



ผลของความต้านทานการอุดตันแบบอนุกรมของเยื่อกรอง แบบนาโนโดยสารคาร์บอนेटร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติ

Effect of Resistance-in-series Model on Nanofiltration of Combined Carbonate Species and Natural Organic Matter

Charuepon Charoensuk* and Supatpong Mattaraj**

ชญพนธ์ เจริญสุข* และ สุพัฒน์พงษ์ มัตราจ**

*คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

**ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

*E-mail : supatpong.mj@gmail.com, knowenv@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของความต้านทานการอุดตันแบบอนุกรมของเยื่อกรองแบบนาโนโดยสารคาร์บอนेटร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยใช้ชุดทดลองแบบไหลตามขวางเยื่อกรองแบบนาโน (HL4040FN, GE water and process technology) โดยปรับค่าความแรงประจุเป็น 0.004, 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลต่อลิตร ด้วยสารโซเดียมคาร์บอนेट (Na_2CO_3) ร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับค่าพีเอชของสารละลายเป็น 4.3 (ที่จุด H_2CO_3), 6.3 (pK_{a1}), 8.3 (ที่จุด HCO_3^-), 10.3 (pK_{a2}) and 11.3 (ที่จุด CO_3^{2-}) การศึกษาพบว่าค่าความต้านทานที่เกิดจากชั้นเค้ก (R_c) มีค่าความต้านทานสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชนิดอื่น (R_f และ R_o) การเพิ่มความแรงของประจุให้สูงขึ้นทำให้กับฟลักซ์สารละลายที่จะลดลง อาจเนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารที่ผิวของเยื่อกรอง สอดคล้องกับค่าความต้านทานที่สูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของพีเอชของสารละลายมีแนวโน้มเหมือนกับการเพิ่มความแรงประจุ ส่งผลต่อการลดลงของฟลักซ์สารละลาย ทำให้เพิ่มความต้านทานแบบอนุกรมโดยเฉพาะความต้านทานที่เกิดจากชั้นเค้ก

คำสำคัญ : สารคาร์บอนेट; เยื่อกรองแบบนาโน; สารอินทรีย์ธรรมชาติ; ความต้านทานการอุดตันแบบอนุกรม

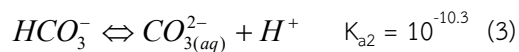
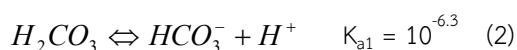
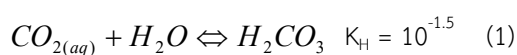
Abstract

This research studied the effect of resistance-in-series model on Nanofiltration (NF) of combined carbonate species and natural organic matter (NOM) using crossflow nanofiltration (HL4040FN, GE water and process technology). Solution condition was controlled with ionic strength of 0.004, 0.01, 0.05 and 0.1 M Na_2CO_3 , combined with NOM concentration of 10 mg/L. Various solution pHs of pH 4.3 (H_2CO_3 equiv. pt.), 6.3 (pK_{a1}), 8.3 (HCO_3^- equiv. pt.), 10.3 (pK_{a2}) and 11.3 (CO_3^{2-} equiv. pt.) were studied. Experimental results revealed that cake resistance (R_c) showed the highest resistance when compared with other types of resistance (R_g and R_o). Increased ionic strengths caused a lower solution flux, possibly due to an increased concentration at the membrane surface, corresponding to higher resistance value. Increased solution pHs resulted in similar trend with increasing ionic strengths, indicating higher solution flux decline, thus resulting in increased resistance, especially cake resistance.

Keywords : Carbonate species; Nanofiltration; Natural Organic Matter; Resistance-in-series Model

บทนำ

ระบบคาร์บอเนตเป็นระบบที่เกิดขึ้นได้โดยทั่วไปตามธรรมชาติ โดยเป็นการเกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างแหล่งน้ำกับอากาศ ซึ่งเกิดการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศลงสู่แหล่งน้ำ และการปล่อยก๊าซจากแหล่งน้ำคืนสู่อากาศในสภาวะที่มีการอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงในน้ำ การถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นเป็นการรักษาสมดุลของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ในการวัดค่าของคาร์บอเนตนิยมวัดในรูปของค่าความเป็นกรด (Acidity) และค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) โดยแหล่งน้ำผิวดินที่มีสารคาร์บอเนตในปริมาณสูง มีสาเหตุมาจากการสลายตัวของหินปูนที่เจือปนในแหล่งน้ำ เมื่อเกิดการสังเคราะห์แสงจะมีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งน้ำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง เป็นผลให้ pH ของน้ำมีค่าที่สูงขึ้น โดยสารคาร์บอเนตในน้ำจะเกิดการเปลี่ยนรูปตามระดับ pH ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยสารคาร์บอเนตในแหล่งน้ำสามารถเปลี่ยนไปได้เป็น 3 รูป คือ กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ตามลำดับ เมื่อมีระดับ pH ที่สูงขึ้น [1] และเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับน้ำได้ ดังนี้ [2]



เมื่อสารคาร์บอเนตรวมตัวกับสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic matter, NOM) ซึ่งพบได้โดยทั่วไปตามแหล่งน้ำผิวดิน จะทำให้เกิดการอุดตันของเยื่อกรองได้ง่ายขึ้นซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดของระบบเยื่อกรองที่ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำลดลง

เยื่อกรองแบบนาโน (Nanofiltration) เป็นกระบวนการที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตน้ำดื่ม การทำน้ำอ่อน และบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับระบบเยื่อกรองแบบออสโมซิสผันกลับ โดยมีข้อได้เปรียบคือการใช้ความดันที่น้อยกว่าในการดำเนินระบบ ปริมาณน้ำที่ผลิตได้มีปริมาณมาก และยังสามารถใช้ในการกำจัดสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ปนมากับน้ำได้เป็นอย่างดี [3-5] และเยื่อกรองแบบนาโนยังสามารถใช้กำจัดคอลลอยด์ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กๆ รวมทั้งประจุของสารอนินทรีย์จากน้ำผิวดินและใต้ดินได้เป็นอย่างดี [6] ซึ่งปัญหาที่พบมากของกระบวนการเยื่อกรอง คือ การลดลงของอัตราการไหล โดยมีสาเหตุมาจากการเกิด Concentration Polarization (CP) โดยการอุดตันที่เกิดขึ้นสามารถเกิดได้ใน 2 แหล่ง คือ เกิดการอุดตันบริเวณผิวหน้าของเยื่อกรอง (surface fouling) ซึ่งสามารถที่จะทำความสะอาดได้ และการอุดตันที่เกิดภายในรูพรุนของเยื่อกรอง (internal pore fouling) ซึ่งการเกิดในอย่างหลังนี้สามารถที่จะทำความสะอาดได้บางส่วนหรือไม่สามารถที่จะทำความสะอาด

สะอาดได้เลย [7] เมื่อเยื่อกรองเกิดการอุดตันจะเป็นผลให้ค่าดำเนินระบบเพิ่มมากขึ้น ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้งขึ้น และทำให้อายุการใช้งานของเยื่อกรองสั้นลง [8]

การศึกษานี้จะหาผลของความต้านทานการอุดตันแบบอนุกรมของเยื่อกรองแบบนาโนโดยสารคาร์บอนेटร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยปัจจัยที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ค่าความแรงประจุ และค่าพีเอชของสารละลาย โดยมุ่งศึกษาโดยใช้แบบจำลองความต้านทานการอุดตันแบบอนุกรม เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุของการอุดตันที่เกิดขึ้นกับเยื่อกรองและการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบเยื่อกรองแบบต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

เกลือคาร์บอนेट

เกลือคาร์บอนेटที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ โซเดียมคาร์บอนेट (Na_2CO_3) ปรับความแรงประจุของน้ำตัวอย่างให้มีความแรงของประจุเป็น 0.004, 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลต่อลิตร และปรับพีเอชเป็น 4.3 6.3 8.3 10.3 และ 11.3 ตามลำดับ ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

สารอินทรีย์ธรรมชาติ

สารอินทรีย์ธรรมชาติที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มาจากแหล่งน้ำผิวดินที่อยู่ภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งใช้ผลิตน้ำอุปโภคและบริโภคภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด 4.45 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ที่ 0.185 ต่อเซนติเมตร มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 31.9 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร มีพีเอชอยู่ที่ 7.04 โดยนำน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีมาจำนวน 1,000 ลิตร จากนั้นส่งผ่านระบบปั๊มเข้าเยื่อกรองแบบออสโมซิสผันกลับทำการกรองเพื่อแยกส่วนที่ไม่ผ่านการกรองหรือส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ธรรมชาติเข้มข้น ประมาณ 25-30 ลิตร

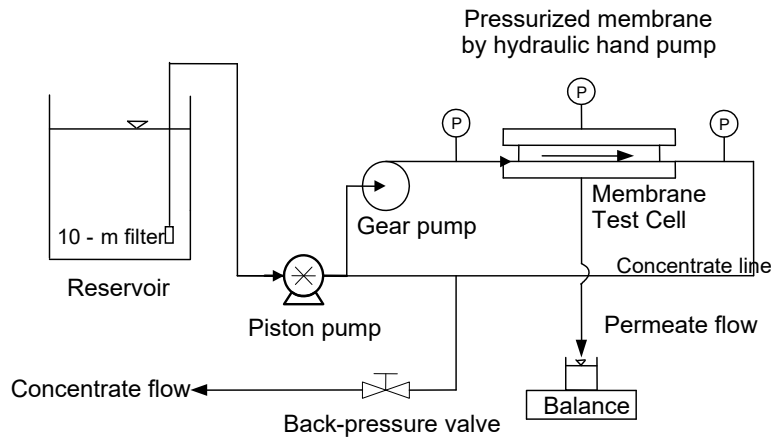
จากนั้นนำสารอินทรีย์ธรรมชาติเข้มข้นใส่ภาชนะที่ปิดสนิทแล้วนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการรักษาสารอินทรีย์ธรรมชาติเข้มข้นให้อยู่ในสภาวะพร้อมใช้งาน

เยื่อกรองแบบนาโน

เยื่อกรองแบบนาโนของ GE Water & Process Technologies รุ่น HL4040FM ผลิตจากโพลีเอไมด์ มีคุณสมบัติของเยื่อกรองเป็นดังนี้ มีความสามารถในการกำจัดสารที่มีขนาดโมเลกุล 150-300 ดาลตัน โดยทำการทดสอบกับน้ำตาลกลูโคส พีเอชที่ใช้ในการดำเนินระบบอยู่ระหว่าง 3-9 และพีเอชของสารที่ใช้ในการทำมาสะอาดมีค่าอยู่ระหว่าง 2-10.5 มีความสามารถในการทนคลอรีนที่ระดับความเข้มข้น 0.1 ppm อุณหภูมิที่สามารถทนได้สูงสุดที่ 50 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการดำเนินงานอยู่ที่ 70-300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นำมาตัดให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 4 x 6 นิ้ว เพื่อให้สามารถนำมาใส่ลงในชุดทดลองเยื่อกรองแบบนาโน สำหรับแผ่นเยื่อกรองที่ได้ตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำเก็บรักษาโดยแช่ไว้ในสารละลาย Sodium metabisulphite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ความเข้มข้น 1% เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน แล้วนำไปแช่ไว้ในตู้เย็นเพื่อลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีผลต่อผิวหน้าเยื่อกรองแบบนาโน

ชุดทดลองแบบไหลตามขวาง

รูปที่ 1 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบเยื่อกรองแบบนาโน ระบบนี้ใช้ในเป็นชุดทดสอบแบบไหลตามขวาง รุ่น SEPA ของ Osmonics [9] ที่มีพื้นที่ใส่แผ่นเยื่อกรองขนาด 0.014 ตารางเมตรโดยคำนวณตามพื้นที่ของชุดทดสอบ โดยควบคุมการทดลองด้วยระบบเยื่อกรองแบบนาโนดังนี้ การปรับความดันให้มีอัตราการไหลเริ่มต้น 45 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงและควบคุมความดันคงที่ตลอดการทดลอง ความสามารถในการผลิตน้ำอยู่ที่ร้อยละ 85 อัตราเร็วที่ไหลตามขวางอยู่ที่ 0.1 เมตรต่อวินาที และใช้เวลาในการทดลอง 500 นาที [10]



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานของระบบเยื่อกรองแบบนาโน

สมการที่ใช้ในการศึกษา

จากสมการของ Darcy's Law ที่ได้เขียนไว้ในสมการที่ 4 ค่าความต้านทานของเยื่อกรองสามารถหาได้โดยใช้น้ำบริสุทธิ์ เมื่อมีทดสอบกับน้ำตัวอย่างจนเกิดการอุดตันที่ผิวของเยื่อกรอง ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจะไม่ได้มีเฉพาะความต้านทานของเยื่อกรองเท่านั้น แต่จะมีความต้านทานอันเกิดจากการอุดตันอื่นเพิ่มขึ้นมาด้วย ซึ่งค่าความต้านทานที่มีจะเปลี่ยนเป็นค่าความต้านทานรวมที่เกิดขึ้นจากการอุดตันบริเวณผิวเยื่อกรอง จากการศึกษาของ Cho et al., 2000 [11] พบว่าอัตราการไหลที่ลดลงและการอุดตันบนผิวเยื่อกรองซึ่งค่าความต้านทานรวมที่เกิดขึ้นนั้นมีลำดับขั้นตอนการเกิดขึ้นดังนี้

- 1) ใช้น้ำปราศจากไอออนเดินระบบจนมีอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่คงตัว
- 2) เปลี่ยนมาใช้น้ำตัวอย่างที่มีสารอินทรีย์ทางธรรมชาติและทำการวัดอัตราการไหล ของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จนครบเวลา
- 3) หลังจากที่ได้ค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผลิตได้ลดลงกว่าที่อื่นเนื่องมาจากการอุดตันที่เกิดขึ้น จึงใช้น้ำกลั่นเข้าไปไล่ จะทำให้ส่วนของชั้นสารละลายที่มีความเข้มข้นที่สูงออกมา
- 4) ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นรอบที่สองซึ่งจะใช้อัตราการไหลที่สูงกว่าในการทดลอง จะเป็นผลทำให้ชั้นของเจลที่เกิดขึ้นหลุดออกมาด้วย
- 5) ทำการล้างด้วยสารละลายเบส (NaOH) ที่ความเข้มข้น 0.001 โมลต่อลิตร สิ่งที่สารละลายล้าง

ออกมาได้จะเป็นส่วนของสารที่เกิดการอุดตันที่บริเวณผิวของเยื่อกรอง ซึ่งสามารถที่จะหลุดออกมาได้

จากขั้นตอนที่กล่าวมาจะทำให้ทราบว่าค่าความต้านทานแต่ละประเภท ดังต่อไปนี้

- 1) ค่าความต้านทานที่เกิดจากตัวเยื่อกรองเอง (R_m) เกิดขึ้นจากเยื่อกรองแต่ละตัวนั้นมีขนาดรูพรุนที่ใช้ในการคัดแยกสารที่แตกต่างกัน ซึ่งขนาดของรูพรุนที่ได้กล่าวถึงจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดความต้านทานขึ้นมา
- 2) ค่าความต้านทานที่เกิดจากชั้นของ Concentration Polarization (R_c) เกิดขึ้นจากตัวอย่างสารอินทรีย์ เมื่อทำการทดลองความเข้มข้นที่บริเวณผิวหน้าเยื่อกรองจะมีความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำ
- 3) ค่าความต้านทานที่เกิดจากชั้นของเจล (R_g) เกิดขึ้นจากเมื่อบริเวณผิวหน้าเยื่อกรองมีความเข้มข้นที่สูงขึ้น จนมีค่าเกินขีดจำกัดของการละลายของสารที่มีอยู่ในน้ำ จะมีลักษณะคล้ายเจล เกิดขึ้นที่บริเวณผิวหน้าเยื่อกรอง
- 4) ค่าความต้านทานที่เกิดจากการอุดตันอย่างอ่อน (R_{a1}) เกิดจากการอุดตันที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของเยื่อกรองซึ่งการอุดตันของสารอินทรีย์ธรรมชาติสามารถที่จะล้างออกได้โดยใช้สารเคมี
- 5) ค่าความต้านทานที่เกิดจากการอุดตันอย่างถาวร (R_{a2}) เกิดจากการอุดตันอย่างถาวร ซึ่งจะติดแน่นอยู่กับเยื่อกรองดังนั้นจึงไม่สามารถทำความสะอาดด้วยสารเคมีได้

$$J_v = \frac{\Delta P}{\mu(R_m + R_c + R_g + R_{a1} + R_{a2})} \quad (4)$$

โดยที่

J_v	คือ ค่าฟลักซ์สารละลาย ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)
ΔP	คือ ค่าความดันในการดำเนินระบบ (kPa)
μ	คือ ค่าความหนืดของน้ำ (kPa.s)
R_m	คือ ค่าความต้านทานของเยื่อกรอง (m^{-1})
R_c	คือ ค่าความต้านทานที่เกิดจากชั้นเค้กจาก ความเข้มข้น (m^{-1})
R_g	คือ ค่าความต้านทานที่เกิดจากชั้นของเจล (m^{-1})
R_{a1}	คือ ค่าความต้านทานที่การดูดซับที่สามารถล้าง ออกได้ (m^{-1})
R_{a2}	คือ ค่าความต้านทานที่ไม่สามารถล้างออก ได้ (m^{-1})

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาค่าความแรงประจุต่อการลดลงของค่าฟลักซ์

การทดสอบผลของความแรงประจุต่อค่าฟลักซ์สารละลาย โดยทดลองที่ความแรงประจุต่างๆ ซึ่งปรับความแรงประจุด้วยโซเดียมคาร์บอเนต โดยเติมสารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 6.3 และใช้ค่าความแรงของประจุในการทดสอบเป็น 0.004, 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลต่อลิตร ปรับด้วยโซเดียมคาร์บอเนต ผลการทดสอบการลดลงของฟลักซ์ แสดงในรูปที่ 2 จากการทดลองพบว่า ค่าความแรงของประจุที่มีการเพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้ค่าฟลักซ์สารละลายลดลง อันเนื่องจากการเพิ่มความแรงประจุ เป็นการเพิ่มค่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคาร์บอเนตให้มีค่าสูงขึ้น ทำให้มีการสะสมตัวของโซเดียมคาร์บอเนตและสารอินทรีย์ธรรมชาติที่บริเวณผิวหน้าของเยื่อกรองแบบนาโนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความดันออสโมติกของระบบมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น แต่เนื่องจากในระหว่างที่ทำการทดลองผู้ทำการทดลองได้มีการควบคุมความดันที่ใช้ให้มีค่าคงที่ตลอดช่วงการทดสอบ จึงเป็นผลทำให้ค่าของความดันสามารถเอาชนะความดันออสโมติกที่เกิดจากการสะสมตัวของโซเดียมคาร์บอเนตในระหว่างทำการทดลองมีค่าลดลงสอดคล้องกับฟลักซ์สารละลายที่ได้มีค่าลดลง โดยปรากฏการดังกล่าวสามารถอธิบายได้โดยความสัมพันธ์ของฟลักซ์สารละลายของ Londale ซึ่งมีสมการเป็นดังนี้

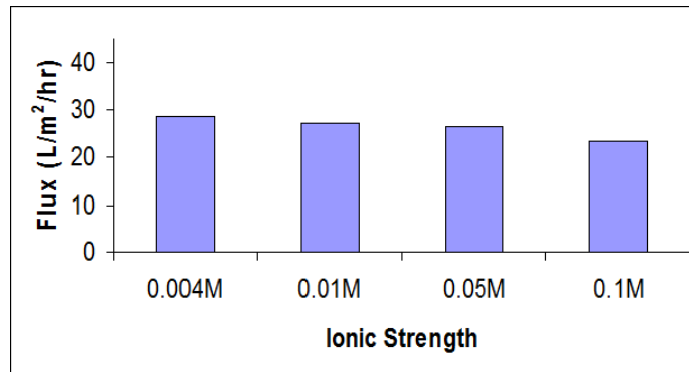
$J_v = L_p (\Delta P - \Delta \pi)$ โดยที่ L_p คือ ค่าคงตัวการไหลของน้ำ ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot kPa^{-1}$), และ $\Delta \pi$ คือ ความดันออสโมติก (kPa)

ผลการศึกษาค่าพีเอชที่มีผลต่อการลดลงของค่าฟลักซ์

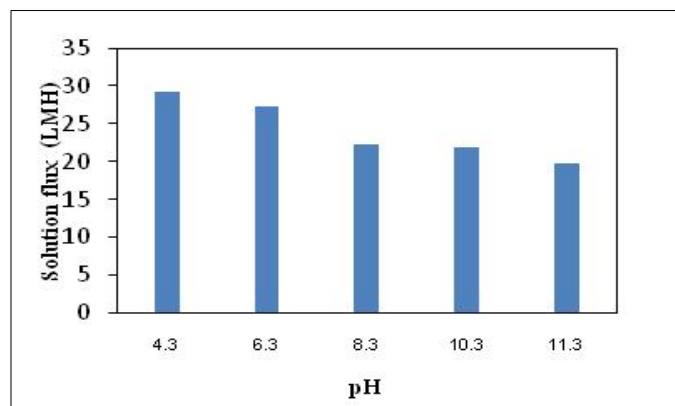
การทดลองผลของค่าพีเอชต่อการลดลงของฟลักซ์สารละลาย โดยใช้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชที่ใช้ในการทดลองเป็น 4.3, 6.3, 8.3, 10.3 และ 11.3 ปรับค่าความแรงประจุเป็น 0.01 โมลต่อลิตร ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต ดังแสดงในรูปที่ 3 จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลของพีเอชที่มีการเปลี่ยนแปลงมีผลต่อการลดลงของฟลักซ์ จากผลการทดลองพบว่า ฟลักซ์สารละลายมีลักษณะการลดลงเป็นดังนี้ คือ ที่ระดับพีเอชที่เพิ่มมากขึ้นจะเป็นผลทำให้ค่าฟลักซ์สารละลายมีค่าลดลง โดยค่าพีเอช 4.3, 6.3, 8.3, 10.3 และ 11.3 ให้ค่าฟลักซ์สารละลายลดลงเป็น 29.31, 27.38, 22.23, 21.90 และ 19.71 $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ ตามลำดับ

ผลการศึกษาค่าความแรงประจุต่อค่าความต้านทานแบบอนุกรม

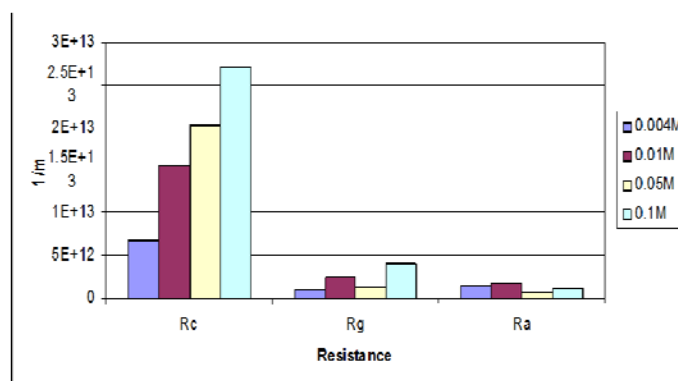
การทดสอบผลของความแรงประจุต่อความต้านทานแบบอนุกรม โดยเติมสารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 6.3 และใช้ค่าความแรงประจุในการทดสอบเป็น 0.004, 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลต่อลิตร ปรับด้วยโซเดียมคาร์บอเนต จากการคำนวณหาความต้านทานของเยื่อกรอง ตามกฎของ Darcy พบว่า ค่าความต้านทานที่เกิดจากเยื่อกรองแบบนาโนโดยใช้น้ำบริสุทธิ์มีค่าโดยเฉลี่ย $3.75 \times 10^{13} m^{-1}$ การทดสอบด้วยน้ำตัวอย่างทำให้เกิดการอุดตันบนเยื่อกรองทำให้ความต้านทานของเยื่อกรองเพิ่มมากขึ้น ผลจากการคำนวณหาความต้านทานด้วยแบบจำลองความต้านทานของการอุดตันแบบอนุกรม แสดงดังในรูปที่ 4 แสดงผลความต้านทานการอุดตันแบบอนุกรมที่เกิดขึ้นโดยการเพิ่มความแรงของประจุ พบว่า ความต้านทานที่เกิดจากชั้นเค้ก (R_c) มีความสำคัญและอิทธิพลต่อการเกิดการอุดตันของเยื่อกรองแบบนาโนเป็นอย่างมาก แสดงถึงการสะสมตัวของสารคาร์บอเนตและสารอินทรีย์ธรรมชาติบนผิวเยื่อกรอง ผลจากการวิเคราะห์ยังพบว่าค่าความต้านทานที่เกิดจากชั้นเค้กมีค่าสูง และเมื่อทำการเพิ่มความแรงของประจุทำให้เพิ่มความเข้มข้นของสารส่งผลต่อความต้านทานที่สูงขึ้น



รูปที่ 2 ผลของความแรงประจุต่อการลดลงของค่าฟลักซ์



รูปที่ 3 ผลของพีเอชต่อการลดลงของค่าฟลักซ์

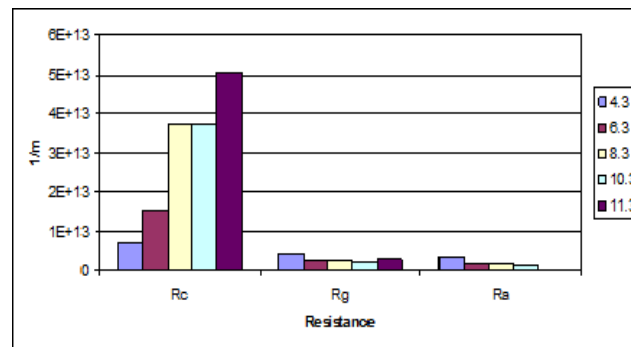


รูปที่ 4 ผลของความแรงประจุต่อความต้านแบบอนุกรม

ผลการศึกษาค่าพีเอชประจุต่อความต้านทานแบบอนุกรม

การทดลองผลของค่าพีเอชต่อความต้านทานแบบอนุกรม โดยมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชที่ใช้ในการทดลองเป็น 4.3, 6.3, 8.3, 10.3 และ 11.3 ปรับค่าความแรงประจุเป็น 0.01 โมลต่อลิตร ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต รูปที่ 5 แสดงผล

ของพีเอชที่มีผลต่อความต้านทานแบบอนุกรม โดยการเพิ่มค่าพีเอช ทำให้ความต้านทานที่เกิดจากชั้นเค้ก (R_c) มีอิทธิพลต่อการเกิดการอุดตันของเยื่อกรองแบบนาโนมาก เช่นเดียวกับผลของความแรงประจุ แสดงถึงการสะสมตัวของสารโซเดียมคาร์บอเนตและสารอินทรีย์ธรรมชาติบนผิวเยื่อกรอง ส่งผลให้ความต้านทานที่เกิดจากชั้นเค้กมีค่าสูงเมื่อเพิ่มค่าพีเอชสูงขึ้น



รูปที่ 5 ผลของฟิโอสที่มีผลต่อความต้านทานแบบอนุกรม

สรุป

การเพิ่มค่าความแรงประจุและค่าฟิโอสส่งผลต่อการลดลงของฟลักซ์สารละลายลดลง สอดคล้องค่าความต้านทานการอุดตันแบบอนุกรมที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความต้านทานที่เกิดจากชั้นเค้กแสดงผลที่เด่นชัดต่อการลดลงของฟลักซ์สารละลาย สอดคล้องกับการเพิ่มค่าความแรงประจุและค่าฟิโอสที่มีผลต่อการเพิ่มค่าความต้านทานที่เกิดจากชั้นเค้ก

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sirisingha, K. 2554. Chemistry of water, wastewater and analysis. Prayoonwon verlag, Bangkok. (in Thai)
- [2] Mattaraj, S. 2550. Water chemistry. Ubon Ratchathani University verlag. (in Thai)
- [3] Bruggen, Bart Van der and Carlo Vandecasteele. 2003. Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: Overview of possible applications in the drinking water industry. Environ. Pollut. 122: 435-44.
- [4] Conteras, A.E., Albert Kimb and Qilin lia. 2009. Combined fouling of nanofiltration membranes: Mechanisms and effect of organic matter. J. Membr. Sci. 327: 87-95.
- [5] Listiarini, K., Darren, D. S. and James O. L. 2009. Organic fouling of nanofiltration membranes: Evaluating the effects of humic acid, calcium, alum coagulant and their combinations on the specific cake resistance. J. Membr. Sci. 332: 56-62.
- [6] Siddiqui, M., G.L. Amy, J. Ryan and W. Odem. 2000. Membranes for the control of natural organic matter from surface water. Water Res. 34: 3355-3370.
- [7] Tu, S., Varadarajan, R. and Massoud, P. 2005. A pore diffusion transport model for forecasting the performance of membrane processes. J. Membr. Sci. 265: 29-50.
- [8] Vrouwenvelder, J. S., Kappelhof, J. W. N. M., Heijman, S. G. J., Schippers, J. C., and Van der Kooij, D. 2003. Tools for fouling diagnosis of NF and RO membranes and assessment of the fouling potential of feed water. Desalination. 157: 361-365.
- [9] Jarusutthirak C., Mattaraj S. and Jiratananon R. 2007. Factors affecting nanofiltration performances in natural organic matter rejection and flux decline. Sep. Purif. Technol. 58: 68-75.

- [10] Allgeier S.C. and Summers R.S. 1996. Evaluating NF for DBP control with the RBSMT. Journal of American Water Works Association. 87: 87-99.
- [11] Cho, J., Amy, G. and Pellegrino, J. 2000. Membrane filtration of natural organic matter: Comparison of flux decline, NOM rejection, and foulants during filtration with three UF membranes, Desalination. 127: 283-298.