디지털트윈 기반 아쿠아팜 동향 및 발전 방향

Status and Development of Aquafarm based on Digital Twin

이상연 (S.Y. Lee, sylee2023@etri.re.kr) 농축수산지능화연구센터 선임연구원
여욱현 (U.H. Yeo, uhyeo@etri.re.kr) 농축수산지능화연구센터 박사후연수연구원
김준규 (J.G. Kim, gyu90@etri.re.kr) 농축수산지능화연구센터 박사후연수연구원
조성균 (S.K. Jo, skjo@etri.re.kr) 농축수산지능화연구센터 책임연구원/센터장

ABSTRACT

With the increasing demand for seafood and technological advancement in aquaculture, the industry has continuously grown. On the other hand, digital twins have been actively applied to various industries. Aquaculture deals with live aquatic animals that are sensitive to growth environment management. Hence, applying a digital twin to smart aquaculture may lead to a substantial economic benefit because it enables the optimization of different variables. We analyze the status of digital twin development in agriculture. The services of the aquafarm digital twin are divided into 1) data management, 2) optimization, and 3) intelligence. Standardization related to the aquafarm digital twin is also discussed. Based on the analyses, the development stage of aquafarm digital twin is defined, and directions of technology development are suggested.

KEYWORDS 디지털트윈, 사물인터넷, 스마트양식, 정보통신기술

Ⅰ. 서론

1. 국내·외 스마트양식 시장 현황

지구온난화에 따른 기후변화 및 수산자원 감소, 수산업 종사자의 고령화로 인한 노동력 감소, 에너지비용 증가에 따른 어가 경영악화와 환경오염(해양쓰레기, 방사능 오염수 등)이 세계적으로 관심사가 되고 있으며, 사물인터넷(IoT: Internet of Things), 빅데이터, 인공지능 등과 같은 정보통신기술(ICT: Information and Communications Technology)을 활용하여 직면한 문제들을 극복하고자 하는 스마트양식이 세계적으로 관심을 받고 있다. 세계 스마트양식 시장은 지속해서 성장할 전망이며, Vantage Market Research(2023)는 세계 스마트양식 시장의 가치를 2022년 2,896억 달러로 평가하고 있으며, 2030년까지 5.5%의 CAGR(Compound Annual Growth Rate)으로 4,212억 달러에 도달할 것으로 예상한다[1]. 이러한 원동력으로는 세계 수산물에 대한 수요의 증

* DOI: https://doi.org/10.22648/ETRI.2023.J.380304
* 이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2021-0-00225, 최적의 수산 양식 설계·운영을 위한 디지털 아쿠아 트윈 핵심 플랫폼 기술 개발.

본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.
©2023 한국전자통신연구원

가와 수산업에서의 기술 고도화를 꼽을 수 있으며, 기술 개발 및 고도화가 산업의 효율성과 지속가능성을 개선하고 있다.

국내의 경우, 우리나라의 1인당 연간 수산물 소비량은 58.4kg으로 주요국 중 가장 많이 소비하고 있다[2]. 이러한 결과, 양식어업의 면적은 2018년 총 161,320ha로 2010년 141,015ha에 비하여 면적은 14.4% 증가하였다. 그러나, 국내의 양식어가수는 2018년 15,323호로 2010년 17,386호에 비해 약 19% 감소하여 어가의 기업·대형화가 진행되고 있다[3]. 이와 관련하여 우리나라 또한 세계적인 시류와 맞추어 과거 노동집약적인 양식 방법을 기술집약적 양식 방법으로 개선하여 양식의 효율성을 개선하고 환경적 영향으로부터의 안전한 먹거리를 생산·관리하는 동시에 환경오염에 대한 문제를 해결하고자 산·학·연·정이 노력하고 있다. 특히, 해양수산부는 4단계에 걸쳐서 스마트양식 기술을 발전시켜 나갈 계획을 공표하며, 2019년 기준 약 2.5%인 스마트양식 보급률을 스마트양식 활성화를 통해 2030년 약 50%까지 확대한다는 목표를 수립하고 있다[4]. 또한, 국내의 뛰어난 ICT 기술을 활용하여 국내 양식기술을 세계적인 수준으로 도약시키기 위하여 스마트양식산업 육성을 위한 “스마트양식 클러스터 사업”이 추진되고 있으며, 2019년부터 고성군, 부산시, 강원도, 신안군, 포항시 등 6곳이 선정되어 진행되고 있다.

2. 수산 빅데이터 및 IoT 센서 시장

전통적인 1차 산업 형태(노동집약)에서 IoT, 빅데이터, 인공지능, 클라우드 등 4차 산업을 대표하는 기술이 활발히 적용됨에 따라 빅데이터 활용이 증가하고 있으며, 생산성과 효율성 개선을 위한 빅데이터 기반 서비스 제공을 통하여 데이터의 중요성과 활용률이 높아지고 있다. 따라서 ’18년 국내 빅데이터 시장의 규모는 5,843억 원으로 평가되어 ’17년 4,547억 원 대비 28.5% 성장하였으며, ’14년부터 ’18년까지 연평균 성장률 30.5%의 지속적인 성장세를 나타내고 있다[5].

수산 분야의 빅데이터를 이용하여 양식어가에서 요구하는 양식환경(수질, 에너지) 및 어류의 상태(양성)에 대한 정밀한 관리를 지원함으로써 안정적인 생산이 가능하다. 또한, 양식어가에서 수집된 빅데이터는 양식환경에 대한 분석과 예측에 활용되어 어류에 대한 안정적인 생산뿐만 아니라 시장의 수요에 맞춘 생산까지 가능하게 하여 어가의 수익성을 향상시키고 있다. 이러한 양식어가의 생산 시스템 운영과 의사결정의 기본이 되는 것은 데이터이며, 데이터 측정을 위하여 IoT 센서가 많이 이용된다. 특히, 수산용 IoT 센서는 수질, 사료 소비, 어류 행동 등의 중요 변수를 모니터링하고 데이터 구축에 이용되고 있다. 어업 및 양식업을 위한 IoT 세계 시장은 연평균 13.2% 성장하여 2030년에는 약 1조 6천억 원에 이를 것으로 예상된다[6].

3. 스마트양식의 주요 이슈

스마트양식은 양식 종자생산에서부터 양성 및 수확에 이르기까지 전 과정에 지능정보 기술을 접목하여 생산성 향상, 유통 및 수출의 효율화, 규모화 및 친환경화를 도모하는 양식 시스템을 의미한다. 최근 ICT 기술의 도입과 더불어 장기간 양질의 데이터를 수집하고, 축적한 데이터를 활용한 디지털화 및 지능화는 국내 수산 산업의 경쟁력과 직결되고 있어 차세대 먹거리 산업 및 국내 산업 보호를 위해 더욱 중요해지고 있다. 수산 분야에 적용되는 ICT 기술은 IoT 센서, 빅데이터, 머신러닝, 인공지능, 디지털트윈 등이 있다. 특히, 디지털트윈 기술

은 생산에서부터 가공, 유통, 소비, 서비스까지 스마트양식산업 전 주기에서 활용되는 다양한 기술을 융합할 수 있다. 또한, 디지털트윈은 시뮬레이션을 통한 양식시스템의 요소 개발 및 검증, 환경 관리의 최적화에 활용될 수 있다. ICT 기술의 적용과 더불어 스마트양식산업의 주요 이슈들은 다음과 같다.

스마트양식 시스템에 ICT 기술의 적용을 위해서는 장기간 양질의 데이터를 축적하는 것이 선행되어야 한다. 데이터 축적 및 관리를 위해서는 다양한 연구자, 기업 등이 활용할 수 있는 통합 플랫폼이 구축되어야 한다. 추가로 어민, 연구자, 기업 등 데이터 사용자의 목적 및 형태에 맞게 데이터를 축적하고 가공하는 것이 필요하다.

어류 양식장에서는 수온 조절용 히트펌프, 질병 예방을 위한 살균장치, 용존산소량 관리를 위한 산소발생기나 산소공급 수차, 양식수 순환을 위한 펌프 등 다양한 설비가 이용되고 있다. 이에 따른 에너지비용이 양식어가 운영비의 많은 부분을 차지하여, 양식어가에서 에너지비용 절감을 위해 노력하고 있다[7].

에너지비용 외에 어가 운영비의 큰 비중을 차지하는 항목 중 하나는 어류의 사료 및 양성 관리 비용이다. 최적 양성 관리를 통한 사료의 효율성 향상과 성장 시기의 예측을 통한 출하시기 조절은 양식어가의 경제적 이득에 직접적인 영향을 준다. 따라서 어종별 양성 관리 기술 개발, 성장 예측 모델의 개발 및 고도화가 필요하다.

어류는 물에서 양식되기 때문에 양식수의 수질환경이 중요하다. 최근 일본의 원전수 방류나 해양오염 등의 문제가 더욱더 증가하고 있는 가운데 환경을 고려한 지속가능한 스마트양식으로 발전해야 한다. 또한, 국내 스마트양식산업의 발전과 국가 경쟁력 확보를 위해 스마트양식산업이 직면해 있는 이슈들을 해결하고, 생산성 향상, 에너지비용 최소화, 시스템 관리의 최적화, 물류 및 유통의 효율화, 서비스 기술 개발, 가치사슬을 개선하는 방향으로 스마트양식산업이 발전해 나가야 한다.

II. 농·축·수산 분야 디지털트윈

1. 농·축·수산 분야 디지털트윈 필요성

디지털트윈은 실제 공간에 존재하는 물리적 대상의 성질, 형상, 상태 등의 정보를 소프트웨어를 이용한 가상의 세계에 동일하게 구축하고, 다양한 시뮬레이션과 두 공간 간의 상호연동을 통하여 의미있는 가치를 창출할 수 있는 기술로 정의될 수 있다[7]. 디지털트윈은 다학제간 문제를 해결함으로써 1) 복잡한 시스템의 복합솔루션, 2) 의사결정 지원, 3) 다양한 기술의 통합 역할을 하는 실제 물리적 시스템의 디지털 복제이다[8]. 디지털트윈 활용의 가장 큰 장점 중 하나는 물리적 시스템의 실시간 최적화가 가능하다는 점이다.

하지만 농·축·수산 산업은 살아있는 생물을 대상으로 하기 때문에 생물이 지닌 까다로운 조건들을 최적화시키기 어렵다. 생물의 생육 환경을 적절히 조성하는 것은 직접적으로 농가 및 어가의 경제적 이득에 도움이 된다. 예를 들어, 토마토 재배 시 노지에서 재배하는 경우 생산량은 약 5kg/m^2이다. 유리온실에서 온도, CO_2, 인공광 등의 환경 조절을 통해 약 75kg/m^2로 생산량 증가를 기대할 수 있다. 생육 환경 조절을 통해 노지 재배하는 경우보다 10배 이상의 토마토를 생산할 수 있다[9].

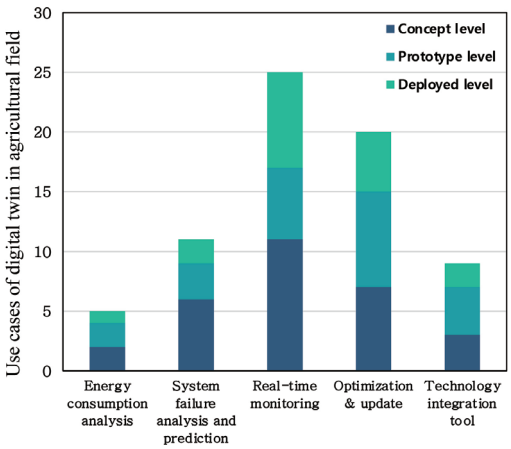
우리나라는 사계절이 뚜렷하여 농업생산시설의 환경 조절이 더욱 어려우며 에너지비용 등 환경관리비용이 가중된다. 추가로 농업생산물은 공산품에 비해 소비기한이 짧아 신선도를 고려한 유통·물류의 최적화가 필요하다. 추가로 축산·어류 농가의 운영비용의 가장 큰 비중을 차지하고 있는 항목 중 하

나는 사료비이다. 사료효율을 높이는 것이 농가 및 어가 소득에 직접적인 영향을 준다.

농·축·수산 분야에 디지털트윈을 적용함으로써 에너지비용 절감, 사료비 절감을 통한 경제성 향상, 성장 예측을 통한 출하시기 조절에 따른 가격 조절, 유통·물류의 최적화, 가치사슬 구조의 개선 등의 효과를 기대할 수 있다. 농·축·수산 분야에 디지털트윈은 생물이 지닌 까다로운 조건들을 최적화할 수 있기 때문에 디지털트윈 적용이 농·축·수산 산업에 미치는 경제적 효과가 클 것으로 판단된다.

2. 농·축·수산 분야 디지털트윈 사례

디지털트윈 기술은 제조업 분야를 중심으로 발전하기 시작하여 다양한 분야로 확장되어 나가고 있다. 농·축·수산 분야 디지털트윈 개발은 2018년부터 활발히 진행되어 농업 생산물, 농업시설, 농업기계, 농산물 공급 체인 및 물류 등을 대상으로 개발되었다. 그림 1은 농·축·수산 분야에서 개발된 디지털트윈의 서비스 분류를 나타낸 것이다. 이러한 농·축·수산 분야 디지털트윈은 주로 1) 에너지 사용량 분석, 2) 시스템 고장 분석 및 예측, 3) 실시간 모니터링, 4) 최적화 및 고도화, 5) 기술 융합의 서비스를 위해 개발되었다. 농·축·수산 분야 디지털트윈은 생육 조건 관리, 생산성 향상, 농업생산물의 품질 향상, 질병의 조기 진단, 문제발생 시 원인 규명, 비용 절감, 농업생산물 유통 및 물류, 자연친화적 운영 등의 장점을 가진다. 또한, 농·축·수산 분야의 디지털트윈은 1) 복잡한 시스템의 맞춤형 큐레이션, 2) 운영 간소화, 3) 정보의 융합, 4) 불확실성 정량화, 5) 인간중심지능의 부가가치를 가진다[8].



출처 Reproduced from [8], CC BY 4.0.

그림 1 농·축·수산 분야 디지털트윈의 서비스 분류

농·축·수산 분야의 디지털트윈은 농장, 실내 구조물 등 물리 객체와 가축, 작물 등 생물 객체로 이루어진다. 농업 분야의 디지털트윈의 상용화를 위해서는 생물 객체의 디지털트윈 구현이 핵심이지만, 현재까지 대부분의 농업 분야 디지털트윈은 생물을 고려하지 않고 개발되었다. 또한, 농업 분야에서 개발된 대부분의 디지털트윈은 기술성숙도(TRL: Technology Readiness Level)를 기준으로 아직 개념적 수준(Concept Level)에 머물러 있다[8]. 농·축·수산 분야의 디지털트윈은 산업화 및 실용화 단계로 넘어가기 위한 지속적인 기술 개발이 필요하다.

어류는 다른 농작물, 가축과 달리 생육 환경에 대한 의존성과 민감도가 높다. 수온, 용존산소, 탁도 등 양식수 환경의 최적 관리는 어류 양식의 생산성과 직결된다. 또한, 양식수 환경 관리 실패 시, 집단 폐사 등의 문제가 발생하여 경제적 위험 부담이 다른 산업에 비해 크다. 따라서 디지털트윈 적용을 통한 스마트양식 시스템 최적화에 따른 경제적 효과가 다른 산업에 비해 클 것으로 전망된다.

하지만 수산업은 농업이나 축산업 분야보다 정보 시스템의 적용이 늦으며, 디지털트윈의 적용도 뒤처지고 있는 실정이다. 최근 노르웨이, 프랑스, 이탈리아 등 유럽을 중심으로 스마트양식 분야의 디지털트윈 개발이 진행되고 있으며[10-12], 우리나

라 또한 양식장 구조, 양성 관리, 에너지 관리, 수처리 시스템의 최적화를 위한 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 개발을 진행하고 있다[7,13].

Ⅲ. 디지털트윈 기반 아쿠아팜

1. 디지털트윈 기반 아쿠아팜 서비스

디지털트윈 기반 아쿠아팜의 서비스 분류는 데이터 관리 서비스, 최적화 서비스, 지능화 서비스로 크게 3가지 중분류로 구성하였다. 표 1은 중분류에 따른 소분류와 해당 서비스의 개요를 나타낸다.

가. 사육환경 및 양성정보 모니터링

사육환경 조절 및 스마트양식 기술 개발을 위해 사육환경 및 양성정보에 대한 실시간 데이터의 구축이 선행되어야 한다. 수온, 용존산소, 용존 CO_2, pH, 염도, 탁도 등의 사육환경 데이터와 사육밀도, 사료공급량, 생육정보 등의 양성데이터를 측정하기 위한 다양한 센서가 있다. IoT 센서의 적용과 함께 모니터링 자동화를 통해 스마트양식 구현을 위한 신뢰도 있는 데이터를 효율적으로 취득할 수 있다. 또한, 수질환경 정보 및 사료공급량 등의 양성 데이터를 수집하고 체계적으로 관리하는 서비스도 포함된다.

표 1 디지털트윈 기반 아쿠아팜 서비스의 분류 및 개요

중분류	소분류	서비스 개요
데이터 관리 서비스	사육환경 및 양성 정보 모니터링	• 스마트양식의 생육 환경, 양성정보 등의 데이터 수집 및 관리 서비스
최적화 서비스	사육환경 제어 및 자동화	• 최적 관리를 위한 제어 및 자동화 서비스
	에너지 절감 및 관리	• 에너지 최적 관리 서비스
	양성 관리 및 생산량 예측	• 어류의 성장단계별 최적 양성 관리 및 생산량 예측 서비스
	생육 단계별 질병 관리	• 어류의 질병 예방을 통한 생산 안정성 확보
지능화 서비스	지능화 플랫폼	• 데이터 기반의 자동 제어 및 통합 관리가 가능한 지능화 플랫폼

나. 사육환경 제어 및 자동화

사육환경 및 양성정보 모니터링을 통해 취득된 다양한 데이터를 기반으로 최적의 사육환경으로 자동 제어된다. 사육환경에 따른 어류의 먹이행동 데이터를 기반으로 사료를 적절히 공급하는 기술, 수중 산소가 부족할 때 용존산소를 자동으로 조절하는 기술, 수온, 용존산소, 탁도 등과 같은 사육환경을 안정적으로 제어하는 기술, 원수 및 순환수 공급의 최적화 기술, 재해에 대비하여 양식장을 관리하고 운용하는 기술, 양식어류의 성장단계별 최적의 사육환경을 조성해주는 기술 등이 포함된다.

다. 에너지 절감 및 관리

양식장 운영 시, 냉난방을 포함한 수온조절, 질병 차단을 위한 수처리 공정, 살균장치의 운용 등 다양한 양식 장비의 운영을 위해 상당한 에너지가 소모된다. 어가의 소득 증대, 에너지 사용에 따른 환경부하 저감 등을 위해서 최적의 양식 환경을 유지하는 동시에 에너지 사용에 따른 운영비용을 줄이는 것이 필요하다. 에너지의 효율적인 관리를 위해서 에너지 사용량에 대한 실시간 모니터링을 통한 데이터의 추적이 선행되어야 한다. 축적된 데이터를 기반으로 효율적인 환경 제어 등을 통해 에너지를 절약할 수 있으며, 데이터 기반의 에너지 모델을 활용하여 에너지 사용량을 예측함으로써 에너지 효율과 제어에 대한 정확도를 향상시킬 수 있다. 추가로 온배수, 소수력발전, 태양광발전 등 신재생에너지의 활용을 통해 에너지부하 및 환경부하를 절감할 수 있다. 에너지 시뮬레이션을 통해 지역적 특성을 고려하여 신재생에너지 생산량을 예측함으로써 스마트양식장의 에너지 사용에 대한 효과도 분석할

수 있다. 이러한 에너지의 예측을 통한 효율적인 에너지 관리는 농가의 운영비 저감에 직접적인 영향을 준다.

라. 양성 관리 및 생산량 예측

스마트양식에서 최적 양성 관리와 생산량 예측은 양성비용 감소와 출하시기 조절을 통해 어가 운영에 직접적으로 도움이 된다. 자동화, 정보통신, 사물인터넷, 빅데이터 분석 기술 등을 활용하여 양식어류의 양성 관리를 지능화할 수 있다. 양성 관리 및 생산량 예측 기술로는 양식어류의 성장 예측 모델, 성장단계별 적정 사료량을 결정하는 기술, 양식어류 상태의 실시간 관측 기술, 수중영상을 통해 어류의 크기와 무게를 추정하는 기술, 양식어류의 개체수 측정 기술 등이 있다.

마. 생육 단계별 질병 관리

스마트양식에서 가장 중요한 요소 중 하나는 양식어류의 생육 단계별 질병을 관리하는 것이다. 특히 사육수를 하천이나 바다의 물을 끌어와 사용하는 경우, 자연적으로 질병에 노출될 위험이 증가한다. 순환여과양식 시스템은 소량의 물을 사용하기 때문에 주로 질병의 감염 위험이 적은 지하수를 사육수로 이용한다. 질병의 유입을 예방하기 위해서는 살균처리 후 사육수를 이용해야 한다. 질병에 감염된 양식어류의 알이나 치어를 수용하는 것을 주의해야 한다. 이러한 질병 유입을 예방하기 위해서 외부에서 치어를 가져오지 않고 질병에 감염되지 않은 알을 완전히 소독하여 수용하는 것이 좋다. 디지털트윈 기반 아쿠아팜을 활용하여 사육수의 살균처리, 생육단계별 질병 발생 예측 및 선제적 대응, 병충해 감염의 유무 점검 등을 체계적으로 관리하고 최적화할 수 있다. 이를 통해 양식어류의 질병으로 인한 피해를 예방하고, 생산 안정성을 확보할 수 있다[14].

바. 지능화 플랫폼

스마트양식은 기존의 양식산업에 IoT, 빅데이터, 클라우드 등 4차 산업혁명 기술의 접목을 통하여 양식산업을 자동화, 최적화, 지능화, 규모화하여 기존 양식산업이 직면한 이슈들을 해결하고, 산업 발전과 더불어 지속가능성을 확보할 수 있는 방향으로 발전하고 있다. 스마트양식의 지능화 플랫폼 관련 서비스로는 양식산업의 디지털화에서 생산된 양식 전 주기 데이터를 활용한 빅데이터 기술, IoT 기반 실시간 데이터 분석 프레임워크 기술, AI 기반 빅데이터 관리 기술 등이 있다. 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 가상-실제 양식장 간 연동과 가상화를 통해 스마트양식 운영에 필요한 다양한 시뮬레이션 분석을 수행하고, 분석 데이터를 기반으로 자동 제어 및 통합 관리까지 가능하다.

2. 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 표준화 현황

디지털트윈 기반 아쿠아팜의 산업화를 위해서는 환경 관리 기술, 양성 최적화 기술, 클라우드 기반 유통/물류/가공 공유 플랫폼, 콜드체인 물류 기술, 노동력 최소화를 위한 이송 자동화 기술, 육상 양식장 표준 모델의 구축 등의 스마트양식 기술의 표준화가 필요하다.

스마트수산과 관련한 국내 정보통신 표준은 한국정보통신기술협회(TTA: Telecommunications Technology Association)에 의해 수행되고 있다. 2021년 TTA의 ICT융합 기술위원회(TC4) 아래의 스마트 농축산(PG426)에서 수산 ICT 관련 산·학·연의 수요를 반영하여 해당 프로젝트그룹의 표준화 범위를 수산 분야까지 확장하면서 프로젝트그룹(PG) 명칭을 '스마트 농축수산'으로 변경하였으며, WG4261이라는

스마트 수산 양식 프레임워크 실무반이 생성되었다. 스마트 수산 양식 분야와 관련하여 표준안 개발을 WG4261에서 주도적으로 추진하고 있으며, 현재까지의 1건 "디지털트윈 기반 스마트 수산 양식 프레임워크-제1부: 요구사항"이 제정되었다. 현재에도 스마트양식 관련 용어 정의, 에너지 요구사항 및 ID 부여 체계, 질병 데이터 취득 매뉴얼 등의 다양한 표준 제정을 추진하고 있다.

국제표준제정기관으로는 ITU-T, ISO, IEC 등이 있으며, 스마트양식과 관련하여 표준을 다루는 그룹은 ITU-T SG20, ISO TC 234, ISO/IEC JTC1/SC41 등이 있다. 스마트수산 관련 국제 표준화에서는 2007년부터 ISO TC234(Fisheries and Aquaculture)에서 수산 양식업 전반에 걸친 표준화를 진행하고 있으며, 수산 양식업 전반에 걸쳐 지속적인 발전을 도모하기 위한 목적으로 수산 양식업에 걸쳐 장비 및 운영, 어류의 화학적·생물학적 상태 관리, 환경 모니터링, 데이터 관리 및 이력 추적 등에 대한 표준화 작업을 진행하고 있으며, 현재까지 9개의 표준 문서를 제정하였다.

그러나 스마트 수산 양식과 관련하여 IoT 기술 또는 센서 네트워크를 이용하는 등의 국제/지역 표준은 제정되지 않는 상황에서 2022년 ITU-T SG20 Q2에서 IoT 기반의 스마트양식 서비스에 대한 다양한 사례 분석의 신규 과제를 제안하고 에디터십을 확보하였다. 또한, ITU-T SG 20 Q4에서 실-가상 공간에서 생성되는 데이터와 두 공간 간의 데이터 연동을 위한 데이터 관리의 필요성을 제안하고, 디지털트윈 기반 아쿠아팜에서의 데이터 관리에 대한 표준화를 진행하고 있다.

현재까지 수산양식 분야의 디지털트윈, ICT 기자재와 관련된 국제 표준화는 아직까지 초기 단계이기 때문에 국제 표준화 선점을 통해 디지털트윈 기반 아쿠아팜 및 ICT 기자재 관련 시장에 대한 점유율을 확대할 수 있는 초기 전략 필요할 것으로 판단된다.

3. 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 발전 방향

'디지털트윈 기술 K-로드맵'(2021)에서 여러 산업 분야에 디지털트윈이 적용될 수 있도록 기술요소 분석을 통해 디지털트윈의 발전 단계를 5단계로 나누어 제시하였다[15]. 본고에서 기존에 제시된 기준에 맞춰 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 발전 단계를 나누고 단계별 주요 핵심기술을 정리하여 나타내었다(표 2).

현재 국내 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 관련 기술 수준은 다양한 환경모니터링 기술, 데이터 연동 기술, 에너지·양성·수처리 등의 시뮬레이션 기술 등이 개발되어 2단계에 위치하고 있다. 또한, 3단계 수준의 동적제어를 통한 통합 자율 운영을 위한 기술 개발이 진행되고 있다. 지속적인 개발을 통해 생산, 유통, 소비의 전 주기를 관리할 수 있는 디지털트윈의 개발이 진행되어야 한다. 또한 양성 관리 최적화, 에너지 사용 최적화, 질병 감지 및 예방, 물류 및 유통의 최적화, 디지털 유전체 모델링, 통합 운영 및 관리를 위한 디지털트윈의 개발이 진행되어야 한다.

최종적으로 5단계 디지털트윈 개발을 위해서는 관·산·학·연·농의 긴밀한 협력이 필요하다. 특히, 어류의 민감성에 따른 위험부담이 크기 때문에 새로운 기술에 대한 양식어가의 비수용적 인식은 ICT기술의 적용의 걸림돌로 작용하고 있다. 정부기관, 학계, 연구소, 산업체, 양식어가와 긴밀한 협력 체계의 구축하여, 어민들의 노하우 수용, 신기술의 개발 및 적용, 기술의 산업화까지 조화를 이룬 발전이 필요하다.

농업이나 축산업에 비해 다양한 어종이 존재하는 만큼 양식 어종 자원의 다양화가 필요하다. 이를 위해 어종의 다양성을 고려하여 기존에 개발된 기술

표 2 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 발전 단계 및 주요 핵심 기술

단계	이름	설명	주요 핵심 기술
1	Preliminary DT	• DT의 초기 단계로써 실제 공간에 대한 가상 공간상의 가상화, 가시화 표현 • 추가적으로 실제 공간에 대한 정적 환경 모니터링	• 양식장 시설/장비/생산물/환경 등 2D/3D 가시화 기술 • 양식장 환경 데이터 수집, 관리, 모니터링 기술 • 양식장 상시 안전 감시 및 추적 기술
2	Vanilla DT	• 가상 공간에서 다양한 시뮬레이션을 수행하고, 그 결과를 활용하여 실제 공간에 대한 환경 제어(정적 제어)	• 양식장 P2V(Physical-to-Virtual) 데이터 연동 기술 • 양식장 환경 시뮬레이션 기술(에너지 분석, 수질 분석, 양성 관리 등) • 양식장 내 실시간 장비 오류탐지, 오류보정 기술
3	Interactive DT	• 실-가상 공간 간의 실시간 데이터/제어 연동과 반복적인 시뮬레이션을 통하여 실제 공간에 대한 최적 환경 제어(동적 제어)	• 양식장 실시간 객체(어류) 영상 분석 기술 • 어류 생체인식, 작업자 행동 인식 기술 • 통합 자율 운영에 따른 오차 보정 기술
4	Adaptive DT	• 가상 공간에서 지능을 가지고 자율적으로 데이터/제어 연동과 반복적인 시뮬레이션을 통하여 최적의 실-가상 공간에 대한 환경 제어(지능적 제어)	• 무인 자동 제어 기술 • 수산물 생산/유통/소비 지능화 기술 • 양식장 통합 환경 제어 및 자율 운영 기술 • 질병 감지, 예측 및 지능 제어 기술
5	Vital DT	• 어류의 종자/유전체에 대한 디지털화 모델링 및 전 주기 시뮬레이션을 통해 실제 공간에 대한 환경/생육 제어	• 디지털 유전체 모델링 • 유전체 육종생물 생장 저해요인 분석 기술 • 유전체 정보 생산, 마커 및 미래 표현형 예측 기술 • 유전체 육종생물 성장단계별 영양 요구량 분석 기술

을 어종별 특성에 맞게 최적화하는 것이 필요하다. 어종별 특성에 맞는 환경 제어 기술, 양성 최적화 기술의 개발뿐만 아니라 어종별 특성, 소비 지역 분석을 통한 물류·유통의 최적화까지 필요하다. 또한, 수산업은 다른 산업에 비해서 가치사슬이 매우 길다. 국제시장에서의 가치사슬 최적화를 통해 국내 수산업의 국제경쟁력 확보가 이루어져야 한다.

Ⅳ. 결론

스마트양식산업은 살아있는 어류를 다루는 산업으로 타 산업과 비교하여 생육환경관리에 민감하며 양성, 질병, 에너지, 유통, 소비 등 많은 변수가 존재한다. 이는 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 기술 개발이 필요한 이유이다. 디지털트윈을 활용하면 다양한 변수를 고려한 최적 관리가 가능하여, 타 산업에 비해 디지털트윈 기술의 적용에 따른 경제적 효과가 클 것으로 전망된다.

본고에서는 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 서비스를 분류하고, 표준화 현황을 분석하였다. 이를 통해 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 발전 단계를 정의하고 기술 개발 방향을 제시하였다. 이는 생산 단계뿐만 아니라 유통과 소비까지 전 주기를 대상으로 한다. 또한, 국가 식량안보가 중요해지는 가운데 스마트양식 분야의 디지털트윈 개발 및 적용은 더욱 가속화될 것으로 예상된다. 디지털트윈 기반 아쿠아팜의 적용을 통해 시장의 수요를 예측하고, 이를 바탕으로 양식 생산관리, 가치사슬, 물류 등의 통합 시스템 개발이 필요하다. 또한, 환경을 고려하여 지속가능한 방향으로 발전이 이루어져야 한다. 더불어 향후 IoT 기반 센서의 발전과 함께 양질의 데이터 취득이 용이해질 것으로 기대된다. 축적된 데이터를 중심으로 시뮬레이션 모델의 고도화, 인공지능 적용, 통합 플랫폼 운영 등이 디지털트윈 기반 아쿠아

팜 개발의 핵심이 될 것으로 예상한다.

용어해설

양식 수산종묘를 만든 다음, 만들어진 종묘를 중간 육성시켜 식용이나 기타 목적에 이용할 수 있도록 하는 일. 즉, 종묘 생산과 양성을 통틀어 말함

스마트양식 첨단 기술을 접목하여 자동화·지능화를 통한 생산 효율 극대화 및 규모화·친환경화가 구현된 양식 시스템

디지털트윈 현실세계에 존재하는 시스템을 가상 세계에 동일하게 구현한 것으로 실시간 상호작용을 통해 시스템의 모니터링, 문제점 파악, 제어 및 최적화 등에 활용됨

약어 정리

CAGR	Compound Annual Growth Rate
DT	Digital Twin
ICT	Information and Communications Technology
IoT	Internet of Things
P2V	Physical-to-Virtual
TRL	Technology Readiness Level
TTA	Telecommunications Technology Association

참고문헌

[1] https://www.vantagemarketresearch.com (Accessed on 21th Mar., 2023).

[2] https://www.fao.org (Accessed on 21th Mar., 2023)

[3] 통계청, "양식품종별 어가 및 양식장 면적," https://www.kosis.kr (Accessed on 21th Mar., 2023).

[4] 한국정보통신기술협회, 스마트농축수산의 정의와 현황, http://weekly.tta.or.kr (Accessed on 21th Mar., 2023).

[5] 오성탁, "2018 빅데이터 시장현황 보고서," 한국정보화진흥원, 2019, p. 6.

[6] BIS Research, "Global IoT in agriculture market-analysis and forecast(2018-2023)," 2018.

[7] 조성균 외, "디지털 트윈 기반 아쿠아팜 서비스 제공 방안," 한국통신학회지(정보와통신), vol. 38, no. 8, 2021, pp. 42-48.

[8] C. Pylianidis, S. Osinga, and I.N. Athanasiadis, "Introducing digital twins to agriculture," Comput. Electron. Agriculture, vol. 184, 2021, article no. 105942.

[9] S. Hemming, "Energy and climate in dutch greenhouses," Wageningen university and research, Public workshop 20th Aug. 2010, UWS Hakesbury, Austrailia, https://edepot.wur.nl/158852

[10] S.J. Ohrem et al., "Digital twins of fish farms-recent developments in modeling and sensor data integration," Aquaculture Europe, 2021.

[11] A.C. Lima et al., "Digital twins for land-based aquaculture: A case study for rainbow trout(Oncorhynchus mykiss)," Open Res. Eur., vol. 2, 2022, p. 16.

[12] R. Teixeira et al., "Planetary digital twin: A case study in aquaculture," in Proc. ACM/SIGAPP Symp. Appl. Comput. (Virtual Event), Apr. 2022, pp. 191-197.

[13] E. Ko et al., "International standardization for maritime, underwater internet of things and digital twin applications," in Proc. Int. Conf. Underwater Netw. Syst., (Shenzhen, China), Nov. 2021, pp. 1-2.

[14] J. Bregnballe, "순환여과식 양식의 기초 지식," 아쿠아인포, Aug. 2017.

[15] 정보통신기획평가원, "디지털트윈 기술 K-로드맵," 2021.