

온실가스를 고려한 연근해어업의 생산효율성 분석

전용한*·남종오**

요약 : 본 연구는 기후변화 이슈가 부각되는 환경에서 온실가스 배출량 고려 유무에 따른 연근해어업의 업종별 효율성을 비교하고, 분석 결과를 바탕으로 정책적 대안을 제시하는 데 목적이 있다. 분석을 위해 전통적인 자료포락분석(DEA) 모형과 잔여기반측정(SBM) 모형, 비소망재 SBM 모형을 이용하고, Robust Analysis of Variance (ANOVA) 검정과 Wilcoxon Signed-rank 검정을 시행하였다. 분석결과, 전통적인 DEA 모형에서 여분을 고려한 SBM 모형, 온실가스 배출량을 고려한 비소망재 SBM 모형으로 확장될수록 어업의 평균 효율성은 감소하는 것으로 분석되었다. 구체적으로 전통적인 DEA 모형과 SBM 모형, 비소망재 SBM 모형의 평균 효율성은 각각 0.7350, 0.5820, 0.4976으로 추정되었다. 또한 Robust ANOVA 검정과 Wilcoxon Signed-rank 검정결과, 전통적인 DEA, SBM, 비소망재 SBM 모형 간 효율성 차이와 근해어업과 연안어업의 효율성 차이도 통계적으로 유의하게 분석되었다. 분석의 정책적 대안으로, 연근해어업의 효율성 개선을 위해서는 신조어선사업의 적극적 시행과 함께 스마트어선 및 전기복합어선 개발 등이 필요함을 제안하였다.

주제어 : 연근해어업, 비소망재, 온실가스, 잔여기반측정모형, 효율성

JEL 분류 : C67, Q22, Q58

접수일(2021년 1월 19일), 수정일(2021년 3월 10일), 게재확정일(2021년 3월 16일)

* 국립부경대학교 인문사회과학대학 경제학부 강사, 제1저자(e-mail: n14cruijff@naver.com)

** 국립부경대학교 인문사회과학대학 경제학부 부교수, 교신저자(e-mail: namjo1234@pknu.ac.kr)

Production Efficiency Analysis of Offshore and Coastal Fisheries Considering Greenhouse Gas

Yonghan Jeon* and Jongoh Nam**

ABSTRACT : In the circumstance of standing out the climate change issue, the purpose of this study is to compare the efficiency of offshore and coastal fisheries according to whether or not greenhouse gas (GHG) emissions are considered, and then to present policy alternatives based on the analysis results. For analysis, the traditional data envelopment analysis (DEA), the slacks-based measure (SBM) and the SBM-undesirable models were used, and robust analysis of variance (ANOVA) and Wilcoxon Signed-rank tests were performed. As a result, the study showed that the average efficiency of fisheries decreased as the traditional DEA extended to the SBM model considering the slack and the SBM-undesirable model including the GHG emissions. Specifically, the average efficiency of the traditional DEA model, SBM model, and SBM-undesirable model was analyzed as 0.7350, 0.5820 and 0.4976 respectively. In addition, the results of the robust ANOVA and Wilcoxon Signed-rank tests all showed that there are statistically significant differences in efficiency between offshore and coastal fisheries as well as among traditional DEA, SBM and SBM-undesirable models. As a policy alternative to the analysis, it was suggested that to improve the efficiency of coastal and offshore fisheries, it is necessary to actively implement the new fishing vessel project and develop smart and electric hybrid fishing vessels.

Keywords : Offshore and Coastal Fisheries, Undesirable Output, Greenhouse Gas, Slack-based Measure, Efficiency

Received: January 19, 2021. Revised: March 10, 2021. Accepted: March 16, 2021.

* Lecturer, Division of Economics, College of Humanities and Social Sciences, Pukyong National University, First author(e-mail: n14cruiff@naver.com)

** Associated professor, Division of Economics, College of Humanities and Social Sciences, Pukyong National University, Corresponding author(e-mail: namjo1234@pknu.ac.kr)

I. 서론

세계 각국은 온실가스 배출로 인한 기후변화 문제의 해결방안을 논의하기 위해 1988년 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)를 설립하였다. 1988년 이후 IPCC는 5차례 평가보고서를 발간하였고, 이를 기반으로 유엔기후변화협약(UNFCCC) 체결(1992년), 교토의정서(Kyoto Protocol) 채택(1997년), 파리협정(Paris Agreement) 체결(2015년) 등이 진행되면서 선진국뿐만 아니라 개도국에도 온실가스 감축 의무를 부과하는 신(新)기후체제가 출범하였다. 정부도 「저탄소 녹색성장 기본법」(2010년) 및 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」(2012년)을 제정하고, 온실가스 배출권 거래제 시행(2015년)과 ‘2030 국가 온실가스 감축 기본 로드맵’ 및 ‘제1차 기후변화대응 기본계획(2017~2036)’을 발표함으로써 국제사회의 일원으로 온실가스 감축의무를 다하기 위해 최선의 노력을 기울이고 있다.

특히 파리협정이 발효(2016년)되고, UN 기후정상회의(2019년) 이후 우리나라를 비롯한 121개 국가가 2050년 탄소중립을 목표로 하는 기후동맹인 ‘기후목표 상향동맹’에 가입하면서 온실가스 순배출량이 영(0)을 의미하는 탄소중립이 글로벌 신(新) 패러다임으로 대두되었다. 이에 2020년 12월 문재인 정부는 UN에 의무적으로 제출해야 하는 ‘2050년 장기저탄소 발전전략’의 일환인 「2050 탄소중립」 추진전략을 발표하였다. 장기저탄소 발전전략은 저탄소 배출을 고려한 장기적인 국가의 발전전략으로, 이를 이행 시 어선어업을 비롯한 전 산업부문에 걸쳐 구조적인 생산성 변화가 발생할 것으로 전망하고 있다. 따라서 상기 추진전략 이행에 앞서 현재 온실가스 배출량 수준을 반영하여 어선어업의 생산효율성 평가를 시도해보는 것은 정책적으로나 시의적으로 의미 있는 접근이라 여겨진다.

이를 위해 본 연구는 우선 연근해어업의 업종별 온실가스 배출량을 직접 추정한다. 다음으로 전통적인 DEA 모형과 온실가스 배출량을 포함한 SBM 모형을 이용하여 온실가스 배출량 반영 유무에 따른 연근해어업의 업종별 생산효율성을 비교·분석하고자 한다. 마지막으로 분석모형별 생산효율성 비교를 통해 온실가스 배출량이 생산효율성에 어떤 영향을 미치는지 확인하기 위해 모형 간 생산효율성 점수의 차이를 통계적 방법으로 검증해볼 뿐만 아니라 「수산업법」, 조업형태, 어법에 따라 개별 업종을 두 집단으로

구분하여 집단 간 생산효율성 점수도 비교·분석해보고자 한다.

본 연구는 총 5장으로 구성되어 있는데, 2장은 본 연구와 관련된 선행연구를 검토하고, 본 연구의 차별성 및 기여도를 서술한다. 3장은 본 분석에 활용되는 모형을 살펴보고, 4장은 동 모형을 적용하여 도출된 분석결과를 설명한다. 5장은 분석결과를 요약하고, 본 연구의 정책적 시사점 및 분석의 한계, 그리고 향후 연구 방향을 제시하며 글을 마무리하고자 한다.

II. 선행연구 검토

그동안 국내 어선어업을 대상으로 전통적인 자료포락분석(Data Envelopment Analysis, DEA)에 기반한 DEA/Window를 이용하여 근해어업의 효율성을 분석한 김지우(2013), 이정민(2015)의 연구와 DEA/Bootstrap Malmquist를 이용하여 근해어업의 생산효율성을 비교한 박철형(2014)의 연구가 시도된 바 있다. 또한 김학수·박철형(2018)은 여분기반의 초효율성(Super Slacks-based Measure, Super-SBM) 모형을 이용하여 원양어업 업체의 생산효율성을 분석하였고, 같은 모형을 사용하여 김종천·박철형(2019)은 원양 참치연승 및 선망어업의 효율성을 비교·분석하였다.

항공운송업 부문에서는 전통적인 DEA 모형을 이용하여 국내 항공사의 효율성을 분석한 최수호·김민균(2016)의 연구가 있으며, 방향성 거리함수를 적용한 DEA 모형에 온실가스 배출량을 포함하여 공항의 효율성을 추정한 강달원 외(2018)의 연구가 존재한다. 이태휘·여기태(2015)는 본 연구에서 활용되는 모형인 비소망재(Undesirable Output) SBM 모형을 활용하여 공항의 효율성을 추정하기도 하였다. 이 외에도 전통적인 DEA 모형을 이용해 온실가스 배출량을 고려하여 국내 항만별 효율성을 추정한 Shin and Jeong (2013)의 연구와 온실가스 배출량을 반영하여 발전회사의 효율성을 측정한 한정희(2013)의 연구가 존재한다.

비소망재 SBM 모형을 활용한 국외 선행연구로 Cecchini et al.(2018)은 온실가스 배출량을 고려하여 이탈리아 Umbria 지역의 낙농 경영체별 효율성을 평가하였고, Qi et al.(2018)은 대기오염물질을 반영한 중국의 지역별 농업, 공업, 전력, 주거, 운송부문의 효율성을 분석하였다. 또한 Lin et al.(2020)은 세계 29개국의 온실가스 배출량을 고려한

국가별 석유, 천연가스, 석탄의 이용효율성을 비교·분석하였으며, Amowine et al.(2020)은 아프리카 25개국의 온실가스 배출량을 반영하여 국가별 에너지 이용 효율성을 평가하였다. 아울러 본 연구와 관련성이 높은 국내외 선행연구의 투입변수와 산출변수를 정리한 결과는 <표 1>과 같다.

상기 선행연구를 종합해보면, 이미 타 산업에서는 온실가스 배출량을 고려하여 생산 효율성을 평가한 사례가 다수 존재하나 어선어업에서는 여전히 온실가스 배출량을 고려한 생산효율성 평가가 시행되지 않고 있었다. 또한 통계자료 획득의 곤란함 등으로 생산효율성 분석대상을 근해어업 또는 원양어업으로 제한함에 따라 연안어업은 연구대상에서 다소 외면되어 왔다.

<표 1> 선행연구의 투입변수 및 산출변수

| 저자(연도) | 투입변수 | 산출변수 | |
|-----------------------|---|-----------------------|-----------------|
| | | 소망재 | 비소망재 |
| 김지우(2013) | 어구비, 연료비, 임금 | 어업수입, 부가가치 | - |
| 이정민(2015) | 마력수, 종사자수 | 어획량, 어업수입 | - |
| 박철형(2014) | 어구비, 연료비, 임금 | 어획량, 부가가치 | - |
| 김학수·박철형(2018) | 어선톤수, 자산총계, 연간급여액 | 생산량, 생산금액, 매출액 | - |
| 김종천·박철형(2019) | 어선톤수, 어구비, 연료비, 입어료, 임금 | 생산량, 생산금액 | - |
| 최수호·김민균(2016) | 종사자수, 항공기보유대수 | 매출액, 화물량 | CO ₂ |
| 강달원 외(2018) | 공항직원수, 공항면적, 여객터미널면적, 공항장비, 활주로면적 | 공항이용객, 공항매출액, 공항화물처리량 | CO ₂ |
| 이태휘·여기태(2015) | 터미널면적, 에너지 사용량 | 여객수, 화물 | CO ₂ |
| Shin·Jeong(2013) | 크레인길이, 크레인대수, 컨테이너 보관장소 | 컨테이너 처리실적 | CO ₂ |
| 한정희(2013) | CO ₂ , NO _x , 용수사용량, 운영비용 | 전력거래 매출액, 전력량 | - |
| Cecchini et al.(2018) | Livestock, Labour, Feed, Area, Capital | Milk production | CO ₂ |
| Qi et al.(2018) | Labour, Capital, Energy | Value Added | 대기오염물질 |
| Lin et al.(2020) | Oil, Natural gas, Coal | - | CO ₂ |
| Amowine et al.(2020) | Labour, Capital, Energy | GDP | CO ₂ |

따라서 본 연구는 분석대상이 특정어업에 국한되었던 선행연구의 한계를 보완하기 위해 연안어업을 생산효율성 분석대상에 포함함으로써 연구대상을 연근해어업 전체로 확대하여 분석을 시도하였다. 다음으로 기후변화 이슈가 강조되는 가운데 본 분석에 필요한 변수인 연근해어업의 업종별 온실가스 배출량을 직접 추정해보았다. 더불어 국내 연구 중 처음으로 연근해어업의 업종별 온실가스 배출량을 포함한 모형을 활용하여 연근해어업의 생산효율성을 분석하고, 미포함 모형과 생산효율성을 비교하였다. 끝으로 비모수적인 통계적 기법을 활용하여 온실가스 배출량 포함·미포함 모형의 생산효율성 차이를 통계적으로 검정하였다는 점에서 선행연구와의 차별성 및 추가적인 기여도가 존재한다고 여겨진다.

III. 이론적 배경

1. 온실가스 배출량 추정

본 연구의 분석대상인 24개 연근해어업은 어선의 제원, 마력, 톤수에 따라 엔진의 부하율이 상이하며, 어선을 운항하는 선장에 따라 조업 형태, 어선의 활동도 등 운항 특성도 다양하다. 또한 어선의 무선설비 장치(V-PASS)를 조작하기도 하여 정확한 엔진가동 시간을 측정하기 어렵다. 따라서 유종별 연료소비량, 유종별·온실가스별 배출계수를 이용하는 Tier1 수준의 온실가스 배출량 산정방법론을 본 연구에서 활용하였는데, 이는 24개 어업에 폭넓게 적용이 가능하기 때문이다. 어선은 조업 및 운항 중 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O)를 배출하는 데 이들의 배출량을 추정하기 위해 유류사용량은 유류공급량으로 대체하였고, CO_2 배출량 추정은 ‘에너지온실가스 종합 정보 플랫폼’의 산정식을 활용하였고, CH_4 , N_2O 배출량 추정은 ‘2019 국가 온실가스 인벤토리 보고서’에서 제안한 산정식을 이용하였다.

아래의 식 (1)은 연근해어업의 업종별·유종별 CO_2 배출량 산정식이며, FS 는 유류공급량을, NCV 는 순발열량, CEF 는 탄소배출계수를 의미한다. i 는 24개 업종이며, j 는 유종(휘발유, 경유, 중유)을 의미한다. 10^{-6} 은 CO_2 배출량을 톤으로 환산하는 데 사용되는 상수이며, $\frac{44}{12}$ 는 탄소배출량을 CO_2 배출량으로 환산하는 데 이용된다.

$$CO_2 Emissions_{ij}(t) = FS_{ij} \times NCV_j \times CEF_j \times 10^{-6} \times \frac{44}{12} \quad (1)$$

식 (2)와 (3)은 연근해어업의 업종별·유종별 CH_4 , N_2O 배출량 산정식이며, CF_j 는 전환계수, $EF_j(CH_4)$ 와 $EF_j(N_2O)$ 는 CH_4 와 N_2O 의 배출계수이다. 10^{-3} 은 CH_4 , N_2O 배출량을 톤으로 환산하는 데 활용되는 상수이며, 식 (2)와 (3)의 41.868은 열량 단위인 TOE로 표시한 유류공급량을 Joule로 환산하는 계수이다.

$$CH_4 Emissions_{ij}(t) = FS_{ij} \times 41.868 \times CF_j \times EF_j(CH_4) \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$N_2O Emissions_{ij}(t) = FS_{ij} \times 41.868 \times CF_j \times EF_j(N_2O) \times 10^{-3} \quad (3)$$

식 (2)와 (3)을 통해 추정된 CH_4 와 N_2O 는 각각 21, 310의 지구온난화지수($CO_2 = 1$)를 적용하여 CO_2 로 변환 후 효율성 분석에 활용한다. CH_4 와 N_2O 의 지구온난화지수가 21, 310이라는 것은 CO_2 보다 지구온난화에 21배, 310배 심각한 영향을 미치는 것을 의미한다.

2. SBM 모형

전통적인 DEA 모형은 산출요소가 주어졌을 때 투입요소를 최소화하는 투입지향(Input-oriented)과 투입요소가 주어졌을 때 산출요소를 최대화하는 산출지향(Output-oriented)으로 나눌 수 있다. 또한 규모에 대한 수익불변(Constant Return to Scale, CRS)을 가정할 때 Charnes et al.(1978)가 개발한 CCR 모형과 규모에 대한 수익가변(Variable Return to Scale, VRS)을 가정할 때 Banker et al.(1984)가 개발한 BCC 모형으로 구분할 수 있다(박만희, 2008).

상술한 전통적인 DEA 모형은 투입 또는 산출지향을 가정해야 하고, 투입이나 산출을 비율적으로 증가 또는 감소시켜야 하는 방사적(Radial) 모형으로 여분(Slack)을 고려하지 않고 효율성을 측정하기 때문에 동일한 산출물을 생산하더라도 어떤 투입요소가 수평의 효율변경에 위치하면 해당 투입요소의 투입량에 관계없이 의사결정단위(Decision

Making Unit, DMU)들의 효율성 점수가 동일하게 계산되는 문제가 발생한다(박철형, 2010).

Tone(2001)이 제안한 SBM 모형은 비방사적(Non-radial)이며, 무지향(Non-oriented) 모형으로 투입 또는 산출요소의 여분(Slack)을 선형계획법에 명시적으로 포함하여 효율성을 측정함으로써 수평의 효율변경에 위치한 효율적인 DMU 사이에 효율성이 구분되지 않는 방사적(Radial) 모형의 한계를 극복하였다. SBM 모형에서는 투입 또는 산출에 따라 투입효율향상비율과 산출효율향상비율 등 2가지 종류의 효율향상비율을 이용하는 데 이들은 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\text{투입 효율 향상 비율} = \frac{x_{in} - s_i^-}{x_{in}}, \quad \text{산출 효율 향상 비율} = \frac{y_{rn} + s_r^+}{y_{rn}} \quad (4)$$

식 (4)의 x_{in} 은 DMU n 의 i 번째 투입요소의 양을 의미하며, s_i^- 는 i 번째 투입요소의 초과분(Input Excess)을 나타낸다. y_{rn} 은 DMU n 의 r 번째 산출요소의 양이며, s_r^+ 는 r 번째 산출요소의 부족분(Output Shortfall)을 의미한다. 투입효율향상비율은 투입초과분만큼 감소한 투입요소가 원래 투입요소에 대비 어느 정도 작은 값인지를 비율로 환산한 것이다. 산출효율향상비율은 산출부족분만큼 증가한 산출요소가 원래 산출요소 대비 어느 정도 큰 값인지를 비율로 나타낸 것이다(이정동·오정현 2012).

이와 같은 비율들을 활용하면 투입요소 및 산출요소에 대해 단위에 무관한 비율값들을 도출할 수 있다. 따라서 f 개의 DMU_n ($n = 1, \dots, f$)과 투입요소인 x 는 m 개, 산출요소인 y 는 h 개로, x, y 는 $x \in R^m, y \in R^h$ 의 벡터로 표현할 수 있다. 주어진 벡터에 따라 행렬 X, Y 를 $X = [x_1, \dots, x_f] \in R^{m \times f}, Y = [y_1, \dots, y_f] \in R^{h \times f}$ 와 같이 정의하고, X, Y 는 0보다 크다고 가정한다. 이를 바탕으로 생산가능집합 P 를 정의하면 식 (5)와 같이 표현 가능하며, $\lambda \in R^f$ 는 가중치 벡터를, e 는 $(1, \dots, 1) \in R^f$ 인 벡터를 의미한다 (Tone, 2001).

$$P = \{(x, y) | x \geq X\lambda, y \leq Y\lambda, \lambda \geq 0, e\lambda = 1\} \quad (5)$$

상기 식 (4)의 투입효율 및 산출효율 향상비율을 확장한 평균 투입효율향상비율과 평균 산출효율향상비율을 활용하여 규모에 대한 수익가변을 가정한 SBM 모형은 다음의 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다(Tone, 2001).

$$\begin{aligned} \rho_n^* &= \min \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{x_{in} - s_i^-}{x_{in}} \right) / \left(\frac{1}{h} \sum_{r=1}^h \frac{y_{rn} + s_r^+}{y_{rn}} \right) & (6) \\ s.t. \quad x_n &= X\lambda + s^- \\ y_n &= Y\lambda - s^+ \\ e\lambda &= 1 \\ s^- &\geq 0, s^+ \geq 0, \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

여기서, 목적함수 ρ_n^* 는 0 초과 1 이하의 값을 갖는 DMU_n 의 효율성 점수를 뜻하고, 벡터 $s^- \in R^m$ 는 투입요소의 초과분(Input Excess)을 의미하며, 벡터 $s^+ \in R^h$ 는 산출요소의 부족분(Output Shortfall)을 의미한다. 만약 DMU_n 이 효율적이라면 ρ^* 는 1이 되고, 산출요소의 여분 s^- 와 투입요소의 여분 s^+ 는 0이 된다. 그러나 DMU_n 이 비효율적이라면 ρ^* 는 1보다 작은 값을 가지게 되는데, 이러한 비효율성을 개선하고자 할 경우에는 산출요소의 초과분인 s^- 를 축소해야 하며, 투입요소의 부족분인 s^+ 를 증대시켜 다음의 식 (7)의 투영점(Projection)으로 이동해야 한다.

$$x_n \leftarrow x_n - s^-, \quad y_n \leftarrow y_n + s^+ \quad (7)$$

식 (6)의 목적함수를 간단히 정리하면 $\rho_n^* = \min \left(1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{in}} \right) / \left(1 + \frac{1}{h} \sum_{r=1}^h \frac{s_r^+}{y_{rn}} \right)$ 로 나타낼 수 있는데, 이는 평균적으로 투입을 최소화함과 동시에 산출을 최대화하려는 것임을 알 수 있다. 상기 식 (6)은 규모에 대한 수익가변을 가정한 SBM 모형이며, 제약조건 중 볼록성 조건에 해당하는 $e\lambda = 1$ 을 제거하면 규모에 대한 수익불변을 가정한 SBM 모형이 된다(소순후, 2011).

3. 온실가스 배출량을 고려한 SBM 모형

어선이 어로활동을 위해 출어하거나 해상에서 조업할 때 배출하는 온실가스를 비소망재(Undesirable Output)라고 하며, 비소망재는 소망재(Desirable Output) 생산과정에서 발생하는 부득이한 부산물(By-product)을 의미한다. 따라서 이를 감축하기 위해서는 소망재 생산을 줄여야 하는 데 자유가처분(Free Disposability) 가능한 소망재와 다르게 비소망재는 자유가처분이 불가능하며, 약가처분(Weak Disposability)의 특징을 가진다. 이를 자세히 설명하면, 자유가처분성은 비소망재의 산출수준을 유지하면서 소망재의 생산수준을 줄이는 것이 가능함을 의미한다. 그러나 약가처분성은 소망재 생산수준을 유지하면서 비소망재 산출만을 줄이는 것은 불가능함을 의미한다(이정동·오정현 2012).

온실가스 배출량과 같은 비소망재를 고려한 SBM 모형을 제시하기에 앞서 투입요소, 산출요소인 소망재와 비소망재 등 3개의 요소를 가진 f 개의 DMU_n ($n = 1, \dots, f$) 이 있다고 가정한다. 투입요소인 x 는 m 개, 소망재인 y^g 는 s_1 개, 비소망재인 y^b 는 s_2 개인 x, y^g, y^b 는 $x \in R^m, y^g \in R^{s_1}, y^b \in R^{s_2}$ 의 벡터로 나타낼 수 있다. 이에 따라 행렬 X, Y^g, Y^b 를 $X = [x_1, \dots, x_f] \in R^{m \times f}, Y^g = [y_1^g, \dots, y_f^g] \in R^{s_1 \times f}, Y^b = [y_1^b, \dots, y_f^b] \in R^{s_2 \times f}$ 와 같이 정의하고, X, Y^g, Y^b 는 0보다 크다고 가정한다. 이를 바탕으로 생산가능집합 P 를 정의하면, 식 (8)과 같이 나타낼 수 있고, $\lambda \in R^f$ 는 가중치 벡터를 의미한다(Tone, 2003).

$$P = \{(x, y^g, y^b) | x \geq X\lambda, y^g \leq Y^g\lambda, y^b \geq Y^b\lambda, \lambda \geq 0\} \quad (8)$$

이를 토대로 Tone(2001)이 제시한 SBM 모형의 산출요소를 소망재와 비소망재로 구분 후 모형을 변형하여, 비소망재를 고려한 규모에 대한 수익불변(CRS)의 SBM을 다음과 같은 식 (9)로 표현할 수 있다. 이때 동 모형은 전통적인 DEA 모형의 투입지향 또는 산출지향이 모형이 아닌 무지향(Non-oriented) 모형이다(Tone, 2003).

$$\rho_n^* = \min \left[\left(1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{in}} \right) / \left\{ 1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{rn}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{rn}^b} \right) \right\} \right] \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 s.t. \quad & x_n = X\lambda + s^- \\
 & y_n^g = Y^g\lambda - s^g \\
 & y_n^b = Y^b\lambda + s^b \\
 & s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, \lambda \geq 0
 \end{aligned}$$

여기서, 벡터 $s^- \in R^m$ 과 $s^b \in R^{s^2}$ 는 투입물과 비소망재의 초과분을 의미하며, 벡터 $s^g \in R^{s^1}$ 는 소망재의 부족분을 의미한다. 식 (9)의 목적함수 ρ^* 는 효율성 점수를 의미하며, $0 < \rho^* \leq 1$ 사이의 값을 갖는다. 만약 DMU_n 이 효율적이라면 ρ^* 는 1이 되고, 산출 요소의 여분 s^- 와 소망재 및 비소망재의 여분인 s^g, s^b 은 0이 된다. 그러나 DMU_n 이 비효율적이라면 ρ^* 는 1보다 작은 값을 가지는데, 이러한 비효율성을 개선하기 위해서는 산출요소와 비소망재의 초과분인 s^- 와 s^b 를 줄여야 하며, 소망재의 부족분인 s^g 를 증가시켜 다음의 식 (10)의 투영점(Projection)으로 이동해야 한다.

$$x_n \leftarrow x_n - s^-, \quad y_n^b \leftarrow y_n^b - s^b, \quad y_n^g \leftarrow y_n^g + s^g \tag{10}$$

식 (9)는 규모에 대한 수익불변을 가정하는 SBM 모형으로 규모에 대한 수익가변을 가정하는 SBM 모형은 식 (8)의 생산가능집합 P 에 $L \leq e\lambda \leq U$ 의 제약을 추가해야 한다. 여기서 e 는 $(1, \dots, 1) \in R^f$ 인 벡터이며, $L(\leq 1)$ 과 $U(\geq 1)$ 는 각각 가중치 벡터 λ 의 하한과 상한 경계를 의미한다. 만약 $L = 1, U = 1$ 이라면 $e\lambda = 1$ 이 되어 규모에 대한 수익가변을 가정하는 SBM 모형이 되며, $L = 0, U = 1$ 일 경우 규모에 대한 수익체감을 가정하는 SBM 모형이 되고, $L = 1, U = \infty$ 일 때 규모에 대한 수익체증을 가정하는 SBM 모형이 된다. 따라서 규모에 대한 수익가변을 가정하는 SBM 모형이 되기 위해서는 $e\lambda = 1$ 이라는 볼록성 조건을 식 (9)에 추가해야 한다(Tone, 2003).

IV. 실증분석

1. 분석자료 개요

본 연구는 ‘2019 연근해어업실태조사’(2018년 기준)와 ‘2019년도 어업경영조사보

고'(2018년 기준)의 업종별 경영수지 자료에 동 조사의 업종별 주어업 기준 모집단의 수를 곱하여 연근해어업의 업종별 경영수지를 추정하였다. 또한 2018년 수협중앙회의 내부자료인 업종별 유류공급량을 유류사용량으로 대용하여 온실가스 배출량을 추정하였다. 자료포락분석을 위한 투입변수로는 업종별 어업비용 중 비중이 큰 생산관리비와 인건비외에 유류사용량을 선정하였다. 그리고 산출변수로 소망재는 어업수입을 선택하였고, 비소망재는 온실가스 배출량을 선정하여 분석에 활용하였다. <표 2>는 본 연구의 효율성 분석에 활용된 투입변수와 산출변수의 기초통계량이다.¹⁾

본 분석의 DMU는 총 24개로 투입 및 산출변수의 합계인 5보다 4배 이상 크기 때문에 DMU의 수가 투입 및 산출요소 수의 합보다 최소한 3배 이상 커야 하는 기준을 만족하여 DEA를 통해 식별 가능한 분석 결과를 도출하는 데는 무리가 없을 것으로 보인다 (Banker et al., 1984). 추가적으로 각 DMU는 어업자원 어획을 목적으로 조업하며, 모든 DMU에 수치가 서로 다른 동일한 투입 및 산출요소가 존재하고 있다. 또한 개별 DMU는 우리나라의 배타적 경제수역(Exclusive Economic Zone, EEZ) 내에서 조업하고 있는 연근해어업이므로 DMU의 동질성 기준을 충족하여 DUM간 상대적 비교가 가능할 것으로 판단된다(Golany and Roll, 1989).

<표 2> 투입변수 및 산출변수의 기초통계량

| 구분 | 투입변수 | | | 산출변수 | |
|------|-----------------|---------------|---------------|-----------------------|--|
| | 생산관리비 (백만 원) | 인건비 (백만 원) | 유류사용량 (kl) | 소망재 어업수입 (백만 원) | 비소망재 온실가스 배출량 (톤 CO ₂ eq) |
| 평균 | 60,909 | 59,272 | 36,636 | 252,040 | 94,489 |
| 표준편차 | 58,418 | 46,634 | 34,363 | 276,583 | 89,494 |
| 변동계수 | 0.9591 | 0.7868 | 0.9380 | 1.0974 | 0.9471 |
| 최댓값 | 220,027 | 162,609 | 130,310 | 1,064,431 | 328,360 |
| 최솟값 | 5,328 | 7,254 | 4,336 | 25,369 | 11,300 |

1) 분석에 활용된 24개 DMU의 온실가스 배출량 추정결과는 <부록 표 1>에 기재하였다.

2. CCR 및 BCC 모형 분석결과

연근해어업의 24개 업종을 DMU로 하고 투입요소인 생산관리비, 인건비, 유류사용량과 산출요소인 어업수입을 변수로 하여 투입지향 CCR 및 BCC 모형을 분석한 결과는 <표 3>과 같다. 본 분석에서 주어진 산출요소 하에서 투입요소를 최소화하는 투입지향 모형을 선정한 이유는 해양환경의 불확실성으로 인해 동일한 투입요소를 이용하더라도 산출량의 차이를 보이는 어선어업의 특성을 반영하고자 하였기 때문이다. 또한 어획량이 지속적으로 감소하고 있는 연근해어업의 경우 주어진 산출요소 하에서 투입량을 최소화하는 것이 효율성 비교에 더 적합하였기 때문이다.

<표 3>의 분석결과를 살펴보면, 첫째, 규모에 대한 수익불변을 가정한 투입지향 CCR 모형을 통해 24개 업종을 분석한 결과, 잠수기, 구획어업, 정치망은 기술적효율성 점수가 1로 나타나 효율적인 업종이었으나 21개 업종은 상대적으로 비효율적인 조업을 하고 있는 것으로 나타났다. CCR 모형의 효율성 평균점수는 0.6775, 표준편차는 0.1876으로 도출되어 평균적으로 32.25%의 비효율성이 존재하며, 업종 간 효율성 격차는 18.76% 정도 존재함을 의미한다.

둘째, 규모에 대한 수익가변을 가정하는 투입지향 BCC 모형의 분석결과, 순수기술효율성 점수가 1로 나타나 상대적으로 효율적인 업종은 6개로 동해구외끌이, 근해형망, 잠수기, 연안자망, 구획어업, 정치망이 포함되며, 상대적으로 비효율적인 업종은 18개로 분석되었다. BCC 모형의 평균 효율성 점수는 0.7925로 도출되어 20.75%의 비효율성이 존재하며 효율성 점수의 표준편차는 0.1949로 업종 간 효율성 격차는 19.49% 정도 존재하였다.

셋째, 기술적효율성에서 순수기술효율성을 나누어 도출한 규모효율성(SE) 점수가 1로 나타나 상대적으로 효율적인 업종은 잠수기, 구획어업, 정치망 등 3개 업종이었고, 나머지 21개 업종은 상대적으로 비효율적인 업종이었다. 규모효율성의 평균은 0.8666이며, 표준편차는 0.1442로 도출되었는데, 이는 13.34% 비효율이 발생하며, 효율성 격차는 14.42% 정도인 것을 의미한다.

넷째, 규모에 대한 수확불변(CRS)인 업종은 3개, 수확체증(IRS)인 업종은 17개, 수확체감(DRS)인 업종은 4개로 분석되었다²⁾. 또한 비효율적인 업종이 효율적인 업종으로

〈표 3〉 CCR 및 BCC 모형 분석결과

| DMU | CCR | BCC | SE | RTS | 준거집단 | 참조횟수 |
|------------|--------|--------|--------|-----|------------|------|
| 1. (외)대형저 | 0.5180 | 0.7305 | 0.7091 | IRS | 3, 15, 23 | 0 |
| 2. (쌍)대형저 | 0.6480 | 0.7135 | 0.9082 | IRS | 15, 23 | 0 |
| 3. 동해구외끌이 | 0.6672 | 1.0000 | 0.6672 | IRS | 3 | 10 |
| 4. (외)서남구저 | 0.5902 | 0.7729 | 0.7637 | IRS | 3, 15, 23 | 0 |
| 5. (쌍)서남구저 | 0.5955 | 0.9831 | 0.6058 | IRS | 15, 23 | 0 |
| 6. 대형트롤 | 0.5859 | 0.6773 | 0.8651 | IRS | 15, 23 | 0 |
| 7. 동해구트롤 | 0.7010 | 0.8466 | 0.8280 | IRS | 3, 23, 24 | 0 |
| 8. 대형선망 | 0.3921 | 0.4098 | 0.9568 | IRS | 15, 23 | 0 |
| 9. 소형선망 | 0.6290 | 0.8270 | 0.7606 | IRS | 3, 23, 24 | 0 |
| 10. 근해채낚기 | 0.4706 | 0.4864 | 0.9676 | IRS | 3, 15, 23 | 0 |
| 11. 근해자망 | 0.6598 | 0.7125 | 0.9260 | DRS | 21, 23, 24 | 0 |
| 12. 근해안강망 | 0.6486 | 0.6621 | 0.9796 | IRS | 3, 23, 24 | 0 |
| 13. 근해통발 | 0.5922 | 0.6352 | 0.9323 | IRS | 15, 23 | 0 |
| 14. 근해연승 | 0.4252 | 0.4302 | 0.9884 | IRS | 3, 23, 24 | 0 |
| 15. 근해형망 | 0.5108 | 1.0000 | 0.5108 | IRS | 15 | 9 |
| 16. 기선권현망 | 0.5087 | 0.5251 | 0.9688 | IRS | 3, 23, 24 | 0 |
| 17. 잠수기 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | CRS | 17 | 2 |
| 18. 연안안강망 | 0.8276 | 0.9254 | 0.8943 | IRS | 3, 23, 24 | 0 |
| 19. 연안선망 | 0.5848 | 0.8867 | 0.6595 | IRS | 17, 23 | 0 |
| 20. 연안통발 | 0.8176 | 0.8224 | 0.9942 | DRS | 21, 23 | 0 |
| 21. 연안자망 | 0.9565 | 1.0000 | 0.9565 | DRS | 21 | 4 |
| 22. 연안복합 | 0.9307 | 0.9726 | 0.9569 | DRS | 21, 23 | 0 |
| 23. 기획어업 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | CRS | 23 | 19 |
| 24. 정치망 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | CRS | 24 | 8 |
| 평균 | 0.6775 | 0.7925 | 0.8666 | / | | |
| 표준편차 | 0.1876 | 0.1949 | 0.1442 | | | |
| 최댓값 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | | | |
| 최솟값 | 0.3921 | 0.4098 | 0.5108 | | | |

2) CRS 업종: 잠수기, 기획어업, 정치망

IRS 업종: (외)대형저인망, (쌍)대형저인망, 동해구외끌이, (외)서남구저인망, (쌍)서남구저인망, 대형트롤, 동해구트롤, 대형선망, 소형선망, 근해채낚기, 근해안강망, 근해통발, 근해연승, 근해형망, 기선권현망, 연안개량안강망, 연안선망

DRS 업종: 근해자망, 연안통발, 연안자망, 연안복합

개선하기 위해 벤치마킹해야 할 업종 및 참조횡수는 구획어업(19회), 동해구외끝이(10회), 근해형망(9회), 정치망(8회) 순으로 나타났다.

분석결과를 종합하면, 24개 업종은 평균적으로 순수기술효율성에서 20.75%, 규모효율성에서 13.34%의 비효율이 발생하였다. 이러한 비효율의 원인은 적정규모가 아닌 수준에서 조업하여 야기되는 규모비효율성보다 투입요소인 생산관리비, 인건비, 유류사용량의 비효율적 조합으로 발생하는 순수기술비효율성이 크다는 것을 의미한다. 상기 분석결과를 바탕으로 효율적인 업종은 비효율적인 업종에 비해 연안 근처에서 조업하였고, 수입 대비 생산관리비와 인건비의 비중이 상대적으로 낮았으며, 비효율적인 업종에 비해 유류사용량이 적은 특징이 있었다.

3. 온실가스 배출량 고려유무에 따른 SBM 모형 분석결과

CCR 및 BCC 모형에 사용한 변수 외에 개별 변수의 여분과 비소망재인 온실가스 배출량을 반영한 SBM 모형을 이용하여 24개 업종의 효율성 점수를 분석한 결과는 <표 4>와 같다.

첫째, 각 변수의 여분을 고려한 SBM-CRS 모형의 분석결과, CCR 모형에서 효율적인 잠수기, 구획어업, 정치망의 효율성 점수가 1로 나타나 비방사형 여분을 고려한 모형에서도 상대적으로 효율적인 업종으로 식별되었다. SBM-CRS 모형으로 추정된 24개 업종의 평균 효율성 점수는 0.4954이었고, 표준편차는 0.2171로 나타나 CCR 모형에 비해 평균은 하락하고 표준편차는 확대되었다.

둘째, 온실가스 배출량을 반영한 SBM-CRS-CO2 모형의 분석결과, 구획어업, 정치망의 효율성 점수가 1로 나타난 반면에 잠수기는 효율성이 소폭 감소하여 비효율적인 업종으로 분석되었다. 비효율이 심화된 업종과 다르게 잠수기의 효율성 점수가 소폭 하락한 것에 그친 원인은 잠수부가 수중에서 수산동물을 채취하는 어법의 특성으로 인해 수입이 낮지만 연안 인근에서 조업하여 온실가스 배출량은 가장 적었기 때문이다. SBM-CRS-CO2 모형에 의해 추정된 24개 업종의 평균 효율성 점수는 0.3807이었고, 표준편차는 0.2492인 것으로 나타나 SBM-CRS 모형에 비해 평균은 감소하고 표준편차는 증가한 것으로 분석되었다.

〈표 4〉 온실가스 배출량을 반영 유무에 따른 SBM 모형의 효율성 비교

| DMU | SBM-CRS | | SBM-C-CO2 | | SBM-VRS | | SBM-V-CO2 | |
|------------|---------|----|-----------|----|---------|----|-----------|----|
| | 효율성 | 순위 | 효율성 | 순위 | 효율성 | 순위 | 효율성 | 순위 |
| 1. (외)대형저 | 0.3612 | 17 | 0.2459 | 16 | 0.6190 | 14 | 0.5636 | 14 |
| 2. (쌍)대형저 | 0.3426 | 19 | 0.2307 | 20 | 0.3877 | 20 | 0.2905 | 20 |
| 3. 동해구외끌이 | 0.4385 | 11 | 0.2988 | 11 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 4. (외)서남구저 | 0.4174 | 13 | 0.2868 | 13 | 0.6799 | 13 | 0.6268 | 13 |
| 5. (쌍)서남구저 | 0.3634 | 16 | 0.2458 | 17 | 0.7289 | 10 | 1.0000 | 1 |
| 6. 대형트롤 | 0.3405 | 20 | 0.2303 | 21 | 0.4172 | 18 | 0.3287 | 18 |
| 7. 동해구트롤 | 0.4770 | 9 | 0.3305 | 10 | 0.8227 | 8 | 0.7954 | 8 |
| 8. 대형선망 | 0.2633 | 24 | 0.1783 | 24 | 0.2825 | 24 | 0.2095 | 24 |
| 9. 소형선망 | 0.4125 | 14 | 0.2796 | 14 | 0.7089 | 12 | 0.6467 | 11 |
| 10. 근해채낚기 | 0.3262 | 22 | 0.2206 | 22 | 0.3468 | 22 | 0.2544 | 22 |
| 11. 근해자망 | 0.4714 | 10 | 0.3337 | 9 | 0.5213 | 16 | 0.3536 | 16 |
| 12. 근해안강망 | 0.4341 | 12 | 0.2973 | 12 | 0.4665 | 17 | 0.3533 | 17 |
| 13. 근해통발 | 0.3745 | 15 | 0.2532 | 15 | 0.4105 | 19 | 0.3056 | 19 |
| 14. 근해연승 | 0.3128 | 23 | 0.2157 | 23 | 0.3292 | 23 | 0.2512 | 23 |
| 15. 근해형망 | 0.3591 | 18 | 0.2442 | 18 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 16. 기선권현망 | 0.3401 | 21 | 0.2313 | 19 | 0.3761 | 21 | 0.2859 | 21 |
| 17. 잠수기 | 1.0000 | 1 | 0.9999 | 3 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 18. 연안안강망 | 0.5597 | 7 | 0.3853 | 7 | 0.7408 | 9 | 0.6363 | 12 |
| 19. 연안선망 | 0.4815 | 8 | 0.3583 | 8 | 0.7258 | 11 | 0.7104 | 10 |
| 20. 연안통발 | 0.5629 | 6 | 0.3961 | 6 | 0.6069 | 15 | 0.4173 | 15 |
| 21. 연안자망 | 0.6477 | 4 | 0.4560 | 4 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 22. 연안복합 | 0.6036 | 5 | 0.4186 | 5 | 0.8734 | 7 | 0.7157 | 9 |
| 23. 구획어업 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 24. 정치망 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 평균 | 0.4954 | | 0.3807 | | 0.6685 | | 0.6144 | |
| 표준편차 | 0.2171 | | 0.2492 | | 0.2528 | | 0.3013 | |
| 최댓값 | 1.0000 | | 1.0000 | | 1.0000 | | 1.0000 | |
| 최솟값 | 0.2633 | | 0.1783 | | 0.2825 | | 0.2095 | |

셋째, SBM-VRS 모형에서 효율성 점수가 1로 나타나 상대적으로 효율적인 업종은 BCC 모형과 동일하게 동해구외끌이, 근해형망, 잠수기, 연안자망, 구획어업, 정치망 등 6개 업종으로 분석되었다. SBM-VRS 모형의 평균 효율성 점수와 표준편차는 각각 0.6685와 0.2528로 분석되어 BCC 모형보다 평균이 감소한 반면, 표준편차는 증가한 것으로 분석되었다.

넷째, SBM-VRS-CO2 모형에서는 동해구외끌이, 근해형망, 잠수기, 연안자망, 구획어업, 정치망, 서남해구쌍끌이중형저인망 등 7개 업종이 상대적으로 효율적인 업종으로 식별되었고, 24개 업종의 효율성 점수 평균은 0.6144, 표준편차는 0.3013으로 도출되었다. 특히 온실가스 배출량 반영에 따라 비효율적인 업종의 효율성 점수가 하락하여 SBM-VRS 모형에 비해 평균은 하락하고, 업종 간 효율성 격차는 더 커진 것으로 분석되었다. 반면 서남해구쌍끌이중형저인망은 SBM-VRS 모형에서는 비효율적이었으나 SBM-VRS-CO2 모형에서는 효율적인 업종으로 식별되었는데, 이는 동 업종이 비효율적인 업종들에 비해 어선세력이 상대적으로 작아서 온실가스 배출량이 낮았기 때문이다.

분석결과를 종합적으로 정리해보면, 6개 모형을 CRS 또는 VRS 가정에 따라 구분 후 전통적인 DEA 모형, 여분을 고려한 SBM 모형, 여분과 온실가스 배출량을 반영한 SBM 모형으로 확장될수록 연근해어업의 효율성 점수 평균은 하락하여 비효율성이 증가되었고, 효율성 점수의 표준편차는 확대되어 업종 간 효율성 점수의 차이는 증가한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 개별 업종의 산출 및 투입요소에 비방사형 여분이 존재하고 있음을 의미하는 것으로, 상기 결과는 온실가스 배출량을 고려하였을 때 연근해어업의 효율성이 낮아질 것이라는 연구자의 직관과도 일치하였다.

추가적으로 온실가스 배출량을 고려한 SBM 모형의 투입 및 산출요소의 감축비율 추정결과를 정리한 <표 5>에 따르면, SBM-CRS-CO2 모형에서는 평균적으로 생산관리비 32.77%, 인건비 39.12%, 유류사용량 79.48%, 온실가스 배출량 79.43%를 감축해야 하며, SBM-VRS-CO2 모형에서는 평균적으로 생산관리비 24.89%, 인건비 21.17%, 유류사용량 44.18%, 온실가스 배출량 44.15%를 감축해야 비효율적인 어업이 효율적인 어업으로 개선되는 것으로 분석되었다. 특히 전체 어선척수에 비해 유류사용량과 온실가스 배출량이 높은 쌍끌이대형저인망이 효율적인 업종으로 혁신하기 위해서는 유류사용량과 온실가스 배출량을 89~97%까지 줄여야 하는 것으로 나타났다.

〈표 5〉 온실가스 배출량을 고려한 SBM 모형의 투입 및 산출요소 감축비율 추정결과

| 구분 | 투입요소 | | | 산출요소 |
|-----|-----------|---------|-----------|--------------|
| | 생산관리비 (%) | 인건비 (%) | 유류사용량 (%) | 온실가스 배출량 (%) |
| CRS | 32.77 | 39.12 | 79.48 | 79.43 |
| VRS | 24.89 | 21.17 | 44.18 | 44.15 |

이와 같은 분석결과에 기초하여 향후 업종별 효율성 개선을 위해서는 생산관리비와 인건비 절감을 통한 저비용 어업으로의 전환 노력도 병행되어야 하겠지만 유류사용량과 온실가스 배출량의 감축 비율이 가장 큰 것으로 나타난 만큼 연료 저소비 및 온실가스 저배출 어업으로의 구조개편이 보다 시급한 것으로 보여진다.

4. 비모수적 검정방법을 이용한 효율성 차이검정

상기 6가지 모형을 통해 도출된 업종별 효율성 점수 평균과 표준편차를 비교하여 CRS 또는 VRS를 가정한 모형, 여분 또는 온실가스 배출량을 반영한 모형과 그렇지 않은 모형 간 효율성 점수의 차이가 존재하는지를 판단하였다. 그러나 이러한 방식은 다소 직관적인 판단에 의존하는 경향이 있어 이분산 강건 Analysis of Variance(Robust ANOVA) 검정과 비모수 대응표본 검정방법인 Wilcoxon Signed-rank 검정을 실시하여 효율성 점수의 차이가 통계적으로 유의한지 확인하였다. 두 검정 모두 귀무가설(H_0)은 ‘모형 간 효율성 점수 차이가 없다’이며, 대립가설(H_1)은 ‘모형 간 효율성 점수 차이가 존재한다’이다. Robust ANOVA 검정과 Wilcoxon Signed-rank 검정결과는 <표 6>에 제시되어 있다.

먼저, 비교할 모형이 3개 이상이고 개별 모형의 표본분포가 이분산으로 나타나 등분산 가정을 충족하지 않아도 적용 가능한 Robust ANOVA 검정을 실시하여 CRS 또는 VRS 가정에 따른 분석모형별 효율성 차이가 존재하는지를 검정하였다. CRS를 가정한 3가지 모형 간에는 Welch 검정과 Brown-Forsythe 검정을 시행하였는데, 모두 1% 유의수준하에서 귀무가설을 기각하여 모형 간 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 그리고 VRS를 가정한 3가지 모형 간에는 Welch 검정의 경우 5% 유의수준하에서 모형 간 유의

한 차이가 존재한 반면, Brown-Forsythe 검정에서는 10% 유의수준하에서 모형 간 차이가 존재하는 것으로 분석되었다.

다음으로, 비교하려는 두 집단의 표본이 서로 대응되며, 두 집단의 모집단이 정규분포를 충족하지 않더라도 사용 가능한 Wilcoxon Signed-rank 검정을 활용하였다. CRS, VRS 가정하의 모형들을 여분 또는 온실가스 배출량 반영 유무에 따라 구분하여 2가지 모형 간 효율성 차이를 검정한 결과, 모든 모형 간 비교에서 1% 유의수준하에서 대립 가설을 채택하여 모형 간 효율성 점수에는 유의한 차이가 존재하는 것으로 분석되었다.

〈표 6〉 CRS 또는 VRS 가정에 따른 분석모형별 효율성 차이 검정결과

| 구분 | | 검정방법 | 통계량 | 유의확률 |
|-----|-----------------------|----------------------|----------|----------|
| CRS | CCR/SBM-CRS/SBM-C-CO2 | Welch | 11.66 | 0.000*** |
| | | Brown-Forsythe | 11.17 | 0.000*** |
| | CCR/SBM-CRS | Wilcoxon Signed-rank | 1221.50 | 0.000*** |
| | CCR/SBM-C-CO2 | | 1,223.75 | 0.000*** |
| | SBM-CRS/SBM-C-CO2 | | 1,223.75 | 0.000*** |
| VRS | BCC/SBM-VRS/SBM-V-CO2 | Welch | 3.59 | 0.036** |
| | | Brown-Forsythe | 3.12 | 0.051* |
| | BCC/SBM-VRS | Wilcoxon Signed-rank | 1,202.25 | 0.000*** |
| | BCC/SBM-V-CO2 | | 1,202.25 | 0.000*** |
| | SBM-VRS/SBM-V-CO2 | | 1,202.25 | 0.000*** |

주: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

앞서 6가지 모형으로 도출한 24개 연근해어업의 업종별 효율성 점수를 「수산업법」에 따라 근해어업과 연안어업³⁾, 조업형태에 따라 선단 또는 비선단어업⁴⁾, 어법에 따라 인망 또는 비인망어업⁵⁾으로 구분한 후 그룹간 효율성 점수의 평균과 표준편차를 비교한

3) 근해어업은 (외)대형저인망, (쌍)대형저인망, 동해구외끌이, (외)서남구저인망, (쌍)서남구저인망, 대형트롤, 동해구트롤, 대형선망, 소형선망, 근해채낚기, 근해자망, 근해안강망, 근해통발, 근해연승, 근해형망, 기선권현망, 잠수기 등 17개 업종이 포함되며, 연안어업은 연안개량안강망, 연안선망, 연안통발, 연안자망, 연안복합, 구획어업, 정치망 등 7개 업종으로 구성되어 있다. 정치망은 「수산업법」상 면허어업으로 규정되어 있으나 연안근처에서 조업하기 때문에 분석의 편의상 연안어업으로 분류하였다.

4) 선단어업에는 (쌍)대형저인망, (쌍)서남구저인망, 대형선망, 소형선망, 기선권현망, 연안선망 등 6개 업종으로 구성되어 있으며, 이외에 18개 업종은 비선단어업에 해당된다.

결과는 <표 7>과 같다. 근해어업과 연안어업, 선단어업과 비선단어업, 인망어업과 비인망어업 사이의 효율성 점수 평균과 표준편차의 차이를 살펴본 결과, 상기 3가지 기준으로 구분한 그룹 사이에 효율성 점수의 차이가 존재함을 확인할 수 있었다.

<표 7> 업종별 특성에 따라 구분한 집단 간 효율성 비교

| 구분 | | CCR | SBM-C | SBM-C-CO2 | BCC | SBM-V | SBM-V-CO2 |
|---------------|------|---------|---------|-----------|---------|---------|-----------|
| 근해 (A) | 평균 | 0.5966 | 0.4138 | 0.3013 | 0.7301 | 0.5940 | 0.5450 |
| | 표준편차 | 0.1364 | 0.1617 | 0.1848 | 0.1966 | 0.2489 | 0.3063 |
| 연안 (B) | 평균 | 0.8739 | 0.6936 | 0.5735 | 0.9439 | 0.8496 | 0.7828 |
| | 표준편차 | 0.1476 | 0.2152 | 0.2929 | 0.0691 | 0.1605 | 0.2259 |
| 차이 (C=A-B) | 평균 | -0.2773 | -0.2798 | -0.2722 | -0.2138 | -0.2556 | -0.2378 |
| | 표준편차 | -0.0112 | -0.0535 | -0.1081 | 0.1275 | 0.0884 | 0.0804 |
| 선단 (E) | 평균 | 0.5597 | 0.3672 | 0.2540 | 0.7242 | 0.5350 | 0.5238 |
| | 표준편차 | 0.2287 | 0.1543 | 0.1108 | 0.3396 | 0.2770 | 0.3468 |
| 비선단 (F) | 평균 | 0.7168 | 0.5382 | 0.4229 | 0.8152 | 0.7130 | 0.6446 |
| | 표준편차 | 0.1960 | 0.2334 | 0.2746 | 0.1869 | 0.2557 | 0.3005 |
| 차이 (G=E-F) | 평균 | -0.1571 | -0.1710 | -0.1689 | -0.0910 | -0.1780 | -0.1208 |
| | 표준편차 | 0.0327 | -0.0791 | -0.1638 | 0.1527 | 0.0213 | 0.0463 |
| 인망 (H) | 평균 | 0.5917 | 0.3822 | 0.2605 | 0.8054 | 0.6702 | 0.6545 |
| | 표준편차 | 0.0705 | 0.0497 | 0.0361 | 0.1655 | 0.2442 | 0.3085 |
| 비인망 (I) | 평균 | 0.7290 | 0.5634 | 0.4529 | 0.7847 | 0.6675 | 0.5903 |
| | 표준편차 | 0.2177 | 0.2507 | 0.2940 | 0.2158 | 0.2662 | 0.3051 |
| 차이 (J=H-I) | 평균 | -0.1373 | -0.1812 | -0.1924 | 0.0207 | 0.0027 | 0.0642 |
| | 표준편차 | -0.1472 | -0.2010 | -0.2579 | -0.0503 | -0.0220 | 0.0034 |

그러나 <표 7>의 결과는 단순히 효율성 점수의 평균과 표준편차만을 비교한 직관적인 판단에 불과하다. 따라서 집단 간 효율성 점수의 차이가 통계적으로 유의성을 가지고 있는지 확인하기 위해 비모수적인 검정방법인 Mann-Whitney의 U 검정을 시행하였다. 동 검정방법은 다른 두 집단 간의 자료가 비율척도이거나 집단 간 표본 수가 비대칭적이고, 30개 미만으로 정규성을 충족하지 못하는 경우 사용 가능하다. Mann-Whitney의 U 검정의 귀무가설(H_0)은 ‘집단 간 차이가 없다’이며, 대립가설(H_1)은 ‘집단 간 차이가

5) 인망어업에는 (외)대형저인망, (쌍)대형저인망, 동해구외끌이, (외)서남구저인망, (쌍)서남구저인망, 대형트롤, 동해구트롤, 근해형망, 기선권현망 등 9개 업종이 해당되며, 비인망어업은 나머지 15개 업종으로 구성되어 있다.

존재한다'이다.

<표 8>은 개별 업종의 3가지 특성에 따라 집단을 구분한 후 실시한 Mann-Whitney의 U 검정 결과로, 근해어업과 연안어업은 1~10% 유의수준에서 6개 모형 모두 귀무가설을 기각함에 따라 통계적으로 근해어업과 연안어업의 효율성 점수는 차이가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 선단어업과 비선단어업의 효율성 점수 차이는 CCR, SBM-CRS, SBM-CRS-CO2 모형에서만 10% 유의수준에서 통계적으로 유의적이었으며, 인망어업과 비인망어업의 효율성 점수 차이도 SBM-CRS, SBM-CRS-CO2 모형에서만 10% 유의수준하에서 통계적으로 유의적이었다.

조업형태나 어법에 따라 분류한 집단 간 효율성 점수의 차이가 일부 모형에서만 유의적인 것에 비해 근해어업과 연안어업간 효율성 점수의 차이가 모든 모형에서 통계적으로 유의한 원인을 추정해보면 다음과 같다. 본 분석에 이용된 자료에 따르면 연안어업은 근해어업에 비해 척당 어선규모는 작지만 어선척수가 상당히 많아서 평균적으로 생산관리비가 2.01배, 인건비는 1.92배, 유류사용량이 1.27배, 온실가스 배출량도 1.23배 더 높았다. 그러나 연안어업의 활어위판 비율이 근해어업의 활어위판 비율보다 높아 총수입은 근해어업보다 3.29배 더 많은 것으로 나타났다. 따라서 연안어업과 근해어업의 효율성 점수의 차이는 연안어업의 총수입대비 생산관리비와 인건비의 비중, 유류사용량, 온실가스 배출량이 근해어업보다 상대적으로 낮음에 기인한 것으로 판단된다.

<표 8> 업종별 특성에 따라 구분한 집단 간 효율성 차이 검정결과

| 구분 | | CCR | SBM-C | SBM-C-CO2 | BCC | SBM-V | SBM-V-CO2 |
|--------|------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| 근해/연안 | 통계량 | 247.49*** | 247.49*** | 247.81*** | 244.14** | 244.14** | 241.88* |
| | Z | 2.765 | 3.401 | 3.462 | 2.368 | 2.240 | 1.879 |
| | 유의확률 | 0.0042 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0154 | 0.0229 | 0.0600 |
| 선단/비선단 | 통계량 | 224.61* | 224.61* | 224.90* | 221.58 | 221.58 | 219.52 |
| | Z | -1.802 | -1.802 | -1.800 | -1.008 | -1.545 | -1.012 |
| | 유의확률 | 0.0768 | 0.0768 | 0.0765 | 0.3287 | 0.1302 | 0.3370 |
| 인망/비인망 | 통계량 | 281.25 | 280.76* | 281.13* | 276.97 | 276.97 | 274.40 |
| | Z | -1.402 | -1.880 | -1.938 | 0.210 | 0.090 | 0.392 |
| | 유의확률 | 0.1734 | 0.0635 | 0.0544 | 0.8495 | 0.9432 | 0.7234 |

주: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

V. 결론

본 연구는 우리나라 연근해어업의 24개 업종을 대상으로 온실가스 배출량의 반영 유무에 따른 효율성 점수의 차이를 비교·분석하였다. 우선 Tier1 수준의 온실가스 배출량 산정식을 활용하여 24개 업종의 온실가스 배출량을 추정하였다. 다음으로 전통적인 CCR, BCC 모형과 여분을 고려한 SBM-CRS, SBM-VRS 모형, 여분과 비소망재인 온실가스 배출량을 고려한 SBM-CRS-CO₂, SBM-VRS-CO₂ 모형을 분석에 이용하였다. 또한 여분과 온실가스 배출량 포함 유무에 따른 개별 모형 간 효율성 점수의 차이가 통계적으로 유의적인지 확인하기 위해 Robust ANOVA 검정과 Wilcoxon Signed-rank 검정을 시행하였다. 끝으로 「수산업법」, 조업형태, 어법에 따라 개별 업종을 두 집단으로 구분한 후, Mann-Whitney의 U 검정을 실시해 동 3가지 기준에 따라 분류한 집단 간 효율성 점수의 차이를 검정하였다.

본 분석의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 여분과 온실가스 배출량을 고려하지 않은 CCR 모형에서는 잠수기, 구획어업, 정치망 등 3개 업종이 효율적인 업종이었으며, 효율성 평균점수는 0.6775, 표준편차는 0.1876으로 도출되었다. 비방사형 여분을 고려한 SBM-CRS 모형에서도 CCR 모형에서 효율적인 3개 업종이 여전히 효율적인 것으로 식별되었다. SBM-CRS 모형의 평균 효율성 점수는 0.4954이었고, 표준편차는 0.2171로 나타나 CCR 모형에 비해 평균은 하락하고 표준편차는 확대되었다. 온실가스 배출량과 비방사형 여분을 반영한 SBM-CRS-CO₂ 모형에서는 구획어업, 정치망어업만이 효율적인 업종으로 분석되었고, 평균 효율성 점수는 0.3807, 표준편차는 0.2492로 도출되어 SBM-CRS 모형에 비해 평균은 감소하고 표준편차는 증가하였다.

둘째, 여분과 온실가스 배출량을 반영하지 않은 BCC 모형에서는 동해구외끌이중형 저인망, 근해형망, 잠수기, 연안자망, 구획어업, 정치망이 등 6개 업종이 효율적인 업종인 것으로 분석되었고, 평균 효율성 점수는 0.7925, 표준편차는 0.1949로 나타났다. 비방사형 여분을 반영한 SBM-VRS 모형에서도 BCC 모형에서 효율적인 6개 업종이 효율적인 업종으로 식별되었으며, 평균 효율성 점수와 표준편차는 각각 0.6685와 0.2528로 분석되어 BCC 모형보다 평균이 감소하고 표준편차는 확대되었다. 비방사형 여분과 온실가스 배출량을 고려한 SBM-VRS-CO₂ 모형에서는 앞선 두 모형에서 효율적인 6개 업

중 외에 서남해구쌍끌이중형저인망이 추가되어 7개 업종이 효율적인 업종으로 식별되었고, 효율성 점수 평균은 0.6144, 표준편차는 0.3013으로 도출되어 SBM-VRS 모형에 비해 평균은 하락하고, 업종 간 효율성 격차는 더 커진 것으로 분석되었다.

셋째, Robust ANOVA 검정과 Wilcoxon Signed-rank 검정을 실시하여 6개 모형 간 효율성 점수의 차이가 통계적으로 유의한지를 검정한 결과, 모든 비교에서 모형 간 효율성 점수의 차이가 존재하는 것으로 분석되었다. Mann-Whitney의 U 검정을 활용하여 「수산업법」에 따라 구분한 근해어업과 연안어업의 효율성 점수 차이가 유의적인지를 검정한 결과, 6개 모형 모두에서 근해어업과 연안어업의 효율성 점수에 차이가 존재하는 것으로 분석되었다. 조업형태에 따라 선단 또는 비선단어업으로 분류하고, 어법에 따라 인망과 비인망어업으로 구분한 후 실시한 Mann-Whitney의 U 검정 결과에서는 집단 간 효율성 점수의 차이가 6개 모형 중 각각 3개와 2개 모형에서 존재하는 것으로 나타났으나 통계적 유의수준이 낮았다.

분석결과를 정리해보면 투입 및 산출요소의 여분과 온실가스 배출량을 모형에 반영할수록 연근해어업의 효율성 점수는 하락하는 것으로 나타나 투입 및 산출요소에 여분이 존재하고 있음을 시사하며, 온실가스 배출량도 효율성 감소에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 특히 효율적으로 식별된 근해어업은 어선세력이 작고 어법의 특성상 근거리 조업 비중이 높아 유류사용량과 온실가스 배출량, 생산관리비, 인건비가 상대적으로 낮은 특징이 있었다. 연안어업 중 효율적인 업종은 유류사용량과 온실가스 배출량이 적으며, 어획물의 단가가 높은 활어나 선어로 어획물을 판매하여 총수입이 상대적으로 높은 특징을 보였다. 이상과 같이 본 연구는 그동안 연근해어업의 효율성 분석에 외면되었던 온실가스 배출량을 고려하여 온실가스 배출량 반영 모형과 미반영 모형을 각각 분석하고, 통계적 검정방법을 이용하여 모형 간 효율성 점수의 차이가 통계적으로 유의한지를 확인해보았다는 데 의의가 존재한다.

분석결과를 바탕으로 저탄소·탄소중립 시대의 도래에 따른 어업의 구조적인 생산성 변화에 선제적으로 대처하고, 비효율적인 업종의 효율성을 개선하기 위해서는 다음과 같은 정책이 필요할 것으로 판단된다. 우선, 유류사용량과 온실가스 배출량을 줄일 수 있도록 연료효율이 개선된 차세대 신조어선사업을 적극적으로 시행해야 한다. 신조어선사업에 대한 어업인의 참여율을 제고하기 위해 어선의 담보율을 높여 어선건조에 필

요한 자금을 충분히 대출받을 수 있도록 수산금융제도를 개선할 필요가 있다. 둘째, 선 어보다 단가가 낮은 냉동상태의 어획물 위판비중이 높은 근해어선에 냉장보관시설을 확충할 수 있도록 수산금융자금 이차보전을 활용하여 어업인의 이자부담을 낮추는 방안을 고려해 보직하다. 셋째, 어선의 자동화 및 스마트화와 전기복합어선 개발 연구가 아직은 초기 단계에 머물러 있지만 어업비용과 유류사용량, 온실가스 배출량을 줄일 수 있는 최선의 대안인 만큼 업계와 정부가 연근해어업기금을 신설하여 연구, 개발, 보급에 소요되는 재원을 마련할 필요가 있다.

본 연구의 한계로는 업종별 온실가스 배출량 추정에 Tier1 수준의 산정식을 활용함에 따라 업종별 연료소비 특성을 충분히 반영하지 못한 점을 들 수 있다. 그리고 연근해어업 실태조사, 어업경영조사라는 제한적인 자료를 활용하여 다차원의 투입 및 산출공간에서의 상대적인 효율성을 추정된 기술적인 분석이라는 한계도 상존한다. 따라서 비효율적인 업종의 효율성 제고를 위해 본 분석 결과를 어느 정도는 참고할 수 있겠으나 업종별 특수성이 존재하기 때문에 효율적인 업종에 대해서는 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 향후 시계열 자료가 결합된 최신의 패널자료를 획득할 수 있다면 맘퀴스트-루엔버거 생산성 지수(Malmquist-Luenberger Productivity Index)를 활용하여 연도별 생산성 변화 정도를 추정해 봄으로써 업종별·집단별 온실가스 배출량 유무에 따른 효율성의 종적 변화도 심도있게 분석해 볼 수 있을 것으로 기대되나, 이는 향후 연구과제로 남겨두고자 한다.

[References]

- 강달원·정동훈·전승준, “유해산출물을 고려한 국내 공항 효율성 측정에 관한 연구”, 「한국항공운항학회」, 제26권 제4호, 2018, pp. 27~35.
- 김종천·박철형, “원양참치 연승 및 선망어업의 생산성 비교연구”, 「해양비즈니스」, 제42권 제1호, 2019, pp. 91~111.
- 김지우, “DEA/Window를 이용한 연근해어업의 주요업종별 효율성 비교 연구”, 「부경대학교 석사학위논문」, 2013, pp. 1~64.

- 김학수·박철형, “초효율성을 이용한 원양어업의 생산성분석”, 『해양비즈니스』, 제41권 제3호, 2018, pp. 1~20.
- 관계부처합동, “「2050 탄소중립」 추진전략”, 2020.
- 박만희, 『효율성과 생산성 분석』, 한국학술정보(주), 2008.
- 박철형, “연근해어업 업종별 생산성 추정에 관한 연구”, 『수산경영론집』, 제45권 제1호, 2014, pp. 63~77.
- 박철형, “Super-SBM을 이용한 어항의 효율성분석에 관한 연구”, 『수산경영론집』, 제41권 제3호, 2010, pp. 129~151.
- 소순후, “비방사적 SBM 모형을 이용한 지역전략산업 기술개발투자의 효율성 분석”, 『산업경제연구』, 제24권 제2호, 2011, pp. 1169~1188.
- 수산업협동조합중앙회, 『2019년도 어업경영조사보고』, 2019.
- 신용민, 정겨운, “우리나라 근해어업의 CO₂ 배출 저감비용함수 추정”, 『자원·환경경제연구』, 제41권 제3호, 2018, pp. 399~420.
- 이정동·오동현, 『효율성분석이론』, 지필미디어, 2012.
- 이정민, “자료포락분석을 이용한 근해어업 생산성 비교 분석”, 『부경대학교 석사학위논문』, 2015, pp. 1~54.
- 이태휘·여기태, “탄소배출을 고려한 공항 효율성 측정에 관한 연구”, 『로지스틱스 연구』, 제23권 제3호, 2015, pp. 80~91.
- 에너지온실가스 종합정보 플랫폼, “이산화탄소배출량 산정식”, 2020, (<http://www.tips.energy.or.kr>).
- 전용한·남중오, “동태적 최적어업이론을 이용한 주요 연안어업의 온실가스 배출량 추정”, 『해양정책연구』, 제35권 제2호, 2020, pp. 23~51.
- 최수호·김민균, “DEA를 이용한 국내 항공사의 효율성 분석: 항공화물 및 환경요소를 중심으로”, 『로지스틱스 연구』, 2016, 제24권 제2호, pp. 46~61.
- 한국수산자원공단, 『근해어업실태조사』, 해양수산부, 2019.
- 한국수산자원공단, 『연안어업실태조사』, 해양수산부, 2019.
- 한정희, “DEA 모형을 이용한 발전회사 환경효율성에 대한 연구”, 『디지털융복합연구』, 제11권 제5호, 2013, pp. 119~133.
- 환경부, 『2019 국가 온실가스 인벤토리 보고서』, 2019.
- Amowine, N., Ma, Z., Li, M., Zhou, Z., Naminsse, and E. Y., Amowine, J, “Measuring

- Dynamic Energy Efficiency in Africa: A Slack-Based DEA Approach,” *Energy Science & Engineering*, Vol. 8, No. 11, 2020, pp. 3854~3865.
- Banker, R. D., A., Charnes, and W. W., Cooper, “Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiencies in Data Envelopment Analysis,” *Management Science*, Vol. 30, 1984, pp. 1078~1092.
- Cecchini, L., Venanzi, S., Pierri, A., and Chiorri, M., “Environmental efficiency analysis and estimation of CO_2 abatement costs in dairy cattle farms in Umbria (Italy): A SBM-DEA model with undesirable output,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 197, 2018, pp. 895~907.
- Charnes A., W. W. Cooper, and E. Rhodes, “Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through,” *Management Science*, Vol. 27, No. 6, 1978, pp. 668~697.
- Golany, B., and Y. Roll., “An application procedure for DEA,” *Omega*, Vol. 17, No. 3, 1989, pp. 237~250.
- Lin, X., Zhu, X., Han, Y., Geng, Z., and Liu, L., “Economy and carbon dioxide emissions effects of energy structures in the world: Evidence based on SBM-DEA model,” *Science of the Total Environment*, Vol. 729, 2020, pp. 1~9.
- Qi, H., Ji, H., Dabo, G., Zhifu, M., Hongyan, Z., and Qiang, Z., “The comprehensive environmental efficiency of socioeconomic sectors in China: An analysis based on a non-separable bad output SBM,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 176, 2018, pp. 1091~1110.
- Shin, C. H. and Jeong, D. H., “Data Envelopment Analysis for Container Terminals Considering an Undesirable Output – Focus on Busan Port & Kwangyang Port,” *Journal of Korean Navigation and Port Reserch*, Vol 37, No. 2, 2013, pp. 195~201.
- StataCorp, “STATA USER’S GUIDE RELEASE 16,” *A Stata Press Publication*, 2019.
- Tone, K., “A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 130, No. 3, 2001, pp. 498~509.
- Tone, K., “Dealing with Undesirable Output in DEA: A Slacks-based Measure (SBM) Approach,” *GIRPS Research Report Series I-2003-0005*, 2003, pp. 1~16.

[부록]

〈부록 표 1〉 DMU별 온실가스 배출량 추정 결과

| DMU | 온실가스 배출량 (톤 CO_2eq) | DMU | 온실가스 배출량 (톤 CO_2eq) |
|------------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| 1. (외)대형저 | 29,976 | 13. 근해통발 | 173,963 |
| 2. (쌍)대형저 | 198,625 | 14. 근해연승 | 115,062 |
| 3. 동해구외끌이 | 14,701 | 15. 근해형망 | 15,686 |
| 4. (외)서남구저 | 25,810 | 16. 기선권현망 | 122,655 |
| 5. (쌍)서남구저 | 31,566 | 17. 잠수기 | 11,300 |
| 6. 대형트롤 | 103,040 | 18. 연안안강망 | 36,561 |
| 7. 동해구트롤 | 18,297 | 19. 연안선망 | 13,297 |
| 8. 대형선망 | 195,886 | 20. 연안통발 | 107,672 |
| 9. 소형선망 | 28,741 | 21. 연안자망 | 244,493 |
| 10. 근해채낚기 | 210,275 | 22. 연안복합 | 328,360 |
| 11. 근해자망 | 97,230 | 23. 구획어업 | 15,696 |
| 12. 근해안강망 | 110,626 | 24. 정치망 | 18,223 |