

# 공적분 검정을 이용한 기후변화의 멸치 생산량에 대한 영향 분석

엄기혁 · 김홍식\* · 한인성 · 김도훈\*†  
(국립수산과학원 · \*†부경대학교)

## Analyzing the Relationship between Climate Change and Anchovy Catch using a Cointegration Test

Ki-Hyuk EOM · Hong-Sik KIM\* · In-Seong HAN · Do-Hoon KIM\*†  
(National Institute of Fisheries Science · \*†Pukyong National University)

### Abstract

This study aimed to analyze the relationship between sea temperatures and anchovy catch of Anchovy drag net fishery using annual time series data from 1970 to 2013. In the analysis, time series data on variables (CPUE, sea surface temperature, and 10m temperature) were estimated to be non-stationary from unit root tests, but one long-term equilibrium relation among variables was found from a cointegration test. From an exclusion test, a 10m temperature would not have relations with CPUE and sea surface temperature.

The result of regression analysis on sea surface temperature and anchovy catch indicated that the sea surface temperature would have positive impacts on the anchovy catch. It means that when the sea surface temperature would increase, all other things including the current level of fishing effort being equal, the catch of anchovy was predicted to increase. More specifically, the result showed that when 1% of sea surface temperature increases, CPUE would be increased by 2.81%.

**Key words :** Anchovy, Sea temperature, Climate change, Cointegration, Fisheries

### I. 서론

최근 수온과 해수면의 급속한 상승 등 기후변화에 대한 심각성이 크게 대두되고 있다. 이러한 기후변화는 해수 온도와 해수면 상승 등 물리적인 변화와 해양생태계의 변화를 촉진시키고, 나아가 수산생물자원에 영향을 미칠 것으로 예상되어 수산분야에서도 기후변화 대응이 필요한 시점이다. 특히 세계식량농업기구(FAO)에서는 기후변

화에 따라 수산자원의 성장 기간 장기화, 어업자원의 고위도 지역으로의 빠른 이동, 그리고 수산자원의 산란 패턴 변화 및 회유경로 이동 등이 심화될 것으로 예측하고 있다(FAO, 2009). 우리나라의 경우에도 한반도 주변 수온과 해수면이 계속 상승하고 있는 것으로 조사되고 있고, 수온 상승률은 전 지구 해양 수온 상승률의 평균보다 2~3배 높은 것으로 나타나 기후변화의 영향이 상대적으로 큰 것으로 평가되고 있다(KMA, 2014).

† Corresponding Author : 051-629-5954, delaware310@pknu.ac.kr

\* 이 논문은 2015년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2015054)의 지원으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

이러한 기후변화에 대응하고 적응하기 위하여 국제적으로 수산분야 기후변화 관련 연구가 활발히 진행되어 오고 있다. 그 중에서도 기후변화에 대한 향후 대응방안 마련을 위해 기후변화에 따른 수산분야 취약성(vulnerability) 평가 연구가 진행되고 있다. 기존 취약성 평가 연구에서는 취약성을 노출, 민감도, 적응능력 요소의 함수관계로 설정하고, 각 요소별 지표 설정과 분석을 통해 어업별, 지역별, 그리고 국가별 수산분야 취약성을 비교하고 있다(Allison et al., 2009; IPCC 2001; Pranovi et al., 2013). 그리고 국내연구에서도 Lee et al.(2011)은 우리나라 수산분야 기후변화 취약성을 지역별로 평가·비교하였다. 하지만 이러한 요소별 지표 설정을 통한 취약성 평가 연구는 비교 대상들(어업별, 지역별, 국가별 등)의 지표 값 추정을 통해 서로 상대적으로 비교할 수밖에 없어 단일(개별) 어업이나 지역 혹은 국가의 취약성을 평가할 수 없는 단점이 있다. 그리고 활용 가능한 자료의 한계 등 요소별 올바른 지표의 선정이 어렵고, 종합 평가를 위한 요소 간 가중치 설정에 있어서도 객관성이 떨어지는 한계가 있다.

이러한 취약성 평가 연구 외에도 특히 수산자 연과학적 분야에서 기후변화가 어종 구성에 미치는 영향을 분석하거나(Lu and Lee, 2014), 시계열 자료를 이용하여 기후요소(수온, 염분 등)와 수산 생물자원의 이동 그리고 생산량 변화 등을 비교·분석해 오고 있다(Cheung et al., 2012; Chung et al., 2013; Dorner et al., 2013; Hollowed et al., 2013; Leonid, 1998; Kim et al., 2007). 시계열 자료를 이용한 선행연구에서는 대부분 기후변화 요소들의 변화와 생산량 등의 변화를 추세적으로 비교하거나 상관관계 등 비교적 간단한 통계적 기법을 통해 기후변화 영향 관계를 고려하고 있다.

향후 기후변화에 대응한 각종 수산정책 수립을 위해서는 기후변화에 따른 어업별 혹은 어종별 생산 변화를 예측하는 것은 무엇보다 중요한 일

이다. 최대 활용 가능한 자료 범위 내에서 기후변화의 어종별(혹은 어업별) 생산량에 대한 영향을 계량적으로 분석하는 일은 수산분야 취약성 평가에도 크게 도움이 될 수 있을 것이다. Eom et al.(2015)은 기후변화에 따른 우리나라 연근해 어업생산량의 변화에 대해 표층 수온과의 영향 관계를 계량통계적으로 추정하여 향후 표층 수온 상승에 따른 연근해 어업생산량 변화를 예측하였다. 주요 어종에 대해서도 이러한 계량통계적인 분석을 통해 기후변화에 따른 생산량 변화 등을 예측해 간다면 향후 대응 및 적응방안 수립에 유용한 기초자료가 될 수 있을 것이다.

이러한 배경 하에서 본 연구는 기후변화의 영향을 가장 많이 받을 것으로 예상되는 멸치를 대상으로 기후변화가 멸치 생산량에 미치는 영향을 계량적으로 추정해 보고자 한다. 멸치를 주 어획 대상으로 하는 기선권현망어업을 대상으로 주요 조업어장의 기후요소(수온) 변화를 분석하여 기후변화가 기선권현망어업의 멸치 생산량에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 분석에 있어서는 구체적으로 Lee and Kim(2007)의 연구결과를 바탕으로, 1970년부터 2013년까지의 주요 조업어장인 부산·경남 해역의 기선권현망어업의 멸치 생산량과 조업어장 주변의 표층 및 수심 10m 수온 자료를 이용하였다. 분석 방법으로는 분석 자료의 시계열 자료의 특성상 각 시계열 자료의 단위근과 공적분 검정 기법을 활용하여 기후변화(수온)가 멸치 생산량에 미치는 영향을 추정하였다.

## II. 분석 방법 및 자료

### 1. 분석 방법

수온 변화가 기선권현망어업의 멸치 생산량에 미치는 영향을 분석하기 위해 먼저 단위근 검정(unit root test)을 통해 각 변수별 시계열 자료에 대한 안정성 여부를 확인하였다. 그리고 변수별 시계열 자료가 불안정적일 경우 공적분 검정을

통해 변수들 간의 장기적 균형관계를 우선 분석하고, 추가적인 배제 검정(exclusion test)을 통해 공적분 관계로 추정되었지만 장기적 균형 관계에 유의하게 기여하지 않는 변수를 재검정하였다. 이 외에도 Granger 인과성 분석을 통하여 수온의 변화와 열치 생산량과의 인과 관계를 분석하였다.

가. 단위근 및 공적분 검정

시계열 자료를 바탕으로 한 실증분석에 있어서는 무엇보다 선행적으로 시계열 자료의 안정성 여부를 확인해야 한다. 분석에 사용될 시계열 자료의 안정성 여부를 검정한 다음 시계열 자료의 불안정한 경우 불안정한 시계열 자료 간의 장기적 균형관계 여부를 공적분(cointegration) 검정을 통해 안정성 여부를 파악할 필요가 있다(Eom et al., 2015; Gujarati, 2013).

시계열 자료의 안정성 여부를 파악하는 방법으로 단위근 검정(unit root test)이 가장 많이 사용되고 있으며, ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정법이 널리 사용되고 있다. 그리고 공적분 검정의 방법으로는 다변량 시계열 분석에 의한 Johansen 공적분 분석기법이 널리 사용되고 있다(Johansen 1998 and 1991). 공적분 검정통계량으로는 공적분 벡터의 수를 분석하기 위한 두 가지 검정방법을 제안하였는데, 첫 번째 최대 고유치 검정법(maximum eigenvalue test)은 공적분 벡터가  $r+1$  개라는 대립가설에 대하여  $r$ 개의 공적분 벡터가 존재한다는 귀무가설을 식 (1)과 같이 검정한다.

$$\lambda_{\max}(r, r+1) = -2 \ln Q(H_0(r) | H_1(r+1)) = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_{r+1}) \quad (1)$$

두 번째 방법은 trace 검정법(trace test)으로, 이는 공적분 벡터가  $(r+1)$ 개 이상  $n$ 개 이하라는 대립가설에 대하여 공적분 벡터가  $r$ 개 이하가 존재한다는 귀무가설을 식 (2)와 같이 검정한다.

$$\lambda_{\text{trace}}(r) = -2 \ln Q(H_0(r) | H_1(n)) = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (2)$$

여기서  $\hat{\lambda}_i$ 는 추정된  $\Pi$  행렬로부터 구해진 특성근 또는 고유치(eigenvalues)의 추정치이며,  $T$ 는 관찰치의 수를 의미한다.

공적분 분석기법 사용에 있어 한 가지 문제는 한 개 혹은 두 개 이상의 변수가 장기적인 균형 관계에 유의적으로 기여하지 않음에도 불구하고 공적분된 것으로 추정될 수 있어 공적분 관계에 있는 변수들 가운데 장기적인 균형관계에 유의적으로 기여하지 않는 변수들은 재검정되어 배제되어야 한다(Jeffrey et al., 2000). 이러한 변수의 배제 검정(exclusion test)은 주어진 공적분 관계식에서 각 변수들의 공적분 벡터를 나타내는 장기적 파라미터를 영(0)으로 하여 귀무가설을 설정하고, 우도비 검정( $\chi^2(r)$ )을 통해 추정할 수 있다(Johansen and Juselius, 1990).

나. Granger 인과성 분석

Granger 인과성 분석기법은 VAR(vector autoregressive model) 또는 VECM(vector error correction model) 모형을 이용하여 확률변수 사이의 인과관계를 검정한다. 이 기법은 변수  $Y$  값을 추정할 때  $Y$ 의 과거 값과 함께 다른 변수  $X$ 의 과거 값도 함께 사용하는 것이  $Y$ 의 과거 값으로만 예측하는 것보다 정확하다면  $X$ 에서  $Y$ 로의 인과방향이 존재하는 것으로 보는 것이다(Eom et al., 2015; Song and Jung, 2002).

예를 들어, 시계열 변수  $X_t$ 와  $Y_t$  간의 관계를 설정한 비제약회귀식과  $X_t$ 를 제외한 제약회귀식을 가정할 경우 비제약회귀식에서 얻어지는 오차자승합(Sum of square error)을  $SSE_{UR}$  그리고 제약회귀식에서 얻어지는 오차자승합을  $SSE_R$ 이라 할 때,  $F$ -통계량은 다음의 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{(SSE_R - SSE_{UR})/P}{SSE_{UR}/(T - 2P - 1)} \quad (3)$$

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.

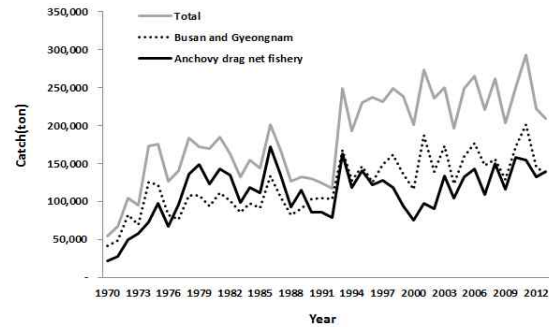
## 2. 분석 자료

본 연구에서는 기후변화의 기선권현망어업의 멸치 생산량에 대한 영향을 분석하기 위해 활용 가능한 범위에 따라 1970년부터 2013년까지의 기선권현망어업의 멸치 생산량 자료와 기선권현망어업의 주요 조업어장인 부산·경남 해역의 수온 자료를 기후변화 요소의 자료로 활용하였다.

구체적으로 기선권현망어업의 멸치 생산량은 국가통계포털([www.kosis.kr](http://www.kosis.kr))과 과거 수산통계자료의 연간 자료를 활용하였다. 여기서, 연도별 어획 노력량 수준이 상이하기 때문에 어선척수를 이용한 단위노력당어획량(catch per unit effort, CPUE)을 기선권현망어업의 멸치 생산량 변수로 사용하였다. 수온은 기선권현망어업생산량 자료와 같은 기간의 국립수산과학원 한국해양자료센터(KODC) 정선관측 자료를 활용하였다. 이상의 시계열 변수들에 대한 단위근 및 공적분 검정, Granger 인과성분석은 Eviews 6.0 통계분석 프로그램을 활용하였다.

분석 자료와 관련하여 우선 멸치 생산량 변화를 살펴보면, [Fig. 1]에서 보는 바와 같이, 1970년부터 전국의 멸치 연간 어획량은 증감을 반복하고 있지만 지속적인 증가 추세를 보이고 있다. 특히 1992년의 멸치생산량(약 11만 톤)에서 1993년 멸치생산량(약 25만 톤)으로 약 113%의 가장 큰 생산량의 증가를 보였으며, 이후 2011년도에 약 29만 톤으로 최고치를 기록하였다. 부산·경남 지역의 멸치 생산량의 변화는 전국의 멸치어획량 변화와 비교적 동일하게 증감을 반복하였으며, 그 추세 또한 전국의 추세와 동일하게 증가하고

있다. 또한 부산·경남지역의 멸치생산량은 전국 총 생산량 대비 평균 약 66%를 차지하고 있어, 부산·경남지역의 멸치 생산량이 전국의 멸치 총 생산량에 지대한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.



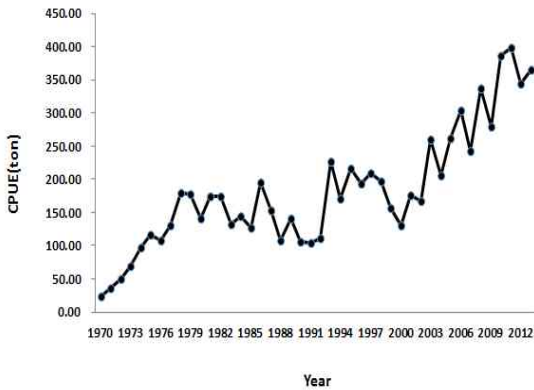
[Fig. 1] Changes in catch of Anchovy in Korea from 1970 to 2013

또한 부산·경남 해역에 집중되어 있는 기선권현망어업의 멸치 생산량은 1995년 이전의 전국 멸치 생산량에 비해 최근 그 비중이 감소하는 경향을 보이고 있다. 하지만 2013년 기준 기선권현망어업의 멸치 생산량은 약 14만 톤으로 부산·경남 멸치 생산량의 약 100% 수준 그리고 전국 멸치 생산량의 약 70% 수준으로 여전히 우리나라 멸치 생산량 변화를 주도하고 있다.

기선권현망어업의 어선별 멸치의 단위노력당어획량(CPUE)은 [Fig. 2]에서 보는 바와 같이, 지속적인 증가 추세를 보이고 있다. 이는 기선권현망어업의 멸치 생산량이 증가하고 있고, 기선권현망어업의 어선척수가 크게 감소되었기 때문이다 (1970년 932척→1990년 812척→2000년 575척→2013년 383척).

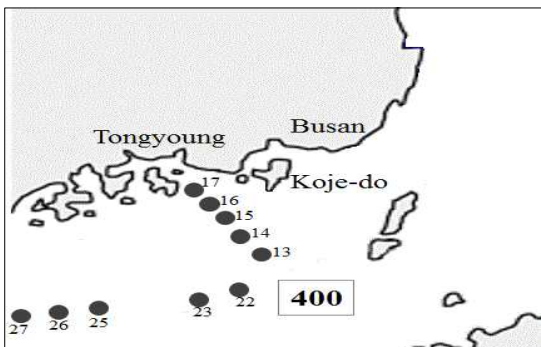
구체적인 CPUE 변화를 살펴보면, 1970년도 기선권현망 어선별 CPUE는 23.38톤이었지만 이후 꾸준히 증가하여 1986년 195.74톤을 기록하였고 이후 2000년에는 130.78톤으로 감소하였다. 하지만 이후 급격히 증가되어 2011년에는 399.11톤으로 최고치를 기록하였다. 2013년 현재 CPUE는

365.46톤 수준이다.



[Fig. 2] Change of CPUE by Anchovy drag net vessel in Korea from 1970 to 2013

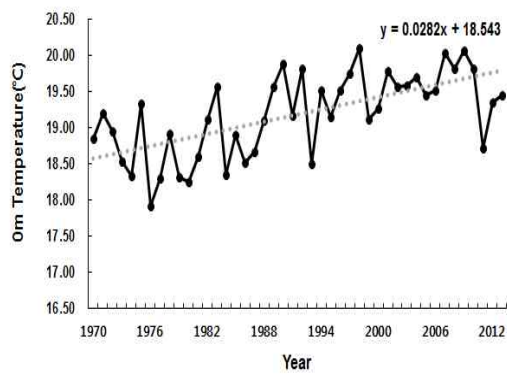
수온의 경우 기선권현망어업이 주로 어획하고 있는 부산·경남(진해, 거제 및 통영) 해역에 기인하여 [Fig. 3]에서 보는 바와 같이 국립수산물과학원 해양자료센터의 정선관측지점 400-13~400-17, 400-23~400-27까지의 수온 자료를 평균한 연도별 시계열 자료(1970년~2013년)를 사용하였다. 멸치의 주 분포 수층인 0-25m 중 주 어획 위치가 해표면 근처이기 때문에 표층수온(0m)과 수심 10m 수온의 변동 자료를 이용하였다(Lee and Kim, 2007).



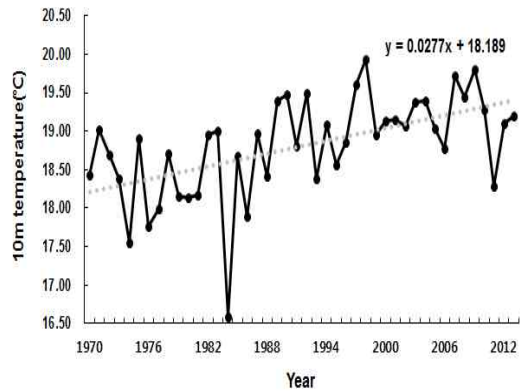
[Fig. 3] Target stations of regular line oceanographic observation

우선 관측지점의 표층수온(0m)의 변화를 살펴보면, [Fig. 4]에서 보는 바와 같이, 연간 등락을

반복하고 있다. 1970년도 평균 18.85℃에서 이후 하락하고, 1983년 19.56℃를 기록한 이후 다시 하락, 1990년 19.88℃ 그리고 1998년 20.10℃를 각각 기록 후 하락하는 형태를 보이고 있다. 2011년에는 18.71℃로 크게 하락하였지만, 이후 상승 추세로 2013년 현재 19.45℃를 보이고 있다. 추세선 분석에서도 시간에 따른 표층수온은 양(+)의 값을 가지는 것으로 나타나 표층수온이 지속적으로 상승하고 있음을 알 수 있다.



[Fig. 4] Change of averaged sea surface temperature (0m) in observed stations



[Fig. 5] Change of averaged sea surface temperature (10m) in observed stations

다음으로 관측지점의 10m 수온 변화를 살펴보면, [Fig. 5]와 표층 수온의 변화와 마찬가지로 연

간 증감을 반복하는 형태를 보이고 있다. 대체적으로 표층 수온보다는 상대적으로 수온이 낮고, 연간 수온 변화의 폭이 큼을 알 수 있다. 1970년 18.43℃에서 이후 상승 후 하락하고, 1975년 18.90℃, 1978년 18.71℃ 그리고 1983년 19.00℃를 기록하였다. 하지만 1984년 16.59℃로 급감하였고, 이후 다시 상승 경향을 나타내면서 1998년 19.93℃로 최고치를 기록하였다. 이후 증감을 반복하면서 2009년 19.80℃를 기록하였지만, 2011년 18.29℃로 하락하였고 2013년 현재 19.21℃ 수준을 보이고 있다. 표층 수온에서와 마찬가지로 추세선 분석 결과, 시간에 따른 10m 수온 역시 양(+)의 값을 가지는 것으로 나타나 조사대상 관측 지점의 10m 수온이 지속적으로 상승하고 있는 것으로 조사되었다.

### III. 분석 결과

#### 1. 단위근 및 공적분 검정 결과

ADF 단위근 검정 결과, <Table 1>에서 보는 바와 같이, 기선권현망어업의 CPUE와 표층 수온 및 10m 수온에 대해 상수항이 포함될 경우, 상수항과 추세항이 포함되지 않을 경우, 그리고 상수항과 추세항이 포함될 경우의 검정 중 상수항과 추세항이 포함된 표층 수온과 10m 수온의 수준

변수를 제외하고 모두 귀무가설 ( $H_0$ : 단위근이 존재한다)을 기각할 수 없는 것으로 분석되어 CPUE와 표층 수온, 10m 수온 모두 불안정적인 시계열 자료로 추정되었다.

하지만 1차 차분한 CPUE와 표층 수온, 10m 수온 변수에 대해서는 상수항이 포함될 경우, 상수항과 추세항이 포함될 경우, 그리고 상수항과 추세항이 포함되지 않을 경우 모두 1% 수준에서 귀무가설을 기각하였다. 이에 따라 CPUE와 표층 수온, 10m 수온 변수모두 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 2>에서 보는 바와 같이, trace 검정통계량이  $H_0: r = 0$  을 5% 유의수준에서 기각하였고,  $H_0: r \leq 1$ 과  $H_0: r \leq 2$ 를 5% 유의수준에서 기각할 수 없는 것으로 나타나 공적분 벡터가 1개 존재하는 것으로 추정되었다. 또한 최대 고유치(maximum eigenvalue) 검정법에서도  $H_0: r \leq 1$ 와  $H_0: r \leq 2$ 를 5% 유의수준에서 기각할 수 없는 것으로 나타나 마찬가지로 공적분 벡터가 1개 존재하는 것으로 추정되었다. 이는 선형결합이 있는 시계열이 1개 존재하는 것으로 추정되며, CPUE와 표층 수온, 10m 수온 간에 서로 장기적인 균형 관계가 있음을 의미한다.

<Table 1> Results of ADF unit root test

	Variables	With constant	With constant and trend	Without constant and trend
Level	CPUE	-0.790404	-1.893551	1.292612
	ZERO	-2.352944	-5.700721*	0.121286
	TEN	-2.698013	-6.584676*	0.073002
First difference	CPUE	-10.79301*	-10.66576*	-10.35740*
	ZERO	-5.040398*	-4.917682*	-4.799561*
	TEN	-4.618107*	-4.515275*	-4.507606*

\* statistically significant at 0.01

<Table 2> Results of Johansen cointegration test

H <sub>0</sub> : Rank=r	Trace test			Maximum eigenvalue test		
	Test statistic	Critical value (5%)	p-value	Test statistic	Critical value (5%)	p-value
$r = 0$	46.69829	42.91525	0.0200	26.16094	25.82321	0.0451
$r \leq 1$	20.53735	25.87211	0.1999	16.93320	19.38704	0.1097
$r \leq 2$	3.604151	12.51798	0.7983	3.604151	12.51798	0.7983

다음으로 공적분 검정 결과에 대하여 장기적인 균형 관계에 유의하지 않은 변수들을 최종적으로 검정하기 위해 변수들에 대한 배제 검정(exclusion test)을 실시해 보았다. 그 결과, <Table 3>에서 보는 바와 같이, CPUE와 표층 수온 변수에 대해서는 5% 유의수준으로 귀무가설을 기각하는 것으로 나타났다. 하지만 10m 수온 변수는 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 나타나 CPUE와 10m 수온과는 영향 관계가 없는 것으로 추정되었다.

<Table 3> Result of exclusion test

	CPUE	0m temperature	10m temperature
Test statistics	4.279**	8.461*	2.014
p-value	0.039	0.004	0.156

Note : \* and \*\* statistically significant at 0.01 and 0.05, respectively

<Table 4> Result of Granger causality

Null Hypothesis	F-Statistic	Probability
CPUE does not Granger Cause ZERO	0.79548	0.5372
ZERO does not Granger Cause CPUE	2.82920	0.0414

<Table 5> Regression analysis results for  $CPUE = \alpha + \beta \cdot ZERO$

Variable	Coefficient	Std. Error	P-value
$\alpha$	-854.789	439.8068	0.05867
$\beta$	54.09298	22.92277	0.02300
$R^2 = 0.117065, F = 5.56862 (p=0.023008)$			

## 2. Granger 인과성 검정 결과

공적분 검정과 배제 검정 결과를 검증하고, 표층 수온과 CPUE 간의 인과성을 보다 구체적으로 살펴보기 위해 공적분 검정의 VECM 모형을 통한 Granger 인과성 검정 결과, <Table 4>에서 보는 바와 같이, 표층 수온은 CPUE에 대해 인과성이 없다는 귀무가설을 5% 유의수준에서 기각하는 것으로 추정되었다. 반대로 CPUE는 표층 수온에 대해 인과성이 없다는 귀무가설은 기각하지 못하는 것으로 추정되어 CPUE는 표층 수온 변화에 원인변수가 될 수 없는 것으로 분석되었다. 따라서 표층 수온의 변화는 기선권현망어업의 멸치 생산량, 즉 단위노력당어획량(CPUE)에 영향을 미치는 원인변수가 되는 것으로 나타나 기후변화 요소인 표층 수온이 기선권현망어업의 멸치 생산량 변화에 직접적으로 영향을 미치는 원인 중의 하나로 추정되었다.

### 3. 표층 수온과 멸치 생산량 간 회귀 분석 결과

공적분 검정 결과를 바탕으로 표층 수온과 기선권현망어업의 멸치 생산량 간의 관계를 회귀분석한 결과, <Table 4>에서 보는 바와 같이,  $R^2$ 는 높은 수준이 아니지만 F값이 5% 수준에서 유의한 것으로 추정되어 모형의 적합도가 우수하게 나타났다. 이는 표층 수온의 변화가 기선권현망어업의 멸치 생산량 변화에 통계적으로 유의한 설명력을 가지는 것으로, 표층 수온이 멸치 생산량 변화에 직접적인 영향을 미치는 변수임을 알 수 있다. 그리고 CPUE에 대한 결정계수들인  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 값 또한 10% 이내 수준에서 각각 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 특히 CPUE에 대한 표층 수온 추정계수의 부호가 양(+)의 값으로 나타나 표층수온이 상승할수록 CPUE 또한 증가할 것으로 예측된다.

회귀분석 결과를 바탕으로 최근 3년(2011~2013년) 평균 CPUE에 대한 표층 수온의 탄력도는 2.81로, 이는 표층 수온 1% 상승 시 기선권현망어업의 멸치 CPUE는 2.81% 상승함을 의미한다. 따라서 멸치의 최적 산란 및 서식 수온 범위 내에서 표층 수온이 상승할수록 기선권현망어업의 멸치 생산량은 증가할 것으로 추정된다.

## IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 우리나라 주요 어획어종인 멸치에 대해 기후변화의 영향을 분석하기 위해 멸치의 주요 어장의 수온과 주요 어획업종인 기선권현망어업의 멸치 생산량의 연간 시계열 자료(1970~2013)를 이용하여 수온 변화에 따른 기선권현망어업의 멸치 생산량 변화를 계량적으로 추정해 보았다. 분석 자료가 시계열 자료인 특성상 분석에 있어서는 우선 분석 자료에 대한 단위근 검정을 통해 각 시계열 변수들의 안정성 여부를 검정하였고, 나아가 공적분 검정을 통해 불안

정한 시계열 자료들 간의 장기적 균형관계 여부를 평가하였다. 그리고 멸치 어업생산량 변화에 대한 수온의 인과성 여부를 보다 명확히 파악하기 위해 Granger 인과성 분석을 추가적으로 실시하였다.

분석 결과, 분석 자료인 대상해역의 표층 및 수심 10m 수온과 기선권현망어업의 단위노력당 어획량(CPUE) 세 변수 모두 단위근을 가지는 불안정 시계열 자료로 추정되었다. 하지만 공적분 검정 결과, 세 변수가 공적분 관계에 있는 것으로 추정되었는데, 배제 검정 결과에 있어 수심 10m 수온은 CPUE 및 표층 수온과 장기적 균형관계에 있지 않아 영향 관계가 없는 것으로 평가되었다. 표층 수온과 CPUE 간의 Granger 인과성 검정에 있어서도 표층 수온이 기선권현망어업 멸치 생산량의 원인변수가 되는 것으로 추정되어 표층 수온의 변화가 멸치 어업생산량 변화에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그리고 공적분 결과를 바탕으로 한 표층 수온과 멸치 생산량 간의 회귀분석 결과, CPUE에 대한 표층 수온의 추정계수가 통계적으로 유의한 양(+)의 값을 가지는 것으로 나타나 표층 수온이 상승할수록 멸치 생산량(CPUE)은 증가하는 것으로 최종 추정되었다. 이러한 결과를 바탕으로 멸치의 최적 산란 및 서식 수온 범위 내에서 표층 수온이 상승할수록 기선권현망어업의 멸치 생산량은 향후 증가할 것으로 예측된다.

본 연구의 분석 결과는 Lee and Kim(2007)에서 제시한 “멸치 어장의 수온이 상승할 경우에는 멸치 생산량이 증가한다”는 결과와도 일치한다. 그리고 구체적인 멸치 생산량에 대한 표층 수온의 탄력성 측정 결과에 있어서는 표층 수온이 1% 상승할 경우 기선권현망어업의 어선별 멸치 생산량은 2.81% 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 연구 결과는 향후 멸치 자체의 어종별 취약성 평가나 멸치를 어획대상으로 어업별 혹은 지역별 취약성 평가 시 중요한 근거자료가 될 수 있을 것이다. 또한 멸치 자원의 관리를 위한 각종 관



리정책 수립에 있어서도 유용한 기초자료가 될 수 있을 것으로 기대된다.

기후변화는 다양한 요소들이 복잡하게 연관되어 있고, 어종별 생산량 변화 또한 기후변화를 포함한 다양한 요인들에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는 활용 가능한 자료의 한계 상 기후변화 요소인 수온과 멸치 생산량과의 관계를 직접적으로 분석한 것으로 다양한 기후변화 요소를 고려하지 못한 점에서 한계를 가진다. 향후에는 보다 많은 자료를 포함하여 기후변화에 따른 어종별 생산량 변화를 예측하고, 어종별 혹은 어업별 취약성을 평가하고, 적응 및 대응 방안을 마련하는 연구가 활발히 진행되어야 할 것이다.

## References

- Allison, Edward H et al.(2009). Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries, *Fish and Fisheries* 10, 173~196.
- Cheung W. L William, et al.(2012). Review of climate change impacts on marine fisheries in the UK and Ireland, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 22, 368~388.
- Chung, Sang-Deok · Kim, Su-Am & Kang, Su-Kyung (2013). Ecological relationship between environmental factors and Pacific cod catch in the southern East/Japan Sea, *Animal Cells and Systems* 17(5), 374~382.
- Dorner, Brigitte et al.(2013). Evaluating alternative methods for monitoring and estimating responses of salmon productivity in the North Pacific to future climatic change and other processes: A simulation study, *Fisheries Research*, 147, 10~23.
- Eom, Ki-Hyuk et al.(2015). An analysis of changes in catch amount of offshore and coastal fisheries by climate change in Korea, *The Journal of Fisheries Business Administration* 46(2), 31~41.
- FAO(United Nations Food and Agriculture Organization) (2009). Climate change implications for fisheries and aquaculture, *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 530, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gujarati Damodar(2013). *Econometrics by Example*, Sigma Press.
- Hollowed, Anne B et al.(2013). Projected impacts of climate change on marine fish and fisheries, *ICES Journal of Marine Science* 70(5), 1023~1037.
- IPCC(2001). *Climate change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Third Assessment Report*, Cambridge University Press.
- Jeffry, Shabbar et al.(2000). Price interactions between salmon and wild caught fish species on the Spanish market, *Aquaculture Economics and Management* 4, 157~167.
- Johansen, Søren & Juselius, Katarina(1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration - with application to the demand for money, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 52, 169~210.
- Johansen, Søren(1988). *Statistical Analysis of Cointegration Vectors*, *Journal of Economic Dynamics and Control* 12, 231~254.
- Johansen, Søren(1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian autoregressive models, *Econometrica* 59, 1551~1580.
- Kim, Su-Am. et al.(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.
- Lee, Beo-Dul · Kim, Bong-Tae & Cho, Yong-Sung (2011). A Study on Vulnerability Assessment to Climate Change in Regional Fisheries of Korea, *The Journal of Fisheries Business Administration* 42(1), 57~70.
- Lee, Chung-Il & Kim, Hyun-Ju(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.
- Leonid, B. Klyashtorin(1998). Long-term climate change and main commercial fish production in the

- Atlantic and Pacific, Fisheries Research 37, 115~125.
- Lu, Hsueh-Jung & Lee, Hsiao-Ling(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.
- Pranovi, F et al.(2013). Vulnerability of artisanal fisheries to climate change in the Venice Lagoon, Journal of Fish Biology 83, 847~864.
- Song, Il-Ho & Jung, Woo-Su(2002). Econometric Analysis using SAS and Eviews, Samyungsa.
- 
- Recieved : 12 October, 2015
  - Revised : 09 November, 2015
  - Accepted : 19 November, 2015