

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

เทคนิคเยื่อแผ่นเหลวได้กลายมาเป็นเรื่องที่น่าสนใจในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการกำจัด การนำกลับ และการเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย ตัวถูกละลายดังกล่าวนี้อาจเป็นโลหะไอออน กรด เบส หรือสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ ( Marr et al. 1980) เทคนิคนี้พัฒนามาจากกระบวนการการสกัดด้วยตัวทำละลายและการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยได้นำเอาหน่วยปฏิบัติการสกัดและการนำกลับมารวมเข้าไว้ด้วยกันเป็นเพียงหน่วย หน่วยการสกัดกลับหรือเรียกว่าการสตรีมมีทิศทางการดำเนินการตรงกันข้ามกับการสกัด รูปลักษณะประการหนึ่งในการนำเทคนิคเยื่อแผ่นเหลวไปใช้งานคือ เยื่อแผ่นเหลวอิมัลชัน ลักษณะที่เด่นชัดคือการใช้เยื่อแผ่นเหลวซึ่งส่วนมากเป็นสารละลายอินทรีย์ ปั่นปนรวมกับสารละลายที่มีตัวถูกละลายที่ต้องการกำจัด ออก ให้อยู่ในรูปของอิมัลชัน มีการใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อให้อิมัลชันที่เกิดขึ้นมีสภาวะคงตัวไม่แตกง่าย บางครั้งจึงเรียกรวมกันว่า เยื่อแผ่นเหลวสารลดแรงตึงผิว (surfactant liquid membrane) การถ่ายโอนมวลเกิดขึ้นได้สูงมากและให้สัดส่วนความเข้มข้นที่สูง แต่วิธีการนี้ยังต้องมีกระบวนการแยกอิมัลชัน เพื่อทำการนำกลับตัวถูกละลายและทำการนำสารละลายอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ ในบางครั้งอาจเกิดการรวมกันของสารละลายที่อยู่ภายในและภายนอกของอิมัลชัน ทำให้ไม่เกิดลักษณะของเยื่อแผ่นเหลว ประสิทธิภาพในการสกัดและนำกลับจึงลดลงตามไปด้วย

รูปแบบอื่นๆ ของเทคนิคเยื่อแผ่นเหลว ซึ่งได้ออกแบบไว้เพื่อลดข้อจำกัดของการใช้เยื่อแผ่นเหลวอิมัลชัน ได้แก่เยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวรองรับ วิธีนี้มีประโยชน์ในแง่ที่ว่า ได้ทำให้เฟสของสารละลายที่มีสารสกัดซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวตรึงอยู่กับที่โดยไม่มีการกระจาย และตัวรองรับที่ใช้จะมีรูพรุนจุลภาค (micropore) ซึ่งเป็นที่ให้เยื่อแผ่นเหลวเข้าไปตรึงอยู่ภายใน เยื่อแผ่นเหลวรองรับได้มีการออกแบบให้มีหลายลักษณะ เช่น เยื่อแผ่นเหลวแบบแผ่น (plate-and-flame compartment cell) เยื่อแผ่นเหลวแบบเกลียว (spiral-type module) และเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง (hollow fiber module)

การกำจัดโลหะไอออนมักจะเป็นจุดประสงค์หลักในการใช้กระบวนการดังกล่าวข้างต้น โครเมียมจากการปล่อยทิ้งในภาคอุตสาหกรรมก็เป็นโลหะชนิดหนึ่งที่เป็นที่น่าสนใจในการกำจัดอันเนื่องความ เป็นพิษในตัวของมันเอง โครเมียมที่นิยมใช้กันมากและเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมโดยมากจะอยู่ในรูป

ของโครเมียม (VI) ส่วนใหญ่ใช้ในกระบวนการการชุบเคลือบโลหะอื่นเพื่อให้เกิดความคงทนต่อการกัดกร่อน และเพิ่มความเงางามแก่วัสดุ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตโลหะสแตนเลสและโลหะอัลลอยด์อื่นๆ เนื่องจากสารประกอบของโครเมียม (VI) เป็นสารก่อมะเร็งและทำลายเนื้อเยื่อเมื่อเกิดการสะสมในร่างกาย โดยเฉพาะในส่วนของผิวหนังและไต (Kirk et al. 1979) จึงมีความจำเป็นที่ต้องจำกัดปริมาณที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมให้อยู่ในระดับที่สามารถควบคุมได้

ได้มีการศึกษาเทคโนโลยีด้านอื่นๆ อย่างกว้างขวางเพื่อใช้ในการกำจัดโครเมียมออกจากสารละลาย การแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซิน และการตกตะกอนทางเคมีเป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้กันมานานในการกำจัดโลหะไอออนนี้ (Keneth et al. 1980; Brooks et al, 1991) การแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินเหมาะกับสารละลายที่มีความเข้มข้นในช่วงต่ำๆ สำหรับการตกตะกอนทางเคมีซึ่งเหมาะสมกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง และเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก กระทำได้โดยการเติมหินปูนเพื่อให้อยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ หลังจากที่ได้เปลี่ยนรูปของโครเมียม (VI) ให้อยู่ในรูปของโครเมียม (III) โดยการใส่ เฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulphate) หรืออะซิติกซัลไฟต์ (acidic sulfite) เทคนิคนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใส่สารเคมีในการตกตะกอนในปริมาณที่มาก อีกทั้งกรรมวิธีดังกล่าวยังได้สร้างกากของเสียหลังจากตกตะกอน ซึ่งต้องนำไปกำจัดต่อไปอีก รวมทั้งยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในเรื่องของค่าสารเคมีและการกำจัดกากตะกอน ยังมีวิธีอื่นๆ อีกที่ใช้ในการบำบัดอันได้แก่ การตกตะกอนด้วยซัลไฟต์ การสกัดด้วยตัวทำละลาย การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การดูดซับด้วยเหล็กไฮดรอกไซด์ อะลูมินา และวิธีทางเคมีอิเล็กโทรด

กระบวนการการสกัดด้วยเทคนิคเยื่อแผ่นเหลวจึงถูกนำมาใช้ในการกำจัดโครเมียม (VI) เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่และเพิ่มความเข้มข้น ลักษณะของเยื่อแผ่นเหลวที่เลือกใช้เป็นลักษณะของเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง

## 1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

Masaaki Teramoto, Nobuyuki Tokno, Noriaki Ohnishi, and Hideto Matsuyama (1989) ได้ศึกษาถึงการแยกสกัดโครเมตและสังกะสีด้วยเยื่อแผ่นเหลวแบบเกลียว โดยที่เยื่อแผ่นเหลวนชนิดนี้ สารละลายอินทรีย์ที่มีสารสกัดอยู่ด้วยไหลผ่านในช่องแคบ ๆ ระหว่างแผ่นรองรับที่มีรูพรุนชนิดไม่ชอบน้ำ ซึ่งแยกสารละลายอินทรีย์ออกจากสารละลายป้อนและสารละลายสตรีป สารละลายอินทรีย์ที่ใช้คือไตรนอร์มอลออกทิลลามีน (tri-n-octylamine) เป็นสารสกัดสำหรับการแยกสกัดโครเมต ผลการทดลองพบว่าโครเมตสามารถถูกกำจัดออกได้มากกว่า 99% จากการไหลแบบผ่านครั้งเดียว พลั๊กซ์ของ

โครเมตจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นตามความเข้มข้นในสารป้อนจนถึง 500 ppm ความสามารถในการกำจัดโครเมตไม่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสารละลายอินทรีย์ เพราะช่วงของการควบคุมอัตราการสกัดคือการแพร่ของเฟสสารป้อน และเพราะความต้านทานอันเนื่องมาจากการแพร่ผ่านสารละลายอินทรีย์ที่ขังอยู่ในรูพรุนขนาดเล็ก มีมากกว่าการแพร่ไปยังสารละลายอินทรีย์ที่มีการไหล ในแง่ของความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อน ความเป็น กรด-ด่างจะต่ำกว่า 2.5 เพื่อให้ฟลักซ์ของโครเมตยังคงสูงและสูงกว่าการถ่ายโอนกรดซัลฟูริก อีกทั้งยังช่วยป้องกันการเพิ่มความเข้มข้นเมื่อดำเนินการสกัดไปเรื่อยๆ ได้ เมื่อให้สารละลายสตริปมีการวนกลับเข้าไปใหม่ในอุปกรณ์ พบว่าสามารถทำให้ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายสตริปเพิ่มขึ้นและเข้มข้นกว่าในสารละลายป้อนได้มาก ในด้านผลกระทบของความเข้มข้นของโครเมียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ นั้น แทบไม่มีผลต่อการกำจัด

R. Chiarizia (1991) ได้ศึกษาถึงการกำจัดไนเตรต เพอร์เทคเนเตรต ( $\text{HTcO}_4$ ) และโครเมต ไอออนจากแหล่งน้ำใต้ดินแฮนฟอร์ด(Hanford) ด้วยการใช้อยู่เยื่อแผ่นเหลวรองรับ โดยศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของสารสกัดในเยื่อแผ่นเหลวแบบแผ่น สารสกัดที่เลือกใช้เป็นประเภทเอมีนที่เป็นสายตรงยาว (long-chain aliphatic amines ) 3 ชนิด ได้แก่ ไพรมีนเจเอ็ม-ที (Primene JM-T, เป็นเอมีนชนิดปฐมภูมิ) แอมเบอร์ไลท์ (Amberlite LA-2, เป็นเอมีนชนิดทุติยภูมิ) และ ไตรลอซิลลามีน (trilaurylamine, TLA, เป็นเอมีนชนิดจตุรภูมิ) มีการใช้นอร์มอลโดเดเคน (n-Dodecane) เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ แผ่นรองรับที่ใช้เป็นสารโพลีโพรพิลีน สารละลายสตริปคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลที่ได้สำหรับการกำจัดกรดไนตริกออกจากสารละลายแสดงให้เห็นว่าเอมีนชนิดทุติยภูมิและเอมีนชนิดปฐมภูมิมีประสิทธิภาพดีกว่าเอมีนชนิดตติยภูมิ และได้ข้อมูลของการเลือกผ่านของกรดไนตริกผ่านเยื่อแผ่นเหลวที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของเอมีนทั้งสามชนิดในเยื่อแผ่นเหลว รวมทั้งข้อมูลจากสัมประสิทธิ์การแพร่ของกรดไนตริก ในสารละลายเกลือไนเตรต-อัลคิลแอมโมเนียมในเยื่อแผ่นเหลว มี การศึกษากับ ในรูปแบบที่เหมือนกัน ในกรณีนี้พบว่าเอมีนชนิดทุติยภูมิ และเอมีนชนิดตติยภูมิเป็น สารสกัดที่ดีกว่า และสำหรับโครเมต สารสกัดที่เหมาะสมได้แก่เอมีนตติยภูมิ

B. G. Fraser, M. D. Pritzker, and R. L. Legge (1994) ได้ศึกษาถึงการประยุกต์ใช้การสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวในการสกัดแยกโครเมต,  $\text{Cr(VI)}$ , ออกจากน้ำเสียเพื่อลดความเข้มข้นให้อยู่ในระดับที่ได้มาตรฐาน รูปแบบของเยื่อแผ่นเหลวเรียกว่า เยื่อแผ่นเหลวเพอร์แทรกชัน (petraction liquid membrane) การสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวประกอบไปด้วยช่วงของการสกัดและช่วงของการสตริป โดยรวมกันเข้าเป็นหน่วยเดียวกัน สามารถปฏิบัติการแบบต่อเนื่องและทำให้สารมีความเข้มข้นมากขึ้นได้

มีปัจจัยหลายอย่างในการดำเนินการทดลองคือ ความเร็วของสารป้อน ความเร็วของสายสตริป ความเร็วของสารละลายอินทรีย์ และองค์ประกอบของสารป้อนช่วงเริ่มต้น ผลของการศึกษาเมื่อเพิ่มความเร็วของสารป้อนโดยยังคงให้ความเร็วของสารอีกกระแสคงที่ ทำให้ความเข้มข้นของโครเมตในกระแสขาออกเพิ่มขึ้นเนื่องจากระยะเวลาที่สัมผัสและช่วงเวลาในการสกัดกับอีกกระแสลดลง แต่ทำให้ความเข้มข้นในเฟสอินทรีย์สูงขึ้น ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนให้การถ่ายโอนที่พื้นผิวสัมผัสระหว่าง เฟสอินทรีย์กับเฟสสตริป และเป็นผลให้โครเมต เพิ่มขึ้นในสารละลายสตริปขาออก ในแง่ของความเร็วของสารละลายสตริป ปริมาณโครเมตในกระแสสารละลายสตริปขาออกลดลงเมื่ออัตราเร็วของสารละลายสตริปเพิ่มขึ้นเพราะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่สั้นลง การเพิ่มขึ้นของความเร็วในเฟสสารอินทรีย์ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายป้อนขาออกลดลง และความเข้มข้นของสารละลายสตริปขาออกเพิ่มขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความต้านทานที่พื้นผิวระหว่างเฟสสารละลาย-เฟสสารอินทรีย์ มีผลอย่างมากต่อการถ่ายโอนมวล ในการศึกษาคณะขององค์ประกอบในเฟสสารละลาย พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นในสารป้อนขาเข้าทำให้ความเข้มข้นในสายป้อนขาออกมีค่าสูงขึ้น การใช้ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนต่ำกว่า 2.2 จะช่วยให้ความเป็นกรด-ด่าง ตลอดการทดลองแทบไม่เปลี่ยนแปลง การที่มีโครเมียมในสารละลายสตริปขาเข้าไม่มีผลต่อการสกัดเมื่อเทียบกับแบบที่สารละลายสตริปมีเพียงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.0 N เท่านั้น

Inmaculada Ortiz, Berta Galan, And Angel Irabien (1996) ได้ศึกษาถึงความสามารถในการเลือกผ่าน และจลนพลศาสตร์ของโครเมต, Cr(VI) ในการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม และทำการเพิ่มความเข้มข้นเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ ในกระบวนการการชุบด้วยไฟฟ้า (electroplating process) ในการนี้ใช้ระบบการสกัดแบบของเหลว-ของเหลวในอุปกรณ์เส้นใยกลวง 2 ชุด ชุดแรกเป็นกระบวนการสกัดและอีกชุดเป็นกระบวนการสตริป มีการใช้เมทิลไตรออกทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ หรืออะลิควอต 336 (Aliquat 336) เป็นสารสกัดในเฟสสารอินทรีย์ 30% โดยปริมาตร ใช้ไอโซเดคานอล (isodecanol) 30% โดยปริมาตร ทำหน้าที่เป็นตัวประสานเพื่อป้องกันการเกิดเจล และใช้เคโรซีนเป็นตัวทำละลาย ผลการทดลองพบว่า ในสารละลายสตริปสามารถเพิ่มความเข้มข้นของโครเมตได้ถึง 14 กรัม/ลิตร ซึ่งเหมาะสำหรับการนำกลับไปใช้ใหม่ ทางด้านการวิเคราะห์ทางจลนพลศาสตร์พบว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวม (overall mass-transfer coefficient) ในอุปกรณ์การสตริปมีค่าต่ำกว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมในอุปกรณ์การสกัด นั่นหมายถึงว่า อัตราการสตริปต่ำกว่าเมื่อเทียบกับอัตราของกระบวนการการสกัด และพบว่าในกระบวนการการสกัด พารามิเตอร์ในการถ่ายโอนมวลทางด้านจลนพลศาสตร์จะขึ้นอยู่กับสภาวะการทดลอง

Masaaki Teramoto, Hideto Matsuyama, Hitashi Takaya, and Shigehiro Asano (1987) ได้ศึกษาการทดลองในการเลือกผ่านของโคบอลต์ นิเกิล และสังกะสี ในอุปกรณ์เยื่อแผ่นเหลวชนิดเกลียว โลหะไอออนสามารถถูกแยกและถูกเพิ่มความเข้มข้น มีการใช้ EHPNA(2-ethylhexyphosphonic acid mono-2-ethylhexyl ester) เป็นสารสกัดสำหรับโคบอลต์และนิเกิล และใช้ D2EHPA (di-(2-ethylhexyl) phosphoric acid) เป็นสารสกัดสำหรับสังกะสี กำหนดให้รูปแบบการไหลของสารละลายทั้งสารป้อนและสารสตรีป เป็นการไหลแบบระนาบ ซึ่งให้การนำกลับของโลหะไอออนได้สูงมาก เช่น โคบอลต์ในสารป้อนสามารถถูกกำจัดออกได้มากกว่า 99.7% โดยการดำเนินการผ่านอุปกรณ์เพียงครั้งเดียว และโคบอลต์ยังสามารถเลือกผ่านด้านทานกระแสดความเข้มข้นไปยังอีกด้านหนึ่งได้ สัดส่วนของความเข้มข้นของโลหะในเฟสสารละลายสตรีปเทียบกับบเฟสของสารละลายป้อนสูงถึง 70,000 เท่า สิ่งนี้ได้ถูกเน้นย้ำอีกครั้งโดยการทดสอบอายุงานของอุปกรณ์ ในแง่ของเสถียรภาพซึ่งให้ผลดีมากกว่า 1 เดือน โดยไม่มีการลดลงของฟลักซ์ของโลหะ และการเพิ่มประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นเหลวสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว ความสามารถในการกำจัดของการเลือกผ่านเพียงโคบอลต์ หรือการเลือกผ่านทั้งโคบอลต์และนิเกิล ได้ถูกจำลองโดยการออกแบบสมการซึ่งได้รวมถึงการเกิดสารเชิงซ้อนของโลหะ-สารสกัดเข้าไว้ด้วย

การเลือกผ่านของโคบอลต์หรือนิเกิล เกิดการนำกลับสูงถึง 99.99% สำหรับโคบอลต์ สาเหตุของการนำกลับที่สูงคือ ความเข้มข้นของโคบอลต์ต่ำ การแพร่ของโคบอลต์ในเฟสสารละลายป้อนซึ่งจำกัดอัตราการแพร่ผ่าน และความต้านทานในเยื่อแผ่นเหลว สามารถละทิ้งได้ และสาเหตุที่สำคัญอีกประการ คือรูปแบบการไหลที่เป็นการไหลแบบระนาบ เมื่อความเข้มข้นของโคบอลต์ในสารละลายป้อนเริ่มต้นสูง การถ่ายโอนโคบอลต์ถูกจำกัดโดยการแพร่ของสารสกัดในเยื่อแผ่นเหลว

Ana I. Alonso, Berta Galan, Angle Irabien, and Inmaculorda Ortiz (1997) ได้ศึกษาถึงการสร้างแบบจำลองที่สภาวะสมดุลของการสกัดโครเมียม(VI) ด้วยการไหลสารสกัดชนิดแอนไอออนิก (anionic) อันได้แก่ trialkylmethylammonium chlorides (Aliquat 336) เป็นสารละลายอินทรีย์ การทดลองได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม(VI) ในช่วง 100-1000 ppm โดยมีความเป็นกรดต่าง ประมาณ 8 และอิทธิพลของสารละลายอินทรีย์ในช่วงความเข้มข้น 1-30% โดยปริมาตร ทำการสกัดโดยการปั่นกววนเป็นเวลา 90 นาที เพื่อให้แน่ใจถึงวาระบบได้เข้าสู่สมดุลอย่างสมบูรณ์ ทำการแยกทั้งสองเฟสออก และนำเฟสสารละลายไปวิเคราะห์โครเมียม นำเอาสารละลายใหม่ทำให้สมดุลกับเฟสอินทรีย์ตัวเดิม แล้วดำเนินการทดลองซ้ำจนเฟสสารละลายอินทรีย์อิ่มตัว ในการศึกษาเพื่อออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ ได้พิจารณาพฤติกรรมของสารละลายทั้งสองเฟส

เป็นพฤติกรรมแบบอุดมคติ ค่าคงที่สมดุลที่เป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นของความเข้มข้นต่างๆ ของโครเมียม(VI),  $K_c$  ซึ่งถูกคำนวณได้ค่าเป็น 0.28, 0.58, 2.66 สำหรับความเข้มข้นของอะลิควอต 336 ที่เป็น 30%, 10%, และ 1% โดยปริมาตร ตามลำดับ ซึ่งค่าคงที่สมดุลที่ถูกประมาณเหล่านี้ได้นำไปสู่การสรุปว่า ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษานี้ พฤติกรรมอุดมคติสามารถนำไปใช้เฉพาะในเฟสสารละลาย ดังนั้นจึงมีการนำเสนอแบบจำลองการสกัดซึ่งนำพฤติกรรมไม่อุดมคติของเฟสสารละลายอินทรีย์เข้ามาคำนวณด้วย ซึ่งสามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการทดลองการสกัดโครเมียม(VI) ด้วยอะลิควอต 336 ได้ดีพอสมควร

Zhi-Fa Yang, Asim K. Guha, and Kamalesh K. Sirkar (1996) ได้ศึกษาการแยกและการนำกลับโลหะด้วยกระบวนการการสกัดด้วยตัวทำละลาย ระบบซึ่งศึกษาการสกัดและการแยกกลุ่มของแคทไอออน 2 ชนิด คือทองแดง(II) และสังกะสี(II) แคทไอออนและแอนไอออนของทองแดง(II) และโครเมียม(VI) ตามลำดับ และกลุ่มของแคทไอออน 2 ชนิดกับแอนไอออน อันได้แก่ทองแดง(II) สังกะสี(II) และโครเมียม(VI) การทดลองใช้เทคนิคการสกัดด้วยเยื่อเลือกผ่านชนิดเส้นใยกลวงชนิดไม่ชอบน้ำ ใช้ LIX84 (anti-2-hydroxy-5-nonylacetophenone oxime) เป็นสารสกัด สำหรับทองแดง(II) และใช้ bis (2-ethylhexyl)phosphoric acid (D2EHPA) ในการสกัดสังกะสี(II) ในอุปกรณ์การสกัดที่ประกอบด้วยชุดเส้นใย 2 ชุด ซึ่งได้ผลในแง่ของการเกิดการสกัดที่แข่งขันกัน ในอีกการทดลอง ประสิทธิภาพในการสกัดทองแดง(II) และโครเมียม(VI) ด้วย LIX84 และ tri-n-octylamine (TOA) ตามลำดับ นั้นดีขึ้นอันเนื่องมาจากความเป็นกรด-ด่าง ในสารละลายป้อนเริ่มต้นมีการควบคุมกันเอง นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับชุดการทดลองการสกัดของทองแดง(II) และสังกะสี(II) แบบจำลองนี้สามารถใช้ทำนายลักษณะการเกิดการสกัดและการแยกได้อย่างดี ในอุปกรณ์การสกัดชุดนี้ อัตราการสกัดของสังกะสี(II) และทองแดง(II) ด้วย D2EHPA และ LIX84 ตามลำดับนั้น ถูกควบคุมจากความต้านทานชั้นขอบเขตของทั้งสารละลายและสารละลายอินทรีย์ ซึ่งพอๆ กับความต้านทานการเกิดปฏิกิริยาที่อินเทอร์เฟซ

Ernesto Salazar, M. Inmaculada Ortiz, and Ane M. Urtiaga, and J. Angel Irabien (1992) ได้ศึกษาสมดุลและจลนพลศาสตร์ของกระบวนการการสกัดโครเมียม(VI) ด้วยตัวทำละลาย โดยมีองค์ประกอบของสารละลายอินทรีย์เป็น 0.5% ของ อะลิควอต 336 5% ของ n-dodecanol โดยมีโครซินเป็นตัวทำละลาย มีการประเมินถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญของสมดุลและพฤติกรรมของจลนพลศาสตร์นี้ มีการสร้างแบบจำลองอิทธิพลของความเข้มข้นของโครเมียม(VI) ที่มีต่อสัมประสิทธิ์

การกระจาย ซึ่งสามารถใช้ประเมินสภาวะสมดุล และกำหนดค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในเฟสสารละลายอินทรีย์ ในแง่ของการใช้ทฤษฎีแผ่นฟิล์ม หรือพารามิเตอร์ในการแพร่ผ่านในแง่ของการใช้ทฤษฎีการแพร่ผ่านในแนวรัศมี ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายจลนพลศาสตร์การถ่ายโอนมวลของกระบวนการนี้

Berta Galan, Ane M. Urtiaga, Ana I. Alonso, J. Angel Irabien, and M. Inmaculada Ortiz (1994) ได้ทำการศึกษาสมดุลของเหลว-ของเหลวในระบบไซเดียมไฮดรอกไซด์-คลอไรด์ของอะลิควอต 336 ในเคโรซีน โดยความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์อยู่ในช่วง 0.25-2.0 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของอะลิควอต 336 อยู่ในช่วง 1-10% โดยปริมาตร มีการตั้งเงื่อนไขของเฟสของของเหลวทั้งสองว่ามีพฤติกรรมเป็นแบบอุดมคติ ซึ่งได้ผลไม่เป็นที่พอใจในการทำให้สอดคล้องกับข้อมูลจากการทดลอง นั่นคือของเหลวทั้งสองแสดงพฤติกรรมที่ไม่เป็นอุดมคติ จึงมีการนำเอาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นนี้ของทั้งสองเฟส มาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมดุลของระบบนี้ โดยใช้พารามิเตอร์สองตัวในการทำให้สอดคล้องกับข้อมูลการทดลอง ซึ่งได้ผลของความสัมพันธ์เป็นที่น่าพอใจ แบบจำลองได้ถูกตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลการทดลอง และค่าจากการจำลอง ซึ่งได้นำเอาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาใช้

A. I. Alonso, A. Irabien, and M. I. Ortiz (1996) ได้ข้อมูลการทดลองในด้านจลนพลศาสตร์ของการสกัดโครเมียม(VI) ด้วยอะลิควอต 336 ซึ่งถูกดำเนินการในอุปกรณ์เส้นใยกลวง ความเข้มข้นของอะลิควอต 336 อยู่ในช่วง 1-10% โดยปริมาตร ความเข้มข้นของโครเมียม(VI) อยู่ในช่วง 10-500 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงความเข้มข้นเหล่านี้ ได้มีการออกแบบจำลองโดยใช้สมการอนุรักษ์มวลและการกำหนดสภาวะขอบเขต การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลจากการจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้นำไปสู่การกำหนดสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลกับค่าคงที่สมดุล ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลที่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวสารละลายอินทรีย์มีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับความเข้มข้นรวมของสารสกัด ข้อเท็จจริงนี้สามารถอ้างถึงอิทธิพลของความหนืดของเฟสสารละลายอินทรีย์ที่มีต่อการแพร่ของสารประกอบเชิงซ้อนที่ผ่านเฟสนี้ ค่าคงที่สมดุลขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม(VI) รวมทั้งความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ของอะลิควอต 336 ด้วยการให้ mass action law ในการอธิบายสมดุลนี้ จึงสามารถอธิบายความเข้มข้นของสารละลายและความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ที่มีต่อค่าคงที่สมดุล ทางหนึ่งในการปรับปรุงแบบจำลองให้ดีขึ้น คือการใช้ความไม่เป็นอุดมคติของเฟสทั้งสองเข้าร่วมในการคำนวณสมดุลของระบบนี้

M. W. Horn, B. G. Fraser, M. D. Pritzker, and R. L. Legge (1994) การทดลองได้ให้ความกระจ่างของกลไกการสกัดโครเมียม(VI) จากสารละลายที่มีซัลเฟต โดยการใช้ tri-n-octylamine (TOA) ความเข้มข้น 5% โดยปริมาตร ผลที่ได้ประกอบขึ้นด้วยกลไกการเกิดปฏิกิริยาสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการเกิดรูปของเกลือเอมีนกับไบซัลเฟต ในการทดลองได้เน้นให้เห็นถึงว่ามีเพียงเฉพาะไบซัลเฟตเท่านั้นที่เกิดปฏิกิริยาในช่วงแรก เป็นการอธิบายถึงว่าทำไมการสกัดลดลงอย่างรวดเร็วสำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้นสูงกว่า 2 ดังนั้นความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ควรต่ำ ขั้นตอนที่สองเป็นการถูกแทนที่ของไบซัลเฟตด้วยโครเมต ในสถานะของการทดลองรูปของโครเมตที่เกิดขึ้นเป็นไบโครเมต ขั้นตอนนี้ซึ่งสามารถเกิดขึ้นที่ความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าในขั้นตอนแรกเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับสัดส่วนปริมาตรของสารละลายอินทรีย์เทียบกับสารละลายโครเมตสูงกว่า 1.5 ข้อมูลของสมดุลที่ได้จะเป็นไปตามพฤติกรรมที่คาดการณ์ไว้ในกรณีนำเสนอกลไกข้างต้น

Sirirat Chaisin, Chintana Saiwan, John F. Scamhorn, Sheryl D. Christian, Edward E. Tucker (1997) ได้ศึกษาถึงการตกตะกอนอย่างสมดุลเพื่อแยกโครเมตออกจากสารละลายโดยการใช้โพลีอิลีคโตรไลต์ชนิดแคทไอออนิก ได้แก่ Poly(diallyldimethyl ammonium chloride) หรือ QUAT ทำการกรองแล้วตกตะกอนด้วยแบเรียมคลอไรด์ ความเข้มข้นของ QUAT ที่ใช้อยู่ในช่วง 0.1-0.4 โมลต่อลิตร สัดส่วนความเข้มข้นของโครเมตต่อ QUAT เป็น 0.02-2.0 สัดส่วนความเข้มข้นของแบเรียมต่อโครเมตเป็น 1.0-10.0 ผลการทดลองพบว่าโครเมตมากกว่า 90% สามารถถูกกำจัดออกโดยใช้กระบวนการนี้ ที่สัดส่วนความเข้มข้นของแบเรียมต่อโครเมตเป็น 1 ความเข้มข้นของ QUAT หรือสัดส่วนความเข้มข้นของ QUAT ต่อโครเมต ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการแยกโครเมตได้ดีขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนเหล่านี้ ที่ความเข้มข้นของ QUAT สูง จำเป็นต้องใช้แบเรียมที่ความเข้มข้นสูงด้วยเพื่อการตกตะกอนโครเมตที่มีประสิทธิภาพ อันเนื่องมาจากการแข่งขันระหว่าง QUAT และแบเรียม



### 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาระบบการแยกสกัดโครเมตด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง
2. เพื่อหาความสามารถในการสกัดและการสตริปของสารจากระบบในการทดลอง
3. เพื่อปรับสภาวะให้มีประสิทธิภาพในการปฏิบัติการได้ดีที่สุด โดยมีการสกัดและการนำกลับเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการแยกสกัดสารละลายโครเมต โดยใช้อะลิควอตเป็นสารสกัด พร้อมด้วยการใช้ตัวประสานโดเดคานอลในช่วงความเข้มข้น 0-20% โดยปริมาตร ตัวทำละลายในเฟสสารละลายอินทรีย์ที่ใช้ได้แก่เคโรซีน
2. ศึกษาผลของอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งทางด้านการสกัดและการสตริป มีการใช้กรดซัลฟูริกปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อน สารละลายสตริปเป็นสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ อัตราการไหลของสารละลายไม่เกิน 1.2 ลิตร/นาที
3. ลักษณะทิศทางการไหล ซึ่งส่งผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาการสกัดและการสตริป ในลักษณะของการไหลแบบสวนทางและการไหลในทิศทางเดียวกัน

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการสกัดแยกโครเมต ด้วยเทคนิคเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง
2. สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการสกัด ที่เกิดขึ้นพร้อมกับการ สตริปโครเมตออกจากสารละลายที่เจือจาง
3. นำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้กับระบบที่มีของเสีย โดยมีการปนเปื้อนโครเมตในอุตสาหกรรม