

การสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทองคำโดยใช้
เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

นายปฐกร นุณยเกียรติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EXTRACTION AND RECOVERY OF PLATINUM IONS FROM GOLD-REFINING
CO-PRODUCED WATER VIA HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE

MR. PATAKORN BUNYAKIAT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมออกจากร้าน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทองคำโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

โดย

นายปฐกร บุญเกียรติ

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราธร มงคลศรี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีวัฒน์ ปัททวิคองคา)

ปฐกร บุญเกียรติ: การสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทองคำโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง. (EXTRACTION AND RECOVERY OF PLATINUM IONS FROM GOLD-REFINING CO-PRODUCED WATER VIA HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE)
 อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ, 97 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมในน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทองคำด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้ Methyl-trioctyl-ammonium chloride (Aliquat 336) เป็นสารสกัดละลายในเคโรซีน ปัจจัยสำคัญที่ศึกษาได้แก่ ชนิดของสารสกัด ค่าความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารสกัด ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ ผลของอุณหภูมิในการดำเนินงานและชนิดตัวทำละลาย พบว่า NaClO_4 เป็นสารละลายนำกลับที่ให้ประสิทธิภาพการนำกลับได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายนำกลับชนิดอื่น ที่ความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร และที่ค่าความเป็นกรดในสารละลายป้อนมีค่า pH เท่ากับ 2 ร้อยละการสกัดของแพลทินัมเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Aliquat 336 เพิ่มขึ้นถึง 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หลังจากนั้นก็จะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีส่วนในการช่วยการถ่ายโอนมวลของแพลทินัมอีกด้วย อีกทั้งได้มีการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในสารละลายป้อน (k_f) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m) พบว่ามีค่าเท่ากับ 5.872 และ 6.396×10^{-3} เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ดังนั้นขั้นตอนควบคุมการถ่ายโอนมวลคือการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวของสารประกอบแพลทินัม

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือ initials.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2554.....ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5270373121 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS: PLATINUM / ALIQUAT 336 / HFSLM / GOLD-REFINING / MASS TRANSFER

PATAKORN BUNYAKIAT: EXTRACTION AND RECOVERY OF PLATINUM IONS FROM GOLD-REFINING CO-PRODUCED WATER VIA HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. URA PANCHAROEN, D. Eng., Sc. D., THESIS CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. GOBBOON LOTHONGKUM, Ph. D., 97 pp.

In this study, extraction and recovery of platinum ions from gold-refining co-produced water via hollow fiber supported liquid membrane (HFSLM) containing Methyl-trioctyl-ammonium chloride (Aliquat 336) dissolved in kerosene as carrier were examined. The important factors were studied such as types of carriers, pH value of feed solution, the concentration of carrier, the types and concentration of stripping solutions, the flow rates of feed and stripping solutions, the operating temperature, and types of diluents. Among the stripping reagents tested, 0.2 M NaClO_4 was effectively found to strip platinum ions more than other reagents. At the pH value of feed solution of 2, the percentage of platinum extraction increases when concentration of Aliquat 336 increases up to 15% (v/v), subsequently decreases. In addition, it was found that the platinum transport is enhanced when temperature increases. The mass transfer coefficients of the aqueous phase (k_f) and membrane phase (k_m) were 5.872 and 6.396×10^{-3} cm/s, respectively. Therefore, the mass transfer limiting step is the diffusion of platinum complex through liquid membrane

Department : Chemical Engineering Student's Signature.....
 Field of Study: Chemical Engineering Advisor's Signature,
 Academic Year : 2011..... Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

นับแต่ที่ข้าพเจ้าได้ก้าวเข้ามาศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ข้าพเจ้าคิดว่าไม่ใช่เรื่องง่ายเลยที่ประสบความสำเร็จ เพราะมีทั้งปัญหาและอุปสรรคต่างๆมากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยความวิริยะ อุตสาหะ เป็นอย่างมาก เพื่อที่จะทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ อีกทั้งความสำเร็จนี้มีอาจกล่าวได้ว่ามาจากข้าพเจ้าเพียงคนเดียว แต่ยังได้รับความช่วยเหลือ ความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านที่มีพระคุณอย่างยิ่ง ซึ่งข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างมากจึงขอกล่าวขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่คอยให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่มีประโยชน์มากมาย อีกทั้งยังอบรม สั่งสอน ตักเตือนข้าพเจ้าจนทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกว่าการสำเร็จการศึกษาแล้วสามารถเป็นบุคลากรที่มีคุณภาพต่อสังคมได้ อีกทั้งยังขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ (สกว.) สัญญาเลขที่ MRG-WI535E003 ที่สนับสนุนในเรื่องของทุนวิจัยและขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประภรรามกุล และ ผศ.ดร.วีรวัฒน์ ปัตทวิคองคา ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบุคคลที่มีความสำคัญมากต่อการสอบโครงร่างและสอบจบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราธร มงคลศรี ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ปัตทวิคองคา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังขอขอบพระคุณ บริษัท โกลด์ฟิลด์ รีไฟเนอรี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทองคำ และขอบคุณ คุณ ธราพงษ์ เกื้อนถ้ำแก้ว หรือ พี่บ๊ิก ซึ่งกรุณาให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ อีกด้วย

นอกจากบุคคลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ข้าพเจ้าขอขอบคุณ พี่น้องๆ และพี่ๆ จากห้องวิจัย Mass Separation ที่คอยช่วยเหลือให้กำลังใจ และเป็นทีที่ปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ ตลอดจนการทำวิทยานิพนธ์ และท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้คงจะไม่มีบุคคลใดที่สามารถเลี้ยงดูให้ข้าพเจ้าได้โตขึ้นมา มีการศึกษาที่ดีในวันนี้ได้ ซึ่งบุคคลทั้งสองท่านนี้คือ คุณพ่อและคุณแม่ ที่คอยอบรม สั่งสอน และสนับสนุนในเรื่องการศึกษา ซึ่งสิ่งที่สามารถแสดงความกตัญญูที่มีต่อท่านทั้งสองได้ในตอนนี้คือความสำเร็จในการศึกษาของลูก ดังนั้นข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	4
1.3 เชื้อแผ่นเหลว.....	10
1.4 ประเภทของเชื้อแผ่นเหลว.....	11
1.4.1 เชื้อแผ่นเหลวที่ไม่พองด้วยตัวรองรับ.....	11
1.4.1.1 เชื้อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน.....	11
1.4.1.2 เชื้อแผ่นเหลวเทียมโดยอาศัยสนามไฟฟ้าสถิต.....	13
1.4.2 เชื้อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับ.....	14
1.4.2.1 เชื้อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับแบบแผ่นแบน.....	14
1.4.2.2 เชื้อแผ่นเหลวชนิดที่พองด้วยแผ่นม้วน.....	15
1.4.2.3 เชื้อแผ่นเหลวชนิดที่พองด้วยเส้นใยกลวง.....	16
1.5 กระบวนการแยกด้วยเชื้อแผ่นเหลว.....	17
1.6 สารสกัด.....	18
1.6.1 สารสกัดชนิดกรด.....	18
1.6.2 สารสกัดชนิดเบส.....	19
1.6.3 สารสกัดชนิดกลาง.....	20
1.7 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	21
1.8 ขอบเขตของงานวิจัย.....	21

1.9 ระเบียบวิธีวิจัยโดยย่อ.....	21
1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	22
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	23
2.1 ทฤษฎีการคำนวณแบบจำลองการถ่ายโอนมวล.....	23
2.1.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย.....	23
2.1.2 การหาค่าคงที่สมดุล.....	23
2.1.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน.....	24
2.1.4 แบบจำลองการถ่ายโอนมวลและการหาค่าสัมประสิทธิ์- การถ่ายโอนมวล.....	25
2.2 การหาค่าการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปี.....	27
2.3 กลไกการถ่ายเทมวล.....	28
2.3.1 กลไกการถ่ายเทมวลแบบการแพร่.....	28
2.3.2 กลไกการถ่ายเทมวลแบบอาศัยตัวพา.....	28
2.3.2.1 การถ่ายเทมวลแบบง่าย.....	29
2.3.2.2 การถ่ายเทมวลแบบควบคุม.....	30
2.3.2.2.1 การถ่ายเทมวลแบบไปทางเดียวกัน.....	30
2.3.2.2.1 การถ่ายเทมวลแบบสวนทางเดียวกัน.....	31
2.4 การคำนวณของแบบจำลองพลั๊กซ์การถ่ายเทมวลในการคำนวณหา ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัม.....	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	38
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	40
3.1.1 การทดลองด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	40
3.1.2 วิธีการวิเคราะห์.....	41
3.3 วิธีการทดลอง.....	42
3.3.1 ศึกษาชนิดสารสกัดที่เหมาะสมต่อการสกัดไอออนแพลทินัม.....	42
3.3.2 ศึกษาผลของความเป็นกรด-เบส ในสารละลายป้อน.....	43
3.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดในสารละลายอินทรีย์.....	44
3.3.4 ศึกษาชนิดของสารละลายนำกลับ.....	44
3.3.5 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ.....	45

3.3.6	ศึกษาอัตราการไหลของสารละลายนำกลับและสารละลายป้อน.....	46
3.3.7	ศึกษาผลของอุณหภูมิในการดำเนินงาน.....	47
3.3.8	ศึกษาผลของชนิดตัวทำละลาย.....	47
3.4	ขั้นตอนการทำความสะอาดเส้นใยกลวง.....	48
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	49
4.1	ผลของชนิดของสารสกัด.....	50
4.2	ผลของความเป็นกรด-เบส ในสารละลายป้อน.....	51
4.3	ผลของความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายอินทรีย์.....	52
4.4	ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ.....	54
4.5	ผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ.....	56
4.6	ผลของอุณหภูมิในการดำเนินงาน.....	57
4.7	ผลของชนิดของตัวทำละลาย.....	58
4.8	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนจากการทดลองกับการคำนวณจากแบบจำลองพลั๊กการถ่ายเทมวล.....	60
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	64
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	65
	รายการอ้างอิง.....	67
	ภาคผนวก.....	72
	ภาคผนวก ก (แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา).....	73
	ภาคผนวก ข (ข้อมูลดิบและผลการคำนวณ).....	76
	ภาคผนวก ค (ตัวอย่างการคำนวณ).....	86
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	97

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตัวอย่างวิธีการในการแยกสกัดไอออนแพลทินัม.....	4
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	38
3.2	คุณสมบัติของตัวรองรับเส้นใยกลวงที่ใช้ในการทดลอง.....	41
4.1	ค่าความหนืดของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว.....	60
4.2	ค่าร้อยละการเบี่ยงเบน (Percentage of deviation).....	63
ข-1	การศึกษามวลของชนิดสารสกัดต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม.....	76
ข-2	การศึกษามวลของความเป็นกรด-เบส ในสารละลายป้อนในสารละลายป้อนต่อ การสกัดและนำกลับไอออนโลหะ.....	77
ข-3	การศึกษามวลของความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่น เหลวต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม.....	78
ข-4	การศึกษามวลของชนิดของสารละลายนำกลับต่อการสกัดและนำกลับไอออน แพลทินัม.....	79
ข-5	การศึกษามวลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ NaClO_4 ต่อการสกัดและ นำกลับไอออนแพลทินัม.....	80
ข-6	การศึกษามวลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ ผ่านโมดูลของเส้นใยกลวงต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม.....	81
ข-7	การศึกษามวลของความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่น เหลวต่อการสกัดไอออนแพลทินัมที่เวลาใดๆ.....	82
ข-8	การศึกษามวลของอุณหภูมิในการดำเนินงานต่อการสกัดและนำกลับไอออน แพลทินัมที่ผ่านโมดูลของเส้นใยกลวง.....	83
ข-9	การศึกษามวลของชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อการสกัดไอออนแพลทินัมที่ ผ่านโมดูลของเส้นใยกลวง.....	84
ข-10	ข้อมูลความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนขาออกที่ได้จากผล การทดลองเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 และค่าที่คำนวณ จากแบบจำลองพลั๊กการถ่ายเทมวล.....	85

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	รูปแบบของเยื่อแผ่นเหลว.....	10
1.2	ระบบเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน.....	11
1.3	กระบวนการแยกโดยใช้วิธีเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน.....	12
1.4	กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวเทียมโดยอาศัยสนามไฟฟ้าสถิต.....	13
1.5	ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับแบบแผ่นแบน.....	15
1.6	ระบบเยื่อแผ่นเหลวชนิดที่พุงด้วยแผ่นม้วน.....	16
1.7	มอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	17
1.8	แสดงลักษณะการไหลแบบสวนทางกันของวัฏภาคสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับบนเส้นใยกลวงหนึ่งเส้นในชุดทดลองเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	17
2.1	รูปแบบกลไกการถ่ายเทมวลแบบการแพร่ของสารละลาย.....	28
2.2	รูปแบบกลไกการถ่ายเทมวลแบบง่าย.....	29
2.3	รูปแบบกลไกการถ่ายเทมวลแบบไปทางเดียวกัน.....	31
2.4	รูปแบบกลไกการถ่ายเทมวลแบบสวนทางกัน.....	32
2.5	การถ่ายโอนมวลของไอออนแพลทินัมกับสารสกัด Aliquat 336.....	33
3.1	แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารสกัดที่ใช้ในการทดลอง.....	39
3.2	อุปกรณ์ชุด Liquid-Cel [®] Laboratory.....	40
3.3	อุปกรณ์ชุด Liqui-Cel [®] Contactor.....	40
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสารสกัดกับร้อยละการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม.....	50
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ในสารละลายป้อนกับร้อยละการสกัดไอออนโลหะ.....	51
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ในสารละลายป้อนกับร้อยละการนำกลับไอออนโลหะ.....	52
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 กับร้อยละการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม.....	53

ภาพที่	หน้า
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสารละลายนำกลับกับร้อยละการนำกลับไอออน แพลทินัม..... 54
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NaClO_4 กับร้อยละการนำกลับไอออน แพลทินัม..... 55
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ กับร้อยละการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัม..... 56
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการดำเนินงานกับร้อยละการสกัดและการ นำกลับไอออนแพลทินัม..... 57
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการดำเนินงานกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ของไอออนแพลทินัม..... 58
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของตัวทำละลายกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของ ไอออนแพลทินัม..... 59
4.11	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนที่เวลา 0-14 นาที จากผลการทดลองกับการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.. 63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์

A	พื้นที่การถ่ายโอนมวล
C_f	ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนที่เวลา t
$C_{f,0}$	ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนที่เวลาเริ่มต้น
D^*	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient)
D_t	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient)
ΔH	ค่าการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปี
K_{ex}	ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการสกัด (Equilibrium Constant)
k	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล
k_B	ค่าคงที่ของ Boltzmann มีค่าเท่ากับ 1.3807×10^{-23} J/K
k_f	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน
k_m	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว
k_s	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายนำกลับ
L	ความยาวของเส้นใยกลวง
l	ความหนาของชั้นฟิล์มระหว่างสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลว
M	ความเข้มข้นของไอออนโลหะ
M_f	ความเข้มข้นของไอออนโลหะด้านสารละลายป้อน
M_{if}	ความเข้มข้นของไอออนโลหะที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว
M_{is}	ความเข้มข้นของไอออนโลหะที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับ
M_s	ความเข้มข้นของไอออนโลหะด้านสารละลายนำกลับ
N	จำนวนเส้นใยกลวงในโมดูล

P	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Coefficient)
P_m	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเยื่อแผ่นเหลว
Q	อัตราการไหลเชิงปริมาตร
r_i	รัศมีภายในของเส้นใยกลวง
r_o	รัศมีภายนอกของเส้นใยกลวง
r_{lm}	รัศมี Log-mean ของเส้นใยกลวง
$[R'R_3N^+Cl^-]$	ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336
S	สารสกัดชนิดซอลเวท
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์ของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว
t	เวลา
V	ปริมาตรของชุดทดลองเส้นใยกลวง
V_f	ปริมาตรของสารละลายป้อน
$[Pt]$	ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัม
$[(R'R_3N^+)_2PtCl_6]$	สารประกอบเชิงซ้อนของไอออนแพลทินัมกับสารสกัด Aliquat 336 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
J	ค่าฟลักซ์การถ่ายเทมวล
R_i	ค่าความต้านการถ่ายเทมวลของละลายป้อน
R_m	ค่าความต้านการถ่ายเทมวลของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว

อักษรกรีก

ε	ความพรุนของเส้นใยกลวง
π	ค่าคงที่ในสมการของ Stokes และ Einstein มีค่า 3.1416
η	ค่าความหนืดของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว

ตัวห้อย

f	สารละลายป้อน
s	สารละลายนำกลับ
m	สารละลายเยื่อแผ่นเหลว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

แพลทินัมจัดว่าเป็นหนึ่งในโลหะมีค่าและหาได้ยากในธรรมชาติซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง โดยชื่อของ Platinum มีที่มาจากคำว่า Platina ซึ่งเป็นภาษาสเปน แปลว่า Silver (เงิน) ส่วนภาษาไทยรู้จักกันดีในชื่อที่เรียกว่า ทองคำขาว การที่มนุษย์รู้จักโลหะชนิดนี้ได้ขึ้นเกิดจากการค้นพบของ Antonio de Ulloa ในปี ค.ศ. 1735 ซึ่งพบว่าสมัยโบราณชาวพื้นเมืองในอเมริกาใต้ได้มีการนำโลหะแพลทินัมมาทำเป็นของใช้ โลหะชนิดนี้เป็นโลหะชนิดหนึ่งที่หายากมากและเกิดขึ้นเพียง 0.003 ส่วนในพันล้านส่วนบนเปลือกโลกและพบยากกว่าทอง 30 เท่า [1] บางครั้งก็ถูกเข้าใจผิดว่าเป็นเงินเนื่องจากมีลักษณะภายนอกที่คล้ายกันแต่ที่แพลทินัมมีสีที่ขาวกว่า โดยในธรรมชาติแพลทินัมจะถูกพบพร้อมกับกลุ่มโลหะแพลทินัม (Platinum Group Metals, PGMs) ซึ่งประกอบด้วย แพลทินัม (Platinum) แพลลลาเดียม (Palladium) โรเดียม (Rhodium) รูเธเนียม (Ruthenium) อิริเดียม (Iridium) และออสเมียม (Osmium) เป็นต้น แร่แพลทินัมพบในชั้นบางของโลหะแร่ซัลไฟด์ ซึ่งแร่ซัลไฟด์เหล่านี้จะพบในหินอัคนีชนิดเมฟิกและอัลตราเมฟิกหรืออาจเกิดร่วมกับสายแร่ निकเกิล-ทองแดง [2] โดยแหล่งแร่ดิบปริมาณ 8 ตันสามารถให้ผลิตภัณฑ์แพลทินัมบริสุทธิ์ได้ 1 ออนซ์ ในปัจจุบันแหล่งผลิตแพลทินัมแหล่งใหญ่ที่สำคัญของโลกมาจาก Bushveld Complex ในประเทศแอฟริกาใต้ รัสเซีย แคนาดา (เมืองซัสเบอร์รี่) สหรัฐอเมริกา (รัฐอลาสกา) ชิมบับเว เป็นต้น [3] ในประเทศไทยพบแหล่งแพลทินัมเกิดแบบทุติยภูมิเป็นแหล่งลานแร่สะสมตัวอยู่ในตะกอนกรวดทรายตามลำน้ำ พบแหล่งเดียวที่บ้านคำด้วง อำเภอบ้านฝ้อ จังหวัดอุดรธานี กรมทรัพยากรธรณีได้ดำเนินการเจาะสำรวจด้วยเครื่องเจาะบังก้า แล้วพบว่ามีความสมบูรณ์ต่ำและไม่สม่ำเสมอ โดยหลุมที่มีค่าความสมบูรณ์สูงสุดมีแพลทินัม 0.02643 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงไม่สามารถทำเหมืองได้ [4]

สมบัติและประโยชน์

แพลทินัมมีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ Pt มีมวลอะตอมเท่ากับ 195.078 g/mol เป็นโลหะทรานซิชันมีลักษณะเป็นสีขาวเงิน (Silver White) มันวาวตลอดเวลา เป็นธาตุหมู่ 10 คาบ 6 เลขอะตอม 78 จุดหลอมเหลว 2041.4 เคลวิน และมีจุดเดือด 4098 เคลวิน ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิต่างๆ ไม่สามารถละลายในกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริกเดี่ยวๆ แต่

สามารถละลายได้ในสารผสมระหว่างกรดทั้งสองในอัตราส่วน 4:3 ตามลำดับ หรือที่เรียกว่า Aqua Regia ซึ่งอยู่ในรูปของกรดคลอโรแพลทินิก (H_2PtCl_6)

แพลทินัมมีคุณสมบัติพิเศษในการต่อต้านการเป็นสนิม (Oxidation) ทนการกัดกร่อน (Corrosion) ของสารเคมี มีความเสถียรทางไฟฟ้า มีความแข็งแรงทนทาน และมีจุดหลอมเหลวสูง เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้ปัจจุบันแพลทินัมถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เช่น ใช้ทำเครื่องประดับ ใช้ทำตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ผสมโลหะการทำครอบฟันในด้านทันตกรรม ใช้ทำเครื่องมือหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า อุตสาหกรรมกระจก เป็นต้น [5-6]

ตัวอย่างประโยชน์ของแพลทินัมในการใช้ทำตัวเร่งปฏิกิริยา

แพลทินัมส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ทำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งเริ่มใช้ในด้าน ค.ศ. 1800 โดยที่ผงแพลทินัมถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการเผาไหม้ไฮโดรเจน หน้าที่สำคัญของแพลทินัมในการทำงานภายในเครื่องยนต์ คือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ เพื่อลดปริมาณของไฮโดรเจนที่ไม่ได้ถูกเผาไหม้ จากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ นอกจากนี้ยังนำแพลทินัมไปใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมในกระบวนการแยก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปของเนปทาพันธะสายตรงให้เป็นน้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนสูง ซึ่งจะกลายเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีค่ามาก ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แพลทินัมเป็นส่วนประกอบคือ แพลทินัมออกไซด์ (PtO_2) หรือที่รู้จักดีในชื่อ ตัวเร่งปฏิกิริยาอดัม (Adam's Catalyst) ซึ่งนิยมนำมาใช้ในกระบวนการไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) [7] ของการผลิตน้ำมันพืช นอกจากนี้ยังใช้เร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide) ให้เป็นน้ำและก๊าซออกซิเจน [8]

ตัวอย่างประโยชน์ของแพลทินัมในการใช้ทำเครื่องประดับ

จากคุณสมบัติของแพลทินัมและปริมาณที่มีอยู่น้อย เมื่อนำมาใช้ในวงการเครื่องประดับ เช่น นาฬิกา แหวน สร้อย ตุ้มหู เป็นต้น ทำให้แพลทินัมมีราคาสูง อีกทั้งราคาของแพลทินัมยังมีค่าสูงกว่าทองคำประมาณ 1 เท่าตัว ดังนั้นเครื่องประดับที่ทำด้วยแพลทินัมจึงเป็นที่นิยมในหมู่ของผู้บริโภคเพียงบางกลุ่มเท่านั้นที่ชื่นชอบความคงทนของลวดลาย ความแข็งแรงของตัวเรือนที่เกะอัญมณีได้ยาวนานกว่าทอง [9]

จากความสำคัญของแพลทินัมทำให้ประเทศไทยมีการนำเข้าโลหะตัวนี้มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยส่วนมากนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม เครื่องประดับ ทันตกรรม เป็นต้น ในอุตสาหกรรมการสกัดทองคำนอกจากจะได้ทองคำบริสุทธิ์แล้วยังพบว่ามีโลหะมีค่าต่างๆ ได้แก่ แพลเลเดียม แพลทินัม ทองคำ ทองแดงละลายเจือปนอยู่ในน้ำทิ้งซึ่งทางโรงงานมีการบำบัดและ

น้ำกลับลโหะมีค่าเหล่านี้ แต่ยังไม่สามารถนำกลับได้หมดพบว่ามีปริมาณแพลทินัมเหลืออยู่ 1-5 ppm ซึ่งเกินขีดความสามารถที่จะนำกลับได้ โดยปริมาณน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่ธรรมชาติมีปริมาณเฉลี่ย 300 คิว หรือ 300,000 ลิตรต่อเดือน หากไม่มีการนำกลับลโหะมีค่าเหล่านี้ก็จะทำให้ทรัพยากรทางธรรมชาติสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ โดยที่ผ่านมามีการศึกษาศึกษาการสกัดไอออนแพลทินัมด้วยวิธีต่างๆ เช่น Ion Exchange [10] Solvent Extraction [11-12] Liquid-Liquid Extraction [13] Supported Liquid Membrane[14-15] เป็นต้น ซึ่งแต่ละเทคนิคมีข้อจำกัดและความยุ่งยากในการใช้งาน [16] จึงมีความจำเป็นที่จะทำการศึกษาเทคนิคใหม่ๆ ในการแยกแพลทินัม โดยวิธีการแยกที่ได้รับความสนใจคือเทคนิคการแยกด้วยเยื่อแผ่นเหลวเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการเลือกสกัดไอออนโลหะ [17] ใช้ปริมาณสารสกัดและสารละลายอินทรีย์น้อย [18] อีกทั้งยังสามารถสกัดและนำกลับได้ในขั้นตอนเดียวกัน โดยการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวได้รับการพัฒนามาจากการสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย [19]

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Supported Liquid Membrane) เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น มีพื้นที่การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรสูง [20] ง่ายต่อการขยายขนาดของระบบ [21] ต้นทุนในการติดตั้งและดำเนินการต่ำ ใช้พลังงานน้อย อีกทั้งยังประหยัดสารสกัดเมื่อเทียบกับระบบการสกัดด้วยตัวทำละลาย [22] และที่สำคัญสามารถใช้ได้ดีกับสารละลายที่มีปริมาณไอออนในระดับหนึ่งส่วนพันล้านส่วน (ppt) [23] จากเหตุผลข้างต้นจะเห็นได้ว่าปัจจุบันระบบการแยกที่ใช้เยื่อแผ่นเหลวนั้นได้รับการศึกษาและวิจัยกันอย่างกว้างขวาง ดังนั้นการศึกษาศึกษาการสกัดแยกและนำกลับลโหะมีค่าออกจากน้ำทิ้งด้วยระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงนั้น สามารถที่จะนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งจะเป็นการช่วยประหยัดเงินตรา ลดการขาดดุลทางการค้าในการซื้อและนำเข้าโหะมีค่าจากต่างประเทศ

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างวิธีการในการแยกสกัดไอออนแพลทินัม

ผู้แต่ง	วิธีการ	ชนิดสารละลายป้อน	สารละลายป้อน	ชนิดสารสกัด	ตัวทำละลาย
[10]	IE	น้ำสังเคราะห์	Pt(II), Pt(IV)	-	-
[13]	LLE	น้ำสังเคราะห์	Pt(IV), Fe(III), etc.	Cyanex 302	เคโรซีน
[24]	ELM	น้ำสังเคราะห์	Pt(IV)	Cyanex 923	Xylene
[25]	SE	น้ำสังเคราะห์	Pt(IV), Pd(II)	LIX-84I	เคโรซีน
[26]	SE	น้ำสังเคราะห์	Pt(IV)	Nonylthiourea	คลอโรฟอร์ม
[27]	SE	น้ำสังเคราะห์	Pt(IV)	Aliquat 336	Dodecane
[28]	SE	น้ำสังเคราะห์	Pt(IV)	Aliquat 336	Dodecane
[29]	SLM	น้ำสังเคราะห์	Pt(IV)	LIX 26	เคโรซีน
[30]	SLM	น้ำสังเคราะห์	Pt(IV), Pd(II)	LIX 26	เคโรซีน
[15]	SLM	น้ำสังเคราะห์	Pt(IV), Pd(II)	Aliquat 336	NPOE
[31]	HFSLM	น้ำที่จกกระบวนการชะล้าง Catalytic converter	Pt(IV), Rh(III), Pd(II)	Cyanex 471, Aliquat 336	Dodecane
งานวิจัยนี้	HFSLM	น้ำที่ได้จากกระบวนการ การสกัดทองคำ	Pt(IV), Au(III), Pd(II), Cu(II)	Aliquat 336, LIX-84I, Cyanex 923, D2EHPA	เคโรซีน, น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันปาล์ม

หมายเหตุ IE = การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange), LLE = การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid Liquid Extraction), ELM = เยื่อแผ่นเหลวอิมัลชัน (Emulsion Liquid Membrane), SE = การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction), SLM = เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ (Supported Liquid Membrane), HFSLM = เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Supported Liquid Membrane)

1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดไอออนแพลทินัม

Fu และคณะ [29] ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนมวลของ Platinum(IV) ผ่านระบบ Supported Liquid Membrane ที่มีสารสกัด LIX-26 ละลายในตัวทำละลายเคโรซีน พบว่าความเข้มข้นของสารสกัด LIX-26 ที่เหมาะสมคือ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยที่ผลของการสกัดไอออนเมื่อเทียบกับความเข้มข้นกรดไฮดรอกซอลริกในสารละลายป้อน ให้ค่าการสกัดที่ดีในช่วงความเข้มข้น 1-2 โมลต่อลิตร อีกทั้งยังพบอีกว่าถ้าใช้สภาวะของกรดไฮดรอกซอลริกมากกว่า 1 โมลต่อลิตร อาจทำให้เกิดปัญหาในตัวทำละลายเคโรซีนที่ผสมอยู่กับสารสกัดซึ่งจะเกิดเป็น 3 เฟส ดังนั้นวิธีการปรับปรุงคือเติม 1-octanol 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ต่อมาพวกเขา [30] ยังได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนมวลของ Platinum(IV) และ Palladium(II) ผ่านระบบ Supported Liquid Membrane ที่มีสารสกัด LIX-26 ละลายในตัวทำละลายเคโรซีน พบว่า Platinum(IV) สามารถถ่ายโอนมวลและนำกลับผ่าน LIX-26 ได้แก่ Palladium(II) ยังคงค้างเหลืออยู่ใน Organic phase และเมื่อเปรียบเทียบการสกัดของแพลทินัมกับกรดชนิดต่างๆ พบว่าร้อยละการสกัดที่ดีที่สุดโดยเรียงจากมากไปหาน้อย $H_2SO_4 > HCl > HNO_3$ โดยในการนำกลับ Platinum(IV) สามารถนำกลับได้ดีที่สุดที่สภาวะ LIX-26 มีความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความเข้มข้นกรด H_2SO_4 ในสารละลายป้อนเป็น 1 โมลต่อลิตร

Fontas และคณะ [28] ทำการศึกษาการสกัด Platinum(IV) ด้วยวิธี Solvent Extraction โดยใช้สารสกัด Aliquat 336 ในตัวทำละลาย Dodecane โดยสารละลายป้อนอยู่ในรูปสารละลายกรด พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ Aliquat 336 สามารถเพิ่มร้อยละการสกัดของ Platinum(IV) และผลของสารสกัดที่ใช้ในการนำกลับ พบว่าความเข้มข้นเท่ากันที่ 0.5 โมลต่อลิตร ค่าความสามารถในการนำกลับลดลงตามลำดับ $NaClO_4 > NaSCN > Thiourea > NaHSO_3$ ต่อมาพวกเขา [31] ได้ทำการศึกษาการสกัดแยกแพลทินัมและแพลเลเดียมออกจากสารละลายกรดที่เหลือทิ้งจากกระบวนการชะล้าง Catalytic converter ด้วยวิธีเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยระบบที่ใช้มี 2 แบบคือแบบ Batch และแบบ Recycling โดยใช้สารสกัด Cyanex 471 ใน module I และ Aliquat 336 ใน module II ซึ่งในการทดลองจะเตรียมสารละลาย Thiocyanated ในสารละลายป้อนที่มีองค์ประกอบของ Pd(II), Pt(IV) และ Rh(III) จากการทดลองพบว่าในแบบ Recycling mode สามารถสกัดและนำกลับ Pd(II) ใน module I ในขณะที่ Pt(IV) สามารถสกัดและนำกลับ Pd(II) ใน module II โดยที่ Rh(III) ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายป้อน และเมื่อนำสภาวะที่ดีที่สุดในการทดลองในสารสังเคราะห์มาใช้น้ำเสียจริงพบว่าสามารถนำกลับ

แพลเลเดียมและแพลทินัม 43% และ 57% ตามลำดับ อีกทั้งในงานวิจัยอื่น [15] ยังมีการศึกษาการแยกสกัดไอออนแพลทินัมด้วยวิธี Polymeric Plasticized Membrane (PPM) และ Supported Liquid Membrane (SLM) โดยใช้ Aliquat 336 เป็นสารสกัดซึ่งละลายอยู่ในตัวทำละลาย 2-nitrophenyl octyl ether (NPOE) และใช้ NaClO_4 เป็นสารละลายสตริป พบว่าความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 มีผลต่อการสกัดแยกใน SLM แต่ไม่มีผลใน PPM ที่ความเข้มข้นเดียวกันและการเลือกสกัดไอออนแพลทินัมเมื่อเทียบกับไอออนแพลเลเดียมสามารถให้ค่าการสกัดและนำกลับที่มากกว่าเนื่องมาจากลิแกนด์และสารประกอบเชิงซ้อนในรูป Hydrophobic ของแพลทินัมมีมากกว่าแพลเลเดียม

Bhandare และ Argekar [14] ศึกษาการแยกสกัดและนำกลับแพลทินัมและโรเดียมด้วยวิธีเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ โดยใช้สารสกัด Bis(2-ethylhexyl)phosphoric acid (HDEHP) ละลายในตัวทำละลายเคโรซีน และใช้ HCl เป็นสารละลายสตริป โดยปัจจัยที่ศึกษา 0.003-2 โมลต่อลิตร HDEHP, 0.5–1.5 โมลต่อลิตร HCl และเวลาที่ใช้ในการกวนผสม 1-10 ชั่วโมง พบว่าแพลทินัมสามารถสกัดแยกได้ดีที่สุด 99% ที่ความเข้มข้น HDEHP เท่ากับ 2 โมลต่อลิตร โดยใช้เวลาที่ใช้ในการกวนผสม 9 ชั่วโมง

Rane และ Venugopal [25] ศึกษาการสกัดแยก Pd(II) และ Pt(IV) ด้วยวิธี Solvent extraction โดยใช้ LIX-84I (2-hydroxy-5-nonylacetophenone oxime) ในตัวทำละลาย Dodecane และใช้ SnCl_2 ในกรดไฮดรอกลอริกเป็นสารละลายนำกลับ ซึ่งในการทดลองจะเตรียมแพลทินัมในสารละลายแอมโมเนียพบว่าสามารถเกิดการสกัดได้ดีที่ pH 7-9 เพราะเมื่อ pH มากกว่า 9 จะทำให้เกิดการตกตะกอนของ Pt(IV) เกิดเป็น $(\text{NH}_4)_2(\text{PtCl}_6)$ ในฝั่งสารละลายป้อน และสามารถนำกลับ Pt(IV) และ Pd(II) ออกจากสารละลายผสมระหว่าง Fe(III), Al(III), Zn(II), Cu(II) และ Ni(II) ได้ 97% และ 86% ตามลำดับ

Kumar และคณะ [13] ศึกษาการสกัดไอออนแพลทินัมออกจากสารละลายกรดด้วยวิธี Liquid-Liquid Extraction โดยใช้ Bis(2,4,4-trimethylpentyl) monothiophosphinic acid (Cyanex 302) ละลายในเคโรซีน เป็นส่วนผสมในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว โดยทำการทดลองเปรียบเทียบความแตกต่างของสารละลายกรดที่ใช้เป็นสารละลายป้อน เช่น HCl, H_2SO_4 และ HNO_3 พบว่าในรูปแบบสารละลายกรดซัลเฟตสามารถสกัดไอออนแพลทินัมได้ดีที่สุดและในการศึกษาการใช้สารสกัดผสมระหว่าง Cyanex 302 ที่ความเข้มข้นคงที่ที่ 0.5 โมลต่อลิตร กับ PC

88A, D2EHPA และ TBP ในช่วงความเข้มข้น 0.0005-0.01 โมลต่อลิตร พบว่าสามารถเกิด Synergistic Effect เฉพาะกับสารละลายกรดไนตริก

Malik และ Paiva [11] ศึกษาการสกัดและนำกลับ Platinum(IV) ด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ N,N-dimethyl-N,N'-diphenyltetradecylmalonamide (DMDPHTDMA) เป็นสารสกัด พบว่าแพลทินัมสามารถเกิดประสิทธิภาพในการสกัดได้ดีกับสารสกัด DMDPHTDMA ในรูป Pt-Sn (Complex) และสามารถนำกลับได้ดีเมื่อกรดไฮดรอกลอรอริกเข้มข้น 4 โมลต่อลิตรผสมกับโซเดียมคลอเรท (NaClO_3)เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

1.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดไอออนโลหะอื่นนอกเหนือจากแพลทินัม

Weerawat และคณะ [32] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลเลเดียมจากกรดทังที่ใช้แล้ว ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ได้แก่ ผลของความเข้มข้นของสารสกัดโธโรไดรอนและสารสกัดกรดโอเลอิก ผลของความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อน ผลของความเข้มข้นสารละลายสตริปโซเดียมไนไตรต์ ผลของอัตราการไหลที่เท่ากันของสารละลายป้อนและสารสตริป และผลของจำนวนรอบในการผ่านมอดูล พบว่าลำดับในการนำกลับไอออนโลหะมีค่าคือ $\text{Pd(II)} > \text{Pt(IV)} > \text{Cu(II)} > \text{Au(III)}$ โดยเป็นการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ (Synergistic Extraction) นอกจากนี้พบว่าเมื่อผ่านมอดูล 3 รอบสามารถนำกลับแพลเลเดียมได้สูงถึง 65.63% ซึ่งปฏิบัติการสกัดมีดังนี้

Pancharoen และคณะ [33] ศึกษาการแยกไอออน La(III) และ Nd(III) ออกจากสารละลายด้วยวิธีเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดคือ thenoyltrifluoroacetone (HTTA) ในตัวทำละลายเบนซีน อีกทั้งยังได้ศึกษาการสกัดไอออน La(III) และ Nd(III) แบบเสริมฤทธิ์ โดยเติม tri-octylamine (TOA) ในสารสกัด HTTA พบว่าเมื่อค่าความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อนมีค่าเป็น 2.5 จะได้อัตราการสกัดสูงสุด เมื่อเติม TOA ในสารสกัด HTTA อัตราการสกัดและการนำกลับจะสูงขึ้นในระบบเสริมฤทธิ์ ทั้งนี้อัตราการสกัดและอัตราการนำกลับของ La(III) จะสูงกว่า Nd(III) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ HTTA อัตราการสกัดและอัตราการนำกลับจะสูงขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อใช้มอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงเป็นแบบ Multi-Column จะได้อัตราการสกัดและการนำกลับสูงกว่าการใช้มอดูลเยื่อแผ่นเหลวแบบ Single-Column เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับการสกัดและนำกลับไอออนอาร์เซนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงดังนั้น งานวิจัย

ต่อมาของ Pancharoen และคณะ [34] จึงได้ทำการศึกษาการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์เซนิกออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง สารสกัดที่ใช้ ได้แก่ Cyanex 923, tributylphosphate (TBP), Cyanex 301, TOA และ Aliquat 336 ละลายในเคโรซีน และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายนำกลับ โดยศึกษาสภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์เซนิก ได้แก่ ความเข้มข้นของสารสกัด ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ จำนวนรอบในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง และจำนวนครั้งของการนำสารละลายนำกลับที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าสารสกัด Aliquat 336 เข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถสกัดไอออนอาร์เซนิกออกจากน้ำทิ้งจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติได้ดีที่สุด เนื่องจากสามารถสกัดสารประกอบกรดอาร์เซนิกที่ไม่แตกตัว (H_3AsO_3) และสารประกอบเชิงซ้อนของกรดอาร์เซนิกที่แตกตัว ($H_2AsO_4^-$ และ $HAsO_4^{2-}$) ได้ เมื่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้นมากขึ้นสามารถนำกลับไอออนอาร์เซนิกได้มากขึ้นและคงที่ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.5 โมลต่อลิตร อีกทั้งในการศึกษาจำนวนรอบของการสกัดพบว่าในรอบที่ 3 ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงสามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์เซนิกได้ถึงร้อยละ 91 และ 72 ตามลำดับ และยังพบว่าความเข้มข้นของไอออนอาร์เซนิกเหลือเพียง 0.1201 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถลดความเข้มข้นของไอออนอาร์เซนิกได้ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม สำหรับการนำสารละลายนำกลับมาใช้ใหม่สามารถทำให้ไอออนอาร์เซนิกในสารละลายนำกลับเพิ่มขึ้น จนกระทั่งยังพบอีกว่าในน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติยังมีไอออนปรอทเจือปนอยู่ซึ่งไอออนปรอทนี้มีพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ทำให้ Pancharoen และคณะ [35] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการนำกลับไอออนปรอทจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยในการเตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวใช้สารละลายผสมของสารสกัด TOA ละลายในโทลูอีน และใช้สารละลายนำกลับป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดของสารสกัด ค่าการคัดเลือกของสารสกัดแต่ละชนิด ความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นของสารสกัด TOA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ อายุการใช้งานของเยื่อแผ่นเหลว และจำนวนรอบสกัด จากการศึกษาพบว่า สามารถสกัดและนำกลับไอออนปรอทได้สูงสุดร้อยละ 94 และ 57 ตามลำดับ ที่สภาวะความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อนเท่ากับ 2.5 สารสกัด TOA เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที

และเมื่อทำการทดลองหาอายุการใช้งานของเยื่อแผ่นเหลวที่ให้ประสิทธิภาพของการสกัดแยก ไอออนปรอทที่ดีที่สุด พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมคือไม่เกิน 120 นาที และเมื่อทำการเพิ่มจำนวน หอสกัดพบว่าประสิทธิภาพของการสกัดและการนำกลับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ในการ คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_p) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย โอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m) มีค่าเท่ากับ 0.42 และ 1.67 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลวมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของ สารละลายป้อน ดังนั้นกล่าวได้ว่าขั้นตอนจำกัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ การถ่ายโอนมวลของชั้น ฟิล์มระหว่างสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลว

Muthuraman และ Palanivelu [36] ศึกษาการกำจัดและนำกลับสีย้อมผ้าออกจาก สารละลายป้อนผ่านระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับแบบแผ่นแบนโดยใช้น้ำมันที่ได้จาก ผลผลิตตามธรรมชาติ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันดอกทานตะวัน เป็นสารละลาย เยื่อแผ่นเหลว อีกทั้งยังศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการนำกลับสีย้อมผ้า ได้แก่ ความเป็นกรด-เบส ใน สารละลายป้อน ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในสารละลายนำกลับ อัตราความเร็วของการปั่นกวน ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม และชนิดของน้ำมันที่ใช้เป็นสารละลายเยื่อแผ่นเหลว พบว่าค่าการ ซึมผ่านของสีมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้อัตราการปั่นกวน 350 รอบต่อนาที

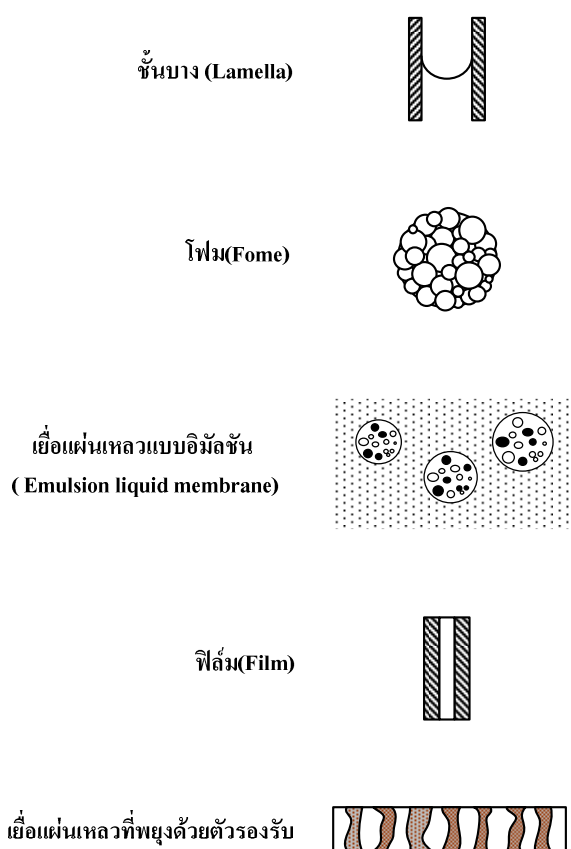
Venkateswaran และคณะ [37] ศึกษาการถ่ายโอนมวลของไอออนทองแดงออกจาก สารละลายสังเคราะห์ผ่านระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับที่ประกอบไปด้วย Di(2-ethylhexyl)phosphoric acid (D2EHPA) เป็นสารสกัดละลายอยู่ในตัวทำละลายคือน้ำมัน มะพร้าว โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการถ่ายโอนมวลของไอออนทองแดง ได้แก่ ความเป็นกรด-เบส ในสารละลายป้อน ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในสารละลายนำกลับ ค่าความเข้มข้นของสาร สกัด ความเสถียรของสารละลายเยื่อแผ่นเหลวของสารสกัดที่ผสมอยู่กับน้ำมันมะพร้าว

Chakrabarty และคณะ [38] ศึกษาความเป็นไปได้ในการถ่ายโอนมวลของปรอทผ่านเยื่อ แผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับแบบแผ่นแบนซึ่งประกอบไปด้วย TOA ทำหน้าที่เป็นสารสกัดและใช้ น้ำมันมะพร้าวเป็นตัวทำละลาย ในกระบวนการนี้จะใช้สารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-เบส ในสารละลายป้อน ค่าความเข้มข้นของสารละลาย นำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าความเข้มข้นของสารสกัด TOA ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว เป็น ต้น จากงานวิจัยพบว่าสามารถสกัดปรอทเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ

โซเดียมไฮดรอกไซด์และมีค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.3 โมลต่อลิตร ค่าร้อยละการสกัดของปรอทอยู่ที่ 95 นอกจากนี้การสกัดปรอทโดยใช้น้ำมันมะพร้าวยังให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ไดคลอโรอีเทน และเฮปแทนเป็นตัวทำละลายที่เป็นสารละลายอินทรีย์

1.3 เยื่อแผ่นเหลว

เยื่อแผ่นเหลวทำหน้าที่เป็นตัวกั้น (Barrier) ซึ่งอาจเป็นฟิล์มบาง กั้นระหว่างสารละลายสองเฟสออกจากกันและจำกัดการถ่ายเทสารเคมี ให้มีความจำเพาะมากโดยการเลือกผ่านสารที่เป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมีหรือทางกายภาพของเยื่อแผ่น [39] โดยเทคนิคการใช้เยื่อแผ่นเหลวจะเป็นกระบวนการแบบ Non-equilibrium membrane process สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการแยกองค์ประกอบที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ในสารละลาย เช่น การกำจัดไอออนโลหะที่เจือปนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม ซึ่งในรูปที่ 1.1 แสดงรูปแบบของฟิล์มเยื่อแผ่นเหลวที่น่าจะเกิดขึ้นได้โดยเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันและเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านงานวิจัยและอุตสาหกรรม [40]



รูปที่ 1.1 รูปแบบของเยื่อแผ่นเหลว [40]

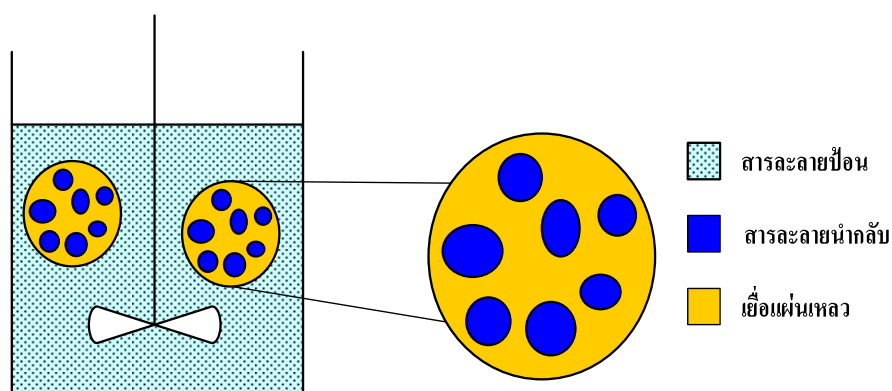
1.4 ประเภทของเยื่อแผ่นเหลว

แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือเยื่อแผ่นเหลวที่ไม่พองด้วยตัวรองรับและเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับ

1.4.1 เยื่อแผ่นเหลวที่ไม่พองด้วยตัวรองรับหรือเรียกอีกชื่อว่าเยื่อแผ่นเหลวเคลื่อนที่ได้

1.4.1.1 เยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน (Emulsion Liquid Membrane Process)

กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน [41] คือ การนำเอาระบบเยื่อแผ่นเหลวมาจัดเรียงให้อยู่รูปแบบหนึ่งซึ่งเรียกว่าแบบอิมัลชัน ในแบบนี้สารละลายป้อนจะทำหน้าที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous Phase) และมีสารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่เป็นสารละลายน้ำมันอยู่ภายในซึ่ง เป็นลักษณะวัฏภาคไม่ต่อเนื่อง (Dispersion Phase) ดังรูปที่ 1.2 และจะเกิดกระบวนการถ่ายเทองค์ประกอบ ซึ่งองค์ประกอบที่เกิดปฏิกิริยานั้นจะแพร่เข้าสู่สารละลายน้ำมันและไปอยู่ที่สารละลายนำกลับ สารละลายนำกลับนั้นจะอยู่ภายในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวอีกที



รูปที่ 1.2 ระบบเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน

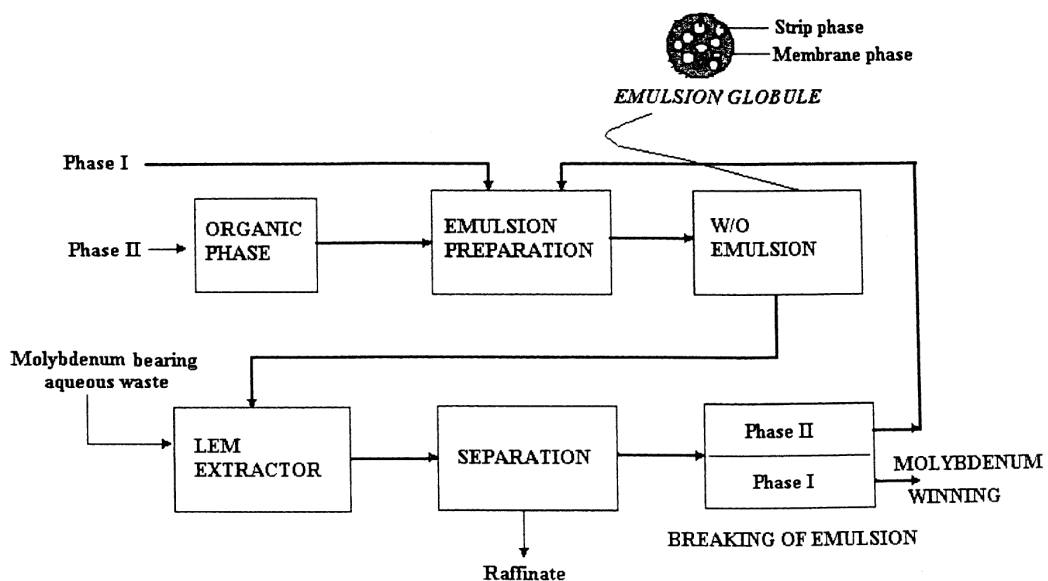
วิธีการเตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน สามารถเตรียมได้โดยนำสารละลายนำกลับมาผสมกับสารละลายเยื่อแผ่นเหลวซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะต้องไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำมาปั่นจนทำให้วัฏภาคสารละลายนำกลับมีขนาดเป็นเม็ดเล็กๆ อยู่ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว โดยทั่วไปเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันที่ได้จะมีความเสถียรต่ำ จึงมีการเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ลงไป เพื่อเพิ่มความเสถียร เมื่อเตรียมเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันเสร็จแล้วจะต้อง

นำไปใส่ลงในสารละลายป้อนซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ทำให้เกิดการการเรียงวัฏภาคใหม่เป็น 3 ชั้น เรียงลำดับจากด้านในไปด้านนอก คือ สารละลายนำกลับ สารละลายเยื่อแผ่นเหลวและ สารละลายป้อนตามลำดับ เรียกว่า อิมัลชันเชิงซ้อน (Double Emulsion) ซึ่งเมื่อเกิดการแยกโดย สมบูรณ์แล้ว องค์ประกอบที่ต้องการแยกจะเข้าไปอยู่ในสารละลายนำกลับ จากนั้นจึงนำ สารละลายป้อน (ที่ถูกสกัดองค์ประกอบที่ต้องการออกไปแล้ว) ไปแยกออกจากเยื่อแผ่นเหลว อิมัลชัน สุดท้ายจึงนำสารละลายเยื่อแผ่นเหลวอิมัลชันที่ผ่านการสกัดแล้วไปแยกวัฏภาคภายใน ออกได้เป็นสารละลายผลิตภัณฑ์ ส่วนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวนั้นสามารถนำกลับไปใช้ได้อีก

ชนิดของเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- เยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันของน้ำในน้ำมัน (Water in Oil (W/O) Emulsion) คือ เยื่อแผ่นเหลวที่มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำ
- เยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันของน้ำมันในน้ำ (Oil in Water (O/W) Emulsion) คือ เยื่อแผ่นเหลวที่มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน

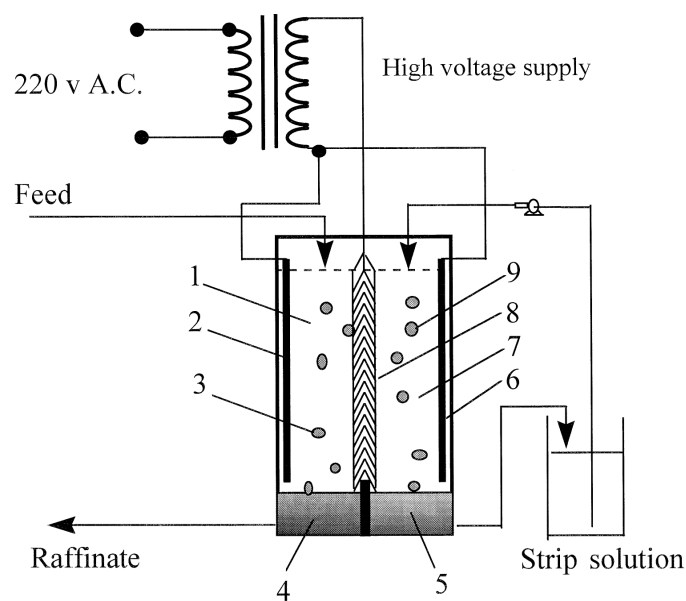
ในกรณีที่สารละลายนำกลับเป็นสารละลายของน้ำ เมื่อนำอิมัลชันของน้ำในน้ำมันมา กระจายในวัฏภาคสารละลายป้อนที่เป็นสารละลายของน้ำ ระบบจะเรียงจากวัฏภาคด้านในไป ยังวัฏภาคด้านนอกคือ น้ำ - น้ำมัน - น้ำ (w/o/w) แต่ถ้าสารละลายนำกลับเป็นสารละลายน้ำมันก็จะ กลับกันคือจะเรียงจาก น้ำมัน - น้ำ - น้ำมัน (o/w/o) ดังนั้นจึงมีสารลดแรงตึงผิวสองประเภทได้แก่ สารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Surfactant) สำหรับอิมัลชันน้ำในน้ำมัน และ สารลดแรงตึงผิวชนิดที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Surfactant) สำหรับอิมัลชันน้ำมันในน้ำ



รูปที่ 1.3 กระบวนการแยกโดยใช้วิธีเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน [42]

1.4.1.2 เยื่อแผ่นเหลวเทียมโดยอาศัยสนามไฟฟ้าสถิตย์

เยื่อแผ่นเหลวเทียมโดยอาศัยไฟฟ้าสถิตย์เป็นกระบวนการโดยที่อาศัยหลักการพื้นฐานทางไฟฟ้า โดยภายใต้สนามไฟฟ้าแรงสูง หยดน้ำในวัฏภาคน้ำมันจะแตกกระจายออกเป็นหยดเล็กๆจำนวนมาก ซึ่งเทคนิคนี้ได้มีการพัฒนามาจากเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบคอลัมน์ (ชนิดหอสกัดแบบหยด), หลักไฟฟ้าสถิตย์ และการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลว รวมเข้าด้วยกัน เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และลดการสูญเสียเสถียรภาพของเยื่อแผ่นเหลว จากรูปที่ 1.4 แสดงระบบเยื่อแผ่นเหลวเทียมชนิดไฟฟ้าสถิตย์



รูปที่ 1.4 กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวเทียมโดยอาศัยสนามไฟฟ้าสถิต [43]

- | | |
|-------------------------------------|--|
| (1) วัฏภาคน้ำสกัด | (6) แท่งขั้วไฟฟ้าในส่วนสารละลายนำกลับ |
| (2) แท่งขั้วไฟฟ้าในส่วนสารละลายป้อน | (7) วัฏภาคน้ำกลับ |
| (3) หยดสารละลายป้อน | (8) แผ่นกั้นพลาสติกและอิเล็กโทรดจ่ายไฟ |
| (4) ถังพักสารละลายป้อน | ความต่างศักย์สูง |
| (5) ถังพักสารละลายนำกลับ | (9) หยดสารละลายนำกลับ |

ในรูปที่ 1.4 สารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะถูกพ่นเข้าสู่แต่ละฝั่งของถังปฏิกรณ์ ซึ่งแบ่งเป็นสองฝั่งโดยมีแผ่นกั้นพลาสติก (Baffle plate) มีลักษณะเป็นรูปตัววีคว่ำ (Λ-shape) ซึ่งทำมาจาก Hydrophobic polypropylene เรียงเชื่อมกันด้วยเส้นลวดและยังใช้เป็น

ชั่วคราว โดยแผ่นกั้นนี้จะทำหน้าที่ป้องกันการไหลข้ามฝั่งของสารละลายทั้งสอง และส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ เป็นบริเวณที่ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการรวมตัวของหยดสารละลายในฝั่งสัคตและนำกลับ วัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวในระบบนี้จะมีอิสระในการเคลื่อนที่ไปมาระหว่างสองฝั่งผ่านทางแผ่นกั้น อีกทั้งภายในถังปฏิกรณ์จะต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟที่มีความต่างศักย์สูงต่อคร่อมระหว่างฝั่งสัคตและนำกลับ เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้า ทำให้สารละลายทั้งสองฝั่งแตกกระจายเป็นเม็ดเล็กๆ จำนวนมากในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว โดยปฏิกิริยาการสัคตจะเกิดขึ้นรอบๆ หยดสารละลายป้อน จากนั้นเกิดการถ่ายเทผ่านเยื่อแผ่นเหลวไปยังหยดสารละลายนำกลับ จากนั้นปฏิกิริยาย้อนกลับของการสัคตจะทำให้ไอออนโลหะเข้าไปสู่สารละลายนำกลับ [43]

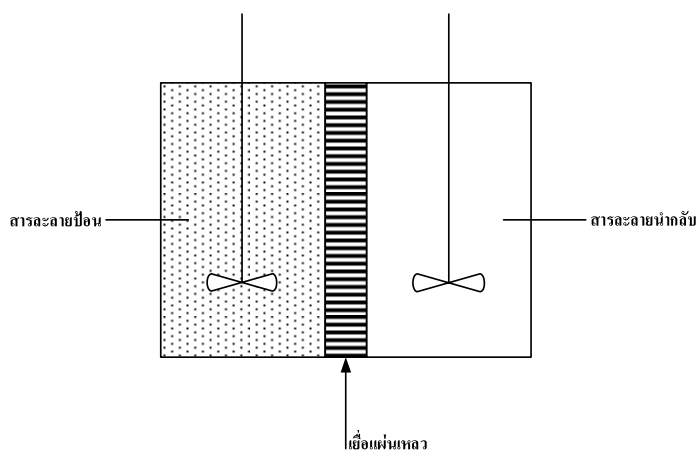
1.4.2 เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ (Supported Liquid Membrane)

กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวประเภทนี้จะใช้พอลิเมอร์ที่มีรูพรุน โดยรูพรุนจุลภาคที่ใช้เป็นตัวรองรับนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ รูพรุนจุลภาคชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic Microporous) ซึ่งจะยอมให้วัฏภาคที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายเคลื่อนผ่านหรือถูกยึดตรึงอยู่ในรูพรุนได้เท่านั้นและอีกชนิดคือรูพรุนจุลภาคชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Microporous) จะยอมให้วัฏภาคที่มีสารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายเคลื่อนที่ผ่านหรือถูกยึดตรึงได้ ซึ่งตัวรองรับเยื่อแผ่นเหลวสามารถแบ่งชนิดตัวรองรับได้หลายแบบ ได้แก่ แบบแผ่นแบน (Flat sheet) แบบแผ่นม้วน (Spiral Wound) และแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber) โดยเยื่อแผ่นเหลวจะถูกตรึงไว้ในรูพรุนด้วยแรงคาปิลลารี (Capillary Force) เพื่อให้เยื่อแผ่นเหลวไม่มีการเคลื่อนที่และมีความเสถียร จึงสามารถเรียกเยื่อแผ่นเหลวชนิดนี้ได้ชื่อหนึ่งว่า Immobilize Liquid Membrane [40] และสามารถหลีกเลี่ยงการใช้ตัวประสานและสารลดแรงตึงผิวซึ่งเป็นปัญหาต่อสารสัคต ซึ่งข้อได้เปรียบของเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ คือ กระบวนการเตรียมไม่ยุ่งยากและใช้สารสัคตปริมาณน้อย แต่มีข้อด้อยอยู่บ้างคือ อัตราการถ่ายเทมวลสูงและมีอัตราการเสื่อมสภาพเยื่อแผ่นเหลวต่ำ [44]

1.4.2.1 เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับแบบแผ่นแบน (Flat sheet Supported Liquid Membrane, FFSLM)

ตัวรองรับชนิดนี้มีลักษณะเป็นแผ่นแบนที่มีความพรุน (Porosity) ส่วนใหญ่ทำมาจากวัสดุประเภทพอลิเมอร์เช่น Polytetrafluoroethylene (PTFE), Polypropylene (PP), Polyethylene (PE) เป็นต้น เยื่อแผ่นเหลวชนิดนี้เหมาะสำหรับการศึกษากลไกการถ่ายเทมวลเนื่องจากมีรูปแบบของตัวรองรับที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามเยื่อแผ่นเหลวแบบนี้มีข้อจำกัดคือ

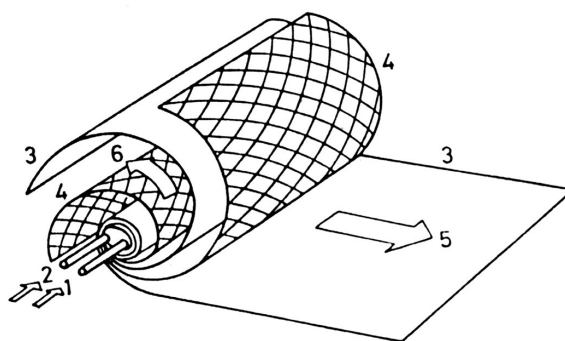
อัตราการถ่ายเทมวลต่ำ เพราะว่ามีพื้นที่ในการถ่ายเทมวลน้อย จากรูปที่ 1.5 แสดงระบบโดยทั่วไปของการสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับแบบแผ่นแบน



รูปที่ 1.5 ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับแบบแผ่นแบน [45]

1.4.2.2 เยื่อแผ่นเหลวชนิดที่พุงด้วยแผ่นม้วน (Spiral-Type Supported Liquid Membrane)

เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยแผ่นม้วนแสดงดังรูปที่ 1.5 ได้ผ่านการพัฒนาโดย Teramoto [46] โดยตัวรองรับแบบแผ่นม้วนผลิตขึ้นโดยใช้ฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีรูพรุนชนิดไม่ชอบน้ำ และแผ่นตาข่าย (Mesh Spacer) ชนิดพอลิเอสเตอร์ม้วนรอบ ท่อนำสารละลายป้อนและสารละลายผลิตภัณฑ์ ผิวด้านนอกและปลายทั้งสองด้านของมอดูลจะถูกผนึกไว้ด้วยตัวประสานอีพอกซี (Epoxy) ส่วนสารละลายป้อนที่ผ่านการสกัดแล้ว (Raffinate) และสารละลายนำกลับที่ได้ (Strip) จะไหลออกจากทางท่อที่สอดไว้ด้านนอกสุดของมอดูล จุดเด่นของกระบวนการนี้ คือ มอดูลที่ใช้จะมีพื้นที่การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรสูง มีความเสถียรสูงและรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับไม่ซับซ้อน

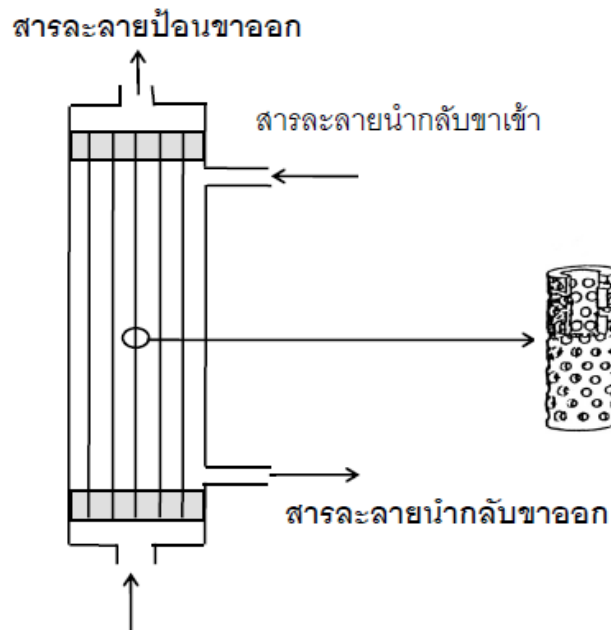


รูปที่ 1.6 ระบบเยื่อแผ่นเหลวชนิดที่พองด้วยแผ่นม้วน [46]

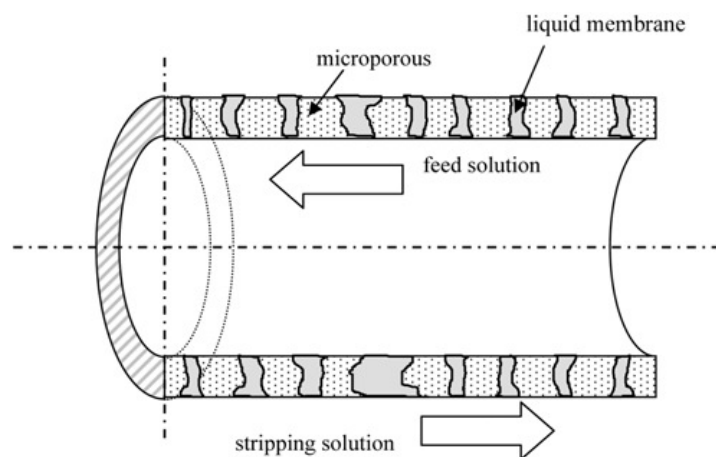
- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1) ท่อทางเข้าของสารละลายป้อน | 4) แผ่นกั้น |
| 2) ท่อทางเข้าของสารละลายนำกลับ | 5) เส้นทางไหลของสารละลายป้อน |
| 3) เยื่อแผ่นเหลว | 6) เส้นทางไหลของสารละลายนำกลับ |

1.4.2.3 เยื่อแผ่นเหลวชนิดที่พองด้วยเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Supported Liquid Membrane, HFSLM)

HFSLM มีลักษณะภายนอกเป็นมอดูล ประกอบด้วยกันสองส่วนคือ Shell และ Tube ซึ่งภายใน Shell จะมีการนำเส้นใยกลวงจำนวนมากมาเรียงในแนวขนานกันแล้ว บรรจุลงในมอดูล (Module) รูปทรงกระบอกที่ทำจากพอลิเมอร์ชนิดพอลิโพรไพลีน จากนั้นจึงปิดปลายทั้งสองด้านของมอดูลด้วยเรซิน (Resin) ดังรูปที่ 1.7 โดยปกติเส้นใยกลวงมักทำมาจากพอลิโพรไพลีนหรือพอลิเอทิลีน ซึ่งเป็นตัวรองรับชนิดไม่ชอบน้ำ ดังนั้นเส้นใยกลวงจะถูกอุดรูพรุนไว้ด้วยสารละลายเยื่อแผ่นเหลว จากนั้นในการทดลอง จะมีการป้อนสารละลายป้อนภายในเส้นใยกลวง (Tube side or Lumen) และสารละลายนำกลับจะไหลอยู่ที่ผิวภายนอกของเส้นใยกลวง (Shell side) ทั้งนี้ทิศทางไหลของสารละลายทั้งสองอาจจะเป็นแบบทิศทางเดียวกัน (Co-current) หรือสวนทางกัน (Counter-current) แสดงได้ดังรูปที่ 1.8 ข้อดีของเยื่อแผ่นเหลวชนิดนี้คือ มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำนวนมาก สามารถทำการสกัดและนำกลับได้ในการทดลองเดียวกัน สามารถขยายขนาดได้ง่ายและสามารถซ่อมแซมเมื่อเกิดการปนเปื้อนหรือการรั่วซึมได้



รูปที่ 1.7 มอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง [47]



รูปที่ 1.8 แสดงลักษณะการไหลแบบสวนทางกันของวัฏภาคสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับบนเส้นใยกลวงหนึ่งเส้นในชุดทดลองเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง [48]

1.5 กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นเหลว

กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นเหลว เป็นกระบวนการแยกที่ไม่ซับซ้อนและให้ประสิทธิภาพสูง แม้จะใช้เครื่องมือที่มีขนาดเล็กและง่ายต่อการทดลอง จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้ในการแยกเอาโลหะหายากหรือโลหะไอออนที่เป็นมลพิษออกจากสารละลายที่มีปริมาณโลหะความเข้มข้นต่ำ (Liquid Membrane Separation Process) ประกอบด้วยวัฏภาค 3 วัฏภาคที่สำคัญ คือ

1) **วัฏภาคสารละลายป้อน (Feed Phase)** ซึ่งเป็นส่วนที่มีองค์ประกอบของไอออนโลหะละลายอยู่ในสารละลายป้อน

2) **วัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว (Liquid Membrane Phase)** ประกอบด้วยสารสกัด (Extractant) ละลายอยู่ในตัวทำละลายที่เป็นสารละลายอินทรีย์ (Organic Solvent)

3) **วัฏภาคสารละลายนำกลับ (Striping Phase)** มีหน้าที่รับองค์ประกอบของไอออนโลหะที่ต้องการสกัดและส่งผ่านมาจากวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว

ขั้นตอนการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อแผ่นเหลวสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้ [33]

1. การแพร่ของไอออนโลหะจากสารละลายป้อนไปยังผิวของเยื่อแผ่นเหลว
2. การเกิดปฏิกิริยาของไอออนโลหะกับสารสกัดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ผิวสัมผัสของสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว
3. การแพร่ของสารประกอบเชิงซ้อนจากผิวสัมผัสของสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลวไปยังผิวสัมผัสของเยื่อแผ่นเหลวและสารละลายนำกลับ
4. การเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของสารประกอบเชิงซ้อนกลายเป็นไอออนโลหะและสารสกัดที่ผิวสัมผัสของเยื่อแผ่นเหลวและสารละลายนำกลับ
5. การแพร่ของไอออนโลหะจากผิวของเยื่อแผ่นเหลวไปยังสารละลายนำกลับ ส่วนสารสกัดจะแพร่กลับไปยังด้านสารละลายป้อนเพื่อไปทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะอีก

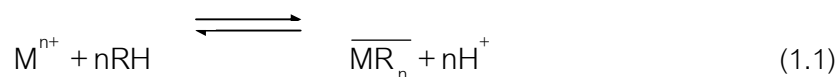
1.6 สารสกัด

สารสกัดเป็นตัวช่วยในการถ่ายเทมวลของไอออนโลหะ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ สารสกัดชนิดกรด สารสกัดชนิดเบส สารสกัดชนิดกลาง โดยแบ่งตามลักษณะของหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของสารสกัด ได้ดังนี้

1.6.1 สารสกัดชนิดกรด

สารสกัดกลุ่มนี้แบ่งย่อยได้เป็น 2 ประเภทคือสารสกัดชนิดกรด (Acidic Acid) และสารสกัดชนิดคีเลต (Chelate Extractant) สารสกัดชนิดกรดจะประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันของส่วนที่เข้าทำปฏิกิริยาเช่น $-\text{COOH}$, $=\text{P}(\text{O})\text{OH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$ ส่วนสารสกัดชนิดคีเลตสารสกัดจะทำปฏิกิริยาคีเลชัน (Chelation) กับไอออนโลหะชนิดที่มีประจุบวก ไอออนโลหะที่มีประจุบวกสามารถทำ

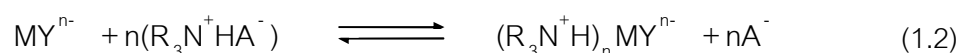
ปฏิกิริยากับสารสกัดชนิดกรดทั้งสองประเภทได้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุเป็นกลางสามารถละลายได้ดีในวัฏภาคของสารละลายอินทรีย์ดังสมการที่ (1.1)



เครื่องหมายขีดด้านบนหมายถึง สารนั้นอยู่ในวัฏภาคสารละลายอินทรีย์ สมการที่ (1.1) แสดงถึงการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนขึ้นระหว่างไอออนไฮโดรเนียม (H^+) กับไอออนโลหะ โดยความสามารถของการสกัดขึ้นกับความเป็นกรด-เบส ของสารละลาย

1.6.2 สารสกัดชนิดเบส

เป็นสารสกัดอินทรีย์ซึ่งง่ายต่อการเกิดเป็นรูปของเกลือในขณะที่สัมผัสกับสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด สารสกัดชนิดเบสที่ใช้เชิงพาณิชย์จะเป็นพวกเอมีนและแอมโมเนียมเฮไลด์ชนิดจตุภูมิ (Quaternary ammonium halides) ทั้งนี้มีการพัฒนากระบวนการใช้เอมีนของเกลือแอมโมเนียม (Ammonium salt) ชนิดปฐมภูมิ (Primary, RNH_2) ชนิดทุติยภูมิ (Secondary, R_2NR) ชนิดตติยภูมิ (Tertiary, R_3N) และชนิดจตุภูมิ (Quaternary, R_4N^+) ประสิทธิภาพของการสกัดไอออนโลหะด้วยสารสกัดเอมีนขึ้นกับความสามารถในการรวมตัวของสารประกอบไอออนโลหะที่อยู่ในรูปประจุลบ (Anionic Species) ซึ่งอยู่ในวัฏภาคสารละลายของน้ำ ปฏิกิริยาการสกัดไอออนโลหะด้วยสารสกัดชนิดเบสแสดงดังสมการที่ (1.2)



เพื่อให้การแลกเปลี่ยนประจุบวกกับไอออนโลหะเกิดขึ้นเอมีนต้องเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเกลือเอมีนที่เหมาะสม ดังสมการที่ (1.3)



จากสมการที่ (1.3) เอมีนจะรวมตัวกับกรดเป็นเกลือของเอมีนซึ่งมีขั้ว ($R_3N^+HA^-$) ในวัฏภาคของสารละลายอินทรีย์ เมื่อตัวทำละลายอินทรีย์นี้สัมผัสกับสารละลายของน้ำที่ประกอบด้วยไอออนโลหะ (MY^{n-}) จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุดังสมการที่ (1.2)

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการสกัดไอออนโลหะโดยการใช้อิออนเอมีนคือการรวมตัวของเอมีนที่อยู่ในวัฏภาคสารละลายอินทรีย์ ซึ่งการรวมตัวนี้ขึ้นกับสมบัติของตัวทำ

ละลายที่ทำให้เกิดการฟอร์มทำให้เกิดประจุบวกและลบและธรรมชาติของแอมโมเนียที่มีประจุบวกและประจุลบ (Ammonium cation และ Ammonium anion) การรวมตัวของเกลือเอมีนทำให้เกิดวัฏภาคที่สามขึ้นดังสมการที่ (1.4)



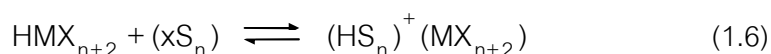
การเกิดวัฏภาคที่สามจะทำให้วัฏภาคสารละลายอินทรีย์แยกตัวออกเป็นสองส่วนซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของการนำสารสกัดชนิดนี้มาใช้ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการเติมสารปรับปรุงสภาพ (Modifier) เช่น long-chain aliphatic alcohol

1.6.3 สารสกัดชนิดกลาง (solvating extractant)

สารสกัดที่ออกฤทธิ์เป็นกลางหรือสารสกัดชนิดซอลเวทเป็นสารสกัดที่มีเฉพาะดอนเนอร์ กรุ๊ปจึงไม่สามารถแตกโปรตอนได้ ไอออนของโลหะในวัฏภาคของสารละลายของน้ำจะถูกสกัดและเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุเป็นกลาง ความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยาของสารสกัดประเภทซอลเวทจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของไอออนโลหะในวัฏภาคสารละลายของน้ำเช่นเดียวกับกรณีของสารสกัดเบส การสกัดเป็นการรวมกันของอะตอมที่อยู่ตรงกลางของสารประกอบเชิงซ้อนหรือรวมกับโปรตอน ความสามารถในการละลายของสารประเภทอนินทรีย์ในวัฏภาคของสารละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้นได้โดยการทำปฏิกิริยารวมกันกับสารสกัดซอลเวท ดังสมการที่ (1.5) หรือ สมการที่ (1.6)



หรือ



เมื่อ S เป็นสารสกัดชนิดซอลเวท

ตัวอย่างสารสกัดชนิดซอลเวทในปัจจุบัน เช่น สารสกัด Trisobutylphosphine sulphide ใช้ชื่อทางการค้าว่า Cyanex 471 และสารสกัด Trioctylphosphine oxide ใช้ชื่อทางการค้าว่า Cyanex 923 หรือ TOPO เป็นต้น

1.7 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.7.1 เพื่อศึกษาการสกัดและนำกลับแพลงทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง
- 1.7.2 เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการสกัดแยกแพลงทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง
- 1.7.3 เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดแยกแพลงทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

1.8 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.8.1 ศึกษาการสกัดแยกแพลงทินัมในน้ำสังเคราะห์และน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทองคำด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงที่ผลิตจากพอลิโพรไพลีน ชนิดมีรูพรุน Celgard® X-40 โดยได้รับการสนับสนุนน้ำทิ้งจากบริษัทโกลด์ฟีลด์รีไฟเนอรี จำกัด
- 1.8.2 ลักษณะการไหลของสารละลายป้อนกับสารละลายนำกลับเป็นลักษณะการไหลแบบสวนทางกัน
- 1.8.3 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสกัดแยกไอออนของแพลงทินัม โดยปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่
 - ชนิดสารสกัด: Aliquat 336, Cyanex 923, LIX-84I และ D2EHPA
 - ค่าความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อน
 - ความเข้มข้นของสารสกัด
 - ชนิดของสารละลายนำกลับที่ศึกษา: NaOH, Na₂S₂O₃, NaClO₄ และ Thiourea
 - ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ
 - อัตราการไหลทางสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ
 - ผลของอุณหภูมิในการดำเนินงาน: 30, 35, 40 และ 50 °C
 - ชนิดตัวทำละลาย: เควซีน, น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม

1.9 ระเบียบวิธีวิจัยโดยย่อ

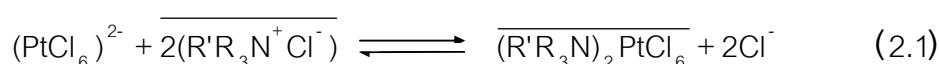
- 1.9.1 ศึกษาการสกัดแยกแพลงทินัมในน้ำสังเคราะห์และน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทองคำด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงที่ผลิตจากพอลิโพรไพลีน ชนิดมีรูพรุน Celgard® X-40 โดยได้รับการสนับสนุนน้ำทิ้งจากบริษัทโกลด์ฟีลด์รีไฟเนอรี จำกัด

- 1.9.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการสกัดแยกแอลกอฮอล์ออกจากน้ำทิ้งด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงและการสกัดแยกด้วยวิธีการอื่นๆ ศึกษาข้อมูลสถิติปริมาณแอลกอฮอล์และโลหะมีค่าอื่นๆ ในน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดของค่า
- 1.9.3 ศึกษาข้อมูลปริมาณแอลกอฮอล์และโลหะมีค่าอื่นๆ ในน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดของค่า
- 1.9.4 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการสกัดแยกแอลกอฮอล์ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงมีดังต่อไปนี้
- ชนิดของสารสกัดและสารละลายนำกลับ
 - ค่าความเป็นกรด-เบสทางด้านสารละลายป้อน
 - ความเข้มข้นของสารสกัดและสารละลายนำกลับ
 - อัตราการไหลทางสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ
 - ผลของอุณหภูมิในการดำเนินงาน
 - ชนิดตัวทำละลาย: เคโรซีน, น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม
- 1.9.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองรวมไปถึงเขียนบทความทางวิชาการ
- 1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**
- 1.10.1 เกิดองค์ความรู้ในวิธีการสกัดแยกไอออนแอลกอฮอล์ออกจากน้ำทิ้งและสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้นี้ไปใช้เป็นแนวทางในการสกัดไอออนโลหะมีค่าอื่นๆ โดยใช้กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง
- 1.10.2 สามารถนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้ ซึ่งจะทำให้ได้โลหะมีค่ากลับมาจากน้ำทิ้งเป็นการลดต้นทุนการนำเข้าโลหะมีค่าและยังช่วยในเรื่องอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
- 1.10.3 ก่อให้เกิดผลงานทางวิชาการและสามารถเผยแพร่ต่อสาธารณชนในรูปแบบการตีพิมพ์หรือการเสนอผลงานในการประชุมวิชาการทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติได้อย่างน้อย 1 ผลงาน

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีการคำนวณแบบจำลองการถ่ายโอนมวล

การศึกษาการสกัดไอออนแพลทินัมผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงโดยใช้ Aliquat 336 เป็นสารสกัด สามารถแสดงปฏิกิริยาได้ดังสมการ (2.1)



จากสมการที่ 2.1 สามารถนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient, D_t) และ ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium Constant, K_{ex}) ซึ่งแสดงได้ดังนี้

2.1.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient, D_t)

ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient) หรืออัตราส่วนการกระจาย (Distribution Ratio) คือ อัตราส่วนของความเข้มข้นของไอออนโลหะที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลวกับความเข้มข้นของไอออนโลหะที่อยู่ในสารละลายป้อน [49] ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของการสกัดไอออนแพลทินัมแสดงได้ดังสมการที่ 2.2

$$D_t = \frac{[(\text{R}'\text{R}_3\text{N})_2\text{PtCl}_6]}{[(\text{PtCl}_6)^{2-}]} \quad (2.2)$$

2.1.2 การหาค่าคงที่สมดุล (Equilibrium Constant, K_{ex})

การหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการสกัดไอออนแพลทินัม สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี

$$K_{\text{ex}} = \frac{[(\text{R}'\text{R}_3\text{N})_2\text{PtCl}_6][\text{Cl}^-]^2}{[(\text{PtCl}_6)^{2-}][(\text{R}'\text{R}_3\text{N}^+\text{Cl}^-)]^2} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ 2.3 สามารถแสดงค่าคงที่สมดุลที่มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายได้ดังสมการที่ 2.4

$$K_{\text{ex}} = D_t \frac{[\text{Cl}^-]^2}{[(\text{R}'\text{R}_3\text{N}^+\text{Cl}^-)]^2} \quad (2.4)$$

2.1.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Coefficient, P)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านใช้สมมติฐานที่ว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (D_f) ของการสกัดไอออนแพลทินัมทางด้านสารละลายป้อนไปยังเยื่อแผ่นเหลวมีค่าสูงกว่าทางด้านเยื่อแผ่นเหลวไปยังสารละลายนำกลับเป็นอย่างมาก [50] โดยใช้สมการ

$$V_f \ln \frac{C_f}{C_{f,0}} = AP \frac{\phi}{\phi + 1} t \quad (2.5)$$

โดยที่

$$\phi = \frac{Q_f}{PLE\pi N r_i} \quad (2.6)$$

เมื่อ

P	= ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	(เซนติเมตรต่อวินาที)
$C_{f,0}$	= ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแพลทินัม	(โมลต่อลิตร)
C_f	= ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่เวลา t ใดๆ	(โมลต่อลิตร)
A	= พื้นที่การถ่ายโอนมวล	(ตารางเซนติเมตร)
V_f	= ปริมาตรของสารละลายป้อน	(ลูกบาศก์เซนติเมตร)
Q_f	= อัตราการไหลของสารละลายป้อน	(ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที)
L	= ความยาวของเส้นใยกลวง	(เซนติเมตร)
N	= จำนวนเส้นใยกลวงในโมดูล	(เส้น)
r_i	= รัศมีภายในของเส้นใยกลวง	(เซนติเมตร)
E	= ความพรุนของเส้นใยกลวง	
π	= 3.1416	

การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านทำได้โดยสร้างกราฟระหว่าง $-V_f \ln \frac{C_f}{C_{f,0}}$ กับเวลา t จะได้

ความชันของกราฟ คือ $AP = \frac{\phi}{\phi + 1}$ ซึ่งทำให้หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้

2.1.4 แบบจำลองการถ่ายโอนมวลและการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (Mass Transfer Coefficient)

แบบจำลองการถ่ายโอนมวลของไอออนแพลทินัมผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของไอออนแพลทินัม (P) ในการหาค่าอื่นๆ ต่อไป ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านขึ้นอยู่กับความต้านทานการถ่ายโอนมวลโดยที่ขั้นตอนของกลไกการถ่ายโอนมวลมี 3 ขั้นตอน [51] ได้แก่

1. ไอออนโลหะถ่ายโอนจากชั้นฟิล์มมายังผิวสัมผัสระหว่างชั้นฟิล์มกับผิวหน้าของเยื่อแผ่นเหลวด้านสารละลายป้อน

2. การถ่ายโอนมวลเนื่องจากไอออนสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากไอออนโลหะทำปฏิกิริยากับสารสกัดและถ่ายโอนจากด้านผิวสัมผัสด้านสารละลายป้อนของเยื่อแผ่นเหลวไปยังผิวสัมผัสด้านสารละลายนำกลับ ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในส่วนของเยื่อแผ่นเหลว

3. ไอออนโลหะที่นำกลับซึ่งถ่ายโอนจากผิวสัมผัสระหว่างชั้นฟิล์มกับเยื่อแผ่นเหลวด้านสารละลายนำกลับไปยังชั้นฟิล์มของสารละลายนำกลับ

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของการถ่ายโอนมวลกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (2.7) [49]

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{k_i} + \frac{r_i}{r_{lm}} \frac{1}{P_m} + \frac{r_i}{r_o} \frac{1}{k_s} \quad (2.7)$$

โดยที่

$$r_{lm} = \frac{r_o - r_i}{\ln \frac{r_o}{r_i}} \quad (2.8)$$

เมื่อ

- r_{lm} = รัศมี Log-mean ของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
- r_o = รัศมีภายนอกของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
- k_i = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (เซนติเมตรต่อวินาที)
- k_s = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายนำกลับ (เซนติเมตรต่อวินาที)

P_m = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเยื่อแผ่นเหลว (เช่นติเมตรต่อวินาที)

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเยื่อแผ่นเหลว (P_m) สามารถแสดงความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient, D) [49] ดังสมการที่ (2.9)

$$P_m = D_t k_m \quad (2.9)$$

โดยที่ k_m = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (เช่นติเมตรต่อวินาที)

ค่าความต้านทานการถ่ายโอนมวลในสารละลายนำกลับสามารถตัดทิ้งได้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายนำกลับ (k_s) มีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_f) อยู่มากซึ่งมีสาเหตุมาจาก [52]

ความหนาของชั้นฟิล์มระหว่างสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลวมีค่ามากกว่าความหนาของชั้นฟิล์มระหว่างเยื่อแผ่นเหลวและสารละลายนำกลับมากเนื่องจากที่ผิวสัมผัสด้านสารละลายป้อนจะมีการรวมตัวกันของไอออนโลหะและกรดที่ละลายอยู่ในสารละลายป้อน ในขณะที่ด้านกรนำกลับนั้นมีเพียงสารละลายนำกลับเพียงชนิดเดียวจึงไม่เกิดการรวมตัวกันของตัวทำละลายที่จะทำให้เพิ่มความหนาของชั้นฟิล์ม ตามสมการที่ (2.10) และ (2.11)

$$k_f = \frac{D^*}{l_{if}} \quad (2.10)$$

และ

$$k_s = \frac{D^*}{l_{is}} \quad (2.11)$$

เมื่อ D^* = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) (เช่นติเมตร²ต่อวินาที)

l_{if} = ความหนาของชั้นฟิล์มระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว (เช่นติเมตร)

l_{is} = ความหนาของชั้นฟิล์มระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับ (เช่นติเมตร)

จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_f) มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายนำกลับ (k_s) อย่างมาก ดังนั้นเราสามารถตัดเทอม

สุดท้ายของสมการที่ (2.7) ที่จะได้และเมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเยื่อแผ่นเหลว (P_m) จากสมการที่ (2.9) ในสมการที่ (2.7) จะได้

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{k_i} + \frac{r_i}{r_{lm}} \frac{1}{k_m D_t} \quad (2.12)$$

ดังนั้นเมื่อสร้างกราฟระหว่าง $\frac{1}{P}$ กับ $\frac{1}{D_t}$ จะได้กราฟเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ

$\frac{r_i}{r_{lm} k_m}$ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m) ได้

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_f) สามารถคำนวณได้จากจุดตัดแกน $\frac{1}{k_i}$

2.2 การหาค่าการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปี

การหาค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (ΔH) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.13) [53]

$$\Delta \log D_t = \frac{\Delta H}{2.303R} \left(\Delta \frac{1}{T} \right) \quad (2.13)$$

เมื่อ

D_t = ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย

T = อุณหภูมิ (K)

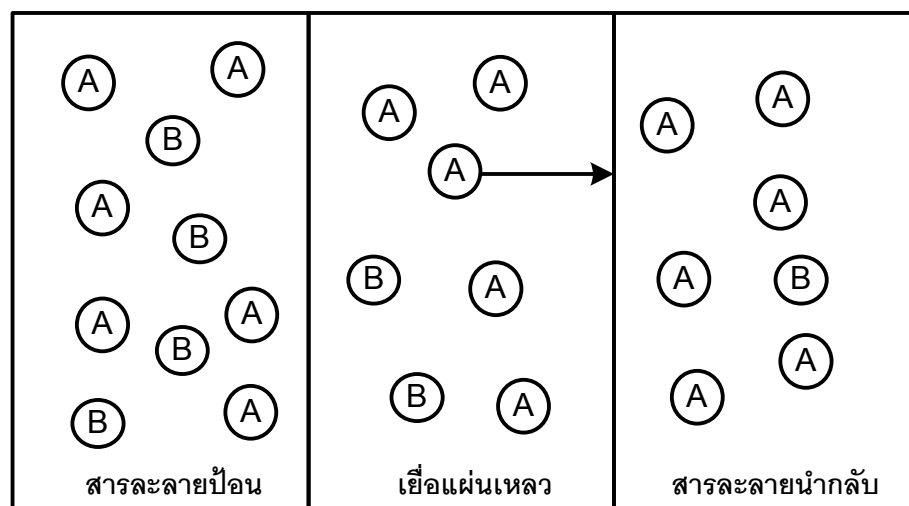
R = ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 8.314 (J/(K·mol))

2.3 กลไกการถ่ายเทมวล

กลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อแผ่นเหลว (Mass transport mechanism) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การถ่ายเทมวลแบบการแพร่ (Solution – diffusion) และการถ่ายเทมวลแบบอาศัยตัวพา (Facilitated transport)

2.3.1 กลไกการถ่ายเทมวลแบบการแพร่ (Solution-Diffusion Mechanism)

การถ่ายเทมวลแบบอาศัยการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวซึ่งไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องและสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยที่โลหะ A ซึ่งถูกละลายในเยื่อแผ่นเหลวที่อินเตอร์เฟซและต่อมาจึงแพร่ผ่านไปยังฝั่งสารละลายนำกลับ อีกทั้งการแยกโดยวิธีนี้จะอาศัยความแตกต่างของการละลายระหว่างสารละลายในฝั่งสารละลายป้อนกับสารอินทรีย์เยื่อแผ่นเหลวและมีผลต่างของความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองฝั่งเป็นแรงขับเคลื่อน (driving force)



รูปที่ 2.1 รูปแบบกลไกการถ่ายเทมวลแบบการแพร่ของสารละลาย

2.3.2 กลไกการถ่ายเทมวลแบบอาศัยตัวพา (Facilitated Transport or Carrier-Mediated Transport Mechanisms)

การถ่ายเทมวลแบบอาศัยตัวพาเกิดขึ้นเมื่อสารที่เราสนใจทำปฏิกิริยากับสารนำพาหรือในงานวิจัยนี้เรียกว่า “สารสกัด” ซึ่งละลายอยู่ในเยื่อแผ่นเหลวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นกลาง จากนั้นสารประกอบเชิงซ้อนจะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวไปยังผิวสัมผัสด้านสารละลายนำกลับ และเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายนำกลับกับเยื่อแผ่นเหลว ทำให้ไอออน

โลหะหลุดไปละลายอยู่ในสารละลายนำกลับในขณะที่สารประกอบเชิงซ้อน จะกลายเป็นสารสกัดดั้งเดิมแล้วแพร่กลับผ่านเยื่อแผ่นเหลวมาอยู่ที่ด้านเดิม (ด้านสารละลายป้อน) เพื่อมารับไอออนโลหะอีกครั้ง ดังนั้นสารสกัดจะทำหน้าที่คล้ายกับตัวขนย้ายไอออนผ่านเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การถ่ายเทมวลแบบง่าย (Simple Facilitated Transport) การถ่ายเทมวลแบบควบคู่ (Coupled Facilitated Transport) [54]

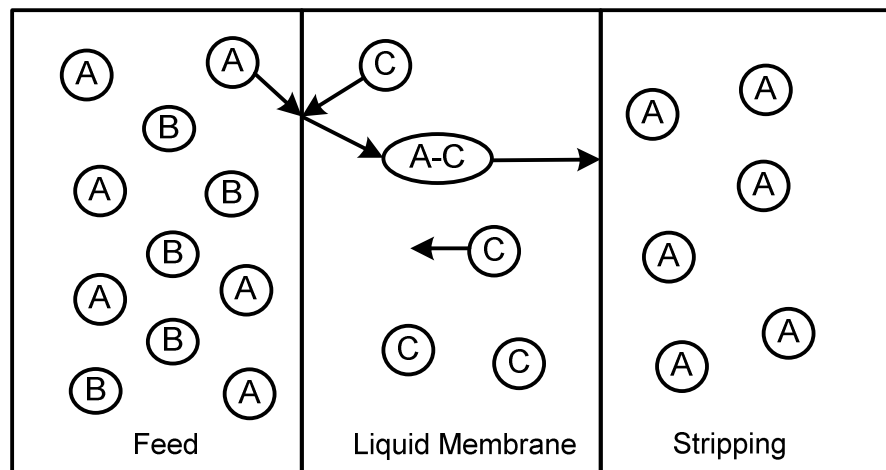
2.3.2.1 การถ่ายเทมวลแบบง่าย (Simple Facilitated Transport)

การถ่ายเทมวลแบบง่าย คือการถ่ายเทของไอออนโลหะเพียงชนิดเดียว ไม่มีไอออนไฮโดรเนียม (Co-ion) เกิดการเคลื่อนที่ร่วมด้วย การเกิดปฏิกิริยาของไอออนโลหะ A ที่อยู่ในสารละลายป้อน ทำปฏิกิริยากับสารสกัด C ที่อยู่ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน A-C ดังสมการ (2.14) ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนอยู่ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว



สารประกอบเชิงซ้อน (A-C) ที่เกิดขึ้น จะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวจากด้านผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายป้อนไปยังผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับโดยอาศัยผลต่างความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อน A-C เป็นแรงขับเคลื่อน ที่ผิวสัมผัสนี้ A-C จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้ไอออนโลหะออกมาละลายทางด้านสารละลายนำกลับดังสมการ (2.15) ไอออนโลหะ A จะทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบ O ซึ่งละลายอยู่ในสารละลายนำกลับเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน AO ซึ่งไม่ละลายในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว สำหรับสารสกัด C ซึ่งอยู่ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวจะแพร่กลับไปยังด้านสารละลายป้อนอีกครั้งเพื่อทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะที่อยู่ในสารละลายป้อน ดังรูปที่ 2.2





รูปที่ 2.2 รูปแบบกลไกการถ่ายเทมวลแบบง่าย

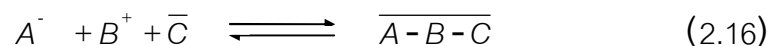
2.3.2.2 การถ่ายเทมวลแบบควบคู่ (Coupled Facilitated Transport)

การถ่ายเทมวลแบบควบคู่ คือ กระบวนการถ่ายเทมวลของไอออนสองชนิดจะเกิดขึ้นพร้อมกันผ่านเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งจะถ่ายเทไอออนโลหะที่ต้องการแยกให้เดินทางจากด้านสารละลายป้อนไปยังด้านสารละลายนำกลับ แต่แรงขับเคลื่อนของการถ่ายเทมวลคือผลต่างของความเข้มข้นของไอออนอีกชนิดหนึ่ง ไม่ใช่ไอออนของโลหะที่ต้องการจะแยก ดังนั้นจึงสามารถแยกองค์ประกอบที่ต้องการได้ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของไอออนโลหะทางด้านสารละลายนำกลับจะสูงกว่าด้านสารละลายป้อนก็ตาม เยื่อแผ่นเหลวที่คั่นอยู่ระหว่างสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับนั้นจะผสมสารสกัดซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะ ไอออนที่ต้องการสกัดจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารสกัดที่ผิวสัมผัสด้านหนึ่งของเยื่อแผ่นเหลวเกิดเป็นไอออนของสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นกลาง สารประกอบเชิงซ้อนจะแพร่ข้ามเยื่อแผ่นเหลวไปยังผิวสัมผัสด้านตรงข้ามซึ่งมีสารละลายนำกลับ และจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายนำกลับกับเยื่อแผ่นเหลว ไอออนของโลหะจะหลุดไปอยู่ที่ด้านสารละลายนำกลับในขณะที่สารประกอบเชิงซ้อน จะกลายเป็นสารสกัดดั้งเดิมแล้วแพร่กลับผ่านเยื่อแผ่นเหลวมาอยู่ที่ด้านเดิม(ด้านสารละลายป้อน) เพื่อมาทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะอีกครั้ง ดังนั้นสารสกัดจะทำหน้าที่คล้ายกับตัวขนย้ายไอออนผ่านเยื่อแผ่นเหลว

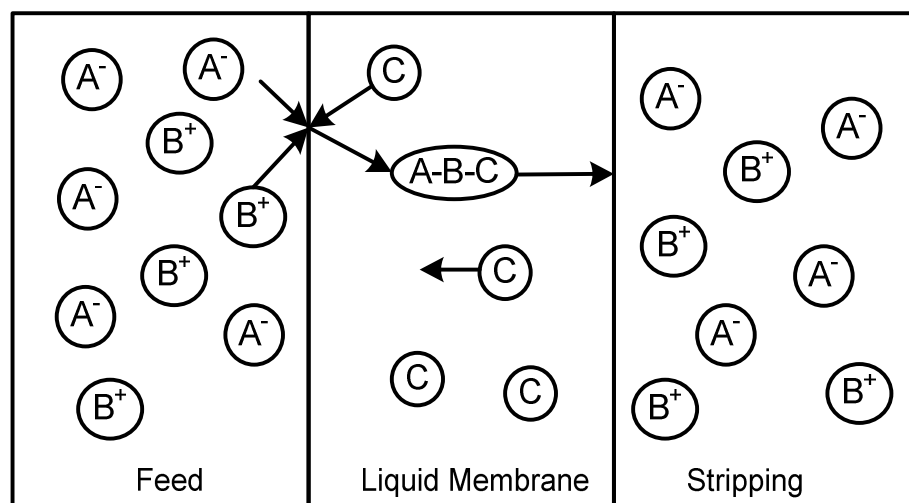
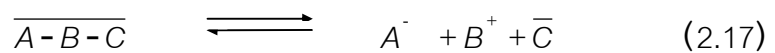
การถ่ายเทมวลแบบควบคู่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือการถ่ายเทแบบไปทางเดียวกัน (Coupled facilitated co - transport) และ การถ่ายเทแบบสวนทางกัน (Coupled facilitated counter - transport) [55]

2.3.2.2.1 การถ่ายเทมวลแบบไปทางเดียวกัน (Coupled Facilitated Co-Transport)

การถ่ายเทมวลชนิดไปทางเดียวกันนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ ไอออนของโลหะ (A^-) และโคไอออน (B^+) จะเคลื่อนที่ไปในทางเดียวกันผ่านเยื่อแผ่นเหลว ในการเกิดปฏิกิริยานั้น ทั้งไอออนโลหะและโคไอออนที่อยู่ในสารละลายป้อนจะทำปฏิกิริยากับสารสกัด (C) ที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ($A-B-C$) ดังสมการ (2.16) โดยที่สารประกอบเชิงซ้อน ($A-B-C$) นั้นจะอยู่ในเยื่อแผ่นเหลว



สารประกอบเชิงซ้อน ($A-B-C$) ที่เกิดขึ้นจะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวเนื่องจากผลต่างความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนเป็นแรงขับไปยังอีกด้านหนึ่งคือด้านผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับที่ผิวสัมผัสนี้ สารประกอบเชิงซ้อน ($A-B-C$) จะทำปฏิกิริยาแบบย้อนกลับเกิดเป็นไอออนโลหะออกมาอยู่ในสารละลายนำกลับดังสมการ (2.17) และได้สารสกัด C กลับมาอีกครั้งซึ่งอยู่ในเยื่อแผ่นเหลวและแพร่กลับไปยังด้านสารละลายป้อนอีกเพื่อที่จะไปทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายป้อน ต่อเนื่องไปจนสิ้นสุดการสกัด ดังรูปที่ 2.3



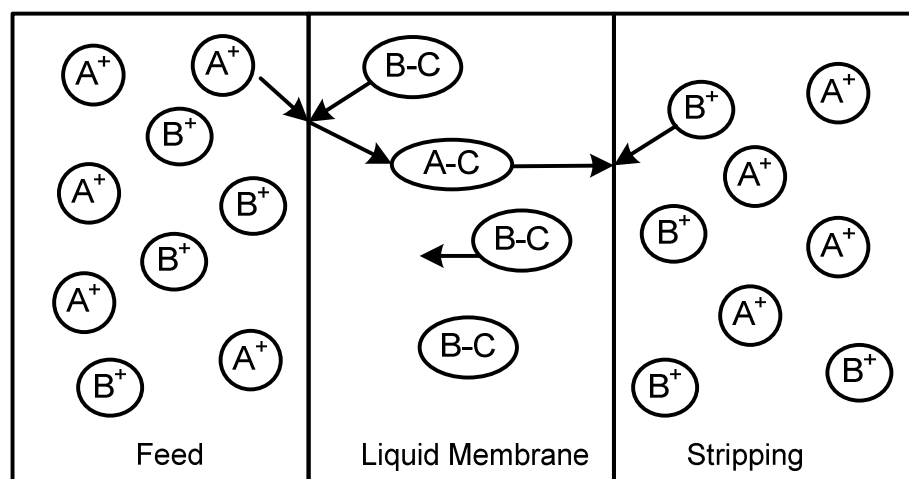
รูปที่ 2.3 รูปแบบกลไกการถ่ายเทมวลแบบไปทางเดียวกัน

2.3.2.2 การถ่ายเทมวลแบบสวนทางกัน (Coupled Facilitated Counter-Transport)

การถ่ายเทมวลชนิดสวนทางกันนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ ไอออนของโลหะ (A^+) และแคทไอออน ไอออน (B^+) จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม ในการเกิดปฏิกิริยานั้น ไอออนโลหะจะทำปฏิกิริยากับสารสกัด ($B-C$) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ($A-C$) โดยแคทไอออนไอออนจะถูกปล่อยสู่สารละลายป้อน ดังสมการ (2.18) โดยที่สารประกอบเชิงซ้อน ($A-C$) นั้นจะอยู่ในเยื่อแผ่นเหลว



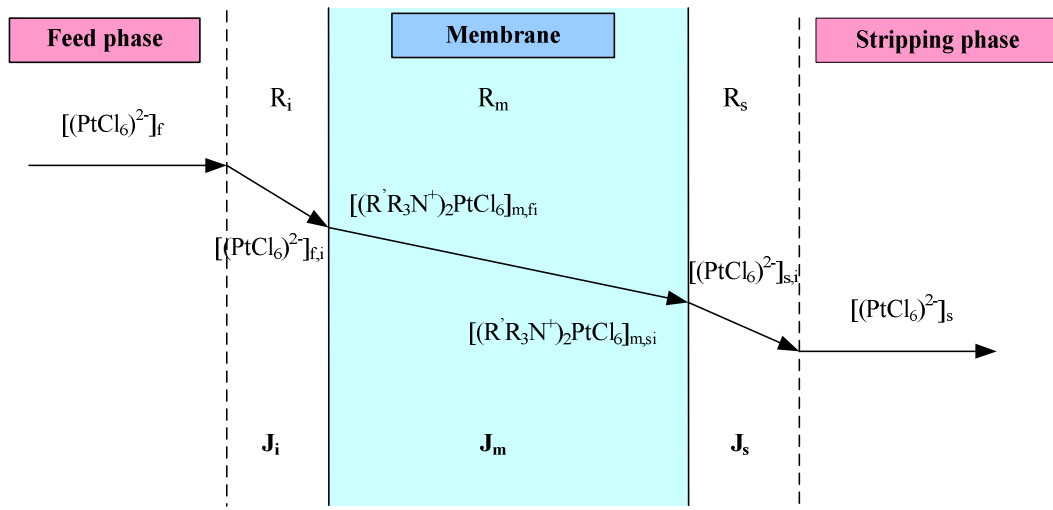
สารประกอบเชิงซ้อน ($A-C$) ที่เกิดขึ้นจะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวเนื่องจากผลต่างความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนเป็นแรงขับไปยังอีกด้านหนึ่งคือด้านผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับที่ผิวสัมผัสนี้ สารประกอบเชิงซ้อน ($A-C$) จะทำปฏิกิริยาแบบย้อนกลับ เกิดเป็นไอออนโลหะออกมาอยู่ในสารละลายนำกลับดังสมการ (2.19) และได้สารสกัด ($B-C$) กลับมาอีกครั้งซึ่งอยู่ในเยื่อแผ่นเหลวและแพร่กลับไปยังด้านสารละลายป้อนอีกเพื่อที่จะไปทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายป้อน ต่อเนื่องไปจนถึงสิ้นสุดการสกัด ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รูปแบบกลไกการถ่ายเทมวลแบบสวนทางกัน

2.4 การคำนวณแบบจำลองพลักซ์การถ่ายเทมวลในการคำนวณหาความเข้มข้นของไอออน แพลทินัม

การถ่ายเทมวลของไอออนแพลทินัมผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พยางด้วยเส้นใยกลวงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2.5 การถ่ายโอนมวลของไอออนแพลทินัมกับสารสกัด Aliquat 336

เมื่อ

$[(PtCl_6)^{2-}]_f$ = ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อน (โมลต่อลิตร)

$[(PtCl_6)^{2-}]_{f,i}$ = ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว (โมลต่อลิตร)

$[(PtCl_6)^{2-}]_{s,i}$ = ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่ผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับ (โมลต่อลิตร)

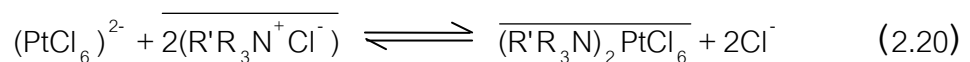
$[(PtCl_6)^{2-}]_s$ = ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายนำกลับ (โมลต่อลิตร)

J_i = พลักซ์การถ่ายเทมวลในสารละลายป้อน (โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

J_m = พลักซ์การถ่ายเทมวลในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว (โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

- J_s = พลังก์การถ่ายเทมวลในสารละลายนำกลับ
(โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)
 J_f = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารละลายป้อน
(เซนติเมตรต่อวินาที)
 J_s = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว
(เซนติเมตรต่อวินาที)
 J_s = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารละลายนำกลับ
(เซนติเมตรต่อวินาที)

โดยในการคำนวณการทำนายความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนที่เวลาใด ๆ สามารถทำได้โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้ โดยเริ่มจากปฏิกิริยาการสกัดของไอออนแพลทินัม



จากปฏิกิริยาการสกัด (2.20) สามารถเขียนสมการค่าคงที่สมดุลของการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$K_{\text{ex}} = \frac{[(\text{R}'\text{R}_3\text{N})_2\text{PtCl}_6][\text{Cl}^-]^2}{[(\text{PtCl}_6)^{2-}][(\text{R}'\text{R}_3\text{N}^+\text{Cl}^-)]^2} \quad (2.21)$$

สมมติให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสมการ (2.20) เกิดขึ้นเร็วมากเมื่อเทียบกับอัตราการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวและเกิดสมดุลที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างสารละลายเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายป้อนดังนั้นสามารถหาค่าความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมบริเวณผิวสัมผัสจากความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลของการเกิดปฏิกิริยา (K_{ex}) ได้ดังนี้

$$\text{กำหนดให้} \quad [\text{Pt}]_{\text{m,f}} = [(\text{R}'\text{R}_3\text{N})_2\text{PtCl}_6]_{\text{m}} \quad (2.22)$$

$$[\text{Pt}]_{\text{m,f}} = [(\text{R}'\text{R}_3\text{N})_2\text{PtCl}_6] = \frac{K_{\text{ex}} [(\text{PtCl}_6)^{2-}]_{\text{f,i}} [\text{R}'\text{R}_3\text{N}^+\text{Cl}^-]}{[\text{Cl}^-]^2} \quad (2.23)$$

เมื่อคำนวณพลังก์การถ่ายเทมวลของไอออนแพลทินัมเนื่องจากการแพร่ผ่านสารละลายเยื่อแผ่นเหลวและพลังก์การถ่ายเทมวลผ่านชั้นฟิล์มทางด้านผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับ

สารละลายเยื่อแผ่นเหลวโดยอาศัยกฎข้อที่หนึ่งของฟิค (Fick's first law) สามารถแสดงสมการต่อไปนี

$$J_m R_m = [Pt]_{m,f} - [Pt]_{m,s} \quad (2.24)$$

$$J_i R_i = [Pt]_f - [Pt]_{f,i} \quad (2.25)$$

จากสมมติฐานของ [51] ค่าความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายนำกลับเริ่มจากศูนย์ในตอนเริ่มต้นดังนั้นจึงกล่าวว่าความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมทางด้านสารละลายนำกลับยังมีไม่มากพอและสามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นสามารถเขียนสมการ (2.24) ได้ใหม่ จะได้

$$J_m R_m = [Pt]_{m,f} \quad (2.26)$$

แทน (2.23) ลงใน (2.26) จะได้ค่าของ $[Pt]_{f,i}$ ดังนี้

$$[Pt]_{f,i} = \frac{J_m R_m [Cl^-]^2}{K_{ex} [R'_3N^+ Cl^-]^2} \quad (2.27)$$

นำค่า $[Pt]_{f,i}$ จากสมการ (2.27) แทนใน (2.25) และสมมติให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) $J_m = J_i = J$ จะได้สมการพลักซ์การถ่ายเทมวลดังนี้

$$J = \frac{K_{ex} [R'_3N^+ Cl^-]^2}{R_m [Cl^-]^2 + R_i K_{ex} [R'_3N^+ Cl^-]^2} \cdot [Pt]_f \quad (2.28)$$

จากการพิจารณาสมดุลโมลของสารสกัด $[R'_3N^+ Cl^-]_0$ จะได้ว่า (mole balance)

$$[R'_3N^+ Cl^-]_0 = [R'_3N^+ Cl^-]_{free} + 2[Pt]_{m,f} \quad (2.29)$$

เมื่อ $[R'_3N^+ Cl^-]_0$ มีความเข้มข้นต่ำมากจึงสมมติได้ว่าสารสกัดทุกโมเลกุลทำปฏิกิริยากับไอออนแพลทินัมหมด ดังนั้น จากสมการ (2.29) จะได้

$$[R'R_3N^+Cl^-] \approx 2[Pt]_{m,f} \quad (2.30)$$

แทนสมการ (2.30) ลงใน (2.23) จะได้

$$[R'R_3N^+Cl^-]^2 = \frac{[R'R_3N^+Cl^-]_0 [Cl^-]^2}{2K_{ex} [Pt]_{f,i}} \quad (2.31)$$

แทน (2.31) ลงใน (2.28) จะได้

$$J = \frac{[R'R_3N^+Cl^-]_0}{2R_m [Pt]_{f,i} + R_i [R'R_3N^+Cl^-]_0} \cdot [Pt]_f \quad (2.32)$$

จัดให้อยู่ในรูปของสมการกำลังสองสมบูรณ์

$$2R_m R_i J^2 - (2R_m [Pt]_f + R_i [R'R_3N^+Cl^-]_0) J + [R'R_3N^+Cl^-]_0 [Pt]_f = 0 \quad (2.33)$$

$$J = \frac{2R_m [Pt]_f + R_i [R'R_3N^+Cl^-]_0 + \sqrt{(2R_m [Pt]_f + R_i [R'R_3N^+Cl^-]_0)^2 - 8R_m R_i [R'R_3N^+Cl^-]_0 [Pt]_f}}{4R_m R_i} \quad (2.34)$$

เนื่องจาก

$$\sqrt{(2R_m [Pt]_f + R_i [R'R_3N^+Cl^-]_0)^2 - 8R_m R_i [R'R_3N^+Cl^-]_0 [Pt]_f} \ll 2R_m [Pt]_f + R_i [R'R_3N^+Cl^-]_0$$

ทำให้สามารถตัดพจน์ $\sqrt{(2R_m [Pt]_f + R_i [R'R_3N^+Cl^-]_0)^2 - 8R_m R_i [R'R_3N^+Cl^-]_0 [Pt]_f}$ ได้และจากสมการ (2.34) จะได้สมการพลักซ์การถ่ายเทมวลดังนี้

$$J = \frac{[\text{Pt}]_f}{2R_i} + \frac{[\text{R}'\text{R}_3\text{N}^+\text{Cl}^-]_0}{4R_m} \quad (2.35)$$

สมการการหาค่าฟลักซ์การถ่ายเทมวลทางด้านสารละลายป้อนในรูปทั่วไปสามารถหาได้

จาก

$$J = \frac{d[\text{Pt}]_f}{dt} + \frac{V_f}{A} \quad (2.36)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการ (2.35) และ (2.36) จะได้

$$\frac{d[\text{Pt}]_f}{dt} + \frac{V_f}{A} = \frac{[\text{Pt}]_f}{2R_i} + \frac{[\text{R}'\text{R}_3\text{N}^+\text{Cl}^-]_0}{4R_m} \quad (2.37)$$

นำสมการที่ (2.37) มาทำการอินทิเกรตที่เวลา $t = 0$ และ $[\text{Pt}]_f = [\text{Pt}]_{f,0}$, ซึ่งจะได้สมการสุดท้ายเพื่อทำนายความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนที่เวลาใดๆ ดังนี้

$$[(\text{PtCl}_6)^{2-}]_f = -\frac{R_i[\text{R}'\text{R}_3\text{N}^+\text{Cl}^-]_0}{2R_m} + \left\langle [(\text{PtCl}_6)^{2-}]_{f,0} + \frac{R_i[\text{R}'\text{R}_3\text{N}^+\text{Cl}^-]_0}{2R_m} \right\rangle \exp\left\langle -\frac{A}{2VR_i}t \right\rangle \quad (2.38)$$

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

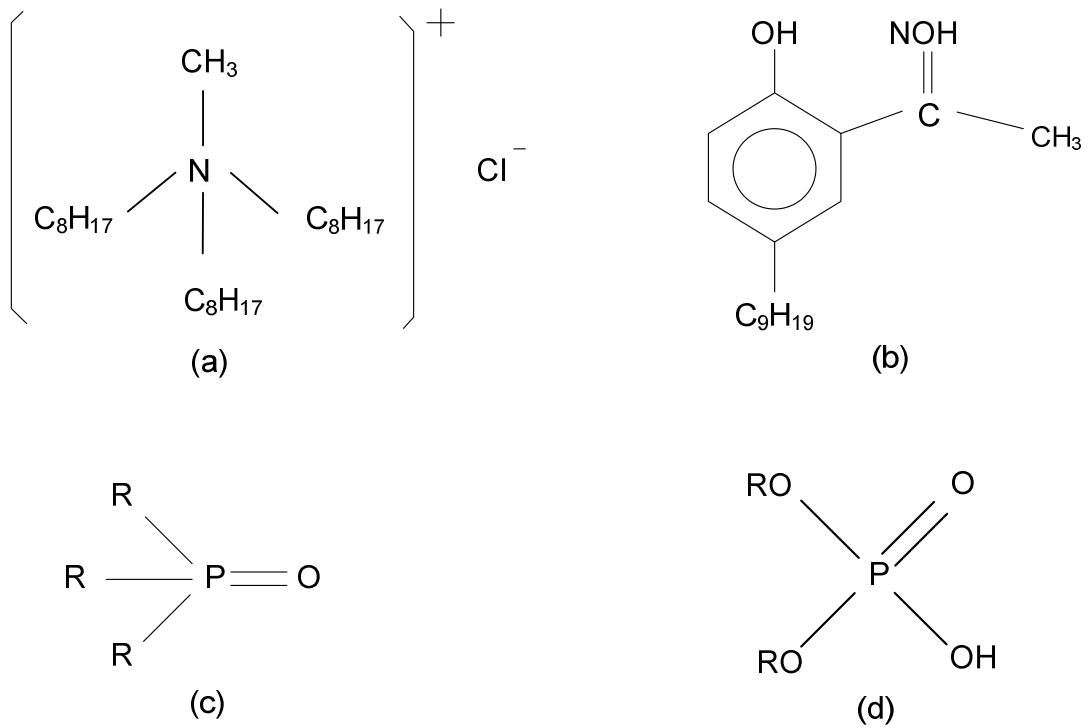
เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงสารเคมี อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลองในแต่ละตัวแปรที่ทำการศึกษาการสกัดไอออนแพลทินัมออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทองคำโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	บริษัท
ไอออนโลหะ	แพลทินัม	Pt(IV)	-
สารละลายป้อน	น้ำทิ้งจากกระบวนการการสกัดทองคำ	-	GOLD FIELD REFINERY CO.,LTD
สารสกัด			
ชนิดเบส	Aliquat 336	$\text{CH}_3\text{N}[(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3]_3\text{Cl}$	Cognis Ltd.
ชนิดกลาง	Cyanex 923	PR_3O	Cytec Candada Inc.
ชนิดกรด	D2EHPA	$(\text{C}_8\text{H}_{17})_2\text{PO}_4\text{H}$	Cytec Candada Inc.
	LIX-84I	$\text{C}_{17}\text{H}_{27}\text{NO}_2$	Cognis Ltd.
ตัวทำละลาย	เคโรซีน	-	Shell Chemicals
	น้ำมันปาล์ม	-	-
	น้ำมันมะพร้าว	-	วิสาหกิจชุมชนเรือนสมุทร
สารละลายนำกลับ	โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	RFCL Limited
	โซเดียมไทโอซัลเฟต	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Qrec
	โซเดียมเปอร์คลอเรท	NaClO_4	ACROS ORGANICS
	Thiourea	NH_2CSNH_2	RFCL Limited

โดยสูตรโครงสร้างสารสกัด Aliquat 336, D2EHPA, Cyanex 923 และLIX-84I แสดงได้ดังรูปที่



a) Aliquat 336 [34]

(b) LIX-84I [56]

(c) Cyanex 923 เมื่อ R เป็น C_6H_{13} ผสมกับ C_8H_{17} [34]

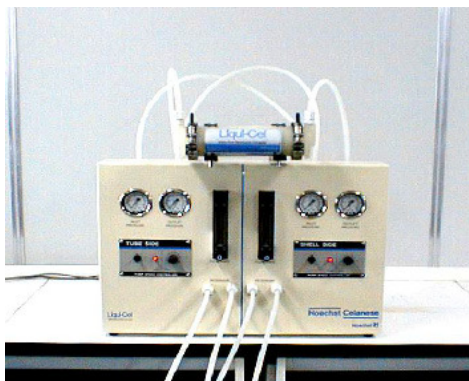
(d) D2EHPA เมื่อ R = C_8H_{17} [21]

รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารสกัดที่ใช้ในการทดลอง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

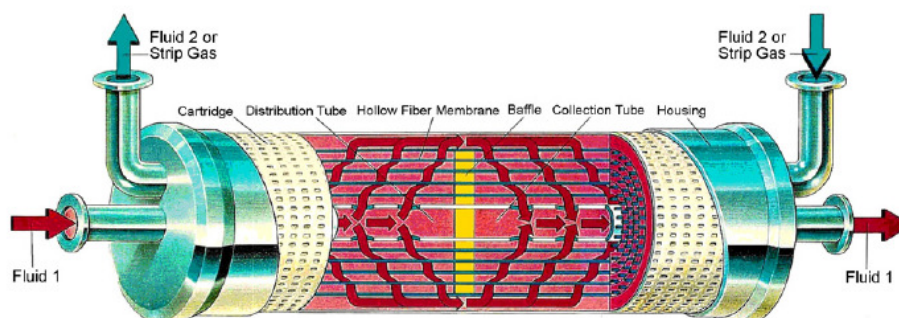
3.2.1 การทดลองด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. ชุดทดลอง Liqui-Cel[®] Laboratory Liquid/Liquid Extraction System รุ่น Cat. #5PCM-106 ของบริษัท Hoechst Celanese Corporation ประกอบด้วยเครื่องสูบล้างสองชุด ชุดควบคุมความเร็ว 2 ชุด มาตรวัดอัตราการไหล 2 ชุด และมาตรวัดความดัน 4 ตัว แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ชุด Liqui-Cel[®] Laboratory

2. อุปกรณ์ Liqui-Cel[®] contactor Celgard[®] X-40 240 Microporous Polypropylene Hollow Fiber แสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งใช้เป็นวัสดุในการทดลอง โดยโมดูลนี้ใช้เส้นใยกลวงพอลิโพรไพลีน (Polypropylene) ห่อหุ้มรอบๆ tube side ที่อยู่กลางโมดูลเป็นตัวคั่นระหว่าง shell and tube ที่ทำมาจากพอลิโพรไพลีน ในตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติต่างๆของตัวรองรับเส้นใยกลวงพอลิโพรไพลีนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ชุด Liqui-Cel[®] Contactor [57]

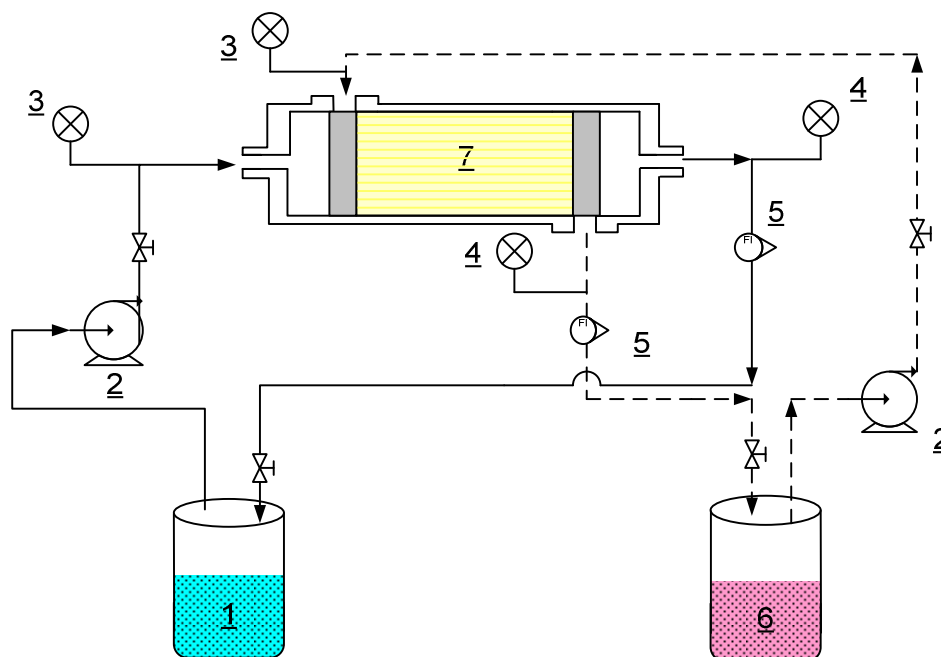
3.2.2 วิธีการวิเคราะห์

1. เครื่อง pH meter รุ่น Professional pH Meter PP-50 ใช้หาค่าความเป็นกรด-เบส
2. เครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) รุ่น JY 2000, JY JOBIN YVON (HORIBA) ใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนโลหะ

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของตัวรองรับเส้นใยกลวงที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติ	ชนิด / ขนาด
วัสดุเส้นใยกลวง	พอลิโพรไพลีน
จำนวนเส้นใยกลวง	35,000
ความพรุนของเส้นใยกลวง	25 เปอร์เซ็นต์
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเส้นใยกลวง	240 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเส้นใยกลวง	300 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มีประสิทธิภาพ	0.05 ไมโครเมตร
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	1.4 ตารางเมตร (15.2 ตารางฟุต)
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ	29.3 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร
มิติของชุดเส้นใยกลวง (D x L)	2.5 x 8 นิ้ว
ความดันแตกต่างสูงสุด	4.2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
ช่วงอุณหภูมิในการปฏิบัติการสูงสุด	1 ~ 60 องศาเซลเซียส

3.3 วิธีการทดลอง



รูปที่ 3.4 การปฏิบัติการไหลในลักษณะไหลวน ซึ่งของไหลในกระบวนการมีทิศทางการไหลสวนทางกันในชุดอุปกรณ์เส้นใยกลวง โดยที่ 1 คือ ถังบรรจุสารละลายป้อนเข้า, 2 คือ เกียร์ปั๊ม, 3 คือ เกจวัดความดันขาเข้า, 4 คือ เกจวัดความดันขาออก, 5 คือ มาตรวัดอัตราการไหล, 6 คือ ถังบรรจุสารละลายนำกลับ, 7 คือ ชุดอุปกรณ์เส้นใยกลวง

3.3.1 ศึกษาชนิดสารสกัดที่เหมาะสมต่อการสกัดไอออนแพลทินัมด้วยวิธีการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อน ปริมาณ 5000 มิลลิลิตร และเก็บตัวอย่างเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายจากสารละลายของสารสกัด Aliquat 336 ในเคโรซีนความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณ 400 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลายนำกลับซึ่งเป็นสารละลาย Thiourea ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5000 มิลลิลิตร
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองโมดูลเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากับที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน

และไหลผ่านชุดการทดลองแบบวนกลับทั้งทางสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อนำไปวิเคราะห์

5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนชนิดของสารสกัดเป็น Cyanex 923, D2EHPA และ LIX-84I ในตัวทำละลายเคโรซีนที่มีความเข้มข้นเท่ากัน
6. พิจารณาสารสกัดที่จะนำไปศึกษาปัจจัยต่างๆผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

3.3.2 ศึกษาผลของความเป็นกรด-เบส ในสารละลายป้อนต่อการสกัดไอออนของแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อน ปริมาณ 5000 มิลลิลิตร ที่ความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงโดยใช้สารสกัดที่ดีที่สุดจากขั้นตอนที่ 1 ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพูนจุลภาคของเส้นใยกลวงในชุดทดลอง
3. เตรียมสารละลายนำกลับซึ่งเป็นสารละลาย Thiourea ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นความเข้มข้นเริ่มต้น ปริมาณ 5000 มิลลิลิตรและเก็บตัวอย่างสารละลายนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองโมดูลเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตร ต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบวนกลับทั้งทางสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อนด้วยกรดไฮดรอกซอริกเป็น 1, 2, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมด้วยเครื่อง ICP-OES

3.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดในสารละลายอินทรีย์ต่อการสกัดไอออนของแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อน ปริมาณ 5000 มิลลิลิตร แล้วปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้เท่ากับค่าที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นตอนที่ 2 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลว 400 มิลลิลิตร ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวง โดยเตรียมสารละลายสารสกัดที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเหมาะสมจากการทดลองขั้นตอนที่ 1 ในตัวทำละลายเคโรซีน นั่นคือ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของ Aliquat 336 ยึดตรึงในรูพรุนจุลภาคของเส้นใยกลวงในชุดทดลอง
3. เตรียมสารละลายนำกลับซึ่งเป็นสารละลาย Thiourea ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นความเข้มข้นเริ่มต้น ปริมาตร 5000 มิลลิลิตรและเก็บตัวอย่างสารละลายนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองโมดูลเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบวนกลับทั้งทางสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในเคโรซีนเป็น 5, 10, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมด้วยเครื่อง ICP-OES

3.3.4 ศึกษาชนิดของสารละลายนำกลับที่เหมาะสมต่อการสกัดไอออนของแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อน ปริมาณ 5000 มิลลิลิตร แล้วปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้เท่ากับค่าที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 2 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 ด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 3 ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูพรุนจุลภาคของเส้นใยกลวงในชุดทดลอง

3. เตรียมสารละลายนำกลับซึ่งเป็นสารละลาย Thiourea ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นความเข้มข้นเริ่มต้น ปริมาณ 5000 มิลลิลิตรและเก็บตัวอย่างสารละลายนำกลับ เริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองโมดูลเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบวนกลับทั้งทางสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนสารละลายนำกลับเป็น NaClO_4 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ และ NaOH ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออน แพลทินัมด้วยเครื่อง ICP-OES

3.3.5 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายนำกลับที่เหมาะสมต่อการสกัด ไอออนของแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อน ปริมาณ 5000 มิลลิลิตร แล้วปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้เท่ากับค่าที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 2 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดที่เหมาะสม จากขั้นตอนที่ 1 ด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 3 ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพหุคูณของเส้นใยกลวงในชุดทดลอง
3. เตรียมสารละลายนำกลับซึ่งเป็นสารละลายที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ด้วยความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรเป็นความเข้มข้นเริ่มต้น ปริมาณ 5000 มิลลิลิตรและเก็บตัวอย่างสารละลายนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองโมดูลเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียวเมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 15 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์

5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายนำกลับเป็น 0.05, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6 และ 1.0 ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมด้วยเครื่อง ICP-OES

3.3.6 ศึกษาอัตราการไหลของสารละลายนำกลับและสารละลายป้อนที่เหมาะสมต่อการสกัดไอออนของแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อน ปริมาณ 5000 มิลลิลิตร แล้วปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้เท่ากับค่าที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 3 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 ด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2 ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพุนจุลภาคของเส้นใยกลวงในชุดทดลอง
3. เตรียมสารละลายนำกลับซึ่งเป็นสารละลายที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 เป็นความเข้มข้นเริ่มต้น ปริมาณ 5000 มิลลิลิตรและเก็บตัวอย่างสารละลายนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองโมดูลเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบวนกลับทั้งทางสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายเพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเป็น 80, 150, 200, 250 และ 300 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมด้วยเครื่อง ICP-OES

3.3.7 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการดำเนินงานที่มีผลต่อการสกัดและนำกลับด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อน ปริมาณ 5000 มิลลิลิตร แล้วปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้เท่ากับค่าที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นตอนที่ 3 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 ด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2 ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพุนจุลภาคของเส้นใยกลวงในชุดทดลอง
3. เตรียมสารละลายนำกลับซึ่งเป็นสารละลายที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 เป็นความเข้มข้นเริ่มต้น ปริมาณ 5000 มิลลิลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายนำกลับเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ โดยใช้อุณหภูมิในระบบเท่ากับ 30°C
4. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 35, 40 และ 50°C ตามลำดับ
5. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมด้วยเครื่อง ICP-OES

3.3.8 ศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายที่เหมาะสมต่อการสกัดไอออนของแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อน ปริมาณ 5000 มิลลิลิตร แล้วปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้เท่ากับค่าที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 3 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้น 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลวซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 ด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2 ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพุนจุลภาคของเส้นใยกลวงโดยใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นตัวทำละลายในชุดทดลอง
3. เตรียมสารละลายนำกลับซึ่งเป็นสารละลายที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 เป็นความเข้มข้นเริ่มต้น ปริมาณ 5000 มิลลิลิตรและเก็บตัวอย่างสารละลายนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์

4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองโมดูลเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากับที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายเพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) ตามลำดับ โดยเปลี่ยนตัวทำละลายเป็นน้ำมันปาล์ม
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมด้วยเครื่อง ICP-OES

3.4 ขั้นตอนการทำความสะอาดเส้นใยกลวง

หลังจากทำการทดลองทุกครั้งจำเป็นต้องมีการล้างทำความสะอาดเครื่องมือและตัวรองรับเส้นใยกลวง เนื่องจากสารเคมีหรือสิ่งสกปรกต่างๆสามารถเข้าไปอุดตันภายในรูพรุนเส้นใยกลวงได้ง่ายซึ่งจะไปขวางกั้นการไหลของสารละลาย ทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลง ดังนั้นขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเส้นใยกลวงจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยางค์ด้วยเส้นใยกลวง โดยการล้างทำความสะอาดมีขั้นตอนดังนี้

1. ให้น้ำสะอาดไหลผ่านโมดูลของเส้นใยกลวงประมาณ 10-15 นาที
2. เลือกใช้น้ำยาล้างจานให้ไหลวนในโมดูลเส้นใยกลวงเป็นเวลา 15 นาที เพื่อกำจัดเยื่อแผ่นเหลวที่ค้างอยู่ในรูพรุนของเส้นใยกลวง
3. ทำความสะอาดน้ำยาล้างจานที่ตกค้างอยู่ในโมดูลด้วยน้ำสะอาดโดยปล่อยให้ไหลผ่านเป็นเวลา 5 นาที
4. เลือกใช้สารละลายที่สามารถละลายสารที่อุดตันในรูพรุนของเส้นใยกลวงได้ ซึ่งในที่นี้เลือกใช้กรดไฮดรอกลอริกผสมกับกรดไนตริกในสัดส่วนโดยปริมาตร 2:3 ให้ไหลวนในโมดูลเส้นใยกลวงเป็นเวลา 15-30 นาที
5. ให้น้ำกลั่นไหลผ่านในโมดูลเส้นใยกลวง ประมาณ 10-15 นาที

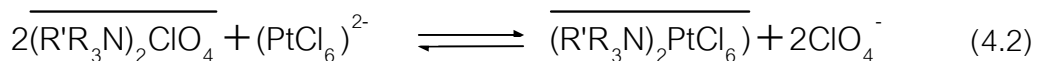
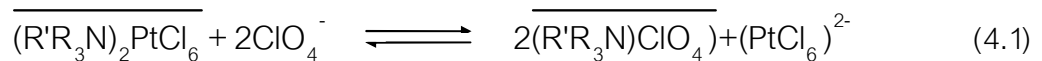
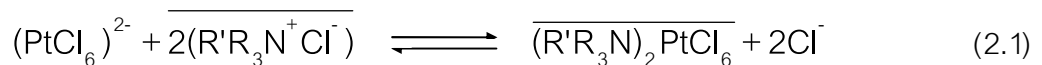
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมที่ได้จากน้ำทิ้งในกระบวนการสกัดทองคำโดยใช้กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงโดยมีปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ชนิดของสารสกัด ความเข้มข้นของสารสกัด ความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อน ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ ผลของอุณหภูมิในการดำเนินงาน และชนิดของตัวทำละลาย

เมื่อพิจารณาในโมดูลของเส้นใยกลวงซึ่งบรรจุสารสกัด Aliquat 336 พบว่า สารสกัด Aliquat 336 เป็นสารสกัดชนิดเบส และมีความเหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยากับไอออนโลหะที่มีประจุลบ ซึ่งไอออนแพลทินัมจะแตกตัวให้ประจุลบ $(PtCl_6)^{2-}$ ปฏิกิริยาการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมแสดงดังสมการที่ (2.1), (4.1) และ (4.2) โดย $(R'R_3N^+Cl^-)$ คือ สารสกัด Aliquat

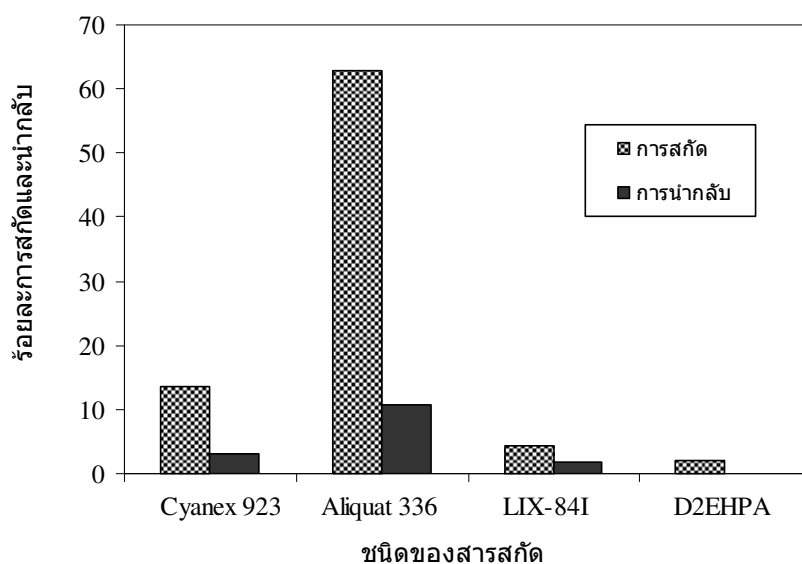
33



อีกทั้งในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์สำคัญต่างๆที่เกิดจากปฏิกิริยาการถ่ายโอนมวลของไอออนแพลทินัมภายในเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient, D) ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium Constant, K_{ex}) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Coefficient, P) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (Mass Transfer Coefficient)

4.1 ผลของชนิดของสารสกัดที่มีผลต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

การทดลองเพื่อศึกษาผลของสารสกัดแต่ละชนิดกับร้อยละการสกัดและนำกลับ ทำโดยการเปลี่ยนสารสกัดเป็น Cyanex 923, Aliquat 336, LIX-84I และ D2EHPA ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีค่าคงที่ ดังนี้คือ สารละลายป้อนที่มีไอออนแพลทินัมเจือปน ความเข้มข้นของสารสกัดแต่ละชนิดมีค่าคงที่เป็น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ละลายในตัวทำละลายเคโรซีน และใช้สารละลาย Thiourea ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นสารละลายนำกลับ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1

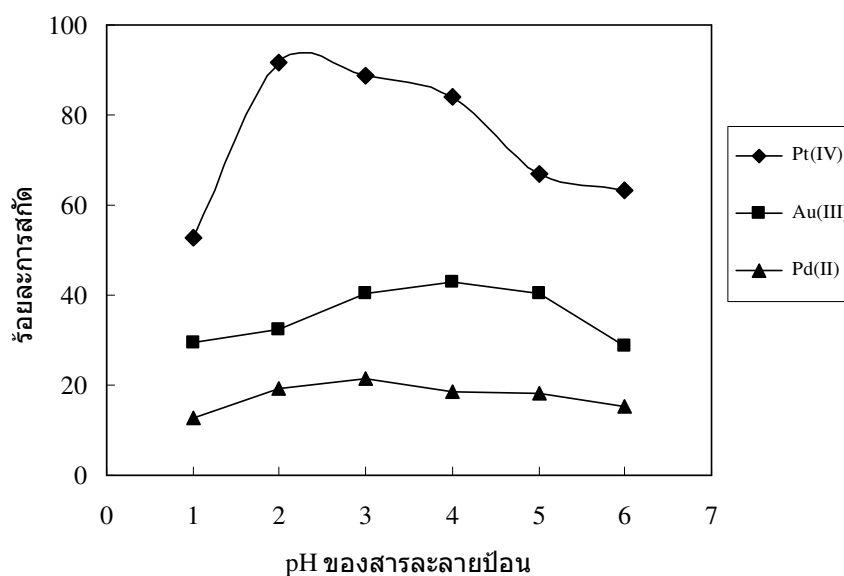


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสารสกัดกับร้อยละการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดแต่ละชนิด = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, $[Thiourea]_s = 0.1$ โมลต่อลิตร และ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที

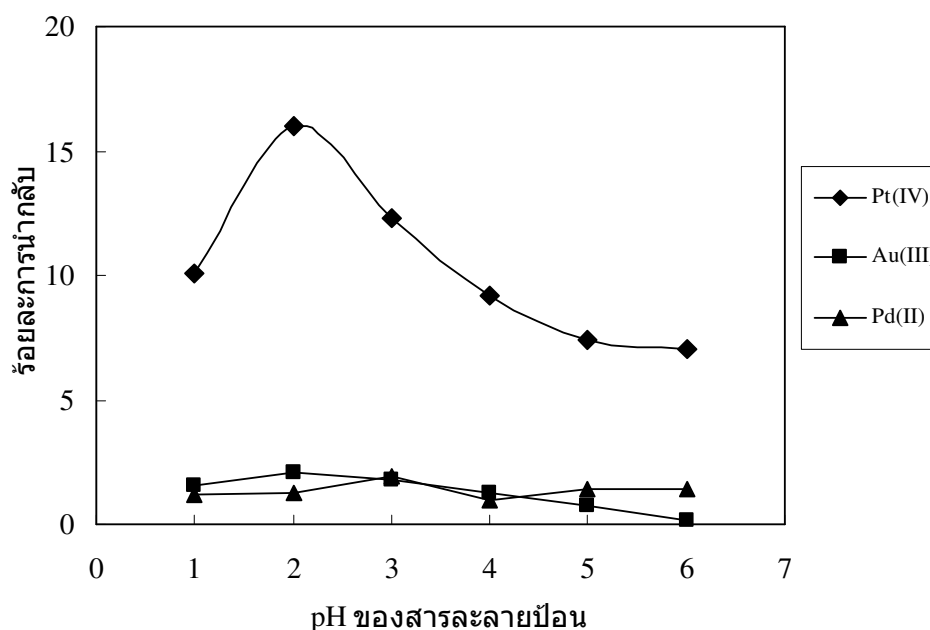
จากรูปที่ 4.1 เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของสารสกัด พบว่าร้อยละการสกัดและนำกลับของไอออนแพลทินัมของสารสกัดแต่ละชนิดไม่เท่ากัน โดยจะเห็นได้ว่าสารสกัดชนิด Aliquat 336 สามารถให้ร้อยละการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมได้สูงที่สุด เนื่องจากสารประกอบไอออนแพลทินัมที่เป็นประจุลบในรูปของ $(PtCl_6)^{2-}$ สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกับสารสกัดชนิดเบส [15] ซึ่ง Aliquat 336 เป็นสารสกัดชนิดเดียวที่มีฤทธิ์เป็นเบส

4.2 ผลของความเป็นกรด-เบส ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและนำกลับไอออน แพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อน ทำโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดในสารละลายป้อนเป็น 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีค่าคงที่ ดังนี้คือ โมดูลของเส้นใยกลวงบรรจุสารสกัด Aliquat 336 ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ละลายในตัวทำละลายเคโรซีน และใช้สารละลาย Thiourea ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นสารละลายนำกลับ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่าเท่ากัน คือ 100 มิลลิลิตรต่อนาที รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านโมดูลของเส้นใยกลวงครั้งเดียว ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ในสารละลายป้อนกับร้อยละการสกัดไอออนโลหะ เมื่อ $[\text{Aliquat 336}]_m = 15$ เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, $[\text{Thiourea}]_s = 0.1$ โมลต่อลิตร และ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ในสารละลายป้อนกับร้อยละการนำกลับไอออนโลหะ เมื่อ $[\text{Aliquat 336}]_m = 15$ เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, $[\text{Thiourea}]_s = 0.1$ โมลต่อลิตร และ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที

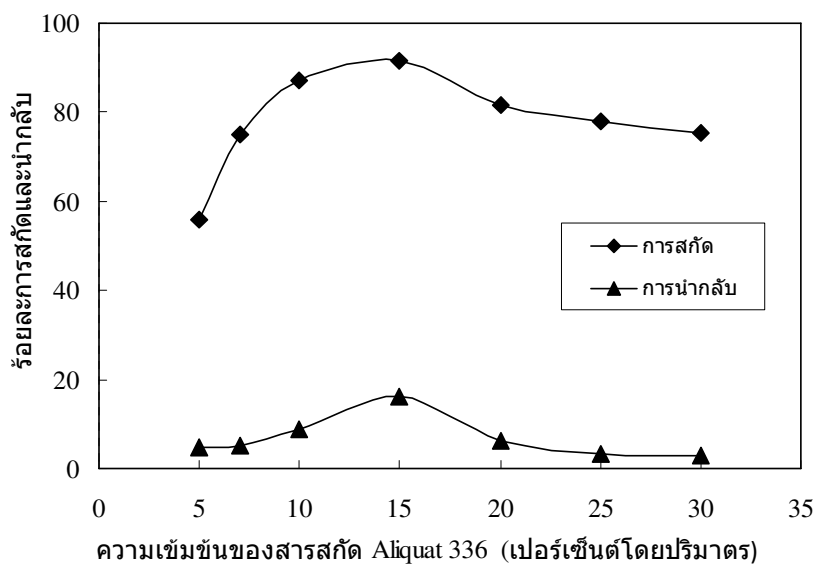
จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่ากรณีที่ค่า pH ในสารละลายป้อน มีค่าน้อยกว่า 2 ร้อยละการสกัดไอออนแพลทินัมจะมีค่าลดลง เนื่องจาก Aliquat 336 เป็นสารสกัดชนิดเบสจะทำการสกัดไอออนโลหะได้ดีที่ภาวะความเป็นกรดไม่สูง [34] ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นกรดในสารละลายป้อนเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้ร้อยละการสกัดลดลง อีกทั้งยังพบว่าสามารถสกัดไอออนแพลทินัมได้มากกว่าไอออนทองคำและแพลเลเดียม

ส่วนค่าร้อยละการนำกลับไอออนแพลทินัมจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าร้อยละการสกัดเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองจะเห็นว่าค่า pH ในสารละลายป้อน ที่เหมาะสม คือ 2 ซึ่งมีค่าร้อยละการสกัดและค่าร้อยละการนำกลับไอออนแพลทินัมเท่ากับ 91 และ 16 ตามลำดับ

4.3 ผลของความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายอินทรีย์ต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

การศึกษาปัจจัยผลของความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้พิจารณาจากค่าร้อยละการสกัดและค่าร้อยละการนำกลับไอออนแพลทินัม โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 เป็น 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีค่าคงที่ ดังนี้คือ ค่า pH ในสารละลายป้อน เป็น 2 (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.2) และใช้ Thiourea

เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นสารละลายนำกลับ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่าเท่ากัน คือ 100 มิลลิลิตรต่อนาที รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

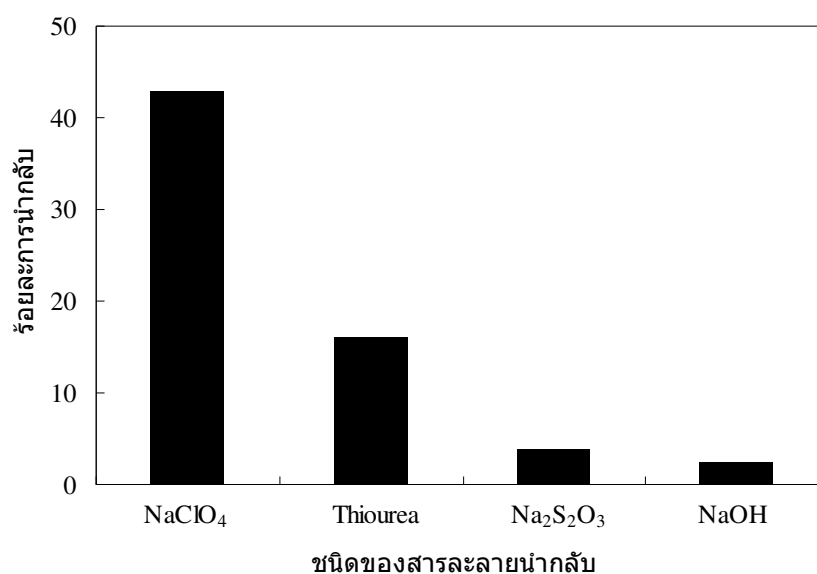


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 กับร้อยละการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม เมื่อ pH ในสารละลายป้อน = 2, $[Thiourea]_s = 0.1$ โมลต่อลิตร และ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที

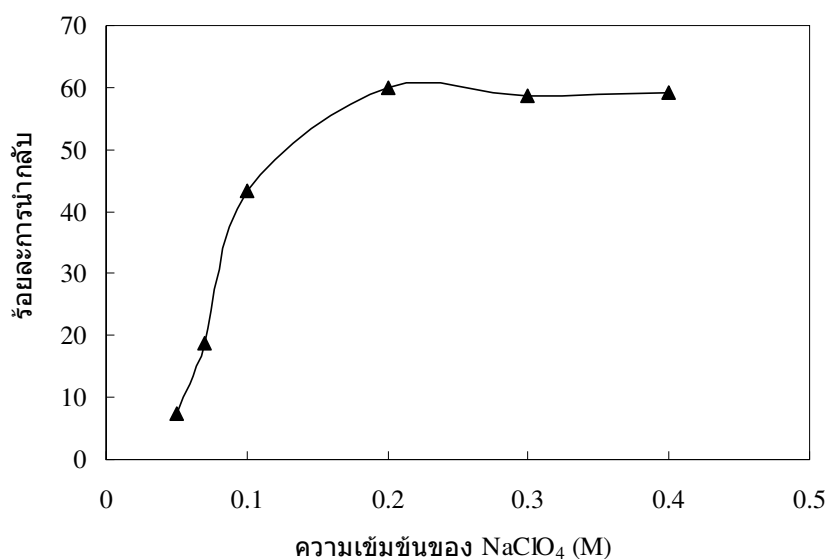
จากผลการทดลองในรูป 4.4 พบว่าร้อยละการสกัดและนำกลับของไอออนแพลทินัมมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 จาก 5 ไปจนถึง 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อธิบายได้ด้วยทฤษฎีของเฮนรี หลุยส์ เลอชาเตอริเยร์ ได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้น เนื่องจากไอออนแพลทินัมเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน $(R'_3N)_2PtCl_6$ กับสารสกัด และไอออนแพลทินัมถูกสกัดมากขึ้น ทำให้เกิดการนำกลับไอออนแพลทินัมมากขึ้นเช่นกัน อีกทั้งในกรณีที่ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 มีค่ามากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ค่าร้อยละการสกัดและค่าร้อยละการนำกลับไอออนแพลทินัมจะมีค่าลดลงเนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจะส่งผลให้สารละลายเยื่อแผ่นเหลวมีความหนืดสูงขึ้น [58] ทำให้ขวางกั้นการถ่ายโอนมวลไอออนแพลทินัมจากสารละลายป้อนไปสู่สารละลายเยื่อแผ่นเหลวหรือก็คือจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient, D) ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนแพลทินัมกับสารสกัดที่ละลายในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวให้มีค่าน้อยลง

4.4 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายนำกลับต่อการนำกลับไอออนแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

การศึกษาดังกล่าวของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายนำกลับต่อการสกัดไอออนแพลทินัม โดยเปลี่ยนชนิดของสารละลายนำกลับเป็น NaClO_4 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, NaOH ให้มีค่าความเข้มข้นคงที่ที่ 0.1 โมลต่อลิตร เมื่อได้ชนิดสารละลายนำกลับที่ให้ร้อยละการนำกลับไอออนแพลทินัมที่ดีที่สุด จะนำสารละลายนำกลับนั้นมาหาค่าความเข้มข้นของสารละลายนำกลับเป็น 0.05, 0.07, 0.2, 0.3 และ 0.4 โมลต่อลิตร ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีค่าคงที่ ดังนี้คือ ค่า pH ในสารละลายป้อน เป็น 2 (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.2) ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในโมดูลของเส้นใยกลวงบรรจุ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.3) อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่าเท่ากัน คือ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสารละลายนำกลับกับร้อยละการนำกลับไอออนแพลทินัมเมื่อ pH ในสารละลายป้อน = 2, $[\text{Aliquat 336}]_m = 15$ เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที

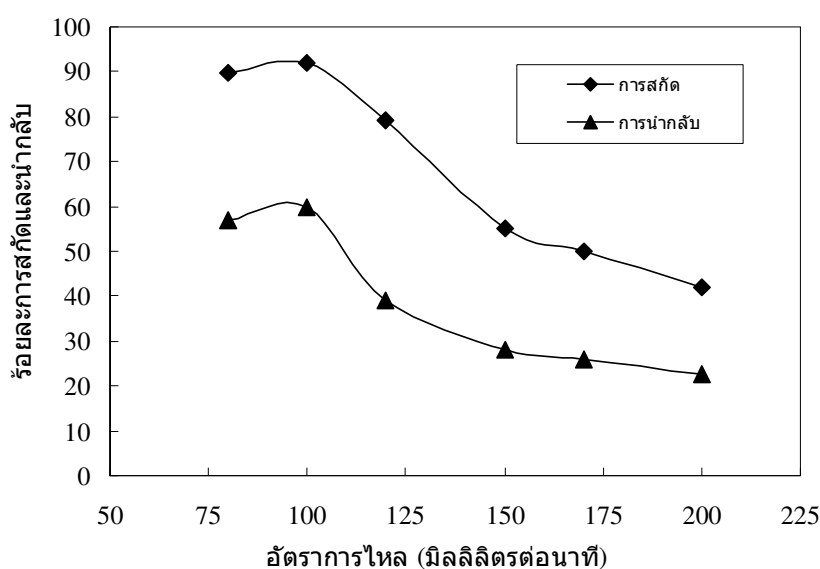


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NaClO₄ กับร้อยละการนำกลับไอออนแพลทินัมเมื่อ pH ในสารละลายป้อน = 2, [Aliquat 336]_m = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิกรัมต่ออนุภาที่

จากรูปที่ 4.5 เมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงชนิดของสารละลายนำกลับ พบว่า สารละลายที่ให้ค่าร้อยละการนำกลับไอออนแพลทินัมสูงที่สุดคือ NaClO₄ เนื่องจากขนาดไอออนลบ (ClO₄⁻) มีความเหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด อีกทั้งจากการทดลองค่า pH ทางฝั่งสารละลายนำกลับมีสภาพความเป็นกรด แต่ Na₂S₂O₃ สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีในสภาวะที่เป็นเบสหรือกลาง และจะเกิดการสลายตัวในสภาวะที่เป็นกรด ส่งผลให้ในการทดลองถัดไปในการหาค่าความเข้มข้นของสารละลายนำกลับจะใช้ NaClO₄ เป็นสารละลายนำกลับ โดยในรูปที่ 4.6 ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของ NaClO₄ พบว่าที่ความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร ค่าร้อยละการนำกลับไอออนแพลทินัมให้ค่าได้สูงที่สุดที่ 59.94 และเมื่อพิจารณาจากปฏิกิริยาการนำกลับจากสมการที่ 4.2 ที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายนำกลับสูงขึ้น ปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเกิดมากขึ้นหรือการนำกลับมากขึ้น และหลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากพื้นที่ในการถ่ายโอนมวลของโมดูลเส้นใยกลวงมีค่าคงที่ จึงมีอัตราการถ่ายโอนมวลที่จำกัด

4.5 ผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ผ่านโมดูลของเส้นใยกลวงต่อการสกัดไอออนแพลทินัม

การทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ผ่านโมดูลของเส้นใยกลวงทำโดยเปลี่ยนค่าอัตราการไหลเป็น 80, 100, 120, 150, 170 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีค่าคงที่ ดังนี้คือ ค่า pH ในสารละลายป้อน เป็น 2 (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.2) ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในโมดูลของเส้นใยกลวงบรรจุ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.3) และใช้สารละลายนำกลับ NaClO_4 ความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.4) ผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ผ่านโมดูลของเส้นใยกลวงต่อการสกัดไอออนแพลทินัม แสดงดังรูปที่ 4.7



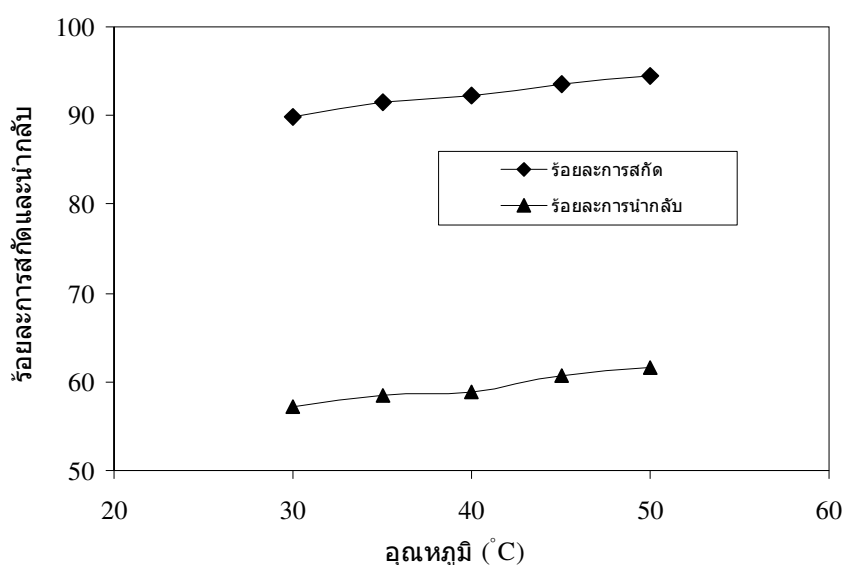
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับกับร้อยละการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมเมื่อ pH ในสารละลายป้อน = 2, $[\text{NaClO}_4]_s = 0.2$ โมลต่อลิตร และ $[\text{Aliquat 336}]_m = 15$ เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมจะลดลงเนื่องจากระยะเวลาที่ไอออนโลหะและสารสกัด Aliquat 336 ในชุดทดลองเส้นใยกลวงสัมผัสกัน หรือ Resident Time ซึ่งคืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรของชุดทดลองเส้นใยกลวง (V) กับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารละลายป้อน (Q) หรืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรของชุดทดลองเส้นใยกลวงกับอัตราการไหล

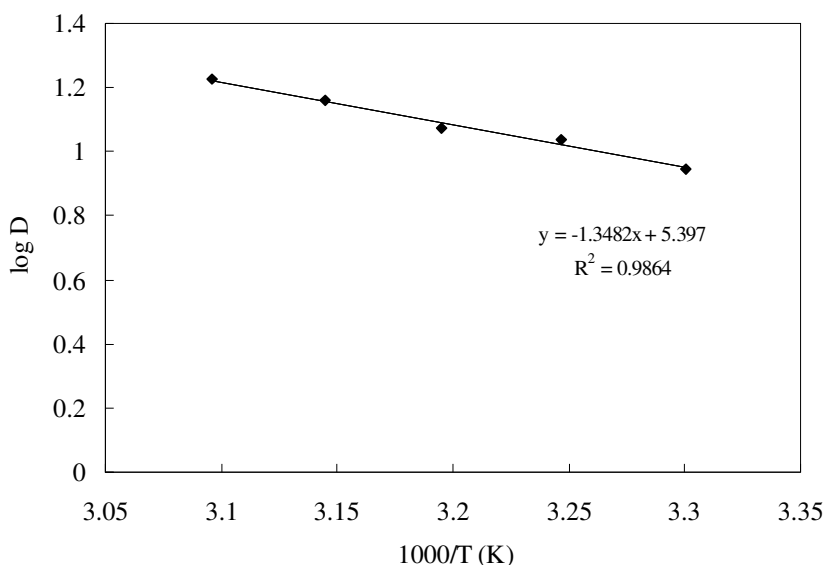
เชิงปริมาตรของสารละลายนำกลับมีค่าลดลง อีกทั้งเมื่อทำการทดลองที่อัตราการไหลที่สูงเกินไป อาจทำให้ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงเสียหายหรือเกิดการรั่วซึม ดังนั้นอัตราการไหลที่ให้ค่าร้อยละการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมได้ดีที่สุดคือ 100 มิลลิลิตรต่อนาทีที่มีความเหมาะสมที่สุดในการทดลอง

4.6 ผลของอุณหภูมิในการดำเนินงานต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม

การทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการดำเนินงานโดยเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิไหล เป็น 30, 35, 40, 45 และ 50 °C ส่วนปัจจัยอื่นๆ มีค่าคงที่ ดังนี้คือ ค่า pH ในสารละลายป้อน เป็น 2 (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.2) ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในโมดูลของเส้นใยกลวงบรรจุ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.3) และใช้สารละลายนำกลับ NaClO_4 ความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.4) อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่า 100 มิลลิลิตรต่อนาที (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.5) รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการดำเนินงานกับร้อยละการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมเมื่อ pH ในสารละลายป้อน = 2, $[\text{Aliquat 336}]_m = 15$ เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, $[\text{NaClO}_4]_s = 0.2$ โมลต่อลิตรและ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที



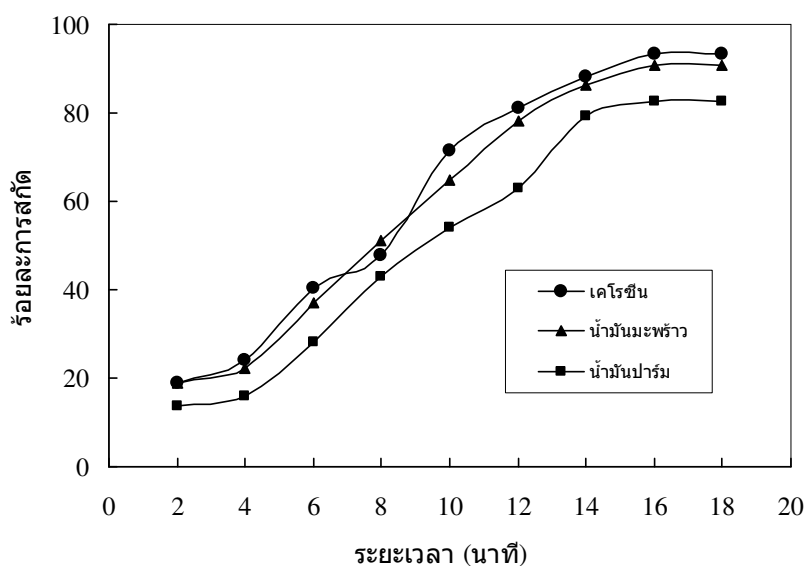
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการดำเนินงานกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของไอออนแพลทินัมเมื่อ pH ในสารละลายป้อน = 2, [Aliquat 336]_m = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, [NaClO₄]_s = 0.2 โมลต่อลิตรและ Q_f = Q_s = 100 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ค่าร้อยละการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกันเนื่องจากเมื่อเพิ่มค่าของอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังสมการของ Stokes และ Einstein [40] นอกจากนี้เมื่อมีการคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยผลการทดลองในรูปที่ 4.9 แสดงค่าระหว่าง log D กับ [1000/T (1/K)] และจะได้ค่าความชันเป็น $-\Delta H/2.303R$ ดังสมการที่ (2.13) โดยค่า ΔH คือค่าการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปี สามารถคำนวณได้จากค่าความชันที่ได้จากรูปที่ 4.9 จะได้ค่า $\Delta H = 25.81$ J/mol ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการถ่ายโอนมวลของแพลทินัมเป็นปฏิกิริยา Endothermic หรือ ดูดความร้อน เนื่องจากค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีมีค่าเป็นบวก ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยให้การสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมมีการถ่ายโอนมวลเพิ่มขึ้น

4.7 ผลของชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อการสกัดไอออนแพลทินัม

การทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดของตัวทำละลายต่อการสกัดไอออนแพลทินัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงทำโดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 นาทีส่วนนี้ปัจจัยอื่นๆ มีค่าคงที่ ดังนี้คือ ค่า pH ในสารละลายป้อนเป็น 2 (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.2) ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat

336 ในโมดูลของเส้นใยกลวงบรรจุ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.3) และ สารละลายนำกลับ NaClO_4 ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร (ค่าที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.4) อัตรา การไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่า 100 มิลลิลิตรต่อนาที (ค่าที่เหมาะสม จากหัวข้อ 4.5) รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของตัวทำละลายกับร้อยละการสกัดของไอออน แพลทินัม เมื่อ pH ในสารละลายป้อน = 2, $[\text{Aliquat 336}]_m = 15$ เปอร์เซ็นต์โดย ปริมาตร, $[\text{NaClO}_4]_s = 0.2$ โมลต่อลิตรและ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของตัวทำละลายทั้งสามชนิด พบว่า เมื่อใช้เคโรซีน เป็นตัวทำละลายจะให้ร้อยละการสกัดไอออนแพลทินัมได้ดีที่สุด เนื่องจากอาจเป็นผลมาจากค่า ความหนืดของตัวทำละลายเคโรซีนที่มีค่าน้อยกว่าค่าความหนืดของน้ำมันมะพร้าวและน้ำมัน ปาล์ม เพราะว่าค่าความหนืดของสารละลายเยื่อแผ่นเหลวจะมีผลกับการถ่ายโอนมวลของไอออน โลหะ โดยที่เมื่อค่าความหนืดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของไอออนโลหะมีค่า ลดลง ดังสมการที่ (4.4) ของ Stokes และ Einstein [40]

$$D^* = \frac{k_B T}{6\pi\eta r} \quad (4.4)$$

เมื่อ

- D^* = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (เซนติเมตร²ต่อวินาที)
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว (เคลวิน)
 η = ความหนืดของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว (กิโลกรัมต่อเมตรต่อวินาที)
 r = รัศมีของโมเลกุลของสารที่แพร่ผ่าน (เมตร)
 k_B = ค่าคงที่ของ Boltzmann มีค่าเท่ากับ 1.3807×10^{-23} (จูลต่อเคลวิน)
 π = ค่าคงที่ในสมการของ Stokes และ Einstein มีค่า 3.1416

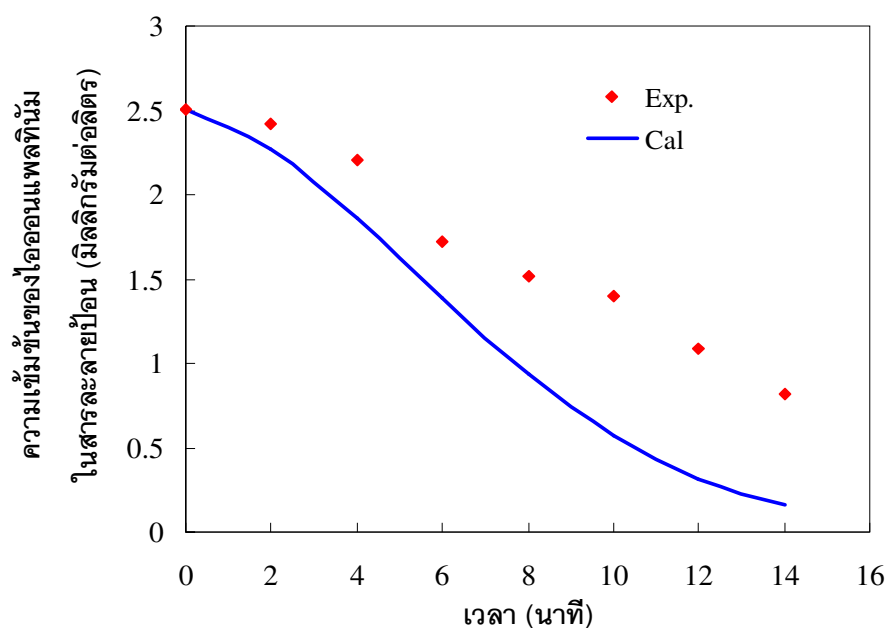
ตารางที่ 4.1 ค่าความหนืดของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว

ชนิดตัวทำละลาย	ค่าความหนืดของเยื่อแผ่นเหลว (cP) ที่อุณหภูมิ 25°C
เคโรซีน	45
น้ำมันมะพร้าว	85
น้ำมันปาล์ม	107

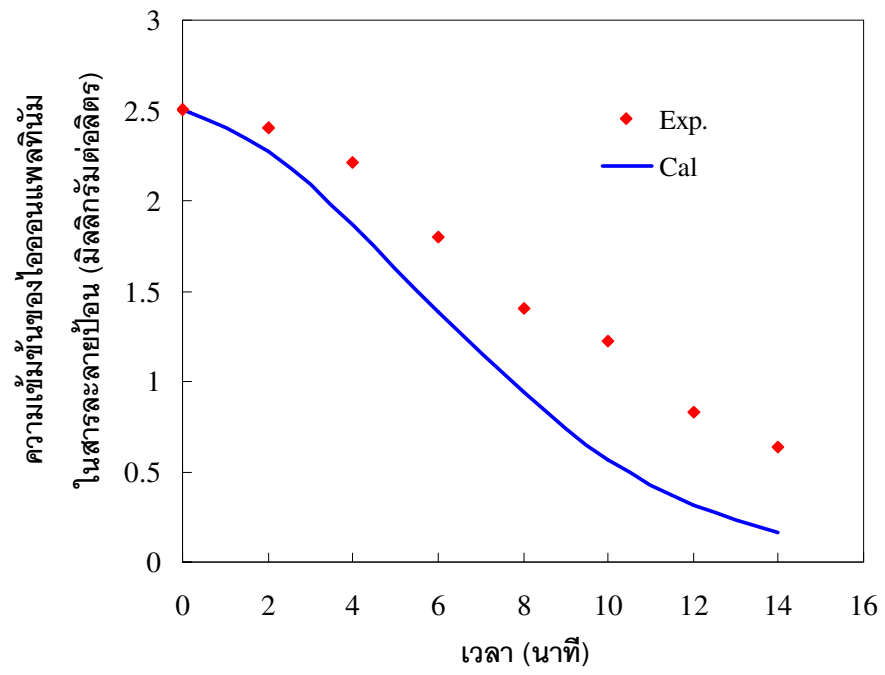
4.8 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนจากการทดลองกับการคำนวณจากแบบจำลองฟลักซ์การถ่ายเทมวล

การถ่ายเทมวลของไอออนแพลทินัมผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 (ก-ง) เป็นการเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณจากแบบจำลองฟลักซ์การถ่ายเทมวล โดยมีสภาวะการทดลองดังนี้คือ ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนเท่ากัน คือ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ในสารละลายป้อนเท่ากับ 2 เปลี่ยนความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่น

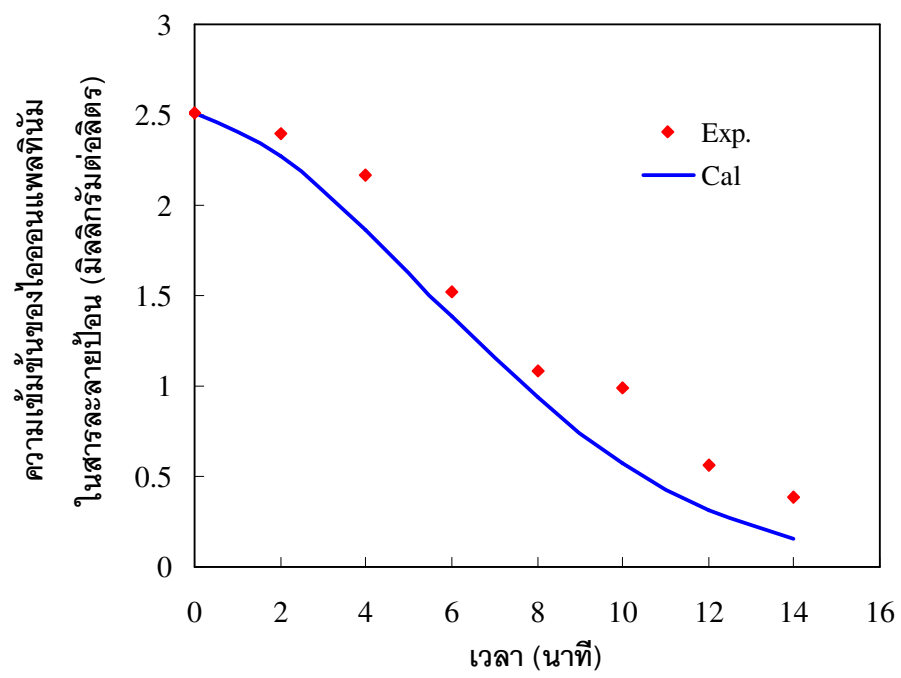
เหลวเป็น 5, 7, 10, และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และใช้ NaClO_4 เป็นสารละลายนำกลับ ที่ความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร จากผลการทดลองของการทำนายค่าความเข้มข้นของไอออน แพลทินัมในสารละลายป้อนที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.38) พบว่า จากรูปที่ 4.11 (ก) ค่าความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่ได้จากการทดลองและการคำนวณมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือมีค่าลดลงจากนาที่ที่ 0 ไปจนถึงนาที่ที่ 14 แต่ยังคงพบว่าการคำนวณกับค่าที่ได้จากการทดลองยังไม่แม่นยำนัก ซึ่งเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของ Aliquat 336 มากกว่า 5 เป็น 7, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการทดลองมีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าร้อยละการเบี่ยงเบน (Percentage of deviation) ในตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าร้อยละการเบี่ยงเบนที่ได้จากรูป 4.11 (ง) มีค่าน้อยที่สุด สามารถสรุปได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 เท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะให้ค่าการถ่ายเทมวลดีที่สุดและให้ความแม่นยำในการทำนายผลมากที่สุด อีกทั้งการใช้สารสกัดที่น้อยเกินไปจะส่งผลให้การช่วยถ่ายโอนมวลของไอออนแพลทินัมเกิดขึ้นได้ช้าลง แต่หากเพิ่มความเข้มข้นของ Aliquat 336 เป็น 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะส่งผลให้การสกัดไอออนแพลทินัมลดลง สังเกตได้จากผลการทดลองในรูปที่ 4.4 เนื่องจากค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของไอออนโลหะมีค่าลดลง สอดคล้องกับสมการที่ (4.4)



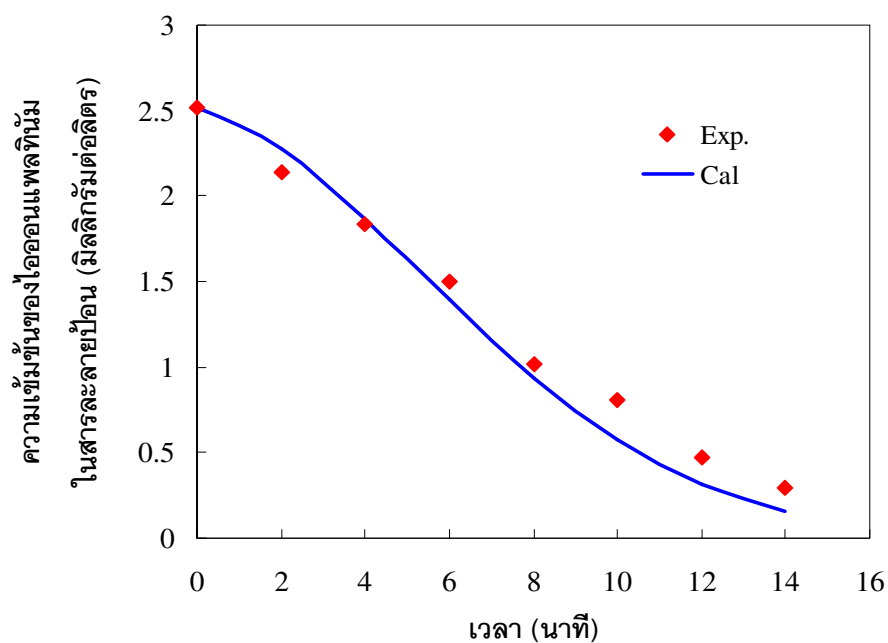
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลายไอโอดีนที่เวลา 0-14 นาที จากผลการทดลองกับการคำนวณจากแบบจำลองฟลักซ์ ที่ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 (ก) 5 (ข) 7 (ค) 10 และ (ง) 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ตารางที่ 4.2 ค่าร้อยละการเบี่ยงเบน (Percentage of deviation)

[Aliquat 336] เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	ค่าร้อยละการเบี่ยงเบน
5	41.54
7	38.33
10	26.46
15	16.54

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการสกัดไอออนแพลทินัมในน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทองคำโดยใช้กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงโดยมีรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านโมดูลของเส้นใยกลวงไหลวน มีปัจจัยสำคัญต่างๆที่ได้ทดลอง ได้แก่ ชนิดของสารสกัด ความเข้มข้นของสารสกัด ความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อน ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ ผลของอุณหภูมิในการดำเนินงาน และชนิดของตัวทำละลาย สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดในสารละลายป้อนในช่วง pH 1 ถึง 6 โดยให้ปัจจัยอื่นๆ คงที่ พบว่า ค่าความเป็นกรดในสารละลายป้อนที่ให้ค่าร้อยละการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมสูงสุด คือ pH = 2

5.1.2 ผลของความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในช่วง 5 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ต่อการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมเมื่อปัจจัยอื่นๆ คงที่ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 เพิ่มขึ้นส่งผลให้การสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมเพิ่มสูงขึ้น ค่าความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ที่เหมาะสม คือ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งแม้จะใช้ความเข้มข้นสูงกว่านี้ก็ไม่ได้ทำให้ค่าร้อยละการสกัดและค่าร้อยละการนำกลับเพิ่มขึ้น

5.1.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ NaClO_4 ในช่วงความเข้มข้น 0.05 ถึง 0.4 โมลต่อลิตร ต่อการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมเมื่อปัจจัยอื่นๆ คงที่ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย NaClO_4 จะส่งผลให้การสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมเพิ่มสูงขึ้นและจะคงที่เมื่อความเข้มข้นสูงกว่า 0.2 โมลต่อลิตร ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ NaClO_4 ที่เหมาะสม คือ 0.2 โมลต่อลิตร

5.1.4 ผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ผ่านโมดูลของเส้นใยกลวงในช่วง 80 ถึง 200 มิลลิลิตรต่อนาที โดยให้ปัจจัยอื่นๆ คงที่ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการ

ไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจาก 80–100 มิลลิลิตรต่อนาที การสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่ออัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมากกว่า 100 มิลลิลิตรต่อนาที ดังนั้นอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่เหมาะสม คือ 100 มิลลิลิตรต่อนาที

5.1.4 ผลของอุณหภูมิในการดำเนินงานในช่วง 30-50°C โดยให้ปัจจัยอื่นๆ คงที่ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมก็จะเพิ่มมากขึ้น เป็นผลมาจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของไอออนโลหะ เนื่องจากค่าความหนืดจะมีค่าลดลง นอกจากนี้ปฏิกิริยาการถ่ายโอนมวลของแพลทินัมเป็นปฏิกิริยา Endothermic หรือ ดูดความร้อน ซึ่งดูได้จากค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีที่มีค่าเป็นบวกเช่นกัน

5.1.5 ภาวะในการดำเนินการทดลองที่เหมาะสมเมื่อสารละลายป้อนมีไอออนแพลทินัมเจือปน คือ ค่าความเป็นกรดในสารละลายป้อนมีค่า $\text{pH} = 2$ โดยโมดูลของเส้นใยกลวงบรรจุด้วยสารสกัด Aliquat 336 ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ NaClO_4 0.2 โมลต่อลิตร อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อทำการทดลองหาชนิดของตัวทำละลายที่ให้ประสิทธิภาพของการสกัดแยกไอออนโลหะแพลทินัมที่ดีที่สุด พบว่า เคโรซีนเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยให้ค่าร้อยละการสกัดได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์ม

5.1.6 การทำนายผลค่าความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนที่เวลาใดๆ เปรียบเทียบกับผลการทดลอง พบว่า ที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของ Aliquat 336 สามารถให้ผลการทำนายได้แม่นยำที่สุดเพราะให้ค่าร้อยละการเบี่ยงเบนน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เมื่อมีการใช้ระบบนี้อย่างต่อเนื่องอาจทำให้สารสกัดที่ละลายอยู่ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวบางส่วนหลุดออกจากรูพรุนจุลภาคของสารละลายเยื่อแผ่นเหลวของเส้นใยกลวง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมลดลง จึงควรเติมสารสกัดเป็นระยะๆ เพื่อให้แน่ใจว่ามีสารสกัดอยู่ในรูพรุนจุลภาคของเยื่อแผ่นเหลวเพียงพอต่อการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัม

5.2.2 จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมในการเพิ่มขนาดของกระบวนการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัมโดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำมันมะพร้าว เพราะว่าเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติและไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์

5.2.3 ในงานวิจัยนี้ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มขนาดของกระบวนการสกัดและการนำกลับไอออนแพลทินัม เพื่อที่จะนำมาใช้กับสารละลายป้อนที่มีปริมาณมากๆ และประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

รายการอ้างอิง

- [1] McDonald, D. *A history of platinum and its allied metals*. London: Johnson Matthey Plc, 1982.
- [2] Ravindra, K., Bencs, L., and Van Grieken, R. Platinum group elements in the environment and their health risk. The Science of The Total Environment 318(1-3) (2004): 1-43.
- [3] Lorand, J.-P., Reisberg, L., and Bedini, R. M. Platinum-group elements and melt percolation processes in Sidamo spinel peridotite xenoliths, Ethiopia, East African Rift. Chemical Geology 196(1-4) (2003): 57-75.
- [4] Suwannasing, A. *Platinum*. Bangkok: Economic Geology Division, Department of Mineral Resources, 1981.
- [5] Barakat, M. A., and Mahmoud, M. H. H. Recovery of platinum from spent catalyst. Hydrometallurgy 72(3-4) (2004): 179-184.
- [6] Crovini, L., Actis, A., Coggiola, G., and Mangano, A. Accurate thermometry by means of industrial platinum resistance thermometers. Measurement 10(1) 31-38.
- [7] Perry, D. L., and Phillips, S. L. *Handbook of Inorganic Compounds*. California: CRC Press, 1995.
- [8] Petrucci, R. H., Harwood, W. S., Herring, G. E., and Madura, J. *General Chemistry: Principles and Modern Application*. 9th Edition. New York: Prentice Hall, 2007.
- [9] Wells, A. The wear of precious jewellery. Wear 112(3-4) (1986): 363-370.
- [10] Kononova, O. N., Leyman, T. A., Melnikov, A. M., Kashirin, D. M., and Tselukovskaya, M. M. Ion exchange recovery of platinum from chloride solutions. Hydrometallurgy 100(3-4) (2010): 161-167.
- [11] Malik, P., and Paiva, A. P. Solvent Extraction Studies for Platinum Recovery from Chloride Media by A *N,N'*-Tetrasubstituted Malonamide Derivative. Solvent Extraction and Ion Exchange 27(1) (2009): 36-49.
- [12] Pan, L., and Zhang, Z.-d. Solvent extraction and separation of palladium(II) and platinum(IV) from hydrochloric acid medium with dibutyl sulfoxide. Minerals Engineering 22(15) (2009): 1271-1276.

- [13] Kumar, J. R., Lee, H.-I., Lee, J.-Y., Kim, J.-S., and Sohn, J.-S. Comparison of liquid-liquid extraction studies on platinum(IV) from acidic solutions using bis(2,4,4-trimethylpentyl) monothiophosphinic acid. Separation and Purification Technology 63(1) (2008): 184-190.
- [14] Bhandare, A. A., and Argekar, A. P. Separation and recovery of platinum and rhodium by supported liquid membranes using bis(2-ethylhexyl)phosphoric acid (HDEHP) as a mobile carrier. Journal of Membrane Science 201(1-2) (2002): 233-237.
- [15] Fontàs, C., Tayeb, R., Tingry, S., Hidalgo, M., and Seta, P. Transport of platinum(IV) through supported liquid membrane (SLM) and polymeric plasticized membrane (PPM). Journal of Membrane Science 263(1-2) (2005): 96-102.
- [16] Yang, Q., and Kocherginsky, N. M. Copper removal from ammoniacal wastewater through a hollow fiber supported liquid membrane system: Modeling and experimental verification. Journal of Membrane Science 297(1-2) (2007): 121-129.
- [17] Gyves, J. d., and Miguel, E. R. Metal ion separations by supported liquid membranes. Industrial & Engineering Chemistry Research 38(6) (1999): 2182-2202.
- [18] Loiacono, O., Drioli, E., and Molinari, R. Metal ion separation and concentration with supported liquid membranes. Journal of Membrane Science 28(2) (1986): 123-138.
- [19] Porter, M. C. *Handbook of Membrane Industrial Technology*. New Jersey: Noyes Publications, 1990.
- [20] Yang, X. J., Fane, A. G., and Pin, C. Separation of zirconium and hafnium using hollow fibers: Part I. Supported liquid membranes. Chemical Engineering Journal 88(1-3) (2002): 37-44.
- [21] Lothongkum, A. W., Khemglad, Y., Usomboon, N., and Pancharoen, U. Selective recovery of nickel ions from wastewater of stainless steel industry via HFSLM. Journal of Alloys and Compounds 476(1-2) (2009): 940-949.

- [22] Fu, S. S., Mastuyama, H., and Teramoto, M. Ce(III) recovery by supported liquid membrane using polyethylene hollow fiber prepared via thermally induced phase separation. Separation and Purification Technology 36(1) (2004): 17-22.
- [23] Wannachod, P., Chaturabul, S., Pancharoen, U., Lothongkum, A. W., and Patthaveekongka, W. The effective recovery of praseodymium from mixed rare earths via a hollow fiber supported liquid membrane and its mass transfer related. Journal of Alloys and Compounds 509(2) (2011): 354-361.
- [24] Duche, S. N., and Dhadke, P. M. Extraction of platinum(IV) via liquid emulsion membrane containing Cyanex-923 from bromide media. Separation Science and Technology 37(13) (2002): 3011 - 3024.
- [25] Rane, M. V., and Venugopal, V. Study on the extraction of palladium(II) and platinum(IV) using LIX 84I. Hydrometallurgy 84(1-2) (2006): 54-59.
- [26] Uheida, A., Zhang, Y., and Muhammed, M. Extraction of Platinum(IV) with nonylthiourea dissolved in chloroform from hydrochloric acid media. Solvent Extraction and Ion Exchange 21(6) (2003): 827 - 840.
- [27] Lee, J.-Y., Kumar, J. R., Kim, J.-S., Kim, D.-J., and Yoon, H.-S. Extraction and separation of Pt(IV)/Rh(III) from acidic chloride solutions using Aliquat 336. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 15(3) (2009): 359-364.
- [28] Fontàs, C., Salvadó, V., and Hidalgo, M. Solvent extraction of Pt(IV) by Aliquat 336 and its application to a solid supported liquid membrane system. Solvent Extraction and Ion Exchange 17(1) (1999): 149-162.
- [29] Fu, J., Nakamura, S., and Akiba, K. Carrier-mediated transport of platinum(IV) through a supported liquid membrane impregnating an 8-quinolinol derivative. Journal of Membrane Science 105(3) (1995): 281-286.
- [30] Fu, J., Nakamura, S., and Akiba, K. Selective transport of platinum (IV) from a palladium (II) mixture across a liquid membrane impregnated with an 8-quinolinol derivative. Journal of Membrane Science 107(3) (1995): 283-288.

- [31] Fontàs, C., Salvadó, V., and Hidalgo, M. Separation and concentration of Pd, Pt, and Rh from automotive catalytic converters by combining two hollow-fiber liquid membrane systems. Industrial & Engineering Chemistry Research 41(6) (2002): 1616-1620.
- [32] Patthaveekongka, W., Vijitchalermping, N., and Pancharoen, U. Selective recovery of palladium from used aqua regia by hollow fiber supported with liquid membrane. Korean Journal of Chemical Engineering 20(6) (2003): 1092-1096.
- [33] Ramakul, P., and Pancharoen, U. Synergistic extraction and separation of mixture of lanthanum and neodymium by hollow fiber supported liquid membrane. Korean Journal of Chemical Engineering 20(4) (2003): 724-730.
- [34] Pancharoen, U., Poonkum, W., and Lothongkum, A. W. Treatment of arsenic ions from produced water through hollow fiber supported liquid membrane. Journal of Alloys and Compounds 482(1-2) (2009): 328-334.
- [35] Pancharoen, U., Somboonpanya, S., Chaturabul, S., and Lothongkum, A. W. Selective removal of mercury as HgCl₄²⁻ from natural gas well produced water by TOA via HFSLM. Journal of Alloys and Compounds 489(1) (2010): 72-79.
- [36] Muthuraman, G., and Palanivelu, K. Transport of textile dye in vegetable oils based supported liquid membrane. Dyes and Pigments 70(2) (2006): 99-104.
- [37] Venkateswaran, P., Gopalakrishnan, A. N., and Palanivelu, K. Di(2-ethylhexyl)phosphoric acid-coconut oil supported liquid membrane for the separation of copper ions from copper plating wastewater. Journal of Environmental Sciences 19(12) (2007): 1446-1453.
- [38] Chakrabarty, K., Saha, P., and Ghoshal, A. K. Separation of mercury from its aqueous solution through supported liquid membrane using environmentally benign diluent. Journal of Membrane Science 350(1-2) (2010): 395-401.
- [39] Jirattananon, R. *Synthetic membrane separation processes*. Bangkok: King Mongkuts University of Technology Thonburi, 2000.
- [40] Schulz, G. Separation techniques with supported liquid membranes. Desalination 68(2-3) (1988): 191-202.
- [41] Pancharoen, U. *Graph prediction*. Bangkok: Chulalongkorn University, 2008.

- [42] Kulkarni, P. S., and Mahajani, V. V. Application of liquid emulsion membrane (LEM) process for enrichment of molybdenum from aqueous solutions. Journal of Membrane Science 201(1-2) (2002): 123-135.
- [43] Gu, Z.-M. A new liquid membrane technology-electrostatic pseudo liquid membrane. Journal of Membrane Science 52(1) (1990): 77-88.
- [44] O'Hara, P. A., and Bohrer, M. P. Supported liquid membranes for copper transport. Journal of Membrane Science 44(2-3) (1989): 273-287.
- [45] Komasaawa, I., Otake, T., and Yamashita, T. Mechanism and kinetics of copper permeation through a supported liquid membrane containing a hydroxyoxime as a mobile carrier. Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals 22(1) (1983): 127-131.
- [46] Teramoto, M., Matsuyama, H., Takaya, H., and Asano, S. Development of spiral-type supported liquid membrane module for separation and concentration of metal ions. Separation Science and Technology 22(11) (1987): 2175-2201.
- [47] Izatt, R. M., Lamb, J. D., and Bruening, R. L. Comparison of bulk, emulsion, thin sheet supported, and hollow fiber supported liquid membranes in macrocycle-mediated cation separations. Separation Science and Technology 23(12-13) (1988): 1645-1658.
- [48] Ramakul, P., Songkun, E., Pattaveekongka, W., Hronec, M., and Pancharoen, U. Permeation study on the hollow-fiber supported liquid membrane for the extraction of Cobalt(II). Korean Journal of Chemical Engineering 23(1) (2006): 117-123.
- [49] Rathore, N. S., Sonawane, J. V., Kumar, A., Venugopalan, A. K., Singh, R. K., Bajpai, D. D., and Shukla, J. P. Hollow fiber supported liquid membrane: a novel technique for separation and recovery of plutonium from aqueous acidic wastes. Journal of Membrane Science 189(1) (2001): 119-128.
- [50] Danesi, P. R. A simplified model for the coupled transport of metal ions through hollow-fiber supported liquid membranes. Journal of Membrane Science 20(3) (1984): 231-248.

- [51] Kumar, A., Haddad, R., Benzal, G., Ninou, R., and Sastre, A. M. Use of modified membrane carrier system for recovery of gold cyanide from alkaline cyanide media using hollow fiber supported liquid membranes: feasibility studies and mass transfer modeling. Journal of Membrane Science 174(1) (2000): 17-30.
- [52] Prakorn Ramakul. *Separation of mixture of lanthanum and neodymium ions by hollow fiber supported liquid membrane*. Master's Thesis, Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering Chulalongkorn, 2001.
- [53] Jia, Q., Wu, J., Li, T.-T., and Zhou, W.-H. Synergistic extraction of Zn(II) by mixtures of tri-butyl-phosphate and trialkyl amine extractant. Chinese Journal of Analytical Chemistry 36(5) (2008): 619-622.
- [54] Franken, T. Liquid Membranes-academic exercise or industrial separation process. Membrane Technology (85) (1997): 6-10.
- [55] Danesi, P. R. Separation of metal species by supported liquid membranes. Separation Science and Technology 19(11-12) (1984): 857-894.
- [56] Lee, J.-C., Jeong, J., Park, J. T., Youn, I. J., and Chung, H.-S. Selective and simultaneous extractions of Zn and Cu ions by hollow fiber SLM modules containing HEH(EHP) and LIX84. Separation Science and Technology 34(8) (1999): 1689-1701.
- [57] Pancharoen, U., Ramakul, P., Pattaweekongka, W., and Hronec, M. Feasibility study on the separation of uranium and thorium by a hollow fiber supported liquid membrane and mass transfer modeling. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 12(5) (2006): 673-681.
- [58] Di Luccio, M., Smith, B. D., Kida, T., Borges, C. P., and Alves, T. L. M. Separation of fructose from a mixture of sugars using supported liquid membranes. Journal of Membrane Science 174(2) (2000): 217-224.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา

ก-1 ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium Constant, K_{ex}) ของปฏิกิริยาการสกัดไอออนแพลทินัม

จากปฏิกิริยาการสกัดไอออนแพลทินัมในสมการที่ (2.7) เขียนความสัมพันธ์ค่าคงที่สมดุลได้
ดังนี้

$$K_{ex} = \frac{[(R'R_3N)_2PtCl_6][Cl^-]^2}{[(PtCl_6)^{2-}][(R'R_3N^+Cl^-)^2]} \quad (ก-1)$$

ก-2 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient, D) [54]

$$D_t = \frac{[(R'R_3N)_2PtCl_6]}{[(PtCl_6)^{2-}]} \quad (ก-2)$$

ก-3 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Coefficient, P) [55]

$$V_f \ln \left(\frac{C_f}{C_{f,0}} \right) = AP \frac{\varphi}{\varphi + 1} t \quad (ก-3)$$

โดยที่

$$\varphi = \frac{Q_f}{PLE\pi Nr_i} \quad (ก-4)$$

เมื่อ

P	=	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน	(เซนติเมตรต่อวินาที)
$C_{f,0}$	=	ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่เวลาเริ่มต้น	(โมลต่อลิตร)
C_f	=	ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่เวลา t	(โมลต่อลิตร)
A	=	พื้นที่การถ่ายโอนมวล	(ตารางเซนติเมตร)
V_f	=	ปริมาตรของสารละลายป้อน	(ลูกบาศก์เซนติเมตร)
Q_f	=	อัตราการไหลของสารละลายป้อน	(ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที)
L	=	ความยาวของเส้นใยกลวง	(เซนติเมตร)
N	=	จำนวนเส้นใยกลวงในโมดูล	(เส้น)
r_i	=	รัศมีภายในของเส้นใยกลวง	(เซนติเมตร)
ε	=	ความพรุนของเส้นใยกลวง	
π	=	ค่าคงที่เท่ากับ 3.1416	

ก-4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (Mass Transfer Coefficient)

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของการถ่ายโอนมวลกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล

[54]

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{k_i} + \frac{r_i}{r_m} \frac{1}{P_m} + \frac{r_i}{r_o} \frac{1}{k_s} \quad (\text{ก-5})$$

เมื่อ

r_{lm}	=	รัศมี Log-mean ของเส้นใยกลวง	(เซนติเมตร)
r_o	=	รัศมีภายนอกของเส้นใยกลวง	(เซนติเมตร)
k_i	=	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน	(เซนติเมตร)
k_s	=	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายนำกลับ	(เซนติเมตร)
P_m	=	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเยื่อแผ่นเหลว	(เซนติเมตรต่อวินาที)

ก-5 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient, D) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเยื่อแผ่นเหลว (Permeability Coefficient, P_m) [54]

$$P_m = D_t k_m \quad (\text{ก-6})$$

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{k_i} + \frac{r_i}{r_m} \frac{1}{k_m D_t} \quad (\text{ก-7})$$

เมื่อ

k_m = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (เซนติเมตรต่อวินาที)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบและผลการคำนวณ

ตารางที่ ข-1 การศึกษาผลของชนิดสารสกัดต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม

ชนิดของสารละลายนำกลับ	[Pt(IV)] _f (ppm)		[Pt(IV)] _s (ppm) ขาออก	% การสกัด	% การนำกลับ
	ขาเข้า	ขาออก			
Cyanex 923	4.732	4.086	0.151	13.65	3.19
Aliquat 336	4.832	1.798	0.516	62.79	10.68
LIX-84I	4.951	4.602	0.089	4.46	1.84
D2EHPA	4.99	4.846	0.005	2.12	0.10

ภาวะที่ทดลอง: pH ในสารละลายป้อน = 5, [สารสกัด]_m = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, [Thiourea]_s = 0.1 โมลต่อลิตร และ Q_f = Q_s = 100 มิลลิลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข-2 การศึกษาผลของความเป็นกรด-เบส ในสารละลายป้อนในสารละลายป้อนต่อการสกัดและนำกลับไอออนโลหะ (ดูตัวอย่างการคำนวณได้จาก ภาคผนวก ค-1 และ ค-2)

pH	[Pt(IV)] _f (ppm)		[Au(III)] _f (ppm)		[Pd(II)] _f (ppm)		[Pt(IV)] _s (ppm)	Au(III)] _s (ppm)	Pd(II)] _s (ppm)	% การสกัด			% การนำกลับ		
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาออก	ขาออก	ขาออก	Pt(IV)	Au(III)	Pd(II)	Pt(IV)	Au(III)	Pd(II)
1	2.151	1.017	0.189	0.133	0.351	0.306	0.217	0.003	0.004	52.72	29.63	12.82	10.09	1.59	1.17
2	2.597	0.217	0.152	0.103	0.156	0.126	0.416	0.003	0.002	91.64	32.24	19.23	16.02	2.11	1.28
3	1.943	0.217	0.206	0.123	0.211	0.166	0.239	0.003	0.004	88.83	40.29	21.33	12.30	1.80	1.90
4	1.978	0.315	0.241	0.138	0.495	0.403	0.182	0.003	0.004	84.07	42.74	18.59	9.20	1.24	0.93
5	2.415	0.8	0.283	0.169	0.365	0.299	0.179	0.002	0.005	66.87	40.28	18.08	7.41	0.71	1.40
6	2.215	0.817	0.741	0.529	0.215	0.182	0.156	0.001	0.003	63.12	28.61	15.35	7.04	0.13	1.40

ภาวะที่ทดลอง: [Aliquat 336]_m = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, [Thiourea]_s = 0.1 โมลต่อลิตร และ Q_f = Q_s = 100 มิลลิลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข-3 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม

ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	[Pt(IV)] _f (ppm)		[Pt(IV)] _s (ppm)	% การสกัด	% การนำกลับ
	ขาเข้า	ขาออก	ขาออก		
3	2.289	0.845	0.101	63.08	4.41
5	2.567	0.615	0.108	73.13	4.72
7	2.45	0.575	0.118	74.88	5.16
10	2.536	0.297	0.196	87.02	8.73
15	2.597	0.217	0.416	91.64	16.02
20	2.285	0.419	0.142	81.70	6.21
25	2.831	0.507	0.198	77.85	3.40
30	2.531	0.547	0.128	75.49	3.03

ภาวะที่ทดลอง: [Pt(IV)]_f = 2.5 ppm, pH ในสารละลายป้อน = 2 , [Thiourea]_s = 0.1 โมลต่อลิตร และ Q_f = Q_s = 100 มิลลิลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข-4 การศึกษาผลของชนิดของสารละลายนำกลับต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม

ชนิดของสารละลายนำกลับ	[Pt(IV)] _f (ppm)		[Pt(IV)] _s (ppm) ขาออก	% การสกัด	% การนำกลับ
	ขาเข้า	ขาออก			
NaClO ₄	2.234	0.171	0.957	92.35	42.84
Thiourea	2.597	0.217	0.217	91.64	16.02
Na ₂ S ₂ O ₃	2.399	0.297	0.096	87.62	4.00
NaOH	2.583	0.338	0.064	86.91	2.48

ภาวะที่ทดลอง: pH ในสารละลายป้อน = 2, [Aliquat 336]_m = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, [สารละลายนำกลับ]_s = 0.1 โมลต่อลิตร และ Q_f = Q_s = 100 มิลลิลิตรต่อ นาที

ตารางที่ ข-5 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำกลั้ว NaClO_4 ต่อการสกัดและน้ำกลั้วไอออนแพลทินัม

ความเข้มข้นของสารละลายน้ำกลั้ว NaClO_4 (โมลต่อลิตร)	[Pt(IV)] _f (ppm)		[Pt(IV)] _s (ppm)	% การสกัด	% การน้ำกลั้ว
	ขาเข้า	ขาออก	ขาออก		
0.05	2.151	0.26	0.16	87.91	7.43
0.07	3.045	0.245	0.568	88.60	18.65
0.1	1.343	0.1916	0.581	92.34	43.26
0.2	2.479	0.202	1.486	91.85	59.94
0.3	3.664	0.339	0.789	90.74	58.74
0.4	2.514	0.259	1.468	89.69	59.21

ภาวะที่ทดลอง: pH ในสารละลายป้อน = 2, [Aliquat 336]_m = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่ออนาที

ตารางที่ ข-6 การศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ผ่านโมดูลของเส้นใยกลวงต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัม

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)	[Pt(IV)] _f (ppm)		[Pt(IV)] _s (ppm) ขาออก	% การสกัด	% การนำกลับ
	ขาเข้า	ขาออก			
80	2.047	0.208	1.168	89.84	57.06
100	2.479	0.202	0.485	91.85	59.94
120	2.597	0.541	1.014	79.17	39.05
150	2.285	1.023	0.638	55.23	27.92
170	2.691	1.348	0.696	49.91	25.86
200	2.831	1.189	0.462	41.91	22.57

ภาวะที่ทดลอง: pH ในสารละลายป้อน = 2, [Aliquat 336]_m = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ [NaClO₄]_s = 0.2 โมลต่อลิตร

ตารางที่ ข-7 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวต่อการสกัดไอออนแพลทินัมที่เวลาใดๆ (ความเข้มข้นแพลทินัม หน่วย ppm)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลว (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)			
	5	7	10	15
2	2.418	2.408	2.401	2.041
4	2.209	2.208	2.164	1.834
6	1.718	1.803	1.519	1.421
8	1.512	1.409	1.082	1.017
10	1.401	1.222	0.987	0.809
12	1.081	0.829	0.559	0.472
14	0.821	0.634	0.383	0.297

ภาวะที่ทดลอง: pH ในสารละลายป้อน = 2, $[\text{NaClO}_4]_s = 0.2$ โมลต่อลิตร และ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที

ตารางที่ ข-8 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการดำเนินงานต่อการสกัดและนำกลับไอออนแพลทินัมที่ผ่านโมดูลของเส้นใยกลวง

อุณหภูมิ(°C)	[Pt(IV)] _f (ppm)		[Pt(IV)] _s (ppm)	% การสกัด	% การนำกลับ
	ขาเข้า	ขาออก	ขาออก		
30	2.446	0.249	1.398	89.82	57.15
35	2.597	0.219	1.518	91.56	58.45
40	2.485	0.194	1.461	92.19	58.79
45	2.441	0.158	1.481	93.52	60.67
50	2.431	0.136	1.498	94.40	61.62

ภาวะที่ทดลอง: pH ในสารละลายป้อน = 2, [Aliquat 336]_m = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ [NaClO₄]_s = 0.2 โมลต่อลิตร

ตารางที่ ข-9 การศึกษาผลของชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อการสกัดไอออนแพลทินัมที่ผ่านโมดูลของเส้นใยกลวง

ระยะเวลา	เคโรซีน		น้ำมันมะพร้าว		น้ำมันปาล์ม	
	ขาออก	% การสกัด	ขาออก	% การสกัด	ขาออก	% การสกัด
2	2.041	19.01	2.04	18.73	2.145	13.86
4	1.914	24.05	1.951	22.27	2.091	16.02
6	1.501	40.44	1.577	37.17	1.791	28.07
8	1.317	47.74	1.225	51.20	1.418	43.05
10	0.719	71.47	0.881	64.90	1.141	54.18
12	0.472	81.27	0.552	78.01	0.919	63.09
14	0.297	88.21	0.341	86.41	0.512	79.44
16	0.171	93.21	0.232	90.76	0.431	82.69
18	0.167	93.37	0.231	90.80	0.435	82.53

ภาวะที่ทดลอง: pH ในสารละลายป้อน = 2, [Aliquat 336]_m = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ [NaClO₄]_s = 0.2 โมลต่อลิตร

ชนิดตัวทำละลาย	เคโรซีน	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันปาล์ม
[Pt(IV)] _f ขาเข้า (ppm)	2.49	2.51	2.52

ตารางที่ ข-10 ข้อมูลความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนขาออกที่ได้จากผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 และค่าที่คำนวณจากแบบจำลองฟลักซ์การถ่ายเทมวล

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของ Aliquat 336 (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)							
	5		7		10		15	
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ
0	2.501	2.501	2.506	2.506	2.51	2.51	2.513	2.513
2	2.418	2.266	2.408	2.271	2.401	2.274	2.141	2.277
4	2.209	1.860	2.208	1.864	2.164	1.867	1.834	1.869
6	1.718	1.384	1.803	1.386	1.519	1.389	1.501	1.390
8	1.512	0.933	1.409	0.934	1.082	0.936	1.017	0.937
10	1.401	0.569	1.222	0.571	0.987	0.571	0.809	0.572
12	1.081	0.315	0.829	0.316	0.559	0.316	0.472	0.316
14	0.821	0.158	0.634	0.158	0.383	0.158	0.297	0.159

ภาวะที่ทดลอง: pH ในสารละลายป้อน = 2, $Q_f=Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที และ $[NaClO_4]_s = 0.2$ โมลต่อลิตร, ตัวทำละลาย = เควโรซีน

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างการคำนวณ

ค-1 ตัวอย่างการคำนวณร้อยละการสกัด

ข้อมูลจากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-3 ที่ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 = 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนขาเข้า = 2.597 ppm (mg/l)

ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนขาออก = 0.217 ppm (mg/l)

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการสกัด} &= \frac{2.597 - 0.217}{2.597} \times 100 \\ &= 91.64 \quad (\text{ดังตารางที่ ข-2}) \end{aligned}$$

ค-2 ตัวอย่างการคำนวณร้อยละการนำกลับ

ข้อมูลจากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-3 ที่ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 = 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายนำกลับขาออก = 0.416 ppm (mg/l)

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการนำกลับ} &= \frac{0.416}{2.597} \times 100 \\ &= 16.02 \quad (\text{ดังตารางที่ ข-2}) \end{aligned}$$

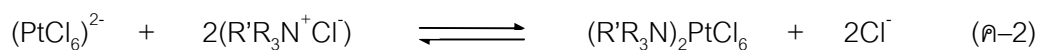
ค-3 ตัวอย่างการคำนวณค่าคงที่สมดุล (Equilibrium Constant, K_{ex}) และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient, D)

1. การคำนวณค่าคงที่สมดุล

$$K_{ex} = \frac{[(R'R_3N)_2PtCl_6][Cl^-]^2}{[(PtCl_6)^{2-}][(R'R_3N^+Cl^-)]^2} \quad (\text{ค-1})$$

ตัวอย่างวิธีการหาค่าความเข้มข้นของสารแต่ละตัวที่ความเข้มข้น Aliquat 336 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

จากปฏิกิริยาการสกัดไอออนแพลทินัมและข้อมูลที่ภาวะความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือเท่ากับ 0.3281 โมลต่อลิตร ซึ่งมีข้อมูลดังนี้



$$\text{สารละลายป้อนขาเข้า} = 7.77 \times 10^{-6} \quad \text{โมลต่อลิตร}$$

$$\text{สารละลายป้อนขาออก} = 0.73 \times 10^{-6} \quad \text{โมลต่อลิตร}$$

$$\begin{aligned} \text{สารละลายป้อนที่หายไปทำปฏิกิริยา} &= 7.77 \times 10^{-6} - 0.73 \times 10^{-6} && \text{โมลต่อลิตร} \\ &= 7.04 \times 10^{-6} && \text{โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายป้อนที่หายไปทำปฏิกิริยาหรือความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อน $(\text{R}'\text{R}_3\text{N})_2\text{PtCl}_6$ ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาการสกัดไอออนแพลทินัม มีค่าเท่ากับ 7.040×10^{-6} โมลต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เวลาเริ่มต้นมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} (\text{PtCl}_6)^{2-} &= \text{ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนขาเข้า} \\ &= 7.77 \times 10^{-6} \text{ โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [(\text{R}'\text{R}_3\text{N}^+\text{Cl}^-)] &= \text{ความเข้มข้นของสารสกัด 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร} \\ &= 0.3281 \text{ โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่สมดุลมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} (\text{PtCl}_6)^{2-} &= \text{ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนขาออก} \\ &= 0.73 \times 10^{-6} \quad \text{โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

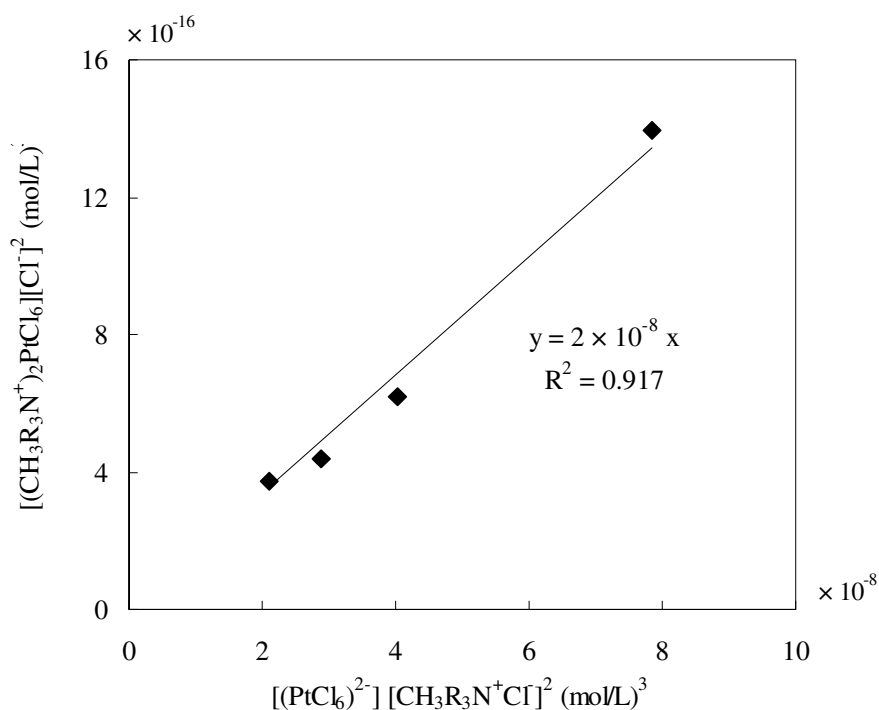
$$\begin{aligned} [(\text{R}'\text{R}_3\text{N})_2\text{PtCl}_6] &= 7.77 \times 10^{-6} - 0.73 \times 10^{-6} \quad \text{โมลต่อลิตร} \\ &= 7.04 \times 10^{-6} \quad \text{โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{Cl}^-] &= 2 \times (7.04 \times 10^{-6}) \quad \text{โมลต่อลิตร} \\ &= 14.08 \times 10^{-6} \quad \text{โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } [(\text{PtCl}_6)^{2-}][\text{R}'\text{R}_3\text{N}^+\text{Cl}^-]^2 &= (7.37 \times 10^{-6}) \times (0.3281)^2 \\ &= 7.83 \times 10^{-8} \quad (\text{โมลต่อลิตร})^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } [(\text{R}'\text{R}_3\text{N})_2\text{PtCl}_6][\text{Cl}^-]^2 &= (3.61 \times 10^{-4}) \times (14.08 \times 10^{-6})^2 \\ &= 1.39 \times 10^{-15} \quad (\text{โมลต่อลิตร})^3 \end{aligned}$$

และรูปที่ ค-1



รูปที่ ค-1 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ระหว่างเริ่มต้นปฏิกิริยากับที่สุดท้ายของปฏิกิริยาการสกัดไอออนแพลทินัม เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในโมดูลของเส้นใยกลวงในช่วง 5-15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

โดยหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการสกัดไอออนแพลทินัม (K_{ex}) ได้จากความชันของกราฟซึ่งมีค่าเท่ากับ 2×10^{-8}

2. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย

จากสมการสัมประสิทธิ์การกระจาย

$$D_t = \frac{[(R'R_3N)_2PtCl_6]}{[(PtCl_6)^{2-}]} \quad (\text{ค-3})$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 K_{ex} &= \text{ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการสกัดไอออนแพลทินัม} \\
 &= 2 \times 10^{-8}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [(R'_3N^+Cl^-)] &= \text{ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร} \\
 &= 0.3281 \quad \text{โมลต่อลิตร} \\
 [Cl^-] &= 14.08 \times 10^{-6} \quad \text{โมลต่อลิตร}
 \end{aligned}$$

แทนในสมการที่ ค-3

$$\begin{aligned}
 D_t &= 2 \times 10^{-8} \times (0.3281 \text{ โมลต่อลิตร})^2 / (14.08 \times 10^{-6} \text{ โมลต่อลิตร})^2 \\
 &= 10.86 \times 10^3
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (D_t) ของปฏิกิริยาการสกัดไอออนแพลทินัมมีค่าเท่ากับ 10.86×10^3

ค-4 ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Coefficient, P)

จากสมการ

$$V_f \ln \frac{C_f}{C_{f,0}} = AP \frac{\phi}{\phi + 1} t \quad (\text{ค-4})$$

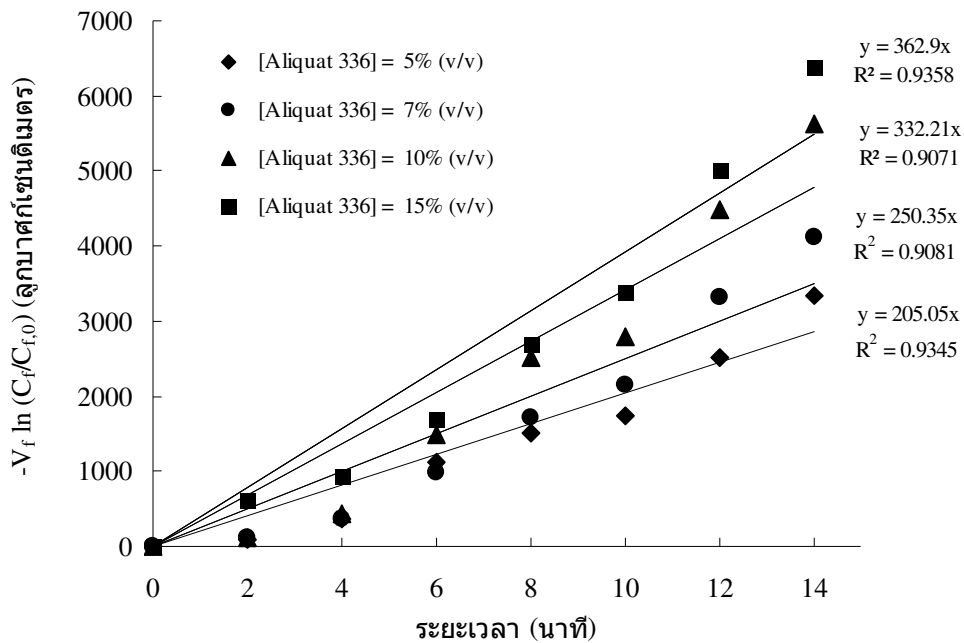
โดยที่

$$\phi = \frac{Q_f}{PL\epsilon\pi Nr_i} \quad (\text{ค-5})$$

เมื่อ

- P = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เซนติเมตรต่อวินาที)
- $C_{f,0}$ = ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่เวลาเริ่มต้น (โมลต่อลิตร)
- C_f = ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่เวลา t (โมลต่อลิตร)
- A = พื้นที่การถ่ายโอนมวล (ตารางเซนติเมตร)
- V_f = ปริมาตรของสารละลายป้อน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
- Q_f = อัตราการไหลของสารละลายป้อน (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที)
- L = ความยาวของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
- N = จำนวนเส้นใยกลวงในโมดูล (เส้น)
- r_f = รัศมีภายในของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)
- ϵ = ความพรุนของเส้นใยกลวง
- π = 3.1416

และรูปที่ ค-2



รูปที่ ค-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $-V_f \ln(C_f / C_{f,0})$ ของไอออนแพลทินัมในสารละลายป้อนกับเวลา (t) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในโมดูลของเส้นใยกลวง เมื่อ pH ในสารละลายป้อน = 2, $[\text{NaClO}_4]_s = 0.2$ โมลต่อลิตร และ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที

การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านทำได้โดยสร้างกราฟระหว่าง $-V_f \ln \frac{C_f}{C_{f,0}}$ กับเวลา (t) จะได้

ความชันของกราฟ คือ $AP = \frac{\varphi}{\varphi + 1}$ ซึ่งทำให้หาค่า P หรือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้

พิจารณาข้อมูลของไอออนแพลทินัมที่ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 เท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยที่

$C_{f,0}$	$= 6.12 \times 10^{-6}$	โมลต่อลิตร
C_f	$= 7.27 \times 10^{-7}$	โมลต่อลิตร
t	$= 840$	วินาที
A	$= 1.4 \times 10^4$	ตารางเซนติเมตร
V_f	$= 5,000$	ลูกบาศก์เซนติเมตร
Q_f	$= 1.67$	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที (100 มิลลิลิตรต่อนาที)
L	$= 20.3$	เซนติเมตร
N	$= 240$	เส้น
r_i	$= 120 \times 10^{-4}$	เซนติเมตร
ε	$= 0.25$	
π	$= 3.1416$	

จากรูปที่ ค-2 พิจารณาความชันที่ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีค่าเท่ากับ 362.9 ซึ่งก็คือเทอม $AP \frac{\varphi}{\varphi + 1}$ และแทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการที่ ค-4 และ ค-5 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ดังนี้

$$\varphi = \frac{Q_f}{PLE\pi N r_i}$$

$$= \frac{1.67 \text{ cm}^3/\text{s}}{P \times (20.3 \text{ cm}) \times (0.25) \times (3.1416) \times (240) \times (120 \times 10^{-4} \text{ cm})}$$

$$\varphi = \frac{0.36369 \text{ cm/s}}{P} \quad (\text{ค-6})$$

แทนค่า Φ จากสมการที่ ค-6 ลงในเทอม $AP \frac{\Phi}{\Phi + 1} = 362.9$ จะได้

$$362.9 = (1.4 \times 10^4) \times P \times \frac{\frac{0.36369}{P}}{\frac{0.363}{P} + 1}$$

$$P = 9.02 \text{ cm/s}$$

นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของไอออนแพลทินัม (P) ที่ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีค่าเท่ากับ 9.02 เซนติเมตรต่อวินาที (cm/s)

ค-5 ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_i) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m)

จากสมการ

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{k_i} + \frac{r_i}{r_m} \frac{[Cl^-]^2}{K_{ex} k_m [R_3R_3N^+ Cl^-]^2} \quad (\text{ค-7})$$

โดยที่

P = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เซนติเมตรต่อวินาที)

k_i = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (เซนติเมตรต่อวินาที)

k_m = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (เซนติเมตรต่อวินาที)

r_i = รัศมีภายในของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)

r_m = รัศมี Log-mean ของเส้นใยกลวง (เซนติเมตร)

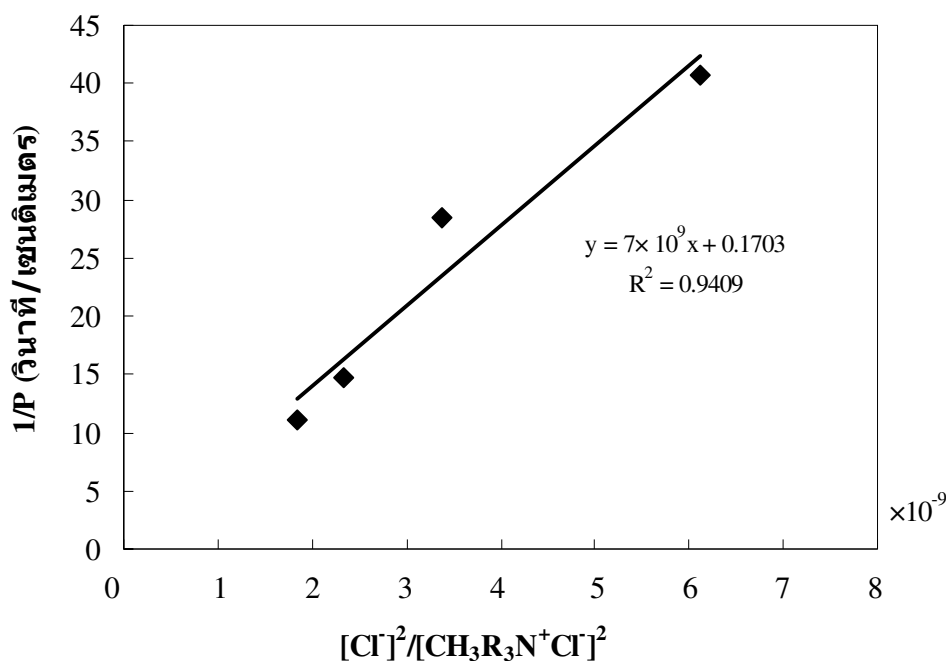
$K_{ex} = 2 \times 10^{-8}$

$[R_3R_3N^+ Cl^-]$ = ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 (โมลต่อลิตร)

$[Cl^-]$ = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในสารละลายป้อน (โมลต่อลิตร)
จากผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของไอออนแพลทินัม (P) เมื่อ

เปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในโมดูลของ
เส้นใยกลวงในหัวข้อ ค-4 สร้างกราฟระหว่าง $\frac{1}{P}$ กับ $\frac{[Cl^-]^2}{[R_3N^+Cl^-]^2}$ แสดงดังรูปที่ ค-3

สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m) ได้จากความชันของ
กราฟซึ่งคือเทอม $\frac{r_i}{r_{lm}} \frac{1}{K_{ex} k_m}$ และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลาย
ป้อน (k_f) ได้จากจุดตัดแกน $\frac{1}{P}$



รูปที่ ค-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/P$ กับ $[Cl^-]^2/[R_3N^+Cl^-]^2$ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของ
สารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในโมดูลของเส้นใยกลวง เมื่อ pH ในสารละลาย
ป้อน = 2, $[NaClO_4]_s = 0.2$ โมลต่อลิตร และ $Q_f = Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่ออนาที

1. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m)

จากเทอม $\frac{r_i}{r_{lm}} \frac{1}{K_{ex} k_m}$ ซึ่งคือความชันของกราฟมีค่าเท่ากับ 7×10^9 เซนติเมตรต่อวินาที

จากสมการ

$$r_{lm} = \frac{r_o - r_i}{\ln \frac{r_o}{r_i}} \quad (\text{ค-8})$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} r_o &= \text{รัศมีภายนอกของเส้นใยกลวง} = 150 \times 10^{-4} \text{ เซนติเมตร} \\ r_i &= \text{รัศมีภายในของเส้นใยกลวง} = 120 \times 10^{-4} \text{ เซนติเมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} r_{lm} &= \frac{(150 \times 10^{-4}) - (120 \times 10^{-4})}{\ln \left(\frac{150 \times 10^{-4}}{120 \times 10^{-4}} \right)} \\ &= 1.34 \times 10^{-2} \text{ เซนติเมตร} \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่าต่างๆ ในเทอม

$$\frac{r_i}{r_{lm}} \frac{1}{K_{ex} k_m} = 7 \times 10^9 \text{ เซนติเมตรต่อวินาที}$$

จะได้

$$\frac{120 \times 10^{-4} \text{ cm}}{1.34 \times 10^{-2} \text{ cm}} \frac{1}{2 \times 10^{-8}} \frac{1}{k_m} = 7 \times 10^9 \text{ เซนติเมตรต่อวินาที}$$

$$k_m = 6.4 \times 10^{-3} \text{ เซนติเมตรต่อวินาที}$$

นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเยื่อแผ่นเหลว (k_m) มีค่าเท่ากับ 6.4×10^{-3} เซนติเมตรต่อวินาที

2. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_i)

จากรูปที่ ค-3 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อน (k_i) ได้จาก

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{k_i}$$

จุดตัดแกน โดยที่จุดตัดแกนมีค่าเท่ากับ 0.1703 ซึ่งคือทอม จะได้ว่า

$$\frac{1}{k_i} = 0.1703 \text{ วินาทีต่อเซนติเมตร}$$

$$k_i = 5.872 \text{ เซนติเมตรต่อวินาที}$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของสารละลายป้อนที่มีไอออนแพลทินัม (k_i) มีค่าเท่ากับ 5.872 เซนติเมตรต่อวินาที

ค-6 การหาค่าร้อยละการเบี่ยงเบน (Percentage of deviation)

$$\text{ค่าร้อยละการเบี่ยงเบน} = \frac{\sum_{i=1}^j \frac{[Pt]_{\text{Exp.}} - [Pt]_{\text{Cal.}}}{[Pt]_{\text{Exp.}}}}{j} \times 100 \quad (\text{ค-9})$$

ข้อมูลจากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-10 ที่ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 = 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่เวลา 0-14 นาที ($j=7$)

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^j \frac{[Pt]_{\text{Exp.}} - [Pt]_{\text{Cal.}}}{[Pt]_{\text{Exp.}}} &= \left\langle \frac{2.141 - 2.277}{2.141} \right\rangle + \left\langle \frac{1.834 - 1.869}{1.834} \right\rangle + \left\langle \frac{1.501 - 1.390}{1.501} \right\rangle \\ &+ \left\langle \frac{1.017 - 0.937}{1.017} \right\rangle + \left\langle \frac{0.809 - 0.572}{0.809} \right\rangle + \left\langle \frac{0.472 - 0.316}{0.472} \right\rangle + \left\langle \frac{0.297 - 0.159}{0.159} \right\rangle = 1.16 \end{aligned}$$

$$\text{ค่าร้อยละการเบี่ยงเบน} = \frac{1.16}{7} \times 100 = 16.54$$

เมื่อ

$[Pt]_{\text{Exp.}}$ = ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่ได้จากการทดลอง

$[Pt]_{\text{Cal.}}$ = ความเข้มข้นของไอออนแพลทินัมที่ได้จากการคำนวณ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	นายปรุกร บุญเกียรติ เป็นบุตรคนที่ 1 จากจำนวนทั้งหมด 2 คน
เกิดเมื่อ	15 ธันวาคม 2529 ที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
บิดา	นายดำเกิง บุญเกียรติ
มารดา	นางมาลี บุญเกียรติ
การศึกษา	
พ.ศ. 2538-2543	ประถมศึกษาจากโรงเรียนทวีรัตน์
พ.ศ. 2543-2548	มัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย สมบุญอนุกุลกันยา
พ.ศ. 2548-2552	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
พ.ศ. 2552-2554	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย