เนื้อหางานวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง "การศึกษาหลักการพื้นฐานและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเมมเบรนในอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม" แบ่งออกเป็น 4 โครงการย่อยเนื้อหาและผลการวิจัยของแต่ละโครงการโดยสรุป มีดังนี้

โครงการย่อยที่ 1 ศึกษาวิจัยเรื่องระบบเมมเบรนคอนแทกเตอร์ (MC) สำหรับกระบวนการดูดกลืนก๊าซ CO_2 การบำบัดน้ำสีย้อมโดยการเติมโอโซน และกระบวนการลดแอลกอฮอล์ในไวน์โดยกระบวนการ MC ที่เรียกว่า OD (osmotic distillation) กระบวนการ MC คือกระบวนการถ่ายเทมวลระหว่างเฟสที่ใช้เมมเบรนรูพรุนแบบไม่ชอบน้ำเป็นตัวกั้นระหว่างเฟสซึ่งอาจจะเป็น ก๊าซ – ของเหลว หรือ ของเหลว – ของเหลว การถ่ายเทมวลจะเกิดในรูปของก๊าซหรือไอ ผ่านรูพรุนของเมมเบรนไปยังอีกอีกเฟสหนึ่งที่อยู่ตรงข้ามกัน ข้อดีของกระบวนการ MC คือให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟสสูง (โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้เมมเบรนแบบเส้นใยกลวง) ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวล และสามารถป้องกันการท่วมและการพาข้ามเฟสได้ โดยต้องระวังไม่ให้เมมเบรนเกิดการเปียก (Wetting – ของเหลวเข้าไปในรูพรุน) เพราะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

การวิจัยเรื่องระบบ MC สำหรับการดูดกลืนก๊าซ CO_2 (ออกจากก๊าซผสม CO_2+N_2 และ CO_2+CH_4) มีการประยุกต์ใช้ที่สำคัญคือการแยก CO_2 จาก Flue gas ก่อนการปล่อยทิ้ง และการลด CO_2 ในก๊าซธรรมชาติก่อนการนำไปใช้ การวิจัยโดยการทดลองพบว่าการถ่ายเทมวล (CO_2 ฟลักซ์) ขึ้นอยู่กับตัวแปรในการดำเนินการเช่น อัตราการไหลของก๊าซเฟสและสารละลายดูดกลืน ความเข้มข้นของสารละลายดูดกลืน และเป็นชนิดของเมมเบรน โดยความต้านทานหลักต่อการถ่ายเทมวลอยู่ในเฟสของเหลว เมมเบรนที่ผลิตจาก PTFE (polytetrafluoroethylene) ให้ค่าฟลักซ์ที่คงที่ในการดำเนินการระยะยาว แสดงว่าไม่เกิดการเปียกเมมเบรน ในขณะที่เมมเบรน PVDF (polyvinylidene fluoride) เกิดการเปียกในการดำเนินการระยะยาว และยังได้ศึกษาการใช้สารดูดกลืนผสมว่ามีผลต่อฟลักซ์และการเปียกของเมมเบรนอย่างไร ตัวอย่างเช่นผลงานวิจัยพบว่าการผสม SG (sodium glycinate) กับ MEA (monoethanolamine) ช่วยเพิ่มฟลักซ์และลดการเปียกของเมมเบรน งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการศึกษาการจำลองแบบโดยเสนอแบบจำลอง multistage cascade model ที่สามารถใช้ทำนายค่าฟลักซ์ โปรไฟล์ความเข้มข้น และเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัวของระบบ นอกจากนี้ยังเสนอแบบจำลองที่สามารถศึกษากรณีที่เมมเบรนเกิดการเปียกบางส่วน ซึ่งทำให้ฟลักซ์และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมลดลง

การวิจัยเรื่องระบบ MC สำหรับการเติมโอโซนเพื่อบำบัดน้ำสีย้อมใช้เมมเบรนแบบเส้นใยกลวง 2 ชนิด คือ PVDF และ PTFE และการศึกษาน้ำสีย้อม 3 ชนิด ผลการวิจัยพบว่าความต้านทานการถ่ายเทมวลหลักอยู่ในเฟสของเหลว สารช่วยย้อม Na_2CO_3 ช่วยเพิ่มฟลักซ์ แต่ NaCl ทำให้ฟลักซ์ลดลง

เมมเบรน PVDF ให้ค่าฟลักซ์สูงกว่าเมมเบรน PTFE แต่ในระยะยาว เมมเบรน PTFE ให้ค่าฟลักซ์คงที่ แสดงว่ามีความทนทานแต่การถูกออกซิไดซ์โดยโอโซน การศึกษานี้ยังรวมถึงการหาค่าคงที่ของปฏิกริยาของสี 3 ชนิดดังกล่าว ส่วนระบบ MC ที่เป็นกระบวนการ OD เพื่อลดปริมาณแอลกอฮอล์ในไวน์ ได้ศึกษา stripping phase 3 ชนิด ได้แก่ น้ำสะอาด, 40% (wt) $CaCl_2$ และ 50% (wt) glycerol โดยน้ำสะอาดเป็น stripping phase ที่เหมาะสม การเพิ่มความเร็วของสารป้อนและ stripping phase ช่วยเพิ่มฟลักซ์ของแอลกอฮอล์และพบว่ามีการสูญเสียสารให้กลิ่นรส (aroma) สูงถึง 23 - 47% (ในระยะแรก) และสูงถึง 44 – 70% (ในระยะยาว) โดยสามารถลดแอลกอฮอล์ในไวน์ได้ 34 – 38%

โครงการย่อยที่ 2 ส่วนแรกคือการศึกษาประยุกต์ใช้กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (NF) และออสโมซิสผันกลับ (RO) ในการบำบัดน้ำบ่อที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และอิออนโลหะ โดย NOM ที่ปนเปื้อนในน้ำประกอบด้วยสารหลายประเภท เช่น กรดฮิวมิค, โปรตีน, คาร์โบ-ไฮเดรท โดยกรดฮิวมิคเป็นสารประกอบหลักที่ทำให้เกิดสีในน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 500 – 5,000 และมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่ carbonyl และ hydroxyl NOM เป็นสาเหตุให้เกิดสารก่อมะเร็งได้ เมื่อผ่านกระบวนการเติมคลอรีนในกระบวนการผลิตน้ำสะอาด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจนำกระบวนการ NF และ RO ซึ่งเป็นกระบวนการเมมเบรนสำหรับแยกสารโมเลกุลเล็ก มาใช้ในการแยก NOM ที่เจือปนในน้ำ อย่างไรก็ตามผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการเกิด membrane fouling เนื่องจากสาร NOM ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิด Fouling ได้แก่ความเข้มข้นของ NOM ค่า ionic strength pH ของสารละลายตลอดจนการเจือปนของอิออนโลหะในน้ำ จึงได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (fouling model) ต่างๆ มาอธิบายการลดลงของฟลักซ์ และการเกิด Fouling ควบคู่กับการทดลอง พบว่าการที่ผลการทดลองจะสอดคล้องกับแบบจำลองใดขึ้นอยู่กับสภาพ/คุณลักษณะของสารละลาย แบบจำลองที่ศึกษาได้แก่ Complete pore blocking model, Standard blocking model, Intermediate blocking model และ Cake filtration model นอกจากนั้นยังได้พิจารณาผลของความดันออสโมติกที่มีต่อการลดลงของฟลักซ์ในกรณีที่น้ำประกอบด้วย NOM และอิออนโลหะ โดยได้พัฒนาแบบจำลองที่รวมผลของความดันออสโมติกและการเกิดเคก และพบว่าแบบจำลองดังกล่าวใช้อธิบายผลการทดลองได้ดี นอกจากนี้ เมื่อนำกระบวนการ NF ไปใช้ในการบำบัดน้ำที่เจือปนด้วยอิออนตะกั่วพบว่าฟลักซ์และการกักกันอิออนตะกั่วขึ้นอยู่กับ ionic strength, pH และอันตรกริยาระหว่างอิออนและเมมเบรนที่มีประจุ

การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรนในการบำบัดน้ำทิ้งที่เจือปนด้วยอิออนตะกั่ว อาจเลือกใช้กระบวนการ MEUF (micellar enhanced ultrafiltration) ซึ่งอาศัยการใช้สารลดแรงตึงผิว (ซึ่งอาจมี/ไม่มีประจุ) ให้เกิดการจับตัวอิออนเป็นไมเซลล์ที่มีขนาดใหญ่และถูกกักกันด้วยเมมเบรน UF ได้ ผลการใช้สารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง SDS (ประจุบวก) กับ TX – 100 และ NP (12) (ไม่มีประจุ) พบว่าสามารถช่วยเพิ่มการกักกันอิออนตะกั่วได้สูงเกินกว่า 92% และสูงสุดที่ 98.4% ผลการศึกษาความ

ต้านทานต่อการถ่ายเทมวลพบว่าระบบมี Fouling resistance ที่ค่อนข้างต่ำ โดยการเกิด CP (concentration polarization) เป็นความต้านทานหลัก

โครงการที่ 3 ศึกษาการดัดแปรเมมเบรนเพื่อให้ได้เมมเบรนที่มีสมรรถนะที่ดีขึ้นสำหรับการประยุกต์ใช้ 2 แนวทางหลัก แนวทางแรกเป็นการปรับสภาพเมมเบรนเพื่อเพิ่มความชอบน้ำ ซึ่งจะช่วยลดการเกิด fouling ในกระบวนการ UF ของสารละลายโปรตีน การใช้เมมเบรนที่ไม่ชอบน้ำเช่นเมมเบรน PVDF ได้รับความนิยมเพราะมีความทนทานทางเคมี มีคุณสมบัติทางกลที่ดี แต่มีข้อเสียคือสามารถเกิด fouling ได้ง่าย โดยเฉพาะกับการกรองสารละลายโปรตีน (ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ที่สำคัญของกระบวนการ UF) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในในการปรับสภาพเมมเบรน PVDF ด้วยไคโตซาน (ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ชอบน้ำซึ่งหาได้ง่ายและราคาถูก) 3 วิธี คือการแช่เมมเบรนในสารละลายไคโตซาน (ในกรดอาซิติก) การกรองสารละลายผ่านเมมเบรน และการแช่ผสมกับการกรอง โดยวิธีการผสมให้ผลดีที่สุด ได้มีการดูโครงสร้างของเมมเบรน (SEM และ FTIR) วัดค่า Contact angle ทดสอบการเกิด fouling กับสารละลายโปรตีน (BSA) ผลการวิจัยพบว่าเมมเบรนที่มีการปรับสภาพด้วยสารละลายไคโตซานมีค่าความชอบน้ำเพิ่มขึ้น (ค่า Contact angle ลดลง) มีการเกิด fouling ลดลง และมีค่า flux recovery สูงกว่าเมมเบรนเดิม

การดัดแปรเมมเบรนอีกแนวทางหนึ่งเป็นการปรับสภาพเมมเบรน PVDF แบบเส้นใยกลวงเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้โดยกระบวนการ OD (osmotic distillation) ปัญหาสำคัญของกระบวนการ OD คือ มีค่าฟลักซ์ต่ำและการเปียกของเมมเบรนเนื่องจากสารประเภทน้ำมัน (limonene) ในน้ำผลไม้ ซึ่งทำให้ฟลักซ์ลดลงและมีการสูญเสียสารให้กลิ่นรส งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับสภาพเมมเบรน PVDF ด้วยสารละลายไคโตซานและทดสอบกับสารละลายป้อน (ที่ประกอบด้วย limonene, ethyl, acetate และ ethyl hexanoate (aroma)) โดยเปรียบเทียบการเคลือบไคโตซานที่มีการเชื่อมขวางและไม่มีการเชื่อมขวาง ผลการวิจัยพบว่าการเคลือบด้วยไคโตซานช่วยเพิ่มฟลักซ์น้ำ กรณีเชื่อมขวางทำให้ฟลักซ์ลดลง สำหรับสารป้อนที่ประกอบด้วย limonene และ aroma ถ้าเพิ่ม limonene ฟลักซ์ลดลง และการสูญเสีย aroma ก็เพิ่มขึ้นด้วย เมมเบรนที่มีการเคลือบช่วยลดการเปียกของเมมเบรน, เพิ่มฟลักซ์น้ำและลดการสูญเสีย aroma ได้ดีกว่าเมมเบรนเดิม และการเชื่อมขวางก็ช่วยลดการสูญเสีย aroma ได้ดีกว่าเมมเบรนที่เคลือบโดยไม่มีการเชื่อมขวาง

โครงการย่อยที่ 4 ศึกษาการนำระบบ MBR (membrane bioreactor) ในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียอุตสาหกรรมร่วมกับระบบ activated sludge น้ำทิ้งสังเคราะห์ประกอบด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 526 ± 30 mg/L เครื่องปฏิกรณ์มีปริมาตร 12 L เป็นระบบที่มีเมมเบรน UF (พื้นที่ 0.85 m^2) แบบเส้นใยกลวงจุ่มอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ ได้ศึกษาผลของ SRT (solid retention time) ผลการทดลองพบว่าสามารถลดความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์เหลือ 1.39 ± 0.73 mg/L (~99.7% removal) การเพิ่ม SRT ช่วยเพิ่ม MLSS จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ และมีการลด TSS ใกล้

100% การลดลงของฟลักซ์เกิดจากการสะสมของ MLSS บนผิวเมมเบรน SRT ไม่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์ แค่มีผลต่อ flux recovery (หลังการทำความสะอาดเมมเบรน) ที่ SRT 60 วัน จะมีค่า flux recovery ที่ดีกว่า SRT ที่ต่ำกว่า (10, 30 วัน)