

การแพร่ของอนุภาคแบบไฮโดรไดนามิกในการกรองไมโครฟิลเตรชัน แบบการไหลขวาง

Hydrodynamic Particle Diffusion in Cross Flow Microfiltration

สมพรรัตน์ จิโรภาส (Somparat Jiropas)* ดร. กัลยา ศรีสุวรรณ (Dr.Galaya Srisuwan)**

ไพบูลย์ อินนาจิตร (Paiboon Innachitra)***

บทคัดย่อ

ปัญหาความยุ่งยากที่พบบ่อยในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งคือการแยกตะกอน ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การควบคุมปริมาณการป้อนกลับของตะกอน และประสิทธิภาพของการบำบัด ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของการแยกตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแทนการใช้ถังตกตะกอน สารป้อนที่ใช้เป็นน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศของระบบตะกอนเร่งโรงงานอาหารทะเล ส่วนแรกของการทดลองเป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อค่าฟลักซ์และประสิทธิภาพของระบบการกรองที่ใช้เซลลูโลสในเตรท การทดลองทำในช่วงค่าความดัน 5-15 psi ความเข้มข้นสารป้อน 1500-3500 mg/l อัตราการไหล 1.25-1.75 Lpm และขนาดรูพรุนของเมมเบรน 0.1-5 micron พบว่าการกรองให้เพอเมอเทฟลักซ์ในช่วง 9.38-27.58 L/m².hr ซึ่งทุกการทดลองมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย > 99% และลดค่าซีโอดีของน้ำได้ >58.1% และสภาวะที่ให้ค่าฟลักซ์สูงที่สุดคือการดำเนินการที่ ความดัน 5 psi ความเข้มข้น 1500 mg/l อัตราการไหล 1.75 Lpm และขนาดรูพรุน 5 micron โดยค่าเพอเมอเทฟลักซ์ที่ได้จากการทดลองนี้คือ 27.58 L/m².hr ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงถึง 99.73% และเป็นผลพลอยได้ทำให้ลดค่าซีโอดีของน้ำได้ถึง 58.1% การทดลองส่วนที่สองเป็นการตรวจสอบรูปแบบการอุดตันบนเมมเบรนกับโมเดลการอุดตันมาตรฐาน ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดวิธีการล้างที่เหมาะสมที่ช่วยยืดอายุการใช้งานของเมมเบรน พบว่าเกิดการอุดตันบนเมมเบรนเป็นแบบ cake filtration ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) โดยการล้างเมมเบรนแบบล้างสวนกลับเหมาะสำหรับการอุดตันแบบดังกล่าว

* นักศึกษามหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ABSTRACT

Major problems often encountered for the activated sludge system in waste water treatment is sludge filtration. This problem affects control of the sludge return and leads to low treatment efficiency. The objectives of this research was to improve the efficiency of the activated sludge system by using membrane microfiltration instead of a conventional sediment tanks. The waste water feed came from the aeration tanks of an activated sludge system of a seafood factory. In the first part of the experiment, study of the effects of transmembrane pressure, feed concentration, feed rate and membrane pore size on the flux value and the efficiency of the system were conducted. Their values were ranging from 5–15 psi, 1500–3500 mg/l, 1.25–1.75 Lpm and 0.1–5 micron, respectively. The results revealed that the filtration permeate flux values were 9.38–27.58 L/m².hr. It can remove suspended solid more than 99% and reduce COD more than 58.1%. The highest permeate flux was obtained at the transmembrane pressure of 5 psi, the feed concentration of 1500 mg/l, the feed rate of 1.75 Lpm and the pore size of 5 micron for cellulose nitrate membrane. At the permeate flux value of 27.58 L/m².hr it can remove 99.73% of the suspended solids and 58.1% of COD. In the second part of the experiment, it was found that after the crossflow microfiltration process, the outcome resulted in cake filtration fouling and it can be washed using a backwash process to extend shelf life of membrane. The result of this cake filtration fouling was confirmed by SEM.

คำสำคัญ : ไมโครฟิลเตรชัน เมมเบรน การอุดตัน

Key Words: Microfiltration, Membrane, Fouling

บทนำ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเป็นระบบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมเพราะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง ระบบนี้ประกอบด้วยสองขั้นตอนหลักคือการลดค่าความสกปรกในถังเติมอากาศ และการแยกตะกอนในถังตกตะกอน โดยขั้นตอนการแยกตะกอนเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะส่งผลต่อปริมาณ จุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ และส่งผลต่อประสิทธิภาพรวมของระบบ การควบคุมการตกตะกอนในถังตกจมทำได้ยากและไม่แน่นอน การนำเมมเบรนมาใช้แทนถังตกตะกอน ช่วยทำให้ควบคุมการแยกตะกอนออกจากน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์สำหรับน้ำเสียของบ่อเติมอากาศของระบบตะกอนเร่งนั้น มีลักษณะเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ กระบวนการที่เหมาะสมคือกระบวนการ

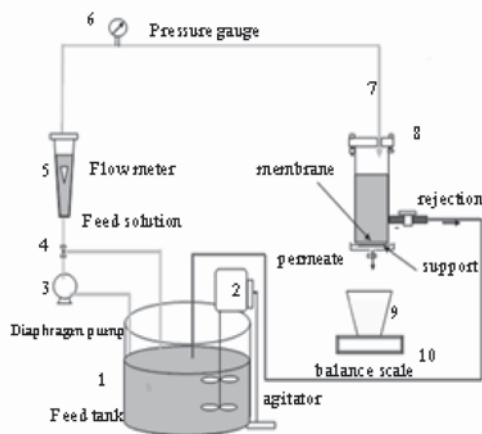
ไมโครฟิลเตรชัน ซึ่งข้อดีของการใช้ระบบดังกล่าวคือสามารถแยกของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียได้อย่างสมบูรณ์และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วก็นำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งรูปแบบการกรองด้วยเมมเบรนก็จะแตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาการกรองเมมเบรนแบบการไหลขวาง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ (Harit, 2000) ได้นำไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบการไหลขวาง มาทำการกรองแยกอนุภาคของ Lactalbumin และทำการทดลองโดยใช้ Tubular ceramic membrane modules โดยได้ศึกษาถึงผลกระทบของความดันต่อค่าฟลักซ์ ซึ่งพบว่าที่ความดัน 100 กิโลปาสคาลเป็นค่าที่ให้เพอิมเพอพลักซ์สูงสุด

สำหรับงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าฟลักซ์

และประสิทธิภาพการกรองแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียบำบัดอากาศของระบบบำบัดตะกอนเร่งโดยใช้เซลล์โลสไนเตรทกรองในระบบไมโครฟิลเตรชันแบบหมุนแบบการไหลขวาง และศึกษาถึงรูปแบบการอุดตันของเมมเบรนเพื่อกำหนดวิธีการล้างที่เหมาะสมในการยืดอายุการใช้งานของเมมเบรน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

แผนผังการจัดอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 1 โดยน้ำเสียจากถังป้อน (1) ถูกดูดโดยปั๊ม (3) ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล(5) ส่งไปยังเกจวัดความดัน(6) เข้าสู่หน่วยของเมมเบรนสังเคราะห์ชนิดเซลล์โลสไนเตรทเมมเบรน ขนาดรูพรุน 0.1 1.2 และ 5 micron ซึ่งผลิตโดยบริษัท Whatman (7) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนของตะกอนที่ถูกดักไว้เรียกว่า รีเทนเทท รีเทนเททจะไหลผ่านวาล์วควบคุมความดัน (8) กลับสู่ถังป้อน อีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนน้ำใสที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนเรียกว่าเพอมีเอทจะไหลเข้าสู่บีกเกอร์(9) และชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งละเอียด METTLER TOLEDO (10) ในการปรับความดันและอัตราการไหลสามารถทำได้โดยปรับวาล์วควบคุมความดัน (4) และ (8)



รูปที่ 1 การกรองไมโครฟิลเตรชันแบบการไหลขวาง

วิธีการวิจัย

นำสารป้อนไปวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาค ความเข้มข้นสารแขวนลอย ซีโอดี และค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อใช้ในการเลือกขนาดรูพรุนและชนิดของเมมเบรน หลังจากนั้นนำเมมเบรนมาทำการกรองตะกอนจุลินทรีย์ของน้ำเสียด้วยชุดการทดลองการกรองไมโครฟิลเตรชันแบบการไหลขวางในรูปที่1 ด้วยสภาวะการดำเนินการกรองที่ออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Response Surface Method โดยดำเนินการช่วงความดันที่ 5-15 psi อัตราการไหลสารป้อนที่ 1.25-1.75 Lpm ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย 1500-3500 mg/l ด้วยเมมเบรนขนาด 0.1-5 micron ดังตารางที่ 1 แล้วทำการชั่งน้ำหนักของเพอมีเอทฟลักซ์ที่กรองได้ทุกๆ 10 นาทีเป็นเวลา 180 นาที หลังจากนั้นนำเพอมีเอทฟลักซ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ ค่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย และค่าซีโอดี ในแต่ละการทดลอง

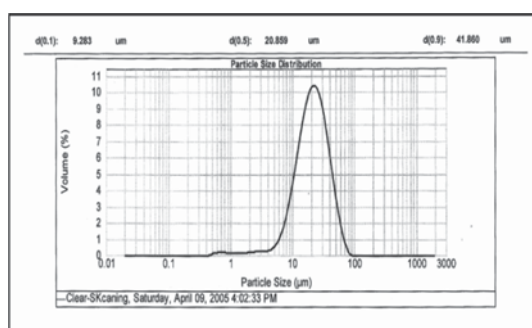
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

การวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคจุลินทรีย์ในน้ำเสีย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคพบว่า อนุภาคจุลินทรีย์จะเกิดการกระจายตัวอยู่ในช่วง 9.28 - 41.86 micron ในรูปที่2 ดังนั้นจึงนำผลของการกระจายตัวของอนุภาค ไปทำการเลือกขนาดรูพรุนของเมมเบรน โดยกำหนดขนาดรูพรุนต่อขนาดอนุภาค โดยเฉลี่ยจะเลือกในอัตราส่วน 1:10 (Cheryan, 1998) จึงเลือกใช้เมมเบรนที่มีขนาดในช่วง 0.1-5 micron ส่วนค่าคุณสมบัติทางเคมีต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัด และการวิเคราะห์แสดงในตาราง 2

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Response Surface Method.

Experiment No.	Feed concentration (mg/l)	Membrane pore size (micron)	Pressure (psi)	Feed rate (Lpm)
1	1500	0.1	5	1.25
2		0.1	5	1.75
3		0.1	15	1.25
4		0.1	15	1.75
5		5	5	1.25
6		5	5	1.75
7		5	15	1.25
8		5	15	1.75
9	2500	1.2	10	1.5
10	3500	0.1	5	1.25
11		0.1	5	1.75
12		0.1	15	1.25
13		0.1	15	1.75
14		5	5	1.25
15		5	5	1.75
16		5	15	1.25
17		5	15	1.75



รูปที่ 2 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำเสีย

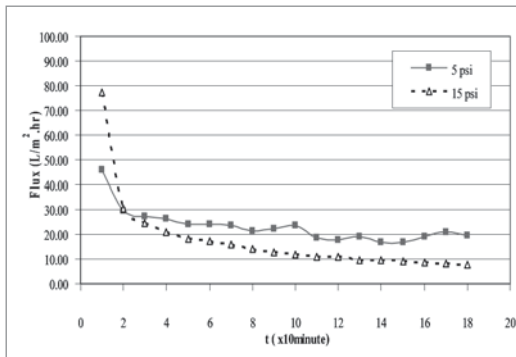
ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศของระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง

Sample	pH	SS (mg/l)	COD(mg/l)
Wastewater from aeration tank of AS system	6.9-7.2	1500-3500	105-152

ผลของความดันต่อเพอมีเอทฟลักซ์

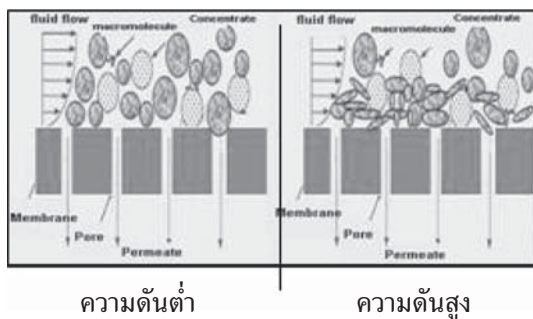
การศึกษาผลของความดันต่อเพอมีเอทฟลักซ์ ที่อัตราการไหล ความเข้มข้นของสารป้อน และขนาดรูพรุนของเมมเบรนคงที่ ผลการทดลองที่ความดัน 5 และ 15 psi แสดงในรูปที่ 3 พบว่าการกรองที่ความดันสูง (15 psi) ให้ค่าฟลักซ์สูงกว่าในช่วง 10-20 นาทีแรกของการกรอง

เนื่องจากยังไม่เกิดการอุดตันบนผิวหน้าของเมมเบรน หลังจากนั้นค่าฟลักซ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าฟลักซ์เฉลี่ยเท่ากับ $14.63 \text{ L/m}^2\cdot\text{hr}$ ซึ่งต่ำกว่ากรณีที่ความดันต่ำ (5psi) ที่มีค่าฟลักซ์เฉลี่ยเท่ากับ $23.16 \text{ L/m}^2\cdot\text{hr}$



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมีเอทฟลักซ์กับเวลาสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1500 mg/l ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 micron ด้วยความดันต่างกันที่ 5 และ 15 psi ที่อัตราการไหลคงที่ 1.75 Lpm

เนื่องจากผลของการเกิดฟาวลิงที่ความดันสูง ซึ่งการเพิ่มความดัน จะทำให้อนุภาคถูกอัดตัวกันบนผิวของเมมเบรน เกิดการอุดตันบนผิวของเมมเบรนมากขึ้นเมื่อเทียบกับการกรองที่ความดันต่ำ ทำให้การไหลผ่านของฟลักซ์ลดลง แสดงลักษณะการแพร่ของอนุภาคจุลินทรีย์ สำหรับการกรองที่ความดันต่างกัน ในรูปที่ 4

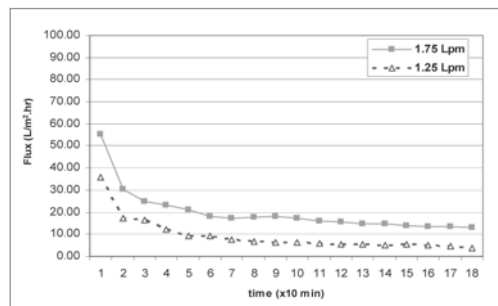


ที่มา: รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541

รูปที่ 4 แสดงการกระจายตัวของอนุภาค (ดำเนินการที่ความดันต่างกัน)

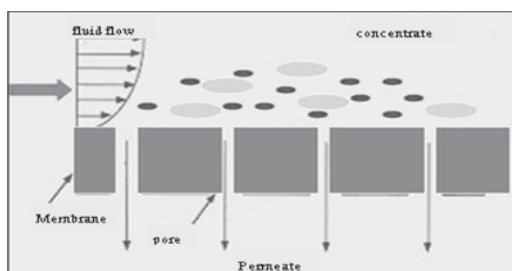
ผลของอัตราการไหลต่อเพอมีเอทฟลักซ์

ผลการทดลองของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลที่ 1.25 และ 1.75 Lpm ที่ความดันความเข้มข้นของสารป้อน และขนาดรูพรุนเมมเบรนคงที่ เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลต่อเพอมีเอทฟลักซ์ในรูปที่ 5 พบว่าที่อัตราการไหลสูง (1.75 Lpm) จะได้ค่าฟลักซ์เฉลี่ยเท่ากับ $19.98 \text{ L/m}^2\cdot\text{hr}$ สูงกว่าการดำเนินการที่อัตราการไหลต่ำ (1.25 Lpm) ที่มีค่าฟลักซ์เฉลี่ยเท่ากับ $9.4 \text{ L/m}^2\cdot\text{hr}$



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมีเอทฟลักซ์กับเวลาสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 3500 mg/l ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 micron ด้วยอัตราการไหลต่างกันที่ 1.25 และ 1.75 Lpm ที่ความดัน 5 psi

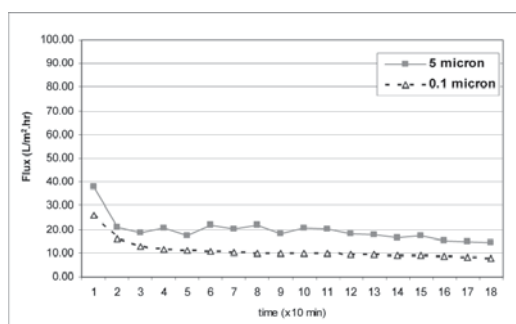
เนื่องมาจากการเพิ่มอัตราการไหลเป็นการเพิ่มแรงเฉือนบนผิวหน้าเมมเบรน ทำให้อนุภาคจุลินทรีย์ไม่สามารถเกาะติดที่ผิวหน้าเมมเบรนได้ ลดการยึดเกาะระหว่างเมมเบรนและอนุภาคของจุลินทรีย์ และอนุภาคกับอนุภาคด้วยกันเอง ดังนั้นจึงลดความต้านทานเชิงกลของชั้นการอุดตัน การอุดตันที่เกิดขึ้นน้อยลงทำให้ได้เพอมีเอทฟลักซ์เพิ่มมากขึ้น การล่อยตัวของอนุภาคเมื่อมีแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้นแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการกระจายตัวของอนุภาค (ดำเนินการที่อัตราการไหลต่างกัน)

ผลของขนาดรูพรุนของเมมเบรนต่อเพอมีเอทฟลักซ์

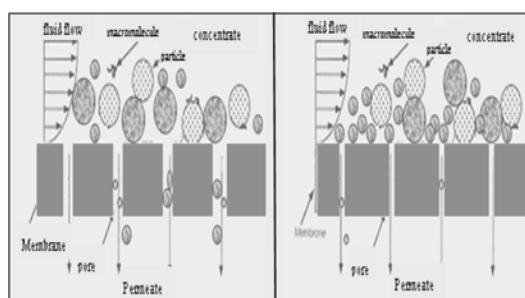
การศึกษาผลของขนาดรูพรุนของเมมเบรนต่อเพอมีเอทฟลักซ์ที่ความดัน ความเข้มข้นของสารป้อนและอัตราการไหลคงที่ โดยทำการทดลองที่ขนาดรูพรุนของเมมเบรน 0.1 และ 5 micron ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าการกรองที่เมมเบรนขนาดต่างกันที่ความดันต่ำ การกรองด้วยเมมเบรนขนาดใหญ่ (5 micron) จะให้ค่าฟลักซ์เฉลี่ยเท่ากับ $19.63 \text{ L/m}^2.\text{hr}$ ซึ่งสูงกว่าการกรองด้วยเมมเบรนขนาดเล็ก (0.1 micron) ที่มีค่าฟลักซ์เฉลี่ยเพียง $11.13 \text{ L/m}^2.\text{hr}$



ที่มา: รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอมีเอทฟลักซ์กับเวลาสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1500 mg/l ผ่านเมมเบรนขนาดต่างกันที่ 0.1 และ 5 micron ที่ความดัน 5 psi และอัตราการไหล 1.25 Lpm

เนื่องจากน้ำเสียสามารถผ่านเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ได้มากกว่าเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดเล็ก กรณีเมมเบรนขนาดรูพรุนเล็กจะมีความหนาแน่นของจุลินทรีย์ของน้ำเสียมาก ทำให้ความต้านทานจากการเกิดการอุดตันสูงกว่าเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ แต่ที่มีค่าฟลักซ์ไม่ต่ำมาก เพราะการดำเนินที่ความดันต่ำทำให้อนุภาคจุลินทรีย์ไม่ถูกอัดแน่นบนผิวหน้าเมมเบรน ลักษณะการแพร่ของอนุภาคแสดงในรูปที่ 8



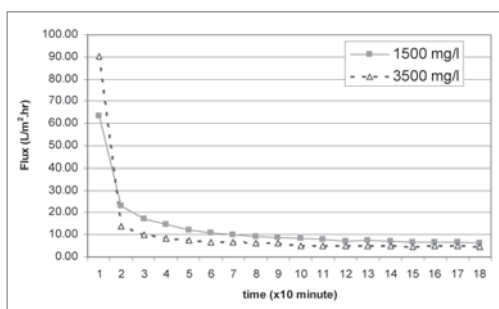
เมมเบรน 5 micron เมมเบรน 0.1 micron

ที่มา: รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541

รูปที่ 8 แสดงการกระจายตัวของอนุภาค (ดำเนินการที่ขนาดรูพรุนเมมเบรนต่างกัน)

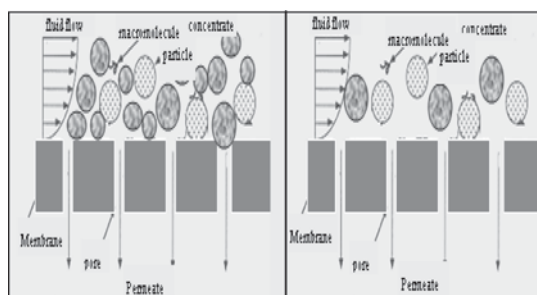
ผลของความเข้มข้นของสารป้อนต่อเพอมีเอทฟลักซ์

ผลของความเข้มข้นของสารป้อนที่ค่า 1500 และ 3500 mg/l ต่อเพอมีเอทฟลักซ์ ที่ความดัน อัตราการไหลของสารป้อน และขนาดรูพรุนเมมเบรนคงที่ แสดงในรูปที่ 9 พบว่าการดำเนินการกรองที่ความเข้มข้นสารป้อนสูง (3500 mg/l) มีค่าฟลักซ์เฉลี่ยต่ำกว่าการกรองที่ความเข้มข้นของสารป้อนต่ำ (1500 mg/l) โดยมีค่าเท่ากับ $11.16 \text{ L/m}^2.\text{hr}$ และ $13.01 \text{ L/m}^2.\text{hr}$ ตามลำดับ



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอเมียวฟลักซ์กับเวลาสำหรับการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อนต่างกันที่ 1500 และ 3500 mg/l ผ่านเมมเบรนขนาด 5 micron ที่ความดัน 15 psi และอัตราการไหล 1.25 Lpm

เนื่องจากที่ความเข้มข้นของสารป้อนสูงจะมีอนุภาคจุลินทรีย์ของน้ำเสียมาก ทำให้การอุดตันและความหนาแน่นของเค้กมากขึ้น ความต้านทานของการกรองสูงขึ้นอัตราการไหลผ่านของฟลักซ์จึงลดน้อยลง ลักษณะการแพร่ของอนุภาคแสดงในรูปที่ 10

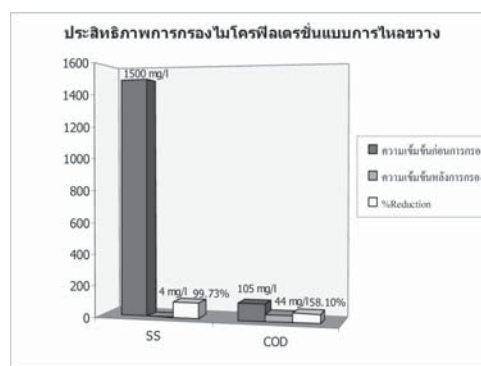


ความเข้มข้น 3500 mg/l ความเข้มข้น 1500 mg/l
ที่มา: รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541

รูปที่ 10 แสดงการกระจายตัวของอนุภาค (ดำเนินการที่ความเข้มข้นสารป้อนต่างกัน)

ประสิทธิภาพของการกรองไมโครฟิลเตรชันแบบการไหลขวาง

ประสิทธิภาพของการกรอง จะเปรียบเทียบกับค่าของสารแขวนลอยก่อนและหลังการกรองของน้ำเสียโดยพบว่าประสิทธิภาพของการกรองสูงมาก ซึ่งสามารถกรองสารแขวนลอยได้ถึง 99.73% และผลพลอยได้จากการกรองสารแขวนลอย ทำให้ลดค่า ซีโอดีที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยได้ถึง 58.10% แสดงในรูปที่ 11

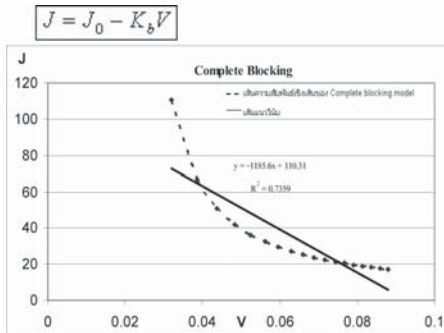


รูปที่ 11 แสดงประสิทธิภาพของการกรองน้ำเสียความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1500 mg/l โดยระบบไมโครฟิลเตรชันแบบการไหลขวาง ผ่านเมมเบรน ขนาด 5 ไมครอน ที่ความดัน 5 psi อัตราการไหลของสารป้อนที่ 1.75 Lpm และค่าซีโอดี 105 mg/l

รูปแบบของการอุดตันในการกรองไมโครฟิลเตรชันแบบการไหลขวาง

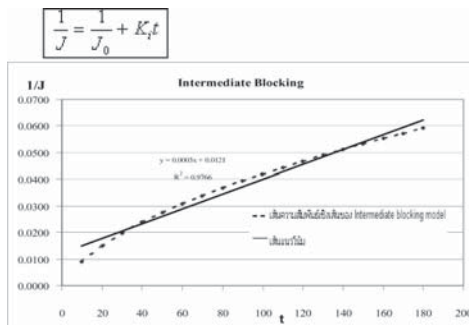
นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในตาราง 1 มาทำการพล็อตกราฟตามสมการของการอุดตันด้วยโมเดลของ (Hermia, 1992) ในแต่ละโมเดลของการอุดตันเป็นสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งพิจารณาจากค่า R^2 (Linear Regression Coefficient) หากค่า R^2 มีค่าใกล้เคียง 1 นั่นคือ กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง หมายถึง การอุดตันสำหรับการกรองจุลินทรีย์ของน้ำเสียนั้นเป็นไปตามโมเดลดังกล่าว

a) Complete Blocking model



รูปที่ 12 Permeate flux (J) vs. Volume (V) (การกรองที่ความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l, ความดัน 15 psi, อัตราการไหลของสารป้อน 1.75 Lpm และเมมเบรนขนาด 5 micron)

b) Intermediate Blocking model



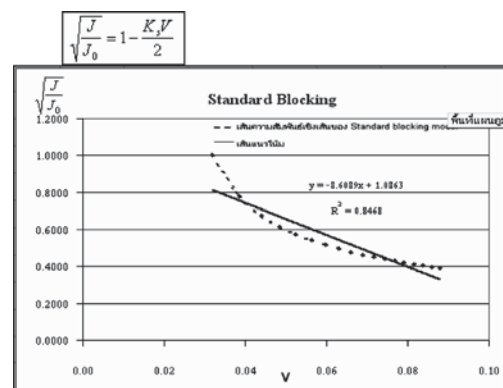
รูปที่ 13 $1/J$ vs. t (การกรองที่ความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l, ความดัน 15 psi, อัตราการไหลของสารป้อน 1.75 Lpm และเมมเบรนขนาด 5 micron)

สมการความสัมพันธ์สำหรับโมเดลของการอุดตันแสดงดังตาราง 3

ตารางที่ 3 โมเดลการอุดตัน (Hermia, 1992)

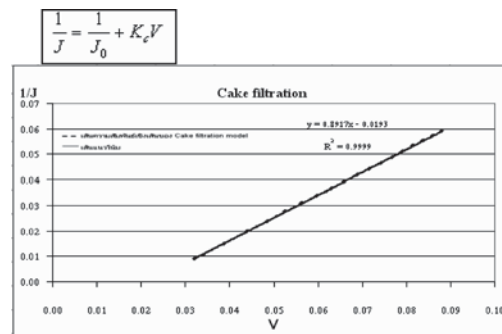
โมเดล	สมการ	ความสัมพันธ์ของกราฟเส้นตรง
Complete blocking	$J = J_0 - K_b V$	พล็อตกราฟระหว่าง J กับ V
Intermediate blocking	$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_0} + K_i t$	พล็อตกราฟระหว่าง $\frac{1}{J}$ กับ t
Standard blocking	$\sqrt{\frac{J}{J_0}} = 1 - \frac{K_s V}{2}$	พล็อตกราฟระหว่าง $\sqrt{\frac{J}{J_0}}$ กับ V
Cake filtration	$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_0} + K_c V$	พล็อตกราฟระหว่าง $\frac{1}{J}$ กับ V

c) Standard Blocking model



รูปที่ 14 $\sqrt{\frac{J}{J_0}}$ vs. V (การกรองที่ความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l, ความดัน 15 psi, อัตราการไหลของสารป้อน 1.75 Lpm และเมมเบรนขนาด 5 micron)

d) Cake Filtration model



รูปที่ 15 $1/J$ vs. V (การกรองที่ความเข้มข้น SS ของสารป้อน 1,500 mg/l, ความดัน 15 psi, อัตราการไหลของสารป้อน 1.75 Lpm และเมมเบรนขนาด 5 micron)

เมื่อ

K_b = constant value for complete blocking model
($1/m^2 \cdot hr$)

K_i = constant value for intermediate blocking model
(m^2/L)

K_s = constant value for standard blocking model
($1/L$)

K_c = constant value for cake filtration model
($m^2 \cdot hr / L^2$)

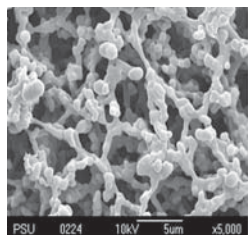
J = permeate flux ($L/m^2 \cdot hr$)

V = volume (L)

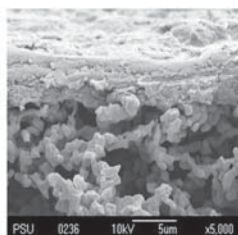
t = time (hr)

ซึ่งผลการพล็อตกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์เชิงเส้นแสดงในรูปที่ 12, 13, 14 และ 15 โดยพบว่าทุกการทดลองจะเกิดการอุดตันเป็นแบบ cake filtration model

ทำการยืนยันผลโดยการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดหรือเครื่อง Scanning Electron Microscope ในรูปที่ 16 ซึ่งลักษณะของการอุดตัน ทำให้สามารถกำหนดวิธีการล้างของเมมเบรนที่เหมาะสมได้ โดยจากการอุดตันที่มีการสะสมที่ผิวหน้าเมมเบรนมากกว่าการอุดตันในรูพรุนจะใช้เวลาทำความสะอาดเมมเบรนแบบทางกายภาพนั้นคือ การทำการล้างกลับทาง



a)



b)

รูปที่ 16 แสดงภาพขยายจากการตัดขวางของเมมเบรน ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope a) เมมเบรนใหม่ b) เมมเบรนที่ผ่านการกรองน้ำเสียด้วยไมโครฟิลเตรชันแบบการไหลขวาง

สรุปผลการวิจัย

การนำเมมเบรนมาใช้แทนถังตกตะกอนสำหรับระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนได้มากกว่า 99% และผลพลอยได้ในการกำจัดตะกอนคือ ระบบสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งได้อีกมากกว่า 58% โดยสถานะที่ให้ค่าเพอมีเอทฟลักซ์สูงสำหรับการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ด้วยไมโครฟิลเตรชัน เมมเบรนแบบไหลขวางได้แก่ สถานะที่มีอัตราการไหลขนาดรูพรุนของเมมเบรนสูง คือที่ 1.75 Lpm 5 micron และ ความดัน ความเข้มข้นของสารป้อนต่ำคือที่ 5 psi 1500 mg/l ตามลำดับซึ่งสามารถให้ค่าเพอมีเอทฟลักซ์ 27.58 $L/m^2 \cdot hr$ โดยน้ำที่ผ่านการกรองมีคุณภาพดีกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งมากซึ่งสามารถนำไปใช้ในการอุปโภคอื่นๆ ได้ และการยืดอายุการใช้งานของเมมเบรนสามารถทำได้โดยการล้างสวนกลับ

ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยนี้เป็นระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาขั้นสูง ควรมีการทำการขยาย ระดับการศึกษาในขั้นสูงต่อไป
2. การวิจัยนี้จะเน้นด้านผลกระทบของตัวแปร ทางไฮโดรไดนามิกที่มีต่อประสิทธิภาพของการกรองมากกว่าการวิเคราะห์ความต้านทานของการกรอง จึงควรศึกษาวิเคราะห์รายละเอียดและตัวแปรที่มีผลต่อความต้านทาน
3. อาจมีการศึกษาถึงการขยายอุปกรณ์เป็นระดับอุตสาหกรรม และวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมได้จริง

เอกสารอ้างอิง

รัตน จิระรัตนานนท์. 2541. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- Cheryan, M. 1998. Ultrafiltration and Microfiltration Handbook. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing.
- Grasmick, A. 1998. Floc size distribution in a membrane bioreactor and consequences for membrane fouling. *Colloids and Surfaces*. 138(2):403–411.
- Harit, K. 2000. Influence of operating conditions on membrane fouling in crossflow microfiltration of particulate suspensions. *International Dairy*. 10(7): 477–487.
- Hermia, J. 1992. Application to Power-Law Non-Newtonian fluids. *Transactions of the Institution of Chemical Engineer*. 60: 183–187.
- Ingmar, H. 1999. Particle transport in crossflow microfiltration. *Chemical Engineering Science*. 54: 271–280.
- Jorgen, W. 2001. *Membrane Filtration Handbook Practical Tips and Hints*. 2nd edition. Osmonics.
- Katayon, S. 2004. Effect of mixed liquor suspended solid concentrations on membrane bioreactor efficiency for treatment of food industry wastewater. *Desalination*. 167(15): 153–158.
- Liyuang, W. 1999. Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration experimental verification of fouling dynamics. *Membrane Science*. 160(1): 41–50.
- Meng, F.G. 2005. Cake layer morphology in microfiltration of activated sludge waste water based on fractal analysis. *Separation and Purification Technology*. 44: 230–257.
- Muhammad, H. 1996. Crossflow microfiltration with dynamics membrane. *Water research*. 31(8): 1969–1979.
- Paul, S. 2004. Optimization of operational parameters for a submerged membrane bioreactor treating dye house wastewater. *Separation and Purification Technology*. 44: 61–68.
- Renbi, B. 2002. Microfiltration of activated sludge waste water – the effect of system operation parameters. *Separation and Purification Technology*. 29: 189–198.
- Roger, B. 1998. Microfiltration of activated sludge using submerged membrane with air bubbling for waste water treatment. *Desalination*. 118:315–322.
- Rosen, J. 2003. Modelling of a membrane bioreactor system for municipal waste water treatment. *Membrane Science*. 216: 55–65.
- Sengkwan, H. 1997. Kinetics of permeate flux decline in crossflow membrane filtration of colloidal suspensions. *Colloid and Interface Science*. 196(2): 267–277.
- Yamamoto, Y. 1989. Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrane in an activated sludge aeration tank. *Water Science Technology*. 21: 43–54