ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโน โดยวิธีออสโมซิสผันกลับ
ชื่อผู้วิจัย นายภาณุมาศ เหลืองปัญญากุล **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) รองศาสตราจารย์ สมทรง อินสว่าง (2) รองศาสตราจารย์ ดร. ศริศักดิ์ สุนทรไชย **ปีการศึกษา** 2545

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโน โดยวิธีออสโมซิสผันกลับ โดยมีข้อกำหนดว่าวิธีออสโมซิสผันกลับมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ซีโอดี แอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนโตรเจนทั้งหมด ได้มากกว่าร้อยละ 70

ในการวิจัยได้มีการนำคอนเดนเสทที่ผ่านการต้มระเหยจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนมาปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียด้วยวิธีออสโมซิสผันกลับ โดยใช้แผ่นเยื่อกรองทำจากวัสดุโพลีเอไมด์ เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ คือ (1) เปอร์เซ็นต์แยกกลับที่เหมาะสม (2) ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม (3) ค่าความดันที่เหมาะสมและ (4) ความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์และช่วงเวลา สำหรับการล้างแผ่นเยื่อกรองด้วยวิธีการล้างในระบบ

ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถบำบัดบัดบีโอดี ซีโอดี แอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนโตรเจนทั้งหมดได้มากกว่าร้อยละ 70 โดยมีสภาวะต่าง ๆ ดังนี้ (1) เปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่ระดับ 50 (2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.0 (3) ความดันที่ 10×10^5 ปาสคาล (4) ความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์ประมาณ 17 ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเซ็นติเมตร โดยมีช่วงเวลาสำหรับการล้างแผ่นเยื่อกรองทุกๆ 20 วัน

คำสำคัญ คอนเดนเสท ออสโมซิสผันกลับ แผ่นเยื่อกรอง รีเทนเทท เพอร์มิเอท เพอร์มิเอทฟลักซ์

Thesis title: QUALITY IMPROVEMENT OF WASTEWATER FROM AMINO ACID PRODUCTION BY REVERSE OSMOSIS METHOD

Researcher: Mr. Phanumart Luangpanyakul: **Degree:** Master of Public Health (Industrial Environmental Management); **Thesis Advisors:** (1) Mr. Somsong Insawang, Associate Professor; (2) Dr. Sarisak Sunthornchai, Associate Professor; **Academic year:** 2002

ABSTRACT

The objective of this study was to study the improvement of wastewater from amino acid production by reverse osmosis method with the assumption that Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Ammonia Nitrogen (AN) and Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) would be treated by reverse osmosis method for more than 70%.

The condensate from the evaporation process of amino acid production was used as the feed solution in the improvement of wastewater by reverse osmosis method in this study. The membrane made of polyamide was used for investigation of the factors including (1) optimum % recovery (2) optimum pH (3) optimum operating pressure and (4) stability of permeate flux and duration for membrane cleaning by Clean In Pipe method.

The result of study presented that BOD, COD, AN and TKN were treated more than 70% with the following condition (1) 50% recovery (2) pH 6.0 (3) optimum pressure at $10x10^5$ Pascal and (4) the permeate flux could be kept stable at 17 $l/hr.cm^2$ by cleaning of membrane every 20 days.

Keywords: Condensate, Reverse Osmosis, Membrane filtration, Retentate, Permeate, Permeate flux

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ศริศักดิ์ สุนทรไชย แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและติดตามการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา นับแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ. สมทรง อินสว่าง ประธานกรรมการการจัดทำวิทยานิพนธ์ แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่ให้คำแนะนำ ตรวจแก้ไขและปรับปรุงวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ และ ผศ.ดร.จำรัส พร้อมมาศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณ บริษัทผลิตกรดอะมิโน (แอล-ไลซีน) จังหวัดปทุมธานี ที่ได้อนุเคราะห์ตัวอย่าง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่สนใจศึกษาวิทยานิพนธ์นี้และก่อให้เกิดการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีของสังคมในปัจจุบันและอนาคต

ภาณุมาศ เหลืองปัญญากุล

กรกฎาคม 2545

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……………………………………………………………………………ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ………………………………………………………………………...จ

กิตติกรรมประกาศ……………………………………………………………………………ฉ

สารบัญตาราง………………………………………………………………………………...ฌ

สารบัญภาพ…………………………………………………………………………………..ญ

บทที่ 1 บทนำ…………………………………………………………………………………1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา…………………………………………………...1

วัตถุประสงค์การวิจัย………………………………………………………………………2

กรอบแนวคิดการวิจัย……………………………………………………………………...3

ข้อกำหนดการวิจัย………………………………………………………………………...4

ขอบเขตการวิจัย…………………………………………………………………………...4

ข้อตกลงเบื้องต้น…………………………………………………………………………..4

นิยามศัพท์เฉพาะ…………………………………………………………………………..5

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ………………………………………………………………..5

บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง……………………………………………………………..6

ปัญหาและความสำคัญของทรัพยากรน้ำ…………………………………………………..6

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม…………………………………………………………...7

การกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง………………………………………………………………..9

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง………………………………………………………………………..26

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย……………………………………………………………………28

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง………………………………………………………………….28

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย………………………………………………………28

การเก็บรวบรวมข้อมูล……………………………………………………………………….34

การวิเคราะห์ข้อมูล…………………………………………………………………………..36

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล………………………………………………………………..37

การหาเปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่เหมาะสม…………………………………………………37

การหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเดินระบบ…………………………………..43

การหาความดันที่เหมาะสมต่อการเดินระบบ………………………………………………..48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การหาค่าความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์.....53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....57
สรุปการวิจัย.....57
อภิปรายผล.....59
ข้อเสนอแนะ.....61
บรรณานุกรม.....63
ภาคผนวก.....67
ก การวิเคราะห์หาค่าซีโอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด.....68
ข การวิเคราะห์หาค่าไนโตรเจนโดยวิธีของเจดาลท์.....71
ค การวิเคราะห์หาค่าบีโอดี (5 วัน)..... 75
ประวัติผู้วิจัย.....81

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความต้องการใช้น้ำในภาพรวมทั้งประเทศและอัตราการเพิ่มขึ้น
ในระยะ 10 ปีข้างหน้า…………………………………………………………...7
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์……………..38
ตารางที่ 4.2 ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสีย รีเทนเททและเพอร์มิเอทที่เปอร์เซ็นต์การแยกกลับต่าง ๆ…...40
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและเปอร์เซ็นต์การกักกัน……..……...41
ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดด่างและเพอร์มิเอทฟลักซ์…………………..43
ตารางที่ 4.5 ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสีย รีเทนเททและเพอร์มิเอทที่ความเป็นกรดด่างต่าง ๆ…………45
ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดด่างและเปอร์เซ็นต์การกักกัน…………….....46
ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเพอร์มิเอทฟลักซ์………………………………..48
ตารางที่ 4.8 ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสีย รีเทนเททและเพอร์มิเอทฟลักซ์
เมื่อเดินระบบที่ความดันต่าง ๆ………………………………………………………50
ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเปอร์เซ็นต์การกักกัน……………………………51
ตารางที่ 4.10 ความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์…………………………………………………..53

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดวิจัย……………………………………………………………….3
ภาพที่ 2.1 การทำงานของแผ่นเยื่อกรองแบบกะ…………………….. ………………………..10
ภาพที่ 2.2 ลักษณะการกรองโดยการใช้แผ่นเยื่อกรองแบบโมดูล……………….……………..11
ภาพที่ 2.3 การกรองแบบไหลขวาง……. …………………….……………………………..11
ภาพที่ 2.4 เพอร์มิเอทและรีเทนเททของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ……………….……..13
ภาพที่ 2.5 หลักการของกระบวนการออสโมซิสและออสโมซิสผันกลับ………………………15
ภาพที่ 2.6 กลไกการแพร่ของสารละลาย……….……..……………………………………..16
ภาพที่ 2.7 แผนภาพการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน…….………………………………19
ภาพที่ 2.8 แผ่นเยื่อกรองแบบอสมมาตร……………………………………………………….21
ภาพที่ 2.9 แผ่นเยื่อกรองแบบแผ่น……………………….…………………………………….23
ภาพที่ 2.10 แผ่นเยื่อกรองแบบท่อ……………………………………………………………..24
ภาพที่ 2.11 แผ่นเยื่อกรองแบบม้วน……………………………………………………………24
ภาพที่ 2.12 แผ่นเยื่อกรองแบบเส้นใยกลวง……………………………………………………25
ภาพที่ 3.1 แผนภาพของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ……………………………………...29
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์…….……....39
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและเปอร์เซ็นต์การกักกัน……………..42
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดด่างและเพอร์มิเอทฟลักซ์……………………44
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดด่างและเปอร์เซ็นต์การกักกัน………………..47
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเพอร์มิเอทฟลักซ์…………………….……...49
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเปอร์เซ็นต์การกักกัน…………………………..52
ภาพที่ 4.7 ความเสถียรของค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์ที่สภาวะที่เหมาะสม……………………………..56

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีสะอาด ได้เข้ามามีบทบาทอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตหรืออาจเรียกว่าเป็นการผลิตที่สะอาด เนื่องจากการได้รับข้อมูลข่าวสารและการส่งเสริมจากภาครัฐมากขึ้น รวมทั้งผู้บริหารโรงงานอุตสาหกรรมเริ่มมีความตระหนักว่า การลดของเสียที่แหล่งกำเนิดหรือการใช้หมุนเวียนภายในการกระบวนการผลิตจะส่งผลดีต่อธุรกิจและสิ่งแวดล้อมมากกว่าการบำบัดที่ปลายท่ออย่างที่นิยมกระทำกันในอดีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีสารอาหารจำพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สามารถทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) หรือสภาวะที่พืชน้ำเจริญอย่างรวดเร็ว โดยเป็นการเจริญที่เกิดขึ้นในชั้นยูโทรฟิค (Eutrophic Zone) ซึ่งเป็นชั้นที่มีแสงสว่างเพียงพอสำหรับการสังเคราะห์แสง (วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ 2531: 1) ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันคือพืชน้ำบางชนิด เช่น ผักตบชวา แหน สาหร่าย เป็นต้น มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นอุปสรรคต่อการคมนาคมทางน้ำ ในแหล่งน้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง (Dissolved Oxygen; DO) ส่งผลให้พืชน้ำและสัตว์น้ำเกิดการตายทับถมมากขึ้น จนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินต้องมีการขุดรอก คูคลองบ่อยขึ้น นอกจากนี้อาจทำให้แหล่งน้ำมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปทั้ง สี กลิ่น ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคต่อไปได้ (ทศพร ธงทอง 2529: 9)

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานประเภทนี้จะต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการบำบัด เช่น ระบบ Bardenpho Process Four Stage สำหรับน้ำเสียที่มีไนโตรเจนสูงเพียงอย่างเดียว หรือระบบ Bardenpho Process Five Stage สำหรับน้ำเสียที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง ระบบ Bardenpho เป็นระบบที่รวมเอาระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge; AS) เข้ากับกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) ที่ต้องใช้แบคทีเรียสองชนิดคือ ไนโตรโซโมแนส (*Nitrosomonas*) และไนโตรแบคเตอร์ (*Nitrobacter*) ในการบำบัดไนโตรเจนโดยไนโตรโซโมแนสสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนไตรท์ (Nitrite; NO_2) จากนั้นไนโตรแบคเตอร์จะเปลี่ยนไนโตรท์ให้เป็นไนเตรท (Nitrate; NO_3^-) โดยทั้งสองกระบวนการดังกล่าวต้องเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน หลังจากนั้นไนเตรทจะถูกส่งไปยังบ่อไร้อากาศที่มีแหล่งของบีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) และจุลินทรีย์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา

ทางชีวเคมีโดยใช้ไนเตรทเป็นออกซิไดซิง เอเจนท์ (Oxidizing Agent) ทำให้ไนเตรทเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไนโตรเจนที่ไม่เป็นพิษปลดปล่อยสู่บรรยากาศ ซึ่งระบบดังกล่าวเป็นระบบที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยแวดล้อม ล้มเหลวได้ง่าย จึงต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเป็นผู้ดูแลระบบ รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดูแลระบบที่สูงมาก ทำให้ผู้ประกอบการหันมาสนใจการลดปริมาณน้ำเสียจากแหล่งกำเนิด โดยการใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิตมากขึ้น

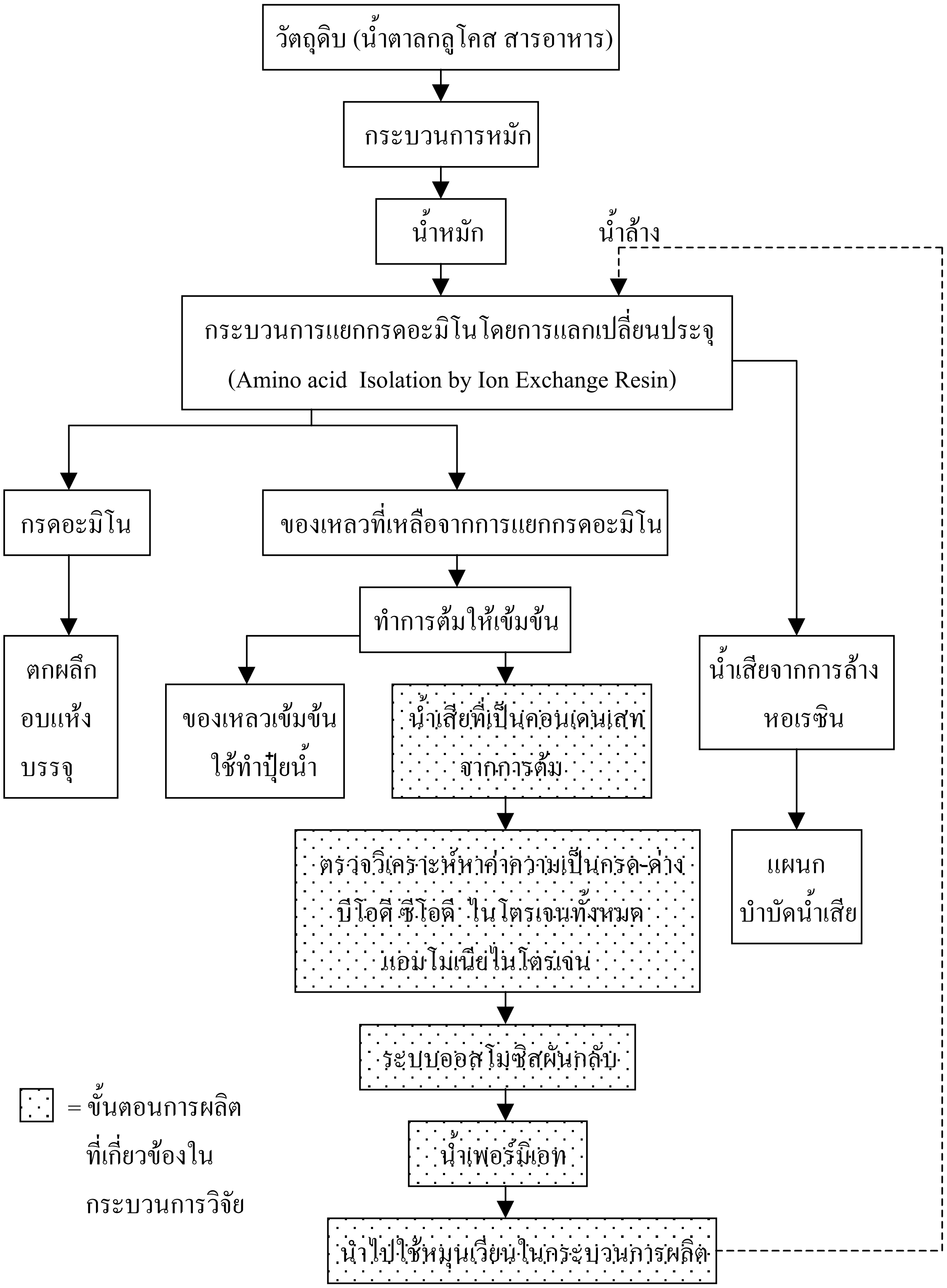
โรงงานผลิตกรดอะมิโนจัดเป็นหนึ่งในโรงงานที่มีน้ำเสียปริมาณมากและมีไนโตรเจนปนเปื้อนสูง แต่น้ำเสียจากกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยใช้หม้อต้มระเหย (Evaporator) ให้เป็นคอนเดนเสท (Condensate) แม้จะมีสารละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solid; TDS) อยู่มาก ซึ่งมลสารเหล่านี้ คือ บีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) ที่ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณ 1000, 1200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่จะมีลักษณะใส ไม่มีสี มีของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid; SS) น้อยมาก จึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียนี้แล้วนำกลับมาใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของวิธีออสโมซิสผันกลับในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโน

2.2 เพื่อศึกษาความเสถียรของแผ่นเยื่อกรองในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

3. กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

4. ข้อกำหนดการวิจัย

ระบบออสโมซิสผันกลับมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, AN (Ammonia Nitrogen) และ TKN ได้มากกว่าร้อยละ 70 ของปริมาณเริ่มต้น โดยน้ำที่จะนำไปใช้หมุนเวียนจะต้องได้รับการกำจัด BOD, COD, AN และ TKN ออกไปมากกว่าร้อยละ 70 ของปริมาณเริ่มต้นในน้ำเสีย เพื่อให้น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วมีปริมาณ BOD, COD, AN และ TKN อยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้ในการล้างหอเรซินได้ มิฉะนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเรซินต่ำลงเมื่อใช้น้ำที่มีมลสารเหล่านี้ไปนานๆ

5. ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้ มุ่งศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียที่เป็นคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนโดยวิธีออสโมซิสผันกลับและเพื่อที่จะนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิต โดยปัจจัยต่างๆ ที่ต้องการศึกษามีดังนี้

5.1 ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, AN และTKN

5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

5.3 ความดัน (Pressure) ที่เหมาะสมต่อวิธีออสโมซิสผันกลับ

5.4 เปอร์เซ็นต์การแยกกลับ (% Recovery) ที่เหมาะสม

6. ข้อตกลงเบื้องต้น

6.1 การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาโดยใช้น้ำเสียที่เป็นคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโน (แอล-ไลซีน)

6.2 ระบบออสโมซิสผันกลับ ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นอุปกรณ์ของบริษัท Nitto Denko รุ่น LFC1

6.3 การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษา ณ โรงงานผลิตกรดอะมิโน (แอล-ไลซีน) จังหวัดปทุมธานี

7. นิยามศัพท์เฉพาะ

7.1 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโน หมายถึง น้ำเสียที่เป็นคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนในขั้นตอนการต้มสารละลายให้เข้มข้น มีปริมาณ 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งมีดังนี้

- ค่า pH ประมาณ 5.5-6.0
- อุณหภูมิ 53-40 องศาเซลเซียส
- ปริมาณ AN อยู่ในช่วง 90-150 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ปริมาณ TKN อยู่ในช่วง 95-250 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ปริมาณ BOD อยู่ในช่วง 900-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ปริมาณ COD อยู่ในช่วง 1,000-1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- มีลักษณะใส ไม่มีสี

7.2 ระบบออสโมซิสผันกลับ หมายถึง ระบบออสโมซิสผันกลับ ของบริษัท Nitto Denko รุ่น LFC 1 ทำจากวัสดุโพลีเอไมด์ (Polyamide) มีพื้นที่การกรอง 28 ตารางเมตร

8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

น้ำเสียที่เป็นคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโน เมื่อผ่านกระบวนการออสโมซิสผันกลับจะสามารถนำกลับมาใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิตได้

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. ปัญหาและความสำคัญของทรัพยากรน้ำ

ทรัพยากรน้ำ มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินกิจกรรมในแต่ละวัน ทั้งทางด้านสังคมและเศรษฐกิจ เช่น เพื่อการอุปโภคบริโภค การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรม และการท่องเที่ยว ปัจจุบันและแนวโน้มความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในภาพรวมของประเทศ มีความต้องการใช้น้ำถึง 73,000 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี จะเพิ่มขึ้นถึง 93,900 และ 98,800 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ในปี พ.ศ. 2549 และ 2553 ตามลำดับหรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 35 ภายใน 10 ปีข้างหน้า (คณะทำงานเพื่อชีวิตและสุขภาพ สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข 2543: 4) โดยเมื่อพิจารณาแต่ละกิจกรรมประมาณการว่าภายใน 10 ปีข้างหน้า ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว การชลประทานและการผลิตกระแสไฟฟ้านั้น จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 140, 80, 35 และ 16 ตามลำดับ (ตารางที่ 2.1) โดยเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปีพบว่าฝนตกปีละ 800,000 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยที่ปริมาณน้ำส่วนหนึ่งจะซึมลงใต้ดินและระเหยกลับสู่บรรยากาศประมาณปีละ 600,000 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำส่วนนี้มีเพียงร้อยละ 5 หรือ 38,000 ล้านลูกบาศก์เมตร ที่จะซึมลงสู่แหล่งบาดาลแต่ก็ไม่สามารถกักเก็บได้ทั้งหมด มีบางส่วนไหลลงทะเล น้ำฝนอีก 200,000 ล้านลูกบาศก์เมตร จะไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง บึงต่างๆ โดยภาครัฐ สามารถพัฒนาแหล่งน้ำต่างๆ เพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ได้เพียงปีละ70,800 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 35 ของปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งปี ส่วนที่เหลืออยู่จะไหลลงทะเลทั้งหมด (โครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนงานหลักงานพัฒนาแหล่งน้ำทั่วประเทศ 2539: 6)

จากปริมาณน้ำที่มีอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการใช้น้ำในปัจจุบันและอนาคตพบว่า ประเทศไทยจะประสบปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรน้ำอย่างแน่นอน แต่การขาดแคลนทรัพยากรน้ำจะทวีความรุนแรงขึ้นอีก เพราะว่าปริมาณน้ำบางส่วนไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ (2541) 358 จุดจากแม่น้ำ 48 สาย แหล่งน้ำทั้ง 4 แห่ง พบว่าคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ ประมาณร้อยละ 19 อยู่ในเกณฑ์ดี (แหล่งน้ำประเภท 2) ร้อยละ 53 ของแหล่งน้ำอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (แหล่งน้ำ

ประเภท 3) และมีถึงร้อยละ 28 อยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ (แหล่งน้ำประเภท 4) ปัญหาที่สำคัญที่พบในแหล่งน้ำนั้นยังพบอีกว่าปัญหาการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์มสูง ปริมาณออกซิเจนที่ต่ำและความขุ่นของลำน้ำ โดยเฉพาะฤดูฝนจะเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำได้ แม่น้ำที่มีสภาพทรุดโทรมมาก ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง แม่น้ำท่าจีนตอนล่างและแม่น้ำระยอง ทะเลสาบสงขลาก็มีคุณภาพน้ำค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะบริเวณปากคลองอู่ตะเภา คลองพะวงและคลองสำโรง ซึ่งมีค่าบีโอดีและฟอสฟอรัสค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังพบว่ามีสารหนูค่อนข้างสูงที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช อำเภอบันนังสตา จังหวัดยะลาและอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (โครงการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาลุ่มน้ำ 25 ลุ่มน้ำ 2537 :9)

ตารางที่ 2.1 ความต้องการใช้น้ำในภาพรวมทั้งประเทศ (ล้านลูกบาศก์เมตร) และอัตราการเพิ่มขึ้นในระยะ 10 ปีข้างหน้า

	ปัจจุบัน	พ.ศ.2549	พ.ศ.2553	อัตราการเพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
การบริโภคอุปโภค	3,118.14	6,593.32	7,411.01	137.7
การอุตสาหกรรมและท่องเที่ยว	1,311.52	2,154.40	2,352.72	79.4
การชลประทาน	48,171.92	61,746.64	64,940.69	34.8
การผลิตกระแสไฟฟ้า	20,767.24	23,425.30	24,050.73	15.8
รวม	73,368.82	93,919.69	98,755.15	34.6

ที่มา : สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข, คณะทำงานน้ำเพื่อชีวิตและสุขภาพ “น้ำเพื่อชีวิตและสุขภาพประชาชนไทยในทศวรรษหน้า” กรุงเทพมหานคร คณะทำงานน้ำเพื่อชีวิตและสุขภาพ สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข พ.ศ. 2543 (รายงานการประชุมเชิงปฏิบัติการ จัดทำเป้าหมาย แผนงานโครงการ)

2. น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (กรมควบคุมมลพิษ 2542: 16-19)

2.1 การจำแนกประเภทอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณและลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีหลากหลายและแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับประเภท ขนาด วัตถุดิบที่ใช้และ

กระบวนการผลิต โดยทั่วไปสามารถจำแนกประเภทอุตสาหกรรมเป็นกลุ่มตามลักษณะของมลพิษหลักในน้ำเสีย ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการที่บำบัดน้ำเสียได้ถูกต้อง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

2.1.1 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าความสกปรก (BOD) สูง เช่นโรงงานน้ำตาล เบียร์ สุรา ผลไม้กระป๋อง นม-เนย ซักรีดเสื้อผ้า เยื่อกระดาษ ฟอกหนังและทอผ้า เป็นต้น

2.1.2 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าตะกอนแขวนลอยสูง เช่นโรงงานสุรา-เบียร์ อาหารและผลไม้กระป๋อง เยื่อกระดาษและฟอกหนัง เป็นต้น

2.1.3 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าของแข็งละลายน้ำสูง เช่นโรงงานเคมี อาหารกระป๋องและฟอกหนัง เป็นต้น

2.1.4 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าน้ำมันและไขมันสูง เช่นโรงงานขัดและเคลือบเงาโลหะ ซักรีดเสื้อผ้า น้ำมันพืช กลั่นน้ำมัน ฟอกหนังและบรรจุภัณฑ์อาหาร เป็นต้น

2.1.5 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าสีในน้ำเสีย เช่นโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า กระดาษ ฟอกหนังและฟอกย้อมผ้า เป็นต้น

2.1.6 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกลิ่นรุนแรง เช่นโรงงานเคมีภัณฑ์ ผลิตถ่านหินและแก๊ส โรงงานกลั่นน้ำมัน เป็นต้น

2.1.7 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารพิษ เช่น โรงงานใช้พลังงานกัมมันตรังสี ผลิตอาวุธ กัมมันตรังสี เคมีภัณฑ์ ชุบโลหะ เยื่อกระดาษและฟอกหนัง เป็นต้น

2.1.8 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าความเป็นกรดด่างต่ำ เช่นโรงงานเคมีภัณฑ์ ถ่านหิน ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เหล็กและเยื่อกระดาษ เป็นต้น

2.1.9 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าความเป็นกรดด่างสูง เช่นโรงงานเคมีภัณฑ์ ซักรีดเสื้อผ้า ฟอกหนังและทอผ้า เป็นต้น

2.1.10 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิในน้ำเสียสูง เช่นโรงงานล้างขวดสุรา เบียร์ ชุบโลหะ พลังงานปรมาณู พิมพ์ผ้าและซักรีดเสื้อผ้า เป็นต้น

2.2 มลพิษในน้ำเสีย

โดยหลักการแล้ว มลพิษต่างๆ ในน้ำเสียดังกล่าวข้างต้นนี้จะมีปริมาณมากหรือน้อยและ/หรือจะต้องได้รับการบำบัดเพียงใด ได้มาตรฐานหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับมาตรฐานน้ำทิ้งที่ได้กำหนดไว้และ/หรือวัตถุประสงค์การใช้ประโยชน์แหล่งน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่ง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้เป็นสำคัญ มลพิษต่างๆ ในน้ำเสียอุตสาหกรรมจำเป็นที่จะต้องได้รับการบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ เพื่อเป็นการควบคุมป้องกันและอนุรักษ์แหล่งน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ด้วยสาเหตุหลายประการด้วยกันดังนี้

2.2.1 สารอินทรีย์ (Soluble Organics) จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีปริมาณลดน้อยลงอันจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้ ดังนั้นการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ที่เหมาะสมก่อนจะปล่อยลงสู่ลำน้ำ จึงต้องดำเนินการอย่างรอบคอบและมีความสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องกับความสามารถในการรองรับน้ำเสียของแต่ละแหล่งน้ำ

2.2.2 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid) เมื่อถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำที่มีสภาวะที่นิ่งในปริมาณที่มากแล้ว จะก่อให้เกิดการรบกวนต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้และเมื่อเกิดการจมตัวลงเป็นตะกอนที่ท้องน้ำแล้ว ของแข็งแขวนลอยในส่วนที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่ด้วย (Organic Solids) จะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงได้และเกิดสภาวะไร้อากาศขึ้นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเนื่องให้เกิดก๊าซที่ไม่พึงปรารถนาได้ เช่น ก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นต้น

2.2.3 สารละลายน้ำที่มีปริมาณน้อยมาก (Trace Elements) เมื่อสารเหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นฟีนอลหรือสารอินทรีย์อื่นๆ ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่แหล่งน้ำ อาจก่อให้เกิดปัญหากลิ่นในน้ำเสียตามมา ซึ่งจำเป็นจะต้องบำบัดก่อนปล่อยสู่ลำน้ำต่อไป

2.2.4 สารโลหะหนักไซยาไนต์และสารพิษทั้งหลาย ก่อนปล่อยสู่ลำน้ำจะต้องบำบัดให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้งที่ได้กำหนดไว้เสียก่อน มิฉะนั้นจะก่อผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในลำน้ำได้

2.2.5 สีและความขุ่น ที่เกิดจากอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม เป็นต้น ก็เป็นปัญหาที่รุนแรงพอสมควรในแง่มุมของความไม่น่าดูซึ่งต้องลงทุนค่อนข้างสูงในการบำบัดสีและความขุ่นในน้ำเสีย

2.2.6 น้ำมันและไขมัน จะก่อให้เกิดปัญหาเน่าเสียและไม่น่าดูของแหล่งน้ำได้

2.2.7 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำนิ่ง ทะเลสาบหรือแหล่งน้ำสำหรับท่องเที่ยวต่างๆ นั้น จะก่อให้เกิดปัญหาผักตบชวาและการเจริญเติบโตของสาหร่าย (ยูโทรฟิเคชัน)

3. การกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง (Membrane Filtration) (N.F.Gray, 1999: 484-488)

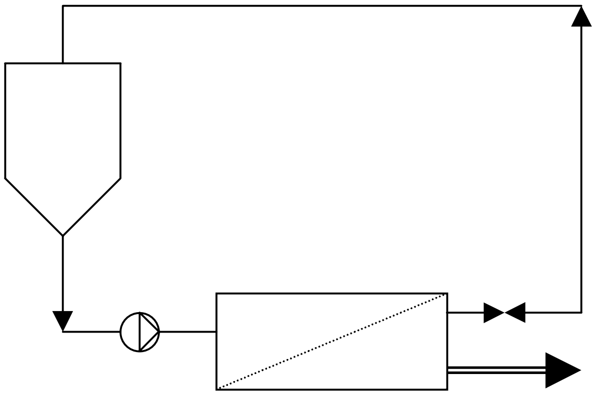
การกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนกว่ากระบวนการกรองธรรมดาทั่วไป เนื่องจากเป็นการกรองโดยใช้แผ่นเยื่อกรองที่ผลิตจากโพลีเมอร์สังเคราะห์ภายใต้ความดันซึ่งสามารถกรองไวรัสหรือแม้กระทั่งไอออนบางชนิดได้ การกรองโดยทั่วๆ ไปสามารถใช้ได้กับอนุภาคขนาดโตกว่า 10^{-5} เมตรเท่านั้น ดังนั้นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10^{-5} เมตรจนถึง 10^{-10} เมตร จะต้องอาศัยการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ในปัจจุบันเทคโนโลยีการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรองได้ถูกนำมา

ใช้อย่างแพร่หลาย สำหรับการผลิตน้ำดื่มและการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย การกรองด้วยแผ่นเยื่อกรองมีหลายประเภทดังนี้

3.1 ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration; MF)

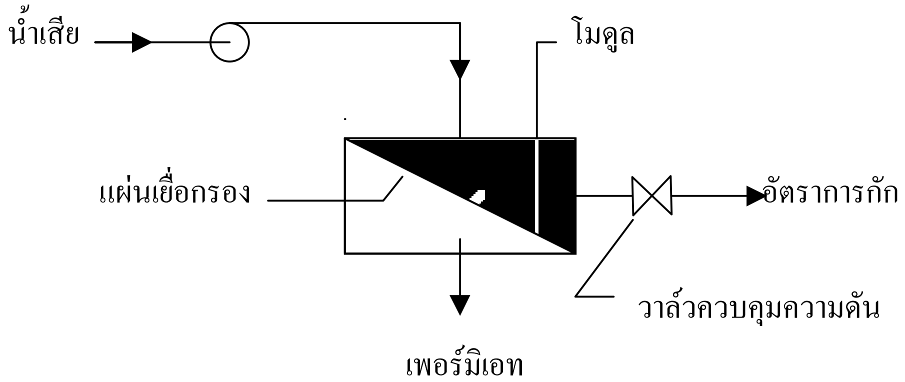
MF เป็นกระบวนการทางกายภาพที่มีจำหน่ายในแบบสำเร็จรูปทั้งแบบคาร์ทริดจ์หรือโมดูลที่สามารถแยกอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.05 ถึง 5 ไมครอน แผ่นเยื่อกรองมีหลายแบบทั้งแบบท่อ (Tubular) แบบคาปิลลารี (Capillary) แบบฮอลโลไฟเบอร์ (Hollow Fiber) และแบบสไปรอลลี่ วูนด์ ชีท (Spirally Wound Sheet) น้ำเสียจะถูกส่งผ่านแผ่นเยื่อกรองด้วยความดัน 100 ถึง 400 กิโลปาสคาล (kPa) เพื่อทำให้เพอร์มิเอทผ่านแผ่นเยื่อกรอง โดยที่อนุภาคต่างๆ จะถูกกักไว้

แผ่นเยื่อกรองที่ใช้กับ MF ส่วนใหญ่ทำจากฟิล์มโพลีเมอร์บางๆ ที่มีช่องว่างขนาดสม่ำเสมอ และความหนาแน่นของช่องว่างสูง (ร้อยละ 75-80) ซึ่งการที่มีความหนาแน่นของช่องว่างสูงจะทำให้มีแรงต้านการไหลต่ำและมีอัตราการกรองสูง MF ส่วนใหญ่จะใช้การกรองแบบกะ (Batch Operation) ที่มีการผลิตเพอร์มิเอทตลอดเวลาในขณะที่มีความเข้มข้นของของแข็งที่กักไว้จะเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลา จะต้องมีการล้างย้อน (Back Washing) เป็นครั้งคราวเพื่อกำจัดอนุภาคที่เกาะติดอยู่กับแผ่นเยื่อกรอง ดังแสดงในภาพที่ 2.1



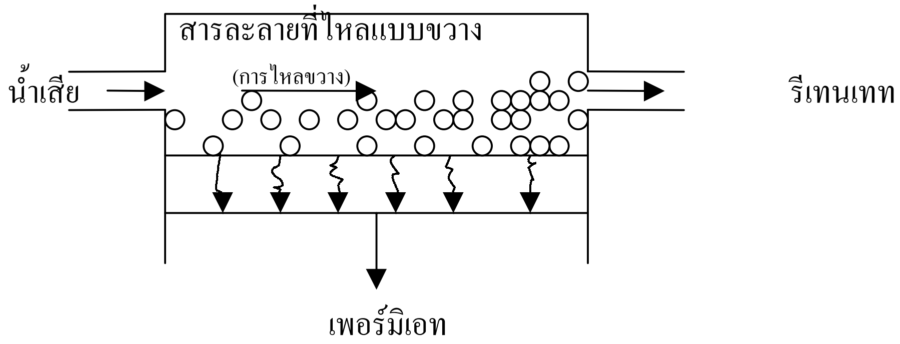
ภาพที่ 2.1 การทำงานของแผ่นเยื่อกรองแบบกะ

MF มีการออกแบบที่แตกต่างกันแต่สามารถแบ่งตามวิธีการป้อนน้ำเสียสู่แผ่นเยื่อกรอง ในระบบที่เป็นทางตัน (Dead-End) การไหลจะตั้งฉากกับแผ่นเยื่อกรองซึ่งอนุภาคที่ถูกกักไว้จะสะสมอยู่ที่ผิวของแผ่นเยื่อกรองและสร้างเป็นตะกอนของการกรอง เมื่อชั้นของตะกอนหนาขึ้นอัตราผ่านของเพอร์มิเอทฟลักซ์จะลดลง เมื่ออัตราการกรองต่ำมากๆ ก็จะต้องทำการเปลี่ยนแผ่นเยื่อกรองหรือทำการล้างย้อน



ภาพที่ 2.2 ลักษณะการกรองโดยการใช้แผ่นเยื่อกรองแบบโมดูล

ระบบการไหลขวาง (Cross Flow) เป็นระบบที่น้ำเสียจะไหลสัมผัสกับแผ่นเยื่อกรองทำให้เกิดการล้างด้วยตัวมันเอง ซึ่งจะทำให้ใช้งานได้ยาวนานกว่าจะที่ต้องทำการล้างหรือเปลี่ยนแผ่นเยื่อกรอง ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.3 การกรองแบบไหลขวาง (Cross Flow)

MF สามารถกำจัดเซลล์ของจุลินทรีย์ คอลลอยด์ขนาดใหญ่และอนุภาคเล็กๆ (ต่ำกว่า 0.5 ไมครอน) ซึ่งจะใช้แพร่หลายในการกำจัดเชื้อโรคที่ทนต่อคลอรีน โดยเฉพาะซีสต์ของจุลินทรีย์จำพวก *Cryptosporidium* และ *Giardia* พวกจุลินทรีย์ต่าง ๆ ก็สามารถถูกกำจัดได้ขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ว่าอยู่ในช่วงที่สามารถกรองได้หรือไม่ ในขณะที่ไวรัสจะไม่ถูกกำจัดเว้นเสียแต่ว่า ไวรัสนั้นจะอาศัยอยู่ในอนุภาคขนาดใหญ่ เป็นเรื่องน่าสนใจมากในการที่จะใช้ MF แทน

ระบบการทำน้ำดื่มด้วยวิธีการดั้งเดิม เช่น การสร้างตะกอน การตกตะกอนและการกรอง เป็นต้น กระบวนการนี้ได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายตามที่พักอาศัยส่วนบุคคลแล้ว ส่วนการใช้ในอุตสาหกรรมจะเป็นเรื่องของการกรองที่มีปริมาตรน้อยๆ แต่มีอนุภาคเจือปนมาก เช่น การทำให้ใสและการกรองเพื่อทำให้ปราศจากเชื้อในของเหลวที่ไม่สามารถใช้ความร้อนฆ่าเชื้อเพราะจะมีผลต่อกลิ่นรส (Heat Sensitive Solutions) ตัวอย่างคือ การกำจัดยีสต์จากเหล้าแอปเปิลและเหล้าองุ่น ส่วนการใช้อย่างอื่น เช่น การทำน้ำบริสุทธิ์สำหรับอิเล็กทรอนิกส์ การกำจัดตะกอนของโลหะหนัก การกำจัดอนุภาคเฉื่อยจากน้ำในกระบวนการของการผลิตแก้วและกำจัดสาหร่าย และเมื่อใช้ในการลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียก็จะทำให้สามารถลดบีโอดีและซีโอดีลงด้วย

3.2 อุลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration; UF)

UF คล้ายกับ MF ยกเว้นขนาดของช่องว่างในแผ่นเยื่อกรองจะมีขนาดเล็กกว่า ทำให้ต้องใช้ความดันในการกรองสูงขึ้นด้วย (มากกว่า 3,000 kPa) ซึ่งแผ่นเยื่อกรองส่วนใหญ่จะทำจากโพลีเมอร์รวมทั้งโพลีซัลโฟน (Polysulphone) โพลีอะครีโลไนไตรท์ (Polyacrelonitrite) โพลีเอไมด์ (Polyamide) และเซลลูโลสอะซิเตท (Cellulose Acetate) แผ่นเยื่อกรองที่เป็นสารอนินทรีย์เซรามิคก็ถูกใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภทด้วย ตัวแผ่นเยื่อกรองจะบางมาก (หนา 0.1-1.0 ไมครอน) ดังนั้นจะต้องเสริมด้วยชั้นของวัตถุพรุนที่แข็งแรงกว่า (หนา 50-250 ไมครอน) ซึ่งจะอยู่ในรูปของท่อคาปิลลารี สไปรอลวูนด์ ในแต่ละโมดูลจะประกอบด้วยกลุ่มของแผ่นเยื่อกรองที่น้ำเสียจะถูกป้อนในแนวสัมผัสกับผิวของแผ่นเยื่อกรอง เพื่อลดการจับตัวหรืออุดตันบริเวณผิวของแผ่นเยื่อกรอง เพอร์มิเอทจะไหลผ่านแผ่นเยื่อกรอง ในขณะที่อนุภาคที่ดักไว้จะถูกส่งไปยังถังเก็บของเสีย เนื่องจาก UF สามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากกว่า MF (0.001-0.02 ไมครอน) ฉะนั้นจึงถูกนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไป เช่น การดักจับโมเลกุลขนาดใหญ่กว่า 1,000 ขึ้นไป ในอุตสาหกรรมการทำโปรตีนให้เข้มข้น เอนไซม์และฮอร์โมน ในขณะเดียวกันยังสามารถในการกำจัดแบคทีเรีย ไวรัส สี สารอินทรีย์ออกจากน้ำดื่มและสามารถใช้ในการใช้หมุนเวียนสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น สี น้ำมันจากน้ำเสียได้ เป็นต้น

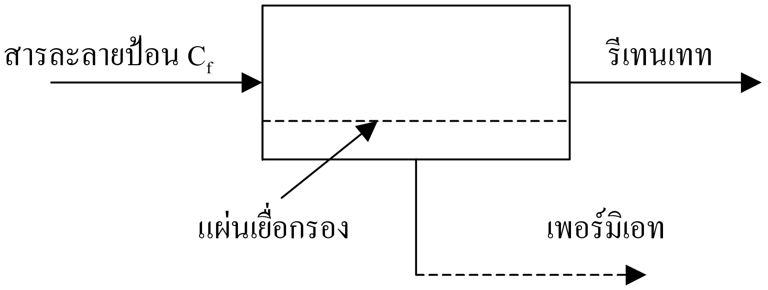
3.3 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration; NF)

NF จะแตกต่างจาก MF และ UF โดย NF เป็นกระบวนการแยกสลายด้วยเยื่อกึ่งซึมผ่าน (Semi-Permeable Membrane) เพื่อแยกน้ำออกจากสารละลายโดยการแพร่ เนื่องจากแผ่นเยื่อกรองของ NF ไม่มีส่วนผสมของเซลลูโลส จึงเป็นระบบที่ใช้ความดัน แต่ให้อัตราการไหลของเพอร์มิเอทสูง NFจะถูกใช้ในหลายพื้นที่ในกรณีที่การกรองด้วย UF ไม่เพียงพอ สารที่สามารถกำจัดด้วย NF จะมีมวลโมเลกุลประมาณ 200 และไม่ต้องการกำจัดโซเดียมมากนัก แต่ต้องการกำจัดไอออนโลหะอื่นๆ เช่น Ca^{2+} และ Mg^{2+} และสารไอออนอื่นๆ ที่มีประจุสองขึ้นไป อนุภาคที่สามารถ

กำจัดโดย NF จะมีขนาด 0.0005-0.005 ไมครอน และยังสามารถใช้กับการกำจัดสี ทีโอซี (Total Organic Carbon; TOC) กรดอินทรีย์และสารอินทรีย์

3.4 ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis; RO) (รัตนา จิระรัตนานนท์ 2541: 113-144)

RO กระบวนการออสโมซิลผันกลับหรืออาจเรียกว่ากระบวนการไฮเปอร์ฟิลเตรชัน (Hyperfiltration) เป็นกระบวนการแยกสารละลายที่ใช้แผ่นเยื่อกรองสังเคราะห์ในการแยกน้ำออกจากสารโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เกลือ น้ำตาล กรด ด่าง เป็นต้น ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 500 โดยใช้ผลต่างของความดันระหว่างแผ่นเยื่อกรองเป็นแรงขับดัน โดยแผ่นเยื่อกรองที่ใช้เป็นแผ่นเยื่อกรองที่มีโครงสร้างแบบแน่นไม่มีรูพรุน (Dense Membrane) ความดันที่ให้กับสารละลายอยู่ในช่วง 10-100 บรรยากาศ โดยกลไกการแยกผ่านแผ่นเยื่อกรองเป็นกลไกการละลายและการแพร่ (Solution-Diffusion) ในแผ่นเยื่อกรอง ส่วนที่เข้มข้นซึ่งได้แก่ตัวถูกละลายที่มีโมเลกุลใหญ่จะถูกกักไว้ด้วยแผ่นเยื่อกรองเรียกว่ารีเทนเทท (Retentate) หรือสารละลายเข้มข้น (Concentrate) กับส่วนที่ไหลผ่านแผ่นเยื่อกรองได้ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตัวทำละลายและสารโมเลกุลเล็กเรียกว่าเพอร์มิเอท (Permeate) ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 เพอร์มิเอทและรีเทนเททของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

RO จะใช้ในการกำจัดสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ ที่มีขนาด 0.0001-0.003 ไมครอน (1-30 อังสตรอม) โลหะพวกอลูมิเนียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และตะกั่วจะถูกกำจัดโดยเฉลี่ย ร้อยละ 94-98 ของสารที่ละลายอยู่ รวมทั้งยังสามารถกำจัดสารอินทรีย์พวก THMs PCBs ยาฆ่าวัชพืช เบนซินและอื่นๆ และเมื่อใช้ภายหลังการใช้ถ่านกัมมันต์จะใช้ในการกำจัดพวกสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ สำหรับไนเตรทจะกำจัดได้น้อยประมาณร้อยละ 60-75 ฉะนั้นถ้าต้องการกำจัดไนเตรทให้ได้ร้อยละ 99 จะต้องใช้การแลกเปลี่ยนประจุเสียก่อนจึงใช้ RO ซึ่งการใช้การแลกเปลี่ยนประจุแล้วตามด้วย RO จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ RO ได้ 10 เท่า ในการใช้ RO จะมี

ปัญหาบ้าง เกิดจากการใช้ความดันสูงเกินไปหรือการย่อยสลายแผ่นเยื่อกรองโดยจุลินทรีย์ทำให้แผ่นเยื่อกรองเสียสภาพและไม่สามารถทำงานได้

3.4.1 หลักการของออสโมซิสผันกลับ

กระบวนการออสโมซิสผันกลับนั้นมีที่มาจากกระบวนการออสโมซิส (Osmosis Process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติของน้ำผ่านเยื่อกึ่งซึมผ่าน (Semi Permeable Membrane) จากสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากน้ำในด้านสารละลายเจือจางมีศักยภาพเคมี (Chemical Potential) สูงกว่า ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ก) จนกระทั่งถึงจุดสมดุลย์ศักยภาพเคมีของน้ำทั้งสองด้านของสารละลายเท่ากันดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ข) โดยผลต่างของความดันของสารละลายทั้งสองด้านเรียกว่าผลต่างความดันออสโมติก (Osmotic Pressure, $\Delta\pi$) ซึ่งค่าความดันออสโมติก (π) เป็นคุณสมบัติของสารละลายที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและอุณหภูมิ ดังแสดงได้ด้วยสมการของแวนฮอฟฟ์ (Van’t Hoff)

$$\pi = C_i R_g T / M_I \qquad \text{..............(2.1)}$$

เมื่อ π = ความดันออสโมติก (psi หรือ kPa)

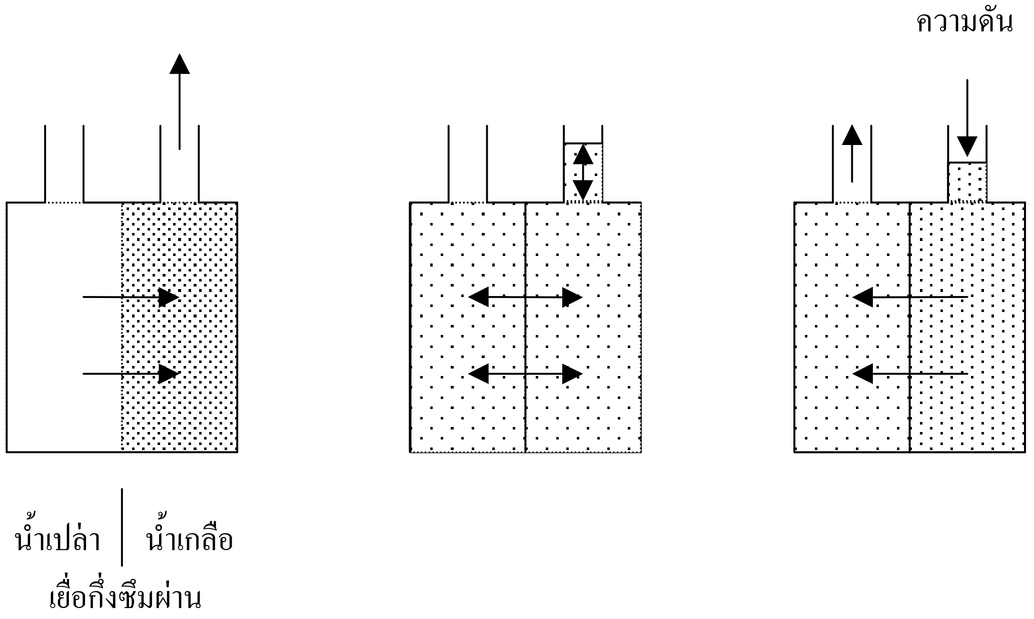
C_i = ความเข้มข้นเชิงมวลของสารละลาย (Kg/m^3)

R_g = ค่าคงที่ก๊าซ (Gas Constant)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

M_I = น้ำหนักโมเลกุลของสาร I

ส่วนในกระบวนการออสโมซิสผันกลับนั้น จะเป็นการให้ความดันที่มากกว่าค่าความดันออสโมติกไปกระทำต่อด้านที่มีสารละลายเข้มข้นสูง น้ำก็จะไหลย้อนกลับจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ซึ่งเป็นการแพร่กลับทิศทางเมื่อเทียบกับการกระบวนการออสโมซิสจึงเรียกว่า กระบวนการออสโมซิสผันกลับ โดยจะส่งผลให้สารละลายด้านเข้มข้นยิ่งเข้มข้นมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ค)



(ก) ออสโมซิส
น้ำจะผ่านจากด้านความเข้มข้นต่ำไปยังด้านความเข้มข้นสูง

(ข) ออสโมซิสสมดุล
ความดันทั้งสองด้านเท่ากัน การเคลื่อนที่จะหยุดลง

(ค) ออสโมซิสผันกลับ
น้ำจะผ่านจากด้านที่มีความเข้มข้นสูงไปทางด้านความเข้มข้นต่ำ เมื่อให้ความดันทางด้านความเข้มข้นสูง

ภาพที่ 2.5 หลักการของกระบวนการออสโมซิสและออสโมซิสผันกลับ

3.4.2 กลไกการไหลผ่านแผ่นเยื่อกรองของกระบวนการออสโมซิสผันกลับและสมการที่เกี่ยวข้อง (ณัทธร สุดแสง ณาวดี ภิรมย์ และพัชนีวรรณ ต้นประวัติ 2539: 6-21)

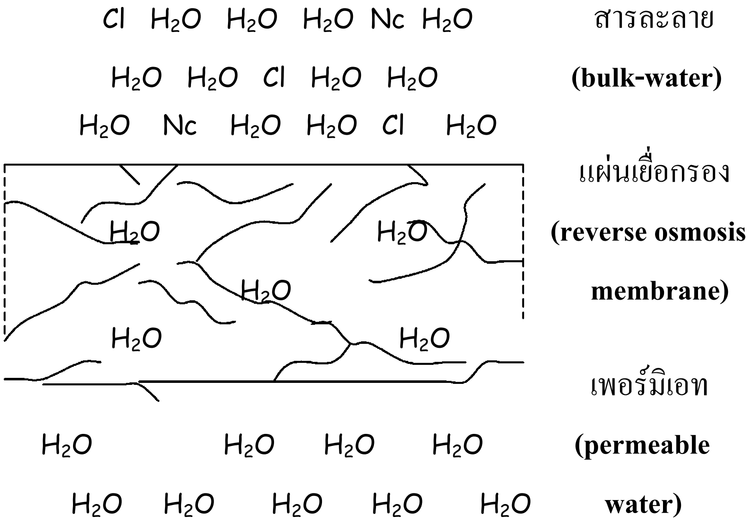
กลไกการแยกผ่านแผ่นเยื่อกรองในกระบวนการออสโมซิสเป็นกลไกการแพร่และการละลาย (Solution-Diffusion Mechanism) แสดงดังภาพที่ 2.6 กลไกนี้อธิบายว่าการผ่านแผ่นเยื่อกรองของตัวทำละลายและตัวถูกละลายเป็นการอาศัยความสามารถในการดูดซับและการแพร่ผ่าน มีทั้งหมด 3 ขั้นตอนในการผ่านแผ่นเยื่อกรองดังนี้

1) การซึมผ่านเข้าไปในแผ่นเยื่อกรอง (Sorption)

2) การแพร่ผ่านแผ่นเยื่อกรอง (Diffusion)

3) การปลดปล่อยออกจากแผ่นเยื่อกรอง (Desorption)

เนื่องจากตัวถูกละลายและน้ำมีความสามารถในการละลายในแผ่นเยื่อกรอง และการแพร่ผ่านแผ่นเยื่อกรองต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารและชนิดของแผ่นเยื่อกรองโดยที่มีผลต่างของความดันคร่อมแผ่นเยื่อกรองเป็นแรงขับดัน (Driving Force) จึงเป็นผลให้เกิดการแยกระหว่างตัวถูกละลายและน้ำออกจากกัน โดยการแพร่โมเลกุลของตัวถูกละลายสามารถแพร่ผ่านแผ่นเยื่อกรองได้เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้น แต่การเคลื่อนที่ของตัวทำละลายขึ้นอยู่กับผลต่างความดัน (Pressure Gradient)



ภาพที่ 2.6 กลไกการแพร่ของสารละลาย

เมื่อสารละลายอยู่ภายใต้ความดัน ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ (Permeation Flux) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$J_V = L_P(\Delta P - \Delta \pi) \qquad \text{...............(2.2)}$$

เมื่อ J_V = ฟลักซ์ของตัวทำละลาย ($m^3/m^2.s$)

L_P = สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Coefficient; $m^3/m^2.Pa.s$)

ΔP = ผลต่างความดันระหว่างแผ่นเยื่อกรอง (Pa)

$\Delta \pi$ = ผลต่างความดันออสโมติกระหว่างแผ่นเยื่อกรอง (Pa)

L_p เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของตัวทำละลายและแผ่นเยื่อกรองนั้น ๆ สำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ L_p มีค่าประมาณ $3x10^{-3}$ ถึง $6x10^{-5}$ (m^3/m^2.h.bar)

สำหรับฟลักซ์ของตัวถูกละลาย สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$J_S = K_S \Delta C_S \qquad \text{...............(2.3)}$$

เมื่อ J_S = ฟลักซ์ของตัวถูกละลาย

K_S = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของตัวถูกละลาย (m/s)

ΔC_S = ผลต่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายคร่อมแผ่นเยื่อกรอง

คุณสมบัติการกักสารของแผ่นเยื่อกรองสามารถแสดงได้ในรูปของเปอร์เซ็นต์การกักกัน ซึ่งหมายถึงเปอร์เซ็นต์ของตัวถูกละลายที่ถูกแผ่นเยื่อกรองกักกันไว้ การระบุค่าเปอร์เซ็นต์การกักกันของแผ่นเยื่อกรอง โดยทั่วไปมักเป็นเปอร์เซ็นต์การกักกันการปรากฏ (Observed Rejection; %R) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\%R = [1-(C_P/C_b)] \times 100 \qquad \text{...............(2.4)}$$

เมื่อ R = ค่าการกักกัน

C_P = ความเข้มข้นของสารละลายในเพอร์มิเอท

C_b = ความเข้มข้นของสารละลายในคอนเดนเสท

ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การแยกกลับ (Recovery หรือ Conversion) สำหรับระบบต่อเนื่อง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์การแยกเพอร์มิเอทออกจากสารป้อนที่มีอยู่ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\% \text{ การแยกกลับ} = (Q_P/Q_r) \times 100 \qquad \text{...............(2.5)}$$

เมื่อ Q_P = อัตราการไหลของเพอร์มิเอท

Q_r = อัตราการไหลของสารละลายป้อน

3.4.3 การเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (Concentration Polarization; CP)
(รัตนา จิระรัตนานนท์ 2541: 113-144)

การเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันเป็นปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการไหลของสารละลายผ่านแผ่นเยื่อกรองเมื่อป้อนสารภายใต้ความดัน โมเลกุลของตัวถูกละลายซึ่งไม่สามารถผ่านแผ่นเยื่อกรองได้จะสะสมอยู่ที่ผิวหน้าของแผ่นเยื่อกรอง ทำให้ความเข้มข้นบริเวณนั้นสูงกว่าในสารป้อน (Feed Solution) จึงเกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลายระหว่างผิวของแผ่นเยื่อกรองกับบริเวณที่อยู่ห่างผิวแผ่นเยื่อกรองออกไป โดยปรากฏการณ์นี้แสดงดังภาพที่ 2.7 ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สูงขึ้นนี้ทำให้เกิดการถ่ายเทกลับทิศทางของตัวถูกละลายจากผิวของแผ่นเยื่อกรองไปยังสารละลาย (Bulk Solution) ที่สภาวะคงตัว สมดุลของตัวถูกละลายเขียนสมการได้ดังนี้

อัตราที่ตัวถูกละลายเข้าสู่แผ่นเยื่อกรอง - อัตราการแพร่กลับของตัวถูกละลาย = อัตราที่ตัวถูกละลายผ่านแผ่นเยื่อกรอง ……… (2.6)

จากสมการที่ 2.6 จะได้ว่า

$$J_V C - D(dC/dx) = J_V C_P \qquad \text{……………(2.7)}$$

อินทิเกรตโดยใช้สภาวะขอบเขต $x = 0 \ : C = C_w$

$x = \delta \ : C = C_b$

จะได้ $$J_V = (D/\delta).\ln(C_W - C_P / C_b - C_P) \qquad \text{……………(2.8)}$$

หรือ $$J_V = k.\ln (C_W - C_P / C_b - C_P) \qquad \text{……………(2.9)}$$

เมื่อ J_V = ฟลักซ์ของตัวทำละลาย

C = ความเข้มข้นของสารละลาย

C_b = ความเข้มข้นของสารละลายใน bulk

C_W = ความเข้มข้นของสารละลายที่ผิวแผ่นเยื่อกรอง

C_P = ความเข้มข้นของสารละลายในเพอร์มิเอท

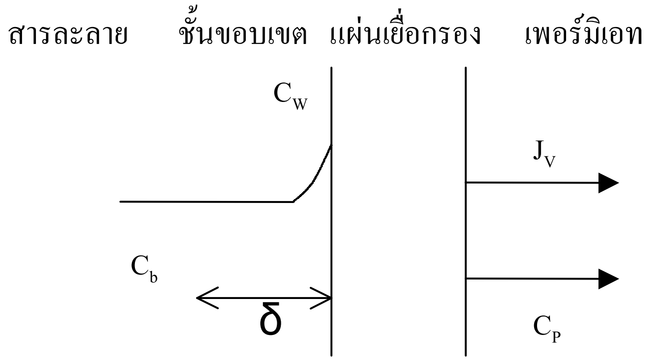
X = ระยะห่างจากชั้นขอบเขต

δ = ความหนาของชั้นขอบเขต

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวถูกละลาย (Mass Diffusion Coefficient)

k = D/δ

= สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวถูกละลาย



ภาพที่ 2.7 แผนภาพการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน

จากสมการที่ 2.9 จะเห็นได้ว่า ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์จะสูงขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (k) มีค่าสูงขึ้น โดยค่า k อาจหาได้จากสมการการถ่ายเทมวล สำหรับระบบที่เป็นท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลาง d และ เชอร์วูด นัมเบอร์ (Sherwood Number; Sh) มีค่าสูง ได้เสนอสมการดังนี้

$$Sh = kd/D = 0.0096\,(Re^{0.875})\,(Sc^{0.25}) \qquad \text{…………(2.10)}$$

เมื่อ Sh = Sherwood Number

Re = Reynolds Number

Sc = Schmidt Number

จากสมการที่ 2.10 แสดงว่าค่า k มากขึ้นเมื่อ Re, Sc และ D มีค่าสูงขึ้นและลดลงเมื่อ D มีค่ามากขึ้น แต่เนื่องจาก D และ Sc ไม่ขึ้นกับสภาวะการทำงานของระบบ ฉะนั้นตัวแปรที่ปรับได้คือ Re และ kd เท่านั้น การเพิ่ม Re อาจทำโดยกวนสารละลาย หรือเพิ่มความเร็วของ

สารละลาย ซึ่งจะมีผลให้เกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันลดลง และการที่ค่า k เพิ่มขึ้นนี้ จะมีผลให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นด้วย ดังสมการ (2.9)

นอกจากนี้สมรรถนะในการกำจัดตัวถูกละลายของแผ่นเยื่อกรองขึ้นอยู่กับคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันเป็นอย่างมาก เนื่องจากการสะสมตัวถูกละลายในชั้นแบ่งเขต (Boundary Layer) ทำให้เกิดผลเสียต่างๆ ต่อระบบออสโมซิสผันกลับที่กำลังทำงานอยู่ดังต่อไปนี้

1) ทำให้แรงดันออสโมติกสูงขึ้นเป็นผลให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์ลดลง

2) เร่งให้เนื้อแผ่นเยื่อกรองเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

3) ทำให้มีการตกผลึกของตัวถูกละลาย

3.4.4 ตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

สมรรถนะของกระบวนการออสโมซิสผันกลับสามารถประเมินได้จากค่าเพอมิเอชันฟลักซ์และค่าการกักกัน โดยตัวแปรที่มีผลต่อค่าดังกล่าวได้แก่

1) ความดัน เมื่อเพิ่มความดันให้สูงขึ้น ค่าฟลักซ์จะสูงขึ้นตามสมการ (2.2) ในกรณีของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ ค่ารีเจ็คชันมีแนวโน้มที่ลดลงเพราะความดันจะช่วยให้ตัวถูกละลายผ่านแผ่นเยื่อกรองได้ง่ายขึ้นและหลังจากการเกิดปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน พบว่าการเพิ่มความดันจะไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์อีกต่อไป เพราะความดันที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ความเข้มข้นบริเวณหน้าแผ่นเยื่อกรองสูงขึ้น ความต้านทานการไหลสูงขึ้นและความดันออสโมติกสูงขึ้น ซึ่งสภาวะต่างๆ เหล่านี้จะมีผลทำให้แรงขับดันลดลง ดังนั้นความดันที่เพิ่มขึ้นจะไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์

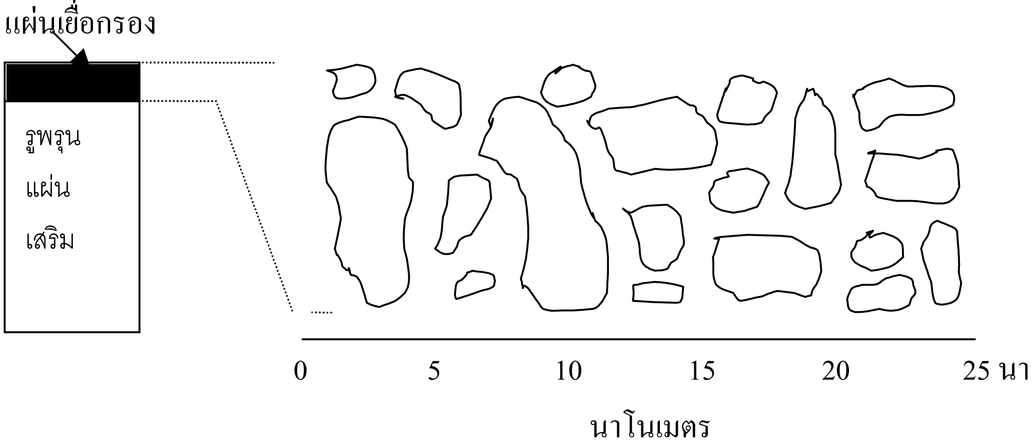
2) ความเข้มข้นของสารละลาย เมื่อความเข้มข้นมากขึ้น ฟลักซ์และรีเจ็คชันจะลดลง ในกรณีของออสโมซิสผันกลับ การเพิ่มความเข้มข้นเป็นการเพิ่มความดันออสโมติก เมื่อความดันออสโมติกสูงขึ้น โดยความดันคงที่ ฟลักซ์จะลดลง แต่ค่าฟลักซ์ของตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่ากักกันลดลง

3) อุณหภูมิและความเป็นกรดด่าง ของสารละลาย เมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นสัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวถูกละลาย (D) จะสูงขึ้นเป็นผลให้อัตราการไหลของตัวทำละลายสูงขึ้นด้วย นั่นคืออัตราการไหลแปรตามอุณหภูมิ ความเป็นกรดด่างอาจมีผลต่อฟลักซ์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกริยา ระหว่างตัวถูกละลายกับแผ่นเยื่อกรอง (Interaction) ถ้าต้องการให้แผ่นเยื่อกรองมีอายุยืนนาน ควรรักษาระดับความเป็นกรดด่างให้อยู่ในช่วง 3-7 และควบคุมไม่ให้อุณหภูมิสูง

4) ความเร็วในการไหลผ่านหรือการกวน การกวนหรือการไหลของสารละลายจะเกิดแรงเฉื่อย ซึ่งจะทำให้มีการสะสมของโมเลกุลบนผิวแผ่นเยื่อกรองน้อยลง ดังนั้นค่าฟลักซ์จะสูงขึ้น

3.4.5 แผ่นเยื่อกรองออสโมซิสผันกลับและอุปกรณ์ (Reverse Osmosis Membrane and Modules)

แผ่นเยื่อกรองออสโมซิสผันกลับเป็นแผ่นเยื่อกรองที่สังเคราะห์ขึ้นจากสารโพลิเมอร์ซึ่งส่วนใหญ่สังเคราะห์มาจากเซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไนเตรท โพลีเอไมด์และโพลีอิเลคโตรไลด์ แผ่นเยื่อกรองส่วนมากเป็นแบบอสมมาตร (Asymmetric Membrane) คือมีผิวด้านหนึ่งเป็นรูพรุนขนาดเล็กมาก ส่วนอีกด้านหนึ่งมีรูพรุนขนาดใหญ่ซึ่งทำหน้าที่เป็นแผ่นเสริมของรูพรุนขนาดเล็กด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ส่วนการบอกคุณลักษณะของแผ่นเยื่อกรองออสโมซิสผันกลับซึ่งเป็นแผ่นเยื่อกรองแบบแน่น นิยมบอกเป็นค่าการกักกันเกลือ (Salt Rejection)



ภาพที่ 2.8 แผ่นเยื่อกรองแบบอสมมาตร

1) ปัจจัยในการเลือกอุปกรณ์

ส่วนอุปกรณ์แผ่นเยื่อกรองสังเคราะห์สำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีอยู่หลายรูปแบบ การเลือกอุปกรณ์สำหรับใช้งานมีความสำคัญมาก โดยจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

(1) เนื่องจากแผ่นเยื่อกรองมีความหนาน้อยมาก เปราะ แต่ต้องรับแรงดันสูงประมาณ 200-1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จึงต้องการอุปกรณ์รองรับที่สามารถป้องกันมิให้แผ่นเยื่อกรองแตกหักได้ง่าย แต่ในขณะเดียวกันต้องมีทางให้น้ำไหลผ่านแผ่นเยื่อกรอง (Membrane) ได้ด้วย

(2) อุปกรณ์บรรจุแผ่นเยื่อกรองหรือโมดูล (Module) ต้องออกแบบให้กะทัดรัดและสามารถผลิตน้ำสะอาดได้มาก (คิดต่อหน่วยปริมาตรของถัง) หรืออาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า ต้องออกแบบโมดูลให้สามารถบรรจุแผ่นแผ่นเยื่อกรองได้มากที่สุด

(3) คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (Concentration Polarization) ต้องเกิดขึ้นน้อย

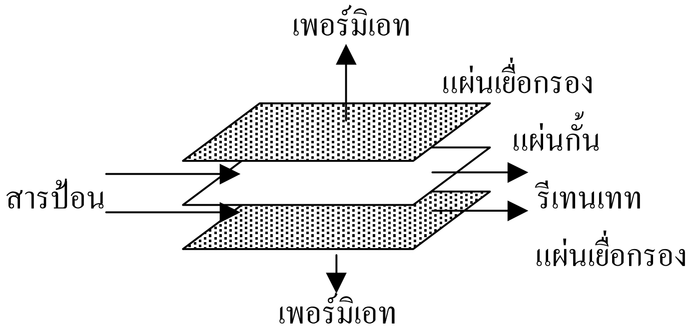
(4) การอุดตันเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ต้องเกิดขึ้นน้อยที่สุด และทำความสะอาดได้ง่าย

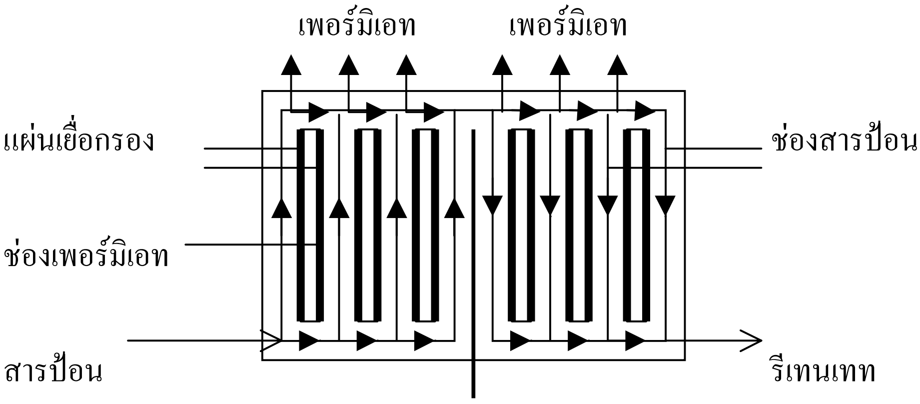
(5) ต้องไม่มีรอยรั่วขึ้นตามรอยต่อต่าง ๆ ของระบบ

2) รูปแบบโมดูลออสโมซิสผันกลับ

ในปัจจุบันนี้ มีการสร้างโมดูลออสโมซิสผันกลับแบบต่าง ๆ 4 แบบคือ แบบแผ่น (Plate and Frame) แบบท่อ (Tubular) แบบม้วน (Spiral) และแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber)

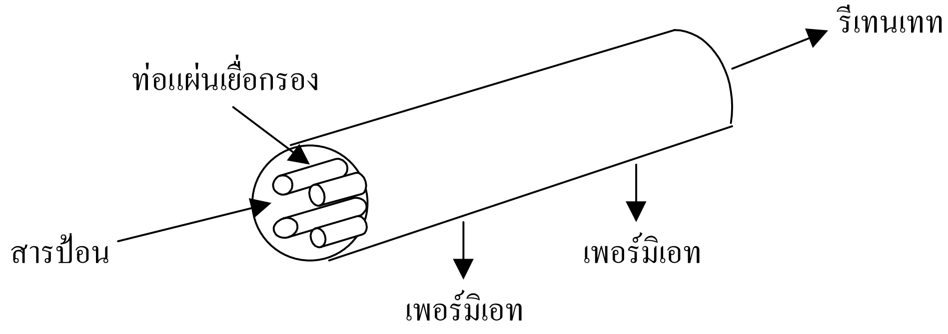
(1) แบบแผ่น (Plate and Frame Module) เทคนิคนี้เป็นการจัดแผ่นเยื่อกรองที่ง่ายที่สุด โมดูลที่ใช้เทคนิคนี้มีลักษณะการทำงานคล้ายเครื่องกรองแบบอัด (Filter Press) แผ่นเยื่อกรองวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุน (Porous Plate) หรือแผ่นรองรับที่มีร่องให้น้ำไหลออกได้ แผ่นเยื่อกรองและแผ่นรองรับจะวางซ้อนและสลับกัน น้ำถูกบังคับให้ซึมผ่านแผ่นเยื่อกรองและแผ่นรองรับและไหลออกจากโมดูล โมดูลแบบนี้ต้องเสียเงินค่าติดตั้งและดูแลรักษาสูงมาก ดังแสดงในภาพที่ 2.9





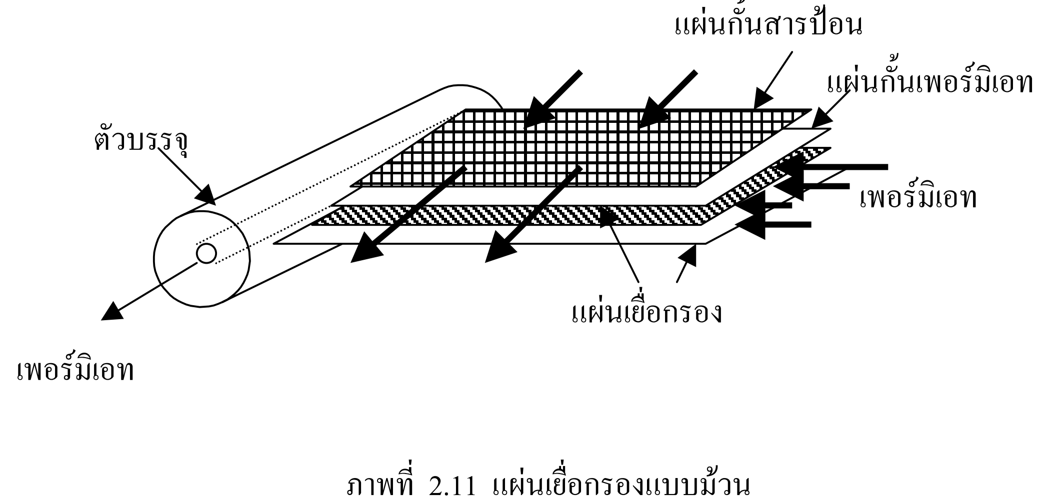
ภาพที่ 2.9 แผ่นเยื่อกรองแบบแผ่น

(2) แบบท่อ (Tubular Module) วิธีนี้เป็นการม้วนแผ่นเยื่อกรองให้เป็นหลอดหรือท่อขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 มิลลิเมตร และยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยกระดาษหรือทำด้วยใยสังเคราะห์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับแผ่นเยื่อกรองมิให้ฉีกขาดในระหว่างการใช้งานและใช้เป็นทางออกของน้ำสะอาดอีกด้วย น้ำดิบที่มีความดันสูงจะถูกสูบผ่านเข้าไปในท่อที่มีแผ่นเยื่อกรองบุอยู่ภายในแรงดันของน้ำทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นเยื่อกรองและท่อรองรับออกไปสู่ภายนอก เทคนิคนี้ผลิตน้ำได้น้อยแต่ทำความสะอาดได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับใช้กับกระบวนการอุตสาหกรรมที่ต้องการแยกน้ำออกจากสารละลายต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.10



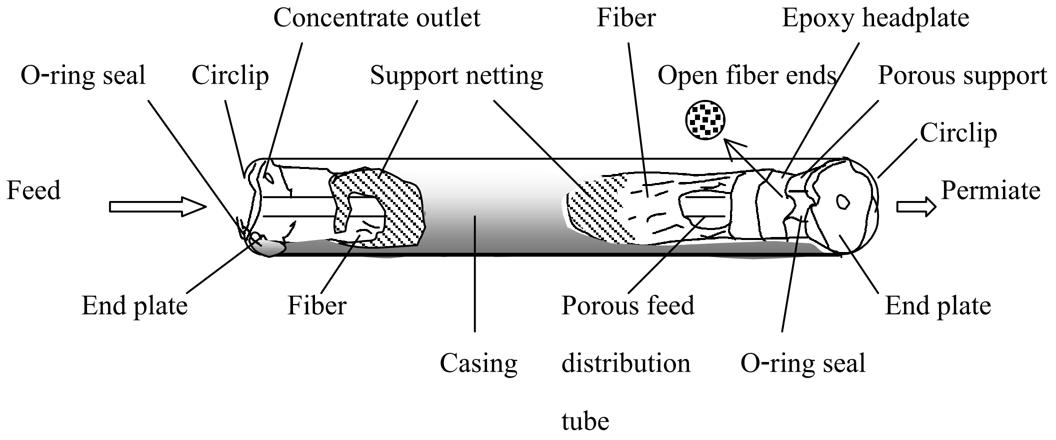
ภาพที่ 2.10 แผ่นเยื่อกรองแบบท่อ

(3) แบบม้วน (Spiral Wound Module) โมดูลแบบนี้แผ่นเยื่อกรองอยู่ในรูปของแผ่นเยื่อกรองเรียบประกอบอยู่กับแผ่นรองรับ แล้วม้วนเป็นท่อกลมรอบท่อแกนเจาะรู โดยมีแผ่นตะแกรงทำด้วยโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) คลุมปิดอยู่ด้านนอก การม้วนแผ่นเยื่อกรองดังกล่าว ทำให้ได้โมดูลรูปทรงกระบอกที่สามารถบรรจุไว้ในท่อโลหะธรรมดาได้ โมดูลแบบนี้อาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5, 10, 20 และ 30 เซ็นติเมตร และมีความยาวต่างๆ กัน มักไม่เกิน 1 เมตร สารละลายจะถูกบังคับให้ไหล (ในแนวแกนของโมดูล) เข้าไปตามแผ่นตะแกรง จากนั้นแรงอัดทำให้น้ำซึมทะลุผ่านแผ่นเยื่อกรอง (ตามแนวรัศมีของโมดูล) ลงไปถึงแผ่นรองรับ ซึ่งทำหน้าที่ส่งเพอร์มิเอทไปยังท่อเจาะรูเพื่อนำออกจากโมดูล ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แผ่นเยื่อกรองแบบม้วน

(4) แบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module) แผ่นเยื่อกรองที่ใช้ในโมดูลทั้งสามชนิดที่กล่าวมาแล้ว ล้วนทำมาจากเซลลูโลสอะซิเตต แต่โมดูลแบบเส้นใยกลวงมักใช้แผ่นเยื่อกรองที่ทำมาจากวัสดุไนลอนจำพวกโพลีเอไมด์ (Polyamide) ซึ่งสร้างโดยบริษัทดูปองท์ (Do Pont Company) ต่อมาในภายหลังบริษัท ดาวเคมีคัล (Dow Chemical Company) ได้พัฒนาแผ่นเยื่อกรองที่ทำด้วยเซลลูโลส ไตรอะซิเตต (Cellulose Triacetate) และสร้างเป็นเส้นใยกลวงที่ทำจากโพลีเอไมด์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 50-85 ไมครอนและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณครึ่งหนึ่งของภายนอก ส่วนเส้นใยกลวงที่ทำจากเซลลูโลสอะซิเตตมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 200-300 ไมครอน วิธีนำแผ่นเยื่อกรองแบบเส้นใยกลวงมาใช้ประโยชน์กระทำได้โดยนำมารวมกันเป็นมัดๆ และงอพับเป็นรูปเกือกม้าหรือตัว U ปลายทั้งสองข้างของเส้นใยทั้งมัดถูกตรึงติดอยู่กับทางน้ำออก เส้นใยแผ่นเยื่อกรองทั้งหมดวางอยู่ในถังรูปทรงกระบอก และกระจายน้ำไปยังส่วนต่างๆ แรงดันทำให้น้ำซึมเข้าเส้นใยแผ่นเยื่อกรองและทะลุถึงภายใน น้ำบริสุทธิ์จะซึมไปตามรูกลวงของเส้นใยและไปรวมกันที่ทางออก ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 แผ่นเยื่อกรองแบบเส้นใยกลวง

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Spencer and others (Spencer and others อ้างถึงใน พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์ พิสิษฐ์ สมัตถะ และสุวิสา พรหมทอง 2541: 2) ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำวิธีไฮเปอร์ฟิลเตรชัน โดยใช้แผ่นเยื่อกรองมาบำบัดน้ำล้างสีย้อมผ้า พบว่าแผ่นเยื่อกรองสามารถบำบัดน้ำล้างที่มีอุณหภูมิ ประมาณ 55-85 องศาเซลเซียส และน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีดังกล่าวสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึงร้อยละ 88-95 ส่วนสีที่ตกค้างอยู่ในน้ำล้างเมื่อทำการบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ได้อีกร้อยละ 67

Spencer and others (Spencer and others อ้างถึงใน พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์ พิสิษฐ์ สมัตถะ และสุวิสา พรหมทอง 2541: 2) ได้ศึกษาถึงประโยชน์ของการบำบัดน้ำล้างสีย้อมด้วยวิธีออสโมซิสผันกลับ พบว่าเมื่อน้ำล้างผ่านแผ่นเยื่อกรองแล้วจะมีความบริสุทธิ์มากขึ้นและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งประหยัดน้ำได้ส่วนหนึ่ง นอกจากนี้เป็นการลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น อีกทั้งน้ำที่ผ่านกระบวนการนี้ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ จึงเป็นการประหยัดพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำล้าง ดังนั้นการบำบัดด้วยวิธีออสโมซิสผันกลับจึงเป็นวิธีช่วยประหยัดต้นทุนการผลิต

Treffry Goatly, Buckly and Groves (Trefflry Goatley, Buckley and Groves อ้างถึงใน พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์ พิสิษฐ์ สมัตถะ และสุวิสา พรหมทอง 2541: 2) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าชนิดที่ใช้กับผ้าประเภทฝ้าย ไนลอนและโพลีเอสเตอร์ โดยใช้วิธีออสโมซิสผันกลับในระดับโรงงานต้นแบบ (Pilot Plant) พบว่าสามารถนำน้ำหลังจากบำบัดกลับมาใช้ได้ร้อยละ 85-95 โดยน้ำยังคงมีอุณหภูมิอยู่ 30-45 องศาเซลเซียส และได้ค่าเฉลี่ยเพอร์มิเอทฟลักซ์ 15 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร นอกจากนี้น้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อนำมาวิเคราะห์จะมีปริมาณโซเดียม 15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าทีโอซี 11 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นของสี 21 ADMI (The American Dye Manufacturers Institute) และค่าของแข็งละลายทั้งหมด 60 มิลลิกรัม

รัตนา จิระรัตนานนท์ และ อนวัช สังข์เพชร (รัตนา จิระรัตนานนท์ และ อนวัช สังข์เพชร เอกสารอิเล็กทรอนิกส์) ได้ทำการศึกษาการนำกระบวนการเยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชันมาใช้ในการแยกสีย้อมออกจากน้ำล้างสีย้อมและนำน้ำและสีย้อมที่แยกได้กลับไปใช้ในกระบวนการย้อม เป็นการลดมลพิษทางน้ำ นอกจากนี้การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดยังคงมีอุณหภูมิสูงกลับมาใช้หมุนเวียนยังเป็นประหยัดพลังงาน ลดต้นทุนการผลิตและลดมลพิษทางอากาศจากการใช้หม้อต้มไอน้ำอีกด้วย

รัตนา จิระรัตนานนท์ ดุษฎี อรรถภาพ และ ฉกรรณ์ ขันเงิน (2541: 356) ได้ศึกษาองค์ประกอบของน้ำทะเลและวิธีการบำบัดเบื้องต้นที่มีผลเสียต่อประสิทธิภาพของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ ตะกอนของซัลเฟตและ คาร์บอนเนต คอลลอยด์ ออกไซด์ของโลหะและจุลินทรีย์ คือองค์ประกอบหลักที่ต้องการที่ต้องการกำจัดออก วิธีการบำบัดเบื้องต้นที่เหมาะสมคือการใช้เครื่องกรองแบบคารทริดจ์ขนาด 5 ไมโครเมตร การเติมสารเคมี เครื่องกรองถ่านกัมมันต์และเครื่องกรองแบบคาร์ทริดจ์ขนาด 1 ไมโครเมตรตามลำดับ

กระบวนการออสโมซิสผันกลับของน้ำทะเลที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นให้ฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์การกักกันสูง มีการอุดตันที่แผ่นเยื่อกรองน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำทะเลที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและอัตราการไหล อธิบายได้จากการสะสมที่ผิวหน้าแผ่นเยื่อกรองและแรงต้านการไหล แต่เปอร์เซ็นต์การกักกันจะไม่ขึ้นกับอยู่กับสภาวะการเดินระบบดังกล่าวและจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 98.6-99.0

ออสโมซิสผันกลับของสารละลายสังเคราะห์ที่ประกอบด้วย NaCl, $MgCl_2$ และ $CaSO_4$ แสดงให้เห็นว่าแผ่นเยื่อกรองจะเสื่อมโดยซัลเฟต ซึ่งอัตราการกรองจะลดลงประมาณร้อยละ 8

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า กระบวนการออสโมซิสผันกลับสามารถช่วยการประหยัดน้ำ พลังงาน สี และลดยังช่วยลดมลพิษน้ำและอากาศด้วย ซึ่งถือว่าเป็นข้อได้เปรียบของกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับโดยใช้แผ่นเยื่อกรอง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันโดยทั่วไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรในการวิจัยนี้ก็คือ น้ำเสียที่เป็นคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนในขั้นตอนการต้มสารละลายให้เข้มข้น ปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

1.2 ตัวอย่างในการวิจัยคือ น้ำเสียที่เป็นคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนในขั้นตอนการต้มสารละลายให้เข้มข้น (คอนเดนเสท) ที่ทำการเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่องโดยการต่อท่อเก็บตัวอย่างเข้ากับท่อระบายน้ำเสียของกระบวนการผลิต ซึ่งไหลอย่างสม่ำเสมอและทำการเก็บตัวอย่างด้วยอัตราการไหล 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยทำการเก็บตั้งแต่ 8:00 น. ถึง 16:00 น. ของแต่ละวัน

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ของระบบออสโมซิสผันกลับประกอบด้วย

2.1.1 ถังเก็บน้ำเสีย

2.1.2 ถังสารเคมีสำหรับล้างระบบ

2.1.3 ระบบควบคุมอุณหภูมิ

2.1.4 ตัวปรับความเป็นกรดด่าง

2.1.5 เครื่องกรองแบบคาร์ทริดจ์ (Cartridge)

2.1.6 โมดูลของแผ่นเยื่อกรอง

2.1.7 ปั๊มสำหรับป้อนน้ำเสีย

2.1.8 เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow Meter)

2.1.9 เครื่องวัดความดัน (Pressure Gage)

2.1.10 ปั๊มแรงดันสูงสำหรับเครื่องออสโมซิสผันกลับ

2.2 อุปกรณ์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ

2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า Chemical Oxygen Demand

1) เครื่องรีฟลักซ์ (Reflux apparatus) ประกอบด้วย

(1) Erlenmeyer flask 250 มิลลิลิตร หรือ ขวดกลมก้นแบน (Flat - bottom flask) ชนิดที่มีปากแบบกราวจอยท์ด้านในขนาด 24/40

(2) เครื่องควบแน่น (Condenser) ของ Gerhardt ที่มีกราวจอยด์ด้านนอกขนาด 24/40 ยาว 40 มิลลิเมตร

(3) แผ่นให้ความร้อน (Hot Plate) ของ Gerhardt ที่สามารถให้กำลังไฟอย่างน้อย 1.4 วัตต์/ตารางเซนติเมตร

(4) เครื่องให้ความเย็น (Cooling Bath) ของบริษัท Scientific Promotion

(5) แก้วเม็ดกลม (Glass Bead)

2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า Ammonia Nitrogen และ Total Khjeldahl Nitrogen

1) เครื่องย่อยสลาย (Digestion Unit) ประกอบด้วย

(1) Gerhardt KB83

(2) Tecator 2006

(3) Scrubble unit "Gerhardt" รุ่น 6300 ; "Tecator" รุ่น 2001

2) เครื่องกลั่น (Distilling Unit) ประกอบด้วย

(1) Tecator 1026

(2) Tecator 2200 Auto Distillation

(3) หลอดย่อยสลาย (Digestion Tube) ขนาด 500 มิลลิลิตร

(4) Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

***2.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า Biochemical Oxygen Demand** ประกอบด้วย*

1) ขวดขนาด 10 ลิตร พร้อมท่อให้อากาศ

2) ขวด BOD ขนาด 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิด

3) ตู้อบ (Incubator) ของ Hotpack ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 20 $\pm$1 องศาเซลเซียส และต้องมืดเพื่อป้องกันมิให้เกิดการสังเคราะห์แสงจากสาหร่ายในน้ำตัวอย่าง

4) Graduated Cylinder ขนาด 1,000 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิด

5) กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร

6) ปิเปต (Pipette)

7) เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (DO Meter, YSI model 59)

2.2.4 อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1) เครื่องชั่งน้ำหนัก ของ Sartorius

2) เตาอบ (Drying Oven) ของ Memmert

3) โถดูดความชื้น (Desiccator) ของ Sanplatech

4) ถ้วยระเหย

5) ขวดซีโอดี ของ Pyrex

6) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)

7) ปิเปต (Volumetric Pipette)

8) บิวเรตต์ (Burette)

9) บีกเกอร์

10) กระบอกตวง

2.2.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า COD

(1) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต

ก. ความเข้มข้น 0.25 N

ก) ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ ประมาณ 15 กรัม อบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เย็นโถดูดความชื้น

ข) ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ 12.259 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ข. ความเข้มข้น 0.025N ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ 1.2259 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

(2) สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

ก. ความเข้มข้น 0.1N ละลาย 78.4 กรัม ของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$ ในน้ำกลั่น เติม conc. H_2SO_4 40 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรให้ได้ 2,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

ข. ความเข้มข้น 0.01N ละลาย 7.84 กรัม ของ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$ ในน้ำกลั่น เติม conc. H_2SO_4 40 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรให้ได้ 2,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

(3) สารละลายเฟอร์โรอีน อินดิเคเตอร์ ละลาย $C_{12}H_8N_2.H_2O$ 1.485 กรัม และ $FeSO_4.7H_2O$ 0.695 กรัม ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

(4) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท

ก. เตรียมสารละลายมาตรฐานค่า COD 250 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร

ก) ชั่ง $C_8H_5KO_4$ ประมาณ 5 กรัม อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ข) ชั่ง $C_8H_5KO_4$ 0.1066 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ข. เตรียมสารละลายมาตรฐานค่า COD 50 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร ปิเปตสารละลายในข้อ (4) ก) 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

(5) กรดซัลฟุริครีเอเจนท์ ละลาย $AgSO_4$ 22 กรัม ลงในซัลฟุริคเข้มข้น 2.5 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 ถึง 2 วัน เพื่อให้ $AgSO_4$ ละลาย

(6) เมอร์คิวรีซัลเฟต ของบริษัท Merck

2) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า AN และ TKN

(1) กรดซัลฟุริก 1 N (1.09981 Titrisol H_2SO_4 ของบริษัท Merck)

(2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 32% (32% NaOH, Industrial grade ของบริษัท Merck)

(3) คะตะลิสต์ชนิด $CuSO_4.5H_2O : K_2SO_4 = 1:9/1$ เม็ด ของบริษัท Merck)

(4) กรดซัลฟุริก 0.1N ละลาย 1N 1 แอมพูล (Ampule) ในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 10 ลิตร

(5) สารละลายมาตรฐานไดโซเดียม เตตระบอเรต ดีคาไฮเดรต

ก. ชั่ง $Na_2B_4O_7.10H_2O$ 0.25 กรัม ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำอุ่นประมาณ 40 มิลลิลิตร แกว่งเบาๆ

ข. หยด 1% เมธิลเรด อินดิเคเตอร์ 2 หยด และไตเตรทด้วย 0.1 N H_2SO_4 ที่เตรียมไว้

(6) สารละลายโบรโมครีซอลกรีน ละลายโบรโมครีซอลกรีน 100 มิลลิกรัม ด้วยเอธานอล 100 มิลลิลิตร

(7) สารละลายเมคธิลเรด ละลายเมคธิลเรด 100 มก. ด้วยเอธานอล 100 มิลลิลิตร

(8) สารละลายกรดบอริก

ก. ชั่ง H_3BO_3 200 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน 3-4 ลิตร ในขวดวัดปริมาตรขนาด 5 ลิตร เขย่าให้ละลาย แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง

ข. เติมสารละลายโบรโมครีซอลกรีน 50 มิลลิลิตร

ค. เติมละลายเมตทิลเรด 35 มิลลิลิตร

ง. ปรับให้ได้ปริมาตร 5 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

จ. เติม 0.5 N NaOH 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า BOD

(1) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ชั่ง KH_2PO_4 8.50 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม $Na_2HPO_4.7H_2O$ 33.40 กรัม NH_4CL 1.70 กรัม ละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Deionized Water) และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

(2) สารละลายแมกเนเซียมซัลเฟต ชั่ง $MgSO_4.7H_2O$ 22.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

(3) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ชั่ง anhydrous $CaCl_2$ 27.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

(4) สารละลายเฟอริคคลอไรด์ ชั่ง $FeCl_3.6H_2O$ 0.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

(5) สารละลายกรดและด่าง (1 N)

ก. สารละลายกรด ค่อยๆ เติม conc. H_2SO_4 28 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นบริสุทธิ์ และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

ข. สารละลายด่าง ชั่ง NaOH 40 กรัม ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นบริสุทธิ์และปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

(6) สารละลายมาตรฐานกลูโคส-กลูตาเมต

ก. อบกลูโคสและกลูตามิค แอซิด ที่ 103 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

ข. ชั่งกลูโคส 150 มิลลิกรัม และกลูตามิค แอซิด 150 มิลลิกรัม ละลายและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ในอุปกรณ์ต้นแบบ (Pilot Plant) ของเครื่องออสโมซิสผันกลับ เพื่อศึกษาผลของความเป็นกรดด่าง ความดันและเปอร์เซ็นต์การแยกกลับ (% Recovery) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ โดยในการทดลองจะไม่มีศึกษาผลของความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพของการบำบัด เนื่องจากต้องการใช้น้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตป้อนเข้ากระบวนการออสโมซิสผันกลับ (RO) โดยไม่มีการปรับความเข้มข้น

3.1 วิธีดำเนินการทดลอง การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำโดยการติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบ (Pilot Plant) ในบริเวณส่วนผลิต แล้วทำการทดลองโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1.1 การหาเปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่เหมาะสม ในขั้นตอนนี้จะเป็นการหาเปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่ระดับต่ำ (40%) ระดับปานกลาง (50%) และระดับสูง (60%) สาเหตุที่เลือก 3 จุด ดังกล่าว เนื่องจากเป็นช่วงที่เหมาะสมตามคำแนะนำของผู้ผลิตแผ่นเยื่อกรองที่ให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์หรืออัตราการกรองที่สูงสุดและให้เปอร์เซ็นต์การกักกัน (% Rejection) หรืออัตราการบำบัดของเสียที่สูงสุด

*1) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างเพอร์มิเอทฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์การแยกกลับ*และนำข้อมูลไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเพอร์มิเอทฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์การแยกกลับ

*2) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกักกันและเปอร์เซ็นต์การแยกกลับ*ที่ระดับต่ำ (40%) ระดับปานกลาง (50%) และระดับสูง (60%) เ พื่อนำข้อมูลไปใช้ในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกักกันและเปอร์เซ็นต์การแยกกลับ

3) ปัจจัยที่ควบคุม

(1) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากระบบออสโมซิสผันกลับจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูงแต่ต้องไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้แผ่นเยื่อกรองเสียหาย ดังนั้นจึงทำการทดลองที่ 40 องศาเซลเซียส เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเสียหายของแผ่นเยื่อกรอง ในกรณีที่อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิเกิดความคลาดเคลื่อน (Error)

(2) ความดันของน้ำเสียที่ป้อน $10x10^5$ ปาสคาล ค่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นโดยพิจารณาจากความดันสูงสุดที่แผ่นเยื่อกรองสามารถรับได้คือ $16x10^5$ ปาสคาล หากใช้ความดันสูงเกินจะทำให้แผ่นเยื่อกรองเสียหาย

(3) อัตราการป้อน 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นอัตราสูงสุดที่ปั๊มสามารถทำได้

3.1.2 การหาค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม ทำการเดินระบบออสโมซิสผันกลับที่ความเป็นกรดด่าง 5.5, 6.0, 6.5 และ 7.0 ซึ่งช่วงความเป็นกรดด่างที่เป็นกลางนี้เหมาะต่อการนำเพอร์มิเอทที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิต แล้วทำการบันทึกค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์และค่าเปอร์เซ็นต์การกักกัน เพื่อหาค่าความเป็นกรดด่างที่ให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์และค่าเปอร์เซ็นต์การกักกันสูงสุด

1) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างและเพอร์มิเอทฟลักซ์ และนำข้อมูลไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างและเพอร์มิเอทฟลักซ์

2) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างและเปอร์เซ็นต์การกักกัน และนำข้อมูลไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

3) ปัจจัยที่ควบคุม

(1) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

(2) แรงดันที่น้ำเสียที่ป้อน 10x10^{5} ปาสคาล

(3) อัตราการป้อน 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

3.1.3 การหาค่าความดันที่เหมาะสม จะทำการเดินระบบออสโมซิสผันกลับที่ความดันน้ำเสียที่ป้อน 8x10^{5}, 10x10^{5}, 12x10^{5} และ 15x10^{5} ปาสคาล เนื่องจากความดันสูงสุดที่แผ่นเยื่อกรองสามารถรับได้คือ 16x10^{5} ปาสคาล แต่เพื่อป้องกันความเสียหายของแผ่นเยื่อกรอง จึงทำการทดลองที่ความดันสูงสุดเพียง 15x10^{5} ปาสคาล แล้วทำการบันทึกค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์และค่าเปอร์เซ็นต์การกักกันเพื่อหาค่าความดันที่ให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์และค่าเปอร์เซ็นต์การกักกันสูงสุด

1) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเพอร์มิเอทฟลักซ์ และนำข้อมูลไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเพอร์มิเอทฟลักซ์

*2) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่าง*ความดันและเปอร์เซ็นต์การกักกัน และนำข้อมูลไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

3) ปัจจัยที่ควบคุม

(1) ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

(2) ควบคุมเปอร์เซ็นต์การแยกกลับเท่ากับค่าที่เหมาะสมได้จากข้อ 3.1.1

(3) ควบคุมความเป็นกรดด่างเท่ากับค่าที่ได้จากข้อ 3.1.2

(4) ควบคุมอัตราการป้อนน้ำเสียที่ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

3.1.4 ทดลองหาความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์ (Stability of Permeate Flux) และช่วงเวลา (Interval Time) สำหรับการล้างแผ่นเยื่อกรองด้วยวิธีการล้างในระบบ (Clean In Pipe; CIP)

ทำการเดินเครื่องตามสภาวะที่เหมาะสมได้จากหัวข้อ 3.1.1, 3.1.2 และ 3.1.3 เป็นเวลา 3 เดือน เพื่อดูความคงที่ของเพอร์มิเอทฟลักซ์ และหาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการล้างแผ่นเยื่อกรอง

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าเฉลี่ย ร้อยละและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ดังนี้

4.1 เปอร์เซ็นต์การแยกกลับและเพอร์มิเอทฟลักซ์

4.2 เปอร์เซ็นต์การแยกกลับและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

4.3 ความเป็นกรด-ด่างและเพอร์มิเอทฟลักซ์

4.4 ความเป็นกรด-ด่างและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

4.5 ความดันและเพอร์มิเอทฟลักซ์

4.6 ความดันและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

4.7 ความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสผันกลับในการบำบัดน้ำเสียที่เป็นคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโน โดยใช้เยื่อแผ่นกรองรุ่น LFC 1 ของบริษัท Nitto Denko ที่มีพื้นที่การกรอง 28 ตารางเมตร ทำจากโพลีเอไมด์ (polyamide) เพื่อศึกษาการแยกกลับและการกักกันมลสารสำคัญ 4 ชนิด คือ บีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen; AN) และไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) ปรากฏผลดังนี้

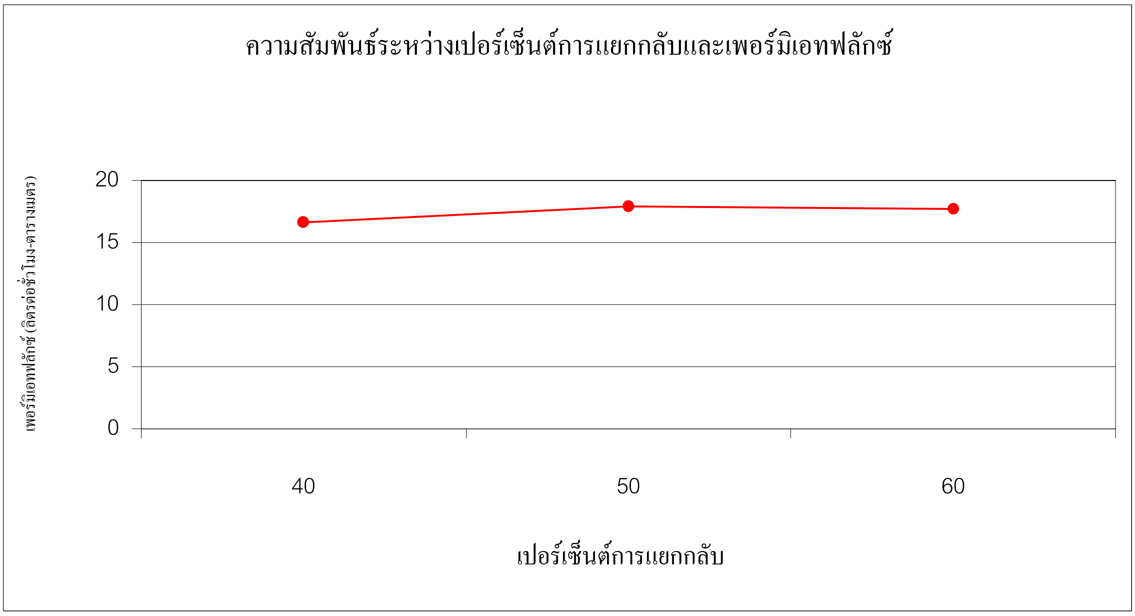
1. การหาเปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่เหมาะสม

ในขั้นตอนแรกจะทำการศึกษาวิจัยเปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่ระดับ 40, 50 และ 60 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมตามคำแนะนำของผู้ผลิตแผ่นเยื่อกรอง ที่ให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์หรืออัตราการกรองที่สูงที่สุดและค่าเปอร์เซ็นต์การกักกัน (% Rejection) หรืออัตราการบำบัดของเสียที่สูงสุดด้วย ซึ่งได้ผลการวิจัยดังตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์ ดังได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์

เปอร์เซ็นต์การแยกกลับ	ครั้งที่	พื้นที่การกรอง (ตารางเมตร)	อัตราการไหลของ (ลิตรต่อชั่วโมง)			เพอร์มิเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตร)
			น้ำเสีย	รีเทนเทท	เพอร์มิเอท	
40	1	28.0	1004.0	532.2	471.8	16.8
	2	28.0	998.0	536.0	462.0	16.5
	3	28.0	995.0	534.4	460.6	16.4
ค่าเฉลี่ย		28.0	999.0	534.2	464.8	16.6
50	1	28.0	1003.0	502.1	500.9	17.9
	2	28.0	1005.0	502.1	502.9	18.0
	3	28.0	999.0	499.2	499.8	17.8
ค่าเฉลี่ย		28.0	1002.3	501.1	501.2	17.9
60	1	28.0	1004.0	507.0	497.0	17.8
	2	28.0	998.0	502.7	495.3	17.7
	3	28.0	997.0	502.8	494.2	17.6
ค่าเฉลี่ย		28.0	999.7	504.2	495.5	17.7



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 แสดงว่าที่เปอร์เซ็นต์การแยกกลับ 50 ให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์สูงสุด

1.2 ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสีย รีเทนเททและเพอร์มิเอทที่เปอร์เซ็นต์การแยกกลับต่าง ๆ ดังได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2

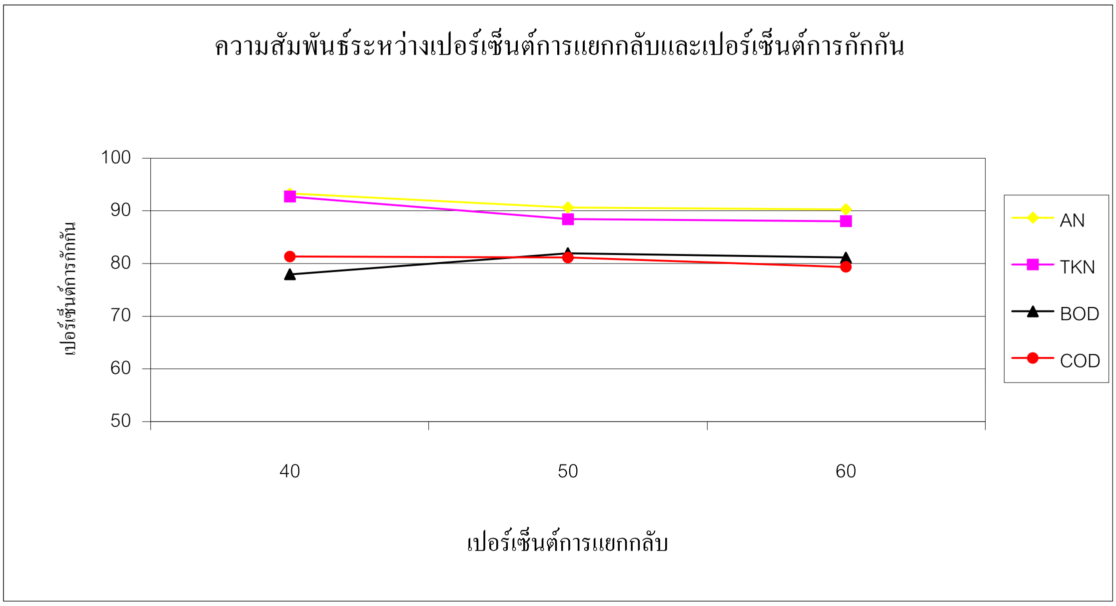
ตารางที่ 4.2 ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสียและเพอร์มิเอทที่เปอร์เซ็นต์การแยกกลับต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์	ครั้งที่	ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ค่าวิเคราะห์ของรีเทนเทท (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ค่าวิเคราะห์ของเพอร์มิเอท (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
การแยกกลับ		AN	TKN	BOD	COD	AN	TKN	BOD	COD	AN	TKN	BOD	COD
40	1	101	103	921	1,059	166	196	1,334	1,521	10	16	291	338
	2	103	106	925	1,054	168	196	1,338	1,539	11	17	295	336
	3	105	108	928	1,067	170	194	1,341	1,529	13	19	301	343
	ค่าเฉลี่ย	103	106	925	1,060	168	195	1,338	1,529	11	17	296	339
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		2.0	2.5	3.5	6.4	2.0	1.2	3.5	9.0	1.5	1.5	5.0	3.6
50	1	128	131	755	883	233	238	1,227	1,411	22	28	221	258
	2	130	135	771	894	235	240	1,230	1,402	22	31	225	261
	3	125	129	749	876	230	235	1,220	1,415	21	24	217	252
	ค่าเฉลี่ย	128	132	758	885	233	238	1,226	1,410	22	28	221	257
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		2.5	3.1	11.4	9.1	2.5	2.5	5.1	6.6	0.6	3.5	4.0	4.7
60	1	110	113	804	925	199	202	1,399	1,595	28	35	294	335
	2	107	110	801	921	196	198	1,387	1,574	27	34	280	320
	3	102	105	790	916	190	196	1,383	1,590	24	31	277	319
	ค่าเฉลี่ย	106	109	798	921	195	199	1,390	1,586	26	33	284	325
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		4.0	4.0	7.4	4.1	4.6	3.1	8.3	10.9	2.1	2.1	9.1	9.1

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและเปอร์เซ็นต์การกักกัน ดังได้แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

เปอร์เซ็นต์การแยกกลับ	ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์การกักกัน			
		AN	TKN	BOD	COD
40	1	94.0	93.2	78.2	81.4
	2	93.5	92.8	78.0	81.3
	3	92.4	92.1	77.6	81.2
ค่าเฉลี่ย		93.3	92.7	77.9	81.3
50	1	90.6	88.2	82.0	81.3
	2	90.6	87.1	81.7	80.7
	3	90.9	89.8	82.2	81.4
ค่าเฉลี่ย		90.7	88.4	82.0	81.1
60	1	89.9	87.6	80.5	78.3
	2	90.0	87.6	81.3	78.9
	3	91.1	88.7	81.4	80.8
ค่าเฉลี่ย		90.3	88.0	81.1	79.3



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

ข้อมูลจากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.2 พบว่าการเดินระบบ RO ที่เปอร์เซ็นต์การแยกกลับสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดที่แสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์การกักกัน AN, TKN, BOD และ COD มีแนวโน้มที่ลดลง แสดงถึงประสิทธิภาพของการบำบัดที่ลดลง

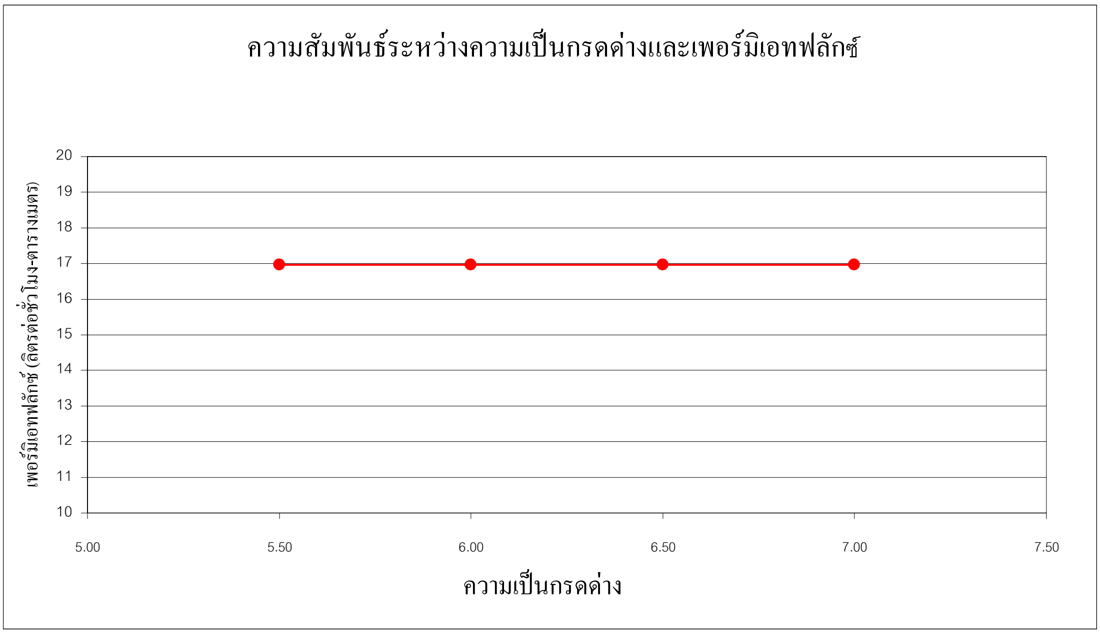
2. การหาค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการเดินระบบ

การศึกษาวิจัยในขั้นตอนนี้ เพื่อศึกษาค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม ที่ให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์ และค่าเปอร์เซ็นต์การกักกันสูงสุด โดยค่าความเป็นกรดด่างที่ใช้คือ 5.5, 6.0, 6.5 และ 7.0 ทั้งนี้เพราะเพอร์มิเอทฟลักซ์ ที่ได้จะมีค่าค่อนข้างเป็นกลางเหมาะแก่การนำไปใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิต

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดด่างและเพอร์มิเอทฟลักซ์ ดังได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดด่างและเพอร์มิเอทฟลักซ์

ค่าความเป็นกรดด่าง	ครั้งที่	พื้นที่การกรอง (ตารางเมตร)	อัตราการไหลของ (ลิตรต่อชั่วโมง)			เพอร์มิเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตร)
			น้ำเสีย	รีเทนเทท	เพอร์มิเอท	
5.5	1	28.0	1,002.0	527.0	475.0	17.0
	2	28.0	999.0	524.0	475.0	17.0
	3	28.0	998.0	523.0	475.0	17.0
ค่าเฉลี่ย		28.0	999.7	524.7	475.0	17.0
6.0	1	28.0	1,000.0	525.0	475.0	17.0
	2	28.0	997.0	522.0	475.0	17.0
	3	28.0	1,001.0	526.0	475.0	17.0
ค่าเฉลี่ย		28.0	999.3	524.3	475.0	17.0
6.5	1	28.0	999.0	524.0	475.0	17.0
	2	28.0	997.0	522.0	475.0	17.0
	3	28.0	997.0	522.0	475.0	17.0
ค่าเฉลี่ย		28.0	997.7	522.7	475.0	17.0
7.0	1	28.0	998.0	523.0	475.0	17.0
	2	28.0	998.0	523.0	475.0	17.0
	3	28.0	996.0	521.0	475.0	17.0
ค่าเฉลี่ย		28.0	997.3	522.3	475.0	17.0



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างและเพอร์มิเอทฟลักซ์

ข้อมูลจากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.3 พบว่าเมื่อปรับระดับความเป็นกรดด่างของน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 5.5 ถึง 7.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์ที่ 17 ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตรเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าความเป็นกรดด่างในช่วงที่ทำการทดลองไม่มีผลต่อเพอร์มิเอทฟลักซ์

2.2 ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสียรีเทนเททและเพอร์มิเอท ที่ความเป็นกรดด่างต่าง ๆ ดังได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.5

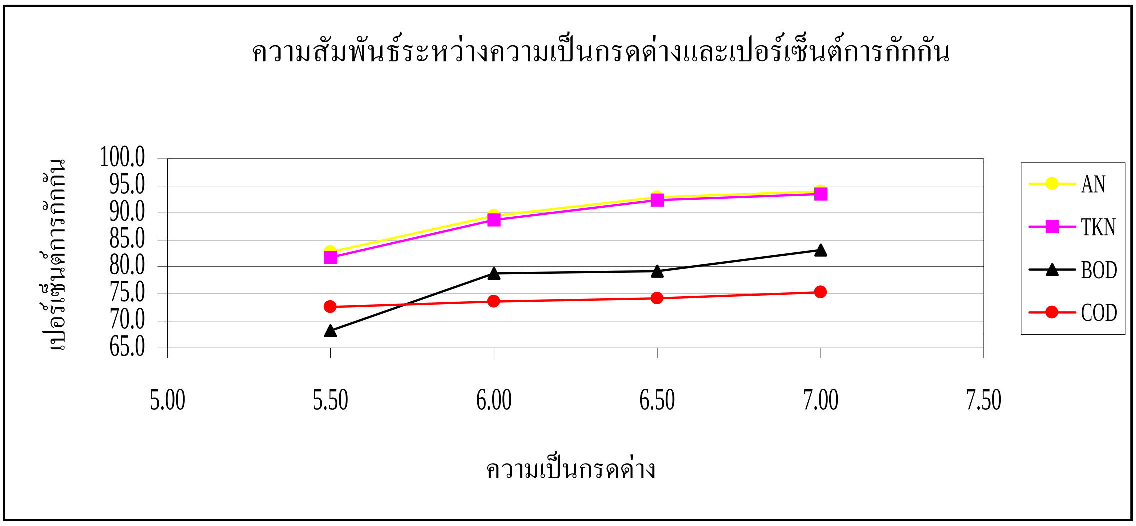
ตารางที่ 4.5 ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสียรีเทนเททและเพอร์มิเอท ที่ความเป็นกรดด่างต่าง ๆ

ค่ากรดด่าง	ครั้งที่	ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสีย มิลลิกรัมต่อลิตร				ค่าวิเคราะห์ของรีเทนเทท มิลลิกรัมต่อลิตร				ค่าวิเคราะห์ของเพอร์มิเอท มิลลิกรัมต่อลิตร			
		AN	TKN	BOD	COD	AN	TKN	BOD	COD	AN	TKN	BOD	COD
5.5	1	172	186	823	963	307	319	1,296	1,471	51	56	455	514
	2	171	185	817	952	305	317	1,295	1,476	53	59	440	497
	3	175	189	830	969	311	321	1,279	1,457	55	60	460	518
ค่าเฉลี่ย		173	187	823	961	308	319	1,290	1,468	53	58	452	510
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		2.1	2.1	2.1	8.9	3.1	2.0	9.5	10.1	2.0	2.1	10.4	10.9
6.0	1	170	179	1,059	1,239	314	326	1,836	2,093	32	36	408	465
	2	175	184	1,063	1,254	320	333	1,821	2,085	34	39	417	478
	3	172	181	1,060	1,240	316	329	1,830	2,086	34	37	412	470
ค่าเฉลี่ย		172	181	1,061	1,244	317	329	1,829	2,088	33	37	412	471
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		2.5	2.5	2.1	8.5	3.1	3.5	7.5	4.3	1.2	1.5	4.5	6.2
6.5	1	177	189	1,030	1,226	348	367	1,765	2,021	23	27	375	430
	2	180	194	1,050	1,239	351	371	1,755	2,010	25	29	388	444
	3	182	197	1,055	1,240	353	373	1,770	2,027	27	29	395	446
ค่าเฉลี่ย		180	193	1,045	1,235	351	370	1,763	2,019	25	28	386	440
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		2.5	4.0	13.2	7.9	2.5	3.1	7.6	8.7	2.0	1.2	10.1	9.3
7.0	1	207	224	1,564	1,846	394	412	2,720	3,114	24	28	499	571
	2	199	220	1,550	1,837	385	407	2,718	3,098	23	26	487	560
	3	197	217	1,541	1,818	377	399	2,704	3,118	22	25	476	546
ค่าเฉลี่ย		201	220	1,552	1,834	385	406	2,768	3,110	23	26	487	559
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		5.3	3.5	11.6	13.9	8.5	6.6	8.7	10.3	1.0	1.5	11.5	12.7

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างและเปอร์เซ็นต์การกักกัน ดังได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

ความเป็นกรดด่าง	ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์การกักกัน			
		AN	TKN	BOD	COD
5.5	1	83.4	82.4	67.7	73.6
	2	82.6	81.4	68.5	73.9
	3	82.3	81.3	68.3	70.3
ค่าเฉลี่ย		82.8	81.7	68.2	74.2
6.0	1	89.8	89.0	79.0	74.0
	2	89.4	88.3	78.6	73.5
	3	89.2	88.8	78.8	73.2
ค่าเฉลี่ย		89.5	88.7	78.8	73.6
6.5	1	93.4	92.6	79.3	74.6
	2	92.9	92.2	79.3	74.1
	3	92.4	92.2	79.1	74.0
ค่าเฉลี่ย		92.9	92.4	79.2	74.2
7.0	1	93.9	93.2	83.3	75.5
	2	94.0	93.6	83.1	75.1
	3	94.2	93.7	83.1	75.3
ค่าเฉลี่ย		94.0	93.5	83.2	75.3



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดด่างและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

ข้อมูลจากตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.4 พบว่าเปอร์เซ็นต์การกักกันของ AN, TKN, BOD และ COD จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดด่างของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าเป็นกลางมากขึ้น

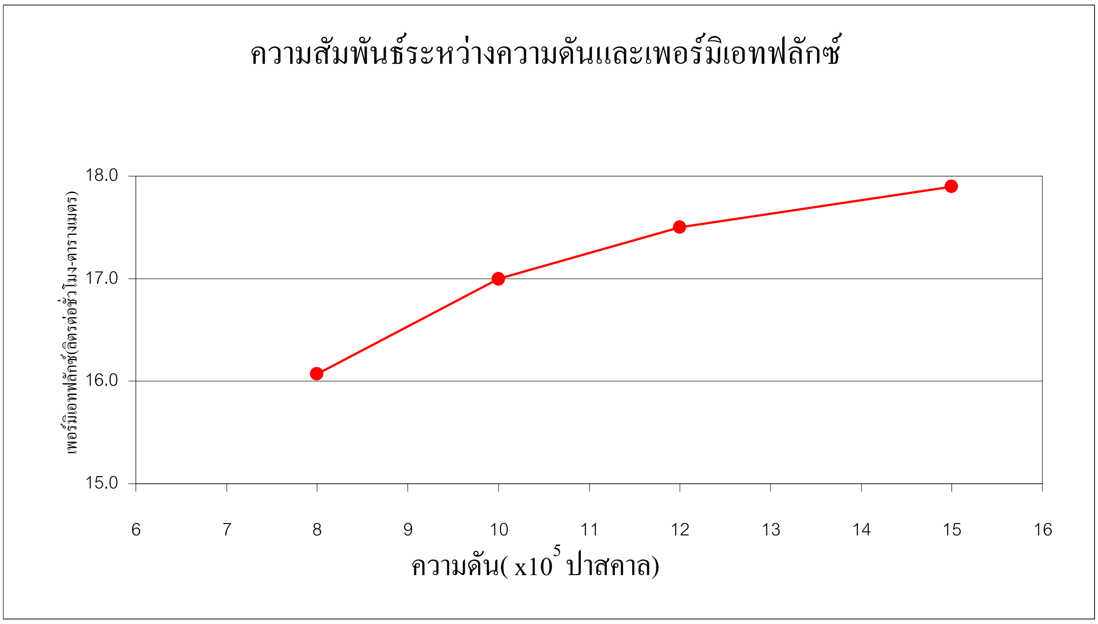
3. การหาความดันที่เหมาะสมต่อการเดินระบบ

การศึกษาวิจัยในขั้นนี้ เพื่อศึกษาความดันที่เหมาะสม ที่ให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์และค่าเปอร์เซ็นต์การกักกันสูงสุด โดยความดันน้ำเสียที่ป้อนคือ $8x10^5$, $10x10^5$, $12x10^5$ และ $15x10^5$ ปาสคาล

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเพอร์มิเอทฟลักซ์ ดังได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเพอร์มิเอทฟลักซ์

ความดัน (ปาสคาล)	ครั้งที่	พื้นที่การกรอง (ตารางเมตร)	อัตราการไหลของ (ลิตรต่อชั่วโมง)			เพอร์มิเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตร)
			น้ำเสีย	รีเทนเทท	เพอร์มิเอท	
$8.x10^5$	1	28.0	1,003.0	552.0	451.0	16.1
	2	28.0	1,001.0	550.0	451.0	16.1
	3	28.0	1,002.0	551.0	451.0	16.1
ค่าเฉลี่ย		28.0	1,002.0	551.0	451.0	16.1
$10x10^5$	1	28.0	998.0	522.0	476.0	17.0
	2	28.0	997.0	521.0	476.0	17.0
	3	28.0	999.0	523.0	476.0	17.0
ค่าเฉลี่ย		28.0	998.0	522.0	476.0	17.0
$12x10^5$	1	28.0	1,002.0	512.0	490.0	17.5
	2	28.0	1,003.0	513.0	490.0	17.5
	3	28.0	1,001.0	511.0	490.0	17.5
	ค่าเฉลี่ย	28.0	1,002.0	512.0	490.0	17.5
$15x10^5$	1	28.0	998.0	497.0	501.0	17.9
	2	28.0	996.0	495.0	501.0	17.9
	3	28.0	998.0	497.0	501.0	17.9
ค่าเฉลี่ย		28.0	997.3	496.3	501.0	17.9



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเพอร์มิเอทฟลักซ์

ข้อมูลจากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันในการเดินระบบจาก $8x10^5$ เป็น $10x10^5$ ปาสคาล กราฟจะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างชัน และเมื่อเปลี่ยนความดันจาก $10x10^5$ เป็น $12x10^5$ และ $15x10^5$ ปาสคาล ตามลำดับ เส้นกราฟมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเดียวกัน แต่ความชันลดลงค่อนข้างมาก แสดงว่าเมื่อเพิ่มความดันที่ระดับต่าง ๆ ให้ระบบจะได้เพอร์มิเอทสูงขึ้นแต่ในอัตราที่ลดลง

และจากคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตแผ่นเยื่อกรอง การใช้ความดันที่ระดับสูงจะทำให้อายุการใช้งานของแผ่นเยื่อกรองสั้นลง ฉะนั้นจึงควรเลือกระดับความดันที่ $10x10^5$ ปาสคาล เป็นระดับที่เหมาะสม

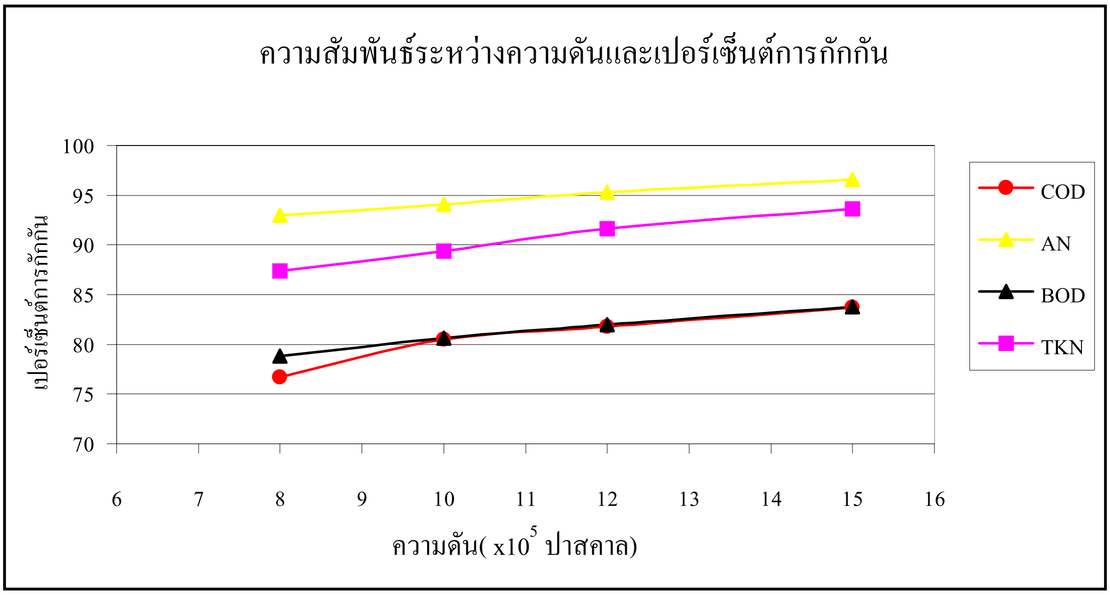
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเปอร์เซ็นต์การกักกัน ดังได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสียรีเทนเททและเพอร์มิเอท เมื่อเดินระบบที่ความดันต่าง ๆ

ความดัน (ปาสคาล)	ครั้งที่	ค่าวิเคราะห์ของน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ค่าวิเคราะห์ของรีเทนเทท (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ค่าวิเคราะห์ของเพอร์มิเอท (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
		AN	TKN	BOD	COD	AN	TKN	BOD	COD	AN	TKN	BOD	COD
8x10^{5}	1	104	120	930	1,088	194	215	1,450	1,696	14	28	310	364
	2	104	115	940	1,100	193	211	1,455	1,709	14	28	315	371
	3	106	125	955	1,098	198	223	1,451	1,706	15	31	321	376
ค่าเฉลี่ย		105	120	942	1,095	195	216	1,452	1,704	14	29	315	370
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.2	5.0	12.6	6.4	2.6	6.1	2.6	6.8	0.6	1.7	5.5	5.7
10x10^{5}	1	104	125	935	1,085	189	221	1,560	1,828	11	23	288	340
	2	110	127	943	1,100	215	238	1,580	1,848	13	25	301	355
	3	107	125	939	1,099	203	229	1,566	1,829	12	25	295	348
ค่าเฉลี่ย		107	126	939	1,095	201	229	1,569	1,835	12	24	295	348
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		3.0	1.2	4.0	8.7	10.7	8.5	10.3	11.5	1.0	1.2	6.5	7.4
12x10^{5}	1	107	131	956	1,118	191	229	1,585	1,854	9	18	278	325
	2	111	133	964	1,128	209	240	1,595	1,874	10	21	290	336
	3	109	129	961	1,129	205	239	1,588	1,863	10	20	280	328
ค่าเฉลี่ย		109	131	960	1,125	202	236	1,589	1,864	10	20	283	330
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		2.0	2.0	4.0	5.8	10.7	6.1	5.1	9.9	0.6	1.5	6.4	6.0
15x10^{5}	1	121	141	978	1,144	228	255	1,625	1,896	8	17	270	313
	2	117	131	971	1,136	225	248	1,635	1,913	8	16	266	311
	3	115	129	964	1,128	220	245	1,625	1,901	7	15	260	304
ค่าเฉลี่ย		118	134	971	1,136	224	249	1,628	1,904	8	16	265	309
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		3.1	6.4	7.0	8.2	4.0	5.1	5.8	8.5	0.6	1.0	5.0	4.7

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

ความดัน(ปาสคาล)	ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์การกักกัน			
		AN	TKN	BOD	COD
$8x10^5$	1	93.1	87.7	78.6	75.5
	2	93.1	87.8	78.4	76.9
	3	92.9	86.7	79.3	77.8
ค่าเฉลี่ย		93.0	87.4	78.8	76.7
$10x10^5$	1	94.2	89.6	80.3	78.8
	2	94.0	89.5	80.9	81.3
	3	94.1	89.1	80.7	81.3
ค่าเฉลี่ย		94.1	89.4	80.6	80.5
$12x10^5$	1	95.3	91.8	81.9	82.4
	2	95.4	91.3	81.8	81.6
	3	95.1	91.6	82.4	81.5
ค่าเฉลี่ย		95.3	91.6	82.0	81.8
$15x10^5$	1	96.5	93.3	83.7	82.1
	2	96.4	93.5	83.7	83.7
	3	96.5	93.9	84.0	85.4
ค่าเฉลี่ย		96.6	93.6	83.8	83.7



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

ข้อมูลจากตารางที่ 4.8, 4.9 และภาพที่ 4.6 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มความดันของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ RO จะทำให้เปอร์เซ็นต์การกักกันของเสียสูงขึ้นด้วย

4.การหาความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์

การศึกษาวิจัยขั้นนี้ เพื่อศึกษาความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์ โดยเดินเครื่องตามสภาวะที่ได้ศึกษาไว้คือ เปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่ 50 ความเป็นกรดด่าง 6.0 และความดัน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 98วัน โดยมีพื้นที่การกรอง 28 ตารางเมตร เพื่อดูความคงที่ของเพอร์มิเอทฟลักซ์และหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการล้างแผ่นเยื่อกรอง

4.1 ความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์ ดังได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์

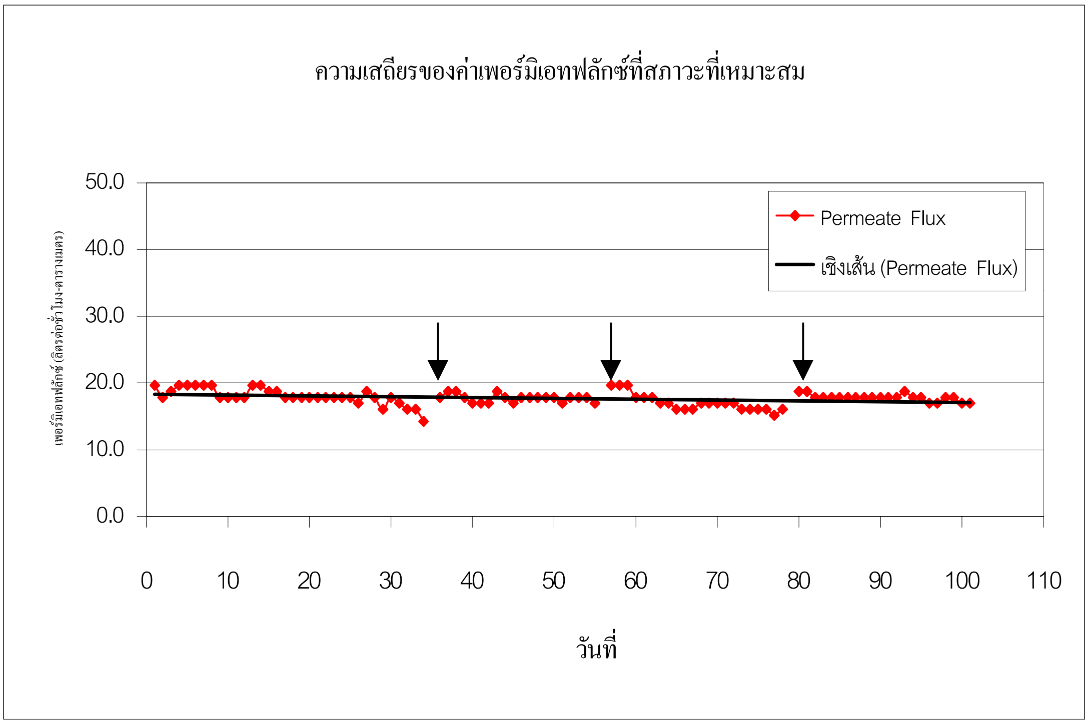
ครั้งที่	อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อกรองของเพอร์มิเอท (ลิตรต่อชั่วโมง)	เพอร์มิเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อชั่วโมง ตารางเมตร)	ครั้งที่	อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อกรองของเพอร์มิเอท (ลิตรต่อชั่วโมง)	เพอร์มิเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อชั่วโมง ตารางเมตร)
1	550	19.6	15	525	18.8
2	500	17.9	16	525	18.8
3	525	18.8	17	500	17.9
4	550	19.6	18	500	17.9
5	550	19.6	19	500	17.9
6	550	19.6	20	500	17.9
7	550	19.6	21	500	17.9
8	550	19.6	22	500	17.9
9	500	17.9	23	500	17.9
10	500	17.9	24	500	17.9
11	500	17.9	25	500	17.9
12	500	17.9	26	475	17.0
13	550	19.6	27	525	18.8
14	550	19.6	28	500	17.9

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

ครั้งที่	อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อกรองของเพอร์มิเอท (ลิตรต่อชั่วโมง)	เพอร์มิเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อชั่วโมงตารางเมตร)	ครั้งที่	อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อกรองของเพอร์มิเอท (ลิตรต่อชั่วโมง)	เพอร์มิเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อชั่วโมงตารางเมตร)
29	450	16.1	52	500	17.9
30	500	17.9	53	500	17.9
31	475	17.0	54	475	17.0
32	450	16.1	55	550	19.6
33	450	16.1	56	550	19.6
34	400	14.3	57	550	19.6
35	500	17.9	58	500	17.9
36	525	18.8	59	500	17.9
37	525	18.8	60	500	17.9
38	500	17.9	61	475	17.0
39	475	17.0	62	475	17.0
40	475	17.0	63	450	16.1
41	475	17.0	64	450	16.1
42	525	18.8	65	450	16.1
43	500	17.9	66	475	17.0
44	475	17.0	67	475	17.0
45	500	17.9	68	475	17.0
46	500	17.9	69	475	17.0
47	500	17.9	70	475	17.0
48	500	17.9	71	450	16.1
49	500	17.9	72	450	16.1
50	475	17.0	73	450	16.1
51	500	17.9	74	450	16.1

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

ครั้งที่	อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อกรองของเพอร์มิเอท (ลิตรต่อชั่วโมง)	เพอร์มิเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อชั่วโมงตารางเมตร)	ครั้งที่	อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อกรองของเพอร์มิเอท (ลิตรต่อชั่วโมง)	เพอร์มิเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อชั่วโมงตารางเมตร)
75	425	15.2	87	500	17.9
76	450	16.1	88	500	17.9
77	525	18.8	89	500	17.9
78	525	18.8	90	525	18.8
79	500	17.9	91	500	17.9
80	500	17.9	92	500	17.9
81	500	17.9	93	475	17.0
82	500	17.9	94	475	17.0
83	500	17.9	95	500	17.9
84	500	17.9	96	500	17.9
85	500	17.9	97	475	17.0
86	500	17.9	98	475	17.0



ภาพที่ 4.7 ความเสถียรของค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์ที่สภาวะที่เหมาะสม

ข้อมูลจากตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.7 แสดงว่าเมื่อทำการเดินระบบ RO อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 98 วัน พบว่าจะต้องทำการล้างแผ่นเยื่อกรองด้วยวิธีการล้างในระบบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เจือจางที่ปรับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 11 ตามคำแนะนำของผู้ผลิตแผ่นเยื่อกรองทุกๆ 20 วัน ก็จะสามารถรักษาระดับของเพอร์มิเอทฟลักซ์ให้อยู่ในช่วง 15 ถึง 20 ลิตรต่อ ชั่วโมง-ตารางเมตร ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยของเพอร์มิเอทฟลักซ์ประมาณ 17 ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตรได้ค่าเฉลี่ยของเพอร์มิเอทฟลักซ์ประมาณ 17 ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตร

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนในขั้นตอนของการต้มระเหย เป็นน้ำเสียที่มีมลสารประเภทไนโตรเจนอยู่สูง ซึ่งการบำบัดจะต้องใช้ระบบบำบัดที่มีเทคโนโลยีสูง รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่สูง แต่น้ำเสียนี้มีลักษณะที่ใสจึงมีความเป็นไปได้ในการบำบัดโดยระบบออสโมซิสผันกลับและนำกลับมาใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิต ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดปริมาณมลสารที่ปล่อยสู่สภาวะแวดล้อมแล้วยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย

1. สรุปการวิจัย

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสผันกลับในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนและนำกลับมาใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิต ระบบออสโมซิสผันกลับต้องมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, AN และ TKN ได้มากกว่าร้อยละ 70 ของปริมาณเริ่มต้นในน้ำเสีย โดยน้ำที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสผันกลับจะนำไปใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิตในการล้างหอเรซิน ฉะนั้นถ้าน้ำมีปริมาณ BOD, COD, AN และ TKN มากจะทำให้ประสิทธิภาพของเรซินต่ำลง

1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

1.2.1 ประชากรในการวิจัย น้ำเสียที่เป็นคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนในขั้นตอนการต้มสารละลายให้เข้มข้นปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

1.2.2 ตัวอย่างในการวิจัย น้ำเสียที่เป็นคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนในขั้นตอนการต้มสารละลายให้เข้มข้น ที่ทำการเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่องโดยการต่อท่อเก็บตัวอย่างเข้ากับท่อระบายน้ำเสียของกระบวนการผลิต ซึ่งไหลอย่างสม่ำเสมอและทำการเก็บตัวอย่างด้วยอัตราการไหล 1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยทำการเก็บตั้งแต่ 8.00 ถึง 16.00 น. ของแต่ละวัน

1.2.3 เครื่องมือในการวิจัย ระบบออสโมซิสผันกลับแบบจำลอง ของบริษัท Nitto Denko รุ่น LFC1 ทำจากวัสดุโพลีเอไมด์ มีพื้นที่การกรอง 28 ตารางเมตร

1.2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องการศึกษาประกอบด้วย

1) เปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่เหมาะสม

2) ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม

3) ค่าความดันที่เหมาะสม

4) ความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์และช่วงเวลา สำหรับการล้างแผ่นเยื่อกรองด้วยวิธีการล้างในระบบ

1.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และกราฟแสดงความสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

1) เปอร์เซ็นต์การแยกกลับและเพอร์มิเอทฟลักซ์

2) เปอร์เซ็นต์การแยกกลับและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

3) ความเป็นกรดด่างและเพอร์มิเอทฟลักซ์

4) ความเป็นกรดด่างและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

5) ความดันและเพอร์มิเอทฟลักซ์

6) ความดันและเปอร์เซ็นต์การกักกัน

7) ความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์

1.3 ผลการวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสผันกลับในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนพบว่า

1) เปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่เหมาะสมคือ ที่ระดับ 50

2) ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมคือ 6.0

3) ค่าความดันที่เหมาะสมคือ $10x10^5$ *ปาสคาล*

4) ความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์ มีค่าประมาณ 17 ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตร โดยมีช่วงเวลาสำหรับการล้างแผ่นเยื่อกรองด้วยวิธีการล้างในระบบทุกๆ 20 วัน

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมข้างต้น ระบบออสโมซิสผันกลับมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, AN และ TKN สอดคล้องกับข้อกำหนดการวิจัยโดยเพอร์มิเอทฟลักซ์ที่ได้จากกระบวนการออสโมซิสผันกลับมีค่า BOD, COD, AN และ TKN ลดลงมากกว่าร้อยละ 70 ของปริมาณเริ่มต้นในน้ำเสีย

2. อภิปรายผล

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียจากการกระบวนการผลิตกรดอะมิโนโดยการใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับ เพื่อศึกษาการนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนกลับมาใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิต และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสผันกลับในการบำบัด BOD, COD, AN และ TKN ซึ่งเป็นสารสำคัญของน้ำเสียที่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองนี้ประมาณ 4 เดือน โดยในเดือนแรกจะทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสผันกลับ และ 3 เดือนที่เหลือ จะทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่องเพื่อทดสอบความเสถียรของเพอร์มิเอทฟลักซ์รวมทั้งหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการล้างแผ่นเยื่อกรอง

ในการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่เหมาะสมพบว่า ที่เปอร์เซ็นต์การแยกกลับระดับต่ำคือ 40 จะให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์ต่ำที่สุด และเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การแยกกลับเป็นระดับ 50 จะได้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์ที่สูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การแยกกลับเป็นระดับ 60 ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์กลับลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การแยกกลับขึ้น ประสิทธิภาพในการกวนที่ผิวของแผ่นเยื่อกรองต่ำลงจนอาจเกิดการอุดตันและทำให้เพอร์มิเอทฟลักซ์ต่ำลงและจากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแยกกลับและเปอร์เซ็นต์การกักกัน พบว่าที่เปอร์เซ็นต์การแยกกลับสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การกักกันมีแนวโน้มที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตามที่เปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่ระดับ 40, 50 และ 60 ล้วนแต่ให้เปอร์เซ็นต์การกักกันที่สูงกว่าระดับ 70 ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดการวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นจึงเลือกเปอร์เซ็นต์การแยกกลับปานกลางคือที่ระดับ 50 ที่ให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์สูงที่สุดคือ 17.9 ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตรและให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกักกันแอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 90.7 เปอร์เซ็นต์การกักกัน TKN เท่ากับ 88.4 เปอร์เซ็นต์การกักกัน BOD เท่ากับ 82.0 และเปอร์เซ็นต์การกักกัน COD เท่ากับ 81.1 ซึ่งสูงกว่าร้อยละ 70 สำหรับการเดินระบบต่อไป

จากการทดลองเพื่อหาความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการเดินระบบ RO โดยพิจารณาเลือกความเป็นกรดด่างให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์และค่าเปอร์เซ็นต์การกักกันที่สูงที่สุดพบว่าความเป็นกรดด่างในช่วงที่ทดสอบคือ 5.5 ถึง 7.0 (เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการนำเอาเพอร์มิเอทกลับไปหมุนเวียนใช้ในกระบวนการผลิต) ให้ค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์ที่เท่ากันคือ 16.96 ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตร ทำให้สรุปได้ว่าการปรับเปลี่ยนความเป็นกรดด่างในช่วงดังกล่าวจะไม่ส่งผลใดๆ ต่อเพอร์มิเอทฟลักซ์และจากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของความเป็นกรดด่างและเปอร์เซ็นต์การกักกันพบว่า เมื่อทำการปรับความเป็นกรดด่างให้สูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การกักกันจะสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นกรดด่างมีผลต่อการแตกตัวของตัวถูกละลายในน้ำเสีย จากการทดลองนี้ที่ความเป็นกรด

ด่าง 7.0 จะให้เปอร์เซ็นต์การกักกันที่สูงที่สุดค่าเปอร์เซ็นต์การกักกัน AN เท่ากับ 94.0 เปอร์เซ็นต์การกักกัน TKN เท่ากับ 93.5 เปอร์เซ็นต์การกักกัน BOD เท่ากับ 83.2 และเปอร์เซ็นต์การกักกัน COD เท่ากับ 75.3 ซึ่งสูงกว่าร้อยละ 70 แต่การปรับความเป็นกรดด่างเป็น 7.0 จะต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปริมาณมากซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียสูงขึ้น และที่ความเป็นกรดด่าง 7.0 นี้จะเหมาะต่อการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหลายภายในแผ่นเยื่อกรอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ประเภทราเมือก (Slime Mold) ซึ่งจะก่อให้เกิดการอุดตันและเสื่อมสภาพของแผ่นเยื่อกรอง (Fouling) ดังนั้นจึงควรเลือกความเป็นกรดด่างที่เป็นกรดเพื่อประหยัดต้นทุนในการบำบัดอันเนื่องมาจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณมาก และลดอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ แต่จะต้องให้เปอร์เซ็นต์การกักกันมากกว่า 70 ด้วยซึ่งความเป็นกรดด่างดังกล่าวคือ 6.0

จากการทดลองเพื่อหาความดันที่เหมาะสมต่อการเดินระบบ RO พบว่าเมื่อทำการเพิ่มความดันให้กับน้ำเสียที่ป้อนจะทำให้เพอร์มิเอทฟลักซ์มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเป็นการเพิ่มแรงขับดันให้กับตัวทำละลายในการเคลื่อนที่ผ่านแผ่นเยื่อกรอง และเมื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเปอร์เซ็นต์การกักกันพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความดันให้กับน้ำเสียที่ป้อนจะทำให้เปอร์เซ็นต์การกักกันมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งค่อนข้างขัดแย้งกับหลักการการทำงานของแผ่นเยื่อกรองที่เมื่อเพิ่มความดันจะช่วยให้ตัวถูกละลายผ่านแผ่นเยื่อกรองได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขณะที่ทำการทดลองเพิ่มความดันนั้นอาจเกิดการสะสมและการอุดตันของตัวถูกละลายที่บริเวณผิวหน้าแผ่นเยื่อกรองเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกักกันมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เมื่อพิจารณาจากกราฟของความดันและ เพอร์มิเอทฟลักซ์พบว่าเพอร์มิเอทฟลักซ์จะเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเพิ่มความดันจาก $8x10^5$ ปาสคาล เป็น $10x10^5$ ปาสคาล และเมื่อเพิ่มความดันเป็น $12x10^5$ ปาสคาล และ $15x10^5$ ปาสคาล เพอร์มิเอทฟลักซ์จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงและการเดินระบบ RO ที่ความดันสูงจะต้องลงทุนสูงเนื่องจากจะต้องใช้อุปกรณ์ เช่น ท่อ วาล์วที่ทนต่อความดันสูงซึ่งมีราคาแพง รวมทั้งแผ่นเยื่อกรองจะมีอายุการใช้งานที่สั้นลง เป็นต้น ดังนั้นความดันที่เหมาะสมที่น่าจะใช้สำหรับการเดินระบบ RO คือ $10x10^5$ ปาสคาล ซึ่งจะได้เพอร์มิเอทฟลักซ์เท่ากับ 17 ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตร

สำหรับปัจจัยอื่น ๆ ที่มักมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ RO เช่น อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารละลายป้อนนั้น ไม่ได้ทำการทดลองในครั้งนี้ เนื่องจากมีการระบุในเอกสารที่อ้างอิงและคู่มือของแผ่นเยื่อกรองว่า RO จะมีประสิทธิภาพดีที่อุณหภูมิสูง แต่สำหรับแผ่นเยื่อกรองที่ใช้ทำการทดลองนี้จะทนอุณหภูมิได้ไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส ฉะนั้นอุณหภูมิสูงที่เหมาะสมสำหรับการเดินระบบควรทำการควบคุมที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส เพราะเมื่ออุปกรณ์ควบคุมมีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นแผ่นเยื่อกรองจะได้ไม่เสียหาย ส่วนในกรณีของความเข้มข้นของสารละลาย

ป้อนนั้นไม่มีความจำเป็นต้องปรับเนื่องจากเปอร์เซ็นต์การกักกันที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียโดยตรงที่ไม่ได้ปรับความเข้มข้นมีค่ามากกว่าร้อยละ 70 สอดคล้องกับข้อกำหนดการวิจัยที่ตั้งไว้แล้ว

เมื่อทำการทดลองครบทุกขั้นตอนแล้วสามารถสรุปได้คือ เพอร์มิเอทที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกรดอะมิโนสามารถนำกลับไปใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิตได้ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์การกักกัน AN เปอร์เซ็นต์การกักกัน TKN เปอร์เซ็นต์การกักกัน BOD และเปอร์เซ็นต์การกักกัน COD มีค่าสูงกว่า 70 และสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียของ RO คือ เปอร์เซ็นต์การแยกกลับที่ระดับ 50 และปัจจัยอื่น ๆ ที่เหมาะสมดังนี้

- ค่าความเป็นกรดด่าง 6.0
- ความดัน $10x10^5$ ปาสคาล
- อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ RO ในการบำบัดน้ำเสียแล้ว จึงได้ทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3 เดือน เพื่อศึกษาความเสถียรของเพอมิเอทฟลักซ์ โดยทั่วไปแล้ว เพอร์มิเอทฟลักซ์จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากการสะสมและการอุดตันที่ผิวหน้าของแผ่นเยื่อกรอง สาเหตุของการการสะสมและการอุดตันมักเกิดจากสารแขวนลอย และการตกผลึกของตัวถูกละลายเนื่องจากความเข้มข้นของตัวถูกละลายบริเวณผิวของแผ่นเยื่อกรองสูงเกินไป แต่ในการวิจัยในครั้งนี้พบว่าสาเหตุของการอุดตันที่สำคัญของแผ่นเยื่อกรองเกิดจากการเจริญอย่างรวดเร็วของจุลินทรีย์ที่สร้างเมือกปกคลุมผิวหน้าของแผ่นเยื่อกรอง เนื่องจากน้ำเสียที่นำมาบำบัดมีค่า BOD สูงเหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์ เมื่อเกิดการอุดตันขึ้นจะต้องทำการล้างแผ่นเยื่อกรองเพื่อรักษาเพอร์มิเอทฟลักซ์ให้คงที่ ซึ่งวิธีการล้างแผ่นเยื่อกรองจะต้องทำการล้างอย่างถูกต้องตามวิธีการที่ผู้ผลิตแผ่นเยื่อกรองแนะนำเพื่อป้องกันการเสียหายของแผ่นเยื่อกรองจากการล้างผิดวิธี จากการทดลองพบว่าการอุดตันของแผ่นเยื่อกรองจะเกิดขึ้นภายหลังจากการใช้งานประมาณ 20 วัน ยกเว้นแผ่นเยื่อกรองใหม่ที่เริ่มใช้งานครั้งแรกอาจใช้ได้นานถึง 1 เดือน ฉะนั้นจะต้องทำการล้างแผ่นเยื่อกรองทุกๆ 20 วัน ซึ่งจะสามารถรักษาค่าเพอร์มิเอทฟลักซ์ให้อยู่ที่ประมาณ 17 ลิตรต่อชั่วโมง-ตารางเมตร

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลมาใช้

3.1.1 ในการบำบัดน้ำโดยใช้ระบบออสโมซิสผันกลับ จะต้องพิจารณาอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะแผ่นเยื่อกรองที่ทำจากโพลีเอไมด์นั้น คลอรีนจะมีผลทำให้แผ่นเยื่อกรอง

เสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น ดังนั้นจึงควรตรวจปริมาณคลอรีนในสารป้อน (Feed Solution) ถ้ามีมากควรเติม $NaHSO_3$ เพื่อกำจัดคลอรีน

3.1.2 การอุดตันของแผ่นเยื่อกรอง หรือการเสื่อมสภาพของแผ่นเยื่อกรอง (Fouling) บางครั้งอาจเกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์บริเวณผิวหน้าของแผ่นเยื่อกรอง โดยเฉพาะเชื้อราที่สร้างเมือก ในกรณีที่ใช้ระบบออสโมซิสผันกลับ ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียหรือสารป้อน ฉะนั้นวิธีการยืดอายุของแผ่นเยื่อกรองอาจทำได้โดยการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเสียหรือสารป้อนโดยการต้มฆ่าเชื้อ แล้วทำให้เย็นลงเพื่อป้องกันแผ่นเยื่อกรองเสียหาย หรืออาจใช้การเติมโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ แต่วิธีการนี้จะต้องควบคุมความเข้มข้นของคลอรีนอิสระให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้แผ่นเยื่อกรองเสียหาย อีกวิธีหนึ่งที่ใช้ได้ผลกับน้ำเสียหรือสารป้อนที่มีลักษณะใส และไม่มีผลเสียต่อแผ่นเยื่อกรองคือการใช้แสงอัลตราไวโอเลต (UV)ในการฆ่าเชื้อ ซึ่งการติดตั้งสามารถทำได้ทั้งที่ถังเก็บน้ำเสียหรือสารป้อนและภายในท่อ

3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

ในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้มีการศึกผลของความเข้มข้นของสารในน้ำเสีย ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบออสโมซิสผันกลับ เนื่องจากต้องการบำบัดน้ำเสียโดยตรง โดยไม่มีการปรับความเข้มข้นเพราะข้อจำกัดในเรื่องปริมาณน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต และน้ำที่ผ่านการบำบัดจะนำไปใช้ในการล้างอุปกรณ์เท่านั้นจึงไม่จำเป็นประสิทธิภาพที่สูงนัก แต่ถ้ามีผู้ที่จะทำการวิจัยในครั้งต่อไปควรจะศึกษาผลของความเข้มข้นของสารในน้ำเสียที่จะนำมาบำบัดด้วย โดยเฉพาะถ้าจะนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในการบริโภคที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาค่า COD โดยวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์หาค่า COD โดยวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด

1. หลักการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาค่า COD เป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ โดยใช้สารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง (ในที่นี้คือ Potassium dichromate; $K_2Cr_2O_7$)

ในสารละลายที่เป็นกรด (Conc. H_2SO_4) ดังสมการ

$$\text{Organic Compound} + Cr_2O_7 + H^+ \longrightarrow 6\,Fe^{3+} + CO_2 + H_2O$$

$K_2Cr_2O_7$ จะไปทำปฏิกริยากับสารอินทรีย์ในน้ำเสียหลังจากต้มนานประมาณ 2 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือจากการออกซิไดซ์ด้วยการไตเตรทด้วย Ferrous Ammonium Sulfate [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$; FAS] โดยใช้เฟอร์โรอีนเป็นอินดิเคเตอร์

$$6\,Fe^{3+} + Cr_2O_7 + 14H^+ \longrightarrow 6\,Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

1.1 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.1.1 เติม $HgSO_4$ 0.4 กรัม ลงในขวดรีฟลักซ์ (เพื่อป้องกันการรบกวนจากคลอไรด์ในน้ำ) ปิเปตน้ำตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

(กรณีตัวอย่างมีค่า $COD_{Cr} > 50$ มิลลิกรัมต่อลิตร เติม $K_2Cr_2O_7$ 0.25 N 10 มิลลิลิตร)

(กรณีตัวอย่างมีค่า $COD_{Cr} < 50$ มิลลิกรัมต่อลิตร เติม $K_2Cr_2O_7$ 0.025 N 10 มิลลิลิตร)

1.1.2 ค่อยๆ เติมซัลฟุริก แอซิด รีเอเจนท์ 30 มิลลิลิตร

1.1.3 เติมแก้วเม็ดกลม 2-3 เม็ด (เพื่อป้องกันการกระเด็น)

1.1.4 เขย่าส่วนผสมในขวดรีฟลักซ์ให้เข้ากัน

1.1.5 นำขวดรีฟลักซ์ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่นและเปิดปั๊มของเครื่องให้ความเย็นเพื่อให้น้ำไหลผ่านเครื่องควบแน่น

1.1.6 ต้มให้เดือดประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

1.1.7 รินขวดรีฟลักซ์ด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ แล้วจึงนำขวดรีฟลักซ์ออกจากเครื่องควบแน่น

1.1.8 หยดเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

(กรณีตัวอย่างมีค่า $COD_{Cr} > 50$ มิลลิกรัมต่อลิตร ไตเตรทด้วย 0.1N FAS)

(กรณีตัวอย่างมีค่า $COD_{Cr} < 50$ มิลลิกรัมต่อลิตร ไตเตรทด้วย 0.01N FAS)

จุดยุติเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

1.1.9 การวิเคราะห์แบลงค์ ควรทำไปพร้อมกับตัวอย่างโดยใช้น้ำกลั่นบริสุทธิ์แทนตัวอย่างและเติมสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ลงในขวดรีฟลักซ์และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างทุกประการ

1.1.10 การวิเคราะห์ Std.COD_{Cr} ควรทำไปพร้อมกับตัวอย่างโดยใช้ Std.COD_{Cr} 250 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ COD_{Cr} 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แทนตัวอย่างและเติมสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ลงในขวดรีฟลักซ์และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างทุกประการ

1.1.11 การคำนวณ

$$\text{COD (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}}$$

A = ปริมาตรของ FAS ที่ไตเตรทกับแบลงค์

B = ปริมาตรของ FAS ที่ไตเตรทกับตัวอย่างน้ำ

N = ความเข้มข้นของ FAS

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีของเจดาลห์

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีของเจดาลท์

สารประกอบไนโตรเจน สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic Nitrogen) เช่น แอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ เป็นต้น

สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) เช่น โปรตีนและกรดอะมิโน เป็นต้น

ในการศึกษาวิจัยนี้วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน 2 ชนิด คือ

1. หลักการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen; AN) เพื่อหาสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic Nitrogen)

การหาแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกรณีที่มีสารแทรกสอด (Interference) เช่น คลอรีน หรือแคลเซียมก็จะมีผลต่อการวิเคราะห์ ดังเช่น ในกรณีตัวอย่างน้ำมีคลอรีนตกค้างจะต้องกำจัดออกก่อนโดยการเติมสารที่ทำลายคลอรีน (Dechlorinating Agent) การหาแอมโมเนีย-ไนโตรเจนโดยการกลั่น (Distillation) เป็นการแยกก๊าซแอมโมเนียออกจากเกลือแอมโมเนียมในสภาวะที่สารละลายเป็นด่างโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ดังสมการ

$$\underset{\text{เกลือแอมโมเนียม}}{2\,OH^- + NH_4HSO_4} \longrightarrow \underset{\text{แอมโมเนีย}}{NH_{3(g)}} + 2H_2O + SO_4^{2-} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

แอมโมเนียที่ได้จากการกลั่นจะละลายอยู่ในสารละลายกรดบอริกที่มีความเข้มข้นมากเพียงพอที่จะจับกับแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้ดังสมการที่ (2) หลังจากนั้นนำไปหาปริมาณไนโตรเจนได้โดยการไตเตรทด้วยสารละลายซัลฟุริกที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนดังสมการที่ (3)

$$NH_3 + H_3BO_3 \longrightarrow NH_4^+ + H_2BO_3^- \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

$$H^+ + H_2BO_3^- \longrightarrow H_3BO_3 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

1.1 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.1.1 ปิเปตตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยสลาย (Digestion Tube)

1.1.2 เติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 75 มิลลิลิตร เติม 32% NaOH 50-70 มิลลิลิตร

1.1.3 เตรียมสารละลายกรดบอริค 25 มิลลิลิตร ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปประกอบชุดของเครื่องกลั่นโดยให้แท่งแก้วจุ่มภายใต้สารละลายใน Erlenmeyer flask เสมอ

1.1.4 นำหลอดย่อยสลายใส่ในเครื่องกลั่น กลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายใน Erlenmeyer flask ได้ประมาณ 150 มิลลิลิตร

1.1.5 นำ Erlenmeyer flask และหลอดย่อยสลายออกจากเครื่องกลั่น

1.1.6 ไตเตรทสารละลายใน Erlenmeyer flask โดยใช้ 0.1N H_2SO_4 จนได้จุดยุติ เมื่อสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีม่วงเทา

1.1.7 การวิเคราะห์แบลงค์ทำเช่นเดียวกับวิธีการข้างต้นโดยเติมสารทุกตัว ยกเว้นตัวอย่าง

1.1.8 การคำนวณ

$$\%\,TKN = \frac{V \times N \times 14.01 \times 100}{1{,}000 \times Y}$$

V = ปริมาตรของ 0.1 N กรดซัลฟุริกที่ใช้ไตเตรดแบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก

Y = ปริมาตรของตัวอย่าง

2. หลักการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen; TN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) เพื่อหาสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด หมายถึง ผลบวกระหว่างสารอินทรีย์และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างทำโดยย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดซัลฟุริคเข้มที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส โดยมีทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกริยา (Catalyst) และโปตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เป็นตัวเพิ่มจุดเดือดของสารละลาย ดังสมการ

$$\text{สารประกอบอินทรีย์} \xrightarrow{\text{catalyst}} CO_2 + H_2O + NH_4HSO_4$$

หลังจากนั้นจึงทำการกลั่นแอมโมเนีย (NH_3) ออกจากเกลือแอมโมเนียม NH_4HSO_4 ตามวิธีวิเคราะห์ TKN ต่อไป

2.1 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1.1 ปิเปตตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยสลาย (Digestion Tube) เติม catalyst 1 เม็ด และเติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร

2.1.2 นำหลอดย่อยสลายใส่ในเครื่องย่อยสลาย ทำการย่อยสลาย 1 ชั่วโมงหรือจนได้สารละลายใส แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.1.3 เตรียมสารละลายกรดบอริก 25 มิลลิลิตร ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปประกอบชุดของเครื่องกลั่น

2.1.4 นำหลอดย่อยสลายที่ทิ้งไว้จนเย็นเท่าอุณหภูมิห้องใส่เครื่องกลั่น ทำการกลั่นจนปริมาตรของสารละลายใน Erlenmeyer flask ได้ประมาณ 150 มิลลิลิตร

2.1.5 นำ Erlenmeyer flask และหลอดย่อยสลายออกจากเครื่องกลั่น

2.1.6 ไตเตรทสารละลายใน Erlenmeyer flask โดยใช้ 0.1N H_2SO_4 จนได้จุดยุติเมื่อสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีม่วงเทา

2.1.7 การวิเคราะห์แบลงค์ทำเช่นเดียวกับวิธีการข้างต้นโดยเติมสารทุกตัว ยกเว้นตัวอย่าง

2.1.8 การคำนวณ

$$\% \text{TKN} = \frac{V \times N \times 14.01 \times 100}{1{,}000 \times Y}$$

V = ปริมาตรของ 0.1 N กรดซัลฟุริกที่ใช้ไตเตรดแบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก

Y = ปริมาตรของตัวอย่าง

ภาคผนวก ค

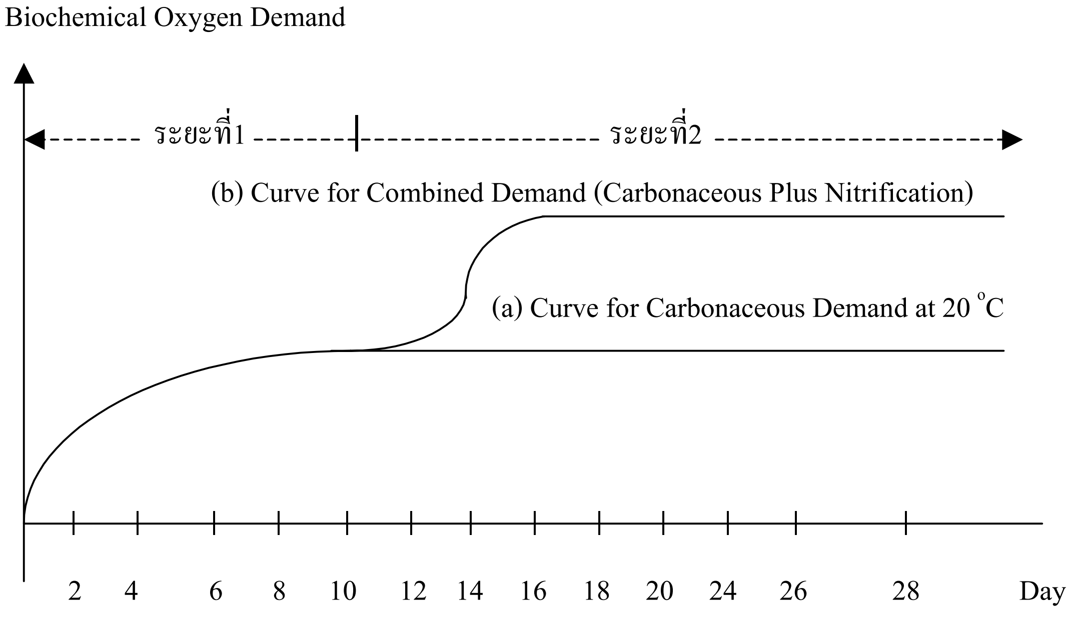
การวิเคราะห์หาบีโอดี (5 วัน)

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์หาบีโอดี (5 วัน)

1. หลักการวิเคราะห์หาบีโอดี (5 วัน)

บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้เผาผลาญสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีวิต และสารประกอบที่สำคัญที่ได้จากปฏิกริยานี้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

การใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ซึ่งอาจแสดงได้ด้วย BOD Curve ดังภาพที่ 3.1



กราฟบีโอดี

(a) Normal Curve For Oxidation Of Organic Matter

(b) The Influence Of Nitrification

ที่มา : Standard methods for examination of water and wastewater

จากกราฟ

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดซ์ของสารประกอบคาร์บอน ดังสมการ

คาร์โบไฮเดรต + O_2 $\longrightarrow$ $CO_2 + H_2O$

โปรตีน + O_2 $\longrightarrow$ $CO_2 + NH_3$

ค่าของออกซิเจนในตัวอย่างที่ลดลง เนื่องจากถูกแบคทีเรียใช้ไปคือค่า BOD ที่หาได้

ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดซ์ของ $NH_3 \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO_3^-$ ตามลำดับ โดยพวกออโตโทรฟิคแบคทีเรีย (*autotrophic bacteria*) ซึ่งมีชื่อว่าไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (*nitrifying bacteria*) ซึ่งการแบ่งตัวของมันที่ 20 องศาเซลเซียส ใช้ในการหาค่า BOD น้อยมาก ดังนั้นในระยะ 5 วันแรก ออกซิเจนจะถูกใช้โดยซาโพรไฟติคแบคทีเรีย (*saprophytic bacteria*) เป็นส่วนใหญ่ แต่หลังจาก 10 วัน ไนตริไฟอิงแบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนมากขึ้น ในระยะที่ 2 ออกซิเจนจะถูกใช้โดยแบคทีเรียทั้งสองชนิดข้างต้น

ค่า BOD จะบอกถึงความสกปรกของน้ำเสียในรูปของออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ เมื่อปล่อยน้ำเสียนั้นลงสู่แม่น้ำลำคลอง ในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่

การหา BOD เป็นการวัดค่าออกซิเจนซึ่งแบคทีเรียใช้เพื่อย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติที่สุด ค่า BOD มาตรฐานจะบ่ม (Incubate) ที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เพราะที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับน้ำทั่วไป และ nitrifying bacteria เจริญเติบโตได้ช้าที่อุณหภูมินี้ ส่วนการเลือกใช้การบ่ม 5 วัน ก็เพราะถ้าใช้เวลาน้อยกว่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะน้อยมากและเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ O_2 ในระยะที่ 2 ดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้ถ้าใช้เวลาในการบ่มนานเกินไป อาจไม่ทันกับการที่จะปล่อยน้ำเสียต่างๆ ลงแม่น้ำลำคลอง มักเขียนสัญลักษณ์ของค่า BOD ที่ใช้เวลาบ่ม 5 วันว่า BOD_5

ในการหาค่า BOD ควรคำนึงถึงตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1) ใช้อุณภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส ในการบ่มเป็นเวลา 5 วัน

2) ไม่ควรให้ตัวอย่างสัมผัสกับอากาศและแสงสว่าง เพื่อควบคุมปริมาณออกซิเจน (โดยบ่มในตู้มืด ปิดจุกขวดให้แน่นและใช้น้ำหล่อบนจุกขวดเสมอ)

3) น้ำสำหรับใช้เจือจาง ควรปราศจากสารซึ่งไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ทองแดง คลอรีน เป็นต้น นอกจากนี้ควรมีความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมคือ 7 และประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็น ตลอดจนสารอื่นๆ ที่แบคทีเรียต้องการ เช่น ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม ข้อสำคัญจะต้องอิ่มตัวด้วยออกซิเจน

4) การเติมเชื้อ เนื่องจากน้ำในตัวอย่างบางชนิดมีแบคทีเรียที่จะย่อยสารอาหารไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องเติมแบคทีเรียชนิดต่างๆ ซึ่งพบมากในน้ำเสียลงไปด้วย เรียกว่า น้ำเชื้อ (Seeding)

5) เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำสำหรับใช้เจือจาง ไม่มีสารหรือสิ่งที่จะไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทุกครั้งที่ทำจึงควรมีตัวอย่างมาตรฐาน เช่น ใช้กลูโคสหรือกรดกลูตามิค เป็นต้น ทำควบคู่ไปกับตัวอย่างน้ำด้วย

1.1 การเตรียมน้ำเจือจาง (Unseeded Dilution Water)

1.1.1 การเตรียมน้ำเจือจาง

1) เตรียมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Ultra Pure) 10 ลิตร

(1) ปิเปตฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 10 มิลลิลิตร

(2) ปิเปต $MgSO_4$ 10 มิลลิลิตร

(3) ปิเปต $CaCl_2$ 10 มิลลิลิตร

(4) ปิเปต $FeCl_3$ 10 มิลลิลิตร

2) ควรปรับอุณหภูมิของน้ำให้เป็น 20 องศาเซลเซียส เติมออกซิเจนอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

1.1.2 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเจือจางเป็นตัวควบคุม (Control)

1) เติมน้ำเจือจางลงในขวด BOD 2 ขวด เพื่อทำคู่ (duplicate) เหมือนกันทั้ง 2 ขวด

2) วัดค่าออกซิเจนละลายที่จุดเวลาเริ่มต้น (Dissolved Oxygen, DO_0) ด้วยเครื่อง DO Meter

3) บ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

4) วัดค่าออกซิเจนละลายที่ 5 วัน (DO_5)

5) คำนวณค่า BOD

การคำนวณและเกณฑ์การควบคุม (Control Limit)

การคำนวณ : $BOD_{Control}$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) $= B_1 - B_2$

Control Limit : BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร) ≤ 0.2

1.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์

1.2.1 กรณีที่ตัวอย่างน้ำมีสภาพเป็นด่างหรือกรด ต้องปรับความเป็นกรดด่างด้วยสารละลายกรด-ด่าง (acid alkali solution) เช่น H_2SO_4 หรือ NaOH แล้วแต่กรณี โดยเลือกความเข้มข้นพอที่จะไม่ทำให้ปริมาตรตัวอย่างเปลี่ยนแปลงเกินกว่าร้อยละ 0.5

1.2.2 การเจือจางตัวอย่างน้ำ มีเกณฑ์การควบคุมดังนี้

1) ปริมาณของออกซิเจนละลายที่เหลือหลังจาก 5 วัน จะต้องมีค่ามากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ($DO_5 > 1$ มิลลิกรัมต่อลิตร)

2) ปริมาณของออกซิเจนละลายที่ถูกใช้ไปจะต้องมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ($DO_0 - DO_5 > 2$ มิลลิกรัมต่อลิตร)

1.2.3 ปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่ใช้ 1 มิลลิลิตร ขึ้นอยู่กับค่าความสกปรกของน้ำนั้น ซึ่งโดยปกติจะประเมินคร่าว ๆ จากค่า COD_{Mn} ดังนี้

ค่าประมาณในการทำเจือจางตัวอย่างน้ำ

0.0 – 1.0 % น้ำเสียเข้มข้น (Strong Waste)

1 – 5 % น้ำเสียดิบที่ตกตะกอน (Raw + Sattled Waste)

5 – 25 % น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีววิทยา (Biologically Treated Effluent)

25 – 100 % น้ำเสียที่เป็นน้ำแม่น้ำที่มีมลภาวะ (Polluted River Waste)

1.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

1.3.1 สำหรับตัวอย่างที่มีค่า BOD สูง (BOD > 7 มิลลิกรัมต่อลิตร)

1) เติมน้ำเจือจาง 300 – 400 มิลลิลิตร ลงใน Graduated Cylinder ขนาด 1000 มิลลิลิตร

2) ปิเปตตัวอย่างน้ำ 1 มิลลิลิตร จาก 3.1.2

3) เติมน้ำเจือจาง จนมีน้ำปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4) ผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยหมุนขึ้นหมุนลง 15 ครั้ง

5) ถ่ายตัวอย่างที่เจือจางลงในขวด BOD ขนาด 300 มิลลิลิตร 2 ขวด ให้ปลายหลอดจุ่มอยู่ใต้น้ำเสมอขณะถ่ายน้ำ เพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศ)

6) ปิดจุกขวด BOD โดยให้มีน้ำหล่อที่ปากขวดตลอดระยะเวลา 5 วัน เพื่อป้องกันการซึมผ่าน เข้า-ออก ของออกซิเจน

7) ทำการตรวจสอบเช่นเดียวกันทั้ง 2 ขวด (Duplication) โดยวัดค่าออกซิเจนละลายที่เวลาเริ่มต้น (DO_0) ด้วย DO Meter

8) บ่มทั้ง 2 ขวดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

9) วัดค่าออกซิเจนละลายที่ 5 วัน (DO_5) ด้วย DO meter

1.3.2 วิธีตรวจ (Direct method) สำหรับตัวอย่างที่มี BOD < 7 มิลลิกรัมต่อลิตร

1) นำตัวอย่างที่ปรับความเป็นกรดด่างแล้ว มาปรับอุณหภูมิให้ได้ 20 องศาเซลเซียส

2) เติมอากาศ 10 นาที

3) รินตัวอย่างลงในขวด BOD 2 ขวด จนเต็ม ปิดจุกขวด

4) วัดค่าออกซิเจนละลายที่เวลาเริ่มต้น (DO_0) ด้วย DO Meter

5) บ่มทั้ง 2 ขวดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

6) วัดค่าออกซิเจนละลายที่ 5 วัน (DO_5) ด้วย DO Meter

7) การคำนวณ

$$BOD_5 \text{ (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(DO_0 - DO_5) * 1000}{X}$$

DO_0 = ปริมาณออกซิเจนละลายที่เวลาเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

DO_5 = ปริมาณออกซิเจนละลายที่ 5 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

X = ปริมาตรของตัวอย่างที่เจือจางใน cylinder (มิลลิลิตร)

1.4 การตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ (Standard Check Solution) โดยใช้สารละลายมาตรฐานกลูโคส-กลูตามิค (Glucose-Glutamic Standard)

1.4.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคส-กลูตามิค 6 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวด BOD 2 ขวด โดยทำคู่และเติมน้ำเจือจางให้เต็มขวด ปิดฝา

1.4.2 วัดค่าออกซิเจนละลายที่เวลาเริ่มต้น (DO_0) ด้วย DO Meter

1.4.3 บ่มทั้ง 2 ขวดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

1.4.4 วัดค่าออกซิเจนละลายที่ 5 วัน (DO_5) ด้วย DO Meter

1.4.5 การคำนวณและเกณฑ์การควบคุม (Control Limit)

การคำนวณ : $BOD_{std\ check\ solution} \text{ (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A_1 - A_2) * 300}{6}$

Control Limit : BOD_5 (มิลลิกรัมต่อลิตร) = 167.5 – 228.5

บรรณานุกรม

บรรณาณุกรม

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมชลประทาน "โครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนหลักงานพัฒนาแหล่งน้ำทั่วประเทศ" กรุงเทพมหานคร กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2539 (รายงานหลัก)

จุรีรัตน์ พุดตาลเล็ก "การศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง มาทำให้เข้มข้นโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับเพื่อใช้เป็นอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์" กรุงเทพมหานคร ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี 2529

จุฬาลงกรณ์, มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ "คู่มือเจ้าพนักงานควบคุมมลพิษ" กรุงเทพมหานคร ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2542

ณัทธร สุดแสง ณาวดี ภิรมย์ และพัชนีวรรณ ต้นประวัติ "การบำบัดน้ำทิ้งชุบเคลือบโลหะด้วยวิธีออสโมซิสผันกลับ" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2539

ทศพร ธงทอง "การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนโดยใช้สาหร่าย" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2529

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ ***คู่มือการวิเคราะห์น้ำทิ้ง*** กรุงเทพมหานคร สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2525

พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์ พิสิษฐ์ สมัตถะ และสุริภา พรหมทอง "การบำบัดน้ำล้างสีย้อมจากกระบวนการย้อมผ้าโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2525

รัตนา จิระรัตนานนท์ ***การนำกลับคืนน้ำล้างสีย้อมจากกระบวนการย้อมผ้าโดยใช้เยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชัน*** กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี 8 สิงหาคม 2543 จาก http://www.kmutt.ac.th/organization/Research/Intellct/pnstda31.htm [เข้าถึง 24 สิงหาคม 2543]

รัตนา จิระรัตนานนท์ ***กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์*** กรุงเทพมหานคร ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี 2541

รัตนา จิระรัตนานนท์ ดุษฎี อรรถภาพ และ ฉกรรณ์ ขันเงิน "การบำบัดน้ำทะเลเบื้องต้นสำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ" ***วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี*** 21 (มกราคม-มิถุนายน 2541) หน้า 356-371

วริชย์ วีระวัฒนพงศ์ "การลดปริมาณสารอาหารในน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์ปีก" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล 2541

วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ ***ชีววิทยาสำหรับวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม*** พิมพ์ครั้งที่2 หน่วยงานสารบรรณงานบริหารและธุรการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2531

สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข, คณะทำงานน้ำเพื่อชีวิตและสุขภาพ "น้ำเพื่อชีวิตและสุขภาพประชาชนไทยในทศวรรษหน้า" กรุงเทพมหานคร คณะทำงานน้ำเพื่อชีวิตและสุขภาพ สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข พ.ศ. 2543 (รายงานการประชุมเชิงปฏิบัติการ จัดทำเป้าหมาย แผนงานโครงการ)

สำนักนายกรัฐมนตรี, สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ "โครงการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาลุ่มน้ำ 25 ลุ่มน้ำ" รายงานฉบับสุดท้าย (รายงานหลัก) กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี พ.ศ. 2537

Alley, E.Roberts. ***Water Quality Control Handbook.*** New York: McGraw-hill, 1994.

Bipin, S.P. ***Reverse Osmosis Technology.*** New York: Marcel Dekker, 1988.

Cooper, William J. ed(s) ***Chemistry in Water Reuse***. v.1 Michigan: Ann Arbor Science Publisher, 1981.

Eckenfelder. Jr. W.W. ***Industrial Water Pollution Control.*** New York: McGraw-Hill Book, 1989.

Greenberg, Arnorld E. Clesceri, Lenore S. and Eaten, Andrew D. ***Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.*** 18th eds. Washington, D.C.: American Public Health Association, 1992.

Glysson, E.A., Swan, D.E. and Way, E.J.ed(s). ***Innovations in the Water and Wastewater Fields.*** Michigan: Butterworth Publishers, 1984.

Gray, N.F. ***Water Technology.*** London: Arnold, 1992.

Hammer, M.J. ***Water and Wastewater Tecnology.*** 2nd eds. New York: John Wiley & Son, 1992.

Hammer, M.J. and Hammer, M.J., JR. ***Water and Wastewater Tecnology.*** 3rd eds. London: Prentice Hall International, 1996.

Nelson, L.Nemerow. ***Industrial Water Pollution.*** Philippines: Addison-Wesley Publishing, 1978.

Patricia Cunniff. ed(s) ***Official Methods of Analysis of AOAC International.*** 16th eds. Arlington, Verginia: AOAC International, 1995-1996.

Sourirajan, S. ***Reverse Osmosis.*** New York: Academic Press, 1970.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายภาณุมาศ เหลืองปัญญากุล
วัน เดือน ปีเกิด	20 ตุลาคม 2510
สถานที่เกิด	อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี
ประวัติการศึกษา	วทบ. (จุลชีววิทยา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี พ.ศ. 2533
สถานที่ทำงาน	บริษัทอายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด
ตำแหน่ง	ผู้จัดการฝ่ายควบคุมและบริหารการผลิต บริษัทอายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด