

# 진해만의 수산생산량과 해양생태계 지표의 장기 변동 및 기후변화 요인 분석

조우희\* · 김경희\*\* · 이인철\*\*\*

\* 국립부경대학교 영남씨그랜트센터 연구원, \*\* 국립부경대학교 해양공학과 교수

## Analysis of Long-term Changes for Fisheries Production and Marine-Ecosystem Index in Jinhae Bay Considering Climate Change

Woo-Hee Cho\* · Kyunghoi Kim\*\* · In-Cheol Lee\*\*\*

\* Researcher, Yeongnam Sea Grant Center, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

\*\* Professor, Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

**요 약** : 진해만은 우리나라 남해 연안의 주요 어장으로서, 여전히 전체 수산생산량에서 적지 않은 기여를 창출하고 있다. 그러나, 수십 년간 산업개발과 고수온과 같은 환경변화로 인하여 진해만의 해양생태계는 과거와 달라지고 있다. 본 연구는 2005년부터 2022년까지 진해만 연안 5개 시군구의 수산생산량, 폐기량, 평균영양단계 및 어업균형지수를 분석하였으며, ARIMA 모델을 이용하여 2027년까지 단기적인 변동 추세를 함께 관찰하였다. 그 결과, 고성지역은 2027년까지 지속적으로 수산생산량이 감소할 것으로 예측되었다. 통영지역은 이매패류의 부산물 처리가 필요한 것으로 평가된다. 해양생태계 지표의 경우, 통영지역에서는 대형 어류 생산 비중이 회복되고, 어업균형지수가 0 이상을 나타내어 해양생태계 구조가 안정적인 것으로 나타났다. 마지막으로 IPCC의 기후변화 시나리오에 따라 2060년까지 진해만의 부어성 어종 6종의 생산량 변동 추이를 비교하였으며, 2020년대 초반 2만 ton 부근까지 감소했던 생산량은 2020년대와 2040년대에 4만 ton 부근 가까이 회복한 후, 2060년까지 점진적인 감소 경향을 나타내는 것으로 예측되었다.

**핵심용어** : 진해만, 수산생산량, 해양생태계, 영양단계, 기후변화

**Abstract** : As an important fishing ground in the southern coast of Korea, Jinhae Bay is characterized by a high level of fisheries production. However, its marine-ecosystem has shifted owing to environmental changes such as industrial development and high water temperatures over the decades. This study analyzes the fisheries production, discards, mean trophic level, and fishing-in-balance index using annual fishing data from five regions surrounding Jinhae Bay for the period 2005-2022, as well as using additional forecasting trends by 2027 using ARIMA (Auto Regressive Intergrated Moving Average). The results shows, that the production in Goseong will decrease continuously by 2027, as compared with that in other areas. Additionally, byproduct management is considered necessary in Tongyeong. For the marine-ecosystem index, Tongyeong indicates stable catch ratio of large fish species and a fishing-in-balance exceeding 0. Finally, the annual catch variation for six pelagic fish species in Jinhae Bay by 2060 is estimated based on the IPCC climate-change scenario, in which the recent low level that decreased to approximately 20 thousand ton in early 2020 is projected to recover to approximately 40 thousand ton in the 2020s and 2040s, followed by an incremental decline by 2060.

**Key Words** : Jinhae Bay, Fisheries production, Marine-ecosystem index, Trophic level, Climate change

### 1. 서 론

진해만은 경상남도 거제, 고성, 마산, 진해, 통영지역 연안에 걸쳐있는 내만이다. 2022년 수산물계통판매고를 기준

으로 이들 5개 시·군구 지역에서 생산된 수산물 생산량은 해조류를 제외하고 72,649 ton이며, 이는 우리나라 전체의 8.2%로 여전히 중요한 어장의 역할을 수행하고 있다(National Federation of Fisheries Cooperatives, 2023). 그러나 진해만은 1960년대 이후 공단조성과 인구 밀집에 따른 육원성 오염물질의 영향으로 인하여 부영양화되는 등 연안환경이 계속해

\* First Author : pusanbd1@naver.com

† Corresponding Author : ilee@pknu.ac.kr, 051-629-6586

서 악화되고 있다. Lee et al.(2020)의 연구에서는 1975년부터 2018년까지 진해만 연구와 관련된 85편의 논문을 통하여 진해만 북부해역의 적조발생 원인이 육원성 오염에 의한 것으로 보고하였다.

이러한 장기간의 연안환경 변화는 어업생산량과 생태계 영양단계 구조에도 영향을 줄 수 있다. 따라서, 진해만의 수산생산성과 해양생태계 균형이 어떻게 변동되었는지에 대한 관련 지표 분석이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 최근 고수온 등 기후변화 요인도 진해만 수산자원의 서식과 생산성에 큰 영향을 미칠 수 있어 어업환경 분석을 위한 장기적인 예측이 필요하다.

진해만의 수산생산성과 관련된 기존 선행연구는 다음과 같이 진행된 바 있다. Kang and Lee(2010)은 진해만 연안을 조업구역으로 하는 행정구역의 연도별 수산물계통판매고 통계자료를 이용하여 1979년부터 2005년까지 수산생산성 지표의 경년변화를 분석하였으며, 수산생물종별 가식단백질 생산량, 총질소생산량 및 총인생산량 등을 함께 산정하였다. Ryu et al.(2018)은 2004년부터 2016년까지 진해만의 연도별 수질평가지수(Water quality index, WQI)를 산정한 후, 수산물계통판매실적과의 상관관계를 분석하였다.

한편, 국내 수산자원 생산량에 대하여 기후변화 요인을 분석한 연구로서 Eom et al.(2015a)은 연근해 어업생산량 자료(CPUE)와 표층수온(Sea surface temperature, SST) 자료로부터 회귀모형을 도출하였고, 2013년 대비 2050년에 표층수온이 약 1.17°C 증가하는 경우 연근해 전체 어업생산량은 13% 감소되는 것으로 예측하였다. 또한, Kim et al.(2015)은 연안 상하층 수온과 염분 자료 및 지역별 어선톤수를 변동 요인으로 하여 연안 어업생산량에 대한 공간패널모형을 도출하였고, 하층수온과 생산량 간 유의한 정(+)의 상관관계를 확인하였다. 최근에는 기후변화 시나리오와 어업생산량 간 상관관계를 확인한 연구가 진행된 바 있는데, 표층수온 및 표층염분(Sea surface salinity, SSS) 자료를 이용하여 2100년까지 온실가스 고배출 시나리오일수록 시도별 연안어업 생산량이 장기적으로 감소되는 것으로 예측되었다(Kim, 2023).

상기 연구배경과 선행연구를 토대로 본 연구는 진해만의 수산생산량을 비교하되 해양생태계 변동을 함께 확인하고 선행연구의 가식단백질 산출방법을 응용하여 최종 소비결과 발생하는 폐기량을 산정하였다. 그리고 과거의 시계열 자료를 바탕으로 각 지표의 단기적인 변동 추세를 확인하였다. 마지막으로, 기존 진해만 연구에서 다루지 않은 기후변화 시나리오를 주요인으로 하여 수산생산량과의 상관관계와 장기적인 변동 추이를 분석하였다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1 수산생산량, 폐기량 및 해양생태계 지표

본 연구에서 진해만의 수산생산량은 연도별 어업생산량을 이용하여 비교하였으며, 최종 소비결과 발생하는 폐기량은 기존 보고된 폐기율값을 각 수산생물종별 생산량에 개별적으로 곱하여 산정하였다. 해양생태계 변동 관측은 어업생산량 자료를 바탕으로 Pauly et al.(2000)가 제시한 해양생태계 기반 어업생산 평가지표인 평균영양단계(Mean trophic level, MTL)와 어업균형지수(Fishing-in-balance, FiB)를 산출하여 분석하였다.

평균영양단계(MTL)값은 생태계 내에서 수산생물종 간의 상호 생산소비 관계에 따라 1부터 5까지 값을 가지며, FishBase와 SeaLifeBase에서 발표하는 성어 조사기준값을 사용하였고(Rahman and Lee, 2012), 그 외에는 조회가능한 문헌조사값을 참고하였다(Sun et al., 2020). 어업균형지수(FiB)값은 개별 수산생물종의 영양단계와 에너지 전송효율성(Transfer efficiency, TE)을 고려하여 0을 기준값으로 가진다. 이는 기준 연도 대비 비교연도의 수산생산량 변화를 나타내며, 영양단계 변동에 따라 정(+)과 부(-)의 방향성을 나타낸다. 평균영양단계와 어업균형지수는 다음 식 (1) 및 (2)와 같이 계산된다.  $TL_i$ 는  $Y_i$ 는 각각  $i$ 번째 수산생물종의 영양단계와 어업생산량을 나타내며,  $TL_0$ 는  $Y_0$ 는 기준연도 계산에 사용되는 인수이다. 본 연구에서 TE는 기존 선행연구를 참고하여 상수값 0.1을 사용하였다(Pauly et al., 2000).

$$MTL = \sum_i^n \frac{TL_i Y_i}{Y} \quad (1)$$

$$FiB = \log\left(Y_i \left(\frac{1}{TE}\right)^{TL_i}\right) - \log\left(Y_0 \left(\frac{1}{TE}\right)^{TL_0}\right) \quad (2)$$

### 2.2 분석자료 및 범위

본 연구에서 진해만의 수산생산량은 해양수산부 수산정보포털에서 고시하는 지구별 수산업협동조합의 월별 수산물계통판매고 통계자료를 사용하였다(National Federation of Fisheries Cooperatives, 2023). 분석에 사용된 자료의 시간적 범위는 1997년 수산물 강제상장제 폐지의 영향을 고려하여 계통판매실적 변동이 비교적 안정화된 2005년부터 2022년까지(18년간) 통계자료를 사용하였다. 분석대상의 공간적 범위는 Fig. 1과 같이 진해만을 조업구역으로 하는 5개 시군구 행정구역(거제, 고성, 마산, 진해, 통영)을 대상으로 한다. 각 수산생물종별 폐기량 산출을 위한 개별 폐기율값은 농촌진흥청 국

진해만의 수산생산량과 해양생태계 지표의 장기 변동 및 기후변화 요인 분석

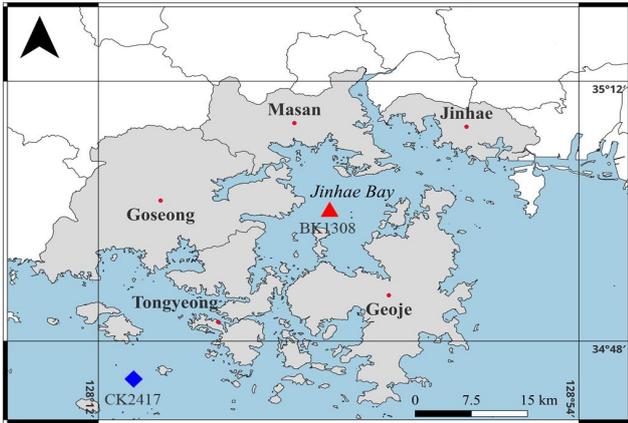


Fig. 1. Locations of investigated administrative region in Jinhae Bay (Diamond symbol: available SSP scenario data measure site; Triangle symbol: historical data measure site)

가표준식품성분표(2023)에서 제시된 값을 참고하였다(National Rural Development Administration, 2023). 한편, 수산생산량 통계자료에서 조회가능한 총 139개 품종 중에서 영양단계값 조회와 폐기율값을 적용할 수 있는 총 95개 품종을 선별하여 분석에 사용하였다.

2.3 시계열 분석 및 기후변화 요인 분석

수산생산량과 해양생태계 지표의 시계열 분석은 자기회귀통합이동평균모형(Auto regressive intergrated moving average model, ARIMA model)을 적용하였다. R프로그래밍(Ver. 4.3)의 auto.arima 및 forecast 함수를 이용하여 개별 수산생물종의 월별 어업생산량으로부터 2023년에서 2027년까지(5년간) 단기적인 시계열 변동 추세를 확인하였다. 월별 수산생산량과 해양생태계 지표값은 연도별로 합산하여 나타내었으며, ARIMA모델 예측결과값 중 음수값은 0으로 처리하였다.

기후변화 시나리오에 따른 수산생산량 장기 변동 예측을 위하여 어업생산량을 종속변수로 하는 회귀분석 모형을 도출하였다. 독립변수 자료는 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 보고서 기반의 ‘한반도 기후전망’에 대한 사회경제경로(Shared Socio-economic Pathway, SSP) 시나리오를 참고하였으며, 자료 확인이 가능한 2021년에서 2060년까지(40년간) 월별 표층수온과 표층염분 두 가지를 사용하였다(Korea Meteorological Administration, 2024). 사용된 SSP 시나리오는 지속가능한 저탄소 시나리오인 SSP1-2.6과 화석연료에 의존성장하는 고탄소 시나리오 SSP5-8.5 두 가지 양극값을 사용하였다. 독립변수가 표층공간에 한정되므로, 종속변수는 시계열 자료값이 성실한 부어성(Pelagic) 어종 6종(고등어, 학공치, 멸치, 삼치, 전어, 청어)을 선별하였으며, 이들 폐기량과 영양단계 비교는

Table 1. Regression analysis statistics of variables on catch level (ton) for six pelagic fish in Jinhae Bay

Species	intercept	SST	SST <sup>2</sup>	SSS	SSS <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
Mackerel*	-	92.8	-2.6	-11.4	-	0.43
Half Saury*	-	6.6	-0.3	10.5	-0.3	0.35
Anchovies**	-	-	170.3	-	123.6	0.83
Spanish Mackerels***	-59,193.1	165.7	-5.9	4,007.5	-67.5	0.14
Hickory Shad***	-	53.3	-2.2	-	-	0.28
Herring***	-	79.2	-2.9	-	-	0.24

Note 1: \*, \*\*, \*\*\* means that all variables were significant at 0.1, 0.05, 0.01 respectively.

Note 2: SST and SST<sup>2</sup> for Anchovies model was analyzed by logarithmic regression.

Note 3: R<sup>2</sup> is adjusted coefficient of determination.

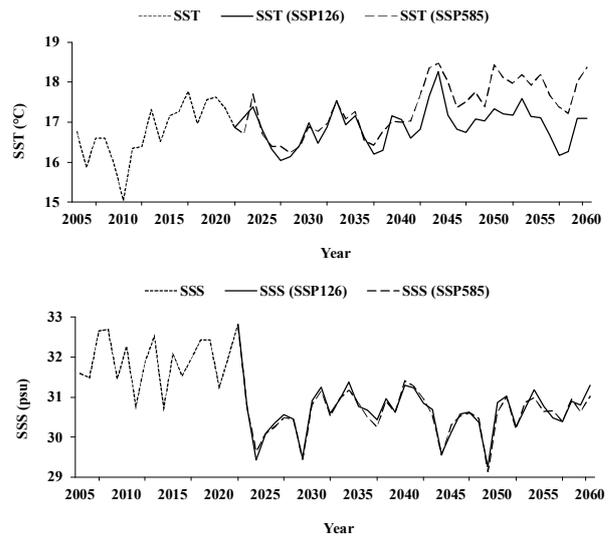


Fig. 2. Annual changes of SST and SSS in Jinhae Bay during 2005-2060 (Dotted line: historical data; Straight line: SSP1-2.6 scenario; Dashed line: SSP5-8.5 scenario) (SSP data was adjusted from actual data near CK2417 to BK1308 site).

유의미하지 않아 제외하였다. Table 1에서는 수산생산량 예측을 위하여 통계적으로 유의성을 가지는 어종별 회귀분석 모형의 독립변수향을 나타내었다.

과거의 표층수온 및 염분 자료는 해양환경측정망의 진해만 중심부(35°00'07"N, 128°32'16"E, BK1308) 자료를 사용하였고, 연 4회(2, 5, 8, 11월) 측정자료이므로 선형보간한 월별 자료로 확장하여 사용하였다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2023).

SSP 시나리오는 진해만 내해 좌표까지 자료가 제공되지 않으므로, 가장 근접한 통영 육지도 부근 정점(34°44'09"N, 128°15'54"E) 자료를 사용하였다. 따라서, 해당 좌표에 가장 가까운 해양환경측정망의 육지도 부근 정점(34°43'03"N, 128°15'00"E, CK2417)과 진해만 중심부 간 월별 수온 및 염분 자료 편차를 조정하여 예측 요인변수로 사용하였다. 분석에 사용된 진해만의 표층수온 및 염분 시계열은 Fig. 2와 같다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 수산생산량 및 폐기량

Fig. 3은 2005년부터 단기적인 변동 추세를 포함한 2027년까지 진해만 5개 시군구의 연도별 수산생산량과 폐기량 변동을 각각 나타내고 있다. 먼저 전체 기간 동안 평균 수산생산량과 평균 폐기량이 가장 높은 지역은 통영지역(43,585 ton; 20,592 ton)이었고, 가장 낮은 지역은 진해지역(695 ton; 318 ton)으로 나타났다. 평균 수산생산량 대비 평균 폐기량 비율은 고성지역이 약 74%로 가장 높고, 거제지역이 약 26%로 가장 낮게 나타났다. 수산 폐기량 발생비율이 높다는 것은 어업생산구조가 어류보다는 불가식부가 많은 수산생물 위주로 구성되는 것을 나타내며, 고성지역의 경우 실제로 분석 기간 동안 총수산생산량 대비 패류 생산량 비율이 평균 94.8%로 매우 높게 나타났다.

단기적인 변동 추세 구간을 살펴보면, 2022년 이후 2027년까지 고성지역을 제외한 나머지 지역은 생산량이 대체로 평형을 유지하였으며, 이는 2020년 전후로 생산량 증감폭이 뚜렷하지 않거나 기온기가 완만해졌기 때문인 것으로 풀이된다. Nam et al.(2023)의 연구에서도 ARIMA모형을 이용하여 2022년부터 2027년까지 경남지역 어업생산량을 예측하였는데, 유사하게 생산량이 평형 상태를 나타내었다. 고성지역은 2010년 이후로 지속적인 하향 추세를 보여주다가, 2022년 4,808 ton 이후로 2027년에는 1,802 ton까지 가장 크게 감소하는 것으로 나타났다.

고성지역의 수산생산은 대부분 정착성 수산생물종인 패류 대상으로 이루어지기 때문에, 빈산소수괴와 유독성 적조가 생산량 감소에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. 국립수산물품질관리원의 수시보고에 따르면, 진해만에서 5월 전후로 발생하는 빈산소수괴는 진해만 입구 행암만과 남부 원문만 일대를 제외한 대부분 지역에서 굴 폐사 기준인 3.2 mg/L보다 낮게 나타나며, 그 기간도 점점 길어지고 있다고 보고되고 있다(National Institute of Fisheries Science, 2022).

한편, 수산생산량이 가장 높은 통영지역은 고성지역 다음으로 폐기량 발생비율이 높으며(47.2%), 2022년 이후로 감소하지 않고 폐기물 발생량이 유지되는 추세가 전망된다. 이는 통

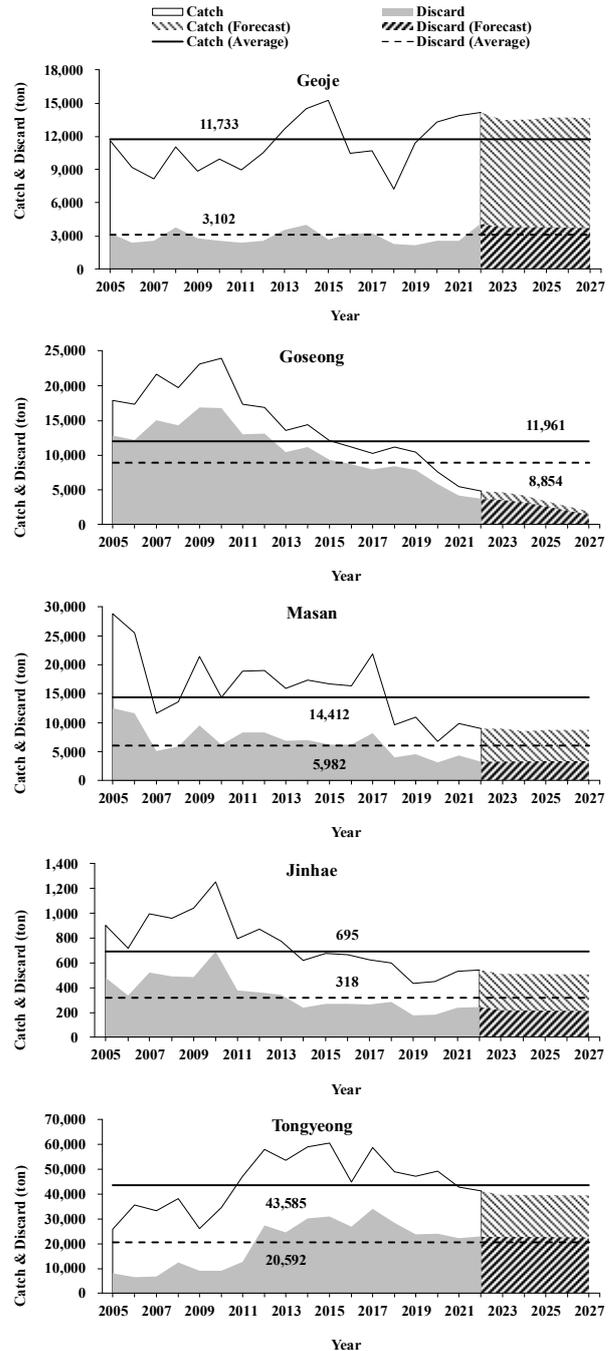


Fig. 3. Annual changes of catch and discard by region in Jinhae Bay during 2005-2027 (Empty shade: catch; Filled shade: discard; Patterned shade: prediction; Straight line: averaged catch; Dashed line: averaged discard) (2023-2027: ARIMA estimates).

영지역의 각 어종별 계통출하 생산량 가운데 폐기율(78%)이 높은 굴의 비중(평균 55.8%)이 매우 큰 것으로 작용하기 때문이며, 결과적으로 부산물처리가 시급한 지역으로 평가된다.

### 3.2 해양생태계 지표

Fig. 4는 2005년부터 단기적인 변동 추세를 포함한 2027년까지 진해만 5개 시군구의 연도별 평균영양단계(MTL) 변동을 보여주고 있다. 먼저, 모든 지역의 평균영양단계값의 평균은 2005년 3.29에서 2027년 3.11로 감소하는 것으로 나타났다. 진해만의 이러한 영양단계 감소 추이는 2000년대 이후 우리나라 남해 어업생산물의 평균영양단계가 통계적으로 유의한 증가추세를 나타낸 기존 연구와는 차이를 나타내고 있다(Lee et al., 2023).

영양단계값의 지역별 차이를 살펴보면, 패류 중심의 어업 생산구조를 가지는 고성지역이 2점대의 값으로 가장 낮게 나타났다. 반면, 영양단계값이 가장 높은 지역은 마산지역이었으며 육식성 어종인 삼치와 같은 상위 포식자의 생산량 비중이 높아 3.5-4점대 값을 나타내었다.

통영지역의 평균영양단계값은 2009년까지 3.5점대 가까이 분포하였으나, 이후 2011년까지 급감하였다가 3점대 전후에서 일부 증감이 반복되었다. 영양단계값이 급감한 기간 동안 통영지역의 수산생산량은 급증하였는데, 어류보다는 영양단계가 낮은 패류 중심의 양식생산 증대가 많이 이루어진 것으로 판단된다. 실제로 2010년 이전까지 통영지역의 총수산물생산량 대비 패류 생산량 비율은 1%가 못되었으나, 이후 급증하여 2010년부터 2027년 기간 동안에는 평균 37.8%를 보여주었다.

Fig. 5는 2005년부터 단기적인 변동 추세를 포함한 2027년까지 진해만 5개 시군구의 연도별 어업균형지수(FiB) 변동을 나타내고 있다. 전체 지역의 어업균형지수 평균값은 2005년 0을 기준으로 2027년 -0.38까지 감소하는 것으로 나타났다.

기준연도인 2005년 대비 2027년에 어업균형지수가 증가하는 지역은 통영지역이 유일한 것으로 나타났다. 고성지역은 2021년부터 2027년까지 영양단계값 변동에 큰 차이가 없었지만, 수산생산량이 지속적으로 감소하여 결과적으로 어업균형지수는 계속 감소하는 것으로 나타난다. 마산지역은 2017년까지 기준연도 대비 어업균형지수가 -0.5 이내였으나, 이후 2020년대 초반까지 약 -1로 급감하였다. 이는 영양단계가 높은 삼치(TL=4.2)의 생산량과 비중이 2017년 10,492 ton (48%)에서 2021년 2,012.2 ton (20.4%)까지 급감하였기 때문인 것으로 추정된다.

해양생태계 내에서 생산량 변동은 평균영양단계값을 변화시킨다. 즉, 먹이사슬 상위단계에 위치하는 대형 어류 등의 생산량 변동을 통하여 간접적으로 해양생태계 지속가능성을 확인할 수 있다(Pauly et al., 2002). Table 2는 진해만 5개 시군구에 대하여 지역별로 대형 어류(TL>3.5)의 수산생산량 소계값과 비율을 연대별로 구분하여 평균값으로 나타내었다.

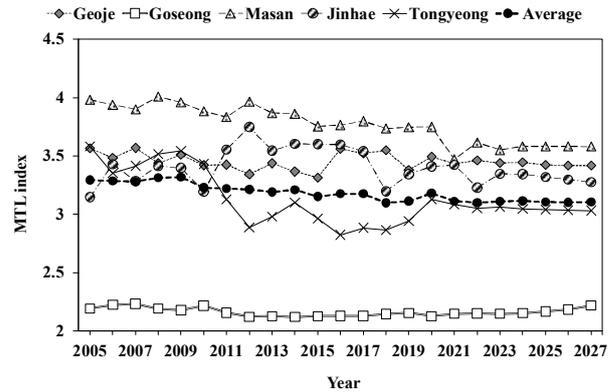


Fig. 4. Trend of MTL by region in Jinhae Bay during 2005-2027 (2023-2027: ARIMA estimates).

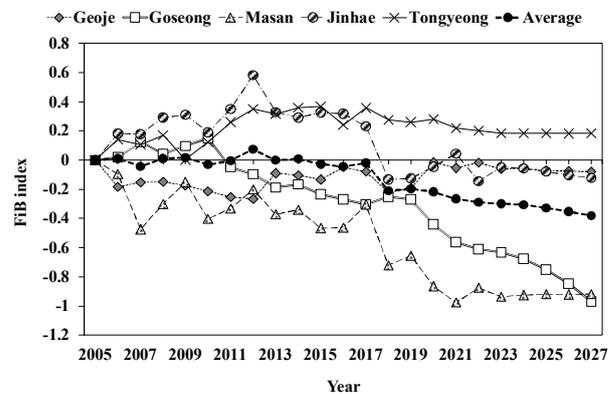


Fig. 5. Trend of FiB by region in Jinhae Bay during 2005-2027 (2023-2027: ARIMA estimates).

먼저 진해만 5개 시군구 가운데 대형 어류 생산량과 비중이 가장 높은 지역은 마산이며, 2027년까지 단기적인 변동 추세를 포함하면 평균 9,624 ton (62.4%)의 어획량과 비중을 가지는 것으로 나타났다. 하지만, 2005-2010년 기간 대비 2017-2022년 기간까지 대형 어류 생산량과 비중은 현저히 감소하였고, 계속해서 2027년까지 더 감소할 것으로 전망된다. 특히, 2011-2016년 대비 2017-2022년 기간에 어획량과 비중이 크게 급감하였으며, 이는 어종별 생산량을 고려할 때 삼치와 갈치 생산량 감소에 기인한다. 보고에 따르면, 2010년대 이후 남해 삼치 개체군의 변동은 고등어와 갈치 등 먹이사슬의 동해 북상에 의한 것과 관련이 있으며(Kim et al., 2021), 본 연구의 진해만 시계열 자료에서도 가장 남서부인 통영을 제외하면 나머지 지역에서 고등어와 갈치류는 감소 추세인 것으로 나타났다.

한편, 통영지역도 거제지역과 마찬가지로 삼치 생산량이 크게 감소하였으나, 연대별 대형 어류 생산량과 비중 변동

Table 2. Chronological changes of average catch and ratio for large fish (TL>3.5) production by region in Jinhae Bay during 2005-2027 (2023-2027: ARIMA estimates)

Region		2005-2010	2011-2016	2017-2022	2023-2027	Average
Geoje	C	3,015	2,788	3,646	4,047	3,345
	R	31.0	23.8	31.2	29.8	28.9
Go-seong	C	134	85	70	66	89
	R	0.7	0.6	1.0	2.2	1.1
Masan	C	15,075	12,403	6,178	3,879	9,624
	R	77.7	70.8	53.5	44.4	62.4
Jinhae	C	402	377	198	186	296
	R	40.9	51.1	37.4	36.7	41.7
Tongyeong	C	9,625	11,204	11,126	10,530	10,625
	R	30.4	20.5	23.5	26.7	25.2
Average	C	5,650	5,371	4,244	3,742	4,796
	R	36.2	33.4	29.3	27.9	31.9

Note : C means catch level of TL>3.5 species by ton and R means the ratio of catch for TL>3.5 species to total catch by percentage.

은 2011-2016년 기간 이후로 생산량은 소폭 증가했고, 비중은 오히려 점점 증가하고 있다. 이는 눈볼대, 방어 및 봉장어 등 다른 육식성 대형 어류의 생산량이 어느 정도 증가하였기 때문이다. 2022년 기준 통영지역의 TL>3.5 어종 생산량에서 중 삼치의 비중은 19.4%이며, 눈볼대, 방어 및 봉장어는 12.7%로 이들 어종이 적지 않은 비중을 보이고 있다. 따라서, 통영지역의 해양생태계 먹이사슬은 어느 정도 유지되고 있는 것으로 추정된다.

### 3.3 기후변화 시나리오에 따른 장기 변동

Fig. 6은 2005년 이후 진해만의 부어성 어종 6종에 대한 연간 계통출하 생산량 시계열과 2023년부터 2060년까지 IPCC 기후변화 시나리오에 따른 예측값의 변동 추이를 나타내고 있다. 부어성 어종의 과거 생산량 변동 추이는 2010년대 초반 45,743 ton을 나타낸 이후 계속해서 하향 추세를 나타내다가 2022년에는 20,962 ton까지 감소하였다. 이후 저탄소(SSP1-2.6)와 고탄소(SSP5-8.5) 시나리오에서 부어성 어종의 생산량은 2020년대와 2040년대 초중반과 중후반에 각각 4만 ton 부근까지 모두 높게 나타났고, 이후 3만 ton 중반대에서 일부 증감을 반복하였다.

Fig. 7은 기후변화 시나리오 예측 기간 동안의 표층수온 및 표층염분과 진해만의 부어성 어종 6종에 대한 연간 생산량 변동을 함께 나타내고 있다. 연도별 변동을 보면, 표층수온과 생산량은 대체로 정(+)의 관계를 나타내며 변동하고 있다. Fig. 8의 각 변동요인에 대한 어종별 월별 생산량 예측값

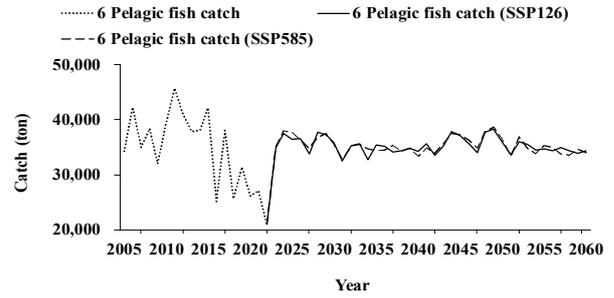


Fig. 6. Annual changes of 6 pelagic fish catch in Jinhae Bay during 2005-2060 (Dotted line: historical data; Straight line: SSP1-2.6 scenario; Dashed line: SSP5-8.5 scenario).

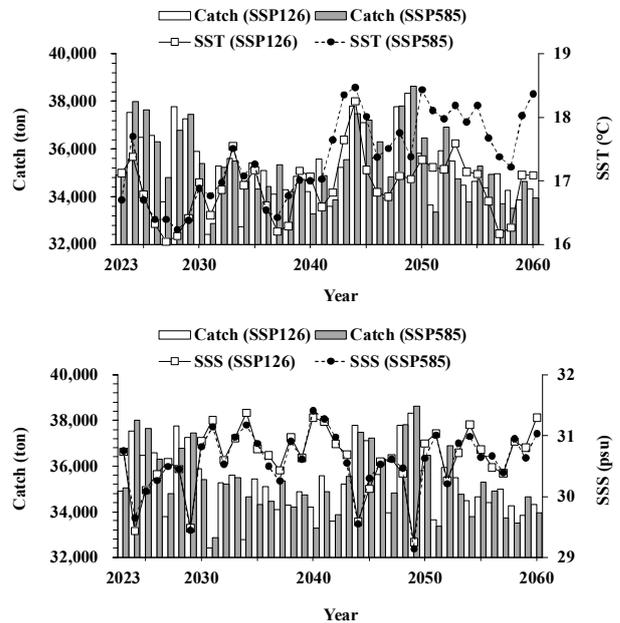


Fig. 7. Inter-annual changes of six pelagic fish catch and climate change factor (SST, SSS) in Jinhae Bay during 2023-2060.

분포를 보면, 서식수는 범위가 넓고 난류성 기후조성을 가지는 고등어와 멸치는 비교적 더 높은 수온 구간 측으로 생산량이 분포하고 있다. Eom et al.(2015b)의 연구에서는 진해만 외해 기선권현망 멸치 CPUE와 표층수온 간에는 유의한 정(+)의 관계가 분석된 바 있다.

반면, Fig. 7에서 표층염분과 연간 예측 생산량은 부(-)의 관계를 가지는 것으로 보이는데, 저염분수 시기에 표층수온이 감소보다는 상승 경향을 나타내어 연간 생산량 자체는 높게 나타나는 것으로 추정된다. Fig. 8의 표층염분과 어종별 월별 예측 생산량 분포를 보면, 32 psu 부근에서는 생산량이 불안정하지만 30-31 psu 부근부터는 삼치를 제외하고 대체로 수평 분포를 나타내어 표층염분이 감소하더라도 표층수

## 진해만의 수산생산량과 해양생태계 지표의 장기 변동 및 기후변화 요인 분석

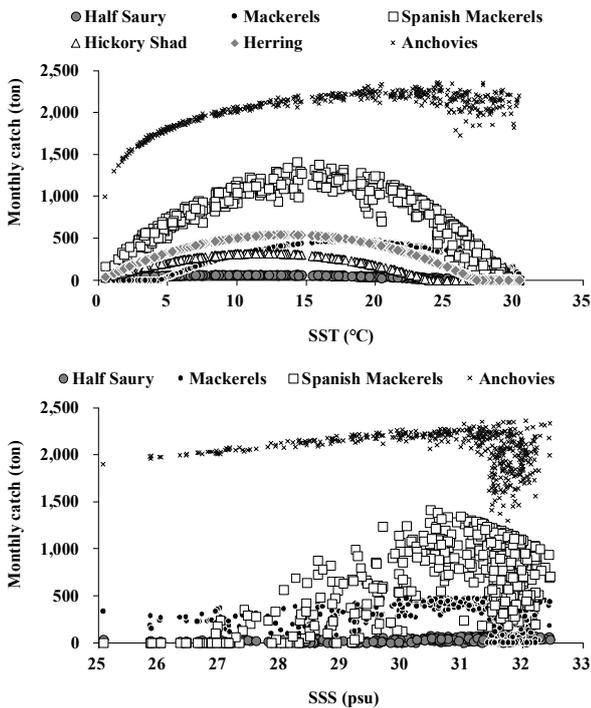


Fig. 8. Estimated monthly catch data distributions of six pelagic fish on regression variables during 2023-2060 (based on SSP1-2.6).

온이 생산량 상승에 미치는 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

한편, 2040년 이후 고탄소 시나리오에서는 표층수온이 더 높아지고 편차도 커지며, 일부 고염분 시기를 제외하고 저탄소 시나리오보다 생산량이 대체로 더 높게 나타났다.

### 4. 결론

본 연구는 진해만 연안 5개 시군구의 수산물계통판매품과 자료와 ARIMA모형을 이용한 단기 변동 추세를 통하여 수산생산량의 시계열 변동을 살펴보고왔다. 그 결과, 고성지역은 수산생산량이 지속적으로 감소 추세에 놓여있고, 연안환경 변화에 더 취약할 수 있는 패류 중심의 어업구조를 가지는 것으로 확인되었다. 또한, 폐기량 산정을 통하여 통영지역의 부산물 발생량이 계속해서 많은 상태인 것을 확인하였다.

해양생태계 지표 분석에서는 마산지역이 삼치를 포함한 대형 어류의 비중이 높아 평균영양단계도 높았지만, 연대별로 크게 감소하였고 단기적인 변동 추세도 더 감소할 것으로 추정되었다. 한편, 통영지역만이 대형 어류 생산 비중이 회복되고, 어업균형지수도 0 이상을 유지하여 생태계 먹이사슬이 안정적인 것으로 추정되었다.

IPCC의 SSP 기후변화 시나리오에 따른 진해만의 부어성

어종 6종의 수산생산량 변동 분석 결과에서는 2020년대 초반 2만 ton 부근까지 급감했던 생산량이 이후 3만 ton 중반대까지 단기적으로 빠른 회복 추세를 보였다. 이는 과거 표층수온 시계열과 비교할 때, 기후변화 시나리오에서 진해만 연안의 표층수온은 부어성 어종의 생산량과 정(+)의 관계가 나타나는 구간에 위치하고, 표층염분도 저염분수 구간에서는 생산량 변동이 크지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 2040년대 이후 고탄소 시나리오에서는 표층수온이 조금 더 높아져 연간 생산량이 부분적으로 더 높게 나타났다.

한편, 본 연구는 지구별 수협 어업생산자료를 사용하였고, 해면어업생산물과 양식어업생산물이 명확하게 구분되지 않았다는 점이 한계점으로 남는다. 또한, 수산생산량은 어업생산 결과로 발생한 산출값이므로 경제적·기술적 생산성으로서 측정되기 위해서는 어획노력량(Fishing effort) 등의 자료와 함께 비교되어야 할 것이다. 기후변화 시나리오에 따른 요인 분석의 경우, 자원의 잉여생산, 어획노력량, 금어기 외 수질환경 변화 등과 같이 다양한 요인을 더 고려해야 했지만, 진해만이라는 지역적 통계와 기존 예측 모델이 제공하는 자료제약이 있었다.

그럼에도 불구하고, 본 연구는 진해만 연안 해역의 수산생산량 변동 추이를 살펴보고 이를 해양생태계 내 영양단계 구조 관점에서 해석한 점과 기후변화 시나리오를 고려하여 장기 변동 추세를 확인했다는 점에서 기존 연구와 차이가 있다고 판단된다. 이를 바탕으로 진해만 수산생산성을 해양생태계 및 기후변화 관점에서 접근한 기초연구자료로서 활용되기를 바란다.

### 사 사

이 논문은 국립부경대학교 자율창의학술연구비(2023년: 202307710001)에 의해 연구되었음.

### References

- [1] Eom, K. H., H. S. Kim, I. S. Han, and D. H. Kim(2015a), An Analysis of Changes in Catch Amount of Offshore and Coastal Fisheries by Climate Change in Korea, The Journal of Fisheries Business Administration, Vol. 46, No. 2, pp. 31-41.
- [2] Eom, K. H., H. S. Kim, I. S. Han, and D. H. Kim(2015b), Analyzing the Relationship between Climate Change and Anchovy Catch using a Cointegration Test, The Journal of Korea Society for Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 27, No. 6, pp. 1745-1754.
- [3] Kang, M. H. and I. C. Lee(2010), Annual Variations in

- Fisheries Productivity Index in Jinhae Bay, Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol. 43, No. 5, pp. 547-550.
- [4] Kim, B. T., H. K. Eom, J. S. Lee, H. J. Park, and K. H. Yook(2015), A Study on the Relationship Between the Catch of Coastal Fisheries and Climate Change Elements using Spatial Panel Model, The Journal of Fisheries Business Administration, Vol. 46, No. 3, pp. 63-72.
- [5] Kim, B. T.(2023), Analysis of Climate Change Damage to Coastal Fisheries of Korea - Using the SSP Scenarios -, Ocean Policy Research, Vol. 38, No. 1, pp. 131-151.
- [6] Kim, J. Y., Y. S. Kim, and H. Y. Kim(2021), Population Variation of Spanish Mackerel (*Scomberomorus niphonius*) according to Its Major Prey Abundance in Southern and Eastern Coastal Waters of Korea, Journal of Environmental Science International, Vol. 30, No. 10, pp. 811-820.
- [7] Korea Meteorological Administration(2024), National Climate Change Standard Scenario Data (2021-2060). Climate Information Portal. Daejeon, Korea. <https://www.climate.go.kr/>.
- [8] Lee, M. O., J. K. Kim, B. K. Kim, and M. W. Kim(2020), Past, Present, and Future Directions in the Study of Jinhae Bay, Korea, Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, Vol. 23, No. 2, pp. 57-69.
- [9] Lee, J. H., Y. I. Seo, S. C. Yoon, H. J. Kang, J. H. Choi, M. J. Choi, and J. W. Kim(2023), A study on the variation of the Korean marine ecosystem through biodiversity attributes, Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology, Vol. 59, No. 4, pp. 315-327.
- [10] Ministry of Oceans and Fisheries(2023), Annual statistics on sea surface temperature and salinity (2005-2022). Marine Environmental Information Portal System of Ministry of Oceans and Fisheries. Sejong, Korea. <https://www.meis.go.kr/>.
- [11] National Federation of Fisheries Cooperatives(2023), Annual statistics on cooperative sales of fishery products (2005-2022). Fisheries Information Portal System of Ministry of Oceans and Fisheries. Sejong, Korea. <https://www.fips.go.kr/>.
- [12] Nam, J. O., C. H. Park, Y. M. Shin, B. T. Kim, H. D. Lee, J. G. Son, O. M. Kwon, M. H. Lee, and M. K. Jeong(2023), Comparative Forecasting of Key Fisheries Related Indicators in Gyeongnam and Jeonnam, The Journal of Korea Society for Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 35, No. 5, pp. 905-918.
- [13] National Institute of Fisheries Science(2022), Report of Oxygen Deficient Water Mass in Jinhae Bay (2016-2022). National Institute of Fisheries Science. Gijang, Korea.
- [14] National Rural Development Administration(2023), Tenth Revision Korean Food Composition Database. National Rural Development Administration. Wanju, Korea.
- [15] Pauly, D., V. Christensen, and C. Walters(2000), Ecopath, Ecosim, and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries, ICES journal of Marine Science, Vol. 57, No. 3, pp. 697-706.
- [16] Pauly, D., V. Christensen, S. Gu'ennette, T. J. Pitcher, U. R. Sumaila, C. J. Walters, R. Watson, and D. Zeller(2002), Towards sustainability in world fisheries, Nature, 418, pp. 689-694.
- [17] Rahman, S. M. and C. I. Lee(2012), Long Term Changes Pattern in Marine Ecosystem of Korea Waters, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 18, No. 3, pp. 193-198.
- [18] Ryu, S. H., S. H. Jin, and I. C. Lee(2018), Analysis of Annual Variation of Water Quality and Fisheries Productions in Jinhae Bay, Korea, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 30, No. 4, pp. 1215-1222.
- [19] Sun, L., H. Liu, Y. Gao, Z. Jiang, F. Lin, L. Chang, and Y. Zhang(2020), Food web structure and ecosystem attributes of integrated multi-trophic aquaculture waters in Sanggou Bay, Aquaculture Reports, 16, 100279.

---

Received : 2024. 04. 22.

Revised : 2024. 06. 11.

Accepted : 2024. 06. 27.