

บทที่ 3

สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงสารเคมี อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการในการทดลองในแต่ ละตัวแปรที่ศึกษาการสกัดและนำกลับโลหะทองแดงและโครเมียมจากสารละลายโลหะผสม โดย เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง และขั้นตอนการทำความสะอาดตัวรองรับเส้นใยกลวงที่ใช้ใน การดำเนินการทดลอง

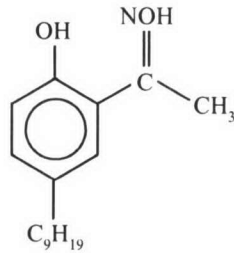
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองสามารถจำแนกได้ดังตารางที่ 3.1 โดยสารสกัด LIX 84-I และ ตัวทำละลายโครเมียมได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Henkel Thai (1999) Ltd. และบริษัทไทย ออยล์ ตามลำดับ ส่วนน้ำที่ใช้ตลอดการทดลองเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการดีไอออนไนเซชัน 2 รอบ (Doubly deionized water) สารเคมีที่ใช้อื่นๆ มีคุณภาพระดับที่ใช้ในห้องทดลอง (Analytical reagent grade)

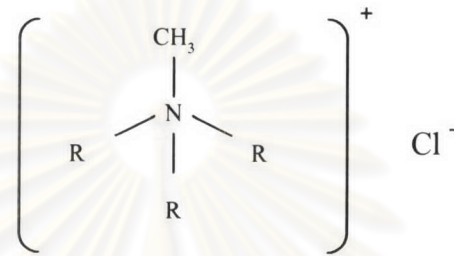
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	น้ำหนัก โมเลกุล	บริษัท
ไอออนโลหะ	Copper (II) Sulphate	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	249.68	APS Chemical Limited
	Potassium Chromate	K_2CrO_4	194.20	CARLO ERBA
	Zinc Sulfate Heptahydrate	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	287.54	Merck
สารสกัด	LIX 84-I	$\text{C}_{17}\text{H}_{27}\text{NO}_2$	277	Henkel Thai Ltd.
	Methyltrioctylammonium Chloride (Aliquat)	$(\text{CH}_3)_3\text{R}_3\text{NCl}$	446.25	Merck
ตัวทำละลายอินทรีย์	Kerosene	-	-	Thai Oil Ltd.
สารละลายสตริป	Sulfuric Acid	H_2SO_4	98.08	Merck
	Sodium Hydroxide	NaOH	40.00	Merck
ตัวประสาน	1-Dodecanol	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}\text{O}$	186.34	Merck

สารสกัดทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ในการทดลองมีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตาม ลำดับ ดังนี้



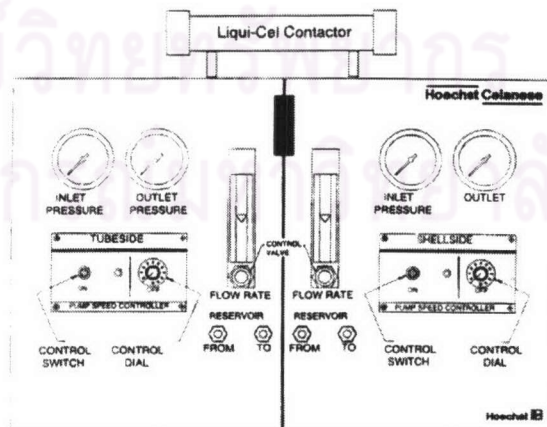
รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างของสารสกัด LIX 84-I



รูปที่ 3.2 สูตรโครงสร้างของสารสกัด Methyltrioctylammonium chloride (Aliquat)

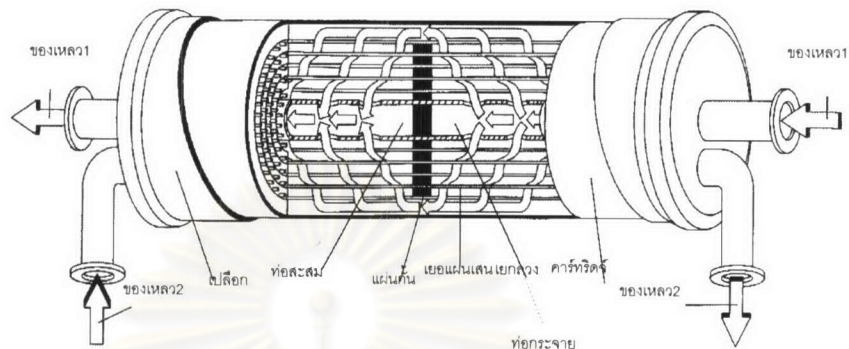
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ชุดทดลอง Liqui-Cel[®] Liquid/Liquid Extraction System รุ่น Cat.#5PCM-106 ของบริษัท Hoechst Celanese Corporation ประกอบด้วยเครื่องสูบสองชุดที่มีอัตราไหลสูงสุด 1 ลิตรต่อนาที ชุดควบคุมความเร็วสองชุด มาตรวัดอัตราการไหลสองชุด และมาตรวัดความดันสองชุด และรายละเอียดของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.3 ดังนี้



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ชุด Liqui-Cel[®] Laboratory ที่ใช้ในการทดลอง

2. ตัวรองรับ ได้แก่ เส้นใยกลวงโพลีโพรไพลีน (Polypropylene) ชนิดมีรูพรุน Celgard® X-30 ที่ประกอบเข้าด้วยกันเป็นโมดูลของเส้นใยกลวงแสดงดังรูปที่ 3.4 และมีคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.4 ลักษณะโมดูลเส้นใยกลวงที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของตัวรองรับเส้นใยกลวงที่ใช้ในการทดลอง

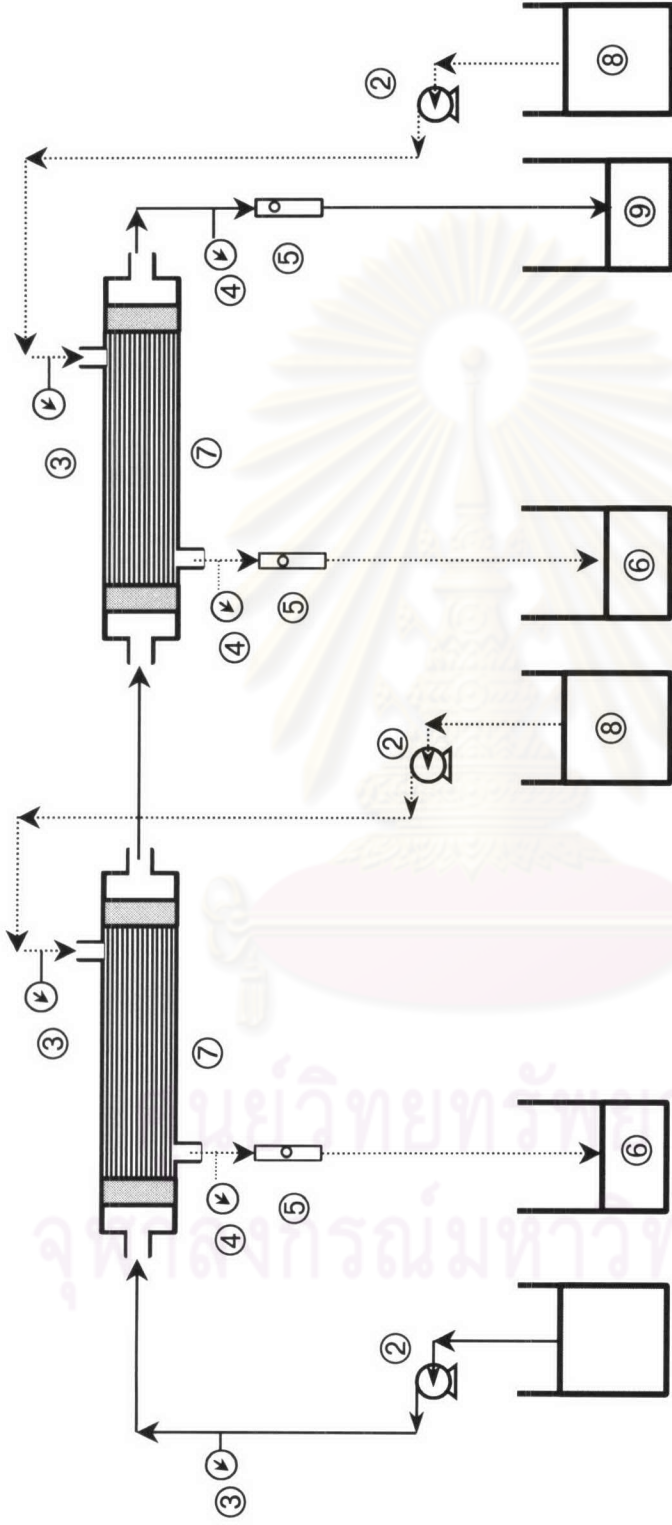
ลักษณะ	มิติ
วัสดุเส้นใยกลวง	โพลีโพรไพลีน (Polypropylene)
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเส้นใยกลวง	240 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเส้นใยกลวง	300 ไมโครเมตร
ขนาดรูพรุนที่มีประสิทธิภาพ	0.05 ไมโครเมตร
ความพรุนของเส้นใยกลวง	30 %
พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพ	1.4 m ² (15.2 ft ²)
อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ	29.3 cm ² /cm ³ (74.4 m ² /m ³)
ขนาดของโมดูล (เส้นผ่านศูนย์กลางxยาว)	6.3x20.3 cm (2.5x8 inch)
ความดันแตกต่างสูงสุด	4.2 Kg/cm ² (60 psi)
ช่วงอุณหภูมิในการปฏิบัติการ	1-60 °C

3. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง รุ่น HI 8417 Microprocessor Bench pH^o/C Meter ของบริษัท Hanna Instrument
4. เครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) รุ่น Plasma 1000 ของบริษัท Perkin Elmer (หลักการของเครื่องมือ ICP-AES อธิบายในภาคผนวก จ.)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อน ที่มีต่อการสกัดและนำกลับโลหะ ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง มีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมสารละลายป้อน ที่มีองค์ประกอบของไอออนทองแดง โคโรเนียม และสังกะสี ความเข้มข้นอย่างละ 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 1.5 ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (2) เตรียมสารละลายสตริป ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (2.1) สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสตริปที่ใช้ในคอลัมน์ที่หนึ่ง เริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
 - (2.2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสตริปที่ใช้ในคอลัมน์ที่สองเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (3) เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (3.1) สารละลายผสมของสารสกัด LIX 84-I ในเคโรซีน ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพูนจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งในชุดทดลอง
 - (3.2) สารละลายผสมของสารสกัดอะลิควอตในเคโรซีน ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และโดเดคคานอลความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (เพื่อป้องกันการเกิดเจลในสารสกัด) ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพูนจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สองในชุดทดลอง
- (4) ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายสตริปเข้าสู่ชุดทดลองโมดูลเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว ดังรูปที่ 3.5 เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายสตริปขาออกสุดท้าย เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (5) ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อน เป็น 2 2.5 3 3.5 และ 4 ตามลำดับ
- (6) นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดง โคโรเนียม และสังกะสี ด้วยเครื่อง ICP



รูปที่ 3.5 แสดงปฏิบัติการไหลในลักษณะไหลผ่านครั้งเดียว (One-through-mode) ซึ่งของไหลในกระบวนการไหลสวนทางกันในชุดอุปกรณ์เส้นใยแก้ว โดยที่ 1 คือ ถึงของสารละลายย้อมย้อมเข้า 2 คือ บังพุ่ม 3 คือ เกจวัดความดันเข้า 4 คือ เกจวัดความดันขาออก 5 คือ มาตราวัดอัตราการไหล 6 คือ ถึงของสารละลายย้อมย้อมออก 7 คือ ชุดอุปกรณ์เส้นใยแก้ว 8 คือ ถึงของสารละลายย้อมย้อมออก 9 คือ ถึงของสารละลายย้อมย้อมเข้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3.3.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด LIX 84-I ในสารละลายอินทรีย์ ที่มีต่อการสกัดและนำกลับโลหะทองแดงในสารละลายโลหะผสม ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง มีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมสารละลายป้อน ที่มีองค์ประกอบของไอออนทองแดง โคโรเมียม และสังกะสี ความเข้มข้นอย่างละ 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 2.5 ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
- (2) เตรียมสารละลายสตริป ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (2.1) สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสตริปที่ใช้ในคอลัมน์ที่หนึ่งเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
 - (2.2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสตริปที่ใช้ในคอลัมน์ที่สองเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (3) เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (3.1) สารละลายผสมของสารสกัด LIX 84-I ในเคโรซีน ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพูนจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งในชุดทดลอง
 - (3.2) สารละลายผสมของสารสกัดอะลิควอตในเคโรซีน ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และโดเดคคานอลความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (เพื่อป้องกันการเกิดเจลในสารสกัด) ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพูนจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สองในชุดทดลอง
- (4) ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายสตริปเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายสตริปขาออกสุดท้าย เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (5) ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารสกัด LIX 84-I ในเคโรซีนที่ใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งเป็น 1.5 2 2.5 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ
- (6) นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดง โคโรเมียม และสังกะสี ด้วยเครื่อง ICP

3.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดอะลิควอตในสารละลายอินทรีย์ ที่มีต่อการสกัดและนำกลับโลหะโครเมียมในสารละลายโลหะผสม ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง มีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมสารละลายป้อน ที่มีองค์ประกอบของไอออนทองแดง โครเมียม และสังกะสี ความเข้มข้นอย่างละ 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 2.5 ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
- (2) เตรียมสารละลายสตริป ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (2.1) สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสตริปที่ใช้ในคอลัมน์ที่หนึ่งเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
 - (2.2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสตริปที่ใช้ในคอลัมน์ที่สองเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (3) เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (3.1) สารละลายผสมของสารสกัด LIX 84-I ในเคโรซีน ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพุนจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งในชุดทดลอง
 - (3.2) สารละลายผสมของสารสกัดอะลิควอตในเคโรซีน ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพุนจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สองในชุดทดลอง
- (4) ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายสตริปเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายสตริปขาออกสุดท้าย เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (5) ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารสกัดอะลิควอตในเคโรซีนที่ใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สองเป็น 1.5 2 2.5 3 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ
- (6) นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดง โครเมียม และสังกะสี ด้วยเครื่อง ICP

3.3.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายสไตริปรดซัลฟูริก ที่มีต่อการสกัด และนำกลับโลหะทองแดงในสารละลายโลหะผสม ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใย กลวง มีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมสารละลายป้อน ที่มีองค์ประกอบของไอออนทองแดง โคโรเนียม และสังกะสี ความเข้มข้นอย่างละ 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 2.5 ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
- (2) เตรียมสารละลายสไตริป ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (2.1) สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสไตริปที่ใช้ในคอลัมน์ที่หนึ่งเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
 - (2.2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสไตริปที่ใช้ในคอลัมน์ที่สองเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (3) เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (3.1) สารละลายผสมของสารสกัด LIX 84-I ในเคโรซีน ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพุนจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งในชุดทดลอง
 - (3.2) สารละลายผสมของสารสกัดอะลิควอตในเคโรซีน ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพุนจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สองในชุดทดลอง
- (4) ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายสไตริปเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายสไตริปขาออกสุดท้าย เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (5) ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นสารละลายสไตริปรดซัลฟูริกในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งเป็น 0.25 0.5 1 1.5 และ 2 โมลต่อลิตร ตามลำดับ
- (6) นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดง โคโรเนียม และสังกะสี ด้วยเครื่อง ICP

3.3.5 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายสไตริโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีต่อการสกัดและนำกลับโลหะโครเมียมในสารละลายโลหะผสม ด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง มีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมสารละลายป้อน ที่มีองค์ประกอบของไอออนทองแดง โครเมียม และสังกะสี ความเข้มข้นอย่างละ 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 2.5 ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
- (2) เตรียมสารละลายสไตริโซ ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (2.1) สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสไตริโซที่ใช้ในคอลัมน์ที่หนึ่งเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
 - (2.2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสไตริโซที่ใช้ในคอลัมน์ที่สองเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (3) เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (3.1) สารละลายผสมของสารสกัด LIX 84-I ในเคโรซีน ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปทรงจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งในชุดทดลอง
 - (3.2) สารละลายผสมของสารสกัดอะลิควอตในเคโรซีน ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปทรงจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สองในชุดทดลอง
- (4) ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายสไตริโซเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายสไตริโซออกสุดท้าย เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (5) ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นสารละลายสไตริโซเดียมไฮดรอกไซด์ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สองเป็น 0.1 0.25 1 1.5 และ 2 โมลต่อลิตร ตามลำดับ
- (6) นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดง โครเมียม และสังกะสี ด้วยเครื่อง ICP

3.3.6 ศึกษาผลของจำนวนรอบในการผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงที่มีต่อการสกัดและนำกลับโลหะ มีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมสารละลายป้อน ที่มีองค์ประกอบของไอออนทองแดง โคโรเนียม และสังกะสี ความเข้มข้นอย่างละ 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 2.5 ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างเริ่มต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์
- (2) เตรียมสารละลายสตริป ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (2.1) สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสตริปที่ใช้ในคอลัมน์ที่หนึ่งเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
 - (2.2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร และเก็บตัวอย่างสารละลายสตริปที่ใช้ในคอลัมน์ที่สองเริ่มต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (3) เตรียมสารละลายเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งใช้ในโมดูลเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งและสอง ดังนี้
 - (3.1) สารละลายผสมของสารสกัด LIX 84-I ในเคโรซีน ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพุนจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่หนึ่งในชุดทดลอง
 - (3.2) สารละลายผสมของสารสกัดอะลิควอตในเคโรซีน ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ยึดตรึงในรูปพุนจุลภาคของเส้นใยกลวงคอลัมน์ที่สองในชุดทดลอง
- (4) ป้อนสารละลายป้อนและสารละลายสตริปเข้าสู่ชุดทดลองเส้นใยกลวง โดยมีอัตราการไหลเท่ากันที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และไหลผ่านชุดการทดลองแบบครั้งเดียว เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายสตริปขาออกสุดท้าย เพื่อนำไปวิเคราะห์
- (5) ทำการทดลองซ้ำข้อ (1) ถึง (4) โดยนำสารละลายป้อนและสตริปขาออกมาป้อนเข้าเส้นใยกลวงในลักษณะไหลสวนทางกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายป้อนขาออกและสารละลายสตริปขาออกสุดท้าย เพื่อนำไปวิเคราะห์ โดยทำเช่นนี้ซ้ำจำนวน 5 รอบ
- (6) นำตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดง โคโรเนียม และสังกะสี ด้วยเครื่อง ICP

3.4 ขั้นตอนการทำความสะอาดตัวรองรับเส้นใยกลวง

ในขั้นตอนการดำเนินการทดลองนั้นจะต้องมีการทำความสะอาดเครื่องมือ และตัวรองรับเส้นใยกลวงทุกครั้งหลังจากทำการทดลองแล้ว เนื่องจากสารเคมีหรือสิ่งสกปรกต่างๆ สามารถเข้าไปอุดตันในรูพรุนเส้นใยกลวงได้ง่าย และจะขวางกั้นการไหลของสารละลายได้ ดังนั้นขั้นตอนการทำความสะอาดจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้เทคนิคเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ใช้น้ำกลั่นไหลผ่านในโมดูลเส้นใยกลวง ประมาณ 10-15 นาที
- 2) เลือกใช้ตัวทำละลายที่สามารถละลายสารที่อุดตันในรูพรุนของเส้นใยกลวงได้ ซึ่งในที่นี้เลือกใช้กรดฟอสฟอริกผสมกับกรดไนตริกในสัดส่วน 2 : 3 ให้น้ำไหลผ่านในโมดูลเส้นใยกลวงเป็นเวลา 15-30 นาที
- 3) ใช้น้ำกลั่นไหลผ่านในโมดูลเส้นใยกลวง ประมาณ 10-15 นาที จนแน่ใจว่าสามารถกำจัดตัวทำละลายในรูพรุนของเส้นใยกลวงได้หมด
- 4) หลังจากการทำความสะอาดแล้วต้องมีการทำให้เส้นใยกลวงแห้ง โดยการให้อากาศไหลผ่านในโมดูลเส้นใยกลวง หรืออาจใช้แอลกอฮอล์ซึ่งคือไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ไหลวนเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เส้นใยกลวงแห้งเร็วยิ่งขึ้น