

# 어업여건 변화에 대비한 근해어업의 에너지 효율성 평가

전용한 · 남종오<sup>†</sup>

부경대학교(강사) · <sup>†</sup>부경대학교(교수)

## Energy Efficiency Evaluation of Offshore Fisheries in Preparation for Changes in Fishery Circumstances

Yong-Han JEON · Jong-Oh NAM<sup>†</sup>

Pukyong National University(lecturer) · <sup>†</sup>Pukyong National University(professor)

### Abstract

This study evaluates the energy efficiency of offshore fisheries by year and gear in preparation for changes in fishery circumstances such as CPTPP and 2050 Carbon neutral roadmap, and provides policy implications based on the results. Accordingly, this study compares estimated technical efficiency using SFA with the energy intensity of offshore fisheries. As a result of the analysis, firstly, it shows that the energy efficiency of offshore fisheries by year is decreasing. Secondly, among gears in the offshore fishery, the energy efficiency of the fleet and the drag net fisheries whose have a large supply of tax-free petroleum is evaluated differently depending on the indicator, so the four indicators need to be complementarily used. Thirdly, it shows that there is a weakly positive correlation between the vessel-age and the energy intensity. Therefore, to improve the energy efficiency of offshore fisheries, it is necessary to shorten the calculation cycle of tax-free petroleum supply limit and reduce the number of fishing vessels in the fleet. In addition, it is necessary to not only promote the development of fuel-saving fishing implements for drag net fisheries, also replace electric hybrid fishing vessels for aged fishing vessels.

**Key words :** Offshore fisheries, Tax-free petroleum, Energy efficiency, SFA, CPTPP, 2050 Carbon neutral roadmap

## I. 서론

2020년 기준 근해어업의 연료비 비중은 어업비용의 약 18%로, 인건비(38%) 다음으로 그 비중이 높았다(KOSIS, 2022). 그러나 연료비의 대부분을 차지하는 면세유의 효율적 사용에 관한 연구는 수협중앙회의 연구보고서 외에는 거의 없는 실정이다. 한편 수협중앙회에서는 「어업용 면세유류 공급 및 사후관리 요령」 제6조에 따라 3년마다 면세유 연간소요한도량 산정방법을 개선하고

(MOLEG, 2022), 이를 바탕으로 면세유의 연간소요한도량을 재산정하여 공급량과의 격차를 줄여나가고 있다. 이와 같은 개선 노력에도 불구하고, 여전히 면세유 연간소요한도량은 공급량보다 높게 산정되면서 어업인이 면세유를 효율적으로 사용하지 못하도록 유인하지 못하고 있다.

이러한 가운데 2021년 우리 정부는 포괄적·점진적 환태평양경제동반자협정(이하 CPTPP) 가입 신청을 공식화하였다(KOREA, 2022). 상기 협정문에는 과잉어획 상태에 있는 어업자원에 부정적

<sup>†</sup> Corresponding author : 051-629-5317, namjo1234@pknu.ac.kr

\* 이 논문은 2017년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A6A3A01079869)

영향을 미치는 유류 보조를 통제하는 조항이 포함되어 있는데, 만약 우리 정부가 CPTPP에 가입한 후, 해당 조항의 적용을 유예하지 못한다면 지금과 같은 면세유 공급체계는 지속되지 못할 가능성이 높을 것으로 예상된다(Jung and Ahn, 2020a; Jung and Ahn, 2020b). 게다가 같은 해, 해양수산부는 ‘해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵’을 발표하면서 수산·어촌 부문에서 배출하는 304만 톤(2018년 기준)의 온실가스를 2050년까지 12만 톤으로 감축하는 목표를 수립한 바 있다. 이를 달성하기 위해 정부는 여러 정책수단을 동원하여 온실가스 배출량이 많은 어선어업 부문의 에너지 효율화를 계획하고 있다(MOF, 2021).

이처럼 수산업을 둘러싼 국내외 여건은 면세유 공급을 직·간접적으로 규제하는 방향으로 변화하고 있다. 특히, 2020년 어선어업의 면세유 공급량 가운데 약 59%를 사용하는 근해어업은 대내외적 환경변화에 더 취약할 것으로 예상된다(NFCC, 2021). 이러한 상황에 효과적으로 대응하기 위해서는 근해어업의 면세유 이용 효율성 실태를 먼저 파악하고, 그 결과에 기초하여 효율성 제고 방안을 제시하는 것이 무엇보다도 중요하다. 따라서 근해어업의 면세유 이용 효율성, 즉 에너지 효율성을 계량경제학적 모형에 기초하여 추정해 보는 것은 시의적 측면이나 정책적 측면에서 의미있는 시도라 여겨진다.

수산 부문은 아니지만 관련 선행연구로, 우선 Kang(2012)은 확률변경분석(이하 SFA, Stochastic Frontier Analysis)을 이용하여 OECD 국가의 에너지 효율성을 추정한 바 있다. 또한 Kang(2017)은 SFA를 이용하여 온실가스 배출량을 고려한 113개국의 에너지 효율성을 추정하였다. Im and Kim(2017)은 SFA를 이용하여 추정된 지역별 에너지 효율성을 지역별 제조업 특성에 따라 정리한 후 이를 비교·분석하였다. Yi and Kang(2018)은 SFA를 이용하여 유가 충격을 고려한 제조업별 에너지 효율성을 추정하였다. 끝으로 Jeong and Kang(2021)은 SFA를 이용하여 자본스톡 추계

방법별·지역별 에너지 효율성을 추정해보았다. 이상의 선행연구 중 Im and Kim(2017) 외에 다른 연구에서는 SFA를 이용하여 추정한 에너지 효율성과 전통적인 에너지 효율성 평가 지표인 에너지 원단위(Energy intensity)를 비교하면서 두 가지 기준을 상호보완적으로 활용할 것을 제안하였다.

수산업 부문에서도 SFA를 이용하여 어업 및 수산가공생산업의 기술적 효율성을 평가해왔으나 근해어업의 에너지 효율성까지 평가하지는 못하였다(Kim and Park, 2017; Choi, 2019; Kim and Park, 2019; Park, 2020; Son and Park, 2021). 따라서 본 연구는 우선 SFA를 이용하여 근해어업의 면세유 사용에 관한 기술적 효율성을 도출하고자 한다. 다음으로 추정된 기술적 효율성과 에너지 원단위를 연도별·업종별로 비교하여 근해어업의 에너지 효율성을 평가하고, 그에 따른 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 연구에 활용하는 SFA의 이론을 설명한다. III장에서는 SFA 모형의 추정결과를 제시하고, 연도별·업종별 에너지 효율성을 평가한다. 결론인 IV장에서는 분석결과와 요약 및 정책적 시사점을 제시하고, 연구의 의의 및 한계점과 향후 연구 방향을 언급하며 글을 맺고자 한다.

## II. 이론적 배경 및 분석 모형

### 1. 투입물 거리함수와 기술적 효율성

근해어업은 해황의 불확실성이라는 어업의 특성으로 인해 면세유를 이용함에 있어 항상 최소한의 수준으로만 사용한다고 가정하기는 어렵다. 이에 본 연구는 근해어업의 어획이 불확실한 특성을 반영하기 위해 Farrell(1957)이 제안한 투입물 거리함수와 Shephard(1970)가 제안한 기술적 효율성(Technical efficiency)을 활용하고자 한다. Shephard(1970)는 투입물 거리함수의 역수가 기술적 효율성임을 증명하였고, 투입물 거리함수와 기

술적 효율성은 식 (1)과 (2)로 나타낼 수 있다.

$$D_i(x, y) = \max[\theta : (x/\theta) \in S(y)] \dots\dots\dots (1)$$

$$TE = 1/D_i(x, y) \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $D_i$ 는 투입물 거리함수,  $x$ 는 투입물 벡터,  $y$ 는 산출물 벡터,  $S(y)$ 는 투입물 집합이며, 식 (1)은  $y$ 를 유지한 상태에서  $x$ 를 줄일 수 있는  $\theta$ 의 최댓값을 도출하는 것이다.

2. SFA 적용을 위한 투입물 거리함수 전환

식 (2)로 정의된 기술적 효율성을 추정하기 위해 본 연구에서는 SFA를 활용한다. SFA는 Aigner et al.(1977)과 Meeusen and van den Broeck(1977)의 연구에 의해 처음으로 소개되었다(Belotti et al., 2013). SFA는 분석에 앞서 생산함수의 형태와 오차항의 분포를 가정한 후, 효율변경으로부터의 편차를 기술적 비효율성에 대한 오차항과 확률적 오차항으로 분리하여 분석하기 때문에 DEA에 비해 효율성 추정이 정확하다는 장점이 있다(Park and So, 2013).

우선 SFA를 이용한 기술적 효율성 추정을 위해서는 식 (1)의 거리함수를 분석에 적합한 형태로 전환할 필요가 있다. Lovell et al.(1994)에 따르면 투입물 거리함수는 선형동차성(linear homogeneity condition)을 가지는 것으로 나타났고, 이에 따라 Zhou et al.(2012)은 선형동차성을 가정한 에너지 투입물 거리함수를 제시하였다. 이와 같은 과정을 참고하여 본 연구의 에너지 투입물 거리함수는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$D_i(Y, \frac{L}{E}, \frac{HP}{E}, \frac{GT}{E}, \frac{E}{E}) = \frac{1}{E} D_i(Y, L, HP, GT, E) \dots\dots (3)$$

여기서, 산출변수인  $Y$ 는 어업수입 또는 어획량이며, 투입변수는 총 네 가지로  $L$ 은 선원수,  $HP$ 는 어선 마력수,  $GT$ 는 어선 톤수,  $E$ 는 면세유 공급량을 의미한다. 식 (3)의 양변에 자연로그를 취한 후, 이를 정리한 결과는 식 (4)와 같다.

$$\ln D_i(Y, L, HP, GT, E) \dots\dots\dots (4) \\ = \ln(E) + \ln D_i(Y, \frac{L}{E}, \frac{HP}{E}, \frac{GT}{E}, 1)$$

다음으로 식 (4)의  $\ln D_i(Y, L, HP, GT, E)$ 를 기술적 비효율성에 대한 오차항( $u$ )으로 가정하면, 다음의 식 (5)와 같이 표현할 수 있다(Zhou et al., 2012; Kim et al., 2019).

$$-\ln(E) = \ln D_i(Y, \frac{L}{E}, \frac{HP}{E}, \frac{GT}{E}, 1) - u \dots\dots\dots (5)$$

이후 Coelli and Perelman(1999)에 따라 식 (5)의  $\ln D_i(Y, \frac{L}{E}, \frac{HP}{E}, \frac{GT}{E}, 1)$ 이 Translog 함수의 형태를 따른다고 가정한다. Translog 함수는 추정과정에서 측정오차를 줄일 수 있으며, 규모수익의 변화를 허용하기 때문에 Cobb-Douglas 함수보다 유연한 특징이 있다. 식 (5)의 Translog 함수에 확률적 오차항( $v$ )을 추가한 후, 14개 근해어업( $i$ )과 2003년부터 2020년까지 연도( $t$ )에 대한 하첨자를 추가하면 다음과 같은 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$-\ln(E_{i,t}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\frac{L_{i,t}}{E_{i,t}}) + \beta_2 \ln(\frac{HP_{i,t}}{E_{i,t}}) \\ + \beta_3 \ln(\frac{GT_{i,t}}{E_{i,t}}) + \beta_4 \ln(Y_{i,t}) \\ + \beta_5 \ln(\frac{L_{i,t}}{E_{i,t}}) \ln(\frac{HP_{i,t}}{E_{i,t}}) + \beta_6 \ln(\frac{L_{i,t}}{E_{i,t}}) \ln(Y_{i,t}) \\ + \beta_7 \ln(\frac{HP_{i,t}}{E_{i,t}}) \ln(Y_{i,t}) + \beta_8 \ln(\frac{L_{i,t}}{E_{i,t}}) \ln(\frac{GT_{i,t}}{E_{i,t}}) \\ + \beta_9 \ln(\frac{HP_{i,t}}{E_{i,t}}) \ln(\frac{GT_{i,t}}{E_{i,t}}) + \beta_{10} \ln(\frac{GT_{i,t}}{E_{i,t}}) \ln(Y_{i,t}) \\ + \frac{1}{2} \beta_{11} \ln(\frac{L_{i,t}}{E_{i,t}})^2 + \frac{1}{2} \beta_{12} \ln(\frac{HP_{i,t}}{E_{i,t}})^2 \\ + \frac{1}{2} \beta_{13} \ln(\frac{GT_{i,t}}{E_{i,t}})^2 + \frac{1}{2} \beta_{14} \ln(Y_{i,t})^2 + v_{i,t} - u_{i,t} \\ \dots\dots\dots (6)$$

여기서,  $v_{i,t}$ 와  $u_{i,t}$ 는 평균이 0이고 분산이 각각  $\sigma_v^2$ ,  $\sigma_u^2$ 으로 독립적이며, 동일한 정규분포를 따른다(Belotti et al., 2013). 상기 식 (6)을 본 연구에서는 근해어업의 에너지 효율함수라 정의한다.

### 3. 기술적 비효율성의 외생적 결정요인을 포함한 SFA 모형

SFA를 이용하여 에너지 효율함수인 식 (6)을 추정하기 위해서는  $u_{i,t}$ 에 대한 분포를 가정해야 한다. 본 연구에서는 모형의 확장성까지 고려하여  $u_{i,t}$ 를 절삭된 정규분포(truncated-normal)로 가정하였고, 최우추정법(MLE, maximum likelihood estimation)을 이용하여 모형을 추정하였다. Battese and Coelli(1995)는 기술적 비효율성의 외생적 결정요인을 모형에 포함시키는 형태로 SFA 모형을 확장하였고,  $u_{i,t}$ 는 식 (7)과 같다.

$$u_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 FLEET_{i,t} + \alpha_2 DRAG_{i,t} + W_{i,t} \quad \dots (7)$$

여기서, *FLEET*과 *DRAG*는 더미변수로 선단(인망) 업종이면 1, 비선단(비인망) 업종이면 0으로 구분하였다.  $W_{i,t}$ 는 평균이 0이고, 분산이  $\sigma_u^2$ 인 절삭된 정규분포를 가진다(Battese and Coelli, 1995). 식 (6)과 (7)을 함께 추정하고 난 후, 근해어업 에너지 효율함수의 기술적 효율성은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다(Battese and Coelli, 1995).

$$TE_{i,t} = \exp(-u_{i,t}) \quad \dots (8)$$

근해어업 에너지 효율함수의 기술적 효율성은 0과 1 사이의 값을 가지며, 1에 근접할수록 에너지 효율성이 높음을 의미한다. 그리고 본 연구에서는 어업수입을 독립변수로 하여 도출된 기술적 효율성을 RTE(revenue technical efficiency)로, 어획량을 독립변수로 하여 추정된 기술적 효율성은 CTE(catch technical efficiency)로 정의하고자 한다.

한편, 본 연구에서 추정한 근해어업의 기술적 효율성과 비교 대상이 되는 전통적인 에너지 원단위는 식 (9)와 식 (10)으로 표현할 수 있다.

$$REI_{i,t} = \frac{E_{i,t}}{Revenue_{i,t}} \quad \dots (9)$$

$$CEI_{i,t} = \frac{E_{i,t}}{Catch_{i,t}} \quad \dots (10)$$

여기서, 식 (9)는 어업수입 에너지 원단위(REI, revenue energy intensity), 식 (10)은 어획량 에너지 원단위(CEI, catch energy intensity)를 의미하며, REI와 CEI가 낮을수록 에너지 효율성이 높은 것으로 평가한다. 더불어 식 (9)는 경제적 에너지효율을 의미하고, 식 (10)은 기술적 에너지효율을 의미한다(KEA, 2022).

## III. 분석 결과

### 1. 자료 분석

본 연구의 분석대상은 어업경영조사의 14개 근해어업이다. 분석기간은 2003~2020년의 18년으로 관측치 수는 총 252개(14개 어업×18개 연도)이다. 분석에 사용된 변수는 어업수입(Revenue), 어획량(Catch), 선원수(Labor), 어선 마력수(HP)와 톤수(GT), 면세유 공급량(Energy)이다. 이들의 기초통계량은 <Table 1>에 제시하였다.

분석 자료 중 면세유 공급량은 수협연도별 면세유 공급실적 자료를 참고하였으며, 이외의 변수들은 통계청의 연도별 어업경영조사 자료를 참고하였다. 또한 분석에 활용한 변수의 수치는 근해어업의 업종별 허가당 기준이며, 어업수입은 통계청의 수산물 생산자물가지수(2015=100)를 적용하여 실질화한 수치이다.

<Table 1> Basic statistics of analysis data  
(Unit: million won, ton, person, kilo liter)

Variable	Obs	Avg.	S.D.	Min.	Max.	C.V.
Revenue	252	2,032	2,966	149	16,824	1.46
Catch	252	1,016	2,102	39	10,431	2.07
Labor	252	17	18	3	83	1.07
HP	252	1,472	1,980	316	8,478	1.35
GT	252	149	234	4	1,083	1.57
Energy	252	631	946	17	4,650	1.50

Source: KOSIS, Fishery managements survey; NFFC, Tax-free petroleum supply data.

## 2. 에너지 효율함수 추정

에너지 효율함수 추정에 앞서 최소제곱법(OLS)으로 추정된 Cobb-Douglas 및 Translog 함수의 로그우도값을 바탕으로 우도비 검정을 실시하여 분석에 적합한 함수의 형태를 선정해야 한다. 다음으로 선정된 함수를 OLS와 SFA로 추정한 후, 개별 함수의 로그우도값으로 우도비 검정을 실시하여 적합한 분석방법을 선택해야 한다(Kang, 2012; Jeong and Kang, 2019). 에너지 효율함수의 형태 및 분석방법 선정 결과, 에너지 효율함수의 독립변수가 어업수입일때와 어획량일 경우 모두 1% 유의수준에서 귀무가설을 기각하여 Translog 형태의 함수를 SFA로 추정하는 방법이 적합한 것으로 검정되었다.

<Table 2> Results of log likelihood ratio test between models

Independent variable	Restricted model	Unrestricted model	LR stat.
Revenue	Cobb-Douglas	Translog	101.73***
	OLS	SFA	251.23***
Catch	Cobb-Douglas	Translog	82.12***
	OLS	SFA	368.93***

Note 1: Null hypothesis( $H_0$ ) of log likelihood ratio test is that restricted model nested in unrestricted model.

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

<Table 2>의 결과를 바탕으로 근해어업의 기술적 비효율성의 외생적 결정요인을 고려한 SFA 에너지 효율함수 추정결과, 두 가지 에너지 효율함수에서 기술적 비효율성에 대한 오차항을 확률적 오차항으로 나눈  $\lambda$ 가 영(0)이라는 귀무가설을 1% 유의수준에서 기각하여 기술적 비효율성에 대한 오차항이 존재하는 것으로 판명되었다(Jeong and Kang, 2019). 또한, 어업수입 및 어획량 모형의 계수들이 대체적으로 10% 이하의 유의수준에서 통계적으로 유의하였다. 우선 에너지 효율함수 추정결과의 직관적 해석을 위해 두 모형에서 공통적으로 유의한 계수인  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 의 의

미를 살펴본 결과, 면세유 공급량당 선원수의 계수인  $\beta_1(\ln(L_{i,t}/E_{i,t}))$ 은 모형별 추정치간 소폭 차이가 있었으나 면세유 공급량과 양(+)의 관계를 보였다. 이러한 결과는 근해어업의 노동집약적인 특성을 고려한다면 어업현실을 반영한 타당한 결과라 보여진다. 반면, 면세유 공급량당 어선 마력수의 계수인  $\beta_2(\ln(HP_{i,t}/E_{i,t}))$ 는 부호가 음(-)으로 나타나 면세유 공급량당 마력이 증가할수록 면세유 공급량이 줄어드는 것으로 분석되었다. 이는 선체에 비해 내구연한이 짧은 기관을 교체할 때, 연비는 개선되고 마력이 향상된 엔진으로 교체해왔기 때문이다(NARS, 2014). 여기서 해석시 유의사항으로 식 (6)의 종속변수인 면세유 공급량에 음(-)의 부호가 포함되어 있어 추정 계수의 부호를 반대로 해석해야 한다는 것이다.

다음으로 근해어업 에너지 효율함수의 외생적 결정요인 추정 결과를 살펴보았다. 우선 조업형태와 어법을 외생적 결정요인으로 선정한 이유는 14개 어업 중 선단 및 인망 업종의 허가당 면세유 공급량이 다른 업종에 비해 많았기 때문이다. 근해어업 에너지 효율함수의 외생적 결정요인 추정 결과, 모든 모형에서 선단 더미변수( $\alpha_1$ )는 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하였고, 계수의 부호가 양(+)으로 도출되어 선단어업일수록 기술적 비효율성이 증가하는 것으로 분석되었다. 그러나 인망 더미변수( $\alpha_2$ )는 어업수입 모형에서만 10% 유의수준에서 통계적으로 유의하였고, 계수의 부호가 음(-)으로 나타나 인망어업일수록 기술적 비효율성이 감소한다는 결과가 도출되었다.

## 3. 연도별 · 업종별 에너지 효율성 비교

<Table 3>의 에너지 효율함수에 기초하여 추정한 근해어업의 연도별·업종별 기술적 효율성인 RTE와 CTE는 1에 근접할수록 에너지 효율성이 높은 것으로 평가할 수 있다. 그러나 어업수입 또는 어획량 에너지 원단위인 REI와 CEI는 면세유 공급량을 어업수입 또는 어획량으로 나누어서

<Table 3> Estimated results of SFA energy efficiency function considering exogenous determinants

Coefficient	Revenue model		Catch model	
	Estimate	S.E.	Estimate	S.E.
$\beta_0$	-5.01	4.49	-17.32***	4.01
$\beta_1$	-2.68**	1.05	-2.79**	1.11
$\beta_2$	2.51***	0.94	2.64***	1.01
$\beta_3$	1.04	0.91	0.95	0.94
$\beta_4$	-0.42	0.56	1.30***	0.40
$\beta_5$	-0.21**	0.11	-0.24*	0.13
$\beta_6$	0.13*	0.07	0.41***	0.06
$\beta_7$	-0.09	0.06	-0.21***	0.06
$\beta_8$	-0.96***	0.17	-1.07***	0.20
$\beta_9$	0.20*	0.11	0.00	0.13
$\beta_{10}$	-0.25***	0.06	-0.21***	0.06
$\beta_{11}$	0.76***	0.18	1.18***	0.21
$\beta_{12}$	0.25**	0.10	0.41***	0.11
$\beta_{13}$	-0.08**	0.04	-0.02	0.03
$\beta_{14}$	0.74***	0.15	1.08***	0.16
$\alpha_0$	-0.02	0.09	-0.88**	0.44
$\alpha_1$	1.21***	0.13	2.09***	0.46
$\alpha_2$	-0.13*	0.07	-0.08	0.16
$\lambda$	4.42***		3.22***	
$\chi^2$	8,422.27***		8,536.49***	
Log likelihood	124.92		104.21	

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

도출하기 때문에 수치가 낮을수록 에너지 효율성이 높은 것으로 해석할 수 있다(KEA, 2022). 그리고 연도별·업종별 RTE와 CTE, REI, CEI는 추정방법과 추정에 사용되는 변수가 부분적으로 상이하기에 수치 간의 비교보다는 지표별 순위를 활용하여 근해어업의 연도별·업종별 에너지 효율성을 비교해 볼 필요가 있다.

RTE와 CTE의 연도별 변화 추이를 살펴본 결과, 2003년부터 2011년까지 에너지 효율성이 꾸준히 상승한 반면, 2012년부터는 에너지 효율성

이 지속적으로 하락하고 있는 것으로 분석되었다. 연도별 REI와 CEI도 감소추세를 보이다가 다시 증가추세로 돌아서면서 에너지 효율성이 감소하고 있었다. 이처럼 에너지 효율성을 평가하는 네 가지 지표의 비교 결과, 연도별 순위는 다소 차이가 있었으나, 연도별 에너지 효율성은 공통적으로 감소한 것으로 나타났다. 이는 수산자원 상태의 악화로 인한 어획량 및 어업수입의 감소에 기인한 것으로 판단된다(KOSIS, 2022).

<Table 4> Comparison of technical efficiency and energy intensity by year

Year	RTE	CTE	REI	CEI
2003	0.70 (16)	0.77 (16)	0.41 (18)	1.39 (18)
2004	0.71 (15)	0.78 (15)	0.36 (16)	1.07 (11)
2005	0.73 (13)	0.78 (13)	0.32 (14)	0.90 (9)
2006	0.74 (12)	0.78 (12)	0.29 (9)	0.78 (3)
2007	0.74 (10)	0.79 (10)	0.30 (10)	0.81 (4)
2008	0.77 (4)	0.80 (4)	0.22 (4)	0.63 (1)
2009	0.76 (7)	0.81 (2)	0.27 (7)	0.75 (2)
2010	0.76 (9)	0.81 (3)	0.28 (8)	0.82 (5)
2011	0.81 (1)	0.81 (1)	0.21 (3)	0.84 (7)
2012	0.80 (2)	0.79 (8)	0.20 (1)	0.84 (6)
2013	0.79 (3)	0.80 (6)	0.21 (2)	0.87 (8)
2014	0.77 (6)	0.79 (11)	0.22 (5)	0.91 (10)
2015	0.77 (5)	0.79 (9)	0.26 (6)	1.11 (12)
2016	0.76 (8)	0.80 (5)	0.30 (11)	1.22 (15)
2017	0.72 (14)	0.78 (14)	0.32 (13)	1.18 (14)
2018	0.74 (11)	0.80 (7)	0.30 (12)	1.17 (13)
2019	0.65 (18)	0.72 (18)	0.35 (15)	1.39 (17)
2020	0.69 (17)	0.77 (17)	0.41 (17)	1.34 (16)
Avg.	0.75	0.79	0.29	1.00
S.D.	0.04	0.02	0.07	0.24
Min.	0.65	0.72	0.20	0.63
Max.	0.81	0.81	0.41	1.39
C.V.	0.06	0.03	0.23	0.24

Note: Parentheses inside the table mean the ranking.

이어서 네 가지 업종별 에너지 효율성 지표를 상호 비교해보았다. 첫째, RTE와 CTE간 업종별

순위는 큰 변동이 없었으며, 선단업종인 쌍끌이 대형저인망(12위), 대형선망(14위/13위), 기선권현망(13위/14위)의 순위가 낮게 나타났다. 한편, 인망어업의 업종별 RTE와 CTE 순위는 서남해구외 끌이중형저인망(1위), 동해구외끌이중형저인망(2위), 동해구중형트롤(3위/4위)이 높았으나, 이외의 인망어업들은 중하위권에도 위치하고 있어 순위 분포상으로는 비인망어업과의 뚜렷한 차이가 존재하지 않았다.

둘째, 업종별 REI와 CEI 순위를 비교해 본 결과, 공통적으로 잠수기(1위)와 근해자망(2위/3위)의 에너지 효율성이 높았고, 근해채낚기(13위/14위)와 근해통발(12위/11위)의 에너지 효율성이 낮은 것으로 분석되었다. 반면, 고가어종인 갈치를 어획하는 근해연승(13위→3위)은 REI에서 순위가 급격히 상승하여 에너지를 효율적으로 이용하는 업종이었다. 또한 어획강도가 높은 쌍끌이대형저인망(14위→8위)은 CEI에서 순위가 상승하여 에너지 효율성이 증가한 것으로 분석되었다. 한편, 7개 인망업종은 업종별 REI와 CEI 순위에서 중하위권에 분포하고 있어 전반적으로 에너지 효율성이 낮은 것으로 평가되었다.

셋째, 업종별 RTE와 REI의 순위는 전체적으로 순위 변동이 큰 것을 확인할 수 있었다. 이중 허가당 면세유 공급량이 많은 인망업종과 선단업종을 중심으로 살펴본 결과, 7개 인망업종 중 대형트롤(11위→10위)과 기선권현망(13위→8위)을 제외한 5개 업종의 순위가 하락하여 에너지 효율성이 감소한 것으로 나타났다. 그러나 3개 선단업종 중 쌍끌이대형저인망(12위→14위)을 제외한 2개 업종은 순위가 상승하여 에너지 효율성이 증가한 것으로 나타났다.

넷째, 업종별 CTE와 CEI 순위를 비교해 본 결과, 지표에 따라서 개별 업종의 순위가 큰 폭으로 변동하였다. 이 가운데 면세유 공급량이 많은 인망 및 선단 업종을 중심으로 살펴보면, 7개 인망업종 가운데 동해구외끌이중형저인망(2위→7위)과 동해구중형트롤(4위→5위), 서남해구외끌이

중형저인망(1위→10위)은 CEI에서 순위가 하락하여 에너지 효율성이 감소하였다. 한편, 3개 선단업종은 CEI에서 모두 순위가 상승하여 에너지 효율성이 개선된 것으로 나타났다.

업종별 RTE와 CTE, REI, CEI의 순위를 비교해 본 결과를 종합하면, 업종별 순위의 분포는 지표에 따라 변화폭이 다소 큰 것으로 분석되었다. 이는 업종별로 주요 어획 어종의 자원상태와 조업 특성이 상이하여 어업수입 및 어획량은 물론 조업에 투입되는 선원수와 어선 마력수 및 톤수, 면세유 공급량이 다르고, 개별 지표를 도출하는 방법 등에도 분명한 차이가 있기 때문이다.

<Table 5> Comparison of technical efficiency and energy intensity by gear

Gear	RTE	CTE	REI	CEI
(O) Stow net	0.84(8)	0.92(6)	0.23(5)	0.64(4)
(O) Long line	0.80(10)	0.91(8)	0.16(3)	1.62(13)
(O) Gill net	0.87(7)	0.89(10)	0.12(2)	0.52(3)
(O) Angling	0.88(5)	0.93(3)	0.42(13)	2.03(14)
(O) Trap	0.82(9)	0.91(7)	0.36(12)	1.23(11)
<i>Anchovy drag net*</i>	0.31(13)	0.24(14)	0.32(8)	1.47(12)
<i>(L) Purse seine</i>	0.28(14)	0.29(13)	0.32(7)	0.43(2)
<i>(L) Otter trawl*</i>	0.71(11)	0.83(11)	0.33(10)	0.72(6)
<i>(E) Danish seine*</i>	0.89(2)	0.94(2)	0.33(9)	0.99(7)
<i>East sea trawl*</i>	0.89(3)	0.93(4)	0.23(4)	0.68(5)
<i>(M) Danish seine*</i>	0.94(1)	0.95(1)	0.26(6)	1.18(10)
<i>(L) Pair trawl*</i>	0.43(12)	0.47(12)	0.53(14)	1.11(8)
<i>(L) Danish seine*</i>	0.87(6)	0.90(9)	0.33(11)	1.13(9)
Diver	0.88(4)	0.92(5)	0.11(1)	0.26(1)
Avg.	0.75	0.79	0.29	1.00
S.D.	0.23	0.25	0.11	0.50
Min.	0.28	0.24	0.11	0.26
Max.	0.94	0.95	0.53	2.03
C.V.	0.31	0.32	0.40	0.49

Note 1: Parentheses inside the table mean the ranking.

Note 2: Italics are applied for fleet fisheries, and an asterisk(\*) is indicated for drag net fisheries.

#### 4. 상관관계 및 순위합 검정

앞서 추정된 네 가지 지표의 연도별·업종별 순위의 분포에 차이가 존재하는지를 통계적으로 확인해보고자 Spearman과 Kendall 순위상관관계 검정을 추가적으로 실시하였다(Kang, 2012). 연도별 RTE와 CTE, REI, CEI 사이의 순위상관관계 검정 결과, Spearman과 Kendall 순위상관계수가 5% 이하의 유의수준에서 모두 통계적으로 유의하였다. 구체적으로 대부분의 상관관계수가 0.5를 상회하는 정(+)의 상관관계를 보여 연도별 순위분포는 일관성이 있는 것으로 해석할 수 있다.

그러나 업종별 순위상관관계 검정 결과에서는 Spearman과 Kendall 순위상관계수가 RTE와 CTE, REI와 CEI 사이에서만 10% 이하의 유의수준에서 통계적으로 유의하였다. 이 중 RTE와 CTE 사이의 Spearman과 Kendall 순위상관계수는 1에 가까워 상당히 높은 정(+)의 상관관계가 존재하므로 RTE와 CTE간 업종별 순위의 분포는 일관성이 뚜렷한 것으로 보여진다. 그러나 RTE와 REI, CTE와 CEI 간에는 업종별 순위상관관계가 통계적으로 유의하지 않아 순위의 분포에 일관성이 없는 것으로 분석되었다. 따라서 근해어업의 업종별 에

<Table 6> Results of rank correlation test by year and gear

	Type	Spearman	Kendall
Year	RTE & CTE	0.70***	0.50***
	RTE & REI	0.75***	0.58***
	CTE & CEI	0.63***	0.44**
	REI & CEI	0.66***	0.49***
Gear	RTE & CTE	0.92***	0.80***
	RTE & REI	0.24	0.14
	CTE & CEI	-0.11	-0.10
	REI & CEI	0.51*	0.38*

Note 1: Null hypothesis( $H_0$ ) of Spearman's and Kendall's rank correlation test is that ranking between each indicator is independent.

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

너지 효율성을 평가할 경우, 이들 지표를 상호보완적으로 활용할 필요가 있다. 예를 들면, 도출 방법이 상이한 RTE와 REI를 바탕으로 근해어업의 업종별 에너지 효율성을 평가할 경우, 지표별로 순위가 다른 업종은 각각의 순위에 가중치를 적용하여 순위를 재산정함으로써 두 가지 지표를 종합적으로 고려한 에너지 효율성을 평가해볼 수 있을 것이다.

추가적으로 에너지 효율함수의 비효율성을 결정하는 변수에 포함하지 못한 선령과 업종 및 연도로 구분하지 않은 RTE, CTE, REI, CEI간 상관관계를 분석하기 위해 Pearson 상관관계 검정을 실시하였다. 그 결과, 선령과 REI, 선령과 CEI 사이의 상관관계수가 10% 이하의 유의수준에서 통계적으로 유의하였고, 개별 상관관계수는 0.25, 0.11로 도출되어 약한 정(+)의 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 물론 상관관계 분석만으로 변수간 인과관계를 판단할 수 없지만, 선령이 증가할수록 REI와 CEI도 증가하여 에너지 효율성이 감소한 것을 파악할 수 있었다.

<Table 7> Results of correlation test with a vessel age

Level	RTE	CTE	REI	CEI
Estimate	0.00	-0.07	0.25***	0.11*

Note 1: Null hypothesis( $H_0$ ) of Pearson's correlation test is that each indicator and vessel's age is no correlated.

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

에너지 효율함수를 바탕으로 추정한 업종별 RTE와 CTE 외에도 REI와 CEI를 인망업종과 선단업종의 해당유무에 따라 구분한 후, 집단별로 네 가지 지표의 차이가 통계적으로 유의적인가를 확인하기 위해 Mann-Whitney의 순위합 검정을 실시하였다. 순위합 검정 결과, RTE와 CTE에서만 선단업종 해당유무로 구분한 집단별 지표의 차이가 없다는 귀무가설을 1% 유의수준에서 기각하여 선단업종이 비선단업종에 비해 에너지 효율성이 낮다는 결과가 통계적으로도 확인되었다.



<Table 8> Results of Mann-Whitney ranksum test by group

Type	Drag net or not	Fleet or not
Gear	RTE	20.50
	CTE	24.00
	REI	15.00
	CEI	20.00

Note 1: Numbers in the table mean Mann-Whitney's U statistic.

Note 2: Null hypothesis( $H_0$ ) of Mann-Whitney ranksum test is that there is no difference between groups of each indicator.

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

#### IV. 결론

본 연구는 CPTPP 가입 및 ‘해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵’ 추진 등의 어업여건 변화에 대비하여 근해어업의 연도별·업종별 에너지 효율성을 평가하고, 그 결과를 바탕으로 근해어업의 에너지 효율성을 제고하기 위한 정책적 시사점을 도출해 보고자 하였다. 이를 위해 SFA를 이용하여 근해어업의 에너지 효율함수를 추정하였고, 에너지 효율함수에 기초하여 도출한 기술적 효율성(RTE, CTE)을 근해어업의 에너지 원단위(REI, CEI)와 비교·분석하였다.

본 연구의 분석결과 및 정책적 시사점을 요약하면 다음과 같다, 첫째, 근해어업의 연도별 RTE와 CTE, REI, CEI를 종합적으로 검토한 결과, 네 가지 지표에서 근해어업의 연도별 에너지 효율성이 악화되고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 근해어업의 면세유 연간소요한도량이 실제 공급량 수준에 가깝게 설정될 수 있도록 연간소요한도량 산정주기를 현재보다 단축할 필요가 있다. 둘째, 선단업종은 RTE와 CTE 기준에서 에너지 효율성이 상당히 낮은 것으로 분석되었는데, 선단을 구성하는 어선의 기능이나 역할을 재조정하여 어선 척수를 줄이는 선단 슬림화에 관한 논의가 필요해 보인다. 셋째, 인망업종은 REI와 CEI 순위상으로 중하위권에 위치하여 다른 업종에 비해 에

너지 효율성이 낮게 평가되었다. 따라서 예망 시 어구의 저항을 줄일 수 있는 연료 절감형 어구 개발에 연구역량을 집중해야 한다. 넷째, REI와 CEI는 각각 선령과 정(+)의 상관관계가 존재하여 선령이 증가할수록 근해어업의 에너지 효율성은 하락하는 것으로 분석되었다. 따라서 어선의 선령이 높은 업종부터 전기복합어선으로 교체할 수 있도록 해당 사업의 우선순위를 조정할 필요가 있다.

본 연구는 계량경제학적 분석방법을 적용하여 국내에서 처음으로 근해어업의 에너지 효율성을 평가하고, 그 결과에 기초하여 정책적 대안을 맞춤형으로 제안하였다는 데 의의가 있다. 특히 정부 및 수협이 향후 어선어업의 에너지 효율화 달성을 위한 구체적인 정책 수립 시 근해어업의 업종별 에너지 효율성 실태를 파악할 수 있는 참고 자료로 본 연구를 활용할 수 있다는 점 또한 연구의 의의라 할 수 있다.

그러나 본 연구는 다차원의 투입과 산출공간에서 근해어업의 에너지 효율성을 평가한 기술적인 분석이므로 분석결과를 개별 어선에 일반화하여 적용하기에 앞서 면밀한 검토과정이 선행되어야 할 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 근해어업의 온실가스 배출 저감조치에 대비하여 온실가스 배출량을 에너지 효율함수의 제약조건에 포함하고, 온실가스 배출량 고려유무에 따라 추정된 에너지 효율성을 비교해본다면 한층 더 진전된 연구가 될 것으로 기대된다.

#### References

Battese GE and Coelli TJ(1995). A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics*, 20, 325~332.  
<https://doi.org/10.1007/BF01205442>

Belotti F, Daidone S, Ilardi G and Atella V(2013). Stochastic frontier analysis using Stata. *The Stata Journal*, 13(4), 719~758.

- <https://doi.org/10.2139/ssrn.2145803>
- Coelli TJ and Perelman S(1999). A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With application to European railways. *EJOR*, 117 (2), 326~339.  
[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00271-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00271-9)
- Choi BH(2019). A Study on Decomposition of Productivity Growth in Korean Fishes and Edible Seaweeds Processing Industry: A Stochastic Frontier Analysis. *JFMSE*, 31(3), 913~924.  
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2019.6.31.3.913>
- Farrell MJ(1957). The measurement of productive efficiency. *JRSS, Series A*, 120(3), 253~290.  
<https://doi.org/10.2307/2343100>
- Im SM and Kim MS(2017). Regional energy efficiency estimation with a stochastic frontier model -The Impact of manufacture structure on energy efficiency-. *KEER*, 16(2), 89~118.  
<https://doi.org/10.22794/keer.2017.16.2.004>
- Jung MH and Ahn JE(2020a). An Analysis of the WTO Fisheries Subsidies Negotiation after the 11th Ministerial Conference. *JFMSE*, 32(6), 1458~1469.  
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.12.32.6.1458>
- Jung MH and Ahn JE(2020b). Trends and Prospects of WTO Fisheries Subsidies Negotiations After the 11th Ministerial Conference -Focusing on a comparative study of fisheries subsidies between CPTPP and USMCA-. *KMIOPR*, 35(2), 155~175.  
<https://doi.org/10.35372/kmiopr.2020.35.2.007>
- Jeong DS and Kang SM(2019). Analysis of the Cost Efficiency and its Determinants in the Korean Wind Component Industry : Using Stochastic Frontier Model. *JIEB*, 32(6), 221~256.  
<https://doi.org/10.22558/jieb.2019.12.32.6.2273>
- Jeong DS and Kang SM(2021). An Estimation of Domestic Regional Energy Efficiency Using Stochastic Distance Function. *KEREA*, 30(4), 581~605.  
<https://doi.org/10.15266/KEREA.2021.30.4.581>
- Kang SM(2012). Measurement of Energy Efficiency For the Reduction of Greenhouse Gases. *JOEP*, 11(1), 75~97.  
<https://doi.org/10.17330/joep.11.1.201203.75>
- Kang SM(2017). Development of Alternative Energy Efficiency Models and International Comparison Using the Stochastic Frontier Translog Function. *JEPA*, 25(3), 221~256.  
<https://doi.org/10.15301/jepa.2017.25.3.221>
- KEA(2022). Knowing the energy right away. Retrieved from <http://energy.or.kr> on March 7.
- Kim GH, Noh DW and Lee JW(2019). Estimating Greenhouse Gas Emission Efficiency of Firms in South Korea: A Stochastic Frontier Analysis Approach. *JCCR*, 10(2), 117~128.  
<https://doi.org/10.15531/KSCCR.2019.10.2.117>
- Kim HS and Park CH(2019). Analysis on the Productivity of Overseas Tuna Fisheries by Fishing Boat Using SFA. *JFMSE*, 31(2), 426~437.  
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2019.4.31.2.426>
- Kim JW and Park CH(2017). A study on the Efficiency of Korean Offshore Fisheries comparing between SFA and DEA. *JMB*, 37, 59~82.
- KOREA(2022). Korea government policy briefing. Retrieved from <http://korea.kr> on March 19.
- KOSIS(2022). Fishery managements survey. Retrieved from <http://kosis.kr> on March 8.
- Lovell CK., Travers P, Richardson S and Wood L(1994). Resources and functionings: a new view of inequality in Australia.” Models and measurement of welfare and inequality. Springer Berlin Heidelberg, 787~807.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-79037-9\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-642-79037-9_41)
- MOF(2021). 2050 Carbon Neutral Roadmap for Oceans and Fisheries Retrieved from <http://mof.go.kr> on March 1.
- MOLEG(2022). Guideline for supplying tax-free petroleum for fishery and ex-post management. Retrieved from <http://law.go.kr> on March 7.
- NARS(2014). Issue and Piont. Retrieved from <http://nars.go.kr> on March 2.
- NFFC(2021). Tax-free petroleum supply data.
- Park CH(2020). An Estimation of Productivity and Technical Efficiency in Adjacent Water Fisheries using SFA. *JMB*, 46, 25~48.
- Park YS and So SH(2013). A Comparative Analysis of the Efficiency of Certified Integrated-Logistics Companies Using SFA and DEA, *TJOSAL*, 79, 937~954.  
<https://doi.org/10.37059/tjosal.2013.29..937>
- Shepherd RW(1970). Theory of cost and production functions. Princeton University Press, 1~322.
- Son JG and Park CH(2021). An Estimation of

- Productivity and Technical Efficiency in Squid Jigging Fishery Using SFA. *JFMSE*, 33(1), 20~32.  
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.2.33.1.20>
- Yi WP and Kang SM(2018). Estimating Energy Efficiency of Firms in Energy Intensive Industries: Considering Time Varying Heterogeneity by Oil Price Shock. *KPAPR*, 32(3), 3~35.  
<https://doi.org/10.15843/kpapr.32.3.2018.09.3>
- Zhou P, Ang BW and Zhou DQ(2012). Measuring economy-wide energy efficiency performance: a parametric frontier approach. *Applied Energy*, 90(1), 196~200.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.02.025>
- 
- Received : 10 March, 2022
  - Revised : 20 April, 2022
  - Accepted : 26 April, 2022