

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการเดินระบบเมมเบรนและ
โฟโตคะตะไลติกเมมเบรนเพื่อบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล

The Study of the Optimum Contact Time of Membrane and Membrane
Photo Catalytic Reactor for Hospital Wastewater Treatment

วัสสา คงนคร^{1*}
อมรรัตน์ หวลกะสิน¹
ปรียา หละดำ¹
ศศิวิมล สมณกิจ¹
มณฑนา บริพันธ์²

¹*ภาควิชา วิชา ศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ยสงขลานครินทร์

²สถานวิ จัย วิทยา ศาสตร์ และเทคโนโลยี เมมเบรน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ยสงขลานครินทร์

*Corresponding Author. Email : Watsa.k@psu.ac.th

(Received: August 16, 2018; Revised: September 28, 2018; Accepted: October 12, 2018)

บทคัดย่อ : บทความนี้เป็นการศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของระบบเมมเบรนและระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ โดยทำการผลิตเมมเบรนเซรามิกส์และเมมเบรนโฟโตคะตะไลติกที่ใช้เมมเบรนเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์และทำงานร่วมกับแสงยูวีในการฆ่าเชื้อโรค ซึ่งระบบเมมเบรนกรองเป็นแบบ Outside-in โดยใช้อัตราการไหลที่ศึกษาแตกต่างกัน คือ 38 60 และ 120 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ และระยะเวลาสัมผัสเป็น 1.25 2.6 และ 5.3 นาที ตามลำดับ พบว่า ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อการบำบัด คือ 1.25 นาที ที่อัตราการไหล 120 มิลลิลิตรต่อนาที โดยมีค่าฟลักซ์เป็น 198 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของระบบบ่อเติมอากาศ ระบบเมมเบรนและระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน คิดเป็นร้อยละ 78.13 79.69 และ 94.14 ตามลำดับ และไม่พบโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มทั้งหมดในระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนเนื่องจากกลไกการแตกตัวของไฮดรอกซิลเรดิคัลทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และจุลินทรีย์โดยตรงโดยมีแสงยูวีเป็นตัวร่วมในปฏิกิริยา จึงทำให้มีค่าซีโอดีต่ำสุดและไม่พบเชื้อโรค

คำสำคัญ: เมมเบรน โฟโตคะตะไลติกเมมเบรน น้ำเสียโรงพยาบาล ประสิทธิภาพของระบบ

Abstract : This article is to study the optimum contact time of membrane and photocatalytic membrane reactor (PMRs) systems for hospital wastewater treatment. The wastewater is collected from Songklanagarind Hospital. The ceramic membrane and photocatalytic membrane by titanium dioxide are prepared. Membrane reactor system used ceramic membrane with UV light to treatment. The PMRs used the membrane coating with titanium dioxide combined with UV light. The filtration system was outside-in mode. The different flow rates of 38, 60 and 120 ml per minute, respectively. The contact time was 5.3, 2.6 and 1.25 minutes, respectively. The study found that the optimal contact time was 1.25 minutes at 120 ml per minute and flux obtained about 198 LMH. COD removal efficiency of the aerated lagoon, membrane and PMRs systems were 78.13%, 79.69% and 94.14%, respectively. Total coliforms and faecal coliforms were not found in the PMRs. This is due to the hydroxyl radical breakdown mechanism, which reacts directly by UV light with organic matter and microorganisms.

Keywords: Membrane, Photocatalytic Membrane, Hospital Wastewater, Performance Efficiency

1. บทนำ

ปัจจุบันการเข้าถึงการรักษาพยาบาลเพิ่มสูงขึ้น วิวัฒนาการทางการแพทย์เพิ่มสูงขึ้นเพื่อรองรับการพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามในกิจกรรมการให้บริการทางการแพทย์ย่อมก่อให้เกิดของเสียเกิดขึ้นโดยน้ำเสียเป็นกลุ่มหลักของโรงพยาบาล ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการจัดที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดเพียง ร้อยละ 72.8 และไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ร้อยละ 22 ซึ่งคิดเป็นการบำบัดด้วยระบบแบบคลองวนเวียน บ่อฝังถังกรองไร้อากาศ ระบบตะกอนเร่งและระบบบ่อเติมอากาศ คิดเป็น ร้อยละ 55.7 26.3 11.7 5.3 และ 1 ตามลำดับ [1] ซึ่งการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลนิยมใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค เนื่องจากคลอรีนสามารถทำลายเชื้อโรคได้มากถึง 99% แต่เป็นที่ทราบกันดีว่า คลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ ทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั่วไป [2] นอกจากนี้คลอรีนยังเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและมีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้หลายประเทศเริ่มมีการศึกษาหาทางเลือกใหม่ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลที่มีประสิทธิภาพดีกว่าและมีอันตรายน้อย

กว่า เช่น การใช้โอโซน การใช้แสงยูวี การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การใช้เทคโนโลยีการดูดซับ การใช้โอโซน เป็นต้น [3-5] ในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา งานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีนาโนวัสดุได้มีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อม ซึ่งในที่นี้ได้นำเทคโนโลยีเมมเบรนร่วมกับยูวีและเมมเบรนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีวัสดุนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการเดินระบบและศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และการฆ่าเชื้อโรค เพื่อให้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการนำเทคโนโลยีเมมเบรนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลต่อไป

2. ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม

2.1 น้ำเสียจากโรงพยาบาล

น้ำเสียจากโรงพยาบาลส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการรักษาผู้ป่วยและกิจกรรมสนับสนุนการให้บริการต่างๆ ภายในโรงพยาบาล ปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำเสียเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสีย ดังนี้

2.1.1 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ปริมาณน้ำเสียในโรงพยาบาลมีความสำคัญต่อการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียและการพิจารณากระบวนการระบายน้ำเสียซึ่งแบ่งได้ 2 แบบ ได้แก่ แบบระบบท่อแยก และแบบการระบายน้ำเสียรวมกับน้ำฝน โดยปัจจุบันโรงพยาบาลที่ศึกษาในที่นี้เป็นระบบท่อแยก

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นอยู่กับขนาดของโรงพยาบาล คือ จำนวนเตียงและจำนวนผู้รับบริการ โดยทั่วไปโรงพยาบาลมีน้ำเสียเฉลี่ย 800 ลิตรต่อเตียงต่อวัน [6] 660-1,500 ลิตรต่อเตียงต่อวัน [7]

2.1.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย

ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่เกิดจากโรงพยาบาลจะมีลักษณะสมบัติคล้ายกับน้ำเสียที่เกิดจากชุมชนในลักษณะคุณสมบัติกายภาพและเคมี แต่จะมีลักษณะพิเศษที่สำคัญ คือ สารเคมี และส่วนประกอบของกลุ่มยา กลุ่มฮอร์โมน และเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคที่สูงกว่าน้ำเสียชุมชน โดยทั่วไปเชื้อก่อโรคที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจะถูกกำจัดออกจากน้ำเสียด้วยระบบบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ 2 ประการ [8] ได้แก่

(1) การกำจัดเชื้อก่อโรคด้วยการบำบัดน้ำเสียโดยตรง เช่น ถังแบบแอนแอโรบิก สามารถลดปริมาณเชื้อก่อโรคโดยการตกตะกอน และการฆ่าเชื้อโรคลดปริมาณพยาธิได้ร้อยละ 70 ถึงเต็มอากาศสามารถลดเชื้อก่อโรคโดยวิธีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและแสงแดด เป็นต้น ถึงตกตะกอน สามารถกำจัดเชื้อก่อโรคจะเกิดจากการตกตะกอนพร้อมกับของแข็งในถัง โดยปริมาณและประสิทธิภาพการกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำเสียของระบบบำบัด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณและประสิทธิภาพการกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำเสียของระบบบำบัดทั่วไป [9]

พารามิเตอร์	ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำเสีย		การกำจัด	
	ต่ำสุด	สูงสุด	การบำบัดขั้นต้น	การบำบัดขั้นที่ 2
	(MPN/100 mL)	(MPN/100 mL)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)
โคลิฟอร์มทั้งหมด	1×10^6	4.9×10^7	< 10	90 – 99
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	3.4×10^5	4.5×10^6	35	90 – 99

(2) การกำจัดเชื้อก่อโรคที่หลงเหลือจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยตรงด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อก่อโรคในขั้นตอนสุดท้ายก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น การใช้คลอรีน ยูวี และโอโซน [7] เป็นต้น

ซึ่งการใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อโรคได้มีการศึกษาเพิ่มขึ้น [10, 11] แต่ด้วยระบบมีราคาแพง โดย Ferret et al. [10] ประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วยการทำนายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบโอโซนในการทำลายเชื้อโรคจากโรงพยาบาล พบว่าราคาที่เหมาะสมอยู่ที่ 3.2 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งถือว่าสูงเมื่อเทียบกับการศึกษาโดยหน่วยงานวิจัยพลังงานและพัฒนาแห่งรัฐนิวยอร์ก [12] ที่ประเมินราคาค่าใช้จ่ายในการฆ่าเชื้อโรคของการใช้สารคลอรีนและยูวีอยู่ที่ 0.41 และ 0.52 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

2.2 กระบวนการเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรนเป็นการกรองผ่านเยื่อแผ่นโดยอาศัยแรงดันขับเคลื่อน ซึ่งมีหลายขนาดแบ่งตามประเภทของรูพรุนและแรงดันขับเคลื่อน เช่น ไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน เป็นต้น โดยในที่นี้ใช้ระบบไมโครฟิลเตรชัน

2.2.1 ไมโครฟิลเตรชัน

เป็นกระบวนการที่อาศัยแรงขับเคลื่อน เพื่อแยกอนุภาคขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าไมครอน เมมเบรนแบบนี้สามารถกักอนุภาคแขวนลอยและจุลชีพได้ โดยมีขนาด

ช่องว่าง (Pore size) ประมาณ 0.03 – 10 ไมครอน ค่า MWCO (Molecular weight cut off) มากกว่า 100,000 ดาลตัน ใช้ความดันต่ำประมาณ 100 – 400 KPa (15 – 60 psi) โดยประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย [13]

2.2.2 ระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน

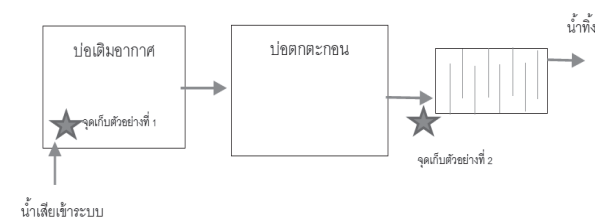
เป็นวิธีใหม่ที่ได้รับความสนใจในระดับอุตสาหกรรมเป็นวงกว้าง โดยกระบวนการเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสและกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน ซึ่งกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสเป็นกระบวนการดูดซับโฟตอน (hv) ที่มีพลังงานมากกว่าแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำประกอบด้วย ระดับพลังงาน 2 ระดับ คือแถบวาเลนซ์ (Valence band) และแถบคอนดักชัน (Conduction band) โดยมีการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรเจนและอิเล็กตรอนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งพบว่าการใช้เครื่องปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิสแบบเมมเบรนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียได้อีกด้วย [14, 15]

3. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

3.1 การเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียเพื่อศึกษาลักษณะสมบัติน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

3.1.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

เก็บน้ำตัวอย่างแบบจ้วงที่จุดปลายท่อน้ำเสียเข้าระบบ และจุดน้ำทิ้งที่ผ่านระบบเติมคลอรีนของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ดังภาพที่ 1 โดยระบบบำบัดน้ำเสียเป็นแบบระบบบ่อเติมอากาศตามด้วยบ่อตกตะกอนและบ่อเติมคลอรีน ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดปริมาตรและระยะเวลากักพัก ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 1 จุดเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ขนาดและปริมาตรของระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละหน่วยปฏิบัติการ

หน่วยปฏิบัติการ	ขนาด (กxยxล)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	ระยะเวลากักพัก (วัน)
บ่อเติมอากาศ	60x116x3.5	24,360	12.8
บ่อตกตะกอน	60x85x2.0	10,200	5.4
บ่อเติมคลอรีน	4x6x1.5	36	0.02

3.1.2 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ ดังนี้ คือ ค่าพีเอช ค่าตะกอนแขวนลอย ค่าความขุ่น ค่าความสกปรกของสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี โคลิฟอร์มทั้งหมด และพีคัลโคลิฟอร์ม ตามลำดับ โดยวิธีวิเคราะห์ลักษณะตัวอย่างน้ำเสียเป็นไปตามวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย [16] ตามข้อกำหนดของค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด [17]

3.2 การเตรียมระบบเมมเบรนและโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนและการวิเคราะห์โครงสร้างสัณฐานวิทยา

เมมเบรนเซรามิกระดับไมโครฟิลเตรชันถูกเตรียมด้วยโซลูชันผสมร่วมกับเบนโทไนท์ที่อัตราส่วนร้อยละ 93 ต่อ 7 โดยน้ำหนัก แล้วบดวัตถุดิบให้ละเอียดโดยใช้หลักการหมุนของหม้อบดเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง แล้วผสมเป็นสารละลายใส่ในเบ้าหลอมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความยาว 250 มิลลิเมตร และความหนา 5 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างเซรามิกเมมเบรนไปอบแห้งด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 110°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการเผานิกที่อุณหภูมิ 1,100°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 4 °C ต่อนาที [18]

การเตรียมระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน โดยนำเมมเบรนที่ได้จากการเตรียมข้างต้นมาปิดผิวภายนอกเมมเบรนด้วยพาราฟิล์มแล้วเทสารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในเมมเบรน 30 วินาที แล้วเทออกจำนวน

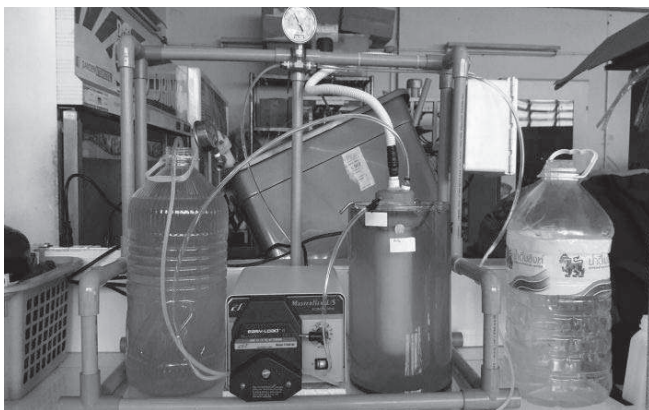
10 รอบ นำไปอบที่ 80°C เป็นเวลา 5 นาที ทำซ้ำ 10 รอบ เมื่อครบ 10 รอบ นำไปอบที่ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาที่ 600°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง [19] แล้วติดตั้งหลอดไฟอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ใช้บรรจุในเมมเบรนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียของทั้งสองระบบ

การวิเคราะห์โครงสร้างสัณฐานวิทยานำตัวอย่างของเซรามิกเมมเบรนที่เคลือบและไม่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์วิเคราะห์ด้วยด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM, WEGA/TESCAN)

3.3 การเดินระบบเมมเบรนและโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน

3.3.1 การหาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

ระบบเมมเบรนและโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนป้อนตัวอย่างน้ำเสียด้วยเครื่องสูบน้ำแบบปั๊มรีดสายยางด้วยอัตราการไหล 38 60 และ 120 มิลลิลิตรต่อนาทีตามลำดับ โดยการทำปฏิกิริยาจะเกิดภายในเมมเบรนเพื่อควบคุมให้ระยะเวลาสัมผัสในการฆ่าเชื้อโรคด้วยหลอดไฟอัลตราไวโอเล็ต อยู่ที่ 5.3 2.6 และ 1.25 นาที ตามลำดับ โดยเมมเบรนจะถูกบรรจุในถังปฏิกรณ์ขนาด 8 ลิตร แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนและโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน

3.3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยระบบเมมเบรนและโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน

เป็นการนำตัวอย่างน้ำเสียจาก 2 จุด คือน้ำเสียที่เข้าระบบ และน้ำเสียก่อนเข้าบ่อเติมคลอรีนเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และการฆ่าเชื้อโรคด้วยระบบเมมเบรนร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ตและโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน ตามลำดับ

3.3.3 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง

การเดินระบบทุกระบบที่ดำเนินการทดลองจะเก็บตัวอย่างที่น้ำปลายท่อเพอมีเอทที่ผ่านการบำบัดตามเวลา ดังนี้คือ ช่วงเวลาที่ 0 1 3 5 15 30 45 และ 60 นาที ตามลำดับ เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางเคมี คือ ค่าพีเอช ค่าตะกอนแขวนลอย ค่าความขุ่น ค่าความสกปรกของสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี ตามลำดับ และตัวอย่างที่เวลา 0 1 5 และ 60 นาที วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางชีวภาพ คือ โคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์ม ตามลำดับ

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

โรงพยาบาลสงขลานครินทร์เป็นโรงพยาบาลขนาด 853 เตียง มีระบบท่อบรรวมน้ำเสียเป็นแบบระบบท่อแยก มีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นเป็น 1,600 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นอัตราการผลิตน้ำเสียอยู่ที่ 1.88 ลิตรต่อเตียงต่อวัน โดยสูงกว่าค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปเนื่องจากเป็นโรงพยาบาลรักษาผู้ป่วยระดับตติยภูมิที่มีจำนวนผู้ป่วยนอกค่อนข้างสูง ซึ่งลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดแสดงดังตารางที่ 2 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ร้อยละ 46.08 และประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยและความขุ่นอยู่ที่ร้อยละ 76.9 และ 81.3 ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำถึงแม้ว่าน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าต่ำกว่าความสามารถรองรับ

น้ำเสียที่อยู่ 1,905 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน [20] นั้น แต่พบว่าระยะเวลาพักในบ่อบำบัดก่อนหน้านี้ต่ำกว่าช่วงค่าที่กำหนด คือ น้อยกว่า 10 วัน ทำให้ความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำเนื่องจากระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่มีความหนืดสูงหรือย่อยสลายได้ยากซึ่งมักปนเปื้อนในน้ำเสียโรงพยาบาล [11] ค่าโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟิโคลิฟอร์มถึงแม้ไม่มีมาตรฐานกำหนดแต่ไม่ควรตรวจพบค่าดังกล่าว

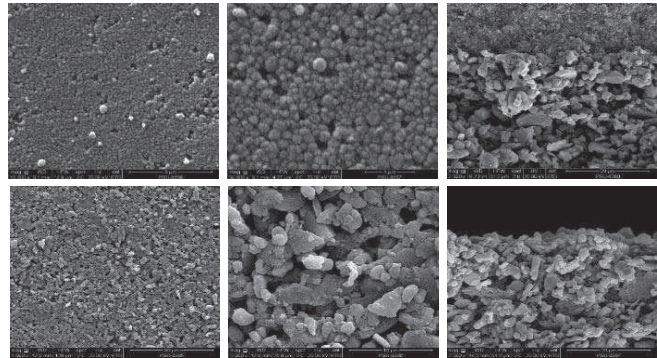
ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล สงขลาครินทร์

พารามิเตอร์	น้ำเสีย ก่อนเข้า ระบบ	น้ำทิ้ง หลังออก ระบบ	ประสิทธิภาพ ระบบ (%)	ค่ามาตรฐาน
pH	6.78	6.93	-	5-9
SS (mg/L)	117	27	76.92	ไม่เกิน 30
COD (mg/L)	173.6	93.6	46.08	ไม่กำหนด
Turbidity (NTU)	107	20	81.31	ไม่กำหนด
TCB (MPN/100mL)	1.6×10^7	27	99.99	ไม่กำหนด
FCB (MPN/100 mL)	1.6×10^7	22	99.99	ไม่กำหนด

4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเมมเบรน

ภาพถ่ายโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเมมเบรนแบบเคลือบและไม่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์บนผิวเมมเบรนแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งพบความหนาของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเป็น 9.5 ไมโครเมตรที่แยกเห็นชั้นชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hamid et al. [21] ที่มีความหนาของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเป็น 6 ไมโครเมตร ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีผลต่อค่าฟลักซ์ของระบบอีกทั้งปริมาณ ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สูงขึ้นทำให้เกิด

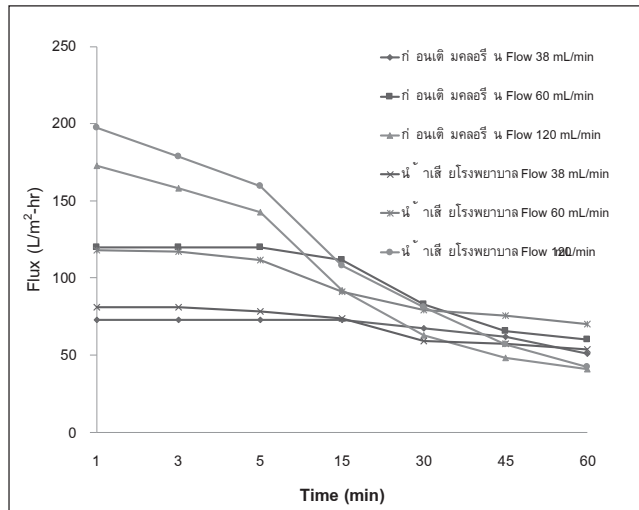
ปฏิกิริยาโฟโตคะตาไลติกได้ดีมากขึ้นและเพิ่มบทบาทในการย่อย (Catalytic Activity) สูงขึ้น ทำให้สามารถทำลายสารอินทรีย์และฆ่าเชื้อโรคได้ดียิ่งขึ้น



ภาพที่ 3 ภาพถ่ายโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเมมเบรนแบบเคลือบและไม่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์บนผิวเมมเบรน

4.3 การหาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

การเดินระบบ จากภาพที่ 4 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบและน้ำเสียที่ผ่านระบบก่อนเติมคลอรีนให้ค่าฟลักซ์ที่สูงสุดที่อัตราการไหลที่ 120 มิลลิลิตรต่อนาที เป็น 198 และ 175 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งค่าฟลักซ์จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาอันเกิดจากการอุดตันที่ผิว [14] โดยจากกราฟสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมอยู่ที่ 1.25 นาที อัตราการไหลที่ 120 มิลลิลิตรต่อนาที และเวลาที่เหมาะสมในการเดินระบบควรอยู่ที่ 15 นาที

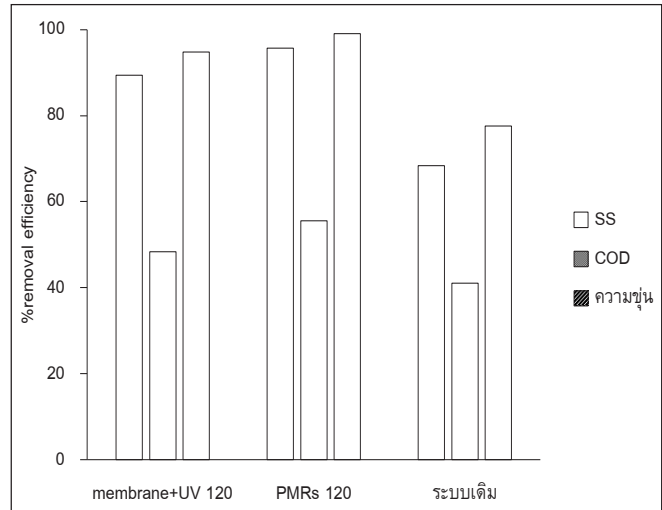


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่าฟลักซ์ต่อเวลาของน้ำเสียก่อนและหลังบำบัด ที่อัตราการไหล 38 60 และ 120 มิลลิลิตร ต่อนาที ตามลำดับ

4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลด้วย

ระบบเมมเบรนและระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน

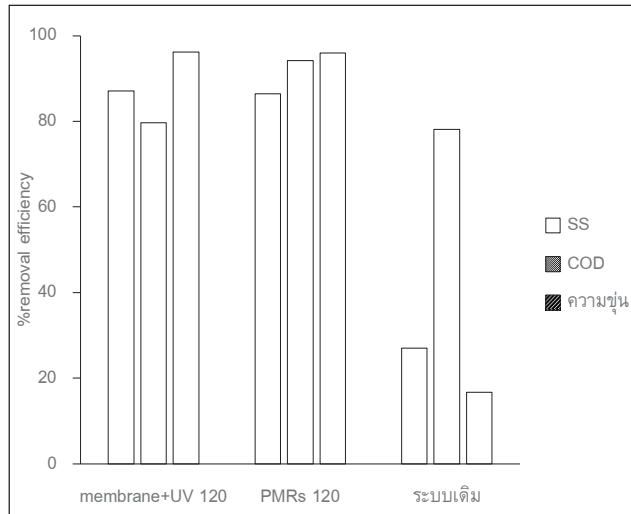
การศึกษาประสิทธิภาพของระบบเมมเบรนและระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน ดังภาพที่ 5 โดยพบว่าระบบเมมเบรนสามารถกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย ค่าซีโอดีและค่าความขุ่นได้ร้อยละ 89.42 48.39 และ 94.83 ตามลำดับ โดยระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าระบบเมมเบรน ซึ่งสามารถกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย ค่าซีโอดีและค่าความขุ่นได้ร้อยละ 95.73 55.53 และ 99.08 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย ค่าซีโอดีและค่าความขุ่นของน้ำเสียระบบเมมเบรน ระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนและระบบเดิมของน้ำเสียโรงพยาบาล

4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งก่อนการเติมคลอรีนด้วยระบบเมมเบรนและระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบเมมเบรนและระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนในการบำบัดน้ำทิ้งก่อนเติมคลอรีน ดังภาพที่ 6 โดยพบว่า ระบบเมมเบรนสามารถกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย ค่าซีโอดีและค่าความขุ่นได้ร้อยละ 87.14 79.69 และ 96.21 ตามลำดับ โดยระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า ซึ่งสามารถกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย ค่าซีโอดีและค่าความขุ่นได้ร้อยละ 86.49 94.14 และ 96.92 ตามลำดับ โดยค่าซีโอดีที่ผ่านระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนนั้นยังมีค่าที่ 96.5 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดค่าแข็งแขวนลอย ค่าซีโอดีและค่าความขุ่นของน้ำทิ้งระบบเมมเบรน ระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนและระบบเดิมของน้ำทิ้งก่อนเติมคลอรีน

จากข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและน้ำทิ้งด้วยระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนจะให้ประสิทธิภาพดีกว่าระบบเมมเบรนเนื่องจากกลไกการเกิดโฟโตคะตะไลติกโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยพลังงานที่สูงกว่า 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ จะทำให้อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์กระโดดขึ้นไปอยู่ที่แถบคอนดักชัน ทำให้เกิดช่องว่าง (hole, h^+) ขึ้นที่แถบวาเลนซ์และเกิดอิเล็กตรอน (e^-) ขึ้นที่แถบคอนดักชัน โดยช่องว่างจะรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล ($\bullet OH$) และอิเล็กตรอนจะจับกับออกซิเจนกลายเป็นซูเปอร์ออกไซด์แรดิคัล ($^{\circ}O_2^-$) ซึ่งทั้งสองตัวเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ในรูปของค่าซีโอดี ความขุ่นและของแข็งแขวนลอย [22, 23] อีกทั้งยังพบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำทิ้งที่ดีกว่าการบำบัดน้ำเสียโดยตรงนั้นสามารถยืนยันถึงค่าของแข็งแขวนลอยที่เข้าระบบมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ [14,15]

4.6 ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของระบบ

ในการฆ่าเชื้อโรคของระบบเมมเบรน ระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนพบว่า สามารถตรวจพบค่าโคลิฟอร์มทั้งหมดในระบบเมมเบรนร่วมกับการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีมีค่าเป็น 8 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร และไม่พบฟีคัลโคลิฟอร์ม โดยระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนไม่ตรวจพบค่าโคลิฟอร์มทั้งหมดและ ฟีคัลโคลิฟอร์ม ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการฆ่าเชื้อของระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนที่สูงกว่าระบบเมมเบรนร่วมกับรังสียูวี ทั้งนี้เพราะจากกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสทำให้เกิดซูเปอร์ออกไซด์และไฮดรอกซิลขึ้น ซึ่งโมเลกุลทั้งสองนี้มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้ว่องไวจะเข้าปฏิกิริยากับผนังเซลล์แบคทีเรีย เริ่มจากทำลายชั้น Outer Membrane จากนั้นจะซึมผ่านส่วน Peptidoglycan และสุดท้ายจะทำลายชั้น Cytoplasmic Membrane ที่ทำหน้าที่ห่อหุ้ม Cytoplasm เมื่อไม่มีสิ่งใดห่อหุ้ม Cytoplasm เซลล์ของแบคทีเรียจึงแตกเป็นผลให้เซลล์แบคทีเรียตาย และจากผลของการทำปฏิกิริยาจากการย่อย Outer Membrane และ Cytoplasmic Membrane ทำให้ได้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา [5, 15, 24]

5. สรุปผล

จากการศึกษาโดยนำระบบเมมเบรนและระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ โดยทำการเปรียบเทียบระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับระบบเมมเบรนและระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรน พบว่า ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมอยู่ที่ 1.25 นาที อัตราการไหลที่ 120 มิลลิลิตรต่อนาที มีค่าเหมาะสมและประสิทธิภาพของระบบระบบโฟโตคะตะไลติกเมมเบรนสูงกว่าระบบเมมเบรนร่วมกับรังสียูวี ทั้งในส่วนของการบำบัดทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ทั้งนี้พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของทั้งสองระบบ เพราะเมื่อน้ำขุ่นก็จะทำให้แสงส่องผ่านได้ไม่ดี ส่งผลต่อประสิทธิภาพใน

การฆ่าเชื้อโรคด้วยแต่ก็ยังถือว่ามีประสิทธิภาพดีเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานและระบบบำบัดแบบเดิม อย่างไรก็ตามควรมีการพัฒนาาระบบที่สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยเบื้องต้น รวมถึงการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วยเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้และขอขอบคุณสถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. บรรณานุกรม

- (1) สมชาย สกลอิสรียากรณ์, 2540. การพัฒนารูปแบบการกำจัดน้ำเสียในโรงพยาบาลของกระทรวงสาธารณสุข. วารสารการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 20, ฉบับที่ 3 หน้า 65-74.
- (2) Ferlay, J., Soerjomataram, I., Ervik, M., Dikshit, R., Eser, S., and Mathers, C., 2013. Cancer Incidence and Mortality Worldwide: IARC Cancer Base No. 11.
- (3) Álvarez-Torrellas S., Peres, J.A., Gil-Ilvarez, V., Ovejero, G., and, J. García., 2017. Effective adsorption of non-biodegradable pharmaceuticals from hospital wastewater with different carbon materials. Chemical Engineering Journal, 320: 319-329.
- (4) Petri, A., Sergei, P., Timo, V., Mänttäri M., Kallioinen, M., and Marjatta, L.- K., 2018. Hospital wastewater treatment with pilot-scale pulsed corona discharge for removal of pharmaceutical residues. Journal of Environmental Chemical Engineering, 6: 1569 -1577.
- (5) Arslan, A., Veli, S., and Bingöl, D., 2014. Use of response surface methodology for pretreatment of hospital wastewater by O₃/UV and O₃/UV/H₂O₂ processes. Separation and Purification Technology, 132: 561 - 567.
- (6) กรมควบคุมมลพิษ, 2550. คู่มือการจัดการน้ำเสียอาคารประเภท ก ประเภทโรงพยาบาล ศูนย์ช่วยเหลือให้ปฏิบัติตามกฎหมายสิ่งแวดล้อม (Online) <http://www.ptech.pcd.go.th>.
- (7) Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel H. David., 2004. Wastewater engineering treatment and reuse 4th edition. Metcalf & Eddy, Inc. The McGraw-Hill Companies.
- (8) สุนันติ นิมรัตน์, 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- (9) สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2538. โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน, เล่มที่ 2 ฉบับสมบูรณ์. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเทคอินเตอร์เนชั่นแนลจำกัด. หน้า 3-31 – 3-57.
- (10) Fabian, I, Kevin, S., J., Juri, L., Linda, G., Ulf, N., Thomas, A., T., Torsten, Schmidt, C., and Jochen, T., 2018. Comprehensive analysis of antagonistic endocrine activity during ozone treatment of hospital wastewater. Science of the Total Environment, 624: 1443-1454.
- (11) Ferre,-A., J., Valcárcel, Y., Negreira, N., Lempéz de Alda, M., Barceló, D., Cardona, S., C., and Navarro,-L., J., 2016. Ozonation of hospital raw wastewaters for cytostatic compounds removal. Kinetic modelling and economic assessment of the process. Science of the Total Environment, 556: 70-79.
- (12) New York State Energy Research and Development Authority, 2004. Evaluation of Ultraviolet (UV) radiation disinfection technologies for wastewater treatment plant effluent.
- (13) Manouchehri, M. and Kargari, A., 2017. Water recovery from laundry wastewater by the cross flow microfiltration process: A strategy for water recycling in residential buildings. Journal of Cleaner Production, 168: 227-238.
- (14) Zhang, W., Ding, L., Luo, J., Jaffrin, M. Y., and Tang, B., 2016. Membrane fouling in photocatalytic membrane reactors (PMRs) for water and wastewater treatment: A critical review. Chemical Engineering Journal, 302: 446-458.
- (15) Chakraborty, S., Loutatidou, S., Palmisano, Gi., Kujawa, J., Mavukkandy, M. O., Al-Gharabli, S., Curcio, E., and Arafat, H.A., 2017. Photocatalytic hollow fiber membranes for the degradation of pharmaceutical compounds in wastewater. Journal of Environmental Chemical Engineering, 5: 5014-5024.
- (16) American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22rd Edition.

- (17) ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางชนิด ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548.
- (18) Bhongsuwan, D., and Bhongsuwan, T., 2007. Slip casting of alumina for membrane application. Journal of Applied Membrane Science & Technology, 6: 37-45.
- (19) Guo, B., Pasco, V., E., Xagorarakis, I., and Tarabara, V., V., 2015. Virus removal and inactivation in a hybrid microfiltration-UV process with a photocatalytic membrane. Separation and Purification Technology, 149; (27), 245-254.
- (20) โรสนา กาซอ, 2552. การศึกษาการจัดการน้ำเสียชุมชนในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- (21) Hamid, R., M., Mehran, A., and Toraj, M., 2018. Synthesis, characterization and performance evaluation of an optimized ceramic membrane with physical separation and photocatalytic degradation capabilities. Ceramics International, 44; 10281-10292.
- (22) Goswami, D.,Y., Trivedi, D.,M., and Block, S.,S., 1997. Photocatalytic disinfection of indoor air. Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the ASME, 119; 92-96.
- (23) Gaya, U.,I., and Abdullah, A.,H., 2008. Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminants over titanium dioxide: A review of fundamentals, progress and problems. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 1; 1-12.
- (24) Kaishu Guan., 2003. Relationship between photocatalytic activity, hydrophilicity and self-cleaning effect of TiO₂/SiO₂ films, Surface and Coatings Technology, 191: 155-160.