

## บทที่ 4

### การทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงสารเคมีที่ใช้ อุปกรณ์ต่าง ๆ ขั้นตอนการทดลอง ตลอดจนรูปแบบของ การทดลองสกัดไอออนทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

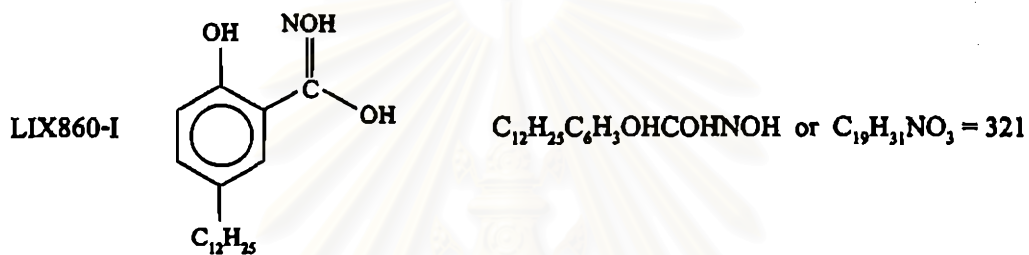
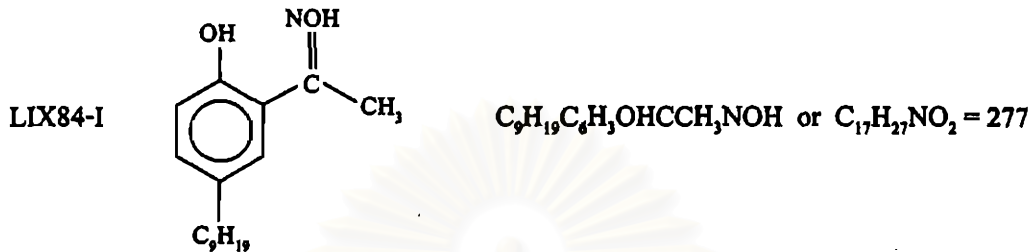
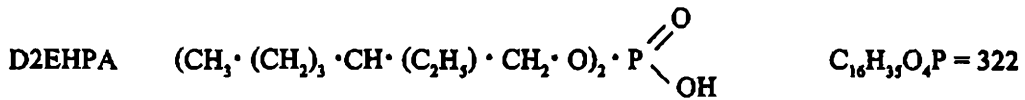
#### 4.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองสรุปไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	ชื่อ	สูตรเคมี	ระดับคุณภาพ	บริษัท
ไอออนโลหะ	คอปเปอร์ซัลเฟต	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	analytical	MERCK
สารละลายผลิตภัณฑ์	ซัลฟิวริก	$\text{H}_2\text{SO}_4$	analytical	AnalaR <sup>®</sup> BHD
กรด	อะซิติก	$\text{CH}_3\text{COOH}$	analytical	AnalaR <sup>®</sup> BHD
เกลือของกรด	โซเดียมอะซิเตต	$\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	analytical	CARLO ERBA
ด่าง	โซเดียมไฮดรอกไซด์	$\text{NaOH}$	analytical	AJAX CHEMICAL
สารสกัด	D2EHPA	$\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{O}_4\text{P}$	analytical	SIGMA CHEMICAL
สารสกัด	LX84-I	$\text{C}_{17}\text{H}_{27}\text{NO}$	commercial	Henkel Thai Ltd.
สารสกัด	LX860-I	$\text{C}_{19}\text{H}_{31}\text{NO}$	Commercial	Henkel Thai Ltd.
สารละลายอินทรีย์	เคโรซีน	-	Commercial	ไทยออยล์

## สารสกัดที่ใช้มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.1

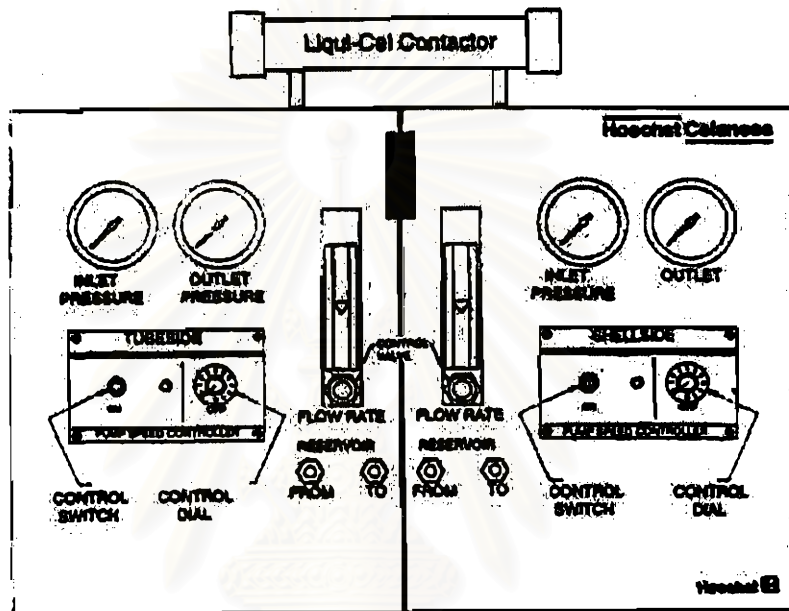


รูปที่ 4.1 แสดงสูตรโครงสร้างของสารสกัดที่ใช้ (Stuzelbicki และ Charewicz, 1980; Kakoi et al., 1998)

## 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

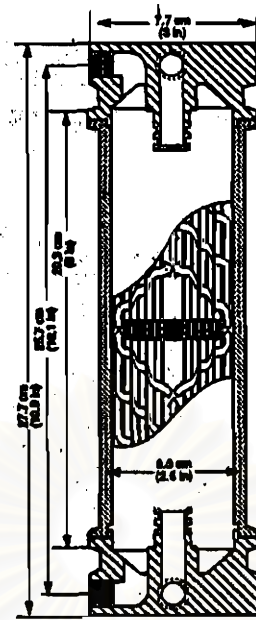
1. ชุดทดลอง Liqui-Cel<sup>®</sup> Laboratory แสดงไว้ในรูป 4.2 ประกอบไปด้วยเครื่องสูบสองชุดที่มีอัตราการไหลสูงสุด 1 ลิตรต่อนาที ชุดควบคุมความเร็วสองชุด มาตรวัดอัตราการไหลสองชุด และมาตรวัดความดันสองชุด
2. ตัวรองรับได้แก่ เส้นใยถลุงพอลิโพรพิลีน (polypropylene) ชนิดมีรูพรุน Celgard<sup>®</sup> X-30 ที่ประกอบเข้าด้วยกันเป็นโมดูลของเส้นใยถลุงดังแสดงในรูป 4.3 และมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.2
3. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง HI 8417 Microprocessor Bench pH/ °C Meter ของบริษัท Hanna Instrument

4. เครื่อง ATOMIC ABSORPTION/FLAME EMISSION SPECTROPHOTOMETER AA-670  
ของ บริษัท Shimadzu
5. เครื่อง AA spectrometer UNICAM 989 QZ ของ บริษัท UNICAM



รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์ชุด Liqui-Cel<sup>®</sup> Laboratory ที่ใช้ในการทดลอง (Hoechst Celanese Corporation, 1995)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 โมดูลของเส้นใยกลาง (Hoechst Celanese Corporation, 1995)

ตาราง 4.2 แสดงคุณสมบัติของโมดูลเส้นใยกลาง (Hoechst Celanese Corporation, 1995)

คุณสมบัติ	ข้อกำหนด
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายในของเส้นใยกลาง	240 ไมโครเมตร
ความหนาของผนังของเส้นใยกลาง	30 ไมโครเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุน	0.05 ไมโครเมตร
ความพรุนของเส้นใยกลาง	30 %
พื้นที่ผิวสัมผัสที่กำหนดของโมดูลเส้นใยกลาง	1.4 ตารางเมตร
พื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร	29.3 ตารางเซนติเมตรต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
อัตราการไหลของสารละลาย	0.95 -14 ลิตรต่อนาที
ขนาดของโมดูล (เส้นผ่านศูนย์กลางxความยาว)	6.3x20.3 เซนติเมตร (2.5 x 8 นิ้ว)
ความดันคร่อมระหว่างเยื่อแผ่นเหลวสูงสุด	4.1 บาร์ (60 psi)
อุณหภูมิของการดำเนินการ	1-60 องศาเซลเซียส

### 4.3 วิธีการทดลอง

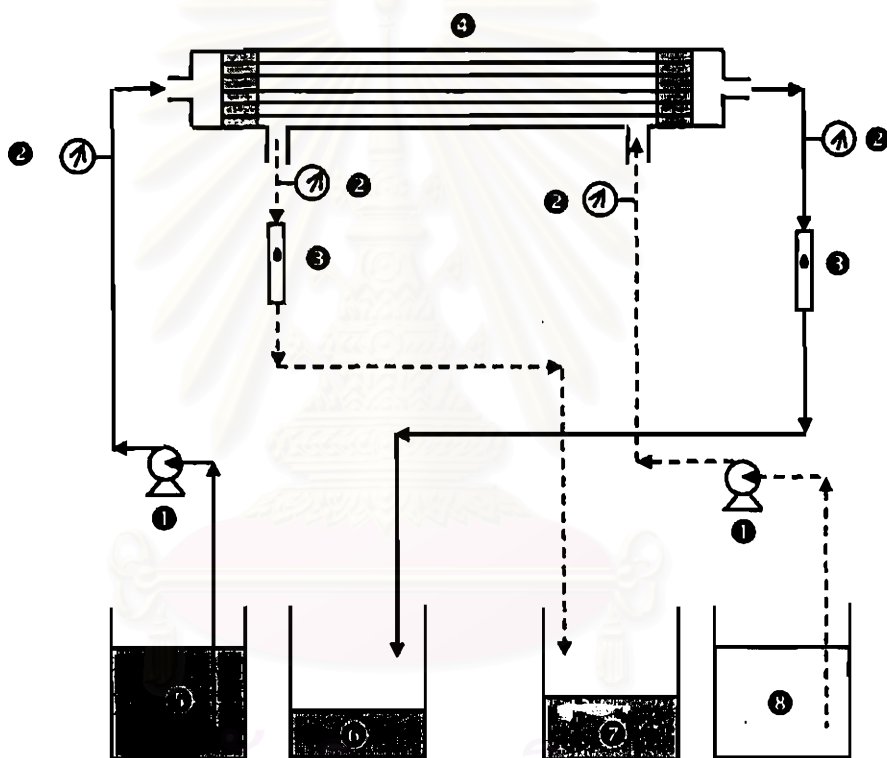
#### 4.3.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารสกัดและผลของชนิดสารสกัดในวัฏภาคเยื่อแผ่น เหลวต่อการสกัดไอออนทองแดง

การทดลองในส่วนนี้จะมีรูปแบบของการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 การทดลองนี้เริ่มโดย

1. เตรียมวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวที่ประกอบไปด้วยสารสกัดในตัวทำละลายเคโรซีน (kerosene) ให้มีความเข้มข้นของสารสกัดตามที่ต้องการ คือสารสกัด D2EHPA เข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20 และ 25 โดยปริมาตร สารสกัด LIX 84-I เข้มข้นร้อยละ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยปริมาตร และสารสกัด LIX 860-I เข้มข้นร้อยละ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยปริมาตร
2. นำวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลวปริมาตรประมาณ 500 มิลลิลิตร มาไหลเวียนในฝั่งท่อ (tube side) ของโมดูลเส้นใยกลวงเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้เยื่อแผ่นเหลวเคลือบฝั่งบนเส้นใยกลวง
3. เตรียมวัฏภาคสารละลายป้อนที่ประกอบไปด้วยคอปเปอร์ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ละลายในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 100 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน เป็นปริมาตร 10 ลิตร และวัฏภาคสารละลายสตริปที่เป็นสารละลายของกรดซัลฟิวริกในน้ำกลั่นเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นปริมาตร 10 ลิตร จากนั้นเก็บตัวอย่างวัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคสารละลายสตริปในภาชนะบรรจุก่อนเริ่มทำการทดลอง ( $[\text{Cu}]_{\text{feed}}$  และ  $[\text{Cu}]_{\text{strip}}$ )
4. ป้อนวัฏภาคสารละลายป้อนให้ไหลผ่านในฝั่งท่อ (tube side) ของโมดูลเส้นใยกลวง พร้อมกับป้อนวัฏภาคสารละลายสตริปให้ไหลในฝั่งเปลือก (shell side) ของโมดูลเส้นใยกลวงในลักษณะไหลสวนทางกับวัฏภาคสารละลายป้อน (counter current flow) และให้วัฏภาคสารละลายทั้งสองชนิดไหลผ่านครั้งเดียว (one-through mode) เยื่อแผ่นเหลวส่วนเกินที่ถูกขับออกมาจากโมดูลของเส้นใยกลวงทางท่อนำวัฏภาคสารละลายป้อนขาออกและท่อนำวัฏภาคสารละลายสตริปขาออกจะถูกแยกออกมา
5. เริ่มดำเนินการสกัดไอออนทองแดงโดยป้อนวัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคสารละลายสตริปที่อัตราการไหลประมาณ 200 มิลลิลิตรต่อนาทีจนกระทั่งวัฏภาคสารละลายทั้งสองใน

ถึงบรรจุหมด แล้วจึงเก็บตัวอย่างวิฤภาคสารละลายป้อนขาออก (raffinate) กับวิฤภาคสารละลายสกัดขาออก (recovery) ในภาชนะบรรจุเมื่อการทดลองสิ้นสุด ( $[Cu]_{\text{raffinate}}$  และ  $[Cu]_{\text{recovery}}$ )

6. นำตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดงโดยวิธี atomic absorption spectrometry ด้วยเครื่อง ATOMIC ABSORPTION/FLAME EMISSION SPECTROMETER AA 670 ของบริษัท Shimadzu



รูปที่ 4.4 แสดงการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสกัดไอออนทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลางในกรณีสารละลายป้อนและสารละลายสกัดไหลผ่าน (one-through mode) โดย ① เครื่องสูบลม ② มาตรฐานความดัน ③ มาตรฐานอัตราการไหล ④ โมดูลของเส้นใยกลาง ⑤ ภาชนะเก็บสารละลายป้อนขาเข้า ⑥ ภาชนะเก็บสารละลายป้อนขาออก ⑦ ภาชนะเก็บสารละลายสกัดขาออก ⑧ ภาชนะเก็บสารละลายรีไซเคิลขาเข้า

————> สายป้อน, - - - - -> สายสกัด

### 4.3.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของไอออนทองแดงในสารละลายป้อนต่อการสกัด

#### ไอออนทองแดง

การทดลองในส่วนนี้จะมีรูปแบบของการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 การทดลองในส่วนนี้เริ่มโดย

1. เตรียมวัตถุดิบเชื่อมแผ่นเหล็กที่ประกอบไปด้วยสารสกัด D2EHPA ในตัวทำละลายเคโรซีน ความเข้มข้นร้อยละ 25 โดยปริมาตร สารสกัด LIX84-I ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยปริมาตร และสารสกัด LIX860-I ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยปริมาตร
2. นำวัตถุดิบเชื่อมแผ่นเหล็กปริมาณประมาณ 500 มิลลิกรัมมาใส่ลงในฝักทองของโมดูลเส้นใยกลวงเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้เชื่อมแผ่นเหล็กเคลือบฝักบนเส้นใยกลวง
3. เตรียมวัตถุดิบสารละลายป้อนที่ประกอบไปด้วยคอปเปอร์ซัลเฟตละลายในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 1 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน, 10 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน, และ 100 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน เป็นปริมาตร 10 ลิตร และเตรียมวัตถุดิบสารละลายสตริปที่เป็นสารละลายของกรดซัลฟิวริกในน้ำกลั่นความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นปริมาตร 10 ลิตร จากนั้นเก็บตัวอย่างวัตถุดิบสารละลายป้อนและวัตถุดิบสารละลายสตริปในภาชนะบรรจุก่อนเริ่มทำการทดลอง ( $[Cu]_{feed}$  และ  $[Cu]_{strip}$ )
4. ป้อนวัตถุดิบสารละลายป้อนให้ไหลผ่านในฝักทองของโมดูลเส้นใยกลวง พร้อมกับป้อนวัตถุดิบสารละลายสตริปให้ไหลในฝักเปลือกของโมดูลเส้นใยกลวงในลักษณะไหลสวนทางกับวัตถุดิบสารละลายป้อนและให้วัตถุดิบสารละลายทั้งสองชนิดไหลผ่านครั้งเดียว เชื่อมแผ่นเหล็กส่วนเกินที่ถูกขับออกมาจากโมดูลของเส้นใยกลวงทางท่อ นำวัตถุดิบสารละลายป้อนขาออกและท่อ นำวัตถุดิบสารละลายสตริปขาออกจะถูกแยกออกมา
5. เริ่มดำเนินการสกัดไอออนทองแดงโดยป้อนวัตถุดิบสารละลายป้อนและวัตถุดิบสารละลายสตริปที่อัตราการไหลประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อนาทีจนกระทั่งวัตถุดิบสารละลายทั้งสองในถังบรรจุหมด แล้วจึงเก็บตัวอย่างวัตถุดิบสารละลายป้อนขาออกกับวัตถุดิบสารละลายสตริปขาออกในภาชนะบรรจุเมื่อการทดลองสิ้นสุด ( $[Cu]_{raffinate}$  และ  $[Cu]_{recovery}$ )

6. นำตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดงโดยวิธี atomic absorption spectrometry ด้วยเครื่อง AA Spectromer UNICAM 989 QZ ของบริษัท UNICAM สำหรับการทดลองกรณีไอออนทองแดงในสารละลายป้อนเข้มข้นไม่เกิน 10 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ATOMIC ABSORPTION/FLAME EMISSION SPECTROMETER AA 670 ในการทดลองกรณีไอออนทองแดงในสารละลายป้อนเข้มข้นเกิน 10 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน

#### 4.3.3 การศึกษาผลของรูปแบบการไหลของสารละลายป้อนต่อการสกัดไอออนทองแดง

การทดลองนี้จะมีรูปแบบของการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5 การทดลองในส่วนนี้เริ่มโดย

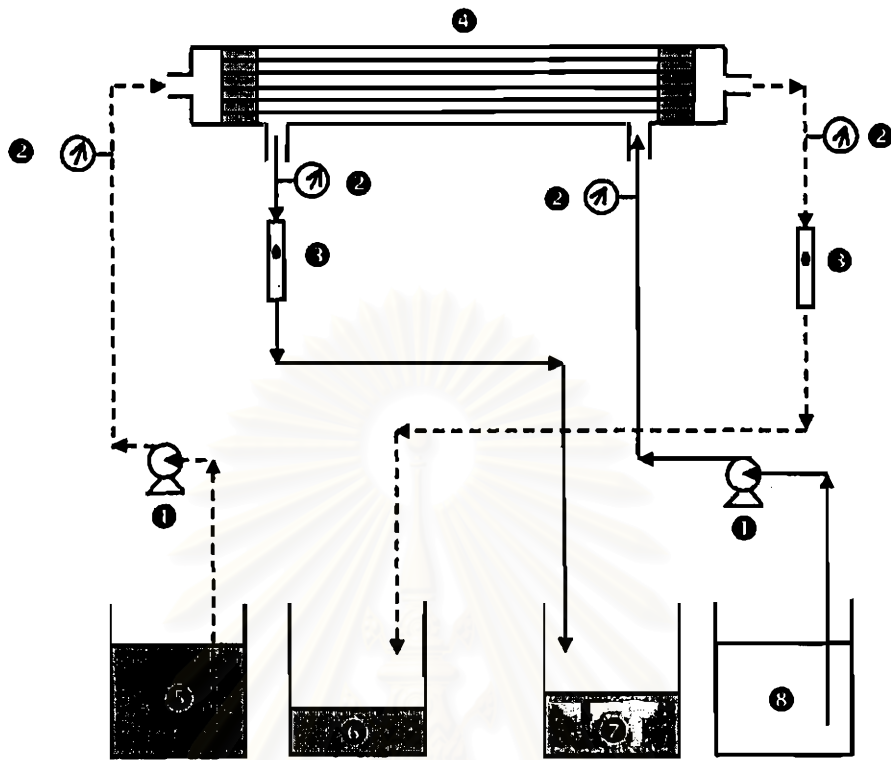
1. เตรียมวัตถุกเยื่อแผ่นเหลวที่ประกอบไปด้วยสารสกัด LIX84-I ในตัวทำละลายเคโรซีนเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยปริมาตร
2. นำวัตถุกเยื่อแผ่นเหลวปริมาตรประมาณ 500 มิลลิลิตรมาไหลเวียนในฝั่งท่อของโมดูลเส้นใยกลวงเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้เยื่อแผ่นเหลวเคลือบฝังบนเส้นใยกลวง
3. เตรียมวัตถุกสารละลายป้อนที่ประกอบไปด้วยคอปเปอร์ซัลเฟตละลายในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 100 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน เป็นปริมาตร 10 ลิตร และเตรียมวัตถุกสารละลายสตริปที่เป็นสารละลายของกรดซัลฟิวริกในน้ำกลั่นเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นปริมาตร 10 ลิตร จากนั้นเก็บตัวอย่างวัตถุกสารละลายป้อนและวัตถุกสารละลายสตริปในภาชนะบรรจุก่อนเริ่มทำการทดลอง ( $[Cu]_{feed}$  และ  $[Cu]_{strip}$ )
4. ป้อนวัตถุกสารละลายป้อนให้ไหลผ่านในฝั่งเปลือกของโมดูลเส้นใยกลวง พร้อมกับป้อนวัตถุกสารละลายสตริปให้ไหลผ่านในฝั่งท่อของโมดูลเส้นใยกลวงในลักษณะไหลสวนทางกับวัตถุกสารละลายป้อนและให้วัตถุกสารละลายทั้งสองชนิดไหลผ่านครั้งเดียว เยื่อแผ่นเหลวส่วนเกินที่ถูกขับออกมาจากโมดูลของเส้นใยกลวงทางท่อ นำวัตถุกสารละลายป้อนขาออกและท่อ นำวัตถุกสารละลายสตริปขาออกจะถูกแยกออกมา



5. เริ่มดำเนินการสกัดไอออนทองแดงโดยป้อนวัตถุดิบสารละลายทองป้อนและวัตถุดิบสารละลายสกัดที่อัตราการใช้ประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อนาทิจนกระทั่งสารละลายทั้งสองในถังบรรจุหมด แล้วจึงเก็บตัวอย่างวัตถุดิบสารละลายทองป้อนขาออกกับวัตถุดิบสารละลายสกัดขาออกในภาชนะบรรจุเมื่อการทดลองสิ้นสุด ( $[Cu]_{\text{raffinate}}$  และ  $[Cu]_{\text{recovery}}$ )
6. นำตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดงโดยวิธี atomic absorption spectrometry ด้วยเครื่อง ATOMIC ABSORPTION/FLAME EMISSION SPECTROMETER AA 670 ของบริษัท Shimadzu



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสกัดไอออนทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใย  
 กลวงในกรณีป้อนสารละลายสตริปในฝั่งท่อ (tube-side) และกรณีป้อนสารละลายป้อนในฝั่งเปลือก (shell-  
 side) โดย ① เครื่องสูบลม ② มาตรวัดความดัน ③ มาตรวัดอัตราการไหล ④ โมดูลของเส้นใยกลวง  
 ⑤ ภาชนะเก็บสารละลายสตริปขาเข้า ⑥ ภาชนะเก็บสารละลายสตริปขาออก ⑦ ภาชนะเก็บสารละลาย  
 ป้อนขาออก ⑧ ภาชนะเก็บสารละลายป้อนขาเข้า  
 —————> สายป้อน, - - - - -> สายสตริป

#### 4.3.4 การศึกษาผลของการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของวัฏภาคสารละลายป้อนด้วย สารละลายบัฟเฟอร์ต่อการสกัดไอออนทองแดง

การทดลองนี้จะมีรูปแบบของการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 การทดลองในส่วนนี้เริ่มโดย

1. เตรียมวัฏภาคเชื้อแผ่นเหลวที่ประกอบไปด้วยสารสกัด D2BHPA ในตัวทำละลายเคโรซีน เข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3, 4, และ 5 โดยปริมาตร
2. นำวัฏภาคเชื้อแผ่นเหลวปริมาตรประมาณ 500 มิลลิลิตรมาไหลเวียนในฝัगत่อของไมคูลเส้นใยกลวงเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้เชื้อแผ่นเหลวเคลือบฝังบนเส้นใยกลวง
3. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 ซึ่งประกอบไปด้วย สารละลายกรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 0.2 โมลต่อลิตร เป็นปริมาตร 147.5 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมอะซิเตต ( $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) เข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตรเป็นปริมาตร 352.5 มิลลิลิตร รวมเป็นปริมาตรสารละลายบัฟเฟอร์ 500 มิลลิลิตร (Dean, 1992)
4. เตรียมวัฏภาคสารละลายป้อนที่ประกอบไปด้วยคอปเปอร์ซัลเฟตละลายในน้ำกลั่นที่ผสม สารละลายบัฟเฟอร์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ให้มีความเข้มข้น 100 ส่วนในหนึ่งล้าน ส่วนเป็นปริมาตร 10 ลิตร และเตรียมวัฏภาคสารละลายสตรีปที่เป็นสารละลายของกรดซัลฟิวริกในน้ำกลั่นเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรเป็นปริมาตร 10 ลิตร จากนั้นเก็บตัวอย่างวัฏภาค สารละลายป้อนและวัฏภาคสารละลายสตรีปในภาชนะบรรจุก่อนเริ่มทำการทดลอง ( $[\text{Cu}]_{\text{feed}}$  และ  $[\text{Cu}]_{\text{strip}}$ )
5. ป้อนวัฏภาคสารละลายป้อนให้ไหลผ่านในฝัगत่อของไมคูลเส้นใยกลวง ขณะเดียวกันป้อน วัฏภาคสารละลายสตรีปให้ไหลผ่านในฝัगत่อเปลือกของไมคูลเส้นใยกลวงในลักษณะไหลสวนทางกับสารละลายป้อนและให้วัฏภาคสารละลายทั้งสองชนิดไหลผ่านครั้งเดียว เชื้อแผ่นเหลวส่วนเกินที่ถูกขับออกมาจากไมคูลของเส้นใยกลวงทางท่อนำสารละลายป้อนขาออกและท่อนำสารละลายสตรีปขาออกจะถูกแยกออกมา
6. เริ่มดำเนินการสกัด ไอออนทองแดงโดยป้อนวัฏภาคสารละลายป้อนและวัฏภาคสารละลายสตรีปที่อัตราการไหลประมาณ 200 มิลลิลิตรต่อนาทีจนกระทั่งวัฏภาคสารละลายทั้งสอง

ในถังบรรจุหมุด แล้วจึงเก็บตัวอย่างวิทยาศาสตร์ละลายป้อนขาออกกับวิทยาศาสตร์ละลายตรีป  
ขาออกในภาชนะบรรจุเมื่อการทดลองสิ้นสุด ( $[Cu]_{\text{raffinate}}$  และ  $[Cu]_{\text{recovery}}$ )

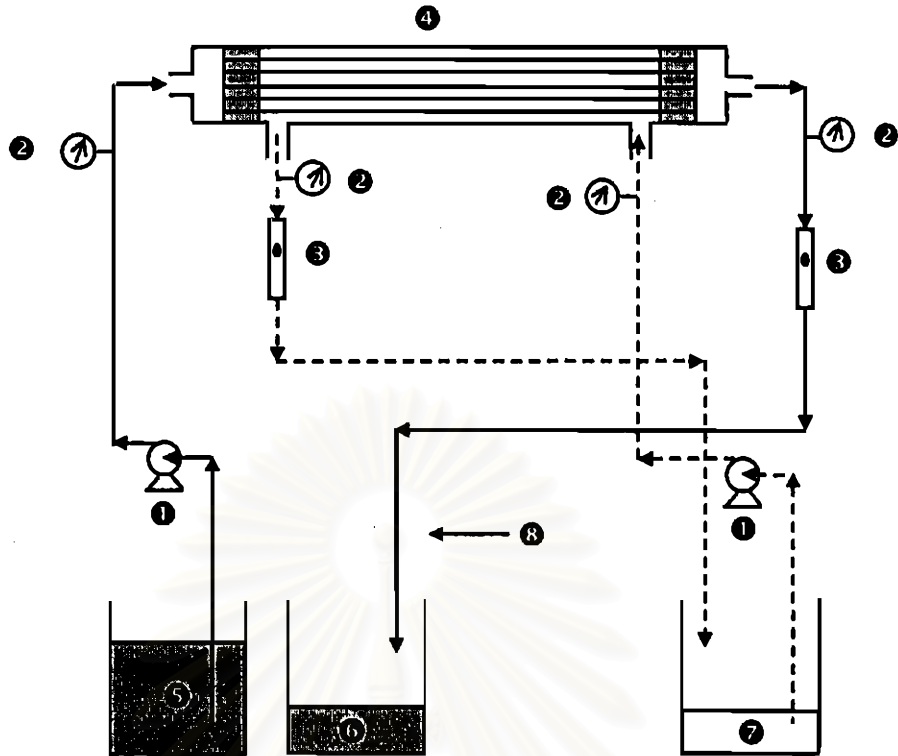
- นำตัวอย่างที่ได้ทั้ง 4 ตัวอย่างไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดงโดยวิธี  
atomic absorption spectrometry ด้วยเครื่อง ATOMIC ABSORPTION/FLAME  
EMISSION SPECTROMETER AA 670 ของบริษัท Shimadzu

#### 4.3.5 ผลของการไหลเวียนของสารตรีปต่อการสกัดไอออนทองแดง

การทดลองนี้จะมีรูปแบบของการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 เริ่มการทดลองโดย

- เตรียมวิทยาศาสตร์เชื่อมแผ่นเหลวที่ประกอบไปด้วยสารสกัด D2BHPA ในตัวทำละลายเคโรซีน  
เข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร
- นำวิทยาศาสตร์เชื่อมแผ่นเหลวปริมาตรประมาณ 500 มิลลิลิตรมาไหลเวียนในฝั่งท่อของโมดูลเส้น  
ใยกลวงเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้เชื่อมแผ่นเหลวเคลือบฝั่งบนเส้นใยกลวง
- เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 ซึ่งประกอบไปด้วย สาร  
ละลายกรดอะซิติก ( $CH_3COOH$ ) 0.2 โมลต่อลิตร เป็นปริมาตร 147.5 มิลลิลิตร และสาร  
ละลายโซเดียมอะซิเตด ( $CH_3COONa \cdot 3H_2O$ ) เข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตรเป็นปริมาตร 352.5  
มิลลิลิตร รวมเป็นปริมาตรสารละลายบัฟเฟอร์ 500 มิลลิลิตร
- เตรียมวิทยาศาสตร์ละลายป้อนที่ประกอบไปด้วยคอปเปอร์ซัลเฟตละลายในน้ำกลั่นที่ผสม  
สารละลายบัฟเฟอร์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ให้มีความเข้มข้น 100 ส่วนในหนึ่งล้าน  
ส่วน เป็นปริมาตร 10 ลิตร และเตรียมวิทยาศาสตร์ละลายตรีปที่เป็นสารละลายของกรดซัล  
ฟิวริกในน้ำกลั่นเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นปริมาตร 1 ลิตร จากนั้นเก็บตัวอย่างวิทยาศาสตร์  
ละลายป้อนและวิทยาศาสตร์ละลายตรีปในภาชนะบรรจุก่อนเริ่มทำการทดลอง ( $[Cu]_{\text{feed}}$   
และ  $[Cu]_{\text{strip}}$ )
- ป้อนวิทยาศาสตร์ละลายป้อนให้ไหลผ่านในฝั่งท่อของโมดูลเส้นใยกลวงแบบไหลผ่านรอบเดียว  
(one-through mode) ที่อัตราการไหลประมาณ 200 มิลลิลิตรต่อนาที พร้อมกับป้อนวิทยาศาสตร์

- ละลายสตริปให้ไหลผ่านในฝั่งเปลือกในลักษณะไหลสวนทางกับวัฏภาคสารละลายป้อน และให้มีการไหลเวียน (circulation mode) ด้วยอัตราการไหลประมาณ 200 มิลลิลิตรต่อ นาทีเท่ากัน เชื้อแผ่นเหลวส่วนเกินที่ถูกขับออกมาจากโมดูลของเส้นใยกลวงทางท่อนำสารละลายป้อนขาออกและท่อนำสารละลายสตริปขาออกจะถูกแยกออกมา
6. เริ่มดำเนินการสกัดไอออนทองแดงโดยเก็บตัวอย่างวัฏภาคสารละลายป้อนที่ไหลออกจากโมดูลทางฝั่งท่อทุก ๆ 5 นาที และเก็บตัวอย่างวัฏภาคสารละลายสตริปในภาชนะบรรจุทุก ๆ 5 นาที จนครบ 50 นาที ( $[Cu]_{\text{raffinate stream, t}}$  และ  $[Cu]_{\text{recovery, t}}$ ) และวัฏภาคสารละลายป้อนกับวัฏภาคสารละลายสตริปในภาชนะบรรจุเมื่อการทดลองสิ้นสุด ( $[Cu]_{\text{raffinate}}$  และ  $[Cu]_{\text{recovery}}$ )
  7. นำตัวอย่างทั้ง 24 ตัวอย่างไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนทองแดงโดยวิธี atomic absorption spectrometry ด้วยเครื่อง ATOMIC ABSORPTION/FLAME EMISSION SPECTROMETER AA 670 ของบริษัท Shimadzu



รูปที่ 4.6 แสดงการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสกัดไอออนทองแดงด้วยแผ่นเหล็กที่พองด้วยเส้นใยกลวงในกรณีสารละลายป้อนไหลผ่าน (one-through mode) และสารละลายสตรีปไหลเวียน (circulation mode) โดย ① เครื่องสูบลม ② มาตรวัดความดัน ③ มาตรวัดอัตราการไหล ④ โมดูลของเส้นใยกลวง ⑤ ภาชนะเก็บสารละลายป้อนขาเข้า ⑥ ภาชนะเก็บสารละลายป้อนขาออก ⑦ ภาชนะเก็บสารละลายสตรีป ⑧ จุดเก็บตัวอย่าง  $[Cu]_{\text{raffinate stream, t}}$  และ  $[Cu]_{\text{recovery, t}}$

—→ สายป้อน, - - - -> สายสตรีป

สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย