KFAS 한국수산과학회지 Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences
한수지 59(5), 557-563, 2026

Original Article
Korean J Fish Aquat Sci 59(5),557-563,2026

김(*Pyropia* spp.) 양식장 황백화 위험환경 모니터링을 위한 비시약식 광학 센서 시스템 개발 및 현장 실증

임창용* · 최보현 · 박남도 · 선승천 · 이영진 · 김성철[1]

전남광주통합특별시 해양수산과학원, [1](주)동문시스텍

Development and Field Validation of a Reagent-Free Optical Sensor for Nutrient Monitoring in Laver (*Pyropia* spp.) Aquaculture

Chang-Yong Im*, Bo-Hyeon Choi, Nam-Do Park, Seung-Cheon Seon, Young-Jin Lee and Seong-Chul Kim[1]

Jeonnam-Gwangju Special Metropolitan City Ocean and Fisheries Science Institute, Wando 59116, Republic of Korea
[1]Dongmun Systec Co., Ltd., Goyang 10379, Republic of Korea

Continuous monitoring of the marine environment is essential for stable production in laver (*Pyropia* spp.) aquaculture, which is highly susceptible to environmental fluctuations. This study evaluated the field applicability of a reagent-free, multi-wavelength optical sensor for monitoring nutrient conditions associated with discoloration risk in laver aquaculture and aimed to provide baseline data for the development of a real-time monitoring system. In laboratory tests, the sensor exhibited high linearity (R^2=0.9997) over a nitrate-nitrogen concentration range of 0.02–1.00 mg/L, although uncertainty increased at the lowest tested concentration (0.02 mg/L). During field validation in coastal waters near laver farms, where seawater optical properties vary with salinity and turbidity, sensor measurements showed trends consistent with those obtained from laboratory analyses. Differences between the mean concentrations measured by the sensor and those determined by laboratory analyses ranged from 0.001 to 0.008 mg/L. These findings suggest that the optical sensor can serve as a supplementary tool for real-time monitoring of nutrient conditions associated with discoloration risk in laver aquaculture.

Keywords: *Pyropia* spp., Discoloration, NO_3-N, Reagent-free optical sensor, Aquaculture

서 론

김(*Pyropia* spp.)은 한국 해조류 양식 산업의 주요 경제 품종으로, 양식 생산성 향상과 산업 안정화를 위한 지속적인 관리가 요구된다. 특히 양식기간 중 발생하는 황백화는 김의 품질과 생산량을 저하시키는 주요 요인으로 알려져 있으며, 영양염 부족을 비롯한 다양한 환경요인이 황백화 발생에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Lee et al., 2018, 2019a; Cho et al., 2021).

김 황백화의 발생에는 다양한 환경요인이 관여하며, 특히 용존무기질소와 용존무기인 등 영양염의 부족이 주요 발생 요인으로 보고되고 있다(Kim et al., 2018; Lee et al., 2019a; Cho et al., 2021). 또한, 황백화 엽체에 NO_3^- 및 PO_4^{3-}를 공급한 실내 배양 연구에서 광합성 효율과 색택의 회복이 확인되어 영양염 공급과 황백화 회복 간의 관련성이 보고된 바 있다(Lee et al., 2019b).

기존의 해수 영양염 분석은 시료를 채취하여 실험실에서 화학적으로 분석하는 방식이 널리 이용되어 왔으며, 이러한 방식은 개별 시료의 정밀한 농도 분석에는 유용하지만 시료 채취 사이에 발생하는 단시간의 농도 변동을 연속적으로 추적하는 데에는 한계가 있다. 특히 해양환경에서 영양염 농도는 조석, 수괴 혼합 및 외부 유입 등에 따라 단시간에도 변동할 수 있으므로, 이러한 변화를 파악하기 위해서는 높은 시간해상도의 현장 관측이 요구된다(Johnson and Coletti, 2002; Zielinski et al., 2011). Johnson and Coletti (2002)는 자외선(ultraviolet, UV)

***Corresponding author:** Tel: +82. 61. 550. 0661 Fax: +82. 61. 552. 0066
E-mail address: copkill35@korea.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

https://doi.org/10.5657/KFAS.2026.0557
Korean J Fish Aquat Sci 59(5), 557-563, October 2026
Received 25 August 2026; **Revised** 6 October 2026; **Accepted** 8 October 2026
저자 직위: 임창용(연구개발팀장), 최보현(해양수산연구사), 박남도(어촌지도사), 선승천(해양수산연구사), 이영진(친환경수산과장), 김성철(대표)

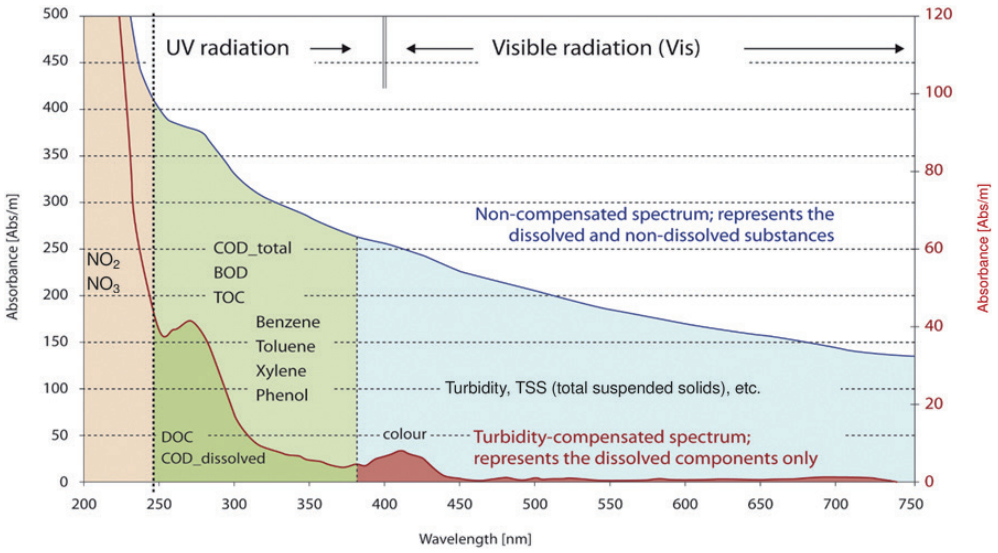


Fig. 1. Typical ultraviolet–visible absorbance spectrum of water and absorption ranges of major constituents. BOD, Biochemical oxygen demand; COD, Chemical oxygen demand; DOC, Dissolved organic carbon; TOC, Total organic carbon; TSS, Total suspended solids; UV, Ultraviolet; Vis, Visible.

흡광 특성을 이용한 비시약식 in situ ultraviolet spectrophotometer를 개발하여 해수 중 질산염을 약 1초 수준의 높은 시간 해상도로 장기간 측정할 수 있음을 제시하였다. 또한 Zielinski et al. (2011)은 탁도가 높은 연안해역에서 연속적인 UV 질산염 측정과 기존 습식화학 분석을 비교하고, 조석에 따른 단시간 질산염 변동을 고해상도로 관측할 수 있음을 보고하였다.

한편, 위성 및 원격탐사 기술을 활용하여 해조류 양식장의 분포와 해조류 발생 현상을 광역적으로 모니터링하는 연구도 수행되고 있다(Xing et al., 2019). 이러한 원격탐사 기반 접근법은 넓은 해역의 분포 및 공간적 변화를 파악하는 데 유용하지만, 개별 양식장 수준에서 발생하는 영양염 농도의 단기 변동을 직접적이고 연속적으로 관측하는 데에는 한계가 있다(Bell et al., 2020). 따라서 광역적인 공간정보를 제공하는 원격탐사 기술과 현장에서 연속적인 환경정보를 제공하는 센서 기술을 상호 보완적으로 활용할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 황백화 위험환경을 구성하는 영양염 변동을 현장에서 실시간으로 감시할 수 있는 비시약식 광학센서 시스템을 구축하고, 실제 김 양식해역에서의 적용 가능성을 평가하고자 하였다. 기존 광학식 센서 기술을 기반으로 해양환경에서 발생할 수 있는 생물부착, 부유물질 및 염분 등의 영향을 고려하여 현장 적용형 측정시스템을 구성하였다. 본 연구의 목적은 첫째, 비시약식 다파장 광학센서 기반의 질산성 질소(nitrate nitrogen, NO_3-N) 측정시스템을 구축하고, 둘째, Lab-test를 통해 시스템의 선형성과 저농도 측정 성능을 검증하며, 셋째, Test-bed 및 실제 김 양식해역에서의 현장 실증을 통해 실험실 분석 결과와 비교함으로써 해당 시스템의 현장 적용 가능성을 평가하는 데 있다.

재료 및 방법

비시약식 다파장 광학센서

본 연구에서는 수중에 존재하는 화합물 및 입자의 광학적 특성을 이용하여 농도를 산출하는 방식의 분광 프로브(spectro::lyser V3; s::can Messtechnik GmbH, Vienna, Austria)를 영양염 측정장비로 사용하였다(Fig. 1, 2). 본 측정장비는 UV 및 가시광선 영역인 220–720 nm의 연속적인 스펙트럼을 측정하고, UV 영역에서 나타나는 질산염의 흡광 특성을 이용하여 NO_3-N 농도를 산출하였다. UV 흡광 스펙트럼을 이용한 질산염 측정은 시약을 사용하지 않고 해수 중 질산염을 고빈도로 연속 관측할 수 있는 방법으로 활용되고 있다(Johnson and Coletti, 2002; Sakamoto et al., 2009). 현장 적용을 고려하여 해양환경에서 발생할 수 있는 오염 및 생물부착에 대응할 수 있도록 방오 및 세정 기능을 고려하였다. 본 연구에서는 센서의 장비 성능 자체보다 양식환경에서의 활용 가능성을 평가하는 데 초점을 두었다.

NO_3–N 기준분석

센서 측정값의 비교 및 검증을 위해 해수 중 NO_3-N을 실험실에서 분석하였다. 기준분석은 「해양환경공정시험기준」(국립수산과학원고시 제2023-5호, 2023.12.11.)에 제시된 해수 분석방법에 따라 수행하였다(NIFS, 2023). 전처리 및 환원·발색 과정을 거친 후 543 nm 또는 540 nm에서 흡광도를 측정하여 NO_3-

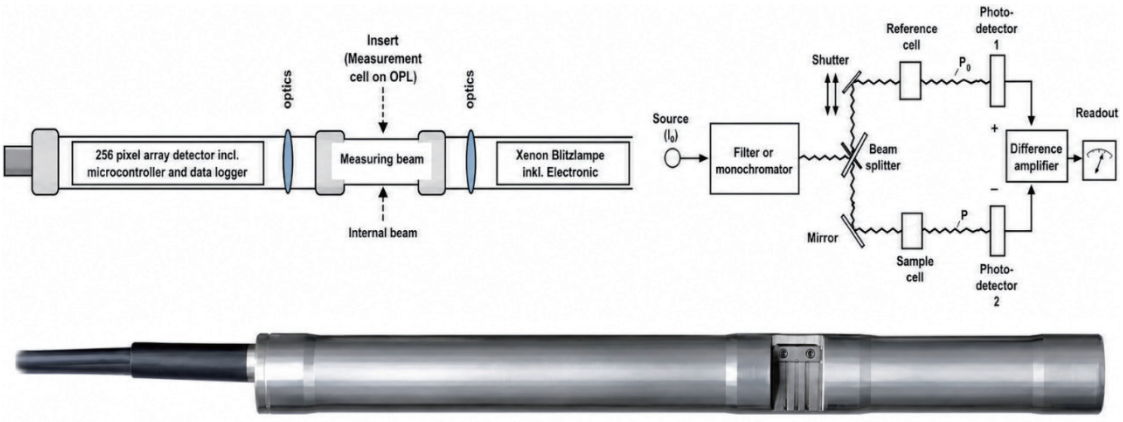


Fig. 2. Absorbance measurement equipment. OPL, Optical path length.

N 농도를 산출하였다.

센서 성능평가(Lab-test)

본 연구에 사용된 비시약식 다파장 광학센서의 성능평가 및 측정 후 취득되는 데이터의 재현성 및 신뢰성을 확인하기 위한 테스트를 진행하였다.

저영양염 해수(low nutrient seawater)에 표준물질을 첨가하여 NO_3-N 표준용액의 농도를 극저농도 영역인 0.02 mg/L부터 연안역 해수와 비슷한 농도인 0.05, 0.10, 0.20 mg/L, 고농도 영역인 0.50 및 1.00 mg/L까지 농도 영역을 구성하고 각 농도별로 7회 반복측정을 수행하였다. 회수율은 측정농도를 기준농도로 나누어 백분율로 환산하였으며, 센서 측정값의 재현성 확인을 위한 반복측정의 표준편차와 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)를 산출하였다. 농도별 평균값을 이용하여 선형회귀분석을 실시하고 회귀식, 결정계수(R^2) 및 평균제곱근오차를 산출하였다. 또한 연안환경과 유사한 농도 영역인 0.05–0.20 mg/L 결과와 저농도에서의 성능 변화를 별도로 확인하기 위해 0.02 mg/L 결과의 회수율과 RSD를 중점적으로 검토하였다.

Test-bed

전남광주통합특별시 해양수산과학원 남해특성화시험장(고흥군)에 측정시스템을 설치하여 2025년 9월 24일과 10월 17일 현장관측을 실시하였다(Fig. 3). 센서 측정과 동일 시간대에 수조 내 해수를 채수하여 실험실에서 NO_3-N을 분석하고 센서값과 비교하였다. 본 단계에서는 센서와 실험실 분석값의 시간적 변화 경향과 평균값 차이를 중심으로 현장 적용성을 평가하였다.

In situ test

전남광주통합특별시 완도군 당인리 지역의 미역(*Undaria* spp.), 다시마(*Saccharina* spp.) 및 김 양식장 주변 해역에 측정시스템을 설치하였으며, 2025년 11월 4일과 11월 13일 현장관측을 수행하였다(Fig. 4, 5). 센서 측정과 동일 시간대에 해수를 채수하여 실험실에서 NO_3-N을 분석하고 센서 측정값과 비교하였다. 실제 해양환경에서는 염분, 탁도 및 용존 유기물 등 광학적 매트릭스가 변화하며, 이러한 요인은 UV 흡광 기반 질산염 측정의 정확도에 영향을 미칠 수 있다(Sakamoto et al.,

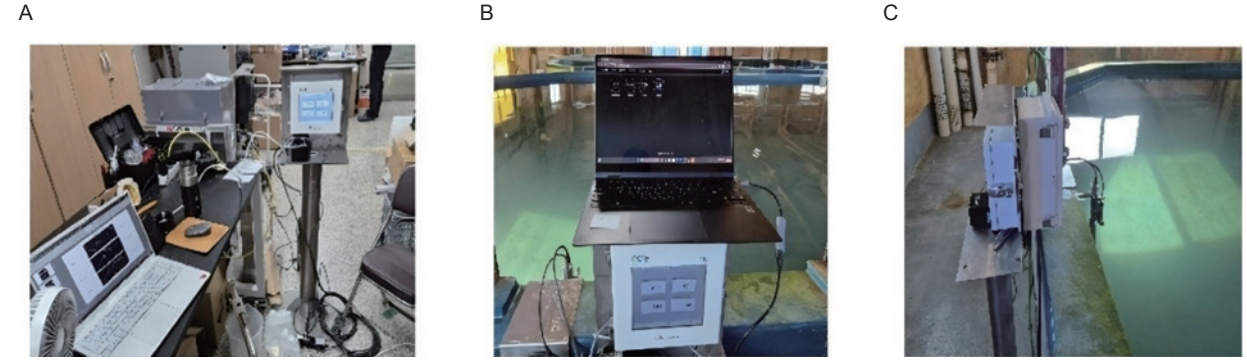


Fig. 3. Installation of the measurement system. A, Lab-test; B and C, Test-bed.



Fig. 4. In situ test site. 1, Kelp farm (34°19′46.641″N, 126°39′11.410″E); 2, System installation site (34°19′38.348″N, 126°39′7.856″E); 3, Laver farm (34°19′33.755″N, 126°39′1.290″E).

Table 1. Lab-test NO_3-N measurements at six standard concentrations (mg/L)

Replicate / statistic	0.02	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00
1	0.025	0.054	0.095	0.179	0.465	0.940
2	0.032	0.055	0.097	0.184	0.466	0.943
3	0.031	0.055	0.095	0.185	0.463	0.940
4	0.028	0.056	0.096	0.184	0.462	0.941
5	0.034	0.055	0.095	0.186	0.461	0.948
6	0.029	0.051	0.099	0.185	0.460	0.942
7	0.032	0.050	0.100	0.188	0.463	0.945
Mean	0.030	0.054	0.097	0.184	0.463	0.943
SD	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003
RSD (%)	10.03	4.26	2.13	1.50	0.46	0.31
Recovery (%)	150.7	107.4	96.7	92.2	92.6	94.3

Sensor measurements, means and SDs are expressed in mg/L; RSD and recovery are expressed as percentages (n=7 per concentration). SD, Standard deviation; RSD, Relative standard deviation.

2009; Zielinski et al., 2011; Frank et al., 2014). 따라서 본 단계에서는 센서의 절대값 일치성뿐 아니라 현장 농도 변화 추세와 저농도 영역의 측정 가능성을 함께 검토하였다.

결 과

센서 성능평가(Lab-test) 결과 및 통계분석

Lab-test 결과, 표준농도 0.02–1.00 mg/L 범위에서 센서 평균 측정값은 각각 0.030, 0.054, 0.097, 0.184, 0.463 및 0.943 mg/L로 나타났다(Table 1, Fig. 6). 표준농도와 센서 평균값의 관계는 전 농도 범위에서 높은 선형성을 나타냈으나, 저농도 영역에서는 상대적인 측정변동이 증가하는 양상이 확인되었다.

표준농도와 센서 평균 측정값의 선형회귀분석 결과, 회귀식은 센서 NO_3-N=0.934×표준 NO_3-N+0.0044로 나타났으며, R^2는 0.9997, 평균값 기준 평균 제곱근 오차는 약 0.0056 mg/L였다. R^2=0.9997은 시험농도별 평균값 사이의 높은 선형성을 나타냈으나 회귀식의 기울기가 1보다 작아 농도가 증가할수록 센서 측정값이 기준농도보다 다소 낮게 나타나는 경향이 확인되었다. 이는 향후 현장 보정모델 개발 시 고려할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

회수율은 92.2–150.7%의 범위를 나타냈다. 연안환경과 유사한 농도인 0.05 mg/L, 0.10 mg/L, 0.20 mg/L에서는 107.4%, 96.7%, 92.2%로 나타났으며, 저농도 영역인 0.02 mg/L에서는 150.7%로 상대적으로 높은 편차를 보였다. RSD는 0.02 mg/L에서 10.03%로 가장 높았고, 농도가 증가함에 따라 0.05 mg/L 4.26%, 0.10 mg/L 2.13%, 0.20 mg/L 1.50%, 0.50 mg/L 0.46%, 1.00 mg/L 0.31%로 감소하였다. 즉, 실사용 영역대를 포함하는 0.05–1.00 mg/L에서는 반복측정의 재현성이 비교적 안정적인 것으로 나타났으나 0.02 mg/L에서는 회수율과 반복성 모두 상대적으로 불안정하였다. 이러한 결과는 본 센서의 주



Fig. 5. Observation equipment.

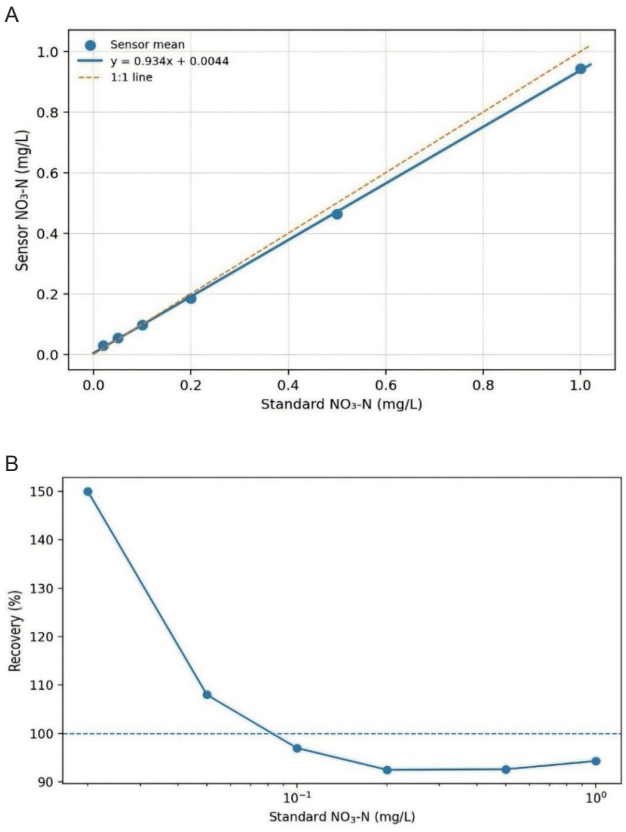


Fig. 6. Lab-test results. A, Linear regression between standard and sensor mean NO_3-N concentrations; B, Recovery by standard concentration on a logarithmic x-axis.

요 보완영역이 극저농도 구간에 있음을 보여주며, 향후 저농도 전용 검량선과 해수 매트릭스 보정이 필요함을 나타냈다.

Test-bed 결과

개발된 광학센서 측정값과 실험실 기준 분석값은 두 관측일의 평균농도 비교에서 같은 변화 방향을 나타냈다(Table 2, Fig. 7).

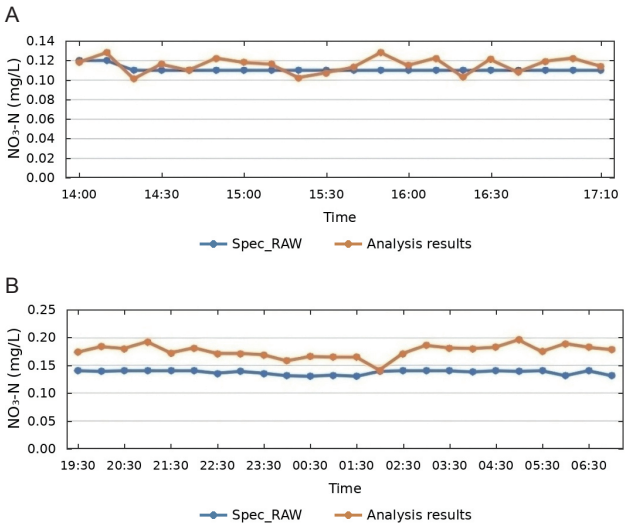


Fig. 7. Fig. 7. Time series of sensor (Spec_RAW) and laboratory (Analysis results) NO_3-N concentrations at the Test-bed. A, 24 September 2025; B, 17 October 2025.

특히 2025년 9월 24일 관측에서 센서와 실험실 분석값의 평균은 각각 0.111 mg/L와 0.115 mg/L로, 평균 차이(센서−실험실)는 -0.004 mg/L였으며 두 측정방법 간 평균값은 유사한 수준을 보였다. 10월 17일 관측에서는 각각 0.137 mg/L와 0.175 mg/L로 두 방법 모두 9월 24일보다 높은 평균농도를 나타냈으나, 평균 차이는 -0.038 mg/L로 그 크기가 커졌다.

In situ test 결과

2025년 11월 4일 센서와 실험실 분석값의 평균은 각각 0.077 mg/L와 0.085 mg/L (-0.008 mg/L 차이)였으며, 11월 13일에는 각각 0.097 mg/L와 0.098 mg/L (-0.001 mg/L 차이)를 기록하였다(Table 3, Fig. 8). 특히 11월 13일의 결과는 센서 측정값이 실험실 분석값과 거의 일치하는 수준으로 도출되어 현장 모니터링 시스템으로서의 적용 가능성을 확인하였다. 또한 11월

Table 2. Measurement results of the Test-bed

Time	Spec_RAW (mg/L)	Analysis results (mg/L)	Time	Spec_RAW (mg/L)	Analysis results (mg/L)
2025.09.24 14:00–17:10	0.110–0.120	0.101–0.128	2025.10.17 19:30–07:00	0.130–0.140	0.141–0.196
Mean	0.111	0.115	Mean	0.137	0.175

Spec_RAW, Sensor raw value.

Table 3. Measurement results of the In situ test

Time	Spec_RAW (mg/L)	Analysis results (mg/L)	Time	Spec_RAW (mg/L)	Analysis results (mg/L)
2025.11.04 11:00–19:00	0.065–0.089	0.075–0.095	2025.11.13 16:00–24:00	0.080–0.112	0.089–0.107
Mean	0.077	0.085	Mean	0.097	0.098

Spec_RAW, Sensor raw value.

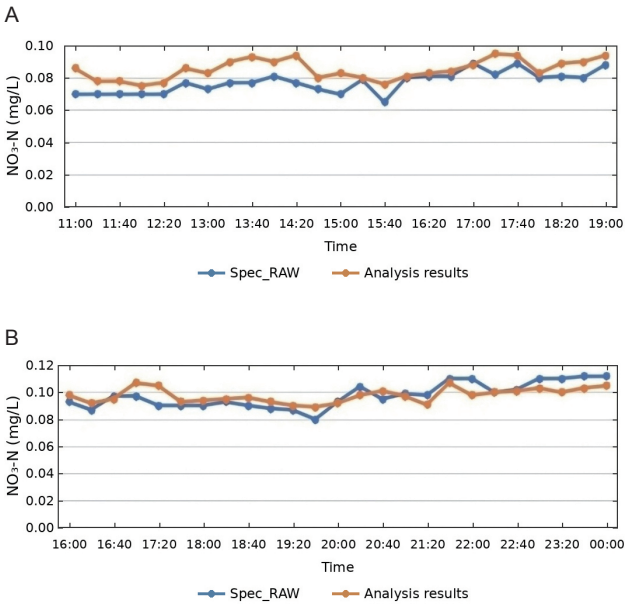


Fig. 8. Time series of sensor (Spec_RAW) and laboratory (Analysis results) NO_3-N concentrations in the In situ test. A, 4 November 2025; B, 13 November 2025.

4일에는 센서가 0.065 mg/L의 저농도 환경에서도 측정값을 나타내어 현장에서의 저농도 영양염 변동 감시 가능성을 확인하였다. 비록 용존무기질소와 NO_3-N의 농도 임계값이 직접 호환되지는 않으나, 본 센서가 김 황백화 발생과 관련된 영양염 환경 변동을 신속·연속적으로 감시하기 위한 보조적 모니터링 수단으로 활용될 가능성을 확인하였다.

고 찰

센싱 성능과 저농도 보정의 필요성

본 연구에서는 김 양식해역의 황백화 위험환경을 지속적으로 감시하기 위한 비시약식 다파장 광학센서 기반 NO_3-N 현장 모니터링 기술을 개발하고, Lab-test, Test-bed 및 In situ test를 통해 현장 적용 가능성을 평가하였다. Lab-test 결과, 0.02–1.00 mg/L 범위의 표준농도에 대한 선형회귀분석에서 R^2=0.9997의 높은 선형 응답성이 확인되었다. 그러나 0.02 mg/L의 극저농도 구간에서는 회수율이 150.7%, RSD가 10.03%로 나타나 상대적 변동성과 불확실성이 증가하는 경향을 보였다. 이는 실제 양식해역에서 영양염이 낮은 빈영양 조건에서의 환경변동을 감시하기 위해 해당 저농도 구간에 특화된 보정 알고리즘과 해수 매트릭스 영향을 고려한 기술적 보완이 필요함을 시사한다(Sakamoto et al., 2009; Zielinski et al., 2011; Lee et al., 2019a).

Test-bed에서는 센서값의 시간별 변동 폭이 실험실 분석값보다 작았으며, In situ test에서는 두 방법의 관측일별 평균값 차이가 비교적 작게 나타났다. 특히 2025년 11월 수행된 In situ test에서는 평균 차이가 각각 -0.008 mg/L 및 -0.001 mg/L로 나타나, 11월 13일 관측의 경우 센서와 실험실 분석의 평균값이 유사한 수준을 보였다. 선행연구에서도 UV 분광광도법을 이용한 질산염 연속 측정값과 기존 습식화학 분석값 간의 비교를 통해 현장 적용 가능성이 보고되었으며, 특히 연안의 높은 탁도와 염분 변화 조건에서는 환경조건을 고려한 보정방법의 적용이 중요한 것으로 보고되었다(Zielinski et al., 2011; Frank et al., 2014). 본 연구에서는 관측일별 범위와 평균값을 중심으로 두 방법을 비교하였으며, 시간대별 개별 대응값(paired raw data)을 이용한 정밀 통계분석(Pearson 상관계수, 평균 절대 오차, Bland–Altman 분석 등)은 수행하지 않았다. 따라서 향후 연구에서는 채수 시각과 센서 기록의 대응 관계를 검증하고 해당 대응자료에 대한 통계분석을 수행하여 측정방법 간 일치도를 평가할 필요가 있다.

Lab-test에서는 표준농도에 대한 센서의 선형성과 반복성을 검증하였으며, 고흥 Test-bed와 완도 In situ test에서는 각각 수조 및 실제 양식장 주변 해역에서 실험실 분석값과 비교하여 현장 적용성을 평가하였다. 두 현장의 기준분석 평균농도는 Lab-test의 0.05–0.20 mg/L 구간에 포함되어, 실내 성능평가와 현장 검증이 연계되었다. 현장에서는 관측일에 따라 두 방법의 평균 차이가 달랐으며, 특히 Test-bed에서 시간별 변동 폭의 차이가 나타나 현장조건에 따른 보정의 필요성이 확인되었다. 다만 조석별 농도 변화는 본 자료만으로 구분하기 어려워 조위·조류와 연계한 시계열 분석을 통해 추가로 검증할 필요가 있다.

현장 영양염 모니터링의 의의

본 연구는 비시약식 광학센서를 이용하여 김 양식해역의 NO_3-N 변동을 현장에서 측정하고, 실험실 분석값과의 비교를 통해 현장 적용성을 확인하였다. 본 시스템은 기존 채수·실험실 분석 방식의 시간적 한계를 보완하고, 황백화 위험환경을 구성하는 영양염 변동을 신속·연속적으로 감시하는 현장 모니터링 기술로 활용 가능하다고 판단된다. 이는 김 양식장의 영양염 환경을 적시에 파악하고 양식환경 관리에 필요한 정보를 제공한다는 점에서 실용적 의의가 있다.

References

Bell TW, Nidzieko NJ, Siegel DA, Miller RJ, Cavanaugh KC, Nelson NB, Reed DC, Fedorov D, Moran C, Snyder JN, Cavanaugh KC, Yorke CE and Griffith M. 2020. The utility of satellites and autonomous remote sensing platforms for monitoring offshore aquaculture farms: A case study for canopy forming kelps. Front Mar Sci 7, 520223. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.520223.

Cho K, Heo J, Lee SM, Han J, Hong HD, Jeon H, Hwang HJ, Baek K and Han JW. 2021. Discoloration in the marine red algae *Pyropia*: Causative factors and exploiting the biotechnological potential of a waste resource. Rev Aquac 13, 822-

835. https://doi.org/10.1111/raq.12500.
Frank C, Meier D, Voß D and Zielinski O. 2014. Computation of nitrate concentrations in coastal waters using an in situ ultraviolet spectrophotometer: Behavior of different computation methods in a case study a steep salinity gradient in the southern North Sea. Methods Oceanogr 9, 34-43. https://doi.org/10.1016/j.mio.2014.09.002.
Johnson KS and Coletti LJ. 2002. In situ ultraviolet spectrophotometry for high resolution and long-term monitoring of nitrate, bromide and bisulfide in the ocean. Deep Sea Res Part I Oceanogr Res Pap 49, 1291-1305. https://doi.org/10.1016/S0967-0637(02)00020-1.
Kim YS, Kim J, Kim YY and Choi SY. 2018. Analysis of factors underlying *Pyropia* chlorosis near Geumgang Estuary. J Korean Soc Mar Environ Energy 21, 381-386. https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2018.21.4.381.
Lee SY, Kim YH, Lee JE and Hwang EK. 2018. Evaluation of the discoloration of *Pyropia yezoensis* Ueda using a colorimeter. Korean J Environ Biol 36, 620-625. https://doi.org/10.11626/KJEB.2018.36.4.620.
Lee SY, Kim YH, Lee JE and Yoo HI. 2019a. Effect of marine environmental characteristics on a discoloration outbreak of *Pyropia yezoensis*. Korean J Environ Biol 37, 535-544. https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.4.535.
Lee SY, Kim YH, Kim SH and Yoo HI. 2019b. A study on the recovery of discoloration of *Pyropia yezoensis* in laboratory culture. Korean J Environ Biol 37, 719-725. https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.4.719.
NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2023. Marine Environment Standard Test Methods. NIFS Notification No. 2023-5 (11 December 2023). NIFS, Busan, Korea.
Sakamoto CM, Johnson KS and Coletti LJ. 2009. Improved algorithm for the computation of nitrate concentrations in seawater using an in situ ultraviolet spectrophotometer. Limnol Oceanogr Methods 7, 132-143. https://doi.org/10.4319/lom.2009.7.132.
Xing Q, An D, Zheng X, Wei Z, Wang X, Li L, Tian L and Chen J. 2019. Monitoring seaweed aquaculture in the Yellow Sea with multiple sensors for managing the disaster of macroalgal blooms. Remote Sens Environ 231, 111279. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111279.
Zielinski O, Voß D, Saworski B, Fiedler B and Körtzinger A. 2011. Computation of nitrate concentrations in turbid coastal waters using an in situ ultraviolet spectrophotometer. J Sea Res 65, 456-460. https://doi.org/10.1016/j.seares.2011.04.002.