

기온 및 강수량 변화에 따른 우리나라 연안어업의 영향 분석

백진화 · 홍재범*

한국해양수산개발원(전문연구원)

An Analysis of the Impact of Coastal Fishery by Temperature and Precipitation in South Korea

Jin-Hwa BAEK · Jae-Beum HONG[†]

Korea Maritime Institute(senior researcher)

Abstract

This study analyses the impacts of climate change on the coastal fisheries industry as a whole and by sector using monthly data from 1993 to 2023. First, the Granger causality test shows that there is a causal relationship between temperature and precipitation and the output of coastal fisheries as a whole and by sector. Second, based on the results of the VAR model analysis, the shock response function shows that changes in temperature and precipitation have a significant impact on total and sectoral output in the short term, but the impact is partially mitigated over time. The forecast error variance decomposition shows that the initial impact and explanatory power of temperature and precipitation on total and sectoral changes in coastal fisheries output is small, but the magnitude of the impact increases over time.

Key words : Climate change, Temperature, Precipitation, Coastal fisheries, Impact

I. 서론

IPCC 제6차 평가보고서에서는 향후 이상기후의 발생 강도 및 빈도의 증가와 온난화의 급격화 가속화를 전망하였다. 그리고 이중 해양온난화의 경우에는 수산업 생산량의 전반적인 감소에 영향을 미치고 있는 것으로 밝혔다. 특히 우리나라의 경우 약 10~15% 내외의 미래 최대 잠재 어획량의 감소를 전망하였다.(IPCC, 2023; NIFS, 2023).

실제로 우리나라의 해역권별로 주요 어종의 어획량 변화를 살펴보면, 1990년대 이후 연근해 해역에서 난류성 어종의 어획량은 증가하고 한류성 어종의 어획량은 감소한 것으로 나타났다. 예를

들어, 남해권 고등어류의 경우에는 1970년 기준 3.6만 톤에서 2017년 기준 11.4만 톤으로 증가하였다. 반면 남해권 참조기의 경우에는 1970년 기준 2.0만 톤에서 2017년 기준 1.8만 톤으로 감소한 것으로 나타났다(Statics Korea, 2018). 이러한 변화에 관련해서 최근 수온 등 기후변화와 생산량간의 관계에 대한 연구가 다수 이루어지고 있다.

Eom et al.(2015a)는 기후변화에 따른 영향이 가장 많을 것으로 예상되는 멸치를 분석 대상으로, 기후변화가 멸치 생산량에 미치는 영향을 계량적으로 추정하였다. 분석 자료는 Lee and Kim(2007)의 연구 결과를 활용하여 1970년부터

[†] Corresponding author : 051-797-4574, hjb@kmi.re.kr, orcid.org/0000-0002-7680-0018

* 이 논문은 한국해양수산개발원 수산분야 기후변화 영향 연구그룹(자율연구그룹)에서 수행한 연구 결과를 바탕으로 작성하였음

2013년까지의 부산 및 경남 해역 기준 기선권현 망어업의 멸치 생산량과 조업어장 주변의 표층 및 수심 10m 수온 자료를 활용하였다. 여기서 멸치 생산량 변수의 경우 연도별로 다른 어획노력량을 고려하여 단위 어획노력당 어획량인 CPUE(Catch Per Unit Effort)를 활용하였다. 그리고 분석 방법으로는 시계열 자료에 대한 단위근 검정 및 공적분 검정을 활용하여 수온의 변화가 멸치 생산량에 미치는 영향을 추정하였다. 분석 결과, 표층수온이 상승할수록 CPUE 또한 증가하는 것으로 나타났다. 이를 통해 멸치의 최적 산란 및 서식 수온 범위내에서 표층 수온이 상승할수록 멸치 생산량은 증가할 것으로 추정하였다.

Eom et al.(2015b)은 기후변화가 연근해 어업생산량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 자료는 1970년부터 2013년까지의 표층수온 및 연근해 어업생산량을 활용하였다. 이때 연근해 어업생산량은 매년 다른 어획노력량 수준을 고려하기 위해 CPUE로 활용하였다. 분석 방법으로는 단위근 및 공적분 검정을 실시하고, Granger 인과성 분석기법을 활용하였다. 분석 결과, 표층수온의 변화는 어업생산량에 영향을 미치는 원인변수가 되는 것으로 나타났으며, 표층 수온이 상승할수록 어업생산량은 감소하는 것으로 추정하였다. 이러한 분석 결과를 기반으로, Seong et al.(2010)의 연근해 표층수온의 평균 상승률을 적용하여 2050년 및 2100년 기준 수온과 이에 따른 어업생산량을 추정하였다.

Kim(2023)은 연안어업을 대상으로 기후변화에 따른 어획량 변화와 이에 따른 피해비용을 추정하였다. 분석 자료는 기후 요인으로 2001년부터 2100년까지의 해수면 수온 및 표층 염분 자료(기상청, 전지구 기후전망 자료)와 2001년부터 2014년까지의 지역별 연안어업 어획량 및 어선톤수 자료를 활용하였다. 분석 방법으로는 연안어업 어획량과 기후 요인과의 관계에 대해 어획량 반응함수를 구성하여 추정하고, 이 관계를 활용해서 미래 기후변화 시나리오에 따른 어획량 변화

를 예측하였다. 연안어업 어획량 반응함수 분석 결과, 염분의 경우 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 반면, 해수면 온도 변수의 경우 임계값(극대값)보다 작은 경우에는 수온이 상승할 때 어획량이 증가하고, 큰 경우에는 수온이 상승할 때 어획량은 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 분석 결과를 기반으로 기후변화에 따른 지역별 어획량 변화를 예측하고, 연간 피해비용을 산출하였다.

상기의 선행연구의 경우 기후변화의 수산업에 대한 영향을 분석하는데 있어서 수온과 어업생산량 자료를 활용했다는 점에서 동일하다. 분석 결과에 있어서는 모두 수온과 어업생산량간의 유의한 영향이 있는 것으로 공통적인 결론을 제시하였다.

한편, 기후변화 영향에 대한 적응 및 대응을 위해서는 향후 어업별 혹은 어종별에 대한 분석 결과를 기반으로 방안을 마련할 필요가 있다는 지적도 있으나(Eom et al., 2015b), 현재까지 이루어진 연구들의 경우 대부분 대분류라고 할 수 있는 어업 전반을 대상으로 이루어진 경우가 많으며 세부적인 업종의 영향에 대한 연구는 다소 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 전반적인 영향 분석과 더불어 보다 세부적으로 대상을 구분하여 분석 및 연구 수행이 필요할 것으로 판단하였다.

그리고 기존의 다양한 연구에서 활용한 변수인 수온 외에도 기온 및 강수량 등 다양한 기상요인이 존재하므로, 기후변화에 따른 영향을 분석하는데 있어서 다양한 관점에서의 연구를 시도해볼 필요도 있다고 판단하였다.

관련 선행연구로 Begum et al.(2022)의 연구에서는 CO₂ 배출량, 평균 기온, 수온, 강수량, 일조량, 풍속 변수를 활용하여 방글라데시의 어획량과의 관계를 분석하였다. 단기적인 영향에 대한 분석결과 수온, 강수량, 일조량이 어획량에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 장기적으

로는 CO₂ 배출량, 수온, 강수량, 일조량, 풍속이 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이러한 점에서 본 연구는 기후변화를 나타내는 변수를 수온 외에 우리나라의 기온과 강수량의 변화로 설정하고, 이에 따른 연안어업의 생산량 변화를 살펴보고자 한다. 특히 기온은 다양한 선행연구에서 수산물 생산량에 영향을 미치는 수온과의 관계성이 있는 변수(Cho et al. 2007; Lee et al. 2007; An and Lee, 2013)이며, 특히 본 연구의 분석 대상이 되는 연안어업의 경우 근해어업에 비해 상대적으로 육지에 가까운 범위에서 조업이 이루어지는 경우가 많으므로, 본 연구에서 파악하고자 하는 연안어업 생산량 변화 분석을 위한 변수로 활용하는 것이 적절하다고 판단하였다. 생산량의 경우 연안어업 전체 생산량과 함께, 세부 어법별 영향에 대해서도 분석을 실시하고자 한다. 이를 통해 연안어업 중에서도 특히 우선적으로 대책 마련이 필요한 어법은 무엇일지에 대해서도 파악해보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 분석 방법

가. 단위근 검정

시계열 자료를 활용한 분석에는 해당 자료의 시계열 안정성(Stationary) 여부를 확인해야 한다. 이는 안정한 시계열은 시간이 경과하여도 평균으로 회귀하는 특성을 가진 반면, 불안정성(Non Stationary)을 가진 시계열 자료의 경우 평균으로 회귀하지 않는 가변적인 특성을 가지기 때문이다. 또한, 불안정(non stationary)한 시계열에 계량 분석기법을 적용하게 되면 t값이 증가함에 따라 가성회귀의 문제가 발생할 수 있다(Kim&Jang, 2002).

따라서, 시계열 자료의 안정성을 확인하기 위한 대표적인 방법으로 단위근 검정이 이루어져야 한다. 단위근 검정법에 대해 살펴보면, 아래 식

(1)과 같이 가정할 수 있는데 여기서 ν_t 는 확률적 오차항으로 평균이 0, 분산이 σ^2 으로 일정하고 자기상관이 없는 경우 $\rho=1$ 인 경우 단위근을 가지며 불안정한 시계열이 된다.

따라서 $H_0: \rho=1$ 가설을 검정하는 것을 단위근 검정이라고 하는데, 이때 수식 (1)을 단순 회귀분석으로 추정 및 검정할 때 Y_t 가 비정상적 시계열일 경우 가성회귀의 문제가 발생한다.

식(1)을 차분연산자를 이용하여 바꾸어 나타내면 식 (2)와 같다. 이때 Δ 는 1차 차분연산자로 $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$ 를 의미하며, 회귀분석의 추정 결과를 통해 $H_0: \rho=1$ 가설을 기각하지 않을 경우에는 수식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \nu_t \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta Y_t = (\rho - 1) Y_{t-1} + \nu_t \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} = \nu_t \dots\dots\dots (3)$$

식 (3)이 의미하는 바는, Y_t 는 비정상성을 가지는 시계열이지만 1차 차분한 경우에는 정상성을 가지는 시계열이 된다는 것으로, 이는 ν_t 가 자기상관이 없는 오차항으로 가정되기 때문이다 (Gujarati, 2013; Seo et al., 2014; Eom et al., 2015).

하지만, 실제 단위근 검정과정에서 오차항에 자기상관이 존재할 수 있으므로, 이는 검정력을 낮추게 된다. 이러한 자기상관 문제를 해결하기 위한 방법 중 하나로 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정법이 활용되고 있다.

ADF 검정법은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 ΔY_{t-i} 는 자기상관을 반영시키기 위해 ΔY_t 의 과거 값을 모형에 포함시키고(Gujarati, 2013; Min et al., 2014; Eom et al., 2015), 단위근 검정으로 불안정성을 가지는 시계열 자료가 차분 되었을 때 안정성을 가지게 되는 경우 차분 정상적 시계열 자료로 정의된다.

$$\Delta Y_t = (\rho - 1) Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta Y_{t-i} + v_t \dots\dots\dots (4)$$

나. Granger 인과성 검정

Granger(1969)가 제시한 Granger 인과성 검정은 VAR(Vector Autoregressive model) 혹은 VECM(Vector Error Correction Model) 모형을 통한 검정 방법을 의미하는 것으로, 전통적인 F-통계량을 활용하여 확률변수사이의 인과관계를 검정하기 위한 방법으로 널리 사용되고 있다. 구체적으로 변수 X값을 추정하는데 있어서 Y의 과거 값과 함께 X의 과거값도 함께 사용하는 것이 Y의 과거 값만을 활용하여 예측하는 것보다 정확할 경우 X에서 Y로의 인과방향이 존재한다는 것을 보는 방법을 의미한다(Gary 2000; Song and Jung, 2002; Eom et al., 2015).

시계열 변수 X_t , Y_t 를 기준으로 살펴보면, 두 변수간의 연관성을 검정하기 위해서는 아래 식 (5), (6)과 같이 시계열 회귀식을 나타낼 수 있다. 식 (5)는 X_t , Y_t 의 관계를 설정한 비제약회귀식으로, 식 (6)은 X_t 를 제외한 제약회귀식이다.

$$Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^m \alpha_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_j Y_{t-j} + \varepsilon_t \dots\dots\dots (5)$$

$$Y_t = \alpha + \sum_{j=1}^n \beta_j Y_{t-j} + \varepsilon_t \dots\dots\dots (6)$$

이때 식 (5)에서 얻어지는 오차자승합(Sum of Square Error; SSE)을 SSE_{UR} , 식 (6)에서 얻어지는 것은 SSE_R 라 하면, F-통계량은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다. 이때 T는 총 관측치의 수를 의미하고, P는 제약조건이 있는 회귀계수의 수를 의미한다. 여기서 X_t , Y_t 의 관계를 설정한 비제약회귀식의 SSE_{UR} 이 매우 작은 값을 가지고, X_t 를 제외한 제약회귀식에서는 SSE_R 이 큰 값을 가지게 된다. 이에 따라 X_t 는 Y_t 의 원인변수가 될 가능성이 커질수록 F-통계량은 커지게 된다. 이를 바탕으로 Granger 인과성 분석에서는 식 (5), (6)

을 활용하여 귀무가설(H_0)은 ‘X는 Y의 원인변수가 아니다’로 설정하고, 대립가설(H_1)은 ‘X는 Y의 원인변수이다’로 설정하여 식(7)에 의해 계산된 F값이 F의 임계값을 어떤 유의수준에서 초과하면 귀무가설을 기각하게 되고, 이때 X는 Y의 원인변수로 추정할 수 있다(Eom et al., 2015b).

$$F = \frac{(SSE_R - SSE_{UR})/P}{SSE_{UR}/(T - 2P - 1)} \dots\dots\dots (7)$$

다. VAR 모형

VAR 모형은 Sims(1980)에 의해 내생변수와 외생변수간 어떠한 선형적인 구별이 있어서도 안 된다는 기본 취지하에 개발됨으로써 일변량 자기회귀모형을 다변량 자기회귀모형으로 확장시킨 모델이다.

이러한 벡터자기회귀모형을 활용한 (VAR(p))은 아래 식 (8)과 같다.

$$x_t = c + A_1 x_{t-1} + A_2 x_{t-2} + \dots + A_p x_{t-p} + e_t \dots\dots (8)$$

단, $E(e_t) = 0$

한편, VAR(P) 모형은 충격반응함수를 통해 어떤 변수가 변할 때 내생변수에 미치는 효과 분석 뿐만 아니라 분산분해를 통해 내생변수 변동이 전체 변동에 얼마만큼 기여하는지 상대적 크기 분석도 가능하다.

충격반응함수(Impulse Response Function)는 VAR모형의 추정 계수를 바탕으로 모형 내 특정 변수에 일정한 변화(충격)가 주어졌을 때 모형 내 모든 변수들이 시간의 흐름에 따라 어떻게 반응하는가를 나타낼 수 있다.

즉, 식 (9)와 같이 안정적인 P-차 벡터자기회귀모형을 무한 차수인 벡터이동평균모형 VMA(∞)으로 나타낼 수 있다.

$$x_t = e_t + \psi_1 e_{t-1} + \psi_2 e_{t-2} + \dots \equiv \mu + \psi(L)e_t$$

$$, \frac{\partial x_{t+s}}{\partial e_t} = \psi_s \dots\dots\dots (9)$$

ψ_s 의 i 번째 행과 j 번째 열에 속한 $\psi_s^{(i,j)}$ 는 $t+s$ 시점에 오차항들이 고정되어 있다고 가정할 경우, t 시점에서 j 번째 변수 오차항이 한 단위 증가하였을 때 $(t+s)$ 시점의 i 번째에는 미치는 영향에 대한 상호 연관성을 나타낼 수 있다.

예측오차분산분해(Variance Decomposition)는 특정 변수의 변화를 설명함에 있어 모형 내 각 충격의 상대적 중요도를 측정할 수 있다. 이를 쉽게 살펴보기 위해 식 (10)과 같이 VAR 모형을 이용하여 t 시점에서 미래시점($t+s$)을 예측하는 예측오차를 살펴 볼 수 있다. .

$$\begin{aligned} \chi_{t+s} - \widehat{\chi_{t+s|t}} = & e_{t+s} + \psi_1 e_{t+s-1} + \psi_2 e_{t+s-2} \cdots (10) \\ & + \dots + \psi_{s-1} e_{t+1} \end{aligned}$$

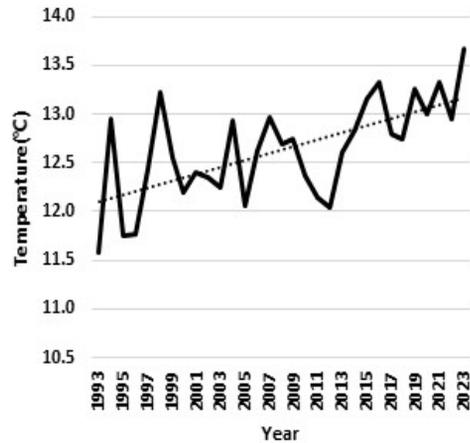
2. 분석 자료

본 연구는 기후변화에 따른 우리나라 연안어업의 전체 및 세부 어법별 생산량에 미치는 영향을 분석하는데 목적이 있다. 따라서 분석에는 기상청 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)에서 월별로 확보가능한 기후변화 요소로 우리나라 기온(Temperature) 및 강수량(Precipitation) 자료를 이용하였다. 그리고 통계청 어업생산동향조사 자료를 통해 확보할 수 있는 연안어업의 어법별 어획량(Catch) 자료를 활용하였다.

자료의 시계열 범위는 현재 기후 및 어획량 자료의 활용 가능한 범위를 고려하여 1993년 1월부터 2023년 12월까지의 월별 자료를 활용하였다.

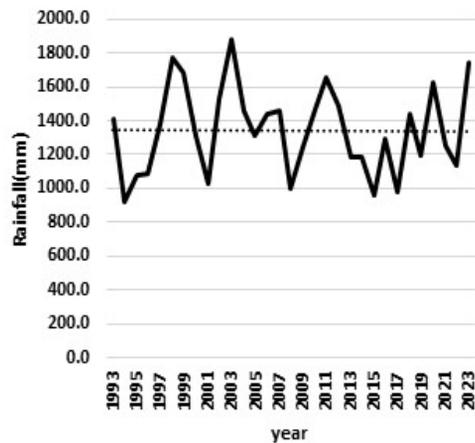
분석자료를 연도별로 살펴보면, 먼저 연도별 평균 기온의 경우 [Fig 1]에서 보는 바와 같이 1993년 기준 11.6℃를 시작으로 증가하는 추세를 보이고 있으며 2023년 기준 13.7℃를 기록하였다.

연도별 강수량의 경우에는 [Fig 2]에서 보는 바와 같이 1993년 기준 1406.3mm를 시작으로 증감을 반복하다 최근 2015년 이후로는 대체로 증가하는 추세를 보이고 있으며 2023년 기준 1740.4mm를 기록하였다.



Source : KMA(2024)

[Fig 1] Average of Temperature in South Korea from 1993 to 2023.



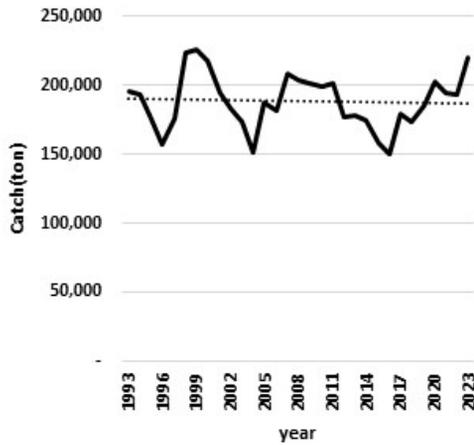
Source : KMA(2024)

[Fig 2] Precipitation in South Korea from 1993 to 2023.

연안어업(연안선망, 연안채낚기, 연안자망, 연안개량안강망, 연안통발, 연안형망, 연안연승, 연안들망, 연안조망, 연안선인망, 손공치, 연안복합 등의 합) 어획량은 1993년 기준 19.5만 톤을 시작으로 증감을 반복하며 다소 증가하는 추세를 보이며 2023년 기준으로는 22만 톤을 기록하였다.

분석에 실제로 활용한 1993년~2023년까지의 월별자료를 평균값 기준으로 살펴보면, 기온의

경우 가장 기온이 높은 시기는 8월(25.3℃)이며, 낮은 시기는 1월(-1.0℃)로 나타났다. 강수량의 경우에는 가장 많은 시기는 7월(297.9mm)로 나타났으며, 적은 시기는 1월(25.9mm)로 나타났다.



Source : KOSIS(2024)

[Fig 3] Catch of Coastal Fisheries in South Korea from 1993 to 2023.

연안어업 총생산량은 월별 평균값을 기준으로 살펴보면 생산량이 가장 많은 시기는 10월(2.4만 톤)이며, 가장 적은 시기는 2월(0.8만 톤)로 나타났다. 세부 어법별로 살펴보면, 먼저 연안복합(연안채낚기, 연안형망, 손꽂치, 연안연승, 연안복합어업의 합)의 경우 생산량이 가장 많은 시기는 9월(0.5만 톤)이며, 가장 적은 시기는 2월(0.2만 톤)로 나타났다. 연안자망, 연안통발어업의 경우에는 연안어업 총생산량과 동일하게 생산량이 가장 많은 시기는 10월(0.8만 톤, 0.3만 톤), 가장 적은 시기는 2월(0.3만 톤, 0.1만 톤)으로 나타났다. 마지막으로 연안개량안강망의 경우에는 생산량이 가장 많은 시기는 5월(0.4만 톤), 가장 적은 시기는 2월(0.02만 톤)으로 다른 어업에 비해 월별 생산량 최대 및 최소값의 차이가 상대적으로 더 큰 것으로 나타났다.

본 연구에서 분석에 활용하는 각 변수별 기초 통계량을 요약하면 아래 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Descriptive Statistics of Variables

(Unit : mm, °C, ton)

	Mean	Median	Max	Min	Std, Dev.
Temperature (TEM)	12.6	13.4	27.7	-5.2	9.1
Precipitation (PRE)	111.8	65.9	654.2	2.6	112.4
Coastal Fishery (CF)	15,696	15,789	33,835	4,978	5,634
Coastal Multi Fishery (CMF)	3,443	3,036	12,274	1,014	1,728
Coastal Gill Net (CGN)	6,291	6,137	14,575	1,749	2,547
Small Stow Net (SSN)	2,061	1,677	9,902	55	1,776
Coastal Trap (CT)	2,154	2,018	5,805	655	903

Ⅲ. 연구 결과

1. 단위근 검정 결과

본 연구에서 활용하는 분석자료별 단위근 검정은 상수항이 포함되는 경우, 상수항과 추세항 모두 포함되는 경우, 상수항과 추세항 모두 포함되지 않는 경우 3가지별로 실시하였다.

단위근 검정 결과는 <Table 2>와 같이 수준변수의 경우에 있어서 기온과 강수량 자료는 상수항과 추세항 모두 포함되지 않는 경우에 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 생산량 변수를 살펴보면, 연안어업 전체, 연안자망, 연안통발, 연안개량안강망은 세 가지 모든 경우에 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 나타났다. 연안복합 생산량의 경우에는 상수항이 존재하는 경우에 귀무가설을 기각하지 못하였다. 이

렇듯 본 연구의 분석자료의 경우 수준변수의 경우에 있어서 시계열 자료는 불안정성을 가지고 있는 것으로 확인되었다.

<Table 2> P-value of ADF unit root test Results(Level)

Variables	With constant	With constant and trend	Without constant and trend
Temperature	0.02	0.00	0.83
Precipitation	0.01	0.03	0.53
Coastal Fishery	0.07	0.25	0.68
Coastal Multi Fishery	0.07	0.02	0.04
Coastal Gill Net	0.12	0.29	0.71
Small Stow Net	0.20	0.06	0.16
Coastal Trap	0.35	0.55	0.72

하지만 <Table 3>에서 보는바와 같이 1차 차분한 변수들은 모든 경우에 있어서 1% 수준에서 귀무가설을 기각하여, 차분된 변수들은 모두 안정성을 가진 시계열 자료인 것으로 확인되었다.

<Table 3> P-value of ADF unit root test Results (First difference)

Variables	With constant	With constant and trend	Without constant and trend
Temperature	0.00	0.00	0.00
Precipitation	0.00	0.00	0.00
Coastal Fishery	0.00	0.00	0.00
Coastal Multi Fishery	0.00	0.00	0.00
Coastal Gill Net	0.00	0.00	0.00
Small Stow Net	0.00	0.00	0.00
Coastal Trap	0.00	0.00	0.00

2. Granger 인과성 검정 결과

단위근 검정 결과에 따라 차분된 변수를 활용하여 Granger 인과성 검정을 실시한 결과는

<Table 4>와 같다. 검정 결과를 구체적으로 살펴보면, 기온의 경우에는 시차가 1, 2, 3 모든 경우에서 생산량 변수 전체에 대해 인과성이 없다는 귀무가설을 기각하는 것으로 나타났다.

강수량의 경우에는 시차가 1인 경우 연안어업 전체 생산량, 연안복합 생산량에 대해 인과성이 없다는 귀무가설을 기각하는 것으로 나타났다. 반면, 시차가 2, 3인 경우에는 생산량 변수 전체에 대해 인과성이 있는 것으로 나타났다.

<Table 4> P-value of Granger causality results (Temperature-Precipitation does not Granger Cause Catch)

Variables	Temperature			Precipitation		
	lag(1)	lag(2)	lag(3)	lag(1)	lag(2)	lag(3)
Coastal Fishery	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Coastal Multi Fishery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coastal Gill Net	0.00	0.00	0.00	0.13	0.01	0.00
Small Stow Net	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00
Coastal Trap	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00

3. VAR 모형 분석 결과

1차 차분한 변수를 활용하여 기온 및 강수량이 연안어업 전체 및 각 세부어법별 생산량에 미치는 영향을 분석하기 위해 VAR 모형을 통한 충격반응 함수 및 예측오차 분산분해 분석을 실시하였다.

VAR 모형 분석을 통해 적정시차는 AIC (Akaike Information Criterion) 및 SC(Schwarz information Criterion)를 기반으로 도출하였으며, 그 결과는 <Table 5>와 같다. 적정시차는 연안어업 전체 생산량 및 각 세부 어법별 생산량 모두 기온과 강수량 변수와의 적정시차는 8로 분석되었다. 이에 따라 적정시차인 8시차로 설정한 후 기온 및 강수량 변수와 함께 생산량 변수를 각각 고려하여 VAR 모형 분석을 수행하였다.

<Table 5> Result of VAR Lag Order Selection Criteria

Variables		lag								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Coastal Fishery	AIC	34.1	33.1	32.7	32.3	31.9	31.6	31.3	31.1	30.7*
	SC	34.2	33.2	33.0	32.6	32.3	32.1	31.9	31.8	31.5*
Coastal Multi Fishery	AIC	35.3	34.3	33.9	33.5	33.2	32.9	32.6	32.4	32.2*
	SC	35.3	34.4	34.2	33.8	33.6	33.4	33.2	33.1	33.0*
Coastal Gill Net	AIC	36.3	35.3	35.1	34.6	34.1	33.7	33.4	33.2	33.0*
	SC	36.4	35.5	35.3	34.9	34.5	34.3	34.0	33.9	33.8*
Small Stow Net	AIC	35.8	34.8	34.6	34.1	33.6	33.1	32.9	32.7	32.4*
	SC	35.8	35.0	34.8	34.4	34.0	33.6	33.5	33.4	33.2*
Coastal Trap	AIC	34.1	33.1	32.7	32.3	31.9	31.6	31.3	31.1	30.7*
	SC	34.2	33.2	33.0	32.6	32.3	32.1	31.9	31.8	31.5*

가. 충격반응함수 분석 결과

VAR 모형 결과를 기반으로, 시간의 흐름에 따른 영향을 살펴보기 위해 먼저 충격반응함수 분석을 실시하였다. 구체적으로 기온과 강수량에 가해진 충격이 생산량 변수에 미치는 영향을 살펴보았다.

생산량 변수별 기온 및 강수량 충격에 따른 분석 결과는 [Fig 4]와 같다. 먼저, 연안어업 총생산량의 충격반응을 살펴보면, 기온 충격이 발생한 직후 1개월 후부터 3개월 후까지는 (+) 영향을 받는 것으로 나타났다. 반면, 4개월 후부터 6개월 후까지는 (-) 영향을 보이고 있으며, 이후 7개월 후 부터는 (+) 영향을 받으면서 12개월 후까지 증감이 반복하면서 변동하는 행태로 나타났다. 이렇게 볼 때 기온에 따른 충격은 연안어업 총 총생산량에 대해 단기적인 영향은 있지만, 시간이 지나면서 소멸 또는 완화되는 것으로 판단된다.

강수량 충격에 대해서도 기온과 유사하게 1개월 후에는 (+) 영향을 받는 것으로 나타났으나, 이후로는 증감이 반복되는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이렇듯 기온과 강수량의 충격 및 변화에 따른 연안어업 전체 생산량은 단기적으로 큰

영향을 받는 것으로 나타났다.

연안복합어업 생산량의 경우에는 기온 충격에 따라 1개월 후에는 소폭 증가하였으며, 2~3개월 후에는 더 큰 폭으로 증가하는 모습을 보이고 있다. 이후에는 증감을 반복하고 있다.

강수량 충격에 있어서는 기온과는 달리 초기에는 생산량이 크게 감소한 것으로 나타났으나 2개월 후에 크게 증가하는 반응을 보이고 있다. 이후 증감을 반복하고 있으나 대체로 감소하는 추세를 보이다가 다시 증가하는 추세로 변화하고 있는 모습을 볼 수 있다.

이 외 각 연안 어법별 생산량도 기온 및 강수량 충격에 따른 반응이 연안어업 전체 및 연안복합의 경우와 유사한 결과를 보이고 있다.

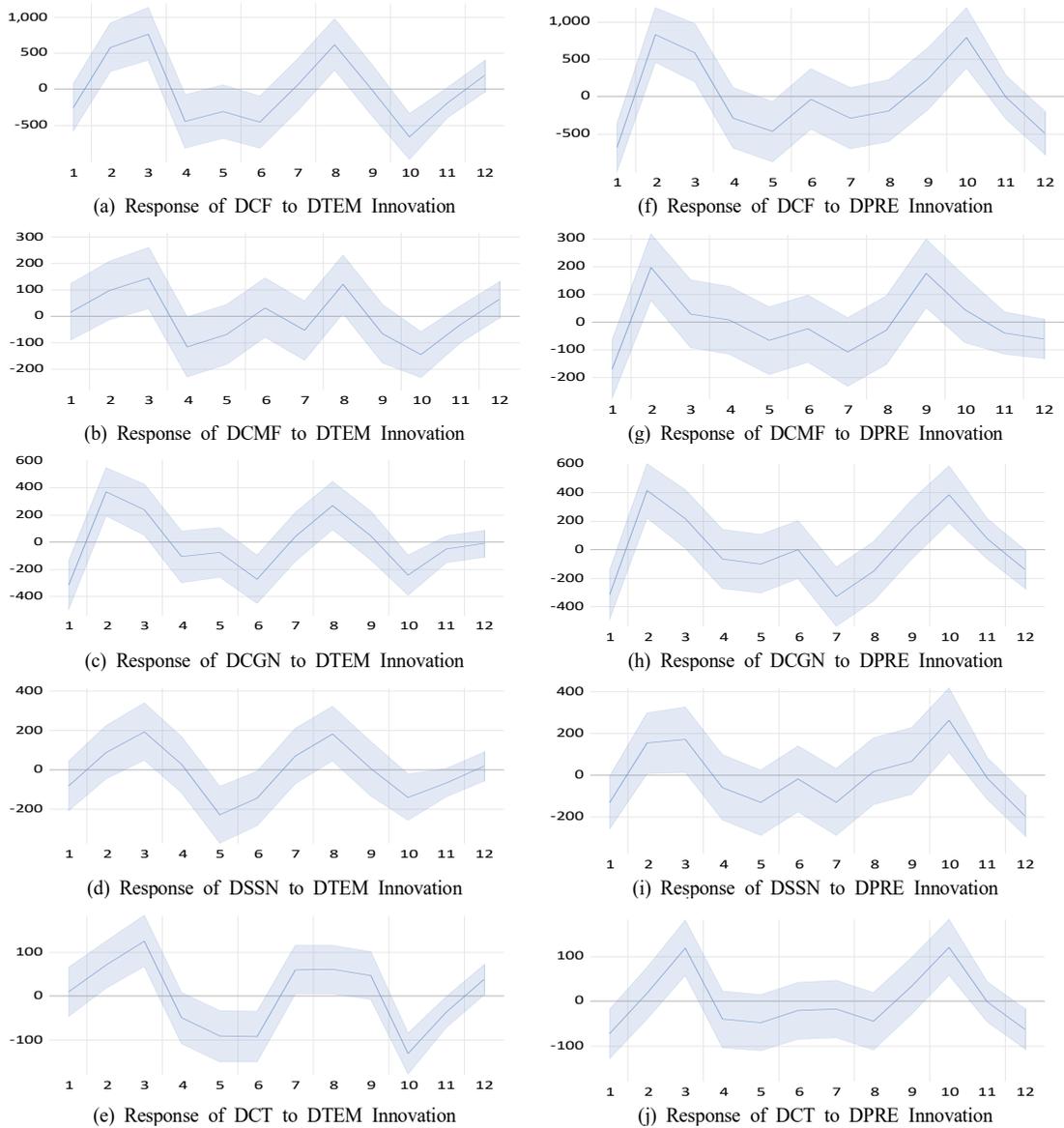
나. 예측오차 분산분해 분석 결과

연안어업 생산량 변화에 대해 기온 및 강수량 변화로 설명되는 부분은 어느 정도인지 파악하기 위해 예측오차 분산분해 분석을 실시하였다.

분석 결과, 먼저 연안어업 총생산량을 살펴보면 <Table 6>과 같이, 1개월 후에는 기온은 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 반면, 생산량의 변화에 대해 강수량은 약 4.5%의 영향을 미

치고 있는 것으로 나타났다. 이후 시간이 지나면서 연안어업 전체 생산량 변화에 대한 기온 및 강수량의 영향은 증가하는 것으로 나타났으며, 마지막 12개월 후를 살펴보면 생산량 변동에 대해 기온은 12.1%, 강수량은 14.4% 만큼 설명되는 것으로 나타났다.

즉, 연안어업 총생산량에 변화가 발생하였을 경우 단기적으로 자체충격은 94% 이상 높게 나타났지만, 장기적으로는 다소 낮아졌다. 반면 강수량에 대해서는 장기적으로 갈수록 영향을 높게 받는 것으로 나타났다.



Note : 'D' means that the variables are first differenced

[Fig 4] Impact of Temperature-Precipitation Shock on Catch Over 12 Periods.

<Table 6> Variance Decomposition Analysis of Catch(Coastal Fishery)

Period (month)	S. E.	Temperature	Precipitation	Coastal Fishery
1	3164.1	0.6	4.5	94.8
2	3571.1	3.1	8.9	87.9
3	3856.7	6.6	10.0	83.3
4	3934.2	7.7	10.1	82.2
5	4010.0	8.0	11.1	80.9
6	4052.6	9.1	10.9	80.1
7	4064.8	9.0	11.3	79.6
8	4144.2	10.9	11.1	78.0
9	4165.2	10.8	11.3	77.8
10	4337.7	12.3	13.8	73.9
11	4343.9	12.4	13.7	73.8
12	4432.7	12.1	14.4	73.5

연안복합 생산량의 경우 <Table 7>과 같이 1개월 후에는 기온은 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 강수량은 약 2.7%의 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 이후 기간이 지나면서 연안복합 생산량 변화에 있어서 기온 및 강수량의 영향은 증가하는 것으로 나타났으며, 마지막 12개월 후에는 생산량 변동에 대해 기온으로는 6.0%, 강수량으로는 7.7%만큼 설명되는 것으로 나타났다.

즉, 연안복합 생산량의 변화가 자체충격에는 단기적으로 높게 나타났지만 장기적으로는 기온과 강수량에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

연안자망 생산량의 경우 <Table 8>과 같이, 1개월 후에는 생산량의 변화에 있어서 기온과 강수량은 각 3.3%의 영향이 있는 것으로 나타났다. 이후 기간이 지나면서 연안자망 생산량 변화에 있어서 기온 및 강수량의 영향은 증가하는 것으로 나타났다. 마지막 12개월 후에는 생산량 변동에 대해 기온으로는 10.7%, 강수량으로는 13.5%만큼 설명되는 것으로 나타났다.

<Table 7> Variance Decomposition Analysis of Catch(Coastal Multi Fishery)

Period (month)	S. E.	Temperature	Precipitation	Coastal Multi Fishery
1	1035.6	0.0	2.7	97.3
2	1147.7	0.8	5.2	94.1
3	1193.8	2.2	4.8	93.0
4	1199.4	3.1	4.8	92.1
5	1206.5	3.4	5.0	91.6
6	1211.3	3.4	5.0	91.5
7	1232.1	3.5	5.6	90.9
8	1238.6	4.4	5.6	90.0
9	1253.3	4.6	7.5	87.9
10	1269.1	5.8	7.4	86.8
11	1270.4	5.8	7.5	86.7
12	1274.1	6.0	7.7	86.3

<Table 8> Variance Decomposition Analysis of Catch(Coastal Gill Net)

Period (month)	S. E.	Temperature	Precipitation	Coastal Gill Net
1	1717.5	3.3	3.3	93.4
2	1872.5	6.7	7.7	85.6
3	1986.8	7.4	8.1	84.5
4	2016.2	7.5	7.9	84.6
5	2020.0	7.6	8.1	84.3
6	2043.6	9.2	8.0	82.9
7	2075.2	8.9	10.2	80.9
8	2108.5	10.3	10.4	79.4
9	2128.7	10.1	10.6	79.3
10	2185.9	10.9	13.2	75.9
11	2188.0	10.9	13.3	75.8
12	2205.8	10.7	13.5	75.8

연안개량안강망 생산량의 경우 <Table 9>과 같이, 1개월 후에는 기온은 0.4%, 강수량은 1.1%의 영향이 있는 것으로 나타났다. 이후 기간이 지나면서 생산량 변화에 대해 기온 및 강수량의 영향은 증가하는 것으로 나타났다. 마지막 12개월 후

에는 생산량 변동에 대해 기온으로는 6.9%, 강수량으로는 8.1%만큼 설명되는 것으로 나타났다.

<Table 9> Variance Decomposition Analysis of Catch(Small Stow Net)

Period (month)	S. E.	Temperature	Precipitation	Small Stow Net
1	1234.5	0.4	1.1	98.4
2	1416.6	0.7	2.0	97.2
3	1522.0	2.3	3.0	94.7
4	1523.9	2.3	3.2	94.5
5	1558.1	4.3	3.7	91.9
6	1569.5	5.1	3.7	91.2
7	1579.9	5.3	4.3	90.4
8	1590.8	6.5	4.3	89.2
9	1598.2	6.5	4.4	89.1
10	1633.0	6.9	6.9	86.2
11	1634.4	7.1	6.9	86.0
12	1653.4	6.9	8.1	85.0

<Table 10> Variance Decomposition Analysis of Catch(Coastal Trap)

Period (month)	S. E.	Temperature	Precipitation	Coastal Trap
1	543.8	0.0	1.8	98.2
2	570.8	1.6	1.7	96.7
3	622.6	5.4	5.1	89.5
4	634.6	5.8	5.3	88.9
5	643.0	7.7	5.7	86.6
6	650.5	9.5	5.7	84.8
7	655.6	10.2	5.7	84.1
8	660.9	10.9	6.0	83.1
9	663.5	11.3	6.2	82.4
10	691.8	14.0	8.8	77.2
11	693.8	14.2	8.7	77.1
12	702.5	14.1	9.3	76.6

연안통발 생산량의 경우 <Table 10>과 같이, 1개월 후에는 생산량의 변화에 있어서 기온은 거의 영향이 없는 것으로 나타났으나 강수량은

1.8%의 미비한 수준으로 영향이 나타났다. 하지만 연안복합, 연안자망, 연안개량안강망과 같이 유사한 결과로 장기적으로는 자체충격 비중은 낮아지고 기온과 강수량에 미치는 영향이 단기적일 때보다 높게 나타났음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 기후변화에 따른 연안어업의 영향을 파악하기 위해 기온과 강수량 변화에 따른 연안어업의 생산량 변화를 분석하였다.

분석 자료로는 활용 가능한 자료의 범위를 고려하여 1993년부터 2023년까지의 월별자료를 활용하였다. 특히 생산량의 경우 연안어업 전체 생산량, 그리고 세부 4개 어법별 생산량을 분석에 활용하였다.

분석 과정에서는 시계열 자료의 안정성을 확보하기 위해 단위근 검정 결과를 기반으로 1차 차분된 자료를 활용하여 Granger 인과성 검정, VAR 모형 분석을 실시하였다. Granger 인과성 검정은 기온과 강수량, 그리고 연안어업 전체 및 세부 어법별 생산량에 대해 인과성이 있는 것으로 나타났다.

VAR 모형은 기온과 강수량, 연안어업 전체 및 세부 업종별 생산량 등 변수간의 적정시차를 도출한 결과, 적정 시차는 8로 나타나 이를 적용하여 분석하였으며, 분석 결과를 기반으로 추가적으로 충격반응함수와 예측오차분산분해를 도출하였다.

충격반응함수 분석 결과, 기온 및 강수량의 변화는 단기적으로 연안어업 생산량에 큰 영향을 주지만 시간이 지날수록 그 영향은 일부 완화되는 것으로 나타났다. 그리고 예측오차 분산분해 분석 결과, 연안어업 생산량 변화에 대해 기온과 강수량의 초기 영향 및 설명력은 미미한 것으로 나타났다. 반면, 기간이 지날수록 그 영향 정도가 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

세부 어법별로 살펴보면, 특히 연안통발을 제외하고 연안어업 전체, 연안복합, 연안자망, 연안개량안강망어업의 생산량은 기온에 비해 상대적으로 강수량에 따른 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다.

구체적으로 12개월 후를 기준으로 살펴보면, 연안통발 생산량 변화에는 기온에 따른 영향이 14.1%, 강수량에 따른 영향이 9.3%로 다른 어업들의 경우에 비해 강수량보다 기온의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다.

반면, 연안어업 총생산량의 경우 기온 및 강수량에 따른 영향이 각 12.1%, 14.4%로 나타났으며, 연안복합의 경우에는 6.0%, 7.7%로 나타났다. 그리고 연안자망의 경우에는 기온에 따른 영향은 10.7%, 강수량에 따른 영향은 13.5%로 나타났으며 연안개량안강망의 경우에는 각 6.9%, 8.1%로 나타났다. 이러한 점에서 연안어업의 세부 어법을 기준으로 살펴보면 기온변화에 따른 영향을 상대적으로 많이 받는 어법은 연안통발, 강수량 변화에 따른 영향을 상대적으로 많이 받는 어법은 연안자망 어업이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 기후변화에 따른 수산분야 영향 분석을 위해 연안어업을 대상으로 수행하였으며, 기후변화를 나타내는 변수로 기온과 강수량 자료를 활용하여 살펴보았다. 이러한 점에서 본 연구는 두 가지 한계점을 갖는다.

첫째, 연안어업만 대상으로 분석했다는 점과 둘째, 다양한 기후변화 변수 중 일부만을 반영했다는 점이다. 이에 향후 기후변화에 따른 영향을 보다 자세히 분석하기 위해서는 연안어업 어법별 주요 어종별로 구분하여 세부적으로 영향을 크게 받는 시기 혹은 어종은 무엇인지 등에 대한 분석이 필요하다고 판단된다. 이러한 분석이 이루어진 후에는 연안어업 뿐만 아니라 근해어업간의 비교 및 각 세부 어법별 영향에 대한 비교 연구 등도 이루어질 필요가 있다.

그리고 기후변화는 기온과 강수량 외에도 다양한 연구에서 활용한 변수인 수온 및 염분과 더불어

어서, 이산화탄소와 같은 대기 기상정보, 자외선 등과 같은 해양 정보 등 다양한 요인으로 확인이 되고 있다. 다만, 본 연구에서는 월별 연안어업 생산량에 대한 영향을 분석하는데 있어서 동일한 시점의 월별 기후변화 변수로 기온 및 강수량에 대한 자료 확보가 가능하였다. 따라서, 향후 기후변화에 따른 영향을 자세히 분석하기 위해서는 기온, 강수량, 염분, 수온, 이산화탄소 등 주요 변수에 대한 월별 혹은 연도별 자료를 추가적으로 확보하여 분석이 필요할 것으로 사료된다.

마지막으로 현재 우리나라는 기후변화 영향으로 연안어업 뿐만 아니라 양식어업까지 고수온, 적조, 해파리, 저염분수 등의 피해가 빈번히 발생하고 있어 특단적 대책이 절실하다고 접하고 있다. 하지만 기후변화에 대응하기 위해 적응 대책에 대한 우선순위를 선정하는 일은 매우 중요하다(Chae et al., 2012). 이에, 우선적으로 필요한 기후변화 영향에 대한 적응 대책이 무엇인지에 대해 연구가 시급할 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

References

- An JH and Lee KH(2013). Correlation and Hysteresis Analysis of Air-Water Temperature in Four Rivers: Preliminary study for water temperature prediction, *Journal of environmental policy*, 12(2), 17~32.
- Begum M, Masud MM, Alam L, Mokhtar MB and Amir AA(2022). The impact of climate variables on marine fish production: an empirical evidence from Bangladesh based on autoregressive distributed lag (ARDL) approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(58), 87923~87937.
- Chae YL(2012). Prioritization of Climate Change Adaptation Measures by Sector.
- Cho HY, Lee KH and Cho KJ(2007). Correlation and Hysteresis Analysis between Air and Water Temperatures in the Coastal Zone - Masan Bay. *Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 19(3), 213~221.

- Eom KH, Kim HS, Han IS and Kim DH(2015a). Analyzing the Relationship between Climate Change and Anchovy Catch using a Cointegration Test. *JFMSE*, 27(6), 1745~1754
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.6.1745>
- Eom KH, Kim HS, Han IS and Kim DH(2015b). An Analysis of Changes in Catch Amount of Offshore and Coastal Fisheries by Climate Change in Korea. *J. Fish. Bus. Adm.*, 46(2), 031~041
<http://dx.doi.org/10.12939/FBA.2015.46.2.031>
- Gary K(2000). *Analysis of Economic Data*, John Wiley&Sons.
- Gujarati Damodar(2013). *Econometrics by Example*, Sigma Press.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)(2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Kim BT(2023). Analysis of Climate Change Damage to Coastal Fisheries of Korea- Using the SSP Scenarios -, *Ocean Policy Research*, 38(1), 131~152
<http://dx.doi.org/10.35372/kmiopr.2023.38.1.006>
- Kim MJ and Jang KH(2002). *Financial Time Series Analysis (2nd ed.)*.
- KMA(Korea Meteorological Administration)(2024). *Climate Statistical Analysis*. <https://data.kma.go.kr> on July 4
- KOSIS(Korean Statistical Information Service)(2024). *Fisheries Production Survey*. <https://kosis.kr> on July 9.
- Lee CI and Kim HJ(2007). Effect of Temperature on Anchovy Catch and Laver Production in the Eastern Part of the South Sea of Korea, *Journal of the Environmental Sciences* 16(8), 897~906.
- Lee CI, Lee JH and Kim DS(2007). Effect of Meteorological Factors on Water Temperature, Salinity in the West Sea of Korea, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 13(1), 29~37.
- Min IS and Choi PS(2014). *STATA Time Series Data Analysis*, Media Jiphil, 87~92.
- NIFS(National Institute of Fisheries Science)(2023). *Annual report for Climate change Trends in fisheries.*
- Seo YI, Chung YH and Kim DH(2014). An analysis on the relationship between prices and catch amounts of sandfish using a cointegration test, *Journal of The Korean Society of Fisheries Technology*, 50(4), 502~510.
<https://doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.4.502>
- Seong KT, Hwang JD, Han IS, Go WJ, Suh YS and Lee JY(2010). Characteristic for Long-term Trends of Temperature in the Korean Waters. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 16(4), 353~360.
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 1~48.
- Song IH and Jung WS(2002). *Econometric Analysis using SAS and Eviews*, Samyungsa, 317~359.
- Statistics Korea(2018). *Changes in Major Species Catches due to Climate(Water Temperature) Changes.*

-
- Received : 30 July, 2024
 - Revised : 06 September, 2024
 - Accepted : 12 September, 2024