

XÂY DỰNG MÔ HÌNH NĂNG LƯỢNG BỀN VỮNG CHO TRANG TRẠI NUÔI TÔM VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Nguyễn Mộng Long¹, Trần Thị Hồng Châu¹ và Nguyễn Trọng Hiếu¹

¹Trường Cao Đẳng Nghề Cần Thơ
Email: nguyenmonglong1985@gmail.com

Thông tin chung

Ngày nhận bài:

22/3/2025

Ngày nhận bài sửa:

15/5/2025

Ngày duyệt đăng:

16/5/2025

Từ khóa:

Hệ thống sục khí

Máy điện phân

Trang trại nuôi tôm

TÓM TẮT

Nuôi tôm đã gia tăng đáng kể không chỉ trên toàn thế giới mà còn ở Việt Nam. Ngành công nghiệp nuôi tôm tại Đồng bằng sông Cửu Long, Việt Nam đóng góp đáng kể vào nền kinh tế quốc dân thông qua xuất khẩu sang các nước. Tuy nhiên, ngành nuôi tôm đòi hỏi tiêu thụ nhiều năng lượng cho các hệ thống sục khí nhằm duy trì mức độ O_2 hòa tan thích hợp trong ao một cách liên tục để cải thiện chất lượng nước và thúc đẩy sự phát triển của tôm. Các thiết kế của thiết bị sục khí cơ học đã được cải tiến để tiết kiệm chi phí năng lượng và tăng khả năng truyền O_2 hơn nữa, việc vận hành của chúng cũng được tối ưu hóa nhằm giảm chi phí vận hành, và gần đây năng lượng tái tạo đã bắt đầu được áp dụng để cấp điện cho các thiết bị sục khí nhằm giảm thiểu rủi ro về an ninh năng lượng và tác động môi trường. Tuy nhiên, động cơ điện điều khiển các thiết bị sục khí vẫn tiêu thụ nhiều điện năng, dẫn đến chi phí vận hành cao và những tác động tiềm ẩn từ việc sử dụng nguồn điện truyền thống. Để đạt được mục tiêu sản xuất tiết kiệm và giảm phát thải khí nhà kính, đề xuất xây dựng mô hình năng lượng bền vững cho các trang trại nuôi tôm nhằm khai thác năng lượng tái tạo để cung cấp điện cho hệ thống sục khí tiên tiến tại các ao nuôi tôm, trong đó O_2 có thể được sản xuất tại chỗ và khí phụ là hydro sẽ được lưu trữ và có thể sử dụng để tái tạo điện nhằm bù đắp sự mất cân bằng khi nhu cầu tải điện vượt quá nguồn cung từ năng lượng tái tạo. Thiết kế tối ưu cho nguồn năng lượng tái tạo dựa theo nhu cầu tiêu thụ O_2 của tôm và vận hành tối ưu hệ thống sục khí sáng tạo dựa trên sự thay đổi của mức O_2 hòa tan trong ao được trình bày chi tiết, với mục tiêu chính là hướng đến một quy trình sản xuất nuôi tôm tiết kiệm và bền vững thân thiện với môi trường.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nuôi trồng thủy sản trên toàn thế giới đã có sự tăng trưởng đáng kể trong những thập kỷ qua. Các hệ thống nông nghiệp đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì an ninh lương thực và cung cấp dinh dưỡng cho cư dân toàn cầu. Các hoạt động nuôi trồng thủy sản đã tăng đáng kể, dẫn đến đóng góp vào thu nhập nông thôn và quốc gia bằng cách thúc đẩy việc làm và cơ hội kinh doanh. Trong số các sản phẩm hải sản phổ biến như cá hồi, cá tra,

cá nư, cá rô phi, v.v., tôm được coi là hàng hóa được giao dịch toàn cầu.

Trên thực tế, ngành tôm tạo ra việc làm và tăng doanh thu từ việc xuất khẩu sản phẩm tôm sang Nhật Bản, Châu Âu, Hoa Kỳ và Canada, tuy nhiên, nuôi tôm gây ra các vấn đề về môi trường và đòi hỏi nguồn cung cấp năng lượng cao. Nguyên nhân chính gây ra các vấn đề về môi trường là ô nhiễm tài nguyên đất và nước tại địa phương. Các trang trại nuôi tôm thường được xây dựng gần các hệ sinh thái rừng ngập mặn, một tình huống

mà đất ngập mặn và nước có thể bị ô nhiễm bởi nước thải, hóa chất và thuốc từ hoạt động nuôi tôm. Kết quả là, các hệ sinh thái rừng ngập mặn mất đi các đặc điểm sinh thái và kinh tế xã hội. Bên cạnh tài nguyên đất và nước, năng lượng đóng vai trò quan trọng trong ngành nuôi trồng thủy sản. Ngoài ra, hiệu suất năng lượng của các hệ thống nuôi tôm biển, là tỷ lệ giữa năng lượng đầu vào công nghiệp và năng lượng đầu ra từ protein thực phẩm, rất cao trong số các hệ thống nuôi trồng thủy sản lớn. Nguyên nhân của các hệ thống kém hiệu quả là mức tiêu thụ điện cao của máy móc và máy sục khí có hiệu suất điển hình khoảng 90%.

Theo Claude Edwin Boyd (2018), việc phát triển ứng dụng công nghệ cao, chi phí thấp tiết kiệm năng lượng và bền vững đang được khuyến khích trong nuôi trồng thủy sản ở Việt Nam, đặc biệt là ngành công nghiệp nuôi tôm. Việc thiết kế hệ thống năng lượng bền vững cung cấp điện cho các thiết bị vận hành cho trang trại nuôi tôm vừa tiết kiệm chi phí và thân thiện với môi trường và giảm lượng khí thải CO₂ là hết sức cần thiết, mang lại hiệu quả kinh tế cao cho trang trại nuôi tôm.

2. HỆ THỐNG SỤC KHÍ CHO TRANG TRẠI NUÔI TÔM

2.1. Bối cảnh trang trại nuôi tôm ở Đồng bằng sông Cửu Long

Một trong những lợi thế nổi bật của Đồng bằng sông Cửu Long là nguồn nước lợ dồi dào, hình thành từ sự giao thoa giữa nước ngọt từ sông Mekong và nước mặn từ biển Đông. Đây là điều kiện lý tưởng để nuôi các loài tôm chủ lực như tôm sú và tôm thẻ chân trắng. Ngoài ra, đất đai phù sa màu mỡ, địa hình bằng phẳng cũng tạo thuận lợi cho việc

xây dựng và mở rộng diện tích nuôi tôm. Nuôi tôm ở Đồng bằng sông Cửu Long phát triển mạnh nhờ vào điều kiện tự nhiên thuận lợi như khí hậu nhiệt đới, hệ thống kênh rạch phong phú và nguồn nước lợ dồi dào. Tuy nhiên, ngành này cũng đối mặt với nhiều thách thức liên quan đến dịch bệnh, môi trường và biến đổi khí hậu.

Ở Việt Nam, trang trại nuôi tôm vùng Đồng bằng sông Cửu Long chiếm phần lớn diện tích nuôi tôm cả nước. Hệ thống sản xuất tôm ở Việt Nam chủ yếu được phân loại thành các công ty sản xuất và chế biến quy mô nhỏ với phương thức nuôi được chuyển từ nuôi tôm quảng canh mật độ tôm thấp sang nuôi tôm bán thâm canh và thâm canh với mật độ tôm cao. Nuôi tôm cường độ cao đòi hỏi nhu cầu năng lượng lớn. Tôm được nuôi trong ao tại các trang trại, hoàn toàn khác với tôm sống trong môi trường tự nhiên như biển hoặc sông, yêu cầu hàm lượng oxygen hòa tan (DO) cao trong ao nuôi. Do đó, việc bổ sung DO cho các ao nuôi trồng thủy sản được thực hiện bằng hệ thống sục khí. Mặc dù ngành nuôi tôm không chỉ cung cấp thức ăn mà còn đóng góp thu nhập cho người nuôi và đất nước của họ, nhưng nuôi tôm gắn liền với các vấn đề môi trường và an ninh năng lượng.

2.2. Mức độ thâm canh trong nuôi tôm

Hệ thống nuôi tôm được phân loại rộng rãi dựa trên đặc điểm hoạt động và tiềm năng phát triển. Hình thức canh tác chia thành bốn loại chính như quảng canh, bán thâm canh, thâm canh và siêu thâm canh. Các đặc điểm khác nhau, chẳng hạn như, mức độ sản xuất, mật độ thả, sục khí và năng lượng, mức tiêu thụ, xác định các loại mật độ khác nhau, được minh họa trong bảng 1.

Bảng 1. Đặc điểm của hệ thống nuôi tôm

Đặc tính	Loại sản xuất			
	Quảng canh	Bán thâm canh	Thâm canh	Siêu thâm canh
Sản xuất (MT/ha/năm)	0,1-0,3	0,5-2,5	5-15	30-150
Mật độ (0/m ² /mùa vụ)	0-1	3-10	15-40	>100
Sục khí	Tự nhiên	Thay nước	Máy sục khí	Máy sục khí
Nhu cầu năng lượng tiềm năng (hp/ha/)	0-2	2-5	15-20	>25

Quảng canh nuôi tự nhiên, ít đầu tư, mật độ thả rất thấp, sản lượng thấp. Bán thâm canh tăng mật độ, ứng dụng khoa học kỹ thuật như thay nước thường xuyên để đảm bảo môi trường nước ao nuôi tôm. Thâm canh mật độ thả cao, cần sử dụng máy sục khí để cung cấp oxygen và đảm bảo sức khỏe tôm nuôi. Siêu thâm canh mật độ cực cao, đòi hỏi hệ thống sục khí mạnh, công nghệ cao, năng lượng tiêu thụ rất lớn.

Sản lượng thả nuôi tăng dần theo mức độ đầu tư kỹ thuật và quản lý ao nuôi, từ 0,1 tấn/ha/năm (quảng canh) đến hơn 100 tấn/ha/năm (siêu thâm canh). Mật độ cũng tăng theo cấp độ thâm canh, từ gần như thả tự nhiên (0–1 con/m²) đến >100 con/m² ở mô hình siêu thâm canh. Càng nuôi tôm lên mức độ cao (thâm canh, siêu thâm canh) thì sản lượng và mật độ thả nuôi tôm tăng vọt, nhưng cũng đòi hỏi đầu tư lớn hơn về máy móc, thiết bị, điện năng và quản lý kỹ thuật. Quảng canh phù hợp với mô hình tự nhiên, ít chi phí, nhưng hiệu quả kinh tế thấp. Siêu thâm canh mang lại hiệu quả kinh tế cao nhất nhưng rủi ro và phải áp dụng khoa học kỹ thuật công nghệ cao.

Trong số các loại mật độ thâm canh trong ao nuôi, quảng canh có mật độ thả thấp nhất, ít hơn một con/m²/vụ. Thông thường, các hệ thống quảng canh cho năng suất thấp dưới 50 kg/ha/năm từ một hai vụ trong năm. Hệ thống nuôi quảng canh không chỉ dựa vào các chất dinh dưỡng tự nhiên có trong ao nuôi mà còn phải cân bằng các quá trình sinh học và vật lý để đảm bảo đủ lượng oxygen cho tôm mà không cần bổ sung thức ăn và sự can thiệp của con người. Nhằm tiết kiệm chi phí và tăng hiệu quả kinh tế trong ao và trang trại nuôi tôm.

Mật độ và sản lượng thả có thể được tăng lên bằng cách thay đổi kỹ thuật nuôi và quản lý khác nhau đối với mức độ thâm canh cao hơn. Khi mật độ nuôi tăng lên, các hệ thống như vậy yêu cầu một lượng đáng kể thức ăn bổ sung, giám sát chất lượng nước và sử dụng các thiết bị sục khí cơ học, đặc biệt là đối với

các hệ thống thâm canh và siêu thâm canh. Các hệ thống nuôi cường độ cao hơn yêu cầu nhu cầu năng lượng cao, cần thiết cho bơm nước và sục khí.

2.3. Hiện trạng kỹ thuật sục khí trong nuôi trồng thủy sản

2.3.1. Lịch sử phát triển

Thức ăn đóng vai trò quan trọng trong nuôi tôm. Hàm lượng oxygen hòa tan được cải thiện thông qua việc sử dụng các thiết bị sục khí cơ học. Sục khí trong nuôi trồng thủy sản không phải là mới nhưng kỹ thuật này đã được nhiều người quan tâm áp dụng trong nhiều năm qua. Hệ thống sục khí cho nuôi tôm được sửa đổi từ máy sục khí cơ học trong xử lý nước thải, được sử dụng để nghiên cứu trong những năm 1880 - 1890 và sau đó dùng cho các hệ thống xử lý nước thải thành phố từ năm 1910 đến năm 1930. Ở châu Á, các máy sục khí bánh giồng được sản xuất tại Đài Loan đã được sử dụng phổ biến trong nuôi trồng thủy sản trong ao ngay từ những năm 1950. Máy sục khí chạy bằng điện nhỏ có công suất từ 0,25 đến 2 hp được áp dụng một cách rộng rãi cho các ao nuôi. Các thiết bị sục khí của Đài Loan được sử dụng rộng rãi do có hiệu suất cao cũng như chi phí vận hành hợp lý.

2.3.2. Nguyên lý làm việc của máy sục khí

Oxygen trong tự nhiên chiếm 21% thể tích không khí. Về cơ bản, áp suất trong khí quyển lớn hơn áp suất trong ao nước do đó, oxygen trong không khí được truyền vào nước ở bề mặt của ao. Quá trình này dừng lại khi áp suất trong không khí bằng áp suất trong ao nước, dẫn đến bão hòa oxygen hòa tan trong nước. Hàm lượng oxygen trong ao nuôi tôm thay đổi tùy theo các yếu tố môi trường trong ao như áp suất khí quyển, nhiệt độ và độ mặn. Bên cạnh đó, tốc độ hô hấp của sinh vật và mật độ thả nuôi trong ao cũng ảnh hưởng đến nồng độ DO. Thực vật phù du, được tạo thành bởi amoniac và photphat có nhiều trong ao với các sinh vật quang dưỡng có khả năng tạo ra oxygen. Mức DO vào ban ngày cao hơn nồng độ bão hòa vì

lượng oxygen tạo ra lớn hơn tốc độ hô hấp của sinh vật trong ao nuôi. Ngược lại, nồng độ DO giảm đáng kể vào ban đêm hoặc trời nhiều mây do quá trình hô hấp của tôm, sinh vật phù du và sinh vật đáy. Mức DO thấp ảnh hưởng đến các đặc tính sinh học của tôm, chẳng hạn như bị ngộp hoặc căng thẳng, dẫn đến chán ăn, dễ mắc bệnh, hiệu quả sử dụng thức ăn thấp, tỷ lệ chết cao và năng suất thấp. Oxygen được tạo ra ở tầng mặt của ao nước thông qua quá trình quang hợp.

Do đó, hàm lượng oxygen giảm khi độ sâu nước tăng lên và đạt giá trị thấp nhất ở đáy ao. Do đó, các ao cần được khuyến khích cho nuôi tôm, vì tôm sống ở tầng giữa và tầng đáy của ao. Nồng độ DO được duy trì đủ cho các ao nuôi tôm bằng cách trộn lớp nước ở bề mặt có nồng độ DO cao với nước ở tầng sâu hơn. Việc cải thiện oxygen liên tục trong các ao nuôi là rất quan trọng để duy trì sự khỏe mạnh cho tôm, giúp chúng tăng trưởng nhanh hơn, giảm thiểu dịch bệnh, tăng tỷ lệ sống và tăng sản lượng. Do đó, việc cải thiện oxygen là vấn đề cần thiết để cho quá trình nuôi tôm. Máy sục khí cơ học được sử dụng để cung cấp oxygen bổ sung cho ao nuôi tôm, đặc biệt là vào ban đêm hoặc cường độ ánh sáng nắng yếu vào ban ngày để bù đắp lượng DO thiếu hụt do hô hấp của sinh vật trong ao. Máy sục khí được sử dụng trong các trường hợp khẩn cấp khi nuôi bán thâm canh. Tuy nhiên, chúng được vận hành hàng đêm hoặc thậm chí liên tục với mục đích nuôi cấy thâm canh hoặc siêu thâm canh.

2.3.3. Các loại máy sục khí

Máy sục khí cơ học dùng trong nuôi trồng thủy sản được cải tiến từ máy sục khí xử lý nước thải. Do đó, chúng có cùng các đặc điểm thiết kế cũng như chức năng. Máy dùng cho bơm phun thẳng đứng và máy sục khí bánh guồng thuộc loại máy sục khí bắn, bắn nước vào không khí. Máy sục khí dạng sủi, hệ thống không khí khuếch tán và máy sục khí dạng chân vịt giải phóng bọt khí vào nước.

Máy sục khí khuếch tán được minh họa trong Hình 1 có bộ phận thổi khí với áp suất thấp và thể tích lớn để thổi không khí qua bộ khuếch tán bọt mịn đặt ở đáy ao hoặc lơ lửng trong nước. Có nhiều loại hệ thống khuếch tán không khí như máy nén khí, bộ phận thổi khí, bộ khuếch tán hình vòm bằng gốm và ống gốm. Tuy nhiên, ứng dụng của loại này không được phổ biến rộng rãi trong nuôi tôm. Trái lại, chúng được sử dụng trong các phòng thí nghiệm và trại ương con giống. Các hệ thống không khí khuếch tán có hiệu suất cao trong việc chuyển các bong bóng oxygen từ không khí sang nước khi cột nước trong ao đủ sâu để bọt khí có đủ thời gian tiếp xúc với nước trong ao. Kết quả là máy sục khí khuếch tán hoạt động hiệu quả hơn với ao sâu so với ao nông.



Hình 1. Hệ thống sục khí khuếch tán

Một bộ khuếch tán không khí được kết nối với phần cuối của vỏ hộp. Một cánh quạt được gắn vào đầu trục quay, quay với vận tốc lớn để tạo chân không trong thân của hệ thống bơm bằng cách đẩy nước qua đầu trục rỗng. Khi áp suất trong không khí cao hơn áp suất trong vỏ, không khí tại mặt phân cách được hút qua một trục rỗng và các bọt khí được bơm vào ao nước sau khi thoát ra từ bộ khuếch tán. Máy bơm hút chân vịt được coi là thiết bị tạo bọt khí hiệu quả. Trong số các thiết bị sục khí cơ học, Hình 2 thiết bị sục khí bánh guồng thường được sử dụng nuôi tôm, đặc biệt là các thiết bị sục khí kiểu Đài Loan. Các thành phần chính bao gồm, động cơ điện và cánh quạt được gắn vào một trục quay. Các

bánh giồng được treo bằng phao nổi trên mặt nước. Công suất của động cơ điện từ 0,8 đến 2 kW được sử dụng cho các ao nhỏ, với số vòng quay là 1.750 vòng/phút. Tuy nhiên, một hộp số được dùng để giảm tốc độ của trục động cơ để các bánh giồng quay ở tốc độ 70-120

vòng/phút. Cánh khuấy quay làm văng nước vào không khí để tạo ra hiện tượng sục khí. So với các loại thiết bị sục khí khác, thiết bị sục khí bánh giồng có hiệu quả cao trong việc truyền tải oxygen từ không khí vào nước.



Hình 2. Máy sục khí bánh giồng

Hệ thống tạo oxygen tinh khiết hiếm khi được áp dụng trong nuôi tôm. Các hệ thống nuôi được sục khí bằng oxygen tinh khiết có thể làm tăng mật độ nuôi và năng suất, tuy nhiên việc vận chuyển oxygen từ các nhà cung cấp làm suy giảm đến các trang trại nuôi tôm không chỉ làm tăng thêm chi phí mà còn làm tăng phát thải khí nhà kính.

Do đó, vấn đề cấp thiết lúc này là đề xuất một thiết kế tối ưu cho hệ thống sục khí tiên tiến, trong đó máy điện phân chạy bằng năng lượng tái tạo có thể tạo ra oxygen tinh khiết tại chỗ theo sự thay đổi của mức oxygen hòa tan trong ao nuôi tôm. Nuôi tôm quy mô công nghiệp cần một lượng điện năng rất lớn trong vận hành các máy sục khí, máy bơm nước nên chi phí cho hệ thống điện của trang trại nuôi tôm là không cao. Giảm thiểu chi phí năng lượng điện cho trang trại tôm bằng cách xác định lại công suất định mức của các thiết bị phát và lưu trữ điện năng là rất quan trọng.

Tuy nhiên, để đảm bảo sự phát triển bền vững của hệ thống nuôi tôm thì ngoài việc đảm bảo điện năng với chi phí hợp lý thì vấn đề giảm phát lượng khí thải CO₂ cũng cần được tính toán đến. Bài toán kinh tế và kỹ thuật thì thường không đồng dạng với nhau (cùng tăng hoặc cùng giảm) mà thường nghịch biến nhau. Do đó xác định giới hạn

cho phép của hai biến số thông qua các bài toán tối ưu đa mục tiêu là vô cùng quan trọng.

2.3.4. Sử dụng hệ thống năng lượng bền vững cho hệ thống sục khí

Ngành nuôi tôm ở Việt Nam chủ yếu gồm các trang trại nuôi tôm và các công ty chế biến với các hệ thống nuôi hiện đại được thay đổi từ hệ thống quảng canh sang hệ thống thâm canh và siêu thâm canh, đòi hỏi cần phải có sự hỗ trợ vận hành của máy sục khí cơ học. Máy sục khí cơ học là một thiết bị để duy trì chất lượng nước. Máy sục khí hoạt động vào ban đêm thường xuyên hơn ban ngày. Tuy nhiên, khi nuôi tôm mật độ cao thì, cần phải sục khí liên tục 24 giờ. Ngoài ra, tôm cần nhiều oxygen hòa tan hơn khi chúng lớn lên, dẫn đến tăng khả năng sục khí và kết quả là tăng chi phí vận hành.

Mặc dù lợi ích của sục khí cơ học là không thể phủ nhận nhưng hệ thống sục khí tiêu thụ một lượng năng lượng đáng kể. Mức tiêu thụ năng lượng điện thực tế cao hơn 1,26 lần trích nguồn so với công suất trục của máy sục khí. Hơn nữa, tiền điện phải chi trả cho việc cung cấp năng lượng cho các động cơ điện để dẫn động cho các máy sục khí cơ học tăng cao. Tuy nhiên, máy sục khí thường chạy vận hành liên tục, dẫn đến chi phí vận hành cao hơn yêu cầu. Tuy nhiên, tổng chi phí sản xuất có thể

được giảm bớt bằng cách hạn chế hoạt động của thiết bị sục khí trong những khoảng thời gian cần thiết, đặc biệt là ở những vùng giá điện cao trong ngày. Nói cách khác, việc sử dụng sục khí cho tôm cần được tính đến để tiết kiệm chi phí năng lượng vì việc sục khí quá nhiều gây lãng phí, làm tăng thêm chi phí, chẳng hạn như chi phí bảo trì và cơ sở hạ tầng đi kèm. Tuy nhiên, để đảm bảo lượng oxy hòa tan an toàn cho trang trại nuôi tôm, trên thực tế, nguồn cung cấp oxygen từ sục khí cao hơn oxygen nhu cầu của ao nuôi vì không có phương pháp nào để tính toán chính xác lượng oxy cần thiết để duy trì DO ổn định trong ao. Hệ thống nuôi tôm chủ yếu dựa vào năng lượng điện, đặc biệt là hệ thống sục khí chiếm 80% trích nguồn tổng năng lượng tại trang trại. Các trang trại nuôi tôm như vậy thường trang bị hệ thống sục khí dùng máy chạy dầu diesel hoặc máy phát điện chạy xăng hoặc dầu để đối phó với tình trạng mất điện tạm thời vì sự cố mất điện có thể làm giảm đáng kể lượng oxygen hòa tan trong các ao tôm.

Tình trạng này trở nên nguy hiểm hơn đối với nuôi cường độ cao hoặc trạng thái tôm đang trong giai đoạn phát triển, đây là một trong những nguyên nhân chính dẫn đến tỷ lệ tôm chết cao do mức oxygen thấp. Hầu hết năng lượng được sử dụng để vận hành máy sục khí được lấy từ nhiên liệu hóa thạch, gây ra các tác động đáng kể về tài chính và môi trường. Có nhiều tài liệu cho rằng sản xuất một tấn tôm sú tương ứng với 10 tấn CO₂ trích nguồn thải ra từ nhà máy nhiệt điện than. Bên cạnh đó, chi phí sử dụng nhiên liệu diesel cho động cơ điện của hệ thống sục khí cao hơn nhiều so điện mua từ lưới điện quốc gia. Do đó, một hệ thống năng lượng bền vững được đề xuất dựa trên những dữ liệu khảo sát thực tế để cung cấp khí oxygen cho các ao nuôi tôm, đặc biệt trong bối cảnh khuyến khích phát triển công nghệ cao tiết kiệm năng lượng và bền vững cho trang trại nuôi tôm Việt Nam.

Hệ thống quang điện đơn giản và chi phí bảo trì thấp. Điện gió hiện có khả năng cạnh

tranh với các nguồn điện thông thường vì chi phí điện gió đã giảm đáng kể cả khi có và không có lưới điện, do đó, đây là nguồn năng lượng để cung cấp năng lượng cho các máy sục khí tại các địa điểm phù hợp. Hơn nữa, hệ thống hỗn hợp bao gồm điện gió và điện mặt trời là phương pháp giải quyết vấn đề hiệu quả và kinh tế cho các hệ thống sục khí trong ngành nuôi tôm. Mặc dù đã có nhiều cải tiến và ứng dụng để thiết kế máy sục khí tốt hơn và đáp ứng nhu cầu điện năng cao trong các trang trại nuôi tôm, nhằm tiết kiệm năng lượng và giảm chi phí vận hành trong trang trại nuôi tôm, nhưng động cơ điện dẫn động máy sục khí vẫn tiêu thụ rất nhiều điện năng, dẫn đến chi phí vận hành cao và các tác động tiềm ẩn.

3. PHÂN TÍCH MÔ HÌNH NĂNG LƯỢNG BỀN VỮNG CHO TRANG TRẠI NUÔI TÔM

3.1. Tiềm năng phát triển nguồn năng lượng tái tạo vùng Đồng bằng sông Cửu Long

Về năng lượng tái tạo, vị trí địa lý đã mang lại cho Việt Nam một lợi thế đáng kể, đặc biệt là trong việc phát triển năng lượng mặt trời. Nằm gần đường xích đạo, Việt Nam thuộc khu vực có cường độ bức xạ mặt trời tương đối cao, với mức bức xạ trung bình dao động từ 4 đến 5 kWh/m² ngày. Trên thế giới, nhiều quốc gia đã và đang khai thác hiệu quả nguồn năng lượng này như một giải pháp thay thế cho các tài nguyên truyền thống đang dần cạn kiệt. Tuy nhiên, theo Đặng Hương Giang (2019), Việt Nam hiện mới chỉ khai thác khoảng 25% tiềm năng của nguồn năng lượng mặt trời. Do lãnh thổ trải dài từ Bắc vào Nam với điều kiện khí hậu, địa hình khác nhau, tiềm năng phát triển năng lượng tái tạo, bao gồm cả năng lượng mặt trời và năng lượng gió, ở mỗi vùng là không đồng đều. Việc đánh giá và xác định chính xác tiềm năng của các nguồn năng lượng này trên toàn quốc sẽ góp phần cụ thể hóa chiến lược phát triển năng lượng tái tạo quốc gia, hỗ trợ quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội theo vùng, đồng thời

Trong ba giai đoạn, năng lượng tiêu thụ nhiều nhất là cung cấp cho máy sục khí (60%) và bơm nước (20%). Năng lượng tái tạo được sử dụng để cung cấp điện cho nhu cầu tải tại trang trại nuôi tôm. Các trang trại nuôi tôm cần nguồn điện ổn định và an toàn, tức là nguồn điện liên tục mà không bị mất điện kéo dài. Do đó, nhu cầu thiết kế hệ thống năng lượng bền vững cho trang trại nuôi tôm là hết sức cần thiết, vừa tiết kiệm chi phí và nâng cao hiệu quả kinh tế.

Quy mô của các thành phần như số lượng tua bin gió nhỏ, tấm pin quang điện, máy điện phân, pin lưu trữ, máy phát điện diesel và pin nhiên liệu được tính toán dựa trên nhu cầu tải tại trại nuôi tôm, đặc biệt là tổng nhu cầu oxygen cho ao nuôi tôm. Để tối ưu hóa việc sử dụng máy điện phân và giảm chi phí sản xuất, tổng nhu cầu oxygen được trình bày chi tiết.

Theo Claude Edwin Boyd (2018), tổng nhu cầu oxygen bao gồm tốc độ hô hấp của sinh vật nuôi cấy, tốc độ hô hấp của nước (thực vật phù du), tốc độ hô hấp của trầm tích (chất hữu cơ

phân hủy). Tỷ lệ trao đổi oxygen giữa không khí và mặt nước phụ thuộc vào tốc độ gió trên ao và sự chênh lệch nồng độ so với độ bão hòa. Tỷ lệ sục khí lại được định nghĩa là:

$$E_{O_2} = \frac{\alpha_f}{Z_f} \cdot K_L (C_s - C_t) \quad (1)$$

Trong đó :

α_f : Là hệ số điều chỉnh tái sục khí

Z_f : Chiều thị độ dày thể tích tái sục khí (m)

C_s : Nồng độ DO ở độ bão hòa (mg/L)

C_t : Nồng độ DO tức thời (mg/L)

K_L : Là hệ số chuyển oxygen từ gió (m/h)

Được xác định bởi phương trình:

$$K_L = 0,0036 \cdot (8,43 \cdot \sqrt{v} - 3,67 \cdot v + 0,43 \cdot v^2) \quad (2)$$

Lượng oxygen được tạo ra bởi quá trình quang hợp phụ thuộc vào các yếu tố xung quanh như cường độ của bức xạ mặt trời hoạt động quang hợp (PAR) và nhiệt độ nước cùng với nồng độ của chất diệp lục được thể hiện qua phương trình (3):

$$P_{CO_2} = 9,6 \cdot \alpha_{par} \cdot R_s \cdot 1,036^{(T_w(t)-20)} \cdot e^{(1-\alpha_{par} \cdot R_s(t))} \cdot Chla \quad (3)$$

Trong đó:

α_{par} : Là tỷ lệ bức xạ mặt trời tổng tại điểm xét (m^2/kW)

R_s : là bức xạ mặt trời băng rộng (kW/m^2)

T_w : Là nhiệt độ của nước trong ao ($^{\circ}C$)

$Chla$: Là nồng độ chất diệp lục trong ao (mg/L)

Tổng tỷ lệ hô hấp trong ao liên quan đến tỷ lệ hô hấp của các loài thủy sinh trong quá trình nuôi, cụ thể là cá hoặc tôm, hô hấp trầm tích do chất hữu cơ phân hủy và hô hấp nước do thực vật phù du được tính, theo phương trình (4):

$$R_{CO_2}(t) = R_{species}(t) + R_{sediment}(t) + R_{water}(t) \quad (4)$$

Trong đó:

$R_{species}(t)$: Là tốc độ hô hấp của các loài được nuôi ($mgL^{-1}h^{-1}$)

$R_{sediment}(t)$: là tỉ lệ hô hấp của lớp trầm tích ($mgL^{-1}h^{-1}$)

$R_{water}(t)$: Là tốc độ hô hấp của nước ($mgL^{-1}h^{-1}$)

Về tốc độ hô hấp của loài nuôi, tốc độ hô hấp toàn phần của tôm được biểu thị như sau:

$$R_{species}(t) = R_{shrimp}(t) = -0,999 - 9,57 \times 10^{-4} \times m_{shrimp} + 6 \times 10^{-7} m_{shrimp}^2 + 0,0327 \times T_w - 8,7 \times 10^{-6} \times T_w^2 + 3 \times 10^{-7} \times m_{shrimp} \times T_w \quad (5)$$

Trong đó:

T_w : Là nhiệt độ của nước ($^{\circ}\text{C}$)

m_{shrimp} : là trọng lượng tôm ươn (g)

Tổng nhu cầu oxy cho một ao được tính như sau:

$$TOD(t) = (R_{o_2}(t) - P_{o_2}(t)) \times V_{pond} \times 10^{-3} \quad (6)$$

$TOD(t)$: Là tổng nhu cầu oxy trong ao nuôi ($\text{mgL}^{-1}\text{h}^{-1}$)

Tổng nhu cầu oxy trong ao nuôi tôm được sử dụng để tính cho công suất vận hành của máy điện phân kiềm. Tổng hô hấp oxygen

$$AAE = \frac{\alpha \times SAE \times (\beta \times C_s - C_p) \times 1,024^{(T_w - 20)}}{9,07} \quad (7)$$

Trong đó :

AAE : Là hiệu suất thực tế của máy sục khí (kg/kWh)

β : Là tỷ số nồng độ bão hòa DO của nước ao với nước máy

C_p : Là nồng độ ban đầu nước trong ao

T_w : Là nhiệt độ của nước trong ao ($^{\circ}\text{C}$)

Công suất điện yêu cầu của máy sục khí cơ học được tính theo phương trình (8):

$$P_{MA} = \frac{TOD}{AAE} \quad (8)$$

Có thể thấy rằng Hình 4 thể hiện hệ thống tổng thể đòi hỏi nhiều công suất hơn vào ban đêm. Ngoài ra, tải của hệ thống được tạo thành bởi một lượng đáng kể năng lượng từ máy điện phân. Đồng thời, tải trọng cơ bản yêu cầu một lượng điện từ hệ thống. Do đó, đồ thị phụ tải của toàn hệ thống giống đồ thị phụ tải của máy điện phân, đòi hỏi nhiều điện hơn vào ban đêm. Công suất đầu vào danh nghĩa của máy điện phân kiềm được xác định bởi tốc độ sản xuất oxygen danh nghĩa theo

được cho là không đổi trong ngày, được sử dụng để xác định công suất định mức của máy điện phân kiềm trong khi DO dao động trong ao do quá trình quang hợp ảnh hưởng đến sự hoạt động của máy điện phân.

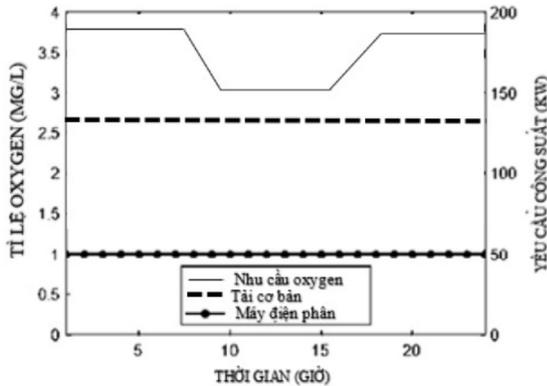
Để so sánh các tính năng của hệ thống sục khí cải tiến với hệ thống sục khí thông thường chạy bằng máy sục khí cơ học, yêu cầu về điện năng cho máy sục khí cơ học được tính đến. Trong các điều kiện hoạt động khác nhau của ao, hiệu suất sục khí thực tế của thiết bị sục khí có thể được biểu thị bằng phương trình sau:

dữ liệu của nhà sản xuất có thể đáp ứng đủ nhu cầu oxygen tổng thể của ao nuôi tôm. Máy điện phân kiềm được chọn để sản xuất oxygen tại chỗ vì máy điện phân kiềm đã được sản xuất trong phạm vi megawatt với giá cả phù hợp, khiến chúng trở thành ứng dụng phổ biến nhất về mặt công nghệ điện phân ở cấp độ thương mại. Oxygen được tạo ra bằng phương pháp điện phân được lưu trữ trong bể trước khi được sử dụng để cung cấp cho ao nuôi tôm thông qua đường ống ở đáy ao bằng hệ thống sục khí cải tiến. Hệ thống sục khí dựa trên quá trình tạo bọt khí siêu nhỏ.

3.3. Vận hành tối ưu hệ thống sục khí khí cải tiến

Việc sục khí cho ao nuôi tôm cần thiết hơn vào ban đêm so với ban ngày. Tuy nhiên, vào ban ngày, hệ thống sục khí vẫn nên được vận hành để duy trì chất lượng nước tốt và thúc đẩy sự phát triển sinh khối. Nồng độ oxygen hòa tan (DO) trong ao nuôi tôm nên được duy trì khoảng 5 mg/l để tạo điều kiện phát triển khỏe mạnh cho tôm và ngăn chặn sự sụt giảm đáng kể nồng độ DO, đặc biệt trong những ngày thời tiết nhiều mây. Vào ban ngày, điện năng được

tạo ra từ các tuabin gió nhỏ và các tấm pin mặt trời được chuyển đổi thành điện xoay chiều. Nguồn điện ổn định này được cung cấp cho hệ thống xử lý nước và các tải điện liên quan tại trang trại nuôi tôm, trong khi phần điện không ổn định được lưu trữ trong pin trước khi cung cấp trực tiếp cho bộ điện phân kiềm để sản xuất oxygen, như mô tả trong Hình 4.



Hình 4. Nhu cầu oxygen hàng giờ và công suất tại trang trại nuôi tôm

Hệ thống xử lý nước cần được cấp điện ổn định để cung cấp nước sạch cho ao nuôi tôm cũng như phục vụ quá trình điện phân nước. Hơn nữa, bộ điện phân cần có pin đóng vai trò như bộ đệm năng lượng ngắn hạn, giúp làm mượt các dao động công suất đầu vào trong thời gian ngắn. Điều này là do bộ điện phân có thể không hoạt động hiệu quả trong điều kiện thời tiết bất lợi, dẫn đến việc không thể lưu trữ oxygen nén trong bể chứa. Khi công suất đầu vào của bộ điện phân dao động mạnh, thiết bị có thể bị bật/tắt liên tục. Trong trường hợp bị tắt, điện thế của chông tế bào sẽ bị đảo ngược, làm ăn mòn màng tế bào và giảm tuổi thọ của bộ điện phân.

Việc sử dụng pin giúp cung cấp năng lượng liên tục từ các nguồn năng lượng tái tạo cho bộ điện phân, đảm bảo hoạt động ổn định để tạo ra dòng oxygen phù hợp và liên tục được lưu trữ trong bể chứa. Oxygen tinh khiết từ bể chứa sẽ được dẫn qua hệ thống ống đặt ở đáy ao nuôi tôm đến hệ thống sục khí tiên tiến trước khi được đưa vào nước. Hệ thống sục khí tiên tiến này tạo ra các bọt

oxygen siêu nhỏ, giúp tăng hiệu suất hòa tan oxygen vào nước. Ngoài ra, việc sử dụng oxygen tinh khiết thay vì oxygen từ không khí (chỉ chứa 21% oxygen) có thể làm giảm đáng kể lượng khí cần bơm vào ao nuôi tôm, giúp giảm nhu cầu năng lượng cho máy nén khí lên đến 5 lần.

Hydrogen là sản phẩm phụ từ quá trình điện phân nước, được xem là một trong những yếu tố quan trọng của mô hình năng lượng bền vững. Hydrogen có thể được sử dụng để tái tạo điện khi cần thiết. Đây là một trong những nhiên liệu triển vọng nhất cho các ứng dụng hiện đang sử dụng nhiên liệu hóa thạch, vì nó có thể lưu trữ và truyền tải điện năng mà không tạo ra khí thải độc hại. So với nhiên liệu hóa thạch, hydrogen hiệu quả hơn trong việc chuyển đổi năng lượng điện thành các dạng năng lượng hữu ích khác.

Hydrogen có thể được chuyển đổi trực tiếp thành điện thông qua pin nhiên liệu, có thể được sử dụng như một hệ thống cân bằng tải điện. Sục khí đặc biệt cần thiết hơn vào ban đêm so với ban ngày do quá trình quang hợp ngừng lại khi không có ánh sáng mặt trời, dẫn đến sự sụt giảm đáng kể lượng oxygen hòa tan do quá trình hô hấp của sinh vật phù du, tôm, trầm tích và các sinh vật khác. Duy trì mức DO đủ cho ao nuôi tôm liên tục là rất quan trọng để ngăn ngừa tình trạng thiếu oxygen gây tử vong cho tôm. Do đó, vào ban đêm khi năng lượng từ các tuabin gió nhỏ có thể không đủ để vận hành bộ điện phân và nhu cầu oxygen cao, hoặc vào ban ngày khi nguồn năng lượng gió và mặt trời không ổn định do sự biến động đáng kể của các nguồn này, cần phải lưu trữ điện để đối phó với các tình huống này.

Nói cách khác, khi mất cân bằng giữa sản xuất điện và nhu cầu sử dụng điện tại trang trại nuôi tôm do sự phụ thuộc cao của các nguồn năng lượng tái tạo vào điều kiện thời tiết, hydrogen từ bể chứa sẽ được sử dụng để tái tạo điện, cung cấp năng lượng cho bộ điện phân thông qua pin đệm và cung cấp điện cho các tải liên quan bằng pin nhiên liệu, giúp bù

đáp sự chênh lệch năng lượng của hệ thống. Hệ thống pin nhiên liệu tái tạo được đề xuất thay thế cho các ngân hàng pin vì nó rẻ hơn trong việc lưu trữ năng lượng dài hạn (trên 5 kWh). Ngoài ra, pin thường mất từ 1 đến 5% năng lượng mỗi giờ, do đó chúng phù hợp hơn cho việc lưu trữ ngắn hạn, trong khi pin nhiên liệu được cung cấp liên tục từ nhiên liệu lưu trữ bên ngoài thay vì lưu trữ năng lượng bên trong. Hệ thống pin nhiên liệu tái tạo có hiệu suất cao, đáng tin cậy và thân thiện với môi trường vì nó không có bộ phận chuyển động. Nồng độ oxygen hòa tan cần thiết trong ao nuôi tôm có thể được duy trì bằng cách điều chỉnh tốc độ sản xuất O₂ của bộ điện phân thông qua công suất đầu vào của nó. Bộ điện phân có thể sản xuất O₂ với công suất dao động từ 20% đến 100%.

Hệ thống điều khiển DO tự động không chỉ cung cấp thông tin thời gian thực về nồng độ DO mà còn giúp tiết kiệm năng lượng và giảm chi phí vận hành. Khi hệ thống sục khí được kiểm soát tốt, lượng điện dư thừa từ hệ thống có thể được bán lại cho lưới điện quốc gia thông qua điểm kết nối chung theo chính sách giá điện ưu đãi (FIT) tại Việt Nam. Từ góc độ bền vững, mô hình năng lượng được đề xuất cho các trang trại nuôi tôm ở Đồng bằng sông Cửu Long, được cung cấp năng lượng từ các nguồn tái tạo để tự sản xuất oxygen tại chỗ cho hệ thống sục khí tiên tiến và tận dụng hydrogen phụ phẩm để tái tạo điện, đặc biệt hấp dẫn cho các ứng dụng trong tương lai. Việc sử dụng nguồn năng lượng tái tạo cho hệ thống sục khí sáng tạo không chỉ giúp giảm phát thải khí nhà kính mà còn mang lại hiệu quả hoàn vốn đầu tư với thời gian hoàn vốn dưới bốn năm. Công nghệ điện phân nước bằng bộ điện phân kiềm để sản xuất oxygen cho sục khí là một công nghệ trưởng thành với hiệu suất khoảng 70-80%.

Oxygen sản xuất từ quá trình điện phân nước có chi phí cao hơn so với các công nghệ khác vì nó đòi hỏi năng lượng chất lượng cao. Do đó, các viện nghiên cứu và nhà sản

xuất đang hợp tác để giảm chi phí của bộ điện phân. Việc sản xuất oxygen tự thân không phải là một giải pháp hấp dẫn hay cạnh tranh với các phương pháp khác; tuy nhiên, việc ứng dụng hydrogen phụ phẩm để tái tạo điện có thể giảm đáng kể lượng điện cần thiết để sản xuất hydrogen. Ngoài ra, pin nhiên liệu chuyển đổi hydro thành điện dự kiến sẽ có mức tăng trưởng đáng kể trong tương lai, dẫn đến giảm chi phí thiết bị, giúp công nghệ này có thể cạnh tranh về mặt kinh tế trên thị trường.

4. KẾT LUẬN

Mô hình năng lượng bền vững được đề xuất cho các trang trại nuôi tôm ở Đồng bằng sông Cửu Long được xây dựng dựa trên kinh nghiệm và quan điểm của các tác giả sau quá trình nghiên cứu chuyên sâu. Cấu hình hệ thống tối ưu và vận hành hệ thống sục khí cải tiến sử dụng năng lượng tái tạo đã được nghiên cứu và trình bày theo bối cảnh nuôi tôm, xét từ góc độ kinh tế và môi trường. Hệ thống sục khí tiên tiến được phát triển bằng cách kết hợp hệ thống điện gió và pin mặt trời (PV), giúp tăng nồng độ oxygen hòa tan (DO) trong ao nuôi tôm, tiết kiệm chi phí năng lượng, giảm chi phí vận hành và lượng khí CO₂ thải ra, đồng thời nâng cao khả năng cạnh tranh về chi phí sản xuất. Điểm đột phá của hệ thống này là việc áp dụng các công nghệ mới như điện phân nước và pin nhiên liệu hydro, trong đó cả oxygen và hydrogen đều được tận dụng. Mặc dù công nghệ điện phân nước và pin nhiên liệu hydrogen hiện nay còn rất đắt do chi phí đầu tư cao, nhưng đây là công nghệ đang dần hoàn thiện và phát triển. Về lâu dài, mô hình năng lượng bền vững bao gồm thiết bị điện phân nước sử dụng nguồn năng lượng tái tạo, kết hợp với pin nhiên liệu hydrogen làm nguồn dự phòng, sẽ là một bước đột phá có ảnh hưởng đáng kể đến tính khả thi về tài chính và tính bền vững về môi trường cho ngành nuôi tôm và nuôi trồng thủy sản ở Đồng bằng sông Cửu Long.

Tài liệu tham khảo

Ariel Ari Setiawan, (2018), "Design Optimization of Solar Powered Aeration System for Fish Pond in Sleman Regency, Yogyakarta by HOMER Software," Energy Procedia, vol. 32, no. 4, pp. 90–98.

Ahmad Agus Setiawan, (2013), "Design Optimization of Solar Powered Aeration System for Fish Pond in Sleman Regency, Yogyakarta by HOMER Software," Energy Procedia, vol. 32, no. 4, pp. 90–98.

Claude Edwin Boyd, (2018), "Dissolved oxygen and aeration in ictalurid catfish aquaculture." Journal of the World Aquaculture Society, 49(1), pp. 7-70.

Đặng Hương Giang, (2019), "Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của Nhà máy điện mặt trời nổi lưới đến lưới điện phân phối của địa phương". Trung Tâm Năng lượng Tái tạo – Viện Năng Lượng.

Lưu Ngọc An, Lưu Thanh Bình, (2016), "Thiết kế tối ưu hệ thống hybrid năng lượng mặt trời, bộ dự trữ và Diesel," Tạp chí khoa học công nghệ Đại học Đà Nẵng.

Nguyễn Anh Tuấn, (2018), "Đánh giá tiềm năng năng lượng mặt trời cho phát triển điện ở Việt Nam – Triển vọng và Nhận định". Trung Tâm Năng lượng Tái tạo – Viện Năng Lượng.

Lưu Ngọc An, Lưu Thanh Bình, (2016), "Thiết kế tối ưu hệ thống hybrid năng lượng mặt trời, bộ dự trữ và Diesel," Tạp chí khoa học công nghệ Đại học Đà Nẵng, 5(2), pp. 5-10.

Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Văn An, Lê Văn Hùng, Đặng Hương Giang, (2019), "Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của Nhà máy điện mặt trời nổi lưới đến lưới điện phân phối của địa phương". Trung Tâm Năng lượng Tái tạo – Viện Năng Lượng.

Võ Tấn Thái, (2017), "Thiết kế hệ thống sử dụng năng lượng mặt trời tại Trường Cao đẳng nghề Việt Nam Hàn Quốc Quảng Ngãi". Luận văn cao học. Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng.

William A. Beckman. (2013), "Design of photovoltaic systems," in Solar Engineering of Thermal Processes, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, pp. 745-773.

DEVELOPING A SUSTAINABLE ENERGY MODEL FOR SHRIMP FARMS IN THE MEKONG DELTA

ABSTRACT

Shrimp farming is an important and rapidly growing aquaculture industry worldwide, driven by the increasing demand for high-protein food sources. With advancements in technology and farming methods, shrimp production has been rising, making a significant contribution to the economies of many countries. In Vietnam, shrimp farming in the Mekong Delta plays a crucial role in the national economy through export activities. However, the industry requires a high electricity supply for aeration systems to continuously maintain adequate dissolved oxygen O_2 levels in ponds, improving water quality and promoting shrimp growth. Aerators powered by electric motors consume a large amount of electricity, leading to high operational costs and reliance on conventional energy sources to achieve economic productivity while reducing greenhouse gas emissions, a sustainable energy model for shrimp farms is essential. This study presents the optimal design of renewable energy sources to power aeration systems, based on variations in dissolved oxygen levels in the shrimp ponds. The main objective is to achieve economically viable shrimp production with minimal environmental impact on shrimp farms.

Keywords: Aeration system, electrolyzer, farming, farm