

해양수산분야 기후변화 영향, 전망과 평가 정보의 현황 및 제고

한인성*† · 이준수* · 김창신** · 양준용*

*국립수산과학원 기후변화연구과 해양수산연구관, **국립수산과학원 기후변화연구과 해양수산연구사

Impacts, projections and assessments related to climate change in ocean and fisheries

Han, In-Seong*† · Lee, Joon-Soo* · Kim, Changsin** and Yang, Joon-Yong*

*Principal Researcher, Division of Ocean Climate and Ecology, National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea

**Senior Researcher, Division of Ocean Climate and Ecology, National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea

ABSTRACT

The ocean ecosystem and fisheries are highly vulnerable to climate change due to ocean warming, ocean acidification and extreme weather events in Korea. To overcome these vulnerabilities to climate change in ocean ecosystem and fisheries, effective adaptation strategies are needed based on scientific monitoring, accurate prediction/projection technologies and risk and vulnerability assessments based on these data. Data on ocean warming and its ecosystem impacts in Korean waters have been collected since 1968 by the National Institute of Fisheries Science. Information and data on ocean acidification in the Korea Waters are also shared with global observation network from 2020. Real-time water temperature information is also collected and managed by the National Institute of Fisheries Science based on 180 coastal data collection stations along the Korean coast. To understand future fisheries conditions in Korean waters, projected monthly ocean data with water temperature, salinity and ocean currents until 2100 are also provided by the National Institute of Fisheries Science. These observed and projected data are used to assess the risk and vulnerability of fisheries in Korea. Fisheries in Korea are very complex and diverse. For future projection of fisheries in Korea, physical and biological ocean prediction data with high spatial resolution and short intervals are required. From such projections, it is possible to create effective adaptation strategies for sustainable fisheries to ensure food security.

Key words: Ocean Warming, Ocean Acidification, Impacts, Projection, Assessments, Fisheries

1. 서론

해양은 산업혁명 이후 화석연료 연소에 따른 온실가스 증가로 인한 이산화탄소 방출의 약 25% 이상을 흡수함과 동시에 지구 시스템으로 방출되는 열의 90% 이상을 흡수하는 기후변화 조절자 역할을 수행하고 있다. 하지만, 1993년부터 해양 온난화는 2배 이상 빠른 속도로 진행되고 있으며, 해양열파(Marine Heatwaves)는 1982년부터 발생 빈도가 2배 이상 증가하고, 강도도 강해지고 있다. 뿐만 아니라, 이산화탄소의 과다 흡수로 인한 해양산성화의

심화와 해양내의 산소 부족 현상이 발생하는 등 더 이상 해양이 기후조절자 역할의 한계에 다다르고 있다(IPCC, 2019). 세계기상기구(World Meteorological Organization; WMO)에서도 0~2000 m 수심까지 해양온난화 경향이 1971년부터 2022년까지 $0.7\pm 0.1 \text{ Wm}^{-2}$ 를 보인 반면, 2006년부터 2022년까지 $1.2\pm 0.1 \text{ Wm}^{-2}$ 를 보여 지난 20여년간 해양온난화 경향은 두배 가량 높아진 사실을 보고하였다(WMO, 2023). 또한 WMO에서는 전 지구 기후변화 7대 핵심지표(지구 지표온도, 대기중 이산화탄소 농도, 빙하, 극지방 얼음면적, 해양온난화, 해양산성화, 해수면 상승)

†Corresponding author : hisjamstec@korea.kr (Gijanghaean-ro 216, Busan 46083, Korea. Tel. +82-51-720-2210)

ORCID 한인성 0000-0002-3652-9251
이준수 0000-0003-2216-2601

김창신 0000-0003-3026-3285
양준용 0000-0001-9194-8478

에 대한 매년 업데이트된 경향을 제공하고 있으며, 2022년 5월 발표된 7대 핵심지표의 경향 중, 해양온난화, 해양산성화, 해수면 상승 등 해양을 중심으로 한 지표들이 최고 기록을 경신하였고, 빠른 속도로 경향이 상승하고 있음을 시사하였다(WMO, 2022).

우리나라 해양도 기후변화로부터 많은 영향을 받고 있다. 우리나라 해양의 연평균 표층수온 상승 경향은 최근 55년간(1968~2022년) 약 1.36°C 상승하여, 같은 기간 전 지구 평균 표층 수온이 약 0.52°C 상승한 것에 비해 약 2.5배 이상 높다(NIFS, 2023). 또한 동해 100 m 수온은 1968~2022년까지 55년간 약 1.13°C 감소하여 표층과 수십 100 m와의 수온차는 점점 증가되는 경향을 보여 해양 표층부의 성층이 강화되고 있음을 시사하고 있다. 이와 같은 물리적인 해양의 변화는 생지화학적 변화를 유발하게 된다. 실제로 우리나라 해역의 표층 영양염 농도는 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다(Park et al., 2023). 영양염은 육지의 비료와 같은 역할을 해양에서 하는 것으로 이에 따른 생물의 영향도 나타나고 있다. 즉, 우리나라 해역의 기초생산력은 최근 눈에 띄게 감소하여 2018~2022년에 측정된 기초생산력은 과거 10년전에 비하여 60% 수준으로 감소하였다고 보고하고 있다(NIFS, 2023). 장기적인 기초생산력 감소는 표층 수온 상승과 이에 따른 표층부의 성층 강화로 표층과 심층간의 혼합이 약해지면서 저층에 풍부한 영양염이 표층으로 공급되는 것을 제한하기 때문으로 판단된다.

또한 우리나라 해역의 수온 상승 경향도 과거와 비교하여 최근에 매우 상이하게 나타나고 있다. 2000년대 중후반까지 우리나라 해역의 표층수온은 겨울철 수온상승이 지배적으로 나타나고 있었다(Kang, 2000; Kim et al., 2011; Min and Kim, 2006; Seong et al., 2010). 하지만, 2000년대 후반부터 우리나라 표층수온의 계절별 상승 경향이 달라지면서 여름철 수온 상승이 겨울철 수온 상승에 비하여 매우 두드러지게 나타나고 있으며, 이에 따른 여름철 고수온, 겨울철 저수온 등 극한 현상이 빈번하게 발생하고 있다(Han et al., 2023). 북극 온난화 및 북태평양 고기압 세력 이상 확장 등 우리나라 주변을 둘러싼 지구 규모의 이상 기후 현상이 우리나라 해역의 다양한 수산재해 발생의 원인으로 작용하고 있다(NIFS, 2023).

해양은 대기보다 비열이 높아 천천히 가열되고, 천천히 식혀진다. 즉, 온난화의 진행 속도는 육상보다 느리게 나타날 수 있지만 한번 시작된 온난화는 그 추세를 늦추는 데도 한계가 있다고 할 수 있다. 실제로 정부간 기후변화

협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)의 해양 및 빙권에 관한 특별 보고서(Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing climate; SROCC)에서는 온실가스 배출이 급격히 줄어드는 환경(RCP2.6) 시나리오에서도 표층 수온의 상승 경향은 눈에 띄게 줄어들지만, 해양의 열용량은 지속적으로 증가할 것으로 전망하고 있다(IPCC, 2019). 즉, 온실가스 배출 저감과 관계없이 해양온난화는 지속적으로 나타날 것이며, 따라서 해양 및 수산분야는 기후변화 적응이 매우 중요한 화두로 제시될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 해양 및 수산분야, 특히 해양온난화, 해양산성화 및 이상기후에 따른 수산재해에 대응하기 위한 다양한 기후변화 감시, 전망 및 평가 연구와 자료에 대한 현황을 소개하고, 관련 정보들의 제공 현황에 대해서도 소개한다. 또한 해양 및 수산분야의 기후변화 적응을 위하여 추후 필요한 연구 및 정보에 대한 고찰을 통하여 효과적인 기후변화 적응 전략 수립에 도움이 되고자 한다.

2. 연구 추진 현황

2.1. 해양수산분야 기후변화 영향 감시/관측

한반도 주변 해역의 기후변화 영향을 이해하고, 장단기 해양 현상을 예측하기 위한 기초자료의 축적 및 이해를 위하여 시작된 정선해양조사는 1921년 국립수산과학원의 전신인 중앙수산시험장 시절부터 시작되었다. 1921년부터 1960년까지 해양조사는 수온, 염분 등 10개 항목에 대하여 한국 연근해 14개 정선, 122개 정점에서 수행되었다. 1961년부터 보다 상세하게 정기적인 해양조사를 위하여 국립수산과학원은 종전 14개 정선을 전면 개편하여 22개 정선을 신설하였고, 연 6회 해양조사를 정기적으로 실시하였다. 조사항목도 수온, 염분, 용존산소, 영양염류, 동식물 플랑크톤 등 13개 항목으로 늘었다.

1995년부터 동중국해 3개 정선을 신설하여 현재 총 25개 정선, 207개 정점에 대한 해양조사를 실시하고 있다(Fig. 1). 1968년부터는 상기 조사가 결측없이 진행되어 우리나라 해역의 기후변화 영향 이해를 위한 기간은 1968년부터 현재까지의 변화로 제시되고 있다. 정선해양조사로부터 얻어진 자료는 우리나라 해역의 장기간 기후변화 영향, 표층수온 상승, 성층 경향, 영양염 농도 변화, 용존산소 농도 변화 및 동식물 플랑크톤의 종조성 및 생체량 변동 등을 이해하는 가장 기초적이고 중심적인 자료로 활용

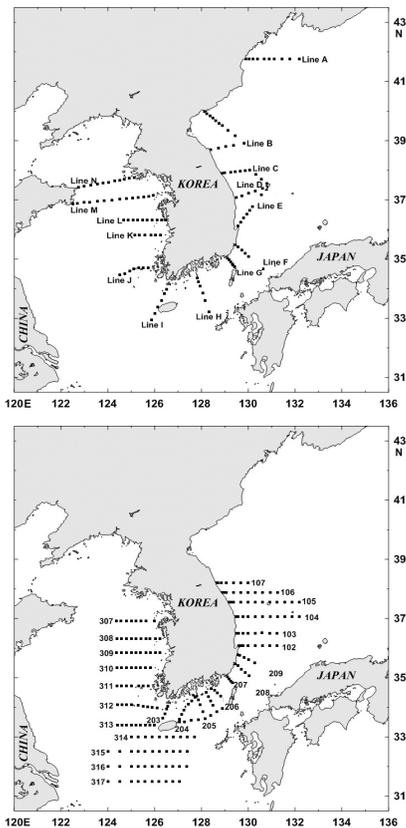


Fig. 1. The locations of serial oceanographic observation by National Institute of Fisheries Science (NIFS) before 1960 (upper panel) and after 1961 (lower panel)

용하고 있다.

또한 2015년부터 연 3~4회 정선해양관측 시스템을 활용하여 83개 정점의 수층별 해양산성화 조사를 병행하여 수행하고 있다. 수층별로 채집된 해수시료를 통하여 총알칼리도, 총 무기탄소를 측정하고, pH, 이산화탄소 분압, 아라고나이트 포화도 등의 분포를 파악하여 우리나라 해역의 해양산성화 경향에 대한 시공간적 변동을 확인하고 있다(Fig. 2).

2010년대 이후 한반도 주변 해역은 이상기후에 기인한 이상고수온 현상 및 이상저수온 현상이 빈번히 발생하고 있다(Han et al., 2019; Han and Lee, 2020; IPCC, 2019; Kim and Han, 2017). 국립수산과학원에서는 이상고수온, 이상저수온 등 이상기후에 따른 수온의 급격한 변화에 따른 양식생물의 폐사 및 양식장 관리를 위하여 전국 연안에 실시간 해양환경 어장정보 시스템을 2003년부터 구축하여 운영하고 있다. 2023년 10월 현재, 국립수산과학원,

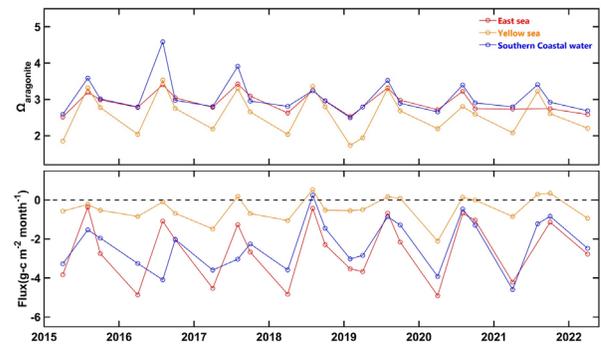


Fig. 2. The variation of surface mean aragonite saturation (upper lane) and surface CO₂ flux from 2015 to 2022 in each ocean areas of Korea Waters



Fig. 3. The location of real-time information system for aquafarms around the Korea coastal areas operated by NIFS

기상청, 지자체 및 공공기관의 협력을 통하여 전국 연안에 총 180개의 실시간 수온 정보를 수집하고 제공하고 있다(Fig. 3). 정확한 수온정보의 실시간 제공을 위하여 예방 정비와 긴급정비를 실시하여 안정적인 관리를 수행하고 있다.

2.2. 해양수산분야 기후변화 영향 전망/예측

IPCC AR5 혹은 AR6에 사용된 기후모델에서 제공하는 해양 정보의 격자 간격은 30 km 이상으로 구성되어 있어 실제로 지역해의 해양변화를 자세하게 전망하고 예측하는데 한계가 있다. 이에 다양한 해양 관련 기관에서는 각

자의 기능에 맞는 자체 해양기후 예측 모델을 구축하여 운영하고 있다. 국립수산과학원에서는 IPCC AR5에 사용된 모델 중, 가장 해상도가 높고 다운스케일링에 필요한 모든 자료가 갖추어진 미국 NCAR (National Center for Atmospheric Research)의 CESM (Community Earth System Model) V.1-CAM5 자료를 우리나라 주변해역 고해상도 해양기후모델 구축의 경제값으로 활용하고, 3차원 해수유동 모델인 ROMS (Regional Ocean Modeling System)을 선택하여 구축하였다. 수평공간해상도는 약 10km 내외이고, 30개의 연직층에 대한 2100년까지의 월 평균 수온, 염분, 해류 값을 생산하였다(NIFS, 2019). 본 전망/예측 자료는 IPCC AR5에 사용된 온실가스 배출 시나리오인 RCP (Representative Concentration Pathways) 8.5와 4.5 등 2개 시나리오를 적용하여 제공하고 있다 (Fig. 4).

장기적인 해양변화 이해도 중요하지만 이상기후에 따른 수산업의 피해 최소화를 위해서는 단기적인 수온 변화 정보의 생산과 제공도 매우 중요하다. 이에 국립수산과학원은 2020년부터 동해, 서해, 남해 등 각 해역의 고해상도 수온 예측시스템을 운영하고 있다(NIFS, 2019). 공간해상도는 동해와 서해가 500 m, 남해가 300 m로 연안과 내만의 수온 변화를 정확도 높게 예측할 수 있도록 구성하였으며, 매일 1회 1시간 간격의 7일 예측 결과를 생산하고 있다. 이를 통하여 양식밀집해역 및 이상수온에 따른 피해 우려해역을 중심으로 수온분포도, 수온 그래프 등으로 가공하여 이상수온 발생 전망과 특보 발령에 활용하고 있다(Fig. 5).

기후변화에 따른 수산자원의 변동 경향을 전망하기 위해서는 수산자원에 영향을 주는 해양환경 요소와 생태계 요소에 대한 예측 자료가 요구된다. 이에 국립수산과학원은 해양순환모델(ROMS)와 생태모델이 접한된 물리-생물 결합모델의 구축을 통하여 주요 생태변수인 영양염, 엽록소, 동물플랑크톤 등의 변화를 추정하고 있다. 이를 통하여 미래 해양환경 예측자료와 서식지 모델을 활용하여 한국 연근해 주요 수산자원에 대한 미래 서식지 변화를 전망하고 있다(NIFS, 2022).

2.3. 수산분야 기후변화 취약성/리스크 평가

IPCC AR3과 AR4에서 기후변화 취약성을 기후변화에 대한 노출, 민감도, 적응능력의 함수로 정의하고 있다. 이러한 정의는 상이한 취약성 접근 방식으로 치우치지

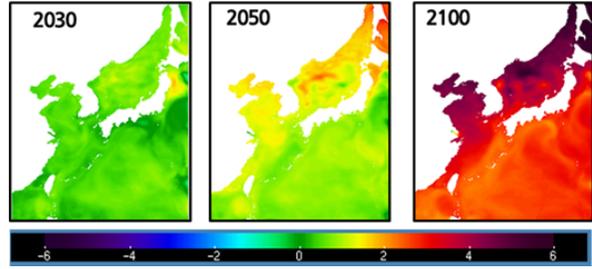


Fig. 4. The spatial distributions of projected Sea Surface Temperature Anomalies (SSTA) on 2030, 2050 and 2100 compared to present SST computed by NIFS

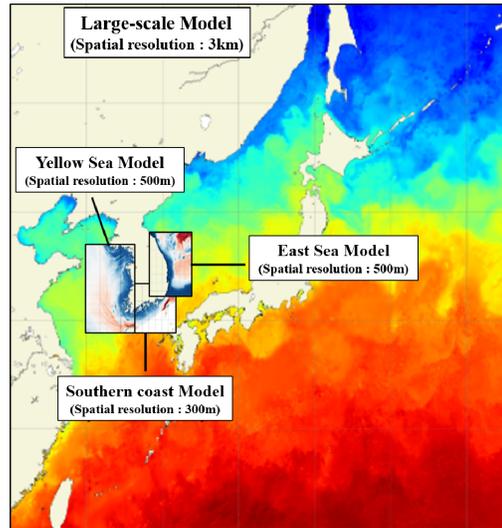


Fig. 5. The spatial ranges and resolutions for high-resolution prediction systems of each ocean areas operated by NIFS

않으며, 취약성을 평가하는 유연한 틀로 볼 수 있다. 즉 기후노출은 결과 취약성에 대응하고, 민감도와 적응능력은 맥락 취약성에 대응하여 두 가지 접근 방법을 혼용하고 있다. IPCC AR5에 기후변화 위험을 결정하는 요소로 맥락 취약성의 중요성을 더욱 강조하게 되는데 취약성이 아닌 위험(리스크)의 개념이 전면에 등장하여 위험요소와 노출을 분리하고 취약성의 사회, 경제적 맥락을 강조하고 있다.

수산업에서 기후변화 취약성 연구는 그리 오래되지 않았다. 2010년대에 접어들고 나서야 수산업의 기후변화 취약성 연구가 조금씩 진행되었다. 국립수산과학원에서는

2015년부터 수산업의 기후변화 취약성 평가 연구를 수행하여, RCP 시나리오를 적용(RCP 8.5, RCP 4.5)한 기후 노출 자료를 통하여 연근해 어업에서는 연근해 조업정보 전수 자료에 기초한 각 업종의 조업 범위에서 평균적인 노출 정도를 측정하고, 양식어업에서는 양식 기간 중 양식생물의 적정 수온과 서식 수온의 상한을 초과하는 기간으로써 각 지역의 노출을 측정한다. 민감도 지표로 어선 어업에서는 생물학적인 특성으로 기후변화에 대한 수산생물의 위험도를 평가한 Kim, Lee, et al. (2016) 결과를 적용하고, Doubleday et al. (2013)의 방법을 원용하여 세부 항목에 대한 양식생물 관련 문헌과 전문가 자문을 통하여 민감도를 평가하였다. 민감도 지표 중 재해 위험도 지표와 적응능력 지표는 Kim, Choi, et al. (2016)의 지표를 사용하였다(NIFS, 2019). 이를 통하여 연근해어업 20개 어종, 양식업 해면 양식품종 14종에 대하여 취약성 평가를 수행하였다.

국립수산과학원에서는 2020~2022년까지 수산업의 기후변화 리스크 평가 기법 개발 및 적용 연구를 통하여 리스크 측면에서의 양식업을 평가하였다. RCP 시나리오별, 생산지역과 해면 양식품종별 리스크 평가를 위하여 9개의 민감도 속성과 1개의 영향 요인을 선정하여 리스크 점수를 산정하고, 그 결과를 활용하여 10개의 주요 양식품종과 37개의 생산지역에 대한 리스크 평가 결과를 생산하였다(Kim et al., 2021; NIFS, 2022).

3. 정보 제공 현황 및 방법

3.1. 기후변화 영향 감시/관측 정보 제공

한반도 주변 해역의 기후변화에 따른 해양 및 해양생태계 변화를 파악하고, 이해하기 위한 감시 및 관측 정보는 국립수산과학원 홈페이지 한국해양자료센터(Korea Oceanographic Data Center, KODC)를 통하여 제공되고 있다. 한국해양자료센터는 1980년 8월 국립수산과학원의 전신인 국립수산진흥원에 설치되어 UNESCO 산하 정부간 해양학위원회(Intergovernmental Oceanographic Commission)에서 인정하는 지역 해양자료센터로 인정되어 운영되고 있다. 2016년 품질경영시스템을 통하여 ISO 인증을 획득함으로써 해양자료의 품질을 높이는데도 기여하고 있다. KODC를 통해서 기후변화에 따른 해양 및 생태계 영향을 파악할 수 있는 다양한 관측 및 감시 정보가 제공되고 있다. 특히 연근해 관측자료인 정선해양관

측자료는 1968년 이후 우리나라 해역의 물리, 생물, 화학적 변동 요소에 대한 정보가 포괄적으로 제공되고 있으며, 기후변화에 직간접적인 영향을 받고 있는 유해생물 및 해양생물 정보로 적조, 해파리, 패류독소, 해양수산 생물종 및 생물자원 정보 등도 제공되고 있다. 또한 매년 우리나라 해역의 변동 특성 및 자료 분석 결과를 종합한 “해양조사 연보”를 발간하고 있으며, 2023년에 제 71권이 발간될 예정이다. 해양조사연보는 우리나라 해양의 과거를 유추할 수 있는 가장 오래되고, 역사적인 의미를 가지고 있어 지난 2013년 문화재청에 의해 등록문화재로 고시되었으며, 2022년에는 과학기술정보통신부에 의해 국가중요과학기술자료로 지정된 바 있다.

우리나라 해역의 해양산성화 모니터링에 대한 결과는 국제 해양산성화 관측 네트워크(Global Ocean Acidification Observing Network, GOA-ON)에 2020년부터 등록하여 자료가 제공되고 있다. GOA-ON은 전 세계 해양산성화 상태와 이에 대응하는 생태계에 대한 이해도 향상 및 해양산성화와 그 영향 예측을 위해 최적화된 모델 구축에 필요한 자료와 지식획득 및 정보 공유에 그 목적을 두고 있다. 국립수산과학원에서 GOA-ON에 제공하는 해양산성화 자료는 2015년부터 획득한 한반도 주변 수온, 염분 자료와 함께 총 알칼리도, 총 무기탄소, 이들로부터 계산한 pH, 해수 중 이산화탄소 분압, 아라고나이트 포화도 등이다. 관측된 자료로부터 충분한 자료의 품질 검증을 거친 후 1년 내외 지연시간을 가진 후 업데이트를 행하고 있다.

수산재해와 관련한 실시간 수온 정보는 매 30분 단위의 수온정보를 전국 연안 180개소에 대하여 인터넷 및 모바일 홈페이지, 모바일 어플리케이션 등을 통하여 제공하고 있다. 관측된 정보가 빠른 시간내에 현장의 어업인에게 정확하게 제공되어야 하기 때문에 관측 정보가 국립수산과학원의 서버에 입력되면 1차 자료 품질에 대한 점검을 마친 후에 제공이 이루어지게 된다(Fig. 6). 실시간 수온 정보는 수산피해 예방 및 대책, 연안양식업 관리 기초 자료, 어업생산성 향상 등에 폭넓게 활용되고 있으며, 특히 2017년부터 만들어진 고수온 및 저수온 등 이상수온 피해 대응을 위한 특보 발령에도 효과적으로 활용되고 있다.

국립수산과학원 외에도 국립해양조사원에서는 조위관측소, 해양관측소, 해양관측부이, 해수유동관측소, 해양과학기지 등에서 얻어진 조위, 수온 등 해양관련 정보를 연구 및 정책 활용 목적으로 제공하고 있다.

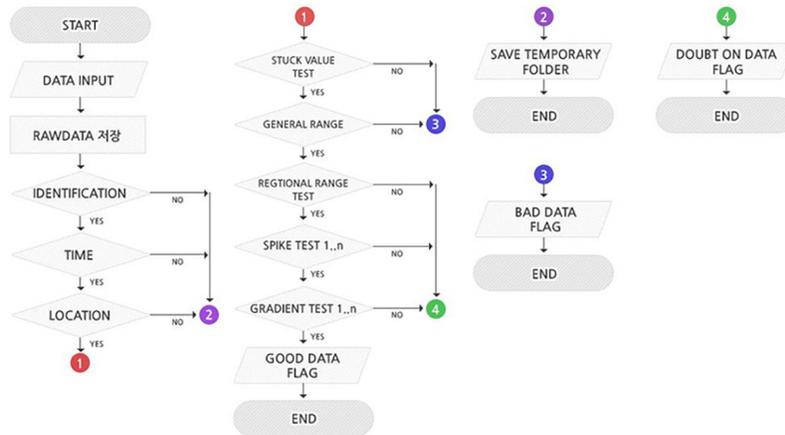


Fig. 6. Schematic view of data quality control process to real-time information system for aquaculture by NIFS

3.2. 기후변화 영향 전망/예측 정보 제공

국립수산과학원 홈페이지를 통해 제공되고 있는 예측 정보는 한달 해황 예측 정보와 동해 냉수대 출현 예측 정보 등이 상시 정보로 제공되고 있다. 국립수산과학원에서 구축한 RCP 시나리오 기반의 2100년까지 해양환경 전망 자료는 홈페이지가 아닌 사용자의 요청에 따라 가공하여 제공하고 있다. 특히 수산자원의 산란장 변화, 수산자원의 서식지 변동, 양식생물의 미래 적지 파악(Fig. 7), 양식생물의 생산량 변화, 수산물 안전성 관련 미래 전망 등 각 수산분야의 미래를 이해하고, 전망하기 위하여 관련 정보는 활용되고 있다(NIFS, 2019, 2022, 2023). 또한, 수산분야의 기후변화 취약성 및 리스크 평가를 위한 기후노출 전망 자료로 제공되면서 어선어업 및 양식업의 미래 기후변화 취약성 및 리스크 평가에 효과적으로 활용되고 있다 (Kim et al., 2019, 2021, 2022, 2023; Seung et al., 2021).

4. 결론 및 토의

전 지구적으로 기후변화에 따른 해양의 영향은 매우 심각하고 빠르게 변화하고 있다. 특히 해양온난화, 해양산성화, 이상수온 등 다양한 형태의 기후변화 영향은 특히 우리나라 해역에서 더욱 빠르고 심각하게 나타나고 있다. 우리나라 수산업은 다음과 같은 이유로 기후변화에 대한 취약성이 매우 높은 분야로 인식되고 있다. 1) 전 세계 해양의 평균 표층수온 상승률보다 훨씬 높은 수온 상승 효과, 2) 좁은 해역 면적에 높은 어획강도, 3) 좁고 얕은 내만과 연안에 집중된 양식 시설, 4) 이상기후에 따른 다양

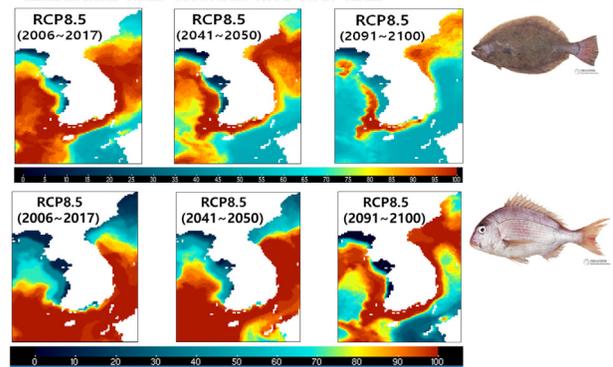


Fig. 7. Projected suitabilities of aquafarms for flatfish and red seabream using RCP 8.5 seceanio in present, 2050 and 2100 by NIFS

한 극한 현상의 다발, 5) 동물성 단백질 중 수산물이 차지 비중이 매우 높은 상황 등이 그것이다. 이와 같은 다양한 높은 취약성에 있지만 해양온난화, 해양산성화 및 이상수온 등의 발생은 인위적으로 억제할 수 없는 자연적인 요소이다. 그렇기 때문에 무엇보다 기후변화 적응에 대한 중요성이 강조되며, 이를 위해서는 기후변화의 영향을 정량적으로 파악하고, 전망하며, 평가함으로써 정책적, 산업적 우선 순위를 도출하고 이에 대응함이 중요하다.

국립수산과학원은 기후변화 영향을 파악하고 이해하기 위하여 해양과 생태계의 변화를 정기적으로 조사하고, 그 결과를 홈페이지를 통하여 제공하여 누구나 활용가능하도록 하고 있다. 해양온난화는 55년 이상, 해양산성화는 10년 내외, 이상수온 대응 실시간 수온 정보는 20년 내외의 관측자료가 축적되어 있으며, 이를 통하여 기후변화에

따른 한반도 주변 해역의 변화와 수산업의 영향을 정량적으로 파악할 수 있다. 또한 단기 및 장기 예측자료 생산을 통하여 짧게는 이상수온 발생에 따른 수산재해 저감, 길게는 기후변화에 따른 수산업 각 분야의 전망에 활용하고 있다. 이들 예측 자료의 일부는 홈페이지를 통하여 제공하고 있으며, 일부는 사용자의 요구에 대응하여 제공하고 있다. 이들 관측 및 예측 자료에 기반한 어업별, 어종별, 업종별, 해역별 기후변화의 취약성 및 리스크를 정량적으로 평가하고 대응의 우선순위를 책정하여 이를 보고서 및 논문의 형태로 일반인 및 정책 결정자와 공유하고 있다.

우리나라 해역은 매우 좁은 면적에서 다양한 어종과 업종의 어선어업 및 다양한 품종과 방식의 양식어업이 진행되고 있다. 이와 같은 다양한 수산업의 기후변화 적응 정책 수립을 위해서는 보다 고해상도, 보다 조밀한 시간 간격의 예측 자료 생산이 요구된다. 국립수산과학원은 이와 같은 요구를 수용하기 위하여 공간해상도 3 km 이하, 시간해상도 1일 내외의 2100년까지 SSP (Shared Socioeconomic Pathways) 시나리오를 적용한 미래 해양환경 전망자료를 생산하여, 제공할 계획이다. 또한 생산된 미래 전망자료는 지자체와 국가 기후변화 적응 계획 수립을 위하여 수요자의 요구에 맞추어 정보를 제공할 계획이다. 또한 관측도 보다 다양한 시간 주기의 현상을 이해할 수 있고, 무인 관측의 폭을 넓혀 기후변화에 따른 우리 해역의 해양 변화를 이해하는데 적극 활용할 계획이다. 해양수산분야의 기후변화 적응은 우리 바다의 기후변화 영향을 이해하고, 미래를 정확하게 전망하여 이에 대한 정책적 대응 방향을 수립하는 것이 가장 중요하기 때문이다.

사사

본 논문은 해양수산부 국립수산과학원(R2023044)의 지원을 받았습니다.

References

Doubleday ZA, Clarke SM, Li X, Pecl GT, Ward TM, Baqttaglone SC, Frusher S, Gibbs P, Boloday AJ, Hutchinson N, Jennins SK, Stoklosa R. 2013. Assessing the risk of climate change to aquaculture: A case study from South-East Australia. *Aquac Environ Interact* 3(2): 163-175.

Han IS, Lee JS, Kim JY, Hong JY. 2019. High frequency variation of low water temperature due to Arctic oscillation around the Western and Southern coast of Korea during winter 2017/2018. *J Korean Soc Mar Environ Saf* 25(3): 328-333.

Han IS, Lee JS. 2020. Change the annual amplitude of sea surface temperature due to climate change in a recent decade around the Korean Peninsula. *J Korean Soc Mar Environ Saf* 26(3): 233-241.

Han IS, Lee JS, Jung HK. 2023. Long-term pattern changes of sea surface temperature during summer and winter due to climate change in the Korea waters. *Fish Aquat Sci* 26(11): 639-648.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2019. Special report on ocean and cryosphere in a changing climate. Cambridge: Cambridge University Press.

Kang YQ. 2000. Warming trend of coastal waters of Korea during recent 60 years (1936~1995). *J Fish Sci Tech* 3(3-4): 173-179.

Kim BT, Lee JS, Suh YS. 2016. An analysis on the climate change exposure of fisheries and fish species in the Southern Sea under the RCP scenarios: Focused on sea temperature variation. *J Fish Bus Adm* 47(4): 31-44 (in Korean with English abstract).

Kim BT, Brown CL, Kim DH. 2019. Assessment on the vulnerability of Korean aquaculture to climate change. *Mar Policy* 99: 111-122.

Kim BT, Han IS, Lee JS, Kim DH. 2021. Impact of seawater temperature on Korean aquaculture under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Aquac* 542: 736893. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736893

Kim DH, Choi YE, Kim HS, Park HJ. 2016. Economic analysis due to climate change in fisheries. Busan, Korea: National Institute of Fisheries Science. Research Report.

Kim JY, Han IS. 2017. Sea surface temperature time lag due to the extreme heat wave of August 2016. *J Korean Soc Mar Environ Saf* 23(6): 677-683 (in Korean with English abstract).

- Kim MJ, Han IS, Lee JS, Kim DH. 2022. Determination of the vulnerability of Korean fish stocks using productivity and susceptibility indices. *Ocean Coast Manag* 227: 106287. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106287
- Kim MJ, Hong JB, Han IS, Lee JS, Kim DH. 2023. Vulnerability assessment of Korean fisheries to climate change. *Mar Policy* 155: 105735. doi: 10.1016/j.marpol.2023.105735
- Kim SJ, Woo SH, Kim BM, Hur SD. 2011. Trends in sea surface temperature (SST) change near the Korean Peninsula for the past 130 years. *Ocean Polar Res* 33(3): 281-290.
- Min HS, Kim CH. 2006. Interannual variability and long-term trend of coastal sea surface temperature in Korea. *Ocean Polar Res* 28(4): 415-423.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2019. Assessment report on fisheries impacts in a changing climate.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2022. Annual report for climate change trends in fisheries, 2022.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2023. Annual report for climate change trends in fisheries, 2023.
- Park SJ, Kim GB, Kwon HK, Han IS. 2023. Long-term changes in the concentrations of nutrients in the marginal seas (Yellow Sea, East China Sea, and East/Japan Sea) neighboring the Korean Peninsula. *Mar Pollut Bull* 192: 115012. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115012
- Seung CK, Kim DH, Yi JH, Song SH. 2021. Accounting for price responses in economic evaluation of climate impacts for a fishery. *Ecol Econ* 181: 106913. doi: 10.1016/j.ecolecon.2020.106913
- Seong KT, Hwang JD, Han IS, Go WJ, Suh YS, Lee JY. 2010. Characteristics for long-term trends of temperature in the Korean waters. *J Korean Soc Mar Environ Saf* 16(4): 353-360 (in Korean with English abstract).
- WMO (World Meteorological Organization). 2022. State of the global climate 2021. Geneva, Switzerland: Author. WMO-No.1290.
- WMO (World Meteorological Organization). 2023. State of the global climate 2022. Geneva, Switzerland: Author. WMO-No.1316.