สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ **แบบ ว-1ด**

แบบเสนอโครงการวิจัย (Research project) (ฉบับปรับปรุงปี พ.ศ. 2555)

ประกอบการเสนอของบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ตามมติคณะรัฐมนตรี

.....

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสารดึงในการบำบัดน้ำเสียหมึกพิมพ์ด้วยกระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส

(ภาษาอังกฤษ) Enhancement forward osmosis (FO) process by using Polyelectrolytes as a draw solution for printing wastewater treatment.

ชื่อแผนงานวิจัย (ภาษาไทย) (กรณีเป็นโครงการวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย) .....-.....

(ภาษาอังกฤษ) .....-.....

ชื่อเครือข่ายวิจัย* **(กรณีเสนอโครงการนี้ภายใต้เครือข่ายวิจัย)** สถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน (Membrane Science and Technology Research Center; MSTRC)

ชื่อหัวหน้าโครงการ ดร. วัสสา คงนคร **คณะ/หน่วยงาน** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

<u>ส่วน ก</u> : ลักษณะโครงการวิจัย

● โครงการวิจัยใหม่

○ โครงการวิจัยต่อเนื่องระยะเวลา.....ปี ปีนี้เป็นปีที่..... รหัสโครงการวิจัย**.....

I ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) (กรุณาระบุความสอดคล้องเพียง 1 ยุทธศาสตร์ ที่มีความสอดคล้องมากที่สุด โดยโปรดดูรายละเอียดในผนวก 1)

II ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) (กรุณาระบุความสอดคล้องเพียง 1 ยุทธศาสตร์ 1 กลยุทธ์ และ 1 แผนงานวิจัย ที่มีความสอดคล้องมากที่สุด โดยโปรดดูรายละเอียดในผนวก 2)

III ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติรายประเด็น (โปรดดูรายละเอียดในผนวก 3)

IV ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายรัฐบาล (กรุณาระบุความสอดคล้องเพียง

1 หัวข้อที่มีความสอดคล้องมากที่สุด โดยโปรดดูรายละเอียดในหัวข้อนโยบายรัฐบาล)

- นโยบายเร่งด่วนที่จะเริ่มดำเนินการในปีแรก : เรื่อง นโยบายระยะการ

บริหารราชการ 4 ปี ของรัฐบาล : นโยบาย

V ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์ด้านการวิจัยของมหาวิทยาลัย

-

VI ผลงานของโครงการนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ใน (เลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)

❒ เชิงนโยบาย (ระบุ) .....

✓ เชิงพาณิชย์ (ระบุ) สามารถพัฒนาระบบเป็น Compact unit ให้มีศักยภาพใช้ในอุตสาหกรรมที่มีน้ำเสียความเป็นพิษสูง เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมสีย้อม สิ่งพิมพ์ ฯลฯ

✓ เชิงวิชาการ (ระบุ) สามารถพัฒนาสารใหม่ที่เหมาะสมต่อการใช้ร่วมกับ FO unit

✓ เชิงพื้นที่ (ระบุ) ส่งเสริมการใช้น้ำทิ้งในโรงงาน (Zero discharge) ลดการปล่อยน้ำทิ้งสู่ลำน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาหรือพื้นที่ลุ่มน้ำสงขลา

❒ เชิงสาธารณะ/สังคม (ระบุ).....

❒ อื่น ๆ (ระบุ).....

<u>ส่วน ข</u> : องค์ประกอบในการจัดทำโครงการวิจัย

1. ผู้รับผิดชอบและคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ	ดร. วัสสา คงนคร
สถานที่ทำงาน	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 84100
โทรศัพท์	0 7428 7122 โทรสาร 0 7445 9396
อีเมล์	watsa.k@psu.ac.th
บทบาทของนักวิจัย	การบริหารจัดการโครงการวิจัย ออกแบบระบบและการทดลอง ทำหน้าที่อาจารย์ที่ปรึกษานักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล การจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และการเผยแพร่ผลงานวิจัยในระดับชาติและนานาชาติ
สัดส่วนงาน	100%
หน่วยงานหลัก	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
หน่วยงานสนับสนุน	- สถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน (Membrane Science and Technology Research Center; MSTRC) - บริษัท ซี.เอ็ม.เค.อีโวเทค จำกัด (สนับสนุนน้ำเสียในการทำวิจัย) 17/136 ถ.ประดิพัทธ์ ซอย 1 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

2. ประเภทการวิจัย ประยุกต์ (Applied research)

3. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

4. คำสำคัญ (keywords) ของโครงการวิจัย

สารดึง (Draw solution) สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) น้ำเสียหมึกพิมพ์ (printing wastewater) และ กระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส (Forward Osmosis ; FO)

5. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

น้ำเสียอุตสาหกรรมกลุ่มสีและหมึกพิมพ์ มีลักษณะเฉพาะ คือ มีมลสารในน้ำทิ้งกลุ่มสารสี ซีโอดีและโลหะหนักสูง [1,2] หากไม่บำบัดด้วยระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพอาจส่งผลให้เกิดการตกค้างสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีการนำน้ำไปผลิตเป็นแหล่งน้ำเพื่อการบริโภคและอุปโภค ดังนั้นกระทรวงอุตสาหกรรมจึงได้มีการประกาศมาตรการควบคุมปริมาณความสกปรกของน้ำทิ้งของภาคอุตสาหกรรมเพื่อฟื้นฟูคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยกำหนดให้พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาเป็นพื้นที่นำร่อง ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมพ.ศ.2551 หรือ ที่เรียกกันว่า Zero Discharge ที่มุ่งเน้นให้มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรม ทำให้กลุ่มอุตสาหกรรมหนักได้พยายามหากระบวนการที่เหมาะสมที่สามารถลดมลพิษ โดยเทคโนโลยีเมมเบรนมักจะถูกนำมาใช้ในการบำบัด คือ กระบวนการรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis: RO) อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการดังกล่าวมีการใช้พลังงานที่สูงและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้ระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิส (Forward Osmosis; FO) ที่มีกลไกการทำงานที่ใช้พลังงานน้อยกว่าและสามารถบำบัดมลพิษได้ดีมีประสิทธิภาพในระดับที่ดีเหมือน RO

กระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส (Forward Osmosis; FO) เป็นหนึ่งในกระบวนการที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำโดยใช้ระบบเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งกระบวนการนี้กำลังเป็นที่สนใจของนักวิจัยเป็นอย่างมากและกำลังได้รับการพัฒนาอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดย Forward Osmosis (FO) เป็นกระบวนการที่ใช้แรงดันตามธรรมชาติขับเคลื่อน ซึ่งส่งผลดีในเรื่องของการลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ เนื่องจากมีการใช้แรงไฮโดรลิกที่ต่ำ [3,4] นอกจากนี้องค์ประกอบสำคัญที่กำลังได้รับการพัฒนาในกระบวนการ Forward Osmosis (FO) คือ สารดึง (Draw Solution) เนื่องจากมีคุณสมบัติในการช่วยเพิ่มแรงขับเคลื่อน คือ แรงดันออสโมติกให้แก่ระบบและแก้ปัญหาการเกิดการอุดตันของเกลือ (Salt leakage) ขึ้นในระบบ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เกิดการคิดค้น Draw Solution ที่สามารถทำให้แรงดันออสโมติกสูง และไม่ส่งผลให้เกิด Salt leakage ซึ่งหากมีคุณสมบัติตามที่กล่าวมาก็ให้ประสิทธิภาพของระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิส (Forward Osmosis; FO) เพิ่มขึ้นตามต้องการได้ ในปัจจุบันมีการคิดค้นและศึกษาคุณสมบัติต่างๆของ Draw Solution หลายชนิด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและสังเคราะห์ Draw Solution จากโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) ชนิด Polyacrylic acid (PAA) ที่เป็นสารโพลิเมอร์ละลายน้ำให้เป็นกลุ่ม Polyacrylic acid salt ซึ่งช่วยเพิ่มแรงดันออสโมติกและลดการอุดตันของเกลือเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิส (Forward Osmosis; FO) ให้ทำงานมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

6. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

6.1 เพื่อสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติเฉพาะสารดึง (Draw Solution) กลุ่มโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) ที่ให้ค่าแรงดันออสโมติกสูงเพื่อใช้ในระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิส

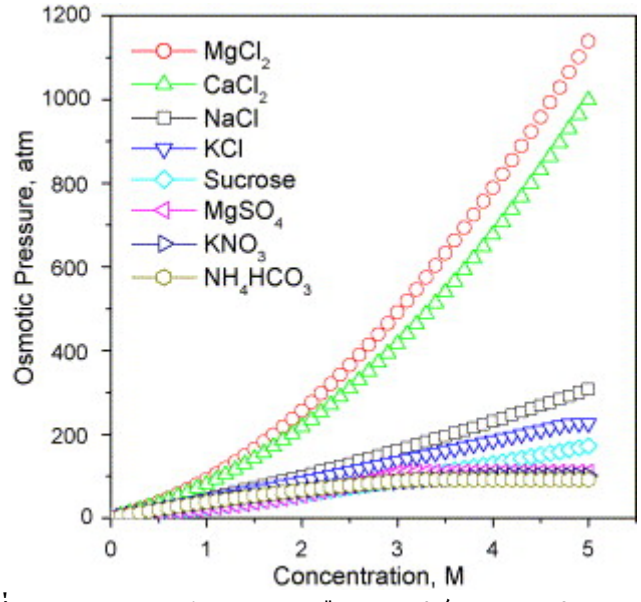
6.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียหมึกพิมพ์ด้วยระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิส

7. ขอบเขตของโครงการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เพื่อสังเคราะห์สารดึง (Draw Solution) กลุ่มโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) ในการบำบัดน้ำเสียหมึกพิมพ์ด้วยระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิส (Forward Osmosis; FO) โดยศึกษาเงื่อนไขในการสังเคราะห์และคุณสมบัติเฉพาะของสารดึงเพื่อประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมกลุ่มสีและหมึกพิมพ์

8. ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การใช้สารกลุ่มเกลือโพลีอิเล็กโทรไลต์แทนกลุ่มเกลืออนินทรีย์ในการใช้เป็นสารดึงในระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิส จะทำให้การอุดตันบริเวณบนพื้นผิวของเมมเบรนในบริเวณที่เกิด Internal concentration polarization (ICP) ลดลง ซึ่งทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยที่ผ่านมา [5] พบว่า การสังเคราะห์ที่ดีของสารกลุ่มนี้นั้น ควรให้มีขนาดมวลโมเลกุล เล็ก (MW) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันกับเกลืออนินทรีย์ดัง **รูปที่ 1** พบว่าค่าออสโมติกของสารเกลืออนินทรีย์ของ $MgCl_2$ และ $CaCl_2$ มีค่าสูงกว่า NaCl จึงมีแนวคิดในการสังเคราะห์สารกลุ่มเกลือโพลีอิเล็กโทรไลต์ โดยศึกษาเงื่อนไขในการสังเคราะห์ที่ต่างกัน คือ pH และเวลาในการรีฟลักซ์ โดยคาดหวังคุณสมบัติเฉพาะของสารดึง คือ ค่าความดันออสโมติก และความสามารถในการคงตัว ที่ให้อายุการใช้งานของสารดึงยาวนานขึ้นโดยไม่เปลี่ยนแปลงค่าแรงดันและสภาพในการละลาย เพื่อลดปัญหาการอุดตันและ Salt leakage ในระบบได้



รูปที่ 1 ค่าแรงดันออสโมติกของเกลืออนินทรีย์แต่ละชนิดในแต่ละความเข้มข้น [3]

9. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

9.1 กระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส (Forward Osmosis, FO)

9.1.1 หลักการ

กระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส เป็นการแยกสารโดยกลไกการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นเมมเบรนจากสารละลายที่มีปริมาณความเข้มข้นน้อย (ปริมาณน้ำสูง) เรียก Feed solution แพร่ผ่านเยื่อแผ่นไปยังด้านสารละลายที่มีปริมาณความเข้มข้นสูง (ปริมาณน้ำน้อย) หรือ สารดึง (Draw solution) เมื่อปริมาณของสารละลายเท่ากัน ผลต่างของความดันที่เกิดขึ้น ก็คือ ผลต่างของความดันออสโมติก ($\triangle\pi$) ซึ่งจะเป็นแรงขับดันทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อแผ่น ค่าความดันออสโมติกของสารละลายคำนวณได้จากสมการ Van't Hoff's ดังนี้

$$\pi = nCRT \quad (1)$$

เมื่อ π = ความดันออสโมติก, kPa;

n = น้ำหนักโมเลกุลของสาร I (g/mol)

C = ความเข้มข้นเชิงมวลของสารละลาย, M;

R = ค่าคงที่แก๊ส, 8.314kPa.l.mol^{-1}.K^{-1};

T = อุณหภูมิ, K.

ซึ่งสมการทั่วไปของการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นต่างกัน:

$$J_W = A\,(\Delta\pi - \Delta P) \quad (2)$$

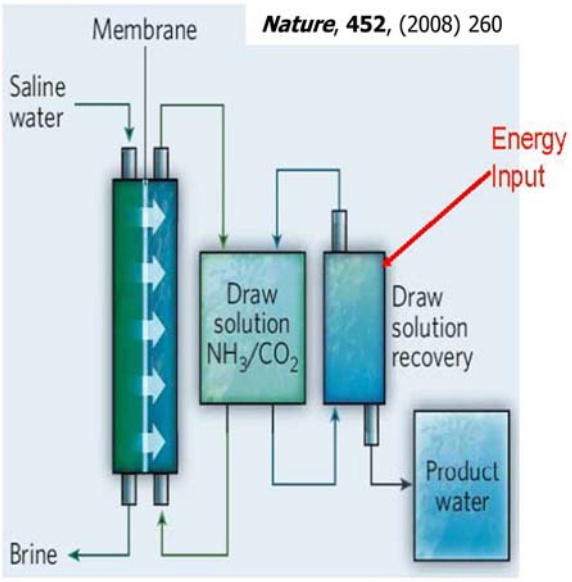
เมื่อ J_W = ค่าฟลักซ์ของระบบ (LMH)

A = ประสิทธิภาพการซึมผ่านของน้ำ (m^2)

$\Delta\pi$ = ผลต่างความดันออสโมติกระหว่างเยื่อแผ่น (Pa)

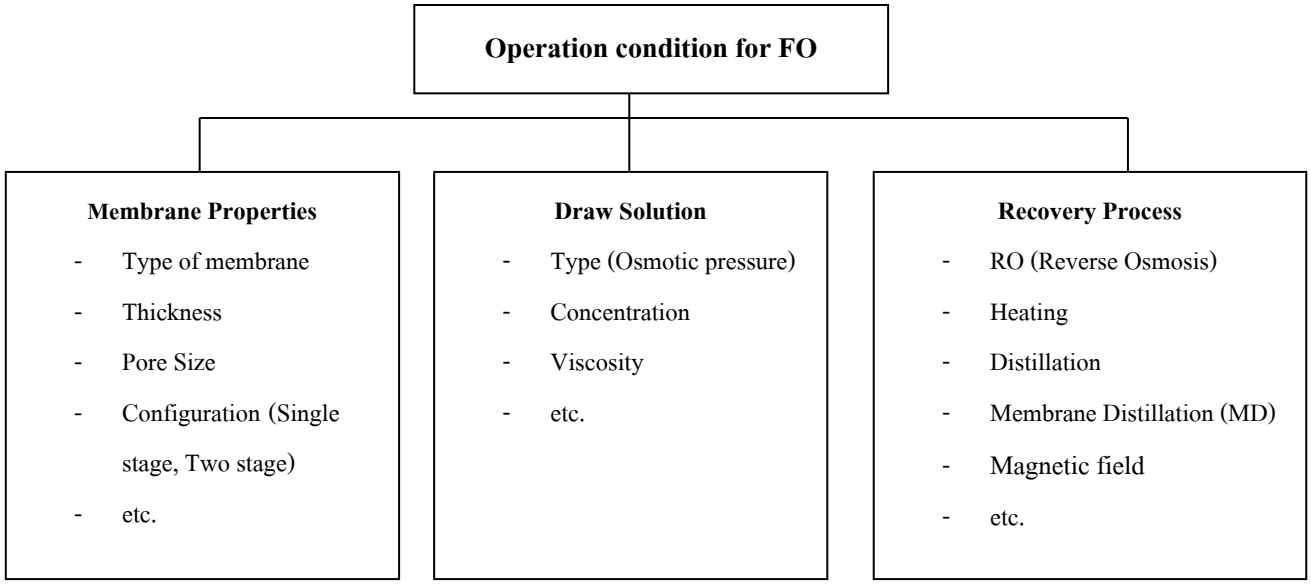
ΔP = ผลต่างความดันระหว่างเยื่อแผ่น (Pa)

โดยองค์ประกอบของระบบ แสดง**ดังรูปที่ 2**



รูปที่ 2 ระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิส

ปัจจัยที่สำคัญของระบบ FO ประกอบด้วยการทำงาน 3 ส่วนด้วยกัน ดัง**รูปที่ 3** และอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้



รูปที่ 3 ปัจจัยหลักของการเดินระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิส

1. เมมเบรน (membrane)

เมมเบรนที่ใช้ในระบบมักให้มีความชอบน้ำสูง ซึ่งพัฒนามาจาก Cellulose Acetate (CA) และ Cellulose tri-Acetate (CTA) ซึ่งปัจจุบันได้มีการศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวมากยิ่งขึ้นด้วยวิธีต่างๆ เช่น พลาสมา, UV เป็นต้น [6] สามารถสรุปได้ดัง**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 . สรุปการใช้เมมเบรนของงานวิจัยในกระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส [7]

Membranes	Feed	Draw solution	Water flux (LMH)
CTA flat sheet membrane A, HTI.	DI water	1.0 M NaCl	16.8
CTA flat sheet membrane B, HTI.	DI water	1.0 M NaCl	12.4
CTA flat sheet membrane C, HTI.	DI water	1.0 M NaCl	6.6
CTA flat sheet membrane, HTI.	50 mM NaCl	4.0 M NaCl	27
Dual-layer (PBI-PES/PVP) NF hollow fiber membrane	DI water	5.0 M $MgCl_2$	24.2
TS80 NF TFC membrane, TriSep	DI water	1.5 M $MgSO_4$	11
TFC polyamide flat sheet membrane	DI water	1.5 M NaCl	18
TFC polyamide flat sheet membrane	0.59 M NaCl	2.0 M NaCl	11.8
CA Flat sheet, HTI	sucrose	2 M NaCl	17.22
CA Flat sheet, HTI	sucrose	4 M NaCl	18.11
CA Flat sheet, HTI	sucrose	4 M NaCl	23.88
CTA Flat-sheet, HTI	BSA	5.0M NaCl	25.2
CTA Flat-sheet, HTI	Oil & Gas waste	NaCl 50g/L	10

2. สารดึง (Draw Solution)

สารดึง คือสารละลายที่เป็นตัวเพิ่มความเข้มข้นให้กับระบบ ส่งผลให้เกิดความต่างของ Osmotic pressure ทำให้เกิดการไหลของน้ำ (Water flux) ผ่านเนื้อเยื่อเลือกผ่าน (Membrane) ในกระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส โดยคุณสมบัติที่ดีของ Draw Solution มีดังต่อไปนี้

- ให้ค่าฟลักซ์ของน้ำสูง
- Osmotic Pressure สูง
- ความสามารถในการละลายน้ำสูง
- สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย
- Salt leakage ต่ำ และ
- ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

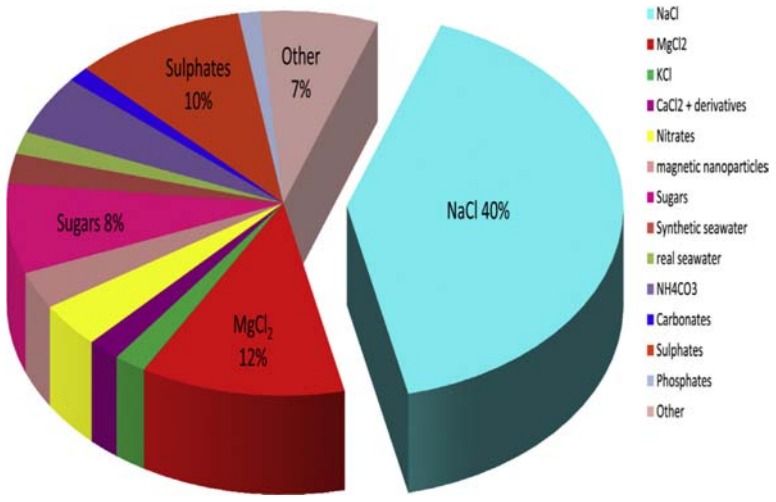
ซึ่งรายละเอียดเพิ่มเติมจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 9.2

3. ระบบฟื้นสภาพ/นำกลับมาใช้ใหม่ของสารดึง (Draw solution recovery)

คือ ระบบที่ทำเข้มข้นหรือรักษาความเข้มข้นของสารดึงให้คงที่ ซึ่งนิยมใช้ กระบวนการแยกด้วยเมมเบรน เช่น Nanofiltration, Ultrafiltration เป็นต้น หรือการใช้ความร้อน และการกลั่น [8]

9.2 สารดึง (Draw Solution)

Draw Solution เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส ซึ่งทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนระบบ จากการศึกษางานวิจัยของ K. Lutchmiah และคณะ (2014) พบว่า NaCl มีการนำมาใช้มากที่สุดถึง 40 % เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น ดังแสดงใน**รูปที่** 4 ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาสามารถแบ่งชนิดของสารเคมีที่นำมาทำเป็น Draw Solution ได้หลายชนิด เช่น กลุ่มสารอนินทรีย์ เช่น เกลือ กลุ่ม Highly soluble Zwitterionic substances เช่น Glysine กลุ่ม High charged compounds เช่น EDTA กลุ่มที่มีสารอินทรีย์สูง เช่น ปุ๋ย กลุ่ม Readily available Sources เช่น น้ำทะเล (Seawater), RO brine กลุ่ม Thermolytic solutes เช่น Ammonium bicarbonate กลุ่ม Engineered draw solutions เช่น Magnetic nanoparticles เป็นต้น โดย สารดึงที่ต่างชนิดกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพที่ต่างกันเนื่องจากแต่ละชนิดจะมีข้อดีและข้อเสียที่ต่างกัน โดยตารางเปรียบเทียบลักษณะของกลุ่มสารดึง แสดงดัง**ตารางที่ 2**



รูปที่ 4 สัดส่วนของสารที่นำมาใช้เป็นสารดึงในงานวิจัยที่ผ่านมา [8]

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบลักษณะกลุ่มสารดึง

กลุ่มสารดึง	ตัวอย่าง	ข้อดี	ข้อเสีย	อ้างอิง
Inorganic substances	Salts, NaCl, $MgCl_2$, KCl, NH_4CO_3	-ความสามารถในการละลายสูง -ต้นทุนต่ำ -ความดันออสโมติกสูง	-การรั่วไหลของเกลืออาจจะยับยั้งการย่อยสลายแบบไร้อากาศ -เกิดการอุดตัน มีกลิ่นเหม็น -เกิดการอุดบริเวณพื้นผิวด้าน support ของเมมเบรน -นำกลับมาใช้ใหม่ยาก	- Chung et al., 2012 [9] - A.Achilli et al.,2010 [10] - S. Phuntsho et al., 2011[11] -M. Maneechan et al., 2014 [12]
Highly soluble zwitterionic substances	Glycine	-อัตราการไหลสูง, การรั่วไหลต่ำ -ส่วนที่เกิดการรั่วไหลสามารถทำให้เกิดประโยชน์ทางชีววิทยาในภายหลัง โดยเป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน	-อายุการใช้งานมีจำกัดเนื่องจากมีการย่อยสลาย	Lutchmiah et al., 2014
High charged compounds	EDTA	-อัตราการไหลของน้ำสูง -การไหลกลับลดลง -ไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการนำกลับมาใช้ใหม่	-มีราคาแพงกว่าเกลือธรรมดา -ต้องควบคุมค่า pH -เป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อม	Cornelissen et al., 2013, Hau et al., 2014, Yuchun et al., 2012
Nutrient-rich substances	ปุ๋ย	-ได้จากปุ๋ยโดยตรง -ไม่จำเป็นต้องหาวิธีนำกลับมาใช้ใหม่	-มีข้อจำกัดของสมดุลออสโมติก -เป็นผลกระทบต่อธาตุอาหาร	Phuntsho et al., 2011, Phuntsho et al., 2012
Readily available sources	น้ำทะเล, RO Brine	-หาได้ง่าย	-เกิดการอุดตัน -น้ำทะเลจะทำให้ผลดีเฉพาะบริเวณพื้นที่ชายฝั่ง	Cath et al., 2005b, Cath et al., 2010, Logan and Elimelech, 2012
Thermolytic solutes	NH_4HCO_3	-ความสามารถในการละลายน้ำสูง -นำกลับมาใช้ใหม่โดยการให้ความร้อน	-มีความเป็นพิษ -เกิดการสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายสูง	McCutcheon et al., 2005, Qin et al., 2013,
Engineered draw solutions	อนุภาคแม่เหล็กนาโน	-ให้ความดันออสโมติกสูงในขณะที่ใช้ความเข้มข้นต่ำ -ไม่เกิดการรั่วไหล -Overcomes scaling and -ทำให้ตกผลึกใน MD	- เกิดการรวมตัวของแม่เหล็กระหว่างการแยก -ความถี่สูงทำให้คุณสมบัติแม่เหล็กลดลง -ความหนืดของสารละลายทำให้แรงขับเคลื่อนและอัตราการไหลลดลง	Ge et al., 2011, Ling et al., 2010

กลุ่มสารดึง	ตัวอย่าง	ข้อดี	ข้อเสีย	อ้างอิง
Polyelectrolyte draw solutions	Polyacrylic Salt	-ความสามารถในการละลายสูง -ความยืดหยุ่นในโครงสร้าง -ความดันออสโมติกสูง -อัตราการไหลสูง -การรั่วไหลน้อย	-มีความหนืดสูง -เกิดการรั่วไหลเล็กน้อย	Q.Ge *et al.,* 2012 [5]

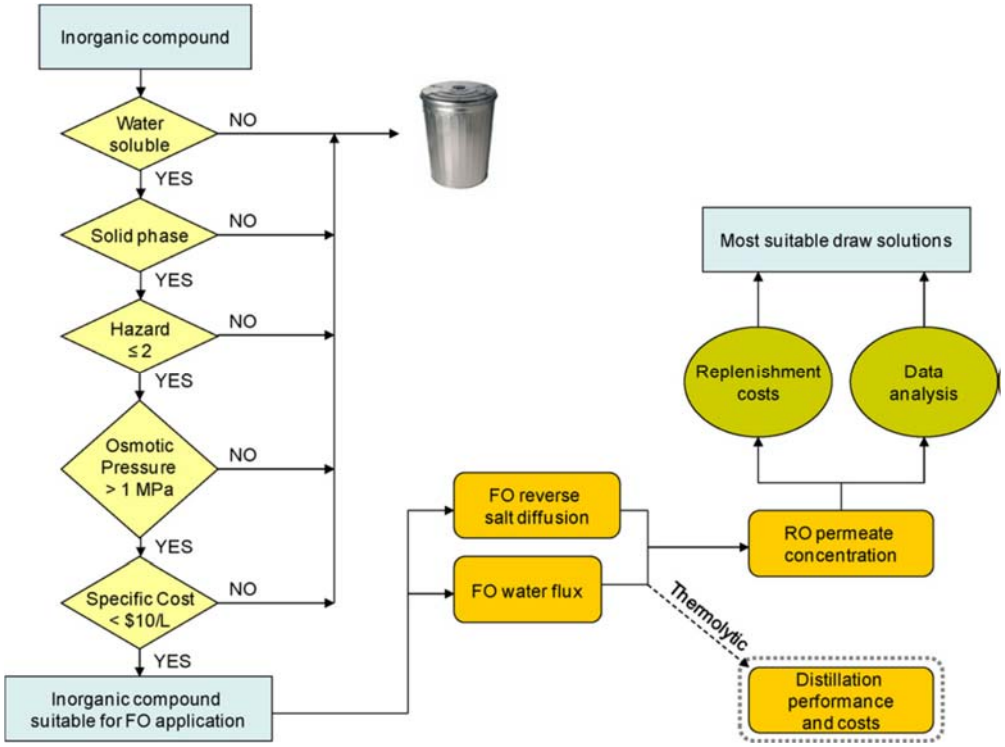
ที่มา : ดัดแปลงมา K. Lutchmiah *et al.,* (2014) [8], M. Maneechan et al., 2014.[12] และ Q.Ge *et al.,* 2012 [5]

จากตารางจะพบว่า ในแต่ละชนิดของ Draw solution จะมีข้อดีที่ใกล้เคียงกันคือ มีความสามรถในการละลายสูง ให้อัตราการไหลสูง (high flux) มีค่าแรงดันออสโมติกสูง เกิดการรั่วไหลน้อย และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้พลังงานต่ำ เป็นต้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารกลุ่ม สารตั้งต้นอนินทรีย์, Highly soluble switterionic, High charged compound, Nuyrien-rich substances, Readily available sources, Thermolytic solute, Engineered draw solutions

สารที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิส แต่อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อเสียที่กำลังเป็นปัญหาอยู่ในปัจจุบัน คือ ในกลุ่มของ Draw Solution ที่เป็นสารตั้งต้นอนินทรีย์ พบว่ามี การรั่วไหลของเกลือและเกิดการอุดตันในบริเวณ subport layer และในกลุ่มของ Thermolytic solute พบว่า มีความเป็นพิษและเกิดการสูญเสียจากการแพร่กระจายสูง และในกลุ่มของ Engineered draw solutions พบว่า เกิดการรวมตัวในระหว่างการแยกด้วยแม่เหล็ก, มีความหนืดส่งผลให้แรงขับเคลื่อน และอัตราการไหลลดลง มีความถี่เหนือแสงทำให้ลดคุณสมบัติทางแม่เหล็กของอนุภาค เป็นต้น

โดยเกณฑ์ที่พิจารณาถึงทางเลือกของสารดึงเป็นไปตามเงื่อนไขของ A. Achilli *et al.,*2010 [12] แสดงดัง**รูปที่ 5** คือ

1. มีความสามารถในการละลายน้ำสูง
2. ควรมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง
3. ไม่มีความเป็นพิษ
4. ได้ค่าแรงดันออสโมติกมากกว่า 100 บาร์
5. ราคาของสารไม่ควรเกิน 3000 บาทต่อลิตร (10 USD/L)
6. ได้ค่า Flux สูงกว่าค่า CTA membrane ของ Hydration Technology Innovations (HTI)
7. ไม่เกิด Salt leakage หรือ ค่า reverse salt flux ต่ำมาก
8. ไม่เกิดการสูญเสียค่าความเข้มข้นของสารดึงหลังจากผ่านกระบวนการดึงน้ำออก (สภาพความคงตัวของค่าแรงดันออสโมติกหรือเสถียรภาพของสารดึง)



รูปที่ 5 ตัวอย่างเกณฑ์การเลือกสารดึง [10]

9.3 การเกิดการอุดตันในเมมเบรน (Concentration polarization (CP) and fouling)

ปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันและฟาวลิ่ง เป็นข้อจำกัดของกระบวนการแยกด้วยเมมเบรน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดลง และทำให้สมรรถนะของกระบวนการลดลงด้วย ซึ่ง CP เป็นปรากฏการณ์การสะสมของตัวถูกละลายบริเวณพื้นผิวของเมมเบรน โดยปรากฏการณ์การเกิด CP ที่เกิดขึ้นในกระบวนการฟอร์เวิดออสโมสิส จะเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ เอ็กซ์เทอร์นอลคอนเซนเตรชั่นโพลาไรเซชั่น (External concentration polarization (ECP) และ อินเทอร์นอลคอนเซนเตรชั่นโพลาไรเซชั่น (Internal concentration polarization (ICP))

External concentration polarization (ECP)

ปรากฏการณ์การเกิด ECP จะเกิดบริเวณบนพื้นผิวหน้าของเมมเบรน ด้าน selective layer ซึ่งจะเกิดตรงข้ามกับการป้อนสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากกว่า (Draw solution) Lee และคณะ [14] ได้ศึกษากลไกการลดลงของฟลักซ์ในระบบ FO พบว่า การสะสมที่บริเวณพื้นผิวของสารละลายและความดันออสโมติกมีแนวโน้มลดลงเมื่อการแพร่กลับของเกลือจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมาก (Draw solution) ที่เพิ่มมากขึ้น โดยได้ทดลองกับ alginate, humic acid และ BSA ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเกิด ECP เป็นส่วนหนึ่งในการเกิดแรงดันออสโมติก โดยการเกิด ECP สามารถลดได้โดยการเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายที่เหมาะสม

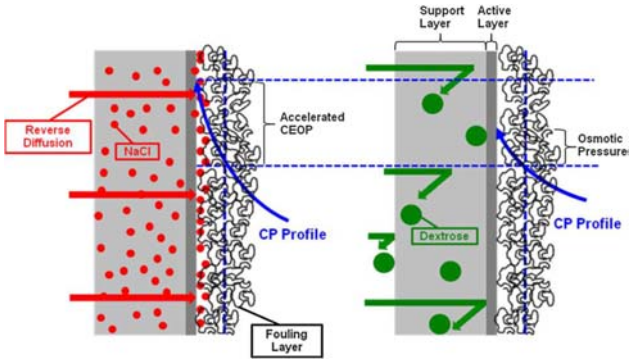
Internal concentration polarization (ICP)

เมื่อป้อนความเข้มข้นของสารละลาย (Draw solution) มายังบริเวณ support layer เมมเบรน ปรากฏการณ์การเกิด ICP จะเกิดขึ้นบริเวณด้าน support layer โดยน้ำจะแพร่ผ่านจากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ (feed solution) ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง (Draw solution) การทำให้การเกิด ICP ลดลงด้วยเงื่อนไข

ต่างๆ เช่น การเพิ่มอัตราการไหล ไม่สามารถที่จะทำให้ลดการเกิด ICP ได้ ในปัจจุบัน ได้มีการปรับปรุงวัสดุของเมมเบรนเพื่อใช้ในการเป็นตัว support layer เพื่อใช้ในอนาคต

O.A. Bamaga et al. [13] ศึกษาและคำนวณค่าแรงดันออสโมติกในระบบ FO เพื่อใช้ในออกแบบที่เหมาะสมของระบบผสม FO-RO ในการผลิตน้ำบริสุทธ์จากทะเล พบว่า ค่าความต่างของความเข้มข้นที่ 15 g/l และ 30 g/l ของน้ำทะเล ระบบใช้แรงดันขับเคลื่อนที่ 1.1 kJ/L and 2.2 kJ/L ตามลำดับ และรูปแบบที่เหมาะสมในการออกแบบ คือ รูปแบบ Plate and Frame ซึ่งทำงานได้ง่ายไม่ซับซ้อน

S. Lee et al. [14] ทำการศึกษาพฤติกรรมการเกิดฟาวลิ่งของระบบ FO และ RO ด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์และ BSA โดยการทดสอบแปรผันตามเงื่อนไขการเดินระบบของภาวะชลศาสตร์และลักษณะของสารป้อน พบว่า FO เกิดฟาวลิ่งค์แบบ cake layer – Cake enhanced osmotic pressure (CEOP) เนื่องจากการสะสมตัวของเกลือจาก Draw Solution ทำให้สูญเสียค่าฟลักซ์และค่าความดันลด และการเกิดฟาวลิ่งจะแปรเปลี่ยนตามชนิดของ Draw Solution ขนาดของสารคอลลอยด์ และชนิดของสารอินทรีย์ ดัง**รูปที่ 6** ซึ่งการเกิดฟาวลิ่งในระบบมักเกิดจากปรากฏการณ์ ICP: Internal Polarization Concentration เป็นหลัก [1]

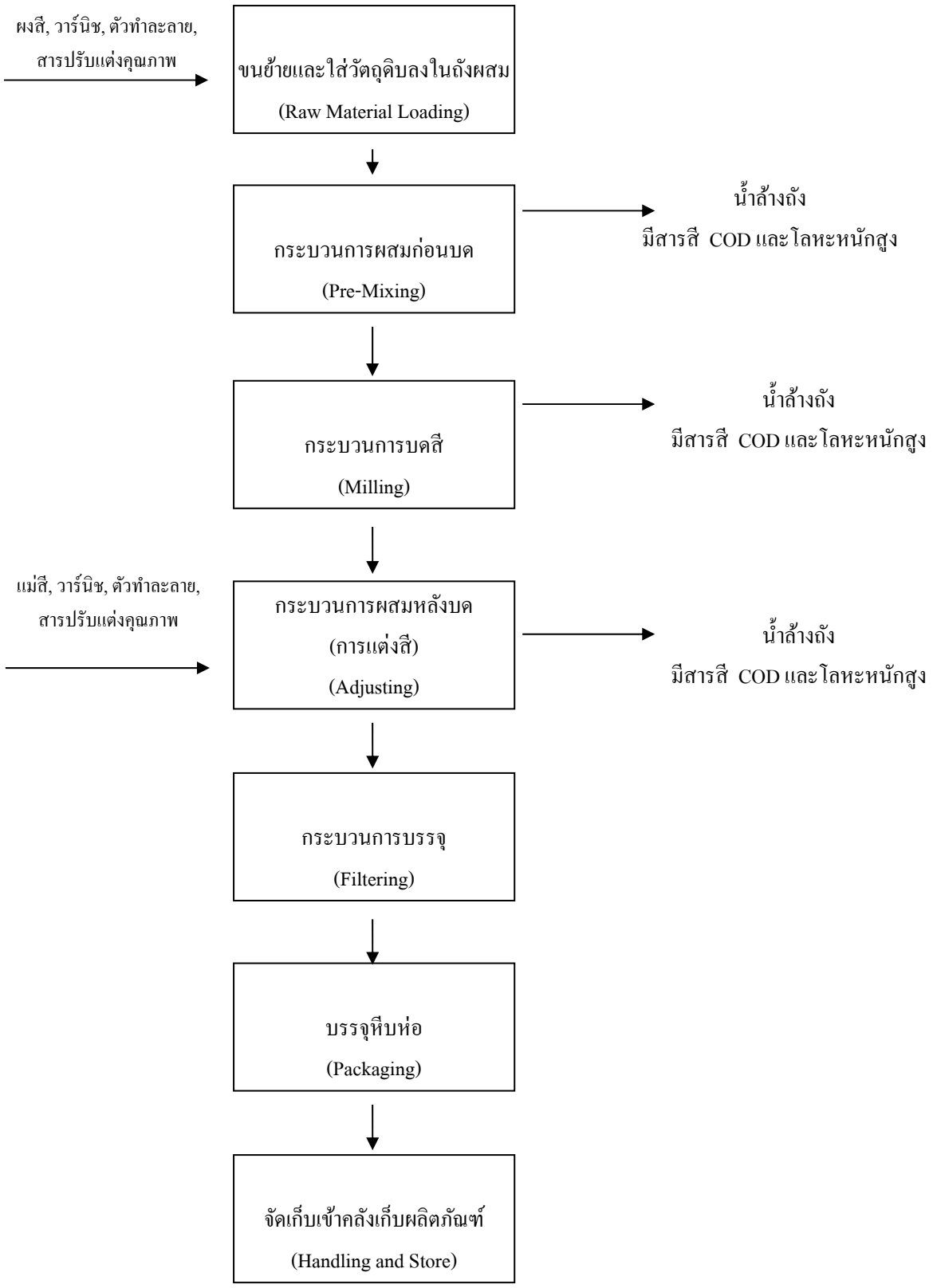


รูปที่ 6 กลไกการเกิดฟาวลิงค์ในระบบ FO ที่ใช้ Draw Solution ต่างกัน [15]

B. Gu et al. [15] ศึกษากลไกการทำงานและการเกิดฟาวลิ่งค์ ของ Plate-and-frame module and spiral-wound module โดยอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยสมการสมดุลมวล สมการ permeate flux model และ สมการ concentration polarization equations พบว่า โมดูลทั้งสองรูปแบบเกิดการอุดตันด้วยปรากฏการณ์ ICP เป็นหลัก ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของ Draw solution จะช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์ ECP: External concentration polarization

9.4 กระบวนการผลิตหมึกพิมพ์และลักษณะน้ำเสีย

โรงงานผลิตหมึกพิมพ์มีขั้นตอนการทำงาน แสดงดัง**รูปที่ 7**



รูปที่ 7 ขั้นตอนการทำงาน

(ข้อมูลจาก บริษัท ซี. เอ็ม. เค. อีโวเทค จำกัด)

โดยมีลักษณะน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ COD ระหว่าง 646-79800 mg/L, BOD 210-1,300 mg/L และค่าสีอยู่ที่ประมาณ 1000 Hazen ดังแสดงใน**ตารางที่ 3**

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบลักษณะน้ำเสียของหมึกพิมพ์

Parameter	Q.Zu-min *et al.*, 2009 [16]	A Mete *et al.*, 2004 [17]	Y.Qingxiang *et al.*, 2012 [18]
COD (mg/L)	79,800	-	646-5,056
BOD_5 (mg/L)	-	-	210-1300
Color (Hazen)	1,000	-	-
SS (mg/L)	4,900	-	387-980
Petroleum (mg/L)	1,000	-	-
Temperature (°C)	45	-	22-45
pH	13	5.0 - 7.8	9-14
TP (mg/L)	-	-	1.2-11.1
TN (mg/L)	-	-	6.3-28.8
NH_4-N (mg/L)	-	-	5.2-9.9
TC (mg/L)	-	147.5 - 1,094.0	-
TOC (mg/L)	-	134.4 - 1,052.9	-
NTU	-	33.0 – 3,980	-

โดยวิธีการบำบัดน้ำเสียของโรงงานหมึกพิมพ์ทั่วไปมีการศึกษาการบำบัดด้วยวิธีทางเคมี เช่น การตกตะกอนเคมี การใช้กระบวนการเฟนตันร่วมกับโคแอคกูเลชั่น [19] กระบวนการโอโซเนชั่นร่วมกับการลอยตะกอนด้วยหลักการละลายของอากาศ [20] หรือกระบวนการกายภาพเคมี ร่วมกับชีวภาพ เช่น การดูดซับร่วมกับระบบตะกอนเร่ง [2] โดยมีโรงพิมพ์สมุยอักษร เผยแพร่เทคโนโลยีในการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะเคมี การกรองด้วยผงถ่านกัมมันต์และการใช้น้ำอีเอ็มช่วยปรับสภาพน้ำทิ้ง [21] อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีในการบำบัดขึ้นกับปัจจัยหลายด้านในการตัดสินใจดำเนินการ สำหรับโรงงานหมึกพิมพ์ของบริษัทฯ ในปัจจุบันได้ดำเนินการโดยการตกตะกอนเคมีร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านร่วมกับระบบตะกอนเร่ง และระบบรีเวิร์สออสโมซิส (ข้อมูลจาก บริษัท ซี. เอ็ม. เค. อีโวเทค จำกัด)

10. การสืบค้นจากฐานข้อมูลสิทธิบัตร

ไม่มี

11. เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

[1] ภัทรา พระนคร วีรภัทร ฤทธาภิรมย์ และนราพร หาญวจนวงศ์. 2550. การศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากการพ่นสีเพื่อผลิตรถยนต์. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[2] สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ รัตติชล ศิริโรจน์มหาวงษ์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธ์ชัย. 2553. การพัฒนาวิธีการบำบัดสีอะมิโดแบล็คด้วยการดูดซับ/ตะกอนเร่ง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 15 (1) หน้า 88-97.

[3] T.Y. Cath., A.E. Childress, M. Elimelech. 2006 .Review: Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments. *Journal of Membrane Science,* 28: 70–87.

[4] N. Widjojo, T..S. Chung, M. Weber., C. Maletzko., V. Warzelhan. 2011. The role of sulphonated polymer and macrovoid-free structure in the support layer for thin-film composite (TFC) forward osmosis (FO) membranes, *Journal of Membrane Science*. 383: 214– 223.

[5] Q. Ge , J.Su, G. L. Amy., T.-S. Chung, 2012. Exploration of polyelectrolytes as draw solutes in forward Osmosis processes. *Water r e s e arch*, 4 6, 1 3 1 8 -1 3 2 6.

[6] W. Khongnakorna, W. Bootluck, W. Youravongc 2014. Surface Modification of CTA-FO Membrane by CO_2 Plasma Treatment. *Jurnal membrane Teknologi*. 70:2, 71–75.

[7] K. Pochner, W. Neff and R. Lebert, 1995. Atmospheric pressure gas discharges for surface treatment, Surface and Coating, 74-75, 394-398.

[8] K. Lutchmiah, A.R.D. Verliefde , K. Roest , L.C. Rietveld ,E.R. Cornelissen . 2014. Forward osmosis for application in wastewater treatment: A review*, Water r e s e arch*, 58, 179 -197.

[9] T.S. Chung, S.Zhang, K.Y. Wang, J. Su, M.M. Ling. 2012. Forward osmosis processes: yesterday, today and tomorrow. *Desalination*. 287: 78-81.

[10] A. Achilli, T.Y. Cath, A.E. Childress. 2010. Selection of inorganic-based draw solutions for forward osmosis applications. *Journal of Membrance Science*. 364: 233–241.

[11]S. Phuntsho, H. K. Shon, H. Seungkwan, L. Sangyoup, V. Saravanamuthu ,. 2011. A novel low energy fertilizer driven forward osmosis desalination for direct fertigation: Evaluating the performance of fertilizer draw solutions. *Journal of Membrane Science*.375. 172-181.

[12] M. Maneechan, P. Punyapalakul, A. Wongrueng. 2014. Utilization of Ammonium Bicarbonate as Draw Solution in Forward Osmosis Process: A Case Study of Cooling Water Reuse*, International Conference on Agricultural, Environmental and Biological Sciences (AEBS-2014*) ,April 24-25, 2014 Phuket (Thailand).

[13] O.A. Bamaga, A. Yokochi, B. Zabara, A.S. Babaqi. 2011. Hybrid FO/RO desalination system: Preliminary assessment of osmotic energy recovery and designs of new FO membrane module configurations.*Desalination*.268. 163-169.

[14] S. Lee, C. Boo, M. Elimelech, S.K. Hong., 2010. Comparison of fouling behavior in forward osmosis (FO) and reverse osmosis (RO), *Journal of Membrane Science*, 365. 34–39.

[15] B. Gu, D.Y. Kim, J.H. Kim, D.R. Yang., 2011. Mathematical model of flat sheet membrane modules for FO process: Plate-and-frame module and spiral-wound module, *Journal of Membrane Science*, 379. 403– 415.

[16] Q. Zu-min., J. Wen-tian, H. Zong-jian. 2009. Post-treatment of banknote printing wastewater using polysilicate ferro-aluminum sulfate (PSFA). Journal of Hazardous Materials, 166: 740–745.

[17] A. Mete, D. Kova, D. Vujevi, S. Papi. 2004. The role of zeolites in wastewater treatment of printing inks. Water Research, 38: 14–15.

[18] Y. Qingxiang, W. Jia, W. Hongtao, C. Xuanyu, R. Siwei, L. Xueling, X. Ying, Z. Hao, L. Xuemei. 2012. Evolution of the microbial community in a full-scale printing and dyeing wastewater treatment system. Bioresource Technology, 117: 155–163.

[19] ระรินธร สายแสงทอง และ สุมินตรา พรมวงศ์. 2553. การบำบัดน้ำเสียจากสีหมึกพิมพ์โดยกระบวนการเฟนตันร่วมกับโคแอคกูเลชั่น ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[20] อรชุดา ขันตีกุล. 2549. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานหมึกพิมพ์โดยกระบวนการโอโซเนชั่นร่วมกับการลอยตะกอนด้วยหลักการละลายของอากาศ. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[21] http://www.samuiaksorn.com/samuiaksorn_nj-v01/ เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 พย. 2557

[22] APHA, AWWA and WEF. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th ed., American Public Health Association, New York.

[23] F.-J. Fu, S. Zhang, S.-P.Sun, K-Y. Wang, T.-S. Chung. 2011. A low-energy forward osmosis process to produce drinking water, *Energy Environmental Science.* 4. 2582-2585.

[24] J. Chen, T. He, W. Wu, D. Cao, J. Yun, C.K. Tan. 2004. Adsorption of sodium salt of poly(acrylic) acid (PAANa) on nano-sized $CaCO_3$ and dispersion of nano-sized $CaCO_3$ in water. Physicochemistry Engineering. 232: 163–168.

[25] S. Mishra. 2005. Study on sodium and potassium salts of polyacrylic acid as corrosion inhibitors. Department of Chemical Technology. 684- 687.

[26] O. Nesrin, A. Ahmet. 2000. Low Molecular Weight Polyacrylic Acid with Pendant Aminomethylene Phosphonic Acid Groups. Depart of Chemistry. 870- 874.

[27] K. Frat, E. Ceren, V.H. Behzad, S.C. Mehmet. 2013. Effect of sodium poly acrylic acid (Na-PAA) as a dispersant on colemanite. Mineral Processing Engineering Department. 1245- 1247.

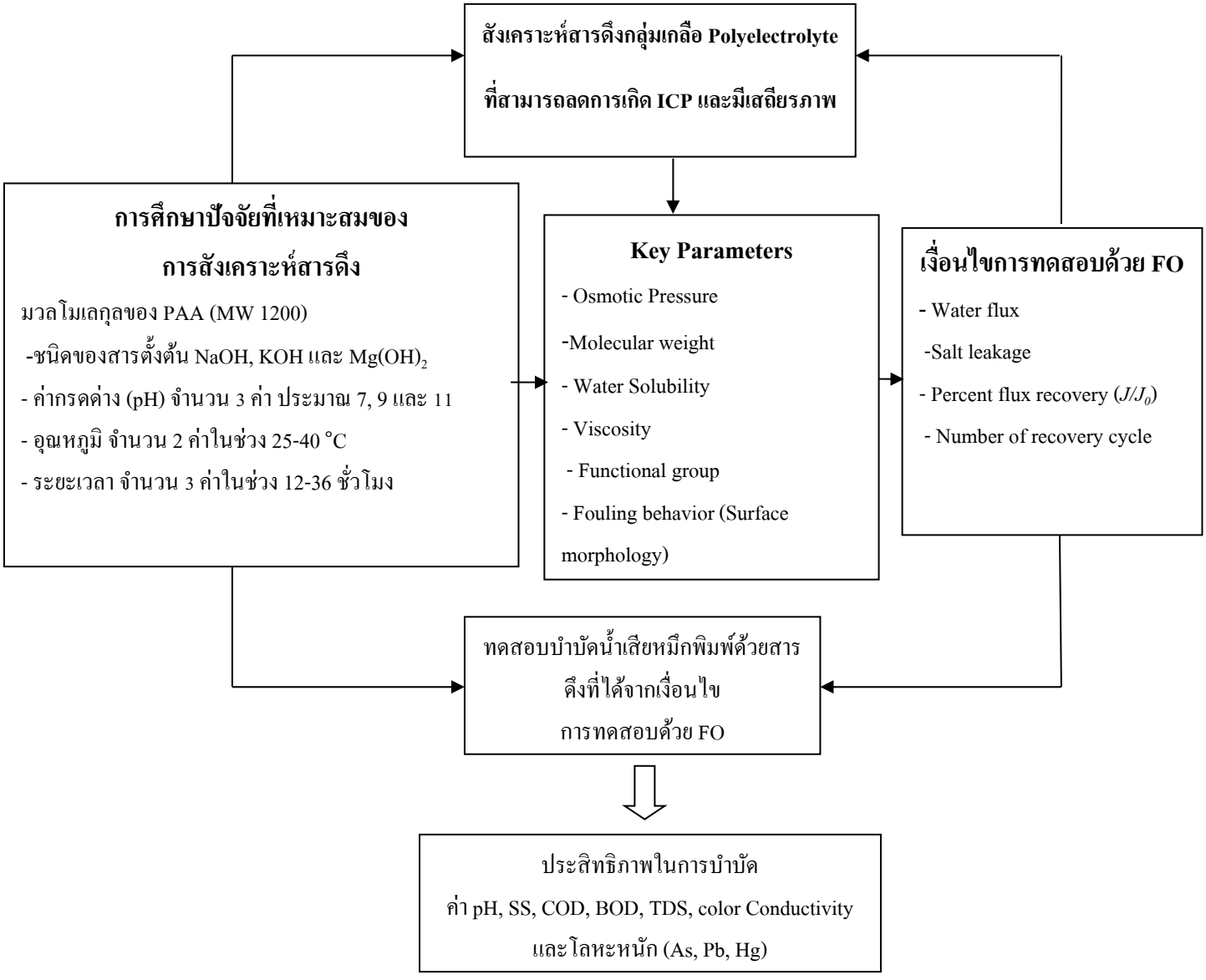
12. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- ตีพิมพ์ 1 Publication ใน Journal of Environmental Science/Journal membrane science/Desalination and Water Treatment

13. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

นำเสนอผลการศึกษาให้กับบริษัทที่สนับสนุนน้ำเสียหลังสิ้นสุดการดำเนินการเพื่อดำเนินการในระดับ Pilot plant ในงานวิจัยถัดไป

14. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล



รูปที่ 8 แนวทางการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการ มีดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติน้ำเสีย ซึ่งประกอบด้วยค่า pH, SS, COD, BOD, TDS, Conductivity, color และโลหะหนัก (As, Pb, Hg) ซึ่งเป็นค่ากำหนดอ้างอิงตามประกาศคุณภาพน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535 โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นไปตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [22] โดยใช้เป็นค่าเบื้องต้นในการออกแบบระบบและหาค่าความดันออสโมติกของสารป้อนตามสมการ (1) เพื่อคำนวณแรงดันออสโมติกของสารดึงที่ใช้ในการขับเคลื่อนในการเดินระบบให้เป็นไปสมการ (2) ตามลำดับ พร้อมทั้งเตรียมระบบ Pre-treatment ที่เหมาะสมก่อนน้ำเสียเข้าระบบ FO

2. ศึกษาขั้นตอนและสังเคราะห์สารดึง (Draw solution) โดยใช้สาร Polyelectrolyte ชนิด Poly acrylic Acid มาสังเคราะห์เป็นเกลือ Polyelectrolyte โดยใช้สารตั้งต้น PAA ขนาด MW 1200 g (Sigma-Aldrich) มาดำเนินการ ที่มีโดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ ดังนี้

- ปริมาณสารตั้งต้น 100 mMol ของ NaOH, KOH และ $Mg(OH)_2$ เพื่อให้เกิดเกลือ Polyelectrolyte
- ค่ากรดด่าง (pH) จำนวน 3 ค่าประมาณ 7, 9 และ 11
- อุณหภูมิ จำนวน 2 ค่าในช่วง 25-40 °C
- ระยะเวลา จำนวน 3 ค่าในช่วง 12-36 ชั่วโมง

โดยปัจจัยทั้งสี่ที่เลือกดำเนินการ ผู้วิจัยคาดว่าที่เงื่อนไขการดำเนินการต่างกันทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อค่าแรงดันออสโมติกต่างกัน จากค่าความหนืดและความสามารถในการละลายที่เปลี่ยนไป [24-27] รวมถึงศึกษาปัจจัยหลักที่สำคัญที่มำให้สารดึงความคงสภาพคงตัวในการใช้งานและฟื้นสภาพได้ง่าย

ตัวอย่าง วิธีการเตรียม PAA-Na (M_w=1200) ตามวิธีของ Q. Ge *et al.,* 2012 [13]

นำ 10 g. ของ PAA (M_w1200) + DI Water

(45 wt% pH ≈ 9.2)

↓ หยด NaOH 0.05 M, stirred (12-36 hr)

สารละลายเป็นด่าง

↓

Purified ด้วยกระบวนการ dialysis

↓

สารละลายเป็นกลาง

↓

Vacuum ที่ 35°C

↓

$PAA\text{-}Na_{(1200)}$ ปราศจากน้ำ

↓

นำสาร PAA-Na ที่สังเคราะห์ได้ไปทำ Characterization

หมายเหตุ ปัจจุบันผู้วิจัยทดลองด้วย PAA (M_w1800) แล้ว ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

3. ศึกษาคุณสมบัติของสารดึงที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาตัวอย่าง แสดงดัง**ตารางที่ 3**

ตารางที่ 3 คุณสมบัติสารดึงที่ทำการศึกษาและวิธีการวิเคราะห์

คุณสมบัติที่ศึกษา	วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์	จำนวนตัวอย่าง (ประมาณการ)	สถานที่ให้บริการ./วิเคราะห์ตัวอย่าง
Osmotic Pressure	ค่าความดันออสโมติก	Osmolality Meter	54	ภาคพยาธิวิทยา คณะแพทศาสตร์
Molecular Weight	เพื่อหามวลโมเลกุล	Mass Spectrometer	12	ศูนย์เครื่องมือกลางของมหาวิทยาลัย
Water Solubility	เพื่อศึกษาความสามารถในการละลายของสารดึง	นำผลิตภัณฑ์มาทดสอบการละลายโดยใช้น้ำเป็น Solvent	54	สถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน
Relative Viscosity	ศึกษาค่าความหนืดที่ส่งผลต่อค่าความดันออสโมติก	Viscometer	54	สถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน
Functional group	เพื่อศึกษาพันธะหมู่ฟังก์ชันของสาร	Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)	12	ศูนย์เครื่องมือกลางของมหาวิทยาลัย

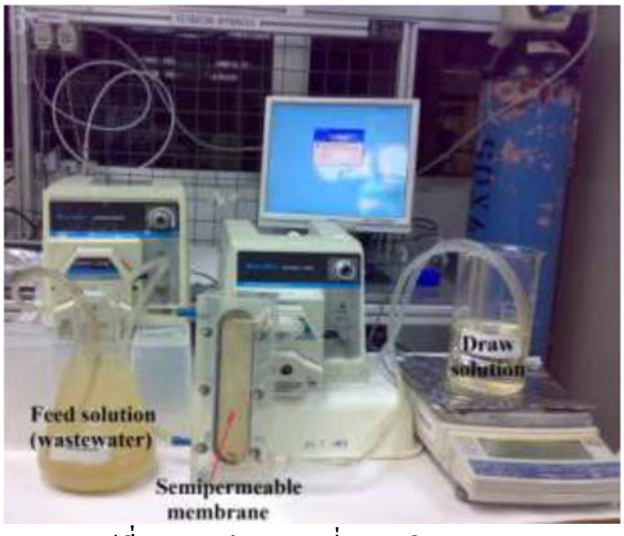
การคัดเลือกสารดึงที่เหมาะสมของแต่ละค่าที่ได้ โดยเกณฑ์การคัดเลือกเป็นไปตามวิธีของ A. Achilli *et al.,* [10] ดังได้กล่าวใน**หน้าที่ 10**

4. ทดสอบความสามารถของสารดึงในระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิสด้วยน้ำกลั่น

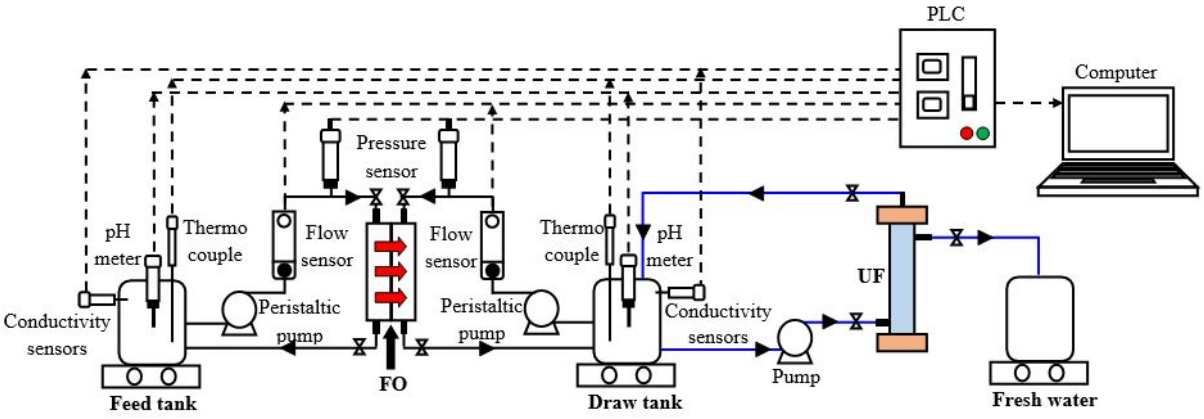
ระบบทดลอง ดำเนินการด้วยเซลล์โมดูลเมมเบรนมีขนาดยาว 15 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร และลึก 0.3 เซนติเมตร ทำจาก อะคลิลิกใส หนา 3 มม. และแผ่นเมมเบรนเป็น Thin film composite (TFC) จัดซื้อจากบริษัท HTI สหรัฐอเมริกา ตัวอย่างของโมดูลแสดงดัง**รูปที่ 9** และไดอะแกรมระบบของ FO แสดงใน**รูปที่ 10** โดยใช้ระบบ Ultrafiltration (UF) เป็นหน่วยปฏิบัติการที่ใช้การทำเข้มข้นสารดึงเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

การทดสอบ นำสารดึงที่เลือกจากขั้นตอนที่ 3 มา 3 ตัวมาใช้ในการเดินระบบด้วยน้ำกลั่นและใช้ NaCL เป็นสารดึงควบคุม ด้วยการแบบไหลแบบ Co-current ที่อัตราการไหล 0.2 m/s หรือ 100 ml/min ของสารละลายด้านสารป้อนและสารดึงตามลำดับ

โดยประสิทธิภาพของระบบสามารถหาได้จากค่า Water flux, Salt leakage, Percent flux recovery (J/J_0), และ Number of recovery cycle ที่สารดึงยังคงสภาพความคงตัวของค่าแรงดันออสโมติกได้



รูปที่ 9 ตัวอย่างระบบที่จะดำเนินการ [23]



รูปที่ 10 ไดอะแกรมของระบบที่ใช้ในการทดลอง

4. **ทดสอบการบำบัดน้ำเสียโรงงานสีและหมึกพิมพ์** เลือกสารดึงที่ดีที่สุดในขั้นตอนที่ 4 มาดำเนินระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิสด้วยน้ำเสียจริงจาก บริษัท ซี. เอ็ม. เค. อีโวเทค จำกัด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของระบบ กับระบบปัจจุบันที่ดำเนินการด้วยระบบรีเวิร์สออสโมซิส (RO) โดยพิจารณาจากค่าฟลักซ์ที่ได้และลักษณะของการอุดตัน (Fouling behavior and Surface morphology)

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งด้วยพารามิเตอร์ ดังนี้ pH, SS, COD, BOD, TDS, Conductivity, color และโลหะหนัก (As, Pb, Hg) ซึ่งเป็นค่ากำหนดอ้างอิงตามประกาศคุณภาพน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535 โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นไปตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 2012) [22]

15. ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย (ให้ระบุขั้นตอนอย่างละเอียด)

ระยะเวลาทำการวิจัยเป็นเวลา 10 เดือน (พฤศจิกายน พ.ศ. 2557-กันยายน พ.ศ. 2558) มีแผนการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการวิจัยดังนี้

กิจกรรมวิจัย	ระยะเวลาทำการวิจัย									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. การเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์การวิจัยและสารเคมี	↔									
2. ศึกษาคุณสมบัติน้ำเสีย	↔	↔								
3. ศึกษาขั้นตอนและสังเคราะห์สารดึง (Draw solution)		↔	↔	↔	↔					
4.ศึกษาคุณสมบัติของสารดึงที่สังเคราะห์ได้			↔	↔	↔	↔				
5.ทดสอบความสามารถของสารดึงในระบบฟอร์เวิร์ดออสโมซิสด้วยน้ำกลั่น							↔			
6.ทดสอบการบำบัดน้ำเสียโรงงานสีและหมึกพิมพ์								↔		
7.จัดทำรายงานความก้าวหน้า						↔	↔			
8. การสรุปและการจัดทำรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์										↔
9. การเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการระดับชาติและนานาชาติ									↔	↔

16. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย, โครงสร้างพื้นฐาน ฯลฯ) ระบุเฉพาะปัจจัยที่ต้องการเพิ่มเติม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัยที่มีอยู่แล้ว

ลำดับที่	รายการอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว
1.	Bench and potable scale pH meter
2.	Spectrophotometer (visible and UV wavelength)
3.	Balance 4 digits and 2 digits
4.	อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ pH, temperature, SCOD, Conductivity , TDS
5.	ครุภัณฑ์ที่ให้บริการโดยศูนย์เครื่องมือกลางของมหาวิทยาลัย ได้แก่ SEM- EDX, FTIR, เป็นต้น
6.	Water bath with control temperature
7.	เครื่องแก้วและวัสดุสิ้นเปลืองสำหรับการวิเคราะห์จำนวนหนึ่ง (ตามการจัดสรรของห้องปฏิบัติการต้นสังกัด)
8.	Pressure sensor and data locker ของระบบ FO

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัยที่ต้องจัดหาเพิ่มเติม

ลำดับที่	รายการอุปกรณ์ที่ต้องจัดหาเพิ่ม	จำนวน (ชุด/ระบบ)
1.	ระบบแบบจำลองของระบบ FO และ UF อย่างละ	1
2.	Peristaltic pump: type micro feed adjustment	1
3.	สายยางคุณภาพดีและชุดอุปกรณ์ท่อ-ข้อต่อต่างๆ ประกอบระบบแบบจำลองฯ	1

หมายเหตุ Peristaltic pump: type micro feed adjustment มีใช้งานแล้ว 1 ตัวของ MSTRC

- โครงการวิจัยมีนักศึกษาระดับปริญญาโทจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อปฏิบัติงานเป็นผู้ช่วยวิจัย และปฏิบัติงานวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์

17. งบประมาณของโครงการวิจัย

17.1 รายละเอียดงบประมาณการวิจัย จำแนกตามงบประเภทต่าง ๆ

งบประมาณที่ขอสนับสนุน **203,500** บาท **(สองแสนสามพันห้าร้อยบาทถ้วน)**

รายการ	**งบประมาณ (บาท)**		
	งวดที่ 1 (เดือนที่ 1-6)	**งวดที่ 2 (เดือนที่ 7-10)**	**รวม**
1. หมวดค่าจ้าง			
เงินเดือนผู้ช่วยวิจัย (นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา)	39,000	26,000	65,000
ค่าจ้างเหมาทำ FO unit และ UF unit	10,000	-	10,000
2. หมวดค่าวัสดุ			
ค่าสารเคมี (ภาคผนวก ก)	30,160	12,700	42,860
อุปกรณ์ข้อต่อ ท่อและชุด Reflux	4,000	2,000	6,000
3. หมวดค่าใช้สอย			
ค่าวิเคราะห์ SEM-EDX , FTIR, Osmolality ฯลฯ	37,298	11,842	49,140
ค่าจัดทำรายงานการวิจัยความก้าวหน้าและรายงานฉบับสมบูรณ์	1,000	1,000	2,000
ค่าเดินทางเข้าร่วมประชุม/สัมมนาทางวิชาการ ผู้วิจัยหรือผู้ช่วยวิจัย (นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา)	-	10,000	10,000
4. หมวดค่าสาธารณูปโภค			
ค่าสาธารณูปโภคตามระเบียบมหาวิทยาลัย	12,145.8	6,354.2	18,500
รวมทั้งสิ้น	**133,603.8**	**69,896.2**	**203,500**

18. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

1. เชิงพาณิชย์ คือ พัฒนาระบบ Forward Osmosis ให้สามารถใช้งานกับอุตสาหกรรมได้
2. เชิงวิชาการ คือสร้างองค์ความรู้ทางวิชาการ ในการสร้างสารสังเคราะห์และพัฒนาระบบ FO
3. เชิงพื้นที่ คือ การเพิ่มคุณภาพน้ำทิ้งในพื้นที่ลุ่มน้ำและลดการปล่อยน้ำทิ้งออกนอกโรงงาน

19. โครงการวิจัยต่อเนื่องปีที่ 2 ขึ้นไป

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการเดี่ยว

20. โครงการนี้หรือส่วนใดส่วนหนึ่งหรือโครงการสืบเนื่องจากนี้ ได้ยื่นเสนอขอรับทุนหรือได้รับการสนับสนุนจากแหล่งทุนอื่นหรือไม่

(X) ไม่ได้ยื่นเสนอขอรับทุน

( ) ยื่นเสนอ โปรดระบุแหล่งทุน ……

( ) ได้รับการสนับสนุน จาก……ชื่อโครงการ……...

(โปรดระบุความจำเป็นหรือความแตกต่างจากโครงการนี้)

( ) ไม่ได้รับการสนับสนุน

( ) ยังไม่ทราบผลการพิจารณา

21. โครงการนี้มีการใช้สิ่งมีชีวิตที่มีการดัดแปลงทางพันธุกรรมหรือไม่

( ) มี

(X) ไม่มี

22. คำชี้แจงอื่นๆ (ถ้ามี)

ไม่มี

23. คำรับรองของหัวหน้าโครงการว่าไม่เป็นผู้ติดค้างการส่งผลงานวิจัยสำหรับโครงการวิจัยที่สิ้นสุดระยะเวลาดำเนินงานวิจัยแล้ว

ขอรับรองว่าไม่ติดค้างการส่งผลงานวิจัยที่สิ้นสุดระยะเวลาดำเนินงานวิจัยแล้ว

(ดร. วัสสา คงนคร)

พฤศจิกายน 2557

24. ลงลายมือชื่อ หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้บริหารสาขาความเป็นเลิศ / ผู้อำนวยการสถานวิจัยความเป็นเลิศ / ผู้อำนวยการสถานวิจัย / หัวหน้าหน่วยวิจัย (กรณีเสนอแผนงานวิจัยผ่านเครือข่ายวิจัย) ผู้ร่วมวิจัย ที่ปรึกษา พร้อมวัน เดือน ปี

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการเดี่ยว

25. คำอนุมัติและลายมือชื่อของผู้บังคับบัญชาระดับภาควิชาและคณะ/สำนัก/ศูนย์ ให้ใช้เวลา สถานที่อุปกรณ์การวิจัยและอื่นๆ ที่จำเป็นแก่การดำเนินการวิจัย และกรณีเป็นการทำวิจัยร่วมกันหลายคณะ/หน่วยงาน จะต้องมีคำอนุมัติและลายมือชื่อทุกคณะ/หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้ ดร. วัสสา คงนคร ใช้เวลาที่เหมาะสม รวมถึงสถานที่ อุปกรณ์วิจัย และอื่นๆ ที่จำเป็น สำหรับดำเนินงานวิจัยในโครงการวิจัยดังกล่าวนี้

(ลงชื่อ)

(ผศ.ดร. ธนิยา เกาศล)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
พฤศจิกายน 2557

(ลงชื่อ)

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์)
ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิจัยและวิเทศสัมพันธ์
ปฏิบัติราชการแทนคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
พฤศจิกายน 2557

<u>ส่วน ค</u> : ประวัติคณะผู้วิจัย

1.1 ชื่อ-สกุล นางสาววัสสา (Watsa) คงนคร (Khongnakorn)

1.2 หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 9299 00393 283

1.3 ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	***ชื่อสถาบัน***	***ปีการศึกษา***
วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2543
วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2546
Ph.D. (Chemical Engineering)	University of Montpellier2	2008

1.4 ตำแหน่ง อาจารย์

1.5 สังกัดคณะ / หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.6 ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2546-2554	อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีและการจัดการ/วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
พ.ศ. 2554-ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
สมาชิก	วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ สภาวิศวกร สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

1.7 ผลงานวิจัย/บทความวิชาการ

บทความวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

W. Khongnakorna, W. Bootluck, W. Youravongc (2014). Surface Modification of CTA-FO Membrane by CO_2 Plasma Treatment. *JurnalTeknologi*. 70:2, 71–75.

Chhun, S., **Khongnakorn, W.** , Youravong, W. (2014). Energy consumption for Brine solution recovery in Direct Contact Membrane Distillation. *Advanced Materials Research*. 931-932, 256-260.

Yasir, A. K., Yamsaengsung, Ram., Chetpattananon, P., **Khongnakorn, W.** (2014). Treatment of wastewater from biodiesel plants using microbiological reactor. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 1735-1472. DOI 10.1007/s13762-014-0501-7. *impact factor 1.844*

Khongnakorn, W., Mori, M., Vachoud, L., Delalonde, M., Wisniewski, C. (2010). Rheological properties of sMBR sludge under unsteady state conditions. *Desalination*, 250,824-828. *impact factor 1.851*

Khongnakorn, W and Wisniewski, C. (2010). Membrane fouling and physical characteristics of sludge in MBR system. *Desalination and Water Treatment*. 18(1-3): 235-238. *impact factor 0.752*

Khongnakorn, W., Wisniewski, C., Choksuchart, S.P. (2008). Physico-chemical characteristics and dewatering aptitude of sMBR sludge. *Journal Applied Membrane Science*, 7, 31-38.

Khongnakorn, W., Wisniewski, C. (2007). Production of Sludge in a Submerged Membrane Bioreactor and Dewatering. International Journal of Chemical reactor Engineering, 5, Article A16.

Khongnakorn, W., Wisniewski, C., Potier, L., Vachoud, L. (2007). Physical properties of activated sludge in a submerged membrane bioreactor and relation with membrane fouling. *Separation and Purification Technology*, 55, 125-131. *impact factor 2.774*

Khongnakorn, W., Osathaphan, K. and Khaodhiar, S. (2004) Transport and biodegradation of benzene in the saturated groundwater layer, Songklanakarin J. Sci. Techno., 26(Suppl.1): 143-150. *impact factor 0.032*

บทความวิจัยเสนอในที่ประชุมวิชาการ และมีการพิมพ์รวมเล่ม

Chhun, S., **Khongnakorn, W.** and Youravong, W. (2014). Energy consumption for Brine solution recovery in Direct Contact Membrane Distillation The 5th KKU Engineering Conference (KKU-IENC 2014) March 27-29, 2014, Pullman Khon Khan Raja Orchid Hotel Khon Kaen, Thailand.

Bootluck, W., **Khongnakorn, W.** and Youravong, W. (2014).Effect of difference draw solution centration on BSA recovery by forward osmosis "3rd International Conference on Environmental Engineering, Science and Management, March 26-28, 2014, The Twin Tower Hotel Bangkok, Thailand.

Poonyanooch Suwan and **Watsa Khongnakorn**. (2014). The Calibration and Modification of Biokinetic Parameters for Latex Wastewater by Using ASM3 "3rd International Conference on Environmental Engineering, Science and Management, March 26-28, 2014, The Twin Tower Hotel Bangkok, Thailand.

Khongnakorn, W., (2012). Performance and fouling in MBR for concentrate latex wastewater treatment. Proceedings International Conference on Membrane Science & Technology MST2012: Sustainable Energy and Environment, 22-23 August 2012, Bangkok, THAILAND.

Khongnakorn, W., (2012). Slaughter House Watewater Treatment by Submerge Membrane Bioreactor (MBR)".Proceedings of the 1st International Conference on Environmental Science, Engineering and Management. 21-23 March 2012.

Khongnakorn, W., Mekakard, W. and Tiamkeaw, K. (2010). POME treatment by membrane technology for reuse. The 8th National Conference on Science and Technology, Thammasart University, Thailand, March 19, 2010.

Khongnakorn, W., Mekakard, W. and Tiamkeaw, K. (2010). Membrane fouling for POME treatment by crossflow ultrafiltration. The 8th International Conference on Membrane Science and Technology, Bandung, Indonesia, November 30 -December 1, 2010.

Khongnakorn, W. and Wisniewski, C.(2009). Membrane fouling and physical characteristics of sludge in

MBR system. 5th IWA Membrane Technology&Exhibition 2009, Beijing, China, September 1-3 2009.

Sridang, P., Chevagidagarn, P., Sawatasuk, P., Vanapruk, P., **Khongnakorn, W.,** and Danteravanich, S. (2005) Management of Solid Waste from Hotels: A Case Study in Hat Yai and Phuket Cities, Southern Thailand, Proceeding in R'05, the 7th World Congress on Recovery, Recycling and Re-integration, Beijing, China, September 25-29, 2005.

Khongnakorn, W. and Danteravanich, S. (2004). The current status of water pollution: an overview of Surat Thani province in the upper South of Thailand, Proc. The 2nd International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 1- 4 Dec, 2004, Hanoi, Vietnam.

Puetpaiboon, U., **Khongnakorn, W.,** and Cheensri, W. (2001) Study of leachate from disposed of dry battery in sanitary landfill, Proc. 13th National Annual Conference 2001, May 17-18, 2001, 61-67.

<u>งานวิจัยฯ</u>

พค. 2552 – 2554	โครงการวิจัย เรื่อง "การศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน" โดย เงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
มิย. 2552 – 2554	โครงการวิจัย เรื่อง "การใช้ไส้เดือนดินเพื่อย่อยกากของเสียอินทรีย์และการสร้างมูลค่าไส้เดือนด้วยการใช้เป็นอาหารเลี้ยงปลา" (อยู่ระหว่างเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์) โดย เงินรายได้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
กย. 2552 – เมย. 2553	โครงการวิจัย เรื่อง "การบำบัดสีจากน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยระบบเมมเบรนเพื่อนำน้ำกลับไปใช้ใหม่" โดย IRPUS-สกว.
พค. 2553 – 2554	โครงการวิจัยวิจัย เรื่อง "แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยแบบครบวงจรและการมีส่วนร่วมของชุมชนในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองท่าข้าม จังหวัดสุราษฎร์ธานี" โดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
พค. 2555 – 2557	โครงการวิจัยวิจัย เรื่อง "รูปแบบการจัดการมูลฝอยที่เหมาะสมสำหรับท้องถิ่นที่มีสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาในพื้นที่: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่" โดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ตค. 2555 – ปัจจุบัน	โครงการวิจัยวิจัย เรื่อง "Concentration of protein solution by hybrid forward osmosis/membrane distillation (FO/MD)." โดย เงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (อยู่ระหว่างเขียน Menuscript และรายงานฉบับสมบูรณ์)

ตค. 2556 – ปัจจุบัน	โครงการวิจัยวิจัย เรื่อง “Effects of Operation Conditions on Membrane Distillation for Recovery of valuable compounds and water from food wastewater” โดย Kurita Water and Environment Foundation (KWEF) (อยู่ระหว่างเขียน Menuscript และนำเสนอปิดโครงการ)

แบบวิจัย 16.1_57

เป้าหมาย ผลผลิต ตัวชี้วัด และผลการดำเนินงานโครงการวิจัย

ลำดับ	ตัวชี้วัด	หน่วยนับ								หมายเหตุ
		ปีที่ 1 ปีงบประมาณ 2557		ปีที่ 2 ปีงบประมาณ 2558		ปีที่ 3 ปีงบประมาณ 2559		ปีที่ 4 ปีงบประมาณ 2560		
		เป้าหมาย	ผลที่ได้	เป้าหมาย	ผลที่ได้	เป้าหมาย	ผลที่ได้	เป้าหมาย	ผลที่ได้	
1	**ผลผลิตเชิงองค์ความรู้**									
	1.1 จำนวนผลงานตีพิมพ์ (ชิ้น)									
	- วารสารระดับชาติที่ สกอ. หรือ สกว. ยอมรับ									
	- วารสารระดับนานาชาติที่ไม่ได้อยู่ในฐาน ISI หรือ Scopus									
	- วารสารระดับนานาชาติฐาน ISI หรือ Scopus	1								
	1.2 จำนวนผลงานที่นำเสนอในที่ประชุม/สัมมนา (ชิ้น)									
	- ระดับชาติ									
	- ระดับนานาชาติ	1								
	1.3 อื่น ๆ (โปรดระบุ)									
2	**ผลผลิตเชิงผลิตภัณฑ์/นวัตกรรม**									
	2.1 จำนวนโครงการวิจัยต่อยอด (โครงการ)									
	2.2 จำนวนโครงการขอทุนขนาดใหญ่จากแหล่งทุนภายนอก (โครงการ / เงิน)									เช่น ชื่อแหล่งทุนที่เสนอขอ
	2.3 จำนวนผลิตภัณฑ์/นวัตกรรม (ชิ้น/ระบุชื่อ)									
	2.4 เอกสารการยื่นจดอนุสิทธิบัตร (เรื่อง)									
	2.5 เอกสารการยื่นจดสิทธิบัตร (เรื่อง)									
	2.6 เทคโนโลยีที่สามารถนำไปถ่ายทอดได้ - จำนวนโครงการ/จำนวนครั้ง - จำนวนผู้ได้รับประโยชน์ (คน/ชุมชน)									
	2.7 ข้อเสนอเชิงนโยบาย/ข้อเสนอเพื่อแก้ไขปัญหา (จำนวนข้อเสนอ)									
	2.8 การนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น ที่หน่วยงานที่นำไปใช้ประโยชน์มีเอกสารรับรอง (เรื่อง)									
	2.9 อื่น ๆ (ระบุ).....									

หมายเหตุ

1. ในการเสนอโครงการขอรับทุน ให้ระบุเฉพาะเป้าหมาย ส่วนผลที่ได้ ใช้สำหรับการรายงานผลการวิจัย
2. ผู้เสนอโครงการสามารถให้รายละเอียดต่าง ๆ เพิ่มเติมได้ในช่อง “หมายเหตุ”

แบบฟอร์มการปรับปรุง/ไม่ปรับปรุงโครงการวิจัย

เรื่อง ENG570900S-0 15321 การใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสารดึงในการบำบัดน้ำเสียหมึกพิมพ์ด้วยกระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส

ของ ดร.วัสสา คงนคร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ข้อสังเกต/ข้อเสนอแนะ	ผลการพิจารณาของนักวิจัย ปรับปรุง/ไม่ปรับปรุง	เหตุผล/คำชี้แจงเพิ่มเติม (โปรดระบุเลขหน้าที่ได้ปรับปรุงในโครงการด้วย)
ข้อเสนอแนะ ส่วนเนื้อหา		
ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 1		
1. น้ำเสียจากกระบวนการผลิตหมึกพิมพ์ มีลักษณะที่มีสี COD และสิ่งปนเปื้อนที่เป็นโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่สูง ดังนั้นจึงไม่เหมาะในการทิ้งลงในแหล่งน้ำสาธารณะเป็นอย่างยิ่ง การบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตหมึกพิมพ์จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ในการลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม นักวิจัยมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบ Forward osmosis เป็นอย่างดี อีกทั้งมีความพร้อมในการทำวิจัยทางด้านเครื่องมือและการวิเคราะห์ต่างๆ จึงคิดว่าน่าจะทำงานวิจัยนี้ได้อย่างดี	ไม่ปรับปรุง	ขอบคุณคะ
2. ระบบ FO เป็นเทคโนโลยีใหม่ สำหรับการผลิตน้ำบริสุทธิ์ ออกจากของผสมโดยใช้ drain solution ในการดึงน้ำโดยทำให้เกิดความต่างของแรงดันออสโมซิสระหว่างทั้งสองด้านของเม มเบรน ซึ่งข้อดีก็คือ พลังงานที่ใช้ในด้านของสารป้อนจะลดลง เนื่องจากการใช้ pressure ที่ต่ำกว่า	ไม่ปรับปรุง	ขอบคุณคะ
3. ผู้ประเมินแนะนำให้ทำการเปรียบเทียบเพิ่มเติมระหว่างเมมเบรนชนิดต่างๆ นอกเหนือจากการใช้ของบริษัท HTI เพียงอย่างเดียวโดยจะได้ผลการทดลองที่ดีขึ้น และมีความสมบูรณ์มากขึ้น	ไม่ปรับปรุง	ขอบคุณคะ แต่เนื่องด้วยเวลาที่จำกัด จึงไม่สามารถเพิ่มเนื้องานส่วนนี้ได้ อีกทั้งบริษัท HTI เป็นผู้ผลิตเมมเบรน FO รายใหญ่ ซึ่งในที่นี้ใช้ชนิดที่พัฒนาจาก CTA คือ ชนิด TFC น่าจะทำให้เนื้องานสมบูรณ์กว่า CTA จากงานที่ผ่านมาคะ
4. โครงการนี้มีกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน โดยผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น หากได้ผลดีเป็นที่น่าพอใจ นักวิจัยควรที่จะทำการขยายพื้นที่ของ เม มเบรน จาก Lab scale ไปเป็น Pilot scale โดยอาจจะใช้ เมมเบรน ที่มีลักษณะเป็น Spiral wound เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมต่อไป	ไม่ปรับปรุง	ในระยะถัดไปของงานหากโครงการนำร่องได้ผลในระดับที่อุตสาหกรรมยอมลงทุนร่วมจะหาทุนพัฒนาต่อในระดับ Pilot Scale
ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 2		
1. วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการสังเคราะห์สารดึงกลุ่ม Polyelectrolyte ชนิด PAA เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียหมึกพิมพ์ด้วยระบบ FO ซึ่งงานวิจัยจะดำเนินต่อไปได้ ผู้วิจัยต้องสามารถเตรียม PAA-Na ให้ได้ในเบื้องต้น ดังนั้น ผู้วิจัยต้องมีความชัดเจนในขั้นตอนการเตรียมสารตัวนี้ (ดูที่ระบุไว้ในแบบเสนอโครงการวิจัยหน้า 16)	ปรับปรุง	แก้ไขเป็นการสังเคราะห์เกลือของสาร **เกลือ** Polyelectrolyte โดยใช้สารตั้งต้น PAA ขนาด MW 1200 g (Sigma-Aldrich) มาดำเนินการ เพื่อการควบคุมขนาดโมเลกุลตามที่ต้องการ และอธบายกรอบแนวคิดเพิ่มเติมและวิธีการทดลองเพิ่มเติมในหน้า 18 ถึงการยืนยันวามมติฐานเบื้องต้นและการตรวจสอบคุณสมบัติในตารางที่ 3

แบบฟอร์มการปรับปรุง/ไม่ปรับปรุงโครงการวิจัย

เรื่อง ENG570900S-0 15321 **การใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสารดึงในการบำบัดน้ำเสียหมึกพิมพ์ด้วยกระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส**

ของ ดร.วัสสา คงนคร **ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์**

ข้อสังเกต/ข้อเสนอแนะ	ผลการพิจารณาของนักวิจัย ปรับปรุง/ไม่ปรับปรุง	เหตุผล/คำชี้แจงเพิ่มเติม (โปรดระบุเลขหน้าที่ได้ปรับปรุงในโครงการด้วย)
2. หลังจากแก้ไขข้อเสนอโครงการตามที่ระบุไว้ในข้อเสนอโครงการ (มีหลายหน้าที่ตามที่พับมุมของข้อเสนอ)	ปรับปรุง	แก้ไขตามคำแนะนำ
3. ปรับชื่อภาษาอังกฤษให้เหมาะสม	ปรับปรุง	เปลี่ยนชื่อเรื่องเป็น "Enhancement forward osmosis (FO) process by using Polyelectrolytesas a draw solution for printing wastewater treatment"
4. การสังเคราะห์ที่ดีของสารกลุ่มนี้นั้น ควรให้มีขนาด MW เล็ก ซึ่งต้องอาศัยเงื่อนไขในการสังเคราะห์ที่ต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า pH และเวลาในการรีฟลักซ์ ไม่มีในเอกสารอ้างอิง และเป็นการสังเคราะห์สารกลุ่ม polyelectrolyte หรือไม่	ปรับปรุง	เพิ่มเติมในกรอบแนวคิด และเอกสารอ้างอิง 5 เป็นสาร Polyelectrolytes
5. มวลโมเลกุลของสารตั้งต้นดำเนินการสังเคราะห์ขนาด สังเคราะห์เองหรือซื้อ ถ้าสังเคราะห์เองจะควบคุมน้ำหนักโมเลกุลให้ต่ำในช่วงที่ศึกษาได้อย่างไร	ปรับปรุง	ระบุชัดขึ้นในหน้าที่ 18 เพื่อควบคุมขนาดโมเลกุลตามต้องการ
6. ผู้วิจัยคาดหวังว่าปัจจัยเหล่านี้ส่งผลอะไรต่อ PAA-Na ที่เตรียมได้และการศึกษาสมบัติตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3 เพียงพอที่จะอธิบายผลของ PAA-Na ที่เตรียมได้ที่สภาวะต่างๆ กัน ต่อการนำไปใช้ในระบบ FO	ปรับปรุง	เพิ่มเติมท้ายขั้นตอนที่ 2 ถึงประเด็นที่สนใจในการเตรียมและผลของการเตรียมที่ต่างกัน
ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 3		
1. เป็นงานวิจัยที่อาจจะนำไปประยุกต์ใช้ได้	ไม่ปรับปรุง	ขอบคุณคะ
2. ยังไม่ค่อยชัดเจนเรื่องหลักการและเหตุผลโดยเฉพาะ “สารดึง” คือจะทำตามเอกสารอ้างอิงและไม่ได้เขียนถึง “น้ำเสียหมึกพิมพ์” ไม่มีข้อมูลว่ามีส่วนประกอบอะไร จะเอาอะไรออก(แยก) เดิมใช้วิธีอะไรไม่มีข้อมูล ขอให้เพิ่มเติมในส่วนนี้	ปรับปรุง	เพิ่มเติมให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น และเพิ่มข้อมูลน้ำเสียหมึกพิมพ์ในหน้าที่ 14
3. สารดึง ถ้าเป็น polymer หรือน้ำหนักโมเลกุลสูง ความดัน ออสโมติกจะต่ำ ตามสมการ (I) ขอให้ชี้แจงเหตุใดจึงจะใช้เป็นสารดึง	ปรับปรุง	ชี้แจงเหตุผลสมมตฐานในกรอบแนวคิด หน้าที่ 4
4. น้ำทิ้งหมึกพิมพ์เป็น Keyword ที่สำคัญ แต่ไม่ได้อธิบาย ขอให้อธิบายเพิ่มว่าจะต้องแยกอะไร ความเข้มข้น และลักษณะทางเคมี/กายภาพเป็นอย่างไร เดิมใช้วิธีอะไร เหตุใดจึงคาดว่าวิธีนี้จะดีกว่า	ปรับปรุง	เพิ่มเติมในหน้า 14
5. มีเอกสารอ้างอิงที่ทำงานคล้ายๆ กัน (สารดึง) ยังไม่ชัดเจนว่าจะแตกต่างอย่างไร	ปรับปรุง	เนื่องจากการใช้สาร Polyelectrolyte ลด Salt leakage ได้ดี ในที่ปรับกลุ่มต่างที่ใช้ให้เกิดเป็น Polyelectrolyte salt ที่ต่างชนิดกัน โดยใช้แนวคิดเดิมจากเอกสารอ้างอิง
ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 4		

แบบฟอร์มการปรับปรุง/ไม่ปรับปรุงโครงการวิจัย

เรื่อง ENG570900S-0 15321 **การใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสารดึงในการบำบัดน้ำเสียหมึกพิมพ์ด้วยกระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส**

ของ ดร.วัสสา คงนคร **ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์**

ข้อสังเกต/ข้อเสนอแนะ	ผลการพิจารณาของนักวิจัย ปรับปรุง/ไม่ปรับปรุง	เหตุผล/คำชี้แจงเพิ่มเติม (โปรดระบุเลขหน้าที่ได้ปรับปรุงในโครงการด้วย)
1. หัวข้อวิจัยเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่น่าสนใจในการทำวิจัยเพื่อหาแนวทางการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมเฉพาะแต่ยังไม่เป็นประเด็นเร่งด่วน วัตถุประสงค์ของการวิจัยมีความชำนาญและเหมาะสม คณะผู้วิจัยมีความพร้อมในการดำเนินการวิจัยในหัวข้อดังกล่าว ระยะเวลาโครงการวิจัยมีความเหมาะสมรวมถึงงบประมาณที่เสนอขอและความพร้อมของอุปกรณ์วิจัย	ไม่ปรับปรุง	ขอบคุณคะ
2. กระบวนการวิจัยมีความเป็นไปได้เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยในเทคโนโลยีนี้ในต่างประเทศอยู่บ้างแล้ว แต่การวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีการแก้ไขปัญหาในการบำบัดน้ำเสียเฉพาะอุตสาหกรรม ขั้นตอนการวิจัยมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และมีความชำนาญ การถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่กลุ่มเป้าหมายยังไม่ชัดเจน เนื่องจากเป็นการศึกษาวิจัยในขั้นการศึกษาความเป็นไปได้ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมุ่งเน้นการเผยแพร่ในรูปแบบการตีพิมพ์วารสารทางวิชาการ	ไม่ปรับปรุง	ในเบื้องต้นเน้นตีพิมพ์วารสารวิชาการ ซึ่งในระยะถัดไปจะพัฒนาให้เป็น Pilot Scale
3. ผลผลิตการวิจัยที่ได้จะเป็นองค์ความรู้ของการนำเทคโนโลยี Forward osmosis ไปใช้ในกรบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการพิมพ์ โดยแสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ แต่ยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อต่อยอดไปสู่การใช้งานจริง ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การผลิตผลงานวิชาการในรูปของ การตีพิมพ์วารสารวิชาการในระดับนานาชาติเป็นหลัก		
ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 5		
1. ในวิธีการดำเนินการข้อ 14 ในส่วนของการสังเคราะห์สารดึง(รูปที่7) ผู้วิจัยควรระบุการผันแปรค่ากรด-ด่าง กี่ค่าในช่วง 2-10 และผันแปรอุณหภูมิกี่ค่าในช่วง 25-40 C เพื่อให้เห็นปัจจัยที่เหมาะสมของการสังเคราะห์	ปรับปรุง	ปรับแก้ในหน้าที่ 14 และรูปที่ 8
2. ข้อ 1 p.18 บรรทัดสุดท้าย น่าจะใช้สมการ (2) หรือไม่	ปรับปรุง	เขียนอธิบายใหม่ในหน้าที่ 18 ข้อที่ 1

แบบฟอร์มการปรับปรุง/ไม่ปรับปรุงโครงการวิจัย

เรื่อง ENG570900S-0 15321 การใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสารดึงในการบำบัดน้ำเสียหมึกพิมพ์ด้วยกระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส

ของ ดร.วัสสา คงนคร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ข้อสังเกต/ข้อเสนอแนะ	ผลการพิจารณาของนักวิจัย ปรับปรุง/ไม่ปรับปรุง	เหตุผล/คำชี้แจงเพิ่มเติม (โปรดระบุเลขหน้าที่ได้ปรับปรุงในโครงการด้วย)
3. วิธีเตรียม PAA-Na P.16 การ characterifation สารที่สังเคราะห์ได้ จะดูปัจจัยด้านใดบ้าง ควรระบุเพื่อสามารถติดตามผลได้ P.17 ใต้ตาราง ควรขยายความว่าจะมีเกณฑ์การคัดเลือกอย่างไร คงไม่จำเป็นต้องตามไปอ่านอ้างอิง (10) ทั้งฉบับ	ปรับปรุง	เพิ่มเติมในหน้าที่ 18 ข้อ 2 และเกณฑ์พิจารณาในหน้าที่ 10
4. ข้อ 4 P.17 บรรทัดสุดท้าย ผู้วิจัยจะปรับค่าแรงดันออสโมติกในระหว่างการเดินระบบด้วยหรือไม่ จะมีวิธีการอย่างไร(หากต้องปรับ)	ไม่ปรับปรุง	ไม่ปรับค่าแรงดัน แต่จะดูจากค่าแรงดันที่ออกจากการฟื้นสภาพด้วย UF
5. ข้อ 5 P.18 ควรระบุที่ตั้งของบริษัท ซี.เอ็ม.เค อีโวเทค จำกัด ด้วย	ปรับปรุง	ระบุในหน่วยงานสนับสนุน
6. รูปที่ 9 P.18 ผู้วิจัยแสดงผลผลิตของระบบ คือ น้ำดีที่กรองผ่านเครื่องกรองระดับ UF แต่ในวัตถุประสงค์ข้อ 6 P.3 ผู้วิจัยต้องการสังเคราะห์สารดึงและศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของสารดึงเท่านั้น	ไม่ปรับปรุง	ในที่นี้เลือกใช้ UF เป็นการแยกสารดึงกับน้ำที่ผ่านการบำบัด และนำสารดึงไปใช้งานอีกครั้ง ซึ่ง UF เป็นเพียงระบบเสริมเพื่อใช้เลือกสารดึงที่เหมาะสมเท่านั้น
ข้อเสนอแนะ ส่วนงบประมาณ		
ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 2		
งบประมาณรวมผิด ที่ถูกต้องคือ 216,090 บาท	ปรับปรุง	ขอบคุณคะ
ผู้ทรงคุณวุฒิคนที่ 5		
1. งบเหมาะสมแล้ว	ปรับปรุง	ขอบคุณคะ ในที่นี้ปรับแก้เพิ่มงบสาธารณูปโภคที่ไม่ได้เสนอในรอบแรก
2. ผู้วิจัยขอซื้อ micropump 1 ตัว แต่ในรูปที่ 9 ใช้ 2 ตัว ควรชี้แจงว่าอีก 1 ตัว มีอยู่แล้วหรือยืมที่ไหน	ปรับปรุง	ชี้แจงใช้อีกตัวของสถานวิจัยฯ
คณะทำงานฯ/มหาวิทยาลัย		

แบบฟอร์มการปรับปรุง/ไม่ปรับปรุงโครงการวิจัย

เรื่อง ENG570900S-015321 **การใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสารดึงในการบำบัดน้ำเสียหมึกพิมพ์ด้วยกระบวนการฟอร์เวิร์ดออสโมซิส**

ของ ดร.วัสสา คงนคร **ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์**

ข้อสังเกต/ข้อเสนอแนะ	ผลการพิจารณาของนักวิจัย ปรับปรุง/ไม่ปรับปรุง	เหตุผล/คำชี้แจงเพิ่มเติม (โปรดระบุเลขหน้าที่ได้ปรับปรุงในโครงการด้วย)
1. ขอให้ชี้แจงรายละเอียดเพิ่มเติมค่าจ้างเหมาทำ FO unit และ UF unit	ไม่ปรับปรุง	ขอชี้แจงรายละเอียดในที่นี้เนื่องจากระบบที่มีเดิมใช้กับกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร และในที่นี้เป็นสารสีที่ต้องการเห็นการทำงานจึงเลือกใช้อะคริลิกหนา ซึ่งต้องซื้อทั้งแผ่นมาเซาะขนาดตามที่ต้องการโดยช่างเทคนิค สำหรับ UF เช่นกันต้องใช้ท่อเทฟลอนตันมาเซาะซึ่งราคาสูง
2. ขอให้ชี้แจงเหตุผลความจำเป็นในการซื้อครุภัณฑ์ Micropump	ปรับปรุง	เนื่องจากอัตราการไหลมีค่าต่ำซึ่งต้องใช้ปั๊มตัวเล็กโดยให้เป็นรุ่นใกล้เคียงกับที่ใช้ในด้าน Feed ที่ใช้เป็นครุภัณฑ์ของสถานวิจัยซึ่งอายุกว่า 10 ปี

(ลงชื่อ) ..... หัวหน้าโครงการวิจัย
(**ดร.วัสสา คงนคร**)
(...../...../.....)

(ลงชื่อ) ..... ที่ปรึกษาโครงการ
(.....)
(...../...../.....)