

การสกัดแยกและนำกลับโครเมตด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงในหลอดเดียว



นายไพศาล อภินพพัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-128-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18806417

2543

EXTRACTION AND RECOVERY OF CHROMATE VIA HOLLOW FIBER SUPPORTED
LIQUID MEMBRANE IN A SINGLE COLUMN

Mr. Paisan Apinhapat

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

Department of Chemical Engineering

Graduate School

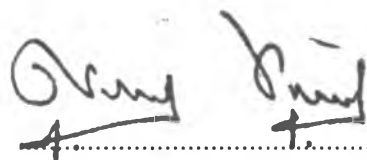
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-332-128-4

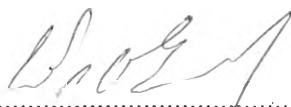
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดแยกและนำกลับโครเมตด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงใน หอเดียว
โดย	นายไพศาล อภินพพัฒน์
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบ



..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุภาบุญจันท์)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ)

ไพศาล อภินพพัฒน์ : การสกัดแยกและนำกลับโครเมตด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใย
กลวงในหลอดเดี่ยว (Extraction and Recovery of Chromate via Hollow Fiber Supported
Liquid Membrane in a Single Column) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ,
อ. ที่ปรึกษา-ร่วม : อ.ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช ; 90 หน้า. ISBN 974-332-128-4.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อ การสกัดและการนำกลับของโครเมียม(VI)
ในรูปของโครเมตจากสารละลาย โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง สารละลายอินทรีย์ที่ทำ
หน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวประกอบด้วย เมทริล ไตรออกทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (methyl
trioctylammonium chloride, Aliquat) ในฐานะเป็นสารสกัด ละลายในเคโรซีน และมีโดเดคคานอล
ในฐานะเป็นตัวประสานร่วมอยู่ด้วย ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมตในสารละลายป้อนเป็น 100
ส่วนในล้านส่วน โดยใช้สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตรเป็นสารละลายสตริปใน
กระบวนการการนำกลับ

จากผลการทดลองพบว่า ปฏิริยาการสกัดเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าปฏิริยาการนำกลับ การ
สกัดและการนำกลับเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นในสารละลายป้อนต่ำลง หรืออัตราการใช้
ของสารละลายต่ำลง เมื่อพิจารณาถึงสมดุลของโครเมตในวัฏภาคแห่งน้ำและวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวใน
การทดลองแบบกะที่มีการใช้โดเดคคานอลร่วมด้วย โดเดคคานอลทำให้การสกัดและนำกลับโครเมตดี
ขึ้นมากโดยการใช้ความเข้มข้นไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ลักษณะการไหลทั้งแบบไหลในทิศทาง
เดียวกันและไหลสวนทางกันไม่ส่งผลต่อการสกัดและการนำกลับโครเมต การถ่ายโอนมวลของโครเมต
ทั้งในส่วนของการสกัดและการนำกลับลดลงอย่างมากเมื่อความเข้มข้นของ
โครเมตในสารละลายป้อนมีค่าต่ำกว่า 60 ส่วนในล้านส่วน

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต ไพศาล อภินพพัฒน์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม / ๒

3971285921 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD:

CHROMATE/EXTRACTION/RECOVERY/ HOLLOW FIBER

PAISAN APINHAPAT : EXTRACTION AND RECOVERY OF CHROMATE VIA HOLLOW FIBER SUPPORTED LIQUID MEMBRANE IN A SINGLE COLUMN. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. URA PANCHAREON, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : DECHA CHATSIRIWECH, Ph.D. 90 pp. ISBN 974-332-128-4.

In this study, the factors affecting the extraction and the recovery of Cr(VI) in the form of chromate from aqueous solution through a hollow fiber supported liquid membrane (HFSLM) were investigated. The organic solution as liquid membrane was ethyl trioctylammonium chloride (Aliquat) as a mobile carrier dissolved in kerosene with normal dodecanol as a modifier. The initial chromate concentration in aqueous feed solution was 100 ppm with using 1.0 mol/l NaOH solution as a stripping solution in recovery process.

It is found from the experiments that extraction process occurred faster than recovery process. The extraction and the recovery of chromate were increased when the initial pH of feed solution or the flow rates of both aqueous solutions decreased. Consider the equilibrium of chromate in the aqueous phase and the membrane phase in batch experiment in presence of dodecanol, dodecanol improved the extraction and the recovery of chromate with the concentration of dodecanol not exceed 5 vol.%. The extraction and the recovery were independent on mode of flow direction, co-current and counter-current operation. Transport of chromate in the extraction and the recovery processes was dropped when the concentration of chromate in feed phase was less than 60 ppm.

ภาควิชา..... วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา..... วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... โทษาค วิจิตรศักดิ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Som
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... Decha Chatsiriwech

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ตลอดจนคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้ง ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุภาบุญจันท์ ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์

และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยโลหะ และวัสดุแห่งชาติ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่กราบขอขอบคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน รวมทั้ง พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชา วิศวกรรมเคมี ที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
สัญลักษณ์	ท
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	9
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	9
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
2 ทฤษฎี	10
2.1 สารประกอบโครเมียม	10
2.2 การสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย	12
2.3 เทคนิคเยื่อแผ่นเหลว	15
2.4 สารสกัดที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการการสกัด	27
3 วิธีการทดลอง	30
3.1 สารเคมีที่ใช้	30
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	31
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	32
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	39
4.1 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อน	39
4.2 ผลของความเข้มข้นของโดเดคคานอลในสารละลายอินทรีย์	51
4.3 ผลของลักษณะการไหลที่มีต่อการสกัดและการนำกลับ	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลของอัตราการใช้ของสารละลายป้อนและสารละลายสตริปที่มีต่อ ความสามารถในการนำกลับ	58
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลการทดลอง	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
รายการอ้างอิง	69
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก	73
ภาคผนวก ข	76
ภาคผนวก ค	89
ประวัติผู้วิจัย	90

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่	หน้า
2.1 สภาวะออกซิเดชันและโครงสร้างของโครเมียม	11
3.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์เส้นใยกลวง	31
4.1 ค่าสัดส่วนโครเมตที่เกิดการสะสมอยู่ในเยื่อแผ่นเหลว	50
ก-1 ข้อมูลการปรับมาตรฐานของมาตรวัดอัตราการไหล	73
ข-1 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตที่เหลือในสารละลายป้อนของกระบวนการ การสกัด ที่ความเป็นกรด-ด่าง ค่าต่างๆ	76
ข-2 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนที่เวลาต่างๆ ในกระบวนการ การสกัด	76
ข-3 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตที่สมดุลในสารละลายป้อน และค่า k_0 ที่ความ เป็นกรด-ด่างค่าต่างๆ	77
ข-4 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตที่เกิดขึ้นในสารละลายสตรีปของกระบวนการ การนำกลับ	77
ข-5 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนในแต่ละครั้งที่ผ่านอุปกรณ์ เส้นใยกลวง	78
ข-6 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนในแต่ละครั้งที่ผ่าน อุปกรณ์เส้นใยกลวง	79
ข-7 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตรีปในแต่ละครั้งที่ผ่านอุปกรณ์ เส้นใยกลวง	80
ข-8 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนเทียบกับเวลา ที่ความเข้มข้น ของโดเดคคานอลค่าต่างๆ	81
ข-9 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตรีปเทียบกับเวลา ที่ความเข้ม ชั้นของโดเดคคานอลค่าต่างๆ	81
ข-10 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตทั้งในสารละลายป้อนและสารละลาย สตรีป ใน ลักษณะการไหลทั้งในการไหลในทิศทางเดียวกันและไหลสวนทางกัน โดยมีการปฏิบัติการแบบไหลวนกลับ	82
ข-11 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตทั้งในสารละลายป้อนและสารละลาย สตรีปเทียบ กับเวลาในครั้งแรกของการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวง ทั้งในลักษณะการ ไหลในทิศทางเดียวกันและไหลสวนทางกัน โดยมีการปฏิบัติการแบบ ไหลผ่านครั้งเดียว	83

ตารางที่ (ต่อ)	หน้า
ข-12 แสดงค่าสัดส่วนโครเมต ทั้งในสารละลายป้อน และสารละลายสตริป เทียบกับจำนวนครั้งของการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวง ในการไหลทั้งใน ทิศทางเดียวกันและไหลสวนทางกัน การปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้ง เดียว	84
ข-13 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนในครั้งแรก ที่ผ่านอุปกรณ์เส้น ใยกลวง ที่อัตราการไหลค่าต่างๆ การปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว	84
ข-14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาตรขาออกกับเวลาที่ใช้ในอุปกรณ์เส้นใย กลวง ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน	85
ข-15 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริปในครั้งแรกที่ผ่านอุปกรณ์ เส้นใยกลวง ที่อัตราการไหลค่าต่างๆ การปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้ง เดียว	86
ข-16 แสดงค่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนเทียบกับจำนวนครั้งในการ ไหล ที่อัตราการไหลค่าต่างๆ ในการปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว	87
ข-17 ตารางแสดงค่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริปเทียบกับจำนวนครั้ง ในการไหล ที่อัตราการไหลค่าต่างๆ ในการปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้ง เดียว	88

สารบัญญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	การถ่ายโอนมวลที่มีปฏิกิริยาชนิดไม่ผันกลับและเกิดขึ้นรวดเร็วในแผ่นฟิล์ม	13
2.2	กลไกการเกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนมวลด้วยเทคนิคเยื่อแผ่นเหลว	17
2.3	สภาวะของการเกิดเยื่อแผ่นเหลวอิมัลชัน	20
2.4	กระบวนการของเยื่อแผ่นเหลวอิมัลชันแบบต่อเนื่อง	21
2.5	ลักษณะของเยื่อแผ่นเหลวแบบเกลียว	24
2.6	ลักษณะของเยื่อแผ่นเหลวรองรับที่แทรกอยู่ในรูพรุนสำหรับเส้นใยกลวง ชนิดไม่ชอบน้ำ ระบบประกอบด้วยสารละลายป้อน สารละลายสตรีป และเยื่อแผ่นเหลว	25
2.7	ลักษณะของอุปกรณ์เส้นใยกลวงและทิศทางการไหลของสารละลาย	26
3.1	ภาพแสดงเครื่องสกัดระบบของเหลว-ของเหลวซึ่งประกอบเข้ากับ อุปกรณ์เส้นใยกลวง	36
3.2	ภาพแสดงการปฏิบัติการไหลในลักษณะไหลผ่านครั้งเดียว มี ทิศทาง การไหลสวนทางกันในอุปกรณ์เส้นใยกลวง	37
3.3	ภาพแสดงการปฏิบัติการไหลในลักษณะไหลสวนทางกันในอุปกรณ์เส้น ใยกลวง	38
4.1	แผนภาพแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการการสกัด โครเมตด้วยอะลิควอต	39
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนโครเมตเทียบกับเวลาใน กระบวนการการสกัด ที่ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อน ค่าต่างๆ	40
4.3	กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนโครเมตกับเวลาจากการทดลองและ จากการคำนวณ	41
4.4	กราฟแสดงค่าสัดส่วนโครเมตที่สมดุลเทียบกับความเป็นกรด-ด่างของ สารละลายป้อนค่าต่างๆ	42
4.5	กราฟแสดงค่าสัดส่วนการกระจายเทียบกับความเข้มข้นของ ไฮโดรเนียมไอออนในสารละลายป้อน	43
4.6	แผนภาพแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาการสตรีปโครเมตด้วย ไฮดรอกไซด์ในกระบวนการการสตรีป	44

รูปที่ (ต่อ)	หน้า
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนโครเมตเทียบกับเวลา ในกระบวนการการ สตรีปที่ความเป็นกรด-ด่างของ สารละลายป้อนค่าต่างๆ	45
4.8 กราฟแสดงค่าสัดส่วนโครเมตเทียบกับจำนวนครั้งในการผ่าน อุปกรณ์เส้นใยกลวงที่ความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนค่าต่างๆ	47
4.9 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างเทียบ กับสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อน	48
4.10 กราฟแสดงค่าสัดส่วนโครเมตเทียบกับจำนวนครั้งในการผ่าน อุปกรณ์เส้นใยกลวงที่ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนค่าต่างๆ	49
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฟลักซ์ของโครเมตในการผ่าน อุปกรณ์เส้นใยกลวงครั้งแรกเทียบกับที่ความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้นของสารละลายป้อนแต่ละค่า	51
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนโครเมตกับเวลาใน กระบวนการการสกัด ที่ความเข้มข้นของโอดีคคานอลต่างๆ	52
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนโครเมตเทียบกับเวลา ในกระบวนการการสตรีปที่ความเข้มข้นของโอดีคคานอลค่าต่างๆ	54
4.14 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตเทียบกับเวลา ทั้งในส่วนของ การ สกัดและการสตรีป ระหว่างการปฏิบัติการแบบไหลวนกลับ ทั้งการดำเนินการแบบไหลในทิศเดียวกันและไหลสวนทางกัน	56
4.15 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตเทียบกับเวลา ทั้งการสกัดและ การสตรีปในการดำเนินการแบบไหลในทิศเดียวกัน และไหล สวนทางกัน การปฏิบัติการเป็นแบบไหลผ่านครั้งเดียว	57
4.16 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตกับจำนวนครั้งในการผ่านอุปกรณ์ เส้นใยกลวง ทั้งการสกัดและการสตรีป การดำเนินการเป็นแบบ ไหลในทิศเดียวกันและไหลสวนทาง	58
4.17 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนเทียบกับเวลา ที่ผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงที่อัตราการไหลของสารละลายต่างๆ	59
4.18 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนเทียบกับปริมาตรอากาศที่ อัตราการไหลต่างๆ	60

รูปที่ (ต่อ)	หน้า
4.19 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริปเทียบกับเวลาที่อัตราการไหลของสารละลายต่างๆ	61
4.20 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริปเทียบกับปริมาตรขาออกที่อัตราการไหลต่างๆ	62
4.21 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนเทียบกับจำนวนครั้งในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงที่อัตราการไหลต่างๆ	63
4.22 กราฟแสดงสมการของจำนวนครั้งในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงที่อัตราการไหลของสารละลายต่างๆ	64
4.23 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตที่ถูกสกัดในแต่ละครั้งเทียบกับค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโครเมตก่อนเข้าอุปกรณ์เส้นใยกลวงที่อัตราการไหลต่างๆ	65
4.24 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริปเทียบกับจำนวนครั้งในการไหลผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงที่อัตราการไหลค่าต่างๆ	66
ก-1 การปรับมาตรฐานอัตราการไหลด้านในเส้นใยกลวง	74
ก-2 การปรับมาตรฐานอัตราการไหลด้านนอก เส้นใยกลวง	75

สัญลักษณ์



สัญลักษณ์

A_m	พื้นที่ผิวของเยื่อแผ่นเหลว
D	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล
J_{MRn}	ฟลักซ์ของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะและสารสกัดผ่านเยื่อแผ่นเหลว
K	ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา
k	Boltzmann constant
$[MR_n]_i$	ความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนโลหะสารสกัดด้านสารละลายป้อน
$[MR_n]_{iii}$	ความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนโลหะสารสกัดด้านสารละลายสตรีป
r	รัศมีของสารประกอบเชิงซ้อน
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์
η	ความหนืดของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว
V_{sol}	อัตราการไหลของสารละลาย

ตัวยก

'	เฟสสารละลายอินทรีย์
"	เฟสสารละลาย

ตัวห้อย

0	ด้านสารละลายป้อน
I	ด้านสารละลายสตรีป
sol	สารละลายป้อนและสารละลายสตรีป