.3142
2	234	356	0.7660	0.6482	3.13	1.1817
3	304	327	0.6960	0.6769	3.09	1.0283
5	402	312	0.5980	0.6917	3.06	0.8645
10	495	598	0.5050	0.4091	3.03	1.2344

ตารางที่ ก.5.3 ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกววน = 800 rpm

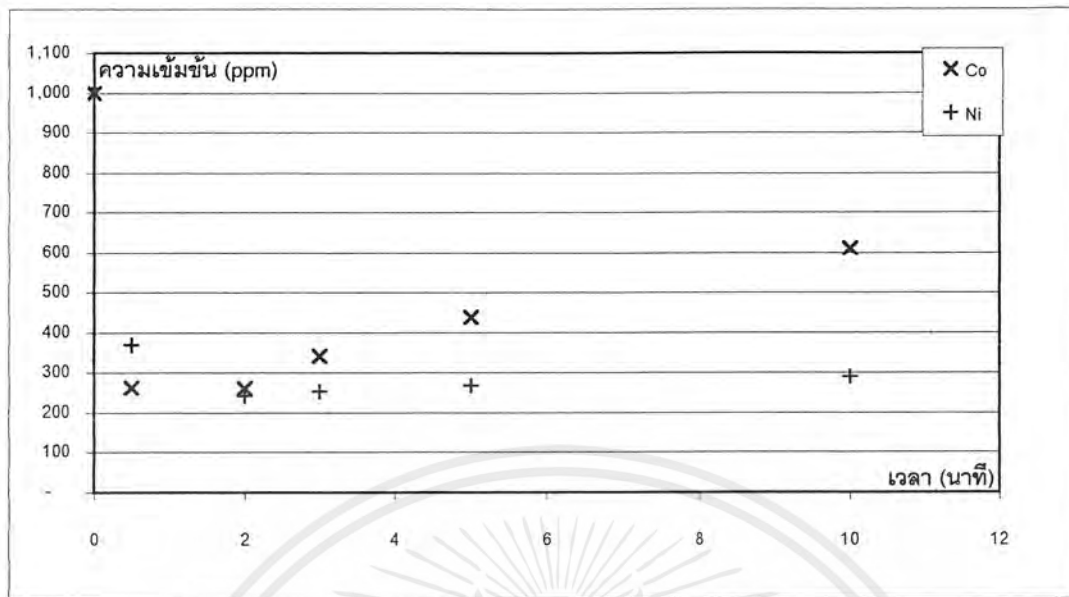
เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,012	0.0000	0.0000	4.77	0.0000
0.9	149	257	0.8510	0.7460	3.63	1.1407
2	121	319	0.8790	0.6848	3.09	1.2836
3	159	413	0.8410	0.5919	3.05	1.4209
5	185	480	0.8150	0.5257	3.05	1.5503
10	285	591	0.7150	0.4160	2.99	1.7187

ตารางที่ ก.5.4 ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกววน = 950 rpm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,012	0.0000	0.0000	4.77	0.0000
0.5	182	213	0.8180	0.7895	3.63	1.0361
2	271	251	0.7290	0.7520	3.09	0.9694
3	232	342	0.7680	0.6621	3.05	1.1600
5	210	460	0.7900	0.5455	3.05	1.4483
10	245	591	0.7550	0.4160	2.99	1.8149

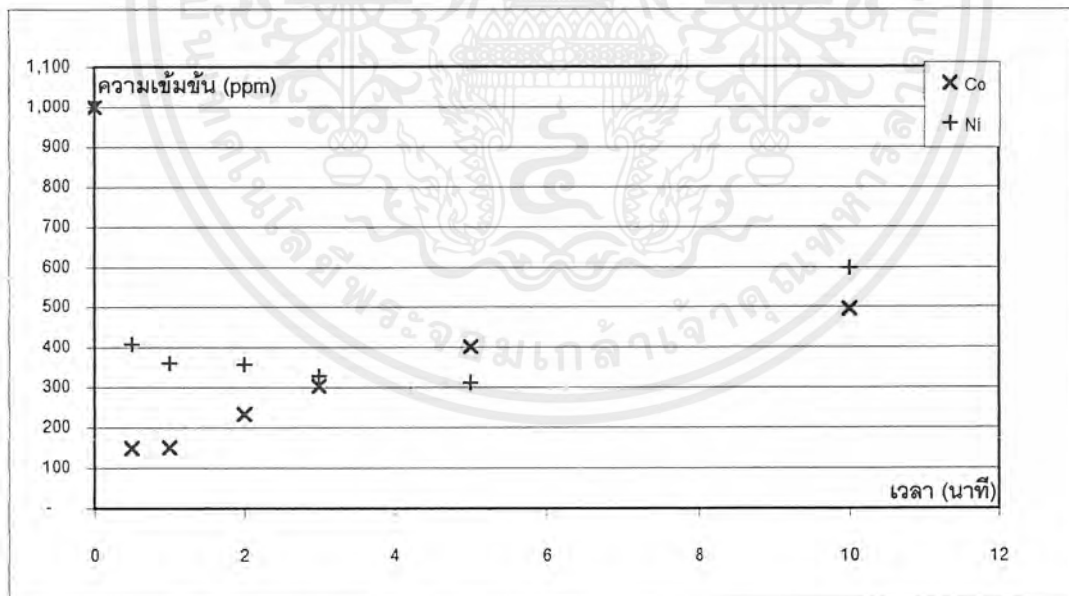
ตารางที่ ก.5.5 ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกววน = 1,000 rpm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,012	0.0000	0.0000	4.77	0.0000
0.5	192	250	0.8080	0.7530	3.54	1.0731
1	299	259	0.7010	0.7441	3.23	0.9421
2	281	277	0.7190	0.7263	3.11	0.9900
3	167	326	0.8330	0.6779	3.11	1.2289
5	164	384	0.8360	0.6206	3.07	1.3472
10	174	477	0.8260	0.5287	3.06	1.5625



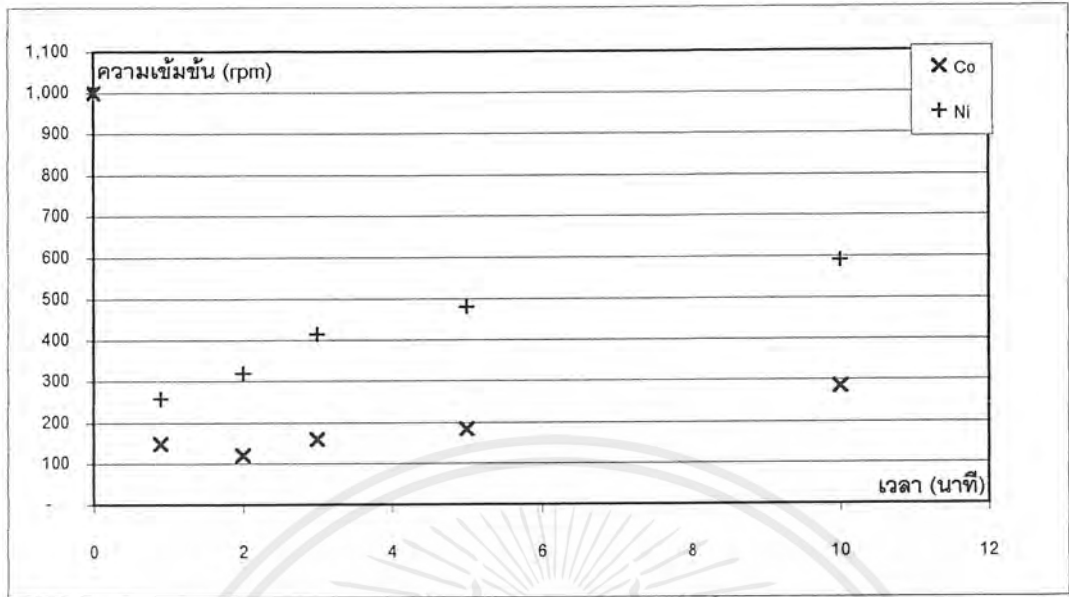
รูปที่ ก.5.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.77 D2EHPA 5 vol.% AS 500 rpm [Ni]₀ 1,012 ppm



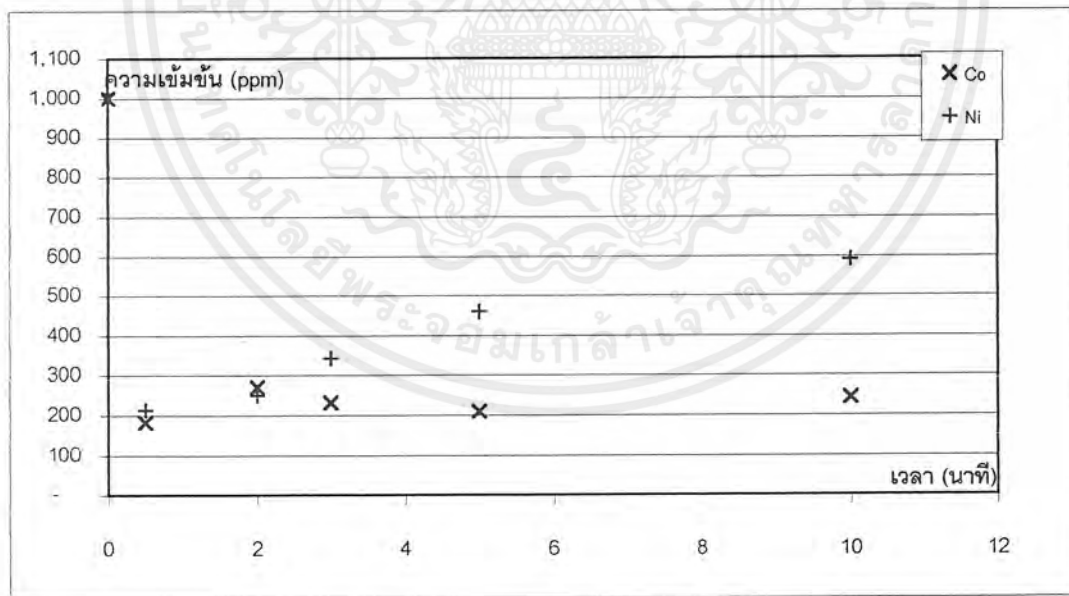
รูปที่ ก.5.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.77 D2EHPA 5 vol.% AS 650 rpm [Ni]₀ 1,012 ppm



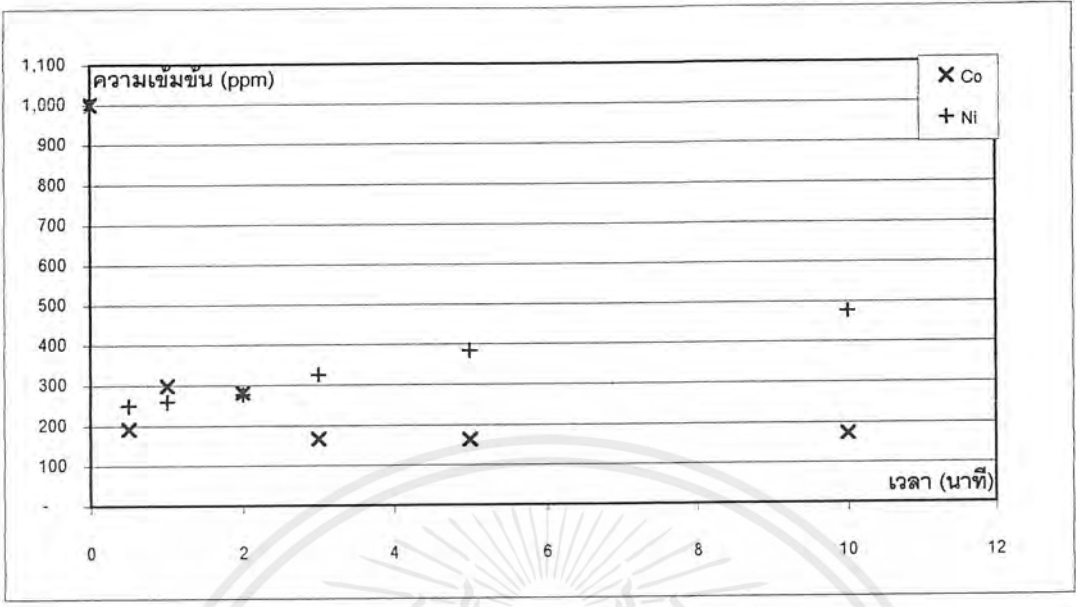
รูปที่ ก.5.3 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.77 D2EHPA 5 vol.% AS 800 rpm [Ni]₀ 1,012 ppm



รูปที่ ก.5.4 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 8 vol.% EPS 950 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.77 D2EHPA 5 vol.% AS 950 rpm [Ni]₀ 1,012 ppm



รูปที่ ก.5.5 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิลที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 8 vol.% EPS 18,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.77 D2EHPA 5 vol.% AS 1000 rpm [Ni]₀ 1,012 ppm



การทดลองชุดที่ 6

การหาค่าความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นอิมัลชันที่เหมาะสม
สำหรับการแยกโคบอลต์ไอออนออกจากนิกเกิลไอออน

pH เริ่มต้นของสารป้อน = 4.62

SPAN 80 = 8 vol. %

D2EHPA = 5 vol. %

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 1,000 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,012 ppm

ตารางที่ ก.6.1 ความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นอิมัลชัน = 13,500 rpm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,012	0.0000	0.0000	4.62	0.0000
0.5	149	257	0.8510	0.7460	3.71	1.1407
2	121	319	0.8790	0.6848	3.52	1.2836
3	159	413	0.8410	0.5919	3.29	1.4209
5	185	480	0.8150	0.5257	3.30	1.5503
10	285	591	0.7150	0.4160	3.31	1.7187

ตารางที่ ก.6.2 ความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นอิมัลชัน = 20,500 rpm

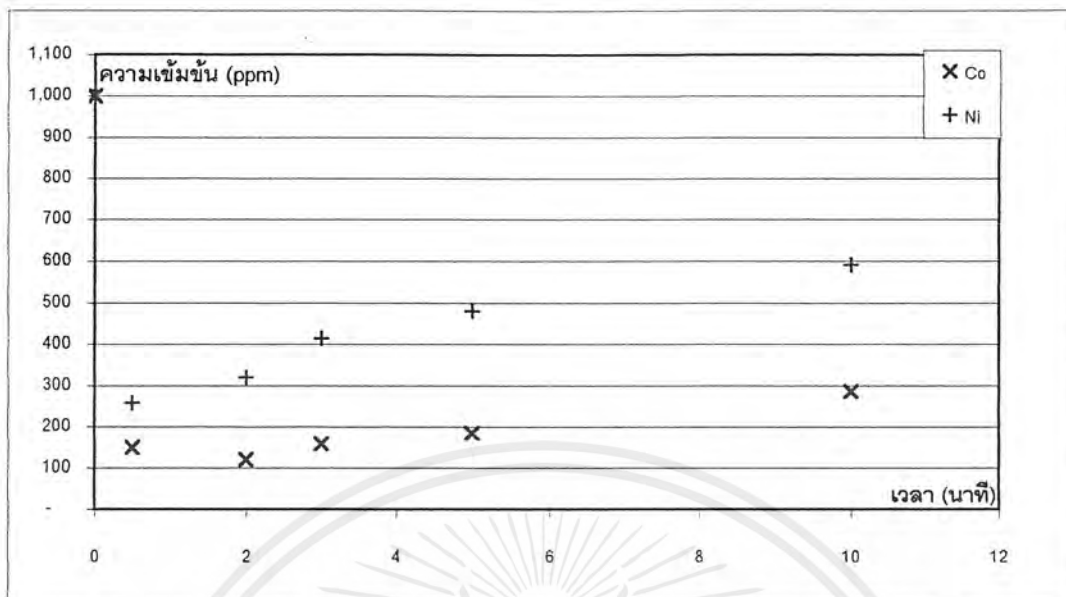
เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,012	0.0000	0.0000	4.62	0.0000
0.5	123	527	0.8770	0.4792	3.32	1.8299
1	71	459	0.9290	0.5464	2.86	1.7001
2	77	447	0.9230	0.5583	2.63	1.6532
3	191	455	0.8090	0.5504	2.59	1.4699
5	297	483	0.7030	0.5227	2.59	1.3449
10	414	568	0.5860	0.4387	2.54	1.3357

ตารางที่ ก.6.3 ความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นอิมัลชัน = 24,000 rpm

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1,010	0.0000	0.0020	4.62	0.0000
0.5	179	457	0.8210	0.5484	3.29	1.4970
1	193	333	0.8070	0.6709	2.92	1.2028
2	287	314	0.7130	0.6897	2.9	1.0337
3	323	393	0.6770	0.6117	2.89	1.1068
5	352	465	0.6480	0.5405	2.87	1.1989

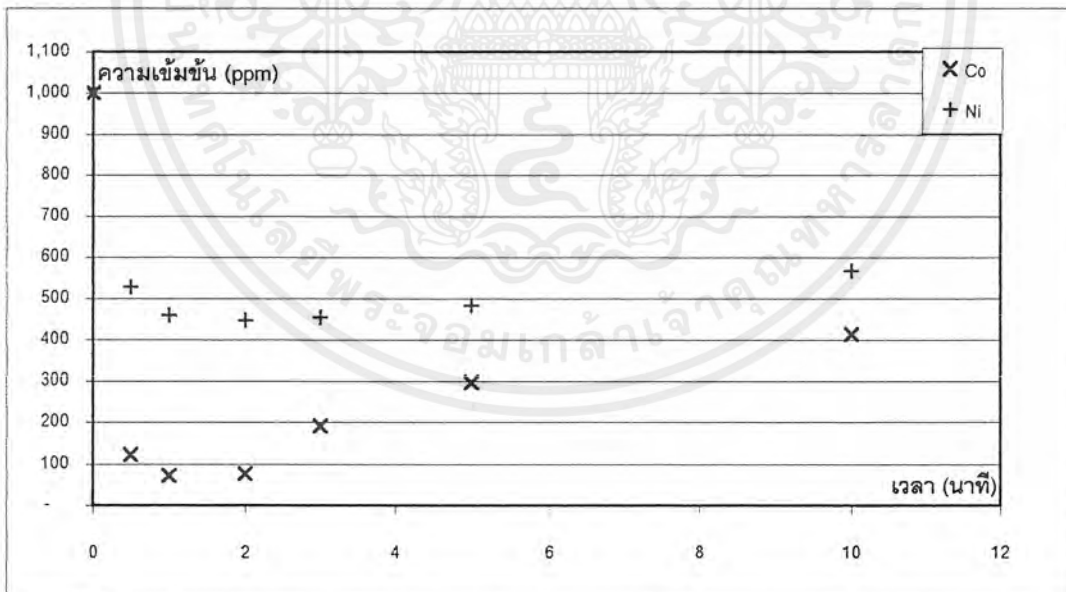


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



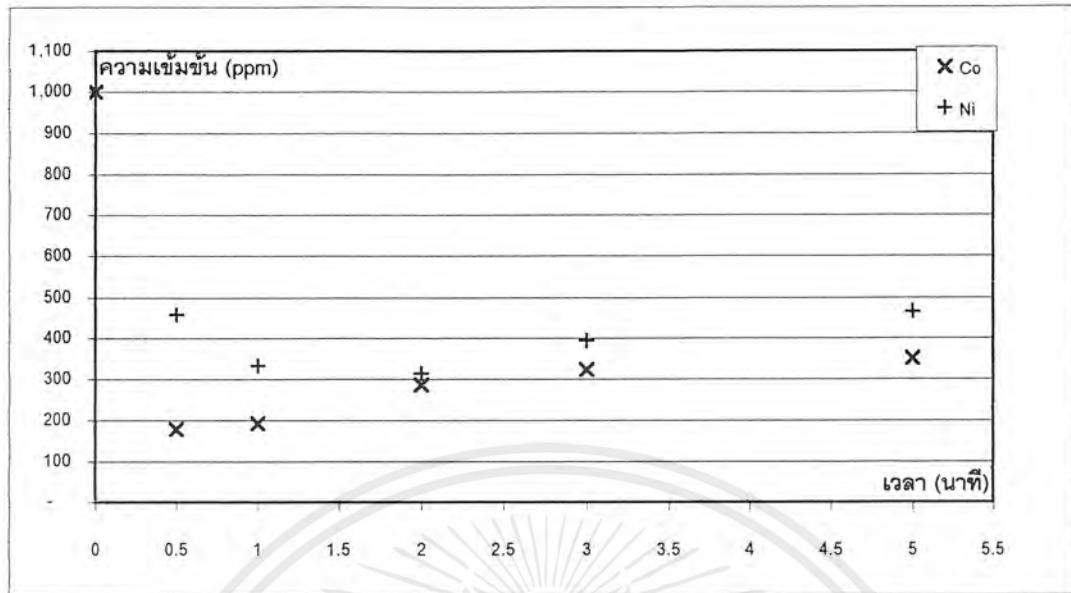
รูปที่ ก.6.1 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 8 vol.% EPS 13,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.62 D2EHPA 5 vol.% AS 800 rpm [Ni]₀ 1,012 ppm



รูปที่ ก.6.2 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือในสารป้อน

SPAN 80 8 vol.% EPS 20,500 rpm [Co]₀ 1,000 ppm
 pH 4.62 D2EHPA 5 vol.% AS 800 rpm [Ni]₀ 1,012 ppm



รูปที่ ก.6.3 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนโคบอลต์และไอออนนิกเกิล
ที่เหลือในสารป้อน

	SPAN 80	8 vol.%	EPS	24,000 rpm	[Co] ₀	1,000 ppm	
pH	4.62	D2EHPA	5 vol.%	AS	800 rpm	[Ni] ₀	1,012 ppm

การทดลองชุดที่ 7

ทดลองทำการสกัดแบบต่อเนื่อง

pH เริ่มต้นของสารป้อน = 4.62

SPAN 80 = 8 vol. %

D2EHPA = 5 vol. %

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโคบอลต์ไอออนในสารป้อน = 1,000 ppm

ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลไอออนในสารป้อน = 1,012 ppm

ความเร็วรอบในการปั่นกวนในการสกัดและการแยก = 800 rpm

ความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่นอิมัลชัน = 24,000 rpm

ตารางที่ ก.7 การสกัดแบบต่อเนื่อง

เวลา (นาที)	Co (ppm)	Ni (ppm)	%E (Co)	%E (Ni)	pH	α
0	1,000	1012	0.0000	0.0000	4.75	0.0000
0.583	142	530.8	0.8580	0.4755	4.32	1.8044
1	56	182.9	0.9439	0.8193	4.01	1.1521
1.75	0	31	1.0000	0.9694	3.68	1.0316
3	0	36.25	1.0000	0.9642	3.49	1.0372
5	0	30.05	1.0000	0.9703	3.43	1.0306

ภาคผนวก ข

สมการคำนวณ

ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโลหะในการทดลองครั้งนี้ หาได้จากสมการ (ข.1) และ (ข.2) ดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนโคบอลต์

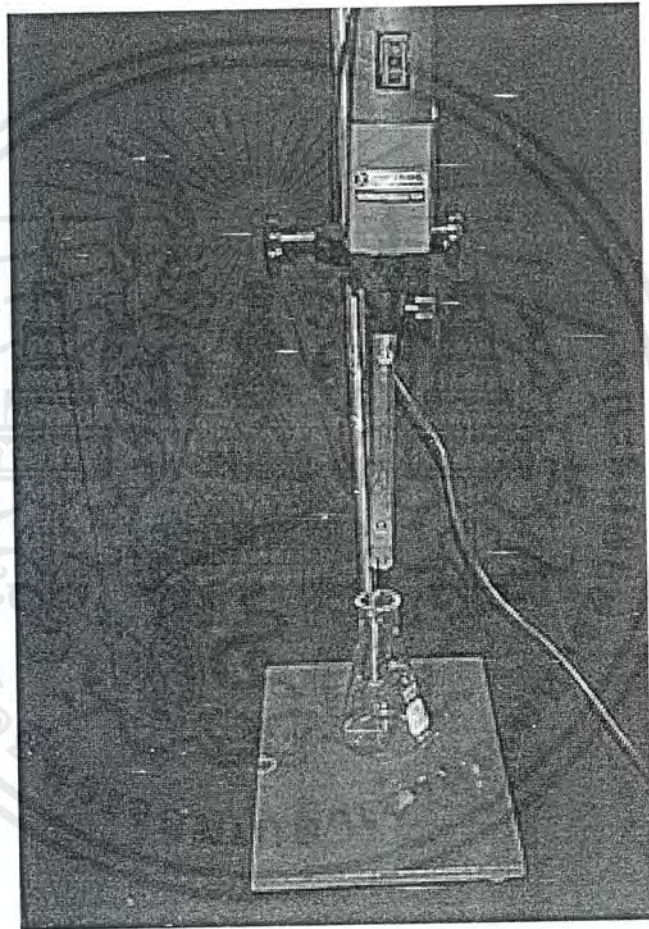
$$\% \text{Extraction}(\text{Co}) = \frac{[\text{Co}_0^{2+}] - [\text{Co}^{2+}]}{[\text{Co}_0^{2+}]} \quad (\text{ข.1})$$

เปอร์เซ็นต์การสกัดของไอออนนิกเกิล

$$\% \text{Extraction}(\text{Ni}) = \frac{[\text{Ni}_0^{2+}] - [\text{Ni}^{2+}]}{[\text{Ni}_0^{2+}]} \quad (\text{ข.2})$$

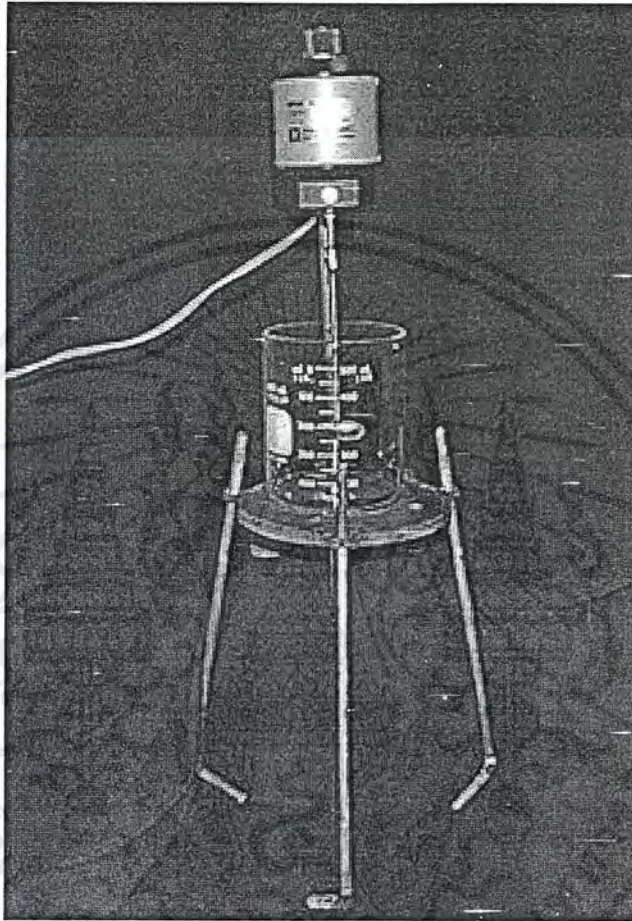
ภาคผนวก ค

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ค.1 เครื่องปั่นกวนความเร็วรอบสูง (Homogenizer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 ชุดเครื่องกวนผสม (Agitator) ที่ใช้ในการปั่นกวนเพื่อสกัดแยกไอออนโคบอลต์ออกจากไอออนนิกเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การแตกอิมัลชันด้วยแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูง

ง.1 หลักการแตกอิมัลชัน

การประยุกต์แรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูงผ่านทางสนามไฟฟ้านี้ เป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพและความประหยัดสูงสุด ในการแตกอิมัลชันประเภทน้ำ/น้ำมันในกระบวนการสกัดแยกด้วยเยื่อแผ่นของเหลวโดยเทคนิคนี้เรียกว่าอิเล็กโตรสแตติกโคเลสเซนส์ (Electrostatic coalescence) ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน สำหรับการแยกหยดน้ำที่กระจายตัวในน้ำมันดิบออก จะเห็นได้ว่าในกระบวนการที่ได้กล่าวมามีความใกล้เคียงกับกระบวนการแตกอิมัลชัน จึงเป็นการเหมาะสมที่จะนำเอาเทคนิคนี้มาใช้ในการแตกอิมัลชัน

แต่อย่างไรก็ตาม เทคนิคอิเล็กโตรโคเลสเซนส์ที่ใช้ในการแยกหยดน้ำออกจากน้ำมันดิบ ไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการแตกอิมัลชัน เนื่องจากในระบบเมมเบรนของเหลวแบบอิมัลชันมีความแตกต่างจากระบบการแยกน้ำออกจากน้ำมันดิบหลายประการดังนี้

1. ในระบบเมมเบรนของเหลวแบบอิมัลชันมีน้ำมากกว่าในน้ำมันดิบมาก (ประมาณ 50% ในระบบของเมมเบรนของเหลวแบบอิมัลชัน และประมาณ 5% ในระบบของน้ำมันดิบ)
2. ในระบบเมมเบรนของเหลวแบบอิมัลชันมีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมาก จึงทำให้อิมัลชันมีความคงตัวสูง

3. ต้องการให้สารละลายอินทรีย์ที่ได้จากการแตกอิมัลชันมีสมบัติใกล้เคียงของเดิมมากที่สุด เพื่อจะได้นำเอาสารละลายอินทรีย์ไปใช้ในการเตรียมอิมัลชันสำหรับการสกัดแยกใหม่ได้

ด้วยเหตุผลทั้ง 3 ประการทำให้มีการพัฒนาเทคนิคอิเล็กโตรสแตติกโคเลสเซนส์ ขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการแตกอิมัลชันโดยเฉพาะ

กลไกของการแตกอิมัลชันโดยใช้สนามไฟฟ้ายังไม่เป็นที่เข้าใจโดยสมบูรณ์ โดยทั่วไปแล้ว สนามไฟฟ้าสามารถเหนี่ยวนำให้หยดน้ำเกิดขั้วและดึงดูดให้หยดน้ำนั้นรวมตัวกันเป็นหยดใหญ่ โดยที่แรงที่สนามไฟฟ้ากระทำทั้งหมดให้หยดน้ำรวมตัวกันอธิบายได้ดังสมการ (ง)

$$F = \frac{1}{4} \pi \epsilon_0 \frac{\epsilon_d - \epsilon_o^2 d^6 E^2}{\epsilon_o + 2\epsilon_o L^4} \quad (\text{ง})$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่า สนามไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นสาเหตุของการรวมตัวของหยดน้ำ ไม่ใช่กระแสที่ป้อนเข้าไป เครื่องอิเล็กโตรสแตติกโคเลสเซนส์ที่มีใช้กันอยู่ มีทั้งแบบที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ และไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งหลักการทำงานและกลไกการเกิดปฏิกิริยา

จากการออกแบบเครื่องแตกอิมัลชันด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าของ Hsu and Li (1985) [Hsu, Li, and Hucal, 1983a, 1983b] ได้อธิบายการออกแบบและหลักการทำงานไว้ว่า เครื่องมือจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ เครื่องสร้างสนามไฟฟ้าเป็นส่วนที่ใช้ทำการประยุกต์ศักย์ไฟฟ้า เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการแตกอิมัลชัน และส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูง

1) เครื่องสร้างสนามไฟฟ้า

เครื่องสร้างสนามไฟฟ้ามีลักษณะดังรูป ง ซึ่งประกอบด้วย

1. ตัวถัง (50)

ตัวถังทำจากแก้วเพลกซี (Plexiglass) ทรงกระบอก วางในแนวนอน มีความจุขนาด 1 แกลลอน มีท่อนำอิมัลชันเข้าทางด้านบน (60) ท่อปล่อยสารละลายอินทรีย์ (Oil)

ทางด้านข้าง (56) และท่อปล่อยสารละลายสตริป (Internal aqueous phase) ออกทางด้านล่าง (58) ที่ตัวถังแก้วนี้จะต้องต่อสายดินไว้ที่ด้านล่างด้วย สายดินนี้จะทำหน้าที่ในการสร้างสนามไฟฟ้าให้อิมัลชันที่อยู่บริเวณใต้ขั้วอิเล็กโทรด ที่กันถังจะมีบัพเฟิลที่ทำจากแก้วเพลกซ์ (52) ซึ่งระดับของสารละลายสตริปจะสูงเกินความสูงของบัพเฟิลแก้วนี้ไม่ได้

2. แผ่นโลหะ (64)

แผ่นโลหะทำหน้าที่เป็นสายดิน ทำจากแผ่นตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมโดยมีขนาดของรูเท่ากับ 10 เมช (Mesh) มีความกว้าง 3 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว ที่ขอบแผ่นต้องม้วนขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟ (Sparking) เนื่องจากที่บริเวณขอบแผ่นโลหะที่มีลักษณะแหลมคม จะมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากกว่าบริเวณอื่น ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการลัดวงจรขึ้นได้ง่าย

3. ขั้วอิเล็กโทรด (66)

ขั้วอิเล็กโทรดทำจากท่อแก้วไพเร็กซ์ (Pyrexglass) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 7 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 มิลลิเมตร ประกอบเข้าเป็นตารางสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 4.5 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว ขั้วอิเล็กโทรดนี้มี 2 ส่วนคือ

3.1 พื้นผิวที่ชอบน้ำ (Hydrophilic surface)

พื้นผิวที่ชอบน้ำเป็นส่วนที่ไม่ได้เคลือบผิวภายนอก ซึ่งเป็นขั้วที่อยู่ในแนวตั้ง (70) ขั้วในส่วนนี้ไม่ได้ทำหน้าที่ในการนำไฟฟ้าจึงไม่จำเป็นต้องเคลือบป้องกันน้ำเกาะที่ผิวภายนอก

3.2 พื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic surface)

พื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่วางในแนวขนานกับพื้น ซึ่งต้องเคลือบผิวภายนอกท่อด้วยฟลูออรีนเอทิลีนโพรพิลีนโคโพลีเมอร์ (Fluorinated Ethylene Propylene copolymer, FEP) เพื่อไม่ให้น้ำหรือสารละลาย สตรีปสามารถเกาะที่ผิวภายนอกท่อได้

ฉนวนไฟฟ้าทั้งสองนี้มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) เท่ากับ 5.58 ที่ ความถี่ไฟฟ้า 60 เฮิร์ตซ์ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฉนวนทั้งสองจะต้องมากกว่า 3 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรหรือการเกิดประกายไฟขึ้น เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูงเข้าไปในระบบ ฉนวน ไดอิเล็กทริก (66) นี้ถูกวางขนานกับพื้นกันถึงโดยมีสารละลายอิเล็กโตรไลต์ (68) บรรจุอยู่ภายใน เพื่อทำหน้าที่ในการนำไฟฟ้าจากเส้นลวด (72) ที่ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูง แนวขอบของรอยต่อระหว่างชั้นอิมัลชันและสารละลายสตรีป (54) ทำหน้าที่เป็นสายดิน ซึ่งสามารถ ในการนำไฟฟ้าสู่กันถึงที่ต่อสายดินไว้ สารละลายสตรีปนี้จะป้อนนำไฟฟ้าทำหน้าที่เสมือนสายดิน และสร้างสนามไฟฟ้าให้กับระบบ ระยะห่างระหว่างฉนวนไดอิเล็กทริก (66) และสายดินทั้งสองมีความ กว้างประมาณ 1 นิ้ว ส่วนฉนวนฉนวน (70) จะบรรจุน้ำมันไว้ เพื่อเป็นฉนวนป้องกันไม่ให้เกิดการนำ ไฟฟ้าขึ้นที่ฉนวนฉนวน

เครื่องแตกอิมัลชันนี้ทำงานแบบต่อเนื่อง และต้องมีการปั่นกววนอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ อิมัลชันที่เข้ามามีการแตกตัวอย่างทั่วถึง

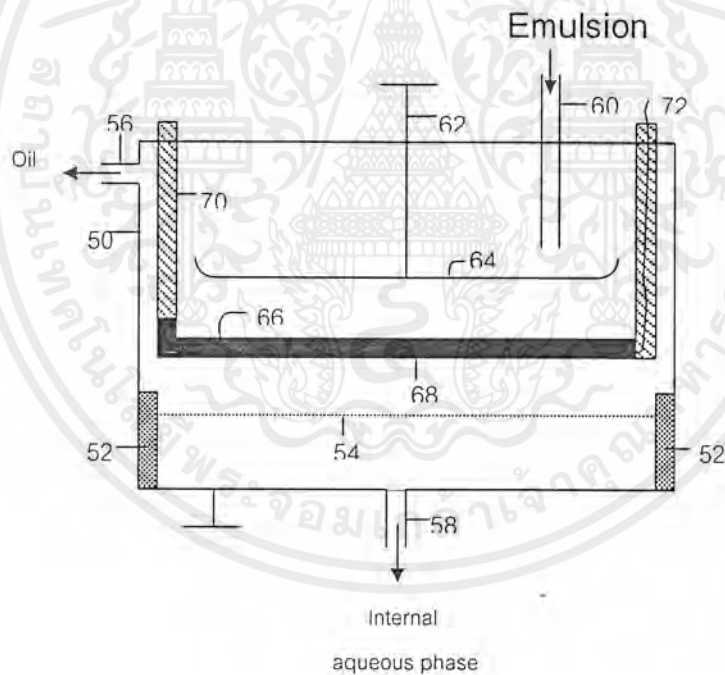
2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูงนี้ ทำหน้าที่ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับ ฉนวน ไดอิเล็กทริกเพื่อสร้างสนามไฟฟ้า กำลังงานสูงสุดที่เครื่องต้องให้กับระบบเท่ากับ 300 กิโลวัตต์แอมป์ ซึ่งจะให้แรงดันสูงสุด 20 กิโลโวลต์ และกระแสสูงสุด 50 มิลลิแอมป์

ความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง 0.6-2.5 กิโลเฮิรตซ์ [Feng, Wang, and Zhang, 1988] ตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อความสามารถในการแตกอิมัลชันดังนี้

1. ผลของแรงดันไฟฟ้า

จากกลไกของอิเล็กโตรสแตติกโคเลชัน เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้น สนามไฟฟ้าจะมีความแรงมากขึ้น ทำให้แรงที่ดึงดูดหยดน้ำเข้าหากันมีมากขึ้น (ดังในสมการข้างต้น) ซึ่งเป็นการเร่งให้เกิดการรวมตัวของหยดน้ำหรือสารละลายสไตริป ซึ่งก็คือการแตกอิมัลชันนั่นเอง แต่แรงดันไฟฟ้าที่สูงเกินไปจะทำลายฉนวนที่เคลือบขั้วอิเล็กโตรดไว้ ทำให้เกิดการประกายไฟขึ้นได้



รูปที่ ง.1 เครื่องแตกอิมัลชัน (Electrical coalescer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลของความถี่และรูปร่างของคลื่นไฟฟ้า

จากผลการทดลองของ Feng, Wang และ Zhang (1988) ที่แรงดันคงที่ 5 กิโลโวลต์ นาน 10 นาที ประสิทธิภาพของการแตกอิมัลชันเพิ่มขึ้นจาก 50% เป็น 100% เมื่อเพิ่มความถี่จาก 0.6 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็น 5 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งการเพิ่มความถี่นี้ทำให้สามารถลดแรงดันที่ใช้ลงได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าคลื่นความถี่แต่ละลูกที่เพิ่มขึ้น จะไปเพิ่มโอกาสที่หยดน้ำแต่ละหยดจะชนและรวมตัวกัน คลื่นความถี่ที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม จะให้ผลที่ดีกว่าคลื่นความถี่รูปไซน์ (Sine wave) หรือรูปสามเหลี่ยม (Triangle wave) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากช่วงเวลาของคลื่นรูปสี่เหลี่ยมยาวนานกว่าคลื่นรูปอื่น

3. ผลของตัวแปรอื่น ๆ ที่มีต่อการแตกอิมัลชัน

ความเร็วรอบที่ใช้ปั่นกวนอิมัลชันในเครื่องแตกอิมัลชันมีผลต่ออัตราการแตกอิมัลชัน โดยความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 200 รอบต่อนาที จะทำให้อัตราการแตกอิมัลชันเพิ่มขึ้น 5-6 เท่า ความหนืดของอิมัลชันจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และทำให้แตกอิมัลชันได้ง่ายขึ้นด้วย ส่วนฉนวนที่เคลือบขั้วอิเล็กโทรด ควรมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 4 เนื่องจากฉนวนที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง จะทำให้ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าและทำให้ประสิทธิภาพในการแตกอิมัลชันลดลง ปัญหาที่สำคัญที่พบในการแตกอิมัลชันคือ การเกิดฟองอิมัลชันเนื่องมาจากความเข้มสนามไฟฟ้าสูงเกินไป ฟองที่เกิดขึ้นนี้มีความเสถียรและหนืดมาก จึงควรป้องกันโดยจำกัดความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ใช้

ง.2 แนวทางการออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูง

เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูงนี้มีลักษณะคล้ายหม้อแปลงไฟฟ้า แต่ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูงถึง 20 กิโลโวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้เท่ากับ 50 มิลลิแอมป์ นอกจากนี้ยังต้องปรับความถี่คลื่นไฟฟ้าให้ได้ในช่วง 0.6-5 กิโลเฮิร์ตซ์ ทั้งนี้เนื่องจากหม้อแปลงธรรมดาไม่สามารถให้พลังงานสูงและปรับค่าความถี่อย่างที่ต้องการได้ การสร้างเครื่องแตกอิมัลชันจึงต้อง

ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นเอง โดยอาศัยการประยุกต์ความรู้ด้านไฟฟ้ากำลังและเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ (Power electronics) เข้าด้วยกัน

จากที่ได้ทำการศึกษาและปรึกษาอาจารย์ที่ภาควิชาไฟฟ้ากำลัง และภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ สามารถสรุปแนวทางที่เป็นไปได้ในการสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าความต่างศักย์สูง ออกมาได้ ดังนี้คือ

1. การออกแบบหม้อแปลง

หม้อแปลงที่สร้างจะต้องออกแบบและเลือกใช้วัสดุที่ทนต่อสภาวะใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แกนที่ใช้พันเส้นลวดเหนี่ยวนำ และเส้นลวดที่ใช้พันแกน เนื่องจากหม้อแปลงนี้จะต้องเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันและกระแสสูงมาก การเลือกวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนก็ต้องมีความต้านทานสูงเช่นกัน เพื่อป้องกันการลัดวงจร

2. การออกแบบวงจรสวิตซิง (Switching circuit)

วงจรสวิตซิงนี้ทำหน้าที่ควบคุมความถี่ของคลื่นไฟฟ้า เมื่อต่อวงจรนี้เข้ากับหม้อแปลง ก็จะสามารถประยุกต์แรงดันไฟฟ้าที่ปรับค่าความถี่ได้ในช่วงที่ต้องการ ซึ่งการปรับความถี่นี้มีประโยชน์ในการทดลองเป็นอย่างมาก เนื่องจากความถี่เป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถเร่งการแตกอิมพัลชันได้

หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นเอง คือ เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าจะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แล้วแปลงกลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถควบคุมความถี่โดยใช้วงจรสวิตซิง ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จะถูกส่งไปยังหม้อแปลงที่มีความสามารถในการแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 20 กิโลโวลต์

แต่อย่างไรก็ตาม การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันตามที่กล่าวมา ค่อนข้างยาก เนื่องจากต้องอาศัยความรู้ที่ลึกซึ้งในทางไฟฟ้ากำลังและเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้การ

สร้างยังต้องใช้ความชำนาญอย่างสูง (ซึ่งร้านรับพิมพ์มือแปลงทั่วไปไม่สามารถทำได้) ถ้าต้องสร้างจริงควรจะเป็นโครงการปริญญาโทร่วมกับนักศึกษาระดับปริญญาโทไฟฟ้ากำลัง หรือภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและประหยัดงบประมาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

1. นายธีระ อนุกุลประเสริฐ

เกิดเมื่อวันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสาธิตมอดินแดง มหาวิทยาลัยขอนแก่นในปี พ.ศ. 2536 จากนั้นในปีการศึกษา 2538 ได้สอบเทียบวุฒิมัธยมศึกษาตอนปลายจากศูนย์การศึกษาณอกโรงเรียน จังหวัดขอนแก่น เพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และในปีการศึกษา 2542 ซึ่งเป็นภาคเรียนสุดท้ายของการศึกษาในระดับปริญญาตรี ได้รับทุนการศึกษาเพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมหาบัณฑิตจากวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. น.ส.ธัญมาตี สิงหนิยม

เกิดเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2521 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสายน้ำผึ้งในปี พ.ศ. 2536 และสอบเทียบได้วุฒิมัธยมศึกษาตอนปลายจากศูนย์การศึกษานอกโรงเรียนปทุมคงคาในปี พ.ศ. 2538 จากนั้นในปี พ.ศ. 2539 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และในปีการศึกษา 2542 ซึ่งเป็นภาคเรียนสุดท้ายของการศึกษาในระดับปริญญาตรี และได้รับทุนการศึกษาเพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมหาบัณฑิตจากโครงการเสริมทักษะของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3. น.ส.พรทิพย์ จักรวิชัยธำรง

เกิดเมื่อวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2521 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งจะสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้