

# 기술 · 경제 · 환경적 측면에서의 스마트양식 산업화 모델과 기술개발 방향

이동길<sup>†\*</sup> · 정해승<sup>1†</sup> · 서준혁<sup>1</sup> · 김형수<sup>2</sup> · 박정환<sup>3</sup>

국립수산과학원 수산공학과, <sup>1</sup>국립수산과학원 첨단양식실증센터, <sup>2</sup>국립수산과학원 양식연구과, <sup>3</sup>부경대학교 수산생물학과

## Smart Aquaculture Industrialization Model and Technology Development Direction Considering Technology, Economy and Environment

Donggil Lee<sup>†\*</sup>, Hae Seung Jeong<sup>1†</sup>, Junhyuk Seo<sup>1</sup>, Hyeong Su Kim<sup>2</sup> and Jeonghwan Park<sup>3</sup>

Fisheries Engineering Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

<sup>1</sup>Advanced Aquaculture Research Center, National Institute of Fisheries Science, Changwon 51688, Republic of Korea

<sup>2</sup>Aquaculture Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Fisheries Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

Owing to the increase in the elderly population at aquaculture farm and decrease in the number of aquaculture farmers, the need to improve aquaculture production system is increasing. In addition, as virtual interactions become new normal after COVID-19 pandemic, the speed at which science and technology such as the internet of things (IoT), information and communications technology (ICT), and artificial intelligence (AI) are applied to each field is accelerating. Efforts are being made to enhance the quality of life of aquaculture farmer and competitiveness of the aquaculture industry by incorporating digital technology. This study analyzed national and global aquaculture technology development and policy trends, smart aquaculture terminology application scenarios, and prior research cases to propose smart aquaculture industrialization models and technology development directions considering technology, economy, and environment. This study can also provide valuable reference for promoting smart and efficient development of aquaculture.

Keywords: Smart aquaculture, Digital technology, Industrialization model, Technology development direction

### 서론

국내 수산업은 국민들의 안정적인 식량 공급원이자 어가의 생계 해결 수단으로 발전해 왔다. 최근에는 전 세계적인 기후변화와 남획 등으로 인해 어업자원이 감소하고 있지만 수산물의 수요는 증가함에 따라 이를 충족하기 위해 수산물의 생산은 잡은 어업에서 양식업으로 전환되는 추세이다(FAO, 2020). 하지만, 2021년 기준으로 어촌의 65세 이상 인구 비율은 매년 증가하여 40.5%를 차지하고 있으며, 어가 인구수 또한 지속적으로 감소하여 9만 3천명으로 나타났다(KOSIS, 2023). 이로 인해 수산물 생산체계 개선에 대한 필요성은 점점 높아지고 있다. 특히, 젊은 청년들의 산업 진입 기피 현상이 심각해짐에 따라 기존의 노동집약적 양식산업에서 기술집약적인 첨단양식 산업으로 전환해야 하는 시기에 놓여 있다(Jeong et al., 2021; Lee et al.,

2021). 사회적으로는 코로나 19로 인해 비대면이 일상화됨에 따라 IoT (internet of things), ICT (information and communications technology), AI (artificial intelligence) 등의 과학기술이 각 영역에 적용되는 속도가 더욱 빨라지고 있다. 이러한 사회적 여건 변화와 첨단과학기술의 발전으로 인해 산업 전반에서 디지털 전환 시대를 맞고 있다. 양식산업에서도 디지털 기술을 접목함으로써 어업인들의 삶의 질과 산업경쟁력을 높이기 위한 첨단양식기술 개발과 정책 수립에 많은 노력이 이루어지고 있다(Lee et al., 2021). 2019년 해양수산부에서는 정부 관계부처 합동으로 '지속가능한 젊은 수산업, 함께 잘 사는 어촌 실현'을 비전으로 수산혁신 2030계획을 수립하였다(MOF, 2019). 양식 부문에서는 소규모·재래식·사후대용 양식에서 규모화·스마트·예방 양식으로 정책 패러다임을 전환하고 기업화와 스마트화를 통해 친환경·고부가가치 양식산업으로 혁신하겠다는 것을 목

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2580 Fax: +82. 51. 720. 2586

E-mail address: donggil@korea.kr <sup>†</sup>Contributed equally.



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.2023.0759>

Korean J Fish Aquat Sci 56(6), 759-765, December 2023

Received 5 July 2023; Revised 11 August 2023; Accepted 20 October 2023

저자 직위: 이동길(연구관), 정해승(연구사), 서준혁(연구사), 김형수(연구사), 박정환(부교수)

표로 두고 있다. 이러한 정책의 일환으로 산업계, 학계, 연구기관에서는 다각적인 방향에서 스마트양식 기술개발을 수행하고 있다(Choi et al., 2020; Lee et al., 2021; Yi, 2022).

하지만, 스마트 양식과 관련한 선행연구들을 조사해 보면 양식현장의 현안해결을 위한 요소기술 개발 및 검증문제로 인해 산업화에 많은 어려움을 겪고 있다(Kwon et al., 2019). 또한, 과학기술의 발전에 따라 수산양식분야에 디지털, 스마트, 첨단 양식기술 등 용어에 대한 다양한 해석과 이해는 기술개발 범위와 세부 실행 방향 설정을 더디게 진행하는 요인들 중 하나이다(Ma et al., 2015; Lee et al., 2021). 이러한 문제는 양식산업에 첨단과학기술들을 적용하는 스마트양식 기술개발에 걸림돌로 작용하게 되며, 연구개발 속도 저하와 현장과의 괴리감 발생 등의 부차적인 문제로 나타나게 된다.

따라서 본 연구에서는 국내의 양식기술 개발 및 정책동향, 스마트양식의 용어 적용사례와 선행연구사례를 분석하여 스마트 양식 기술의 현장 보급과 확산을 위해서 기술·경제·환경적 측면에서의 스마트양식 산업화 모델과 기술개발 방향에 대해 제안하고자 한다.

## 본 론

### 양식기술 정책 및 정책 동향

양식은 사전적 의미로 물고기나 해조류 따위를 인공적으로 길러서 번식하는 것을 뜻한다. 국내 양식은 시대별로 사회적인 여건과 과학기술의 발달에 따라, 생산적 측면에서의 종자 생산기술과 관리적 측면에서의 양성관리 기술로 나누어 발전해 왔다.

종자생산 기술개발은 1970년대 해조류 양식에서부터 시작되었다. 이 시기에는 식량문제 해결과 양식어가가 자급자족하는 시대로 적은 비용으로 손쉽게 양식생물을 대량생산할 수 있는 종자가 필요하였다. 이러한 이유로 자연환경을 최대한 활용하는 양식기술로써 별도의 먹이 공급 필요 없이 손쉽게 대량으로 양식할 수 있는 김, 다시마 등의 해조류를 선택하였다. 대표적으로 1972년에서 1978년까지는 김 부유식 양식을 확대 보급하였고, 1976년에는 다시마 인공양식 보급과 1978년에는 김 유리 사상체를 대량배양 보급하였다.

1980년대에 들어서는 패류양식이 시작되었다. 양식품종의 다양화를 위해 해조류와 같이 저비용으로 대량생산이 가능한 종자로 패류를 선택하였고, 1980년대에는 굴양식이 전성기를 이루었다. 대표적으로 1986년에는 큰가리비의 상업적 양식이 시작되었다.

1990년대 들어서는 우리나라의 주요 양식품종의 산업화와 육종기술개발로 어류양식이 본격화되었다. 어류양식은 사료공급이 필수적이고, 주기적으로 어류의 상태를 관찰하여 건강도를 판별하며 선별과 밀도조절 등의 성장관리가 요구됨에 따라 많은 시간과 노력이 필요하다. 대표적인 기술개발 성과에는 육상 수조식 넙치양식 산업화와 조피볼락 해상가두리 양식기술 등

이 있다.

2000년대 들어서는 환경오염에 따른 기후변화 대응전략으로 친환경양식과 관련한 연구개발이 집중되는 시기였다. 대표적으로 새우 바이오플락 양식, 생태통합양식 기술, 어류와 식물을 함께 생산하는 양어수경재배 기술이 있다. 이와 같이 국내 종자 생산기술은 식량문제를 해결하기 위해서 적은 비용으로 식량을 확보하는 동시에, 수산물 소비자들의 선호도와 환경변화에 따라 탄력적으로 다양한 종자를 생산하는 기술로 거듭해 성장해 온 것을 확인할 수 있다(Park et al., 2012; Kim et al., 2015; Lee et al., 2020; Hwang et al., 2021).

관리적 측면에서 양성관리 기술은 양식생물의 종자생산 이후 사료공급, 사육수관리, 성장관리, 질병 관리 등에 필요한 기술들을 말한다. 최근에는 IoT, ICT, AI 등의 첨단과학 기술의 확산 및 적용 속도가 가속화됨에 따라 양성관리 기술의 첨단화가 빠르게 이루어지고 있다.

2000년 이전까지 양성관리 기술은 양식생물의 종자생산 기술이 축적되는 시기로 사람의 경험과 지식을 하나의 기술로써 인식하는 경험의존적 형태를 가졌다. 이 시기에는 비용과 관리적 요소를 줄이는 것이 관건으로 육상보다 해상에서 개인의 경험과 지식을 바탕으로 자연환경을 최대한 활용하는 양성관리 기술을 습득하고 전수하는 사례가 많았다. 2000년도 이후부터는 어류양식이 본격화되어 먹이 공급과 성장관리 등의 양성관리 요소가 많아짐에 따라, 사료공급 및 수질측정 등과 같은 단순반복적인 작업은 자동화된 기계가 대신하는 자동화 양식기술로 발전했다.

그 이후 2010년도에 들어서는 정보통신 기술을 접목하여 원격지에서 양식장을 운영하고 관리할 수 있는 u-IT (ubiquitous-information technology) 양식기술 개발과 국가 보조사업이 추진되었다. u-IT 양식기술은 유비쿼터스(ubiquitous)의 'u'와 'IT'를 붙여 만든 용어로 때와 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 통신환경에서 양식장의 수온, 용존산소 등 수질환경 정보를 관찰하고 먹이를 공급하는 기술을 의미한다.

2019년 이후, 미래대비를 위한 양성관리 기술로서 정부를 비롯한 학계, 산업계, 연구기관에서 제안하고 있는 대표적인 것이 디지털 및 스마트양식 기술이다. 디지털의 사전적 의미는 여러 자료를 유한한 자릿수의 숫자로 나타내는 방식이며, 디지털양식은 양식생물의 생산 전과정에서 수집된 데이터를 디지털 방식으로 저장 및 분석하여 양식생물의 양성과정을 모니터링하고 자동화하는 양식기술로 정의할 수 있다. 스마트양식은 디지털 학습자료를 활용하여 양성과정 중에 발생하는 문제를 사전에 예측하고 능동적으로 대처하는 지능형 양식기술로 정의할 수 있다. 이와 같이 학계, 산업계, 연구기관에서는 양식생물의 안정적인고 효율적인 생산을 위해 기술개발뿐만 아니라, 정책적 측면에서의 해결방안들을 제시하고 있다.

해양수산부에서는 국정과제인 '풍요로운 어촌, 활기찬 해양'의 실현을 위해 어촌 주민의 정주·생활환경과 소득을 도시민 수

준으로 강화, 수산물 생산·가공·유통 혁신으로 경쟁력 확보 및 안전한 수산물 공급체계 확립 등에 노력을 기울이고 있다. 그 대표적인 것이 해양수산부에서 정부 정책으로 실행하고 있는 스마트양식 클러스터 조성사업이다. 스마트양식 클러스터는 테스트베드와 배후단지로 구성되며, 6개소(부산, 포항, 제주, 신안, 강원도, 고성)를 대상으로 한다. 테스트베드는 원천기술 수준으로 개발된 스마트양식 기술의 현장검증 과정을 통해 최적화하는 기능을 하며, 양식생물의 양성데이터 수집, 연구개발, 인력양성과 스마트양식 선도모델 확산을 위한 시설들을 포함하고 있다. 배후단지는 테스트베드 성과확산과 연관산업을 통한 시너지 효과를 창출하는 기능을 하며, 민간 양식장, 사료공장, 유통·가공·판매업체, 동물약품 판매업체, 시설운영 및 관리업체 등을 포함하고 있다.

해외의 사례를 살펴보면, 유럽에서는 EU의 연구혁신 분야의 재정지원 프로그램으로 'horizon Europe'을 수립하고 955억 유로의 예산으로 연구와 혁신을 위한 핵심 펀딩 프로그램을 확보하였다(CINEA, 2021). 이는 기후 중립 및 그린 유럽에 초점을 맞추어 디지털 시대에 맞는 나침반 역할을 하는 전략 계획이다. 건강한 대양, 바다, 해안 및 해상 수자원, AI와 데이터 처리/분석, 로봇공학을 농업, 어업, 식품산업 등 다방면에 적용하여 경쟁력을 향상시키는 것이 핵심 목표이며, 산업간 융복합기술을 통해 식량 안보와 환경 보호에 기여하고자 클러스터 사업을 추진하고 있다. 또한, 'the EU's new 2030 aquaculture strategy'를 통해 지속가능한 성장을 위한 전략적이고 장기적인 접근 방식을 발표했다(ALI, 2023). 이를 통해 EU회원국 및 이해 관계자에게 경쟁력 있고 탄력적인 양식산업 조성, 영양가 있고 건강한 식품의 공급 보장, 수산물 수입에 대한 EU 의존도 감소, 경제적 기회와 일자리 창출 및 지속 가능성에 대한 글로벌 기준 제시 등 공통의 비전을 제공하는 것을 목표로 한다.

미국 국립해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)의 NSGCP (national sea grant college program)는 지난 50년 가까이 지속가능한 해양 및 5대호 개발 양식업에 투자해 왔으며, '10-Year NOAA sea grant vision 2015-2025'를 통해 2015년부터 향후 10년 동안 양식 연구 및 기술 이전에 5천만-1억 달러 투자 계획을 수립했다(NOAA, 2016). 또한, 양식연구를 위한 미국의 국가 전략 계획인 'a national strategic plan for aquaculture research 2021-2025'을 통해 3가지 목표를 설정하고 각 목표에 실행방안을 설정하였다(USDA, 2022). 첫번째로는 양식을 통한 경제 성장 개발을 하기 위해 시장 기회 확인, 과학 기반 확장, 숙련된 인력 교육 등 세부 목표를 설정하였다. 두번째로는 양식 생산 기술을 개선하고 의사결정에 대한 정보를 제공하기 위해 어민들에게 개선된 유전체학에 대한 접근 제공, 친환경 양식 생산 기술 개발, 사료 생산 기술 향상 및 양식 엔지니어링 시스템 개선을 목표로 설정하였다. 마지막으로 동물복지, 상품 안정성 및 영양적 가치 유지를 위해 양식 어종의 건강과 복지를 보호하기 위한 전략 개발,

미국산 양식 상품의 안정성과 영양적 가치를 촉진하는 목표를 설정하였다.

덴마크 양식산업 지식 클러스터인 'AquaCircle'은 덴마크 RAS 기술개발 지원, 보급 및 확산에 주력하고 있으며, 정부, 연구소, RAS관련 기업들을 연결해주는 역할을 한다. 또한, 개별 기업들이 해결하기 어려운 문제, 해외 진출 및 전략 컨설팅에 기여하고 있다. 노르웨이의 'NCE aquatech cluster'는 세계에서 가장 큰 양식 클러스터 중 하나이며, 100개가 넘는 협력사 및 협력기관을 가지고 있고 기자재 및 시설 공급 기업, 양식 생산자, 수산물 유통·가공 기업, 연구 및 교육기관이 상호 유기적인 협력 및 지원체제를 가지고 있다. 해당 클러스터는 지속가능한 양식을 지향하고 있으며, 해외시장 개척 및 사업 확대를 주요 목적으로 하고 있다. 특히, 이 클러스터는 학생과 클러스터 협력사와의 연결 고리 역할에 큰 중점을 두고 있으며, 이를 통해 양식 산업 분야에 젊은 인력의 유입을 도모하고 기업의 경쟁력을 높이고 있다.

### 스마트양식의 용어 적용사례 조사

국내 연구보고서나 문헌을 통한 스마트양식 기술 및 스마트양식장의 정의는 기관마다 조금씩 다르게 제안하고 있으며, 공통적으로 데이터, 예측 및 판단, 지능화 용어를 포함하고 있다. 또한, Lee et al. (2021)은 스마트양식이란 빅데이터 분석과 AI 등 4차 산업혁명 기술과 양식생물의 성장, 환경관리 데이터를 융합하여 양식생물의 생산과정을 지능화하는 차세대 첨단양식으로 정의하고 있다.

해외에서도 스마트양식에 대한 정의가 몇몇 논문에서 보고된 바 있지만(Table 1), 분명한 정의나 설명 없이, 기존의 양식 방법에 IoT, 모니터링 장비, AI, 딥러닝, 머신러닝 등의 기능과 장치를 추가하며 스마트양식으로 사용되는 사례가 많다. Hu et al. (2020)은 스마트양식은 양식 환경의 물리적·화학적 요인에 대한 실시간 모니터링, 예측, 경고 및 위험요소 제어를 실현할 뿐 아니라, 사육생물의 특징과 행동까지도 실시간 모니터링을 수행할 수 있으며, 이를 통해 양식생태환경의 변화도 추정할 수 있다고 정의하고 있다. 또한, Yang (2020)은 스마트 어류양식 (smart fish farming)이란 IoT, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, 인공지능 및 다른 현대 정보기술들의 통합을 통해 양식에서 자원을 효율적으로 사용하며 이를 최적화하고 지속 가능한 개발을 촉진하는 것을 목표로 하는 새로운 과학 분야를 의미한다고 정의했다.

### 스마트양식 개념과 정의

앞서 기술한 바와 같이 디지털의 사전적 의미는 여러 자료를 유한한 자릿수의 숫자로 나타내는 방식이다. 따라서 디지털양식은 과거의 양식 경험·지식과 양식생물의 생산 전과정에서 수집된 데이터를 디지털 방식으로 저장·분석하여 양식생물의 양성과정을 모니터링하고 자동화하는 양식기술로 정의할 수 있다. 스마트양식기술이란 정보통신 기반의 자동화·지능화 등 용



Table 1. Various definitions of smart aquaculture abroad

No	Definition	References
1	The smart aquaculture management systems are a new approach to monitoring aquaculture water quality independently with the integration of AI and IoT	Chrispin et al. (2020)
2	Smart aquaculture cannot only realize realtime monitoring, prediction, warning, and risk control of the physical and chemical factors of the aquaculture environment but can also conduct real-time monitoring of the characteristics and behaviors of the fish, which infers the changes of the aquaculture ecological environment	Hu et al. (2020)
3	Nowadays, with the application of IoT, artificial intelligence, data analysis, etc., aquaculture systems are upgraded to smart aquaculture systems for improving performance and efficiency	Rasheed Abdul Haq and Harigovindan (2022)
4	Based on the advanced of artificial intelligent, smart aquaculture can perfect all stages from breeding, nursery to grow out stages of cultured species, as well as other processing like preparation of cultured water resource, manage the water quality, feed preparation, feeding, classification, grading, counting and washing the cultured systems. environment.	Vo et al. (2021)
5	It can be controlled in a distance and automation by applying of IoT, big data, artificial intelligence, 5G, cloud computing, and robotics	Kassem et al. (2021)

AI, Artificial intelligence; IoT, Internet of things.

복합 기술을 적용하여 양식생물 및 사육환경을 안정적으로 유지·관리하고 생산성 향상과 경비 절감이 가능한 양식 기술로 정의할 수 있다.

#### 스마트양식 관련 선행연구사례

국내 스마트양식 연구는 국립수산과학원에서 2014년부터 2018년까지 생태통합양식 개발을 위한 관리 시스템 개발로부터 시작되었다. 2018년에 경상남도 하동군에 해상 스마트 시범 양식장을 구축하여 가두리 양식장에 송어 20만 마리 양성관리에 활용하였으며, ICT 기술을 접목하여 양식생물의 양성데이터 수집 및 사료자동 공급 기술을 개발하였다. 국립수산과학원 첨단양식실증센터에서는 스마트양식의 성공적인 모델을 구축하고 학습자료 확보를 위한 디지털양식과 지능화 기술 수준인 스마트양식 기술개발연구를 수행하고 있다. 2019년부터 현재까지 육상 담수 스마트양식 테스트베드를 구축하고 있고, 5톤 수조 20조, 30톤 수조 2조에 뱀장어를 양성관리할 예정이며, 수질 환경(수온, 용존산소, pH, EC 등) 모니터링 및 제어장치, 사료공급장치, 스마트양식 SW, 데이터 수집 환경 및 제어실을 구축하고 있다. 2022년부터는 국립수산과학원 사료연구센터에서 25톤 수조 9조와 100톤 수조 2조에 넙치를 대상으로 육상 해수 스마트양식 테스트베드를 구축하고 있다.

해외에서도 산업계와 학계에서 IoT, AI 등을 활용하여 수질 변화 예측, 먹이공급량 조절 등 스마트양식의 발전을 위한 연구를 수행하고 있다(Dzulqornain et al., 2018; Balakrishnan et al., 2019; Hu et al., 2020; Chiu et al., 2022; Rasheed Abdul Haq and Harigovindan, 2022; Yadav et al., 2023). EU에서는 빅데이터 기술과 글로벌 데이터를 활용하여 수온, 용존산소, 사료 배합도, 공급방식 등과 생장률, 생육기간, 품질 등 생산 결과와의 상관관계 도출을 위한 AquaSmart 플랫폼을 개발하고 있다. 덴마크에서는 수질 모니터링 및 제어 분야의 선도업체인

Oxyguard사가 데이터사업을 추진, Microsoft의 클라우드 서비스를 활용하여 전 세계에 설치해 놓은 양식장 관리시스템에 축적된 데이터를 통합하여 데이터 분석 및 서비스를 제공하고 있다. 노르웨이에서는 AKVA사가 환경 측정 센서, 자외선 살균, 레이저 유해충 제거 시스템 등 빅데이터 기반의 양식생산자동화 시스템을 개발하였고, 환경센서 및 고급 카메라와 생산제어 소프트웨어가 통합되어 시간과 사료량 등을 자동으로 제어하는 사료 공급시스템을 개발하고 있다. 핀란드에서는 Arvotec사에서 먹이공급 자동화 기술, 사육수 재순환 기술, 웹기반 운영 소프트웨어 등을 통해 사료 공급시스템을 조절하며 이와 연계된 기타 장비들을 활용하여 어장의 수질환경 모니터링 기술을 구현하고 있다.

#### 국내 스마트양식 기술개발의 한계

국립수산과학원에서는 스마트양식 기술을 디지털양식에서 진화된 기술로 학습자료를 활용하여 양성과정에서 발생하는 문제를 사전에 예측하고 능동적으로 대처하는 지능형 양식기술로 정의하고 있다(Fig. 1). 여기서, 지능화란 컴퓨터가 인간 처럼 스스로 학습하고 행동하는 것을 의미한다. 이와 같은 지능화 기술 구현에 있어서 핵심은 학습 데이터 확보를 통해 학습 모델을 개발하는 것이다. 하지만, 수산양식 분야에서 학습모델을 만들 만큼의 충분한 데이터가 마련되어 있지 않기 때문에 스마트양식 이전에 선행적으로 개발되어야 하는 기술이 바로 디지털양식이다.

과학기술의 발전과 사회적, 경제적 여건이 변화함에 따라 기존의 어류양식 기술도 점차 첨단화될 것으로 전망된다. 하지만, 시설 및 양식기자재 비표준화, 과학적 설계기술 및 교육훈련 부재, 높은 투자 비용 발생 등의 문제점들은 첨단양식기술의 현장 적용과 확산에 한계점으로 작용한다. 가장 주된 원인으로 고려할 수 있는 것은 산업화 가능한 수준의 첨단양식의 성공모델 개

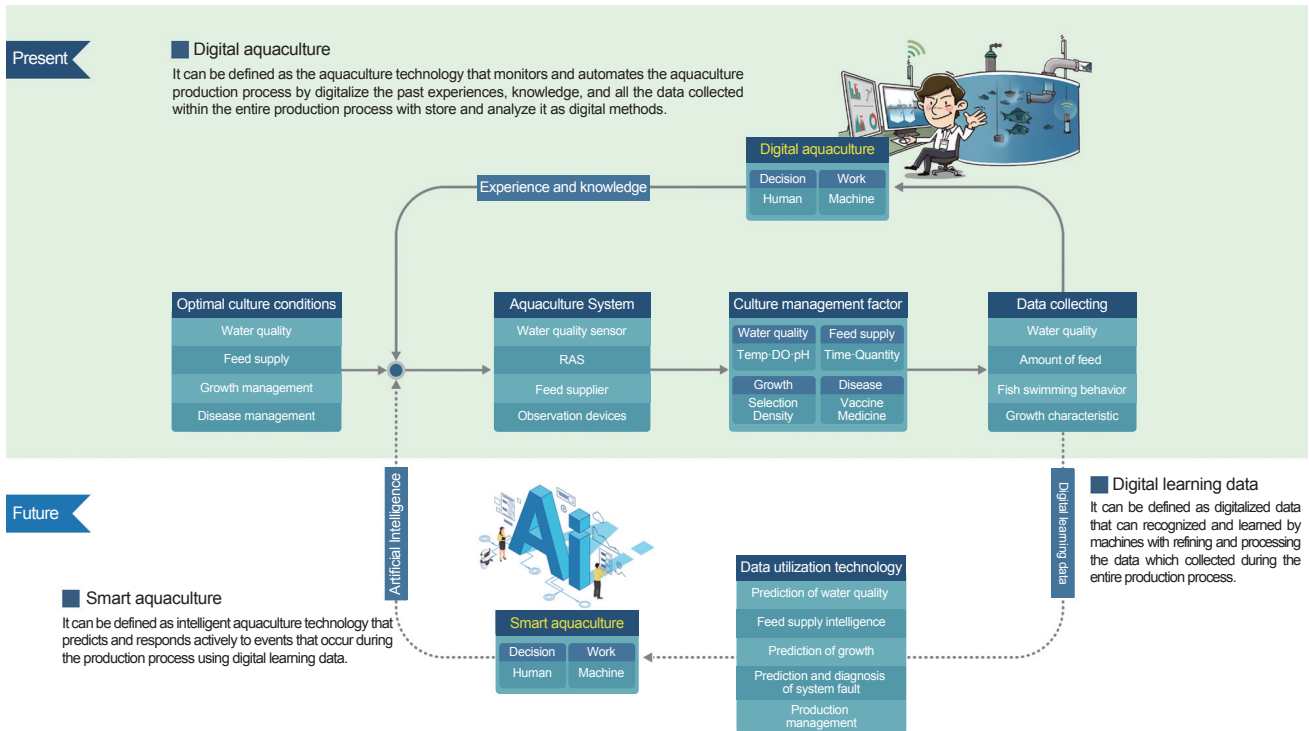


Fig. 1. Conceptual image of digital and smart aquaculture.

발 사례가 없기 때문이다. 본 연구에서는 첨단양식의 성공모델 개발을 위해서 경제적, 기술적, 환경적 측면에서 대응 전략을 제안하고자 한다.

### 스마트양식 산업화 모델 및 기술개발 방향

#### 경제적 측면

우리나라 양식기술은 국민들의 식량 확보와 어업인의 생계 수단으로 발전해왔고 지금까지도 가족단위의 경영규모로 영세하다. 이러한 상황에서 투자대비 경제적인 수익성이 담보되지 않은 기술을 양식현장에 적용하는 것은 위험부담으로 작용한다. 따라서 정부 주도적으로 디지털양식 또는 스마트양식 같은 첨단양식의 성공모델을 만들어, 어업인이 기술적 부분과 경제적인 효과 부분을 체감하고 기술적용의 필요성에 공감할 수 있도록 하여야 한다.

#### 기술적 측면

기술적 측면에서 첨단양식기술의 확산을 촉진하는 방법에는 어류양식의 성공모델을 구성하는 양식 기자재의 표준화와 기자재의 성능을 검증하는 기술개발이 있다. 어업인이 만족하는 성공모델을 개발하더라도 구성하는 양식 기자재가 규격화 및 표준화되어 있지 않으면 현장적용성이 현저히 낮아질 것이다. 뿐만 아니라, 개발된 기술의 재현성과 기자재 간의 호환성을 담보하기도 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 우리나라에

서는 2021년도부터 본격적으로 ‘해양수산업 기자재 표준화 기술개발’ 연구를 수행하고 있다. 하지만, 오랜 시간 동안 양식 기자재는 어가의 특징, 사용자의 요구, 시설의 규모에 따라 경험과 지식을 바탕으로 개발 및 보급되어 왔기에 단시간 내 표준화를 하기에는 많은 어려움이 따를 것으로 예상된다. 기자재의 성능을 검증하는 기술개발도 중요하다. 현재까지는 국내에서 양식 기자재를 개발하더라도 기자재의 성능을 검증하는 기준이 마련되어 있지 않아, 기자재의 성능에 대한 신뢰성 부재로 양식어민들에게 외면받고 있다. 이러한 이유로 수온, 용존산소, pH 등 수질을 측정하는 센서류를 포함하는 대부분의 기자재는 고가의 수입산을 사용하고 있으며, 이는 양식어민들의 경제적 부담을 가중시키고 있다.

#### 환경적 측면

양식산업의 자동화·지능화뿐만 아니라, 기후변화와 자연재해에 유연하게 대처하는 기술개발이 필요하다. 특히, 우리나라는 다른 나라에 비해 상대적으로 사계절이 뚜렷하고 계절에 따라 저수온, 적조 등 자연재해에 의한 영향을 많이 받는 나라이다. 따라서 시간대별로 예측한 기상과 해양정보를 활용하여 어업인에게 자연재해 대비 수질관리, 사료공급량과 시기 등 양성관리 정보를 제공하는 기술개발이 필요하다. 한편으로 이러한 기술은 양식 경험이 없는 어업인에게도 유용한 기술로 활용될 수 있으므로 젊은 청년들의 일자리 문제해결과 지속적으로 줄어

들고 있는 양식어가의 고령화 문제를 해결하는 방안이 될 것으로 판단된다.

최근 양식산업의 환경적 영향에 대한 우려가 높아지고 있기 때문에 친환경양식 기술개발 또한 주요 고려대상 중 하나이다. 친환경양식은 자연환경을 오염시키거나 파괴하지 않고 양식활동에 의한 환경적 영향을 최소화하는 기술을 말한다. 전세계적으로 온실가스 배출과 환경오염으로 인한 생태계 파괴와 기후변화를 겪고 있어, 미래 어류양식에 있어서도 적극적인 대응 마련이 필요하다. 이와 관련된 그 대표적인 기술에는 양식장 수처리 기술의 고도화를 통한 국내 순환여과양식시스템 기술의 확립 및 배출수 처리 기술, 양식과정에서 사용하는 전기에너지 절감 및 대체기술이다. 순환여과양식시스템은 앞서 언급한 바와 같이 사육수의 정화를 통해 물의 사용을 최소화하는 형태의 시스템으로 친환경양식에 적합한 방식이다. 이때 순환여과양식 시스템에서도 양식생물의 사육 과정에서 발생하는 양식 노폐물과 폐수를 별도 처리하지 않는다면 친환경양식이라 부를 수 없다. 비록 발생하는 배출수의 양은 상대적으로 적지만, 이에 포함된 양식 노폐물은 고농도의 농축된 형태로 배출되기 때문에, 양적인 측면에서는 재래식 양식장과 동일하다. 때문에, 친환경양식을 위한 순환여과기술개발을 위해서는 반드시 이에 부합하는 배출수 처리 기술개발이 함께 이루어져야 할 것이다. 뿐만 아니라, 전세계적으로 온실가스 배출량 감축에 대한 요구가 많아지면서 양식생물 생산과정에서 사용하는 전기에너지를 절감하고 대체하는 기술개발이 필요하다. 양식현장에는 다수의 펌프와 블로워 등을 연속적으로 사용하는 기자재가 많기 때문에 전기 에너지 사용량이 많다. 때문에 양식생물 생산과정에서 사용하는 장치별로 전기에너지의 소비패턴과 사용량을 분석하여 전기에너지 사용을 최소화하는 기술과 태양광 또는 수소발전 등의 친환경에너지로 대체하는 기술이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

양식산업의 환경적 우려와 함께 관심이 높아지고 있는 분야는 식품으로서의 수산물 안전성에 관한 문제이다. 이에 대응하고 안전한 양식수산물을 공급하기 위해 대두되는 것이 어류양식의 친환경 인증제도이다. 지난 10년간 양식생산량과 수산물 시장의 확대, 수산물 제품의 다양화, 수산물 유통구조의 변화는 생산자 위주의 기준에서 소비자 요구를 만족하는 구조로 전환되고 있다. 최근 빠르게 도입되고 있는 온라인 유통은 수산물 판매에도 긍정적인 영향을 주고 있으며, 판매량도 매년 증가하고 있어 소비자의 신뢰 확보를 위한 제도적 보완, 즉 양식수산물의 통합인증제도 수립과 시행이 필요하다. 최근 해외 인증제도의 국제적 추세는 양식장, 양식생산물, 지역인증의 생산에서부터 유통까지 연계한 이력추적제도를 함께 요구하는 경우가 많기 때문에 수출을 위한 별도의 해외 인증이 필요하다. 때문에 2022년 4월 기준 국내 8개 양식단체(5개 어가)는 전복을 포함한 5개 품종에 대해서 지난 2020년 이후에 비영리독립기구인 양식관리협의회(Aquaculture Stewardship Council)로부터 ASC 인

증을 취득하였다. 하지만, 현재는 복잡한 인증기준으로 인해 수산물 인증 취득 업체 수 및 품목이 적으며, 인증 취득 후 인증의 유지에도 어려움이 발생하고 있다. 향후 ASC 인증품목 확대와 절차 간소화와 함께 생산과 유통 과정의 투명성, 책임 있는 양식에 대한 소비자의 요구 반영 등을 위한 다각적인 활동과 많은 노력이 필요한 때이다.

결론적으로 국가적 차원에서 디지털양식 또는 스마트양식 같은 첨단양식의 성공모델을 만들어야 할 뿐만 아니라, 성공모델을 구성하는 양식 기자재의 표준화와 기자재의 성능을 검증하는 기술개발이 동반되어야 한다. 또한, 친환경양식을 위한 순환여과기술 개발과 이에 부합하는 배출수 처리 기술개발이 함께 이루어져야 하고, 양식생물 생산과정에서 사용하는 전기에너지를 절감하고 태양광 또는 수소발전 등의 친환경 에너지로 대체하는 기술이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

## 사 사

이 성과는 국립수산물과학원 수산과학시험연구과제 'AI 학습용 데이터 기반의 에너지절감형 스마트양식 실증연구(R2023032)'의 지원으로 수행된 연구입니다.

## References

- ALI (Aquatic Life Institute). 2023. The EU's New 2030 Aquaculture Strategy. Retrieved from <https://ali.fish/blog/the-eus-new-2030-aquaculture-strategy> on Mar 28, 2023.
- Balakrishnan S, Bani SS and Ramya KC. 2019. Design and development of IoT based smart aquaculture system in a cloud environment. *Int J Oceans Oceanogr* 13, 121-127.
- Chiu M, Yan W, Bhat SA and Huang N. 2022. Development of smart aquaculture farm management system using IoT and AI-based surrogate models. *J Agric Food Res* 9, 100357. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100357>.
- Chrispin L, Jothiswaran V, Velumani T, Agnes D and Jayaraman R. 2020. Application of artificial intelligence in fisheries and aquaculture. *Biot Res Today* 2, 499-502.
- Choi J, Lee J, Kim Y and Shin Y. 2020. A study on the construction plan of smart fish farm platform in the future. *KIPS Trans Comp Comm Sys* 9, 157-164. <https://doi.org/10.3745/KTCCS.2020.9.7.157>.
- CINEA (European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency). 2021. Horizon Europe. Retrieved from [https://cinea.ec.europa.eu/programmes/horizon-europe\\_en](https://cinea.ec.europa.eu/programmes/horizon-europe_en) on Mar 28, 2023.
- Dzulqornain MI, Harun Al Rasyid MU and Sukaridhoto S. 2018. Design and development of smart aquaculture system based on IFTTT model and cloud integration. *MATEC Web Conf* 164, 01030. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816401030>.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2020. The State of

- World Fisheries and Aquaculture 2020. FAO, Rome, Italy, 1-244. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.
- Hu Z, Li R, Xia X, Yu C, Fan X and Zhao Y. 2020. A method overview in smart aquaculture. *Environ Monit Assess* 192, 493. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08409-9>.
- Hwang J, Lee J, Park JS, Choe JR, Lee D and Kim H. 2021. Effect on eel *Anguilla japonica* and crop growth by the development of a biofloc technology (BFT) aquaponic system. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 418-425. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0418>.
- Jeong H, Heo TW and Lee IW. 2021. Domestic smart aquafarming technology. *Electron Telecommun Trends* 36, 62-73. <https://doi.org/10.22648/ETRI.2021.J.360507>.
- Kassem T, Shahrour I, El Khattabi J and Raslan A. 2021. Smart and sustainable aquaculture farms. *Sustainability* 13, 10685. <https://doi.org/10.3390/su131910685>.
- Kim M, Min EY, Koo J and Kang J. 2015. Effects of bio-floc system on growth and environmental improvement in the chinese white shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Korean J Fish Aquat Sci* 48, 688-695. <http://doi.org/10.5657/KFAS.2015.0688>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2023. Census of Agriculture, Forestry and Fisheries. Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do> on Mar 28, 2023.
- Kwon I, Ceong H, Lee J, Kim E, Kim W, Kang SY, Hwan M and Kim T. 2019. Establishment of a development direction for smart aquaculture technology through patent analysis and a demand survey of experts and fishermen. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 55, 378-391. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.4.378>.
- Lee D, Bae B, Lee J, Kim S, Kim H. 2021. Development of the smart aquaculture technology and industrialization plan. *J Kor Soc Fish Mar Edu* 33, 412-420. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.4.33.2.412>.
- Lee D, Kim J, Lim S, Kim K, Kim J, Hariati AM, Kim D and Kim J. 2020. Effects of crude protein levels in diets containing MKP on water quality and the growth of Japanese eels *Anguilla japonica* and leafy vegetables in a hybrid BFT-aquaponic system. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 606-619. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0606>.
- Ma CM, Lee YS, Lee SC, An JE and Yoon MK. 2015. A Study on the Industrialization of Advance Aquaculture Technology. Korea Maritime Institute, Busan, Korea, 1-96.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2019. Fisheries Innovation 2030. Retrieved from <https://mof.go.kr/page/en/selectPage.do?menuSeq=1581&pageSeq=1011> on Apr 11, 2023.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2016. 10-year Sea Grant Aquaculture Vision. Retrieved from <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/36546> on Mar 28, 2023.
- Park MS, Min BH, Kim YD and Yoo HI. 2012. Biofiltration efficiency of *Saccharina japonica* for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 351-357. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0351>.
- Rasheed Abdul Haq KP and Harigovindan VP. 2022. Water quality prediction for smart aquaculture using hybrid deep learning models. *IEEE Access* 10, 60078-60098. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3180482>.
- USDA (U.S. Department of Agriculture). 2022. A National Strategic Plan for Aquaculture Research. Retrieved from <https://www.ars.usda.gov/animal-production-and-protection/aquaculture/docs/national-strategic-plan-federal-aquaculture-research/> on Mar 28, 2023.
- Vo TTE, Kor H, Huh J and Kim Y. 2021. Overview of smart aquaculture system: Focusing on applications of machine learning and computer vision. *Electronics* 10, 2882. <https://doi.org/10.3390/electronics10222882>.
- Yadav A, Noori MT, Biswas A and Min B. 2023. A Concise review on the recent developments in the internet of things (IoT)-based smart aquaculture practices. *Rev Fish Sci Aquac* 31, 103-118. <https://doi.org/10.1080/23308249.2022.2090228>.
- Yang X, Zhang S, Liu J, Gao Q, Dong S and Zhou C. 2020. Deep learning for smart fish farming: Applications, opportunities and challenges. *Rev Aquac* 13, 66-90. <https://doi.org/10.1111/raq.12464>.
- Yi M. 2022. Current status of automatic fish measurement. *Korean J Fish Aquat Sci* 55, 638-644. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0638>.