

ภาคผนวก ก
การเปรียบเทียบผลการคำนวณ
ด้วยกราฟกับผลการทดลอง

ขั้นตอนและรายละเอียดการทำนายผลการสกัดไอออนโลหะด้วยกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงจากการคำนวณด้วยกราฟได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 6 วิธีการทำนายผลการสกัดไอออนโลหะที่ผู้เขียนได้นำเสนอจะช่วยให้นักวิจัยคาดการณ์ผลของการสกัดที่จะเกิดขึ้นได้อย่างไรก็ดีเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการทำนายผลด้วยการคำนวณว่ามีความแม่นยำและให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงควรยืนยันด้วยการเปรียบเทียบกับผลของการทดลองที่ได้จากระบบที่มีการปฏิบัติการลักษณะเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน ในการเปรียบเทียบการทำนายผลการสกัดไอออนโลหะด้วยกราฟกับผลการทดลองผู้เขียนจะใช้ข้อมูลจากผลงานวิจัยที่ผ่านการเผยแพร่แล้วในวารสารระดับนานาชาติซึ่งรวบรวมตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 จนถึงเดือนมกราคม ค.ศ. 2008 และด้วยเหตุที่วิธีการสร้างกราฟอยู่บนสมมติฐานของมอดูลการสกัดไอออนโลหะผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ดังนั้นข้อมูลที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบจะต้องเป็น

- ก. ผลงานวิจัยที่ได้จากกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวและระบบสองหอสกัด
- ข. ผลงานวิจัยการสกัดไอออนโลหะเท่านั้นคือทั้งการสกัดเพื่อนำกลับและการกำจัด

1(ก) ระบบหอสกัดเดี่ยว

จากรายงานผลการทดลองที่ได้รวบรวมมาพบว่าวิจัยที่เกี่ยวกับการสกัดไอออนโลหะด้วยกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวนั้นมีจำนวนมากกว่าระบบสองหอสกัดและศึกษาเกี่ยวกับไอออนโลหะจำนวน 15 ชนิด ข้อมูลที่จะสรุปต่อไปนี้จะมุ่งเป็นแนวทางที่จะเป็นประโยชน์แก่นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจที่ต้องการพัฒนางานวิจัยและนำกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงไปประยุกต์ใช้โดยเฉพาะการทดสอบกับไอออนของโลหะที่ยังมีการศึกษาน้อยหรือยังไม่เคยมีข้อมูล

การประมวลผลการทดลองของระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบการทำนายผลด้วยกราฟ

ด้วยเหตุที่ข้อมูลต่อไปนี้มีหลากหลายดังนั้นเพื่อความสะดวกแก่ผู้อ่านจึงจะระบุชื่อวารสารที่ใช้ในการอ้างอิงได้ตารางผลสรุปของไอออนโลหะแต่ละตัว

1.1(ก) ไอออนโลหะทองแดง (Cu)

ตารางที่ 1(ก) แสดงสารละลายป้อน สารสกัด สารสตริปหรือสารละลายนำกลับที่ใช้เปอร์เซ็นต์การสกัด และเปอร์เซ็นต์การสตริปของไอออนทองแดง ตารางที่ 2(ก) เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของมอดูลเส้นใยกลวงของงานวิจัยแต่ละงานตารางที่ 3(ก) ผลสรุปของการทดลองและค่าคงตัวของสมมูลสำหรับระบบหอสกัดเดี่ยว

ตารางที่ 1(ก) ผลสรุปของไอออนทองแดงที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเชื่อมแผ่นเหล็กที่พวยด้วยเส้นใยกลางระบบหลอดเดียว

Metal ion	Cu 2002	Cu 2004	Cu 2006	Cu 2007 (1)	Cu 2007 (2)	Cu 2007 (3)	Cu 2007(4)*
สาร มีอน	ชื่อย่อสาร	Cupric mine water of El Teniente Mine, Chile	Copper sulfate	The copper- containing spent ammoniacal etching solution	Copper sulfate anhydrous	The copper- containing spent ammoniacal etching solution	Copper sulfate
	สูตรเคมี	N/A	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	N/A	CuSO_4	N/A	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
	บริษัท	N/A	Merck	PCB Company	Shanghai Tingxin Chemical Reagent Plant	PCB Company	Merck
สาร สกัด	ชื่อย่อสาร	LIX-860	LIX-I	LIX54	D2EHPA	LIX54	D2EHPA
	บริษัท	N/A	Henkel	Cognis Corporation	Fluka	Cognis Corporation	N/A
สาร นำกลับ	ชื่อย่อสาร	Sulfuric acid	Sulfuric acid	Sulfuric acid	Hydrochloric acid	Sulfuric acid	N/A
	สูตรเคมี	H_2SO_4	H_2SO_4	H_2SO_4	HCl	H_2SO_4	N/A
	บริษัท	Merck	Merck	Merck	Merck	Merck	N/A
เปอร์เซ็นต์การสกัด	32	33	59	59	58	59	98
เปอร์เซ็นต์การนำกลับ	N/A	28	33	33	N/A	33	N/A

Cu 2002 เอกสารอ้างอิง [1], Cu 2004 เอกสารอ้างอิง [2], Cu 2006 เอกสารอ้างอิง [3], Cu 2007 (1) เอกสารอ้างอิง [4] Cu 2007 (2) เอกสารอ้างอิง [5],

Cu 2007 (3) เอกสารอ้างอิง [6], Cu 2007 (4) เอกสารอ้างอิง [7]* for the double column module

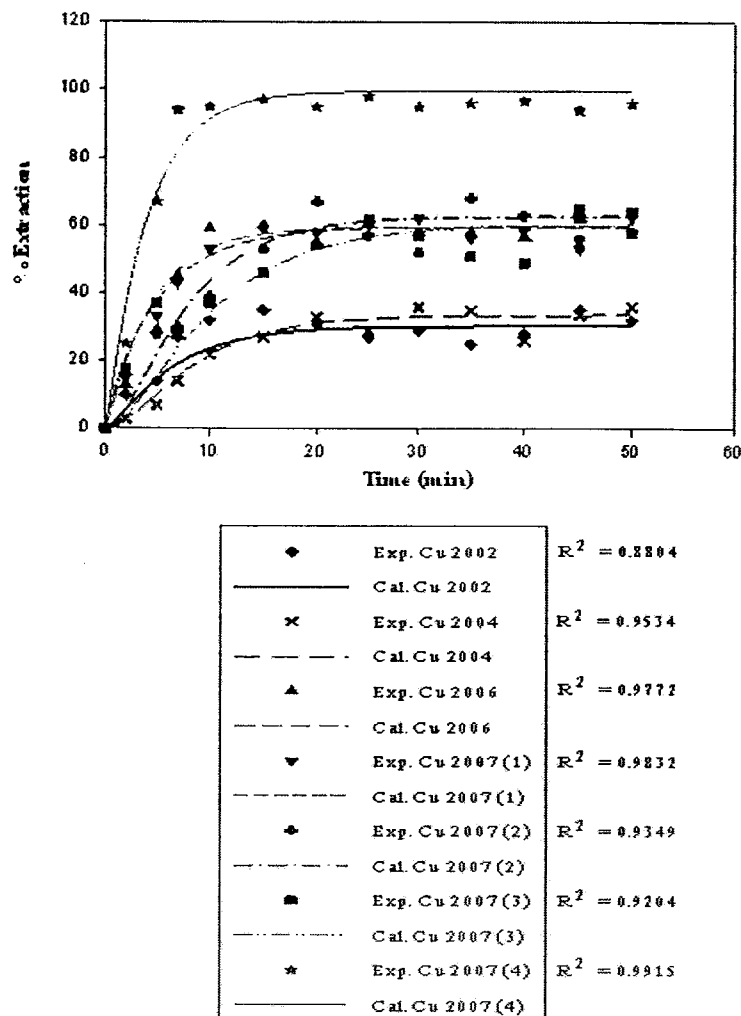
ตารางที่ 2(ก) การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของมอดูลเส้นใยกลาง

ลักษณะ	Cu 2002	Cu 2004	Cu 2006	Cu 2007 (1)	Cu 2007 (2)	Cu 2007 (3)	Cu 2007 (4)
วัสดุเส้นใยกลาง	polytetra- fluoroethylene	polypropylene	polypropylene	polypropylene	PVDF	polypropylene	polypropylene
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ของเส้นใยกลาง	800 ไมโครเมตร	240 ไมโครเมตร	120 ไมโครเมตร	120 ไมโครเมตร	814 ไมโครเมตร	120 ไมโครเมตร	240 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ของเส้นใยกลาง	1,800 ไมโครเมตร	300 ไมโครเมตร	150 ไมโครเมตร	150 ไมโครเมตร	886 ไมโครเมตร	150 ไมโครเมตร	300 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มี ประสิทธิภาพ	2 ไมโครเมตร	0.05 ไมโครเมตร	0.03 ไมโครเมตร	0.03 ไมโครเมตร	N/A	0.03 ไมโครเมตร	0.05 ไมโครเมตร
ความพรุนของเส้นใยกลาง	60%	30%	40%	40%	N/A	40%	30%
ความดันแตกต่างสูงสุด	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4.2 kg/cm ² (60 psi)
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	N/A	1.39 m ²	1.4 m ²	1.4 m ²	0.00137 m ²	1.4 m ²	1.4 m ² (15.2 ft ²)
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อ ปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	29.3 cm ³ /cm ³ (74.4 m ³ /m ³)
ช่วงอุณหภูมิในการ ปฏิบัติการสูงสุด	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1°C ถึง 60°C
มิติของชุดเส้นใยกลาง (DXL)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8 x 28 cm (2.5 x 8 inch)

จากผลการทดลองที่รวบรวมมาใช้โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ (software) ที่สร้างโดย Patthaveekongka คำนวณค่า “ k_f ” และ “ k_s ” และค่าการสกัดด้วยวิธีการสร้างกราฟตั้งแต่จุดเริ่มต้นไปจนเข้าสู่สถานะอยู่ตัวแล้วสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการทดลองกับการทำนายผลด้วยกราฟ ดังรูปที่ 1(ก)

ตารางที่ 3(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนทองแดงและค่าคงตัวของสมดุลในระบบ
หอสกัดเดียว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_f	k_s
Metal ion	Conc.	Extractant	Conc.	Conc.	pH	x_f/y_f	x_s/y_s
Cu 2002	1 g/L	LIX-860	10% <i>n</i> -hexane	300 g/L H_2SO_4	N/A	0.608	0.312
Cu 2004	100 ppm	LIX-I	4 M	1.5 M NaOH	N/A	0.653	0.342
Cu 2006	1.8×10^{-6} M	LIX 54	33% kerosene or 0.55 M	2 M H_2SO_4	1.0	0.549	0.251
Cu 2007(1)	5.6×10^{-3} M	LIX 54	33% kerosene	2 M H_2SO_4	1.0	0.556	0.266
Cu 2007(2)	447.1 mg/L	D2EHPA	10%	6 mol/L HCl	N/A	1.072	0.524
Cu 2007(3)	0.021 M	LIX54	33% kerosene	2 M H_2SO_4	1.0	0.655	0.301
Cu 2007(4)	10 ppm	D2EHPA	75%	0.1 H^+	1.0	1.096	0.288



รูปที่ 1(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนทองแดงผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใย
กลวงระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบกับทำนายผลด้วยกราฟ

จากรูปที่ 1(ก) กล่าวได้ว่าการใช้กราฟเพื่อทำนายผลการสกัดที่ผู้เขียนนำเสนอเชื่อถือได้ เพราะค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยกราฟสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดลอง ค่า “ R^2 ” จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) มีค่ามากกว่า 0.9

1.2(ก) ไอออนซีเรียม (Ce)

ตารางที่ 4(ก) ผลสรุปของไอออนซีเรียมที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงในระบบหอสกัดชีว

Metal ion		Ce 2005 (1)	Ce 2005 (2)	Ce 2006 (1)	Ce 2006 (2)
สารป้อน	ชื่อสาร	Cerium sulfate	Cerium sulfate	Cerium sulfate	Cerium sulfate
	สูตรเคมี	$\text{LaCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ce}(\text{SO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	K_2CrO_4	$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	บริษัท	Merck	Merck	Merck	Merck
สารสกัด	ชื่อสาร	TOA	TOA	Thioridazine-HCl & Oleic acid, TRHCL-OA	TOA
	บริษัท	Merck	Merck	Merck	Merck
สารนำกลับ	ชื่อสาร	Sodium carbonate	Sodium carbonate	Sulfuric acid	Sodium hydroxide
	สูตรเคมี	Na_2CO_3	Na_2CO_3	H_2SO_4	NaOH
	บริษัท	Merck	Merck	Merck	Merck
เปอร์เซ็นต์การสกัด		95	94	54	80
เปอร์เซ็นต์การนำกลับ		71	59	54.33	N/A

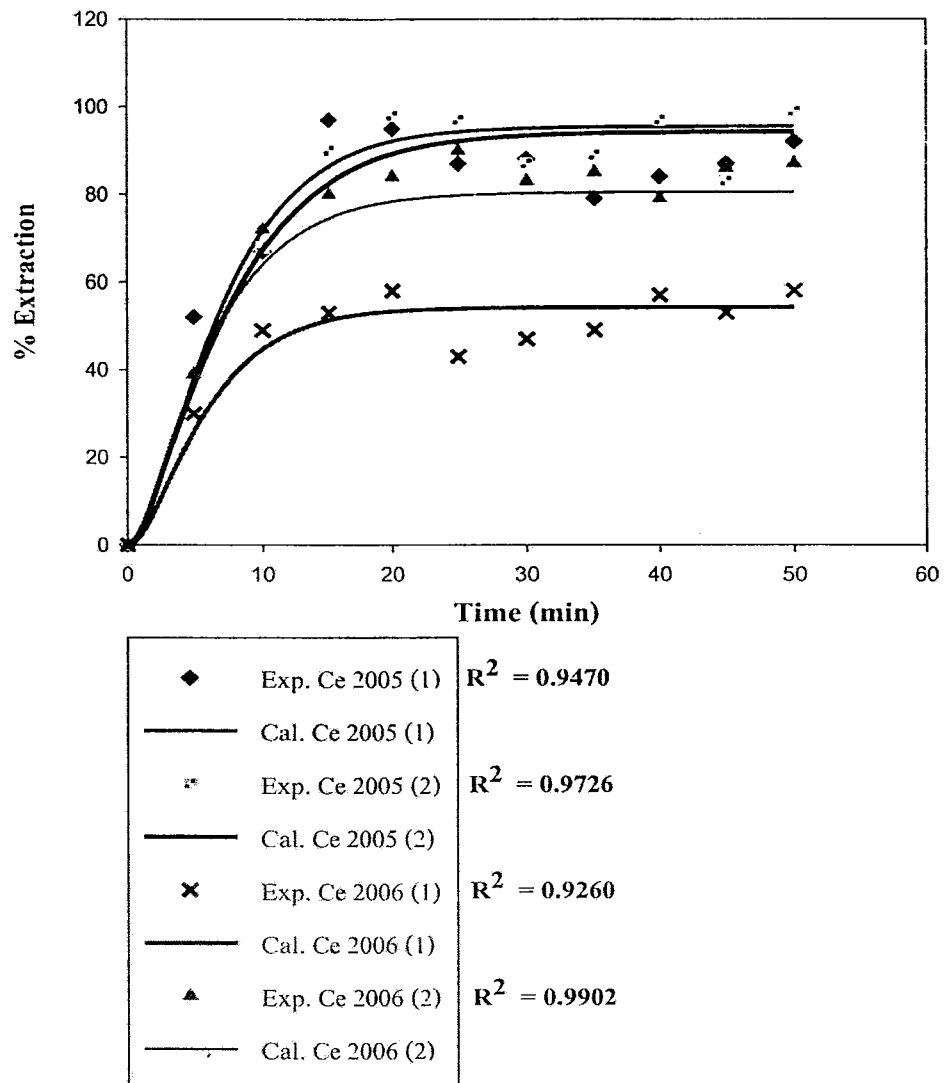
จากการสืบค้นข้อมูลระหว่าง ปี ค.ศ. 2000 ถึงมกราคม ค.ศ. 2008 ไม่ปรากฏว่ามีผลงานวิจัยสกัดไอออนซีเรียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัด เคียวนอกเหนือจากผลงานของ Pancharoen และคณะจากห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการแยก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 4 รายการ ดังนั้นจึง นำเสนอสมบัติกายภาพของมอดูลเส้นใยกลวงในตารางที่ 2.1(ในบทที่ 2) โดยไม่มีการเปรียบเทียบ รายละเอียด

ตารางที่ 5(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนซีเรียมและค่าคงตัวของสมดุล
ในระบบหอสกัดเดียว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_F	k_S
Metal ion	Conc. (ppm)	Extractant	Conc.	Conc.	pH	x_F/y_F	x_S/y_S
Ce 2005(1)	100	TOA	4% kerosene	1.25 M Na_2CO_3	6.0	1.096	0.318
Ce 2005(2)	100	TOA	5% kerosene	1 M Na_2CO_3	N/A	0.992	0.302
Ce 2006(1)	250	TOA	5% kerosene	0.1 M NaOH	N/A	0.749	0.322
Ce 2006(2)	250	TOA	0.1 M	0.1 M H_2SO_4	1.0	0.955	0.351

ผลการทดลองส่วนใหญ่เป็นการทดลองสกัดไอออนซีเรียมจากสารละลายผสมร่วมกับไอออนโลหะตัวอื่นๆ ทั้งนี้จะเห็นความหลากหลายของการเลือกใช้สารละลายป้อนและสารละลายนำกลับซึ่งไม่จำเป็นที่จะมีกฎเกณฑ์ว่าต้องเป็นกรดหรือเบส จึงต้องพยายามเลือกคู่ที่มีความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-เบส

จากรูปที่ 2(ก) กรณี Ce 2006 (1) มีเปอร์เซ็นต์ของการสกัดต่ำเนื่องจากการทดลองใช้ค่าความเข้มข้นของสารสกัดต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยกราฟ สามารถเชื่อถือได้เพราะค่า “ R^2 ” มีค่ามากกว่า 0.9



รูปที่ 2(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนซีเรียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วย
เส้นใยกลวง ระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบกับการทำนายผลด้วยกราฟ

1.3(ก) ไอออนแลนทานัม (La)

ตารางที่ 6(ก) ผลสรุปของไอออนแลนทานัมที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเชื้อแผ่นเหลว ที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยว

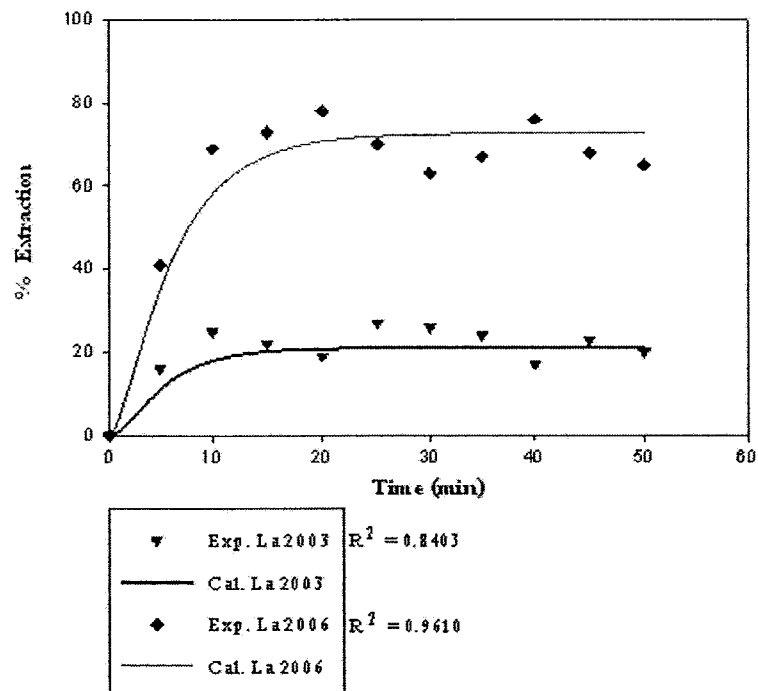
Metal ion		La 2003	La 2005	La 2006
สาร ป้อน	ชื่อสาร	Lanthanum chloride	Lanthanum chloride	Lanthanum chloride
	สูตรเคมี	$\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
	บริษัท	Merck	Merck	Merck
สาร สกัด	ชื่อสาร	TOA	TOA	TOA
	บริษัท	Merck	Merck	Merck
สาร นำกลับ	ชื่อสาร	N/A	Sodium carbonate	Sodium nitrate
	สูตรเคมี	N/A	Na_2CO_3	NaNO_3
	บริษัท	N/A	Merck	Merck
เปอร์เซ็นต์การสกัด		21	N/A	72.35
เปอร์เซ็นต์การ นำกลับ		17	N/A	N/A

จากการสืบค้นข้อมูลระหว่าง ปี ค.ศ. 2000 ถึงมกราคม ค.ศ. 2008 เช่นเดียวกับไอออนซีเรียมไม่ปรากฏว่ามีผลงานวิจัยสกัดไอออนแลนทานัมผ่านกระบวนการเชื้อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวนอกจากผลงานของ Pancharoen และคณะจากห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการแยก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 3 รายการ ดังนั้นจะขอเสนอสมบัติกายภาพของมอดูลเส้นใยกลวงซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 (ในบทที่ 2)

ตารางที่ 7(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนแลนทานัมและค่าคงตัวของสมดุล
ในระบบหอสกัดเดี่ยว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_F	k_S
Metal ion	Conc. (ppm)	Extractant	Conc.	Conc.	pH	x_F/y_F	x_S/y_S
La 2003	10	TOA	1%	0.5 M HNO ₃	6.0	0.662	0.351
La 2005	100	TOA	1%	0.2-1 M Na ₂ CO ₃	N/A	N/A	N/A
La 2006	150	D2EHPA	0.5 M	0.5 M H ₂ SO ₄	0.3	0.653	0.342

กรณี La 2005 เป็นการทดลองสกัดไอออนซีเรียมและไอออนแลนทานัม จากสารละลายผสมของทั้งสองไอออน และ Pancharoen และคณะได้เลือกสารละลายนำกลับที่สามารถนำกลับไอออนซีเรียมได้ทั้งหมดส่วนไอออนแลนทานัมเหลือเป็นสารตกค้างอยู่ในราฟไฟเนตดังนั้นในรายงานผลงานวิจัยดังกล่าว จึงไม่ได้แสดงเปอร์เซ็นต์ของการสกัดหรือเปอร์เซ็นต์ของการนำกลับและรูปที่ 3(ก) จึงไม่นำเสนอข้อมูลของ La 2005



รูปที่ 3(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนแลนทานัมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วย
เส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบกับการทำงานผลด้วยกราฟ

จากรูปที่ 3(ก) จะเห็นว่าผลการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยกราฟสอดคล้องกัน ดังนั้นจากการเปรียบเทียบในรูปที่ 1(ก)-3(ก) กล่าวได้ว่าการทำนายผลการสกัดไอออนโลหะด้วยวิธีการสร้างกราฟนั้นสะดวกและเป็นทางเลือกใหม่แทนการคำนวณทาง คณิตศาสตร์ที่ยุ่งยาก แม้ว่า จะใช้กับระบบที่ความเข้มข้นของสารสกัดต่ำ

1.4(ก) ไอออนแพลเลเดียม (Pd)

ตารางที่ 8(ก) ผลสรุปของไอออนแพลเลเดียมที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเชื่อมแผ่นเหลวที่พุง ด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยว

Metal ion		Pd 2003	Pd 2004	Pd 2006
สารป้อน	ชื่อสาร	Palladium chloride (Aqua regia)	Palladium chloride	Palladium chloride
	สูตรเคมี	PdCl_2	PdCl_2	PdCl_2
	บริษัท	Greatest Gold & Refinery Ltd.	Aldrich	Aldrich
สารสกัด	ชื่อสาร	Thioridazine-HCl and Oleic acid	Nonylthiourea (NTH)	TOA
	บริษัท	Sigma-Aldrich and Carlo Erba	Fluka	Merck
สาร นำกลับ	ชื่อสาร	Sodium nitrite	Mixtures NaSCN and NaCl	Nitric acid
	สูตรเคมี	NaNO_2	NaSCN, NaCl	HNO_3
	บริษัท	APS Chemical	Aldrich	Merck
เปอร์เซ็นต์การสกัด		55	N/A	60.5
เปอร์เซ็นต์การนำกลับ		65	N/A	N/A

ตารางที่ 9(ก) การเปรียบเทียบสมบัติกายภาพของมอดูลเส้นใยกลวง

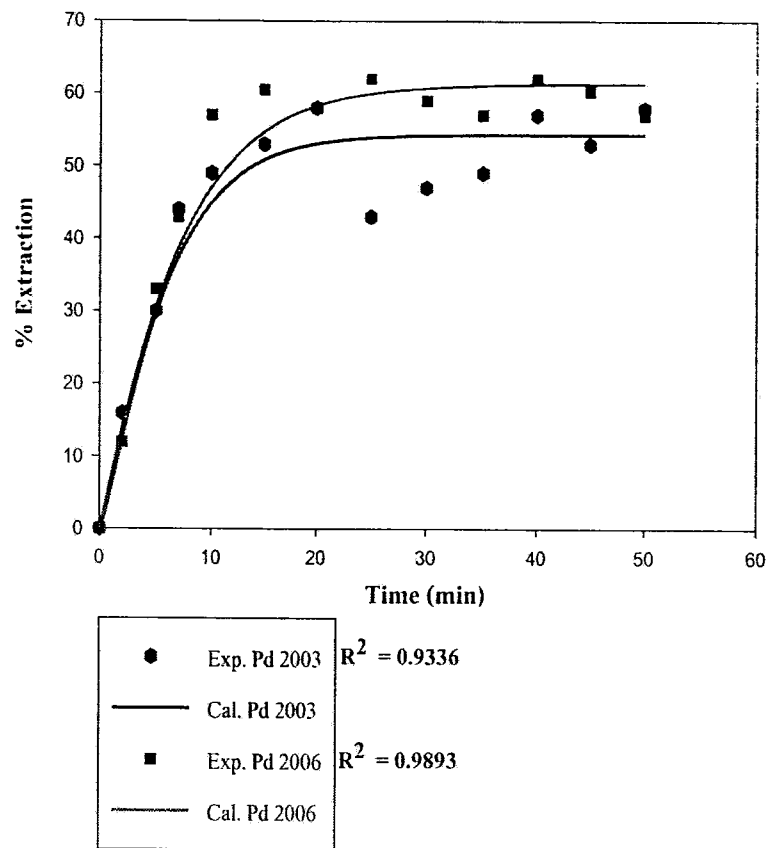
ลักษณะ	Pd 2003	Pd 2004	Pd 2006
วัสดุเส้นใยกลวง	Polypropylene	N/A	Polypropylene
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ของเส้นใยกลวง	240 ไมโครเมตร	600 ไมโครเมตร	240 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ของเส้นใยกลวง	300 ไมโครเมตร	1,000 ไมโครเมตร	300 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มี ประสิทธิภาพ	0.05 ไมโครเมตร	N/A	0.05 ไมโครเมตร
ความพรุนของเส้นใยกลวง	30%	75%	30%
ความดันแตกต่างสูงสุด	4.2 kg/cm ² (60 psi)	N/A	4.2 kg/cm ² (60 psi)
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	1.4 m ² (15.2 ft ²)	N/A	1.4 m ² (15.2 ft ²)
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อ ปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ	29.3 cm ² /cm ³ (74.4 m ² /m ³)	N/A	29.3 cm ² /cm ³ (74.4 m ² /m ³)
ช่วงอุณหภูมิในการ ปฏิบัติการสูงสุด	1°C ถึง 60°C	N/A	1°C ถึง 60°C
มิติของชุดเส้นใยกลวง (DXL)	8 × 28 cm (2.5 × 8 inch)	N/A	8 × 28 cm (2.5 × 8 inch)

ตารางที่ 8(ก) แสดงข้อมูลเกี่ยวกับสารละลายป้อน สารสกัด และสารละลายนำกลับ พร้อมชื่อบริษัทที่จัดจำหน่ายที่จะนำไปใช้กับอุปกรณ์ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพของมอดูลเส้นใยกลวง ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในตารางที่ 9(ก) เสริมด้วยข้อมูลที่แสดงรายละเอียดของความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อการสกัดไอออนโลหะผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวซึ่งอยู่ในตารางที่ 10(ก) ข้อมูลการสกัดไอออนแพลเลเดียมที่สืบค้นมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 ถึง มกราคม ค.ศ. 2008 มีเพียง 3 รายการเท่านั้น และจาก 2 ใน 3 ของเอกสารอ้างอิงมาจากห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการแยก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนแพลเลเดียมและค่าคงตัวของสมดุลในระบบ
หอสกัดเดี่ยว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		kF	kS
Metal ion	Conc. (ppm)	Extractant	Conc. (M)	Conc.	pH	x _F /y _F	x _S /y _S
Pd 2003	100	TRHCL-OA	0.0005	0.05 M NaNO ₂	6.0	1.095	0.418
Pd 2004	10	Nonylthiourea (NTH)	0.1	1 M NaCl	N/A	N/A	N/A
Pd 2006	50	TRHCL-OA	0.0005	0.03 M NaNO ₂	6.0	1.096	0.418

จากผลของการทดลอง 3 รายการ เฉพาะ Pd 2003 และ Pd 2006 เท่านั้นที่มีข้อมูลครบถ้วน และสามารถนำไปเปรียบเทียบกับการทำนายผลด้วยวิธีสร้างกราฟได้ ดังรูปที่ 4(ก) ผลงานวิจัย Pd 2006 เป็นระบบการแยกด้วยสองหอสกัด จากรูปยังคงยืนยันได้ว่าการทำนายผลการสกัดด้วยกราฟยังคงใช้ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากค่า “R²” สูงกว่า 0.9



รูปที่ 4(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนแพลเลเดียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วย
เส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบกับทำนายผลด้วยกราฟ

1.5(ก) ไอออนโคบอลต์ (Co)

ตารางที่ 11(ก) ผลสรุปของไอออนโคบอลต์ที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเอื้อแผ่นเหลวที่ทอง
ด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยว

Metal ion		Co 1998	Co 2003	Co 2004	Co 2006
สารป้อน	ชื่อสาร	Cobalt sulfate	Cobalt sulfate	Cobalt sulfate	Cobalt sulfate
	สูตรเคมี	$\text{CoSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	CoSO_4	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	บริษัท	Merk	N/A	N/A	Merck
สารสกัด	ชื่อสาร	LIX864	PC88A	PC88A	D2EHPA
	บริษัท	Chile Harting- Henkel	Daihachi Chemical Industry Co.	Daihachi Chemical Industry Co	Fluka
สาร นำกลับ	ชื่อสาร	Sulfuric acid	Sulfuric acid	Sulfuric acid	Hydrochloric acid
	สูตรเคมี	H_2SO_4	H_2SO_4	H_2SO_4	HCl
	บริษัท	N/A	Merck	Merck	Merck
เปอร์เซ็นต์การสกัด		N/A	N/A	48	51.09
เปอร์เซ็นต์การนำกลับ		N/A	N/A	45	50.59

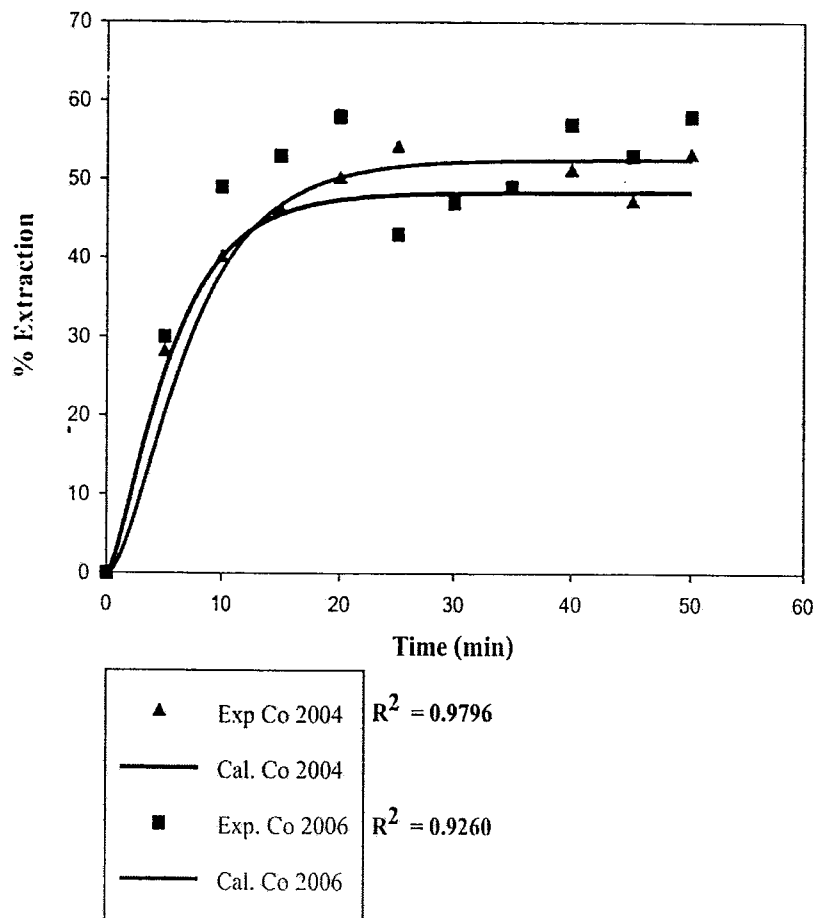
ตารางที่ 12(ก) การเปรียบเทียบสมบัติกายภาพของมอดูลเส้นใยกลวง

ลักษณะ	Co 1998	Co 2003	Co 2004	Co 2006
วัสดุเส้นใยกลวง	polytetra- fluoroethylene	polypropylene	polypropylene	polytetra- fluoroethylene
เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในของเส้นใยกลวง	0.75-0.85 มิลลิเมตร	240 ไมโครเมตร	240 ไมโครเมตร	240 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอกของเส้นใย กลวง	1.8 มิลลิเมตร	300 ไมโครเมตร	300 ไมโครเมตร	300 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มี ประสิทธิภาพ	1.5-2.0 ไมโครเมตร	0.03 ไมโครเมตร	0.03 ไมโครเมตร	0.05 ไมโครเมตร
ความพรุนของ เส้นใยกลวง	45-50%	30%	30%	30%
ความดันแตกต่างสูงสุด	N/A	N/A	N/A	4.2 kg/cm ² (60 psi)
พื้นที่ผิวที่มี ประสิทธิภาพ	N/A	0.4 m ²	0.4 m ²	1.4 m ² (15.2 ft ²)
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อ ปริมาตรที่มี ประสิทธิภาพ	N/A	N/A	N/A	29.3 cm ² /cm ³ (74.4 m ² /m ³)
ช่วงอุณหภูมิในการ ปฏิบัติการสูงสุด	N/A	N/A	N/A	1°C ถึง 60 °C
มิติของชุดเส้นใยกลวง (DXL)	N/A	N/A	N/A	8 × 28 cm (2.5 × 8 inch)

ตารางที่ 13(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนโคบอลต์และค่าคงตัวของสมดุลในระบบ
หอสกัดเดียว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_F	k_S
Metal ion	Conc. (ppm)	Extractant	Conc.	Conc. (M)	pH	x_F/y_F	x_S/y_S
Co 1998	100	LIX 864	20%	2.7 M	5-6	N/A	N/A
Co 2003	10	PC 88A	0.1 M	$1.5 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^3$ H_2SO_4	6.0	N/A	N/A
Co 2004	10	PC 88A	0.1 M	$1.5 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^3$ H_2SO_4	0.3	0.853	0.342
Co 2006	100	D2EHPA	20%	0.1 M HCl	1.0	0.955	0.351

การสกัดไอออนโคบอลต์ที่สืบค้นได้มีเพียง 2 เรื่องเท่านั้น คือ Co 2004 และ Co 2006 ที่มีข้อมูลสมบูรณ์สามารถนำไปเปรียบเทียบกับการทำงานผลด้วยวิธีสร้างกราฟได้ ในรูปที่ 5(ก)



รูปที่ 5(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนโคบอลต์ผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วย
เส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบกับการทำนายผลด้วยกราฟ

จากรูปที่ 5(ก) วิธีการสร้างกราฟสามารถทำนายผลการสกัดได้ดี เพราะค่าที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับค่าที่คำนวณได้จากกราฟ

1.6(ก) ไอออนยูเรเนียม (U)

ตารางที่ 14(ก) ผลสรุปของไอออนยูเรเนียมที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเชื่อมแผ่นเหลว ที่พวยด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยว

Metal ion		U 2004	U 2006	U 2007
สารป้อน	ชื่อสาร	Uranyl nitrate	Ammonium di-ureate	Ammonium di-ureate
	สูตรเคมี	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$	$(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$
	บริษัท	N/A	Merck	Merck
สารสกัด	ชื่อสาร	TOA	TBP	TBP
	บริษัท	Merck	Merck	Merck
สารนำกลับ	ชื่อสาร	N/A	Sodium hydroxide	Sodium hydroxide
	สูตรเคมี	N/A	NaOH	NaOH
	บริษัท	N/A	Merck	Merck
เปอร์เซ็นต์การสกัด		98	58	65
เปอร์เซ็นต์การนำกลับ		N/A	40	42

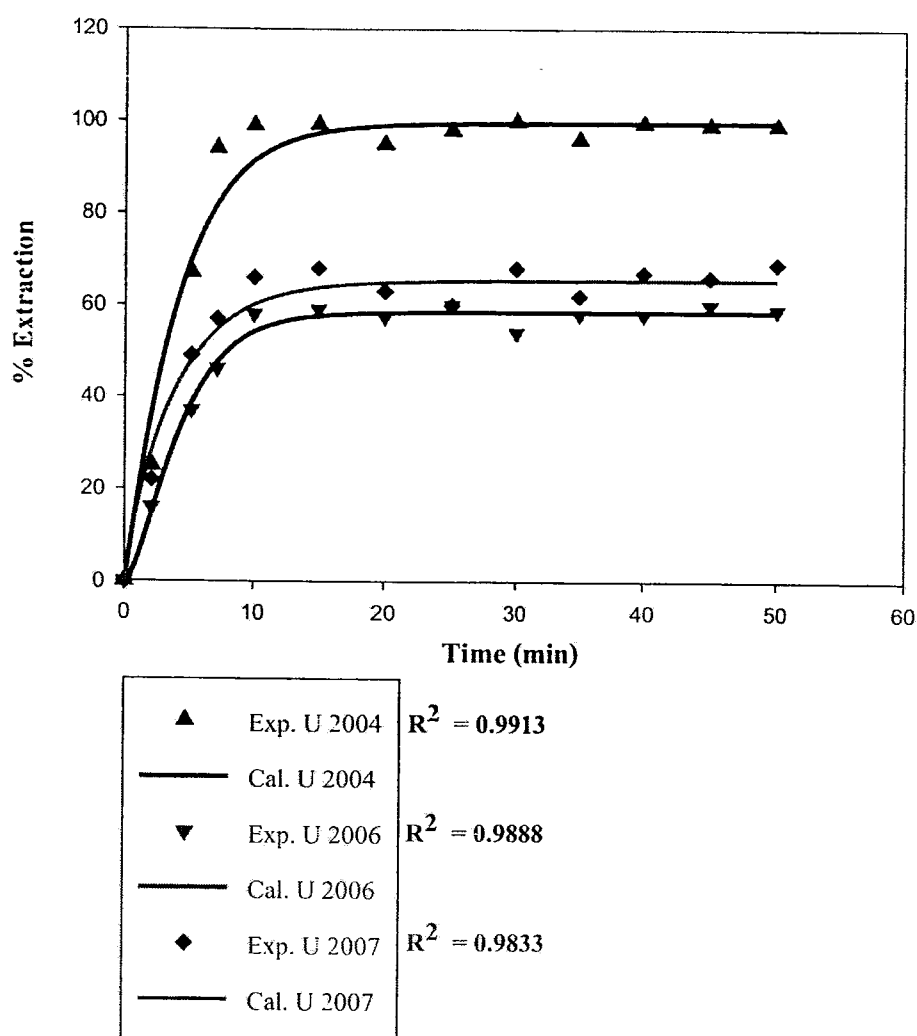
ตารางที่ 15(ก) เปรียบเทียบสมบัติกายภาพของมอดูลเส้นใยกลวง

ลักษณะ	U 2004	U 2006	U 2007
วัสดุเส้นใยกลวง	polypropylene	polypropylene	polypropylene
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเส้นใยกลวง	600 ไมโครเมตร	240 ไมโครเมตร	240 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเส้นใยกลวง	1.000 ไมโครเมตร	300 ไมโครเมตร	300 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มีประสิทธิภาพ	0.2 ไมโครเมตร	0.05 ไมโครเมตร	0.05 ไมโครเมตร
ความพรุนของเส้นใยกลวง	70%	30%	30%
ความดันแตกต่างสูงสุด	N/A	4.2 kg/cm ² (60 psi)	4.2 kg/cm ² (60 psi)
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	0.0034 m ²	1.4 m ² (15.2 ft ²)	1.4 m ² (15.2 ft ²)
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ	N/A	29.3 cm ² /cm ³ (74.4 m ² /m ³)	29.3 cm ² /cm ³ (74.4 m ² /m ³)
ช่วงอุณหภูมิในการปฏิบัติการสูงสุด	N/A	1°C ถึง 60°C	1°C ถึง 60°C
มิติของชุดเส้นใยกลวง (DXL)	N/A	8 × 28 cm (2.5 × 8 inch)	8 × 28 cm (2.5 × 8 inch)

จากผลของการทดลองที่สืบค้นในช่วงเวลางานสกัดไอออนยูเรเนียมมี 3 รายการ และ 2 ใน 3 ของเอกสารอ้างอิงมาจากห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการแยก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งผลงานที่นำเสนอที่น่าสนใจแตกต่างกันกล่าวคือ U 2006 เน้นเรื่องราวที่เกี่ยวกับฟลักซ์ (flux) ส่วน U 2007 เน้นเรื่องเกี่ยวกับสภาพให้ซึมผ่านได้ (permeability)

ตารางที่ 16(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนยูเรเนียมและกำกวมของสมมูล
ในระบบหอสกัดเดียว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_F	k_S
Metal ion	Conc.	Extractant	Conc.	Conc.	pH	x_F/y_F	x_S/y_S
U 2004	15 g dm ⁻³	TOA	0.36 M	0.1 M NH ₂ OH · HCl 0.3 M HNO ₃	N/A	1.096	0.418
U 2006	300 ppm	TBP	5%	1M NaOH	N/A	0.665	0.351
U 2007	300 ppm	TBP	5%	1M NaOH	N/A	0.653	0.342



รูปที่ 6(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนยูเรเนียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลว

ที่พองด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบกับการทำนายผลด้วยกราฟ

จากรูปที่ 6(ก) พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับการทำนายผลจากวิธีการสร้างกราฟ เพราะค่า “ R^2 ” มากกว่า 0.9



1.7(ก) ไอออนทองคำ (Au)

การสกัดไอออนทองคำผ่านกระบวนการเชื่อมแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงด้วยระบบหอสกัดเดียว ข้อมูลเกี่ยวกับสารละลายป้อน สารสกัด สารละลายนำกลับ รวมถึงเปอร์เซ็นต์การสกัด ได้สรุปในตารางที่ 17(ก)

ตารางที่ 17(ก) ผลสรุปของไอออนทองคำที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเชื่อมแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดียว

Metal ion		Au 2000 (1)	Au 2000 (2)
สารป้อน	ชื่อสาร	N/A	N/A
	สูตรเคมี	$\text{KAu}(\text{CN})_2$	$\text{KAu}(\text{CN})_2$
	บริษัท	Johnson Matthey	Johnson Matthey
สารสกัด	ชื่อสาร	Cyanex 921 (TOPO)	LIX79
	บริษัท	Cytec Inc	Hankel
สารนำกลับ	ชื่อสาร	N/A	N/A
	สูตรเคมี	N/A	N/A
	บริษัท	N/A	N/A
เปอร์เซ็นต์การสกัด		28	30
เปอร์เซ็นต์การนำกลับ		N/A	N/A

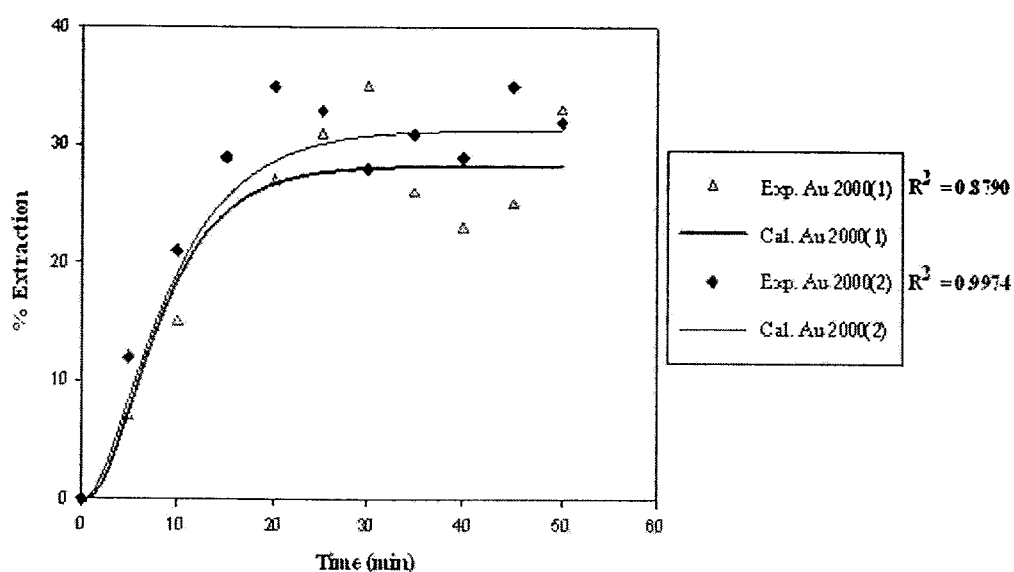
Au 2000 (1) เอกสารอ้างอิง, Au 2000 (2) เอกสารอ้างอิง

ตารางที่ 18(ก) เปรียบเทียบสมบัติกายภาพของมอดูลเส้นใยกลวง

ลักษณะ	คุณลักษณะ	Au 2000 (1)	Au 2000 (2)
วัสดุเส้นใยกลวง	พอลิโพรไพลีน	polypropylene	polypropylene
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเส้นใยกลวง	240 ไมโครเมตร	240 ไมโครเมตร	240 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเส้นใยกลวง	300 ไมโครเมตร	300 ไมโครเมตร	300 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มีประสิทธิภาพ	0.05 ไมโครเมตร	0.03 ไมโครเมตร	0.03 ไมโครเมตร
ความพรุนของเส้นใยกลวง	30%	30%	30%
ความดันแตกต่างสูงสุด	4.2 kg/cm ² (60 psi)	N/A	N/A
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	1.4 m ² (15.2 ft ²)	1.4 m ²	1.4 m ²
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ	29.3 cm ² /cm ³ (74.4 m ² /m ³)	N/A	N/A
ช่วงอุณหภูมิในการปฏิบัติการสูงสุด	1°C ถึง 60°C	N/A	N/A
มิติของชุดเส้นใยกลวง (DXL)	8 × 28 cm (2.5 × 8 inch)	N/A	N/A

ตารางที่ 19(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนทองคำและค่าคงตัวของสมดุลในระบบหอสกัดเดี่ยว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_f	k_s
Metal ion	Conc. (ppm)	Extractant	Conc.	Conc.	pH	x_f/y_f	x_s/y_s
Au 2000 (1)	100	Cyanex 921 (TOPO)	0.125M	0.4 M NaOH	N/A	0.613	0.418
Au 2000 (2)	1000	LIX 79	12%	1 M NaOH	N/A	0.653	0.342



รูปที่ 7(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนทองคำผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลางระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบกับการทำนายผลด้วยกราฟ

รูปที่ 7(ก) แสดงผลที่ยืนยันว่าการทำนายผลด้วยวิธีการสร้างกราฟสามารถหาคำตอบได้รวดเร็วและใช้แทนการคำนวณด้วยการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยาก

1.8(ก) ไอออนโครเมียม(Cr)

ตารางที่ 20(ก) ผลสรุปของไอออนโครเมียมที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเชื่อมแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลางระบบหอสกัดเดียว

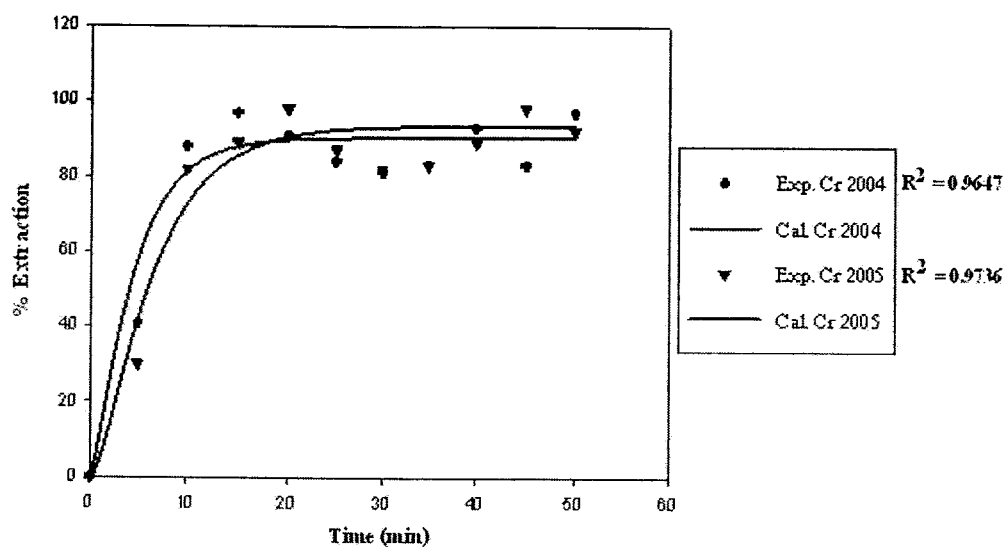
Metal ion		Cr 2004	Cr 2005
สารป้อน	ชื่อสาร	Potassium chromate	Sodium chromate
	สูตรเคมี	K_2CrO_4	Na_2CrO_4
	บริษัท	Merck	N/A
สารสกัด	ชื่อสาร	Aliquat 336	TBP
	บริษัท	Merck	Merck
สารนำกลับ	ชื่อสาร	Sodium hydroxide	N/A
	สูตรเคมี	NaOH	N/A
	บริษัท	Merck	N/A
เปอร์เซ็นต์การสกัด		90	93
เปอร์เซ็นต์การนำกลับ		70	N/A

ตารางที่ 21(ก) เปรียบเทียบสมบัติกายภาพของมอดูลเส้นใยกลวง

ลักษณะ	Cr 2004	Cr 2005
วัสดุเส้นใยกลวง	polypropylene	polypropylene
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ของเส้นใยกลวง	240 ไมโครเมตร	244 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ของเส้นใยกลวง	300 ไมโครเมตร	272 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มีประสิทธิภาพ	0.05 ไมโครเมตร	0.03 ไมโครเมตร
ความพรุนของเส้นใยกลวง	30%	40%
ความดันแตกต่างสูงสุด	4.2 kg/cm ² (60 psi)	N/A
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	1.4 m ² (15.2 ft ²)	1.5 m ²
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตร ที่มีประสิทธิภาพ	29.3 cm ² /cm ³ (74.4 m ² /m ³)	N/A
ช่วงอุณหภูมิในการปฏิบัติการ สูงสุด	1°C ถึง 60°C	N/A
มิติของชุดเส้นใยกลวง (DXL)	8 × 28 cm (2.5 × 8 inch)	N/A

ตารางที่ 22(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนโครเมียมและค่าคงตัวของสมดุล
ในระบบหอสกัดเดี่ยว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_F	k_S
Metal ion	Conc. (ppm)	Extractant	Conc.	Conc.	pH	x_F/y_F	x_S/y_S
Cr 2004	100	Aliquat 336	4.5%	2 M NaOH	N/A	1.296	0.418
Cr 2005	N/A	TBP	N/A	N/A	N/A	1.142	0.342



รูปที่ 8(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนโครเมียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พอง
ด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบกับทำนายผลด้วยกราฟ

จากรูปที่ 8(ก) พบว่าผลจากการทดลองสอดคล้องกับการทำนายผลจากวิธีการสร้างกราฟ
เช่นกันสนับสนุนด้วยค่า “ R^2 ” มากกว่า 0.9

1.9(ก) ไอออนปรอท (Hg)

ตารางที่ 23(ก) ผลสรุปของไอออนปรอทที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเชื่อมแผ่นเหลว
ที่พวยด้วยเส้นใยกลวงในระบบหอสกัดเดี่ยว

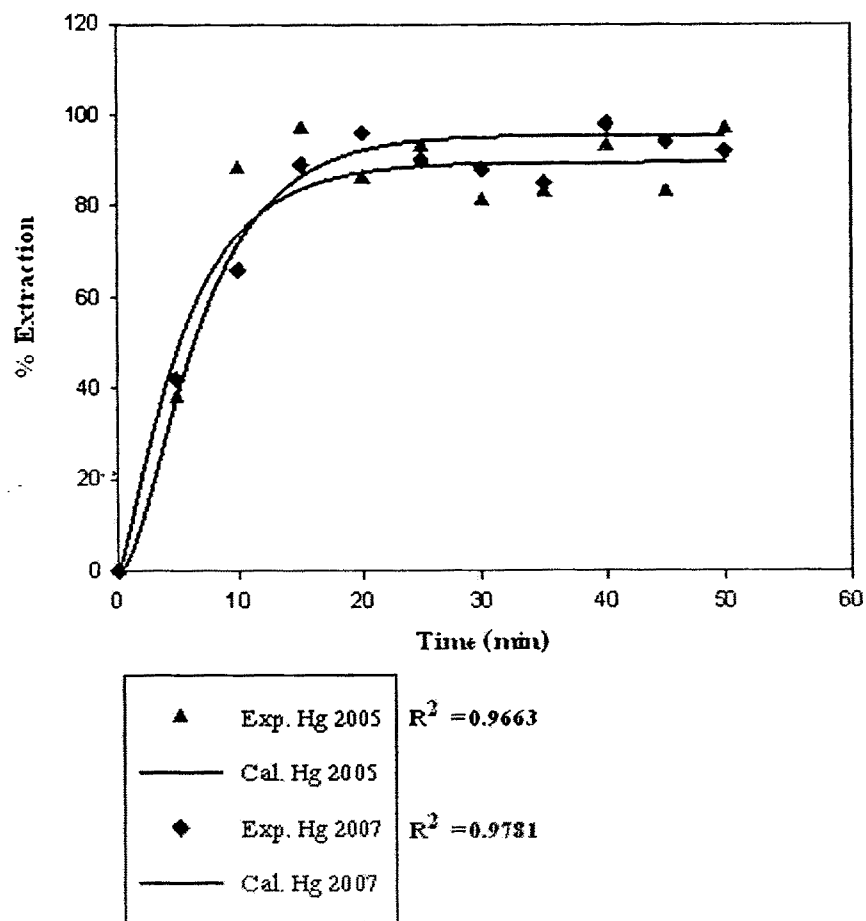
Metal ion		Hg 2005	Hg 2007
สารป้อน	ชื่อสาร	Mercury chloride	Mercury chloride
	สูตรเคมี	HgCl ₂	HgCl ₂
	บริษัท	Panreac	Merck
สารสกัด	ชื่อสาร	N-benzoyl-N, N-diheptadecylthiourea	TOA
	บริษัท	Merck	Merck
สารนำกลับ	ชื่อสาร	Thiourea	Sodium hydroxide
	สูตรเคมี	N/A	NaOH
	บริษัท	N/A	Merck
เปอร์เซ็นต์การสกัด		89	95
เปอร์เซ็นต์การนำกลับ		60	93

ตารางที่ 24(ก) เปรียบเทียบสมบัติกายภาพของมอดูลเส้นใยกลาง

ลักษณะ	Hg 2005	Hg 2007
วัสดุเส้นใยกลาง	polypropylene	Polypropylene
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ของเส้นใยกลาง	0.3 มิลลิเมตร	240 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ของเส้นใยกลาง	0.5 มิลลิเมตร	300 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มีประสิทธิภาพ	0.2 ไมโครเมตร	0.05 ไมโครเมตร
ความพรุนของเส้นใยกลาง	75%	30%
ความดันแตกต่างสูงสุด	N/A	4.2 kg/cm ² (60 psi)
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	N/A	1.4 m ² (15.2 ft ²)
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตร ที่มีประสิทธิภาพ	N/A	29.3 cm ² /cm ³ (74.4 m ² /m ³)
ช่วงอุณหภูมิในการปฏิบัติการ สูงสุด	N/A	1°C ถึง 60°C
มิติของชุดเส้นใยกลาง (DXL)	N/A	8 × 28 cm (2.5 × 8 inch)

ตารางที่ 25(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนปรอทและค่าคงตัวของสมดุลในระบบ
หอสกัดเดียว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_F	k_S
Metal ion	Conc.	Extractant	Conc.	Conc.	pH	x_F/y_F	X_S/y_S
Hg 2005	5×10^{-5} M	N-benzoyl-N, N- diheptadecylthiourea	0.001 M	0.3 M thiourea	1.0	1.096	0.218
Hg 2007	20 ppm	TOA	2%	0.1 M NaOH	N/A	1.246	0.342



รูปที่ 9(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนปรอทผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วย
เส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบกับการทำนายผลด้วยกราฟ

รูปที่ 9(ก) แสดงผลการทดลองและผลการคำนวณสอดคล้องกันดี เป็นการยืนยันว่าวิธีการ
ทำนายผลด้วยการสร้างกราฟนั้นสามารถให้ผลที่น่าเชื่อถือมีข้อผิดพลาดน้อย

1.10(ก) ไอออนนีโอดีเมียม (Nd)

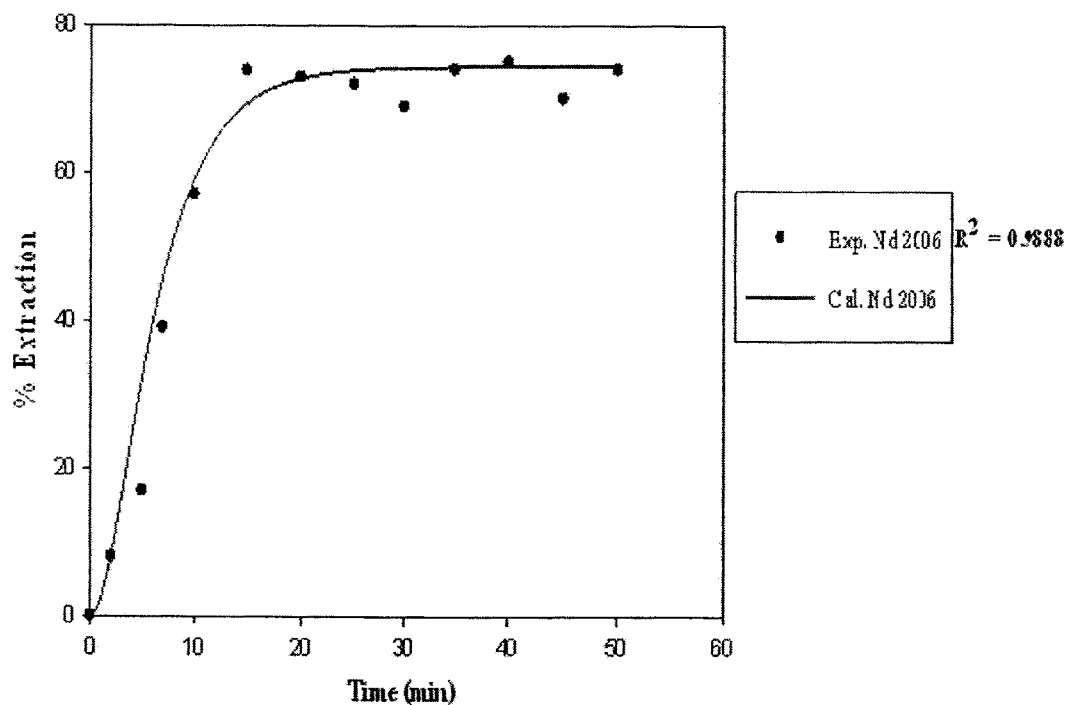
ตารางที่ 26(ก) ผลสรุปของไอออนนีโอดีเมียมที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเชื่อมแผ่นเหลว
ที่พุงด้วยเส้นใยกลางในระบบหอสกัดเดี่ยว

Metal ion		Nd 2003	Nd 2006
สารป้อน	ชื่อสาร	Neodymium oxide	Neodymium oxide
	สูตรเคมี	Nd_2O_3	Nd_2O_3
	บริษัท	Aldrich	N/A
สารสกัด	ชื่อสาร	TOA, HTTA	D2EHPA
	บริษัท	Merck	Merck
สารนำกลับ	ชื่อสาร	Nitric acid	Nitric acid
	สูตรเคมี	HNO_3	HNO_3
	บริษัท	Merck	N/A
เปอร์เซ็นต์การสกัด		2.01	77
เปอร์เซ็นต์การนำกลับ		1.12	N/A

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสกัดไอออนนีโอดีเมียมผ่านกระบวนการเชื่อมแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลางระบบหอสกัดเดี่ยวตั้งแต่ ค.ศ. 2000 ถึงมกราคม 2008 มีรายงานเพียง 2 เรื่อง ทั้งสองเรื่องนี้เป็นผลงานจากห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการแยก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังนั้นสมบัติทางกายภาพของมอดูลเส้นใยกลาง จึงสามารถสรุปละเอียดได้จากตารางที่ 2.1(ในบทที่ 2)

ตารางที่ 27(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนปรอทและค่าคงตัวของสมดุลในระบบ
หอสกัดเดียว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_F	k_S
Metal ion	Conc. (ppm)	Extractant	Conc.	Conc.	pH	x_F/y_F	x_S/y_S
Nd 2003	10	HTTA, TOA	0.01 M, 3%	0.5 M HNO ₃	1.0	N/A	N/A
Nd 2006	100	D2EHPA	10%	0.1 M HNO ₃	1.0	0.556	0.266



รูปที่ 10(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนนีโอดีเมียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วย
เส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดียวเปรียบเทียบกับการทำงานผลด้วยกราฟ

รูปที่ 10(ก) มีกราฟเพียงเส้นเดียวคือเปรียบเทียบผลจากการทดลองกับการทำนายผลด้วยวิธีสร้างกราฟจากข้อมูล Nd 2006 ส่วนข้อมูลที่ได้จาก Nd 2003 เป็นการสกัดสารละลายผสมระหว่างไอออนแลนทานัมและไอออนนีโอดีเมียมจากการคัดเลือกสารสกัดทำให้เปอร์เซ็นต์การสกัดไอออนนีโอดีเมียมต่ำมาก (ประมาณ 2% เท่านั้น) ซึ่งถือว่าไม่มีการสกัด กล่าวได้ว่าการทำนายผลการสกัดด้วยวิธีการสร้างกราฟที่ผู้เขียนนำเสนอให้ผลที่น่าเชื่อถือ

1.11(ก) ไอออนโลหะที่มีข้อมูลค่อนข้างจำกัด

ไอออนโลหะที่จะนำมาเป็นกรณีศึกษาในกลุ่มนี้มีข้อมูลค่อนข้างจำกัด ประกอบไปด้วย

1. ไอออนแคดเมียม (Cadmium ion)
2. ไอออนสังกะสี (Zinc ion)
3. ไอออนเซอร์โคเนียม (Zirconium ion)
4. ไอออนพลูโทเนียม (Plutonium ion)
5. ไอออนแฮฟเนียม (Hafnium ion)

จากการสืบค้นข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 จนถึงเดือนมกราคม 2008 ค้นพบรายงานผลงานวิจัยของไอออนโลหะเหล่านี้เพียงชนิดละ 1 เรื่อง สำหรับไอออนเซอร์โคเนียมและไอออนแฮฟเนียมจำนวนรายงานที่พบยิ่งน้อยลงอีกเพราะเป็นการรายงานในเอกสารชุดเดียวกัน

ตารางที่ 28(ก) ประมวลข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับสารละลายป้อนสารสกัด และสารละลายนำกลับของแต่ละผลงาน และเปรียบเทียบสมบัติของมอดูลเส้นใยกลวงที่ใช้ในตารางที่ 29(ก)

ข้อน่าสังเกตประการหนึ่งก็คือ การสกัดไอออนสังกะสี นั้นเป็นการสกัดผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวชนิดที่เจาะจงซึ่งเป็น “การคัดเลือกสกัด (selective separation)” จากระบบสารละลายผสมของไอออนทองแดง โคโรเนียม และสังกะสี ในรายงานได้แสดงผลการสกัดโดยเสนอเป็นกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์ของการสกัดหรือเปอร์เซ็นต์ของการนำกลับ เทียบกับตัวแปรอีกหลากหลาย เช่น ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน ค่าความเข้มข้นของสารสกัด เป็นต้น และแสดงไว้ชัดเจนว่าไม่สามารถสกัดไอออนสังกะสีออกไปได้ ไอออนสังกะสีที่ผสมอยู่ในสารละลายป้อนก็ยังคงอยู่ในสารละลายป้อนและไหลออกไปจากกระบวนการสกัดอยู่ในราฟฟิเนต โดยไม่ได้มีการหลุดรอดไปยังสารละลายนำกลับเลย

ตารางที่ 28(ก) ผลสรุปของไอออนแคดเมียม ดังกะสี เซอร์โคเนียม พลูโทเนียม และแอฟเนียมที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการแยกแผ่นเหลวที่
 พุ่งด้วยเส้นใยกลวงในระบบหอสกัดเดี่ยว

Metalion		Cd 2004	Zn 2004	Zr 2002	Pu 2001	Hf 2001
สารป้อน	ชื่อสาร	Cadmium chloride	Zinc sulfate	Zirconium standard solution	N/A	Hf standard solution
	สูตรเคมี	CdCl ₂	Zn(SO ₄) 7H ₂ O	Zr	N/A	Hf
	บริษัท	Merck	Merck	Aldrich	N/A	Aldrich
สารสกัด	ชื่อสาร	D2EHPA	LIX-1	Aliquat336	TBP	Aliquat336
	บริษัท	Fluka	Henkel	Aldrich	Merck	Merck, Aldrich, Fluka
สาร น้ำกลั่น	ชื่อสาร	Distilled water buffered to an appropriate value	Sulfuric acid	Hydrochloric acid	NH ₂ OH·HCl in HNO ₃ solution	Hydrochloric acid
	สูตรเคมี	N/A	H ₂ SO ₄	HCl	NH ₂ OH·HCl, HNO ₃	HCl
	บริษัท	N/A	Merck	Merck	N/A	Merck
เปอร์เซ็นต์การสกัด		40	N/A	90	70	25
เปอร์เซ็นต์การนำกลับ		N/A	N/A	85	N/A	23

ตารางที่ 29(ก) เปรียบเทียบสมบัติกายภาพของมอดูเลชั่นใยกลาง
ตารางที่ 29(ก.) เปรียบเทียบสมบัติกายภาพของมอดูเลชั่นใยกลาง [2, 30-32]

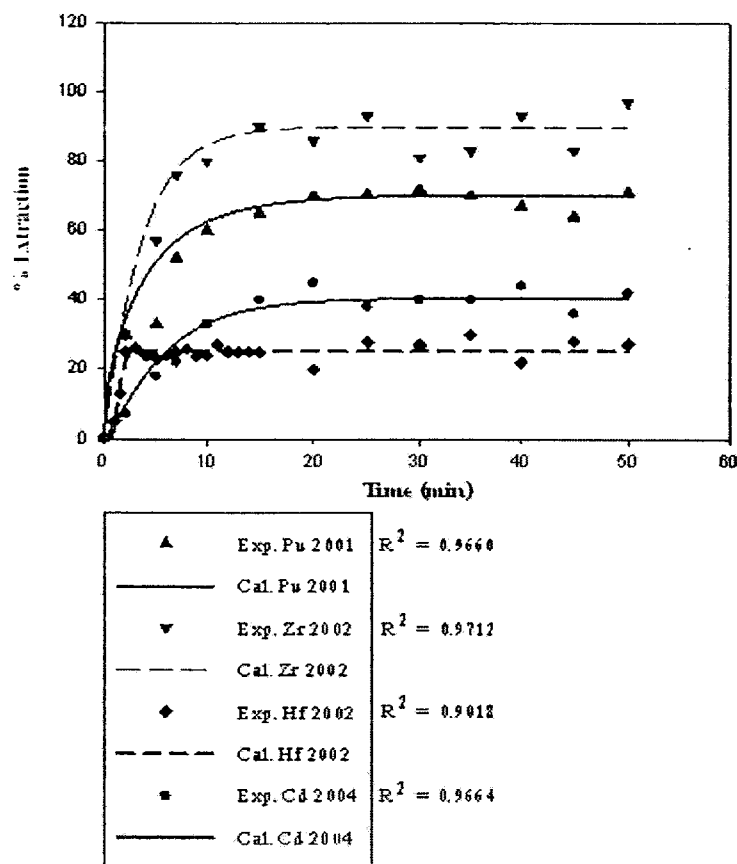
ลักษณะ	Ca 2004	Zn 2004	Zr 2002	Pu 2001	Hf 2001
วัสดุเส้นใยกลาง	polytetrafluoroethylene	polypropylene	polypropylene	polypropylene	polypropylene
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเส้นใยกลาง	800 ไมโครเมตร	240 ไมโครเมตร	N/A	600 ไมโครเมตร	N/A
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเส้นใยกลาง	1,800 ไมโครเมตร	300 ไมโครเมตร	N/A	1,000 ไมโครเมตร	N/A
ขนาดรูพรุนที่มีประสิทธิภาพ	1.5 - 2.0 ไมโครเมตร	0.05 ไมโครเมตร	N/A	0.2 ไมโครเมตร	N/A
ความพรุนของเส้นใยกลาง	55%	30%	70%	70%	70%
ความดันแตกต่างสูงสุด	N/A	4.2 kg/cm ² (60 psi)	N/A	N/A	N/A
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	N/A	1.4 m ² (15.2 ft ²)	0.0039 m ²	0.0034 m ²	0.0039 m ²
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ	N/A	29.3 cm ³ /cm ³ (74.4 m ³ /m ³)	N/A	N/A	N/A
ช่วงอุณหภูมิในการปฏิบัติการสูงสุด	N/A	1°C ถึง 60°C	N/A	N/A	N/A
มิติของชุดเส้นใยกลาง (DXL)	N/A	8 x 28 cm (2.5 x 8 inch)	N/A	N/A	N/A

ตารางที่ 30(ก) ผลสรุปของการทดลองของไอออนแคดเมียม สังกะสี เซอร์โคเนียม พลูโทเนียม และแอฟเนียม และค่าคงตัวของสมดุลในระบบหอสกัดเดี่ยว

Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_F	k_S
Metal ion	Conc.	Extractant	Conc.	Conc. (M)	pH	x_F/y_F	x_S/y_S
Cd 2004	N/A	D2EHPA	N/A	N/A	N/A	0.693	0.388
Zn 2004	25 mg/mL	LIX-I	1-5 % *	NaOH **	N/A	N/A	N/A
Zr 2002	10 ppm	Aliquat 336	0.2 M	2 M HCl	N/A	1.202	0.346
Pu 2001	1.5×10^{-5} M	TBP	30%	0.1 M NH ₂ OH·HCl in 0.3 M HNO ₃	N/A	1.144	0.413
Hf 2002	10ppm	Aliquat 336	0.2 M	2 M HCl	N/A	0.528	0.336

* แทบไม่มีการสกัด ** ไม่มีการนำกลับ

ที่ได้กล่าวแล้วว่ากระบวนการที่ใช้ไม่สามารถสกัดไอออนสังกะสีได้ ดังนั้นรูปที่ 11(ก) จะแสดง ผลของการสกัดไอออนแคดเมียม เซอร์โคเนียม พลูโทเนียม และแอฟเนียมเท่านั้น อย่างไรก็ตามผลในรูปที่ 11(ก) ก็ยังคงยืนยันและสรุปได้ว่าการทำนายค่าด้วยวิธีการสร้างกราฟเชื่อถือได้



รูปที่ 11(ก) ผลการทดลองการสกัดไอออนแอสเมียมเซอร์โคเนียมพลูโทเนียม และแฮฟเนียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวเปรียบเทียบกับการทำนายผลด้วยกราฟ

ผลการทดลองสกัดไอออนโลหะต่างๆ 15 ชนิด ไม่ว่าจะเป็นการสกัดแบบเสริมฤทธิ์หรือเป็นแบบคัดเลือกสกัดด้วยกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวระบบหอสกัดเดี่ยวที่ได้สืบค้นข้อมูลมาสามารถทำนายได้อย่างน่าเชื่อถือด้วยวิธีการสร้างกราฟ

2(ก) ระบบสองหอสกัด

ข้อมูลที่ใช้ประกอบเป็นกรณีศึกษานี้ประกอบด้วยไอออนโลหะที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบ 2 หอสกัด สืบค้นมาได้ 4 ชนิดจากงานของ Patthaveekongka et al. เป็นหลักคือ ไอออนซีเรียม (Cerium ion) ไอออนแพลเลเดียม (Palladium ion) ไอออนแลนทานัม (Lanthanum ion) ไอออนนีโอดีเมียม (Neodymium ion)

ดังนั้นการจะเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลของการคำนวณโดยอาศัยการทำนายด้วยกราฟจึงจำเป็นต้องมีข้อมูลของผลจากการทดลอง เพื่อให้สามารถสร้างกราฟระหว่างความ

เข้มข้นของไอออนในราฟเฟนิตหรือในเพอร์มิเอตเทียบกับเวลาที่ใช้ในการสกัด หรือจำนวนวัฏจักรในวารสารที่ดีพิมพ์เผยแพร่ นั้นจะไม่สามารถหาข้อมูลดังกล่าวได้โดยตรง แต่ต้องอาศัยการวิเคราะห์จากการแปลงข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งอาจเป็นเปอร์เซ็นต์ของการสกัด หรือเปอร์เซ็นต์ของการนำกลับ หรือเปอร์เซ็นต์ของฟังกชันที่มีชื่อเรียกอย่างอื่น แต่หากยังสามารถเชื่อมโยงไปยังค่าความเข้มข้นได้ก็ถือว่าเป็นข้อมูลที่สมบูรณ์แน่นอนที่บางกรณีก็อาจจะมีความไม่สมบูรณ์ที่จะสืบค้นหาค่าที่ต้องการ (not available, N/A) ก็คงต้องหาวิธีการอื่นที่เหมาะสม

2.1(ก) การประมวลผลการทดลองของระบบสองหอสกัด

ตารางที่ 31(ก) แสดงสารละลายป้อน สารสกัด สารนำกลับที่ใช้เปอร์เซ็นต์ของการสกัด และเปอร์เซ็นต์ของการนำกลับ

ชนิด	ชื่อทางเคมี	สูตรเคมี	บริษัทผู้ผลิต
สารละลายป้อน	Cerium sulphate	$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Merck
	Lanthanum chloride	$\text{LaCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Merck
	Neodymium oxide	Nd_2O_3	AnalaR [®] BHD
	Palladium chloride	PdCl_2	Greatest Gold & Refinery Ltd.
สารสกัด	Tri-n-octylamine	$\text{C}_{24}\text{H}_{51}\text{N}$	Fluka
	Di (2-Ethylhexyl) phosphate	$\text{C}_{16}\text{H}_{35}\text{O}_4\text{P}$	Sigma Chemical
	Thiuridazine-HCl	$\text{C}_{21}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{S}_2 \cdot \text{HCl}$	Sigma Chemical
	Oleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CHCH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Carlo Erba
สารละลายนำกลับ	Sulfuric acid	H_2SO_4	Merck
	Nitric acid	HNO_3	AnalaR [®] BHD
	Sodium nitrite	NaNO_2	APS Chemical Ltd.
ตัวทำละลายอินทรีย์	Kerosene Jet A-1	Complex hydrocarbon mixture	Thaioil Co. Ltd.
	Chloroform	CHCl_3	APS Chemical Ltd.
สารตรวจสอบ	Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	APS Chemical Ltd.
น้ำกลั่น	Distilled water	H_2O	องค์การเภสัชกรรม
สารทำความสะอาด	Isopropanol	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	Merck

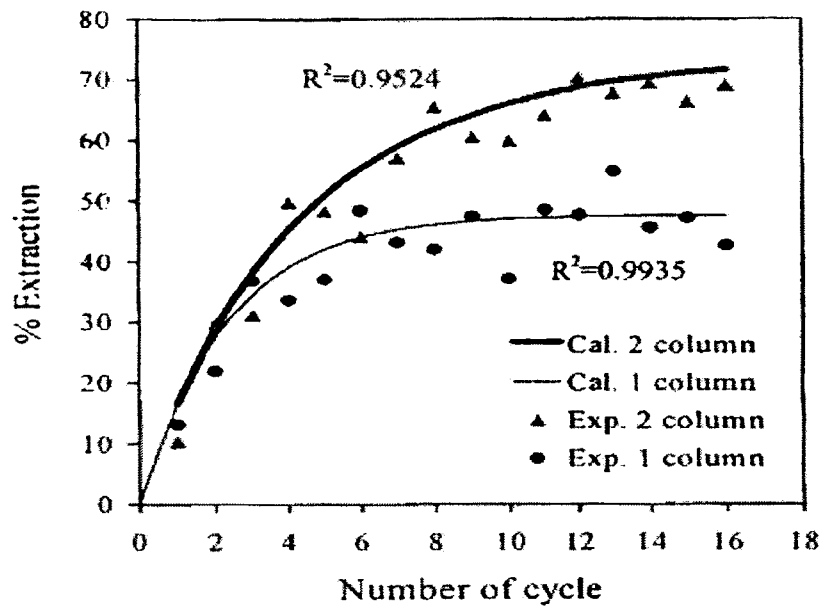
ข้อมูลที่ปรากฏเกือบทั้งหมดมาจากห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการสกัด ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ข้อมูลชุดนี้เป็นการสรุปเกี่ยวกับการสกัดไอออนโลหะ 4 ชนิด ได้แก่ ไอออนซีเรียม แพลเลเดียม แลนทานัม และนีโอดีเมียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบสองหอสกัด ทั้งนี้ค่าคงตัวต่างๆ สำหรับการทำงานของกระบวนการทดลองและใช้ในการทำนายผลการสกัดด้วยวิธีการกราฟสรุปในตารางที่ 32(ก)

ตารางที่ 32(ก) ผลสรุปของการทดลองและค่าคงตัวของสมดุลต่างในระบบสองหอสกัด

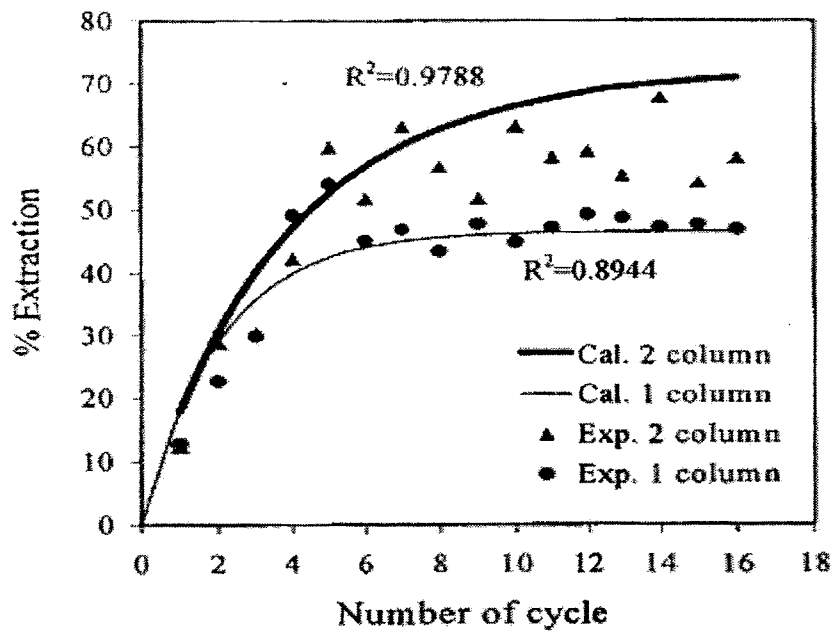
Feed Solution		Liquid Membrane		Stripping Solution		k_F	k_S
Metal ion	Conc. (ppm)	Extractant	Conc.	Conc. (M)	pH	x_F/y_F	x_S/y_S
Ce	250	TOA	0.1 M	0.1	1.0	0.955	0.351
Pd	50	TRHCL-OA	0.0005 M	0.03	6.0	1.096	0.418
La	150	D2EHPA	0.5 M	0.5	0.3	0.653	0.342
Nd	100	D2EHPA	10% v/v	0.1	1.0	0.556	0.266

2.2(ก) การประมวลผลการทดลองของระบบสองหอสกัดเปรียบเทียบการทำนายผลด้วยกราฟ

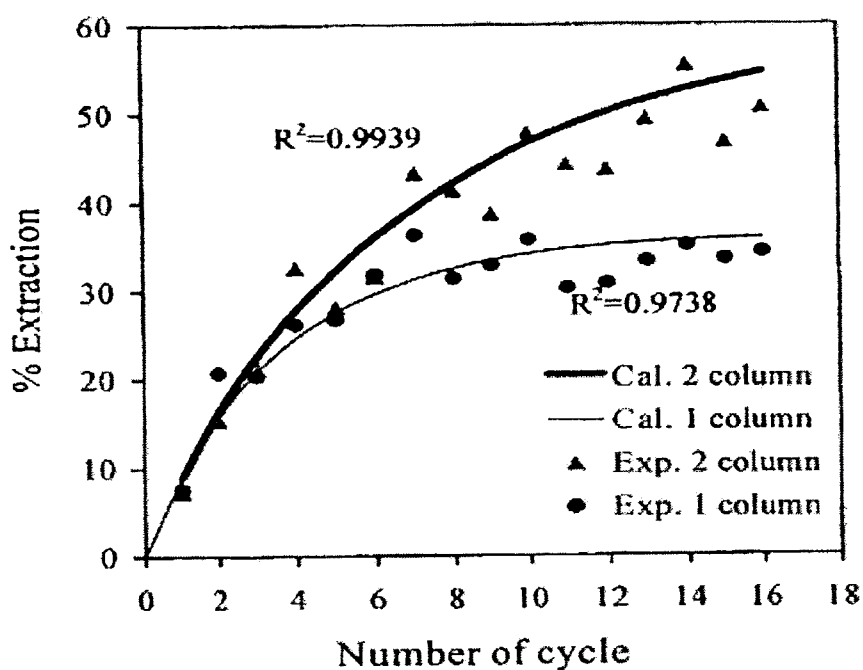
การเปรียบเทียบผลการทดลองการสกัดไอออนของซีเรียม แพลเลเดียม แลนทานัม และนีโอดีเมียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบสองหอสกัดกับการทำนายผลการสกัดด้วยวิธีการสร้างกราฟแสดงในรูปที่ 12(ก)-15(ก) ตามลำดับ ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์ของการสกัดของไอออนโลหะแต่ละชนิดได้ค่าไม่สูงนักเพราะเป็นการสกัดไอออนโลหะตัวใดตัวหนึ่งจากสารละลายของไอออนโลหะผสม ดังนั้นวัตถุประสงค์ของผู้ทำวิจัยที่น่าเสนอจะเปรียบเทียบผลของการสกัดจากระบบหอสกัดเดียวกับระบบสองหอทั้งจากการทดลองและด้วยการคำนวณโดยการสร้างกราฟดังนี้



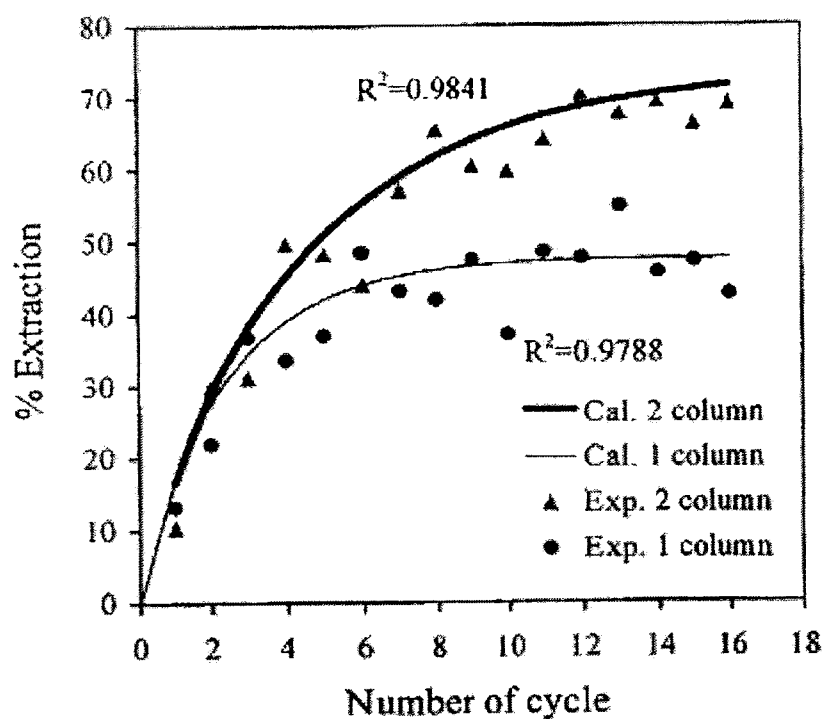
รูปที่ 12(ก) ผลการสกัดไอออนซีเรียมผ่านกระบวนการเชื่อมแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวและสองหอสกัดเปรียบเทียบกับการทำนายผลด้วยกราฟ



รูปที่ 13(ก) ผลการสกัดไอออนแพลเลเดียมผ่านกระบวนการเชื่อมแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงระบบหอสกัดเดี่ยวและสองหอกับการทำนายผลด้วยกราฟ



รูปที่ 14(ก) ผลการสกัดไอออนแลนทานัมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ระบบหอสกัดเดี่ยวและสองหอสกัดเปรียบเทียบกับการทำนายผลด้วยกราฟ



รูปที่ 15(ก) ผลการสกัดไอออนนีโอติเมียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง ระบบหอสกัดเดี่ยวและสองหอสกัดเปรียบเทียบกับการทำนายผลด้วยกราฟ

จากรูปที่ 12(ก)-15(ก) พบว่าผลการทดลองแสดงด้วยสัญลักษณ์กับผลการทำนายด้วยวิธีการสร้างกราฟแสดงด้วยเส้นทึบ มีสอดคล้องกันอย่างดียิ่ง เป็นการสนับสนุนและยืนยันว่าการทำนายผลด้วยวิธีการสร้างกราฟบนพื้นฐานของทฤษฎีสมมูลนั้น สามารถทำนายค่าการสกัดไอออนโลหะผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง เพราะทุกๆ วัฏจักร (cycle) ของการสกัดครอบคลุมทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบหอสกัดเดี่ยวและระบบสองหอสกัด การลากเส้นเพื่อเปรียบเทียบผล อาศัยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) ข้อผิดพลาด (error) ที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยต้องใช้ค่า R^2 เป็นตัวชี้วัดยิ่งค่า R^2 มีค่าใกล้เคียงกับ “1” หมายความว่า ข้อมูลที่เปรียบเทียบยังน่าเชื่อถือมากขึ้น ตารางที่ 33(ก) แสดงตัวอย่างผลการใช้กราฟทำนายผลของการสกัดไอออนแพลเลเดียม

ตารางที่ 33(ก) ตัวอย่างการทำนายผลการสกัดไอออนแพลเลเดียมผ่านกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงระบบสองหอสกัดด้วยกราฟ

Cycle	x (mg/L)	y (mg/L)	Extraction (%)
1	25.31	45.52	8.96
2	23.43	42.14	15.71
3	22.03	39.60	20.80
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
Steady state	17.70	31.83	36.34

นอกจากผลของการเปรียบเทียบที่กล่าวมาแล้ว ผลของการทดลองยังสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดลองของ Vijitchalermping Sulaiman และจากกลุ่มของ Chaudry

กรณีทีเส้นสมมูล (equilibrium line) ไม่เป็นเส้นตรง แสดงว่าสัดส่วน (ratio) ระหว่างค่า “x” ต่อค่า “y” ซึ่งเดิมเป็นค่าคงตัว (คือค่าความชันของสมการเส้นตรง) เปลี่ยนเป็นไม่คงตัวดังนั้น สมการเส้นตรง (เส้นสมมูล) จึงเปลี่ยนไปเป็นสมการไม่เชิงเส้น (non-linear equation). ได้เคยมีผู้ศึกษาและพิสูจน์ไว้ถึง 3 รายว่าการทำนายผลการสกัดสารที่มีประจุทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะด้วยวิธีการสร้างกราฟให้ผลดีเช่นเดียวกันกับกรณีศึกษาต่างๆ ที่ได้นำเสนอในตอนต้นของบทนี้ Losuwan และ Jatuponkongchai เลือกใช้מודูลการแยกโปรตีนผ่านกระบวนการ pH parametric pumping และประยุกต์การทำนายค่าการแยกโปรตีนด้วยวิธีการสร้างกราฟในกรณีทีเส้นสมมูลไม่

เป็นเส้นตรง Chaturabul ศึกษาการทำนายผลการสัปดาห์ไอออนโลหะผ่านกระบวนการเชื่อมต่อแผ่นเหลวที่
พองด้วยเส้นใยกลวงในกรณีที่มีการเส้นสมมูลเป็นสมการไม่เชิงเส้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Valezuela, F., Vega, M.A. Yanez. M.F., and Basualto, C. "Application of a mathematical model for copper permeation from a chilean mine water through a hollow fiber-type supported liquid membrane". *Journal of Membrane Science* 204: 385-400 (2002).
- [2] Ramakul, P., Nakararueng, K., and Pancharoen, U. "One-through Selective Separation of Copper, Chromium and Zinc Ions by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", *Korean Journal of Chemical Engineering* 21(6): 1212-1217 (2004).
- [3] Yang, Q., and Kocherginsky, N.M. "Copper recovery and spent ammoniacal etchant regeneration based on hollow fiber supported liquid membrane technology: From bench-scale to pilot-scale test", *Journal of Membrane Science* 286(1-2): 301-309 (2006).
- [4] Yang, Q., and Kocherginsky, N.M. "Copper removal from ammoniacal waste water through a hollow fiber supported liquid membrane system: Modeling and experimental verification", *Journal of Membrane Science* 297 (1-2): 121-129 (2007).
- [5] R, Zhongqi, Z, Weidong, Liu, M.Y., Dai, Y. and Cui, C. "New liquid membrane technology for simultaneous extraction and stripping of copper (II) from wastewater", *Chemical Engineering Science* 62(22): 6090-6101 (2007).
- [6] Kocherginsky, N. M., and Yang, Q. "Big Carrousel mechanism of copper removal from ammoniacal wastewater through supported liquid membrane", *Separation and Purification Technology* 54(1): 104-116 (2007).
- [7] Kittisupakorn, P., Weerachaipichaskul, W., and Thitayasook, P. "Modeling and Simulation of Copper-ion Extraction with Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 13(6): 903-910 (2007).
- [8] Patthaveekongka, Weerawat. "Modeling of Cerium Ions Extraction from Aqueous Solution via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", *Doctoral Dissertation, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University* (2003).
- [9] Patthaveekongka, W., Ramakul, P., Assabumrungrat, S., and Pancharoen, U. "Transport of Cerium, Lanthanum, Neodymium and Palladium via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane on Equilibrium Theory", *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers* 37(3): 227-238 (2006).

- [10] Chen, H.T., Pancharoen, U., Yang, W.T., Kerobo, C.O., and Parisi, R.J. "Separation of Proteins via pH Parametric Pumping", *Separation Science & Technology* 15(6): 1377-1391 (1980).
- [11] Chen, H.T., Yang, W.T., Pancharoen, U., and Parisi, R.J. "Separation of Proteins via Multi-column pH Parametric Pumping", *AIChE Journal* 26(5): 839-849 (1980).
- [12] Ramakul, P., Patthaveekongka, W., and Pancharoen, U. "Selective Separation of Trivalent and Tetravalent Lanthanide from Mixture by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineering* 36(5): 459-465 (2005).
- [13] Pancharoen, U., Ramakul, P., and Patthaveekongka, W. "Purely Extraction and Separation of Mixture of Cerium (IV) and Lanthanum (III) Via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 11(6): 926-931 (2005).
- [14] Ramakul, P., Patthaveekongka, W., and Pancharoen, U. "Mass Transfer Modeling of Membrane Carrier System for Extraction of Ce(IV) from Sulfate Media Using Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", *Korean Journal of Chemical Engineering* 23(1): 85-92 (2006).
- [15] Ramakul, P., and Pancharoen, U. "Synergistic Extraction and Separation of Mixture of Lanthanum and Neodymium by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", *Korean Journal of Chemical Engineering* 20(4): 724-730 (2003).
- [16] Patthaveekongka, W., Vijitchalermping, N., and Pancharoen, U. "Selective Recovery of Palladium from Used Aqua Regia by Hollow Fiber Supported with Liquid Membrane", *Korean Journal of Chemical Engineering* 20(6): 1092-1096 (2003).
- [17] Uheida, U., Zhang, Y., and Muhammed, M. "Transport of palladium (II) through hollow fiber supported liquid membrane facilitate by nonylthiourea", *Journal of Membrane Science* 24: 289 -295 (2004).
- [18] Campderros, M.E., Acosta, A., and Marchese, J. "Selective separation of copper with Lix 864 in a hollow fiber module", *Talanta* 47: 19-24 (1998).
- [19] Jeong, J., Lee, J-C., and Kim, W. "Modeling of the concentrative facilitated transport of Co in Co-Ni mixtures by hollow-fiber supported liquid membrane", *Separation Science and Technology* 38(3): 499-517 (2003).

- [20] Lee, J-C., Jeong, J., Chung, K-S., and Kobayashi, M. "Active facilitated transport and separation of Co in Co-Ni sulfate solution by hollow fiber supported liquid membrane containing HEH(EHP)", *Separation Science and Technology* 39(7): 1519-1533 (2004).
- [21] Ramakul, P., Songkun, E., Patthaveekongka, W., Hronec, M., and Pancharoen, U. "Permeation study on the hollow-fiber supported liquid membrane for the extraction of Cobalt (II)", *Korean Journal of Chemical Engineering* 23(1): 117-123 (2006).
- [22] Rathore, N.S., Sonawane, J.V., Gupta, S.K., Pabby, A.K., Venugopalan, A.K., Changrani, R.D., and Dey, P.K. "Separation of Uranium and Plutonium from Aqueous Acid Wastes Using a Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", *Separation Science and Technology* 39(6): 1295-1319 (2004).
- [23] Pancharoen, U., Ramakul, P., Patthaveekongka, W., and Hronec, M. "Feasibility Study on the Separation of Uranium and Thorium by a Hollow Fiber Supported Liquid Membrane and Mass Transfer Modeling", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 12(5): 673-681 (2006).
- [24] Ramakul, P., Prapasawad, T., Pancharoen, U., and Patthaveekongka, W. "Separation of radioactive metal ions by hollow fiber-supported liquid membrane and permeability analysis", *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers* 38(5-6):489-494 (2007).
- [25] Kumar, A., Haddad, R., Benzal, G., Ninou, R., and Sastre, A.M. "Use of modified membrane carrier system for recovery of gold cyanide from alkaline cyanide media using hollow fiber membranes: feasibility studies and mass transfer modeling", *Journal of Membrane Science* 174(1): 17-30 (2000).
- [26] Kumar, A., and Sastre, A.M. "Hollow fiber supported liquid membrane for the separation/concentration of gold (I) from aqueous cyanide media: Module mass transfer evaluation", *Industrial and Engineering Chemistry Research* 39(1): 146-154 (2000).
- [27] Choi, D.W., and Kim, Y.H. "Chromium (VI) removal in a semi-continuous process of hollow fiber membrane with organic extractants", *Korean Journal of Chemical Engineering* 22 (6): 894-898 (2005).
- [28] Fontas, C., Hidalgo, M., Salvado, V., and Antico, E. "Selective recovery and preconcentration of mercury with a benzoylthiourea-solid supported liquid membrane system", *Analytica Chimica Acta* 547: 255-261 (2005).

- [29] Sangtumrong, S., Ramakul, P., Satayaprasert, C., and Pancharoen, U. "Purely Separation of Mixture of Mercury and Arsenic via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane". *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 13(5): 751-756 (2007).
- [30] Marchese, J., and Campderros, M.E. "Mass transfer of cadmium ions in hollow fiber module by pertraction", *Desalination* 164(2): 141-149 (2004).
- [31] Yang, X. J., Fane A. G., and Pin, C. "Separation of zirconium and hafnium using hollow fibers: Part I. Supported liquid membranes", *Chemical Engineering Journal* 88(1-3): 37-44 (2002).
- [32] Rathore, N.S., Sonawane, J.V., Kumar, A., Venugopalan, A.K., Singh, R.K., Bajpai, D.D., and Shukla, J.P. "Hollow fiber supported liquid membrane: a novel technique for separation and recovery of plutonium from aqueous acidic wastes", *Journal of Membrane Science* 189(1): 119-128 (2001).
- [33] Vijitchalermpong, N. "Recovery of Palladium from Used Aqua Regia by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", Master Thesis, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University (2002).
- [34] Fontas, C., Salvadoo, V., and Hidalgo, M. "Separation and Concentration of Pd, Pt and Rh from automotive catalytic converters by combining two hollow-fiber liquid membrane systems", *Industrial Engineering Chemistry Research* 41(6): 1616-1620 (2002).
- [35] Sulaiman, N. "Extraction of Neodymium via a Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", Master Thesis, Department of Chemical Engineering, Graduate School, Chulalongkorn University (2000).
- [36] Chaudry, M.A., Amin, S., and Malik, M.T. "Tri-n-octylamine-Xylene-Based Supported Liquid Membrane and Transport of Ce (IV) Ions", *Separation Science & Technology* 31(9): 1309-1326 (1996).
- [37] Losuwan, I. "Determination of non-linear equilibrium for proteins separation via pH parametric pumping", Master Thesis, Department of Chemical Engineering, Graduate School, Chulalongkorn University (1995).
- [38] Jatuponkongchai, S. "The application of linear algebra in protein separation system via pH-parametric pumping", Master Thesis, Department of Chemical Engineering, Graduate School, Chulalongkorn University (1998).

- [39] Chaturabul, S. "A prediction of metal ions separation via hollow fiber supported liquid membrane by non-linear graphical analysis". Master Thesis. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University (2005).

ภาคผนวก ข

สรุปข้อมูลของสารสกัดต่างๆ ที่ใช้ในการสกัด/นำกลับ
ไอออนโลหะด้วยเยื่อแผ่นเหลว

ตารางที่ 1 (ข) สารสกัดกลุ่มที่ 1 ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี ค.ศ. 1977-2003

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	อ้างอิง
กลุ่ม 1							
Cyanex 272	Cu	CuSO ₄	ELM	ECA5025 DNP-8	6 N H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
	Ni	NiNO ₃	ELM	ECA5025 DNP-8	6 N H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
	Zn	ZnSO ₄	ELM	ECA5025 DNP-8	6 N H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
			SLM ^a		4.5 M HNO ₃	Kerosene	[2]
					HCl		
			SLM ^a		H ₂ SO ₄	Dodecane	[3]
	Ag	AgNO ₃	CSE			Xylene/Hexane	[4]
	U	Pure	SLM ^a			n-Dodecane	[5]
Cyanex 302	Ag	AgNO ₃	CSE		HCl	Kerosene	[6]
		AgNO ₃	CSE			Xylene/Hexane	[4]
	Cd	Pure Cd	SLM ^b			Kerosene	[7]
Cyanex 301	Ag	AgNO ₃	CSE	Not mention	HCl	Kerosene	[6]
		AgNO ₃	CSE			Xylene, Hexane	[5]
D2EHPA	Ni	NiCl ₂	ELM		HNO ₃	Kerosene	[8]
		NiSO ₄	SLM ^a	Span80	5-6 M HNO ₃	Kerosene	[9]
			SLM ^a	Span80	1.6-2.2 M HNO ₃	n-Dodecane	[10]
	Te	TeCl ₄	ELM		HNO ₃	Kerosene	[11]
	Sr	SrCl ₂	ELM	Span80	HNO ₃	Kerosene	[12]
			SLM ^a	Span80	HCl	Kerosene	[13]
	Ag	AgNO ₃	ELM	Span80	HNO ₃	Toluene	[14]
		AgNO ₃	ELM	Not mention	H ₂ SO ₄	Kerosene	[15]
	Pb	Pb(NO ₃) ₂	ELM	ECA5025	HCl	Toluene	[14]
	An		ELM	DNP-8	H ₂ SO ₄	Kerosene	[16]
	Zn	ZnCl ₂	ELM	ECA5025		Kerosene	[17]
		ZnSO ₄	ELM	DNP-8	H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
	Cu	CuSO ₄	ELM	Not mention	HCl, H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
	Co	CoSO ₄	SLM ^a	Span80, ECA4360	HNO ₃	Kerosene	[9]
	Cd	CdCl ₂	ELM			Kerosene	[8]
DEHPA	Zn	ZnSO ₄	ELM, Flat sheet	Span80	HNO ₃	n-Dodecane	[18]
	Cd	Pure	ELM	PX100	H ₂ SO ₄	Paraffin oil	[19]
		Rare earth	SLM ^a	Span80		n-Dodecane	[20]

ตารางที่ 1 (ข) (ต่อ) สารสกัดกลุ่มที่ 1 ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี ค.ศ. 1977-2003

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	อ้างอิง
PC-88A	Co	CoSO ₄	ELM	PX100, Span80	H ₂ SO ₄	n-Heptane	[21]
	Ni	NiSO ₄	ELM	Span80	H ₂ SO ₄ , water	n-Heptane	[21]
	Zn	ZnCl ₂	ELM		HNO ₃	n-Heptane	[22]
		Rare earth	SLM ^a	Span80, ECA4360	H ₂ SO ₄	Kerosene	[23]
		Rare earth	SLM ^b			n-Heptane	[24]
DEHMTPA	Zn	ZnSO ₄	ELM	Span80	Thiourea	n-Dodecane	[18]
MSP-8	Pd	Simulated waste	ELM	Span80, ECA4360	H ₂ SO ₄	n-Heptane	[25]
	Ag	Ag nitrate	CSE			Kerosene	[6]
LIX65N	Cu	Cu salt	ELM			n-Heptane	[26]
		Cu salt	ELM			Kerosene	[27]
LIX 984	Cu	CuSO ₄	ELM	ECA5025, DNP-8	H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
			SLM ^a		H ₂ SO ₄	Kerosene	[28]
	Ni	Ni(NO ₃) ₂	ELM	ECA5025, DNP-8	H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
	Zn	ZnSO ₄	ELM	ECA5025, DNP-8	H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
LIX 860	Cu	CuSO ₄	ELM	ECA5025, DNP-8	H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
	Ni	Ni(NO ₃) ₂	ELM	ECA5025, DNP-8	H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
	Zn	ZnSO ₄	ELM	ECA5025, DNP-8	H ₂ SO ₄	Tetradecane	[1]
LIX 64N	Cu	Cu salt	ELM	Span80	H ₂ SO ₄	Kerosene	[27]
	Zn	ZnCl ₂	ELM	Not mention	HCl	Kerosene	[8]
	Cd	CdCl ₂	ELM	Not mention	HCl	Kerosene	[8]
	Ni	NiCl ₂	ELM	Not mention	HCl	Kerosene	[8]
LIX 63	Cu	Cu salt	ELM	Span 80	0.25-2.5 M H ₂ SO ₄	Kerosene	[27]
AcorgaP17	Cu	Cu salt	ELM	Span 80	2.3 M H ₂ SO ₄	Kerosene	[27]
AcorgaP50	Cu	Cu salt	ELM	Span 80	2.3 M H ₂ SO ₄	Kerosene	[27]
			SLM		1-2 M H ₂ SO ₄	n-Octane	[29]
AcorgaM5640	Cu	Cu(NO ₃) ₂			2 M H ₂ SO ₄	Kerosene	[30]
Kelex 100	Cu	Cu salt	SLM		0.5-2 M H ₂ SO ₄	n-Octane	[31]
		Cu salt	ELM	Span 80	2.3 M H ₂ SO ₄	Kerosene	[27]
SME 529	Cu	Cu salt	ELM	Span 80	2.3 M H ₂ SO ₄	Kerosene	[27]
LIX 84	Cu	Cu salt	SLM ^a		H ₂ SO ₄	Kerosene	[10]
		Cu salt	SLM ^b		H ₂ SO ₄		[32]

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bhavani, R., Neena, T., and John, W. "Emulsion liquid membranes for wastewater treatment: equilibrium models for some typical metal-extractant systems". *Environmental Science and Technology* 28: 1090 (1994).
- [2] Kanungo, S.B., and Mohapatra, R. "Coupled transport of Zn(II) through a supported liquid membrane containing bis(2,4,4-trimethylpantyl) phosphinic acid in kerosene. I. A model for the rate process involving binary and ternary complex species", *Journal of Membrane Science* 105: 217 (1995).
- [3] Cox, F.A., and Bhatnagar, A. Analytical utility of coupled transport across a supported liquid membrane; Selective preconcentration of zinc", *Talanta* 32(11): 1037 (1990).
- [4] Sole, K.C., Ferguson, T.L., and Hiskey, J.B. "Solvent extraction of silver by Cyanex272, Cyanex302 and Cyanex301", *Solvent Extraction and Ion Exchange* 12(5): 1033 (1994).
- [5] Chiarizia, R., Horwitz, E.P., Rickert, P.G., and Hodgson, K.M. "Application of supported liquid membranes for removal of uranium from groundwater", *Separation Science and Technology* 25(13-15): 1571 (1990).
- [6] Alam, M.S., Inoue, K., Yoshizuka, K., Dong, Y., and Zhang, P. "Solvent extraction of silver from chloride media with some commercial sulfur-containing extractants", *Hydrometallurgy* 44(1-2): 245 (1997).
- [7] Alonso, A.I., Urtiaga, A.M., Zamacona, S., and Ortiz, I.I. "Kinetic modeling of cadmium removal from phosphoric acid by non-dispersive solvent extraction", *Journal of Membrane Science* 130: 193 (1997).
- [8] Shiau, C.Y., and Jung, S.W. "Selective extraction of metal ions through liquid surfactant membranes", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 56: 27 (1993).
- [9] Juang, R. "Modeling of the competitive permeation of cobalt and nickel in a di(2-ethylhexyl)phosphoric acid supported liquid membrane process", *Journal of Membrane Science* 85: 157 (1993).
- [10] Zha, F.F., Fane, A.G., and Fell, C.J.D. "Instability mechanisms of supported liquid membranes in phenol transport process", *Journal of Membrane Science* 107: 59 (1995).
- [11] Runu, C., and Siddharta, D. "Transport of Te^{4+} through liquid surfactant membrane using D2EHPA as the carrier", *Journal of Membrane Science* 96: 233 (1994).

- [12] Inci, E., Rahmi, K., and Gungor, G. "Extraction of strontium ions with emulsion liquid membrane technique". *Journal of Membrane Science* 80: 319 (1993).
- [13] Chaudry, M.A., Ul-Islam, N., and Ahmad, I. "Extraction and stripping study of strontium ions across D2EHPA-TBP-kerosene oil based supported liquid membranes". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 185(2): 369 (1994).
- [14] Izatt, R.M., Lindh, G.C., Bruening, R.L., Huszthy, P., McDaniel, C.W., Bradshaw, J.S., and Christensen, J.J. "Separation of silver from other metal cations using pyridine and triazole macrocycles in liquid membrane systems", *Analytical Chemistry of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 60: 1694 (1988).
- [15] Sang, C.L., Byoung, S.A., and Won, K.L. "Mathematical modeling of silver extraction by an emulsion liquid membrane process", *Journal of Membrane Science* 114:171 (1996).
- [16] Shen, J.Q., Yin, W.P., Zhao, Y.X., and Yu, L.J. "Extraction of alanine using emulsion liquid membranes featuring a cationic carrier", *Journal of Membrane Science* 120: 45 (1996).
- [17] Shiau, C.Y. "Analysis of transport rate of zinc extraction through liquid surfactant membrane", *Separation Science and Technology* 26: 1519 (1991).
- [18] Bart, H.J., Jungling, H., Ramaseder, N., and Marr, R. "Water and solute solubilization and transport in emulsion liquid membranes", *Journal of Membrane Science* 102: 103 (1995).
- [19] Gabriel, S., and Abraham, M. "Cadmium removal from aqueous solutions by an emulsion liquid membrane; the effect of resistance to mass transfer at the outer oil-water interface, colloids and surfaces", *A: Physicochem. Eng. Aspt.* 151: 77 (1999).
- [20] Kopunec, R., and Manh, T.N. "Carrier-mediated transport of rare earth elements through liquid membranes; III. Transport of Sc, Y, Ce, Eu, Gd, Tm, Yb through a supported liquid membrane containing DEHPA", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 170(1): 51 (1993).
- [21] Kasaini, H., Nakashio, F., and Goto, M. "Application of emulsion liquid membranes to recover cobalt ions from a dual-component sulphate solution containing nickel ions", *Journal of Membrane Science* 146: 159 (1998).
- [22] Goto, M., Yamamoto, H., Kondo, K., and Nakashio, F. "Effect of new surfactant on zinc extraction with liquid surfactant membranes", *Journal of Membrane Science* 57: 161 (1991).

- [23] Kojima, T., Nakayama, C., and Uemiya, S. "Analysis of the mechanism of rare earth metal permeation through a liquid membrane with a chelating agent in the feed phase", *Canadian Journal of Chemical Engineering* 72: 72 (1994).
- [24] Kubota, F., Goto, M., Nakashio, F., and Hano, T. "Extraction kinetics of rare earth metals with 2-ethylhexyl phosphonic acid mono-2-ethylhexyl ester using a hollow fiber membrane extractor", *Separation Science and Technology* 30(5): 777 (1995).
- [25] Kakoi, T., Horinouchi, N., Goto, M., and Nakashio, F. "Selective recovery of palladium from a simulated industrial waste water by liquid surfactant membrane process", *Journal of Membrane Science* 118: 63 (1996).
- [26] Goto, M., Kondo, K., and Nakashio, F. "Acceleration effect of anionic surfactants on extraction rate of copper with liquid surfactant membrane containing LIX65N and nonionic surfactant", *Journal of Chemical Engineering of Japan* 22: 79 (1989).
- [27] Volkel, W., and Halwachs, K.S. "Copper extraction by means of a liquid surfactant membrane process", *Journal of Membrane Science* 6: 19 (1980).
- [28] Yang, X., and Fane, T. "Effect of membrane preparation on the life-time of supported liquid membranes", *Journal of Membrane Science* 133: 269 (1997).
- [29] Szpakowska, M. "Coupled transport of copper through different types of liquid membranes containing Acorga P-50 as carrier", *Journal of Membrane Science* 109: 77 (1996).
- [30] Alguacil, F.J., and Cobo, A., Alonso, M. "Copper separation from nitrate/nitric acid media using AcorgaM5640 extractant Part I: Solvent extraction Study", *Chemical Engineering Journal* 85: 259 (2002).
- [31] Szpakowska, M., and Nagy, O.B. "Stability of supported liquid membranes containing Acorga P-50 as carrier", *Journal of Membrane Science* 129: 251 (1997).
- [32] Yi, J., and Tavlarides, L.L. "Modeling chemically active liquid membranes in tubular inorganic supports", *AIChE Journal* 41(6): 1403 (1995).

ตารางที่ 2 (ข) สารสกัดกลุ่มที่ 2 ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี
ก.ศ. 1977-2003

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	อ้างอิง
กลุ่ม 2							
PrimeneJMT	Ag	Ag salt	ELM ^a	Not mention	H ₂ SO ₄	Tetradecane	[33]
	Cr	Cr SO ₄	CSE			Kerosene	[34]
Tridecyl-amine	Au	Gold cyanide	CSE			Xylene	[35]
Amberlite	Cr	Cr SO ₄	SLM ^a		NaOH	n-Dodecane	[36]
	Co	CoSO ₄	SLM ^a		NaOH	n-Dodecane	[36]
	Ni	Ni salt	SLM ^a			Kerosene	[37]
Alamine336	Cu	Cu salt	SLM ^c		Distilled water	Kerosene	[37]
	Cd	Cd salt	SLM ^a		Distilled water	Kerosene	[37]
	Cr	Cr(III), Cr(VI)	SLM ^c		Distilled water	O-Xylene, Kerosene	[38]
TOA	Hg	HgCl ₂	ELM	Span 80	NaOH	Toluene	[39]
	Cr	Cr salt	SLM ^b		NaOH	Xylene	[40]
	Fe	Fe salt	SLM ^b		NaOH	Xylene	[41]
	Co	CoSO ₄	SLM ^a		NH ₄ OH	n-Dodecane	[42]
Adogen 364	Pt	Pure	SLM ^a		NH ₄ OH	n-Dodecane	[42]
	Cd	Pure	SLM ^c			Kerosene	[43]
			ELM	Span 80	NaOH	Dimethyl-Benzene	[44]
Aliquat336	V	Na ₄ VO ₃	SLM ^b		Ammonia nitrate	Dodecane	[45]
	Mo	Na-Mo	salt	Monesan	NaOH	Kerosene, Heptane	[46]
	Cr	Cr ion	SLM ^a		NaOH	Xylene, Dodecane, Kerosene	[47]
	Cr	Cr(VI)	ELM		NaOH	Kerosene	[48]
		Cr(VI)	SLM ^a	Span 80	LiCl	Kerosene	[37]
			SLM ^b		NaCl	Kerosene	[49]
		Granite ore	SLM	Span 80	Na ₂ CO ₃		[50]
	U		ELM		(NH ₄) ₂ CO ₃	Kerosene	[51]

เอกสารอ้างอิง

- [33] Hu, S.Y.B., and John, M.W. "Emulsion liquid membrane extraction of copper using a hollow fiber contactor", *AIChE Journal* 44(3): 570 (1998).
- [34] Sumiko, S., Masumi, Y., and Hiroshi, M. "Stripping of silver from Primene JMT loaded with silver thiocyanate complexes", *Hydrometallurgy* 52(2): 123 (1999).
- [35] Caravaca, C., Alquacil, F.J., and Sastre, A., "Martinez M. Extraction of gold(I) cyanide by the primary amine tridecyl-amine", *Hydrometallurgy* 40: 89 (1996).
- [36] Chiarizia, R. "Application of supported liquid membranes for removal of nitrate, technetium (VII) and chromium(VI) from groundwater", *Journal of Membrane Science* 55: 65 (1991).
- [37] Marchese, J., Campderros, M.E., and Acosta, A. "Transport and separation of cobalt, nickel and copper ions with alamine liquid membranes", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 64: 293 (1995).
- [38] Molinari, R., Drioli, E., and Pantano, G. "Stability and effect of diluents in supported liquid membranes for Cr(III), Cr(VI), and Cd(II) recovery", *Separation Science and Technology* 24: 1032 (1989).
- [39] Li, Q.M., Liu, Q., and Wei, X.J. "Separation study of mercury through an emulsion liquid membrane", *Talanta* 43: 1837 (1996).
- [40] Guha, A.K., Yun, C.H., Basu, R., and Sirkar, K.K. "Heavy metal removal and recovery by contained liquid membrane permeator", *AIChE Journal* 40(7): 1223 (1994).
- [41] Yun, C.H., Prasad, R., Guha, A.K., and Sirkar, K.K. "Hollow fiber solvent extraction removal of toxic heavy metals from aqueous waste streams", *Industrial and Engineering Chemistry Research* 32(6): 1186 (1993).
- [42] Kalachev, A.A., Kardivarenko, L.M., Plate, N.A., and Bagreev, V.V. "Facilitated diffusion in immobilized liquid membranes: experimental verification of the 'jumping' mechanism and percolation threshold in membrane transport", *Journal of Membrane Science* 75: 1 (1992),.
- [43] Fu, J., Nakamura, S., and Akiba, K. "Extraction of platinum(IV) with trioctylamine and its application to liquid membrane transport", *Separation Science and Technology* 30(4): 609 (1995).

- [44] Li, Q.M., Liu, Q., Zhang, Q.F., Wei, X.J., and Guo, J.Z. "Separation study of cadmium through an emulsion liquid membrane using triisooctylamine as mobile carrier". *Talanta* 46: 927 (1998).
- [45] Andreu, R., Cristina, P., and Manuel, V. "Selective separation and concentration of vanadium(V) by a chemical pumping hollow-fiber supported liquid membrane", *Analytica Chimica Acta* 349(1-3): 171 (1997).
- [46] Prashart, S.K., and Vijay Kumar, V.M. "Application of ELM process for enrichment of molybdenum from aqueous solutions", *Journal of Membrane Science* 201: 123 (2002).
- [47] Mahmoud, M.H.H., Nakamura, S., and Akiba, K. "Separation of molybdenum(VI) and tungsten(VI) through a supported liquid membrane impregnated with trioctylammonium chloride", *Separation Science and Technology* 31(20): 2763 (1996).
- [48] Bhowal, A., and Datta, S. "Studies on transport mechanism of Cr(VI) extraction from acidic solution using LSM", *Journal of Membrane Science* 188: 1 (2001).
- [49] Ortiz, I., Galan, B., and Irabien, A. "Kinetic analysis of the simultaneous nondispersive extraction and back-extraction of chromium(VI) ", *Industrial and Engineering Chemistry Research* 35: 1369 (1996).
- [50] Alonso, A.I., Urtiaga, A.M., Zamacona, S., and Ortiz, I.I. "Nondisperse extraction of Cr(IV) with Aliquat336: influence of carrier concentration", *Separation Science and Technology*, 31(2): 271 (1996).
- [51] Maysa, S.E.S. "Uranium extraction from gattar sulfate leach liquor using Aliquat336 in a liquid emulsion membrane process", *Hydrometallurgy* 2089: 1 (2002).

ตารางที่ 3 (ข) สารสกัดกลุ่มที่ 3 ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction)
ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี
ค.ศ. 1977-2003

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	อ้างอิง
กลุ่ม 3							
MIBK	Ag	AgNO ₃	CSE		HCl		[52]
TBP	Rare earth		SLM ^a		HNO ₃	n-Dodecane	[53]
TBP	Rare earth		SLM ^a		NH ₄ Cl ₃	Kerosene	[54]
	U		SLM ^a		HCl	Kerosene	[55]
			SLM ^b		HCl	Dodecane	[56]
TOPO	Pt		ELM			Toluene	[57]
	Rare earth		SLM ^a			Kerosene	[54]
			SLM ^a		NaCl/HCl	n-Dodecane	[58]
Cyanex 923	Cr	Cr(VI)	SLM ^a			Xylene	[59]
AcorgaM5640	Cu	nitrate/nitric acid	SLM			Xylene	[30]
	Fe	Fe(III)	CSE		0.4 M HCl	Xylene	[60]
	Pt	K ₂ PtCl ₆	CSE		HCl	Toluene	[57]
Cyanex 471X	Ag	Ag(NO ₃) ₂	CSE			Toluene, Xylene	[61]
	Pt	K ₂ PtCl ₆	CSE		HCl	Toluene	[57]
Crown ether							
H18C6	Ag	AgNO ₃	SLM		Na ₂ S ₂ O ₃	Chloroform	[62]
	Ag	AgNO ₃	CSE			Chloroform	[63]
D16C4	Ag	AgNO ₃	CSE			Chloroform	[64]
Bis(benzothia crown ether)	Ag	AgNO ₃	CSE		H ₂ SO ₄	Chloroform	[65]
Cyclic-tetrathioether	Ag	AgNO ₃	CSE		Acid	Chloroform	[66]
Calixarene							
Calix[4]arene	Pb	Pb(NO ₃) ₂	CSE		Acid	Chloroform	[67]
	Ag	Ag salt	CSE				[68]
		Ag salt	CSE			CH ₂ Cl ₂	[69]
	Rare earth	Lanthanide Chloride	ELM	p-tert-butyl calix[n]arenes	H ₂ SO ₄	Toluene	[70]
Ketonic	Ag	AgNO ₃	CSE		H ₂ SO ₄	Chloroform	[71]
	Pd	Pb(NO ₃) ₂	CSE		H ₂ SO ₄	Chloroform	[71]
Carboxyl	Rare earth	Lanthanide Chloride	ELM	p-tert-butyl calix[n]arenes	H ₂ SO ₄	Toluene	[72]

ตารางที่ 3 (ข) (ต่อ) สารสกัดกลุ่มที่ 3 ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี ค.ศ. 1977-2003

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	อ้างอิง
p-tert-butyl	Na	NaOH	ELM		DI water	$\text{CH}_2\text{Cl}_2 + \text{CCl}_4$	[73]
calixarenes	K	KOH	ELM		DI water	$\text{CH}_2\text{Cl}_2 + \text{CCl}_4$	[73]
p-tert-octylcalix[n]arene (1, 4, 6)	Rare earth	Lanthanide Chloride	ELM	p-tert-butyl calix[n]arenes	H_2SO_4	Toluene	[72]

หมายเหตุ: a – Flat sheet

b – Hollow fiber

กลุ่ม 1 Ion Compound Formation Extractant

กลุ่ม 2 Ion Association Extractant

กลุ่ม 3 Solvating Extractant

เอกสารอ้างอิง

- [52] Chormann, F.H., Mary, J.S.J., Berry, L.W., and Mayewski, P.A. "A solvent extraction technique for determining concentrations of gold and silver in natural waters", *Chemical Geology*. 53(1-2): 25 (1985).
- [53] Kopunec, R., and Manh, T.N. "Carrier-mediated transport of rare earth elements through liquid membranes: IV. Transport of Sc, Y, Ce, Eu, Gd, Tm, Yb through a supported liquid membrane containing TBP", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 163(1): 131 (1992).
- [54] Chitra, K.R., Gaikwad, A.G., Surender, G.D., and Damodaran, A.D. "Studies on ion transport of some rare earth elements through solvating extractants immobilized on supported liquid membranes", *Journal of Membrane Science* 125: 257 (1997).
- [55] Chaudry, M.A., Ul-Islam, N., Ur-Rehman, N., and Yasin, Z. "Nitrate ion transport across TBP-kerosene oil supported liquid membranes coupled with uranyl ions", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 189(2): 207 (1995).
- [56] Shukla, J.P., and Misra, S.K. "Carrier-mediated transport of uranyl ions across tributyl phosphate-dodecane liquid membranes", *Journal of Membrane Science* 64: 93(1991).
- [57] Sharad, N.D., and Purushottam, M.D. "Comparative study of the determination of platinum by extraction with Cyanex923 and Cyanex471X from bromide media", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 76: 1227 (2001).
- [58] Mahn, T.N., and Kopunec, R. "Carrier-mediated transport of rare earth elements through liquid membranes. Transport of Sc, Y, Ce, Eu, Gd, Tm, Yb through supported liquid membrane containing TOPO in n-dodecane", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 159(2): 219 (1992).
- [59] Alguacil, F.J., Coedo, A.G., and Dorado, M.T. "Transport of chromium(VI) through a Cyanex923-xylene flat-sheet supported liquid membrane", *Hydrometallurgy* 57: 51 (2000)
- [60] Saji J., Prasada R.T., Iyer C.S.P., and Reddy M.L.P. "Extraction of iron(III) from acidic chloride solutions by Cyanex923", *Hydrometallurgy*: 49: 289 (1998).
- [61] Hubicki, Z., and Hubicka, H. "Studies of extraction of removal of silver(I) from nitrate solutions by Cyanex471X", *Hydrometallurgy* 37: 209 (1995).

- [62] Mojtaba, S., and Mohammad, H.M. "Highly efficient and selective membrane transport of silver(I) using hexathia-18-crown-6 as a specific ion carrier", *Separation and Purification Technology* 20: 147 (2000).
- [63] Lachowicz, E., Rozanska, B., Teixidor, F., Meliani, H., Barboiu, M., and Hovnanian, N. "Comparison of sulphur and sulphur-oxygen ligands as ionphores for liquid-liquid extraction and facilitated transport of silver and palladium", *Journal of Membrane Science* 210: 279 (2002).
- [64] Ouchi, M., Shibutani, Y., Yakabe, K., Shono, T., Shintani, H., Yoneda, A., Hakushi, T., and Weber, E. "Silver and thallium(I) complexation with dibenzo-16-crown-4", *Bioorganic and Medicinal Chemistry* 7(6): 1123 (1999).
- [65] Kimura, M.O., and Shono, T. "Liquid-liquid extraction of silver ion with benzothiacrown ether derivatives", *Analytica Chimica Acta* 194: 293 (1987).
- [66] Saito, K., Taninaka, I., Murakami, S., and Muromatsu, A. "Extraction behavior of copper(II) and silver(I) with a thiacycrown ether carboxylic acid, 2-(3,6,10,13-tetrathiacyclotetradec-1-oxy)hexanoic acid", *Talanta* 46(5): 1187 (1998).
- [67] Ohto, K., Fujimoto, Y., and Inoue, K. "Stepwise extraction of two lead ions with a single molecule of calyx[4]arene tetracarboxylic acid", *Analytica Chimica Acta* 387: 61 (1999),.
- [68] Kumar, M., Sharma, B.V., and Babu, J.N. "Synthesis and binding studies of new bis-calix[4]arene aromatic and heteroaromatic units", *Tetrahedron* 59: 3267 (2003).
- [69] Jean, B., Regnouf de V., Jean, O.D., Roger, L., and Fenet, B. "Quantitative solvent extraction from neutral aqueous nitrate media of silver(I) against lead(II) with a new calyx[4]arene-based bipyridine podand", *Tetrahedron* 42: 2681 (2001).
- [70] Kakoi, T., Nishiyori, T., Oshima, T., Kubota, F., Goto, M., Shinkai, S., and Nakashio, F. "Extraction of rare earth metals by liquid surfactant membranes containing a novel cyclic carrier", *Journal of Membrane Science* 136: 261 (1997).
- [71] Ohto, K., Murakami, E., Shinohara, T., Shiratsuchi, K., Inoue, K., and Iwasaki, M. "Selective extraction of silver(I) over palladium(II) with ketonic derivatives of calixarenes from highly concentrated nitric acid", *Analytica Chimica Acta* 341: 275 (1997).

- [72] Ye, Z.F., Wang, Y.P., Liu, Y.S., Jiang, Z.L., Shen, X., Zhu, L.G., and Shi, X.F. "Transport of Na^+ , K^+ ions in a bubbling pseudo-emulsion liquid membrane system with p-tertbutylcalixarenes as carrier". *Journal of Membrane Science* 163: 367 (1999).
- [73] Marr, R.J., and Draxler, J. "Emulsion liquid membrane application: membrane handbook". Ho W.S., Sirkar, K.K.. Editors, 701-717, Chapman & Hall, New York, NY. (1992).

ตารางที่ 4(ข) สารสกัดกลุ่มที่ 1 ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี ค.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
กลุ่ม 1								
Cyanex 302	Ag	Photographic waste	CSE		Thiourea	Kerosene	AAS	[74]
	Hf	HfO	CSE		8 M H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS, FTIR	[75]
Cyanex 301	Cd	CdCl ₂	CSE		HCl	Kerosene	AAS	[76]
	As	Produced water, Waste water of stainless steel industry	SLM ^b		NaOH	Kerosene	ICP	[77]
	Ni	Lanthanide-actinide	SLM ^b		H ₂ SO ₄	Kerosene	ICP	[78]
	Ln		SLM ^b		HNO ₃	n-Dodecane	NMR, GC-MS, Alpha and gamma spectrometry	[79]
Cyanex 272	Co	CoSO ₄	CSE		HCl	Kerosene	AAS	[76]
	Cd		CSE		HCl	Kerosene	AAS	[80]
	Cd(II)	CdSO ₄	CSE		NaOH, H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS	[81]
	Co	CoSO ₄	SLM, CSE		H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS	[82]
Cyanex 272	Ni	Waste water of stainless steel industry	SLMb		H ₂ SO ₄	Kerosene	ICP	[78]
	Co(II)	Co(II)SO ₄	SLMa		H ₂ SO ₄	Kerosene	Spectrophotometer	[83]
	Y	The mixture of rare earths in Lanthanide	SLMb		HNO ₃	Kerosene	ICP	[84]
	Cd	CdSO ₄	SLMa		2 M H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS, FTIR	[85]
	Pb	Pure	ELM		H ₂ SO ₄	Kerosene	Not mention	[86]
	Pb	Not mention	SLMa		HNO ₃	Kerosene	AAS, NMR	[87]
	U/Th	UO ₂ (NO ₃)	SLMa		HNO ₃	n-Dodecane	AAS	[88]

ตารางที่ 4(ข) สารสกัดกลุ่มที่ 1(ต่อ) ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction)

ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี

ค.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
D2EHPA	Zn(II)	ZnSO ₄	SLM	Manoxol OTPAR	H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS	[89]
	Cd(II)	Cd(NO ₃) ₂	CSE		HNO ₃	Toluene	ICP	[90]
	Zn(II)	Zn(NO ₃) ₂	CSE		HNO ₃	Toluene	ICP	[90]
	Co(II)		SLM ^b	Span 80	0.1 M HCl	Kerosene	AAS	[91]
	Pb	Pb(NO ₃) ₂	ELM		H ₂ SO ₄	Kerosene	Titrimetric method	[92]
	Cu	CuSO ₄	SLM		H ₂ SO ₄	Coconut oil	AAS	[93]
LIX860-I + Cyanex 302	Ni	NiSO ₄ ·6H ₂ O	SLM		H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS	[94]
LIX 984	Cu(II)	Aqueous solution	SLM	Teflon	H ₂ SO ₄	Kerosene,		[95]
						n- Heptane,		
						n- Octane		

เอกสารอ้างอิง

- [74] Norasikin, O., Hanapi, M., and Masahiro, G.B. "Separation of silver from photographic wastes by emulsion liquid membrane system", *Journal of Membrane Science* 282: 171 (2006).
- [75] Ramachandra, B.R., Rajesh, K.J., Phani, R.K.A., and Varada, R. "Solvent extraction of Hf(IV) from acidic chloride solutions using Cyanex302", *Mining engineering* 17: 939 (2004).
- [76] Reddy, B.R., Neela, D.P., and Kyung, H.P. "Separation and recovery of cadmium(II), cobalt(II) and nickel(II) from sulphate leach liquors of spent Ni-Cd batteries using phosphorus based extractants", *Separation and Purification Technology* 50: 161 (2006).
- [77] Pancharoen, U., Poonkum, W., and Lothongkum, A.W. "Treatment of arsenic ions from produced water through hollow fiber supported liquid membrane", *Journal of Alloys and Compounds*, 482: 328 (2009).
- [78] Lothongkum, A.W., Khemglad, Y., Usomboon, N., and Pancharoen, U. "Selective recovery of nickel ions from waste water of stainless steel industry via HFSLM", *Journal of Alloys and Compounds* 476: 940 (2009).
- [79] Bhattacharyya, A., Mohapatra, P.K., Ansari, S.A., Raut, D.R., and Manchanda, V.K. "Separation of trivalent actinides from lanthanides using hollow fiber supported liquid membrane containing cyanex 301 as the carrier", *Journal of Membrane Science* 312: 1 (2008).
- [80] Reddy, B.R., Neela, D.P.S., Venkateswara, R., and Radhika, P. "Solvent extraction and separation of Cd(II), Ni(II) and Co(II) from chloride leach liquors of spent Ni-Cd batteries using commercial organo-phosphorus extractants", *Hydrometallurgy* 77: 253 (2005).
- [81] Ramachanda, R.B., Neela, P.D., and Rajesh, K.J. "Solvent extraction of cadmium(II) from sulphate solutions using TOPS 99, PC88A, Cyanex 272 and their mixtures", *Hydrometallurgy* 74: 277 (2004).
- [82] Basudev, S., Jinki, J., Jae-chun, L., and Gae-Ho, L. "Extraction of Co(II) by supported liquid membrane and solvent extraction using Cyanex 272 as an extractant: a comparison study", *Journal of Membrane Science* 288: 139 (2007).

- [83] Swain, B., Jeoung, J., Lee, J.C., and Lee, G.H. "Separation of Co(II) and Li(I) by supported liquid membrane using cyanex 272 as mobile carrier", *Journal of Membrane Science* 297: 253 (2006).
- [84] Ramakul, P., Supajaroen, T., Prapasawat, T., Pancharoen, U., and Lothongkum, A.W. "Synergistic separation of yttrium ions in lanthanide series from rare earths mixture via hollow fiber supported liquid membrane", *Industrial and Engineering Chemistry Research* 15: 224 (2009).
- [85] Parhi, P.K., Das, N.N., and Sarangi, K. "Extraction of cadmium from dilute solution using supported liquid membrane", *Journal of Hazardous materials* 172: 773 (2008).
- [86] Rania, S., Azza, H., Maaly, K., and Elhassanin, A. "Removal of lead by an emulsion liquid membrane Part I", *Desalination* 212: 165 (2007).
- [87] Belkhouche, N.E., Didi, M.A., Romero, R., Jonsson J.A., and Villemin, D. "Study of new organophosphorus derivatives carriers on the selective recovery of M(II) and M(III) metals using supported liquid membrane extraction", *Journal of Membrane Science*, 284(1-2): 398 (2006).
- [88] Shailesh, S., Pathak, P.N., Mohapatra, P.K., and Manchanda, V.K. "Transport studies of uranium across a supported liquid membrane containing N,N-di(2ethylhexyl) isobutylamide (D2EHIBA) as the carrier", *Journal of Membrane Science* 272: 143 (2006).
- [89] Dingsheng, H., Xiaojian, L., Chunming, Y., Ming, M., and Yang, W. "Study of transport and separation of Zn(II) by a combined supports liquid membrane/strip dispersion process containing D2EHPA in Kerosene as the carrier", *Desalination* 194: 40 (2006).
- [90] Kenji, T., Kunio, W., Yoshio, N., and Masayuki, W. "Solvent extraction separation of Cd(II) and Zn(II) with the organophosphorus extractant D2EHPA and the aqueous nitrogen donor ligand TPEN", *Hydrometallurgy* 70: 63 (2003).
- [91] Prakorn, R., Eakkapit, S., Weerawat, P., Milan, H., and Pancharoen, U. "Permeation study on the hollow fiber supported liquid membrane for the extraction of cobalt(II)", *Korean Journal of Chemical Engineering* 23(1): 117 (2007).
- [92] Sabry, R., Hafez, A., Khedr, M., and El-Hassanin, A. "Removal of lead by an emulsion liquid membrane Part I", *Desalination* 212: 165 (2007).
- [93] Venkateswaran, P., Gopalakrishnan, A.N., and Palanivelu, K. "Di(2-ethylhexyl) phosphoric acid-coconut oil supported liquid membrane for the separation of copper ions

- from copper plating wastewater", *Journal of Environmental Sciences* 19(12): 1446 (2006).
- [94] Van de V.L., Pinoy, L., and Ketelaere, R.F. "Recovery of nickel ions by supported liquid membrane extraction", *Journal of Membrane Science* 234(1-2): 11 (2004).
- [95] Ata, O.N. "The selective transport of copper ions through supported liquid membrane", *Chemical and Biochemical Engineering* 19(1): 25 (2005).

ตารางที่ 5(ข) สารสกัดกลุ่มที่ 2 ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี ค.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
กลุ่ม 2								
TOA	Cd	CdCl_2	ELM	Span 80	NH_4OH	Kerosene	AAS	[96]
	Co	$\text{Co}(\text{SCN})_4$	ELM	ECA 4360J	6 M NH_4OH	Cyclohexane	AAS	[97]
	Cr	CrO_7	ELM		0.5 M $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	Toluene	AAS	[98]
	Pt	$(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$	CSE		NH_4OH , NH_4Cl	Kerosene	AAS, XRF	[99]
	V	VO_2SO_4	SLM ^a		HNO_3		UV	[100]
	Hg	HgCl_4^{2-}	SLM ^b		NaOH	Kerosene	ICP	[101]
TOA	As	Produced water, Sulfate media	SLM ^b		NaOH	Toluene	ICP	[77]
	Ce(IV)	HgCl_2	SLM ^b		NaOH	Kerosene		[102]
	Hg(II)	As_2O_3	SLM ^b		NaOH	Kerosene	ICP	[103]
	As	Sulfate media	SLM ^b		NaOH	Dichloroethane	ICP	[103]
	Ce(IV)	Sulfate media	SLM ^b		Na_2CO_3		ICP	[104]
	La(III)	HgCl_2	SLM ^b		Na_2CO_3		ICP	[104]
	Hg		SLM ^a		NaOH		AAS	[105]
	As		SLM ^b		NaOH	Kerosene	ICP	[77]
Aliquat 336	Cd	CdI_4	ELM	Span 80	NH_4OH	Kerosene	AAS	[106]
	U	UO_2Cl_4	SLM ^a		Distilled water	Chloroform	Not mention	[107]
	Zn(II)	ZnCl_2	SLM		0.1 M HCl, H_2SO_4	n-Decanol, Kerosene	ICP-AES	[108]
	Cd(II)	CdCl_2	SLM		0.1 M HCl, H_2SO_4	n-Decanol, Kerosene	ICP-AES	[108]

ตารางที่ 5(ข) สารสกัดกลุ่มที่ 2(ต่อ)ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction)

ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี

ค.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
Aliquat 336	Cd(II)	Chloride solution	SLM ^a		0.05-0.5 M NaNO ₃ , 0.01 M HCl, Water			[109]
		Gatter sulfate leach liquor			0.5 M NaClO ₄			
	U(VI)	Produced water	ELM	Span80	Na ₂ CO ₃	Kerosene		[110]
Alamine 336	Cr	CrO ₇	ELM	ECA 4360J	(NH ₄) ₂ CO ₃	Kerosene	AAS	[111]
	Cr	CrO ₇	ELM	ECA 4360J	Na ₂ NO ₃	Kerosene	AAS	[111]
	Cr	CrO ₇	ELM		NaOH	Kerosene	AAS	[111]
	Cr	K ₂ Cr ₂ O ₇	ELM		(NH ₄) ₂ CO ₃	Xylene	AAS	[111]
	Mo	Na ₂ MoO ₄	SLM ^a		Na ₂ CO ₃	Toluene	AAS	[112]
	Mo	H ₂ MoO ₄	SLM ^a		Na ₂ CO ₃	Benzene	AAS	[113]
	V	VO ₂ SO ₄	SLM ^a		NH ₄ OH		AAS	[114]
	Fe, Ni	FeCl ₃ etching	CSE		0.01 M HCl		ICP-AES	[115]
LIX54 + TOPO	La(III), Gd(III)	Nitrate solution	SLM ^a		Ammonium hydroxide		Spectrophotometer	[116]
Aliquat 336	Nd	Light rare earth nitrate solution	CSE			ShellsolA B	ICP	[117]
0.1 M Aliquat 336 + 0.06 M TBP	U	Trisodium phosphate	SLM ^b		0.5 M HNO ₃	Kerosene	ICP	[118]

เอกสารอ้างอิง

- [96] Recep, A.K. "Extraction and concentration study of cadmium from zinc plant leach solutions by emulsion liquid membrane using trioctylamine as extractant", Hydrometallurgy, 95: 290 (2009).
- [97] Kumbasar, R.A. "Separation of cobalt and nickel from acidic leach solutions by emulsion liquid membranes using Alamine300 (TOA) as mobile carrier", Desalination 224: 201 (2008).
- [98] Kumbasar, R.A. "Selective separation of chromium(VI) from acidic solutions containing various metal ions through emulsion liquid membrane using trioctylamine as extractant", Separation and Purification Technology 64: 56 (2008).
- [99] Barakat, M.A., and Mahmoud, M.H.H. "Recovery of platinum from spent catalyst". Hydrometallurgy 72(3-4): 179 (2004).
- [100] Chaudry, M.A., Bukhari, N., Mazhar, M., and Tazeen, F. "Vanadium(V) ions transport through tri-n-octyl amine cyclohexane supported liquid membranes", Separation and Purification Technology, 54(2): 227 (2007).
- [101] Pancharoen, U., Somboonpanya, S., Chaturabul, S., and Lothongkum, A.W. "Selective removal of mercury as HgCl_4^{2-} from natural gas well produced water by TOA via HFSLM", Journal of Alloys and Compounds. 489(1): 72 (2010).
- [102] Ramakul, P., Patthaveekongka, W., and Pancharoen, U. "Mass transfer modeling of membrane carrier system for extraction of Ce(IV) from sulfate media using hollow fiber supported liquid membrane", Korean Journal of Chemical Engineering 23(1): 85 (2006).
- [103] Sangtunrong, S., Ramakul, P., Satayaprasert, C., Pancharoen, U., and Lothongkum, A.W. "Purely separation of mixture of mercury and arsenic via hollow fiber supported liquid membrane", Journal of Industrial and Engineering Chemistry 13(5): 751 (2007).
- [104] Pancharoen, U., Ramakul, P., and Patthaveekongka, W. "Purely extraction and separation of mixture of cerium(IV) and lanthanum(III) via hollow fiber supported liquid membrane", Journal of Industrial and Engineering Chemistry 11(6): 926 (2005).
- [105] Chakrabarty, K., Saha, P., Ghoshal, A. K. "Simultaneous separation of mercury and liginosulfonate from aqueous solution using supported liquid membrane", Journal of Membrane Science 346: 37(2010).

- [106] Recep, A. K. "Transport of cadmium ions from zinc plant leach solutions through emulsion liquid membrane-containing Aliquat336 as carrier". *Separation and Purification Technology* 63: 592(2008).
- [107] Mohapatra, P. K., Lakshmi, D. S., Mohan, D., and Manchanda, V. K. "Uranium pertraction across a PTFE flat sheet membrane containing Aliquat336 as the carrier", *Separation and Purification Technology*, 51(1): 24(2006).
- [108] Ruey-Shin, J., Hsiang-Chien, K., Wen-Hsin, W. "Analysis of liquid membrane extraction of binary Zn(II) and Cd(II) from chloride media with Aliquat336 based", *Journal of Membrane Science* 288: 169(2004).
- [109] Reddy, B. R., Neela, D. P. S., Venkateswara, R., and Radhika, P. "Solvent extraction and separation of Cd(II), Ni(II) and Co(II) from chloride leach liquors of spent Ni-Cd batteries using commercial organo-phosphorus extractants", *Hydrometallurgy* 77: 253(2005).
- [110] Maysa, S. E. S. "Uranium extraction from gutter sulfate leach liquor using Aliquat 336 in a liquid emulsion membrane process", *Hydrometallurgy*, 68: 51(2003).
- [111] Recep, A. K. "Studies on extraction of chromium(VI) from acidic solutions containing various metal ions through emulsion liquid membrane using Alamine 336 as extractant", *Journal of Membrane Science* 325: 460(2008).
- [112] Marchese, J., Valenzuela, F., Basualto, C., and Acosta, A. "Transport of molybdenum with Alamine336 using supported liquid membrane", *Hydrometallurgy* 72(3-4): 309(2004).
- [113] Basualto, C., Marchese, J., Valenzuela, F., and Acosta, A. "Extraction of molybdenum by a supported liquid membrane method", *Talanta* 59(5): 999(2003).
- [114] Lozano, L. J., Godinez, C., and Alguacil, F. J. "Facilitated transport of vanadium(V) by supported liquid membranes", *Hydrometallurgy* 80: 196(2005).
- [115] Man-Seung, L., and Kyoung-Joo, L. "Separation of Iron and nickel from a spent FeCl_3 etching solution by solvent extraction", *Hydrometallurgy* 80: 163(2005).
- [116] Bansal, B., Chen, X. D., Hossain, M. M. "Transport of lithium through a supported liquid membrane of LIX 54 and TOPO in kerosene", *Chemical Engineering and Processing* 44: 1327(2005).

- [117] Preston, J. S. "The recovery of rare earth oxides from a phosphoric acid by product, Part 4: the preparation of magnet-grade neodymium oxide from the light rare earth fraction" *Hydrometallurgy* 42: 151(1996).
- [118] Lothongkum, A. W., Ramakul, P., Sasomsub, W., Laoharochanapan, S., and Pancharoen, U. "Enhancement of uranium ion flux by consecutive extraction via hollow fiber supported liquid membrane", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 40: 518(2009).

ตารางที่ 6(ข) สารสกัดกลุ่มที่3 ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี ค.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายน้ำกลั่น	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
กลุ่ม 3								
Cyanex 921	As	H ₃ AsO ₄	SLM ^a		Na ₂ SO ₄	Kerosene	UV	[119]
	Zn	HZnCl ₃	CSE		Distilled water	Kerosene	UV/VIS, AAS	[120]
	Fe	HFeCl ₄	CSE		HCl		UV/VIS, AAS	[120]
	Bi(III)	BiONO ₃ (Aldrich)	SLM		0.2 M H ₂ SO ₄		AAS	[121]
Cyanex 923	Cd	Pure	SLM ^b		Distilled water, Na ₂ CO ₃	ExsolD 100	AAS	[122]
	Cd	CdCl ₂	CSE		Na ₂ CO ₃	Kerosene	AAS	[80]
	Ir	IrCl ₄	SLM ^a		NH ₄ OH	Xylene	AAS	[123]
	Ir	IrCl ₄	SLM ^a		H ₂ SO ₄	Cyclohexane	AAS	[123]
	Ru	RuCl ₃	SLM ^a		NaOH	Kerosene	AAS	[123]
	V	VO ₂ SO ₄	SLM ^a				AAS	[114]
	Co(II)	CoCl ₂	ELM	Span 80			AAS	[124]
	As	Produced water	SLM ^b				ICP	[77]
	Cr	Cr ion	ELM	ECA 4360J	NH ₄ CO ₃	Kerosene	AAS	[125]
	Ga	GaCl ₄	ELM	Span80	0.1 M H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS	[126]
	U	UO ₂ (NO ₃) ₂	ELM	Span 80	H ₂ SO ₄	Paraffin	AAS	[127]
	U	Acidic waste		Span 80	Na ₂ CO ₃	Paraffin	Spectrophotometer, Alkaline peroxide method	[127]

ตารางที่ 6(ข) สารสกัดกลุ่มที่3(ต่อ) ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction)

ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี

ก.ศ. 2003 - 2009

ชนิด สารสกัด	ไอออน โลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลด แรงตึงผิว	สารละลาย นำกลับ	ตัวทำละลาย	เครื่องมือ วิเคราะห์	อ้างอิง
Cyanex 923	U(IV)	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	ELM	Span 80	H_2SO_4	Paraffin	AAS	[128]
	Cr	Aqueous solution	ELM		NaOH	Cyclo hexane		[129]
	Cu(II)		CSE		H_2SO_4	Kerosene		[116]
TBP	Co	$\text{Co}(\text{SCN})_4$	ELM	Span 80	6 M NH_4OH	Kerosene	AAS	[130]
TBP	Zn	HZnCl_3	CSE		Distilled water	Kerosene	UV/VIS, AAS	[120]
	Ce(III)	Nitrate salt	SLM ^b		0.3 M Trisodium citrate, NaOH	Dodecane	ICP	[131]
	U	Nitrate media	SLM ^b		NaOH	Kerosene	ICP	[132]
	As	Produced wate, Nitrate media	SLM ^b		NaOH	Kerosene	ICP	[77]
	U	Nitrate media	SLM ^b		NaOH	Kerosene	NAA	[133]
	Th	Waste	SLM ^b		NH_4OH , NH_4Cl	Kerosene	NAA	[133]
	Cu(I)	Waste	CSE		NaCl	1-Octanol	AAS	[134]
	Cu(I)	Waste	CSE		Water	1-Octanol	AAS	[134]
	Cu(I)	Waste	CSE		NaOH, NH_4Cl	1-Octanol	AAS	[134]
TBP + TOA	Eu trioxide		SLM		HNO_3	Kerosene	Spectoph otometer, Asenazo indicator	[135]

ตารางที่ 6(ข) สารสกัดกลุ่มที่3(ต่อ) ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี ค.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
Calix[4]arene	Cd	Cd salt	CSE		Acid	Chloroform	UV	[136]
Azocalix[4]arene	Zn	Zn salt	CSE		Acid	Chloroform	UV	[136]
	Hg	Hg salt	CSE		Acid	Chloroform	AAS	[137]
Calix[4]pyrroles	Ag	Pure	SLM		Thiosulfate	Kerosene	AAS	[138]
Thiacalix[4]arene	Cd	Cd solution	SLM		HCl		AAS	[139]
calyxcrown-6 ligand	Cs	Cs(I)	SLM		Dilute nitric solutions	NPOE, n-Dodecane	Gamma spectroscopy	[140]
calyx[4]arene amine	Ag	AgNO ₃	CSE		Water	Dichloro-methane	AAS	[141]
DTBCH 18C6	Sr	Sr ion	SLM ^a		Al(NO ₃) ₃	Chloroform, Benzene	Not mention	[142]
DTBCH 18C6	Sr	Sr(NO ₃) ₂	SLM ^a		Distilled water	Octanal	ICP	[143]
TT12C4	Hg	Hg(II)	SLM		EDTA	NPOE	ICP	[144]

เอกสารอ้างอิง

- [119] Chakrabarty, K., Saha, P., Ghoshal, A. K. "Simultaneous separation of mercury and lignosulfonate from aqueous solution using supported liquid membrane", *Journal of Membrane Science* 346: 37(2010).
- [120] Recep, A. K. "Transport of cadmium ions from zinc plant leach solutions through emulsion liquid membrane-containing Aliquat336 as carrier", *Separation and Purification Technology* 63: 592(2008).
- [121] Mohapatra, P. K., Lakshmi, D. S., Mohan, D., and Manchanda, V. K. "Uranium pertraction across a PTFE flat sheet membrane containing Aliquat336 as the carrier", *Separation and Purification Technology*, 51(1): 24(2006).
- [122] Ruey-Shin, J., Hsiang-Chien, K., Wen-Hsin, W. "Analysis of liquid membrane extraction of binary Zn(II) and Cd(II) from chloride media with Aliquat336 based", *Journal of Membrane Science* 288: 169(2004).
- [123] Reddy, B. R., Neela, D. P. S., Venkateswara, R., and Radhika, P. "Solvent extraction and separation of Cd(II), Ni(II) and Co(II) from chloride leach liquors of spent Ni-Cd batteries using commercial organo-phosphorus extractants", *Hydrometallurgy* 77: 253(2005).
- [124] Maysa, S. E. S. "Uranium extraction from gutter sulfate leach liquor using Aliquat 336 in a liquid emulsion membrane process", *Hydrometallurgy*, 68: 51(2003).
- [125] Recep, A. K. "Studies on extraction of chromium(VI) from acidic solutions containing various metal ions through emulsion liquid membrane using Alamine 336 as extractant", *Journal of Membrane Science* 325: 460(2008).
- [126] Marchese, J., Valenzuela, F., Basualto, C., and Acosta, A. "Transport of molybdenum with Alamine336 using supported liquid membrane", *Hydrometallurgy* 72(3-4): 309(2004).
- [127] Basualto, C., Marchese, J., Valenzuela, F., and Acosta, A. "Extraction of molybdenum by a supported liquid membrane method", *Talanta* 59(5): 999(2003).
- [128] Lozano, L. J., Godinez, C., and Alguacil, F. J. "Facilitated transport of vanadium(V) by supported liquid membranes", *Hydrometallurgy* 80: 196(2005).
- [129] Man-Seung, L., and Kyoung-Joo, L. "Separation of Iron and nickel from a spent FeCl₃ etching solution by solvent extraction", *Hydrometallurgy* 80: 163(2005).

- [130] Bansal, B., Chen, X. D., Hossain, M. M. "Transport of lithium through a supported liquid membrane of LIX 54 and TOPO in kerosene", *Chemical Engineering and Processing* 44: 1327(2005).
- [131] Preston, J. S. "The recovery of rare earth oxides from a phosphoric acid by product. Part 4: the preparation of magnet-grade neodymium oxide from the light rare earth fraction" *Hydrometallurgy* 42: 151(1996).
- [132] Lothongkum, A. W., Ramakul, P., Sasomsub, W., Laoharochanapan, S., and Pancharoen, U. "Enhancement of uranium ion flux by consecutive extraction via hollow fiber supported liquid membrane", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 40: 518(2009).
- [133] Rauta, D. R., Mohapatra, P. K., Ansari, S. A., Sarkar, A., and Manchanda, V. K. "Selective transport of radio-caesium by supported liquid membrane containing calyx[4] crown-6 ligand as the mobile carrier", *Desalination* 232: 460 (2008).
- [134] Stankovic, V., Outarra, L., Zonneville, F., and Comninellis, C. "Solvent extraction of silver from nitric acid solution by calyx[4]arene amine derivative", *Separation and Purification Technology* 61(3): 366 (2007).
- [135] Mohapatra, P. K., Lakshmi, D. S., and Manchanda V. K. "Diluent effect on Sr(II) Extraction using di-tert-butyl cyclohexano 18 crow 6 as the extraction and its correlation with transport data obtained from supported liquid membrane studies", *Desalination* 198 (1-3): 166 (2006).
- [136] Rawat, N., Mohapatra, P. K., Lakshmi, D. S., Bhattacharyya, A., and Manchanda V. K. "Evaluation of a supported liquid membrane a macro cyclic ionophore for selective removal of strontium from nuclear waste solution", *Journal of Membrane Science* 275: 82 (2006).
- [137] Shamsipur, M., Hashemi, O.R., and Lippolis, V. "A supported liquid membrane system for simultaneous separation of silver(I) and mercury(II) from dilute feed solutions", *Journal of Membrane Science*, 282(1-2): 322 (2006).

ตารางที่ 7(ข) สารสกัดกลุ่มที่ 4 ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี ค.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงดึงผิว	สารละลายน้ำกลับ	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
กลุ่ม 4								
TOPS99	Cd	CdSO ₄	CSE		Distilled water, HCl	Kerosene	AAS	[145]
	Ni	NiCl ₂	CSE		H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS	[80]
	Cd	NaCl	CSE		H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS	[146]
	Zn	ZnSO ₄	SLM		H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS	[147]
	Cu	CuSO ₄	SLM		NaOH		AAS	[147]
	Cd(II)	CdSO ₄	CSE		H ₂ SO ₄ , NaCl	Kerosene	AAS	[81]
	Cd	Cd salt	SLM		NaNO ₃ , Na ₂ SO ₄ , CH ₃ COONa, NaSCN, NaClO ₃	Kerosene	AAS	[148]
	Zn	Zn salt	SLM		NaCl, NaNO ₃ , Na ₂ SO ₄ , CH ₃ COONa, NaSCN, NaClO ₃		AAS	[148]
DBHQ	Co	Co(NH ₃) ₆	ELM	Span 80	H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS	[149]
	Ni	Ni(NH ₃) ₆	ELM	Span 80	H ₂ SO ₄	Kerosene	AAS	[150]

ตารางที่ 7(ข) สารสกัดกลุ่มที่ 4(ต่อ) ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี ค.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายน้ำกลั่น	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
TIOA	Co	$\text{Co}(\text{SCN})_2$	ELM	ECA 4360J	6 M NH_4OH	Kerosene	AAS	[151]
	Cd	CdI_2^{2-}	ELM	ECA 4360J	NaOH	Kerosene, ECA4360J	AAS	[152]
	Cu	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	SLMa		Distilled water	Chloroform	AAS	[153]
	Ag	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	SLMa		Distilled water	Chloroform	AAS	[153]
TODGA	La	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	SLMa		Distilled water	Chloroform	Not mention	[154]
	U	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	SLMa		HNO_3	n-Dodecane	Not mention	[107]
DOPPA	Co	Not mention	SLMa		HNO_3	Kerosene	AAS, NMR, FTIR	[87]
MDPA	Cd	Not mention	SLMa		HNO_3	Kerosene	AAS, NMR, FTIR	[87]
TEA	Ni	NiCl_2	SLMa		NaOH	Not mention	AAS	[155]
	Co(II)	LHCoCl_3 , $(\text{LH})_2\text{CoCl}_4$	SLM		0.1-1 M HCl	Cyclohexanone	AAS	[156]
TOTDGA	Pd	PdCl_2	CSE		HNO_3	n-Dodecane	ICP	[157]
2-droxy-4-sec-octanoyl-ketoxime	Pd	H_2PdCl_6	CSE		5 M HCl	Kerosene	AAS	[158]
	Au	HAuCl_4	CSE		0.1 M HCl	Kerosene	AAS	[158]

ตารางที่ 7(ข) สารสกัดกลุ่มที่4(ต่อ) ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction)

ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี

ก.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายน้ำกลับ	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
DBSO	Pd	PdCl_2	CSE		$(\text{NH}_4)\text{Cl}$	Kerosene	AAS	[159]
	Pd(II)	HCl solution	CSE		HCl	Kerosene	AAS	[159]
	Pt(IV)	HCl solution	CSE		$(\text{NH}_4)\text{Cl}$	Kerosene	AAS	[159]
2-5-diethylamino phenol	Ag	Ag salt	CSE		Acid	Chloroform	UV	[155]
	Hg	Hg salt	CSE		Acid	Chloroform	UV	[155]

เอกสารอ้างอิง

- [138] Reddy, B. R., Venkateswara, S. R., and Neela, D. P., "Selective separation and recovery of divalent Cd and Ni from sulphate solutions with mixtures of TOPS 99 and Cyanex 471X" *Separation and Purification Technology* 59: 214 (2008).
- [139] Reddy, B. R. Priya, D. N., and Kumar, J. R. "Solvent extraction of cadmium(II) from sulphate solutions using TOPS 99, PC88A, Cyanex 272 and their mixtures, *Hydrometallurgy* 74: 277 (2004).
- [140] Sarang, K., and Das, R.P. "Separation of copper and zinc by supported liquid membrane using TOPS 99 as mobile carrier", *Hydrometallurgy* 71: 335 (2004).
- [141] Swain, B., Sarangi, K., and Das, R.P. "Effect of different anions on separation of cadmium and zinc by supported liquid membrane using TOPS 99 as mobile carrier", *Journal of Membrane Science* 277: 240 (2006).
- [142] Kumabasar, R. A., and Sahin, L. "Separation and concentration of cobalt from ammoniacal solutions containing cobalt-nickel by emulsion liquid membranes using 5,7-dibromo-8-hydroxyquinoline (DBHQ)", *Journal of Membrane Science* 325: 712 (2008).
- [143] Kumbasar, R. A. "Selective extraction of nickel from ammonical solutions containing nickel and cobalt by emulsion liquid membrane using 5,7-dibromo-8-hydroxyquinoline (DBHQ) as extractant", *Minerals Engineering* 22: 530 (2009).
- [144] Kumbasar, R. A., "Separation and concentration of cobalt from zinc plant acidic thiocyanate leach solutions containing cobalt-nickel by emulsion liquid membranes using triisooctylamine as carrier", *Journal of Membrane Science* 333(1-2): 118 (2009).
- [145] Mortaheb, H. R., Kosuge, H., Mokhtarani, B., Amini, M. H., and Banihashemi, H. R., "Study on removal cadmium from wastewater by emulsion liquid membrane", *Journal of Hazardous Materials* 165(1-3): 630 (2008).
- [146] Omar, A., Abdelaziz, G., and Hactke, K., "Removal of Ag(I), Cu(II) and Zn(II) ions with a supported liquid membrane containing cryptands as carriers", *Desalination* 161: 255 (2004).
- [147] Ansari, S. A., Mohapatra, P. K., Prabhu, D. R., and Manchanda, V. K. "Transport of lanthanides and fission products through supported liquid membranes containing N, N, N', N'-tetraoctyl diglycolamine (TODGA) as the carrier", *Desalination* 232: 254 (2008).

- [148] Naheed, B., Chaudry, M. A., and Mazhar, M., "Triethanolamine-cyclohexanone supported liquid membrane study for extraction and removal of nickel ions from nickel plating wastes". *Journal of Membrane Science* 283: 182 (2006).
- [149] Naheed, B., Ashraf, C. M., and Mazhar, M. "Cobalt(II) transport through triethanolamine-cyclohexanone supported liquid membranes". *Journal of Membrane Science* 234: 157 (2004).
- [150] Hirokazu, N., Mikiya, T., and Kazuko, M. "Palladium extraction with N, N, N', N-tetra-n-octyl-thiodiglycolamine", *Minerals Engineering* 21(6): 483 (2008).
- [151] Shen Y. F., and Xue W. Y. "Recovery Palladium, gold and platinum from hydrochloric acid solution using 2-hydroxy-4-sec-octanoyl diphenyl-ketoxime", *Separation and Purification Technology* 56(3): 278 (2007).
- [152] Pan L., and Zhang Z. "Solvent extraction and separation of palladium(II) and platinum(IV) from hydrochloric acid medium with dibutyl sulfoxide", *Minerals Engineering* 22: 1271 (2009).

ตารางที่ 8(ข) สารสกัดกลุ่มเบ็ดเตล็ด ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction)

ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี

ค.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงตึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
เบ็ดเตล็ด								
Ammoniacal etchant	Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	SLM ^b		H_2SO_4	Kerosene	ICP	[160]
CMPO	Ce(III)	Nitrate salt	SLM ^b		0.3 M trisodium citrate	Dodecane	ICP	[131]
DTBB18C6	Cs	Cs(I)	SLM		HNO_3	Mixture of toluene nitrobenzene		[161]
	Cs(I)	Cs + HNO_3	SLM		Distilled water		ICP	[162]
D2EHIBA	U	Nitric acid	SLM ^c		4 M HNO_3	n-Dodecane	Spectrophotometer	[163]
LIX 860-I	Ni	Waste water	SLM ^b		H_2SO_4	Kerosene	ICP	[78]
LIX 860-I + Cyanex 302	Ni	Nickel salt	SLM ^a		1.5 M H_2SO_4	Kerosene	AAS	[164]
LIX 984N-C	Cu	CuSO_4	ELM	Span 80	1.5 M H_2SO_4	Kerosene	AAS	[165]
LIX 984N-IC	Cu	Acid mine drainage	ELM	Span 80	H_2SO_4	Kerosene	AAS	[166]
	Cu	Natural copper mine water	ELM	Span 80	H_2SO_4	Kerosene	AAS	[167]
	Cu		ELM	Span80	H_2SO_4	Kerosene	AAS	[168]
MIBK	Au(III)	Ion mixture chloride	ELM	LK-80	Na_2SO_3	Paraffin	AAS	[169]
	Fe, Ni	FeCl_3 etching	CSE		0.01 M HCl	Toluene	ICP	[115]
PhenS2O	Ag	Silver nitrate	SLM		Sodium thiosulfate		ICP	[144]

ตารางที่ 8(ข) สารสกัดกลุ่มเบ็ดเตล็ด (ต่อ) ในการสกัดผ่านระบบ CSE (conventional solvent extraction) ELM (emulsion liquid membrane) และ SLM (supported liquid membrane) ช่วงปี ค.ศ. 2003 - 2009

ชนิดสารสกัด	ไอออนโลหะ	สารละลายป้อน	วิธีการ	สารลดแรงดึงผิว	สารละลายนำกลับ	ตัวทำละลาย	เครื่องมือวิเคราะห์	อ้างอิง
TT 12C4	Hg(II)	Mercury nitrate	SLM		EDTA , Disodium salt		ICP	[144]
Oxime	Pd	PUREX waste	CSE		0.05 M Thiourea, 0.1 M HNO ₃ , 4 M NH ₄ OH	Solvesso	ICP	[170]
N-Benzoyl- N, N- diheptadecyl l thiourea	Hg	HgCl ₂	SLM ^b		Thiourea	Decaline, Cumene	AAS, ICP	[171]
Nonyl thiourea (NTh)	Pd	PdCl ₂	SLM ^b		NaSCN, NaCl	Hexane	AAS	[172]
Tripodal	Hg	Hg(II)	BLM		HCl	Chloroform	ICP-AES	[173]
D2EHTPA	Zn	Zinc sulfate	ELM		0.1 M NaOH	Kerosene	AAS	[174]
HTTA + TOA	La, Nd	LaCl ₃ , Nd ₂ O ₃	SLM ^b		HNO ₃	Benzene	ICP	[175]
Kelex-100	Heavy metal	Metal solution	ELM	Span 80	H ₂ SO ₄	Toluene, n-Heptane	AAS	[176]
Alamine 308	Pt, Rh	Acid chloride solutions	CSE		HCl + Thiourea	Kerosene	ICP	[177]

เอกสารอ้างอิง

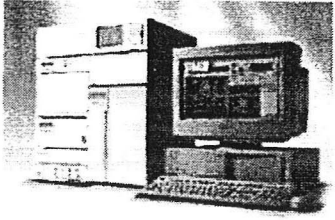
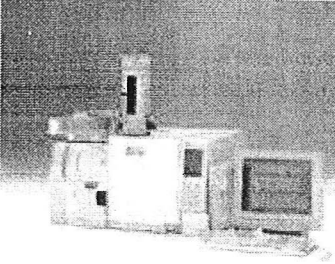
- [153] Yang, Q., and Kocherginsky, N. M., "Copper recovery and spent ammoniacal etchant regeneration based on hollow fiber supported membrane technology: from bench scale to pilot scale tests", *Journal of Membrane Science* 286: 301(2006).
- [154] Mohapatra, P.K., Lakshmi, D.S., Mohanb, D., and Manchanda, V.K. "Selective transport of cesium using a supported liquid membrane containing di-t-butyl benzo18crown6 as the carrier", *Journal of Membrane Science* 232(1-2): 133 (2004).
- [155] Soko, L., Chimuka, L., Cukrowsk, E., and Pole S. "Extraction and pre-concentration of manganese(II) from biological fluids (water, milk and blood serum) using supported liquid membrane and membrane probe methods", *Analytica Chimica Acta* 485: 25 (2003).
- [156] Shailesh, S., Pathak, P. N., Mohapatra, P. K., and Manchanda V. K. "Transport studies of uranium across a supported liquid membrane containing N,N-di(2-ethylhexyl) isobutylamide (D2EHIBA) as the carrier", *Journal of Membrane Science* 272: 143 (2006).
- [157] Van, de V.I., Pinoy, L., and Keteleare, R.F. "Recovery of nickel ions by supported liquid membrane (SLM) extraction", *Journal of Membrane Science* 234(1-2): 11 (2004).
- [158] Sengupta, B., Sengupta, R., and Subrahmanyam, N. "Copper extraction into emulsion liquid membrane using LIX984N-C", *Hydrometallurgy*, 81(1), 67 (2006).
- [159] Valenzuela, F., Cabrera, J., Basualto, C., and Hagar, J. S. "Kinetic of copper removal from acidic mine drainage by a liquid emulsion membrane method", *Minerals Engineering* 18: 1224 (2005).
- [160] Valenzuela, F., Cabrera, J., Basualto, C., and Hagar, J. S. "Liquid membrane emulsion process for recovering the copper content of a mine drainage", *Chemical Engineering Research and Design* 87: 102 (2008).
- [161] Valenzuela, F., Cabrera, J., Basualto, C., Correa, O., Tapia, C., and Hager, J. S. "Removal of copper ions from a waste mine water by a liquid emulsion membrane method", *Minerals Engineering* 18(1): 33 (2004).
- [162] Kargari, A., Kaghazchi, T., Mardangahi, B., and Soleimani, M. "Experimental and modeling of selective separation of gold(III) ions from aqueous solution by emulsion liquid membrane system", *Journal of Membrane Science* 279(1-2): 389 (2006).

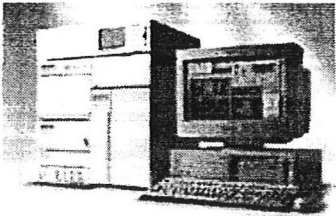
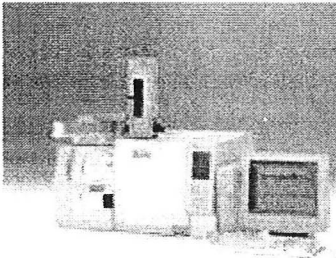
- [163] Dakshinamoorthy, A., Dharmi, P. S., Naik, P. W., Dudwadkar, N. L., Munshi, S. K., Dey P. K., and Venugopal V. "Separation of palladium from high level liquid waste of PUREX origin by solvent extraction and precipitation methods using oximes". *Desalination* 232: 26 (2008).
- [164] Fontas C., Hidalgo M., Salvado, V., and Antico, E. "Selective recovery and preconcentration of mercury with a benzoylthiourea solid supported liquid membrane system". *Analytica Chimica Acta* 547(2): 255 (2005).
- [165] Uheida, A., Zhang, Y., and Muhammed, M. "Transport of palladium(II) through hollow fiber supported liquid membrane facilitated by nonylthiourea", *Journal of Membrane Science* 241: 289 (2004).
- [166] Singh, N., and Jang, D. O. "Selective and efficient tripodal receptors for competitive solvent extraction and bulk liquid membrane transport of Hg^{2+} ", *Journal of Hazardous Materials* 168: 727 (2009).
- [167] Teresa, M., Ries, A., and Carvalho, J.M.R. "Modeling of Zinc extraction from sulphate solutions with bis(2-ethylhexyl)thiophosphoric acid by emulsion liquid membrane", *Journal of Membrane Science* 237: 97(2004).
- [168] Ramakul, P., and Pancharoen, U. "Synergistic extraction and separation of mixture of lanthanum and neodymium by hollow fiber supported liquid membrane", *Korean Journal of Chemical Engineering* 20(4): 724 (2003).
- [169] Matsumiya, H., Ohkouchi, R., and Hiraid, M. "A water-in-oil emulsion containing Kelex-100 for speciation analysis of trace heavy metals in water", *Analytica Chimica Acta* 556(2): 438 (2005).
- [170] Lee, J.Y., Kumar, J.R., Kim, J.S., Park, H.K., and Yoon H.S. "Liquid-liquid extraction/separation of platinum(IV) and rhodium (III) from acidic chloride solutions using Tri-iso-octylamine", *Journal of Hazardous Materials* 168: 424 (2009).

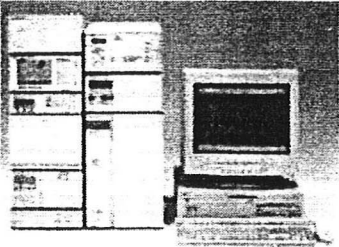
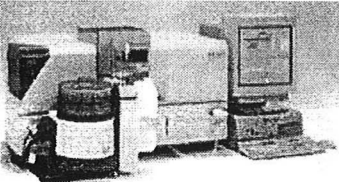
ภาคผนวก ค

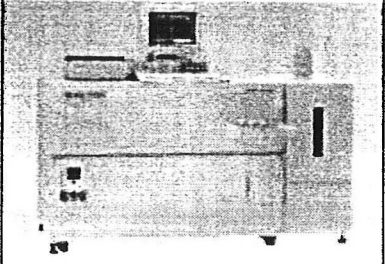
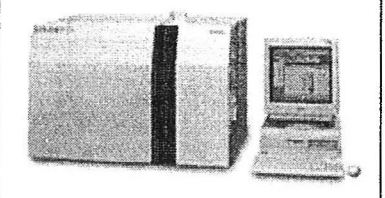
ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นของ
ไอออนโลหะ

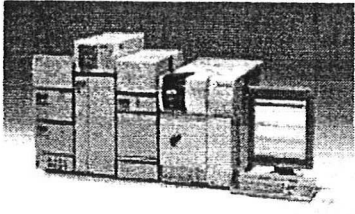
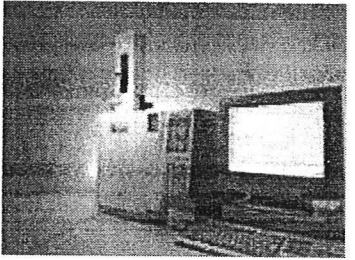
ตารางที่ ค(1) แสดงรูปเครื่องมือวิเคราะห์ พร้อมคำอธิบายถึงหลักการและการประยุกต์ใช้งานโดยสังเขป

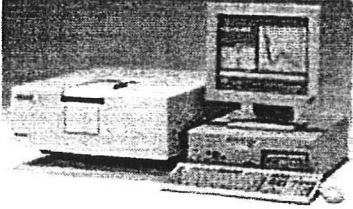
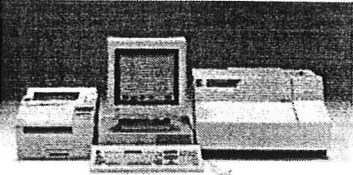
เครื่องมือวิเคราะห์	หลักการทำงาน	การประยุกต์ใช้งาน
high performance liquid chromatograph Mass spectrometer (LCMS-2010A) 	เป็นเครื่องวิเคราะห์สารเคมีที่ใช้เทคนิคในการแยกสารผสม โดยมีของเหลว (liquid) เป็นตัวพา (mobile phase) ที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ โดยใช้หลักการวิเคราะห์หาค่ามวลต่อประจุ (m/e) ของสารต่างๆ โดย mass filter เป็นแบบ quadrupole เพื่อตรวจพิสูจน์ชนิดและโครงสร้างของสารประกอบ พร้อมทั้งคำนวณหาชนิดและปริมาณเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน	สามารถใช้ในงานตรวจวิเคราะห์ทั่วไปได้กว้างขวาง และตรวจพิสูจน์ในกรณีที่วิเคราะห์ด้วย HPLC ไม่อาจยืนยันผลได้ และสำหรับศึกษาวิจัยโครงสร้างของสารประกอบต่างๆ
gas chromatograph mass spectrometer (GCMS QP-2010) 	เป็นเครื่องวิเคราะห์สารเคมีที่ใช้เทคนิคในการแยกสารผสมที่ระเหยได้ง่าย โดยมีแก๊สเป็นตัวพา (carrier gas) ที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ โดยใช้หลักการวิเคราะห์หาค่ามวลต่อประจุ (m/e) โดย mass filter เป็นแบบ quadrupole ที่สามารถตรวจพิสูจน์ชนิดและโครงสร้างของสารประกอบได้ โดยเปรียบเทียบไอออนย่อย (fragment ion) กับ mass spectrum libraries โดยที่ไอออนย่อยเกิดจากการแตกหักของสารประกอบ ที่ถูกระดมยิงด้วยอิเล็กตรอนพลังงานสูงซึ่งสารประกอบแต่ละชนิดมีรูปแบบการแตกหัก (fragmentation patterns) ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณ สารได้โดยการเลือกไอออนที่ต้องการ (selected ion monitoring, SIM) ซึ่งมีความไว (sensitivity) สูงมากสามารถตรวจวัดสารได้ในระดับพิโกกรัม โดยทำงานแบบอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (ในปัจจุบันมี mass spectrum libraries มากกว่าสี่แสนชนิด)	สามารถนำมาใช้ในงานวิเคราะห์สารประกอบที่เป็นของผสมที่สามารถระเหยได้ทั้งของแข็งของเหลว และแก๊ส เพื่อศึกษาการตรวจพิสูจน์ในกรณีที่วิเคราะห์ด้วย GC ไม่อาจยืนยันผลได้

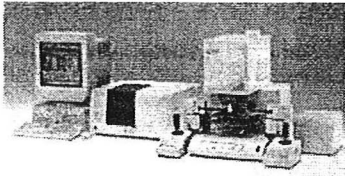
เครื่องมือวิเคราะห์	หลักการทำงาน	การประยุกต์ใช้งาน
high performance liquid chromatograph Mass spectrometer (LCMS-2010A) 	เป็นเครื่องวิเคราะห์สารเคมีที่ใช้เทคนิคในการแยกสารผสม โดยมีของเหลว (liquid) เป็นตัวพา (mobile phase) ที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ โดยใช้หลักการวิเคราะห์หาค่ามวลต่อประจุ (m/e) ของสารต่างๆ โดย mass filter เป็นแบบ quadrupole เพื่อตรวจพิสูจน์ชนิดและโครงสร้างของสารประกอบ พร้อมทั้งคำนวณหาชนิดและปริมาณเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน	สามารถใช้ในงานตรวจวิเคราะห์ทั่วไปได้กว้างขวาง และตรวจพิสูจน์ในกรณีที่วิเคราะห์ด้วย HPLC ไม่อาจยืนยันผลได้ และสำหรับศึกษาวิจัยโครงสร้างของสารประกอบต่างๆ
gas chromatograph mass spectrometer (GCMS QP-2010) 	เป็นเครื่องวิเคราะห์สารเคมีที่ใช้เทคนิคในการแยกสารผสมที่ระเหยได้ง่าย โดยมีแก๊สเป็นตัวพา (carrier gas) ที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ โดยใช้หลักการวิเคราะห์หาค่ามวลต่อประจุ (m/e) โดย mass filter เป็นแบบ quadrupole ที่สามารถตรวจพิสูจน์ชนิดและโครงสร้างของสารประกอบได้ โดยเปรียบเทียบกับไอออนย่อย (fragment ion) กับ mass spectrum libraries โดยที่ไอออนย่อยเกิดจากการแตกหักของสารประกอบ ที่ถูกระดมยิงด้วยอิเล็กตรอนพลังงานสูงซึ่งสารประกอบแต่ละชนิดมีรูปแบบการแตกหัก (fragmentation patterns) ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณ สารได้โดยการเลือกไอออนที่ต้องการ (selected ion monitoring, SIM) ซึ่งมีความไว (sensitivity) สูงมากสามารถตรวจวัดสารได้ในระดับพิโกกรัม โดยทำงานแบบอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (ในปัจจุบันมี mass spectrum libraries มากกว่าสี่แสนชนิด)	สามารถนำมาใช้ในงานวิเคราะห์สารประกอบที่เป็นของผสมที่สามารถระเหยได้ทั้งของแข็งของเหลว และแก๊ส เพื่อศึกษาการตรวจพิสูจน์ในกรณีที่วิเคราะห์ด้วย GC ไม่อาจยืนยันผลได้

เครื่องมือวิเคราะห์	หลักการทำงาน	การประยุกต์ใช้งาน
ion chromatograph (HIC-10A) 	เป็นเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของสารละลายโดยใช้หลักการของ liquid chromatograph ที่มีทั้งแบบใช้ suppressor และ ไม่ใช้ suppressor ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ทั้งไอออนลบ และ ไอออนบวก แบบอัตโนมัติด้วย conductivity detector ที่มีความไวสูงสามารถตรวจวัดได้ในระดับ ppb	สามารถประยุกต์ใช้ในงานตรวจวัดทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ดังนี้ • สารวัตถุระเบิด เช่น mercury fluminate, lead azide หรือ lead styphnate • สารละลายของอนุมูลกรด อินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นพิษต่อร่างกาย ฟอสเฟต ซัลเฟต ในเตตราไฮโดรโทโรโอไฮยาเนท คลอไรด์ โบรไมด์ ฯลฯ
atomic absorption spectrophotometer (AA-6300/6800) 	เป็นเครื่องสำหรับวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักในระดับปริมาณต่ำๆ (ppb) โดยอาศัยหลักการดูดกลืนแสงของธาตุที่ถูกกระตุ้นให้เป็นอะตอมอิสระ โดยเทคนิคการกระตุ้นด้วยความร้อนจาก flame หรือ flameless (graphite furnace) และเทคนิค hydride generation จากปฏิกิริยาทางเคมี (reduction-vaporization) ที่ทำให้ธาตุบางชนิดเป็นอะตอมอิสระ เช่น As, Se, Sb, Sn, Te, Bi, Hg เป็นต้น ซึ่งควบคุมการทำงานและประมวลด้วยระบบคอมพิวเตอร์	• ตรวจหาชนิดของหมึกบนเอกสารของกลาง • ตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืน เช่น ธาตุแอนติโมนี (Sb) และธาตุแบเรียม (Ba) ซึ่งเป็นธาตุที่ผสมอยู่ในชนวนท้ายกระสุนปืน • ตรวจวิเคราะห์สารเคมีหรือยาพิษประเภทสารหนู (As) พรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) ฯ • ตรวจวิเคราะห์เศษสี (รถยนต์ และอื่นๆ) • ตรวจวิเคราะห์เศษกระจก ดินทราย พลาสติก

เครื่องมือวิเคราะห์	หลักการทำงาน	การประยุกต์ใช้งาน
inductive coupled plasma spectrometer (ICPS-7500) 	เป็นเครื่องวิเคราะห์หาได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณของธาตุโลหะหนักในระดับความเข้มข้นต่ำๆ โดยอาศัยหลักการ การเหนี่ยวนำให้เกิดพลาสมา โดยปล่อยแก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปในสนามแม่เหล็กบริเวณปลาย torch ที่ต่อเข้ากับเครื่องส่งความถี่วิทยุ แล้วปล่อยประจุไฟฟ้า (spray) ให้แก๊สอาร์กอนจะทำให้แก๊สอาร์กอนเกิดไอออนได้อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาแตกตัวกลายเป็นพลาสมา ที่ให้ไ้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 10,000 K จากลักษณะดังกล่าวทำให้ธาตุโลหะหนักแตกตัวเป็นอะตอมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง และเกิด Matrix effects และ Interference น้อยมาก และสามารถใช้ร่วมกับเทคนิค Hydride Generation ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี (Reduction-vaporization) ที่ทำให้ธาตุบางชนิดเป็นอะตอมอิสระ เช่น As, Se, Sb, Sn, Te, Bi, Hg โดยควบคุมการทำงานและประมวลด้วยระบบคอมพิวเตอร์	เป็นเครื่องที่สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ ในขณะเดียวกันมากถึง 72 ธาตุ ทั้งโลหะและอโลหะทำให้สามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็ว และมีความไวสูง สามารถวิเคราะห์ได้ในระดับ ppb
inductive coupled plasma mass spectrometer (IPCM-8500) 	เป็นเครื่องวิเคราะห์หาได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณของธาตุโลหะหนักในระดับความเข้มข้นต่ำๆ โดยอาศัยหลักการ การเหนี่ยวนำให้เกิดพลาสมา และตรวจวิเคราะห์หาค่ามวลต่อประจุ (m/e) โดย mass filter เป็นแบบ quadrupole ที่สามารถตรวจพิสูจน์ชนิดของธาตุทั้งโลหะและอโลหะ และสามารถใช้ร่วมกับเทคนิค hydride generation ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี (reduction-vaporization) ที่ทำให้ธาตุบางชนิดเป็นอะตอมอิสระ เช่น As, Se, Sb, Sn, Te, Bi, Hg โดย สามารถตรวจวัดความเข้มข้นได้ในระดับ ppt	เป็นเครื่องที่สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ ในขณะเดียวกันมากถึง 72 ธาตุ ทั้งโลหะและอโลหะทำให้สามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็ว และสามารถต่อร่วมกับเครื่อง HPLC หรือ เครื่อง ion chromatograph

เครื่องมือวิเคราะห์	หลักการทำงาน	การประยุกต์ใช้งาน
high performance Liquid chromatograph (HPLC, LC-10ADvp) 	เป็นเครื่องมือวิเคราะห์สารเคมีที่ใช้เทคนิคในการแยกสารผสม โดยมีของเหลว (liquid) เป็นตัวพา (mobile phase) ที่สามารถแยกแยะสารผสมมากกว่าหนึ่งชนิดให้ได้มาซึ่งสารประกอบเดี่ยวๆ ตามลำดับในสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์ได้ตามคุณสมบัติทางเคมีของสารตัวอย่าง เช่น ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง ตรวจวัดค่าการเรืองแสง หรือตรวจวัดการนำไฟฟ้า ฯ พร้อมทั้งคำนวณหาชนิดและปริมาณเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน (standard samples) ซึ่งสามารถประมวลผลแบบอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์	สามารถประยุกต์ใช้ในการตรวจวิเคราะห์สารประกอบต่างๆ ที่เป็นของเหลว และสารประกอบอื่นที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง GC (สารประกอบที่ไม่สามารถระเหยได้ และสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่)
gas chromatograph (GC-2010)) 	เป็นเครื่องมือวิเคราะห์สารเคมีที่ใช้เทคนิคในการแยกสารผสมที่ระเหยได้ง่าย โดยมีแก๊สเป็นตัวพา (Carrier gas) ที่สามารถแยกแยะสารผสมมากกว่าหนึ่งชนิดให้ได้มาซึ่งสารประกอบเดี่ยวๆ ตามลำดับ ในสภาวะที่เหมาะสม และตรวจวัดสารตัวอย่างตามคุณสมบัติเฉพาะทางเคมี พร้อมทั้งคำนวณหาชนิดและปริมาณเทียบกับสารมาตรฐาน (standard samples) โดยอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์	สามารถใช้ในการตรวจวิเคราะห์สารประกอบต่างๆ ที่เป็นทั้งของแข็งของเหลวและแก๊ส ตามคุณสมบัติทางเคมี

เครื่องมือวิเคราะห์	หลักการทำงาน	การประยุกต์ใช้งาน
UV-VIS spectrophotometer (UV-2450/2550) 	เป็นเครื่องวิเคราะห์สารเคมีโดยใช้หลักการ การดูดกลืนแสงของสารประกอบที่สามารถตรวจวัดได้ในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต (UV) และ ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) มี Mode สำหรับงานได้หลายแบบและมี Software ที่มีประสิทธิภาพสามารถทำงานได้หลายรูปแบบและมีขอบเขตการวิเคราะห์ที่กว้าง ซึ่งควบคุมและประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติ	ใช้ตรวจวัดเปรียบเทียบสีและตรวจวัดสารอินทรีย์หรือสารเชิงซ้อนทั้งที่มีสีและไม่มีสี
dual-wavelength scanning densitometer (CS-9301PC) 	เป็นเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณสารที่แยกบน gels หรือ TLC plates ซึ่งเป็นวิธีการตรวจพิสูจน์องค์ประกอบของสารตัวอย่าง ที่เปรียบเทียบกับสารที่อ้างอิง (reference substance) โดยใช้หลักการว่า “สารชนิดเดียวกันย่อมเคลื่อนที่ไปบน stationary phase โดยอาศัย developing solvent เป็นตัวพา จะต้องได้ระยะทางเท่ากันในเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างกับสารอ้างอิง” ที่สามารถตรวจวัดได้ทั้งเทคนิค reflection และ transmission พร้อมทั้งสามารถคำนวณหาปริมาณของสารตัวอย่างได้ เมื่อเทียบกับสารมาตรฐานควบคุมการทำงานอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์	• ตรวจวัดคุณภาพวิเคราะห์ยาเสพติด วัตถุออกฤทธิ์หรือสารพิษ • ตรวจวัดเปรียบเทียบหาน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน

เครื่องมือวิเคราะห์	หลักการทำงาน	การประยุกต์ใช้งาน
fourier transform infrared spectrophotometer (IRPrestige-21/FTIR-8400S) with microscopy (AIM-8800) 	เป็นเครื่องวิเคราะห์หาโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ โดยใช้หลักการการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เมื่อรังสีอินฟราเรดถูกดูดกลืนพลังงานนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานการหมุนและการสั่นของโมเลกุล โดยโมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะให้สเปกตรัมที่เป็นเอกลักษณ์ของพันธะในโมเลกุลนั้นๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพิสูจน์หาสูตรโครงสร้างของสารประกอบ ในปัจจุบันมี IR spectrum library ของสารประกอบต่างๆ ที่จัดไว้เป็นกลุ่มๆ ตามคุณสมบัติทางเคมีที่สามารถเปรียบเทียบสเปกตรัมของสารตัวอย่างกับ IR spectrum library โดยอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่สามารถบอกชนิดของสารตัวอย่างได้ พร้อมทั้งสามารถคำนวณหาปริมาณของสารตัวอย่างได้เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน	หาโครงสร้างของสารเคมีต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] www.barascientific.com/article/forensice/forensic_3.php, 28/12/2009

การคัดเลือกสกัด (Selective Separation) :

เป็นการสกัดโดยที่สารสกัดเลือกสกัดไอออนโลหะชนิดที่ต้องการจากสารละลายผสมของไอออนโลหะหลายชนิด

การถ่ายเทมวล (Mass Transfer) :

การที่มวลสารเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปสู่อีกตำแหน่งหนึ่งทั้งนี้ไม่จำกัดว่าตำแหน่งดังกล่าวจะอยู่ในวัฏภาคเดียวกันหรือไม่

การนำกลับ (Recovery) :

ไอออนโลหะที่อยู่ในสารละลายสตริป (สารละลายนำกลับ) ทั้งนี้ได้ผ่านพ้นขั้นตอนการสกัดไปแล้ว

การแพร่ซึม (Permeation) :

การเคลื่อนที่ของมวลสารจากตำแหน่งหนึ่งไปสู่อีกตำแหน่งหนึ่งโดยอาศัยความแตกต่างของความเข้มข้นของมวลสารเป็นแรงขับเคลื่อนซึ่งเกิดขึ้นในวัฏภาคชนิดเดียวกัน

การสกัดแบบเสริมฤทธิ์ (Synergistic Extraction) :

การสกัดแยกไอออนโลหะโดยใช้สารสองชนิดขึ้นไปมาผสมกันทำให้มีประสิทธิภาพของการสกัดสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการนำสารสกัดแต่ละชนิดมาแยกกันสกัด แล้วนำผลการสกัดมารวมกัน

การไหลขวาง (Crossflow/Tangential flow) :

การกำหนดให้สารละลายป้อนไหลไปในทิศทางที่ขนานกับผิวหน้าของเยื่อแผ่น จึงทำให้ทิศทางการไหลของเพอร์มิเอตและสารละลายป้อนตั้งฉากกัน ข้อดีของการไหลแบบนี้คือช่วยลดการสะสมของโมเลกุลที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นหรือลด CP (concentration polarization)

การไหลตั้งฉากหรือการไหลผ่านทางตัน (Dead-end flow) :

การกำหนดให้สารละลายป้อนไหลไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับเยื่อแผ่น ดังนั้นการไหลแบบนี้จะทำให้เกิดการสะสมของสาร ณ บริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นสูงทำให้ฟลักซ์มีค่าต่ำ

ค่าการกักกัน (Rejection/Retention coefficient) :

สัมประสิทธิ์หรือค่าการกักกัน เป็นค่าที่บอกความสามารถในการกักกันองค์ประกอบของเยื่อแผ่น โดยอาจบอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

ค่าการแยกหรือค่าแฟกเตอร์การแยก (Separation Factor) :

เป็นพจน์ที่นิยมใช้ในกระบวนการแยก เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารที่ผ่านการสกัด(หรือนำกลับ)ออกมาได้ ณ สถานะอยู่ตัว ต่อความเข้มข้นของสารนั้น ๆ ณ จุดตั้งต้น มักไม่มีหน่วย (กล่าวคือ เป็นหน่วยของมวล ต่อ หน่วยของมวล)

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Coefficient) :

หมายถึง ตัวแปรที่บอกละเอียดถึงความสามารถในการยอมให้องค์ประกอบที่ต้องการแยกผ่านเยื่อแผ่นเป็นค่าที่ได้จากค่าฟลักซ์ ต่อหน่วยแรงขับเคลื่อนคูณด้วยความหนาของเยื่อแผ่น หน่วยของ P จึงมีค่าขึ้นอยู่กับ หน่วยของฟลักซ์เป็นหลัก โดยอาจมีหน่วยเป็น $\text{m}^3 \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ หรือ $\text{mol} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ หรือ $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ และเป็นค่าที่ไม่แปรตามความหนาของเยื่อแผ่น

ค่าสัมประสิทธิ์การละลาย (Solubility Coefficient) :

การละลาย หมายถึง การที่สารประกอบเชิงซ้อนมีสัมพรรคภาพ (electron affinity) กับวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว หรือถูกดูดซึมหรือแพร่ซึมผ่านวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวได้ การที่สารประกอบเชิงซ้อนชนิดต่าง ๆ มีสัมประสิทธิ์การละลายในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวต่างกันทำให้เกิดการเลือกผ่าน

ค่าสัมประสิทธิ์คัปปลิง (Coupling Coefficient) :

ค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโมเลกุลของสารเดียวกันหรือต่างชนิดกันมีผลทำให้ค่าฟลักซ์เกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ค่า

สัมประสิทธิ์คอปปลิง นี่อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ เช่น ถ้าองค์ประกอบ A ทำให้
ฟลักซ์ขององค์ประกอบ B เพิ่มขึ้น แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวเป็นบวก

ความเข้มข้นแบบขั้ว (Concentration Polarization, CP) :

คือ ความเข้มข้นอันเนื่องมาจากการสะสมของโมเลกุลหรือตัวถูกละลายที่ไม่สามารถ
แพร่ผ่านเยื่อแผ่นแต่กลับไปสะสมบนผิวหน้าของเยื่อแผ่นทำให้ความเข้มข้นบริเวณ
ดังกล่าวสูงกว่าบริเวณที่อยู่ห่างออกไปผลเสียคือทำให้ค่าฟลักซ์ลดลงและนำไปสู่การ
เกิดฟาวลิง

ความเป็นขั้วหรือสภาพมีขั้ว (Polarity) :

เกิดจากการดึงอิเล็กตรอนจากพันธะแตกต่างกัน เป็นผลให้กลุ่มความหนาแน่นของ
อิเล็กตรอนโน้มเอียง อะตอมที่สามารถดึงดูดกลุ่มอิเล็กตรอนเข้าหาตัวเองได้มากเกิด
ประจุลบเพียงเล็กน้อย ส่วนอะตอมที่เหลือมีประจุบวกเล็กน้อย ทำให้โมเลกุลมีการ
แยกของประจุไฟฟ้า เรียกว่าโมเลกุลแบบมีขั้ว

ความต้านทานที่ผิวสัมผัส (Interfacial Resistance) :

ความสามารถในการต้านการถ่ายเทมวล หรือการแพร่ซึมของสารละลาย ณ บริเวณ
ผิวสัมผัส (ในที่นี้หมายถึงผิวสัมผัสที่สารละลายสองชนิดต่างวิฤภาคสัมผัสกัน)

ตัวทำละลาย (Solvent) :

สารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ หรือเป็นสารละลายอินทรีย์ที่มีค่าความเป็นขั้ว
ใกล้เคียงกับสารที่ต้องการละลาย

ฟลักซ์ (Flux) :

อัตราการถ่ายเทมวลต่อพื้นที่ต่อเวลา

ฟาวลิง (Fouling) :

การที่ตัวถูกละลายเกิดการสะสมทั้งที่ชั้นผิวหน้าและภายในรูพรุนจุลภาคของเยื่อแผ่น
มีผลทำให้ค่าของฟลักซ์ลดลง ดังนั้นในการทำมาความสะอาดเยื่อแผ่นที่เกิดฟาวลิงจึง

ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานานเพราะต้องใช้สารทำความสะอาดผสมกับวิธีการทางกายภาพด้วยเหตุที่ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีการล้างน้ำธรรมดา

เพอร์มิเอต (Permeate) :

ส่วนของสารละลายหรือแก๊สหรือไอที่แพร่ซึมผ่านเยื่อแผ่นได้ ดังนั้นปริมาณของเพอร์มิเอตต่อเวลาต่อพื้นที่ของเยื่อแผ่นก็คือค่าของฟลักซ์นั่นเอง

มอดูล (Module) :

บรรจุ (housing) เยื่อแผ่น ตัวเชื่อมต่อ ช่องสำหรับสารละลายป้อน รีเทนเทด และเพอร์มิเอต ซึ่งอาจมีรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น ท่อใย-กลวง เยื่อแผ่นเรียบ เยื่อแผ่นแบบม้วน เป็นต้น

เยื่อแผ่นแบบแน่นหรือไม่มีรูพรุน

(Dense membrane / Non-porous membrane) :

อาจเรียกเป็น homogeneous membrane ซึ่งมีด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบแรกเป็น เยื่อแผ่นสมมาตรในแนวความหนา ถ้ายังหนามากก็จะมีค่า ฟลักซ์ต่ำ แบบที่สองหมายถึง เยื่อแผ่นไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวที่บางมากทำให้มีความต้านทานการไหลต่ำ หรือค่าฟลักซ์สูง

เยื่อแผ่นเหลว (Liquid Membrane) :

สารละลายอินทรีย์ (หรือสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ) ที่มีสารสกัดละลายอยู่ และนำไปจุดในรูพรุนจุลภาค (microporous) โดยอาศัย สัมพรรคภาพของอิเล็กตรอน (electron affinity) และแรงคะปิลลารี (capillary force)

ระบบแบบกะ (Batch System) :

คือ การทำงานเป็นช่วงของเวลาและต้องจบสิ้นนำเอาผลผลิตออกมาก่อนที่จะเริ่มต้นทำงานใหม่ ทั้งนี้ไม่มีการป้อนวัตถุดิบ (in put) เข้าสู่กระบวนการอย่างต่อเนื่องและไม่มีผลผลิต (out put) ออกมาแบบระบบแบบต่อเนื่อง (continuous system)

รีเทนเทต (Retentate) :

ส่วนของสารละลายป้อนที่ไม่สามารถไหลหรือซึมผ่านเยื่อแผ่นได้บางครั้งก็อาจหมายถึงสารละลายเข้มข้น (concentrate)

แรงขับเคลื่อนหรือแรงขับเคลื่อน (Driving Force) :

หมายถึง แรงที่ทำให้เกิดการแพร่ซึมหรือการสกัด ทั้งนี้จะเกิดแรงขับเคลื่อนหรือแรงขับเคลื่อนอันเนื่องมาจากความต่างศักย์ของความเป็นกรด-เบส หรือความต่างศักย์อื่น เกิดจากเกรเดียนต์ของความเข้มข้น (concentration gradient) เป็นต้น

แรงกะพิลลารี (Capillary Force) :

หมายถึง แรงที่จะตรึงสารสกัดซึ่งละลายอยู่ในสารอินทรีย์และอุดอยู่ในรูพรุนจุลภาคไม่ให้หลุดไป

วัฏภาค (Phase) :

ภาวะของความเป็นสารละลายอินทรีย์ หรือสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

สารประกอบเชิงซ้อน (Complexing Agent) :

เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวของไอออนโลหะกับสารสกัดในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว

สารละลายนำกลับ (Recovery Solution) :

สารละลายที่ไหลออกมาจากชั้นผิวหรือชั้นเปลือกของเส้นใยกลวงในหอสกัดซึ่งนำไอออนโลหะที่ได้จากปฏิกิริยานำกลับเป็นผลผลิตออกจากระบบและมีความหมายเช่นเดียวสารละลายนำกลับ

สารละลายป้อน (Feed Solution) :

สารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (หรือสารละลายอินทรีย์) โดยมีไอออนโลหะ (องค์ประกอบที่ต้องการแยก) ละลายอยู่

สารละลายป้อนที่ผ่านการสกัดแล้วหรือราฟฟินेट (Raffinate) :

สารละลายที่ไหลออกมาจากภายในเส้นใยกลวงในหอสกัด

สารละลายstripping (Stripping Solution) :

คู่สารละลายนำกลับ

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) :

สารซึ่งประกอบด้วยสองส่วน คือส่วนหัวที่เป็น hydrophilic (ชอบน้ำ) และส่วนหาง hydrophobic (ไม่ชอบน้ำ) ลักษณะสำคัญของสารลดแรงตึงผิวคือ เมื่อใส่สารเพียงเล็กน้อยลงไปในน้ำ สารลดแรงตึงผิวจะไปลดแรงตึงผิวของน้ำ เพื่อทำให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ง่ายขึ้น เช่น การเกิดฟอง การทำให้เปียก เป็นต้น

สารสกัด (Extractant or Carrier) :

สารประกอบที่มีสมบัติในการเลือกทำปฏิกิริยาเคมีกับไอออนโลหะที่ต้องการแยกเกิดเป็นประกอบเชิงซ้อนขึ้น และอนุญาตให้สารประกอบเชิงซ้อนนี้เกิดปฏิกิริยาเคมีย้อนกลับได้เมื่อสัมผัสกับสารละลายนำกลับ

สภาพการซึมผ่านสาร (Permeability) :

ในที่นี้จะหมายถึง สภาพการที่สารประกอบเชิงซ้อนซึมผ่านวัสดุ เยื่อแผ่นเหลวจากบริเวณผิวสัมผัสด้านวัสดุสารละลายป้อน ไปสู่บริเวณผิวสัมผัสด้านวัสดุสารละลายนำกลับ

สมดุลวัฏภาค (Equilibrium Phase) :

ความสามารถขององค์ประกอบที่ละลายได้จนเกิดการอิ่มในวัฏภาค

เส้นปฏิบัติการ (Operating Line) :

หมายถึง เส้นตรงที่ลากเชื่อมระหว่างจุดสมดุลซึ่งอยู่บนเส้นสมดุล (สมดุลสารละลายป้อนหรือสมดุลสารละลายนำกลับ) ไปยังจุดสมดุลใหม่โดยมีค่าความชันเท่ากับ $(-V_F/V_m)$ หรือ $(-V_S/V_m)$

รายการสัญลักษณ์

A	พื้นที่การถ่ายเทมวล	m^2
A_i	ค่าคงตัว	$mol/m^2 \cdot s$
C_0	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในด้านสารละลายป้อนที่ออกจากเส้นใยกลาง	mol/L
C_i	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในวัฏภาคสารละลายป้อน	mol/L
C_{is}	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในชั้นฟิล์มที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว	mol/L
C_{2s}	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในชั้นฟิล์มที่ผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับ	mol/L
C_i	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในด้านสารละลายป้อนขาเข้าเส้นใยกลาง	mol/L
$\bar{C}_s$	ความเข้มข้นเฉลี่ยของตัวถูกละลาย	mol/m^3
ΔC_s	ผลต่างความเข้มข้นของตัวถูกละลาย C_R (ด้านป้อน) - C_P (ด้านที่ซึมผ่านออก)	mol/m^3
d_H	ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic diameter)	m
D	ค่าสภาพซึมผ่าน (diffusivity) ของสารประกอบเชิงซ้อน	m^2/s
D_{AB}	ค่าสภาพซึมผ่าน (diffusivity) ของสารประกอบ A ไปยังสารประกอบ B	m^2/s
$D_{(1)}$	อัตราส่วนของการกระจายเมื่อใช้สารสกัดชนิดที่ 1	-
$D_{(2)}$	อัตราส่วนของการกระจายเมื่อใช้สารสกัดชนิดที่ 2	-
$D_{(1,2)}$	อัตราส่วนของการกระจายเมื่อนำสารสกัดทั้งสองชนิดนั้นผสมกัน	-
D_K	สัมประสิทธิ์การแพร่ชนิดเซน (knudsen diffusion coefficient)	m^2/s

$\bar{D}_{MRn}$	ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของสารประกอบเชิงซ้อน ในเยื่อแผ่นเหลวที่มีความหนา “l”	m^2/s
E_{is}	ความเข้มข้นของสารสกัดในชั้นฟิล์ม ที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว	g/L
E_{2s}	ความเข้มข้นของสารสกัดในชั้นฟิล์มที่ผิวสัมผัส ระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับ	g/L
E_p	พลังงานกระตุ้นสำหรับการซึมผ่าน	J/mol
F_0	สารละลายป้อนเริ่มต้น	-
H_{1s}	ความเข้มข้นของไอออนไฮโดรเจนในชั้นฟิล์มที่ผิวสัมผัส ระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว	g/L
H_{2s}	ความเข้มข้นของไอออนไฮโดรเจนในชั้นฟิล์ม ที่ผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับ	g/L
i	เลขที่ของลำดับส่วน (stage number)	-
j	ขั้นของระยะการเคลื่อน (displacement step)	-
$(j-1)$	กระบวนการจะเริ่มต้นจากสมดุลขั้นที่ $(j-1)$	-
J	อัตราการถ่ายเทมวลที่สถานะอยู่ตัว (steady state)	$g/cm^2 \cdot s$
J_1	อัตราการถ่ายเทมวลของไอออนโลหะ ที่สารละลายป้อน	$g/cm^2 \cdot s$
J_2	อัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นสารประกอบโลหะเชิงซ้อนที่ ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่น	$g/cm^2 \cdot s$
J_3	อัตราการถ่ายเทมวลของสารประกอบโลหะเชิงซ้อน ในเยื่อแผ่น	$g/cm^2 \cdot s$
J_4	อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ผิวสัมผัสระหว่าง เยื่อแผ่นกับสารละลายนำกลับ	$g/cm^2 \cdot s$
J_5	อัตราการถ่ายเทมวลไอออนโลหะ ในด้านสารละลายนำกลับ	$g/cm^2 \cdot s$
J_i	ฟลักซ์ของแก๊ส i	mol/s
J_{MRn}	ค่าฟลักซ์ของไอออนโลหะ	$eq/cm^2 \cdot s$
J_s	ฟลักซ์ของตัวถูกละลาย	$mol/m^2 \cdot s$
J_v	ฟลักซ์ของตัวทำละลาย	$m^3/m^2 \cdot s$

k_1, k_3	ค่าคงตัวของกาเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า	mol/L.s
k_2, k_4	ค่าคงตัวของกาเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ	mol/L.s
k_{-1}	ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลของ ไอออนทองแดงในวิทยาศาสตร์ละลายน้ำกลับ	cm/s
$k_{ex,1}$	ค่าคงตัวของกาเกิดปฏิกิริยาในกรณีทีสาร สกลหลักทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะโดยตรง	mol/L.s
$k_{ex,2}$	ค่าคงตัวของปฏิกิริยาทีเกิดจากการสกลโดยสารสกลทีทำ หน้าทีเป็นตัวให้อิเล็กตรอนโดยตรง	mol/L.s
$k_{ex,1+2}$	ค่าคงตัวของปฏิกิริยาทีเกิดจากการสกลแบบเสริมฤทธิ์	mol/L.s
k_f	ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลในชั้นฟิล์ม	cm/s
k_i	ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวล ของด้านวิทยาศาสตร์ละลายป้อน	cm/s
k_{p1F}	ค่าคงทีสมดุลไอออนโลหะของปฏิกิริยา การสกลในหอสกลทีหนึ่ง	mol/L
k_{p2F}	ค่าคงทีสมดุลไอออนโลหะของปฏิกิริยา การสกลในหอสกลทีสอง	mol/L
k_{p1S}	ค่าคงทีสมดุลไอออนโลหะของปฏิกิริยา การนำกลับในหอสกลทีหนึ่ง	mol/L
k_{p2S}	ค่าคงทีสมดุลไอออนโลหะของปฏิกิริยา การนำกลับในหอสกลทีสอง	mol/L
k_{F1}	ค่าความชันของเส้นสมดุลการสกล ในหอสกลทีหนึ่ง	-
k_{F2}	ค่าความชันของเส้นสมดุล การสกลในหอสกลทีสอง	-
k_{F3}	ค่าความชันของเส้นสมดุล การสกลในหอสกลทีสาม	-
k_{S1}	ค่าความชันของเส้นสมดุลการนำกลับ ในหอสกลทีหนึ่ง	-
k_{S2}	ค่าความชันของเส้นสมดุลการนำกลับ ในหอสกลทีสอง	-
k_{S3}	ค่าความชันของเส้นสมดุลการนำกลับ ในหอสกลทีสาม	-

k_F	ค่าความชันของเส้นสมดุลการสกัด	-
k_S	ค่าความชันของเส้นสมดุลการนำกลับ	-
k_m	ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวล ของสารประกอบเชิงซ้อนของทองแดง ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว	cm/s
k_s	ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวล ของด้านวัฏภาคสารละลายนำกลับ	cm/s
k_m และ k_a	ค่าสัมประสิทธิ์ของการแบ่งส่วน (partition coefficients) ของ M และ A ระหว่างวัฏภาค เยื่อแผ่นเหลวกับวัฏภาค สารละลายของน้ำ	-
K	ค่าคงตัวสมดุล	-
K_{eq}	ค่าคงตัวของปฏิกิริยาในสถานะอยู่ตัว	-
K_s	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านตัวถูกละลาย	m/s
L	ความยาวของเส้นใยกลวง	m
L	ความยาวของโมดูลเส้นใยกลวง	m
L_p	สภาพการซึมผ่านหรือเพอร์มิแอนซ์ (permeance)	$m^3/m^2 \cdot s \cdot Pa$
n	จำนวนโมล	mol
N	จำนวนเส้นใยในมอดูล	-
P	ความดันในด้านสารละลายเข้มข้น	Pa
ΔP	ผลต่างความดันระหว่างเยื่อแผ่น	Pa
P_{1s}	ความเข้มข้นของโลหะเชิงซ้อนในชั้นฟิล์ม ที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายป้อนกับเยื่อแผ่นเหลว	g/L
P_{2s}	ความเข้มข้นของโลหะเชิงซ้อนในชั้นฟิล์ม ที่ผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นเหลวกับสารละลายนำกลับ	g/L
P_A	ค่าคงที่พาราคอร์ (parachor) ของตัวถูกละลาย	$[cm^3 g^{1/4}] / [s^{1/2} mol]$
P_B	ค่าคงที่พาราคอร์ (parachor) ของตัวทำละลาย	$[cm^3 g^{1/4}] / [s^{1/2} mol]$
P_m	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของเยื่อแผ่นเหลว (membrane permeability coefficient)	cm/s
P_U	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของยูเรเนียม	cm/s
$\bar{P}_v$	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (permeability coefficient)	$m^3 \cdot m/m^2 \cdot s \cdot Pa$

Q_f	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของ สารละลายป้อน	m^3/s
r_{lm}	รัศมี log-mean ของเส้นใยกลวง	-
$-r_c$	อัตราการหายไปของไอออนทองแดง จากวัฏภาคสารละลายป้อนสุทธิ ความเข้มข้น/เวลา	
$-r_{c,forward}$	อัตราการหายไปของไอออนทองแดง ในวัฏภาคสารละลายป้อน ความเข้มข้น/เวลา	
$-r_{c,net}$	อัตราการหายไปของไอออนทองแดง จากวัฏภาคสารละลายป้อนสุทธิ ความเข้มข้น/เวลา	
$-r_{c,reverse}$	อัตราการเกิดไอออนทองแดง ในวัฏภาคสารละลายป้อน ความเข้มข้น/เวลา	
r_i	รัศมีภายในของเส้นใยกลวง	m
r_p	รัศมีรูพรุน	m
R	ค่าการกักกัน	%
R	ค่าคงที่แก๊ส = 8.314	$\text{m}^3 \cdot \text{Pa} / \text{mol} \cdot \text{K}$
R_i	ค่าความต้านทานของการถ่ายเทมวล ในส่วนของสารละลายป้อน	ohm
R_m	ค่าความต้านทานของการถ่ายเทมวล ในส่วนของเชื้อแผ่นเหลว	ohm
R^2	การตรวจสอบด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method)	-
RH	แทนสารสกัดไทรนอร์มอลออกทิลลามีน (tri-n-octylamine, TNO)	-
S_0	สารละลายสตริปเริ่มต้น	-
S.C.	ค่าสัมประสิทธิ์ของการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ (synergistic coefficient)	-

SD	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)	-
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์	K
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิ	$^{\circ}\text{C}$
$[U]_t$	ความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียม ที่เวลา “t” ใด ๆ	g/L
$[U]_t^0$	ความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียม ที่เวลาเริ่มต้น (t = 0)	g/L
u_{shell}	ค่าสัดส่วนระหว่าง “อัตราการไหลเชิงปริมาตร (volumetric flowrate)” ต่อ “พื้นที่หน้าตัดขวางของการไหล (cross section flow area)	m/s
ν	ค่าความหนืดจลนศาสตร์ (kinematic viscosity)	stoke หรือ cm^2/s
V_{aq}	ปริมาตรของวัฏภาคของสารละลายต่อ หนึ่งส่วนเล็กๆ (small stage)	cm^3
V_A	ปริมาตรเชิงโมล (molar volume)	cm^3/mol
V_f	ปริมาตรของสารละลายป้อน	cm^3
V_F	ปริมาตรในส่วนเล็ก ๆ (small stage) ของสารละลายป้อน	cm^3
V_{in}	ปริมาตรของวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวต่อ หนึ่งส่วนเล็กๆ (small stage)	cm^3
V_s	ปริมาตรในส่วนเล็ก ๆ (small stage) ของสารละลายนำกลับ	cm^3
x	ความเข้มข้นของไอออนโลหะ ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว	g/L
x (i,j)	ความเข้มข้นของไอออนซีเรียม ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว ณ ตำแหน่ง (i,j)	g/L
y (i,j)	เป็นความเข้มข้นของไอออนซีเรียม ในวัฏภาคสารละลาย ณ ตำแหน่ง (i,j)	g/L
y (i,j-1)	ความเข้มข้นของไอออนซีเรียม ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว	g/L
y	ความเข้มข้นของไอออนโลหะ ในวัฏภาคสารละลาย	g/L

y_o	ค่าความเข้มข้นสารละลายป้อน	g/L
y_{Fo}	ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นภายในหอสกัด	g/L
y_F	ความเข้มข้นบนเส้นสมดุลการสกัดบน เส้นสมดุลการสกัด “ k_F ”	g/L
$[y_F]_{\infty}$	ค่าความเข้มข้นในถังพักสารละลายป้อน	g/L
y_{Si}	ความเข้มข้นบนเส้นสมดุลการนำกลับ บนเส้นสมดุล “ k_S ”	g/L
$[y_S]_{\infty}$	ค่าความเข้มข้นในถังพักสารละลายนำกลับ	g/L
$y_{ip}, y_{jp}, y_{if}, y_{jf}$	เศษส่วนเชิงโมลของแก๊ส i และ j ในเฟอรัมเอตและในสารป้อน	-
$\Delta\pi$	ผลต่างความดันออสโมติกระหว่างเยื่อแผ่น	Pa
δ_m	ความหนาของเยื่อแผ่น	m
η_w	ค่าความหนืดพลวัต (dynamic viscosity) ของน้ำ	
ε	ค่าความพรุน (porosity) ของเยื่อแผ่น	-
τ	ทอทุสซิติ (tortuosity) ของเยื่อแผ่น	-
ϕ	ค่าความหนาแน่นในการบรรจุเส้นใย (fiber packing density)	kg/m ³
$\beta_{n, x}$	ค่าคงตัวความเสถียรของปฏิกิริยาการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ ที่เกิดในวัฏภาคน้ำมันหรือในเยื่อแผ่นเหลว	-
σ	สัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflection coefficient) $\sigma = 1$ เยื่อแผ่นอุดมคติ (ตัวถูกละลายไม่สามารถผ่านได้) $\sigma < 1$ ตัวถูกละลายผ่านเยื่อแผ่นได้บางส่วน $\sigma = 0$ เยื่อแผ่นไม่เลือกผ่าน (ตัวถูกละลายผ่านได้หมด)	-
ω	สภาพการซึมผ่านตัวถูกละลาย (solute permeability)	mol/m ² ·s·Pa
χ	ตัวแปรความคดเคี้ยวของรูพรุน	-
γ	ความหนาแน่นเชิงโมล (molar density)	mol
α_{ij}	ค่าการแยก (separation factor)	-

ประมวลคำย่อ

AAS	atomic absorption spectroscopy
CA	cellulose acetate
CF	concentration factor
CP	concentration polarization
CTA	cellulose triacetate
ED	electrodialysis
ELM	emulsion liquid membrane
ESPLIM	electrostatic pseudo liquid membrane
GD	gas diffusion
GP	gas permeation
HF	hollow fiber
HFSLM	hollow fiber supported liquid membrane
ICP-AES	inductive coupled plasma atomic emission spectrometer
LM	liquid membrane
LPRO	low pressure reverse osmosis
MF	microfiltration
NF	nanofiltration
PA	polyamide
PAN	polyacrylonitrile
PC	polycarbonate
PE	polyethylene
PES	polyethersulfone
PP	polypropylene
PS	polysulfone
PU	polyurethane
PUU	poly(urethane-urea)s
PV	pervaporation
PVDF	polyvinylidene fluoride
RO	reverse osmosis

SD	standard deviation
SLM	supported liquid membrane
SFDM	self-forming dynamic membrane
UF	ultrafiltration
VCR	volume concentration ratio

ดรรชนี

ก

กระบวนการชะละลาย 48
กระบวนการเยื่อแผ่นเหลว 30
กระบวนการไดอะไลซิส 7, 8, 9
กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน 15
กลไกการถ่ายเทมวล 1, 35, 89
ก๊าซธรรมชาติ 93
การกรอง 19, 20, 21, 45, 57
การเก็บรักษาเยื่อแผ่น 31, 33, 34, 35
การเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ 52
การคัดเลือกสกัด 31, 33, 50
การชุบโลหะ 115
การดูดซับ 115
การถ่ายเทมวลแบบสวนทาง 52, 60, 86
การทำความสะอาด 118
การสกัดแบบเสริมฤทธิ์ 75, 85, 90, 95, 96, 192, 204,

ค

คอลลอยด์ 7, 15, 16, 20,
ค่าฟลักซ์ 158, 161, 167, 168,

ข

ชลประทาน 10
ชั้นเยื่อแผ่น 14, 34, 88
ชุดอุ้มน้ำ 10
เชื้อจุลินทรีย์ 5

ค

คอนเนกต์กรุป 47, 49
คอนเนกต์ไดอะไลซิส 8, 30
โคโพลิเมอร์ 22
ไดอะฟิลเตรชัน 15, 16, 19
ไดอะไลซิส 6, 7, 8

ด

ตัวถูกละลาย 6, 7, 11, 12, 25
ตัวทำละลาย 1, 2, 26, 29
ตัวประสาน 26, 37
ตัวประสานอีพอกซี 42
ตัวเร่งปฏิกิริยา 5
ไดเทียม 7

ท

ทฤษฎีสมมูล 3, 210
เทคโนโลยี 16, 18, 117

น

นาโนฟิลเตรชัน 12, 13
น้ำกร่อย 10, 11, 13
น้ำทะเล 10, 11, 13
น้ำทิ้ง 10, 12, 22, 23
น้ำผิวดิน 45, 54, 58, 61, 72, 76, 150
น้ำมันอีเอ็ม 16
น้ำหมัก 14, 16

บ

แบบกะ 6, 10, 15, 17, 97, 109, 111, 113,
171, 175, 184, 185
แบบต่อเนื่อง 10, 15, 58, 106, 107, 108, 109,
111, 113, 133

ป

ปฏิกิริยาเคมี 5, 32, 54, 55, 84
ปฏิกิริยาแบบผันกลับ 54
ประสิทธิภาพในการคัดลอกสก็ด 33, 50
ปืย 14, 121
โปรตีน 2, 6, 10, 14, 15, 16, 18, 168

พ

พอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ 4,7
พอลิเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำ 4,7,41
พันธะไฮโดรเจน 22

ฟ

ฟองน้ำ 27
ฟาวลิง 11,13,15,26,30

ม

มอดูลของเส้นใยกลาง 31,43,44,45,140
มอดูลแบบทอผ้า 18
มอดูลแบบเส้นใยกลาง 13
เมมเบรน 25,166

ย

ยามาแมลง 14
ยูเรเนียม 19, 58, 159-163
เยื่อแผ่น 12-30, 31
เยื่อแผ่นเก่า 28-30
เยื่อแผ่นชอบน้ำ 22, 24
เยื่อแผ่นแบบแน่น 4, 20, 21, 29
เยื่อแผ่นแบบแผ่นแบน 30
เยื่อแผ่นแบบแผ่นม้วน 25
เยื่อแผ่นแบบเส้นใยกลาง 25
เยื่อแผ่นไม่ชอบน้ำ 22, 23
เยื่อแผ่นรูพรุน 19
เยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน 8-10
เยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนบวก 8, 9
เยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนลบ 8, 9
เยื่อแผ่นสังเคราะห์ 1, 3, 4, 6, 11, 29, 30
เยื่อแผ่นเหลว 1, 2, 3, 25, 26, 29, 30, 31,33,
35-60
เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยตัวรองรับ 25
เยื่อแผ่นเหลวที่ไม่พองด้วยตัวรองรับ 25
เยื่อแผ่นเหลวเทียมโดยอาศัยสนามไฟฟ้า 39
เยื่อแผ่นเหลวในหอสกิด 35-37, 39-40,50
เยื่อแผ่นเหลวแบบเคลื่อนที่ได้ 34
เยื่อแผ่นเหลวแบบปั่นกวาน 35, 36, 50
เยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน 37
เยื่อแผ่นใหม่ 28

ร

ระบบเยื่อแผ่นเหลว 1-3
ระบบเยื่อแผ่นเหลวเทียม 40
ระบบสองหอสกิด 106, 178, 179

ระบบหอสกัดเดี่ยว 88
 รูปแบบสมดุการไหลในท่อ 210
 รุพรุ่น 1, 4, 5, 7, 13, 14, 16, 19-21, 25, 26, 27, 29, 33, 41, 44-46, 49, 50
 รุพรุ่นจุลภาค 1, 45, 46, 49, 87-90, 106, 169
 เรือนกระจก 10
 แรงขับเคลื่อน 59, 61, 62, 70, 74
 แรงขับเคลื่อน 6-9, 12, 14, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 34, 47, 53, 54
 แรงตึงผิว 26, 27, 34, 37, 38, 39, 40
 โรงงานผลิตแอมโมเนีย 20
 โรงงานอุตสาหกรรม 1, 2

ว

วัญภาคต่อเนื่อง 37
 วัญภาคเยื่อแผ่นเหลว 1, 2, 33, 36-38, 40, 41, 45-50, 52-55, 63, 66-68, 74, 82, 84, 85
 วัญภาคสารละลายป้อน 1, 3, 4, 25, 26
 วัญภาคสารละลายอินทรีย์ 35, 40, 41, 49, 50
 วัสดุพอลิเมอร์ 29, 30
 วัสดุอินทรีย์ 5, 30
 วิธีกายภาพ 27
 วิธีเคมี 27

ส

สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน 80, 82, 83, 85,
 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล 14, 28, 62,
 สัมประสิทธิ์การแพร่ 14, 18, 24
 สัมประสิทธิ์การกระจาย 61, 75, 78, 79, 82, 85
 สารลดการประสาน 31

สารลดแรงตึงผิว 30, 31, 32, 37, 38
 สารละลายเจือจาง 7, 10, 13,
 สารละลายป้อน 1, 2, 3, 8, 15, 18, 20, 21, 30, 31
 สารอินทรีย์ 31, 33, 34, 46, 50,
 สารอุดตัน 32, 33
 เส้นปฏิบัติการ 171, 173, 174, 175, 176, 177, 181, 182, 202, 210, 211, 212
 เส้นใยกลวง 31, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51
 เส้นสมดุ 171, 172, 175, 176, 181, 182, 183, 184, 186, 192, 201, 202, 203, 204, 210, 211, 212

ห

หอสกัด 33-37, 39-40
 หอสกัดเดี่ยว 88

อ

อโลหะ 4
 ออสโมซิสผันกลับ 10, 11, 12
 อะซีโอโทรป 21
 เองชั่น 32, 33, 43, 46, 47, 48, 49, 50,
 อุตสาหกรรม 22, 25, 26
 อุตสาหกรรมเคมี 10
 อุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ 8
 อุตสาหกรรมสิ่งทอ 8
 เอนไซม์ 6, 14, 27
 ไอออนซีเรียม 87-89
 ไอออนทองแดง 150-158
 ไอออนบวก 8-9

ไอออนยูเรเนียม 159-161

ไอออนลบ 8. 9

ไอออนเหล็ก 45

ไอออนไฮโดรเนียม 47