

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทดลองนี้เป็นการดำเนินการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการด้วยการใช้แบบจำลองระบบอัลตราฟิลเตรชันที่มีชุดเยื่อกรองต่ออยู่ภายนอกแทนอยู่ในถังปฏิกิริยาเพื่อศึกษาสมรรถนะและสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบเยื่อกรอง และศึกษาอิทธิพลและสภาวะทางไฮโดรไดนามิกส์ที่มีต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบ รวมถึงศึกษาสาเหตุของฟาว์ลิง และอัตราการเกิดฟาว์ลิงในชุดเยื่อกรองที่สภาวะต่างๆ ของการปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดิน-น้ำทิ้งหลังบำบัดขั้นที่สอง ซึ่งเลือกใช้เป็นน้ำตัวอย่างป้อนเข้าระบบฯ เพื่อพัฒนาระบบเยื่อกรองนำร่องที่มีชุดเยื่อกรองชีวภาพ ซึ่งเดินระบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและสามารถเดินระบบได้อย่างต่อเนื่อง ลดการสูญเสียและสารเคมีเพื่อใช้ฟื้นฟูสภาพการทำงานของเยื่อกรองอีกทั้งสามารถพัฒนาต่อเป็นระบบขนาดเล็ก (Small scale system) เพื่อใช้งานระดับชุมชนและระดับสเกลอุตสาหกรรมทั่วไปเพื่อการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ หรือตะกอนเร่ง (AS)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated sludge) หรือ เอเอส เป็นระบบบำบัดแบบชีวภาพที่เริ่มใช้โดย Aredn & Lockett ในปี 1914 ปัจจุบันมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกไม่มากนัก แม้ว่ากระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์จะมีหลายแบบ แต่ก็มีองค์ประกอบที่เหมือนกันดังนี้

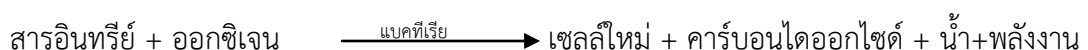
- ก. ใช้จุลินทรีย์ที่จัดตัวเป็นฟล็อกได้ กำจัดสารอาหารละลายออกจากน้ำเสีย
- ข. ใช้การตกตะกอนแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียก่อนแล้วส่วนน้ำใสออกทิ้ง
- ค. หมุนเวียนตะกอนจุลินทรีย์ที่เข้มข้นจากถังตกตะกอนกลับไปยังถังเติมอากาศ
- ง. การทำงานของกระบวนการขึ้นอยู่กับอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ

ส่วนประกอบที่จำเป็นของระบบนี้ คือ ถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน และระบบเวียนกลับตะกอนจากถังตกตะกอนไปยังถังเติมอากาศ ส่วนหนึ่งของตะกอนจุลินทรีย์จะถูกทิ้งออกจากระบบเพื่อรักษาอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์ที่ต้องการ

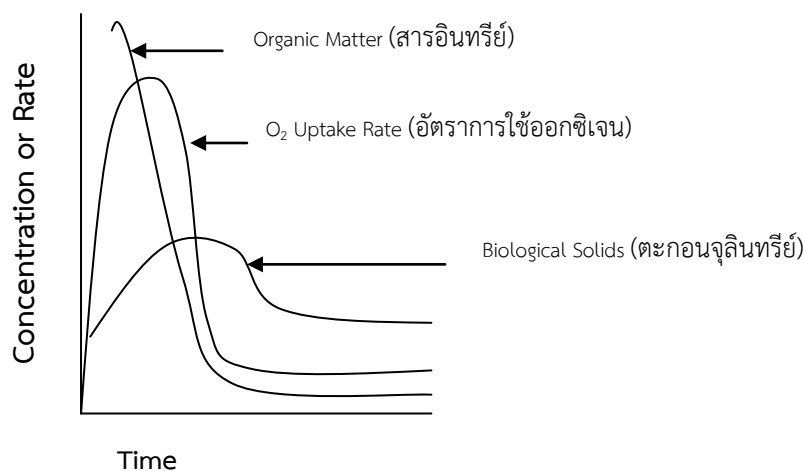
ระบบเอเอส เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนระบบหนึ่ง ซึ่งมีการปรับปรุงการใช้งานหลายรูปแบบ อาทิการควบคุมการะบรทุกสารอินทรีย์ อายุสลัดจ์ และการปรับปรุงแบบทางกายภาพของระบบ ซึ่งจะมีผลกับการคัดสายพันธุ์ การดำรงชีพของจุลินทรีย์ และการทำงานของระบบ

1. กลไกในการทำงาน

กระบวนการเอเอส ประกอบด้วยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิดที่ถูกควบคุมให้เจริญเติบโตอยู่ในน้ำซึ่งมีออกซิเจนอิสระละลายอยู่และจะต้องมีสารอินทรีย์ที่สามารถใช้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตได้อีกด้วย ปฏิกริยาทางชีวเคมีของกระบวนการสามารถเขียนได้ดังนี้



สารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ต่อไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแยกออกสู่บรรยากาศ ส่วนน้ำจะผสมออกไปกับน้ำที่บำบัดแล้ว พลังงานก็จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิต สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่า สามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอน น้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ต่างๆ มาใช้จนหมด จนเป็นน้ำที่สะอาดพอที่จะปล่อยทิ้งได้โดยไม่เกิดการเน่าเหม็น ในการใช้สารอาหารหรือในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ อาจจะมีการทำงานร่วมกันหลายชนิดก็ได้ โดยจุลินทรีย์บางชนิดจะเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนก่อนจากนั้นจะมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยได้อีกต่อไป ลักษณะการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเอเอส ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ปฏิกริยาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ [1]

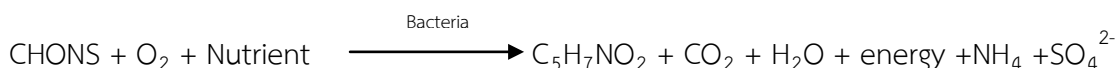
เมื่อเริ่มการทำงานค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีค่าสูง ส่วนจุลินทรีย์จะมีค่าความเข้มข้นต่ำและมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเริ่มใช้ออกซิเจนมากขึ้น และเจริญเติบโตเป็นผลให้มีจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์จะน้อยลง อัตราความต้องการออกซิเจนจะลดลง ตามลำดับ

2. องค์ประกอบในการทำงานของระบบเอเอส

2.1 การกำจัดสารอินทรีย์

โดยจุลินทรีย์ชนิดต้องการออกซิเจน (Aerobic bacteria) และชนิดที่อยู่ได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน (Facultative Anaerobic bacteria) ที่สามารถจับตัวเป็นฟล็อกและมีปริมาณมากพอแขวนลอย สัมผัสกับน้ำเสียพร้อมกับการเติมอากาศในถังเติมอากาศ โดยขั้นตอนจะเกิดอย่างต่อเนื่องดังต่อไปนี้

จุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์มาย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียให้มีโมเลกุลเล็กลงจนดูดซึมผ่านผนังเซลล์ได้ (Transfer Step) แล้วนำอินทรีย์สารนั้นไปใช้เป็นอาหารและขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนขึ้น พร้อมกับได้ผลผลิตต่างๆ ดังปฏิกิริยาชีวเคมีในสมการดังนี้



2.2 การตกตะกอน

เมื่อน้ำออกจากถังเติมอากาศสารอินทรีย์จะถูกใช้ไปเกือบหมด จุลชีพจะมีพลังงานลดลง เมื่อเกิดการชนกันจะรวมตัวเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟล็อก (Floc) จะใช้ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนไม่ให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง เป็นการควบคุมจำนวนจุลชีพ ภายในระบบให้มีปริมาณตามต้องการด้วย ส่วนของน้ำใสที่อยู่ด้านบนให้ไหลล้นออกจากระบบไป

2.3 การหมุนเวียนตะกอนสลัดจ์

การหมุนเวียนสลัดจ์จุลชีพเข้มข้นจากถังตกตะกอนกลับไปยังถังเติมอากาศ เพื่อช่วยในการควบคุมความเข้มข้นของจุลชีพในถังเติมอากาศและรักษาประสิทธิภาพของการบำบัดของระบบ โดยควบคุมอัตราส่วนการเวียนกลับให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม

2.4 ค่าอายุสลัดจ์ในระบบ

ค่าอายุสลัดจ์ในระบบมีความสำคัญต่อการทำงานของระบบ สามารถควบคุมได้โดยการระบายตะกอนส่วนเกินทิ้ง ด้วยการระบายออกจากถังตกตะกอนหรือสูบล้างถังเติมอากาศโดยตรง

2.5 อัตราส่วนน้ำหนักรีดอินทรีย์ต่อจุลชีพ

อัตราส่วนน้ำหนักรีดอินทรีย์ต่อจุลชีพ (F/M ratio) ถ้าระบบมีค่า F/M สูง จุลชีพจะใช้สารอินทรีย์และเจริญอย่างรวดเร็ว จนไม่รวมตัวเป็นฟล็อกและตกตะกอนได้ยาก น้ำออกยังมีปริมาณสารอินทรีย์สูง การควบคุม F/M ที่เหมาะสมจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงขึ้น ถ้าระบบมีค่า F/M ต่ำ แม้จะเกิดสลัดจ์ส่วนเกินทิ้งน้อย แต่จุลชีพในระบบจะมีจำนวนมาก จนเกิดการขาดอาหารและจะรวมตัวเป็นฟล็อกปลายแหลม (Pin point floc) หลุดออกไปกับน้ำออก ทำให้ระบบกลับมีประสิทธิภาพต่ำลงได้

3. จุลชีพในระบบเอเอส

จุลินทรีย์ที่มีในระบบเอเอส สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ได้ดังนี้

3.1 จุลินทรีย์สร้างฟล็อก (Floc forming microorganisms)

เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบเอเอส เพราะเป็นจุลินทรีย์หลักที่ใช้ในการกำจัดน้ำเสียและสามารถจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนแยกตัวออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่าย เรียกว่า “ฟล็อก” จุลินทรีย์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว และฟังไจ

3.2 แซฟโพรไฟท์ (Saprophytes)

เป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่วนใหญ่จุลินทรีย์กลุ่มนี้ ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งมักเป็นพวกสร้างฟล็อกแซฟโพรไฟท์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) แซฟโพรไฟท์แบบปฐมภูมิ (Primary) ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอาหาร (substrate) ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก

2) แซฟโพรไฟท์แบบทุติยภูมิ (Secondary) ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กที่สร้างโดยแซฟโพรไฟท์แบบปฐมภูมิให้สมบูรณ์และได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยา คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

3.3 จุลินทรีย์ทำลาย (Predator)

เป็นจุลินทรีย์ที่กินจุลชีพด้วยกันเองเป็นอาหาร ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดนี้มีขนาดใหญ่กว่าหรือมีศักยภาพที่สูงกว่า จะกินจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก ทำให้จุลินทรีย์ทำลายมีความสำคัญกับระบบเอเอส คือ ช่วยให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดใสขึ้น

3.4 จุลินทรีย์ก่อกรวน (Nuisance microorganisms)

เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส เป็นแบคทีเรียชนิดที่เป็นเส้นใยหรือฟองก็โอบางชนิด ที่มีรูปร่างยาวคล้ายเส้นใย ทำให้เกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอน (Floc)

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

4.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในกระบวนการเอเอส ดังนั้น หากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมาก จะมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในระบบโดย อาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีลักษณะเจริญกระจายอยู่ทั่วไป (Dispersed Growth) แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี (floc) เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่นและมีค่าสารอินทรีย์ หรือบีโอดีเหลืออย่างสูง (มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญลดน้อยลง ซึ่งแม้จุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็กตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น

4.2 อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (Nutrients) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ เหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงานปกติ แร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียจากชุมชน (Domestic Wastewater) แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดสารอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้ จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกเติบโตได้ไม่ดี และจุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ทำให้เอเอสตกตะกอนได้ยากและเกิดเป็นชั้นตะกอนอัดขึ้นมาสูงในถังตกตะกอน และอาจล้นไหลออกมากับน้ำจากระบบไม่สามารถทำงานต่อไปได้อีก นอกจากนี้การที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญได้ไม่ดี ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่างๆ ของระบบต่ำ ปกติจะควบคุมให้บีโอดี 100 กิโลกรัม ต้องมีไนโตรเจน 5 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 1 กิโลกรัม และเหล็ก 0.5 กิโลกรัม

4.3 ออกซิเจนละลายในน้ำ

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 mg/L ซึ่งปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (Saturation Value) ต่ำ จึงทำให้ต้องเพิ่มออกซิเจนให้กับระบบมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทำนองเดียวกันหากอุณหภูมิของน้ำต่ำจะทำให้มีความต้องการอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

4.4 ระยะเวลาการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศ จะต้องมากเพียงพอที่ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายมลสารต่างๆ หากมีระยะเวลาต่ำเกินไปสารที่ย่อยยากจะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้ค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนขึ้นสองชั้นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปจะทำให้เอเอสตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปทำให้เอเอสขาดออกซิเจนและเน่าได้

4.5 ค่าพีเอช เป็นค่าแสดงความเป็นกรด-ด่าง ค่าพีเอชเท่ากับ 7 เป็นกลาง ถ้าน้อยกว่า 7 เป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 เป็นด่าง แบคทีเรียเจริญได้ดีที่ค่าพีเอชระหว่าง 6.5-8.5 ถ้าพีเอชมีค่า

น้อยกว่า 6.5 รา (fungi) จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพระบบบำบัดต่ำลงและตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนค่าพีเอชสูง ทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกจากน้ำ (precipitate) และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงมาก จุลินทรีย์จะตายหมด ไม่สามารถดำรงชีพต่อไปได้

4.6 สารเป็นพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกได้ 2 จำพวก คือ พิษแบบเฉียบพลัน (Acute Toxicity) ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า (Chronic Toxicity) ซึ่งใช้เวลานานและค่อยๆ ตาย พิษเฉียบพลัน สามารถสังเกตได้ง่าย เนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็วสารพิษพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์ อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่างๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนั้นจะเกิดสารอินทรีย์ได้ เช่น แอมโมเนียมีค่าความเข้มข้นสูงกว่า 50 mg/L เป็นต้น

4.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการเอเอส โดยทั่วไป ๆ ไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิจะร้อนเกินไปจนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมียังมีผลต่อการทำงานในถังตกตะกอนชั้นสอง โดยพบว่าที่อุณหภูมิต่ำ ตะกอนจะตกได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง และถ้าอุณหภูมิในถังตกตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำเนื่องจากมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ซึ่งเรียกว่า การไหลเนื่องจากความหนาแน่น (Density Current)

4.8 การกวน

ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนของจุลินทรีย์ตกตะกอนและเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหาร และลดมลสารต่างๆ รวมทั้งจะได้จัดตัวก่เป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed) จะต้องมีค่าเอ็มแอลเอสเอส (Mixed liquor suspended solids; MLSS) และค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอทั้งถัง

4.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้าระบบบำบัด มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยา และในถังตกตะกอนหากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการตกตะกอนในถังชั้นสองลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงควรมีการควบคุมให้มีการส่งน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอ ในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบไว้ เช่น อาจจะสร้างเป็นบ่อพักเก็บกัก (Equalizing Tank) เป็นต้น

5. หลักการออกแบบระบบเอเอส

ข้อมูลในการออกแบบระบบเอเอส มีหลายรูปแบบตามชนิดของระบบนั้นๆ แต่โดยทั่วไปแล้วค่าการออกแบบจะมีรายการต่างๆ ดังข้อมูลในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าการออกแบบสำหรับระบบเอเอส [1]

กระบวนการ	θ_c (day)	kg BOD / kg MLVSS-day	MLSS (mg/L)	V / Q (hr.)	Q_r / Q
Conventional	5-15	0.2-0.4	1500-3000	4-8	0.25-0.5
Complete Mix	5-15	0.2-0.6	3000-6000	3-5	0.25-1.0
Step Aeration	5-15	0.2-0.4	2000-3500	3-5	0.25-0.75
High rate aeration	5-10	0.4-1.5	4000-10000	2-4	1.5
Modified aeration	0.2-0.5	1.5-5.0	200-1000	1.5-3	0.05-0.25
Contact & Stabilization	5-15	0.2-0.6	1000-3000	0.05-1.0	0.25-1.0
Extended aeration	20-30	0.05-0.15	3000-6000	18-36	0.5-1.5
Pure – oxygen system	3-10	0.25-1.0	2000-5000	1-3	0.25-0.5
Oxidation ditch	10-30	0.05-0.3	3000-6000	8-36	0.75-1.5
Stage Nitrification	8-20	0.1-0.25	2000-3500	6-15	0.5-1.5

5.1 ปริมาตรถังเติมอากาศ (m^3)

การคำนวณมี 2 วิธี คือ จากค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อจุลชีพหรือค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์

5.2 ปริมาณสลัดจ์ส่วนเกิน (kg/day)

เป็นค่าที่มีความสำคัญ โดยทำให้ประสิทธิภาพของระบบเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าอายุสลัดจ์ สามารถหาปริมาณสลัดจ์ที่ต้องทิ้งออกจากระบบได้

5.3 ความต้องการออกซิเจนของระบบ (kg/day)

ค่าความต้องการออกซิเจนของระบบ สามารถหาค่าความต้องการออกซิเจนของสารอินทรีย์คาร์บอน (CBOD) และรวมกับความต้องการออกซิเจนของไนโตรเจน (NBOD) ถ้าระบบเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification process)

5.4 ระบบเติมอากาศ

ทำหน้าที่ทั้งให้ออกซิเจน และการรวนจุลินทรีย์ ในถังเติมอากาศให้สัมผัสกับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ การสามารถคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการ (m^3/day) และพลังงานที่ต้องใช้โดยคำนึงถึงน้ำหนักจำเพาะของออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ และข้อกำหนดของผู้ผลิตเครื่องเป็นสำคัญ

5.5 อัตราการสูบสลัดจ์เวียนกลับ (m^3/day)

เป็นการควบคุมความสมดุลของจุลชีพในระบบ หาค่าส่วนการเวียนกลับ (R) ได้โดยการเทียบกับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด (Q_r/Q)

6. ข้อดีและข้อเสีย

6.1 ข้อดี

1) กระบวนการเอเอส สามารถบำบัดน้ำออกที่มีคุณภาพสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการบ่อเติมอากาศ จะสามารถลดความเข้มข้นของสารละลายในปริมาณเท่ากันโดยใช้ถึงปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรเล็กกว่ามาก ขณะที่ผลิตน้ำออกที่เกือบไม่มีของแข็งแขวนลอย

2) สามารถควบคุมการทำงานได้ โดยปรับปริมาณการทิ้งตะกอนปรับค่าเวลากักเก็บเซลล์เพื่อให้ได้คุณภาพของน้ำออกที่ต้องการได้ง่าย

3) ระบบเอเอสค่อนข้างมีความต้านทานต่อภาระที่แปรปรวนได้ดี เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่คงตัว

4) ระบบเอเอสจะได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศน้อยกว่า จึงมีอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนก็อาจชดเชยด้วยการปรับอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์

6.2 ข้อเสีย

1) การควบคุมมีความซับซ้อน ทำให้ยุ่งยากต่อการควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งให้ได้ตามต้องการ

2) การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแบบกะทันหันค่อนข้างช้า จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้งานด้วยวิธีควบคุมแบบอัตโนมัติบางแบบ

3) ค่าลงทุนและดำเนินการอยู่ในกลุ่มสูงสุดของการดำเนินการชีวเคมี

กระบวนการเยื่อกรอง

กระบวนการเยื่อกรอง มีคุณสมบัติดังนี้

1) เป็นการแยกตามขนาดโมเลกุล (หรือรูปร่าง หรือชนิดของประจุ) สามารถทำให้ดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ จึงเหมาะสำหรับแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเพราะความร้อนได้

2) กระบวนการเยื่อกรองส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนเฟส ตัวอย่างเช่น กระบวนการแยกเกลือจากน้ำกร่อย หรือน้ำทะเล ถ้าใช้ออสโมซิสผันกลับมีข้อได้เปรียบทางด้านพลังงานกว่าการกลั่นหรือการต้มระเหย

3) ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้ง เพราะกระบวนการเยื่อกรองทำให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งเพอร์มิเอท และรีเทนเตด ตัวอย่างเช่น ในการผลิตน้ำสะอาดจากน้ำทะเลได้เพอร์มิเอท คือ น้ำจืด ส่วนสารละลายเกลือเข้มข้นสามารถนำไปต้ม ตกลึกเพื่อผลิตเกลือ หรือในการบำบัดน้ำทิ้งบางชนิดที่ได้น้ำสะอาดกลับไปใช้ในกระบวนการและได้ผลิตภัณฑ์เข้มข้นที่ใช้ประโยชน์ต่อไปได้

4) สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยากเนื่องจากเยื่อกรองมีลักษณะเป็นชุด หรือหน่วยที่เรียกว่า โมดูล และสามารถนำหน่วยย่อยๆ มาต่อกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแยก

5) สามารถดำเนินการแบบกะ (Batch) หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous) ตลอดจนติดตั้งระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก

6) มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่ เพราะชุดอุปกรณ์เยื่อกรองมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของอุปกรณ์สูง

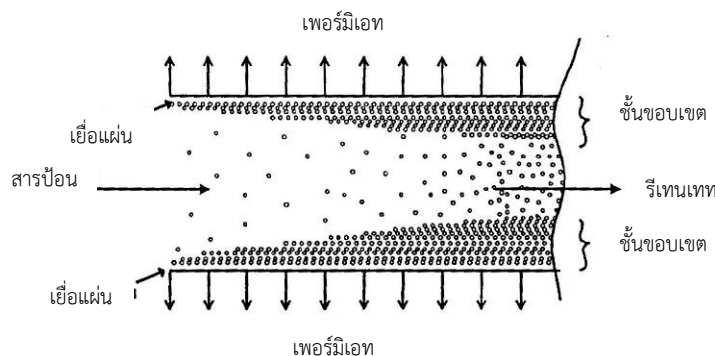
1. ข้อจำกัดของกระบวนการเยื่อกรอง

แม้ว่ากระบวนการเยื่อกรองจะมีประสิทธิภาพ หรือศักยภาพในการประยุกต์ใช้แต่ก็มีข้อจำกัดหรือข้อเสีย เช่นเดียวกับกระบวนการอื่นๆ ตัวอย่างเช่น

1.1 การสะสมของโมเลกุล/อนุภาค (Concentration polarization, CP) เป็นคำที่อ้างถึงกันเสมอในการศึกษาวิจัยพื้นฐานของกระบวนการเยื่อกรอง CP หมายถึง การสะสมของโมเลกุล/อนุภาค ของตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ ทำให้ความเข้มข้นบริเวณผิวหน้าเยื่อกรองสูงกว่าบริเวณที่ห่างออกไป ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งแสดงโปรไฟล์ความเข้มข้นการสะสมของ

โมเลกุล/อนุภาค จะลดสมรรถนะของการแยกทั้งในแง่ฟลักซ์และการกักกัน เพราะส่งผลต่อเนื่องให้เกิดฟาว์ลิง การลดการสะสมของโมเลกุล/อนุภาคในระดับหนึ่งทำได้โดยการออกแบบอุปกรณ์ให้มีการป้อนสารผ่านเยื่อกรองแบบไหลขวางและที่ความเร็วสูง ซึ่งจะช่วยให้ตัวถูกละลายที่เหมาะสมเกิดการแพร่เข้าไปใน Bulk solution ก่อผลเสียดังต่อไปนี้

- ทำให้แรงดันออสโมติกสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการกรองลดลง
- ทำให้มีการรั่วไหลของสารละลายผ่านเยื่อกรองเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำมีการปนเปื้อน
- ทำให้เยื่อกรองเสื่อมสภาพเร็วขึ้น
- ทำให้มีการตกผลึกของ CaCO_3 และ CaSO_4 และสารประกอบอื่น



ภาพที่ 2.2 การเกิดการสะสมของโมเลกุล/อนุภาค [9]

1.2 ฟาว์ลิง (Fouling) การเกิดฟาว์ลิงของเยื่อกรอง หมายถึง การสะสม/อุดตัน ของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าเยื่อกรองและภายในรู ซึ่งทำให้ฟลักซ์ลดลงและการกักกันโมเลกุลเปลี่ยนแปลง (อาจลดลงหรือเพิ่มขึ้น) ฟาว์ลิงเกิดขึ้นด้วยกลไกที่ซับซ้อนขึ้นอยู่กับลักษณะของเยื่อกรองและสารละลาย สิ่งสะสมและอุดตันจะไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำได้ต้องล้างทำความสะอาดด้วยสารเคมีที่เหมาะสม

1.3 ความคงตัวของเยื่อกรอง เยื่อกรองที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่ผลิตจากโพลิเมอร์จึงมีความคงตัวจำกัด เช่น เยื่อกรองจำพวกเซลลูโลส คงตัวที่พีเอช 4-8 ส่วนโพลิซัลโฟน สามารถใช้งานในช่วงกว้างกว่า คือ พีเอช 1-13 อุณหภูมิมีผลต่อเยื่อกรอง ปัจจุบันมีการพัฒนาเยื่อกรองโพลิเมอร์ที่ทนอุณหภูมิได้สูง 60-80 องศาเซลเซียส เยื่อกรองบางชนิดไม่ทนต่อคลอรีนหรือตัวทำละลายอินทรีย์ ส่วนเยื่อกรองเซรามิก มีความคงต่ออุณหภูมิและสารเคมีมาก สามารถฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำได้ทนต่อจุลินทรีย์ แต่ความสามารถในการแยกยังด้อยกว่าเยื่อกรองโพลิเมอร์การพัฒนาที่ยั่งยืนต้องคำนึงถึงราคาแพง

2. คุณลักษณะของเยื่อกรอง

2.1 รูพรุน ความหมายของคำว่า “รูพรุน” ตามที่จำกัดความโดย IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) แบ่งขนาดรูพรุนออกเป็น 3 ระดับตามขนาดดังนี้

ขนาดใหญ่: ขนาดของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร

ขนาดกลาง: ขนาดของรูพรุนอยู่ระหว่าง 2 นาโนเมตร ถึง 50 นาโนเมตร

ขนาดเล็ก: ขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร

โดยขนาดของรูพรุน หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือขนาดความกว้างของรูพรุน ดังนั้นเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันจัดว่ามีรูพรุนขนาดใหญ่ และอัลตราฟิลเตรชันเป็นขนาดกลาง ถ้าขนาดของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร เรียกว่า เยื่อกรองแบบแน่นมากกว่าที่จะเรียกว่ามีรูพรุนขนาดเล็ก

2.2 Hydrophobicity โดยทั่วไปแล้วโพลิเมอร์ที่จะใช้ในการผลิตเยื่อกรองนั้นสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการเลือกใช้งานได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1) ถ้าต้องการแยกน้ำ (ซึ่งอาจจะมียูรีนในปริมาณที่น้อย) ออกจากสารละลายอินทรีย์ โดยโพลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตเยื่อกรองต้องมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ

2) ถ้าต้องการแยกสารอินทรีย์ (ซึ่งอาจจะมียูรีนในปริมาณที่น้อย) ออกจากสารละลายเจือจาง โดยโพลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตเยื่อกรองต้องมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ แต่ยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างจริงจัง

3) ประจุหรือความมีขั้วของเยื่อกรอง เพราะว่าพอลิแซ็กคาไรด์และการคืนกลับ (Recovery) นั้นขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาระหว่างเยื่อกรองและตัวถูกละลาย ทำให้ผู้ใช้ต้องมีความเข้าใจและสามารถเลือกเยื่อกรองที่เหมาะสมกับตัวถูกละลายที่ต้องการทำการแยก เช่น เซลลูโลสอะซิเตตและพอลิเอไมด์จะแสดงความเป็นขั้วลบเล็กน้อย ในขณะที่โพลิเมอร์ชนิดอื่น อาจมีคุณสมบัติที่เป็นกลางแต่มีโพลิเมอร์อีกจำพวกหนึ่ง เรียกว่า โพลีเอเล็กโตรไลต์ หมายถึง โพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยกลุ่มที่มีประจุอยู่กับที่สามารถดึงดูดกับไอออนเคลื่อนที่ที่มีประจุตรงข้าม เมื่อโพลิเมอร์ชนิดนี้อยู่ในน้ำ (ตัวทำละลายมีขั้ว) สามารถแตกตัวได้โพลีเอเล็กโตรไลต์ ซึ่งใช้ในการผลิตเยื่อกรองสำหรับกระบวนการที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อนในการแยก เช่น อิเล็กโตรไดอะไลซิส และใช้ผลิตเยื่อกรองแบบออสโมซิสผันกลับ อัลตราฟิลเตรชันและนาโนฟิลเตรชัน

สำหรับเยื่อกรองนาโนฟิลเตรชันส่วนใหญ่เป็นเยื่อกรองเชิงประกอบ ซึ่งบริเวณผิวหน้าผลิตมาจากโพลิเมอร์ได้หลายชนิด มีประจุที่บริเวณผิวหน้าเป็นลบ ดังนั้น จึงมีค่าการคืนกลับสูงกับตัวถูกละลายที่มีประจุชนิดเดียวกันกับเยื่อกรอง

3. ลักษณะการกรอง

ลักษณะการกรองโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

3.1 การกรองแบบไหลตามแนวตั้ง (Dead-end) เป็นการป้อนสารละลายในทิศทางที่ตั้งฉากกับเยื่อกรอง ซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคบนผิวของเยื่อกรอง เรียกว่า เค้ก (Cake) ทำให้ฟลักซ์ลดลงต้องทำการกำจัดเค้กก่อนที่จะทำการกรองครั้งต่อไป การกรองแบบไหลตามแนวตั้งเหมาะที่จะใช้เมื่อสารละลายประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก ความเข้มข้นต่ำและการดำเนินระบบเป็นแบบกะ

3.2 การกรองแบบไหลตามแนวขวาง (Cross-flow) เป็นการป้อนสารละลายขนานกับแผ่นเยื่อกรองหรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเพอร์มิเอต เรียกว่า Cross-flow หรือ tangential flow จะใช้ในกระบวนการออสโมซิสผันกลับและกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน สารละลายแบบไหลตามแนวขวางจะมีแรงเฉือนเกิดขึ้น ทำให้อนุภาคที่อยู่บนผิวของเยื่อกรองหลุด ออกลดการเกิด Concentration polarization (CP) และเค้กที่สะสมบนเยื่อกรองมีปริมาณน้อย ฟลักซ์สารละลายน้อยกว่าในการกรองแบบไหลตามแนวตั้งเหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง

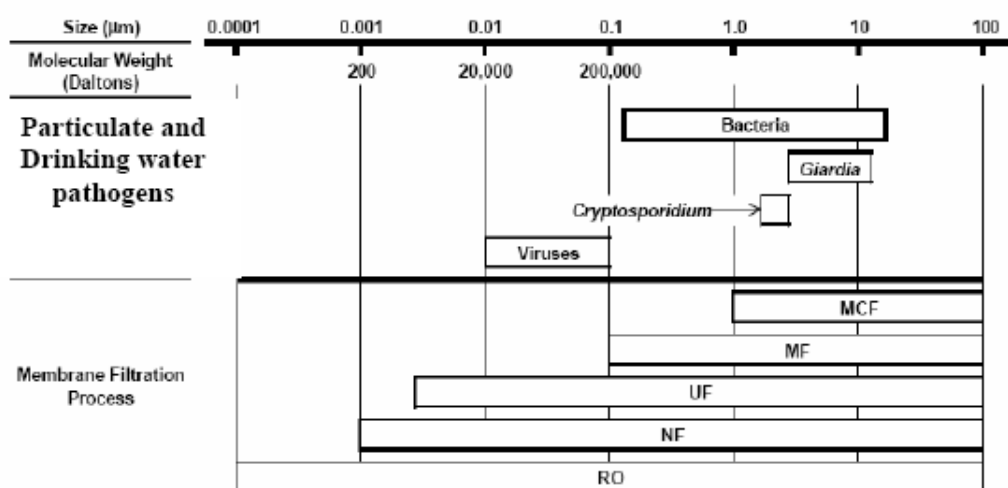
4. ปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์ในกระบวนการกรอง

การกรองมีปัญหาเนื่องมาจากการอุดตันสูงมากเมื่อเกิดการอุดตันอันเนื่องจากการเกาะติดค้างบนผิวของเยื่อกรองเพอร์มิเอทฟลักซ์จะลดลง นอกจากนี้การสะสมความเข้มข้นของตัวถูกละลายบริเวณผิวของเยื่อกรอง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานและการอุดตันของเยื่อกรองเช่นกัน [7] กล่าวว่าการอุดตันบนเยื่อกรองเกิดเนื่องมาจาก 3 สาเหตุหลัก คือ 1) คุณสมบัติของสารอินทรีย์ธรรมชาติและเยื่อกรอง 2) เงื่อนไขทางไฮโดรไดนามิกส์ 3) องค์ประกอบทางเคมีของสารละลาย จากการศึกษาของนักวิจัยหลายกลุ่มสามารถรวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเยื่อกรองพบว่ามีปัจจัยหลักดังนี้

- ลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ
- ความเข้มข้นของสารละลาย (Concentration)
- ความแรงของประจุ (Ionic strength)
- พีเอชของสารละลาย (pH solution)
- การดำเนินระบบ (Operating condition)

5. การทำน้ำให้ใสด้วยระบบเยื่อกรอง

ระบบเยื่อกรองเข้ามามีบทบาทสำคัญในการผลิตน้ำคุณภาพสูงที่มีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ มลสารพิษต่างๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำดิบสำหรับภาคชุมชนและอุตสาหกรรม ระบบเยื่อกรองมีหลายระดับตามความสามารถของรูเปิดของเยื่อกรองในการกักกันและแยกอนุภาค สารแขวนลอย สารละลายต่างๆ ที่อยู่ในของเหลวไม่ให้อันผ่านไปกับของเหลวอื่นๆ แสดงดังภาพที่ 2.3 ตั้งแต่ปีค.ศ.1990 เป็นต้นมา ระบบการบำบัดน้ำปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อผลิตน้ำประปาได้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบของเทคโนโลยีแบบดั้งเดิมโดยการนำเทคโนโลยีเยื่อกรองระดับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันเข้ามาแทนที่ทั้งหมดหรือบางส่วนในขั้นตอนการทำน้ำใส [1]



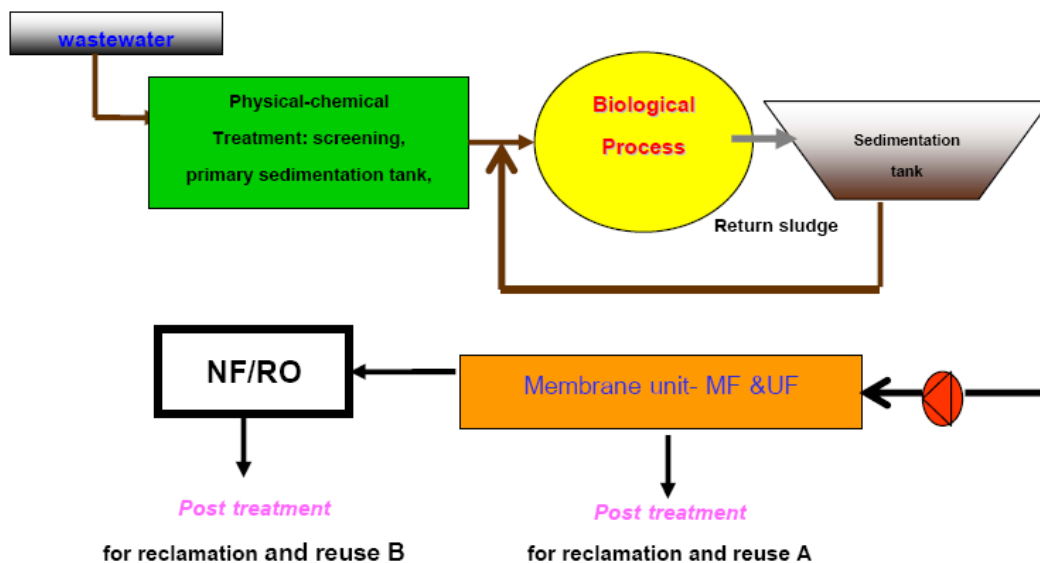
ภาพที่ 2.3 ระดับของระบบเยื่อกรอง [9]

ระบบดังกล่าวสามารถใช้กรองน้ำโดยตรงในกรณีที่คุณภาพน้ำดิบเริ่มต้นอยู่ในเกณฑ์ดี-ดีมาก คือมีค่าความขุ่นต่ำและไม่มีการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ อีกทั้งสามารถใช้ร่วมกับกระบวนการสร้าง-รวมตะกอน การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงหากพบว่าน้ำดิบเข้าระบบมีความ

เข้มข้นอนุภาคสารแขวนลอยสูง (มีความขุ่นมากกว่า 10 NTU) และ/หรือมีการปนเปื้อนของมลสารพิษต่างๆ จากรายงานวิจัยและสำรวจ พบว่า โรงงานผลิตน้ำประปาขนาดกำลังการผลิตขนาดกลางถึงกำลังการผลิตขนาดใหญ่ในหลายประเทศของยุโรป และอเมริกาเหนือจำนวนมากที่มีรูปแบบผสมผสานการใช้เทคโนโลยีเยื่อกรองระดับต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระดับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันที่กำลังการผลิตน้ำที่สูง โดยมีการใช้งานร่วมกับหรือแทนที่ระบบแบบดั้งเดิม ส่วนแนวโน้มค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของการติดตั้งระบบ (ค่าชุดเยื่อกรอง อุปกรณ์ประกอบติดตั้ง และพื้นที่) พบว่า ตั้งแต่ปี ค.ศ.1990 จนถึงปัจจุบันค่าติดตั้งระบบลดลงกว่า 30 เท่าของราคาในอดีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาที่ก้าวหน้าไปมากของระบบเยื่อกรองที่มีแผ่นเยื่อกรองแบบต่อภายนอก (External system or Sidestream membrane system) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในภาคการใช้งานจริงและนักวิจัยแล้วว่ามีสมรรถนะและประสิทธิภาพที่มีความคุ้มค่าสำหรับการใช้งานระดับสเกลอุตสาหกรรม เนื่องจากส่วนค่าบำรุงรักษา (ค่าเปลี่ยนชุดเยื่อกรอง ค่าซ่อมแซมแผ่นเยื่อกรอง) และค่าเดินระบบฯ (ค่าไฟฟ้า สารเคมี แรงงาน) มีทิศทางที่ลดลงเช่นเดียวกันในระยะ 10 ปีที่ผ่านมาจนสามารถแข่งขันได้กับค่าดำเนินการทั้งหมดของระบบผลิตน้ำแบบดั้งเดิม อีกทั้งสามารถประกันความคงที่ของคุณภาพน้ำที่ผลิตได้แน่นอนมากกว่าระบบผลิตน้ำแบบดั้งเดิม [2, 3, 4 และ 5]

ระบบเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชันสามารถกำจัดเชื้อโรคสำคัญ เช่น ไวรัส กลุ่มโปรโตซัว และ แบคทีเรียได้ในระดับ 99.99% [4] อีกทั้งสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพพร้อมกับกระบวนการสร้าง-รวมตะกอน หรือ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในกรณีพบการปนเปื้อนมลสารพิษ (Micropollutants) ในน้ำดิบ [4] ซึ่งเป็นการช่วยลดการใช้สารเคมีและประกันคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับสูงหรือใช้ร่วมกับชุดเยื่อกรองในระดับที่สูงขึ้น เช่น นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) และ รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) เพื่อประกันคุณภาพน้ำให้ได้ตามวัตถุประสงค์เฉพาะของการใช้นั้นๆ [5] นอกจากนี้เทคโนโลยีเยื่อกรองในระดับที่สูงขึ้น เช่น นาโนฟิลเตรชันและรีเวอร์สออสโมซิสเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของระบบที่ใช้เพื่อการผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูงเพื่อกำจัดแยกอนุภาค สารละลายระดับอออนออกจากน้ำ เช่น การผลิตน้ำจืดจากน้ำเค็มสำหรับพื้นที่มีปัญหาขาดแคลนแหล่งน้ำจืด เป็นต้น หรือเพื่อกิจกรรมที่ใช้น้ำคุณภาพสูงในภาคชุมชนและอุตสาหกรรม ทั้งนี้สามารถแสดงรูปแบบการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเยื่อกรองได้

สำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเยื่อกรองระดับต่างๆ ในงานบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดขั้นที่สองกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ในกิจกรรมต่างๆ ตามระดับคุณภาพโดยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด ด้วยการใช้น้ำเยื่อกรองระดับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันสามารถกำจัดเชื้อโรคที่มากับน้ำทิ้งได้ การใช้เทคโนโลยีเยื่อกรองในระดับที่สูงขึ้นให้คุณภาพน้ำระดับดีมากเพื่อกิจกรรมต่างๆ เช่น ใช้เป็นน้ำขับเคลื่อนในสุญญากาศที่ติดตั้งในอาคาร ใช้เพื่อกิจกรรมด้านชลประทานและการเกษตรกรรม เนื่องจากธาตุอาหารเสริมสร้างที่คงเหลืออยู่ในน้ำทิ้ง (Irrigation agriculture and landscape) ใช้เติมกลับในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา ใช้เติมกลับลงในแหล่งน้ำ เช่น ทะเลสาบ บ่อน้ำ ใช้ในกิจกรรมทั่วไปของอุตสาหกรรม และเป็นน้ำเติมในแหล่งน้ำ เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจสำหรับน้ำที่ผ่านตามขั้นตอน A และ B (ดังภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 การบำบัดน้ำทิ้ง-ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อการนำกลับมาหมุนเวียนใหม่ ด้วยเทคโนโลยีเยื่อกรองระดับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน [2]

6. ฟาว์ลิงและการสะสมตัวของอนุภาคในระบบเยื่อกรองลักษณะพรุน (Fouling and particle deposition in porous membrane system)

การสะสมตัวของสารชนิดต่างๆ ที่อยู่ในรูปละลายน้ำหรือแขวนลอยในรูปอนุภาคขนาดต่างๆ บนผิวของเยื่อกรองซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการกักกันสารปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำป้อนระหว่างการเดินระบบเยื่อกรอง และ/หรือเกิดจากแรงกระทำระหว่างอนุภาค สารละลายกับวัสดุของแผ่นเยื่อกรอง ซึ่งสาเหตุดังกล่าวส่งผลให้ค่าความต้านทานเชิงกลศาสตร์ (Hydraulic resistance) ของของเหลวที่ผ่านผิวเยื่อกรองเพิ่มขึ้น และอัตราเร็วของค่าความต้านทานเชิงกลศาสตร์ดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างการเดินระบบฯ สำหรับวิธีการควบคุมและการพัฒนาในระดับขั้นที่สูงขึ้นของการป้องกันเพื่อจำกัด-ควบคุม ปัญหาดังกล่าว พบว่า เป็นข้อจำกัดสำคัญของเทคโนโลยีนี้ที่ต้องการงานวิจัยและการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของความต้านทานเชิงกลศาสตร์แสดงถึงการเกิดปรากฏการณ์ฟาว์ลิง (Fouling) ส่งผลให้สมรรถนะของระบบเยื่อกรองลดลง โดยสามารถทราบได้จากลักษณะที่ปรากฏ ได้แก่ การลดลงของค่าฟลักซ์ (Flux) ระหว่างการกรองเมื่อเดินระบบที่ความดันคงที่ (Pressure Constant) หรือ การเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของความดันส่งผ่านเยื่อกรอง (Transmembrane pressure) เมื่อเดินระบบกรองที่ค่าฟลักซ์คงที่ (Flux constant) เป็นต้น ทั้งนี้อัตราเร็วของการเกิดฟาว์ลิง และระดับของฟาว์ลิงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนั้น ขึ้นกับสถานะต่างๆ ในการเดินระบบ เช่น ชนิด/ประเภทของสารละลายอนุภาคในของเหลว ความเข้มข้นของสารแขวนลอยที่ต้องการแยกออก คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเยื่อกรองและองค์ประกอบอื่นๆ ในสารป้อน เป็นต้น [5]

ทั้งนี้ พอลจะสรุปสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานเชิงกลศาสตร์ผ่านแผ่นเยื่อกรองได้ดังนี้

- การเกิดขึ้นของชั้นความเข้มข้นของสารละลาย คอลลอยด์ อนุภาคต่างๆ ที่ทำให้เกิดลักษณะของการสะสมใกล้ผิวเยื่อกรอง และส่งผลให้เกิดการสะสมตัวเป็นชั้นเค้กบนผิวเยื่อกรองในเวลาต่อมา ผลจากปรากฏการณ์นี้ ทำให้ค่าความต้านทานเชิงกลศาสตร์ที่ผ่านเยื่อกรองมากขึ้น และมีความสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของชั้นสะสม เช่น หากชั้นความหนาที่เกิดจากการสะสมของคอลลอยด์ ที่มีขนาดเล็ก จะคงอยู่และติดแน่น หรือ อาจจะกลายเป็นชั้นที่พื้นสภาพได้ยากด้วยเทคนิคทางกลศาสตร์ทั่วไป

- การอุดตันหรือบล็อกเชิงกลที่รูของเยื่อกรองในระดับที่มากหรือน้อย ซึ่งจัดว่าเป็นลักษณะของฟาว์ลิงในรูปแบบที่พื้นสภาพได้ด้วยวิธีทางกลศาสตร์ เช่น การล้างย้อนด้วยน้ำ หรือ สารเคมี

- การเกิดแรงกระทำทางกายภาพ-เคมีของสารละลาย อนุภาคต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในรูกรองของเยื่อกรอง ซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบที่ไม่สามารถพื้นสภาพได้ด้วยวิธีทางกลศาสตร์และจำเป็นต้องทำการพื้นสภาพเยื่อกรองด้วยวิธีการใช้สารเคมีหรือความร้อนร่วมด้วยแล้วแต่กรณี ซึ่งมีความเฉพาะสำหรับแต่ละชนิดเยื่อกรองซึ่งผู้ผลิตจะมีคำแนะนำให้

ดังนั้น ในการที่จะรักษาระดับค่าการให้น้ำ ซึมผ่านเยื่อกรอง (Membrane Permeability) ให้คงที่อยู่ในระดับที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้กำลังผลิตน้ำที่สูงอย่างต่อเนื่องเป็นสิ่งที่จะต้องอย่างยั้งที่ต้องมีกลยุทธ์ทั้งเชิงป้องกันและพื้นสภาพขณะเดินระบบหรือหลังเดินระบบกรองได้แก่ ทำการพื้นสภาพเยื่อกรองเป็นระยะๆ หรือบ่อยครั้งเพื่อคงไว้ ซึ่งค่าความต้านทานเชิงกลศาสตร์ในระดับที่เหมาะสมสอดคล้องกับค่าใช้จ่ายและสัมพันธ์กับรูปแบบการเดินระบบนั้นๆ การล้างพื้นสภาพแผ่นเยื่อกรองบ่อยครั้ง และ/ หรือ ใช้หลายขั้นตอนในการพื้นสภาพจะส่งผลโดยตรงต่ออายุการใช้งานของเยื่อกรองที่จะสั้นลง [5] สำหรับระบบบำบัดน้ำ-ปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพื่อการอุปโภคและบริโภคด้วยระบบเยื่อกรองลักษณะพรุน พบว่า การสะสมตัวของอนุภาคบนผิวเยื่อกรองเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ค่าความต้านทานเชิงกลศาสตร์ของแผ่นเยื่อกรองเพิ่มขึ้นอย่างทันที หรือ ค่อยๆ เพิ่มขึ้นขณะเดินระบบฯ จากรายงานวิจัยต่างๆ ได้อธิบายและสรุปกลไกการเกิดขึ้นของอนุภาคบนผิวเยื่อกรองจนเป็นขั้นเค็กในระหว่างการกรอง ดังต่อไปนี้

- การเข้าไปแทนที่ของอนุภาคต่างๆ ที่มากับของเหลวซึ่งผ่านเยื่อกรองได้ หรือ การตกตะกอนของอนุภาคต่างๆ บนผิวเยื่อกรอง [3]

- การเกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นของสารต่างๆ ในน้ำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะทางไฮโดรไดนามิกส์และสภาวะทางกายภาพ-เคมีในน้ำ [6]

- ลักษณะต่างๆ ของอนุภาค ได้แก่ ขนาดของอนุภาค รูปร่างและสมบัติเฉพาะของผิวอนุภาค [5]

- การเกาะติดกันของอนุภาคเดิมกับอนุภาคใหม่ หรือ อนุภาคที่ค้างอยู่บนผิวเยื่อกรองภายหลังจากการพื้นสภาพแล้วมีอนุภาคใหม่ไปอุดตันที่ช่องว่างระหว่างสองอนุภาคที่ค้างบนผิวกรอง [3]

นอกจากนี้ พบว่า มีรายงานการศึกษาและผลการสังเกตปรากฏการณ์เริ่มต้นของการเกิดการสะสมของอนุภาคสารแขวนลอยชนิดเดียว สารแขวนลอยผสม และสารแขวนลอยที่มีองค์ประกอบซับซ้อน เช่น สารแขวนลอยของแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ระบบบำบัดน้ำเสีย [6] โดยกล่าวว่ามีความสัมพันธ์และเป็นผลของค่าฟลักซ์วิกฤต (Critical flux) ที่มีความสอดคล้องกับระดับของการสะสมอนุภาคบนผิวเยื่อกรอง [5] ทั้งนี้ค่าฟลักซ์วิกฤตขึ้นกับสภาวะต่างๆ ทางไฮโดรไดนามิกส์ที่มี

ผลทำให้เกิดแรงเฉือนบนผิวหน้าของเยื่อกรองระหว่างการเดินระบบเยื่อกรองและคุณลักษณะของสารแขวนลอยนั้นๆ ที่กรอง รวมถึงการออกแบบและจัดรูปแบบต่างๆของกระบวนการย่อยต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในระบบเยื่อกรอง จึงกล่าวว่ปัจจัยร่วมดังกล่าวรวมเรียกว่า สภาวะวิกฤต (Critical conditions) ที่ควบคุมได้ยากในการเดินระบบเยื่อกรองระดับสเกลอุตสาหกรรม

อีกลักษณะหนึ่งของปรากฏการณ์ฟาว์ลิง คือ การอุดตันภายในรูของเยื่อกรองที่สามารถพบได้ 2 ลักษณะ คือ การที่อนุภาคหรือโมเลกุลของสารนั้นๆ มีขนาดใกล้เคียงกับรูเยื่อกรองจึงปิดช่องรูกรองอย่างสมบูรณ์จนของเหลวไม่สามารถไหลผ่านได้ และ (2) อนุภาคหรือโมเลกุลขนาดเล็กกว่ารูกรองเข้าไปสะสมเพิ่มขึ้นจนปิดรูกรองในที่สุด [5] รายงานการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscope Scanning, EMS, [3]) พบการกระทำระหว่างขององค์ประกอบของสารต่างๆในของเหลวกับวัสดุเยื่อกรอง เช่น อนุภาคคอลลอยด์ที่ติดติดกับเยื่อกรอง การเกิดชั้นบางๆ บนผิวเยื่อกรองก็เป็นลักษณะฟาว์ลิงที่พบเช่นกัน [5] หรือ โมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matters, NOM) ในน้ำผิวดินหรือน้ำทิ้งที่ถูกดูดซับบนผิวภายในรูเยื่อกรองซึ่งเป็นลักษณะของฟาว์ลิงแบบที่ไม่สามารถฟื้นฟูสภาพของเยื่อกรองได้ด้วยวิธีการทางไฮโดรไดนามิกส์ (Irreversible hydrodynamic fouling) [6] อย่างไรก็ตามการป้องกัน และลดการเกิดฟาว์ลิงลักษณะดังที่กล่าวมานี้ทำได้ง่ายโดยการปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินหรือน้ำทิ้งเบื้องต้นก่อนเข้าสู่ระบบเยื่อกรอง เลือกใช้ชนิดและระดับรูของเยื่อกรอง (Pore size) หน้าตัดมวลโมเลกุล (Molecular weight cut off) ของเยื่อกรอง และปรับแต่งสภาพสารแขวนลอย (Conditioning suspensions) ก่อนเข้าสู่ระบบ [4] กลยุทธ์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำกัดและควบคุมฟาว์ลิง มีความจำเป็นต้องปรับให้เหมาะสมกับระบบเยื่อกรองประเภทต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังการผลิตคุ้มทุนกับค่าลงทุน และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ กลยุทธ์ดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประการหลักๆ คือ กลยุทธ์เชิงป้องกัน และกลยุทธ์ฟื้นฟูสภาพเยื่อกรอง [6] แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีป้องกัน (Prevention methods) แบ่งออกได้เป็น 2 แนวทาง คือ

แนวทางที่ 1: การล้างชุดเยื่อกรองด้วยเทคนิคไฮโดรไดนามิกส์กรณีถ้าโครงสร้างของการสะสมของอนุภาคต่างๆ ไม่อัดตัวกันแน่นกับวัสดุเยื่อกรอง ซึ่งฟาว์ลิงชนิดนี้สามารถควบคุมได้ง่ายด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

- การล้างย้อน (back washing) ซึ่งมักจะล้างย้อนเป็นช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อที่จะให้ค่าอัตราการกรองผ่านเยื่อกรองได้เท่ากับค่าเริ่มต้นก่อนการใช้งาน การล้างย้อนต้องให้มีความเหมาะสมความถี่ในการล้างย้อน และอัตราการใช้น้ำล้างย้อน/ความดันที่ใช้ ทั้งนี้จะต้องไม่ทำให้เยื่อกรองเสียหาย หรือ ฉีกขาด ขั้นตอนการล้างย้อนประกอบด้วย

- 1) การหยุดการกรองการหมุนเวียนล้างด้วยสารละลายที่กรอง [5]

- 2) ตามด้วยการหมุนเวียนล้างด้วยน้ำสะอาดหรือน้ำสะอาดที่เติมสารเคมีเพื่อช่วยลดฟาว์ลิง [4] วิธีการนี้จะมีปริมาณน้ำสูญเสียที่ใช้อยู่ระหว่าง 17-26 % ของปริมาณน้ำที่ผลิตได้ แต่สามารถลดความถี่ของการล้างย้อนหรือลดอัตราการไหลเข้าของน้ำที่ใช้ล้างย้อน เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำที่ผลิตได้สุทธิเพิ่มขึ้น [6]

- การทำให้เกิดความปั่นป่วนบริเวณผิวเยื่อกรองระหว่างการกรอง (Turbulence generated close to membrane surface) ความปั่นป่วนดังกล่าวทำให้เกิดแรงเฉือนชั้นอนุภาคสะสมที่ผิวเยื่อกรองให้ลดลง หรือป้องกันการสะสมชั้นอนุภาคระหว่างการกรอง (อาจใช้เทคนิคนี้

ร่วมกับการเดินระบบด้วยค่าฟลักซ์วิกฤต จะให้ประสิทธิภาพในการควบคุมฯ ดีขึ้น) วิธีการล้างย้อน เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันทั่วไปในการป้องกันการเกิดฟาว์ลิง และลดการเกิดฟาว์ลิงขณะทำการกรองแบบปิดตาย กึ่งปิดตาย (dead end and pseudo dead end) [5] และการกรองแบบไหลขวาง (cross flow) ที่เสียน้ำที่กรองได้ไปเพื่อใช้ล้างย้อนชุดเยื่อกรอง ดังนั้นในทุกกรณีของการใช้ระบบเยื่อกรองร่วมกับการใช้เทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์อย่างเหมาะสม สามารถช่วยลดความถี่ของการล้างด้วยสารเคมี และปริมาณน้ำกรองที่ต้องใช้สำหรับล้างย้อน [4] ประกอบกับการเลือกใช้ชนิดของวัสดุที่ขึ้นรูปเป็นเยื่อกรอง ขนาดรูกรอง และความพรุนของเยื่อกรองที่เหมาะสมกับชนิดสารแขวนลอยหรือสารละลายที่ต้องการแยก เป็นต้น

แนวทางที่ 2: การปรับแต่งสภาพสารแขวนลอย สารละลายก่อนเข้าสู่กระบวนการกรอง ซึ่งเป็นการบำบัดเบื้องต้น เช่น การกรอง-แยกด้วยตะแกรงหรือวัสดุกรองชนิดหยาบเพื่อลดการทำงานของระบบเยื่อกรองและยืดอายุการใช้งานของเยื่อกรองให้นานขึ้น [3] และ [4] การใช้กระบวนการสร้าง-รวมตะกอนของอนุภาคระดับคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดฟาว์ลิงแบบที่ไม่สามารถฟื้นฟูสภาพได้ด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์ (การดูดซับ-ดูดติดกับวัสดุของเยื่อกรอง และอุดตันภายในรูกรอง เป็นต้น) [4,5 และ 6] หรือ บางวิธีการที่เฉพาะสำหรับสารแขวนลอย สารละลายบางชนิด เช่น การเพิ่มอุณหภูมิ การปรับค่ากรด - ด่างให้อยู่ที่จุดที่มีประจุไฟฟ้าเท่ากันในสารละลาย ([6], [7]) การเคลือบผิวเยื่อกรองด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นสารกรองที่ไม่ยึดติดแน่นกับผิวเยื่อกรอง เช่น ดินไดอะตอม [5] และการใช้สารป้องกันการตกตะกอนผลึก หรือ การใช้สารป้องกันการเกิดฟาว์ลิง เช่น ฟอสเฟต หรือ โพลีเมอร์ประจุบวกที่ป้องกันการตกตะกอนผลึกของเกลือแคลเซียม เป็นต้น

วิธีการฟื้นฟูสภาพเยื่อกรอง (Curative methods)

เมื่อเกิดฟาว์ลิงอยู่ในขั้นวิกฤต และการล้างด้วยเทคนิคทางไฮโดรไดนามิกส์อย่างง่าย ๆ ไม่สามารถฟื้นฟูสภาพหรือทำให้เยื่อกรองมีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้เท่ากับค่าเริ่มต้นก่อนการใช้งาน (Initial permeability) แสดงว่าเป็นฟาว์ลิงแบบไม่สามารถฟื้นฟูสภาพได้ (irreversible fouling) และในทางปฏิบัติจำเป็นต้องฟื้นฟูสภาพด้วยสารเคมีซึ่งทั่วไปแล้วนิยมใช้สารเคมีดังต่อไปนี้

- สารเคมีที่มีสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์และเป็นสารฆ่าเชื้อโรค เช่น H_2O_2 , Cl_2 ,

NaOCl

- กรดแก่และกรดอ่อน เช่น H_3PO_4 , $C_6H_8O_7$ (citric acid)

- ด่าง เช่น NaOH, NH_4OH

- สารเคมีทำความสะอาด และ อนุพันธ์ของด่าง

- เอนไซม์เฉพาะ เช่น EDTA, etc....

การเลือกใช้สารเคมีชนิดต่างๆ มีความสัมพันธ์กับชนิดของฟาว์ลิงที่เกิดขึ้น และวัสดุที่ใช้ทำเยื่อกรอง โดยความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ล้างเยื่อกรองต้องเป็นไปตามวิธีการกำหนดของแต่ละชนิดเยื่อกรองที่สามารถทนต่อสารเคมี ความเข้มข้นที่ใช้ได้ไม่เท่ากันของแต่ละบริษัทผู้ผลิตเยื่อกรองนั้นๆ โดยทั่วไปพบว่า การล้างด้วยสารเคมีประเภทด่างมักจะทำได้รุนแรงสูงเพื่อกำจัดเอาพวกสารอินทรีย์ต่างๆ ให้หลุดออกได้ดี [6] ส่วนสารเคมีประเภทกรดมักจะกำจัดสารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์บางกลุ่มที่ผิวเยื่อกรองโดยการล้างมักเป็นแบบที่เยื่อกรองจุ่มแช่ในสารเคมีหรือสารเคมีเคลื่อนตัวผ่านเยื่อกรองได้ [3, 4]

7. ประโยชน์ของการเติมอากาศเพื่อเป็นตัวก่อเกิดความปั่นป่วน

(Interest of aeration as turbulence generator)

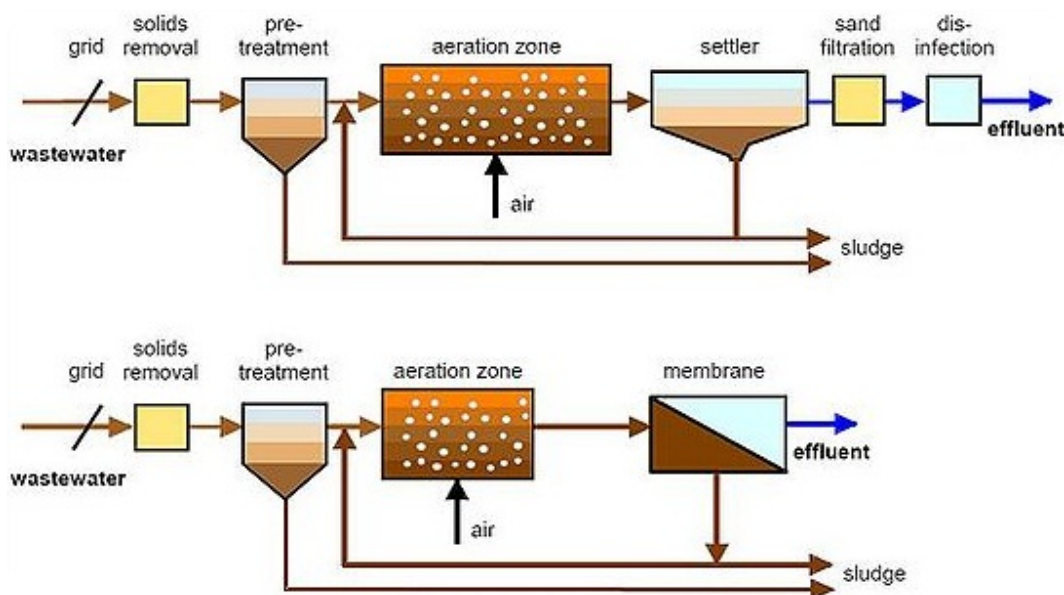
ระบบเยื่อกรองที่นิยมใช้งานสามารถแบ่งรูปแบบของการเดินระบบได้ ดังนี้

ระบบเยื่อกรองรุ่น 1: ระบบเยื่อกรองแบบชุดเยื่อกรองแยกส่วนออกจากสารแขวนลอยหรือสารละลาย (External loop) เพื่อใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำ - บำบัดน้ำภายใต้ลักษณะ การเดินระบบ 2 แบบ คือ

1) การกรองแบบปิดตาย (dead end filtration) ที่มีการล้างเยื่อกรองแบบเป็นช่วงๆ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้กรองสารแขวนลอยที่ความเข้มข้นต่ำ

2) การกรองแบบไหลขวาง (cross flow filtration) ซึ่งเหมาะสำหรับกรองสารแขวนลอยที่เข้มข้น พร้อมระบบหมุนเวียนสารแขวนลอยเพื่อลดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเยื่อกรองด้วยแรงเฉือนของของเหลวที่หมุนเวียนในระบบ

ระบบเยื่อกรองรุ่น 2: ระบบเยื่อกรองที่มีการพ่นอากาศซึ่งเป็นตัวก่อให้เกิดความปั่นป่วนหรือขั้นตอนการล้างระบบกรองในชั้นทราย-วัสดุแบบดั้งเดิมที่มีการเติมอากาศผสมกับน้ำเพื่อให้เกิดความปั่นป่วนมากๆ ในขณะที่พลังงานที่ใช้ต่ำ สำหรับระบบเยื่อกรองที่พัฒนาขึ้นโดยการเติมอากาศโดยตรงที่ชุดเยื่อกรอง ซึ่งจมตัวอยู่ในสารแขวนลอยหรือสารละลายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดพลังงานในการเดินระบบขณะกรอง ควบคุมและลดการเกิดฟาว์ลิงจากอนุภาคสะสมบนผิวเยื่อกรอง ภาพที่ 2.5 แสดงตัวอย่างของรูปแบบระบบชุดเยื่อกรองด้านข้างไหลตามขวาง



ภาพที่ 2.5 ระบบเยื่อกรองที่มีแผ่นเยื่อกรองไหลขวางด้านข้าง [8]

เยื่อกรองของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบไหลตามขวางด้านข้าง องค์ประกอบการกรองจะถูกติดตั้งภายนอกแทนถังตกตะกอนครั้งที่สองหรือถังน้ำใส เครื่องปฏิกรณ์ที่มักจะมีอยู่ในถังชีวภาพจะถูกสูบโดยตรงผ่านโมดูลเยื่อกรองในอนุกรมและคืนกลับมาที่เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพหรือชีวมวลจะถูกสูบไปยังโมดูลจากปั๊มที่สองไหลเวียนชีวมวลผ่านโมดูลในอนุกรม ทำความสะอาดและแช่เยื่อที่สามารถดำเนินการในสถานที่ที่มีการใช้ในการทำความสะอาดถึงที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำและท่อ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัจสร กัญจนะ [10] ได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์และกำหนดสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมของแบบคทีเรียชนิดเส้นใยในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีแผ่นกรองจมตัว การทดลองเป็นระบบจำลองในห้องปฏิบัติการ โดยป้อนน้ำเสียจากโรงงานกระดาษ ผลการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการบำบัดมีอัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหน่วยน้ำหนักจุลินทรีย์เท่ากับ 1.21 กิโลกรัมบีโอดีต่อกิโลกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์เมื่อการสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราสูงสุด เท่ากับ 5.45 มิลลิกรัมบีโอดีต่อลิตร อัตราการเพิ่มของจุลินทรีย์ เท่ากับ 0.38 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อมิลลิกรัมบีโอดี อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดสุทธิของจุลินทรีย์เท่ากับ 0.46 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นสูงสุดต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน และอัตราการตายของจุลินทรีย์ เท่ากับ 0.17 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวันที่ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีสูงสุด ร้อยละ 95.3 ควบคุมการเดินระบบที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์เท่ากับ 0.1 กิโลกรัมบีโอดีต่อกิโลกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 3.38 วัน และระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 16 ชั่วโมง การเกิดตะกอนลอยมีแนวโน้มลดลงชัดเจนเมื่อควบคุมการเดินระบบที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์มากกว่า 0.5 ต่อวัน โดยใช้ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง การกรองด้วยแผ่นกรองไนลอนขนาดรูพรุน 20 ไมครอน สามารถกักจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้ และมีปริมาณของแข็งแขวนลอยออกจากระบบไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเดินระบบกรองที่ความดันผ่านแผ่นกรองคงที่ -7 กิโลพาสคาล ค่าฟลักซ์แท้จริงไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นของตะกอนเท่ากับหรือมากกว่า 12,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าฟลักซ์จำเพาะเท่ากับ 431 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงต่อบาร์

พัฒพงษ์ ตีษรา [11] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูงโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรนขนาดรูพรุน 0.5 ไมครอน โดยควบคุมการบำบัดที่ระยะเวลา 2 วัน 1 วัน และ 0.63 วัน อัตราการบำบัด 10 20 และ 32 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ และอัตราการระบรทุกอินทรีย์ 1.33 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน 2.62 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และ 4.14 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีเท่ากับ 99.79% 99.61% และ 99.54% ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี เท่ากับ 98.54% 93.49% และ 94.10 % ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยเท่ากับ 98.88% 98.24% และ 98.36% และประสิทธิภาพการบำบัดค่าที่เคเอ็น เท่ากับ 91.20% 75.13% และ 74.47% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบ MBR สามารถนำมาบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงใช้ได้ผลดีแต่ระยะเวลากักเก็บต่ำ (0.63 วัน) ให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำ

พัฒนา ปัญญาชาติรักษ์ [12] ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเกรอะด้วยการรวมตะกอนในเส้นทอร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (In-line Flocculation) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเกรอะ (Septic Tank) เพื่อปรับปรุงการทำงานของระบบ รวมถึงการลดอัตราการเกิดการอุดตันบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของเยื่อกรอง ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นอยู่ระหว่าง 37% ถึง 90% การกำจัดซีโอดีทั้งหมด 29% ถึง 78% และการกำจัดซีโอดีละลาย 2% ถึง 72% โดยได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกวนผสมในเส้นทอที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารรวมตะกอน แบ่งออกเป็นสามสถานะความเข้มข้นประกอบด้วย สถานะที่หนึ่ง ไม่มีการเติมสารรวมตะกอน สถานะที่สองที่ความเข้มข้น 0.1 mg/l และสถานะที่สาม ที่ความเข้มข้น 2 mg/l โดยระบบรวมทำงานที่เวลากักน้ำ (HRT) 6 ชั่วโมง และอายุสลัดจ์ที่ (SRT) 20 วัน