

## 공간패널모형을 이용한 연안어업 생산량과 기후변화 요소의 관계에 대한 연구<sup>†</sup>

김봉태\* · 엄기혁<sup>1</sup> · 이준수<sup>1</sup> · 박혜진 · 육근형  
한국해양수산개발원, <sup>1</sup>국립수산과학원 기후변화연구과

### A Study on the Relationship Between the Catch of Coastal Fisheries and Climate Change Elements using Spatial Panel Model

Bong-Tae Kim\*, Ki-Hyuk Eom<sup>1</sup>, Joon-Soo Lee<sup>1</sup>, Hye-Jin Park and Keun-Hyung Yook  
*Korea Maritime Institute, Busan, 49111, Korea*

<sup>1</sup>*Climate Change Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan, 46083, Korea*

#### Abstract

This study aims to empirically analyze the relationship between climate change elements and catch amount of coastal fisheries, which is predicted to be vulnerable to climate change since its business scale is too small and fishing ground is limited. Using panel data from 1974 to 2013 by region, we tested the relationship between the sea temperature, salinity and the coastal fisheries production. A spatial panel model was applied in order to reflect the spatial dependence of the ocean.

The results indicated that while the upper(0-20m) sea temperature and salinity have no significant influence on the coastal fisheries production, the lower(30-50m) sea temperature has significant positive effects on it and, by extension, on the neighboring areas' s production. Therefore, with sea temperature forecast data derived from climate change scenarios, it is expected that these results can be used to assess the future vulnerability to the climate change.

Keywords : Sea Temperature, Salinity, Catch of coastal fisheries, Climate change, Spatial panel model

Received 4 November 2015 / Received in revised form 29 November 2015/ Accepted 1 December 2015

<sup>†</sup> 이 논문은 2015년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2015054)의 지원으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

\*Corresponding author : 051-797-4592, btkim@kmi.re.kr

## I. 서 론

수산자원의 분포에 큰 영향을 미치는 수온은 기후변화의 핵심 요소로서 수산 분야 기후변화와 관련하여 중요하게 다뤄지고 있다. 특히 우리나라의 수온 상승률은 전 지구 수온 상승률의 2~3배에 달하는 것으로 보고되어(KMA, 2014) 수산자원에 미치는 영향도 상당히 클 것으로 여겨진다. 이러한 점은 어업생산통계에서도 쉽게 확인되는데, 난류성 어종인 고등어, 멸치, 살오징어, 다랑어류는 1990년대 이후 수온 상승 시점과 맞물려 어획량이 증가한 반면, 한류성 어종인 명태, 임연수어 등은 감소하였다(NFRDI, 2013). 이러한 상황을 반영하여 수온 등 기후변화 요인과 어획량의 관계를 탐구하려는 연구가 여러 차례 시도되었는데, 이들 연구로는 특정 어종에 대해 과거 어획량 자료와 수온, 염분 등의 자료를 이용하여 상관성을 확인하거나(Kim et al., 2002; Lee et al., 2009; Kim et al., 2010; Oh et al., 2011) 계량경제모형으로 연근해어업 생산량과 수온 간의 인과성을 검정하는(Eom et al., 2015) 연구 등이 있다. 그러나 Eom et al.(2015)을 제외한다면 연구 대상이 특정 어종의 특정 어종(멸치, 오징어, 꽁치 등)에 국한되어 있고 수온 또는 염분이 외 다른 요인의 영향을 통제하고 있지 못하여 기후변화의 영향을 일반화하기 어려운 측면이 있다. 따라서 기후변화의 영향을 파악하고 예측하기 위해서는 거시적인 차원에서 기후변화 요소와 어획량간의 관계를 명확히 규명하는 더 많은 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 판단된다.

이에 본고는 위의 선행연구들처럼 과거 어획량 자료와 수온 및 염분 자료를 이용하여 그 관계를 분석하고자 하나 크게 두 가지 점에서 기존 연구와 다르게 접근한다. 첫째, 본고의 분석 대상은 연안어업에 한정한다. 근해어업과 달리 연안어업은 광역시·도의 경계 내로 제한되어 기후변화에 대응하여 어군을 따라 이동·조업하거나 새로운 어장을 탐색하는 것에 한계가 있다.

그리고 어업규모 면에서 영세하므로 기후변화에 대응하는 능력 또한 근해어업에 비해 떨어진다. 따라서 연안어업을 근해어업과 구분하여 분석하는 것은 연안어업에 대한 기후변화 취약성을 평가하고 정책 시사점을 제시할 수 있는 기초로서 유용할 것으로 판단된다.

둘째, 본고는 연안어업 생산량에 미치는 수온의 영향을 추정함에 있어 공간패널모형(spatial panel model)을 사용함으로써 기존 연구와 차별화를 시도한다. 분석 대상인 연안어업의 경우 광역시·도별로 자료 구축이 가능하므로 전국 단위의 시계열 자료보다는 지역의 고유한 특성을 통제할 수 있는 패널 자료 분석이 적절하다. 그런데 해양이라는 공간의 특성상 수산자원의 분포가 인접 지역 간에 유사하고 모호한 해양의 경계로 인해 어업 활동이 지역에 걸쳐 있을 수 있어 지역 간에 공간적인 의존성이 뚜렷하게 나타날 것으로 예상된다. 만일 공간적인 의존성이 있는 상황에서 통상적인 계량경제모형을 적용하면 추정치는 편의가 발생하고 일치성(consistency)을 잃게 되는데, 본고는 이러한 점을 고려할 수 있는 공간계량경제(spatial econometrics) 기법을 적용한다.

이에 따른 본고의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서 분석에 사용된 자료와 분석 방법에 대해 설명하고 제Ⅲ장에서 분석 결과를 제시하고 해석하며, 제Ⅳ장에서 결과를 요약하고 결론을 내린다.

## II. 분석 자료 및 방법

### 1. 분석 자료

본고의 분석 자료는 통계청 어업생산동향조사의 지역별 연안어업 생산량 자료, 등록어선통계조사의 지역별 연안어업 어선톤수 자료, 국립수산물과학원 한국해양자료센터(KODC)의 정선해양관측자료 중 수온과 염분 자료이다. 어업생산동향조사에서 연안어업이 따로 구분되지는 않으나 일반해면어업 업종 중에서 연안어업으로 분류되는 업종의 생산량을 합산하여 연안어업

생산량 자료를 구하였다. 등록어선통계조사에서도 지역별로는 연안어업이 따로 구분되지 않아 10톤 미만 어선을 연안어업으로 간주하였다<sup>1)</sup>.

정선해양관측자료의 수온과 염분은 매년 6회 측정되는 동·서·남해 조사 정점의 관측 자료 중 해당 지역의 연안과 비교적 가까운 정점의 수온과 염분을 평균한 값을 사용하였다. 이때 다양한 수심의 관측값을 사용할 수 있는데 패널 자료 분석의 특성 상 모든 지역에서 공통되는 수층으로 50m 이하로 한정하되, 각 수심별 자료를 모두 사용하는 경우 우려되는 다중공선성(multicollinearity)을 피하면서 수온과 생산량 간의 관계를 수층별로 살펴보기 위해 표층(0m)부터 수심 20m까지의 상층과, 30m부터 50m까지의 하층으로 구분하였다. 그리고 수층별 자료는 여러 수심대에 걸쳐 수산자원이 분포하는 특성을 반영하여 특정 수심의 자료를 대푯값으로 쓰기보다 평균치를 구하여 사용하였다. 다만 염분의 경우 수층별 자료의 상관계수가 높아 표층부터 수심 50m까지의 평균치를 사용하였다.

분석 시점은 자료 구축이 용이한 1974년부터 2013년까지이나 등록어선통계조사가 누락된 1996년이 제외되어 39개 연도이다. 분석 지역은

자료의 가용성을 고려하여 모두 9개 지역으로 구분되는데, 인천과 경기도는 수온 자료가 구분되지 않아 한 지역으로 묶었고, 울산은 1997년에 광역시로 구분되어 인접 지역인 경북과 한 지역으로 조정하였다.

분석 자료의 기초 통계량은 Table 1과 같다. 연안어업 생산량의 평균은 64,011톤이고 표준편차를 보면 지역 간(between) 차이와 지역의 시점 간(within) 차이의 정도가 유사하다. 수온은 상층과 하층의 평균이 각각 15.688°C, 12.846°C이고, 모두 지역의 시점 간 차이보다는 지역 간 차이가 크게 나타났다. 염분은 평균이 33.992psu이고 수온에 비해 지역이나 시점 간 차이가 작으며, 수온과 반대로 지역 간 차이보다는 지역의 시점 간 차이가 크게 나타나는 특징을 보인다. Fig. 1은 분석 기간의 수심별 수온과 연안어업 생산량의 추이를 지역별로 제시한 것이다. 수온에 비해 연안어업 생산량의 변동성이 크며 지역마다 차이가 있으나 대체로 생산량이 장기적으로 증가하는 추세에 있음을 알 수 있다.

한편 분석 자료가 안정적인 시계열인지 여부를 확인하기 위해 패널 단위근 검정(panel unit root test)을 시행한 결과는 Table 2와 같다. 패널

Table 1. Basic statistics

Variable		Mean	Std. Dev.	Min	Max	Observations
Catch	overall	64.011	40.083	3.181	229.710	351
	between		29.363	36.016	124.766	9
	within		28.949	-9.031	168.956	39
Vessel ton	overall	20.438	22.512	2.250	96.406	351
	between		22.848	6.757	74.688	9
	within		6.440	-16.085	42.155	39
Upper temperature	overall	15.688	2.308	10.991	20.121	351
	between		2.327	12.613	19.044	9
	within		0.708	13.162	17.755	39
Lower temperature	overall	12.846	2.772	6.532	17.896	351
	between		2.780	9.768	16.676	9
	within		0.891	9.610	15.023	39
Salinity	overall	33.992	4.637	31.507	99.999	351
	between		1.426	32.420	37.172	9
	within		4.437	30.572	96.820	39

1) 연안어업의 어선규모는 업종에 따라 약간 차이가 있는데 8~10톤 미만이다(「수산업법」 제41조).

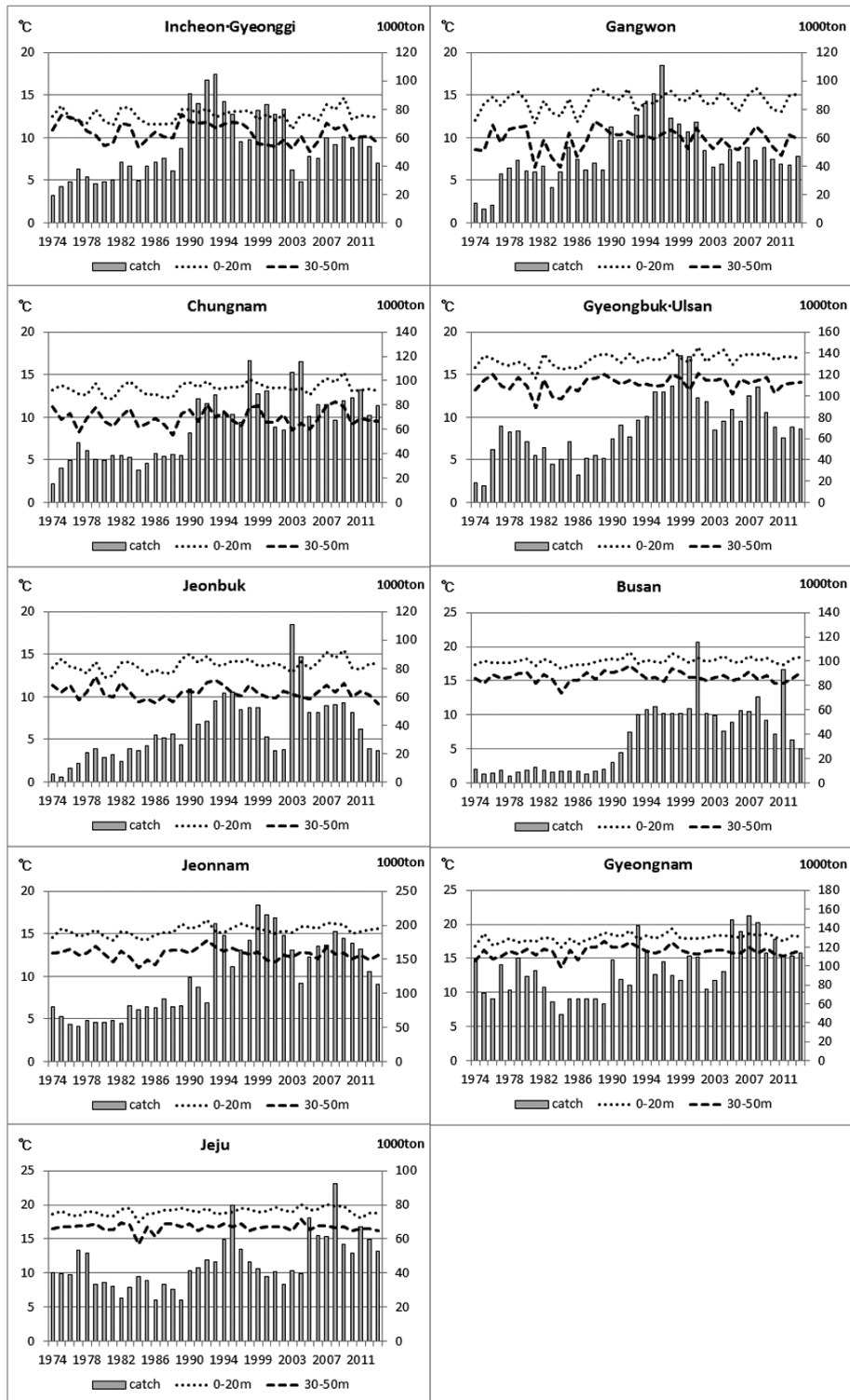


Fig. 1. Changes in sea temperature and catch amount from 1974 to 2013 by region.

Table 2. Results of unit root tests

Unit root test	Catch	Vessel ton	Upper temperature	Lower temperature	Salinity
Levin, Lin & Chu (Adj. t*)	-5.581***	-4.922***	-15.005***	-12.738***	-11.698***
Im-Pesaran-Shin (W-t-bar)	-6.227***	-3.964***	-14.316***	-12.341***	-10.822***
ADF-Fisher (Chi-square)	43.954***	41.824***	203.291***	228.511***	154.689***

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

모형을 이용한 분석에서 모든 변수는 자연로그를 취한 값을 사용하고 있어 자연로그를 취한 값으로 검정하였다. 패널 단위근 검정은 여러 가지 방법이 제안되어 있는데, 대표적인 세 가지 방법의 검정 결과에서 모두 추세가 없는 안정적인 시계열인 것으로 확인되어 별도의 조정없이 수준 변수로 실증 분석에 사용하였다.

## 2. 분석 방법

본고의 분석은 지역별 연안어업 생산량을 종속변수로, 연안어업 어선톤수, 상층·하층의 수온, 염분 등을 설명변수로 하는 패널모형을 구성하여 수온, 염분 등의 요인이 연안어업 생산량에 미치는 영향력을 추정한다. 패널 자료는 횡단면 및 시계열 자료의 특성을 모두 지니고 있어 추정의 효율성이 제고되고, 지역의 관찰되지 않는 이질성을 모형에서 통제할 수 있어 내생성으로 인한 편의를 상당 부분 해소할 수 있는 장점이 있다. 모든 변수는 자연로그를 취하여 대수-대수(log-log) 모형으로 설정되며 이에 따라 추정된 계수값을 탄성치(elasticity)로 해석할 수 있다. 그리고 40년의 기간을 다루고 있으므로 시간에 걸쳐 생산기술이 발전하는 부분도 모형에서 감안하기 위해 추세를 설명변수에 포함하였다.

전술한 바와 같이 연안어업 생산량, 추정 모형의 오차 등은 공간적 의존성이 있을 수 있으므로 본고는 이를 고려하기 위해 공간패널모형을 도입한다. 공간패널모형의 일반적인 형태는 SDM(spatial Durbin model)으로 종속변수의 공간

시차(spatial-lag)뿐만 아니라 설명변수의 공간시차를 포함하고 있다.

$$y_i = \rho W y_i + X_i \beta + W X_i \theta + \iota_n \alpha + \mu + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2 I_n) \quad (1)$$

여기서 각 변수는 n개의 횡단면을 품고 있는 패널 자료이다. 즉  $y_i$ 는  $i$ 기 각 지역의 연안어업 생산량으로  $n \times 1$  벡터이고,  $X_i$ 는 설명변수로  $n \times k$  벡터이며,  $\iota_n \alpha$ 는  $n \times 1$  상수항 벡터이다.  $\mu$ 는  $n \times 1$  벡터로 관측되지 않는 각 지역의 고유한 특성을 나타내고,  $\varepsilon_i$ 는 오차항이다.  $W$ 는  $n \times n$  행렬로 공간 의존성을 나타내는 공간가중치행렬(spatial weight matrix)로 그 원소인  $w_{ij}$ 는 지역  $i$ 와 지역  $j$  사이의 상호의존성의 크기를 나타내고 시간에 걸쳐 변하지 않는다고 가정된다.  $W$ 의 행합은 1이 되도록 표준화되어 있다.  $\rho$ 는 공간적 종속성을 의미하는 계수이다.

이 모형에서 만일  $\theta=0$ 이면 종속변수의 공간적 의존성만을 고려하는 SAR(spatial autoregressive model)이 되고,  $\theta + \rho\beta=0$ 이면 오차항의 공간적 의존성만을 고려하는 SEM(spatial error model)이 된다. 즉 SDM은 종속변수와 오차항의 공간적 의존성을 모두 고려하는 일반적인 모형이라 할 수 있다. SAR과 SEM은 각각 다음 식 (2)와 (3)으로 표현된다.

$$y_i = \rho W y_i + X_i \beta + \iota_n \alpha + \mu + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2 I_n) \quad (2)$$

$$y_i = X_i \beta + \iota_n \alpha + \mu + u_i, u_i = \lambda W u_i + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2 I_n) \quad (3)$$

통상적인 패널모형의 분석과 같이 공간패널 모형에서도  $\mu$ 를 각 관측 대상의 더미변수로 간주하는 고정효과모형과  $\mu$ 를  $\varepsilon_t$ 와 독립적인 확률변수로 간주하는 확률효과모형으로 분석할 수 있다. 그런데 본고의 분석은 개인이나 집단 수준의 자료가 아닌 지역별 자료를 사용하므로 관측 대상을 확률적으로 추출된 표본으로 보기 어렵다. 따라서 고정효과모형으로 분석한다.

한편 종속변수 또는 설명변수에 공간적 종속성이 있는 경우 특정 관측 대상 변수의 한계적인 변화(marginal change)는 해당 대상 자신에게 영향을 미칠 뿐만 아니라 다른 대상에게도 영향을 미칠 수 있다. 이러한 상황에서는 추정 계수는 더 이상 한계적인 총 효과를 의미하지 않는다. LeSage and Pace(2009)는 총 효과를 직접 효과와 간접 효과로 구분하여 구하는 방법을 제안하였는데, 직접 효과는 특정 독립 변수의 변화가 동일 지역의 종속 변수에 미치는 효과이고, 간접 효과는 특정 독립 변수의 변화가 인접 지역의 종속 변수에 미치는 효과를 의미한다. 이를 유도하기 위해 식 (1)을 다음 (4)와 같이 정리할 수 있다.

$$y_i = (\mathbf{I}_n - \rho \mathbf{W})^{-1} \mathbf{I}_n \alpha + (\mathbf{I}_n - \rho \mathbf{W})^{-1} (\mathbf{X}_i \beta + \mathbf{W} \mathbf{X}_i \theta) + (\mathbf{I}_n - \rho \mathbf{W})^{-1} \varepsilon_i^* = \left[ \sum_{k=1}^k S_k(\mathbf{W}) x_k \right]_i + (\mathbf{I}_n - \rho \mathbf{W})^{-1} \mathbf{I}_n \alpha + (\mathbf{I}_n - \rho \mathbf{W})^{-1} \varepsilon_i^* \quad (4)$$

여기서  $S_k(\mathbf{W}) = (\mathbf{I}_n - \rho \mathbf{W})^{-1} (\mathbf{I}_n \beta_k + \mathbf{W} \theta_k)$ 이고  $\varepsilon_i^*$ 는  $\varepsilon_t$ 와 고정효과( $\mu$ )를 포함한다. 특정 시점  $t$ 에서 지역  $i$ 의  $k$ 번째 설명변수  $x_{ik}$ 의 한계효과를 구하기 위해 양변을  $x_k$ 에 대해 편미분을 하면 다음 식 (5)와 같다.

$$\left[ \frac{\partial y}{\partial x_k} \right]_i = S_k(\mathbf{W}) = (\mathbf{I}_n - \rho \mathbf{W})^{-1} \begin{bmatrix} \beta_k & w_{12} \theta_k & \cdots & w_{1n} \theta_k \\ w_{21} \theta_k & \beta_k & \cdots & w_{2n} \theta_k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} \theta_k & w_{n2} \theta_k & \cdots & \beta_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 직접 효과는  $S_k(\mathbf{W})$ 의 대각행렬 요소의

평균이고, 총 효과는  $S_k(\mathbf{W})$ 의 행 또는 열의 지역별 합계에 대한 평균이다. 간접 효과는 총 효과와 직접 효과의 차이가 된다. LeSage and Pace(2009)는 최우추정치에서 유도된 분산-공분산 행렬을 이용하여 직접효과와 간접효과와 분포를 시뮬레이션을 통해 유도하였다. 본고는 이를 활용하여 직접효과와 간접효과와 추정치를 계산하고 통계적인 유의성을 검정하였다.

그리고 분석 모형에 사용된 공간가중치행렬 ( $\mathbf{W}$ )은 공간적 의존성의 형태를 반영하는 것으로 여러 가지 형태로 구성할 수 있는데(Lee et al., 2006) 본고는 해양의 공간적 특성을 반영하므로 Rook Contiguity를 적용하여 광역시·도의 해면(海面)이 경계선을 공유하는 것을 기준으로 삼았다. 즉 지역  $i$ 와 지역  $j$ 가 해안선이 연결되어 있거나 공유하는 해역이 있으면 행렬의 원소  $W_{ij}$ 는 1이고, 그렇지 않은 경우 0인 행렬이 구성된다. 모형에 적용되는 가중치행렬은 행을 기준으로  $\sum_j W_{ij} = 1$ 이 되도록 표준화하였다. 따라서 공간적 의존성은 주변 종속변수 또는 설명변수의 가중평균으로 해석할 수 있다.

### III. 분석 결과

연안어업 생산량에 대한 패널모형의 분석 결과는 Table 3과 같다<sup>2)</sup>. 모형의 전체적인 설명력 ( $R^2$ )을 보면 공간패널모형이 일반패널모형에 비해 크게 개선되지는 않았으나,  $\rho$ 와  $\lambda$ 가 모든 공간패널모형에서 1~5% 수준에서 유의하여 연안어업 생산량이 공간적 의존성이 있음을 확인할 수 있다. 설명변수 중 어선톤수는 일반패널모형에서 유의하였으나 공간패널모형에서는 유의성이 다소 떨어졌다. 수온은 상층(0~20m) 수온의 경우 모든 모형에서 유의하지 않은 반면 하층(30~50m) 수온은 일반 패널모형과 SAR에서 양 (+)의 방향으로 유의한 변수로 나타났다. SDM

2) 공간패널모형의 추정은 Belotti et al.(2013)의 Stata 코드(xsmle ado)를 사용하였다.

의 경우 공간시차가 적용되지 않은 하층 수온은 유의성이 떨어졌으나 공간시차가 적용된 변수는 양의 방향으로 유의한 결과를 얻었다. 염분의 경우 모든 모형에서 유의하지 않았다. 추세는 모든 모형에서 유의하여 생산기술과 같은 요인이 연안어업 생산에 긍정적으로 작용하고 있다고 풀이된다.

공간패널모형의 적합성은 일반화된 모형인 SDM을 기준으로  $\theta=0$ 이면 SAR과 동일하고,  $\theta + \rho\beta=0$ 이면 SEM과 같으므로 이에 대한 가설 검정을 통해 판단할 수 있다. Table 3에 제시된 검정 결과에 따르면,  $\theta=0$ 과  $\theta + \rho\beta=0$ 이라는 가설이 5% 유의수준에서 모두 기각되므로 공간패널모형 중에서 SDM을 적합한 모형으로 볼 수 있다. 그러나 1% 유의수준이면 SAR이나 SEM을 적합한 모형으로 볼 수 있어 SDM이 절대적으로 우월한 것은 아니라고 할 수 있다.

추정 모형의 계수 값은 그 자체로 변수의 한계효과가 아니므로 LeSage and Pace(2009)에 따라

수온에 대해 유의한 결과가 도출된 SDM과 SAR의 결과에 대해 한계효과를 산정하면 Table 5와 같다. SDM을 기준으로 할 때 하층 수온에 대해 직접 효과와 간접 효과가 모두 유의하였는데, 이는 공간시차가 적용되지 않은 하층 수온 계수의 유의성이 떨어짐에도 불구하고 공간시차가 적용된 계수의 뚜렷한 유의성이 직접 및 간접의 한계효과 산정에 작용하였기 때문이다. 그 값은 각각 0.653, 1.246이며 총 효과는 1.899로 도출되었다. 이는 하층 수온이 1% 상승하면 연안어업 생산량이 약 1.9% 증가한다는 의미로 해석되는데, 해당 지역의 직접적인 영향에 비해 인접 지역에 미치는 영향이 더 크게 나타나는 점이 특징적이다. 이에 반해 상층 수온과 염분의 한계효과는 유의하지 않았다. 어선톤수는 직접 효과와 간접 효과에서는 유의성이 다소 떨어졌으나 총 효과에서는 유의하게 나타났다.

SAR의 경우 하층 수온의 직접 효과, 간접 효과, 총 효과가 모두 유의하였고 그 값이 각각

Table 3. Results of panel models

Variable	Panel Model		SAR		SEM		SDM	
	Coef.	z-value	Coef.	z-value	Coef.	z-value	Coef.	z-value
Vessel ton	0.191	1.95*	0.139	1.49	0.123	1.24	0.105	1.06
Upper temperature	-0.392	-0.54	-0.412	-0.61	-0.352	-0.48	-1.204	-1.41
Lower temperature	0.942	2.31**	0.752	1.94*	0.667	1.62	0.517	1.25
Salinity	0.185	0.67	0.113	0.44	0.066	0.23	-0.028	-0.08
Trend	0.027	10.11***	0.021	7.34***	0.027	9.13***	0.020	6.48***
W*Vessel ton							0.153	1.34
W*Upper temperature							0.368	0.35
W*Lower temperature							1.006	1.89*
W*Salinity							0.495	1.03
constant	-46.443	-9.67						
$\rho$			0.210	4.34***			0.209	4.33***
$\lambda$					0.202	4.01**		
R2 (within)	0.426		0.429		0.423		0.444	

Table 4. Results of SDM tests for SAR & SEM

H <sub>0</sub>	H <sub>a</sub>	$\chi^2$
$\theta=0$	$\theta \neq 0$	10.68**
$\theta + \rho\beta=0$	$\theta + \rho\beta \neq 0$	13.17**

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Table 5. Results of marginal effects for SAR & SDM

Variable		SAR		SDM	
		Coef.	z-value	Coef.	z-value
Direct	Vessel ton	0.140	1.49	0.122	1.27
	Upper temperature	-0.426	-0.61	-1.195	-1.49
	Lower temperature	0.778	1.99**	0.653	1.69*
	Salinity	0.107	0.41	0.018	0.06
Indirect	Vessel ton	0.033	1.31	0.198	1.58
	Upper temperature	-0.104	-0.58	0.156	0.14
	Lower temperature	0.183	1.69*	1.246	2.18**
	Salinity	0.025	0.39	0.570	1.15
Total	Vessel ton	0.173	1.48	0.320	2.05**
	Upper temperature	-0.530	-0.61	-1.039	-0.98
	Lower temperature	0.961	1.97**	1.899	2.93***
	Salinity	0.132	0.41	0.588	1.34

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

0.778, 0.183, 0.961로 나타났다. 이는 하층 수온이 1% 상승하면 연안어업 생산량이 약 1% 증가하는 것으로 해석된다. 그런데 SDM과 비교하여 직접 효과는 다소 커졌지만 간접 효과는 크게 축소되어 총 효과는 작아졌고, 직접 효과의 크기가 간접 효과에 비해 크다는 점이 특징적이다. 이와 같이 정합하는 모형에서 한계효과의 크기가 상이하게 나타나므로 어느 한 결과를 절대적으로 수용하는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단된다. 다만, 이상의 분석 결과에서 공통적으로 얻을 수 있는 결과는 상층 수온이나 염분과 달리 하층 수온이 연안어업 생산량에 유의한 영향이 있다는 점과, 연안어업 생산에 공간적인 의존성에 있어 인접 지역의 생산에도 영향을 미친다는 점이다.

#### IV. 요약 및 결론

본고는 수산 분야의 대표적인 기후변화 요소인 수온과 어업생산량간의 관계를 계량경제학적인 방법으로 분석하였다. 특정 어종에 국한된 다수 선행연구와 달리 기후변화에 특히 취약할 것으로 예상되는 연안어업 전체를 대상으로 하였고, 지역별 자료 구축이 용이한 점을 이용하여 효율적인 추정이 가능한 패널모형으로 분석하

였다. 이때 해양의 특성 상 인접 지역 간에 공간적인 의존성이 나타날 수 있으므로 이를 고려하기 위해 공간패널모형을 적용하였다.

분석 결과, 공간적 의존성을 나타내는 계수( $\rho$ ,  $\lambda$ ) 값이 유의하여 공간패널모형의 구성이 적절한 것으로 판단된다. 분석의 초점인 수온은 상층(0~20m)과 하층(30~50m)의 결과가 상이하였는데, 전자는 연안어업 생산량에 유의하지 않았으나 후자는 양(+ )의 방향으로 유의한 것으로 확인되었다. 이는 자망, 통발 등 주요 연안어업이 표층보다 아래에 서식하는 어종을 많이 어획하기 때문으로 풀이된다. 수온과 함께 기후변화와 관련된 요소로 볼 수 있는 염분은 연안어업 생산에 유의한 영향이 없는 것으로 나타났다. 그런데 공간패널모형의 종류에 따라 한계효과의 편차가 비교적 크게 나타났는데, 통계학적인 기준에 따라 일률적으로 모형의 적합성을 판단하기보다는 자연과학적 사실에 근거한 판단도 필요한 것으로 사료된다. 즉 SDM의 경우 통계학적으로 적합한 모형으로 볼 수 있지만, 수온의 직접 효과보다 간접 효과가 크게 나타나는데, 이러한 결과가 적절한지에 대해서는 자연과학 측면의 연구가 뒷받침될 필요가 있다. 따라서 본고에서는 이에 대한 판단을 유보하고 후속 과제로 남겨둔다.



본고의 분석 결과는 향후 기후변화가 진행됨에 따라 표층 부근보다는 그보다 아래층의 수온 변화에 연안어업 생산량이 영향을 받을 수 있다는 점을 시사한다. 만일 기후변화의 영향으로 아래층 수온이 상승한다면 본고의 결과를 근거로 연안어업 생산은 긍정적인 영향을 받을 것으로 예상된다. 그러나 기후변화로 해수 순환이 정체되어 오히려 아래층 수온이 내려갈 수도 있으므로 표층 수온뿐만 아니라 다른 수층의 수온에 대해서도 기후변화 시나리오에 기초한 정확한 예측이 필요하다. 만일 그러한 수온 예측 자료가 있다면 기후변화에 따른 각 지역의 생산량 변화를 전망할 수 있어, 현재 「농어업·농어촌 및 식품산업 기본법」에 의거하여 추진하고 있는 수산업·어촌의 기후변화 취약성 평가에도 활용될 수 있을 것이다.

한편 본고의 결과는 표층수온이 연근해어업 생산량과 유의한 음(-)의 관계가 있음을 확인한 Eom et al.(2015)의 결과와 상충되는 것처럼 보인다. 그러나 이 연구는 연근해어업 전체 생산량을 대상으로 하여 결과적으로 생산량 비중이 72%(2012~2014년 기준)에 달하는 근해어업을 많이 반영하고 있으며, 근해어업은 표층 부근에서 식하는 부어(浮魚)류의 생산이 많기 때문에 표층수온과 유의한 관계가 있다는 점은 자명한 결과로 해석된다. 이 연구는 수온의 대표값으로 표층수온만을 모형에 사용하였기 때문에 수층별 수온, 염분 등 다른 변수를 사용한 본고의 모형과 직접적인 비교는 어렵다고 판단된다. 다만, 본고의 분석 결과에서 알 수 있듯이 어업의 특성에 따라 수층별 수온에 따라 그 영향이 다를 수 있으므로 Eom et al.(2015)의 모형을 개선하여 세분화된 설명변수를 분석에 반영하였다는 점에 의미를 둘 수 있다.

그럼에도 불구하고 기후변화 요인 이외에 어업생산에 영향을 미칠 수 있는 다양한 변수를 고려하지 못하고 있다는 점은 본고의 한계이다. 가용 자료의 부족으로 설명력이 우수한 모형을 구

축하는 데에 많은 어려움이 있지만 향후에 수산 자원의 주기적인 변동 요인을 고려하고, 위치정보가 반영된 어획량 및 조업활동 자료, 해양관측 자료, 기상 자료 등 소위 어업생산과 관련한 빅데이터가 확보된다면 더욱 정확한 분석이 가능할 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- Belotti, F., Hughes G., and Mortari, A. P. (2013), "Xsmle-a Command to Estimate Spatial Panel Models in Stata," 2013 German Stata Users Group Meeting, June 7, 2013, Potsdam, German.
- Eom, K. H., Kim, H. S., Han, I. S., and Kim, D. H. (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.
- Kim, J. K., Choi, O. I., Change, D. S. and Kim, J. I. (2002), "Fluctuation of Bag-net Cateches off Wando, Korea and the Effect of Sea Water Temperature," *Journal of Korean Fisheries Society*, 35 (5), 497 - 503.
- Kim, Y. H., Moon, C. H., Choi, K. H. and Lee, C. I. (2010), "Relationship between Squid (*Todarodes pacificus*) Catch by Sea Block and Marine Environment in the East Sea during 1980s and 1990s," *Journal of The Korean Society of Marine Environment & Safety*, 16 (3), 259 - 268.
- KMA(Korea Meteorological Administration) (2014), *Korean Climate Change Report 2014*.
- KODC(Korea Oceanographic Data Center) (2015), National serial oceanographic observation data, National Fisheries Research & Development Institute.
- Lee, C. I., Jang, L. H. and Park, S. E. (2009), "Influence of Water Temperature During the Main Spawning Period on Anchovy Catch," *Korean Journal of Fisheries and aquatic science*, 42 (3), 297 - 301.
- Lee, S. W., Yoon, S. D., Park, J. Y. and Min, S. H. (2006), *Applied Spatial Econometrics*, Parkyoungsa.

- LeSage, J. P. and Pace, R. K. (2009), *Introduction to Spatial Econometrics*. US: CRC Press Taylor & Francis Group.
- NFRDI(National Fisheries Research & Development Institute) (2013), *Climate Change and the Status of Food Supply: focused on Fishery Products*.
- Oh, S. Y., Jang, S. W. and Yoon, H. J. (2011), “Variations of catch of Anchovy and Saury due to oceanic climate change in the Korean seas,” *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 15 (3), 740 – 746.
- Statistics Korea KOSIS (2015), “Survey on the Fishery Production,” accessed September 14, 2015 [available at <http://kosis.kr>].