

การกำจัดสารหนูออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง



นายวรเดช พูนคำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF ARSENIC FROM PRODUCED WATER OF NATURAL GAS WELLS BY USING
A HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE

Mr. Woradej Poonkum



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

วรเดช พูนคำ : การกำจัดสารหนูออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง (REMOVAL OF ARSENIC FROM PRODUCED WATER OF NATURAL GAS WELLS BY USING A HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ หลัก: รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ, 83 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัดเยื่อแผ่นเหลว 5 ชนิดได้แก่ Cyanex 923, TBP, Cyanex 301, TOA และ Aliquat336 ที่ละลายในตัวทำละลายเคโรซีน และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายนำกลับ โดยในงานวิจัยได้ศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกดังต่อไปนี้ ความเข้มข้นของสารสกัดเยื่อแผ่นเหลว, ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์, อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ, จำนวนรอบในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง และจำนวนครั้งของการนำสารละลายนำกลับที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ โดยในการทดลองพบว่าสารสกัด Aliquat 336 ที่ความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะสามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากหลุมก๊าซธรรมชาติได้เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถสกัดและนำกลับสารประกอบกรดอาร์ซีนิกที่ไม่แตกตัว (H_3AsO_3) และสกัดสารประกอบเชิงซ้อนกรดอาร์ซีนิกที่แตกตัว ($H_2AsO_4^-$ and $HAsO_4^{2-}$) ได้ สำหรับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อมีความเข้มข้นมากขึ้นจะสามารถนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้มากขึ้นและจะคงที่เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.5 โมลต่อลิตร ในการศึกษาจำนวนรอบของการสกัดพบว่าในรอบที่ 3 ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงจะสามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้ถึง 91 % และ 72 % ตามลำดับ และพบว่าความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิกเหลือเพียง 0.1201 ppm ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประสบผลสำเร็จในการที่จะลดความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิกได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด สำหรับการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่จะสามารถทำให้ไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายนำกลับเพิ่มขึ้น

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต..... ๑๖๑๖ พ.๕๓
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2551.....

4970546821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: ARSENIC / HOLLOW FIBER / LIQUID MEMBRANE / NATURAL GAS WELLS / EXTRACTION

WORADEJ POONKUM: REMOVAL OF ARSENIC FROM PRODUCED WATER OF NATURAL GAS WELLS BY USING A HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE. THESIS PRINCIPAL ADVISOR: ASSOC. PROF. URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc, 83 pp.

This research was studied the extraction and recovery of arsenic ion from wastewater of natural gas wells by using a hollow fiber supported liquid membrane. The extractants for this research were Cyanex 923, TBP, Cyanex 301, TOA and Aliquat 336 diluted in kerosene and sodium hydroxide solution was applied as a stripping solution. The transport system was studied as a function of several variables e.g. concentrations of the Cyanex 923, TBP, Cyanex 301, TOA and Aliquat 336 in the liquid membrane, the concentration of sodium hydroxide in the stripping solutions, the flow rate of feed solution and stripping solution, the number of runs through hollow fiber module and the recovery stripping solution with the number of runs through hollow fiber module. The results show that the concentration of Aliquat 336 at 35 % v/v could extract arsenic ion properly because it reacted with both dissociated forms ($H_2AsO_4^-$ and $HAsO_4^{2-}$) and undissociated form (H_3AsO_3) of the arsenic ions. The percentage of the recovery of arsenic ions increased with the concentration of sodium hydroxide and was almost constant after 0.5 M due to the limitation of mass transfer area of the hollow fibers. At the third runs, the HFSLM system could extract and recover arsenic ions from produced water up to 91% and 72%, and achieved the concentration of arsenic ions of 0.1201 ppm which was in accordance with the legislation discharge. It was found that more arsenic ions were recovered by recycling the stripping solution through the HFSLM with increasing the numbers of runs.

Department.....CHEMICAL ENGINEERING..... Student's signature.....
Field of study...CHEMICAL ENGINEERING..... Principal Advisor's signature.....
Academic year...2008...

กิตติกรรมประกาศ

ในที่สุดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งความสำเร็จดังกล่าวจะเกิดขึ้นไม่ได้ ถ้าหากไม่ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้มีพระคุณของข้าพเจ้าทุกท่าน ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณอย่างมากจึงขอกล่าวขอบพระคุณมาใน ณ ที่นี้ ขอขอบคุณรอง ศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ช่วยให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์ต่าง ๆ มากมายตลอดจนช่วยอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษาในที่สุด

นอกจากนี้ขอขอบคุณบุคคลสำคัญที่ขาดเสียมิได้สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งได้แก่ ศาสตราจารย์ ดร. สุทธิชัย อัสสะบารุงรัตน์ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชนันท์ ลิพิพัฒน์ไพบุลย์ และ อ.ดร. วีรวรรณ ปัตตวิคองคา ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

นอกจากนี้ขอขอบคุณบริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd. ที่ได้ความอนุเคราะห์น้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติ และคุณเศรษฐา จตุระบุร ที่ให้ความร่วมมือและประสานงานในการนำน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติ และให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับน้ำทิ้งที่ได้มา และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้ความร่วมมือระหว่าง สกว. และสสว. ที่ให้เงินทุนสนับสนุนงานวิจัย

นอกจากบุคคลและหน่วยงานที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ข้าพเจ้าขอขอบคุณ อ.ดร.ประภร งามกุล เพื่อน ๆ และน้อง ๆ จากห้องวิจัย Mass Separation ที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และเป็นที่ปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ ตลอดระยะเวลา 2 ปีครึ่งที่ผ่านมา และท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ความสำเร็จที่เกิดขึ้นของข้าพเจ้าจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เลยหากขาดคุณพ่อและคุณแม่ ขอขอบพระคุณอย่างสูงที่ได้ให้กำเนิด คอยเลี้ยงดู อบรม สั่งสอน และสนับสนุนในการศึกษาของข้าพเจ้า ทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จได้ในวันนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารหนู.....	2
1.1.2 การใช้ประโยชน์.....	4
1.1.3 ความเป็นพิษ.....	5
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	6
1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดสารหนู.....	6
1.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดโดยใช้เยื่อแผ่นเหลว.....	9
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	12
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	13
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	14
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	15
2.1 การสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลว.....	15
2.1.1.เยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน (Emulsion Liquid Membrane Process)....	16
2.1.2 เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับ (Supported Liquid Membrane).....	18
2.1.2.1. เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับชนิดแผ่นบาง	19
(Flatsheet Supported Liquid Membrane)	

2.1.2.2. เยื่อแผ่นเหลวชนิดที่พุงด้วยแผ่นม้วน	19
(Spiral-type supported liquid membrane)	
2.1.2.3. เยื่อแผ่นเหลวชนิดที่พุงด้วยเส้นใยกลวง	20
(Hollow fiber supported liquid membrane; HFSLM)	
2.2 ชนิดของสารสกัด.....	26
2.2.1 สารสกัดชนิดกรด (Acidic Extractant).....	26
2.2.2 สารสกัดชนิดด่าง (Basic Extractant).....	27
2.2.3 สารสกัดชนิดเป็นกลาง (Neutral Extractant).....	27
2.3.กลไกการถ่ายเทมวล	28
2.3.1 การถ่ายเทแบบสวนทาง (Counter-Transport).....	29
2.3.2 การถ่ายเทแบบไปทางเดียวกัน (Co-Transport).....	30
บทที่ 3 สารเคมี อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	32
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.3 วิธีการทดลอง.....	36
3.3.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 923 ต่อร้อยละการสกัด และร้อยละการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมก๊าซ ธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	36

3.3.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด TBP ต่อร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....37

3.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 301 ต่อร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....38

3.3.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด TOA ต่อร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมชุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....39

3.3.5 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ต่อการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมชุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....40

3.3.6 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับต่อการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมชุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....41

3.3.5 ศึกษาผลของอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมชุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....42

3.3.6 ศึกษาผลของจำนวนรอบในการผ่านมอดูลเส้นใยกลวงต่อการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมชุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....43

3.3.7 ศึกษาผลของการนำสารละลายนำกลับที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ต่อการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมชุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....44

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	46
4.1 ผลที่ได้จากการทดลอง.....	47
4.1.1 ผลของความเข้มข้นของสารสกัด TBP, TOA และ Aliquat 336 ต่อการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	47
4.1.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	57
4.1.3 ผลของอัตราการไหลที่เท่ากันของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่อการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	58
4.1.4 ผลของจำนวนรอบในการผ่านโมดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงที่มีผลต่อการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	59
4.1.5 ผลของจำนวนรอบของสารละลายนำกลับใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ในการผ่านโมดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติ.....	62
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	64
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	65
รายการอ้างอิง.....	66
ภาคผนวก.....	71
ภาคผนวก ก (ข้อมูลดิบและผลการคำนวณ)	72
ภาคผนวก ข (ตัวอย่างการคำนวณ)	82
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	83

สารบัญญัตินำ

๗

บทที่

หน้า

2.1 ข้อดีข้อเสียของกระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่ได้รับการพองเมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อแผ่นเหลวอีมีลชัน.....	23
2.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวชนิดต่าง ๆ	25
3.1 รายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.2 รายละเอียดของสมบัติต่าง ๆ ของชุดเส้นใยกลวง.....	35
4.1 แสดงองค์ประกอบไอออนต่าง ๆ ของน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติที่ได้รับอนุเคราะห์มาจากบริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd. การนำกลับ.....	46
ก.1 ข้อมูลผลการศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดสารสกัด Cyanex 923 ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและการนำกลับ.....	73
ก.2 ข้อมูลผลการศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดสารสกัด TBP ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและการนำกลับ.....	74
ก.3 ข้อมูลผลการศึกษาความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 301 ในสารละลายป้อนต่อ การสกัดและการนำกลับ.....	75
ก.4 ข้อมูลผลการศึกษาความเข้มข้นของสารสกัด TOA ในสารละลายป้อนต่อ การสกัดและการนำกลับ.....	76
ก.5 ข้อมูลผลการศึกษาความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและการนำกลับ.....	77
ก.6 ข้อมูลผลการศึกษาความเข้มข้นของสารนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและการนำกลับ.....	78
ก.7 ข้อมูลผลอัตราการใช้ของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่อการสกัดและการนำกลับ.....	79
ก.8 ข้อมูลผลจำนวนรอบที่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่อการสกัดและการนำกลับ.....	80
ก.9 ข้อมูลผลจำนวนครั้งของการนำสารละลายนำกลับที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงต่อการสกัดและการนำกลับ.....	81

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง รั้อยละของ H_3AsO_3 และ $H_2AsO_3^-$ สำหรับไอออนอาร์ซีนิก ประจุ + 3 กับความแตกต่างของค่า pH ในน้ำใต้ดิน.....	3
1.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง รั้อยละของ H_3AsO_4 , $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$, และ AsO_4^{3-} สำหรับไอออนอาร์ซีนิกประจุ + 5 กับความแตกต่างของค่า pH ในน้ำใต้ดิน.....	3
2.1 รูปแบบของเยื่อแผ่นเหลวชนิดต่าง ๆ.....	16
2.2 วิธีการเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน.....	17
2.3 กระบวนการแยกโดยใช้วิธีเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน.....	18
2.4 ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับชนิดแผ่นบาง.....	19
2.5 ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับชนิดแผ่นม้วน.....	20
2.6 แสดงเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	21
2.7 ลักษณะการไหลแบบไหลสวนทางกันของสารป้อนและสารละลายนำกลับ เมื่อพิจารณาที่เส้นใยกลวงหนึ่งเส้นในชุดทดลองการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลว ที่พุงด้วยเส้นใยกลวง.....	22
2.8 ผังการปฏิบัติการไหลในลักษณะไหลผ่านครั้งเดียว (One through mode) ซึ่งของไหล ในกระบวนการมีทิศทางการไหลสวนทางกันในชุดอุปกรณ์เส้นใยกลวง.....	24
2.9 แผนผังทิศทางการถ่ายเทของไอออนโลหะและไอออน ไฮโดรเนียมของการถ่ายเทแบบสวนทาง.....	30
2.10 แผนผังทิศทางการถ่ายเทของไอออนโลหะและไอออนไฮโดรเนียม ของการถ่ายเทแบบทางเดียวกัน.....	31
3.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารสกัดแต่ละชนิด (ก) Cyanex 923 (ข) TBP (ค) Cyanex 301 (ง) TOA (จ) Aliquat 336 โดยที่ R คือสารผสมของ C_6H_{13} และ C_8H_{17}	33
3.2 อุปกรณ์ชุดLiqui-Cel [®] Laboratory ที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.3 ตัวรองรับชนิดเส้นใยกลวง Celgard [®] x-30 240 Microporous Polypropylene Hollow Fibers.....	34
3.4 การปฏิบัติการไหลในลักษณะไหลผ่านครั้งเดียว (One-Through Mode).....	45
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 923 กับรั้อยละ การสกัด (% Extraction) และรั้อยละการนำกลับ (% Recovery).....	48

4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด TBP กับร้อยละการสกัด (% Extraction) และร้อยละการนำกลับ (% Recovery)	48
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 301 กับร้อยละการสกัด (% Extraction) และร้อยละการนำกลับ (% Recovery)	49
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น TOA กับร้อยละการสกัด (% Extraction) และร้อยละการนำกลับ (% Recovery)	49
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 กับร้อยละการสกัด (% Extraction) และร้อยละการนำกลับ (% Recovery)	50
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสกัดสูงสุด (Maximum Extraction) และร้อยละการนำกลับสูงสุด (Maximum Recovery) กับสารสกัด Cyanex 923 , TBP, TOA, Cyanex 301, Aliquat 336.....	52
4.7 แสดงภาพการถ่ายโอนมวลแบบสวนทางกัน (Counter Transport) ของสารประกอบไฮออนอาร์ซีนิก HAsO_4^{2-} กับสารสกัด Aliquat 336 (X^- ในการถ่ายเทครั้งที่ 1 คือ Cl^- , X^- ในการถ่ายเทครั้งต่อไป คือ OH^-)	54
4.8 แสดงภาพการถ่ายโอนมวลแบบสวนทางกัน (Counter Transport) ของสารประกอบไฮออนอาร์ซีนิก H_3AsO_3 กับสารสกัด Aliquat 336.....	55
4.9 แสดงภาพการถ่ายโอนมวลแบบสวนทางกัน (Counter Transport) ของสารประกอบไฮออนอาร์ซีนิก H_2AsO_4^- กับสารสกัด Aliquat 336 (X^- ในการถ่ายเทครั้งที่ 1 คือ Cl^- , X^- ในการถ่ายเทครั้งต่อไป คือ OH^-)	56
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์กับร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไฮออนอาร์ซีนิก.....	57
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับกับร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไฮออนอาร์ซีนิก.....	58
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงต่อร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับ ไฮออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติ.....	60

- 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของสารละลายป้อนและสารละลาย
นำกลับในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงต่อความเข้มข้น
ของไอออนาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก้ำธรรมชาติ.....61
- 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของสารละลายนำกลับที่ผ่านมอดูล
เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงกับไอออนาร์ซีนิกของสารละลายนำกลับ
ขาออกเทียบกับการนำสารละลายนำกลับมาใช้ใหม่.....62



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

d	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นใยกลวง
D	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution Coefficient)
k_B	ค่าคงที่ Boltzmann
L	ความยาวของเส้นใยกลวง
M	ความเข้มข้นของไอออนโลหะ
Q_f	อัตราการไหลของสารละลายป้อน
r_i	รัศมีภายในของเส้นใยกลวง
S	สารสกัดชนิดโซลเวท
T	อุณหภูมิของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว
t	เวลา

อักษรกรีก

\mathcal{E}	ความพรุนของเส้นใยกลวง
π	ค่าคงที่ในสมการของ Stokes และ Einestien มีค่าเท่ากับ 3.1416
η	ความหนืดของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว

ตัวห้อย

<i>i</i>	สารละลายน้ำ
<i>f</i>	สารละลายป้อน
<i>s</i>	สารละลายนำกลับ
<i>m</i>	สารละลายเยื่อแผ่นเหลว



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในการขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยนั้นนอกจากจะมีน้ำมันและก๊าซธรรมชาติแล้วยังมีน้ำติดขึ้นมาด้วย น้ำที่ติดมานั้นจะเป็นน้ำใต้ดินซึ่งจะมีสิ่งเจือปนอื่น ๆ ติดมาด้วย อาทิเช่น สารปรอท, สารหนู จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการบำบัดก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่ทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารหนูในน้ำที่นั้นจะมีความเข้มข้นสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด ดังนั้นมีอันตรายอย่างมากหากได้รับเข้าสู่ร่างกาย อาทิเช่น อาเจียน ท้องเสีย ปวดท้อง รวมทั้งส่งผลต่อระบบประสาท และระบบเลือด (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาในการขนถ่ายไปยังลูกค้าและพื้นที่ในการกักเก็บ ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการบำบัดน้ำทิ้งที่เจือปนสารดังกล่าวก่อนปล่อยลงสู่ทะเล

ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้วิธีทางเคมีและฟิสิกส์ วิธีการคือ นำน้ำทิ้งไปผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไฮโดรไซโคลน (Hydro Cyclone) เพื่อกำจัดน้ำมันและตะกอนต่าง ๆ ที่ตกค้างอยู่ในน้ำทิ้งออกไป จากนั้นนำสารเคมีบางชนิดเช่น เพอร์ริก คลอไรด์ ($FeCl_3$) และพอลิเมอร์บางชนิดมาใส่ในน้ำทิ้งเพื่อที่จะทำให้สารปรอทและสารหนูตกตะกอน จากนั้นนำตะกอนที่ได้ฉีดลงสู่ชั้นหินใต้ดินแต่วิธีการดังกล่าวไม่สามารถกำจัดสารหนูและสารปรอทที่อยู่ในน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐานเนื่องจากคุณสมบัติของน้ำทิ้งเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงไม่สามารถคาดการณ์การใช้ปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ในการบำบัด ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดให้ความเข้มข้นของอาร์ซีนิกที่จะทิ้งลงสู่ทะเลต้องมีค่าไม่เกิน 250 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) (Gallup Darrell and Strong James, 2007)

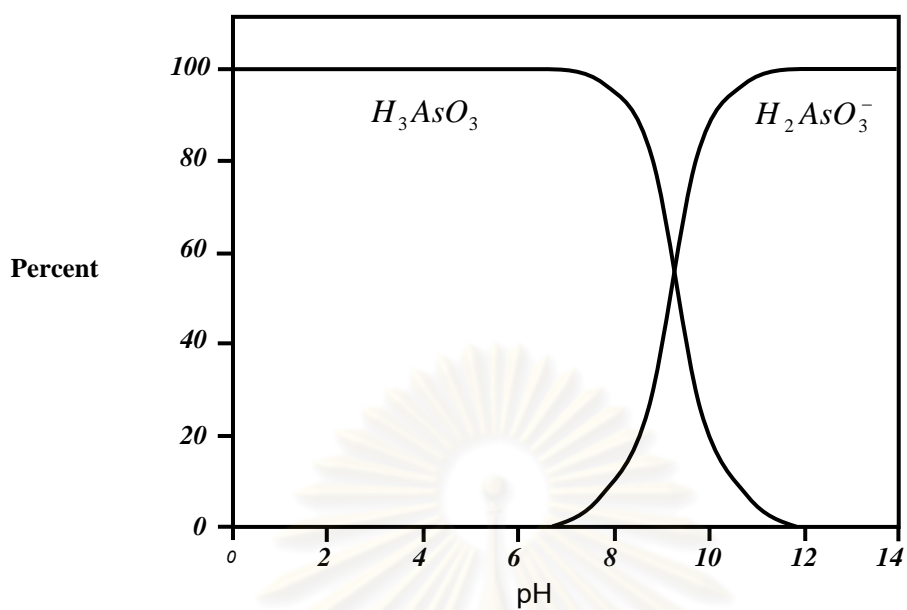
จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยกระบวนการกรองโดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองเป็นเมมเบรนชนิดอัลตราฟิวเทรชั่น (Ultra Filtration) และรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) และยังมีอุปกรณ์ไฮโดรไซโคลน (Hydro Cyclone) ซึ่งใช้ในการจำกัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำก่อนส่งเข้าหน่วยบำบัด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า เมมเบรนชนิดอัลตราฟิวเทรชั่น (Ultra Filtration) สามารถลดปริมาณน้ำมันและสารปรอทในน้ำทิ้งได้มากกว่า 98 % และเมมเบรนชนิดรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) สามารถลดปริมาณสารหนูในน้ำทิ้งได้ 90 – 95 % แต่อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งที่ได้จากการบำบัดยังมีคุณภาพไม่ดีพอตามมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด เนื่องจากเมมเบรนมีการเสื่อมสภาพจากการสัมผัสกับอนุภาคน้ำมันในน้ำ (กิตติพงศ์, 2543)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการสกัดแยกสารหนูออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่ผุ่ยด้วยเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Liquid Membrane) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำได้ง่าย มีค่าการถ่ายเทโอนมวลที่สูง ประหยัดพลังงาน สามารถดัดแปลงที่จะขยายขนาดได้ง่าย สามารถดำเนินการแบบต่อเนื่องได้ และรวมการสกัดและนำกลับรวมไว้ในขั้นตอนเดียว

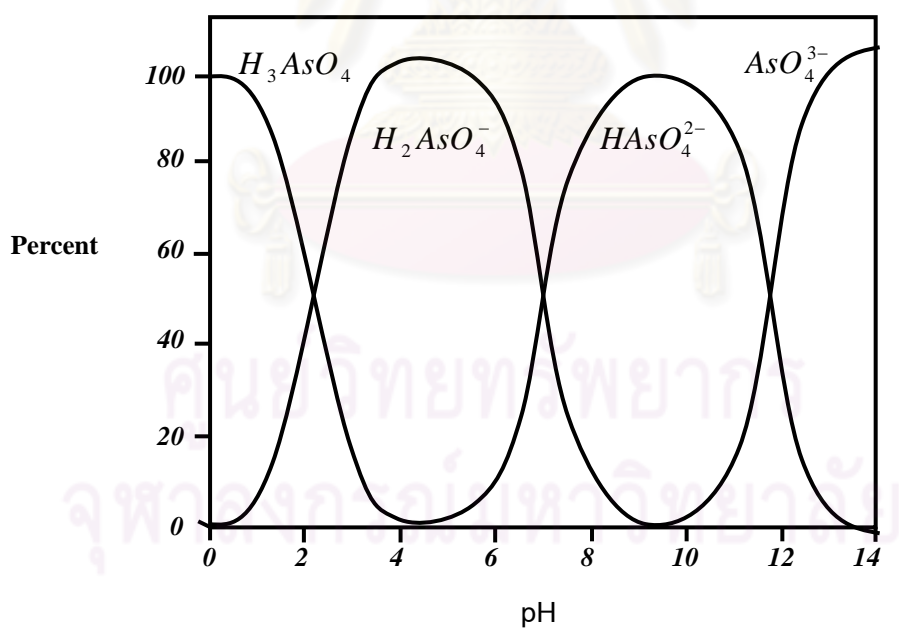
1.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารหนู

- เป็นธาตุหมู่ 5 ในตารางธาตุ จัดเป็นธาตุในกลุ่ม Transition
- มีน้ำหนักอะตอม 74.92 เลขอะตอม 33
- ระเหยเป็นไอที่อุณหภูมิ 100°C
- ระเหยได้เร็วมากที่อุณหภูมิ 450°C
- ระเหิดได้ที่ 615°C บรรยากาศ 760 mm.Hg. โดยไม่มีการหลอมเหลวก่อน
- ไม่ละลายน้ำ
- ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันที่เย็นหรือกรดเกลือที่เย็น
- มีลักษณะเป็นผลึกโลหะมันเงามีสีเงินเทาเทา
- เปราะหักง่าย
- เมื่อถูกความชื้นในอากาศสามารถเปลี่ยนเป็นสีดำ
- เมื่อรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศจะกลายเป็นอาร์ซีนิกไตรออกไซด์ (Arsenic trioxide, As_2O_3)

สำหรับสารหนูที่เกิดขึ้นในน้ำใต้ดินจะพบอยู่ 2 รูปแบบคือ ประจุ +3 หรืออาร์เซไนต์ (Trivalent form, Arsenite) และประจุ +5 หรืออาร์เซเนต (Pentavalent form, Arsenate) โดยประจุ +3 หรืออาร์เซไนต์จะมีความเป็นพิษรุนแรงมากกว่าประจุ +5 (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) โดยรูปแบบของสารประกอบไอออนอาร์ซีนิกที่เกิดขึ้นในน้ำใต้ดินนั้นจะขึ้นกับค่าของ pH ในน้ำใต้ดิน (Wilson, S.D. et al., 2007) รูปแบบของสารประกอบของไอออนอาร์ซีนิกประจุ + 3 จะแสดงในรูปที่ 1.1 และรูปแบบของสารประกอบของไอออนอาร์ซีนิกประจุ + 5 จะแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของ H_3AsO_3 และ $H_2AsO_3^-$ สำหรับไอออนอาร์ซีนิกประจุ + 3 กับค่า pH ในน้ำใต้ดิน (Wilson, S.D. et al., 2007)



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของ H_3AsO_4 , $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$, และ AsO_4^{3-} สำหรับไอออนอาร์ซีนิกประจุ + 5 กับค่า pH ในน้ำใต้ดิน (Wilson, S.D. et al., 2007)

โดยค่า pH ของน้ำใต้ดินส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 – 8.5 (Wilson, S.D. et al., 2007) ดังนั้นไอออนอาร์ซีนิกประจุ + 3 สำหรับน้ำใต้ดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ H_3AsO_3 และ $H_2AsO_3^-$ และไอออนอาร์ซีนิกประจุ + 5 สำหรับน้ำใต้ดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ H_3AsO_4 , $H_2AsO_4^-$, $HAso_4^{2-}$ และ AsO_4^{3-} ทั้งนี้ประเภทของรูปแบบไอออนอาร์ซีนิกที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อย จะขึ้นกับค่าของ pH ในน้ำใต้ดิน

1.1.2 การใช้ประโยชน์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

สารประกอบสารหนูส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ทางด้านเกษตรกรรม นอกจากนั้นใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและเซรามิก ยารักษาโรค และเติมในอาหารสัตว์ จากรายงานของประเทศสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 1975-1978 พบว่า Arsenic Trioxide (As_2O_3) ที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมีทางการเกษตร (Pesticides) 82% อุตสาหกรรมแก้ว 8% อุตสาหกรรมเคมีโลหะผสมทองแดงตะกั่ว และอุตสาหกรรมยา ประมาณ 10%

ทางด้านเกษตรกรรม

- ใช้เป็นสารเคมีป้องกันและกำจัดแมลง
- ใช้เป็นสารกำจัดวัชพืช (Herbicides)
- ใช้ผสมกับสารเคมีอื่น ๆ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝ้าย
- ใช้เป็นน้ำยารักษาเนื้อไม้ (Wood Preservatives)
- ใช้เป็นผสมในอาหารสัตว์ (Feed Additives)

ทางด้านอุตสาหกรรม

- ใช้ผสมกับโลหะอื่น เช่น ตะกั่ว ทองแดง เป็นโลหะอัลลอยด์หรือโลหะผสม เพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อน
- ใช้เป็นวัสดุกึ่งตัวนำ (Semi-Conductor)
- ใช้เป็นสารให้สีแดงหรือไม่มีสีในผลิตภัณฑ์แก้ว
- ใช้เป็น Silver Reducer ในอุตสาหกรรมกระจกเงา

- ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง
- ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก Polyolefines, Polyvinylchloride, Polybenzimidazole
- สารประกอบอินทรีย์อาร์ซีนิกยังใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyzers) ในกระบวนการผลิตพลาสติก (Polymerization Reactions)

ทางการแพทย์

ใช้เป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคทั้งในคนและสัตว์ สำหรับรักษาโรคที่เกิดจากโปรโตซัว (Protozoal Diseases) โรคที่เกิดจากพยาธิบางชนิด (Helminthiasis) รวมทั้งโรคที่เกิดจากพลาสโมเดียม (Spirochete)

ทางด้านทหาร

ใช้เป็นสารพิษในการทำสงคราม หรือยับยั้งการก่อจลาจล ซึ่งก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อเมือก (Mucous Membrane)

1.1.3 ความเป็นพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

ความเป็นพิษต่อสัตว์

จากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า Trivalent Inorganic มีความเป็นพิษมากกว่า Pentavalent และสารประกอบที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ จะมีความเป็นพิษมากกว่าสารประกอบที่ไม่ละลาย ซึ่งสารประกอบที่ละลายน้ำได้จะทำให้เกิดการดูดซึมเข้าร่างกายได้ดี พิษที่เกิดขึ้นจะไปยับยั้งการทำงานของ SH-Group ในเอนไซม์

ความเป็นพิษต่อมนุษย์

ลักษณะการเกิดพิษเนื่องจากอาร์ซีนิกส่วนใหญ่เป็นการเกิดพิษแบบเรื้อรังจากการสัมผัสสารซีนิกเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกัน ซึ่งอาการที่แสดงออกทางระบบต่าง ๆ แยกเป็น ดังนี้

- 1) ที่ผิวหนัง จะเกิดการระคายเคือง เกิดเป็นโรคผิวหนัง โดยเฉพาะผิวหนังที่อยู่ตามซอกต่าง ๆ บางทีจะเป็นตุ่มใส ๆ หรือผิวหนังแข็งด้าน
- 2) ที่เยื่อเมือก เมื่อสัมผัสฝุ่นผง หรือก๊าซจะทำให้เกิดการระคายเคืองตรงส่วนนั้น
- 3) ตา จะเกิดตาแดง ตาอักเสบ
- 4) ระบบหายใจ ทำให้หลอดลมเกิดการอักเสบ อาจจะมีผลทำให้เกิดมะเร็งปอด
- 5) ระบบประสาท จะเกิดอาการเบื่ออาหาร ปลายประสาทอักเสบ แขนขาชา อาจเป็นอัมพาตได้
- 6) สมอง จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อสมอง กระสับกระส่าย ความจำเสื่อม
- 7) อื่น ๆ เช่น เกิดโลหิตจาง อาการทางตับ ไต

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดไอออนอาร์ซีนิก

Wisniewski (1997) ได้ศึกษาการสกัดไอออนอาร์ซีนิก (III) และไอออนอาร์ซีนิก (V) จากสารละลายกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้น 50 – 200 g/l โดยใช้สารสกัด Cyanex 923 (50 % v/v) ที่ละลายในตัวทำละลาย Exxsol 220/230 จากผลการศึกษาพบว่าสารสกัด Cyanex 923 สามารถสกัดไอออนอาร์ซีนิก (III) และไอออนอาร์ซีนิก (V) ได้ดี ซึ่งประสิทธิภาพของการสกัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเพิ่มขึ้นและน้ำสามารถนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากสารละลายกรดซัลฟูริกดังได้

Bogacki, Wisniewski และ Szymanowski (1998) ได้ศึกษาการสกัดไอออนอาร์ซีนิก (V) จากสารละลายกรดซัลฟูริกด้วยการเปรียบเทียบสารสกัดในระบบการสกัดและการนำกลับแบบไหลสวนทางกันในหลายขั้นตอน ความสามารถในการสกัดของการศึกษาสารสกัดได้แสดงดังนี้ ENIM 100 > TBP = CYANEX 923 > 2-ethyl-hexanol การสกัดขึ้นอยู่กับนัยสำคัญของจำนวนขั้นตอนและอัตราส่วนเฟสในการสกัด ผลกระทบของจำนวนขั้นตอนการนำกลับและอัตราส่วนเฟสในการนำกลับมีความสำคัญน้อยมาก

Wisniewski (1998) ได้ศึกษาการสกัดไอออนอาร์ซีนิก (III) และไอออนอาร์ซีนิก (V) จากสารละลายกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้น 50 – 200 g/l โดยใช้สารสกัด Cyanex 923 (50 % v/v) ที่ละลายในตัวทำละลาย Exxsol 220/230 จากการศึกษาพบว่าสารสกัดทั้งอาร์ซีนิก (III) และอาร์ซีนิก (V) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเข้าสู่สมดุลภายใน 5 นาที ไอโซเทอมของการสกัดไอออนอาร์ซีนิก

(III) และไอออนอาร์ซีนิค (V) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของกรดซัลฟิวริกนั้นหาค่าได้ โดยใช้แบบจำลอง เป็นระบบการไหลแบบสวนทางในหลายขั้นตอน ซึ่งอาร์ซีนิคสามารถนำกลับได้ด้วยน้ำ

Longquan et al. (1999) ได้ศึกษาเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันซึ่งประกอบด้วย L113 A (สารลดแรงตึงผิว; surfactant), พาราฟินเหลว (ตัวที่ทำให้เสถียร; Stabilizer) และเคโรซีน (ตัวทำละลาย) โดยมีกรดไฮโดรคลอริกเป็นวัฏภาคภายนอก และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นวัฏภาคภายใน ซึ่งนำมาใช้ในการแยกไอออนอาร์ซีนิค (III) และไอออนอาร์ซีนิค (V) และตรวจสอบทางสเปกโตรโฟโตเมตริกโดยใช้ AgDDTC ผลกระทบของการแปรผันตัวแปรในการนำกลับของไอออนอาร์ซีนิค (III) ได้ตรวจสอบและพบว่าความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอริก 8 โมลต่อลิตร นั้นสามารถทำให้การนำกลับของไอออนอาร์ซีนิค (III) ได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นการลดรูปของไอออนอาร์ซีนิค (V) ไปเป็นไอออนอาร์ซีนิค (III) ด้วยโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่เพียงพอ จะสามารถคำนวณหาปริมาณของไอออนอาร์ซีนิคทั้งหมดได้ RSD ของไอออนอาร์ซีนิค (III) และไอออนอาร์ซีนิคทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ โดยขั้นตอนการนำตัวอย่างสารละลายของน้ำมาใช้และพบว่าสามารถนำกลับได้อยู่ในช่วง 93.5—101 เปอร์เซ็นต์

Iberhan และ Wisniewski (2001) ได้ใช้สารสกัด Cyanex 925, Cyanex 301 และสารผสมระหว่าง Cyanex 925 กับ Cyanex 301 ในสกัดแยกไอออนอาร์ซีนิค (III) และไอออนอาร์ซีนิค (V) จากสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่าประสิทธิภาพในการสกัดขึ้นอยู่กับสารสกัดและ ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก ประสิทธิภาพของการสกัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายป้อน โดยที่สารสกัด Cyanex 925 ใช้สกัดแยกไอออนอาร์ซีนิค (V) ได้ดี ในขณะที่สารสกัด Cyanex 301 และสารผสมระหว่างสารทั้งสองใช้สกัดแยกไอออนอาร์ซีนิค (III) ได้ดี เมื่อใช้สารสกัด Cyanex 925 นั้นสามารถนำกลับไอออนอาร์ซีนิค (III) และไอออนอาร์ซีนิค (V) ได้ แต่เมื่อใช้สารสกัด Cyanex 301 และสารผสมระหว่างสารสกัดทั้งสองนั้นสามารถนำกลับไอออนอาร์ซีนิค (III) และไอออนอาร์ซีนิค (V) ได้น้อยมาก

Iberhan และ Wisniewski (2003) ได้ศึกษาผลกระทบของการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิคจากสารละลายกรดซัลฟิวริกโดยปัจจัยที่ศึกษามีหลายตัวแปร ได้แก่ ชนิดของสารสกัด, ความแตกต่างของไอออนอาร์ซีนิค (III) และไอออนอาร์ซีนิค (V) ต่อการสกัดไอออนอาร์ซีนิค, ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายป้อน และ ชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิค จากผลการศึกษาพบว่าสารสกัดชนิดกรดสามารถสกัดไอออนอาร์ซีนิค (III) ได้ดีกว่าไอออนอาร์ซีนิค (V) และตัวทำละลายชนิดโพลีอีนสามารถสกัดไอออนอาร์ซีนิคได้มากกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้ตัวทำละลาย Exxsol D 220/230 จะ

สามารถนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้มากกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ เช่นเดียวกัน สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายป้อนจะพบว่าสามารถสกัดไอออนอาร์ซีนิกได้มากขึ้น

กิตติพงษ์ เจริญวัฒน์ชัย (2543) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยกระบวนการกรอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองเป็นเมมเบรนชนิด อัลตราฟิวเตรชั่นและรีเวิร์สออสโมซิส นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) ซึ่งใช้ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำก่อนส่งเข้าหน่วยบำบัด จากการทดลองพบว่าเมมเบรนชนิดอัลตราฟิวเตรชั่น สามารถลดปริมาณน้ำมันและสารปรอทในน้ำทิ้งได้มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ เมมเบรนชนิดรีเวิร์สออสโมซิส สามารถลดปริมาณอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งได้ 90—95 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม น้ำทิ้งจากการบำบัดยังมีคุณภาพไม่ดีพอตามค่ามาตรฐานของบริษัทยูนิแคลที่กำหนดปริมาณอาร์ซีนิกไม่เกิน 250 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) การใช้งานของเมมเบรนชนิดอัลตราฟิวเตรชั่น ถูกจำกัดโดยการสะสมตัวของปริมาณอนุภาคแขวนลอยที่อุดตันเยื่อกรอง เมมเบรนชนิดรีเวิร์สออสโมซิส มีการเสื่อมสภาพจากการสัมผัสกับอนุภาคน้ำมันในน้ำ นอกจากนี้ การทดสอบยังพบว่าเมมเบรนชนิดอัลตราฟิวเตรชั่น สามารถให้ค่า Permeability มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ ของค่าตั้งต้น และเมมเบรนชนิดรีเวิร์สออสโมซิส ให้ค่า Permeability ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

1.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดโดยใช้เยื่อแผ่นเหลว

Breembroek et al. (1998) ได้ศึกษาการสกัดไอออนทองแดง, ไอออนแคดเมียมและไอออนตะกั่ว โดยใช้กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยสารสกัดที่ใช้สำหรับไอออนทองแดงจะใช้สารสกัด Lix 84-I สำหรับไอออนแคดเมียมและไอออนตะกั่วจะใช้สารสกัด Alamine 804-I โดยงานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาการถ่ายเทมวลในรูปของค่าการซึมผ่าน ซึ่งค่าการซึมผ่านจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของสารละลาย ค่าการซึมผ่านที่วัดได้มีค่า 6.9×10^{-6} เมตรต่อวินาที วัดที่อัตราการไหล 0.076 เมตรต่อวินาที ผ่านเส้นใยกลวง ค่าการซึมผ่านที่ได้จากการทดลองจะถูกเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกรณีการไหลของสารละลายป้อนไหลในทางด้านท่อ ค่าการซึมผ่านที่ได้จากการคำนวณจะมีค่ามากกว่าค่าการซึมผ่านที่ได้จากการทดลองเป็นสามเท่าในขณะที่กรณีสารละลายป้อนไหลในทางด้านเปลือก ค่าการซึมผ่านที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าน้อยกว่าค่าการซึมผ่านที่ได้จากการทดลองเป็นแปดเท่า อัตราการสกัดของไอออนแคดเมียมจากสารละลายคลอไรด์จะถูกจำกัดด้วยขั้นตอนการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่ความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร ของ Alamine 804-I ค่าการซึมผ่านที่วัดได้มีค่า 4.0×10^{-6} เมตรต่อวินาที อัตราการสกัดจะสูงขึ้นเมื่อไอออนแคดเมียมถูกสกัดมา

จากสารละลายผสมของแคดเมียมคลอไรด์ที่มีกรดฟอสฟอริกและกรดซัลฟิวริกผสมอยู่ อัตราการสกัดของไอออนตะกั่วจะมีค่าน้อยกว่าเป็นยี่สิบเท่าของไอออนแคดเมียมเนื่องจากสารสกัดมีค่าพีพีเอ็นดีต่ำสำหรับตะกั่ว

Ramakul P. and Pancharoen U. (2003) ศึกษารายละเอียดของการแยกไอออนของธาตุแลนทานัมและนีโอดีเมียมออกจากกันโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง ในการวิจัยนั้นนอกจากจะสามารถแยกธาตุแลนทานัมและนีโอดีเมียมออกจากกันได้แล้ว ยังเป็นครั้งแรกที่นำการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ มาใช้ในกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงอีกด้วย ในการทดลองนั้นจะใช้สารสกัดสองชนิดมาผสมกันคือ HTTA และ TOA ละลายในเบนซีน และพบว่าที่ความเข้มข้นของ HTTA เป็น 0.01 โมลต่อลิตร และ TOA เป็น 3 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และ pH ของสารละลายป้อนเป็น 2.5 จะได้เปอร์เซ็นต์การสกัดสูงที่สุด

Patthaveekongka et al (2003) ทดลองเกี่ยวกับการนำธาตุฟัลลาเดียมที่ได้จากน้ำทิ้งในกระบวนการแปรรูปทองคำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง ในการทดลองจะใช้สารสกัดสองชนิดผสมกันคือ Thioridazine·HCl กับกรดโอเลอิกละลายในคลอโรฟอร์มและใช้ Sodium nitrite เป็นสารละลายสตริป จากการทดลองพบว่า จะแยกธาตุฟัลลาเดียมออกมาได้มากที่สุดเมื่อใช้ Thioridazine HCl เข้มข้น 0.0005 โมลต่อลิตร และกรดโอเลอิกเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร คือสามารถแยกฟัลลาเดียมได้ 29.1 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองมีการให้สารละลายป้อนไหลผ่าน 3 รอบ และสามารถแยกได้ 65 เปอร์เซ็นต์

Ramakul P. et al (2004) ได้ทดลองการแยกไอออนผสมของธาตุทองแดง โคโรเนียม และสังกะสี ออกจากกันด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง ในกระบวนการแยกนั้นทำโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวสองมอดูล และไหลผ่านครั้งเดียว มอดูลแรกจะสกัดทองแดงออกด้วย LIX84 โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นสารละลายสตริปและโมดูลที่สองจะสกัดโคโรเนียมออกด้วย Aliquat 336 โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายสตริป และเหลือแต่สังกะสีออกมาทาง raffinate ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจนถึง 0.5 โมลต่อลิตร ทั้งสองสารสกัด ค่า pH ที่ดีที่สุดของสารละลายป้อนคือ 2.5 คือสตริปออกมาแล้วได้ทองแดง 33 เปอร์เซ็นต์ กับ โคโรเนียม 92 เปอร์เซ็นต์

Pancharoen U. et al (2005) ได้ศึกษาการแยกไอออนของธาตุแลนทานัมและซีเรียมออกจากกันด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง ในการแยกนั้นจะใช้สารสกัด TOA ดึงเอาซีเรียมออกและทิ้งไอออนของแลนทานัมไว้ ในการแยกนั้นสามารถแยกธาตุซีเรียมออกมาได้อย่าง

บริสุทธิ์ ทางด้านสารละลายป้อนเป็นสารละลายของกรดซัลฟิวริกและสารละลายสตริปจะใช้โซเดียมคาร์บอเนต จากการทดลองจะได้สภาวะที่ดีที่สุดคือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายป้อนเป็น 0.2 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของ TOA เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 1M โดยจะแยกซีเรียมได้ 67 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แลนทานัมนั้นไม่ได้ติดตามด้วยเลย

Ramakul P. et al (2005) ได้วิจัยการแยกไอออนของธาตุในอนุกรมแลนทาไนด์ชนิด Trivalent ออกจากชนิด Tetravalent โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ในสารละลายป้อนจะประกอบด้วยไอออนของซีเรียม (Ce(IV)) ซึ่งเป็นไอออนชนิด Tetravalent และไอออนของนีโอดีเมียม (Nd(III)) โดยใช้ TOA เป็นสารสกัด และใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารละลายสตริป จากการทดลองพบว่าสามารถแยก Tetravalent ได้ถึง 71 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Trivalent ไม่ได้โดนแยกมาด้วยเลย สภาวะที่ดีที่สุดคือความเข้มข้นของ TOA เท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายป้อนเป็น 0.2 โมลต่อลิตร

Ramakul P. et al (2006) ได้วิจัยเกี่ยวกับการแยกไอออนของซีเรียมจากสารละลายซัลเฟตโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ในการทดลองจะใช้ TOA เป็นสารสกัด และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายสตริป แต่งานวิจัยนี้เน้นไปในเรื่องของกรนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการถ่ายเทมวลมาใช้ในการทำนายผลการทดลอง จากผลการทดลองสามารถหาค่าคงที่การถ่ายเทมวลของทางด้านสารละลายป้อนและทางด้านเยื่อแผ่นเหลวออกมาได้เป็น 9.47×10^{-2} และ 6.303 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ แสดงว่าขั้นตอนที่ควบคุมการถ่ายเทมวลคือการถ่ายเทมวลจากสารละลายป้อนไปยังเยื่อแผ่นเหลว และจากสมการทำนายผลที่คำนวณออกมาได้นั้นก็สามารถทำนายผลการทดลองได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ

Ramakul P. et al (2006) วิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทมวลของไอออนของโคบอลต์ผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้ D2EHPA เป็นสารสกัดละลายในเคโรซีน และใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นสารละลายสตริป ตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายสตริป ความเข้มข้นของสารสกัด ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ทฤษฎีการถ่ายเทมวลมาหาค่า Permeability และผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับค่าที่คำนวณออกมาทางทฤษฎี และจากการคำนวณพบว่าขั้นตอนที่ควบคุมการถ่ายเทมวลคือขั้นตอนการแพร่ของไอออนในสารละลายป้อนและสารละลายสตริป

Patthaveekongka et al (2006) ได้นำทฤษฎีของสมมูลของปฏิกิริยาการสกัดมาใช้กับเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยจะเน้นไปทางสมมูลที่เกิดขึ้นระหว่างเฟสของสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลว วิธีการทำโดยใช้การวาดกราฟตามทฤษฎีของ Henry's laws เพื่อหาสมมูลและทำนายผลการทดลอง หลังจากนั้นจึงนำมาเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองพบว่าเป็นที่น่าพอใจ ไอออนของธาตุที่นำมาทดลองคือ แลนทานัม ซีเรียม นีโอดีเมียมและ พัลลาเดียม ที่ความเข้มข้นต่ำมาก (ประมาณ 100 ส่วนในล้านส่วน) และใช้โมดูลเส้นใยกลวงสองมอดูล

Ramakul P. et al. (2007) ได้ศึกษาการสกัดและการนำกลับไอออนยูเรเนียมจากสารละลายไนเตรตโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สารสกัดเยื่อแผ่นเหลวคือ TBP ที่ละลายในเคโรซีน และใช้สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารนำกลับ ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ความเข้มข้นของสารสกัดเยื่อแผ่นเหลว TBP เป็น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรซึ่งที่ความเข้มข้นนี้จะสามารถสกัดไอออนยูเรเนียมได้ถึง 67 เปอร์เซ็นต์และสามารถแยกไอออนยูเรเนียมออกจากไอออนทอเรียมได้ 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับการสกัดในระบบเยื่อแผ่นเหลวในการซึมผ่านสำหรับในแต่ละความเข้มข้นของกรดไนตริกตามทฤษฎีของการถ่ายเทมวล เมื่อความเข้มข้นของกรดไนตริกเพิ่มขึ้น ไอออนยูเรเนียมจะถูกสกัดมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของยูเรเนียมและทอเรียมในสารละลายป้อนเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การสกัดและเปอร์เซ็นต์การนำกลับลดลงที่เป็นเช่นนี้ เพราะการซึมผ่านลดลงเนื่องจากว่าความเข้มข้นของสารละลายป้อนเพิ่มขึ้นทำให้เกิดตะกรัน (Fouling) ระหว่างเยื่อแผ่น และเกิดปรากฏการณ์ Concentration Polarization.

Seevalee Sangtumrong et al. (2007) ได้ศึกษาการแยกไอออนปรอท (II) และไอออนอาร์ซีนิก (III) ในสารละลายที่มีคลอรีนเป็นตัวกลางโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้สาร TOA ละลายในโทลูอีนเป็นสารสกัดและสารนำกลับใช้ไซเดียมไฮดรอกไซด์ผลการทดลองพบว่าสารสกัด TOA สามารถสกัดไอออนปรอท (II) ได้แต่ไม่สามารถสกัดไอออนอาร์ซีนิก (III) ได้เนื่องจากรูปแบบของปรอทและสารหนูแตกต่างกันโดยความเข้มข้นของสารสกัด TOA ที่ดีที่สุดคือ 2 % , ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ดีที่สุดคือ 0.2 M และความเข้มข้นของสารนำกลับไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สามารถนำกลับได้ดีที่สุดคือ 0.4 M จากการทดลอง สามารถสกัดไอออนปรอท (II) ได้สูงสุดถึง 100 % และ สารนำกลับไซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถนำกลับปรอทได้ถึง 95 %

Tatchanok Prapasawat et al. (2007) ได้ทำการศึกษาการแยกไอออนอาร์ซีนิค (V) และไอออนอาร์ซีนิค (III) ซึ่งละลายในกรดซัลฟูริกออกจากกัน โดยใช้วิธีเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ซึ่งสารสกัดที่นำมาทำเป็นเยื่อแผ่นเหลวคือ Cyanex 923 ละลายอยู่ในโทลูอีนและในการทดลองนี้ใช้น้ำเป็นสารละลายนำกลับ จากการทดลองพบว่าไอออนอาร์ซีนิค (V) ถูกสกัดออกมาได้มากกว่าไอออนอาร์ซีนิค (III) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในสารละลายป้อนและเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว Cyanex 923 มากขึ้นจะเป็นผลทำให้สามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิคได้มากขึ้นและจากผลการทดลองได้ทำการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการสกัดในระบบเยื่อแผ่นเหลวโดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสำหรับไอออนอาร์ซีนิค (III) ในเฟสของสารละลาย (k_f) และในเฟสของสารอินทรีย์ (k_m) คือ 7.15×10^{-3} and 3.45×10^{-2} cm/s ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสำหรับไอออนอาร์ซีนิค (V) ในเฟสของสารละลาย (k_f) และในเฟสของสารอินทรีย์ (k_m) คือ 1.07×10^{-2} และ 1.79×10^{-2} cm/s ตามลำดับ ดังนั้นขั้นตอนควบคุมปฏิกิริยาจะอยู่ระหว่างสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลว

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาชนิดของสารสกัดสำหรับการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิคออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิคจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงโดยสภาวะที่ทำการศึกษามีดังนี้
 - 2.1 ความเข้มข้นของสารสกัดแต่ละชนิด
 - 2.2 ความเข้มข้นของสารนำกลับไซเดียมไฮดรอกไซด์
 - 2.3 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ
 - 2.4 จำนวนรอบของการสกัดและการนำกลับผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง
 - 2.5 จำนวนครั้งของการนำสารละลายนำกลับที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาชนิดของสารสกัดเพื่อการสกัดและการนำกลับไอออนออร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยศึกษาสารสกัด 3 ชนิด คือ สารสกัด Cyanex 923, TBP, Cyanex 301, TOA และ Aliquat336
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับไอออนออร์ซีนิกผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงโดยจะศึกษาสภาวะต่าง ๆ ดังนี้
 - 2.1 ความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 923 ในช่วง 10 –50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร
 - 2.2 ความเข้มข้นของสารสกัด TBP ในช่วง 1 –8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
 - 2.3 ความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 301 ในช่วง 0.5 – 8 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร
 - 2.4 ความเข้มข้นของสารสกัด TOA ในช่วง 5-40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
 - 2.5 ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat336 ในช่วง 10 - 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร
 - 2.6 ความเข้มข้นของสารสกัดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในช่วง 0.1 -1 โมลต่อลิตร
 - 2.7 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ ในช่วง 100 – 300 มิลลิลิตรต่อลิตร
 - 2.8 จำนวนรอบของการสกัดและการนำกลับผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง 1-4 รอบ
 - 2.9 จำนวนครั้งของการนำสารละลายนำกลับที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการสกัดและการนำกลับไอออนออร์ซีนิกและข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติ
2. ศึกษาวิธีการทดลองพร้อมทั้งเตรียมสารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการวิจัย

3. การทดลองสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยสารสกัดเยื่อแผ่นเหลวที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Cyanex 923, TBP, Cyanex 301, TOA และ Aliquat 336 ที่ละลายในตัวทำละลายเคโรซีน
4. ทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารสกัด, ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ, อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ, จำนวนรอบที่ผ่านโมดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงและจำนวนครั้งของการนำสารละลายนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านโมดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลของการสกัดไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก้ำธรรมชาติ โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง
2. ทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสกัดแยกไอออนของอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก้ำธรรมชาติ
3. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแยกไอออนอาร์ซีนิก
4. เป็นแนวทางและข้อมูลพื้นฐานของการดำเนินงานวิจัยด้านสกัดแยกไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงและรวมถึงการพัฒนาเทคนิคใหม่ ๆ ต่อไป
5. สามารถนำข้อมูล และผลการวิจัยที่ได้ นำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

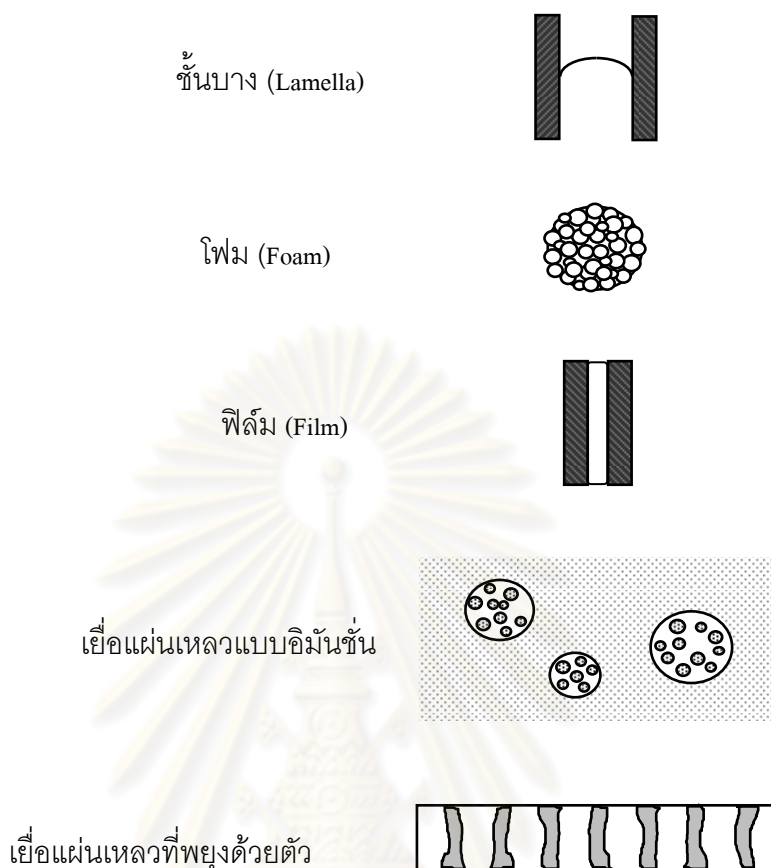
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1. การสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลว

กระบวนการเยื่อแผ่นเหลว (Liquid Membrane Process) นั้นประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

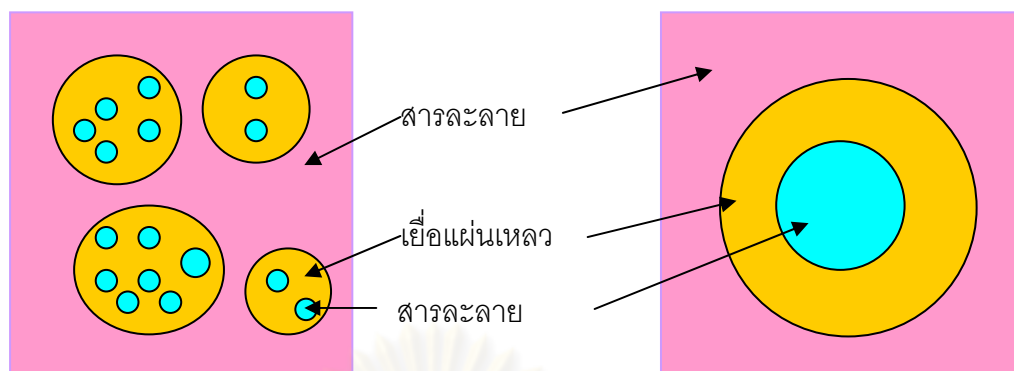
1. ส่วนของสารละลายป้อน (Feed Phase) ซึ่งเป็นส่วนที่มีองค์ประกอบที่ต้องการแยกละลายอยู่ และส่วนนี้จะอยู่ในวัฏภาคสารละลาย
2. ส่วนเยื่อแผ่นเหลว (Liquid Membrane Phase) เป็นส่วนที่ประกอบไปด้วยสารสกัด (Extractant) ละลายในตัวทำละลาย ส่วนนี้จะอยู่ในรูปของสารละลายของน้ำมัน
3. ส่วนของสารละลายนำกลับ (Stripping Phase) จะทำหน้าที่รับองค์ประกอบที่ต้องการแยกซึ่งถ่ายเทผ่านเยื่อแผ่นเหลวมาจากสารละลายป้อน ส่วนนี้จะอยู่ในวัฏภาคสารละลายเช่นเดียวกับส่วนของสารละลายป้อน โดยส่วนที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวจะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับส่วนของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ ดังนั้นเมื่อนำเยื่อแผ่นเหลวมาขึ้นระหว่างสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ องค์ประกอบที่ต้องการแยกจะทำปฏิกิริยากับสารสกัดในเยื่อแผ่นเหลวที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนละลายอยู่ในเยื่อแผ่นเหลว จากนั้นจึงแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวไปยังผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับที่ฝั่งตรงข้าม องค์ประกอบที่ต้องการแยกซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนจะทำปฏิกิริยากับสารละลายนำกลับและแยกตัวออกมาละลายอยู่ในสารละลายนำกลับ ดังนั้นจึงสามารถถ่ายเทองค์ประกอบที่ต้องการจากสารละลายป้อนผ่านเยื่อแผ่นเหลวไปยังสารละลายนำกลับได้ ฉะนั้นในกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวจึงต้องมีการสร้างเยื่อแผ่นเหลวมาขึ้นระหว่างสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบของเยื่อแผ่นเหลวที่น่าจะเกิดขึ้นได้โดยเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันและเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานมากกว่ากรณีอื่น ๆ (Schultz, 1988)



รูปที่ 2.1 รูปแบบของเยื่อแผ่นเหลวชนิดต่าง ๆ (Schultz, 1988)

2.1.1. เยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน (Emulsion Liquid Membrane Process)

กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน คือ การนำเอาระบบเยื่อแผ่นเหลว มาจัดเรียงให้อยู่รูปแบบหนึ่งซึ่งเราเรียกว่าแบบอิมัลชัน ในแบบนี้สารละลายป้อนจะทำหน้าที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous Phase) และมีสารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่เป็นสารละลายน้ำมันอยู่ภายในซึ่งเป็นลักษณะวัฏภาคไม่ต่อเนื่อง (Dispersion Phase) ดังรูปที่ 2.2 และจะเกิดกระบวนการถ่ายเทองค์ประกอบซึ่งองค์ประกอบที่เกิดปฏิกิริยานั้นจะแพร่เข้าสู่สารละลายน้ำมันและไปอยู่ที่สารละลายนำกลับ สารละลายนำกลับนั้นจะอยู่ในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวอีกที



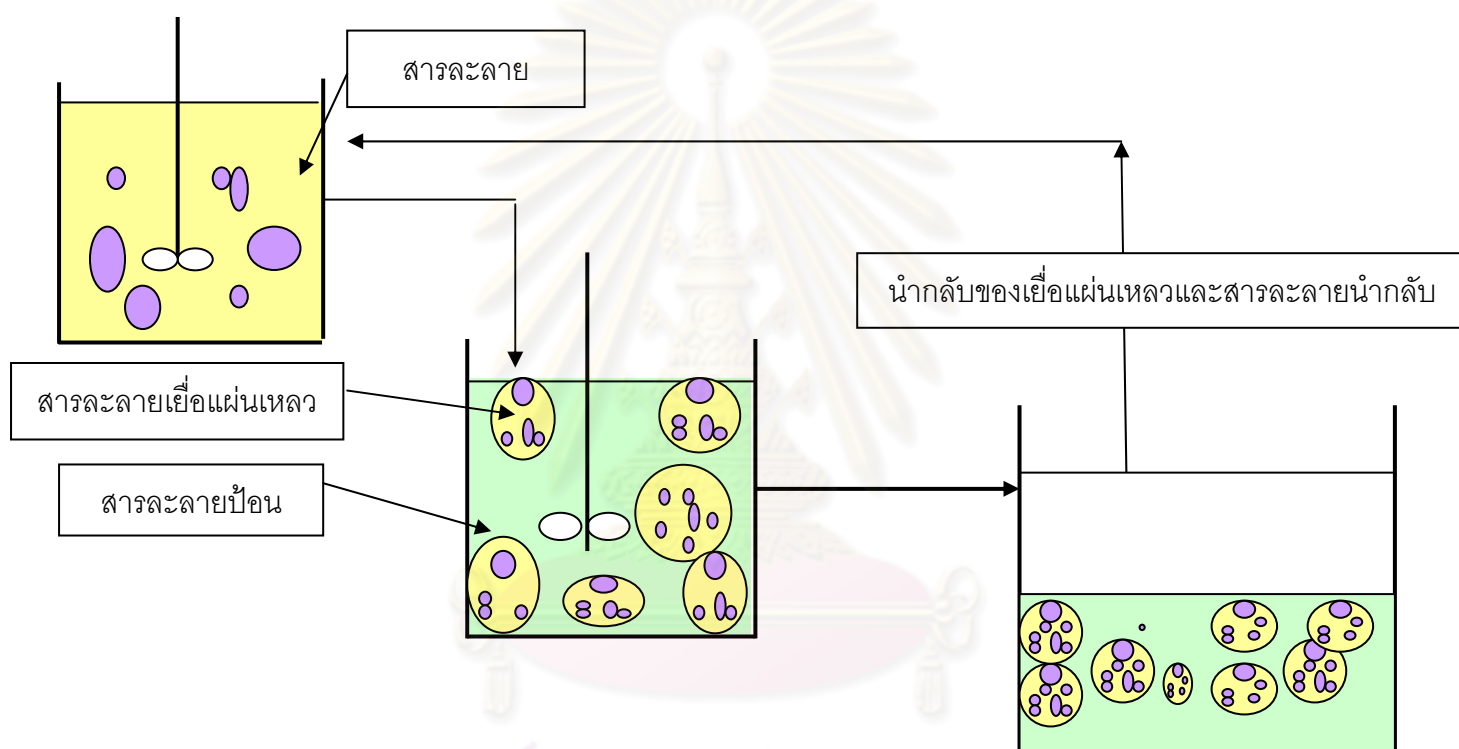
รูปที่ 2.2 วิธีการเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน

การเตรียมเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน สามารถเตรียมได้โดยนำสารละลายที่จะทำเป็นสารละลายนำกลับมาผสมกับสารละลายเยื่อแผ่นเหลวซึ่งจะต้องไม่ละลายกัน แล้วนำมาปั่นกวนด้วยความเร็วสูงเพื่อให้วัฏภาคสารละลายนำกลับมาเป็นเม็ดเล็กๆอยู่ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว โดยทั่วไปเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันที่ได้จะมีความเสถียรต่ำ จึงมีการเติมสารลดแรงตึงผิวลงไปเพื่อเพิ่มความเสถียร เมื่อเตรียมเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันเสร็จแล้วจึงนำเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันใส่ลงในสารละลายป้อนซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ทำให้เกิดการการเรียงวัฏภาคใหม่เป็น 3 ชั้น เรียงจากด้านในไปด้านนอก คือ สารละลายนำกลับ สารละลายเยื่อแผ่นเหลวและสารละลายป้อนตามลำดับ เรียกว่า อิมัลชันเชิงซ้อน (Double Emulsion) เมื่อเกิดการแยกแล้วองค์ประกอบที่ต้องการแยกจะไปอยู่ในสารละลายนำกลับ แล้วจึงนำไปแยกสารละลายป้อน (ที่ถูกสกัดองค์ประกอบที่ต้องการออกไปแล้ว) ให้ออกจากเยื่อแผ่นเหลวอิมัลชัน สุดท้ายจึงนำสารละลายเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันที่ผ่านการสกัดแล้วไปแยกวัฏภาคภายในออกได้เป็นสารละลายผลิตภัณฑ์ ส่วนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวนั้นสามารถนำกลับไปใช้ได้

ชนิดของเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด (Ramakul and Panchareon, 2003) คือ

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

ในกรณีที่สารละลายนำกลับเป็นสารละลายของน้ำ เมื่อนำอิมัลชันของน้ำในน้ำมันมากระจายในวัฏภาคสารละลายป้อนที่เป็นสารละลายของน้ำ ระบบจะเรียงจากวัฏภาคด้านในไปยังวัฏภาคด้านนอกคือ น้ำ - น้ำมัน - น้ำ (w/o/w) แต่ถ้าสารละลายนำกลับเป็นสารละลายน้ำมันก็จะกลับกันคือจะเรียงจาก น้ำมัน - น้ำ - น้ำมัน (o/w/o) ดังนั้นจึงมีสารลดแรงตึงผิวสองประเภทได้แก่ สารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Surfactant) สำหรับอิมัลชันน้ำในน้ำมัน และ สารลดแรงตึงผิวชนิดที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Surfactant) สำหรับอิมัลชันน้ำมันในน้ำ



รูปที่ 2.3 กระบวนการแยกโดยใช้วิธีเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน

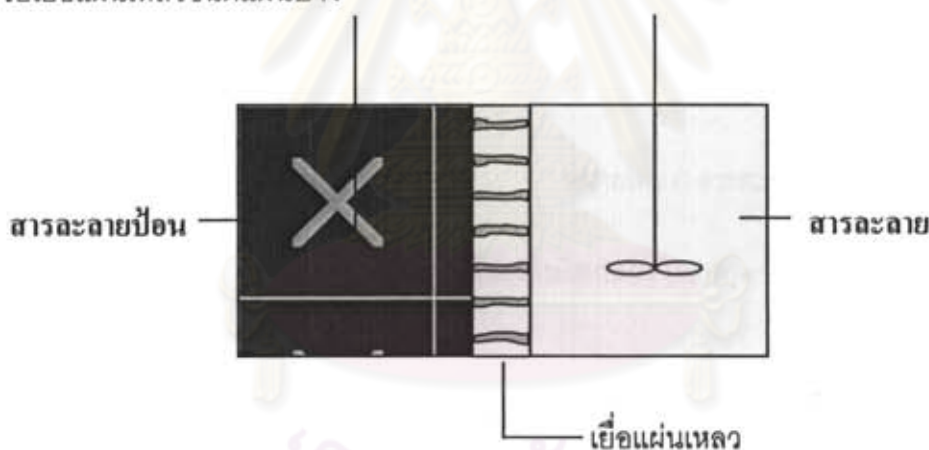
2.1.2. เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยตัวรองรับ (Supported Liquid Membrane)

กระบวนการเยื่อแผ่นเหลวประเภทนี้จะใช้พอลิเมอร์ที่มีรูพรุนเป็นตัวยึดเยื่อแผ่นเหลวเอาไว้ในรูพรุนด้วยแรงคาпилลารี (Capillary Force) (Prakorn and Ura, 2003) เพื่อให้เยื่อแผ่นเหลวไม่มีการเคลื่อนที่และมีความเสถียรมากขึ้น จึงสามารถเรียกเยื่อแผ่นเหลวชนิดนี้ได้ชื่อหนึ่งว่า Immobilize Liquid Membrane (Schultz, 1988) และสามารถหลีกเลี่ยงการใช้ตัวประสานซึ่งเป็นปัญหาของกระบวนการสกัด รูพรุนจุลภาคที่ใช่เป็นตัวรองรับนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ รูพรุนจุลภาคชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งจะยอมให้วัฏภาคที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายเคลื่อนผ่านหรือถูกยึดติดอยู่ในรูพรุนได้เท่านั้น และอีกชนิดในทางกลับกันคือรูพรุนจุลภาคชนิดไม่ชอบน้ำ

(Hydrophobic) ซึ่งจะยอมให้ภูมิภาคที่มีน้ำมันเป็นตัวทำละลายเคลื่อนผ่านหรือถูกยึดติดอยู่ในรูพรุนได้เท่านั้น ตัวรองรับนั้นมีหลายชนิดได้แก่ ชนิดแผ่นแบน (Flat Sheet) ชนิดแผ่นม้วน (Spiral - Wound) และชนิดเส้นใยกลวง (hollow fiber) ข้อได้เปรียบของเยื่อแผ่นเหลวพองด้วยตัวรองรับคือกระบวนการเตรียมไม่ยุ่งยากและสารสกัดที่ใช้มีปริมาณน้อย

2.1.2.1. เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับชนิดแผ่นบาง (Flatsheet Supported Liquid Membrane)

ตัวรองรับชนิดนี้มีลักษณะเป็นชนิดแผ่นบาง มีความพรุน (Porosity) สูงส่วนใหญ่ทำจากวัสดุประเภทโพลีเมอร์เช่น Polypropylene (PP) Polyethylene (PE) Polytetrafluoroethylene (PTFE) เป็นต้น เยื่อแผ่นเหลวชนิดนี้เหมาะสมในการนำมาศึกษากลไกการถ่ายเทมวลเนื่องจากมีรูปแบบของตัวรองรับที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามเยื่อแผ่นเหลวแบบนี้มีอัตราการถ่ายเทมวลต่ำเนื่องจากมีพื้นที่ในการถ่ายเทมวลน้อย รูปที่ 2.4 เป็นลักษณะโดยทั่วไปของการสกัดแยกไอออนด้วยเยื่อแผ่นเหลวชนิดแผ่นบาง

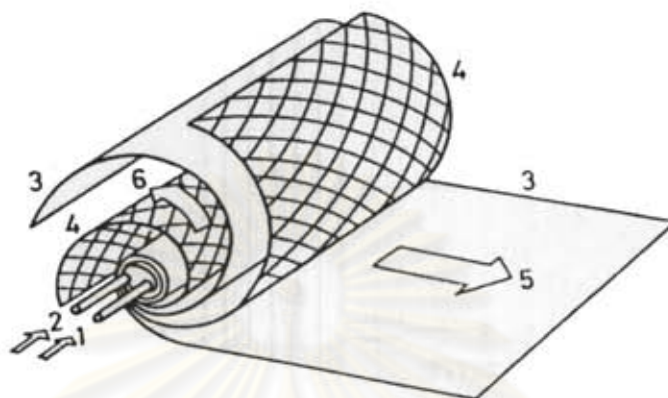


รูปที่ 2.4 ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับชนิดแผ่นบาง (Komasawa et al., 1983)

2.1.2.2. เยื่อแผ่นเหลวชนิดที่พองด้วยแผ่นม้วน (Spiral-Type Supported Liquid Membrane)

เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยแผ่นม้วนแสดงไว้ดังรูปที่ 2.5 ตัวรองรับแบบแผ่นม้วนผลิตขึ้นโดยใช้ฟิล์มโพลีเมอร์ที่มีรูพรุนชนิดไม่ชอบน้ำ และแผ่นตาข่าย (Mesh Spacer) โพลีเอสเตอร์ม้วนรอบท่อ นำสารละลายป้อนและสารละลายผลิตภัณฑ์ ผิวด้านนอกและปลายทั้งสองด้านของโมดูลจะถูกผนึกไว้ด้วยตัวประสานอีพอกซี (Epoxy) ส่วนสารละลายป้อนที่ผ่านการสกัดแล้ว (Raffinate) และสารละลายนำกลับที่ได้ (Strip) จะไหลออกทางท่อที่สอดไว้ด้านนอกสุดของโมดูล จุดเด่นของ

กระบวนการนี้คือ โมดูลที่ใช้มีพื้นที่การถ่ายเทมวลต่อปริมาตรสูง และรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับไม่ซับซ้อน



รูปที่ 2.5 ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับชนิดแผ่นม้วน [Termoto et al., 1987]

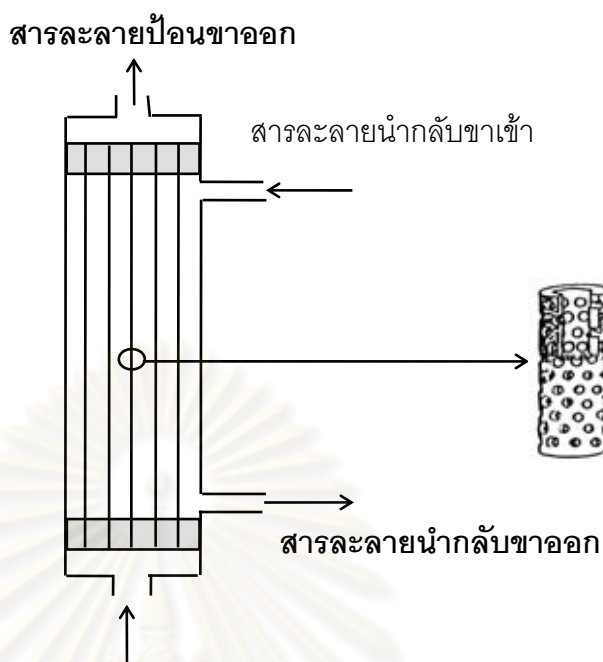
หมายเลข 1 ทางเข้าของสารละลายป้อน หมายเลข 2 ทางเข้าของสารละลายนำกลับ

หมายเลข 3 เยื่อแผ่นเหลว หมายเลข 4 แผ่นกัน

หมายเลข 5 สารละลายป้อน หมายเลข 6 สารละลายนำกลับ

2.1.2.3. เยื่อแผ่นเหลวชนิดที่พองด้วยเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Supported Liquid Membrane; HFSLM)

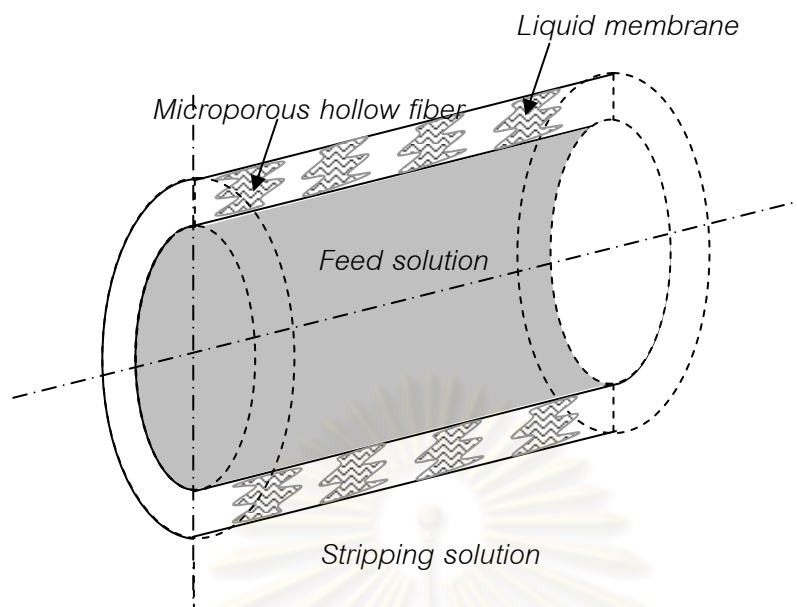
ตัวรองรับแบบเส้นใยกลวงจะใช้วิธีนำเส้นใยกลวงจำนวนมากมาเรียงในแนวขนานกันแล้วบรรจุลงในโมดูลรูปทรงกระบอก จากนั้นจึงปิดปลายทั้งสองด้านของโมดูลด้วยเรซิน (Resin) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในการสกัดสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะไหลภายในเส้นใยกลวงที่เรียกว่าฝั่งท่อ (Tube Side) และฝั่งเปลือก (Shell Side) ซึ่งแล้วแต่ผู้ใช้จะให้สายใดอยู่ฝั่งไหน และมีเยื่อแผ่นเหลวฝังอยู่ภายในเส้นใยกลวงซึ่งอยู่ระหว่างสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ การไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับนั้นสามารถทำได้ 2 แบบ คือ แบบไหลแบบทางเดียวกันและแบบสวนทางกัน รูปที่ 2.6 แสดงถึงการไหลของสายป้อนและสายนำกลับที่เกิดขึ้นภายในหอซึ่งในที่นี้เป็นลักษณะการไหลแบบสวนทางกัน



รูปที่ 2.6 แสดงเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

การเตรียมกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับทำโดยนำเยื่อแผ่นเหลวมาเคลือบฝังไว้บนตัวรองรับ เกิดเป็นแผ่นฟิล์มของเยื่อแผ่นเหลวพองด้วยตัวรองรับ เมื่อนำตัวรองรับนี้มากั้นระหว่างสารละลายสองชนิดที่ไม่ละลายกับเยื่อแผ่นเหลว ตัวรองรับจะทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวเพื่อถ่ายเทไอออนโลหะจากสารละลายชนิดแรกไปยังสารละลายอีกชนิดหนึ่งดังรูปที่ 2.7 ตัวรองรับที่ใช้แบ่งออกเป็นสองประเภทคือ พอลิเมอร์ที่มีรูพรุนชนิดไม่ชอบน้ำซึ่งเยื่อแผ่นเหลวที่นำมาเคลือบฝังจะเป็นสารละลายอินทรีย์ และตัวรองรับพอลิเมอร์ที่มีรูพรุนชนิดชอบน้ำซึ่งเยื่อแผ่นเหลวที่นำมาเคลือบฝังต้องเป็นวัฏภาคสารละลายของน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 ลักษณะการไหลแบบไหลสวนทางกันของสารป้อนและสารละลายนำกลับเมื่อ พิจารณาที่เส้นใยกลวงหนึ่งเส้นในชุดทดลองการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

ข้อดีของกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวแบบมีตัวรองรับ [ประกร, 2544]

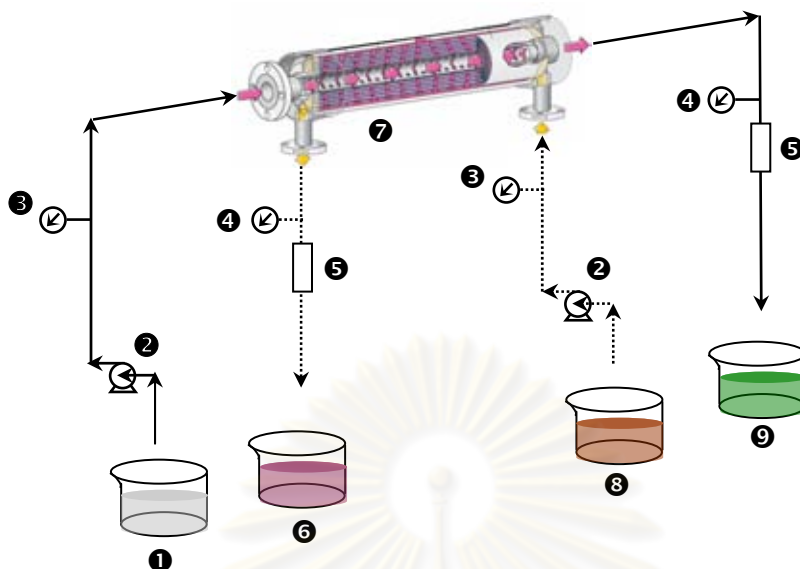
- มีค่าสัมประสิทธิ์การแยกสูง
- มีค่าอัตราการถ่ายเทมวลสูงเมื่อเทียบกับขนาดของระบบ
- มีค่าการคัดเลือกสูง
- สามารถเพิ่มความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์
- สามารถที่จะใช้ประโยชน์จากสารสกัดที่ราคาแพงได้
- อัตราส่วนโดยปริมาตรของสารละลายป้อนและสารนำกลับมีค่าสูง
- สามารถใช้กับระบบที่มีของแข็งแขวนลอยได้
- มูลค่าการลงทุนและการดำเนินงานต่ำ
- สามารถดัดแปลงได้
- สามารถที่จะขยายขนาดได้ง่าย

ตารางที่ 2.1 ข้อดีข้อเสียของกระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่ได้รับการพองเมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อแผ่นเหลวอีมีลชัน (Patthaveekongka, 2006)

ข้อดี	ข้อเสีย
สารอินทรีย์และสารสกัดมีปริมาณน้อย	ราคาของตัวรองรับ
ไม่เกิดการผสมกลับ	เกิดความดันตกคร่อม
มีปริมาณสารอินทรีย์ในสารละลายป้อน น้อย	ต้องมีการกรองขั้นต้นก่อน
ไม่ต้องใช้สารลดแรงตึงผิว	จำเป็นต้องใช้สารเคมีในการทำความสะอาด
เยื่อแผ่นเหลวไม่ต้องมีความเสถียรมาก	แรงตึงผิวของเยื่อแผ่นเหลวควรสูงกว่าสารละลายป้อน ประมาณ 15 mN/m
สามารถสกัดซ้ำได้ทันที	
สามารถใช้แยกระบบก๊าซได้	

รูปแบบของตัวรองรับชนิดเส้นใยกลวงเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานมากกว่ารูปแบบอื่น ๆ เนื่องจากมีพื้นที่ถ่ายเทมวลต่อปริมาตรสูง (ประกร, 2544) และเยื่อแผ่นเหลวที่เสื่อมสภาพสามารถปรับปรุงคุณสมบัติได้ง่ายโดยการเติมเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปใหม่ ซึ่งเป็นรูปแบบของตัวรองรับที่จะศึกษาในงานวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 ผังการปฏิบัติการไหลในลักษณะไหลผ่านครั้งเดียว (One through mode) ซึ่งของไหลในกระบวนการมีทิศทางการไหลสวนทางกันในชุดอุปกรณ์เส้นใยกลวง โดยที่ ① คือถังของสารละลายป้อนขาเข้า, ② คือปั๊มฟลูบ, ③ คือเกจวัดความดันขาเข้า, ④ คือเกจวัดความดันขาออก, ⑤ คือมาตรวัดอัตราการไหล, ⑥ คือถังของสารละลายนำกลับขาออก, ⑦ คือชุดอุปกรณ์เส้นใยกลวง, ⑧ คือถังของสารละลายนำกลับขาเข้า, ⑨ คือถังของสารละลายป้อนขาออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวชนิดต่าง ๆ
(ประกรอ, 2544)

เยื่อแผ่นเหลวชนิดอิมัลชัน		เยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวพุง	
ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> - มีสัดส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรสูง - มีกำลังการผลิตสูง - กระบวนการไม่ยุ่งยากซับซ้อน 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้สารอินทรีย์ปริมาณสูง - ใช้พลังงานสูง - ปัญหาการปนเปื้อน - ปัญหาในการใช้สารลดแรงตึงผิวและการบำบัด 	<ul style="list-style-type: none"> - มีค่าการคัดเลือกสูง - ไม่ต้องใช้สารลดแรงตึงผิว - ใช้สารอินทรีย์ปริมาณต่ำ - ใช้พลังงานต่ำ - ขยายขนาดง่าย - อัตราการถ่ายเทมวลสูง 	<ul style="list-style-type: none"> - สัดส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรต่ำ - เยื่อแผ่นเหลวมีประสิทธิภาพต่ำ - การสูญเสียเยื่อแผ่นเหลว

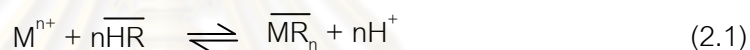
ตารางที่ 2.2 เป็นการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเยื่อแผ่นเหลวชนิดต่างๆ จะเห็นได้ว่ารูปแบบของตัวรองรับชนิดเส้นใยกลวงเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานมากกว่ารูปแบบอื่น ๆ เนื่องจากมีข้อดีอยู่มากมาย ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษากระบวนการกำจัดไอออนาร์ซีนิกออกจากรูปร่างที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยม เพราะเป็นกระบวนการที่ทำได้ง่าย มีค่าการถ่ายเทโอนมวลที่สูง มีค่าการคัดเลือกผ่านสูง ประหยัดพลังงานและใช้สารสกัดในปริมาณน้อยให้ประสิทธิภาพสูง

2.2. ชนิดของสารสกัด

สารสกัดที่ใช้ในกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของสารสกัด (Tavlarides et al., 1987) ดังนี้

2.2.1. สารสกัดชนิดกรด (Acidic Extractant)

สารสกัดประเภทนี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทย่อยคือ สารสกัดชนิดกรด (Acidic extractant) และสารสกัดชนิดคีเลท (Chelate extractant) สารสกัดประเภทแรกจะประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชันของส่วนที่เข้าทำปฏิกิริยา เช่น $-\text{COOH}$, $=\text{P}(\text{O})\text{OH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$ ส่วนประเภทหลังสารสกัดจะทำปฏิกิริยาคีเลชัน (Chelation) กับไอออนโลหะไอออนโลหะชนิดที่มีประจุบวก ซึ่งสารสกัดชนิดกรดทั้งสองประเภทเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุเป็นกลาง และสามารถละลายได้ดีในวัฏภาคของสารละลายอินทรีย์ดังสมการ

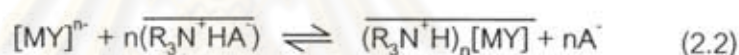


เครื่องหมายขีดด้านบนหมายความว่าสารนั้นอยู่ในวัฏภาคสารอินทรีย์ สมการข้างต้นยังแสดงถึงปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไฮโดรเนียมไอออนกับไอออนโลหะ ความสามารถในการสกัดไอออนโลหะขึ้นกับความเป็นกรด-ด่างของวัฏภาคสารละลาย นอกจากนั้นยังขึ้นกับธรรมชาติของไอออนโลหะนั้นๆ (Ramakul and Panchareon, 2003) สารสกัดประเภทกรดที่พบว่ามีประโยชน์อย่างมากในการสกัดไอออนโลหะเชิงพาณิชย์ได้แก่ อนุพันธ์ของกรดอินทรีย์ฟอสฟอรัส (Derivatives of phosphorous acids) และกรดโมโนคาร์บอกซิลิก (Monocarboxylic acids) ซึ่งในสารสกัดประเภทนี้กรดอัลคิลฟอสฟอริก (Alkylphosphoric acids) ถูกนำมาใช้งานมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดได-2-เอทิลเฮกซิลฟอสฟอริก (Di-2-ethylhexyl phosphoric acids, D2EHPA) สารสกัดประเภทคีเลทได้แก่ สารสกัดที่ประกอบไปด้วย ดอนเนอร์กรุป (Donor groups) ซึ่งสามารถที่จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนไบเดนเทต (Bidentate complexes) กับไอออนโลหะได้ สารสกัดประเภทคีเลทเชิงพาณิชย์มีอยู่ 2 ประเภทได้แก่ (ก) กลุ่มของ 2-ไฮดรอกซีเบนโซฟีโนนออกซิม (2-hydroxy benzophenone oximes) ที่ผลิตโดยบริษัท Henkel Corporation (General Mills Inc. USA) ภายใต้เครื่องหมายการค้าชื่อ LIX สารสกัด Acorga ที่ผลิตโดยบริษัท Imperial Chemical USA และสารสกัด SME ที่ผลิตโดยบริษัท Shell Chemical USA (ข) ประเภทกลุ่มของ 8-ไฮดรอกซีควิโนไลน์ (8-Hydroxyquinoline) ที่ผลิตโดยบริษัท Sherex (Ashland Chemical Company USA) ภายใต้เครื่องหมายการค้าชื่อ Kelex สารสกัดเหล่านี้ส่วนใหญ่ผลิตขึ้นมาโดยเฉพาะเพื่อใช้สกัดไอออน

ทองแดงทั้งจากสารละลายกรดที่ผ่านมาจากกระบวนการชะละลาย (Acidic leach liquors) และจากสารละลายอัลคาไลน์ (Alkaline)

2.2.2. สารสกัดชนิดต่าง (Basic Extractant)

เป็นสารสกัดอินทรีย์ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาเป็นเกลือในขณะที่สัมผัสกับสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด ใช้กันมากจะเป็นพวกเอมีน และแอมโมเนียมเฮไลด์ชนิดจตุภูมิ (Quaternary ammonium halides) มีการพัฒนากระบวนการใช้เอมีนของเกลือแอมโมเนียม (Ammonium salt) ชนิดปฐมภูมิ (Primary, RNH_2) ชนิดทุติยภูมิ (Secondary, R_2NH) ชนิดตติยภูมิ (Tertiary, R_3N) และ ชนิดจตุภูมิ (Quaternary ammonium salts, R_3N^+) ประสิทธิภาพของการสกัดไอออนโลหะด้วยสารสกัดเอมีนขึ้นอยู่กับความสามารถในการรวมตัวของไอออนโลหะที่อยู่ในวัฏภาคสารละลายของน้ำเป็นองค์ประกอบที่มีประจุลบ (Anionic species) ซึ่งองค์ประกอบนี้ถูกสกัดได้ด้วยเอมีน



เพื่อให้การแลกเปลี่ยนเกิดขึ้นเอมีนต้องเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเกลือเอมีนที่เหมาะสมเพื่อแลกเปลี่ยนประจุบวกกับไอออนโลหะ ดังนี้



นั่นคือเอมีนจะรวมตัวกับกรดเป็นเกลือของเอมีนซึ่งมีขั้ว $\text{R}_3\text{N}^+\text{HA}^-$ ในวัฏภาคของสารละลายอินทรีย์ เมื่อตัวทำละลายอินทรีย์นี้สัมผัสกับสารละลายของน้ำที่ประกอบไปด้วยไอออนโลหะ $[\text{MY}]^n$ จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุดังสมการ 2.2

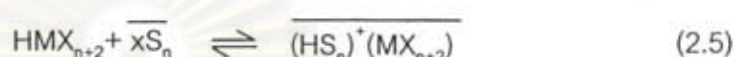
2.2.3 สารสกัดชนิดเป็นกลาง (Neutral Extractant)

สารสกัดประเภทกลาง (Neutral) หรือชนิดโซลเวท (Solvating Extractant) เป็นสารสกัดที่มีเฉพาะคอนเนอร์กรุ๊ปจึงไม่สามารถแตกโปรตรอนได้ดังนั้นสารสกัดประเภทนี้จึงไม่มีกลุ่มของไอออนที่มีประจุบวกหรือไอออนที่มีประจุลบเป็นส่วนประกอบของโมเลกุล ไอออนโลหะในวัฏภาคของสารละลายของน้ำจะถูกสกัดโดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุเป็นกลาง ความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยาของสารสกัดชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถของไอออนโลหะในการที่จะเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนในวัฏภาคสารละลายของน้ำ เช่นเดียวกับกรณีของ

สารสกัดชนิดต่าง การสกัดเป็นการรวมกันของอะตอมกลางของสารประกอบเชิงซ้อนหรือรวมกับโปรตรอนในกรณีของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของกรด



เมื่อ S เป็นสารสกัดชนิดโพลีเวท ความสามารถในการละลายของสารประเภทอนินทรีย์ในวัฏภาคของสารละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้นได้โดยการทำให้ปฏิกิริยารวมกันกับสารสกัดชนิดโพลีเวทดังสมการ 2.4 และสมการ 2.5



2.3. กลไกการถ่ายเทมวล

การถ่ายเทมวลในกระบวนการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวจะเป็นการถ่ายเทแบบควบคู่ (Couple transport) (ประกร, 2544) คือ กระบวนการถ่ายเทมวลของไอออนสองชนิดที่เกิดขึ้นพร้อมกันผ่านเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งเราต้องการที่จะถ่ายเทไอออนโลหะที่ต้องการแยกให้เดินทางจากด้านสารละลายป้อนไปยังด้านสารละลายนำกลับ แต่แรงขับเคลื่อนของการถ่ายเทมวลคือผลต่างของความเข้มข้นของไอออนอีกชนิดหนึ่งไม่ใช่ไอออนของโลหะที่เราต้องการจะแยก ดังนั้นจึงสามารถแยกองค์ประกอบที่เราต้องการได้ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของไอออนโลหะทางด้านสารละลายนำกลับจะสูงกว่าด้านสารละลายป้อนก็ตาม

เยื่อแผ่นเหลวที่คั่นอยู่ระหว่างสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับนั้นจะผสมสารสกัดซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะ ไอออนที่ต้องการสกัดจะเกิดสารเชิงซ้อนกับสารสกัดที่ผิวสัมผัสด้านหนึ่งของเยื่อแผ่นเหลวเกิดเป็นไอออนของสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นกลาง สารประกอบเชิงซ้อนจะแพร่ข้ามเยื่อแผ่นเหลวไปยังผิวสัมผัสด้านตรงข้ามซึ่งมีสารละลายนำกลับและจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายนำกลับกับเยื่อแผ่นเหลว ไอออนของโลหะจะหลุดไปอยู่ที่ด้านสารละลายนำกลับในขณะที่สารประกอบเชิงซ้อนจะกลายเป็นสารสกัดดั้งเดิมแล้วแพร่กลับผ่านเยื่อแผ่นเหลวมาอยู่ที่ด้านเดิม (ด้านสารละลายป้อน) เพื่อมารับไอออนโลหะอีกครั้ง ดังนั้นสารสกัดจะทำหน้าที่คล้ายกับตัวขนย้ายไอออนผ่านเยื่อแผ่นเหลวนั่นเอง

การถ่ายเทมวลแบบควบคู่กันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.3.1. การถ่ายเทแบบสวนทาง (Counter-Transport)

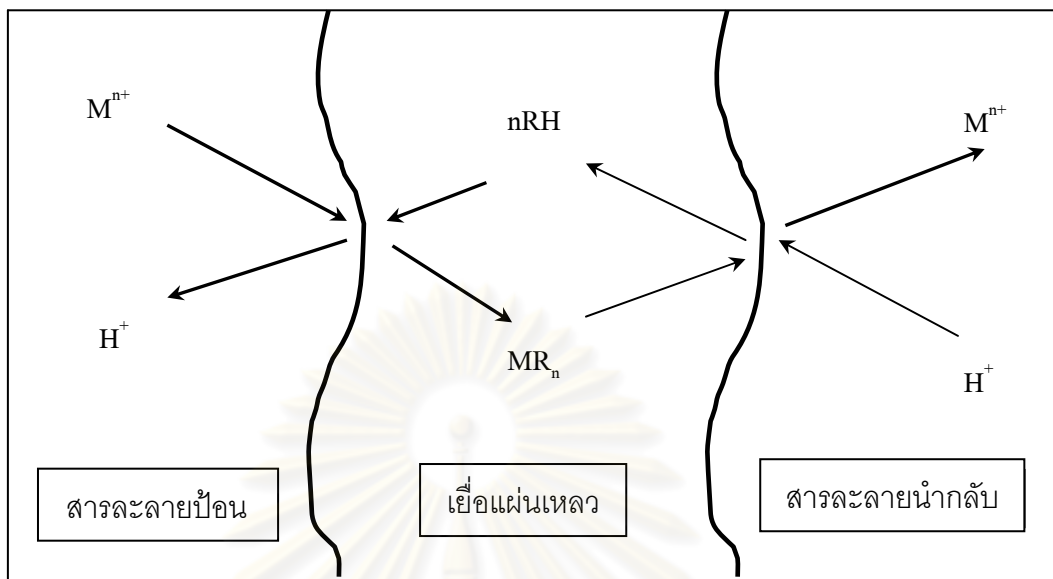
คือการถ่ายเทที่ไอออนทั้งสองเคลื่อนที่สวนทางกันผ่านเยื่อแผ่นเหลวการเกิดปฏิกิริยาไอออนโลหะ M^{n+} ที่อยู่ในสารละลายป้อน ทำปฏิกิริยากับสารสกัด RH ที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลว เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน MR_n และไฮโดรเนียมไอออน H^+ ดังสมการ 2.6 ซึ่งไฮโดรเนียมไอออนนั้นอยู่ในสารละลายป้อน และสารประกอบเชิงซ้อน MR_n อยู่ในเยื่อแผ่นเหลว



สารประกอบเชิงซ้อน (MR_n) ที่เกิดขึ้นนี้จะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวเนื่องจากผลต่างความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนเป็นแรงขับไปยังอีกด้านหนึ่งคือด้านผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับที่ผิวสัมผัสนี้ (MR_n) จะทำปฏิกิริยาแบบย้อนกลับกับไฮโดรเนียมไอออนที่อยู่ในสารละลายนำกลับเกิดเป็นไอออนโลหะออกมาอยู่ในสารละลายนำกลับดังสมการ 2.7 และได้สารสกัด (RH) กลับมาอีกครั้งซึ่งอยู่ในเยื่อแผ่นเหลวและแพร่กลับไปยังด้านสารละลายป้อนอีกเพื่อที่จะไปทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายป้อน วนเวียนเช่นนี้เรื่อยไป ดังรูปที่ 2.9



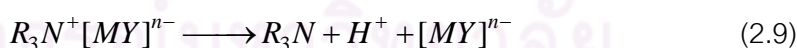
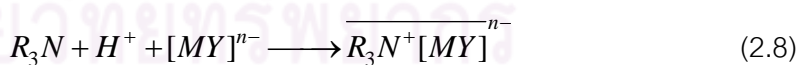
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



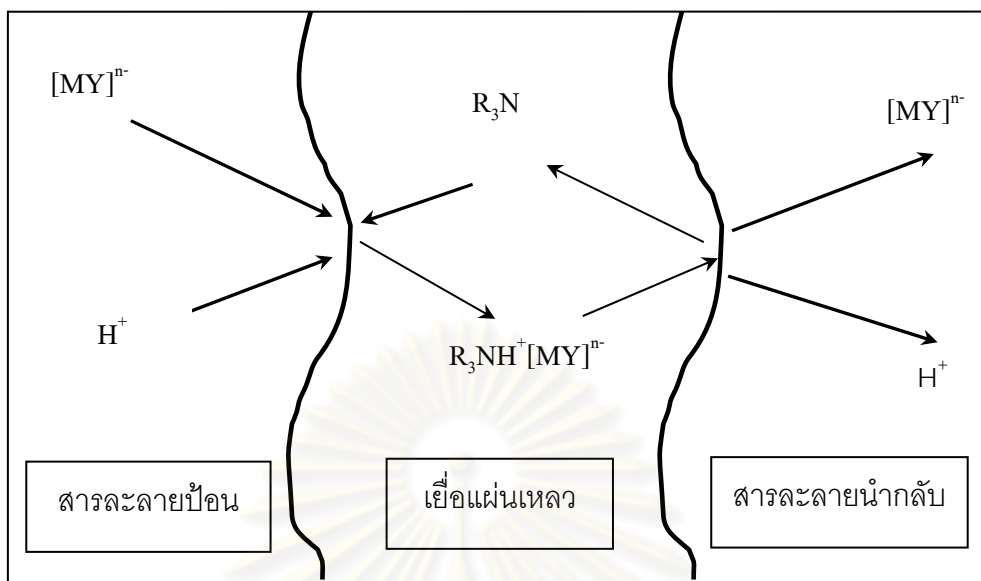
รูปที่ 2.9 แผนผังทิศทางการถ่ายเทของไอออนโลหะและไฮโดรเนียมไอออนของการถ่ายเทแบบสวนทาง

2.3.2. การถ่ายเทแบบไปทางเดียวกัน (Co-Transport)

การถ่ายเทชนิดไปทางเดียวกันนี้จะเกิดขึ้นเมื่อใช้สารสกัดชนิดที่เป็นเบส ไอออนของโลหะและ H^+ จะเคลื่อนที่ไปในทางเดียวกันกันผ่านเยื่อแผ่นเหลว ในการเกิดปฏิกิริยานั้น ทั้งไอออนโลหะที่อยู่ในรูปประจุลบ $[MY]^{n-}$ และไฮโดรเนียมไอออน H^+ ที่อยู่ในสารละลายป้อนทำปฏิกิริยากับสารสกัด R_3N ที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน $R_3NH^+[MY]^{n-}$ ดังสมการ 2.8 ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อน $R_3NH^+[MY]^{n-}$ อยู่ในเยื่อแผ่นเหลว



สารประกอบเชิงซ้อน $R_3NH^+[MY]^{n-}$ ที่เกิดขึ้นนี้จะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวเนื่องจากผลต่างความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนเป็นแรงขับไปยังอีกด้านหนึ่งคือด้านผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับที่ผิวสัมผัสนี้ สารประกอบเชิงซ้อน $R_3NH^+[MY]^{n-}$ จะทำปฏิกิริยาแบบย้อนกลับเกิดเป็นไอออนโลหะออกมาอยู่ในสารละลายนำกลับดังสมการ 2.9 และได้สารสกัด R_3N กลับมาอีกครั้งซึ่งอยู่ในเยื่อแผ่นเหลวและแพร่กลับไปยังด้านสารละลายป้อนอีกเพื่อที่จะไปทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายป้อนวนเวียนเช่นนี้เรื่อยไป ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แผนผังทิศทางการถ่ายเทของไอออนโลหะและไฮโดรเนียมไอออนของการถ่ายเทแบบ
ทางเดียวกัน

ขั้นตอนการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อแผ่นเหลวสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน (Ramakul and Panchareon, 2003)

- 1). การแพร่ของไอออนโลหะจากสารละลายป้อนไปยังผิวของเยื่อแผ่นเหลว
- 2). การเกิดปฏิกิริยาของไอออนโลหะกับสารสกัดเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ ผิวสัมผัสของสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว
- 3). การแพร่ของสารประกอบเชิงซ้อนจากผิวสัมผัสของผิวสัมผัสของสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปยังผิวสัมผัสของเยื่อแผ่นและสารละลายนำกลับ
- 4). การเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของสารประกอบเชิงซ้อนกลายเป็นไอออนโลหะและสารสกัดที่ผิวสัมผัสของเยื่อแผ่นและสารละลายนำกลับ
- 5). การแพร่ของไอออนโลหะจากผิวของเยื่อแผ่นเหลวไปยังสารละลายนำกลับ

บทที่ 3

สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงสารเคมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลองในแต่ละตัวแปรที่ทำการศึกษาการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติ โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

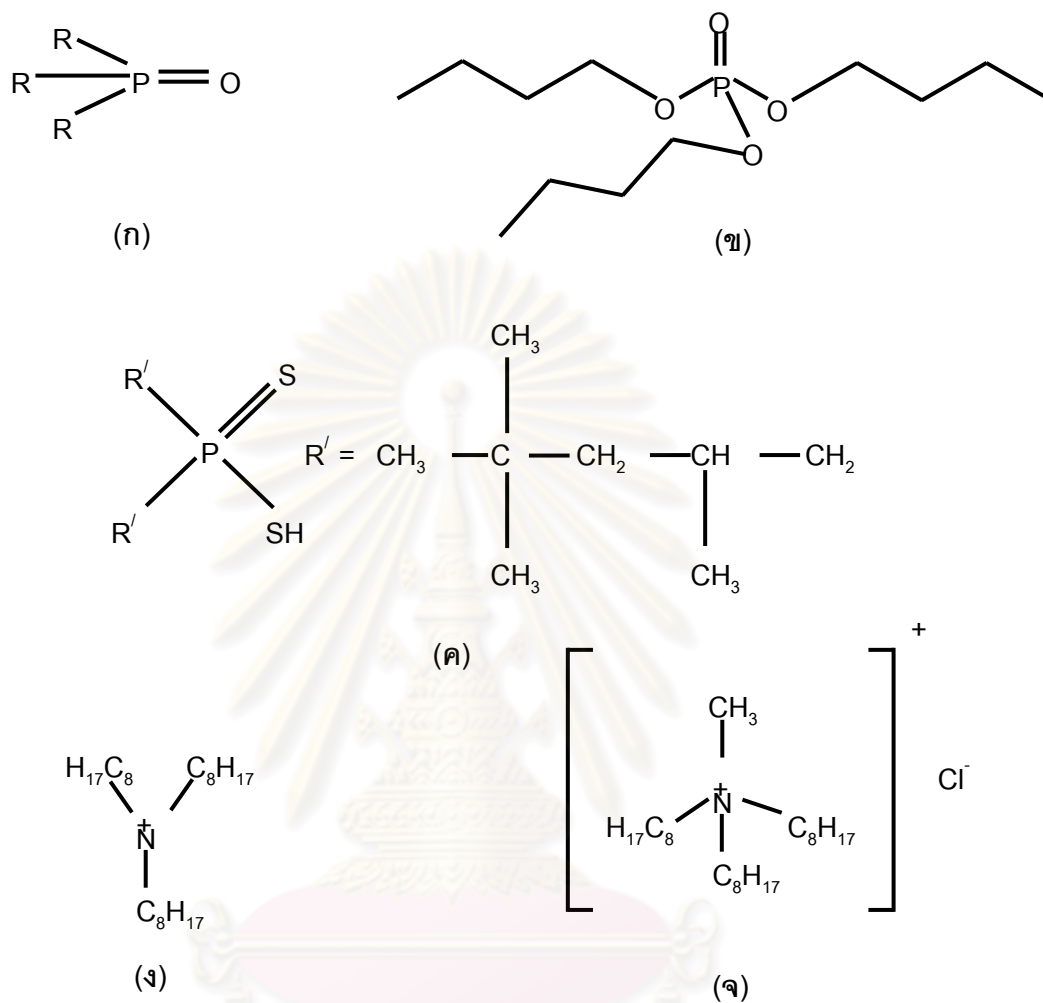
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้จะใช้สารละลายป้อนเป็นน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติซึ่งได้รับอนุเคราะห์มาจากบริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd. โดยจะใช้สารสกัด 5 ชนิด ได้แก่ Cyanex 923 (Mixture of Phosphine Oximes), TBP (Tri-n-Butylphosphate), Cyanex 301 (Dithiophosphinic Acid), TOA (Tri-n-Octylamine) และ Aliquat336 (Methyltrioctylammonium Chloride) ที่ละลายในตัวทำละลายเคโรซีน และสารนำกลับจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ละลายในน้ำกลั่น (Distillated water) เพื่อให้สารละลายเป็นเบสส่วนสารเคมีชนิดอื่น ๆ มีคุณภาพระดับที่ใช้ในห้องทดลอง (Analytical reagent) โดยตารางที่ 3.1 เป็นตารางสรุปรายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	ระดับคุณภาพ	บริษัท
สารละลายป้อน	น้ำทิ้งที่ได้จากหลุม ขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ	-	-	Pearl Oil (Thailand) Ltd.
สารสกัด	TBP	$(C_{12}H_{27})_3P$	Analytical	Merck
	Cyanex 923	$C_{24}H_{51}OP$	Analytical	Cytec
	TOA	$C_{24}H_{51}N$	Analytical	Merck
	Cyanex 301	$C_{16}H_{35}PS_2$	Analytical	Cytec
	Aliquat 336	$C_{25}H_{54}ClN$	Analytical	Merck
ตัวทำละลาย อินทรีย์	Kerosene	-	Analytical	ปตท.
สารละลาย นำกลับ	Sodium Hydroxide	NaOH	Analytical	J.K. Baker

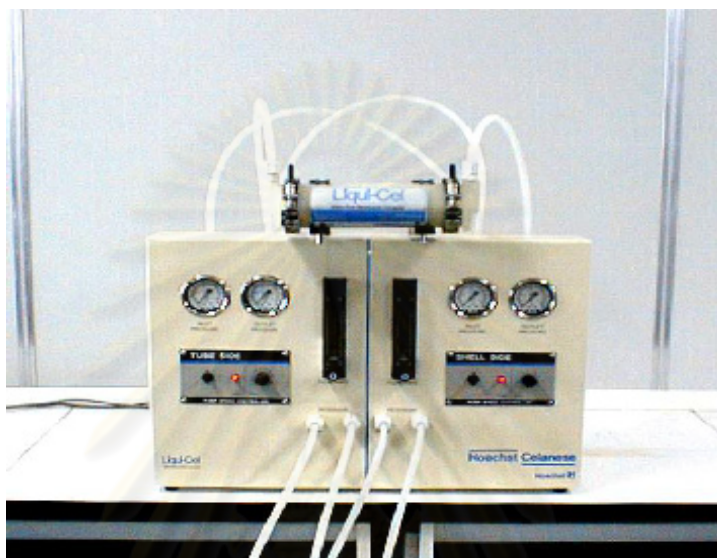
โดยโครงสร้างทางเคมีของสารสกัด Cyanex 923, TBP, Cyanex 301, TOA และ Aliquat 336 จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างทางเคมีของสารสกัดแต่ละชนิด (ก) Cyanex 923 (ข) TBP (ค) Cyanex 301 (ง) TOA (จ) Aliquat 336 โดยที่ R คือสารผสมของ C_6H_{13} และ C_8H_{17}

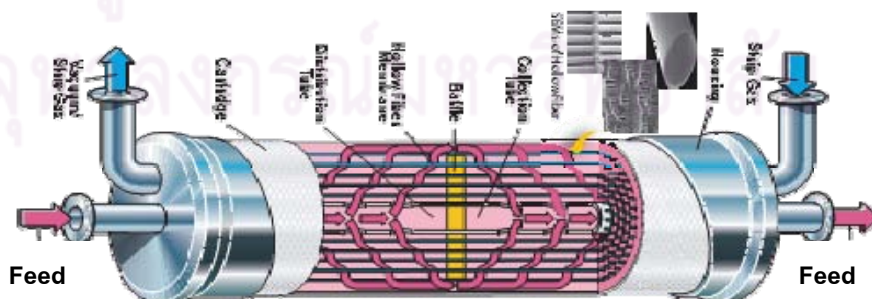
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1. ชุดทดลอง Liqui-Cel[®] Liquid/Liquid Extraction System รุ่น Cat. # 5PCM-106 ของบริษัท Hoechst Celanese Corporation ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยเครื่องสูบลม ชุดควบคุมความเร็ว มาตรวัดอัตราการไหล และมาตรวัดความดัน ทั้งหมดอย่างละ 2 ชุดเพื่อวัดในด้านฝั่งท่อ และฝั่งเปลือก



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ชุด Liqui-Cel[®] Laboratory ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 ตัวรองรับเส้นใยกลวง Celgard[®] x-30 240 Microporous Polypropylene Hollow Fiber ที่ประกอบเข้าด้วยกันเป็นโมดูลของเส้นใยกลวงแสดงดังรูปที่ 3.3 และคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.3 ตัวรองรับชนิดเส้นใยกลวง Celgard[®] x-30 240 Microporous Polypropylene Hollow Fibers

3.2.3 เครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES) Perkin Elmer model PLASMA-1000 เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิก

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของสมบัติต่าง ๆ ของชุดเส้นใยกลวง (เอกพิชญ์ ทรงคุณ, 2548)

สมบัติ	ชนิด / ขนาด
วัสดุเส้นใยกลวง	พอลิโพรพิลีน (Polypropylene)
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเส้นใยกลวง	240 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเส้นใยกลวง	300 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มีประสิทธิภาพ	0.05 ไมโครเมตร
ความพรุนของเส้นใยกลวง	30 %
ความดันแตกต่างสูงสุด	4.2 kg/cm ² (60 psi)
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	1.4 m ² (15.2 ft ²)
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ	29.3 cm ² /cm ³ (74.4 m ² / m ³)
ช่วงอุณหภูมิในการปฏิบัติการสูงสุด	1° C - 60° C
มิติของชุดเส้นใยกลวง (D x L)	8' 28 cm (2.5' 8 inch)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 923 ต่อร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมก้ำาธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อนโดยเป็นน้ำที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก้ำาธรรมชาติ (จาก บริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd.) โดยนำไปกรองผ่านสูญญากาศด้วยกระดาษกรองของ Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายนำกลับ ซึ่งเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เก็บตัวอย่างสารนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
3. เตรียมสารละลายอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลว โดยผสมสารสกัด Cyanex 923 ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าด ที่มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณ 1,500 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูพูนจุลภาคของเส้นใยกลวงโดยการป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปทางด้านท่อและทางด้านเปลือก และจะหยุดป้อนสารเมื่อสังเกตเห็นว่าระดับของสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในภาชนะเริ่มคงที่
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว ดังแสดงในรูป 3.4 เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายที่เวลา 50 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 923 ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าดเป็น 10, 20, 30, 33, 34, 36, 40, 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของไอออนสารหนูด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP- AES)

3.3.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด TBP ต่อร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อนโดยเป็นน้ำที่ได้มาจากหลุมชุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (จาก บริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd.) โดยนำไปกรองผ่านสุญญากาศด้วยกระดาษกรองของ Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายนำกลับ ซึ่งเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เก็บตัวอย่างสารนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
3. เตรียมสารละลายอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลว โดยผสมสารสกัด TBP ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าด ที่มีความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณ 1,500 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปทรงหลอดอากาศของเส้นใยกลวงโดยการป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปทางด้านท่อและทางด้านเปลือก และจะหยุดป้อนสารเมื่อสังเกตเห็นว่าระดับของสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในภาชนะเริ่มคงที่
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว ดังแสดงในรูป 3.4 เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายที่เวลา 50 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารสกัด TBP ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าดเป็น 1.5, 2, 2.2, 2.5, 3, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของไอออนสารหนูด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP- AES)

3.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 301 ต่อร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมกักขั้วธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อนโดยเป็นน้ำที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะกักขั้วธรรมชาติ (จาก บริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd.) โดยนำไปกรองผ่านสุญญากาศด้วยกระดาษกรองของ Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายนำกลับ ซึ่งเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เก็บตัวอย่างสารนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
3. เตรียมสารละลายอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลว โดยผสมสารสกัด Cyanex 301 ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าด ที่มีความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณ 1,500 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปทรงคุณภาพของเส้นใยกลวงโดยการป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปทางด้านท่อและทางด้านเปลือก และจะหยุดป้อนสารเมื่อสังเกตเห็นว่าระดับของสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในภาชนะเริ่มคงที่
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว ดังแสดงในรูป 3.4 เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายที่เวลา 50 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 301 ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าดเป็น 0.5, 1, 2, 4, 8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของไอออนสารหนูด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP- AES)

3.3.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด TOA ต่อร้อยละการสกัดและร้อยละน้ำหนักไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อนโดยเป็นน้ำที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (จาก บริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd.) โดยนำไปกรองผ่านสุญญากาศด้วยกระดาษกรองของ Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายนำกลับ ซึ่งเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เก็บตัวอย่างสารนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
3. เตรียมสารละลายอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลว โดยผสมสารสกัด TOA ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าด ที่มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรปริมาณ 1,500 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพหุอนุภาคของเส้นใยกลวงโดยการป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปทางด้านท่อและทางด้านเปลือก และจะหยุดป้อนสารเมื่อสังเกตเห็นว่าระดับของ สารละลายเยื่อแผ่นเหลวในภาชนะเริ่มคงที่
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว ดังแสดงในรูป 3.4 เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายที่เวลา 50 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารสกัด TOA เป็น 5 ,10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของไอออนสารหนูด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP- AES)

3.3.5 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ต่อการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อนโดยเป็นน้ำที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (จาก บริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd.) โดยนำไปกรองผ่านสุญญากาศด้วยกระดาษกรองของ Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายนำกลับ ซึ่งเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เก็บตัวอย่างสารนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
3. เตรียมสารละลายอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวโดยผสมสารสกัด Aliquat 336 ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าด ที่มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรปริมาณ 1,500 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปทรงหลอดอากาศของเส้นใยกลวงโดยการป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปทางด้านท่อและทางด้านเปลือก และจะหยุดป้อนสารเมื่อสังเกตเห็นว่าระดับของสารละลายเยื่อแผ่นเหลวในภาชนะเริ่มคงที่
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว ดังแสดงในรูป 3.4 เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายที่เวลา 50 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 เป็น 10, 20, 30, 33, 35, 37, 40, 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของไอออนสารหนูด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP- AES)

3.3.6 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับต่อการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อนโดยเป็นน้ำที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (จาก บริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd) โดยนำไปกรองผ่านสูญญากาศด้วยกระดาษกรองของ Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายนำกลับ ซึ่งเป็นสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตรเก็บตัวอย่างสารนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
3. เตรียมสารละลายอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลว โดยผสมสารสกัด Aliquat 336 ที่มีความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าดเข้าด้วยกัน ปริมาณ 1,500 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพูนจุลภาคของเส้นใยกลวงโดยการป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปทางด้านท่อและทางด้านเปลือก และจะหยุดป้อนสารเมื่อสังเกตเห็นว่าระดับของ สารละลายเยื่อแผ่นเหลวในภาชนะเริ่มคงที่
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว ดังแสดงในรูป 3.4 เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายที่เวลา 50 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.1 ,0.3, 0.5, 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนสารหนูด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP- AES)

3.3.7 ศึกษาผลของอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

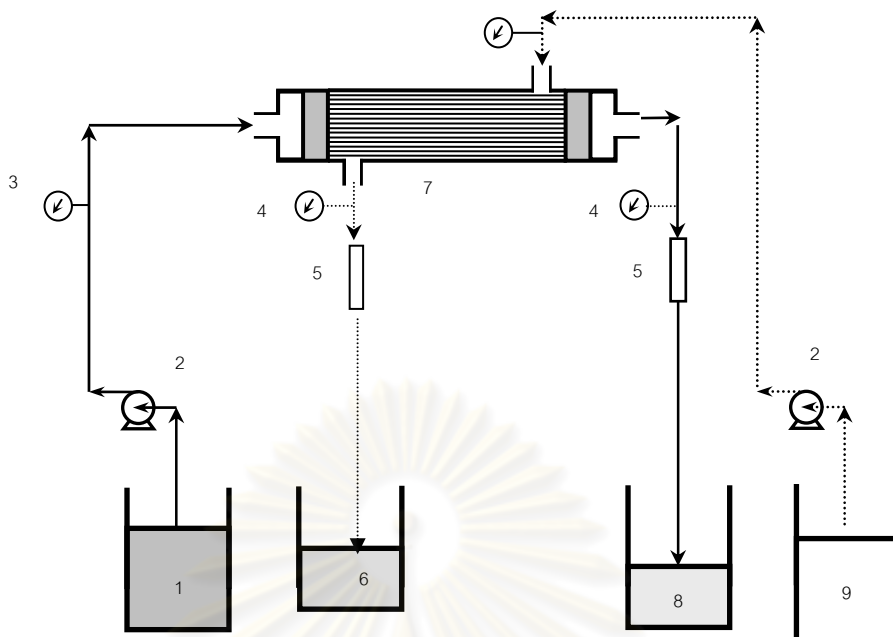
1. เตรียมสารละลายป้อนโดยเป็นน้ำที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (จาก บริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd.) โดยนำไปกรองผ่านสุญญากาศด้วยกระดาษกรองของ Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายนำกลับ ซึ่งเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตรเก็บตัวอย่างสารนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
3. เตรียมสารละลายอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลว โดยผสมสารสกัด Aliquat 336 ที่มีความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าดเข้าด้วยกัน ปริมาณ 1,500 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปอนุภาคของเส้นใยกลวงโดยการป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปทางด้านท่อและทางด้านเปลือก และจะหยุดป้อนสารเมื่อสังเกตเห็นว่าระดับของ สารละลายเยื่อแผ่นเหลวในภาชนะเริ่มคงที่
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว ดังแสดงในรูป 3.4 เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายที่เวลา 50 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเป็น 150, 200, 250, 300 มิลลิลิตรต่อนาทีตามลำดับนำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของไอออนสารหนู ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP- AES)

3.3.8 ศึกษาผลของจำนวนรอบในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงต่อการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อนโดยเป็นน้ำที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (จาก บริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd.) โดยนำไปกรองผ่านสุญญากาศด้วยกระดาษกรองของ Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายนำกลับ ซึ่งเป็นสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตรเก็บตัวอย่างสารนำกลับเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
3. เตรียมสารละลายอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวโดยผสมสารสกัด Aliquat 336 ที่มีความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าดเข้าด้วยกัน ปริมาณ 1,500 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพุนจลภาคของเส้นใยกลวงโดยการป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปทางด้านท่อและทางด้านเปลือก และจะหยุดป้อนสารเมื่อสังเกตเห็นว่าระดับของ สารละลายเยื่อแผ่นเหลวในภาชนะเริ่มคงที่
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว ดังแสดงในรูป 3.4 เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายที่เวลา 50 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์
5. นำสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงแล้วในการทดลองในข้อ (4) นำมาผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงใหม่อีกครั้งในรอบที่ 2, 3 และ 4 เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายนำกลับขาออกสุดท้ายที่เวลา 50 นาทีนำไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิก ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES)

3.3.9 ศึกษาผลของการนำสารละลายน้ำหนักที่ใช้แล้วน้ำหนักกลับมาใช้ใหม่ต่อการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

1. เตรียมสารละลายป้อนโดยเป็นน้ำที่ได้มาจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (จาก บริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd.) โดยนำไปกรองผ่านสุญญากาศด้วยกระดาษกรองของ Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายน้ำหนัก ซึ่งเป็นสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตรเก็บตัวอย่างสารน้ำหนักเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
3. เตรียมสารละลายอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวโดยผสมสารสกัด Aliquat 336 ที่มีความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในตัวทำละลายน้ำมันก๊าดเข้าด้วยกัน ปริมาณ 1,500 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูพรุนจุดภาคของเส้นใยกลวงโดยการป้อนสารละลายเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปทางด้านท่อและทางด้านเปลือก และจะหยุดป้อนสารเมื่อสังเกตเห็นว่าระดับของ สารละลายเยื่อแผ่นเหลวในภาชนะเริ่มคงที่
4. ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายน้ำหนักเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายน้ำหนักเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกันและไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว ดังแสดงในรูป 3.4 เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายน้ำหนักขาออกสุดท้ายที่เวลา 50 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์
5. นำสารละลายป้อนและสารละลายน้ำหนักที่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงแล้วในการทดลองในข้อ (4) นำมาผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงใหม่ 12 รอบ โดยเปลี่ยนสารละลายป้อนใหม่และสารสกัด Aliquat 336 ใหม่ทุก ๆ 3 รอบ เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายน้ำหนักขาออกสุดท้ายไปวิเคราะห์หา ค่าความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิก ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP- AES)



รูปที่ 3.4 การปฏิบัติการไหลในลักษณะไหลผ่านครั้งเดียว (One-Through Mode)

ซึ่งของไหลในระบบการมีทิศทางการไหลแบบสวนทางกันในชุดอุปกรณ์เส้นใยกลวง

- โดยที่
- | | |
|-------------------------|--------------------------------|
| 1 = ถังป้อนขาเข้า | 6 = ถังของสารละลายนำกลับขาออก |
| 2 = ปั๊มสูบ | 7 = ชุดอุปกรณ์เส้นใยกลวง |
| 3 = เกจวัดความดันขาเข้า | 8 = ถังของสารป้อนขาออก |
| 4 = เกจวัดความดันขาออก | 9 = ถังของสารละลายนำกลับขาเข้า |
| 5 = มาตรวัดอัตราการไหล | |

ศูนย์บริษัทยาพยาบาล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมธรรมชาติโดยใช้วิธีเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยมีปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ชนิดของสารสกัดเยื่อแผ่นเหลว ความเข้มข้นของสารสกัดเยื่อแผ่นเหลว ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายนำกลับ อัตราการไหลที่เท่ากันของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ จำนวนรอบในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงและการนำสารละลายนำกลับที่ใช้น้ำนำกลับมาใช้ใหม่

โดยองค์ประกอบของไอออนต่าง ๆ ของน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติที่ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัท Peral Oil (Thailand) Ltd. จะนำมาวิเคราะห์ไอออนอาร์ซีนิกและสิ่งเจือปนอื่น ๆ ได้แก่ ไอออนเหล็ก, ไอออนแมกนีเซียม, ไอออนแคลเซียมและไอออนโซเดียม ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES) ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบไอออนต่าง ๆ ของน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติที่ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัท Pearl Oil (Thailand) Ltd.

องค์ประกอบ	mg/dm ³ (ppm)
As	1.2842
Fe	0.8642
Mg	21.364
Ca	94.364
Na	621.364

จากตารางที่ 4.1 จะพบว่า ไอออนอาร์ซีนิกมีความเข้มข้น 1.2842 ส่วนในล้านส่วน, ไอออนเหล็กมีความเข้มข้น 0.8642 ส่วนในล้านส่วน, ไอออนแมกนีเซียมมีความเข้มข้น 21.364 ส่วนในล้านส่วน, ไอออนแคลเซียมมีความเข้มข้น 94.364 ส่วนในล้านส่วนและไอออนโซเดียมมีความเข้มข้น 621.364 ส่วนในล้านส่วน

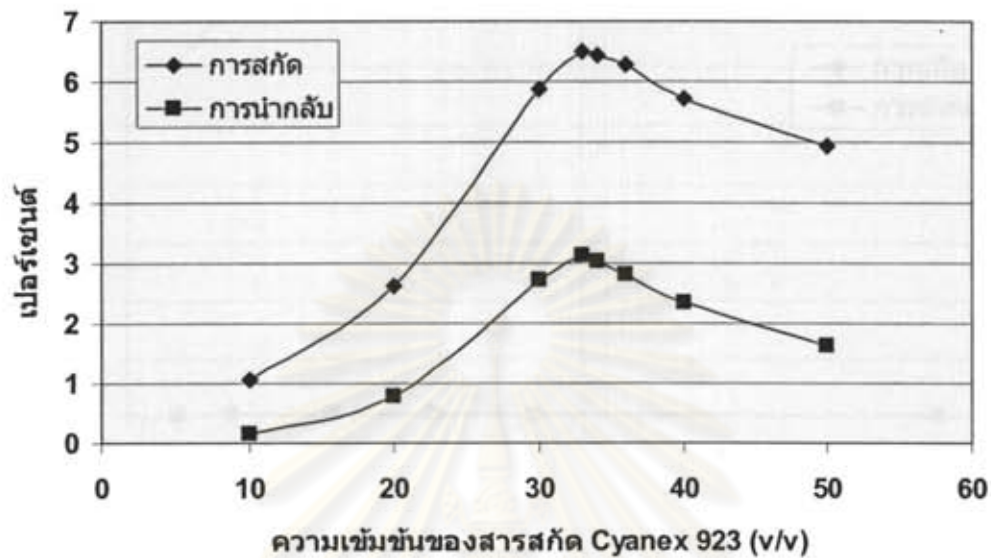
โดยค่า pH ของน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติจะทำการวัดด้วยเครื่อง pH-Meter HI8418A, Hanna Instrument จะพบว่าจะมีค่า pH อยู่ประมาณ 6-6.3 ดังนั้นจากรูปที่ 1.1 และ 1.2 ไอออนอาร์ซีนิกที่มีประจุ +3 ในเฟสของสารละลายป้อนจะอยู่ในรูปของ Arsenious Acid (H_3AsO_3), และไอออนอาร์ซีนิกที่มีประจุ +5 จะอยู่ในรูปของ $H_2AsO_4^-$ และ $HAsO_4^{2-}$ (Wilson, S.D., 2007)

4.1 ผลที่ได้จากการทดลอง

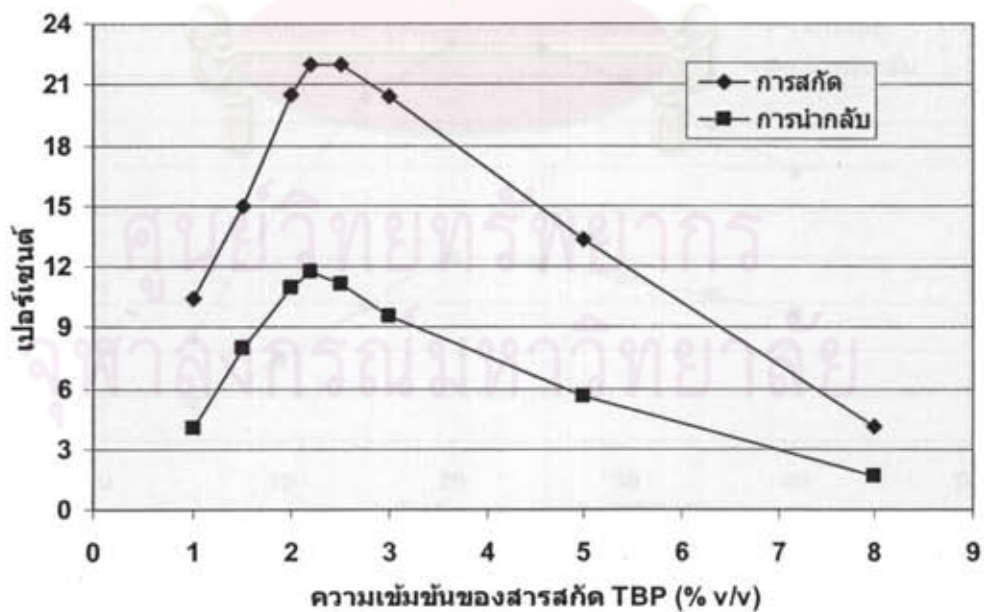
4.1.1 ผลของความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 923, TBP, Cyanex 301, TOA และ Aliquat 336 ต่อการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

การทดลองนี้จะเป็นการศึกษาชนิดของสารสกัดและความเข้มข้นของสารสกัด ที่มีผลต่อการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติ โดยประเภทของสารสกัดที่ใช้ในการทดลองนั้นจะสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทคือ สารสกัดชนิดที่เป็นกลาง, เป็นกรด และเป็นเบสโดยสารสกัด Cyanex 923 และสารสกัด TBP จะเป็นสารสกัดชนิดเป็นกลาง, สารสกัด Cyanex 301 จะเป็นสารสกัดชนิดเป็นกรด และ สารสกัดที่เป็นเบสคือ สารสกัด TOA และ Aliquat 336 โดยในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อค้นหาสารสกัดสำหรับเยื่อแผ่นเหลวที่สามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้ดีที่สุด โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารสกัดแต่ละชนิดเพื่อคำนวณร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับของไอออนอาร์ซีนิก จากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ซึ่งในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารสกัดแต่ละชนิดดังต่อไปนี้ ความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 923 เป็น 10, 20, 30, 33, 34, 36, 40, 50 ตามลำดับ, ความเข้มข้นของสารสกัด TBP เป็น 1, 1.5, 2, 2.2, 2.5, 3, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ, ความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 301 เป็น 0.5, 1, 2, 4, 8 ตามลำดับ, ความเข้มข้นของสารสกัด TOA เป็น 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ และความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 เป็น 10, 20, 25, 30, 33, 35, 37, 40, 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ โดยสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองเป็นดังนี้ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับเป็น 100 มิลลิลิตรต่ออนาที, ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลต่อลิตร สำหรับรูปแบบการทดลองจะเป็นการไหลแบบสวนทางกันและเป็นการไหลผ่านครั้งเดียว แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร

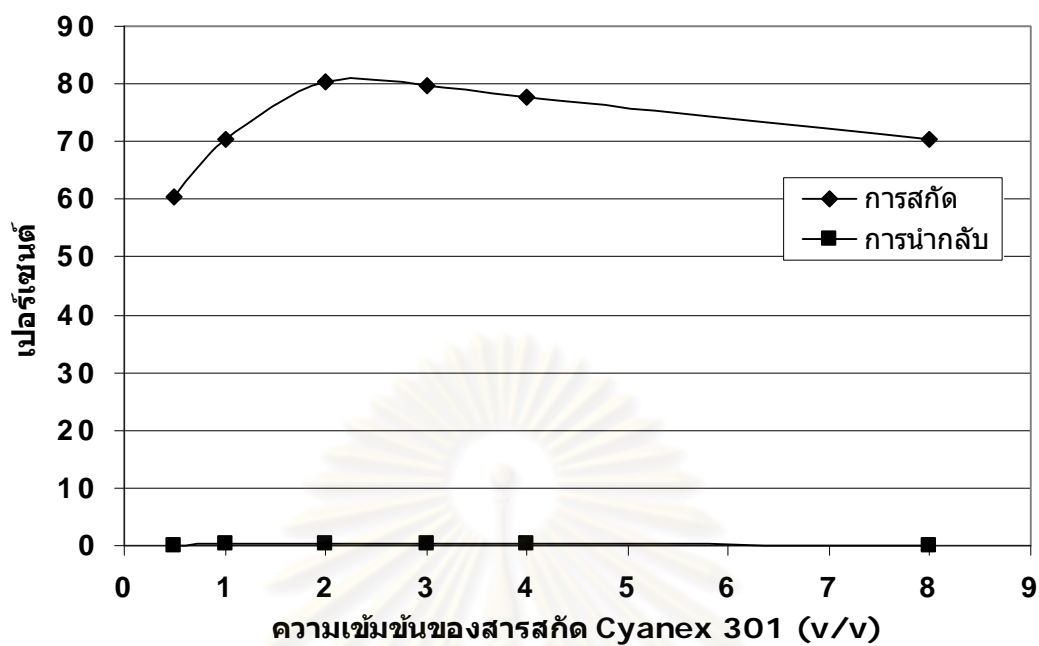
สกัด Cyanex 923, TBP, Cyanex 301, TOA และ Aliquat 336 กับร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไอออนอารซีนิก ในรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ตามลำดับ



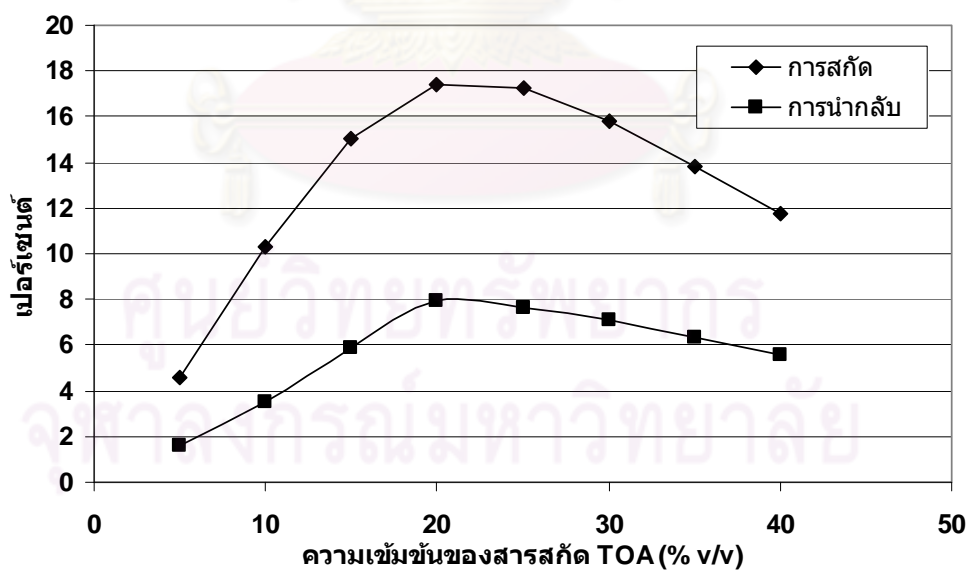
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 923 กับร้อยละการสกัด (% Extraction) และร้อยละการนำกลับ (% Recovery)



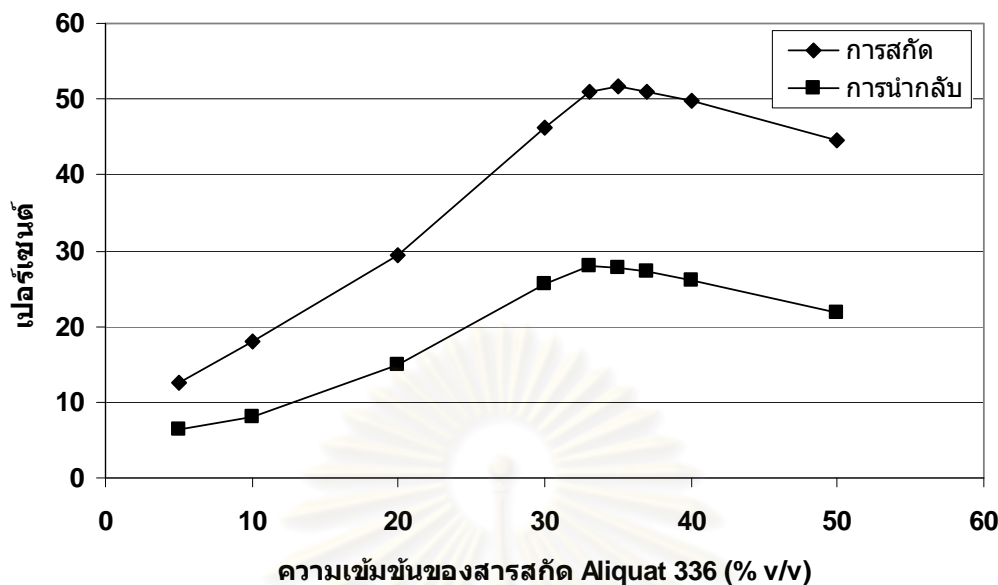
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด TBP กับร้อยละการสกัด (% Extraction) และร้อยละการนำกลับ (% Recovery)



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด Cyanex 301 กับร้อยละการสกัด (% Extraction) และร้อยละการนำกลับ (% Recovery)



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น TOA กับร้อยละการสกัด (% Extraction) และร้อยละการนำกลับ (% Recovery)



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 กับร้อยละการสกัด (% Extraction) และร้อยละการนำกลับ (% Recovery)

โดยรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 จะพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเยื่อแผ่นเหลว ในช่วงแรกจะสามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้มากขึ้น โดยสารสกัด Cyanex 923 จะสามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้มากขึ้นในช่วง 10 – 33 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, สารสกัด TBP จะสามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้มากขึ้นในช่วง 1 – 2.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, สารสกัด Cyanex 301 จะสามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้มากขึ้นในช่วง 0.5 – 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, สารสกัด TOA จะสามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้มากขึ้นในช่วง 5 – 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และสารสกัด Aliquat 336 จะสามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้มากขึ้นในช่วง 5 – 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้จากทฤษฎีของเฮนรีหลุยส์ เลอชาเตอริเยร์ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้น เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้นไอออนอาร์ซีนิกเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารสกัดกับไอออนอาร์ซีนิกในน้ำทิ้งมากขึ้น จึงทำให้ไอออนอาร์ซีนิกถูกสกัดมากขึ้นและทำให้เกิดการนำกลับมากขึ้นเช่นกัน และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 จะพบอีกว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเยื่อแผ่นเหลวขึ้นไปอีกจะทำให้ร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับลดลง โดยสารสกัด Cyanex 923 จะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 33 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, สารสกัด TBP จะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 2.2

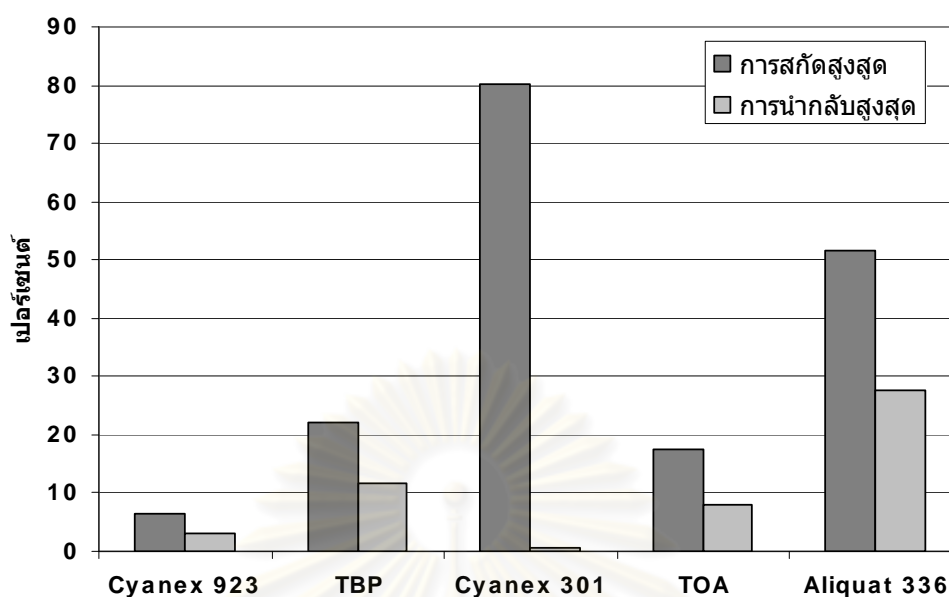
เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, สารสกัด Cyanex 301 จะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, สารสกัด TOA จะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และสารสกัด Aliquat 336 จะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจะทำให้เยื่อแผ่นเหลวจะมีความหนืดสูงขึ้น (Luccio et al., 2000) ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนแพร่ได้ช้าลง หรืออีกนัยหนึ่งคือ ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient, D') ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารสกัดกับไอออนโลหะที่ละลายในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวมีค่าน้อยลง ดังสมการของ Stokes และ Einestien (Schulz, 1988; Cussler, 1997) ดังนี้

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r} \quad (4.5)$$

เมื่อ k_B คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว π คือ ค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.1416 η คือ ความหนืดของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว r คือ รัศมีของโมเลกุลของสารที่แพร่ผ่าน เมื่อสารประกอบเชิงซ้อนแพร่ได้ช้าลง จึงยังมีสารประกอบเชิงซ้อนบางส่วนที่ยังเกาะอยู่ที่ผิวสัมผัสทำให้ไอออนอาร์ซีนิกทำปฏิกิริยากับสารสกัดตรงบริเวณนั้นไม่ได้ ทำให้ไอออนอาร์ซีนิกที่ถูกทำปฏิกิริยามีจำนวนเท่าเดิมถึงแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดก็ตามจึงทำให้ร้อยละการสกัดลดลง

จากผลการทดลองที่ผ่านมาจะสามารถหอร้อยละการสกัดสูงสุดสำหรับการสกัดไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติได้ ซึ่งสารสกัด Cyanex 923, TBP, Cyanex 301, TOA, Aliquat 336 จะมีร้อยละการสกัดสูงสุดอยู่ที่ความเข้มข้น 33, 2.2, 2, 20, 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ของร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับสูงสุดจะแสดงได้ดังรูปที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสกัดสูงสุด (Maximum Extraction) และร้อยละการนำกลับสูงสุด (Maximum Recovery) กับสารสกัด Cyanex 923, TBP, TOA, Cyanex 301, Aliquat 336

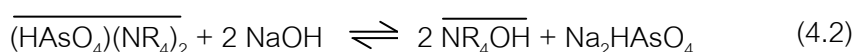
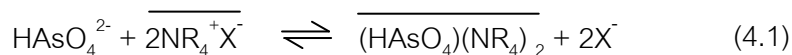
จากรูปที่ 4.6 เมื่อพิจารณาสารสกัดชนิดที่เป็นกลาง ได้แก่ สารสกัด Cyanex 923 และ สารสกัด TBP จะพบว่าร้อยละการสกัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 6.506 และ 21.9945 ตามลำดับ ส่วนร้อยละการนำกลับสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 3.1164 และ 11.7024 ตามลำดับ และจะพบอีกว่าสารสกัด TBP จะมีร้อยละการสกัดสูงสุดและร้อยละการนำกลับสูงสุดมากกว่าสารสกัด Cyanex 923 ที่เป็นเช่นนี้อาจจะสามารถอธิบายได้ว่าสารสกัด Cyanex 923 สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด (Wisniewski, 1997) เพราะจากงานวิจัยที่ผ่านมา (Wisniewski, 1997; Prapasawat et al., 2007) ได้มีศึกษาการสกัดไอออนอาร์ซีนิกที่สังเคราะห์ขึ้นเอง ออกจากสารละลายกรดซัลฟิวริก ในการศึกษาพบว่าสารสกัด Cyanex 923 สามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้ดีมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายป้อนมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลของร้อยละการสกัดสูงสุดและร้อยละการนำกลับสูงสุดของสารสกัดชนิดที่เป็นกลาง ก็ยังไม่ดีพอที่จะกำจัดไอออนอาร์ซีนิกออกจากหลุมก๊าซธรรมชาติได้ เนื่องจากสารสกัดชนิดที่เป็นกลางจะเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบที่ไม่มีไอออน (Porter, 1990) ดังนั้นสารสกัดชนิดที่เป็นกลางจะทำปฏิกิริยากับกับกรดอาซีนิกที่ไม่แตกตัว (H_3AsO_3) เท่านั้น จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมสารสกัดชนิดที่เป็นกลางจึงสกัดไอออนอาร์ซีนิกได้น้อยกว่าสารสกัดชนิดอื่น ๆ

สำหรับสารสกัดชนิดที่เป็นกรด (Cyanex 301) เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.6 จะพบว่า มีร้อยละการสกัดที่สูงมากซึ่งมีค่าเท่ากับ 80.20 แต่ในขณะเดียวกันร้อยละการนำกลับจะมีค่าต่ำมากซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0.49 ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่า สารสกัด Cyanex 301 มีความเป็นกรดที่สูงมากจึงเป็นผลทำให้สารละลายป้อนที่มาสัมผัสกับไอออนอาซีนิกมีความเป็นกรดสูงมากขึ้นเช่นเดียวกัน จึงทำให้สารประกอบไอออนอาร์ซีนิก (III) ในสารละลายป้อนเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีไอออนเป็นบวก (AsO^+) (Iberhan and Wisniewski, 2004) ซึ่งพร้อมที่จะทำปฏิกิริยากับสารสกัดชนิดที่เป็นกรดได้ จึงเป็นผลทำให้ร้อยละการสกัดมีค่าสูงมากนั่นเอง แต่เมื่อพิจารณาร้อยละการนำกลับของสารสกัด Cyanex 301 แล้วจะพบว่า มีค่าต่ำมากเนื่องจากการสกัดชนิดนี้จับกับไอออนอาร์ซีนิกได้ดีและจับกับแน่นมาก (Van de Voorde et al., 2004) จนเป็นผลทำให้การนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้ยากมากเช่นเดียวกัน

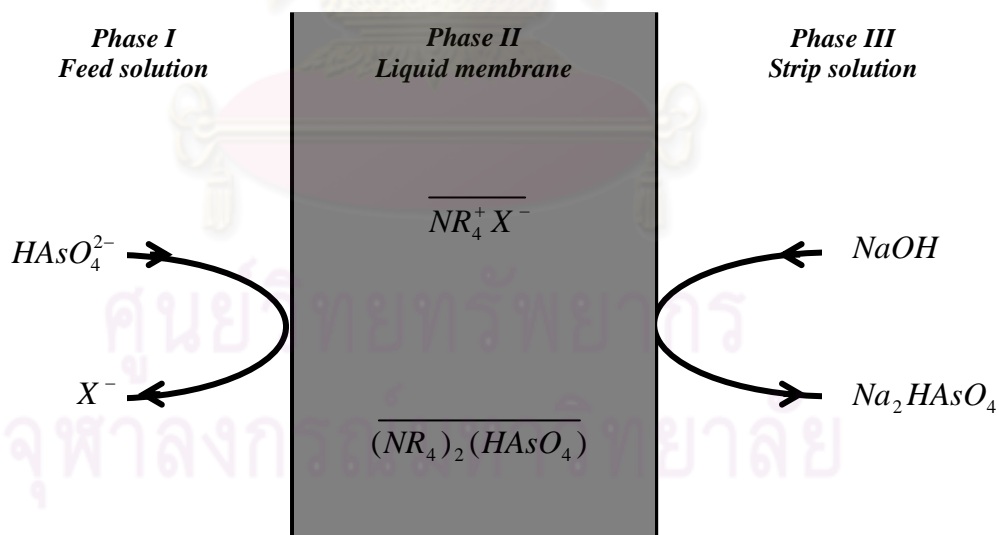
เมื่อพิจารณาสารสกัดชนิดที่เป็นเบส ได้แก่ TOA และ Aliquat 336 จะพบว่าร้อยละการสกัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 17.40 และ 7.954 ตามลำดับ ส่วนร้อยละการนำกลับสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 51.593 และ 27.682 ตามลำดับ โดยร้อยละการสกัดสูงสุดและร้อยละการนำกลับสูงสุดของสารสกัด Aliquat 336 จะมีค่ามากกว่าสารสกัด TOA ทั้ง ๆ ที่เป็นสารสกัดชนิดเบสเช่นเดียวกัน ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่า สารสกัด Aliquat 336 เป็นสารสกัดชนิดควาเตอรารีแอมีน (Quaternary Amine) ดังนั้นจึงมีความเป็นเบสมากกว่าสารสกัด TOA ซึ่งเป็นสารสกัดควอร์เทอรารีแอมีน (Tertiary Amine) จึงทำให้สารสกัด Aliquat 336 สามารถสกัดสารประกอบที่อยู่รูปของกรดอาร์ซีนิกที่แตกตัว (H_3AsO_3) และสามารถสกัดสารประกอบเชิงซ้อนที่อยู่ในรูปของกรดอาร์ซีนิกที่ไม่แตกตัวได้ (H_2AsO_4^- และ HAsO_4^{2-}) ได้ (Juang and Wu, 1999) จึงเป็นผลทำให้สารสกัด Aliquat 336 สามารถสกัดสารประกอบเชิงซ้อนอาร์ซีนิกและสารประกอบอาร์ซีนิกได้ทั้งหมด แต่สารสกัด TOA สามารถสกัดสารประกอบที่อยู่ในรูปของกรดอาร์ซีนิกที่ไม่แตกตัว (Undissociate acid) ได้เท่านั้น (Juang and Wu, 1999) จึงไม่สามารถสกัดสารประกอบที่อยู่ในรูปของกรดอาร์ซีนิกที่แตกตัว (H_3AsO_3) ได้ ดังนั้นร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับของสารสกัด TOA จึงน้อยกว่า สารสกัดของ Aliquat 336

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.6 จึงสรุปได้ว่า สารสกัด Aliquat 336 มีร้อยละการสกัดสูงสุดและร้อยละการนำกลับสูงสุดที่เหมาะสมกับการกำจัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกที่ได้จากหลุมก้ำธรรมชาติมากที่สุด ดังนั้นในการทดลองในขั้นต่อไปจะใช้สารสกัด Aliquat 336 ที่มีความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

สำหรับสมการการสกัดระหว่างไอออนอาร์ซีนิกที่อยู่ในรูปของสารประกอบ HAsO_4^{2-} กับสารสกัด Aliquat 336 และสมการการนำกลับที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะแสดงไว้ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ (ขวัญฤตา, 2004)

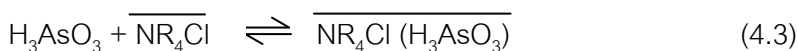


จากสมการที่ 4.1 และ 4.2 จะเป็นการถ่ายโอนมวลแบบไปทางเดียวกัน (Co-Transport) โดยแรงขับเคลื่อนของกระบวนการนี้จะเป็นความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ซึ่งจะเป็นการถ่ายเทแบบสวนทางกันไอออนอาร์ซีนิก โดยไฮโดรเนียมไอออนและไอออนอาร์ซีนิกจะแพร่ผ่านไปทางเดียวกัน ซึ่งไอออนอาร์ซีนิกจากสารละลายป้อนจะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน $\overline{(\text{HAsO}_4)(\text{NR}_4)_2}$ ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว ส่วนในสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์จะจับกับสารประกอบเชิงซ้อนไอออนอาร์ซีนิกเกิดเป็น Na_2HAsO_4 ในวัฏภาคสารละลายนำกลับ และเกิดเป็น $\overline{\text{NR}_4\text{OH}}$ ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวเพื่อนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายป้อนอีกครั้งดังรูปที่ 4.7

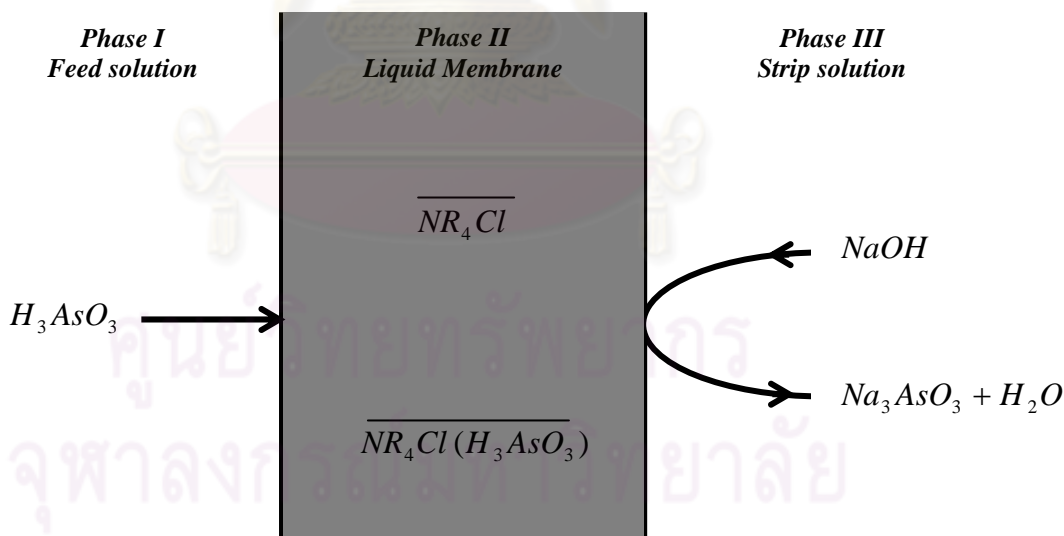


รูปที่ 4.7 แสดงภาพการถ่ายโอนมวลแบบสวนทางกัน (Counter Transport) ของสารประกอบไอออนอาร์ซีนิก HAsO_4^{2-} กับสารสกัด Aliquat 336 (X^- ในการถ่ายเทครั้งที่ 1 คือ Cl^- , X^- ในการถ่ายเทครั้งต่อไป คือ OH^-)

ส่วนสมการการสกัดระหว่างไอออนอาร์ซีนิกที่อยู่ในรูปของสารประกอบ H_3AsO_3 กับสารสกัด Aliquat 336 และสมการการนำกลับที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะแสดงไว้ดังสมการที่ 4.3 และ 4.4 (Juang and Wu, 1999)

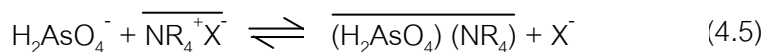


จากสมการที่ 4.3 และ 4.4 จะเป็นการถ่ายโอนมวลแบบไปทางเดียวกันแบบไปทางเดียวกัน (Co-Transport) แรงขับเคลื่อนของกระบวนการนี้จะเป็นไฮโดรเนียมไอออนซึ่งจะแพร่ผ่านไปทางเดียวกันกับไอออนอาร์ซีนิก โดยไอออนอาร์ซีนิกจากสารละลายป้อนจะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน $\overline{NR_4Cl(H_3AsO_3)}$ ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว ส่วนในสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์จะจับกับสารประกอบเชิงซ้อนไอออนอาร์ซีนิกเกิดเป็น Na_3AsO_3 และ H_2O ในวัฏภาคสารละลายนำกลับ และเกิดเป็น $\overline{NR_4Cl}$ ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวเพื่อนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายป้อนอีกครั้งดังรูปที่ 4.8

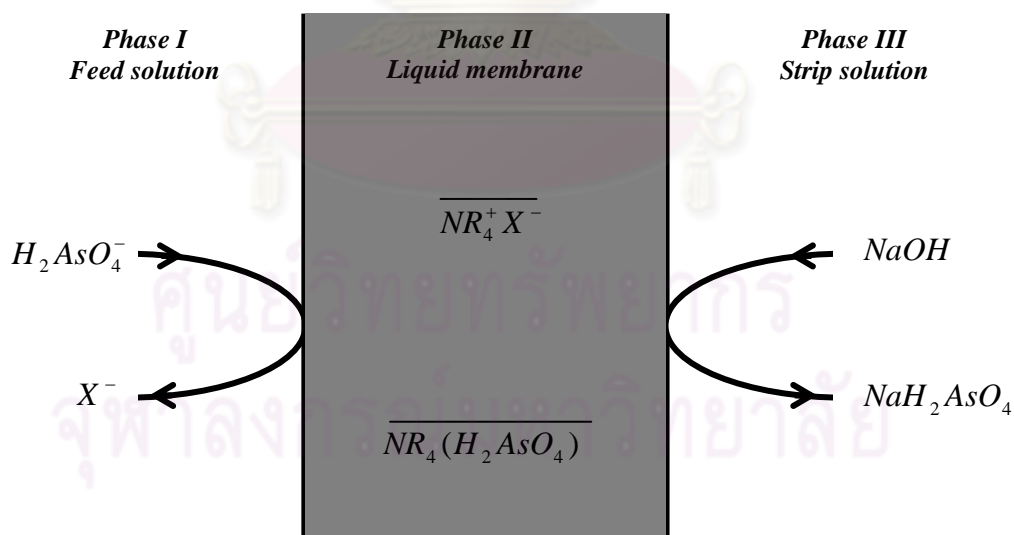


รูปที่ 4.8 แสดงภาพการถ่ายโอนมวลแบบสวนทางกัน (Counter Transport) ของสารประกอบไอออนอาร์ซีนิก H_3AsO_3 กับสารสกัด Aliquat 336

สำหรับสมการการสกัดระหว่างไอออนอาร์ซีนิกที่อยู่ในรูปของสารประกอบ $H_2AsO_4^-$ กับสารสกัดเมทริวไทรออกทริวแอมโมเนียมคลอไรด์ (Aliquat 336) และสมการการนำกลับที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะแสดงไว้ดัง สมการที่ 4.5 และ 4.6 (Ramakul et al., 2004)



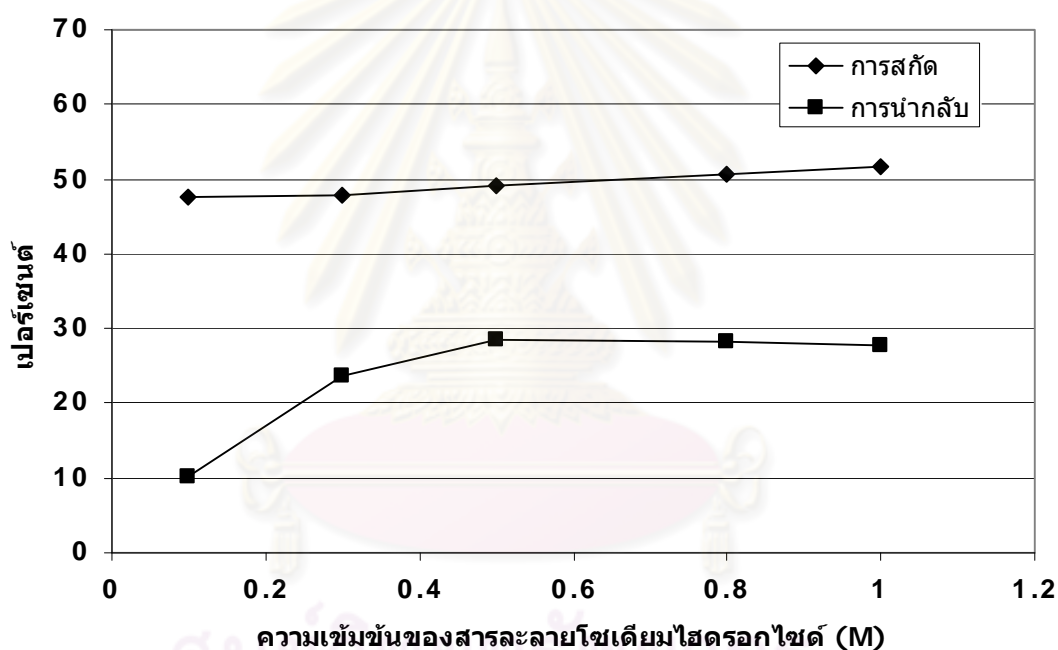
จากสมการที่ 4.5 และ 4.6 จะเป็นการถ่ายโอนมวลแบบไปทางเดียวกันแบบไปทางเดียวกัน (Co-Transport) โดยแรงขับเคลื่อนของกระบวนการนี้จะเป็นความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ซึ่งจะเป็นการถ่ายเทแบบสวนทางกันไอออนอาร์ซีนิก โดยไฮโดรเนียมไอออนและไอออนอาร์ซีนิกจะแพร่ผ่านไปทางเดียวกัน ซึ่งไอออนอาร์ซีนิกจากสารละลายป้อนจะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน $\overline{NR_4(H_2AsO_4)}$ ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว ส่วนในสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์จะจับกับสารประกอบเชิงซ้อนไอออนอาร์ซีนิกเกิดเป็น NaH_2AsO_4 ในวัฏภาคสารละลายนำกลับ และเกิดเป็น $\overline{NR_4OH}$ ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวเพื่อนำกลับไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายป้อนอีกครั้งดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงภาพการถ่ายโอนมวลแบบสวนทางกัน (Counter Transport) ของสารประกอบไอออนอาร์ซีนิก $H_2AsO_4^-$ กับสารสกัด Aliquat 336 (X^- ในการถ่ายเทครั้งที่ 1 คือ Cl^- , X^- ในการถ่ายเทครั้งต่อไป คือ OH^-)

4.1.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำกลัซโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการนำกลัซโซเดียมไฮดรอกไซด์จากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาการนำกลัซโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำกลัซโซเดียมไฮดรอกไซด์ตั้งแต่ 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1 โมลต่อลิตร และกำหนดสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองดังนี้ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายน้ำกลัซโซเดียมเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 เท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยแสดงความระหว่างความเข้มข้นของสารน้ำกลัซโซเดียมไฮดรอกไซด์กับร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลัซโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในรูปที่ 4.10



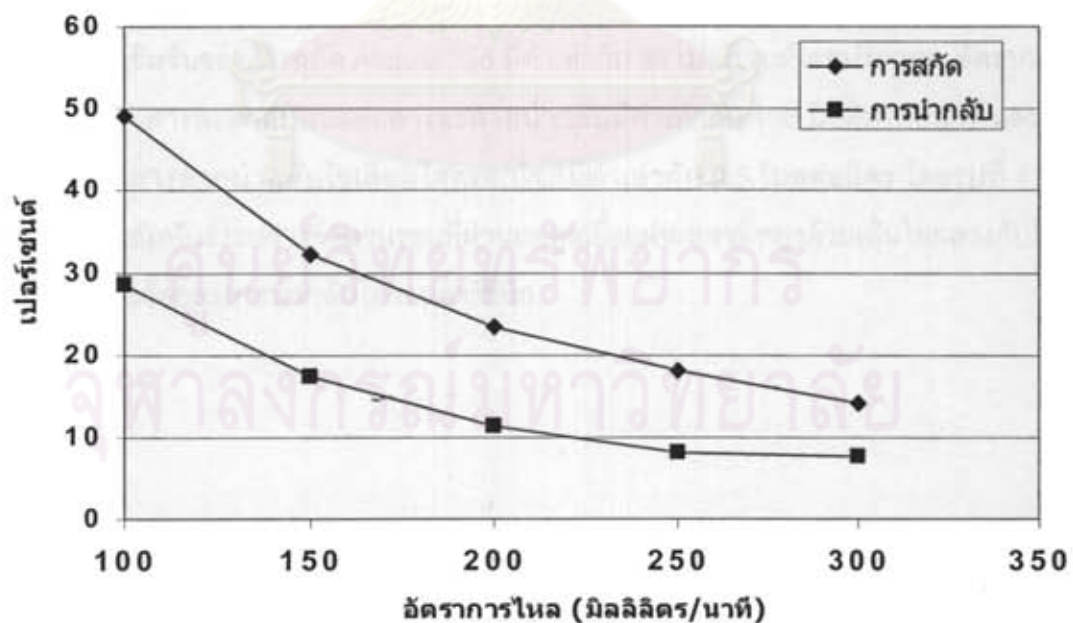
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารน้ำกลัซโซเดียมไฮดรอกไซด์กับร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลัซโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากรูปที่ 4.10 จะพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำกลัซโซเดียมไฮดรอกไซด์ตั้งแต่ 0.1 – 1 โมลต่อลิตร จะสามารถนำกลัซโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้มากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้จากทฤษฎีของเฮนรี หลุยส์ เลอชาเตอริเยร์ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำกลัซโซเดียมเพิ่มขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้น ทำให้ไอออนของกลัซโซเดียมเกิดเป็นสารประกอบกับสารละลายน้ำกลัซโซเดียมได้มากขึ้น จึงสามารถนำกลัซโซเดียมได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาในรูปที่ 4.6 จะพบอีกว่าที่

ความเข้มข้น 0.5 – 1 โมลต่อลิตร จะสามารถนำกลับไอออนอาร์ซีนิคได้ลดลงเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่า ชุดมอดูลเส้นใยกลวงสำหรับการทดลองศึกษาจะมีเส้นใยกลวงจำนวนคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคจึงมีพื้นที่คงที่ด้วยเช่นเดียวกัน จึงทำให้สามารถนำกลับไอออนอาร์ซีนิคได้น้อยลงเล็กน้อย (Pattaveekongka et al., 2003)

4.1.3 ผลของอัตราการไหลที่เท่ากันของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่อการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิคจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาการผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่อร้อยละการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิคจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยเปลี่ยนอัตราการไหลเป็น 100, 150, 200, 250, 300 มิลลิลิตรต่อนาที โดยสภาวะใช้ทำการทดลองเป็นดังนี้ ความเข้มข้นของสารสกัดเยื่อแผ่นเหลว Aliquat 336 เป็น 35 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาตร, ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.5 โมลต่อลิตร เป็นการไหลแบบสวนทางกัน และเป็นการไหลผ่านครั้งเดียว แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.11



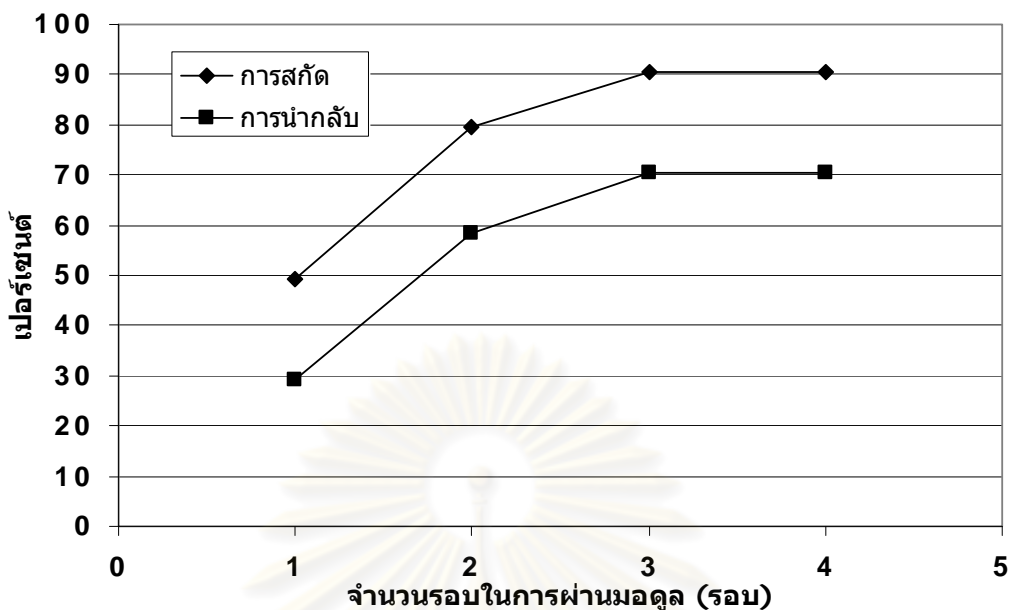
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับกับร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไอออนอาร์ซีนิค

จากรูปที่ 4.11 จะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลจาก 100 – 300 มิลลิลิตรต่อนาที จะสามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้น้อยลงที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับจะเป็นผลทำให้เวลาที่สารละลายอยู่ในมอดูลเยื่อแผ่นเหลว (Residence time) ลดลง ทำให้เวลาในการสัมผัสกันระหว่างสารละลายกับเยื่อแผ่นเหลวน้อยลง ไอออนอาร์ซีนิกจึงมีเวลาจับสารละลายเยื่อแผ่นเหลวน้อยลงเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนอาร์ซีนิกกับเยื่อแผ่นเหลวได้น้อยลง (เอกพิชญ์ ทรงคุณ, 2548) จึงทำให้อัตราการสกัดและนำกลับน้อยลง

4.1.4 ผลของจำนวนรอบในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงที่มีผลต่อการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก้ำธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

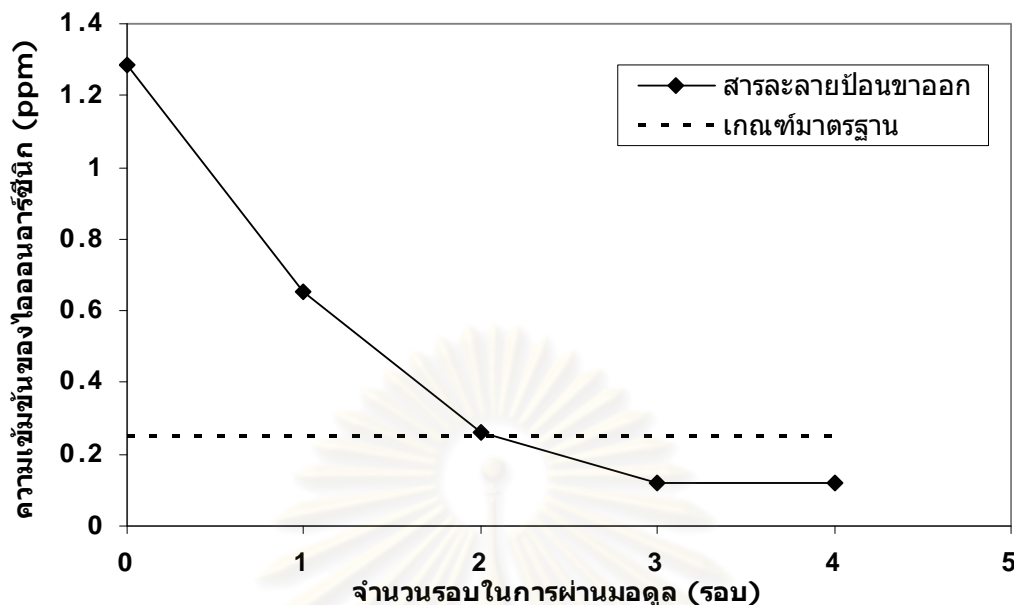
การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาจำนวนรอบในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงที่มีผลต่อการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก้ำธรรมชาติ โดยได้ศึกษา ผลของการนำสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงแล้วนำมาผ่านมอดูลใหม่อีก 4 รอบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยสภาวะที่ใช้ทำการทดลองเป็นดังนี้ ความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 มีค่าเท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, อัตราการไหลที่เท่ากันของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที และความเข้มข้นของสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าเท่ากับ 0.5 โมลต่อลิตร โดยรูปที่ 4.12 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงกับอัตราการสกัดและร้อยละการนำกลับไอออนอาร์ซีนิก

ศูนย์บริการวิชาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงต่อร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับไฮออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าศธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.12 จะพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงในรอบที่ 2 และรอบที่ 3 จะสามารถสกัดและนำกลับไฮออนอาร์ซีนิกได้มากขึ้น ส่วนรอบที่ 4 จะไม่สามารถสกัดและนำกลับไฮออนอาร์ซีนิกได้เลย ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้จากการเสื่อมสภาพของอายุการใช้งานเยื่อแผ่นเหลวอันเนื่องมาจากเยื่อแผ่นเหลวได้หลุดออกจากรูพรุนจุดภาคของเส้นใยกลวงอันเนื่องมาจากแรงเฉือน (Shear Force) ที่เกิดจากการไหลผ่านผิวสัมผัสของสารละลายในมอดูลเยื่อแผ่นเหลว จึงเป็นผลทำให้ร้อยละการสกัดและร้อยละการนำกลับลดลง

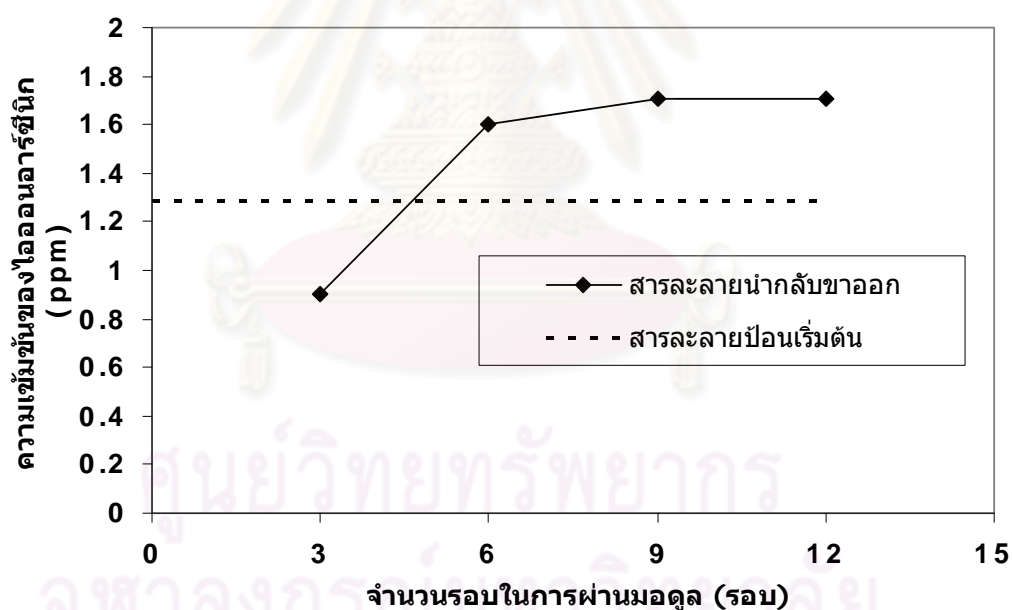


รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงต่อความเข้มข้นของไอออนไนตริกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมกักธรรมชาติ

จากกฎหมายของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดค่าปริมาณโลหะหนักสารหนูในน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.25 ส่วนในล้านส่วน โดยจากรูปที่ 4.13 จะพบว่าการสกัดโดยการผ่านโมดูลในรอบที่ 3 ความเข้มข้นของไอออนไนตริกจะมีค่าลดลงเหลือ 0.1201 ส่วนในล้านส่วน ดังนั้นจากผลจากงานวิจัยนี้ น้ำทิ้งที่ได้จากการบำบัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงจะสามารถระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ และเพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการทดลองในลำดับต่อไปจะใช้ผลของจำนวนรอบในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงเพียง 3 รอบเพราะในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงในรอบที่ 4 จะไม่สามารถสกัดและนำกลับไอออนไนตริกได้อีก

4.1.5 ผลของจำนวนรอบของสารละลายนำกลับใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ในการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำกลับไอออนอาร์ซีนิคจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติ

ในการปฏิบัติงานจริงในอุตสาหกรรม ถ้าสามารถลดปริมาตรของสารละลายนำกลับได้ จะเป็นผลให้สามารถกำจัดไอออนอาร์ซีนิคในสารละลายนำกลับได้ง่าย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษานำสารละลายนำกลับที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่โดยการผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงอีกครั้ง เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิคในสารละลายนำกลับให้มากขึ้น โดยสารละลายนำกลับที่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงแล้ว 3 รอบ จะนำมาผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงใหม่อีก 3 รอบ 3 ครั้ง โดยจะทำการเปลี่ยนสารละลายป้อนใหม่ และสารสกัดเยื่อแผ่นเหลวใหม่ทุก ๆ 3 รอบ โดยความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงกับร้อยละการนำกลับไอออนอาร์ซีนิคแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของสารละลายนำกลับที่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงกับไอออนอาร์ซีนิคของสารละลายนำกลับใช้ออกเทียบกับการนำสารละลายนำกลับมาใช้ใหม่

จากรูปที่ 4.14 จะพบว่าเมื่อนำสารละลายนำกลับมาใช้ใหม่จะสามารถนำกลับไอออนอาร์ซีนิคได้มากขึ้น โดยการนำกลับในครั้งที่ 9 และครั้งที่ 12 ความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิคของ

สารละลายนำกลับขาออกจะเริ่มคงที่เป็นเช่นนี้อาจจะสามารถอธิบายได้ว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายนำกลับที่จับกับไอออนโลหะเชิงซ้อนอาร์ซีนิคในเยื่อแผ่นเหลวทั้งหมด จึงไม่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่จะสามารถจับไอออนเชิงซ้อนอาร์ซีนิคที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลวได้อีกเลยทำให้ความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิคในสารละลายนำกลับไม่เพิ่มขึ้นอีก และในอีกกรณีก็อาจจะสามารถอธิบายได้อีกว่า ไอออนอาร์ซีนิคและไอออนต่าง ๆ แพร่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวมายังสารละลายนำกลับมากขึ้นในแต่ละรอบจึงทำให้ชั้นฟิล์มระหว่างภูมิภาคเยื่อแผ่นเหลวกับภูมิภาคสารละลายนำกลับหนาขึ้น จึงเป็นผลทำให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จับกับสารประกอบอาร์ซีนิคเชิงซ้อนในเยื่อแผ่นเหลวได้น้อยลง จึงทำให้น้ำกลับได้น้อยลง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นศึกษาการสกัดและการนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้สารสกัด 5 ชนิด ได้แก่ Cyanex 923, TBP, Cyanex 301, TOA และ Aliquat 336 โดยน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติเป็นสารละลายป้อน สำหรับสารละลายนำกลับ คือสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ และการดำเนินการปฏิบัติการเป็นแบบไหลผ่านครั้งเดียวในทิศทางสวนทางกันซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เมื่อเปรียบเทียบสารสกัดชนิดเป็นกลางซึ่งได้แก่ Cyanex 923 และ TBP จะพบว่าสารสกัด TBP สามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติได้มากกว่าสารสกัด Cyanex 923
2. เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัดชนิดเป็นกลางซึ่งได้แก่ Cyanex 923 และ TBP จะพบว่าความเข้มข้นที่ดีที่สุดที่สามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติคือ 33 และ 2.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ
3. สารสกัดชนิดกรดที่ใช้ในการทดลองคือ Cyanex 301 มีประสิทธิภาพสูงมากในการสกัดไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติแต่ประสิทธิภาพของการนำกลับจะต่ำมาก
4. เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัดชนิดเป็นกรดซึ่งคือ Cyanex 301 จะพบว่าความเข้มข้นที่ดีที่สุดที่สามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติคือ 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ
5. เมื่อเปรียบเทียบสารสกัดชนิดเป็นเบสซึ่งได้แก่ TOA และ Aliquat 336 จะพบว่าสารสกัด Aliquat 336 สามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติได้มากกว่าสารสกัด TOA

6. เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารสกัดชนิดเป็นเบสซึ่งได้แก่ TOA และ Aliquat 336 จะพบว่าความเข้มข้นที่ดีที่สุดที่สามารถสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติคือ 20 และ 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ
7. สารสกัดที่เหมาะสมสำหรับการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติคือสารสกัด Aliquat 336 ที่ความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเนื่องจากสารสกัดชนิดนี้สามารถสกัดกรดอาร์ซีนิกที่แตกตัวและกรดอาร์ซีนิกที่ไม่แตกตัวได้
8. ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมกับสารนำกลับไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติคือ 0.5 โมลต่อลิตร
9. อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่เหมาะสมกับการสกัดและนำกลับไอออนอาร์ซีนิกคือ 100 มิลลิลิตรต่อนาที
10. ในงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการลดปริมาณไอออนอาร์ซีนิกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม เมื่อดำเนินการผ่านมอดูลเส้นใยกลวงในรอบที่ 3
11. สำหรับการนำสารละลายนำกลับ นำกลับมาใช้ใหม่จะสามารถนำกลับไอออนอาร์ซีนิกได้มากขึ้นและมากกว่าสารละลายป้อนเริ่มต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองนี้ได้ใช้ตัวทำละลายเคโรซีนเป็นตัวทำละลายของสารสกัดเยื่อแผ่นเหลือง ดังนั้นถ้าจะมีการศึกษาต่อไปควรใช้ตัวทำละลายชนิดอื่นเป็นตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา
2. สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการกำจัดสารหนูออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติซึ่งมีไอออนอาร์ซีนิกอยู่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่อุตสาหกรรมกำหนดและสามารถกำจัดสารหนูได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ถ้าจะมีการศึกษาต่อไปควรใช้น้ำทิ้งที่ได้จากอุตสาหกรรมอื่น เช่น อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมการทำทองแดง ให้บริสุทธิ์ ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้จะมีสารหนูอยู่ปริมาณมาก

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิตติพงษ์ เชิญวัฒนชัย. 2543. การบำบัดน้ำทิ้งจากหลุมก๊าซธรรมชาติโดยกระบวนการกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2541(ก). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสำรวจและวิเคราะห์เพื่อทำ
แผนปฏิบัติการฟื้นฟูสภาพการปนเปื้อนของสารหนูที่อำเภออินทประมูล จังหวัด
นครศรีธรรมราช เล่มที่1/2. กรุงเทพมหานคร: กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (อัคราเนนา)
- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2541(ข). เอกสารชุดสารเคมีเฉพาะเรื่อง (Monograph), สารหนู(Arsenic)
พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ฝ่ายศูนย์ข้อมูลสารอันตรายและอนุสัญญา กองจัดการ
สารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ. (อัคราเนนา)
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิทยาศาสตร์. 2532. เคมีทั่วไป. กรุงเทพมหานคร: คณะ
วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- นลิต สุไลมาน. 2544. การสกัดนีโอดีเนียมโดยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- ประกร รามกุล. 2544. การแยกไอออนผสมของแลนทานัมและนีโอดีเนียมโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่
พองด้วยเส้นใยกลวง วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เอกพิชญ์ ทรงคุณ. 2548. การถ่ายเทมวลโคบอลต์ไอออนด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง
. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Bogacki, M.B.; Wisniewski, M.; and Szymanowski, J. 1998. Effect of Extractant on Arsenic (V) Recovery from Sulfuric Acid Solutions. J. Radioanal. Nucl. Chem. 228(1-2): 57-61.
- Breembroek, G.R.M.; Witkamp, G.J.; and Rosmalen, G.M. 1998. Extraction of Cadmium with Trilaurylamine Kerosene through a Flat-sheet-supported Liquid Membrane. Journal of Membrane Science 147:195-206.
- Cussler, E.L. 1997. Diffusion Mass Transfer in Fluid Systems, Cambridge University Press, USA.
- Gallup Darrell, L. and Strong James,B. 2007. Removal of Mercury and Arsenic from Produced Water, Chevron Corporation.
- Iberhan, L. and Wisniewskisi, M. 2001. Extraction of arsenic (III) and arsenic(V) with Cyanex 301, Cyanex 925 and their mixture. Hydrometallurgy 63: 23-30.
- Iberhan, L. and Wisniewski, M. 2003. Removal of arsenic(III) and arsenic(V) from sulfuric acid solution by liquid-liquid extraction, Chem. Technol. Biot., 78 : 659-665
- Juang, R.S. and Wu, R.T. 1999. Extraction of acetate from simulated waste solutions in chloromycetin production, Separation and Purification Technology 17, 225-233
- Komasawa, I.; Otake, T.; and Yamashita, T. 1983. Mechanism Kinetic of Copper Permeation through a Supported Liquid membrane Containing a Hydroxyoxime as Mobile Carrier. Ind. Eng. Chem. Fundam. 22: 127-131.
- Longquan, L.; Ping, Y.; Wenzhong, G.; and Yadong, L. 1999. Emulsion liquid membrane separation of As (III) and As(V). Fresenius J. Anal Chem. 363: 317-319.
- Luccio, M.D.; Smith, B.D.; Kida, T.; Borges, C.P.; and Alves, T.L.M. 2000. Separation of fructose from a mixture of sugars using supported liquid membrane. Journal of Membrane Science 174: 217-224.
- Pancharoen, U.; Ramakul, P.; and Patthaveekongka, W. 2005. Purely Extraction and Separation of Mixture of Cerium(IV) and Lanthanum(III) Via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. J. Ind. Eng. Chem. 11(6): 926-931.

- Pattaveekongka, W.; Vijitchaleompong, N.; and Panchareon, U. 2003. Selective Recovery of Palladium from Used Aqa Regia by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. Korean J. Chem. Eng. 20(6): 1092-1096.
- Patthaveekongka, W.; Ramakul, P.; and Assabumrungrat, S. 2006. Transport of Cerium, Lanthanum, Neodymium and Palladium via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane Based on Equilibrium Theory. Journal of Chinese Institute of Chemical Engineer 37(3): 1-11.
- Prapasawat, T.; Ramakul, P.; Satayaprasert, C.; Pancharoen U.; and Anchaleeporn W. Lothongkum. 2007. Separation of As (III) and As(V) by hollow fiber supported liquid membrane based on the mass transfer theory Korean J. Chem. Eng., 25 (1), 158-163
- Porter, C. 1990. Handbook of Industrial Membrane Technology New Jersey: Noyes Publications.
- Ramakul, P. and Panchareon, U. 2003. Synergistic Extraction of Mixture of Lanthanum and Neodymium by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. Korean J. Chem. Eng. 20(4): 724-730.
- Ramakul, P.; Nakararueng, K.; and Panchareon, U. 2004. One-through Selective Separation of Copper, Chromium and Zinc Ions by Hollow Fiber Support Liquid Membrane. Korean J. Chem. Eng. 21(6): 1212-1217.
- Ramakul, P.; Pattaveekongka, W. and Panchareon, U. 2005. Selective Separation of Trivalent and Tetravalent Lanthanide from Mixture by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. J. Chin. Inst. Chem. Engrs. 36(5): 1-7.

- Ramakul, P.; Pattaveekongka, W.; and Pancharoen, U. 2006. Mass transfer modeling of membrane carrier system for extraction of Ce(IV) from sulfate media using hollow fiber supported liquid membrane. Korean J. Chem. Eng. 23(1): 85-92.
- Ramakul, P.; Songkun, E.; Pattaveekongka, W.; Hronec, M.; and Pancharoen, U. 2006. Permeation study on the hollow fiber supported liquid membrane for the extraction of Cobalt(II). Korean J. Chem. Eng. 23(1): 117-123.
- Ramakul, P.; Prapasawad, T.; Pancharoen, U.; and Pattaveekongka, W., 2007. Separation of radioactive metal ions by hollow fiber-supported liquid membrane and permeability analysis. Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers. 38 : 489-494
- Schultz, G. 1988. Separation Techniques with Supported Liquid Membrane. Desalination 68: 191-202.
- Sangtumrong, S.; Ramakul, P.; Satayaprasert, C.; Pancharoen, U.; and Anchaleeporn W. Lothongkum 2007. Purely Separation of Mixture of Mercury and Arsenic via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane, J. Ind. Eng. Chem., Vol. 13, No.5, 751-756
- Tavlarides, L.L.; Bae, J.H.; and Lee, C.K. 1987. Solvent Extraction, Membrane and Ion Exchange in Hydrometallurgical Dilute Metals Separation. Separation Science and Technology 22(2-3): 581-617.
- Teramoto, M.; Masuyama, H.; Takaya, H.; and Asano S. 1987. Development of Spiral-Type Supported Liquid Membrane Module for Separation and Concentration Metal Ions. Separation Science and Technology 22(11): 2175-2201.
- Van de Voorde, I. ; Pinoy, L.; and De Ketelaere, R.F. 2004 Recovery of nickel ions by supported liquid membrane (SLM) extraction, J. Membr. Sci. 234 : 11 - 21
- Wilson, S.D.; Kelly, W.R.; Holm, T.R.; and Talbott, J.L. 2007. Arsenic Removal in Water Treatment Facilities: Survey of Geochemical Factors and Pilot Plant Experiments, Midwest Technology Assistance Center.

Wisniewski, M. 1997. Extraction of arsenic from sulphuric acid solution by Cyanex 923. Hydrometallurgy 46: 235-241.

Wisniewski, M. 1998. Removal of arsenic from sulphuric acid solutions. J. Radioanal. Nucl. Chem. 228(1-2): 105-108.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบและผลการคำนวณ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารสกัดสารสกัด Cyanex 923 ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและการนำกลับ

[Cyanex 923] (% V/V)	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนขาเข้า	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนขาออก	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับขาเข้า โดยใช้สารละลาย NaOH	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับขาออก โดยใช้สารละลาย NaOH	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
10	1.2283	1.2154	0	0.0019	1.0518	0.1558
20	1.1770	1.1463	0	0.0092	2.6101	0.7791
30	1.3735	1.2927	0	0.0375	5.8824	2.7269
33	1.3478	1.2601	0	0.0420	6.5056	3.1165
34	1.1849	1.1088	0	0.0360	6.4277	3.0386
36	1.2234	1.1467	0	0.0343	6.2719	2.8048
40	1.3888	1.3092	0	0.0325	5.7265	2.3374
50	1.3374	1.2713	0	0.0219	4.9474	1.6362

ภาวะที่ทำการทดลอง : [Cyanex 923] = 10 - 50 % โดยปริมาตร, Q_f และ $Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที, [NaOH] ขาเข้า = 1 โมลต่อลิตร

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารสกัดสารสกัด TBP ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและการนำกลับ

[TBP] (% V/V)	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนขาเข้า	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนขาออก	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับขา เข้าโดยใช้ NaOH	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับขา ออกโดยใช้ NaOH	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
1	1.1712	1.0495	0	0.0475	10.3857	4.0592
1.5	1.4044	1.1939	0	0.1120	14.9903	7.9782
2	1.2664	1.0065	0	0.1383	20.5220	10.9233
2.2	1.2610	0.9837	0	0.1476	21.9945	11.7024
2.5	1.2466	0.9729	0	0.1388	21.9556	11.1336
3	1.2595	1.0021	0	0.1204	20.4363	9.5598
5	1.3441	1.1647	0	0.0750	13.3463	5.5785
8	1.2736	1.2217	0	0.0213	4.0748	1.6751

ภาวะที่ทำการทดลอง : [TBP] = 1 - 8 % โดยปริมาตร, Q_f และ Q_s = 100 มิลลิลิตรต่อนาที, [NaOH] ขาเข้า = 1 โมลต่อลิตร

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารสกัดสารสกัด Cyanex 301 ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและการนำกลับ

[Cyanex 301] (% V/V)	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนเข้า	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนออก	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับ เข้าโดยใช้ NaOH	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับ ออกโดยใช้ NaOH	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
0.5	1.2829	0.5079	0	0	60.4066	0
1	1.3541	0.4021	0	0.0034	70.3047	0.2474
2	1.2116	0.2399	0	0.0060	80.2032	0.4949
3	1.1321	0.2300	0	0.0052	79.6838	0.4593
4	1.1403	0.2540	0	0.0042	77.7286	0.3712
8	1.3898	0.4127	0	0	70.3047	0

ภาวะที่ทำการทดลอง : [Cyanex 301] = 0.5 - 8 % โดยปริมาตร, Q_f และ Q_s = 100 มิลลิลิตรต่อนาที, [NaOH] ขาเข้า = 1 โมลต่อลิตร

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารสกัด TOA ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและการนำกลับ

[TOA] (% V/V)	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนเข้า	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนออก	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับ เข้าโดยใช้ NaOH	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับ ออกโดยใช้ NaOH	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
5	1.1964	1.1414	0	0.0189	4.5968	1.5816
10	1.3889	1.2457	0	0.0488	10.3078	3.5138
15	1.3108	1.1137	0	0.0767	15.0370	5.8512
20	1.2835	1.0601	0	0.1021	17.4055	7.9548
25	1.2698	1.0506	0	0.0971	17.2575	7.6510
30	1.2528	1.0546	0	0.0890	15.8239	7.1056
35	1.1974	1.0318	0	0.0757	13.8294	6.3187

ภาวะที่ทำการทดลอง : [TOA] = 5 - 35 % โดยปริมาตร, Q_f และ $Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที, [NaOH] เข้า = 1 โมลต่อลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat 336 ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและการนำกลับ

[Aliquat 336] (% V/V)	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลาย ป้อนเข้า	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนออก	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับ เข้าโดยใช้ NaOH	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับ ออกโดยใช้ NaOH	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
5	1.2835	1.1234	0	0.0826	12.4737	6.4355
10	1.3759	1.1267	0	0.1103	18.1145	8.0171
20	1.3384	0.9453	0	0.1994	29.3728	14.8968
30	1.2465	0.6693	0	0.3206	46.3109	25.7187
33	1.2533	0.6154	0	0.3498	50.8999	27.9081
35	1.2835	0.6213	0	0.3553	51.5933	27.6821
37	1.2705	0.6237	0	0.3468	50.9077	27.3004
40	1.2671	0.6369	0	0.3319	49.7312	26.1940
50	1.1976	0.6646	0	0.2615	44.5033	21.8309

ภาวะที่ทำการทดลอง : [Aliquat 336] = 5 - 50 % โดยปริมาตร, Q_i และ $Q_o = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที, [NaOH] ขาเข้า = 1 โมลต่อลิตร

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารนํากลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายป้อนต่อการสกัดและการนํากลับ

[NaOH] (mol/dm ³)	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลาย ป้อนเข้า	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนออก	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนํากลับเข้า โดยใช้ NaOH	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนํากลับ ออกโดยใช้NaOH	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนํากลับ
0.1	1.4029	0.7336	0	0.1425	47.7055	10.15778
0.3	1.2668	0.6591	0	0.3012	47.9704	23.77617
0.5	1.3135	0.6676	0	0.3742	49.1780	28.48804
0.8	1.2865	0.6333	0	0.3651	50.7752	28.38038
1	1.2835	0.6213	0	0.3553	51.5933	27.68212

ภาวะที่ทำการทดลอง : [Aliquat 336] = 35 % โดยปริมาตร, Q_f และ Q_s = 100 มิลลิลิตรต่อนาที, [NaOH] เข้า = 0.1-1 โมลต่อลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลผลอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่อการสกัดและการนำกลับ

อัตราการไหล (ml/min)	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายป้อนขาเข้า	ไอออนอาร์ซีนิก ในสารละลาย ป้อนขาออก	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับ ขาออกโดยใช้NaOH	ไอออนอาร์ซีนิกใน สารละลายนำกลับ ขาออกโดยใช้NaOH	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
100	1.3135	0.6676	0	0.3742	49.1780	28.4880
150	1.2655	0.8579	0	0.2202	32.2088	17.3998
200	1.2418	0.9512	0	0.1405	23.3970	11.3143
250	1.3669	1.1189	0	0.1112	18.1457	8.1350
300	1.1919	1.0224	0	0.0915	14.2189	7.6771

ภาวะที่ทำการทดลอง : [Aliquat 336] = 35 % โดยปริมาตร, Q_f และ Q_s = 100 - 300 มิลลิลิตรต่อนาที, [NaOH] ขาเข้า = 0.5 โมลต่อลิตร

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลผลจำนวนรอบที่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่อการสกัดและการนำกลับ

จำนวนรอบในการผ่านมอดูล	ไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายป้อนขาเข้า	ไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายป้อนขาออก	ไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายนำกลับขาออกโดยใช้ NaOH	ไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายนำกลับขาออกโดยใช้ NaOH	ร้อยละการสกัด	ร้อยละการนำกลับ
1	1.2835	0.6523	0	0.3742	49.1780	29.1547
2	0.6523	0.2612	0.3742	0.7512	79.6494	58.5275
3	0.2612	0.1201	0.7512	0.9023	90.6428	70.3000
4	0.1201	0.1201	0.9023	0.9023	90.6428	70.2844

ภาวะที่ทำการทดลอง : [Aliquat 336] = 35 % โดยปริมาตร, Q_f และ Q_s = 100 มิลลิลิตรต่อนาที, [NaOH] ขาเข้า = 0.5 โมลต่อลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลผลจำนวนครั้งของการนำสารละลายน้ำกลับที่ใช้แล้วน้ำกลับมาใช้ใหม่ผ่านมอดูลเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงต่อการสกัดและการนำกลับ

ครั้งที่	สารละลาย น้ำกลับขาออก โดยใช้ NaOH	สารละลาย น้ำกลับขาออก โดยใช้ NaOH
1	0	0.3742
2	0.3742	0.7512
3	0.7512	0.9023
4	0.9023	1.3352
5	1.3352	1.521
6	1.521	1.602
7	1.602	1.6725
8	1.6725	1.694
9	1.694	1.704
10	1.704	1.704
11	1.704	1.704
12	1.704	1.704

ภาวะที่ทำการทดลอง : [Aliquat 336] = 35 % โดยปริมาตร, Q_f และ $Q_s = 100$ มิลลิลิตรต่อนาที, [NaOH] ขาเข้า = 0.5 โมลต่อลิตร, จำนวนรอบในการผ่านมอดูลครั้งละ 3 รอบและเปลี่ยนสารละลายป้อนและเยื่อแผ่นเหลวใหม่ทุก ๆ ครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ข.1 ตัวอย่างการคำนวณร้อยละการสกัด (Percent of Extraction)

ข้อมูลจากภาคผนวก ก.1 สามารถคำนวณร้อยละการสกัดได้ดังนี้

พิจารณาข้อมูล ที่ความเข้มข้นของ Aliquat 336 เท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยที่

ความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายป้อนขาเข้าเท่ากับ 1.2835 ppm

ความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายป้อนขาออกเท่ากับ 0.6213 ppm

ดังนั้น ร้อยละการสกัดมีค่าเท่ากับ
$$\frac{1.2835 - 0.6213}{1.2835} \times 100 \% = 51.5933 \%$$

ข.2 ตัวอย่างการคำนวณร้อยละการนำกลับ (Percent of Recovery)

ข้อมูลจากภาคผนวก ก.1 สามารถคำนวณร้อยละการสกัดได้ดังนี้

พิจารณาข้อมูล ที่ความเข้มข้นของ Aliquat 336 เท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายป้อนขาเข้าเท่ากับ 1.2835 ppm

ความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายนำกลับขาเข้าเท่ากับ 0 ppm

ความเข้มข้นของไอออนอาร์ซีนิกในสารละลายนำกลับขาออกเท่ากับ 0.3553 ppm

ดังนั้น ร้อยละการนำกลับมีค่าเท่ากับ
$$\frac{0.3553 - 0}{1.2835} \times 100 \% = 27.6821 \%$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรเดช พูนคำ เกิดเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม พ.ศ. 2526 ที่ จังหวัดกรุงเทพฯ เป็นบุตรคนที่สามในจำนวนสามคนของนายชวรงค์ พูนคำ และนางวรรณิ พูนคำ สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนบูรณวิทย์ จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อชั้นมัธยมตอนต้นและชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนวัดสระเกศ ได้สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมปลายในปี 2543 และได้เข้าศึกษาระดับอุดมศึกษาที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีในปี 2545 โดยสำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมเคมีในปี 2548 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาในปี 2551



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย