

기술보고서: 에코ORP 시스템 기반 양식장 수질관리 개선 방안

1. 국내 양식장 수질관리 현황 및 문제점

국내 양식장은 고밀도 사육과 대량의 사료투여로 인해 사료 찌꺼기 및 어체 배설물이 축적되어 수질이 악화되고 있다 ¹ ². 축적된 유기물은 부패과정을 통해 암모니아·황화합물 등을 발생시켜 질병을 유발하며, 이로 인해 항생제·소독제 의존도가 높아지는 악순환이 반복된다 ¹ ³. 특히 장어 양식 등에서는 바이러스 예방을 위해 항생제를 과다 사용해 왔으며, 실제 한 사례에서는 프로바이오틱스 도입 전후로 항생제 사용량이 50% 수준으로 감소하고 악취·폐사도 크게 줄었다 ⁴. 또한 사육수(배출수)에 대한 규제가 미흡하여, 육상 양식장(1000여 개소)에서 처리되지 않은 배출수가 그대로 인근 해역으로 유입되어 해저까지 오염을 일으키고 있다 ⁵ ². 이처럼 사료 찌꺼기의 부패와 항생제 남용, 오염수 무처리 배출이 복합적으로 작용하여 수질관리의 큰 문제를 야기하고 있다.

2. 기존 수질처리 기술의 한계 및 복잡성

전통적인 고밀도 순환여과(RAS) 시스템은 설비가 매우 복잡하고 초기 설치비용과 유지비용이 높다 ⁶ ⁷. 예를 들어, 크리너·드럼스크린·스키머·생물여과조·액화산소(LOX) 용해기·UV 살균기 등 다수의 장비가 필요하며 ⁷, 액화산소 공급 및 UV 살균 같은 추가 공정이 필수적이다 ⁷ ⁸. 이로 인해 설비비용은 수천만~수십억원 규모에 달하며, 운영 중에도 산소 공급 및 소독비용이 지속적으로 소모된다. 복잡한 구조는 운전·점검 인력과 전기·소모품 사용을 증가시켜 경제성이 떨어진다.

3. 에코ORP 시스템의 원리 및 구성요소

에코ORP 시스템은 SMO(초음파 캐비테이션) 반응기와 나노자임(인공효소) 기반 수처리 기술을 결합한 솔루션이다. SMO 장치는 고온·고압의 캐비테이션에 의해 수중에 OH 라디칼을 생성하여 사료 찌꺼기, 배설물, 병원균을 강력히 산화 분해한다 ⁹. 이 과정에서 자연계 효소(Superoxide dismutase, Catalase, Peroxidase)와 유사한 기능을 하는 나노자임이 생성되어, 부패 물질을 분해하는 동시에 호기성 유익미생물의 증식을 돕는다 ⁹ ¹⁰. 나노자임은 무기물 기반으로 합성된 효소 모방 물질로, 기존 효소보다 안정성과 생산성이 우수하다 ¹⁰. 시스템 구성요소로는 SMO를 포함한 에코나노리액터, 처리수를 정화하는 재순환 DAF(용존공기부상) 모듈, 그리고 나노에멀전 반응조 등이 있으며 ¹¹, 이를 통해 양식장 수조의 물을 순환 처리할 수 있다.

4. 에코ORP 시스템의 장점(기존 대비)

- **항생제 및 사료 사용 저감:** 시스템이 수질을 자정하여 질병을 예방하므로 항생제 투여량을 크게 줄일 수 있다 ¹². 사료 찌꺼기 부패가 억제되어 사료효율도 향상되며, 생산성 극대화가 가능하다 ¹².
- **폐사율 감소·생산량 증가:** SMO에 의해 수조 내 유해병원체가 산화 분해되므로, 기존 20% 이상이던 폐사율이 실제 시험에서 0%로 감소함이 확인되었다 ¹³. 이를 통해 수확량이 통상 대비 20% 이상 증가할 수 있어 수익성이 대폭 개선된다.
- **간단한 시스템 구조:** 에코ORP는 순환여과식 구조로 구성되며, 액화산소 공급기나 UV·오존 살균기 같은 부속 장비가 불필요하다 ⁸. 설비 항목이 간소하여 설치와 유지가 수월하며, 운영 중 고장이 적다.
- **에너지 절감 및 안정적 산소 공급:** 별도의 산소 주입 없이도 SMO 작동 시 수중 DO(용존산소)가 18.5 mg/L 이상으로 유지되어, 고밀도 양식에서도 안정적 산소공급이 가능하다 ¹⁴. 이로써 액화산소·윈드러 등 에너지 비용을 크게 절감할 수 있다.

- **수질 개선 효과:** SMO가 생성하는 OH 라디칼은 사이아노박테리아·적조균 등 조류나 바이러스, 레지오넬라 폐렴균 등 병원균을 파괴하고, 잔류 항생제·약물 성분까지 제거한다¹⁵. 결과적으로 질병 발병률이 낮아지고, 수산물의 신선도가 향상된다¹⁵ ¹⁶.

5. 경제성 분석

에코ORP 시스템은 **설치·운영 비용 면에서 기존 시스템보다 매우 경제적이다**. 일반 순환여과 양식장의 설치비용은 규모에 따라 **수천만~수십억원**인 반면, 에코ORP 시스템은 **약 3천만~6천만 원** 수준으로 평가된다⁶ ¹⁷. 예를 들어, 기존 시스템 구축 시 필요한 액화산소 탱크·보일러·UV장치 등이 불필요하므로 설비비가 크게 절감된다. 운영 측면에서도 에코ORP는 항생제·소독제·사료 소모를 줄여 연간 운영비를 절감할 수 있다. 아래 표는 기존 시스템과 에코ORP 시스템의 대표적 비용·성능 비교 예시이다.

구분	기존 RAS 시스템	에코ORP 시스템
설치비용	3천만~20억원 규모 ⁶	3천만~6천만원 규모 ¹⁷
운영비	산소·소독제·에너지 고비용	산소·소독제 불필요 ⁸
항생제 사용	빈번(자가진단 사용)	거의 없음(효과적 예방) ¹²
폐사율	약 20% 이상	0% (실증사례) ¹³
생산성	폐사율로 수확량 감소	수확량 20% ↑ (폐사 대체)
에너지 효율	낮음 (고압설비 필요)	높음 (추가 설비 不要) ⁸

위 비교에서 알 수 있듯, 초기투자 대비 에코ORP 시스템은 설치비가 **1/10~1/50 수준**으로 저렴하며, 폐사율 감소·생산량 증대 등을 통해 장기적으로 투자 수익률(ROI)이 크게 높아진다. 예컨대 폐사율을 20% 줄이면 연간 수확량이 동일 규모 대비 25% 이상 증가하여 매출 상승효과가 크다.

6. 적용 절차 및 운영방안

에코ORP 시스템 도입 시 일반적인 절차는 다음과 같다:

- 1. 설치 준비 단계:** 기존 수조에 SMO 장치와 순환파이프, DAF 모듈 등을 설치하고 연결한다. 설비 운전 전 수조를 간단히 세척하여 과도한 오염원을 제거한다.
- 2. 초기 순환 운전:** 시스템 운전 전 유입수 조건을 파악하고, 시운전 모드로 SMO를 가동하여 무부하 순환을 실시한다. 이때 pH, DO, 탁도, ORP 등의 수질 지표를 모니터링하여 기준범위 내 안정화 여부를 확인한다.
- 3. 단계적 적용:** 안정화가 확인되면 실제 양식수(水)를 순환 처리하기 시작한다. 초기에는 부분 순환으로 시작해 어체 반응을 관찰하고, 이상 없으면 전면 순환으로 전환한다. 운전하면서 사료 급여량을 조절하고, 항생제 투여를 점차 감축한다.
- 4. 운영 최적화:** 정기적으로 탁도, 염도, $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ 등 수질을 검사하고, DAF 모듈에서 제거된 슬러지를 처리한다. 시스템 자동제어기를 통해 유속과 운전시간을 조절하며, 계절별·어종별 최적 운전조건을 마련한다.

이와 같은 단계별 운영을 통해 현장 여건에 맞게 수질을 안정화할 수 있으며, 도입 초기에 체계적인 모니터링을 통해 예상치 못한 문제를 조기에 해결할 수 있다.

7. 국내 적용 사례 및 실증 결과

국내 시범실험 결과 에코ORP 시스템의 유효성이 확인되었다. 실제 고밀도 순환수조(광어·우럭 혼합 수조, 수온 8°C)에 22일간 적용한 결과, **폐사율 0%**를 기록했다¹³. 이는 기존 동종 조건에서 약 20% 이상의 폐사율을 보인 것과 비교된다. 또한 시스템 적용 후 **DO가 18.5 mg/L**로 유지되어 산소 부족 문제가 해소되었고¹⁸, 염도 및 ORP 변화 추적에서도 유의한 양호성이 관찰되었다. SMO 처리수 투입(11일차) 이후 수조의 음이온 농도가 증가하며 분자의 양상이 변하는

것으로 확인되었다¹⁹. 특히 SMO 장치에서 생성된 OH 라디칼이 시아노박테리아·녹조류·로타바이러스·레지오넬라 폐렴균 등 주요 병원체를 파괴하였고, 잔류유기약물(CPC, 이부프로펜 등)까지 제거되었다¹⁵. 결과적으로 양식장 내 전염병 발생이 예방되고 수산물 품질 신선도가 향상되는 등의 효과가 보고되었다¹⁵¹⁶.

이상의 실증 데이터를 통해 에코ORP 시스템은 국내 환경에서도 **효과적으로 수질을 개선하고 양식 생산성을 증대**시킬 수 있음을 보였다. 지자체와 양식장 운영자는 본 기술을 도입함으로써 수질 오염 문제를 해결함과 동시에 생산성을 높이는 이중의 이익을 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌: 본 보고서의 자료는 국내 수산 양식장 사례와 에코ORP 시스템 실증 데이터⁹²⁰, 언론 보도³², 수산기술 자료¹ 등을 기반으로 작성되었다.

¹ 수산생물 질병예방 < 수산물안전관리 < 어업기술원< 해양수산 메인

https://www.gb.go.kr/Main/open_contents/section/marinefishery/page.do?mnu_uid=1807&LARGE_CODE=350&MEDIUM_CODE=30&SMALL_CODE=30

² ⁵ KBS 뉴스

<https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=496046>

³ ⁴ “복합유산균 먹여 항생제 줄고 수질도 보호”...장어 양식 ‘새바람’ - 장강뉴스

<https://www.jgynews.com/news/articleView.html?idxno=25675>

⁶ ⁷ ⁸ ⁹ ¹¹ ¹² ¹³ ¹⁴ ¹⁵ ¹⁶ ¹⁷ ¹⁸ ¹⁹ ²⁰ 양식장을 위한 에코ORP시스템.pdf

<file:///file-EBxPjV5hpQSaUjmytSV3zB>

¹⁰ NEWS

https://news.kaist.ac.kr/news/html/news/?mode=V&mng_no=19230