

SSP 시나리오별 굴 양식 생산량 예측력 비교

정민경¹ · 남종오*

¹부경대학교 일반대학원 자원환경경제학과 박사과정, *부경대학교 수산과학대학
해양수산경영경제학부 교수

A Comparison of Predictive Power among SSP Scenarios of Oyster Aquaculture Production

Min-Gyeong Jeong¹ and Jong-Oh Nam*

¹Graduate Student, Department of Resource and Environmental Economics, Graduate School,
Pukyong National University Busan 48513, Rep. of Korea

*Professor, Division of Marine & Fisheries Business and Economics, College of Fisheries Sciences,
Pukyong National University, Busan, 48513, Rep. of Korea

Abstract

Climate change is a major global problem. Oysters, one of the most representative farmed fish in Korea, are attracting attention as candidates for blue carbon, an alternative to carbon neutrality. This study is analyzed by the SSP scenarios to determine the impact of oyster aquaculture production according to climate change. Based on the analysis, future productions of oysters are predicted by the SSP scenario. Significant differences by the SSP scenario are confirmed through predictive power tests among scenarios. Regression analysis was conducted from January 2001 to December 2014. As a result of the analysis, water temperature, water temperature quadratic term, salinity, salinity quadratic term, and month \times water temperature cross term were estimated as significant variables. Oyster production which is predicted by the SSP scenario based on the significant variables from 2015 to 2022 was compared with actual production. The model with the highest predictive power was selected by RMSE and MAPE criteria. The predictive power was compared with the MDM test to determine which model was superior. As a result, based on RMSE and MAPE, the SSP1-2.6 scenario was selected as the best model and the SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP3-7.0 scenarios all showed the same predictive power based on the MDM test. In conclusion, this study predicted oyster aquaculture production by 2030, not the distant future, due to the short duration of the analytical model. This study was found that oyster aquaculture production increased in all scenarios and there was no significant difference in predictive power by the SSP scenario.

Keywords : Oyster, SSP Scenarios, Water, Climate Change, Predictive Power

Received 27 February 2023 / Received in revised form 27 March 2023 / Accepted 28 March 2023

*Corresponding author : <https://orcid.org/0000-0002-2349-9225>, +82-51-629-5317, namjo1234@pknu.ac.kr

¹ <https://orcid.org/0000-0002-4912-1319>

© 2023, The Korean Society of Fisheries Business Administration

I. 서 론

기후변화는 전 세계에서 주목하고 있는 이슈이다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021)는 1980년대 이후 이상 고수온의 발생 빈도가 약 2배 이상 증가하였으며, SSP(Shared Socio-economic Pathway) 시나리오를 통해 21세기 동안 해양온난화가 현재보다 2~8배 빠르게 진행될 것으로 보고하였다.

한국 연근해는 연평균 표층수온 상승률이 전 지구 평균에 비해 약 2.5배 이상 높고 어업면적 대비 높은 어획강도로 인해 취약성이 매우 높은 해역이다(국립수산과학원, 2022). 특히 최근 증가하고 있는 이상기후에 의한 고수온, 저수온, 적도, 빈산소수괴 등으로 어업재해에 의한 양식수산물의 피해가 빈번히 발생하고 있다. 양식생산량이 어업생산량을 추월하여 천해양식업의 비중이 증가하고 있는 상황에서 기후변화로 인한 생산성과 양식순기의 변화는 수산업에 직간접적 영향을 미칠 것으로 파악된다.

기후변화에 따른 수온 상승의 영향으로 우리나라 양식수산물의 대표 품종인 굴은 산란주기 변동, 산란량 변화, 비만도 저하, 패각 특성 변화 등의 현상이 나타나고 있다(국립수산과학원, 2019). 굴의 양식은 해양의 영양성분과 해양환경상태에 따라서 생산량이 변화하며 구체적으로 가뭄, 수온, 장마 등의 자연 및 환경적 요인의 변화가 굴 작황 및 생산량에 영향을 줄 수 있다(한국농촌경제연구원, 1988). 참굴의 발생 및 성육에 적합한 수온은 20~26°C로 수온에 대한 적응력이 강하다(국립수산과학원, 2016). 염분의 변화가 성육에는 거의 지장이 없으나, 염분이 너무 높거나 낮은 경우에는 난의 발생이 정지될 수 있다(국립수산과학원, 2016). 또한 1998년 참굴의 생식주기 보고와 비교해 볼 때, 최근의 생식주기는 5~10월로 생식소 활성화 및 산란시기가 앞뒤 2개월씩 연장된 것으로 나타났다(국립수산과학원, 2016).

본 연구는 사회경제 변화를 기준으로 기후변화에 대한 미래의 완화와 적응 능력에 따라 달라지는 기후변화 시나리오를 바탕으로 굴 양식 생산량의 영향을 분석하고자 한다. 구체적으로 본 연구는 미래 굴 생산량을 예측하고 시나리오 간의 예측력 검정을 통하여 시나리오에 유의미한 차이가 있는지를 확인해 보고자 한다. 이를 통해 기후변화 시나리오에 따라 달라지는 정책을 활용하기 위해서는 굴의 양식에서 어떤 시나리오에 맞는 정책이 가장 적합한지 보고자 한다.

기후변화와 시나리오를 이용하여 그 영향력을 분석하는 선행연구는 꾸준히 발전해 왔다. 우선, 기후변화 관련 선행연구로 김봉태 외(2015)는 기후변화에 취약할 것으로 예측되는 연안어업의 기후요소와 어획량과의 관계를 공간패널모형을 이용하여 분석하였다. 분석 결과, 상층부 수온과 염분은 연안어업 생산량에 큰 영향을 미치지 않지만, 하층부 수온과 염분은 연안어업 생산량과 인접 지역의 생산량에 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 엄기혁 외(2015)는 수온과 연근해 어업생산량 간의 영향 관계를 분석하여 수온이 상승할수록 CPUE(Catch Per Unit Effort)가 감소한다는 결과를 제시하였다. 박영진(2020)은 리카디언 분석법을 활용하여 기후변화가 양식어류 중 조피볼락과 감성돔에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 두 어종에서는 수온의 영향력이 가장 높고, 고수온에 취약한 어종이 저수온에 취약한 어종에 비해 수온에 더욱 민감한 것으로 나타났다. 김태형 외(2021)는 기후변화가 마로해의 김 양식에 미치는 영향을 분석하여 수온이 김 생산량에 음의 영향을 미치며, 김 생산량 증감을 결정하는 핵심요인임을 확인하였다.

다음으로, SSP 시나리오와 관련된 선행연구로 김봉태 외(2016)는 RCP(Representative Concentration

Pathways) 시나리오에 따른 남해안 어업 및 어종의 기후변화 노출도를 분석하였다. 분석 결과, 기후변화 저감 노력이 단기적으로도 매우 중요하고, 업종으로는 기선권현망과 연안자망이, 어종으로는 대구, 멸치, 오징어 등이 기후변화의 영향을 많이 받거나 취약할 가능성이 높은 것으로 나타났다. 김봉태 외(2018)는 RCP 시나리오를 이용하여 남해안의 연근해어업을 대상으로 기후변화 취약성을 평가해 본 결과, 연안어업이 기후변화에 대해 취약성이 높은 것으로 나타났다. 심정보 외(2021)는 지구시스템모델의 극한기후 모의 성능을 평가하고, SSP 시나리오를 기반으로 동아시아 극한기후 지수를 산출하여 미래 변화를 분석하였다. 그 결과, SSP 시나리오에서는 21세기 후반 동안 온난 극단의 강도와 빈도는 증가했지만, 저온 극단의 규모와 횟수는 크게 감소한 것을 확인하였다. 안송희(2022)는 SSP 시나리오에 의한 미래 기후자료를 이용하여 우리나라의 미래 가뭄을 분석하였고 그 결과, 가뭄지수인 SPI(Standardized Precipitation Index)는 미래로 갈수록 증가한 반면, RDI(Reservoir Drought Index)는 감소함을 제시하였다.

선행연구에서 볼 수 있듯이, 자연환경에 크게 의존하는 수산업은 기후변화에 크게 영향을 받을 수밖에 없어 이와 관련된 연구는 꾸준히 진행되었다. 그러나 어류나 해조류에 국한된 연구가 대부분으로 패류에 대해 분석한 연구와 기후변화 시나리오의 예측력을 비교하는 연구는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 기존 선행연구에서 분석하지 않은 기후요소가 굴 양식 생산량에 미치는 영향력과 미래 생산량을 예측하고, 기후변화 시나리오별 굴 생산 예측력을 검정해 보고자 한다.

본 연구의 구성으로, II장에서는 분석에 이용된 예측 모형과 예측 검정에 관한 분석 방법을 살펴본다. III장에서는 분석에 이용된 기초 자료를 분석하고 시나리오별로 예측력을 검정하고, 2030년 굴 생산량을 예측한다. 그리고 IV장 결론에서는 본 연구의 결과를 요약하고, 분석 함의를 제시한다.

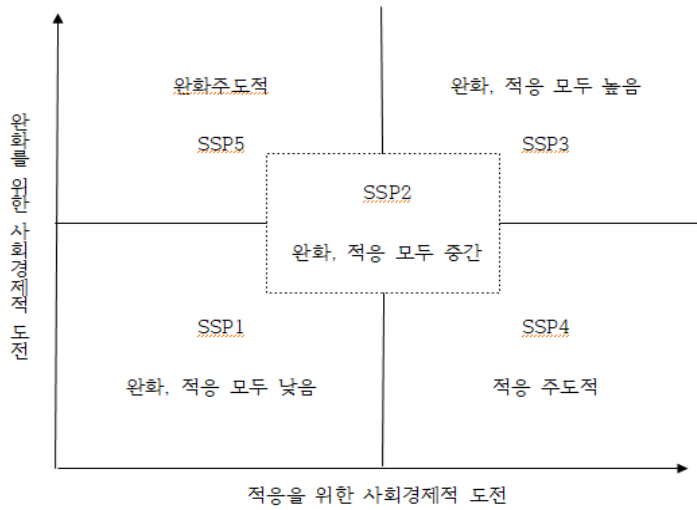
II. 분석 방법

1. 기후변화 시나리오

기후변화 시나리오는 온실가스, 에어로졸, 토지이용 변화 등 인위적인 원인으로 발생한 복사강제력 변화를 지구시스템 모델에 적용하여 산출한 미래 기후 전망정보이다(기후정보포털, 2022). 1990년 IPCC의 첫 번째 평가보고서에서 사용된 SA90(Scientific Assessment 90) 시나리오를 시작으로 SRES(Special Report on Emission Scenario), RCP 시나리오를 개발하여 2100년까지의 온실가스 및 복사강제력을 기후변화 대응정책과 연계하여 네 가지 경로로 나누었다.

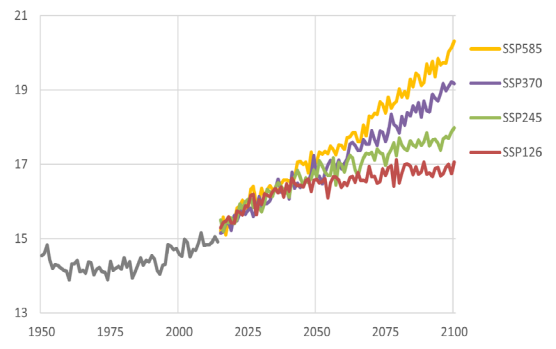
가장 최근의 IPCC 6차 평가보고서를 위해 발표된 SSP 시나리오는 2100년 기준 복사강제력 강도와 함께 미래 사회경제 변화를 기준으로 한다. SSP 시나리오는 기후변화에 대한 미래의 완화와 적응 능력에 따라 5개의 시나리오로 구별되며, 인구통계, 경제발달, 복지, 생태계 요소, 자원, 제도, 기술발달, 사회적 인자, 정책을 고려하였다(O'Neill et al., 2014).

사회경제지표를 나타내는 첫 번째 숫자는 사회발전과 온실가스 감축 정도에 따라 구별되며, 두 번째 숫자는 RCP 시나리오와 같이 2100년 기준의 복사강제력을 나타낸다(기후정보포털, 2022). SSP1-2.6은 재생에너지 기술발달로 화석연료 사용이 최소화되고 친환경적으로 지속 가능한 경제성장을 이룰 것으로 가정하며, SSP2-4.5는 기후변화 완화 및 사회경제 발전 정도가 중간단계를 가정한다



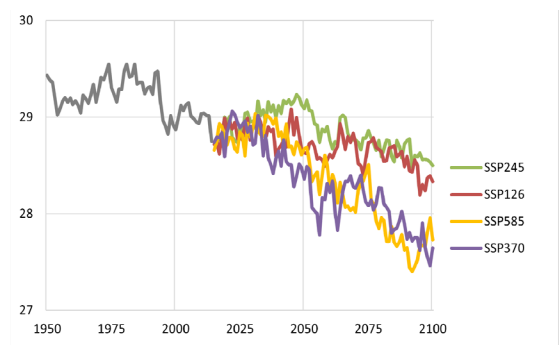
자료: O'Neill et al.(2014)

<그림 1> SSP 시나리오의 구성과 내용



<SSP 시나리오별 수온 예측값>

자료: 기후정보포털



<SSP 시나리오별 염분 예측값>

<그림 2> SSP 시나리오별 수온 및 염분 예측값

(기후정보포털, 2022). SSP3-7.0은 기후변화 완화 정책에 소극적이며 기술개발이 늦어 기후변화에 취약한 사회구조를 가정하며, SSP5-8.5는 산업기술의 빠른 발전에 중심을 두어 화석연료 사용이 높고 도시 위주의 무분별한 개발이 확대될 것으로 가정한다(기후정보포털, 2022).

SSP 시나리오에 따르면 2015~2100년 동안 전라남도과 경상남도의 수온 및 염분 예측값은 <그림 2>와 같다. 수온의 경우 모든 시나리오에서 상승세를 보이며, 2050년 이후 점차 격차가 벌어져 SSP1-2.6 시나리오는 2100년까지 약 1~2°C 상승하며, SSP5-8.5 시나리오는 약 5~6°C 상승하는 것으로 나타났다. 염분의 경우 모든 시나리오에서 하락세를 보이는데, SSP1-2.6 시나리오는 2100년까지 약 1~1.5psu 하락하며, SSP5-8.5 시나리오는 약 1.5~2psu 하락하는 것으로 나타났다.

2. 회귀분석

단순선형회귀모형(Simple Linear Regression Model)은 하나의 종속변수와 하나의 설명변수가 있는 선형회귀모형이다(남준우 외, 2002). 일반최소제곱법(OLS; Ordinary Least Squares)은 가장 많이 쓰이는 추정방법으로 잔차 제곱합을 최소화시키는 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$ 을 선택하는 방법이다. 다음과 같은 조건이 만족되면 최소제곱법에 의해 얻어진 추정량은 최량선형불편추정량(BLUE; Best Linear Unbiased Estimator)이 된다. 첫째, 실제 모형과 추정 모형은 선형이다. 둘째, 오차항의 조건부 기댓값은 0이다. 셋째, 오차항의 조건부 분산은 모두 동일하다. 넷째, 오차항은 서로 독립이다(남준우 외, 2002).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i \quad (1)$$

여기서, y_i 는 종속변수, x_i 는 설명변수, β_0, β_1 은 모수, e_i 는 오차항을 의미한다.

다중선형회귀모형(Multiple Linear Regression Model)은 하나의 종속변수와 여러 개의 설명변수가 있는 선형회귀모형으로 단순선형회귀모형과 동일한 가정을 가지며, 설명변수 사이의 상관관계가 높지 않아야 한다(남준우 외, 2002).

$$\begin{aligned} \text{굴 생산량} = & \beta_0 + \beta_1 \text{수온} + \beta_2 \text{수온}^2 + \beta_3 \text{염분} + \beta_4 \text{염분}^2 + \beta_5 \text{강수량} + \\ & \beta_6 \text{생산지역} + \beta_7 \text{양식면적} + \beta_8 \text{년도} + \beta_9 \text{월} + \beta_{10} \text{월} * \text{수온} + e_i \end{aligned} \quad (2)$$

3. 예측력 평가

본 연구에서는 예측력을 평가하기 위해 추정된 모형으로부터 예측된 생산량과 실제 생산량을 비교한다. 오차가 서로 상쇄되는 것을 방지하기 위해 오차를 제곱하거나 절댓값으로 변환하여 사용한다(Diebold, 1997). 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error), 평균절대퍼센트오차MAPE(Mean Absolute Percent Error)를 이용하여 그 값이 0에 가까울수록 예측력이 우수한 것으로 평가된다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - f_t)^2} \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{f_t - y_t}{y_t} \right| \times 100 \quad (4)$$

여기서, T 는 예측치의 수, y_t 는 실제치, f_t 는 예측치를 의미한다.

4. MDM 검정

Diebold and Mariano(1995)에 의해 개발된 DM(Diebold and Mariano) 검정은 모형 간 예측 정확도를 비교하기 위해 사용된다. RMSE, MAPE 등을 활용하면 예측력이 우수한 모형을 식별할 수 있지만, 예측력을 비교할 수 없는 단순 오차의 크기를 나타내기 때문에 모형간 예측 정확도를 비교하기 위해

서는 DM 검정을 사용해야 한다.

귀무가설은 두 모형의 예측 정확도가 동일하다는 것이고, 대립가설은 한 모형이 다른 모형보다 더 정확하다는 것이다. DM 검정을 수행하기 위해 예측력이 우수한 모형을 선정 후, 기준 모형으로 설정하여 비교모형과의 예측오차 차이를 이용하여 모형 간 예측력의 통계적인 차이가 존재하는지를 파악한다.

$$H_0 : E[d_t] = 0 \tag{5}$$

$$H_1 : E[d_t] > 0$$

DM 검정의 검정통계량은 식 (10)과 같다.

$$DM = \left[\frac{1}{V(\widehat{d})} \right]^{\frac{1}{2}} \times \bar{d} \tag{6}$$

$$V(\widehat{d}) = (1/T) \left[\widehat{\gamma}(0) + (2/t) \sum_{k=1}^{h-1} (T-k) \widehat{\gamma}(k) \right] \tag{7}$$

여기서, $V(\widehat{d})$ 는 \bar{d} 의 분산을 나타내고, \bar{d} 는 예측오차 차이의 평균, $\widehat{\gamma}_k$ 는 k기 시차 간의 자기공분산을 의미한다. 본 연구는 표본 외 예측구간이 길지 않아 소표본의 문제가 발생하므로 Harvey et al.(1997)이 제시한 Modified DM 검정을 사용하였다.

$$E(V(\widehat{d})) \sim V(\bar{d}) [T+1-2h+h(h-1)/T] / T \tag{8}$$

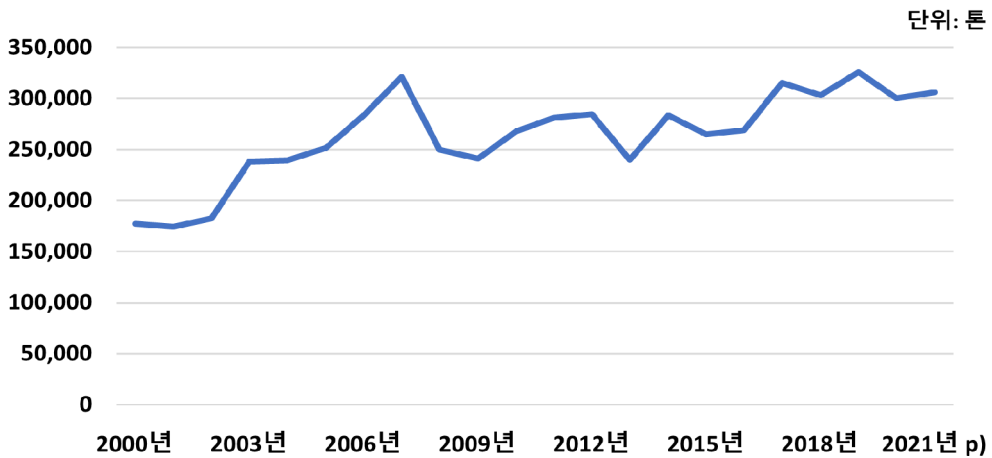
$$MDM = DM / \left[[T+1-2h+h(h-1)/T] / T \right]^{\frac{1}{2}} \tag{9}$$

MDM(Modified Diebold and Mariano) 통계량은 (n-1)의 자유도를 가지는 t-분포를 따르는 단측 검정이므로 t-분포의 임계치를 이용하여 기각 여부를 결정한다.

III. 분석 결과

1. 자료 분석

우리나라는 기상청에서 주관하는 기후정보포털에서 기후변화 시나리오를 제공하고 있다. 1850년부터 2014년까지 과거를 재현하여 2015년부터 2100년까지의 미래를 전망하고, 기온, 강수량, 상대습도, 풍속, 해수면온도, 해수면고도, 해빙면적, 표층염분의 정보를 제공한다. 본 연구에서는 굴 양식생산량이 많은 전라남도과 경상남도로 한정하여 SSP 시나리오별 생산량 예측력을 비교하였다. 또한 2030년의 생산량을 예측하기 위해 설명변수로 기후정보포털에서 제공하는 기후변수 중 굴 양식생산량에 영향을 주는 것으로 예상되는 수온과 염분, 강수량을 선택하였으며, 그 외 변수로 양식면적을 선택하였



자료: 국가통계포털(<https://kosis.kr/index/index.do>), 어업생산동향조사

<그림 3> 연간 우리나라 굴 생산량(2000~2022)

<표 1> 분석 자료 기초 통계량(n=336)

변수	평균	표준오차	최솟값	최댓값
전남과 경남의 월별 굴 생산량(톤)	10,120.21	13,588.07	0	70,762.00
수온(°C)	15.08	4.66	6.56	23.50
염분(psu)	29.01	2.15	25.26	32.19
강수량(mm)	32.38	16.59	10.26	87.73
굴 양식면적(ha)	3,261.47	350.10	2,806.00	3,712.00

자료: 국가통계포털 어업생산동향조사(2022); 국가통계포털 천해양식어업권통계(2022); 기상청기후정보포털(2022)

다. 종속변수인 굴 생산량은 국가통계포털의 어업생산동향조사를 참고하였으며, 기후변수인 수온, 염분, 강수량은 기상청의 기후정보포털, 양식면적은 국가통계포털의 천해양식어업권통계를 참고하였다. 양식면적 자료의 한계로 2001년 1월부터 2014년 12월까지 336개 자료를 이용하여 예측 모형을 설정하였으며, 2015년 1월부터 2022년 12월까지의 시나리오별 기후변수를 토대로 생산량을 예측한 후 이를 실제 생산량과 비교하였다. 이후 2030년 1월부터 12월의 자료로 SSP 시나리오별 2030년의 굴 양식생산량을 예측하였다.

분석기간 동안 굴 양식의 월별 평균 생산량은 10,120.21톤이며, 산란기인 5~9월은 생산량이 없는 경우도 있어 최솟값은 0톤, 최댓값은 70,762.00톤이다. 전남과 경남 지역의 평균 수온은 15.08°C, 평균 염분은 29.01psu, 평균 강수량은 32.38mm, 평균 양식면적은 3,261.47ha로 분석되었다(국가통계포털 어업생산동향조사(2022); 국가통계포털 천해양식어업권통계(2022); 기상청 기후정보포털(2022)).

2. 회귀분석 결과

예측 모형을 설정하기 위한 회귀모형의 분석 결과는 <표 2>와 같다. 수온과 염분의 경우 2차 항을 포함해 굴 생산량과의 비선형관계를 살펴보고, 생산지역, 연도, 월 더미변수와 월별 수온이 굴 생산량

<표 2> 굴 회귀분석 결과

변수	계수	표준오차	t-통계량	유의수준
상수항	-275326.20	156430.40	-1.76	0.079*
수온	-23479.02	8893.85	-2.64	0.009***
수온2	1233.13	431.78	2.86	0.005***
염분	24537.16	11500.18	2.13	0.034**
염분2	-350.05	203.17	-1.72	0.086*
강수량	-20.72	27.57	-0.75	0.453
생산지역				
경상남도	-865.57	7403.30	-0.12	0.907
양식면적	-5.38	10.12	-0.53	0.596
연도				
2002	-1358.98	1682.26	-0.81	0.420
2003	1402.15	1967.09	0.71	0.477
2004	2282.51	1402.11	1.63	0.105
2005	2345.18	1418.55	1.65	0.099*
2006	3928.71	1351.68	2.91	0.004***
2007	5116.37	1540.56	3.32	0.001***
2008	1127.74	1555.06	0.73	0.469
2009	2016.68	1552.66	1.3	0.195
2010	2730.27	1750.48	1.56	0.120
2011	3040.97	1831.76	1.66	0.098*
2012	3200.50	1901.26	1.68	0.093*
2013	-82.66	1758.20	-0.05	0.963
2014	4354.77	1926.65	2.26	0.025**
월				
2	-31806.26	13538.31	-2.35	0.019**
3	-38558.68	14650.50	-2.63	0.009***
4	-18035.77	10878.23	-1.66	0.098*
5	107141.20	36744.68	2.92	0.004***
6	96345.39	104171.70	0.92	0.356
7	256131.10	130510.40	1.96	0.051*
8	348430.90	165673.20	2.1	0.036**
9	279768.10	147050.10	1.9	0.058*
10	292733.30	118052.30	2.48	0.014**
11	2451.01	66883.34	0.04	0.971
12	31763.84	26474.52	1.2	0.231
월*수온				
2	3038.88	1443.44	2.11	0.036**
3	3971.83	1604.91	2.47	0.014**
4	1041.71	1019.63	1.02	0.308
5	-9999.55	2904.47	-3.44	0.001***
6	-10508.45	7111.97	-1.48	0.141
7	-20138.38	8531.70	-2.36	0.019**
8	-25009.66	10206.51	-2.45	0.015**
9	-21499.59	9317.61	-2.31	0.022**
10	-21389.91	7815.56	-2.74	0.007***
11	-2566.24	5009.48	-0.51	0.609
12	-2944.78	2249.05	-1.31	0.191

주1: *, **, *** 표시는 각기 10%, 5%, 1% 유의수준에서 귀무가설이 기각됨을 의미함

에 미치는 영향을 분석하기 위한 수온과 월별 더미변수를 곱한 교차항을 분석에 추가하였다.

수온은 1차 항과 2차 항 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타나 수온이 1°C 증가하면 생산량이 감소하다 증가하는 U자형 관계가 성립하였다. 즉, 생산량이 최저가 되는 수준의 수온이 있었으며, 월*수온 교차항의 유의성에 따라 매월 다른 것으로 나타났는데, 그 수온은 7.9°C~19.7°C로 분석되었다. 염분도 1차 항과 2차 항 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타나, 수온과 달리 염분이 1psu 증가하면 생산량이 증가하다 감소하는 ∩자형 관계가 성립하는 것으로 분석되었다. 즉, 생산량이 최고가 되는 수준의 염분이 있었고, 그 수준의 염분은 35psu로 분석되었다. 강수량과 생산지역, 양식면적은 유의하지 않은 것으로 나타나 굴 생산량에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

3. 시나리오별 예측 결과

SSP 시나리오 사이의 예측력 차이를 비교하기 위해 회귀분석에서 유의한 변수인 수온, 수온², 염분, 염분², 월*수온의 계수와 시나리오의 수온, 염분 자료를 이용하여 2015년부터 2022년까지의 생산량을 예측하였다. 예측 결과, 실제 생산량과 예측 생산량 간의 차이가 가장 작게 나타난 시나리오는 2015년의 SSP5-8.5 시나리오이었으며, 가장 크게 나타난 시나리오는 2019년의 SSP3-7.0 시나리오로 분석되었다.

시나리오의 예측 생산량과 실제 생산량의 차이를 확인하기 위해 RMSE, MAPE 기준으로 분석하였

<표 3> 시나리오별 평균 수온 및 염분 예측

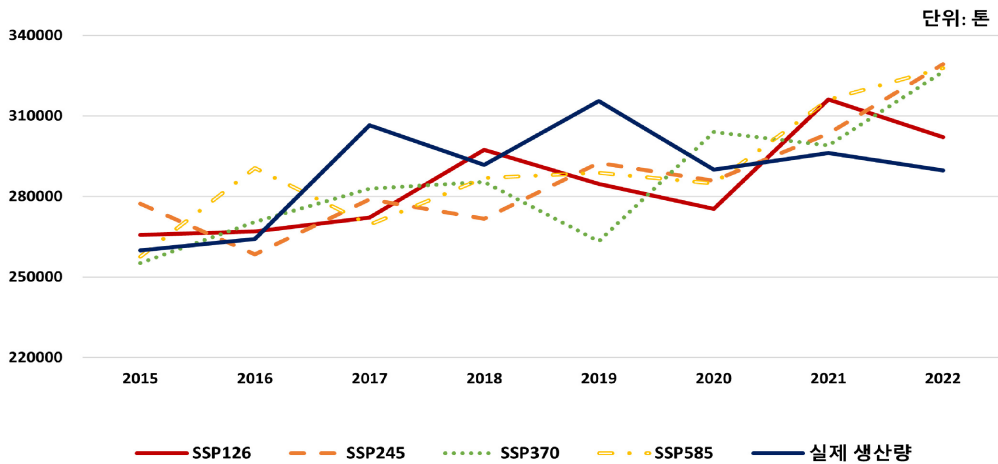
연도	평균 수온 예측(°C)				평균 염분 예측(psu)			
	ssp1-2.6	ssp2-4.5	ssp3-7.0	ssp5-8.5	ssp1-2.6	ssp2-4.5	ssp3-7.0	ssp5-8.5
2015	15.54	15.71	15.42	15.44	28.72	28.72	28.74	28.66
2016	15.64	15.41	15.43	15.78	28.76	28.78	28.79	28.76
2017	15.69	15.68	15.64	15.37	28.62	28.77	28.79	28.93
2018	15.83	15.64	15.67	15.75	28.82	28.75	28.84	28.90
2019	15.66	15.78	15.48	15.76	28.99	29.00	28.59	28.81
2020	15.63	15.64	15.83	15.67	28.86	28.95	28.84	28.71
2021	15.94	15.76	15.73	16.05	28.96	29.01	28.95	28.79
2022	15.91	16.18	15.93	16.11	28.88	28.79	29.06	28.78

자료: 기상청 기후정보포털(2022)

<표 4> 시나리오별 예측 결과

연도	실제 생산량 (톤)	예측 생산량(톤)			
		ssp1-2.6	ssp2-4.5	ssp3-7.0	ssp5-8.5
2015	259,872	(+) 265,686	(+) 277,338	(-) 255,171	(-) 257,506
2016	264,105	(+) 266,943	(-) 258,444	(+) 270,595	(+) 290,624
2017	306,594	(-) 272,074	(-) 278,938	(-) 282,935	(-) 269,479
2018	291,838	(+) 297,322	(-) 271,657	(-) 285,397	(-) 286,974
2019	315,628	(-) 284,640	(-) 292,520	(-) 263,237	(-) 288,793
2020	290,077	(-) 275,454	(-) 285,860	(+) 304,036	(-) 284,785
2021	296,209	(+) 316,125	(+) 303,472	(+) 299,028	(+) 316,103
2022	289,703	(+) 302,097	(+) 329,247	(+) 326,431	(+) 327,834

주1: (+)는 실제 생산량보다 예측 생산량이 높은 경우이며, (-)는 예측 생산량이 낮은 경우이다.



<그림 4> 시나리오 예측 결과

<표 5> 시나리오별 예측 생산량과 실제 생산량의 예측력 비교 분석 결과

시나리오	RMSE	MAPE
SSP1-2.6	19325.75*	5.29*
SSP2-4.5	21440.15	6.21
SSP3-7.0	24904.85	6.15
SSP5-8.5	24258.86	6.87

주: *은 각 검정방법에 의해 기준 시나리오로 선정된 시나리오를 의미함

고, 두 기준 모두 SSP1-2.6 시나리오의 예측력이 가장 높은 것으로 나타나 MDM 검정을 위한 기준 시나리오로 선정하였다.

검정 기준별로 예측력이 가장 높은 모형을 선정하는 것은 모형별로 예측력의 차이를 단순 비교한 것이다. 따라서 기준 모형과 비교모형의 예측력이 동일한 지를 검정하기 위해 MDM 검정을 시행하였다. 검정 결과, 기준 시나리오로 선정된 SSP1-2.6과 비교 시나리오인 SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5를 비교했을 때, SSP2-4.5와 SSP3-7.0은 예측력이 동일하다는 귀무가설을 기각하지 못하여 기준 시나리오와 비교 시나리오 간에 예측력이 동일한 것으로 나타났다. SSP5-8.5는 귀무가설을 기각하여 예측력이 동일하지 않은 것으로 나타났다. 즉, 굴 양식생산량 예측에서 SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 시나리오 사이에는 예측력의 차이가 없는 것으로 분석되었으며, 분석 시나리오 중 SSP5-8.5 시나리오의 예측력이 다른 시나리오에 비해 낮은 것으로 분석되었다. 이는 시나리오 특성상 먼 미래일수록 수온과 염분의 시나리오별 격차가 커지기 때문인 것으로 보여진다.

시나리오를 이용하여 2100년까지의 생산량을 예측할 수 있지만, 예측을 위한 분석 모형의 기간이 14년으로 자료 연한이 짧아 먼 미래를 예측하기 위해서는 다른 자료와 모형을 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 그러므로 가까운 미래인 2030년의 굴 양식 생산 변화량을 예측하였으며, 예측 결과, 모든 시나리오에서 생산량이 증가하고 유의수준도 1% 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 2030년 굴 생산량은 SSP1-2.6 시나리오에서 340,851톤, SSP2-4.5 시나리오에서 319,341톤, SSP3-7.0 시나리오에

<표 6> 예측력 비교를 위한 MDM 검정 결과

시나리오	S(1)	F-prob
SSP2-4.5	-0.7284	0.4664
SSP3-7.0	-1.557	0.1194
SSP5-8.5	-2.116	0.0343**

주1: MDM 검정의 귀무가설은 “두 모형 간 예측력이 동일하다.”임

주2: *, **, *** 표시는 각기 10%, 5%, 1% 유의수준에서 귀무가설이 기각됨을 의미함

<표 7> 2030년 시나리오별 평균 수온 및 염분 예측

월	평균 수온 예측(°C)				평균 염분 예측(psu)			
	ssp1-2.6	ssp2-4.5	ssp3-7.0	ssp5-8.5	ssp1-2.6	ssp2-4.5	ssp3-7.0	ssp5-8.5
1	11.60	11.73	11.53	12.02	29.16	29.18	29.18	29.23
2	9.65	9.87	9.72	10.23	29.37	29.41	29.24	29.42
3	9.78	9.78	10.19	10.59	29.58	29.71	29.33	29.67
4	11.72	11.46	11.95	12.14	29.62	29.77	29.27	29.67
5	14.60	14.68	14.90	15.01	29.42	29.61	29.19	29.51
6	18.06	18.42	18.26	18.58	29.12	29.17	29.02	29.18
7	21.10	21.42	21.15	21.85	28.59	28.43	28.32	28.39
8	23.16	23.40	23.25	23.80	27.94	28.00	27.72	27.79
9	22.53	22.10	22.17	22.80	28.02	28.27	27.85	27.87
10	19.96	19.32	19.46	20.01	28.36	28.45	28.20	28.29
11	17.37	16.18	16.68	17.12	28.67	28.65	28.41	28.66
12	14.15	13.07	13.77	14.25	29.13	28.89	28.79	29.08

자료: 기상청 기후정보포털(2022).

<표 8> 2030년 굴 생산 변화량 예측 결과

시나리오	계수	표준오차	t-통계량	유의수준
SSP1-2.6	97966.14	27576.56	3.55	0.000***
SSP2-4.5	76456.10	20569.24	3.72	0.000***
SSP3-7.0	73013.98	25470.78	2.87	0.004***
SSP5-8.5	129446.40	34805.49	3.72	0.000***

주1: *, **, *** 표시는 각기 10%, 5%, 1% 유의수준에서 귀무가설이 기각됨을 의미함

서 315,899톤, SSP5-8.5 시나리오에서 372,332톤으로 분석되었다.

IV. 결 론

본 연구는 2001년 1월부터 2014년 12월까지 전라남도과 경상남도의 굴 양식생산량과 양식면적, SSP 시나리오의 수온, 염분, 강수량 자료를 대상으로 예측 모형을 설정하였다. 설정된 예측 모형과 2015년 1월부터 2022년 12월까지 SSP 시나리오의 수온, 염분 자료를 사용하여 시나리오별로 예측 생산량을 계산하여 실제 생산량과 RMSE, MAPE를 기준으로 비교하였다. 그리고 가장 예측력이 뛰어난 시나리오를 기준 시나리오로 선정 후 MDM 검정을 통해 비교 시나리오와의 예측력을 평가하고 2030년 생산량을 예측하였다.

본 연구의 분석 결과를 요약하면, 첫째, 예측 모형을 설정하기 위해 굴 생산량 회귀분석을 시행하였고, 수온, 수온², 염분, 염분², 월*수온 교차항 변수가 유의적인 것으로 나타났다. 둘째, 유의한 변수의 SSP 시나리오 자료를 이용하여 2015년부터 2022년 생산량을 시나리오별로 예측한 후 실제 생산량을 이용하여 예측력을 검증하였다. 셋째, RMSE, MAPE 기준에서 예측 생산량과 실제 생산량의 오차가 가장 작은 모형을 기준 시나리오로 선정하고, MDM 검정을 통해 기준 시나리오와 비교 시나리오의 예측력이 동일한 지를 분석하였다. 분석 결과, 기준 시나리오인 SSP1-2.6과 비교 시나리오인 SSP2-4.5, SSP3-7.0은 예측력이 동일하다는 귀무가설을 기각하지 못하여 시나리오 간에 예측력이 동일한 것으로 나타났다. SSP5-8.5 시나리오는 귀무가설을 기각하여 예측력이 동일하지 않은 것으로 나타나 SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0은 예측력의 차이가 없으며, SSP5-8.5의 예측력이 가장 낮은 것으로 분석되었다. 마지막으로 2030년의 굴 생산량을 예측하여 SSP1-2.6 시나리오에서 340,851톤, SSP2-4.5 시나리오에서 319,341톤, SSP3-7.0 시나리오에서 315,899톤, SSP5-8.5 시나리오에서 372,332톤으로 나타나 생산량이 증가하는 것으로 분석되었다.

특히 본 연구는 기후요소와 SSP 시나리오를 이용하여 생산량 예측을 시행했다는 점에서 기존 연구와 유사하지만, 국내 연구에서 거의 하지 않았던 기후변화와 굴 생산량의 영향을 살펴보고 시나리오의 예측력 비교를 제시해 보았다는 점에서 차별화를 시도하였다. 수온과 염분에 의해 영향받는 굴 생산량은 미래에 증가하는 것으로 예측되며, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 시나리오에서 예측력에 유의미한 차이를 보여 주지 않는다. 따라서 굴 양식 생산량은 SSP 시나리오별로 정책과 행동의 변화가 통계적으로 미미한 의미를 가진다는 것을 알 수 있다. 이러한 분석 결과는 그 자체로 의미를 가지며, 향후 기후변화 시나리오를 활용하여 연구하는데 기초자료로서 의의를 가질 것이다. 그러나 예측 모형 설정 과정에서 변수의 한계로 14년이라는 짧은 기간을 사용하였다는 점과 생산량에 영향을 미칠 것으로 예상되는 용존산소 등과 같은 해양 변수 또는 사회경제적 변수를 고려하지 못한 점 등을 고려할 때 추후 종속변수와 인과성이 높은 변수를 발견한다면 미래 생산량에 대해 더 높은 예측력을 가진 모형의 분석이 가능할 것으로 기대된다. 또한 굴 양식 생산량 예측을 위한 최적의 모형을 개발하고 각 SSP 시나리오에 대한 생산량을 예측·전망하는 연구를 진행하고자 한다.

REFERENCES

- 국립수산과학원(2016), “참굴 양식 표준 매뉴얼”.
 _____(2019), “수산분야 기후변화 평가 백서”.
 _____(2022), “2022 수산분야 기후변화 영향 및 연구 보고서”.
 기상청(2021), “우리나라 109년 기후변화 분석 보고서”.
 김봉태·엄기혁·이준수·박혜진·육근형(2015), “공간패널모형을 이용한 연안어업 생산량과 기후변화 요소의 관계에 대한 연구”, 수산경영론집, 45(3), 63-72.
 김봉태·이준수·서영상(2016), “RCP 시나리오에 따른 남해안 어업 및 어종의 기후변화 노출분석: 수온변동을 대상으로”, 수산경영론집, 47(4), 31-44.
 _____(2018), “RCP 시나리오를 적용한 한국 연근해어업의 기후변화 취약성 평가 남해안지역을 대상으로”, Ocean and Polar Research, 40(1), 37-48.
 김태형·신종암·최상덕(2021), “기후변화가 마로해의 김 양식에 미치는 영향 및 대응방안”, 수산경영론집, 52(2), 55-67.

- 남준우 · 이한식 · 허인(2002), 계량경제학, 홍문사.
- 박영진(2020), “기후변화가 양식어류에 미치는 경제적 영향분석”, 박사학위논문, 건국대학교.
- 심성보 · 김지선 · 성현민 · 이재희 · 권상훈 · 선민아 · 하중철 · 변영화 · 김연희(2021), “SSP 시나리오에 따른 동아시아 극한기후 미래전망”, 한국기후변화학회지, 12(2), 143-162.
- 안송희(2022), “SSP 시나리오를 이용한 국내 미래 가뭄 특성 분석”, 석사학위논문, 인천대학교.
- 엄기혁 · 김홍식 · 한인성 · 김도훈(2015), “기후변화에 따른 한국 연근해 어업생산량 변화 분석”, 수산경영론집, 46(2), 31-41.
- 한국농촌경제연구원(1988), “수산재해에 따른 양식공제시험 사업 설계: 굴 수하식양식을 중심으로”.
- 국가통계포털(2022), “어업생산동향조사”, 접속: 2022.09.14.(<http://kosis.kr>).
- _____ (2022), “천해양식어업권통계”, 접속: 2022.09.14.(<http://kosis.kr>).
- 기상청 기후정보포털(2022), “기후변화 시나리오”, 접속: 2022.09.13.(<http://www.climate.go.kr>).
- 현대해양(2021), “블루카본의 보고, 우리 바다를 사수하라!”, 접속: 2023.02.07.(<http://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=15688>).
- 한국해양수산개발원 수산업관측센터(2023), “굴 품목정보”, 접속: 2023.02.10.(www.foc.re.kr).
- Diebold, F. X. and Mariano, R. S. (1995), “Comparing predictive accuracy”, *Journal of Business and Economic Statistics*, 13(3), 253-265.
- Diebold, F. X. (1997), *Elements of Forecasting*, South Westren.
- FAO (2021), “Fishery and Aquaculture Statistics”.
- Harvey, D., Leybourne, S. and Newbold, P. (1997), “Testing the equality of prediction mean squared errors”, *International Journal of Forecasting*, 13(2), 281-291.
- IPCC (2021), “Climate Change 2021:The Scientific Basis”, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 3948.
- O'Neill, B. C. et al. (2014), “A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways”, *Climatic Change*, 122(3), 387-400.