บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในกระบวนจากหลุมการผลิตก๊าซธรรมชาติและปิโตรเลียมจากอ่าวไทย นอกจากปริมาณก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตได้จากหลุมผลิตแล้ว ยังมีน้ำประมาณ 85,000–90,000 บาร์เรลต่อวัน ที่มีความเข้มข้นของสารปรอทประมาณ 2,200 ppb เจือปนอยู่และถูกส่งมากับก๊าซธรรมชาติเหลว (กรมทรัพยากรธรณี, กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2543: 11–13) น้ำจากหลุมผลิตเหล่านี้ไม่สามารถทิ้งลงทะเลได้โดยตรงหากปราศจากการบำบัดที่เหมาะสม เพราะจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารปรอทในอ่าวไทยและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของประชาชนโดยรวม เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยจึงศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดสารปรอทออกจากน้ำทิ้งจากหลุมก๊าซธรรมชาติ วิธีหนึ่งที่นิยมในการกำจัดสารปรอท คือ การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) แต่วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ มีค่าการเลือกสกัด (Selectivity) ที่จำกัดและอัตราเร็วในการสกัดช้ามาก เป็นผลให้ต้องใช้สารสกัดและพื้นที่ในการถ่ายเทมวลมาก ส่วนวิธีการบำบัดด้วยการกรองโดยใช้เมมเบรนชนิดอัลตราฟิวเตรชัน (Ultrafiltration) ถูกจำกัดโดยการสะสมตัวของปริมาณอนุภาคแขวนลอยที่อุดตันเยื่อกรอง การใช้เมมเบรนชนิดรีเวอร์สออสโมซีส (Reverse Osmosis) มักพบปัญหาการเสื่อมสภาพของเมมเบรนจากการสัมผัสกับอนุภาคน้ำมันในน้ำ (กิตติพงษ์ เชิญวัฒนชัย, 2543)

จากปัญหาดังกล่าวและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการแยกไอออนปรอทจากสารละลายป้อนซึ่งใช้น้ำทิ้งจากหลุมก๊าซธรรมชาติด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยถ้ารองรับชนิดเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Supported Liquid Membrane) วิธีนี้เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถแยกและนำกลับไอออนปรอท ด้วยเหตุผลที่เยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวงมีค่าการคัดเลือกสูง มีการปฏิบัติงานรวมกระบวนการสกัด (Extraction Process) และการนำกลับไว้ในขั้นตอนเดียว การแยกปรอทโดยวิธีนี้มีอัตราการถ่ายเทมวลสูง และในการสกัดใช้สารอินทรีย์และพลังงานปริมาณต่ำ มูลค่าการลงทุนและการดำเนินการต่ำ สามารถดัดแปลงและขยายขนาดได้ง่าย (วีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา, 2541) เทคนิคการใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวงนี้จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อแยกและเพิ่มความเข้มข้นให้กับไอออนของโลหะชนิดต่าง ๆ

1.1.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับปรอท (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2541)

ปรอทมีสูตรทางเคมี Hg เป็นธาตุอันดับที่ 80 ในกลุ่มของธาตุทรานซิชัน หมู่ 2B อยู่ท้ายสุดของแถว d ในตารางธาตุ ปรอทมีหลายรูปแบบ คือ ปรอทในรูปโลหะ (Metallic Form) ปรอทในรูปสารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic Mercury Compound) และปรอทในรูปสารประกอบอินทรีย์ (Organic Mercury Compound) ปรอทที่อยู่ในรูปของโลหะโดยมากบริสุทธิ์และไม่ผสมกับสารอื่น ความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำ เกลือของปรอทส่วนใหญ่ละลายน้ำได้

สารประกอบ $HgCl_2$ ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้ระเหิดง่าย มีพันธะโคเวเลนต์ หลอมเหลวแล้วไม่นำไฟฟ้า ละลายน้ำได้ดี แต่เมื่ออยู่ในสารละลายไม่ค่อยแตกตัวเป็นไอออน ดังนั้นถ้าต้องการไอออนปรอทของสารประกอบ $HgCl_2$ ต้องใช้สารละลายกรด เช่น สารละลายกรดซัลฟิวริก สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เป็นตัวทำละลาย สำหรับสารประกอบเฮไลด์ของปรอท ได้แก่ Hg_2X_2 (X = Cl, Br, I) มีความเสถียรในสารละลายไม่แตกตัวเป็นไอออน โดยธรรมชาติมักพบสารประกอบเฮไลด์ของปรอทเป็นแร่อิสระหรือพบในรูปของ HgS ซึ่งมีสีแดงกระจายอยู่ในเนื้อหินที่เรียกว่า "Cinnabar"

1.1.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปรอท

ที่อุณหภูมิห้องปรอทเป็นของเหลว มีความหนืดต่ำ อยู่ในสภาพอะตอมเดี่ยว ปรอทมีจุดหลอมเหลวต่ำ มีจุดเดือดสูง แต่ระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย ซึ่งแสดงว่าปรอทมี แรงดึงดูดระหว่างอะตอม (interatomic force) ต่ำมาก ปรอทสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าโลหะอื่น การละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มออกซิเจนลงไป นอกจากนี้ปรอทยังละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เช่น นอร์มัลเฮกเซน (2.7×10^{-7} g / 100 g ที่ 40 °C) ในเบนซีน (2.0×10^{-7} g /100 g ที่ 20 °C) ในเมทานอล (3.6×10^{-7} g/100 g ที่ 63 °C) และในไดออกเซน (7.0×10^{-7} g/100 g ที่ 25 °C) เป็นต้น ปรอททำปฏิกิริยากับฮาโลเจนโดยตรงที่อุณหภูมิห้อง แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ถ้าที่อุณหภูมิ 350 °C จะได้ HgO ปรอทไม่ทำปฏิกิริยากับไฮไดรด์ของ HF, HCl, H_2S, NH_3, PH_3 และ AsH_3 ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 °C แต่ทำปฏิกิริยากับ HBr , HI ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับคลอรีนและไอโอดีนได้ $HgCl_2$ และ HgI_2 สมบัติต่างๆ ทางกายภาพของปรอท แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สมบัติทางกายภาพของปรอท

สมบัติทางกายภาพ	ค่าที่วัดได้
น้ำหนักเชิงโมเลกุล (Molecular Mass)	200.59
จุดหลอมเหลว (Melting Point, °C)	-38.87
H_{FUSION} (Enthalpy of Fusion, kcal $mole^{-1}$)	0.5486
S_{FUSION} (Entropy of Fusion, cal deg^{-1} $mole^{-1}$)	2.37
จุดเดือด (Boiling Point, °C)	356.57
ความดันไอ (Vapor Pressure)	1 mm Hg ที่ 126 °C, 10 mm Hg ที่ 184 °C, 100 mm Hg ที่ 261°C
ความหนาแน่น (Density)	13.534 g/cm^3 ที่ 25 °C
ค่าการละลายน้ำ (Solubility in Water 100 g)	6×10^{-6} g ที่ 25° C
Ohmic Resistance	95.76×10^{-8} ohm m ที่ 20°C
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	13.545

1.1.3 ปรอทและความเป็นพิษ

สารประกอบของปรอทมีเลขออกซิเดชันได้ทั้ง +1 และ +2 เมื่อเลขออกซิเดชันเป็น +1 เรียกสารประกอบนั้นว่า เมอร์คิวรัส (Mercurous) เมื่อเป็น +2 เรียกว่า เมอร์คิวริก (Mercuric) อย่างไรก็ตามสารประกอบเมอร์คิวรัสมีปรอทสองอะตอมอยู่คู่กันเสมอ เรียกว่าเกิดเป็นไดเมอร์ (Dimer) ดังนั้นเมื่อสารเมอร์คิวรัสละลายน้ำจะอยู่เป็นประจุคู่เสมอ คือ เป็น Hg_2^{2+} แต่สมบัติทางเคมีอื่นๆ คล้ายคลึงกับประจุเดี่ยวทั่วไป เช่น Hg^+ จะทำปฏิกิริยากับประจุของคลอไรด์ (Cl^-) ได้เป็นเมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Mercurous Chloride) มีสูตร Hg_2Cl_2 ซึ่งเป็นตะกอนสีขาวมีพิษร้ายแรง เรียกว่า คาโลเมล (Calomel) ความเป็นพิษของปรอทขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีที่ปรากฏในสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 รูปแบบทางเคมีและความเป็นพิษของปรอท

รูปแบบ	ความเป็นพิษ
Hg	โลหะปรอทบริสุทธิ์ : ค่อนข้างเฉื่อยและไม่เป็นพิษ แต่ไอปรอทเป็นพิษอย่างร้ายแรง เมื่อสูดดมเข้าไป
Hg_2^{2+}	ประจุเมอร์คิวรัส : ไม่ละลายน้ำ สามารถรวมตัวเป็นสารประกอบคลอไรด์เป็นพิษน้อย
Hg^{2+}	ประจุเมอร์คิวริก : เป็นพิษ มีสัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (Electron Affinity) สูงกับกลุ่มไทออล (Thiol Group, SH) สามารถจับตัวกับซัลเฟอร์ในเม็ดเลือดแดง เซรั่ม (Zerum) และในโปรตีนชนิดต่างๆ แต่ไม่สามารถที่จะเคลื่อนย้ายข้ามเนื้อเยื่อกีดกั้น เช่น Blood-brain Barrier ได้ สะสมและทำอันตรายต่อไต
RHg^+	สารปรอทอินทรีย์เชิงเดี่ยว : มีความเป็นพิษสูงโดยเฉพาะ CH_3Hg^+ (Methyl Mercury) ทำลายระบบประสาทและสมองอย่างถาวร สามารถเคลื่อนย้ายข้ามเนื้อเยื่อกีดกั้น เช่น Blood-brain Barrier ได้ สะสมได้ดีในเนื้อเยื่อ ไขมัน
R_2Hg	สารปรอทอินทรีย์เชิงคู่ : มีความเป็นพิษต่ำ แต่สามารถถูกเปลี่ยนรูปแบบเป็น RHg^+ ได้ในตัวกลางที่เป็นกรด
HgS	ไอออนปรอทซัลไฟด์ ไม่ละลายในน้ำและไม่เป็นพิษ พบตามธรรมชาติในดิน

สารประกอบอินทรีย์ของปรอท (Organo Mercury Compound) เป็นไอออนปรอทที่เป็นพิษมากที่สุด เช่น สารประกอบจำพวกอัลคิลเมอร์คิวรี (Alkyl Mercury) เช่น เมทิลเมอร์คิวรี มีอำนาจในการขัดขวางปฏิกิริยาในร่างกายได้มากที่สุด นอกจากนี้ยังมีสารประกอบพวก aryl mercury โดยเฉพาะเมทิวเมอร์คิวรี (CH_3Hg^+:Methyl Mercury) สารนี้ละลายได้ดีในไขมัน ร่างกายสามารถดูดซึมเมทิวเมอร์คิวรีในทางเดินอาหารได้สูงถึง 95–98 % แต่ขับออกมาในรูปของเสียได้น้อยมากเนื่องจากเป็นสารอนินทรีย์ ปรอทรูปนี้สามารถยึดติดกับเม็ดเลือดแดงและแพร่กระจายไปยังทุกส่วนของร่างกาย โดยพบว่าประมาณ 15 % จะสะสมอยู่ในสมอง ส่วนปรอทในรูปโลหะสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังและลมหายใจได้ง่าย ปรอทรูปที่อันตรายต่อชีวิตมนุษย์มากที่สุดคือในรูปไอระเหยซึ่งสามารถทำให้เกิดพิษเฉียบพลันถ้าหายใจเข้าไปในช่วง 1,200–8,500 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนสารประกอบอนินทรีย์ของปรอทมีความเป็นพิษน้อยที่สุดเพราะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยทางเดินอาหารได้น้อยมากไม่เกิน 2 % และยิ่งกว่านั้นยังถูกขับออกจากร่างกายได้ง่าย ปรอทที่สะสมอยู่ในร่างกายก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบประสาท ปรอท

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สามารถแทรกซึมผ่านเยื่อหุ้มสมองเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง ปรอทส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในสมองส่วนซีเรเบลลัม (Cerebellum) และซีเรบรัลคอร์เท็กส์ (Cerebral Cortex) ซึ่งทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อสมองส่วนที่ควบคุมการมองเห็นและความรู้สึก ทำให้ผู้รับสารปรอทมีอาการผิดปกติเกี่ยวกับระบบประสาทการมองเห็นและความรู้สึก ดังนั้นจึงสามารถสะสมได้ดีในเนื้อเยื่อต่างๆ รวมทั้งเนื้อเยื่อสมองของมนุษย์ ไอออนปรอทอินทรีย์สามารถผ่านเนื้อเยื่อ Blood–brain Barrier (BBB) ที่ช่วยป้องกันไม่ให้สารพิษผ่านจากกระแสโลหิตเข้าสู่เนื้อเยื่อสมอง ดังนั้นสารปรอทอินทรีย์จึงสามารถทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลางได้อย่างถาวร

นอกจากนี้พิษของปรอทสามารถทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะต่างๆ ที่กระจายไปถึง เช่น ทำลายเนื้อเยื่อตับ ไฟเบอร์ของกล้ามเนื้อหัวใจ หลอดไต กระเพาะ และลำไส้ส่วนดูโอดินัม (Duodenum) และทำให้การผลิตเซลล์เม็ดเลือดแดงของไขกระดูกลดลง เมื่อปรอทเข้าสู่ร่างกายจะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ประเภทที่มีกลุ่มซัลไฮดริล (Sulhydril) โดยมีผลขัดขวางหรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เช่น ทำให้ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์น้อยลงหรือทำให้การเผาผลาญอาหารในไมโตคอนเดรีย (Mitochondria) ไม่เกิดขึ้น เป็นต้น

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดไอออนปรอท

Quanmin Li et al. (1996) ศึกษาการเคลื่อนที่ของไอออนปรอท Hg^{2+} ผ่านสารสกัด tri–n–octylamine (TOA) ที่ละลายในตัวทำละลายทอลูอีน สารละลายนำกลับ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความสามารถในการแยกไอออนปรอทของเยื่อแผ่นเหลวขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ สารสกัด TOA และ Span 80 ในสารละลายป้อนที่อยู่ในเยื่อแผ่นเหลวและสารละลายนำกลับ ซึ่งไอออน Hg^{2+} สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.1 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.025 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของสารสกัด TOA 1.5×10^{-2} โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของ Span 80 3 % (v/v) และความเข้มข้นของสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลต่อลิตร ในระบบนี้สามารถแยกไอออนปรอทออกจากไอออนของ Cu^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{3+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Pb^{2+}, Mn^{4+} และ Cd^{2+} ได้อย่างสมบูรณ์

A. Safavi et al. (1998) ใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเมทิวเรด (methyl red : MR) เป็นตัวพา และเตรียมไอออนปรอทจากเมอร์คิวรี (II) ไนเตรต เตรียมเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันจาก 1,2–dichloroethane สารละลายนำกลับเป็นสารละลายผสมของโซเดียมไอโอไดด์

กับกรดซัลฟิวริก และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกอย่างเดียว การวิเคราะห์ปริมาณไอออนปรอทใช้ A Philips Pye Unicam SP9 AAS พบว่าหลังจากเวลาผ่านไป 180 นาที ไอออน Hg^{2+} สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวได้ประมาณ 90 %

Ali Jabbari et al. (2001) ใช้สารประกอบเชิงซ้อน Potassium–dicyclohexyl–18–crown–6 ion เป็นตัวถ่ายเทไอออนปรอท $HgCl_4^{2-}$ เตรียมเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน (Emulsion Liquid Membrane) จากสารสกัด Dicyclohexyl–18–crown–6 (DC18C6) และใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ สารละลายนำกลับใช้ Ammonium thiocyanate (NH_4SCN) ในการวิเคราะห์ไอออนปรอทใช้วิธี cold vapor atomic absorption spectrometry การถ่ายเทมวลของไอออนปรอทผ่านเยื่อแผ่นเหลวภายหลัง 2 ชั่วโมง ได้ 95.4 $\pm$ 1.5 % สัดส่วนไอออนโลหะอื่นต่อไอออนปรอท M^{n+}/Hg^{2+} molar ratio $\geq$ 100 สามารถคัดเลือกไอออนปรอทจากสารละลายที่ประกอบด้วยไอออนโลหะอื่นๆ ได้แก่ Li^+, Tl^+, Ca^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}, Cd^{2+}, Fe^{3+} และ Cr^{3+}

Mojtaba Shamsipur et al. (2002) ศึกษาการเคลื่อนที่ของไอออน Hg^{2+} ผ่านเยื่อแผ่นเหลวคลอโรฟอร์มซึ่งมีสารประกอบเชิงซ้อน tetrathia–12–crown–4 (TT12C4) เป็นไอออนตัวพา ไอออนปรอทสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพผ่านเยื่อแผ่นเหลวเมื่อมีกรด Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) เป็นสารละลายนำกลับ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ไอออนปรอทสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแผ่นเหลวได้ 99 $\pm$ 1 %

Claudia Fontas et al. (2005) ศึกษาการแยกและนำกลับไอออนปรอทโดยใช้มอดูลของเส้นใยกลวง 4 ชนิด ได้แก่ Accurel PP–2E, Celgard 2402, Celgard 2500 และ Durapore โดยเตรียมสารละลายไอออนโลหะ $Pb(NO_3)_2$, $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$, $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ และ $HgCl_2$ ใน $NaNO_3$ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-เบสด้วยกรดไนตริกใช้สารละลายของคิวมีน และ decaline เป็นสารสกัด สารละลายนำกลับ คือ Thiourea ความเข้มข้น 0.3 โมลต่อลิตร พบว่าสามารถแยกและนำกลับไอออนปรอทได้ 100 % ที่ความเข้มข้นไอออนปรอท 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดโดยใช้เยื่อแผ่นเหลว

สุภัทร สัมมากสิพงศ์ (2549) ศึกษาการสกัดไอออนของยูเรเนียม ทอเรียม และธาตุหายากจากแร่โมนาไซต์ที่อยู่ในรูปเค้กของสารประกอบของโลหะ โดยใช้การสกัดด้วยหอสกัดแบบจานมีรูยึดติดกับที่และป้อนสารเป็นช่วงๆ (Pulse Sieve Plate Column) และใช้ Tributylphosphate ที่

ละลายในน้ำมันก๊าดเป็นสารสกัด จากผลการทดลองพบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดยูเรเนียมและทอเรียมออกจากธาตุหายากคือ ความเข้มข้นของ tributylphosphate ในน้ำมันก๊าดสำหรับการสกัดยูเรเนียมและไอออนทอเรียมเท่ากับ 10 % และ 20 % โดยปริมาตร ตามลำดับ ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนเข้ามีค่าเท่ากับ 3 อัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารละลายป้อนต่อสารสกัดคงที่ เท่ากับ 1 ต่อ 1 จังหวะการเขย่า (Pulse Setting Number) เท่ากับ 7 ซึ่งความสามารถของหอสกัดในการสกัดไอออนยูเรเนียมและทอเรียม เท่ากับ 90 % และ 76 % ตามลำดับ และเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเท่ากับ 40 นาที

Patthaveekongka et al. (2003) นำทฤษฎีสมดุลของปฏิกิริยาการสกัดมาใช้กับการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวงโดยใช้มอดูลของเส้นใยกลวง 2 มอดูล พิจารณาสมดุลที่เกิดขึ้นระหว่างวัฏภาคของสารละลายป้อนและสารละลายเยื่อแผ่นเหลว วิธีการทำใช้การวาดกราฟตามทฤษฎีของ Henry's Law เพื่อหาค่าคงที่สมดุลและทำนายผลการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง พบว่าผลจากการคำนวณทางทฤษฎีสอดคล้องกับผลการทดลอง ไอออนของธาตุที่นำมาทดลอง คือ แลนทานัม ซีเรียม นีโอดิเมียม และแพลลาเดียม ที่ความเข้มข้น 100 ppm

Ramakul et al. (2003) ศึกษาการแยกไอออนผสมของแลนทานัมและนีโอดีเมียมออกจากกันโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง ในงานนี้นอกจากจะสามารถแยกไอออนแลนทานัมและนีโอดีเมียมออกจากกันได้แล้ว ยังเป็นครั้งแรกที่นำการสกัดแบบเสริมฤทธิ์มาใช้ในกระบวนการเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง ในการทดลองใช้สารสกัด 2 ชนิดผสมกันคือ สารสกัด HTTA และสารสกัด TOA ละลายในตัวทำละลายเบนซีน พบว่าที่ความเข้มข้นของสารสกัด HTTA 0.01 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของสารสกัด TOA 3 % โดยปริมาตรและความเป็นกรด-เบส ของสารละลายป้อนเท่ากับ 2.5 จะได้เปอร์เซ็นต์การสกัดสูงสุด

Ramakul et al. (2004) ศึกษาการแยกไอออนผสมของทองแดง โครเมียม และสังกะสีออกจากกันด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง ในกระบวนการแยกใช้มอดูลของเส้นใยกลวง 2 มอดูล และไหลผ่านครั้งเดียว มอดูลแรกจะสกัดไอออนทองแดงด้วยสารสกัด LIX 84 โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นสารละลายนำกลับ และมอดูลที่สองจะสกัดไอออนโครเมียมออกด้วย Aliquat 336 โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายนำกลับ ส่วนไอออนสังกะสีจะออกมาทางสารละลายป้อนขาออกหรือราฟฟิเนต (Raffinate) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดและได้ค่าสูงสุดเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับ 0.5 โมลต่อลิตร หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การสกัดจะลดลง ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนที่เหมาะสม คือ 2.5 ร้อยละการนำกลับไอออนทองแดงและโครเมียมเท่ากับ 33 % และ 92 %

Ramakul et al. (2005) ศึกษาการสกัดไอออนของธาตุในอนุกรมแลนทาไนด์ชนิด trivalent ออกจากชนิด tetravalent โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง ในสารละลายป้อนประกอบด้วยไอออนนีโอดิเมียม Nd (III) ซึ่งเป็นไอออนชนิด trivalent และไอออนซีเรียม Ce (IV) ซึ่งเป็นไอออนชนิด tetravalent โดยใช้ tri–n–octylamine (TOA) ละลายในตัวทำละลายเคโรซีนเป็นสารสกัด และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารละลายนำกลับ จากการทดลองพบว่าไม่สามารถแยกไอออนนีโอดิเมียม Nd (III) ร้อยละการสกัดไอออนซีเรียม Ce (IV) ได้ถึง 71 % ภาวะที่ดีที่สุด คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายป้อนเป็น 0.2 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของสารสกัด TOA เท่ากับ 4 % โดยปริมาตร

Pancharoen et al. (2005) ศึกษาการแยกไอออนผสมของแลนทานัม (III) และซีเรียม (IV) ออกจากกันด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง ใช้สารละลายของกรดซัลฟิวริกเป็นสารละลายป้อน สารละลาย TOA ในตัวทำละลายเบนซีนเป็นสารสกัด และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารละลายนำกลับ สามารถแยกไอออนซีเรียมออกมาได้อย่างบริสุทธิ์ในสารละลายนำกลับขาออก ส่วนไอออนของแลนทานัมไม่ถูกสกัด ภาวะที่ดีที่สุดในการสกัด คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายป้อนเท่ากับ 0.2 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของ TOA เท่ากับ 5 % โดยปริมาตร และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เท่ากับ 1 โมลต่อลิตร ร้อยละการสกัดไอออนซีเรียมเท่ากับ 67 %

Ramakul et al. (2006) ศึกษาการแยกไอออนซีเรียมจากสารละลายซัลเฟอร์ซัลเฟตด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง ใช้สารละลาย TOA ในตัวทำละลายเคโรซีนเป็นสารสกัด โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายนำกลับ งานวิจัยนี้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทมวลมาใช้ทำนายผลการทดลอง สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของทางด้านสารละลายป้อนและทางด้านเยื่อแผ่นเหลวได้ 9.47×10^{-2} และ 6.303 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ สรุปได้ว่าขั้นตอนที่ควบคุมการถ่ายเทมวล คือ การถ่ายเทมวลของไอออนซีเรียมจากสารละลายป้อนไปสารละลายเยื่อแผ่นเหลว แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายผลการทดลองได้เป็นที่น่าพอใจ

Sangtumrong S. et al.(2007) ศึกษาการแยกไอออนปรอทและสารหนูจากสารละลายคลอไรด์โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง และใช้สารสกัด Tri-*n*-octylamine (TOA) ละลายในตัวทำละลายทอลูอีน ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกในสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารสกัด TOA ที่ละลายในทอลูอีนในเยื่อแผ่นเหลว ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นของไอออนปรอทและสารหนู และอายุการใช้

งานของเยื่อแผ่นเหลว ผลการทดลองพบว่าไอออนปรอทเท่านั้นที่สามารถถูกสกัดและนำกลับ เนื่องจากปรอทจะแตกตัวให้ไอออนประจุลบ ($HgCl_4^{2-}$) และสารสกัด TOA ซึ่งเป็นสารสกัดชนิดเบสจะเกิดปฏิกิริยากับไอออนโลหะที่มีประจุลบเท่านั้น สำหรับไอออนของสารหนู (H_3AsO_3) มีประจุเป็นกลางจึงไม่เกิดการสกัดและนำกลับ จากการทดลองได้ค่าร้อยละการนำกลับของไอออนปรอทเท่ากับ 95 และมีความสามารถในการเลือกเป็นร้อยละ 100

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการนำกลับปรอทจากน้ำที่ได้จากหลุมเจาะก๊าซธรรมชาติโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่ผยุงด้วยเส้นใยกลวง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1. ศึกษาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับต้นกำเนิดและการสะสมของปรอทในแหล่งก๊าซธรรมชาติโดยการค้นคว้าจากเอกสารอ้างอิงที่มีอยู่แล้ว

1.4.2. ศึกษากระบวนการนำกลับของไอออนปรอทที่อยู่ในน้ำจากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่ผยุงด้วยเส้นใยกลวง

1.4.3. ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสกัดไอออนของปรอทจากน้ำสังเคราะห์ที่มีไอออนปรอทได้แก่

- ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน
- ผลการสกัดของสารสกัดแต่ละชนิด
- ความเข้มข้นของสารสกัดที่ดีที่สุด ในช่วง 0.5 – 6% (v/v) ที่ละลายอยู่ในตัวทำละลายทอลูอีน
- รูปแบบการไหลของสารละลายป้อน

1.4.4. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดไอออนปรอทที่อยู่ในน้ำจากหลุมก๊าซธรรมชาติด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่ผยุงด้วยเส้นใยกลวง

1.4.5. พัฒนากระบวนการนำกลับไอออนปรอทให้มีประสิทธิภาพยิ่ง ๆ ขึ้นไป

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยย่อ

1.5.1 รวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนปรอท ทฤษฎีการกำจัดปรอทวิธีต่างๆ และวิธีเตรียมเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงด้วยเส้นใยกลวง

1.5.2 เตรียมอุปกรณ์และชุดทดลองเส้นใยกลวง

1.5.3 หาค่าความเป็นกรด-เบสในสารละลายป้อนที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับไอออนปรอท

1.5.4 หาค่าความเข้มข้นของสารสกัด tri–n–octylamine (TOA) ในสารละลายอินทรีย์ทอลูอีนที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับไอออนปรอท

1.5.5 หาค่าความเข้มข้นของสารละลายนำกลับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับไอออนปรอท

1.5.6 หาอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับไอออนปรอท

1.5.7 การตรวจวัดความเข้มข้นของไอออนปรอทใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer

1.5.8 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.6.1. ทราบปัจจัยและภาวะที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดและการนำกลับไอออนปรอทจากน้ำที่ได้จากหลุมก๊าซธรรมชาติด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่ผยุงด้วยเส้นใยกลวง

1.6.2. ทราบข้อมูลพื้นฐานและแนวทางของการนำกระบวนการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่ผยุงด้วยเส้นใยกลวงเพื่อการสกัดไอออนโลหะในระดับอุตสาหกรรม