

기후변화에 따른 한국 연근해 어업생산량 변화 분석[†]

엄기혁 · 김홍식¹ · 한인성 · 김도훈*

국립수산과학원 수산해양종합정보과, ¹부경대학교 해양수산경영학과

An Analysis of Changes in Catch Amount of Offshore and Coastal Fisheries by Climate Change in Korea

Ki-Hyuk Eom, Hong-Sik Kim¹, In-Seong Han and Do-Hoon Kim^{1*}

*Fishery & Ocean Information Division, National Fisheries Research & Development Institute,
Busan 46083, Korea*

¹*Department of Marine Business and Economics, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

Abstract

This study aimed to analyze the relationship between sea surface temperature as a climatic element and catch amount of offshore and coastal fisheries in Korea using annual time series data from 1970 to 2013. It also tried to predict the future changes in catch amount of fisheries by climate change. Time series data on variables were estimated to be non-stationary from unit root tests, but one long-term equilibrium relation between variables was found from a cointegration test.

The result of Granger causality test indicated that the sea surface temperature would cause directly changes in catch amount of offshore and coastal fisheries. The result of regression analysis on sea surface temperature and catch amount showed that the sea surface temperature would have negative impacts on the catch amount of offshore and coastal fisheries. Therefore, if the sea surface temperature would increase, all other things including the current level of fishing effort being equal, the catch amount of offshore and coastal fisheries was predicted to decrease.

Keywords : Climate change, Sea surface temperature, Fisheries management, Cointegration, Fisheries policy

접수 : 2015년 7월 20일 최종심사 : 2015년 8월 12일 게재확정 : 2015년 8월 14일

[†] 본 논문은 2015년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2015054)의 지원으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

*Corresponding author: 051-629-5954, delaware310@pknu.ac.kr

I. 서 론

전 세계적으로 지구 기후시스템의 온난화는 자명한 사실이며, 특히 우리나라를 포함하여 1950년대 이후 관측된 변화들은 그 이전 시기에 비해 훨씬 빠른 기후변화 양상을 보이고 있다(Hollowed et al., 2013; Seong et al., 2010). 또한 국제 기후변화협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 2014년 제5차 보고서에서는 지구의 대기와 해양의 온도 그리고 해수면의 높이는 지속적으로 상승할 것이며, 아울러 강수량의 증가를 전망하고 있다(IPCC, 2014).

이러한 기후변화는 인류의 전 산업 분야에 직·간접적인 영향을 미치고 있는데, 그 중 수산업 분야 역시 해양생태계 시스템 변화 등으로 인해 큰 영향을 받을 것으로 예상되고 있다. 특히, 기후변화에 따른 해양의 수온 변화는 어획 대상종의 구성 변화, 어군의 서식지 이동, 어류의 성장을 등 어업생산에 있어서 중요한 영향을 미치는 것으로 파악되고 있다(FAO, 2009; Hobday et al., 2008; Lu and Lee, 2014).

우리나라 역시 주변 해양의 수온과 해수면이 지속적으로 상승하고 있고, 수온의 상승률은 전 지구 해양 수온의 상승률 평균보다 무려 2~3배 높은 것으로 평가되고 있다(KMA, 2014). 이러한 영향으로 한반도 주변해역에서는 난류성 어종인 멸치, 고등어, 오징어 등의 어획량이 증가하고 있는 반면, 한류성 어종인 명태, 꽁치 등의 어획량은 감소하는 경향을 보이고 있다(Kim et al., 2014; Kim et al., 2007). 어업인들 또한 실질적으로 기후변화 영향을 직접적으로 체감하고, 수산물 생산량 감소 등 기후변화의 영향에 대한 부정적인 인식을 가지고 있는 것으로 조사되고 있다(Kim et al., 2014).

지금까지 국내외 기후변화의 수산업에 대한 영향 연구로는 우선 기후변화에 따른 수산분야 취약성을 평가하기 위해 어업별, 지역별 혹은 국가 간 수산분야 취약성 비교가 이루어져 왔다

(Allison et al., 2009; Pranovi et al., 2013). 특히 Lee et al.(2011)은 우리나라 수산부문의 기후변화 취약성을 지역별로 처음으로 평가·비교해 보았다. 그리고 정부에서는 기후변화에 따른 취약성 평가를 실시하도록 「농어업·농어촌 및 식품산업 기본법」에 관련 법규를 제정하였고, 이와 함께 각 부처에서는 기후변화 적응에 대한 여러 대책들을 시행하고 있다(KACCC, 2015). 이외에도 국내외 수산분야 기후변화 관련 연구들은 기후변화에 따른 어종별 어획구성의 변화를 분석하거나(Lu and Lee, 2014) 또는 과거 시계열 자료 등을 이용하여 기후요소들(수온, 염분 등)과 개별 어종의 생산량 변화를 비교·분석해 오고 있다(Cheung, 2012; Chung et al., 2013; Kim et al., 2007; Klyashtorin, 1998; Punt, 2011).

이와 같이, 지금까지의 선행연구들은 기후변화로 인한 수산분야 취약성 비교나 기후요소와 어업 혹은 어종별 생산량 변화를 비교·분석하여 향후 기후변화에 따른 어업별 혹은 어종별 생산량 변화를 전망하는 정도로, 어느 한 국가 전체의 연근해 어업생산량 변화를 계량적으로 제시한 연구는 상대적으로 미미한 실정이다. 이는 기후변화가 해양생태계 및 어종별로 미치는 영향이 워낙 다양·복잡하고, 직접적인 영향 관계를 분석하고 예측할 수 있는 과학적 근거자료가 상당히 미흡한 실정이기 때문일 것이다. 하지만 급속히 변화하는 기후에 대응하여 국가 전체의 효과적인 수산분야 자원관리정책이나 수산물 공급정책 등을 수립하고 운용하기 위해서는 기후변화에 따른 향후 국가 전체적인 연근해 어업생산량 변화를 정량적으로 예측하는 것이 무엇보다 중요하다.

이에 따라 본 연구에서는 현재 활용 가능한 기후요소 자료와 연근해 어업생산량 자료를 이용하여 계량경제학적 분석을 통해 기후요소와 연근해 어업생산량 간의 영향 관계를 살펴보고, 나아가 향후 기후요소 예측에 따른 어업생산량 변화를 추정해 보고자 한다. 구체적으로 본 연구에

서는 1970년부터 2013년까지의 우리나라 연근해 어업생산량과 표층수온(Sea Surface Temperature, SST) 자료를 사용하였고, 분석 방법으로는 시계열 자료의 단위근과 공적분 검정을 통해 기후변화가 어업생산량에 미치는 영향을 추정하였다. 그리고 Granger 인과성 분석을 통해 기후요소와 어업생산량 간의 인과관계를 보다 구체적으로 분석해 보았다.

II. 분석 방법 및 자료

1. 분석 방법

본 연구에서는 우리나라 연근해 표층수온의 변동이 연근해 어업생산량에 미치는 영향을 분석하기 위해 우선 시계열 분석 자료에 대한 안정성 여부를 검정하였다. 그리고 분석 자료 간의 공적분 검정과 Granger 인과성 분석을 통해 기후요소(표층수온) 변화와 어업생산량 변화 사이의 영향 관계를 최종적으로 추정하였다.

1) 단위근 및 공적분 검정

시계열 자료를 바탕으로 한 실증분석에 있어서는 무엇보다 우선적으로 시계열 자료의 안정성(Stationary) 여부를 확인해야 한다(Gujarati, 2013). 만약 추정하고자 하는 시계열 자료가 불안정하면 활용하고자 하는 기간에 대한 분석만 가능하기 때문에 이를 다른 시간으로 일반화 하는 것이 불가능하여 예측을 하는 목적에 있어서 신뢰성 있는 결과를 도출하기 어렵다. 즉, 하나 혹은 둘 이상의 불안정적인 시계열이 포함된 자료로 회귀분석할 경우 가성회귀(spurious regression)의 문제가 발생해 분석결과를 신뢰하기 어렵다(Gujarati, 2013; Seo et al., 2014). 따라서 분석에 사용될 시계열 자료의 안정성 여부를 우선 검정한 다음 시계열 자료가 불안정한 경우 불안정한 시계열 자료 간의 장기적 균형관계 여부를 공적분(Cointegration) 검정을 통해 파악할 필요가 있다. 시계열 자료의 안정성 여부를 파악

하는 방법은 그래프나 상관도표 분석 등이 있지만, 단위근 검정법(Unit root test)이 가장 많이 사용된다. 단위근 검정법을 간략히 살펴보기 위해 다음의 모형 식 (1)을 가정하면,

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + v_t \quad (1)$$

여기서, v_t 는 확률적 오차항으로 평균이 0이고 분산이 σ^2 으로 일정하며 자기상관이 없는 것으로 가정될 때, $\rho=1$ 인 경우 단위근을 가지며 불안정한 시계열이 된다. 따라서 $H_0: \rho=1$ 가설을 검정하는 것을 단위근 검정이라고 부르는데, 식 (1)을 단순 회귀분석으로 추정하여 검정할 때 Y_t 가 비정상적 시계열인 경우 가성회귀의 문제가 생기게 된다. 식 (1)을 차분연산자를 이용하여 바꾸어 나타내면 다음의 식 (2)와 같다.

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

여기서, Δ 는 1차 차분연산자, $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$ 를 의미하며, 회귀분석 추정 결과 $H_0: \rho - 1 = 0$ 의 귀무가설을 기각하지 않게 되면, 다음의 식 (3)과 같이 된다.

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} = v_t \quad (3)$$

이는 Y_t 는 비정상 시계열이지만 1차 차분한 ΔY_t 는 정상적 시계열이 된다는 것을 의미하는데, v_t 가 자기상관이 없는 오차항으로 가정되기 때문이다(Gujarati, 2013; Seo et al., 2014). 그러나 실제 단위근 검정은 오차항 v_t 에 자기상관이 존재할 수 있기 때문에 단위근 검정의 검정력을 낮추게 된다. 따라서 이러한 자기상관 문제를 해결하기 위해 다음 식 (4)와 같은 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정법이 널리 사용되고 있다.

$$\Delta Y_t = (\rho - 1) Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-j} + v_t \quad (4)$$

여기서, ΔY_{t-j} 은 자기상관을 반영하기 위해 ΔY_t 의 과거값을 모형에 포함시킨다(Gujarati, 2013; Min et al., 2014). 단위근 검정절차에 따라 불안정한 시계열 자료들이 차분되었을 때 안정성을 가

진다면, 이는 차분 정상적(Difference-stationary) 시계열 자료로 정의된다.

한편, 분석 자료들이 단위근을 가지는 불안정한 시계열 자료라 하더라도 각 자료들 간의 선형 결합의 결과가 안정적인 성질 즉, 장기적 균형 관계에 있다면 이는 공적분 관계에 있다고 정의된다. 공적분 검정의 방법으로는 최근 다변량 시계열 분석에 의한 Johansen 공적분 분석기법이 가장 널리 사용되고 있다(Johansen, 1991 and 1988). Johansen의 다변량 공적분 분석기법을 간략히 설명하기 위해 다음의 식 (5)와 같은 n차원의 벡터자기회귀(Vector autoregressive, VAR) 모형을 나타내면,

$$X_t = A_1 X_{t-1} + \dots + A_k X_{t-k} + \mu + \Phi D_t + \varepsilon_t, t=1, \dots, T \quad (5)$$

여기서, X_t 는 $(n \times 1)$ 의 확률변수벡터, A_k 는 $(n \times n)$ 모수행렬, X_0, \dots, X_{-k+1} 는 일정하며, $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_T$ 는 정규분포를 따르는 백색잡음 오차항, D_t 는 개입터미 또는 계절터미와 같은 비확률변수의 벡터인 동시에 공적분 공간에서 제외될 수 있는 약외생 확률변수들을 포함한다(Seo et al., 2014).

일반적으로 분석에서 사용되는 시계열 자료는 대부분 불안정하기 때문에 식 (5)와 같은 벡터자기회귀모형은 통상 1차 차분형태로 표시되며, 분석의 목적이 선형결합에 의한 안정성과 차분에 의한 안정성을 구분하는 것이기에 다음의 식 (6)과 같은 오차수정모형(error correction model)으로 변형시켜 나타낼 수 있다.

$$\Delta X_t = \pi_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \pi_{k-1} \Delta X_{t-k+1} + \pi X_{t-k} + \mu + \Phi D_t + \varepsilon_t, t=1, \dots, T \quad (6)$$

여기서, $\pi_i = -\sum_{j=i+1}^k A_j$ ($i=1, \dots, k-1$)이며, $\pi = \sum_{i=1}^k A_i - I$ 이다. 식 (6)에서 πX_{t-k} 항을 제외한 나머지 항목은 전통적인 1차 차분형태의 벡터자기회귀모형이며, π_i 는 단기동학을 포착하는 전통적인 1차 차분변수 계수의 행렬을 나타낸다. 특히,

π 는 장기영향행렬을 나타내는데, 이는 π 가 변수들 간의 장기적 균형 관계에 관한 정보를 포함하고 있음을 의미한다. 즉, π 를 $n \times r$ 행렬인 α 와 β 로 분해하면 β 는 공적분 벡터, α 는 균형관계식으로 조정되는 오차수정항, 그리고 π 의 위수(rank)인 r 은 공적분 벡터의 수를 의미한다(Johansen, 1988; Seo et al., 2014). $r=n$ 이라면 벡터과정은 모든 변수가 안정적이지만 $r=0$ 이라면 안정적인 선형결합이 없다는 것을 의미하고, 이것은 1차 차분된 통상적인 VAR 모형과 동일하다. 그리고 $r=1$ 이면 하나의 안정적인 선형결합이 존재하고, $0 < r < n$ 이면 r 개의 공적분 벡터가 존재하거나 X_t 의 r 개 안정적인 선형결합이 존재함을 의미한다.

공적분 검정통계량으로 Johansen은 공적분 벡터의 수를 분석하기 위한 두 가지 검정 방법으로 최대 고유치 검정법(Maximum eigenvalue test)과 trace 검정법(trace test)을 각각 제안하였다. 공적분 검정에 있어서 만약 trace 검정 통계량이나 최대 고유치 검정통계량이 유의수준 5%의 임계값보다 작으면 공적분 관계가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없게 된다. 반대로 검정통계량이 5% 유의수준의 임계값보다 크면 귀무가설을 기각하여 공적분 관계에 있음을 추정할 수 있다(Seo et al., 2014).

2) Granger 인과성 분석

Granger 인과성 분석기법은 VAR(vector autoregressive model) 혹은 VECM(vector error correction model) 모형을 이용하는 검정방법으로, 전통적인 F-통계량을 이용하여 확률변수 사이의 인과관계를 검정하는데 널리 사용되고 있는 방법이다. 이 기법은 간단히 말해서 변수 Y 값을 추정할 때 Y의 과거 값과 함께 다른 변수 X의 과거 값도 함께 사용하는 것이 Y의 과거 값으로만 예측하는 것보다 정확하다면 X에서 Y로의 인과방향이 존재하는 것으로 보는 것이다(Gary, 2000; Song and Jung, 2002).

이를 좀 더 구체적으로 나타내면, 시계열 변수 X_t 와 Y_t 가 존재한다고 할 때, 두 변수들 간의 연관성 검정을 위해 다음과 같은 두 가지 시계열 회귀식을 나타내면,

$$Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^n \alpha_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_j Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (7)$$

$$Y_t = \alpha + \sum_{j=1}^n \beta_j Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (8)$$

식 (7)은 X_t 와 Y_t 간의 관계를 설정한 회귀식으로 비제약회귀식이라 하며, 식 (8)은 X_t 를 제외한 회귀식으로 제약회귀식이다. 식 (7)에서 얻어지는 오차자승합(Sum of square error)을 SSE_{UR} , 식 (8)에서 얻어지는 오차자승합을 SSE_R 이라 할 때, F -통계량은 다음의 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{(SSE_R - SSE_{UR}) / P}{SSE_{UR} / (T - 2P - 1)} \quad (9)$$

여기서, T 는 총 관측치의 수, P 는 제약조건이 부과된 회귀계수의 수를 의미한다. 만약 X_t 가 Y_t 의 중요한 원인변수일 경우, X_t 와 Y_t 간의 관계를 설정한 비제약회귀식의 오차자승합(SSE_{UR})이 매우 작은 값을 갖고, X_t 를 제외한 제약회귀식에서는 오차자승합(SSE_R)이 큰 값을 가지게 된다. 따라서 X_t 가 Y_t 의 원인변수가 될 가능성이 커질수록 F -통계량 값은 커지게 된다. 이를 바탕으로 Granger 인과성 분석에 있어서는 식 (7)과 (8)을 이용하여 귀무가설(H_0)과 대립가설(H_1)을 다음과 같이 각각 설정하고,

$$H_0 : \sum_{i=1}^n \alpha_i = 0, X \text{는 } Y \text{의 원인변수가 아니다}$$

$$H_1 : \sum_{i=1}^n \alpha_i \neq 0, X \text{는 } Y \text{의 원인변수이다}$$

식 (9)에 의해 계산된 F 값이 F 의 임계값을 어떤 유의수준에서 초과하면 귀무가설을 기각하고, 이때 X 는 Y 의 원인변수로 추정할 수 있다.

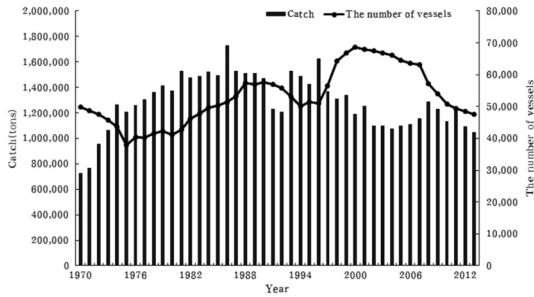
2. 분석자료

본 연구는 기후요소와 연근해 어업생산량 간의 관계를 분석하는데 목적이 있으므로, 분석에

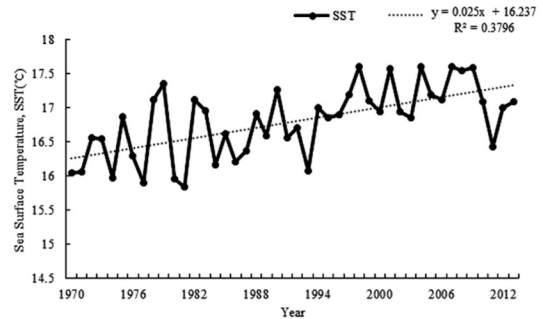
있어서는 우선 연근해 어업생산량 자료와 기후 요소로는 연근해 표층수온(SST) 자료를 이용하였다. 표층수온은 기후변화를 나타내는 주요 요소 중의 하나로, 지금까지 뚜렷한 증가경향을 보이고 있다. 따라서 표층수온과 연근해 어업생산량 간의 관계를 분석함으로써 향후 표층수온 상승에 따른 어업생산량 변화를 보다 용이하게 추정할 수 있기 때문이다.

연근해 어업생산량은 국가통계포털(www.kosis.kr)과 과거 수산통계자료의 최대 활용 가능한 범위에 따라 1970년부터 2013년 기간 동안의 연간 자료를 활용하였다. 여기서, 각 연도별 어획노력량 수준이 상이하기 때문에 연근해 어선척수를 이용한 단위노력당어획량(catch per unit effort, CPUE)을 연근해 어업생산량 변수로 사용하였다. 연근해 어업생산량 자료와 같은 기간 동안의 표층수온은 국립수산과학원 한국해양자료센터(KODC)의 자료를 활용하였다. 이는 국립수산과학원에서 매년 연 6회 시험조사선과 현장 관측 장비를 사용하여 동해, 서해 및 남해 해역으로 나누어 동해해역 58개 정점, 남해해역 54개 정점, 그리고 서해해역 52개 정점에 대해 각 해역별 정점들의 표층수온을 조화평균한 값이다(Seong et al., 2010). 이러한 3개 해역의 표층수온 자료를 평균하여 연근해 표층수온의 자료로 분석에서 사용하였다. 이상의 시계열 변수들에 대한 단위근 및 공적분 검정, Granger 인과성분석은 Eviews 6.0 통계분석 프로그램을 활용하였다.

분석 자료와 관련하여 우선 연근해 어업생산량 변화를 구체적으로 살펴보면, Fig. 1에서 보는 바와 같이, 1970년부터 1980년대 후반까지 증가 추세에 있고, 1986년도에는 170만 톤의 최고치를 기록하였다. 하지만 이후 감소추세로 돌아섰고, 1996년 160만 톤 이후 2013년까지 지속적인 감소추세를 보이고 있다. 연근해 어선척수는 1970년대 중반부터 어획량의 증가와 더불어 증가하였고, 1990년도부터 2000년까지 급격히 증



Source : Korean statistical information service (www.kosis.co.kr)
 Fig. 1. Changes in catch amount and number of vessels of coastal and offshore fisheries in Korea from 1970 to 2013.



Source : NFRDI KODC(2015)
 Fig. 2. The trend in mean annual sea surface temperature of the Korean coasts from 1970 to 2013.

Table 1. Variations in catch species of coastal and offshore fisheries in Korea

Rank	1970	1980	1990	2000	2010	2014
1	Japanese common squid (10.0%)	Filefishes (16.7%)	Filefishes (15.6%)	Japanese common squid (19.0%)	Anchovy (22.0%)	Anchovy (20.8%)
2	Hairtail (9.5%)	Anchovy (12.4%)	Pilchard (9.0%)	Anchovy (16.9%)	Japanese common squid (14.1%)	Japanese common squid (15.5%)
3	Anchovy (7.5%)	Hairtail (8.8%)	Anchovy (8.8%)	Chub mackerel (12.3%)	Chub mackerel (8.3%)	Chub mackerel (12.0%)
4	Chub mackerel (5.3%)	Little pollack (5.0%)	Hairtail (7.0%)	Hairtail (6.8%)	Hairtail (5.2%)	Hairtail (4.4%)
5	Yellow corvina (4.4%)	Chub mackerel (4.6%)	Chub mackerel (6.5%)	Croakers (2.6%)	Spanish mackerel (3.2%)	Red snow crab (3.6%)
6	Pacific Saury (3.5%)	Yellow corvina (3.6%)	Japanese common squid (5.0%)	Spanish mackerel (2.2%)	Red crab (2.9%)	Spanish mackerel (2.8%)
7	Other ray-finned Fishes (3.2%)	Japanese common squid (3.5%)	Croakers (2.6%)	Pacific Saury (1.7%)	Yellow corvina (2.8%)	Yellow corvina (2.6%)
8	Righteye flounders (3.0%)	Croakers (3.2%)	Other crabs (1.9%)	Yellow corvina (1.7%)	Red snow crab (2.7%)	Red crab (2.4%)
9	Sand fish (2.2%)	Cuttlefishes (2.8%)	Yellow corvina (1.9%)	Jacks (1.6%)	Herring (2.2%)	Jacks (2.3%)
10	Alaska pollack (1.9%)	Pilchard (2.8%)	Surf clam (1.9%)	Sand lance (1.4%)	Oysters (2.0%)	Herring (2.2%)

Source : Korean statistical information service (www.kosis.co.kr)

가하였다. 하지만 이후 2000년대 초반부터 현재까지 감소추세를 보이고 있다.

연근해 주요 어종들의 생산량 변화를 살펴보면, Table 1에서 보는 바와 같이, 과거 1970년에

오징어류가 72,142톤(10.0%)으로 우위를 점하였으며, 다음으로 갈치(9.5%), 멸치(7.5%)의 순이었다. 1980년에 들어서는 쥐치류가 어획량 증가를 보이며 우위를 점하였다(229,230톤, 16.7%).

1990년에도 쥐치류의 우점(229,522톤, 15.6%)은 계속 되었고, 정어리의 어획량 증가(132,354톤, 9.0%)가 두드러지게 나타났다. 2000년에는 오징어류가 가장 많은 어획량을 나타냈고(226,309톤, 19.0%), 다음으로 멸치(16.9%), 고등어(12.3%), 갈치(6.8%) 등의 순이었다. 2010년에는 멸치의 어획량 증가로 멸치(249,636톤, 22%), 오징어류(14.1%), 고등어(8.3%) 순으로 나타났으며, 1990년에 비해 오징어류와 고등어의 어획량이 크게 증가한 결과를 보였다. 최근 2010년대는 1970~80년대와 비교하여 꽃게와 붉은대게 등의 어획량 비중은 크게 높아진 반면, 쥐치류와 정어리의 어획량은 대폭 감소한 경향을 보이고 있다.

연근해 표층수온(SST)의 경우 Fig. 2에서 보는 바와 같이, 1970년부터 2013년까지 연도별 증감 경향을 보이지만 지속적인 증가추세에 있다. 2007년도에 가장 높은 수치(17.60°C)를 보인 반면, 1981년도에 가장 낮은 수치(15.83°C)를 기록하였다. 1970년도 표층수온(16.03°C)과 2013년도 표층수온(17.09°C)의 차이는 1.06°C로 관측된 과거부터 현재까지 기후변화에 따른 표층수온의 증가가 진행 중에 있다.

III. 분석 결과

1. 단위근 및 공적분 검정 결과

우선 분석 자료인 CPUE와 SST 변수 모두 자연로그를 취하여 시계열 분석 시 분산을 안정화하였다(Kim et al., 2003). 통상 ADF 단위근 검정

에 있어 검정회귀식에 포함되는 시차변수의 길이는 AIC(Akaike Information Criteria) 기준에 의해 최소값을 가지는 시차로 결정한다(Hill et al., 2007). 이에 따른 단위근 검정결과, Table 2에서 보는 바와 같이 CPUE와 SST에 상수항이 포함될 경우, 상수항과 추세항이 포함되지 않을 경우, 그리고 상수항과 추세항이 포함될 경우의 검정 중 상수항과 추세항이 포함된 SST의 수준 변수를 제외하고 모두 귀무가설 (H_0 : 단위근이 존재한다)을 기각할 수 없는 것으로 분석되어 CPUE와 SST 모두 비정상 시계열 자료로 추정되었다.

하지만 1차 차분한 CPUE와 SST 변수에 대해 상수항이 포함될 경우, 상수항과 추세항이 포함될 경우, 상수항과 추세항이 불포함될 경우 모두 1% 수준에서 귀무가설을 기각하였다. 이에 따라 CPUE와 SST 변수 모두 단위근이 제거된 안정적인 시계열 자료가 되는 것으로 분석되었다.

공적분 검정에 있어서 적정시차는 AIC와 SIC(Schwarz Information Criteria) 최소값 기준에 의해 1차로 분석되었다. 검정 결과, Table 3에서 보는 바와 같이, trace 검정통계량이 $H_0 : r \leq 1$ 를 5% 유의수준에서 기각할 수 없는 것으로 나타나 공적분 벡터가 1개 존재하는 것으로 추정되었다. 또한 최대 고유치(maximum eigenvalue) 검정법에서도 $H_0 : r \leq 1$ 를 5% 유의수준에서 기각할 수 없는 것으로 나타나 마찬가지로 공적분 벡터가 1개 존재하는 것으로 추정되었다. 이는 선형결합이 있는 시계열이 1개 존재하는 것으로 추정되며, 연근해 CPUE와 SST 간에 서로 장기적인 균형 관계가 있음을 의미한다. 따라서

Table 2. ADF unit root test results

	Variables	With constant	With constant and trend	Without constant and trend
Level	CPUE	-2.199518	-3.362537	0.372315
	SST	-2.086525	-6.144290*	0.451108
First difference	CPUE	-5.402821*	-5.527299*	-5.451286*
	SST	-6.506020*	-6.473845*	-6.560251*

* statistically significant at 0.01

Table 3. Johansen cointegration results

$H_0: \text{Rank}=r$	Trace test			Maximum eigenvalue test		
	Test statistic	Critical value (5%)	p-value	Test statistic	Critical value (5%)	p-value
$r=0$	33.62255	15.49471	0.0000	30.00520	14.26460	0.0001
$r \leq 1$	3.617351	3.841465	0.0572	3.617351	3.841465	0.0572

Table 4. Granger causality results

Null Hypothesis	F-Statistic	Probability
SST does not Granger Cause CPUE	3.32052	0.0759
CPUE does not Granger Cause SST	1.48001	0.2309

CPUE와 SST 변수는 각각 단위근을 가지는 비정상 시계열이지만, 장기적 균형관계 즉, 공적분 관계에 있으므로 회귀분석을 통해 연근해 표층수온과 어업생산량의 관계를 추정해도 가성회귀의 문제가 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

2. Granger 인과성 검정 결과

단위근 및 공적분 결과에 따라 VECM 모형을 통한 Granger 인과성 검정 결과, Table 4에서 보는 바와 같이, SST는 CPUE에 대해 인과성이 없다는 귀무가설을 10% 유의수준에서 기각하는 것으로 추정되었다. 반대로 CPUE는 SST에 대해 인과성이 없다는 귀무가설은 기각되지 않는 것으로 추정되어 CPUE는 SST에 원인변수가 될 수 없는 것으로 분석되었다. 따라서 연근해 표층수온의 변화는 단위노력당어획량(CPUE) 즉, 어업생산량에 영향을 미치는 원인변수가 되는 것으로 나타나 기후변화가 어업생산량 변화에 영향을 미치는 직접적인 원인 중의 하나임을 증명할 수 있다.

3. 연근해 표층수온과 어업생산량 간의 회귀분석 결과

공적분 검정 결과를 바탕으로 연근해 표층수온과 어업생산량 간의 관계를 회귀분석한 결과, Table 5에서 보는 바와 같이, R²는 높은 수준이 아니지만 F값은 5% 수준에서 유의한 것으로 추정되어 모형의 적합도가 우수하게 나타났다. 이

Table 5. Regression analysis results for CPUE = $\alpha + \beta \cdot \text{SST}$

Variable	Coefficient	Std. Error	P-value
α	11.1035	3.368985	0.0020
β	-2.80697	1.194233	0.0235
$R^2=0.116, F=5.524 (p=0.0235)$			

는 표층수온 외에도 연근해 어업생산량 변화에 영향을 미치는 요인들이 다양하지만, 표층수온이 통계적으로 유의한 설명력을 가지고 있어 연근해 어업생산량 변화를 추정할 수 있는 다양한 요인들 가운데 의미 있는 하나의 변수임을 알 수 있다. 그리고 종속변수인 연근해 CPUE에 대한 결정계수들인 α 와 β 는 1% 와 5% 수준에서 각각 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 특히 CPUE에 대한 SST 추정계수의 부호가 음(-)인 것으로 나타나 SST가 상승할수록 CPUE는 감소하는 것으로 최종 추정되었다.

Seong et al.(2010)는 우리나라 연근해 표층수온의 장기 변동을 분석하여 표층수온의 해역별 연평균 상승률을 동해 0.034°C/year, 남해 0.031°C/year, 그리고 서해 0.030°C/year로 추정하였다. 동해, 남해 및 서해를 평균하면 연근해 전체 표층수온의 연평균 상승률은 0.0316°C/year이다. 이와 같은 표층수온의 연평균 상승률이 지속된다 고 가정할 때, 2050년에는 약 1.17 그리고 2100년에는 2.75의 상승이 예상된다. 이러한 표층수온의 향후 변화를 바탕으로, 현재의 어획노력량 수

Table 6. Forecasting of the catch amount of offshore and costal fisheries in Korea

Year	SST(°C)	Catch(tons)
2013	17.09	1,044,697
2050	18.26	907,449 (13%)
2100	19.84	718,880 (31%)

* Figures in parentheses indicate decreasing rates of catch from the catch in 2013

준과 어업여건이 동일하다고 가정할 경우 표층수온 상승에 따른 연근해 어업생산량은 2050년 약 91만 톤 그리고 2100년 약 72만 톤으로, 2013년 어획량(104만 톤) 대비 각각 약 13%와 31% 정도씩 감소하는 것으로 추정된다(Table 6).

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 기후변화에 따른 향후 연근해 어업생산량 변화를 분석하기 위해 기후요소 중의 하나인 표층수온과 어업생산량의 연간 시계열 자료(1970~2013)를 이용하여 연근해 표층수온의 변화와 어업생산량 간의 관계를 통계적으로 추정해 보았다. 분석에 있어서는 시계열 분석 자료에 대한 단위근 검정을 통해 각 시계열 변수들의 안정성 여부를 검정하였고, 나아가 공적분 검정을 통해 불안정한 시계열 자료들 간의 장기적 균형관계 여부를 평가하였다. 그리고 어업생산량 변화에 대한 기후요소(표층수온)의 인과성 여부를 보다 명확히 파악하기 위해 Granger 인과성 분석기법을 사용하여 변수들 간의 인과성 효과를 추가적으로 검증하였다.

분석 결과, 연근해 표층수온(SST)와 단위노력당어획량(CPUE) 두 변수 모두 단위근을 가지는 불안정 시계열 자료로 추정되었지만, 1차 차분시 CPUE와 SST 변수 모두 단위근이 제거된 안정적인 시계열 자료가 되는 것으로 분석되었다. 공적분 검정에 있어서는 두 변수가 장기적 균형관계에 있는 것으로 추정되어 회귀분석을 실시

하여도 가성회귀의 문제가 없는 것으로 평가되었다. Granger 인과성 검정에 있어서는 표층수온이 연근해 어업생산량의 원인변수가 되는 것으로 추정되어 표층수온의 변화가 어업생산량 변화에 직접적으로 영향을 미치는 요인 중의 하나로 분석되었다. 다음으로 표층수온과 연근해 어업생산량 간의 회귀분석 결과, CPUE에 대한 표층수온의 추정계수가 음(-)으로 나타나 표층수온이 상승할수록 CPUE가 감소하는 것으로 추정되었다. 이러한 결과를 바탕으로 선행연구에서 추정된 표층수온의 연평균 상승률과 현재의 어획노력량 수준 및 어업여건이 일정하게 유지될 경우 향후 연근해 어업생산량은 감소할 것으로 전망되었다.

활용 가능한 자료의 한계 상 본 연구에서는 기후요소인 표층수온과 연근해 어업생산량 간의 관계만을 분석하였다. 기후변화는 복잡한 요소들로 구성되어 있고, 어업생산량 변화 역시 다양한 요인들에 의해 영향을 받으므로 표층수온에 따른 연근해 어업생산량 변화를 예측하는데 많은 한계가 있는 것이 사실이다. 하지만 표층수온과 어업생산량 간의 회귀분석과 Granger 인과성 검증 결과에서 나타난 바와 같이, 표층수온이 연근해 어업생산량 변화를 추정하는데 있어 중요한 기후요소로 평가할 수 있다. 이러한 점에서 본 연구의 분석결과는 향후 기후변화에 대응한 수산물 수급정책이나 수산자원관리정책 수립에 유용한 참고자료가 될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 기후변화에 따른 어업생산량 감소 등의 영향을 최소화하기 위해서는 우선 연근해 수산자원을 효과적으로 회복·관리해 나가야 한다. 기후변화에 따른 어종별 과학적 자원조사와 평가를 통해 기후변화 영향을 평가하고, 특히 기후변화에 부정적인 영향을 받을 수 있는 어종들에 대해서는 효과적인 관리방안이 마련되어야 할 것이다. 기후변화에 따라 생산량이 증가되는 새로운 어종들에 대해서도 생태적 조사와 어구·어법적 연구 등을 강화하여 지속적이고 안정적인

인 생산을 도모해 나가야 한다. 그리고 향후 수출을 포함한 수산물의 안정적 공급을 도모하기 위해서는 기후요소 변화에 따른 어업생산 영향을 사전적으로 예측하고, 대응할 수 있는 관리시스템을 구축하는 것도 필요할 것이다.

REFERENCES

- Andre, E. P. (2011), "The impact of climate change on the performance of rebuilding strategies for overfished groundfish species of the U.S. west coast," *Fisheries Research*, 109, 320–329.
- Allison, E. H., Perry, A. L., Badjeck, M., Adger, W. N., Brown, K., Conway, D., Halls, A. S., Pilling, G. M., Reynolds, J. D., Andrew, N. L. and Dulvy, N. K. (2009), "Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries," *Fish and Fisheries*, 10, 173–196.
- Cheung, W. L., Pinnegar, J., Merino, G., Jones, M. C. and Barange, M. (2012), "Review of climate change impacts on marine fisheries in the UK and Ireland," *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22, 368–388.
- Chung, S., Kim, S., and Kang, S. (2013), "Ecological relationship between environmental factors and Pacific cod catch in the southern East/Japan Sea," *Animal Cells and Systems*, 17 (5), 374–382.
- FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2009), *Climate change implications for fisheries and aquaculture*, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 530, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gary, K. (2000), *Analysis of Economic Data*, John Wiley & Sons.
- Gujarati, D. (2013), *Econometrics by Example*, Sigma Press.
- Hollowed, A. B., Barange, M., Beamish, R. J., Brander, K., Cochrane, K., Drinkwater, K., Foreman, M. G., Hare, J. A., Holt, J., Ito, S., Kim, S., King, J. R., Loeng, H., MacKenzie, B. R., Mueter, F. J., Okey, T. A., Peck, M. A., Radchenko, V. I., Rice, J. C., Schirripa, M. J., Yatsu, A. and Yamanaka, Y. (2013), "Projected impacts of climate change on marine fish and fisheries," *ICES Journal of Marine Science*, 70 (5), 1023–1037.
- Hill, R, Griffiths, W. and Lim, G. (2007), *Principles of Econometrics*, 3rd Edition, John Wiley.
- Hobday, A. J., Poloczanska, E. S., and Matear, R. J. (2008), *Implications of Climate Change for Australian Fisheries and Aquaculture: a preliminary assessment*, Department of Climate Change, Australian Government.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014), *Climate change 2014 synthesis report summary for policymakers*, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Johansen, S. (1988), "Statistical Analysis of Cointegration Vectors," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, 231–254.
- Johansen, S. (1991), "Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian autoregressive models," *Econometrica*, 59, 1551–1580.
- KACCC(Korea Adaptation Center for Climate Change) (2015), Korea's climate change adaptation strategy (http://ccas.kei.re.kr/climate_change_adapt).
- Kim, B. T., Lee, S. G. and Jeong, M. S. (2014), "An Analysis of Fishermen's Perception to Climate Change in Korea," *Journal of Fisheries Business Administration*, 45 (3), 71–84.
- Kim, S. S., Lee, M. S., and Choe, Y. C. (2003), "Returns to Investment on Research in Korean Agriculture," *Korean J. of Ag. Extension*, 10 (1), 57–76.
- Kim, S., Zhang, C. I., Kim, J. Y., Oh, J. H., Kang, S., and Lee, J. B. (2007), "Climate Variability and Its Effects on Major Fisheries in Korea," *Ocean Science Journal*, 42 (3), 179–192.
- KMA(Korea Meteorological Administration) (2014), *Korean Climate Change Assessment Report 2014*, Korea Meteorological Administration.
- KODC(Korea Oceanographic Data Center) (2015), *National serial oceanographic observation data*,

- National Fisheries Research & Development Institute.
- Korean Fisheries yearbook (1970–2013), *Fishing Fleet Statistics*, Each year.
- Lee, B. D., Kim, B. T., and Cho, Y. S. (2011), “A Study on Vulnerability Assessment to Climate Change in Regional Fisheries of Korea,” *The Journal of Fisheries Business Administration*, 42 (1), 57–70.
- Leonid, B. K. (1998), “Long-term climate change and main commercial fish production in the Atlantic and Pacific,” *Fisheries Research*, 37, 115–125.
- Lu, H. J. and Lee, H. L. (2014), “Changes in the fish species composition in the coastal zones of the Kuroshio Current and China Coastal Current during periods of climate change: Observations from the set-net fishery (1993–2011),” *Fisheries research*, 155, 103–113.
- Matthew, F., Hohn, M. B., Paul, J. B., Martyn, C., Stephen, R. D. and Narumon, W. H. (2012), “Impact of climate change on fish, fisheries and aquaculture,” *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22, 331–336
- Min, I. S. and Choi, P. S. (2014), *STATA Time Series Data Analysis*, Media Jiphil, 87–92.
- Oistein, H. and Alf, H. H. (2013), “Climate change and adaptive capacity in fisheries management: the case of Norway,” *Int Environ Agreements*, 13, 49–63.
- Park, K. I. and Kim, D. H. (2013), “Analyzing Investment Effects of Fisheries R&D Projects : A case of NFRDI’ s R&D projects,” *Journal of The Fisheries Business Administration*, 44 (2), 1–9.
- Park, S. K., Kwon, H. J., Park, J. W. and Cha, C. P. (2010), “Bio-Economic Relationships between Climate Change and Fisheries,” *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 22 (3), 388–401.
- Pranovi, F., Caccin, A., Franzoi, P., Malavasi, S., Zucchetta M. and Torricelli, P. (2013), “Vulnerability of artisanal fisheries to climate change in the Venice Lagoon,” *Journal of Fish Biology*, 83, 847–864.
- Ragnar, A. (2007), “Climate change and Fisheries: Assessing the economic impact in Iceland and Greenland,” *Natural Resource Modeling*, 20 (2), 163–197.
- Seo, Y. I., Chung, Y. H. and Kim, D. H. (2014), “An analysis on the relation ship between prices and catch amounts of sandifish using a cointegration test,” *Journal of The Korean Society of Fisheries Technology*, 50 (4), 502–510.
- Seong, K. T., Hwang, J. D., Han, I. S., Go, W. J., Suh, Y. S. and Lee, J. Y. (2010), “Characteristic for Long-term Trends of Temperature in the Korean Waters,” *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 16 (4), 353–360.
- Song, I. H. and Jung, W. S. (2002), *Econometric Analysis using SAS and Eviews*, Samyungsa, 317–359.
- Statistics Korea KOSIS (2015), Survey on Fishery Production (<http://kosis.kr>).