

Cải tiến xử lý nước thải công nghiệp: Tiềm năng từ công nghệ phản ứng màng sinh học sục khí (MABR)

Diệu Hâu

29-03-2025

“Perfection naturally calls for dedication and diligence. No matter how many times it takes him to correct his plans, he does not mind, for he is immersed in these mathematical calculations.”

Trích “The Perfect Plan”; *Wild Wise Weird* [1]



Các ngành công nghiệp trên toàn thế giới – từ nhà máy lọc dầu, nhà máy hóa chất đến ngành dược phẩm – đang tạo ra khối lượng lớn nước thải chứa hóa chất độc hại và hàm lượng dinh dưỡng vượt mức cho phép. Mặc dù quy trình bùn hoạt tính truyền thống (Conventional Activated Sludge – CAS) đang được áp dụng rộng rãi để xử lý nước thải, nhưng phương pháp này tồn tại nhiều hạn chế: tiêu tốn năng lượng, hiệu quả xử lý các hợp chất chứa nitơ và độc tố công nghiệp còn thấp [2,3].

Để khắc phục những nhược điểm đó, công nghệ phản ứng màng sinh học sục khí (Membrane Aerated Biofilm Reactors – MABR) đang nổi lên như một giải pháp bền vững và hiệu quả hơn cho xử lý nước thải công nghiệp.

Khác với phương pháp truyền thống, MABR sử dụng màng thấm thấu khí để nuôi cấy màng vi sinh vật (*biofilm*) – những cộng đồng vi sinh đặc biệt phát triển trực tiếp trên màng. Oxy được cấp trực tiếp đến vi sinh vật thông qua màng mà không cần tạo bọt khí, giúp hiệu suất truyền oxy đạt đến 80%, so với chỉ khoảng 10% trong hệ thống CAS thông thường. Nhờ phương thức cấp oxy tối ưu, MABR có khả năng xử lý đồng thời các chất ô nhiễm hữu cơ, amoni và các hợp chất độc hại khác chỉ trong một bể phản ứng duy nhất, nhỏ gọn.

Đáng chú ý, MABR còn có khả năng chịu đựng tốt hơn trước tính chất độc hại và biến động cao của nước thải công nghiệp, điều mà các hệ thống xử lý truyền thống thường gặp khó khăn [4].

Các nghiên cứu gần đây cho thấy MABR có thể đạt hiệu suất xử lý lên tới 99% đối với các chất ô nhiễm như amoni, hydrocacbon, dược phẩm và các hợp chất hữu cơ nguy hại khác. Một yếu tố then chốt quyết định hiệu suất này là độ dày của màng vi sinh – lớp biofilm càng dày thì khả năng hấp thụ và phân hủy chất ô nhiễm càng cao. Tuy nhiên, cần quản lý độ dày phù hợp để tránh tình trạng thiếu oxy bên trong bể [5].

Một ưu điểm quan trọng khác là MABR giảm phát thải khí nitrous oxide (N_2O) – một loại khí nhà kính có khả năng gây nóng lên toàn cầu mạnh gấp hàng trăm lần CO_2 – so với hệ thống CAS. Nhờ đó, công nghệ này không chỉ bảo vệ nguồn nước mà còn góp phần giảm dấu chân carbon và thích ứng với biến đổi khí hậu.

Mặc dù hiện nay MABR chủ yếu được áp dụng trong xử lý nước thải đô thị, nhưng việc mở rộng sang lĩnh vực công nghiệp đang tăng tốc. Các thử nghiệm quy mô thí điểm gần đây, đặc biệt là các mô hình kết hợp MABR với các công nghệ xử lý khác, cho thấy hiệu suất cao và khả năng vận hành ổn định hơn [4].

Công nghệ MABR là minh chứng rõ nét cho mối liên hệ giữa tự nhiên và con người, khi tận dụng sức mạnh của vi sinh vật để tạo ra một giải pháp xử lý nước thải bền vững, tiết kiệm năng lượng và thích ứng linh hoạt với các điều kiện công nghiệp đa dạng. Để hiện thực hóa toàn bộ tiềm năng của công nghệ này, cần tiếp tục đầu tư vào đổi mới công nghệ và chuyển giao từ mô hình thí điểm sang ứng dụng quy mô lớn trong công nghiệp [6].

Tài liệu tham khảo

- [1] Vuong QH. (2024). *Wild Wise Weird*. <https://www.amazon.com/dp/B0BG2NNHY6/>
- [2] Conthe M, et al. (2019). Denitrification as an N_2O sink. *Water Research*, 151, 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.087>
- [3] Duan H, et al. (2021). Insights into nitrous oxide mitigation strategies in wastewater treatment and challenges for wider implementation. *Environmental Science & Technology*, 55, 7208–7224. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00840>
- [4] Dicataldo G, et al. (2025). Feasibility and application of membrane aerated biofilm reactors for industrial wastewater treatment. *Water Research*, 280, 123523. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123523>
- [5] Sanchez-Huerta C, et al. (2022). Influence of biofilm thickness on the removal of thirteen different organic micropollutants via a Membrane Aerated Biofilm Reactor (MABR). *Journal of Hazardous Materials*, 432, 128698. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128698>

[6] Nguyen MH. (2024). How can satirical fables offer us a vision for sustainability? *Visions for Sustainability*.

<https://ojs.unito.it/index.php/visions/article/view/11267>