# EFFECT OF PHOTOPERIOD ON THE REMOVAL OF ORGANIC AND NITROGEN USING MICROALGAL-BACTERIAL IN MEMBRANE BIOREACTOR WITHOUT EXTERNAL AERATION

Podjanad KONGSUWAN[1], Benjawan HANBUNSRI[1], Tunyakamon JAIDUMRONG[1], Yonmanee KHUNPROM[1], Witchaya RONGSAYAMANONT[2], Wanvipa CHAICHAN[3] and Chaiwat RONGSAYAMANONT[1]

1 Faculty of Environmental Management Prince of Songkla University, Thailand
2 Faculty of Environmental and Resource Studies Mahidol University
3 Faculty of Science and Fisheries Technology Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thailand; 6510920023@email.psu.ac.th

## ABSTRACT

This research aims to study the effect of photoperiod on the efficiency of removing organic matter (Chemical Oxygen Demand; COD) and nitrogen (Total Dissolved Nitrogen; TDN) to improve the removal of organic matter and nitrogen, as well as reduce energy use and membrane fouling. The study used one lighted membrane bioreactor without external aeration under stable conditions, with a hydraulic retention time (HRT) of 2 days. Four light-dark patterns: P1 (12:12), P2 (6:6:6:6), P3 (8:4:8:4), and P4 (10:2:10:2). The results showed that between P1 and P2, P2 had removal efficiencies of 96.6±0.3% for organic matter and 95.9±1.0% for nitrogen. This indicates that intermittent lighting with 6 hours of light followed by 6 hours of dark is suitable for removing organic matter and nitrogen and when comparing the lighting duration among P2, P3, and P4, it was found that P3 had the highest efficiency in removing organic matter, at 98.4±1.2%. Next was P4 and P2, with efficiencies of 98.0±4.6% and 96.3±0.3%, respectively. Meanwhile, P2 had the highest nitrogen removal efficiency, at 90.9±2.1%, followed by P4 and P3, with efficiencies of 88.9±1.6% and 88.1±1.8%, respectively. The study indicates that increasing the lighting duration does not lead to simultaneous improvements in organic matter and nitrogen treatment efficiency. P3 provides the highest organic matter removal efficiency, while P2 provides the highest nitrogen removal efficiency. In summary, different lighting patterns and durations affect the efficiency of removing organic matter and nitrogen in a non-aerated illuminated membrane bioreactor system.

**Keywords:** Membrane Bioreactor**,** Photoperiod, Fouling

**CITATION INFORMATION:** Kongsuwan, P., Hanbunsri, B., Jaidumrong, T., Khunprom, Y., Rongsayamanont, W., Chaichan, W., & Rongsayamanont, C. (2026). Effect of Photoperiod on the Removal of Organic and Nitrogen Using Microalgal-Bacterial in Membrane Bioreactor without External Aeration. *Procedia of Multidisciplinary Research, 4*(10), 52

# ผลของระยะเวลาการให้แสงต่อการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนด้วยฟล๊อคผสมสาหร่าย-แบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบให้แสงที่ไม่มีการเติมอากาศภายนอก

พจนารถ คงสุวรรณ[1], เบญจวรรณ ฮั่นบุญศรี[1], ธัญกมล ใจดำรงค์[1], ยลมณี ขุนพรม[1], วิชญา รงค์สยามานนท์[2], วรรณวิภา ไชยชาญ[3] และ ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์[1]

1 คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1 คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

2 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง; 6510920023@email.psu.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการให้แสง (Photoperiod) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (Chemical Oxygen Demand; COD) และไนโตรเจน (Total Dissolved Nitrogen; TDN) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน รวมถึงการลดใช้พลังงานและการอุดตันของเมมเบรน โดยใช้ถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบให้แสงที่ไม่มีการเติมอากาศจากภายนอก จำนวน 1 ถัง ภายใต้สภาวะคงที่ และกำหนดระยะเวลา กักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Time; HRT) เท่ากับ 2 วัน กำหนดเงื่อนไขการศึกษา 4 รูปแบบ (Light: Dark) ได้แก่ P1 (12:12), P2 (6:6:6:6), P3 (8:4:8:4) และ P4 (10:2:10:2) ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบการให้แสงระหว่าง P1 และ P2 พบว่า P2 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 96.6±0.3 และ 95.9±1.0 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการให้แสงแบบไม่ต่อเนื่องในรูปแบบ 6 ชั่วโมงสว่างสลับกับ 6 ชั่วโมงมืด มีความเหมาะสมต่อการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการให้แสงระหว่าง P2, P3 และ P4 พบว่า P3 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 98.4±1.2 รองลงมาคือ P4 และ P2 ซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 98.0±4.6 และ 96.3±0.3 ตามลำดับ ในขณะที่ P2 มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 90.9±2.1 รองลงมาคือ P4 และ P3 ซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 88.9±1.6 และ 88.1±1.8 ตามลำดับ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มระยะเวลาการให้แสงไม่ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน โดย P3 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงที่สุด ขณะที่ P2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนสูงที่สุด สรุปได้ว่า รูปแบบและระยะเวลาการให้แสงที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนของระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบให้แสงที่ไม่มีการเติมอากาศจากภายนอก

**คำสำคัญ:** ระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพ, ระยะเวลาการให้แสง, การอุดตัน

**ข้อมูลการอ้างอิง:** พจนารถ คงสุวรรณ, เบญจวรรณ ฮั่นบุญศรี, ธัญกมล ใจดำรงค์, ยลมณี ขุนพรม, วิชญา รงค์สยามานนท์, วรรณวิภา ไชยชาญ และ ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์. (2569). ผลของระยะเวลาการให้แสงต่อการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนด้วยฟล๊อคผสมสาหร่าย-แบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพ แบบให้แสงที่ไม่มีการเติมอากาศภายนอก. *Procedia of Multidisciplinary Research, 4*(10), 52

## บทนำ

ปัญหามลพิษทางน้ำจากการระบายน้ำเสียในครัวเรือนที่ไม่ผ่านการบำบัด รวมถึงการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์และไนโตรเจนในแหล่งน้ำ ในปริมาณสูง ซึ่งกระตุ้นการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชอย่างควบคุมไม่ได้ นำไปสู่ภาวะออกซิเจนละลายน้ำต่ำ (hypoxia) ทำให้น้ำเน่าเสียและส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำในระบบนิเวศ (E. Segredo-Morales et al., 2023) ในปัจจุบัน ระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพ (Membrane Bioreactor: MBR) ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในฐานะเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียขั้นสูง โดยเป็นการผสมผสานระหว่างกระบวนการตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และการกรองด้วยเมมเบรน ซึ่งแผ่นเมมเบรนทำหน้าที่แยกของแข็งออกจากน้ำเสียทำให้น้ำทิ้ง ที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพสูงกว่าระบบบำบัดแบบดั้งเดิม สามารถนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (reuse) ได้ อีกทั้งยังช่วยลดขั้นตอนการตกตะกอนและลดพื้นที่ในการติดตั้งระบบลงได้ประมาณร้อยละ 30-50 เมื่อเทียบกับระบบทั่วไป รวมถึงมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (บริษัท ผลเอ็นเทค จำกัด, 2569) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าระบบเมมเบรนชีวภาพจะมีประสิทธิภาพสูง แต่ยังคงมีข้อจำกัดที่สำคัญโดยเฉพาะปัญหาการอุดตันของเมมเบรน (membrane fouling) ซึ่งส่งผลให้ค่าความดันข้ามเยื่อกรอง (Transmembrane Pressure: TMP) เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ต้องใช้พลังงานมากขึ้นและลดอายุการใช้งานของเมมเบรน นอกจากนี้ ต้นทุนของเมมเบรนที่ค่อนข้างสูงรวมถึงการใช้พลังงานในกระบวนการเติมอากาศ (aeration) ซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบโดยรวมเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย (E. Segredo-Morales et al., 2023)

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้ระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบให้แสงที่ไม่มีการเติมอากาศจากภายนอกโดยอาศัยฟล็อคผสมสาหร่าย-แบคทีเรีย ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน (algal-bacterial symbiosis) กล่าวคือ แบคทีเรียใช้ออกซิเจนที่ผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และชีวมวลจุลินทรีย์ ขณะเดียวกัน คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกสาหร่ายนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างพลังงานและการเจริญเติบโตของเซลล์ ซึ่งก่อให้เกิดกลไกการหมุนเวียนของก๊าซที่สนับสนุนซึ่งกันและกันภายในระบบ (symbiotic cycle) (Muñoz & Guieysse, 2006; Wang et al., 2010) นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังมีแนวคิดในการศึกษาเงื่อนไขระยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนในระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบให้แสงดังกล่าว เนื่องจากระยะเวลา การให้แสงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย การผลิตออกซิเจน และสมดุล ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน (Park et al., 2011; González-Camejo et al., 2018)

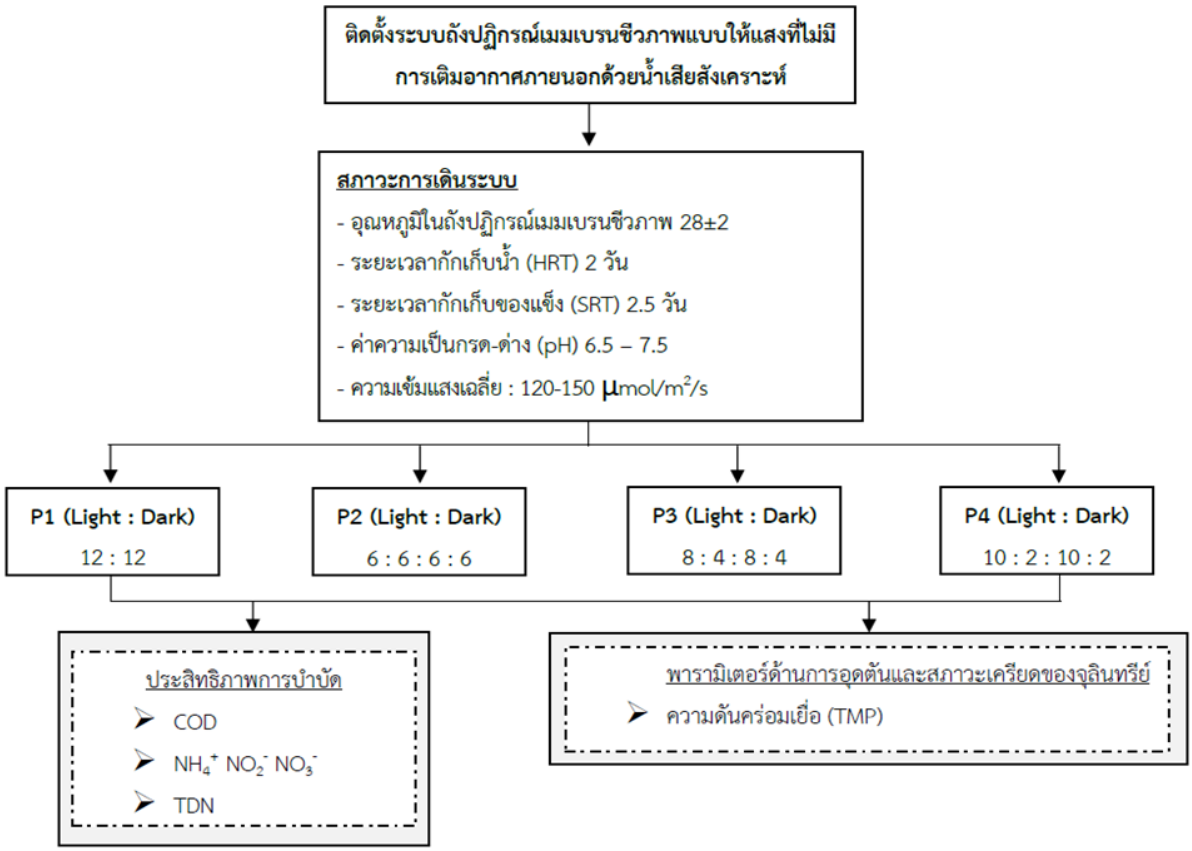
### วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษาผลของรูปแบบการให้แสงต่อประสิทธิภาพของการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนด้วยฟล็อคผสมสาหร่าย-แบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบให้แสงที่ไม่มีการเติมอากาศภายนอก

2) เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการให้แสงต่อประสิทธิภาพของการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนด้วยฟล็อคผสมสาหร่าย-แบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบให้แสงที่ไม่มีการเติมอากาศภายนอก

### กรอบแนวคิด

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษารูปแบบการให้แสงและระยะเวลาของการให้แสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และไนโตรเจน โดยกำหนดการวิจัยออกเป็น 4 รูปแบบ ซึ่งสะท้อนออกมาในรูปของประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และไนโตรเจน




**ภาพที่ 1** กรอบแนวคิด

## ระเบียบวิธีการวิจัย

### การติดตั้งและการเดินระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพ

ถังปฏิกรณ์แบบโปร่งใส ปริมาตรใช้งานเท่ากับ 2 ลิตร ด้านข้างมีการติดตั้งหลอดแอลอีดี (light-emitting diode; LED) ความเข้มแสงเฉลี่ย 350-400 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที กำหนดให้มีระยะเวลาให้แสง 12 ชั่วโมง สลับกับช่วงมืด 12 ชั่วโมง ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (23-29 °C) และพีเอชในถังปฏิกรณ์ระหว่าง 6.5-7.5 มีการกวนผสมตลอดเวลาที่ความเร็ว 1200 รอบต่อนาที (rpm) เมมเบรนที่ใช้เป็นแบบเส้นใยกลวง (hollow fiber) (ZW-1, GE water and Power, Canada) ขนาดรูพรุนของเมมเบรน (pore size) เท่ากับ 0.04 ไมโครเมตรชนิดของเมมเบรนที่ใช้ คือ polyvinylidene difluoride (PVDF) เมมเบรนถูกติดตั้งแบบจมตัวในถังปฏิกรณ์ (submerged membrane) มิกซ์ลิเคอร์จะผ่านเข้าสู่โมดูลและกรองผ่าน เมมเบรนแบบการกรองแบบปิดตาย (dead end filtration) โดยน้ำเสียออกจะถูกสูบจากบริเวณด้านบนของโมดูลเท่านั้นน้ำเสียเข้าและออกจะถูกสูบโดยใช้ปั๊มรีดท่อ (peristaltic pump) บริเวณปลายด้านสูบของปั๊มน้ำออกมีการติดตั้งเกจวัดแรงดัน เพื่อตรวจสอบค่าแรงดันตกคร่อมเมมเบรน (transmembrane pressure, TMP) เดินระบบถังปฏิกรณ์ที่ระยะเวลากักน้ำเฉลี่ย (HRT) 2 วัน เพื่อควบคุมค่าฟลักซ์น้ำออก (permeate flux) ให้คงที่เท่ากับ 1.79 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง (L/m2-h; LMH)

### การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียสังเคราะห์ตามองค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน โดยใช้ $NaHCO_3$ (โซเดียมไบคาร์บอเนต) เป็นแหล่งคาร์บอนหลักและเป็นสารควบคุมความเป็นกรด-ด่าง และใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ ($NHCl_3$) เป็นแหล่งไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย มีการเติมธาตุอาหารหลัก ($KH_2PO_4$, $MgSO_4$, $CaCl_2$) และธาตุอาหารรอง (Trace Elements) ตามสูตรมาตรฐาน เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่ายและแบคทีเรีย

**การเตรียมฟล็อคผสมสาหร่าย-แบคทีเรีย**

สำหรับแบคทีเรียสลัดจ์ตั้งต้นจะมาจากสลัดจ์หมุนเวียนในถังตกตะกอนขั้นที่สองของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ มีการเติมออกซิเจนด้วยเครื่องเติมอากาศตลอดเวลาที่อุณหภูมิห้องภายใต้แสงสีขาว (โดยใช้หลอด LED) ที่มีความเข้มแสง 70-80 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที กำหนดให้มีระยะเวลาให้แสง 12 ชั่วโมง สลับกับช่วงมืด 12 ชั่วโมง ทำการตกตะกอนเพื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียสังเคราะห์ใหม่ทุกๆ 2 วัน เซลล์ตั้งต้นจะค่อยๆ เริ่มเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีเขียวหลังจากการให้แสงไปแล้ว เป็นเวลาประมาณ 5-7 วัน ทำการเพาะเลี้ยงไปอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งฟล๊อคสาหร่าย-แบคทีเรียมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างคงที่และได้ความเข้มข้นเซลล์ตามที่ต้องการ

**รูปแบบการทดลอง**

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ (4 Condition) เพื่อศึกษารูปแบบการให้แสงและระยะเวลาการให้แสง (Photoperiod) โดยเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode) จนเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) ในแต่ละรูปแบบ ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** แสดงรูปแบบการทดลอง (Condition) ระยะเวลาการให้แสง 4 รูปแบบ

| รูปแบบการทดลอง (Condition) | ระยะเวลาการให้แสง Light: Dark (ชั่วโมง) | HRT (วัน) | SRT (วัน) | รายละเอียด (Description) |
|---|---|---|---|---|
| P1 | 12: 12 | 2 | 2.5 | ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด |
| P2 | 6: 6: 6: 6 | 2 | 2.5 | สารอินทรีย์และไนโตรเจน |
| P3 | 8: 4: 8: 4 | 2 | 2.5 | รวมถึงการอุดตันของเมมเบรน |
| P4 | 10: 2: 10: 2 | 2 | 2.5 | |

**การเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Methods)**

เก็บตัวอย่างน้ำเข้า (influent) น้ำออก (permeate) และตะกอนผสมในถังปฏิกรณ์ (mixed liquor) อย่างน้อยสัปดาห์ละ 3-4 ครั้ง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องตามวิธีมาตรฐาน APHA et al. (2012) โดยมีรายละเอียด การวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1) สารอินทรีย์ วิธีการวิเคราะห์ COD ใช้วิธี Closed Reflux, Colorimetric Method; Method 5220 D

2) ไนโตรเจน ($NH_4^+$, $NO_2^-$, $NO_3^-$)

- วิธีการวิเคราะห์แอมโมเนียม ($NH_4^+$-N) ใช้วิธี Phenate method (4500-$NH_3$F)
- วิธีการวิเคราะห์ไนไตรต์ ($NO_2^-$-N) ใช้วิธี Colorimetric method (4500-$NO_2^-$ B)
- วิธีการวิเคราะห์ไนเตรต ($NO_3^-$-N) ใช้วิธี Cadmium reduction method (4500-$NO_3^-$ E)

3) ความเข้มข้นตะกอน วิธีวิเคราะห์ MLSS และ MLVSS ด้วยวิธี Gravimetric Method

4) ปริมาณสาหร่าย วิธีวิเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll-a) โดยการสกัดด้วยอะซิโตน และวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometry)

5) การจมตัว วิธีวิเคราะห์ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ที่เวลา 30 นาที (SVI30)

6) ค่าความดันข้ามเยื่อกรองประจำวัน วิธีวิเคราะห์ใช้มาตรวัดความดันดิจิทัล (Digital Manometer) เพื่อคำนวณอัตราการเพิ่มขึ้นของ TMP (dTMP/dt) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้อัตราการอุดตัน

**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical Analysis)**

ข้อมูลผลการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และวิธี Student's t-test (t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) เพื่อเปรียบเทียบผลของระยะเวลาการให้แสงในแต่ละสภาวะ

การทดลอง ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน

## ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### รูปแบบการให้แสงต่อการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน

ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง P1 และ P2 พบว่า รูปแบบการให้แสงใน P2 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงกว่า P1 โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 96.6±0.3 และ 95.9±1.0 ตามลำดับ ($p < 0.05$) เมื่อปรับรูปแบบการให้แสงจากการให้แสง 12 ชั่วโมง สลับกับช่วงมืด 12 ชั่วโมง เป็นการให้แสง 6 ชั่วโมง สลับกับช่วงมืด 6 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) เพิ่มขึ้นจาก 5.9±1.7 mg/L เป็นร้อยละ 7.1±2.4 mg/L และความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (Mixed Liquor Suspended Solids; MLSS) เพิ่มขึ้นจาก 504.9±9.8 mg/L เป็น 538.8±3.5 mg/L สะท้อนให้เห็นว่า รูปแบบการให้แสงใน P2 เอื้อต่อการเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ นอกจากนี้ P2 ยังมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนสูงกว่า P1 โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 90.9±2.1 และร้อยละ 83.3±3.9 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัดส่วนสาหร่ายต่อตะกอน (Chl-a/MLSS) ที่พบใน P2 และ P1 เท่ากับ 3.5±1.1 mg/gSS และ 2.5±1.1 mg/gSS ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การปรับรูปแบบการให้แสงช่วยเพิ่มสัดส่วนของสาหร่ายต่อตะกอน ซึ่งอาจส่งเสริมกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดไนโตรเจน อย่างไรก็ตาม P2 มีแนวโน้มเกิดการสะสมของคราบตะกอนบนผิวเมมเบรนเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความดันข้ามเยื่อกรอง (Transmembrane Pressure; TMP) เท่ากับ 1.32 kPa/วัน ซึ่งสูงกว่า P1 ที่มีค่าเท่ากับ 0.0 kPa/วัน สรุปได้ว่า รูปแบบการให้แสงมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนด้วยฟล๊อคผสมสาหร่าย-แบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบให้แสงที่ไม่มีการเติมอากาศภายนอก

### ระยะเวลาการให้แสงต่อการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน

ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง P2 P3 และ P4 พบว่า P3 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 98.4±1.2 เมื่อเปรียบเทียบกับ P2 และ P4 ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 96.6±0.3 และ 98.0±4.6 ตามลำดับ ($p<0.05$) พบว่า ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ใน P3 มีค่าเท่ากับ 9.6±1.2 mg/L ซึ่งสูงกว่า P2 และ P4 ที่มีค่าเท่ากับ 7.1±2.4 mg/L และ 9.4±1.2 mg/L ตามลำดับ ขณะที่ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย (Mixed Liquor Suspended Solids; MLSS) ใน P3 มีค่าเท่ากับ 763.8±45.2 mg/L ซึ่งสูงกว่า P2 ที่มีค่าเท่ากับ 538.8±3.5 mg/L และ P4 ที่มีค่าเท่ากับ 711.4±30.6 mg/L ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า ระยะเวลาการให้แสงใน P3 เอื้อต่อการผลิตออกซิเจนของสาหร่าย การเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มระยะเวลาการให้แสงไม่ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการให้แสงเพิ่มขึ้นถึง P4 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไม่ได้เพิ่มขึ้นจาก P3 อย่างชัดเจน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากระบบได้รับแสงเพียงพอสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้ว การให้แสงเป็นระยะเวลานานขึ้นจึงไม่ก่อให้เกิดประโยชน์เพิ่มเติมต่อกระบวนการบำบัด สำหรับการกำจัดไนโตรเจน พบว่า P2 มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 90.9±2.1 ซึ่งสูงกว่า P3 และ P4 ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 88.1±1.8 และร้อยละ 88.9±1.6 ตามลำดับ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มระยะเวลาการให้แสงไม่ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเสมอไป โดยรูปแบบการให้แสงสลับช่วงมืดทุก 6 ชั่วโมง ใน P2 อาจทำให้ระบบมีช่วงสว่างและช่วงมืดที่สมดุลเหมาะสม ต่อกิจกรรมร่วมกันของสาหร่ายและแบคทีเรีย รวมทั้งกระบวนการเปลี่ยนรูปและกำจัดไนโตรเจน ขณะที่การเพิ่มช่วงสว่างใน P3 และ P4 อาจไม่ช่วยเพิ่มกิจกรรมของสาหร่าย เนื่องจากกระบวนการใช้ประโยชน์จากแสงและการใช้ธาตุอาหารอาจเข้าสู่ภาวะอิ่มตัวแล้ว นอกจากนี้ การเพิ่มระยะเวลาการให้แสงยังสัมพันธ์กับแนวโน้มการสะสมของคราบตะกอนบนผิวเมมเบรน โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความดันข้ามเยื่อกรอง ใน P2, P3 และ P4 มีค่าเท่ากับ 1.32, 1.82 และ 2.38 kPa/วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะเวลาการให้แสงเพิ่มขึ้น อัตราการอุดตันของเมมเบรนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สรุปได้ว่า ระยะเวลาการให้แสงมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด

สารอินทรีย์และไนโตรเจนของฟล็อคผสมสาหร่ายและแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบให้แสงที่ไม่มีการเติมอากาศจากภายนอก โดย P3 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงที่สุด ขณะที่ P2 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนสูงที่สุดและ มีอัตราการเพิ่มขึ้นของ TMP ต่ำกว่า P3 และ P4

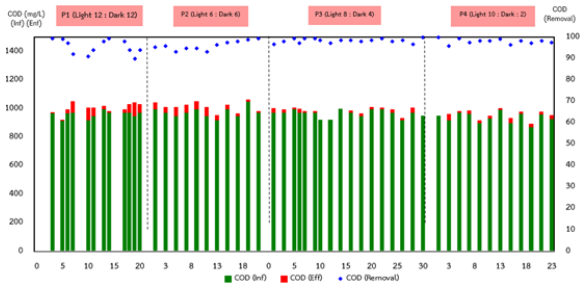
**ตารางที่ 2** สรุปผลการดำเนินงานของระบบบำบัดถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบให้แสงที่ไม่มีการเติมอากาศภายนอกในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน

| **พารามิเตอร์** | **P1** | **P2** | **P3** | **P4** |
|---|---|---|---|---|
| | **(Light 12: Dark 12)** | **(Light 6: Dark 6)** | **(Light 8: Dark 4)** | **(Light 10: 2)** |
| สภาวะคงที่ (steady state) | (Day 0-21) | (Day 0-22) | (Day 0-31) | (Day 0-23) |
| ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) | 7.8±0.5 | 7.6±0.3 | 8.2±0.4 | 8.4±0.6 |
| ออกซิเจนละลายน้ำ, DO (mg/L) | 5.9±1.7 | 7.1±2.4 | 9.6±1.2 | 9.4±1.2 |
| อุณหภูมิ, Temperature (C°) | 26.6±0.4 | 24.7±0.9 | 25.7±1.2 | 25.9±0.6 |
| ปริมาณของแข็งแขวนลอย, MLSS (mg/L) | 504.9±9.8 | 538.8±3.5 | 763.8±45.2 | 711.4±30.6 |
| ปริมาณของแข็งระเหยง่าย, MLVSS (mg/L) | 431.7±56.5 | 458.8±87.4 | 691.3±39.9 | 603.6±22.3 |
| สัดส่วนสาหร่ายต่อตะกอน, Chl.a/MLSS (mg/gSS) | 2.5±1.1 | 3.5±1.1 | 4.1±1.8 | 3.4±1.5 |
| ความเข้มข้นสารอินทรีย์เข้า, COD Influent (mg/L) | 964.6±20.9 | 976.0±39.8 | 966.4±26.5 | 961.7±23.4 |
| ความเข้มข้นสารอินทรีย์ออก, COD Effluent (mg/L) | 39.7±19.8 | 32.8±12.0 | 15.4±3.5 | 19.6±9.0 |
| ประสิทธิภาพการกำจัด, COD Removal (%) | 95.9±1.0* | 96.6±0.3** | 98.4±1.2** | 98.0±4.6 |
| ความเข้มข้นแอมโมเนียเข้า, $NH_4$ Influent (mg/L) | 70.1±1.8 | 72.2±1.5 | 73.3±3.2 | 74.4±3.4 |
| ความเข้มข้นแอมโมเนียออก, $NH_4$ Effluent (mg/L) | 0.4±0.6 | 0.2±0.2 | 0.8±0.9 | 0.8±0.4 |
| ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย, $NH_4$ Removal (%) | 97.9.5±1.2*** | 99.0±0.4 | 96.3±1.6 | 99.1±1.1 |
| ความเข้มข้นไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดเข้า, TDN Influent (mg/L) | 71.3±1.3 | 71.8±1.6 | 73.5±3.4 | 74.4±4.0 |
| ความเข้มข้นไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดออก, TDN Effluent (mg/L) | 11.9±3.9 | 6.5±2.1 | 8.9±1.8 | 8.3±1.6 |
| ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด TDN Removal (%) | 83.3±3.9*** | 90.9±2.1* | 88.1±1.8 | 88.9±1.6 |

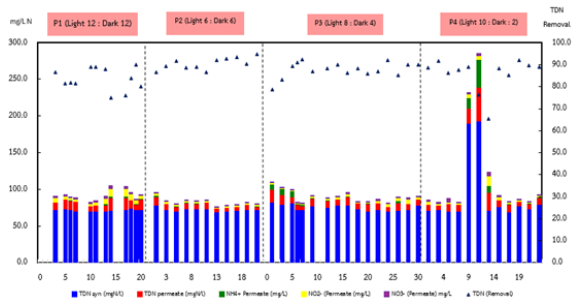
**หมายเหตุ:** ตัวเลขในตารางแสดงค่า P-value จากการทดสอบ * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ และ *** = $p < 0.001$

**ตารางที่ 3** อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความดันข้ามเยื่อกรองแสดงการอุดตันของเมมเบรน (TMP)

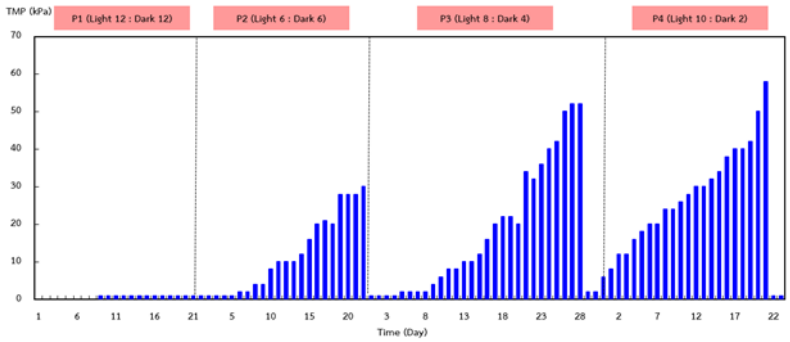
| P | Photoperiod (Light: Dark) | ค่า TMP เริ่มต้น (kPa) | ค่า TMP สูงสุด (kPa) | ระยะเวลาถึงจุดวิกฤต (วัน) | อัตราการเพิ่มของ TMP (kPa/day) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12: 12 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 6: 6: 6: 6 | 1 | 30 | 22 | 1.32 |
| 3 | 8: 4: 8: 4 | 1 | 52 | 28 | 1.82 |
| 4 | 10: 2: 10: 2 | 8 | 58 | 21 | 2.38 |




ภาพที่ 2-a กราฟแสดงระยะเวลาการให้แสงต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ MBR




ภาพที่ 2-b กราฟแสดงระยะเวลาการให้แสงต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน




**ภาพที่ 3** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาการให้แสงต่ออัตราการเกิดค่าความดันข้ามเยื่อกรอง

## สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่า รูปแบบการให้แสง P2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนสูงกว่า P1 สอดคล้องกับระดับออกซิเจนละลายน้ำและปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบ ซึ่งสะท้อนถึงมวลชีวภาพแบคทีเรียที่เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ นอกจากนี้ P2 ยังมีสัดส่วนสาหร่ายต่อตะกอนสูงกว่า P1 แสดงถึงการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เอื้อต่อกระบวนการกำจัดไนโตรเจน ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การให้แสงต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมงใน P1 ไม่ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนสูงขึ้นเสมอไปและเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการให้แสง P2 P3 และ P4 พบว่า P2 ยังคงมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนสูงกว่าถึงแม้ P3 และ P4 จะมีระยะเวลาการให้แสงยาวที่ยาวนานกว่า ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากกระบวนการกำจัดไนโตรเจนเข้าสู่ภาวะอิ่มตัวส่งผลให้การเพิ่มระยะเวลาการให้แสงไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม P3 กลับให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงที่สุด ซึ่งอาจสัมพันธ์กับระดับออกซิเจนละลายน้ำและปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สูงกว่า P2 และ P4 ปัจจัยดังกล่าวจึงอาจมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมกิจกรรมของแบคทีเรียและเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบโดยรวม

## ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาการให้แสงมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน ขณะเดียวกันยังมีความสัมพันธ์กับแนวโน้มการอุดตันของเมมเบรน ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาสภาวะและปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเมมเบรน ตลอดจนแนวทางในการชะลอการเกิดการอุดตัน เพื่อยืดระยะเวลาการใช้งานเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเมมเบรน และลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ นอกจากนี้ ควรศึกษาระบบโดยใช้น้ำเสียชุมชนจากขนาดการทดลองจากระดับห้องปฏิบัติการไปสู่ระดับระดับการใช้งานจริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบภายใต้สภาวะการเดินระบบจริง ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียในอนาคตต่อไป

## เอกสารอ้างอิง


APHA, AWWA, & WEF. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22nd ed. American Public Health Association.

APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23rd ed. American Public Health Association.

Christenson, L., & Sims, R. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances, 29*(6), 686-702.

Drews, A. (2010). Membrane fouling in membrane bioreactors-Characterisation, contradictions, cause and cures. *Journal of Membrane Science, 363*(1-2), 1-28.

Judd, S. (2011). *The MBR book: Principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment*. 2nd ed. Elsevier.

Meng, F., Chae, S. R., Drews, A., Kraume, M., Shin, H. S., & Yang, F. (2009). Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. *Water Research, 43*(6), 1489-1512.

Qi He, Qian Zhang et al. (2025). Harnessing diurnal dynamics: Understanding the influence of light-dark cycle on algal-bacterial symbiotic system under aniline stress. *Bioresource Technology, 416*, 131796

Wang, Z., Wu, Z., Tang, S., & Gu, G. (2009). Membrane fouling in a submerged membrane bioreactor (MBR) under different aeration intensities. *Process Biochemistry, 44*(7), 755-760.

Wu, L., Chen, P. C., Huang, X., & Lee, D. J. (2020). Algal-bacterial symbiosis in wastewater treatment: A review. *Bioresource Technology, 297*, 122500.

Zhang, B., Wang, X., & Wang, Z. (2016). Nitrogen removal in wastewater treatment using algal-bacterial systems: Mechanisms and influencing factors. *Water Research, 102*, 38-46.



**Data Availability Statement:** The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

**Conflicts of Interest:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

**Publisher's Note:** All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any

product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.




**Copyright:** © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).