

## 새우양식 환경 모니터링을 위한 센서기술 동향 분석

허신<sup>1,+</sup> · 박종호<sup>2</sup> · 최상규<sup>3</sup> · 이창원<sup>4</sup> · 김주완<sup>4</sup>

### Sensor technology for environmental monitoring of shrimp farming

Shin Hur<sup>1,+</sup>, Jung Ho Park<sup>2</sup>, Sang Kyu Choi<sup>3</sup>, Chang Won Lee<sup>4</sup>, and Ju Wan Kim<sup>4</sup>

#### Abstract

In this study, the IoT sensor technology required for improving the survival rate and high-density productivity of individual shrimp in smart shrimp farming (which involves the usage of recirculating aquaculture systems and biofloc technology) was analyzed. The principles and performances of domestic and overseas water quality monitoring IoT sensors were compared. Furthermore, the drawbacks of existing aquaculture monitoring technologies and the countermeasures for future aquaculture monitoring technologies were examined. In particular, for farming white-legged shrimp, an IoT sensor was employed to collect measurement indicators for managing the water quality environment in real-time, and the IoT sensor-based real-time monitoring technology was then analyzed for implementing the optimal farming environment. The results obtained from this study can potentially contribute to the realization of an autonomous farming platform that can improve the survival rate and productivity of shrimp, achieve feed reduction, improve the water quality environment, and save energy.

**Keywords :** IOT, Sensors, Environmental monitoring, RAS, BFT, Shrimp farming

#### 1. 개 요

최근 순환여과 방식(RAS, Recirculating aquaculture system) 기술 [1], 혹은 폐쇄순환식 육상 양식(ISPS, Indoor shrimp production system) [2] 기술이 도입됨에 따라서 물이 부족한 내륙지방에서도 최소한의 사육수로 첨단 센서/제어 기술의 도움으로 다양한 어류 양식을 가능하게 하고 있으며, 게다가 정보통신 기술(ICT), 사물인터넷(IoT)기술, 신재생에너지를 활용함으로써 양식장 관제, 수조유량 제어, 물순환 여과를 이용한 수질 관리

등을 용이하게 구성할 수 있게 되었다. 또한, 국내 흰다리 새우 양식에 있어서 바이오플락 기술(BFT, Biofloc technology)이 비교적 최근 도입되어 최초 생성한 사육수와 더불어 타가영양세균에 의한 질소화합물의 제거율을 높임으로써 무한수로 양식을 가능하게 하고 있으며, 미생물에 의한 수질 정화 능력 유지를 위해서는 수질 관리가 매우 중요하다. 흰다리 새우 육상 양식에 있어서 수질 환경 관리를 위한 수온, DO(Dissolved oxygen), pH, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> 등의 중요지표는 IoT 센서를 이용해서 실시간으로 수집하고, 급이, 환수와 같은 전형적인 양식 사육 작업의 기록과 함께 저장, 분석, 가시화함으로써 양식업자가 수질 환경 관리에 대한 작업에 있어서 실시간 데이터 및 이를 활용한 사육 시뮬레이션에 기반한 최적의 판단을 내릴 수 있도록 데이터 기반 자율화 플랫폼을 구축하는 것이 중요하다[Fig. 1].

최근 전라북도의 수산기술연구소에서는 아쿠아 디지털 트윈 기술의 구축을 위해서 첨단 스마트 양식시스템 구축사업[3]에 대한 상세전략 수립 및 타당성 조사를 한바 있다. 새우 양식에 있어서 IoT 기술의 도입은 향후 AI 및 머신러닝 등을 결합한 양식 시스템의 제어를 함으로써 IoT 센서로부터 측정된 실시간 정보에 의한 최적의 급이량 및 양식환경 조정 등을 통한 사료량 감소, 수질 환경 개선, 에너지 절감 등이 기대된다[Fig. 2]. 본 연구에서는 순환여과 방식 혹은 바이오플락 기술을 채용한 친환경 육상 새우 양식 산업에 IoT 기술을 접목함으로써 궁극적으로는 새우 개체의 생존율과 고밀도 생산율을 향상시키기 위

<sup>1</sup> 한국기계연구원 자연모사응용연구실(Dept. of Nature-Inspired System and Application, Korea Institute of Machinery and Materials),

<sup>2</sup> 한국기계연구원 열시스템연구실(Dept. of Thermal Systems, Korea Institute of Machinery and Materials),

<sup>3</sup> 한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실(Dept. of Robotics and Mechatronics, Korea Institute of Machinery and Materials), 34103, Korea Institute of Machinery and Materials, 156 Gajungbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

<sup>4</sup> 전라북도수산기술연구소 민물고기연구센터 (Freshwater Fish Research Center, jeollabuk-do Fisherise Research Institute), 410-25, Daeajeous-ro, Gosan-myeon, wanju-gun, jeollabuk-do, Republic of Korea

<sup>+</sup> Corresponding author: shur@kimm.re.kr

(Received: May. 11, 2021, Revised: May. 18, 2021, Accepted: May. 24, 2021)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<https://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.

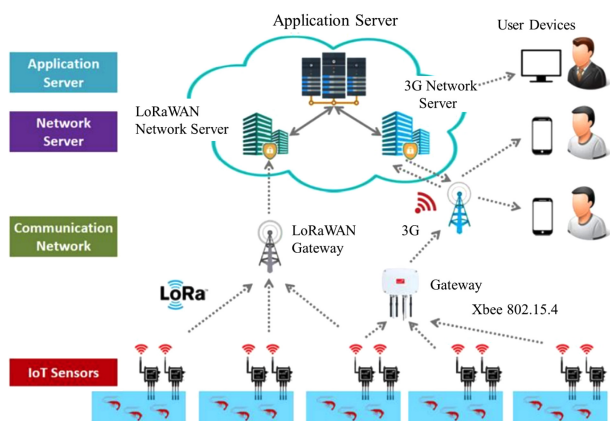


Fig. 1. Schematic diagram of shrimp farming using IoT sensor network system [4].

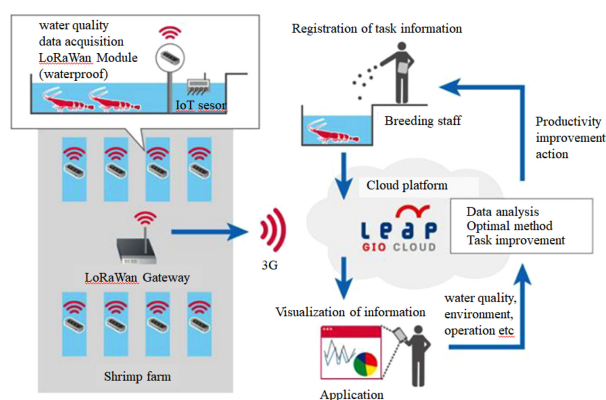


Fig. 3. Flow chart of shrimp farming system using IoT sensor [4].

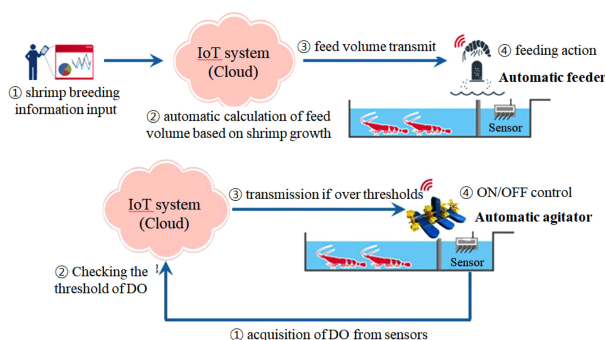


Fig. 2. Example of a farming system combining IoT sensor and AI/machine learning [4].

한 수질 환경 관리 및 사육 작업 공정의 무인 자율작업용 IoT 기반 센서 기술을 조사 및 분석하고자 한다.

## 2. 스마트 양식의 원리 및 구성

무인 자율 양식작업을 위한 IoT 센서 네트워크 시스템은 수산 양식 사업에 있어서 필수 불가결한 수질 환경 측정 지표인 수온, 용존산소, pH, 탁도, 염도에 덧붙여서 수중생물에 유해한 암모니아 등을 검출하기 위해서 NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> 등 이온계 지표를 측정하기 위한 IoT 센서를 설치하고, 각 센서 프로브에서 검출된 데이터는 센서 노드를 통해서 디지털 정보로 변환되고 근거리 무선통신망을 통해서 클라우드 환경의 서버에 전송하여, 양식 현장의 수질환경을 실시간으로 모니터링하고, 게다가 현장 작업자의 사육 작업 내용과 수질환경의 변화를 가시화하는 것으로 구성된다[Fig. 3]. 이를 통하여 신속 정확하게 수질환경을 파악함과 동시에 현장작업자의 사육 작업 내용과 수질환경 변화의 상관관계로부터 적절한 대응책을 추출할 수 있어서 결과적으로 흰다리 새우의 생산성 향상에 크게 기여할 것으로 기대

된다. 새우 양식업자 입장에서 중요한 것은, 단기간에 성장시켜, 치사율을 억제하고, 양식 수조의 회전율을 높여서 연간 수확 횟수를 높이는 일이다. 특히, 새우는 스트레스 영향에 의해서 성장속도가 둔화되기도 하고 병에 걸리기도 하는 극히 예민한 생물이다. 스트레스의 원인은 양식 밀도, 주변 소음 등 여러 가지가 있지만, 가장 큰 것은 수질(수온 및 pH)의 급격한 변화이기 때문에 수질을 얼마나 빨리 안정하게 관리하는가에 따라서 양식업의 성패가 갈린다 해도 과언이 아니다. 이러한 수질의 경시 변화를 지속적으로 관찰하기 위해서는 IoT 기술이 최적이며, 수질 정보 이외에도 급이량, 생존율, 새우 개체의 성장정보 등 사육데이터를 축적하고 수질정보와 조합함으로써 새우 성장과 사육밀도에 적합한 급이량 조정, 성장속도와 생존율 정보로부터 최적의 수확시기 예측 및 에너지 절감 등이 가능해질 것으로 기대된다.

### 2.1 IoT 기술

IoT(Internet of things, 사물인터넷)란 각종 사물에 센서와 통신 기능을 내장해 인터넷을 기반으로 모든 사물을 연결하는 기술을 정의하며, 사람과 사물, 사물과 사물간의 정보를 상호 교환, 소통하는 지능형 기술 및 서비스이다. 이는 기존의 유선통신을 기반으로 한 인터넷이나 모바일 인터넷보다 진화한 단계로 인터넷에 연결된 기기가 사람의 개입 없이 상호간에 자율적으로 정보를 주고 받아 처리할 수 있다. IoT를 구현하는 기술로는 블루투스, 근거리무선통신(NFC), 센서 데이터 등이 있으며, 사물끼리 통신을 하기 위해서는 네트워크 인프라, IoT 인터페이스 기술, 센싱 기술 등을 필요로 한다. IoT의 구체적인 구현 예로는 홈 IoT(스마트폰으로 보일러를 작동시키고 세탁기를 돌리거나 가스밸브의 잠금상태를 확인하는 등 집 밖에서도 집 안의 여러 사물을 원격 제어할 수 있음)와 자동차 IoT(내장된 다양한 센서를 이용해 집안에서 시동을 켜거나 에어컨을 조절하고, 역으로 차 안에서 집안의 홈 IoT 기기를 제어할 수 있음)를 들 수 있으며 수산양식, 유통이나 헬스케어 분야에도 최근 IoT 기술이 접목되어 사용되고 있다 [5]. IoT를 새우 양식에 접목함으로써



Fig. 4. Expected effect of shrimp farming incorporating IoT [6].

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 최적의 수확 예측 시기, 급이량 조절을 통한 사료량 절감, 원격 모니터링을 통한 실시간 수질 관리 등이 쉽게 구현될 것으로 기대된다.

### 2.2 IoT 수질 센서

새우 양식을 위한 IoT 센서 네트워크 시스템에 있어서 대표적인 기능은 IoT 수질 센서이며 근거리 무선통신모듈(Xbee or LoRaWAN 등)을 기본적으로 탑재하고, 센서 프로브에서 측정된 DO나 pH와 같은 수질 정보는 센서 노드 내부에서 송신용 데이터로 전환되어 통신망을 통해서 각 게이트웨이에 송신되는 구조이며, 그 후 수질정보는 클라우드 환경에 송신되어 서버에 등록되고 분석, 가시화 과정을 거쳐서 사용자가 인식하게 된다. Fig. 5에서와 같이 IoT 수질 센서는 크게는 센서 프로브, 센서 노드, 송신 안테나로 구성되며, 센서 노드의 큰 역할 및 주요 구성은 센서 프로브에서 취득한 수질 정보의 디지털 변환, 수질정보의 암호화 및 데이터 압축, 사용자 인터페이스를 통한 센서 설정, 무선통신 기능, 메모리 기능, 전원장치, 정전을 대비한 비상 배터리 등이다. 센서 노드에 연결되는 센서 프로브에는 비이온계와 이온계 측정 프로브가 있으며, 비이온계 측정 프로브는 수온, 용존산소, pH, 탁도, 염도 등의 일반적인 수질 측정을 하고, 이온계 측정 프로브는 수중에 용해된 특정 질소계 이온(NH4, NO2, NO3 등)의 측정전극과 기준전극과의 전위차를 측정한다. Table 1은 새우양식에서 수질 측정을 위한 이온계 및 비이온계



Fig. 5. IoT water quality sensor example [4].

Table 1. IoT water quality sensor's representative measurement index of shrimp farming [4].

Sensor type	Measurement index	Measurement range (Recommend value)
Non-ionic	Temp.	0-100°C (27-29°C)
	pH	0-14 (7.5-8.3)
	DO	0-100% → mg/L (above 5 mg/L)
Ionic	NH4	0-9000 mg/L (under 0.1 mg/L)
	NO2	0-1000 mg/L (under 0.5 mg/L)
	Ref.	Standard electrode

IOT 센서의 대표적인 측정 지표의 범위와 적절한 값을 보이고 있다.

### 2.3 근거리 무선통신

IoT 센서에서 취득된 수질 정보를 게이트웨이를 거쳐서 클라우드 서버에 송신하기 위해서는 무선통신망이 필요하게 되고, 최대 수분 간격 통신이 요구되는 양식 환경의 특성상, 빠른 통신 속도보다는 50 m 이상의 통신거리 범위를 가지는 모듈 기능과 비상 상황시 전원장치 연결에 가급적 낮은 소비전력이 요구된다. 따라서 RFID, Bluetooth, Wi-Fi 등은 통신범위에서 제외되고, Table 2의 LoRa, SUN 또는 Zigbee가 유력한 무선통신 기술로 고려할 수 있다.

## 3. 양식용 수질센서 기술 동향

### 3.1 국내업체 기술 동향

국내 양식 관련 수질측정기 관련 기업으로는 로터스프로슈밍 매니지먼트, (주)지오씨, 하백기술, (주)대원계기산업 등이 있고, 양식장 모니터링 시스템 관련 업체로는 (주)글로벌트, (주)조인트리 등이 있다.

로터스프로슈밍매니지먼트사 [7]의 경우, 수질 센서 전문 제조업체로 pH, ORP 전극 관련 기술을 보유하고 있으며, DO 및 잔류염소 센서 기술을 보유하고 있고, 수산 양식업 전용 수질센서를 개발 및 제공하고 있다. 해수면 양식용 센서는 수온과 용존 산소, 염분을 실시간으로 측정해 별도의 센서 자체에서 디지털 통신으로 별도 장치부 없이 센서에서 직접 데이터를 제공, 유무선 원격제어 및 관리에 용이한 제품을 제공하고 있다. (주)지오씨 [8]는 DO(광학식) 센서 개발 사례가 있고, 이를 이용한 수질환경 측정 모니터링 시스템을 개발하였으며, 새우 양식장 현장에 적용하고 있다. 하백기술 [9]은 수질센서 전문 개발업체로 양식장용 센서로 온도, DO(광학식), pH, 염도를 동시에 측

**Table 2.** Comparison of wireless sensor network technologies that can be used in smart farms [7].

	SUN	LoRa	LTE-M
Standard	IEEE 802.15.4 g	Proprietary	3GPP
frequency	900MHz (Sub GHz)	900MHz (Sub GHz) 2.4GHz	LTE Band
Distance	300 m-2.5 km	3-15 km	-15 km
Max. TX power	17dBm	20dBm	20dBm
Bandwidth	200kHz-1.2MHz	7.8-500kHz	20MHz or 1.4MHz
Data Rate	50Kbps-800Kbps	300bps-100Kbps	1Mbps or - 200kbps
Applicable service	· Sensitive to delay · Service with high data transfer rate (Agriculture, etc)	· Service with low data rate and transmission frequency (Smart Metering, etc)	· Data reliability is important. · Relatively high transmission rate. · Service requiring easy deployment.
Introduction case and partner	· BD Smart Farm · KEPCO remote meter reading, etc.	· France Bouygues Telecom, Netherlands KPN, Swiss Swisscom To be introduced. · SKT: Under trial service in Goyang-si	· Standardization in progress
Terminal modem status	· Freescale, Analog Device	· Semtech exclusive supply	· No commercial modem

정할 수 있는 복합 수질측정 센서를 개발하고 있다. 또한 이를 활용한 무선통신 기반 양식장용 수질 및 관리 시스템을 제공하고 있다. (주)대운계기산업 [10]은 양식장 관련 센서로 DO analyzer, pH analyzer, 3채널 멀티 수질측정기, 다항목 수질측정기를 제공하고 있다. (주)글로벌비트 [11]는 수산 양식분야 양식장 환경 제어 전문업체로 양식장용 EMS 수질관리시스템을 제공하고 있고, 센서는 In-situ사(미국)제품을 적용하고 있다. 해상 가두리 솔루션, 육상 양식장 솔루션, 내수면 양식장 솔루션 등 ICT 기반 스마트 어장 시스템을 제공하고 있으며, 수온 및 DO, 염도 센서 정보를 제공한다. (주)조인트리 [12]은 육상트랙형 수조 기반 에너지자립형 통합 스마트양식 플랫폼인 마트팜(피쉬) 플랫폼을 제공하고 있고, 센서는 ProMinent (독일) 제품을 적용한다.

### 3.2 국외업체 기술 동향

국외의 경우, YSI(Xylem그룹), In-Situ, OxyGuard, S::can, HANNA instrument 등 여러 업체에서 양식장 관련 수질측정 센서 및 장치, 통합관리시스템을 제공하고 있다. YSI사(미국) [14]는 해양환경 포함 수질관련 측정기 분야에서 가장 잘 알려진 업

체로 다양한 단일항목에서 다항목에 이르기까지 다양한 휴대형 및 설치형 수질측정 장비들을 제공하고 있다. 양식용으로 Multi DO 모니터와 함께 적용 가능한 ODO Sensors를 제공하고 있어 다수의 양식 수조를 관리할 수 있다. 수질관리용 센서 및 모니터링 제품으로는 Pro series가 있으며 모델별로 단일 또는 다항목 측정이 가능하며, 다항목측정용 ProDSS가 현장에서 보편적으로 활용되고 있다. 설치형 다항목 측정기인 EXO series 제품은 내구성 및 정확도 등이 우수하지만 고가이며, 국내 새우양식장(바이오플라)에 적용한 사례가 있다. In-Situ사(미국) [15]는 양식장, 지하수 및 지표수 모니터링용 다항목측정기 시리즈인 휴대형 및 온라인용 Aqua TROLL 제품을 보유하고 있고, 양식장용으로는 DO센서인 RDO Titan과 다항목 측정이 가능한 Aqua TROLL 500 등이 있다. 스마트폰에 연동, 모니터링 가능한 휴대형 및 모니터링 제품군을 보유하고 있으며, 사용자 환경에 맞춘 오픈 프로토콜을 제공하고 있다. 베트남 새우양식장에 모니터링 시스템을 적용한 바 있으며, 국내 새우양식장(바이오플라)에 수위, 온도, 전도도, 염분도, 용존산소, pH/ORP 항목으로 시스템을 구성하여 적용한 사례가 있다. OxyGuard사(덴마크)[16]은 양식업에 필요한 수질측정, 모니터링, 제어장비를 제공하는 전문업체로 특히 LDO센서, probe(광학식)등 DO센서 중심의 솔루션들을 제공하고 있다. 휴대형 단일항목 수질측정기로 휴대형 제품을 판매하고 있으며 pH, 염도, 온도, CO2, DO/온도 항목을 측정할 수 있다. 또한 양식관리 소프트웨어로 Cobalia를 제공하고 있다. S::can사(오스트리아) [17]의 경우, 단일 및 다항목 측정이 가능한 다양한 센서들을 제공하고 있으며, 특히 프로브형 분광측정기(멀티형 다목적 광학센서)를 공급하고 있어 TSS, TS, 탁도, 색상, TOC, DOC, BOD, COD, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>, 클로라민, HS-, O<sub>3</sub>, CLD, BTX, UV254를 선택하여 측정 가능하다. ISE 측정방식의 암모니아성 질소 측정기를 제공하고, 그 외 온라인으로 적용 가능한 pH, SS, O<sub>2</sub>, 전기전도도, Cl<sup>-</sup> 측정용 프로브형 센서를 제공한다. 기존의 스트립 방식이나 시약형 색도측정이나 실험실용 분광광도계 측정방식을 보완하여 현장에서 휴대형으로 바로 측정 및 현장 설치가능한 솔루션으로 우수하다. HANNA instruments(이탈리아) [18]는 실험실 및 현장용 측정기, 시약 등을 주로 공급하고 있고 수질관련 휴대형 단일항목 센서들을 다수 공급하고 있다. 수질 관련하여 pH, DO, 염도, 탁도, 온도 등 일반항목의 다양한 센서 및 단일 혹은 다항목의 휴대형 측정기를 제공하고 있으며, 타사 수질측정기 제품에 비해 가격이 낮아 가격경쟁력 있다. 양식장용으로 개발된 제품이 아닌 일반 수질측정용 제품으로 현장 적용시 어려움이 있다.

## 4. 양식용 수질센서 기술 분석

### 4.1 비이온계 수질 센서

**Table 3.** Specifications comparison of overseas pH sensor.

	YSI Inc.[14]	HANNA [18] instruments	s::can GmbH [17]
Model	Ecosence pH10A	HI991001	pH::lyser
Country	USA	USA	Austria
Method	Potential Difference	Potential Difference	Potential Difference
Type	Portable	Portable	Portable
Item	pH(+Temp.)	pH(+Temp.)	pH
Range	0.00-14.00	-2.0-16.0	0-14
Accuracy	±0.1(10°C), ±0.2(20°C),	±0.02; ±0.1	±0.1
Resolution	0.01	0.01; 0.1	0.01

**Table 4.** Specifications comparison of domestic pH sensor.

	HM Digital [21]	Lotus presuming management [7]	Daeyoon Co. [10]
Model	pH-200 pH-60	DS485-PS- F05L4-34	7000A-pH, 7000B-pH, 2000A-pH
Country	Korea	Korea	Korea
Method	Electrochemical	Electrochemical	Electrochemical
Type	Immersion	Immersion	Immersion
Item	pH (+Temp.)	pH (+Temp.)	pH (+Temp.)
Range	0-14	0-14	0-14
Accuracy	±2%		±0.01
Resolution	0.01		0.01

**4.1.1 pH 센서**

양식 시스템에서는 지속적 산(acid)이 형성되어 pH가 산성화 될 수 있고, 질산화 과정에서 알칼리도 감소에 따른 pH의 감소가 발생할 수 있다. 낮은 pH 상태에선 암모니아 수치가 높아질 수 있으므로 pH는 7-8 수준을 유지하도록 관리가 필요하다. Table 3 및 Table 4는 해외 및 국내 pH센서의 성능 사양을 비교한 결과를 보이고 있다.

**4.1.2 온도 센서**

BFT 양식시스템에서는 사육수 안의 타가영양세균의 증식과 유지를 위해 수온을 연중 23°C 내외로 유지해야 한다. 양식장 수조 수온은 휴대형 간이 디지털 수온계를 사용하기도 하지만, 휴대형 수질측정기의 기타항목과 함께 내장되어 있는 온도측정 센서를 이용하여 측정이 가능하다. 상시 모니터링용의 침적형의 경우는 단독으로보다는 pH나 DO, 전기전도도 등 측정항목의 측정값을 보정하기 위해 함께 장착되어 활용되는 경우가 많다. 상시 침적형 온도센서의 경우, 생물부착(biofouling) 등 외부 오염 및 방수에 대한 대응이 요구된다. 국내의 로터스프로슈매파

**Table 5.** Specifications comparison of overseas temperature sensor.

	HANNA[18] instruments	OxyGuard [16]	In-Situ Inc. [15]
Model	HI98501 Checktemp	OxyGuard MaxiTemp 2	Aqua TROLL 100
Country	USA	Denmark	USA
Method	Thermistor	Thermistor	Thermistor
Type	Immersion	Immersion	Immersion
Item	Temp.	Temp.	Temp. (+Electric conductivity)
Range	-50~+150°C	-5~+60°C	-5~50°C
Accuracy	-30~120°C:±0.2°C, -50~30°C, 120~ 150°C:±0.3°C	-5~45°C:±0.1°C, -60°C:±0.2°C	±0.1°C
Resolution	0.1°C	0.01°C	Non-data

**Table 6.** Specifications comparison of domestic temperature sensor.

	Summit Co. [19]	Daeyoon Co. [10]	Lotus presuming management [7]
Model	SDT8QL	HDT-1	DS485-OS- F05L4-34
Country	Korea	Korea	Korea
Method	Thermistor	Thermistor	Thermistor
Type	Immersion	Immersion	Immersion
Item	Temp.	Temp.	Temp., ORP
Range	-20~200°C	-50~300°C	10~130°C, ±2000 mV
Accuracy	±0.5°C	50~150:±1°C, 150~300°C:±2°C	Non-data
Resolution	0.1°C	0.1°C	Non-data

니지먼트사는 프로브형 센서를 제공하며 양식장 시스템에 적용이 가능하다. Table 5 및 Table 6은 해외 및 국내 온도센서의 성능 사양을 비교한 결과를 보이고 있다.

**4.1.3 DO 센서**

양식장내의 DO(용존산소) 농도는 배양조건 유지를 위한 중요한 항목이며, 수중의 DO는 양식생물의 생존, 수용밀도와 생산량을 결정하는 중요한 환경요소이다. BFT 양식시스템은 일반 양식시스템보다 5-8 mg/L 산소소비량이 높다. Table 7과 같이 DO 센서는 전기화학 방식과 광학식 측정법이 적용되고 있으나, 오염에 강하고 유지관리가 상대적으로 쉬운 광학식 방식이 양식장에 적합하다. Table 8 및 Table 9는 해외 및 국내 DO센서의 성능 사양을 비교한 결과를 보이고 있다.

**4.1.4 염도 센서**

디지털 염도센서는 저가형으로는 펜형 또는 적정형 휴대형 간이 센서가 있으며, 고가형으로는 프로브형으로 휴대형 측정기

**Table 7.** Comparison of DO sensor measurement methods.

	Electrochemical (Galvanic)	Electrochemical (Polarography)	Optical (Optic)
Config-uration	· Electrode type (+pole: lead, -pole: silver) · Electrolyte: KOH solution · Membrane: Teflon	· Electrode type (+pole: lead, -pole: silver) · Electrolyte: KCL solution · Membrane: Teflon	· Light emitting method · Electrolyte: None
Characteristics	· Slow reaction · Short sensor life · <2% flow effect · Influence of DO value upon membrane damage · Membrane maintenance required · Biofouling impact	· <2% affected by flow rate · Influence of DO value upon membrane damage · Membrane maintenance required · Biofouling impact	· No effect on flow rate · Membrane replacement cycle: 1year · Low biofouling impact

**Table 8.** Specifications comparison of overseas DO sensor.

	Oxyguard [16]	In-Situ Inc. [15]	s::can GmbH[17]	YSI Inc. [14]
Model	Oxyguard Handy Polaris	smarTROLL/RDO Titan	Oxi::lyser	ProSolo
Country	Denmark	USA	Austria	USA
Method	Electrochemical	Optical	Optical	Optical
Type	Immersion	Immersion	Immersion	Immersion
Item	DO, Temp.	DO, Temp.	DO, Temp.	DO, Temp.
Range	0-60 mg/L	0-60 mg/L	0-25 mg/L	0-50 mg/L
Accuracy	±0.1%	±0.1%	±1%	1%
Resolution	Non-data	0.01 mg/L	0.01 mg/L	Non-data

**Table 9.** Specifications comparison of domestic DO sensor.

	Lotus presuming management [7]	Daeyoon Co. [10]	GOC Co.[8]	HBTECH Co. [9]
Model	DS485-DS-F05L4-34	DWS-7000A-DO	DOMS-100	HB_ODO
Country	Korea	Korea	Korea	Korea
Method	Polarography, Galvanic	Polarography, Galvanic,	Optical	Optical
Type	Immersion	Immersion	Immersion	Immersion
Item	DO, Temp.	DO	DO, Temp.	DO
Range	-10~130°C, 0~20 mg/L, 0~200%	0~20, 0~60 mg/L	0~25 mg/L	20 mg/L (0~200%)
Accuracy	Non-data	±1%	±0.1 mg/L	±0.1 mg/L
Resolution	Non-data	0.01 mg/L	0.01/0.1 mg/L	0.01 mg/L

및 시스템에 적용 가능한 설치형 센서가 있다. 대윤계기산업(주)의 염도센서는 설치형으로 샘플링 방식의 측정법을 적용하고 있

**Table 10.** Specifications comparison of overseas salinity sensor.

	HANNA [18] Instruments	OxyGuard [16]	s::can[17]
Model	Marine Salinity Water-proof Tester, HI98319	OxyGuard Handy Salinity	Condu::lyser
Country	USA	Denmark	Austria
Method	Non-data	Non-data	4-electrode, direct contact
Type	Immersion	Immersion	Immersion
Item	Salinity, Temp.	Salinity, Electric conductivity, Temp.	Salinity, Electric conductivity, Temp.
Range	0~70ppt	0~50ppt	0~500,000 uS/cm
Accuracy	0~40ppt:±1ppt, 40~79ppt:±2ppt	±1ppt	±1%
Resolution	0.1ppt	0.1ppt	Non-data

**Table 11.** Specifications comparison of domestic salinity sensor.

	HM Digital [21]	Korea Digital [20]	Daeyoon Co. [10]
Model	RSM-1000BT	Salinity sensor	DYS-2501H 7000A/B-Cl,
Country	Korea	Korea	Korea
Method	Electric conductivity	Non-data	Ion selection (ISEs)
Type	Titration	Immersion	Sampling
Item	Salinity	Non-data	Cl
Range	0.0~28.0%	0.0~70.0ppt	Cl: 0~7% (70000 mg/L), NaCl: 0~10% (100000 mg/L)
Accuracy	±0.2%	Non-data	±5%
Resolution	0.1%	0.02 ppt	0.0001% (1ppm)

다. Table 10 및 Table 11은 해외 및 국내 염도센서의 성능 사양을 비교한 결과를 보이고 있다.

#### 4.1.5 탁도 센서

BFT 양식시스템 내에는 많은 부유물질들이 포함되어 있으며, 과도한 부유물질은 아가미 호흡에 문제를 일으킬 수 있다. 부유물질의 양은 20 mg/L 이상을 넘지 않도록 관리하여야 한다. 양식장에서는 총부유 물질량은 임호프콘을 이용하여 간단히 측정할 수 있으나, 지속적 모니터링을 위해서는 탁도 항목을 관리할 필요가 있다. 탁도의 측정방법으로는 육안법, 투과광 측정법, 표면산란광 측정법, 산란광 측정법, 투과산란광 측정법 및 4-Beam 방법 등이 있다. Table 12는 해외 및 국내 탁도센서의 성능 사양을 비교한 결과를 보이고 있다.

**Table 12.** Specifications comparison of domestic and overseas turbidity sensor.

	Xylem Inc [19]	In-Situ [15]	HANNA[18] instruments	HBTECH Co. [9]
Model	VisoTurb® 700 IQ	Aqua TROLL Turbidity Sensor	Turbidity Portable Meter - HI98713	HB_TUR
Country	Germany	USA	Italy	Korea
Method	Optical	Optical	Optical	Optical
Type	Immersion	Non-data	Titration	Immersion
Item	Turbidity	Non-data	Turbidity	Turbidity
Range	0.05–4000 FNU	Non-data	0.00–9.99; 10.0–99.9; 100–1000 NTU	0–10NTU/ 0–1000NTU
Accuracy	<1 % (- 2000 FNU)	Non-data	±2%	±1%. ±3% (>1000NTU)
Resolution	0.001–FNU	Non-data	0.01; 0.1; 1 FNU	0.05NTU/ 0.5NTU

## 4.2 이온계 수질 센서

흰다리 새우 양식을 위한 양식장 관리 시스템에는 이온계 센서 (ISEs) 또는 분광 센서 (광학식) 방식이 암모니아성질소(NH<sub>4</sub>-N), 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N), 아질산성질소(NO<sub>2</sub>-N) 측정에 적합할 것으로 보이나 프로브형 센서의 국내 개발품 및 판매 제품은 찾을 수 없었다. 국내 양식장 현장에서는 휴대형 키트를 이용하는 간이 수질측정 스트립을 이용하여 반응색의 색도를 이용한 반응색상 비교표를 이용한 방법, 반응시약을 이용, 색도를 기계로 측정하는 색도계(colorimeter)측정법 등이 사용되고 있다.

### 4.2.1 TAN 센서

총 암모니아성 질소(TAN, total ammonia nitrogen)는 비이온화된 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 이온화된 암모늄이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)의 총량을 나타낸다. 사료 찌꺼기와 배설물에 의한 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 증가는 수중생물에게 독성 유발, 중독 증상이 발현됨으로 암모니아 농도를 관리할 필요가 있다. pH 증가시 암모니아 비율도 증가하여 독성이 증가한다. 총암모니아성 질소 농도는 0.1ppm 이하를 유지해야 한다.

### 4.2.2 NO<sub>2</sub> 센서

수체 내 아질산염(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)은 암모니아 분해 후 생성되는 불완전 질소화합물로 질화세균에 의해 전환된다. 아질산염은 양식생물에 체내 산소공급을 방해하는 독성물질로 작용하며, 아질산염 수치가 높아지면 호흡곤란을 발생시키므로 농도를 1ppm 이하로 유지해야 한다.

### 4.2.3 NO<sub>3</sub> 센서

질산염은 암모니아나 아질산염보다는 독성이 낮지만 장기간

**Table 13.** Water quality management parameters required by farms.

Parameter	Formula	Unit	Normal	Unfavourable level
Temperature		°C	Depending on species	
Oxygen	O <sub>2</sub>	%	70-100	<40, >250
Nitrogen	N <sub>2</sub>	% saturation	80-100	>101
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	mg/L	10-15	>15
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0-2.5 (pH influence)	>2.5
Ammonia	NH <sub>3</sub>	mg/L	<0.01 (pH influence)	>0.025
Nitrite	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0-0.5	>0.5
Nitrate	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	100-200	>300
pH		mmol/L	6.5-7.5	<6.2, >8.0
Alkalinity		mg/L	1-5	<1
Phosphorus	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	1-20	
Suspended solids	SS	mg/L	25	>100
COD	COD	mg/L	25-100	
BOD	BOD	mg/L	5-20	>20
Humus		mg/L	98-100	
Calcium	Ca <sup>++</sup>	mg/L	5-50	

고농도에 노출된다면 양식생물에 독성을 유발하게 된다.

## 4.3 복합 수질 센서

수질 다항목 측정기는 기본적으로 서로 관련성이 많은 몇 개의 수질 측정 항목들을 함께 계측하여 계측된 정보들을 서로 공유하고 모니터링하는 용도로 사용하는 계측기이다. 여기에 적용되는 복합센서 기술에는 기본적인 측정 항목으로 수온을 제공하고, 탁도, 전기전도도, 잔류염소, pH 등을 포함한 수질 측정항목들을 통합화된 계측기에서 측정하고 계측된 정보를 통합 처리, 서로 연관된 정보들을 사용하여 계측값들을 보정하여 최종 수질 계측정보로 만들어 제공한다 [21]. Table 13은 양식장에서 일반적으로 요구되는 수질 파라미터와 정상 및 비정상인 경우의 수치를 예로 제시한다.

양식장용 수질센서로 개발되어 시판되고 있는 복합 프로브 방식 휴대형 및 설치형 국내·국외 제품이 있다 [22-27]. 국내의 경우, Table 14의 로터스프로슈밍매니지먼트사와 하백기술이 있으며, 로터스프로슈밍매니지먼트사는 온도, pH, 전기전도도, ORP 또는 온도, DO를 측정할 수 있는 센서를 제공한다. 하백기술의 경우, 온도, DO(광학식), pH, 염도를 측정할 수 있는 센서와 함께 관리 시스템을 제공한다. 외산의 경우, Table 15에서와 같이 견고성 및 현장 적용성이 우수한 YSI사 제품이 선호되고 있고, In-Situ사 제품도 다수 적용되고 있다. 오스트리아 s::can사의 경우 분광측정방식으로 타 장치에서 측정하기 어려운 이온성 항

**Table 14.** Specifications comparison of domestic composite sensor.

	Lotus presuming Management [7]	HBTECH Co. [9]
Model	DS485-MS-F05L4-34	Multi-water quality sensor
Country	Korea	Korea
Type	Optical	Optical
Item	Non-data	Immersion
Item	Temp., pH, Electric conductivity, ORP	Temp., DO(Optical), pH, Salinity

**Table 15.** Specifications comparison of overseas complex sensor.

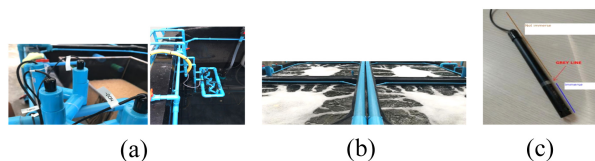
	YSI Inc. [14]	In-Situ Inc. [15]	s::can GmbH[17]	Horiba [22]
Model	5200A	Aqua TROLL 400	spectro:lyser titanium pro	U-50 series
Country	USA	USA	Austria	Japan
Type	Immersion	Immersion	Immersion	Immersion
Item	DO(mg/L,%), Temp., Electric conductivity, Salinity, pH, ORP	Electric conductivity, Salinity, TDS, Resistivity, Density, Dissolved oxygen, ORP, pH, Temp., Water depth/ pressure	Temp., TSS, Turbidity, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, COD, UV254, etc.	Temp., DO, Electric conductivity, Salinity, TDS, Turbidity, Water depth, ORP

목의 측정이 가능하여 차별성이 있다. 일본의 Horiba 제품의 경우 일반 수질측정용으로 많이 사용되고 있다.

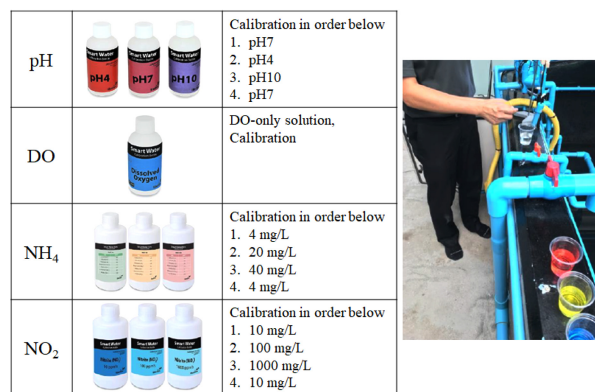
## 5. 양식용 센서기술의 전망

### 5.1 센서 기술의 문제점

일부 스마트 양식장을 제외하고 영세 및 중소 규모의 기존 양식장들은 기존 측정 방식으로도 충분하다고 생각한다. 휴대형 수질측정 장치를 이용한 기존 측정법은 보편적으로 현장에서 사용되고 있으며, 주로 수온, pH, DO, 염도 등 일반 항목의 측정에 활용된다. 일반 양식 어민들은 수질 환경 상시 모니터링의 필요성에 대해 인식 개선이 필요하다. 측정 센서 가격이 수만원의 저가에서 수백만원의 고가에 이르기까지 다양하며, 일반 수질항목 측정을 위한 제품들이 대부분으로 고탁도, 염분 등 일반 수질환경과 다른 양식장용 수질환경에 특화된 제품은 극히 제한적이다. 양식장 환경에 적절한 제품 선택에 어려움이 있고, 저가의 경우, 내구성 및 측정 정확도 보장이 어려우며, 고가 제품의 경우, 초기 구입비용이 경제적 부담이 된다. 또한, 국내에서 개발된 양식관리시스템은 온도, pH, DO 센서를 이용한 수질관리 및 사료 공급시스템 정도이며, 양식 환경 데이터에 기초한 측정 및 급이 및 사육환경 제어, 데이터 관리, 자동 피드백이 가



**Fig. 6.** Sensor breakage due to bubbles and splashes; (a) sensor probe protection and water level schedule measurement, (b) foaming and splashing of water splashes, (c) corrosion by salt [4].



**Fig. 7.** Sensor calibration and process [4].

능한 기술은 기초단계이다. IoT 센서 네트워크 시스템을 새우 양식에 적용함에 있어서 가장 대두되는 문제의 하나는 염분 부착에 의한 IoT 센서 파손과 정확도 결여에 기인한 잦은 센서 교체와 이에 따른 유지관리비 증가라 할 수 있다 [28,29]. 일반적으로 센서 프로브는 손상을 받기 쉬운 매우 민감한 부분이기 때문에 주변에 보호구를 장착하는 경우가 많고 정확한 측정을 위해서 일정 수위에 고정하는 경우가 많다. 한편, 양식장에서는 산소공급장치에 의한 거품이 많이 발생하게 되고 물 비말이 수조 내에 비산함에 따라서 전자회로가 결합된 센서 부위에 부착하게 되어 계측 부정확성 및 부식에 의한 내구성 악화를 유발하는 원인이 된다[Fig. 6]. 이를 해결하기 위해서 센서 프로브 내에 실리콘을 충전하거나 사육수를 펌프로 수위를 상승시켜 센서부의 최소한 노출을 시도하기도 하였으나 뚜렷한 성과는 얻기 어려웠다.

또한, 실제 양식 현장에서 겪는 어려운 점 중의 하나는 전극 부위 오염과 마모에 따른 측정치의 부정확성과 이를 위한 정기적인 센서 교정과 클리닝 작업이라 할 수 있다[Fig. 7]. 이러한 작업은 단순 노동자는 수행할 수 없는 복잡하고 정교한 절차이기 때문에 실제 양식 현장 적용에 있어서 해결해야 할 당면 과제이다 [30,31].

### 5.2 센서 기술의 대책 및 향후 전망

양식업은 매일 기록되는 데이터와 그 데이터의 추이가 양식



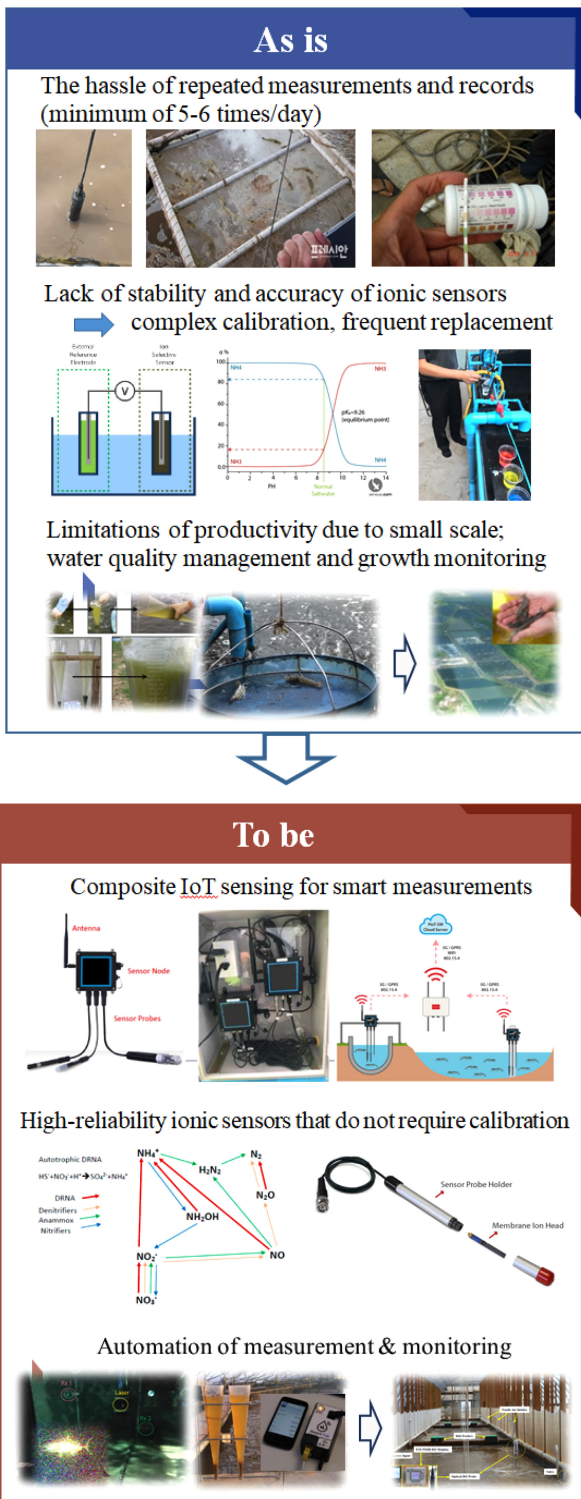


Fig. 8. Improvement direction of current technology for water quality measurement.

성공 여부를 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 새우 양식에 있어서 사육 환경인 수질 제어가 가장 중요한 활동이며, 암모니아 등 지표 측정의 중요성에 대해서는 양식업자 사이에 공유되어 있는 반면에 그 지표의 확인 빈도 및 측정/제어 방법에 차이가

있고 생산성의 지표인 생존율에서도 동일 지역, 양식 어종, 시기에 있어서도 양식장에 따라서 30-90%의 차이가 발생하고 있다. 현장에서 최소 오전, 오후 일 2회 측정이 필요하며, 정확한 실시간 모니터링이 가능하다면 수질의 급격한 변화를 예방하고, 양식 생물의 생육 조건을 안정적으로 유지할 수 있다. 향후 흰다리 새우를 비롯해 수산 양식생물 생산을 위한 최적 양식 환경을 확보하기 위해서는 양식 생육 환경 현장의 수질을 측정하고 적정 환경을 결정하고 자동제어 시스템을 통해 제어하며, 축적된 데이터를 활용 및 분석을 통해 지능적으로 관리하는 기술이 필요하다. 또한, 일부 대형 양식장을 제외한 대다수의 소규모 영세 새우 양식장은 21세기 첨단 정보화시대인 지금까지도 현장 작업자의 지식과 경험에 기댄 생산관리수법에 의존하고 있으며, 생산에 관한 수질 및 사육 데이터의 추적 정도는 우선 현장에서 종이 등에 기록하고 작업자의 임의의 타이밍에 맞춰서 엑셀과 같은 표 계산 소프트웨어에 옮겨서 기록하는 수준에 따르고 있는 실정이다. 이러한 소프트웨어로는 급이량 등의 경시적 변화에 따른 추이는 알 수 있으나, 장기적 수질 변화에 따른 새우 스트레스 발생의 예상, 바이러스에 대한 적절한 대응책 추출 등 데이터 분석에 따른 적극적 생산관리가 곤란하다. 따라서 데이터에 기반한 무인 자율 양식 플랫폼 구현을 위한 현 기술의 개선 방향으로는 현재, 대다수 소규모 새우 양식 환경에서 사용되고 있는 매일, 매주 반복되는 수질 측정 및 기록의 번거로움을 IoT 센서를 도입함으로써 실시간 측정과 무선통신을 이용한 데이터 전송과 이에 따른 서버 저장, 분석, 가시화 과정이 필요하며, 거품 발생과 염분을 함유한 물 비말의 비산과 같은 양식 환경에서 기인한 NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> 등 이온계 센서의 불안정성과 부정확성을 개선하고 복잡한 센서 교정과 잦은 센서 교체를 해결하기 위한 고정도, 고내구성의 IoT 센서를 개발해야 되며, 사육수 수질관리, 성장거동의 모니터링의 영세성에 기인한 생산성 한계를 극복하기 위해서는 사육수 수질 및 성분과 새우 개체 성장 모니터링의 자동화 필요성이 대두되고 있다(Fig. 8). 현장 설치형 수질 모니터링 센서는 흰다리 새우 양식, 특히 BFT 양식 환경에서는 고염분, 고부유물 환경에서 견딜 수 있는 센서의 내구성과 데이터 안정성, 신뢰도가 무엇보다 중요하다. 특히 센서 재질에 있어서는 SUS304도 부식이 되는 고염도 환경에서 견딜 수 있어야 하며, 고탁도 및 부유물질에 의한 Biofouling을 견딜 수 있는 센서가 사용되어야 한다 [32-37].

## 6. 요약

RAS(Recirculating aquaculture system) 방식 또는 바이오플라크 기술을 사용한 흰다리 새우의 육상 양식을 통해서 새우 개체의 생존율과 고밀도 생산율을 향상시키기 위한 양식의 원리 및 장치 구성, 국내의 수질 모니터링 센서, 현재의 양식 모니터링 시스템의 문제점 파악 및 미래의 양식 모니터링을 위한 대책을 분

석 하였다.

흰다리 새우 양식을 위해서는 수조별 온도, pH, DO, 염도 측정이 기본적으로 필요하며, 암모니아성 질소, 질산성 질소, 아질산성 질소, 성장 관리를 위한 이온성 물질의 측정이 필요하다. 특히 센서재질에 있어서는 SUS304도 부식이 되는 고염도 환경에서 견딜수 있어야 하며, 고탁도 및 부유물질에 의한 생물 부착에 견딜 수 있는 센서가 사용되어야 한다. 또한 내구성 및 측정값 신뢰도, 가격 경쟁력 있는 센서 및 시스템 공급이 필요하다. 바이오플락 양식 환경에서는 고염분, 고부유물 환경에서 견딜 수 있는 센서의 내구성과 데이터 안정성, 신뢰도가 무엇보다 중요하다.

향후 흰다리 새우 및 수산 양식을 위한 최적 양식환경을 확보하기 위해서는 양식 생육 환경 현장의 수질을 측정하고 적정 환경을 결정하며, 자동제어 시스템을 이용하여 제어하고 축적된 데이터를 활용 및 분석하여 지능적으로 관리하는 기술을 개발하는 것이 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 전라북도가 지원한 기획과제(과제번호 GM4640, 아쿠아 디지털 트윈 구축사업 상세전략 수립 및 타당성 조사 용역)와 한국기계연구원 주요사업과제(과제번호 NK232E) 및 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구(MT2020)의 지원을 받아 수행하였습니다.

## REFERENCES

- [1] J. Bregnballe, *A Guide to Recirculation Aquaculture-2015 edition*, Eurofishg, Copenhagen, pp. 1-100, 2015.
- [2] <http://www.isps-japan.or.jp/technology.html> (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [3] S. K. Choi, Y. S. Sonh, S. Hur, Y. B Ham, J. H. Park, T. J. Min, C. H. Kim, and B. T. Kim, "Jeonbuk-type advanced smart farming system construction project detailed strategy and feasibility study: Aqua digital twin construction project", *Plan. Rep. of Korea Inst. Mach. Mater.*, Korea, pp. 1-813, 2020.
- [4] "Japan AESAN new industry creation demonstration business report-productivity improvement project of aquaculture business by introduction of IoT", *Internet Initiative Japan Inc.*, Tokyo, pp. 1-84, 2019.
- [5] J. W. Choi, "Establishment of test bed to analyze and improve security vulnerability of IoT-based smart farm controller", Master's thesis, Sogang University, Korea, pp. 1-66, 2018.
- [6] <https://www.aquaeasy.life/>(retrieved on Sep. 20, 2020).
- [7] [http://www.lotuselectrode.com/?page\\_id=4421](http://www.lotuselectrode.com/?page_id=4421) (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [8] <http://goc2001.com/>(retrieved on Sep. 20, 2020).
- [9] <http://www.hb-technology.co.kr/product/goods.php?PageNum=3&subNum=1&GCODE=G1476320595616> (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [10] [http://www.dyscale.co.kr/index/bbs/board.php?bo\\_table=s3&sca=%EC%88%98%EC%A7%88%ED%99%98%EA%B2%BD&wr\\_6=4](http://www.dyscale.co.kr/index/bbs/board.php?bo_table=s3&sca=%EC%88%98%EC%A7%88%ED%99%98%EA%B2%BD&wr_6=4)(retrieved on Sep. 20, 2020).
- [11] [http://www.globit.co.kr/skin/page/business\\_solution.html](http://www.globit.co.kr/skin/page/business_solution.html) (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [12] [http://jointree.co.kr/theme/theme02/biz/biz\\_02\\_05.php](http://jointree.co.kr/theme/theme02/biz/biz_02_05.php) (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [13] S. W. Kim, and Y. S. Choi, "IoT-based automatic water quality measurement system for circulating filtration farms", *J. Inst. Electronics Commun. Sci.*, Vol. 12, No. 3, pp.477-484, 2017.
- [14] <https://www.ysi.com/products/aquaculture-process-monitors-and-sensors> (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [15] <https://in-situ.com/en/> (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [16] <https://www.oxyguard.dk/> (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [17] <https://www.s-can.at/> (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [18] <https://intl.hannainst.com/products/portable-meters/ph/waterproof-portable-ph-meter-hi991001.html> (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [19] <https://www.xylemanalytics.com/en/> (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [20] [http://www.koreadigital.com/index.php?mid=sciencecube\\_goods&page=2&document\\_srl=824](http://www.koreadigital.com/index.php?mid=sciencecube_goods&page=2&document_srl=824)(retrieved on Sep. 20, 2020).
- [21] <http://hmdigital.com/> (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [22] [https://www.horiba.com/en\\_en/water-liquid/](https://www.horiba.com/en_en/water-liquid/) (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [23] <http://www.istek.co.kr/> (retrieved on Sep. 20, 2020).
- [24] <https://www.prominent.co.kr/ko/>(retrieved on Sep. 20, 2020).
- [25] <https://www.aqua-manager.com/>(retrieved on Sep. 20, 2020).
- [26] <https://www.billundaquaculture.com/why-ras/>(retrieved on Sep. 20, 2020).
- [27] <https://nofima.no/en/>(retrieved on Sep. 20, 2020).
- [28] Y. J. Hwang, J. J. Han, S. M. Moon, and H. M. Yoon, "2019 Test Research Project Report", *Inst. Mar. Fisheries Res. Gyeonggi-do*, No. 29. pp. 1-45, 2020.
- [29] J. H. Lee, H. S. Kim, Y. S. Lee, S. J. Cha, B. S. Kim, and H. S. Choi, "Guide to eco-friendly biofloc farming technology", *Inland Aquaculture Res. Cent., Ministry Oceans Fisheries, Natl. Inst. Fisheries Sci.*, Changwon, pp.1-96, 2018.
- [30] J. S. Park, "Environmental Sensor Technology Trend", *J. KSME*, Vol. 54, No. 10, pp. 26-33, 2014.
- [31] S. C. Lee and C. M. Ma, "Analysis on the development trend of advanced smart aquaculture technology", *J. Soc. Control. Robot Syst.*, Vol. 22, No. 3, pp. 26-33, 2016.
- [32] H. J. Jang, B. R. Moon, S. G. Yoon, and T. S. Jin, "Development and performance evaluation of multiple sensor for Groundwater Quality Monitoring and Remote Control System using IoT", *J. Korea Inf. Commun. Soc.*, Vol. 21, No. 10, pp.1957-1963, 2017.
- [33] K. Preetham, B. C. Mallikarjun, K. Umesh, F. M. Mahesh, and S. Neethan., "Aquaculture monitoring and control sys-

- tem: An IoT based approach”, *IJARIT*, Vol.5, No. 2, pp.1167-1170, 2019.
- [34] I. H. Ko and S. W. Chung, “Reservoir Turbidity Monitoring and Prediction Technology Development Trend/Water and Future”, *Korea Water Resour. Association*, Vol. 41, No. 7, pp. 18-24, 2008.
- [35] A. E. Copping, B. Polagye, R. Suryan, S. Kramer, J. B. Saracino, and C. Smith, “Instrumentation for monitoring around marine renewable energy converters: Workshop final report”, *Pac. Northwest Natl. Lab.*, Richland, WA, 2014.
- [36] C. Ullman, M. Rhodes, T. Hanson, D. Cline, and D. A. Davis, “A New Paradigm for Managing Shrimp Feeding”, *World Aquaculture*, pp. 30-34, 2017.
- [37] H. Y. Kang and Y. S. Jang, “Real-time water quality monitoring system using a highly reliable wireless sensor network”, *J. Sens. Sci. Technol.*, Vol. 24, No. 5, pp. 331-341, 2015.