

근해어업의 환경 쿠즈네츠 가설 검증

전 용 한*

*부경대학교(전임연구원)

Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Offshore Fisheries

Yong-Han JEON*

*Pukyong National University(associate researcher)

Abstract

This study analyzes the relationship between fishery revenue and greenhouse gas(GHG) emissions of offshore fisheries in preparation for achieving carbon negative in the fisheries sector and proposes policy improvements based on the results. To this end, the seemingly unrelated regression(SUR) model was used to estimate the environmental Kuznets curve(EKC) by gear of offshore fisheries. In addition, the turning point of fishery revenue was measured for gears adopting the EKC hypothesis. As a result, the EKC hypothesis was adopted for offshore stow net, offshore gill net, offshore trap, anchovy drag net, and large otter trawl. Among these gears, only offshore gill net exceeded the turning point of fishery revenue and was in a state of decoupling of GHG emissions. In other words, it was analyzed that offshore gill net was already in the phase of environmental improvement. Thus, for gears that have not exceeded the turning point of fishery revenue to enter the environmental improvement phase, the government must expand the scale of the fishing vessel reduction program and supply energy saving hybrid fishing vessel. Also, research and development of fishing gear that can reduce underwater resistance should be continued, and policy establishment to reduce the scale of the fleet is needed.

Key words : Carbon negative, Decoupling, Environmental kuznets curve(EKC), Greenhouse gas(GHG), Offshore fisheries, Seemingly unrelated regression(SUR)

I. 서론

전 세계적으로 이산화탄소(CO_2)의 배출량과 흡수량이 균형을 이루는 탄소중립(carbon neutral)이 기후변화 문제 해결의 새로운 패러다임으로 자리잡으면서, 우리 정부도 모든 산업부문을 대상으로 탄소중립 추진전략 로드맵 수립 계획을 발표하였다(Joint Ministry, 2020). 이에 따라 해양 수산부문에서는 CO_2 흡수량이 배출량을 초과하는 탄소 네거티브(carbon negative)를 로드맵의 목

표로 설정하고, 이를 달성하기 위해 수산·어촌부문에서 배출하는 온실가스 304.2만 톤을 2050년까지 11.5만 톤으로 줄이는 온실가스 배출량 저감이 주요 정책수단으로 소개되었다(MOF, 2021).

수산·어촌부문 중 근해어업의 온실가스 배출량은 2020년 기준 167.5만 톤으로 추정되어 수산·어촌부문 온실가스 배출량의 가장 큰 비중을 차지하였다(NIFS, 2022). 이처럼 수산·어촌부문의 온실가스 다(多)배출 산업인 근해어업의 산업규모가 축소되지 않으면서 온실가스 배출량을 감축하

* Corresponding author : ██████████ 510996@pknu.ac.kr

려면, 그에 관한 정책적 요소를 적재적소에 투입하는 것이 무엇보다도 중요하다. 이를 위해서는 다양한 방법론을 적용하여 근해어업의 어업수입과 온실가스 배출량이 어떠한 관계에 놓여있는지 파악해보는 과정이 반드시 선행되어야 하지만 관련 연구는 여전히 부족한 실정이다. 따라서 계량경제학적 분석기법을 이용하여 근해어업의 온실가스 배출량과 어업수입 사이의 관계를 분석해보는 것은 시의적절이나 정책적 측면에서도 의미 있는 시도라 판단된다.

국외에서는 대기오염이나 수질오염의 정도와 1인당 GDP 사이의 관계를 파악하기 위해 국가별 패널자료를 구축한 후, 패널회귀분석을 이용하여 환경 쿠즈네츠 곡선(Environmental Kuznets Curve, 이하 EKC)을 추정하기 시작하였다(Grossman and Krueger, 1991; Selden and Song, 1994; Grossman and Krueger, 1995). 이후 연구범위가 온실가스 배출량까지 확대됨에 따라 OECD 국가나 영국, 중국의 농업을 대상으로 패널회귀분석이나 Wiebull 함수, M-TAR(momentum threshold autoregressive) 및 TAR 오차수정모형, ARDL(autoregressive distributed lag) 모형, Kink 회귀분석모형 등을 활용하여 EKC를 추정하였고, 1인당 GDP가 특정한 단계를 넘어서면 온실가스 배출량이 감소하여 EKC 가설이 성립함을 보였다(Galeotti et al., 2006; Galeotti et al., 2009; Fosten et al., 2012; Dogan, 2019; Maneejuk et al., 2020).

국내에서도 최근까지 패널회귀분석과 3단계 최소자승법, 오차수정모형 등을 활용하여 EKC를 추정하였으며, 우리나라 전체 또는 지역별 1인당 GDP, OECD 국가의 1인당 GDP, 농업부문의 1인당 GDP와 온실가스 배출량 간에는 EKC 가설이 성립함을 확인하였다(Lee, 2012; Bae and Kim, 2012; Shin, 2014; Park and Lee, 2018; Kang, 2021; Hur, 2022). 이 외에도 SUR(seemingly unrelated regression) 모형을 적용하여 수도권 또는 우리나라 5개 권역의 1인당 GDP와 온실가스 배출량 사이의 관계를 파악하기 위해 EKC를 추

정하고, EKC 가설이 성립함을 실증적으로 분석하였다(Lee and Li, 2009; Lee, 2010). 한편, 수산·어촌부문에서는 패널회귀분석과 탈동조화 지수(decoupling index)를 이용하여 근해어업의 어업수입과 온실가스 배출량의 관계를 분석하였으나 EKC 추정까지는 이르지 못하였으며, 근해어업의 온실가스 배출량과 어업수입 간의 관계를 업종별로 세분화하여 살펴보지 못한 한계가 존재하였다(Jeon and Park, 2022).

이에 본 연구는 계량경제학적 분석방법인 SUR 모형을 활용하여 근해어업의 업종별 EKC를 동시에 추정하고, 업종별 어업수입과 온실가스 배출량 사이에 EKC 가설이 성립하는지 확인해보고자 한다. 또한, EKC 가설이 성립하는 업종의 어업수입 전환점도 계측할 것이며, 분석 결과를 바탕으로 정책적 개선방안도 제안해 보고자 한다.

본 연구의 순서는 다음과 같다. 먼저 제II장에서는 SUR 모형을 이용한 EKC 및 어업수입 전환점 추정방법을 설명한다. 다음으로 제III장에서는 근해어업의 업종별 EKC 추정 결과를 제시하고, 가설 성립여부와 어업수입 전환점 계측 결과를 설명한다. 마지막 제IV장에서는 연구결과의 요약 및 정책적 개선방안을 제안하고, 연구의 의의 및 한계, 향후 연구방향을 언급하면서 연구를 마무리하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 온실가스 배출량 추정

근해어업은 업종별로 어선의 기관과 엔진, 조업 및 운항특성이 다양하다. 이에 유류사용량과 국가고유 배출계수로 이산화탄소(CO_2) 배출량을 추정할 수 있는 Tier2 수준의 산정방법과 유류사용량에 IPCC 기본 배출계수를 적용하여 메탄(CH_4) 및 아산화질소(N_2O) 배출량을 추정할 수 있는 Tier1 수준의 산정방법을 함께 활용하였다.

근해어업이 배출하는 CO_2 와 CH_4 , N_2O 를 추

정하기 위해 유류사용량은 수협외의 면세유류 공급량으로 대체하였고, CO_2 와 CH_4 , N_2O 배출량 산정식은 ‘EG-TIPS 에너지온실가스 종합정보 플랫폼’ 및 ‘2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서’를 참고하였다. 아래의 식 (1)은 근해어업의 업종별·연도별·유종별 CO_2 배출량 산정식이며, FS 는 유류공급량, NCV 는 순발열량, CEF 는 탄소배출계수, OF 는 산화율을 의미한다. i 는 14종의 근해어업(근해안강망어업, 근해연승어업, 근해자망어업, 근해채낚기어업, 근해통발어업, 기선권현망어업, 대형선망어업, 대형트롤어업, 동해구외끌이중형저인망어업, 동해구중형트롤어업, 서남해구외끌이중형저인망어업, 쌍끌이대형저인망어업, 외끌이대형저인망어업, 잠수기어업)이며, j 는 연도(2003~2020년), k 는 유종(휘발유, 경유, 중유)을 의미한다. 10^{-6} 은 탄소배출량을 톤으로 환산하는 상수이며, (44/12)를 곱하여 탄소배출량을 CO_2 배출량으로 환산한다.

$$CO_2 Emissions_{ijk} = FS_{ijk} \times NCV_k \times CEF_k \times OF_k \times 10^{-6} \times (44/12) \quad (1)$$

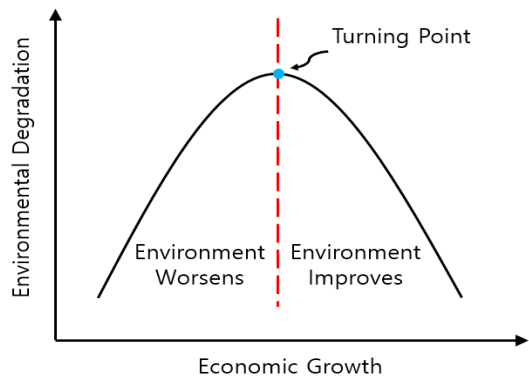
근해어업의 업종별·연도별·유종별 CH_4 와 N_2O 배출량 산정식은 식 (2)와 (3)이며, TOE 는 유류공급량에 총발열량을 곱한 석유환산톤, CF 는 전환계수, $EF(CH_4)$ 와 $EF(N_2O)$ 는 각각 CH_4 와 N_2O 의 배출계수를 나타낸다. 10^{-3} 은 CH_4 , N_2O 배출량을 톤으로 환산하기 위한 상수이고, 41.868은 열량 단위인 TOE를 Joule로 환산하는 계수이다. 더불어 CH_4 와 N_2O 배출량은 ‘IPCC 6차 평가 보고서’에서 제시한 $CH_4(27.2)$ 와 $N_2O(273)$ 의 지구온난화지수($CO_2 = 1$)를 곱해 CO_2 로 환산한 후, 식 (1)~(3)의 결과를 합하여 분석에 활용한다.

$$CH_4 Emissions_{ijk} = TOE_{ijk} \times 41.868 \times CF_k \times EF_k(CH_4) \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$N_2O Emissions_{ijk} = TOE_{ijk} \times 41.868 \times CF_k \times EF_k(N_2O) \times 10^{-3} \quad (3)$$

2. 환경 쿠즈네츠 가설 검증

환경 쿠즈네츠 가설(Environmental Kuznets Curve Hypothesis)은 Kuznets가 1955년 발표한 ‘Kuznets Curve Hypothesis’에 기초하고 있다. Kuznets(1955)는 미국과 영국의 거시경제지표를 분석하여 경제성장 초기에는 소득불평등이 악화되지만 경제성장이 지속될수록 소득불평등이 완화된다는 가설을 주장하였다. Grossman and Krueger(1991)는 이러한 가설에 착안하여 국가별 패널자료를 바탕으로 경제성장과 환경오염 간의 관계를 실증적으로 분석하였다. 그 결과, 경제성장의 초창기에는 환경오염이 심화되지만 특정 단계(turning point)를 넘어서 경제가 어느 정도 성숙기에 도달하면 환경의 질이 개선되는 EKC 가설의 개념을 처음으로 도입하였다(Stern, 2004).



[Fig. 1] Environmental Kuznets Curve(EKC).

근해어업 14개 업종을 대상으로 EKC 가설이 성립하려면 EKC가 [Fig. 1]과 같이 \cap 형태를 보여야 한다. 본 연구에서는 [Fig. 1]의 수평축이 허가당 어업수입이며, 수직축은 허가당 온실가스 배출량이다. [Fig. 1]의 전환점(turning point)을 기준으로 왼편은 어업수입과 온실가스 배출량이 동

시에 증가하여 환경질이 악화되고 있음을 의미하며, 오른쪽은 어업수입이 증가하지만 온실가스 배출량은 감소하여 환경질이 개선되고 있음을 의미한다. 즉, 어업수입 전환점의 왼쪽에서는 어업수입과 온실가스 배출량이 동조화(coupling) 현상을 보이며, 오른쪽에서는 어업수입과 온실가스 배출량이 탈동조화(decoupling) 현상을 보이는 것으로 해석할 수 있다(Lim and Jo, 2019).

본 연구에서는 근해어업의 업종별 EKC 추정식을 동시에 분석하기 위해 Zellner(1962)가 소개한 SUR(seemingly unrelated regression) 모형을 이용하였다. 동 모형은 선형방정식 체계(system of equations)를 추정하는 대표적인 방법이다. 만약 개별 회귀식의 오차항 간 동시적 상관(contemporaneous correlation)이 존재한다면, 공분산 행렬(covariance matrix)을 추정에 반영하여 더 효율적인 추정량을 얻을 수 있다(Min and Choi, 2019). SUR 모형은 개별 회귀식의 오차항 간 동시적 상관관계를 가정하고 있으므로 가장 선형 회귀분석(weighted linear regression)의 일종인 FGLS(feasible generalized least squares) 추정법을 사용한다(Cameron and Trivedi, 2010).

SUR 모형의 추정 과정은 다음과 같다. M 개의 선형 방정식체계 중 μ 번째 회귀식을 다음의 식 (4)와 같이 표현할 수 있다. 이 때, y_μ 는 관측치의 수가 T 개로, $(T \times 1)$ 인 종속변수 벡터(vector)이다. X_μ 는 $(T \times l_\mu)$ 인 회귀식의 독립변수 행렬(matrix), β_μ 는 $(l_\mu \times 1)$ 인 회귀계수 벡터, u_μ 는 평균이 0이며, $(T \times 1)$ 인 오차항 벡터를 의미한다(Zellner, 1962).

$$y_\mu = X_\mu \beta_\mu + u_\mu \dots\dots\dots (4)$$

식 (4)와 같은 M 개 개별 회귀식을 선형방정식 체계로 나타내면 다음의 식 (5)와 같다. 나아가 식 (5)를 보다 간결하게 정리하면 식 (6)과 같이 표현이 가능하다(Zellner, 1962).

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & X_2 & \cdots & 0 \\ 0 & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & X_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_M \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5)$$

$$y = X\beta + u \dots\dots\dots (6)$$

여기서, y 는 $(MT \times 1)$ 인 종속변수 벡터이며, X 는 대각선 이외의 모든 행렬 블록(block)이 영행렬(zero matrix)인 $(MT \times Ml_\mu)$ 블록 대각(block diagonal) 행렬로 독립변수 행렬을 의미한다. β 는 $(Ml_\mu \times 1)$ 벡터인 회귀계수이며, u 는 $(MT \times 1)$ 벡터인 오차항을 의미한다(Zellner, 1962).

식 (5)와 (6)의 오차항은 식 (7)과 같은 분산-공분산 행렬을 가지는 것으로 가정한다. 이 때, $\sigma_{\mu\mu'} = E(u_{\mu t} u_{\mu' t})$ 이며, t 는 관측치(1, 2, ..., T)의 개수, μ 와 μ' 는 회귀식(1, 2, ..., M)의 개수를 의미한다(Zellner, 1962). 그리고 $E(u_{\mu t} u_{\mu' t})$ 의 t 가 같지 않으면 $\sigma_{\mu\mu'} = 0$ 이지만 $E(u_{\mu t} u_{\mu' t})$ 의 t 가 동일하면 $\sigma_{\mu\mu'} \neq 0$ 이 된다(Zellner, 1962; Cameron and Trivedi, 2010). 이와 같은 가정은 개별 회귀식의 오차항 사이에 동시적 상관이 존재함을 의미한다(Zellner, 1962; Lee, 2010). 더불어 I 는 대각 원소가 모두 1이며 비대각 원소는 모두 0인 $(T \times T)$ 단위(unit) 행렬, Σ_c 는 $(M \times M)$ 인 양정 부호(positive-definite) 행렬, \otimes 는 두 행렬의 Kronecker 곱(product)을 의미한다(Zellner, 1962; Cameron and Trivedi, 2010).

$$\Sigma = V(u) = \begin{bmatrix} \sigma_{11}I & \sigma_{12}I & \cdots & \sigma_{1M}I \\ \sigma_{21}I & \sigma_{22}I & \cdots & \sigma_{2M}I \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{M1}I & \sigma_{M2}I & \cdots & \sigma_{MM}I \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1M} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{M1} & \sigma_{M2} & \cdots & \sigma_{MM} \end{bmatrix} \otimes I = \Sigma_c \otimes I$$

식 (7)의 분산-공분산 행렬인 Σ 까지 고려하는 FGLS 추정법을 이용하면, 추정량($\hat{\beta}$)인 식 (8)과 $\hat{\beta}$ 의 분산($Var(\hat{\beta})$)인 식 (9)를 도출할 수 있다 (Zellner, 1962; Cameron and Trivedi, 2010).

$$\hat{\beta} = (X' \Sigma^{-1} X)^{-1} X' \Sigma^{-1} y \dots\dots\dots (8)$$

$$Var(\hat{\beta}) = (X' \Sigma^{-1} X)^{-1} \dots\dots\dots (9)$$

SUR 모형의 이론에 근거하여 실제 분석에 이용한 근해어업의 업종별 EKC 추정식은 식 (10)과 같다. 여기서, GHG 는 온실가스 배출량, R 은 어업수입, HP 는 어선 마력, FT 는 출어횟수를 나타내며, j 는 14개 업종, t 는 연도(2003~2020년)를 뜻한다. SUR 모형을 이용하여 14개 업종의 EKC 추정식을 동시에 분석하기에 앞서 상기 변수를 로그로 변환하였고, EKC 가설 성립 여부를 확인하기 위한 변수인 $(\ln R_{j,t})^2$ 을 추정식에 포함하였다(Grossman and Krueger, 1991).

$$\ln GHG_{j,t} = \alpha_{0,j} + \alpha_{1,j} \ln R_{j,t} + \alpha_{2,j} (\ln R_{j,t})^2 \dots (10) \\ + \alpha_{3,j} \ln HP_{j,t} + \alpha_{4,j} \ln FT_{j,t} + \varepsilon_{j,t}$$

근해어업의 업종별 EKC 형태와 가설 성립 여부는 식 (10)의 $\alpha_{1,j}$ 와 $\alpha_{2,j}$ 의 통계적 유의성과 부호를 통해 판단할 수 있다. $\alpha_{1,j}$ 와 $\alpha_{2,j}$ 가 유의수준 1~10%에서 통계적으로 유의함을 전제로 하고, $\alpha_{1,j} > 0$ 및 $\alpha_{2,j} < 0$ 의 조건을 만족한다면, EKC는 \cap 형태를 보여 EKC 가설이 성립하게 된다 (Lee, 2010; Kang, 2021). 그러나 $\alpha_{1,j}$ 와 $\alpha_{2,j}$ 가 통계적으로 유의하고, $\alpha_{1,j} < 0$ 및 $\alpha_{2,j} > 0$ 의 조건을 만족한다면, EKC는 \cup 형태를 보여 EKC 가설이 성립되지 않는다(Kang, 2021).

근해어업의 업종별 EKC가 \cap 형태를 보여 EKC 가설이 성립한다면 어업수입 전환점은 식 (10)을 $\ln R_{j,t}$ 로 편미분하여 추정이 가능하다. 이는 다음의 식 (11)과 같이 표현할 수 있다(Kang, 2021). 이어서 식 (11)을 $\ln R_{j,t}$ 로 정리하여 지수 변환하면, 식 (12)와 같은 업종별 어업수입 전환점(R_j) 추정식을 도출할 수 있다(Lee, 2012).

$$\frac{\partial \ln GHG_{j,t}}{\partial \ln R_{j,t}} = \alpha_{1,j} + 2\alpha_{2,j} \ln R_{j,t} = 0 \dots\dots\dots (11)$$

$$R_j = \exp\left(-\frac{\alpha_{1,j}}{2\alpha_{2,j}}\right) \dots\dots\dots (12)$$

III. 분석 결과

1. 분석 자료

본 연구의 분석에 활용한 변수는 근해어업 14개 업종의 온실가스 배출량(GHG)과 어업수입(Revenue), 어선 마력(HP), 출어횟수(FT)이며, 개별 변수의 관측치(Obs.)와 평균(Mean), 표준편차(S.D.), 변동계수(C.V.), 최솟값(Min.), 최댓값(Max.) 등의 기초통계량은 <Table 1>에 제시하였다. 우선 허가당 온실가스 배출량은 수협중앙회의 연도별(2003~2020년) 어업용 면세유 공급실적과 앞서 소개한 식 (1)~(3)을 이용하여 도출하였다. 다음으로 허가당 어업수입은 통계청 국가통계포털(Korean Statistical Information Service, KOSIS)의 국가승인 통계인 연도별(2003~2020년) 어업경영조사와 2015년을 100으로 한 연도별 수산물 생산자 물가지수를 활용하여 실질가치로 변환한 후 분석에 이용하였다. 끝으로 14개 업종의 허가당 어선 마력과 출어횟수도 연도별(2003~2020년) 어업경영조사에서 획득하여 분석에 활용하였다.

근해어업의 환경 쿠즈네츠 가설 검증

<Table 1> Basic statistics of analysis data

(Unit: tCO_2eq , Thousand KRW, Number of horsepower, Number of fishing trip)

Gear	Variable	Obs.	Mean	S.D.	C.V.	Min.	Max.
Offshore Stow net	GHG	18	472	106	0.2238	258	610
	Revenue		800,643	171,223	0.2139	443,423	1,065,849
	HP		683	132	0.1927	508	852
	FT		43	20	0.4631	18	71
Offshore Long line	GHG	18	353	115	0.3273	116	565
	Revenue		841,352	196,014	0.2330	385,048	1,110,545
	HP		589	101	0.1716	419	791
	FT		24	7	0.2762	9	35
Offshore Gill net	GHG	18	238	58	0.2451	135	355
	Revenue		804,182	284,639	0.3539	380,690	1,199,966
	HP		608	160	0.2641	327	928
	FT		45	10	0.2255	28	65
Offshore Angling	GHG	18	417	95	0.2270	226	607
	Revenue		400,104	67,837	0.1695	263,670	514,050
	HP		533	58	0.1083	457	669
	FT		44	16	0.3512	27	86
Offshore Trap	GHG	18	794	331	0.4169	491	1,443
	Revenue		882,403	175,019	0.1983	643,491	1,201,122
	HP		621	102	0.1636	466	857
	FT		49	11	0.2183	24	71
Anchovy Drag net	GHG	18	1,983	230	0.1162	1,559	2,355
	Revenue		2,428,978	428,520	0.1764	1,702,338	3,231,722
	HP		2,679	308	0.1150	2,139	3,120
	FT		186	33	0.1786	145	245
Large Purse seine	GHG	18	9,032	1,233	0.1365	6,997	12,000
	Revenue		11,612,147	2,784,013	0.2398	7,664,346	16,824,482
	HP		8,078	394	0.0488	6,775	8,478
	FT		11	1	0.0685	10	12
Large Otter trawl	GHG	18	2,239	503	0.2246	1,167	3,241
	Revenue		2,868,598	889,871	0.3102	1,469,704	4,503,926
	HP		1,515	89	0.0589	1,350	1,663
	FT		33	13	0.3982	11	52
East sea Danish seine	GHG	18	386	232	0.6011	193	1,217
	Revenue		477,363	74,477	0.1560	369,475	639,715
	HP		432	33	0.0770	387	509
	FT		177	15	0.0849	157	217
East sea trawl	GHG	18	597	129	0.2163	353	890
	Revenue		1,531,609	945,526	0.6173	403,993	4,070,864
	HP		955	268	0.2803	595	1,292
	FT		129	60	0.4622	37	238
Medium Danish seine	GHG	18	680	123	0.1806	360	856
	Revenue		1,026,772	233,118	0.2270	566,888	1,456,822
	HP		462	31	0.0675	379	504
	FT		46	17	0.3682	25	82
Large Pair trawl	GHG	18	4,996	818	0.1637	3,310	7,261
	Revenue		3,813,939	681,617	0.1787	2,469,729	5,119,727
	HP		2,497	114	0.0457	2,152	2,715
	FT		30	15	0.4937	3	48
Large Danish seine	GHG	18	631	90	0.1421	464	769
	Revenue		769,408	176,312	0.2292	519,514	1,073,735
	HP		497	87	0.1747	407	765
	FT		38	12	0.3092	22	67
Diver	GHG	18	54	9	0.1608	44	72
	Revenue		197,100	39,207	0.1989	149,121	269,750
	HP		455	106	0.2324	316	666
	FT		137	23	0.1638	100	196

2. 환경 쿠즈네츠 곡선 추정 결과

SUR 모형을 이용하여 근해어업의 14개 업종별 EKC 추정식을 동시에 분석하기 위해서는 업종별 추정식의 오차항 간 상관관계가 존재해야 한다. 이에 Breusch-Pagan 검정을 실시한 결과, ‘업종별 EKC 추정식의 오차항 간 상관관계가 존재하지 않는다’는 검정의 귀무가설을 1% 유의수준에서 기각하여 통계적으로 14개 업종별 EKC 추정식의 오차항 간 상관관계가 존재하였다.

<Table 2> Correlation test results between error terms of the EKC estimation equation by gear

Test	Statistic	p-value
Breusch-Pagan	$\chi^2_{(91)}=132.301***$	0.0031

Note 1: The degrees of freedom of the χ^2 statistic mean the number of off-diagonal elements of the correlation matrix between the error terms of the EKC estimation equation for each gear. Thus, when the number of equations is m , the degrees of freedom of the χ^2 statistic can be summarized as $\frac{m(m-1)}{2}$ (Peremans and Van Aelst, 2018).

Note 2: * $p<0.1$, ** $p<0.05$, *** $p<0.01$

우리나라 서·남해 12해리와 동해 24해리 안에서 조업하는 근해어선의 비중은 69.0%에 달하며 (Kim et al., 2020), 우리나라의 해역면적당 어선 척수는 중국의 2배, 일본의 7배, 노르웨이의 12배나 되는 것으로 나타났다(HDHY, 2020). 이러한 어업 현실을 고려할 때, 근해어업의 업종별 항로 또는 조업구역은 어느 정도 중첩되었을 가능성이 있다. 따라서 이러한 요인들이 업종별 온실가스 배출에도 일정 부분 영향을 미쳐 상기와 같은 분석 결과가 도출된 것으로 보여진다.

앞선 Breusch-Pagan 검정 결과를 바탕으로, SUR 모형을 이용하여 근해어업의 14개 업종별 EKC 추정식을 동시에 분석하였다. 우선 <Table 3>의 14개 업종별 EKC 추정식의 설명력을 나타내는 결정계수(R^2)를 살펴보았다. 14개 업종별

추정식의 R^2 는 0.2113~0.9690의 범위를 형성하고 있으며, 근해안강망어업과 근해연승어업, 근해자망어업, 근해통발어업, 기선권현망어업, 대형트롤어업, 서남해구외끌이중형저인망어업, 쌍끌이대형저인망어업 등 8개 업종은 R^2 가 0.5를 상회하여 이외의 6개 업종보다는 설명력이 높은 것을 확인할 수 있다.

이어서 14개 업종별 EKC 추정식의 전반적인 통계적 유의성을 검정해보기 위해 4개 독립변수의 결합유의성 검정을 실시하였다. 그 결과, 업종별 EKC 추정식의 χ^2 통계량은 5% 또는 1% 유의수준에서 ‘추정식의 독립변수 추정치가 모두 0이다’라는 결합유의성 검정의 귀무가설을 기각하여 추정식 자체는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

다음으로 14개 업종 가운데 근해안강망어업과 근해연승어업, 근해자망어업, 근해채낚기어업, 근해통발어업, 기선권현망어업, 대형선망어업, 대형트롤어업, 동해구외끌이중형저인망어업, 동해구중형트롤어업, 잠수기어업 등 11개 업종은 $\ln R_{j,t}$ 와 $(\ln R_{j,t})^2$ 의 계수 추정치가 1~10% 유의수준 아래에서 통계적으로 유의하여 업종별 EKC 식별의 전제조건을 충족한 것으로 판단하였다. 이들 11개 업종 중 대형선망어업과 대형트롤어업을 제외한 9개 업종의 $\ln HP_{j,t}$ 는 유의수준 1~10%에서 통계적으로 유의하였으며, 어선 마력은 온실가스 배출량에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. $\ln R_{j,t}$ 와 $(\ln R_{j,t})^2$ 의 계수 추정치가 유의적인 11개 업종 중 근해안강망어업과 근해자망어업, 대형트롤어업 등 3개 업종은 $\ln FT_{j,t}$ 가 1~10% 수준에서 유의하였으며, 출어횟수가 온실가스 배출량에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 동 3개 업종의 출어횟수가 증가하였음에도 불구하고 전체적인 출어일수가 감소하여 출어횟수당 출어일수가 줄어들었기 때문에 발생한 결과로 풀이된다.

<Table 3> Analysis results of the EKC estimation equation by gear

Variable	Offshore Stow net	Offshore Long line	Offshore Gill net	Offshore Angling	Offshore Trap	Anchovy Drag net	Large Purse seine
C	-141.2707*** (25.1014)	182.3804* (99.1240)	-45.5545*** (12.7639)	-721.1295*** (175.4401)	-364.6707** (158.2098)	-166.0031*** (59.7380)	-206.3913*** (75.3668)
$\ln R_{j,t}$	20.5461*** (3.7063)	-27.4097* (14.6997)	6.7620*** (1.9084)	111.1305*** (27.0810)	52.1400** (23.0870)	23.1010*** (8.1442)	26.9069*** (9.4083)
$(\ln R_{j,t})^2$	-0.7452*** (0.1376)	1.0255* (0.5438)	-0.2504*** (0.0708)	-4.3294*** (1.0579)	-1.9017** (0.8436)	-0.7891*** (0.2767)	-0.8326*** (0.2904)
$\ln HP_{j,t}$	0.9597*** (0.1450)	0.8415** (0.4180)	0.8848*** (0.0517)	2.4180*** (0.7170)	2.2015*** (0.2052)	0.6422*** (0.1197)	-0.3125 (0.3492)
$\ln FT_{j,t}$	-0.1064** (0.0531)	0.3453 (0.2128)	-0.0670* (0.0389)	-0.2770 (0.2311)	-0.0460 (0.1510)	-0.1018 (0.0696)	0.4004 (0.2476)
R^2	0.9411	0.6005	0.9690	0.4620	0.8101	0.6602	0.2113
$\chi^2_{(4)}$	437.35***	28.32***	837.04***	33.37***	116.12***	64.20***	11.28**

Variable	Large Otter trawl	East sea Danish seine	East sea trawl	Medium Danish seine	Large Pair trawl	Large Danish seine	Diver
C	-257.7573*** (31.6113)	835.2740*** (236.8414)	81.0534*** (10.8251)	-8.6768 (55.1639)	79.6018 (49.2450)	34.7200 (56.0476)	-239.3561*** (73.2520)
$\ln R_{j,t}$	36.1751*** (4.2388)	-128.4536*** (36.1804)	-11.0067*** (1.5895)	1.1723 (8.0331)	-9.3114 (6.5319)	-4.6747 (8.2512)	39.0072*** (11.9920)
$(\ln R_{j,t})^2$	-1.2229*** (0.1443)	4.8604*** (1.3806)	0.3919*** (0.0565)	-0.0200 (0.2925)	0.2991 (0.2163)	0.1766 (0.3044)	-1.6027*** (0.4909)
$\ln HP_{j,t}$	-0.1497 (0.3467)	2.8778*** (0.6184)	0.2391* (0.1291)	0.4274 (0.2656)	0.2046 (0.1740)	0.6830*** (0.1402)	0.4075*** (0.1157)
$\ln FT_{j,t}$	-0.2582*** (0.0475)	0.3131 (0.4690)	0.1701*** (0.0598)	0.0471 (0.0700)	-0.0909*** (0.0190)	-0.4440*** (0.0681)	0.7275*** (0.1492)
R^2	0.5929	0.4461	0.4252	0.5444	0.5021	0.3514	0.4383
$\chi^2_{(4)}$	151.63***	39.04***	50.29***	49.46***	53.56***	52.73***	35.30***

Note 1: Parentheses inside the table mean the standard error.

Note 2: The χ^2 is the test statistic for the joint significance of independent variables, and the degrees of freedom are the number of independent variables excluding the constant term(Cameron and Trivedi, 2010).

Note 3: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

3. 환경 쿠즈네츠 가설 검정 결과

근해어업의 14개 업종별 EKC의 형태 식별에 앞서 업종별 EKC 추정식의 $\ln R_{j,t}$ 와 $(\ln R_{j,t})^2$ 의 계수 추정치인 $\alpha_{1,j}$ 와 $\alpha_{2,j}$ 의 통계적 유의성을 먼저 살펴보고, $\alpha_{1,j} > 0$ 및 $\alpha_{2,j} < 0$ 의 조건을 만족하는지도 확인해야 한다. 그 결과, 14개 근해어업 중 근해안강망어업과 근해자망어업, 근해채낚기어업, 근해통발어업, 기선권현망어업, 대형선망어

업, 대형트롤어업, 잠수기어업 등 8개 업종이 이와 같은 조건에 부합하였다.

그러나 상기 8개 업종 중 근해채낚기어업과 대형선망어업, 잠수기어업은 분석기간 동안의 연도별 허가당 어업수입 추세선이 증가하는 형태를 보이지 않았으므로 EKC가 \cap 형태로 식별된다고 하더라도 EKC 가설이 성립하지 않는 것으로 판단하였다. 그럼에도 불구하고 통계적으로 보다

효율적인 추정량을 얻기 위해 상기 3개 업종을 포함하여 SUR 분석을 수행하였다. 왜냐하면 이들 3개 업종을 포함한 근해어업 14개 업종은 조업구역 또는 항로가 중첩되었을 수 있어 업종간 온실가스 배출에도 서로 영향을 미쳤을 확률이 높으며, Breusch-Pagan 검정에서도 귀무가설을 기각하여 온실가스 배출량을 종속변수로 하는 업종별 EKC 추정식의 오차항 간 상관관계가 통계적으로도 존재하였기 때문이다.

따라서 연도별 허가당 어업수입이 분석기간 동안 증가추세를 보이고, $\alpha_{1,j}$ 와 $\alpha_{2,j}$ 가 10% 이하의 유의수준에서 통계적으로 유의하면서 $\alpha_{1,j} > 0$ 및 $\alpha_{2,j} < 0$ 의 조건을 동시에 만족하는 업종은 근해안강망어업과 근해자망어업, 근해통발어업, 기선권현망어업, 대형트롤어업으로 확인되었다. 이들 5개 업종은 \cap 형태의 EKC가 추정되었으며, 그에 따라 EKC 가설도 성립하는 것으로 분석되었다. 더불어 식 (12)를 이용하여 상기 5개 업종의 어업수입 전환점을 추정한 결과, 대형트롤어업(2,653,269천원) 및 기선권현망어업(2,276,755천원)과 근해안강망어업(970,294천원),

근해통발어업(898,975천원), 근해자망어업(730,644천원) 순으로 어업수입 전환점이 높았다. EKC 가설이 성립하는 5개 업종 중 대형트롤어업과 기선권현망어업, 근해안강망어업, 근해통발어업은 2020년 어업수입이 전환점을 초과하지 못하여 온실가스 배출량이 지속적으로 증가하는 국면에 위치한 것으로 분석되었다. 그러나 상기 4개 업종 외에 근해자망어업은 어업수입이 2011년부터 전환점을 넘어서며 온실가스 배출량이 감소하는 국면에 위치한 것으로 분석되었다.

한편, 근해어업 14개 업종 가운데 근해연승어업과 동해구외끝이중형저인망어업, 동해구중형트롤어업은 $\alpha_{1,j}$ 와 $\alpha_{2,j}$ 가 10% 또는 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하였으나 $\alpha_{1,j}$ 이 0보다 작고, $\alpha_{2,j}$ 는 0보다 커서 U 형태의 EKC로 식별되었으며, EKC 가설은 성립하지 않는 것으로 분석되었다. 이 외에도 서남해구외끝이중형저인망어업과 쌍끝이대형저인망어업, 외끝이대형저인망어업은 $\alpha_{1,j}$ 와 $\alpha_{2,j}$ 가 유의수준 10%에서도 통계적으로 유의하지 않아 EKC를 식별할 수 없었고, 따라서 EKC 가설도 성립하지 않는 것으로 판단하였다.

<Table 4> Results of the EKC hypothesis test and fishery revenue turning point estimation by gear

Gear	Sign of coefficient		EKC shape	EKC hypothesis	Turning point (Thousand KRW)
	$\alpha_{1,j}$	$\alpha_{2,j}$			
Offshore Stow net	+	-	\cap	Adopt	970,294
Offshore Long line	-	+	U	Reject	-
Offshore Gill net	+	-	\cap	Adopt	730,644
Offshore Angling	+	-	\cap	Reject	-
Offshore Trap	+	-	\cap	Adopt	898,975
Anchovy Drag net	+	-	\cap	Adopt	2,276,755
Large Purse seine	+	-	\cap	Reject	-
Large Otter trawl	+	-	\cap	Adopt	2,653,269
East sea Danish seine	-	+	U	Reject	-
East sea trawl	-	+	U	Reject	-
Medium Danish seine	No statistical significance		-	Reject	-
Large Pair trawl	No statistical significance		-	Reject	-
Large Danish seine	No statistical significance		-	Reject	-
Diver	+	-	\cap	Reject	-

IV. 결론

본 연구는 수산·어촌부문의 본격적인 탄소 네거티브 추진에 대비하여 계량경제학적 모형을 바탕으로 온실가스 다(多)배출 산업인 근해어업의 어업수입과 온실가스 배출량 간 관계를 분석해보고, 그 결과에 기초하여 정책적 개선사항을 제안해 보았다. 이를 위해 SUR 모형을 이용하여 14개 근해어업의 업종별 EKC를 추정한 후, EKC가설이 성립하는 업종의 어업수입 전환점을 계측해 보았다.

본 연구의 분석 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, SUR 모형을 이용하여 14개 근해어업의 업종별 EKC 추정식을 분석하기에 앞서 Breusch-Pagan 검정으로 추정식의 오차항 간 상관관계가 존재하는 것을 확인하였다. 둘째, SUR 모형을 이용하여 업종별 EKC 추정식을 분석한 결과, EKC가 \cap 형태로 식별되어 EKC 가설이 성립하는 업종은 근해안강망어업과 근해자망어업, 근해통발어업, 기선권현망어업, 대형트롤어업인 것으로 분석되었다. 셋째, 상기 5개 업종의 어업수입 전환점과 연도별 허가당 어업수입을 비교한 결과, 근해자망어업만이 2011년부터 어업수입 전환점을 초과하였다. 즉, 근해자망어업은 어업수입과 온실가스 배출량이 탈동조화 상태에 있었으며, 이미 환경개선 국면에 진입한 것으로 파악되었다. 반면, 근해안강망어업과 근해통발어업, 기선권현망어업, 대형트롤어업은 아직 어업수입 전환점을 통과하지 못해 어업수입과 온실가스 배출량이 동조화 상태에 있었으며, 여전히 환경악화 국면에 위치한 것을 확인할 수 있었다.

이상의 분석 결과에 기초하여 도출한 정책적 개선사항은 다음과 같다. 우선, 환경악화 국면에 위치한 4개 업종이 어업수입 전환점을 넘어 환경개선 국면으로 진입할 수 있도록 어선감축사업의 규모를 확대하여 잔존 어업인의 어업수입 증대를 도모할 필요가 있다. 다음으로 대형트롤어업과

기선권현망어업이 그물을 예망하는 과정에서 배출하는 온실가스를 감축할 수 있도록 수중저항을 줄인 저(低)탄소 어구의 개발을 지속하고, ‘(가칭) 탄소중립직불제’를 도입하여 저(低)탄소 어구를 사용하는 어업인을 지원한다면 두 어업의 온실가스 배출 동조화를 일정부분 약화시킬 수 있을 것으로 보여진다.

중·장기적으로는 서·남해 12해리 또는 동해 24해리 내에서의 조업비중이 비교적 높은 기선권현망어업과 근해안강망어업, 근해통발어업도 2025년까지 추진되는 에너지절감형 친환경 하이브리드 어선 기술개발 후속 사업의 대상에 포함하고, 이를 토대로 세 업종에 친환경 어선을 보급한다면 온실가스 배출 저감을 통해 환경개선 국면에 진입할 수 있을 것으로 기대된다. 이 외에도 기선권현망 선단의 어선별 기능 또는 역할을 새롭게 조정하여 어선의 일부를 줄이는 선단슬림화 연구 및 실증화사업을 재추진한다면, 온실가스 배출량 저감을 통해 기선권현망어업이 온실가스 배출 탈동조화 국면으로 이동하는데에도 어느 정도 도움이 될 것으로 보여진다.

본 연구는 국내 수산·어촌부문에서 적용되지 못하였던 EKC 가설을 이용하여 근해어업의 업종별 어업수입과 온실가스 배출량 간의 관계를 분석해 보았다는데 의의가 있다. 또한, 근해어업이 온실가스 배출 탈동조화를 달성하고, 환경개선 국면에 진입할 수 있도록 하는 정책적 개선사항을 업종별로 다양하게 제시한 점도 의의라 할 수 있다. 마지막으로 본 분석의 결과를 근해어업 탄소 네거티브 관련 정책수립의 기초자료 중 하나로 참고할 수 있다는 점도 연구의 의의일 것이다.

그러나 본 연구는 자료확보의 한계로 인해 근해자망어업만이 온실가스 배출 탈동조화 상태에 이르도록 한 정책적인 요인을 제시하지 못하였다. 더불어 본 연구의 분석자료는 비교적 최근 시점의 자료이며, 시간적 범위(2003~2020년)도 다소 제한적인 한계가 있다. 향후 2003년 이전의

자료를 획득하여 분석한다면, 이상의 분석 결과와는 또 다른 양상을 보일 수도 있을 것으로 예상된다. 끝으로, 근해어업의 업종별 EKC를 추정하면서 통계적 유의성의 문제로 로그화한 업종별 어업수입($\ln R_{j,t}$)의 세계공항까지 추정식에 포함하여 분석해보지 못하였다. 이 또한 분석자료의 기간이 충분히 확보된다면 해결이 가능한 문제로 보여지며, \cap 형태 이외에 N 형태의 EKC도 추정하여 근해어업의 업종별 어업수입과 온실가스 배출량 간의 관계를 심도있게 분석해 볼 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Bae JH and Kim MS(2012). Analysis of Determinants of emission of Green House Gases Applying a Production Function Approach. *KRAE*, 14(3), 107~132.
- Cameron AC and Trivedi PK(2010). *Microeconometrics Using Stata*, Revised Edition. Stata Press, 162~169.
- Dogan MK(2019). The Impact of Agriculture on CO_2 Emission in China. *Panoeconomicus*, 66(2), 257~271.
<https://doi.org/10.2298/PAN160504030D>
- Energy greenhouse gas total information platform service. 2022. CO_2 Emissions calculation. Retrieved from <http://www.tips.energy.or.kr>. Accessed 29 December 2022.
- Fosten J, Morley B and Taylor T(2012). Dynamic Misspecification in the Environmental Kuznets Curve: Evidence from CO_2 and SO_2 Emissions in the United Kingdom. *Ecological Economics*, 76, 25~33.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.01.023>
- Galeotti M, Lanza A and Pauli P(2006). Reassessing the environmental Kuznets curve for CO_2 emissions: A robustness exercise. *Ecological Economics*, 57(1), 152~163.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.031>
- Galeotti M, Manera M and Lanza A(2009). On the Robustness of Robustness Checks of the Environmental Kuznets Curve Hypothesis. *Environmental and Resource Economics*, 42, 551~574.
<https://doi.org/10.1007/s10640-008-9224-x>
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center (2022). 2021 National Greenhouse Gas Inventory Report. Ministry of Environment, 1~435.
- Grossman GM and Krueger AB(1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. NBER Working Paper 3914, 1~39.
<https://doi.org/10.3386/w3914>
- Grossman GM and Krueger AB(1995). Economic growth and the environment. *QJE*, 110(2), 357~377.
<https://doi.org/10.2307/2118443>
- HDHY. 2020. Necessity of expansion of structural adjustment of offshore and coastal fisheries. Retrieved from <http://www.hdhy.co.kr>. Accessed 17 January 2023.
- Hur GH(2022). The Effects of Environmental Improvement on Economic Growth. *KEREA*, 31(4), 887~908.
<https://doi.org/10.15266/KEREA.2022.31.4.887>
- Jeon YH and Park YJ(2022). Analysis on the Decoupling of Greenhouse Gas Emissions in Offshore Fisheries. *Ocean Policy Research*, 37(2), 181~204.
- Joint Ministry(2020). 「2050 Carbon Neutral」 Strategy, 1~24.
- Kang HS(2021). The Relationship between Korea Agricultural Productions and Greenhouse Gas Emissions Using Environmental Kuznets Curve. *APIB*, 12(1), 209~223.
<https://doi.org/10.32599/apjb.12.1.202103.209>
- Kim DH, Jin SH, Lee JH, Hong JB and Song YN(2020). Sustainable Coastal and Offshore Fisheries Innovation Plan. *PCAFRP*, 1~87.
- KOSIS(2022a). Fishery managements survey. Retrieved from <http://kosis.kr>. Accessed 28 December 2022.
- KOSIS(2022b). Statistic Database for Producer Price Index. Retrieved from <http://kosis.kr>. Accessed 28 December 2022.
- Kuznets S(1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1~28.
- Lee GH and Li CH(2009). Searching for an Environmental Kuznets Curve for CO_2 Emissions in the Seoul Metropolitan Area and Its Policy Implications. *Seoul Studies*, 10(3), 83~95.
<https://doi.org/10.23129/seouls.10.3.200909.83>
- Lee GH(2010). Estimation and Comparison of

- Regional Environmental Kuznets Curves for CO_2 emissions in Korea. JOEP, 9(3), 53~76.
<https://doi.org/10.17330/joep.9.4.201012.53>
- Lee GH(2012). Estimation of Energy Price Elasticity of per Capita CO_2 Emissions under Environmental Kuznets Hypothesis. JOEP, 11(2), 55~71.
<https://doi.org/10.17330/joep.11.2.201206.55>
- Lim HW and Jo HH(2019). Analysis of Decoupling Phenomenon Between Economic Growth and GHG Emissions: Dynamic Panel Analysis of 63 Countries (1980~2014), KEREAS, 28(4), 497~526.
<https://doi.org/10.15266/KEREAS.2019.28.4.497>
- Maneejuk N, Ratchakom S, Maneejuk P and Yamaka W(2020). Does the Environmental Kuznets Curve Exist? An International Study. Sustainability, 12(21), 9117.
<https://doi.org/10.3390/su12219117>
- Min IS and Choi PS(2019). Advanced Panel Data Analysis 2nd Edition. JIPHIL MEDIA, 63~64.
- MOF(2021). 2050 Carbon Neutral Roadmap for Oceans and Fisheries. 1~17.
- NFFC(2021). Tax-free petroleum supply data.
- NIFS(2022). Annual report for Climate change Trends in Fisheries, 2022. 1~87.
- Park CW and Lee YJ(2018). Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Korea and Its Implication. KEER, 17(1), 67~94.
<https://doi.org/10.22794/keer.2018.17.1.003>
- Peremans K and Van Aelst S(2018). Robust inference for seemingly unrelated regression models. JMVA, 167, 212~224.
<https://doi.org/10.1016/j.jmva.2018.05.002>
- Selden TM and Song DS(1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions. JEMM, 27(2), 147~162.
<http://dx.doi.org/10.1006/jjeem.1994.1031>
- Shin SH(2014). An Error-correction Model on the Determinants of CO_2 Emissions of Korea. The Korean Journal of Economic Studies, 62(3), 5~28.
- Stern ID(2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. World Development, 32(8), 1419~1439.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Zellner A(1962). An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias. JASA, 57(298), 348~368.
<https://doi.org/10.2307/2281644>
-
- Received : 30 March, 2023
 - Revised : 08 May, 2023
 - Accepted : 12 May, 2023