

연근해어업의 어획능력 분석을 통한 수산자원관리 개선방안

정기원 · 이광남¹ · 이유원^{2*}

부경대학교 수산물리학과 대학원생, ¹해양수산정책연구소 소장, ²부경대학교 실습선 교수

A study on improvement of fisheries resources management through analysis of fishing capacity of coastal and offshore fisheries

Ki-Won JUNG, Kwang-Nam LEE¹ and Yoo-Won LEE^{2*}

Graduate student, Department of Fisheries Physics, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

¹Chief, Ocean and Fisheries Policy Institute, Seoul 06367, Korea

²Professor, Training Ship, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Although Korea operates various systems and policies for the management of fisheries resources, it is judged that a more systematic resource management policy is needed due to the continuous decrease in the production of coastal and offshore fisheries. In this study, the catch capacity was analyzed using the DEA technique for coastal and offshore fisheries. As a result, despite the decrease in the amount of fisheries resources and the number of fishing vessels, there was a trend of increasing fishing capacity. As of 2019, the total maximum catch of offshore fishery was estimated at 820,007 tons. The actual catch was 548,159 tons and the CU was measured to be about 66.8%, which was analyzed to be an excess of about 33.2% of the catch. The total maximum catch of coastal fisheries was estimated at 187,887 tons. The actual catch was also the same value and the CU was measured to be about 100.0%. Thus, it was analyzed that there was no excess in catch. For the management of fisheries resources, it is necessary to manage the fishing capacity. To this end, policies such as scientific TAC should be promoted as well as expanding the reduction of fishing vessels.

Keywords: Fishing capacity, CU, DEA, Offshore fishery, Coastal fishery

서론

우리나라 연근해어업은 1990년 이후의 생산량을 보면, 1996년에 약 162만 톤으로 정점을 찍고 계속 감소하여 2016년에는 처음으로 100만 톤 이하인 91만 톤을 기록하였다. 2019년에도 역시 91만 톤을 기록하여 1996년과 비교하여 거의 절반 수준으로 감소하였다. 이렇게 생산량이 매년 감소하고 있는 것으로 볼 때 어

전히 과도한 어획으로 수산자원의 감소가 진행되고 있는 것으로 추정된다. 세계적으로도 과잉 어획능력은 문제가 되어 왔고, 1999년 2월 제23차 세계식량농업기구(Food and Agriculture Organization: FAO) 수산위원회는 어업의 과잉투자에 대한 관심이 높아지면서 어획능력 관리를 위한 국제 행동계획(IPOA-Capacity)을 채택하였다(Lee et al., 2007). 이 계획은 구속력을 가지는

*Corresponding author: yoowons@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-5993, Fax: +82-51-629-5886

조약은 아니지만 각 국가가 이 계획에 따라 과잉 어획 능력을 예방하거나 제거할 조치를 취해야 하고, 어획능력의 수준이 지속 가능한 수산자원의 이용에 상응하도록 해야 한다고 규정하고 있다. 특히 과잉 어획능력 문제에 직면한 국가와 지역수산관리기구는 어획능력이 장기 및 지속적 결과의 달성을 저해하고 있다면 우선 현재 수준에서 어획능력을 제한하고 영향을 받는 어업에 투입되는 어획능력을 점진적으로 줄이도록 노력해야 한다(Lee et al., 2007).

어획능력을 측정하는 방법은 정성적 기법과 정량적 기법이 있는데, 정성적 기법은 주로 과잉 어획능력의 발생 유무를 판단하는데 이용되는데 반해 정량적 기법은 어획능력 활용도(Capacity Utilization: CU)가 어느 수준에 도달해 있는가에 대한 자료를 제공할 수 있는 장점이 있다. 즉 정량적 기법은 주로 CU를 이용하여 관측된 실제의 산출량(어획량)과 최대 산출량(어획량) 간의 비율을 밝혀내는 것이다. 정량적 기법에는 정점비교법(Peak-to-peak: PTP), 자료포락분석방법(Data Envelopment Analysis: DEA) 및 확률적 생산프론티어방법(Stochastic Production Frontier: SPF) 등이 있다. 이러한 기법들은 CU를 통해 실제의 어획량과 잠재적인 최대 어획량간의 비율을 밝혀내는 것이며, 각 기법은 방법론적인 정교함 외에도 이용 가능한 자료의 수준을 고려하여 결정하게 된다(Lee et al., 2007).

FAO (2000)의 어획능력 평가를 위한 기술자문회의에 따르면 DEA 기법은 복수의 투입요소(어선척수, 마력수, 어구 등)와 복수의 산출요소(복수 어종의 어획량)를 직접 수용할 수 있어서 어획능력과 CU를 추정하기 위한 방법으로 가장 선호되고 있다고 한다(Lee et al., 2007). Kim (2006)은 우리나라 근해어업의 어획능력 측정에 관한 연구에서 DEA 기법을 이용하여 근해어업의 종류 중 대형선망어업에 대하여 1978년부터 2004년까지의 기간 동안 투입요소는 어선척수, 어선톤수, 어선마력수 및 양망당 CPUE를 사용하고, 산출요소는 어획량을 사용하여 어획능력을 측정하고 비교하였다. Choi et al. (2010)는 연안어업경영의 생산효율성 분석(DEA와 SFA 기법 비교를 중심으로) 연구에서 연안어업의 종류 중 연안자망어업에 대하여 1990년부터 2008년까지의 기간 동안 투입요소는 톤수, 조업일수 및 조업인원수를 사용하고, 산출요소는 생산액을 사용하여 어획능력을 측정하고 비교

하였다.

따라서 본 연구에서는 연안어업과 근해어업의 연도별 생산량과 어선척수, 어선톤수 및 어선마력수 등의 변화를 활용하여 DEA 기법으로 어획능력을 각각 측정하고, 적정 어획능력 유지를 위한 수산자원관리 개선방안을 분석하고자 한다.

재료 및 방법

분석 자료

DEA 기법을 사용하여 어획능력을 측정하기 위해서는 투입요소와 산출요소가 필요하다.

먼저 투입요소는 실질적인 어획노력량으로 평가되고 있는 Table 1의 근해어업(대형트롤어업 등 21개)과 연안어업(연안개량안강망어업 등 8개)의 어선척수, 어선톤수 및 어선마력수에 대한 해양수산부의 통계자료를 이용하였는데, 어업별로 통계 파악이 가능한 연도인 1992년부터 2019년까지의 연도별 시계열자료를 이용하였다. 동 기간 중 1995년과 1996년은 어선에 대한 상세 통계자료가 존재하지 않아 제외하였다.

그리고 산출요소는 Table 1의 근해어업(대형트롤어업 등 21개)과 연안어업(연안개량안강망어업 등 8개)의 생산량에 대한 통계청의 통계자료를 활용하여 연도별로 어획량을 산출하여 이용하였다. 투입요소의 수와 일치시키기 위해 1992년부터 2019년까지의 생산량 통계 시계열자료를 이용하였다.

Table 1은 근해어업과 연안어업의 생산량 및 어선규모의 변화 현황을 나타내었는데, 근해어업을 보면, 생산량은 1992년 903,719톤에서 2019년 548,159톤으로 약 39.3%가 감소하였다. 반면, 어선척수는 6,765척에서 2,677척으로 약 60.4%가 감소하였고, 어선톤수는 333,265톤에서 129,860톤으로 약 61.0%가 감소하였지만, 어선마력수는 2,065,475마력에서 2,007,684마력으로 약 2.8%가 감소하는데 그쳤다.

연안어업을 보면, 생산량은 1992년 185,089톤에서 2019년 187,887톤으로 약 1.5%가 증가하였다. 반면, 어선척수는 49,210척에서 37,785척으로 약 23.2%가 감소하였고, 어선톤수도 117,069톤에서 119,043톤으로 약 1.7%가 감소하였지만, 어선마력수는 2,736,906마력에서 8,919,423마력으로 무려 약 225.9%가 증가하였다.

Table 1. Changes in production and size of fishing vessels in coastal and offshore fisheries

| Year | Offshore fishery | | | | Coastal fishery | | | |
|------|------------------|-----------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| | Production (Ton) | Vessel (Number) | Tonnage (Ton) | Horsepower (HP) | Production (Ton) | Vessel (Number) | Tonnage (Ton) | Horsepower (HP) |
| 1992 | 903,729 | 6,765 | 333,265 | 2,065,475 | 185,089 | 49,210 | 117,069 | 2,736,906 |
| 1993 | 1,095,424 | 6,676 | 331,276 | 2,177,521 | 202,353 | 46,487 | 117,132 | 3,049,791 |
| 1994 | 1,081,938 | 6,541 | 329,211 | 2,385,936 | 196,831 | 43,520 | 114,899 | 3,535,275 |
| 1997 | 983,321 | 6,345 | 315,229 | 4,771,713 | 184,439 | 50,073 | 124,086 | 5,256,199 |
| 1998 | 918,316 | 6,165 | 302,324 | 4,695,732 | 223,982 | 58,119 | 135,881 | 5,481,894 |
| 1999 | 914,560 | 5,937 | 291,607 | 2,534,889 | 226,572 | 60,839 | 142,535 | 6,154,172 |
| 2000 | 773,193 | 5,287 | 247,275 | 2,301,454 | 218,321 | 63,342 | 150,594 | 7,803,944 |
| 2001 | 848,744 | 5,014 | 231,909 | 2,713,414 | 194,179 | 62,976 | 154,271 | 8,937,270 |
| 2002 | 766,410 | 4,541 | 204,200 | 2,552,127 | 182,530 | 62,870 | 157,962 | 11,168,198 |
| 2003 | 743,274 | 4,166 | 185,773 | 2,420,936 | 173,471 | 62,532 | 159,293 | 11,149,253 |
| 2004 | 755,959 | 3,773 | 169,724 | 2,221,140 | 151,838 | 62,290 | 160,479 | 11,721,227 |
| 2005 | 732,540 | 3,687 | 164,037 | 1,763,298 | 187,991 | 60,892 | 158,774 | 8,325,925 |
| 2006 | 748,120 | 3,629 | 162,831 | 1,880,114 | 182,040 | 59,889 | 149,749 | 9,818,977 |
| 2007 | 756,511 | 3,573 | 162,264 | 1,975,849 | 208,759 | 59,527 | 146,248 | 9,554,037 |
| 2008 | 870,368 | 3,385 | 148,032 | 1,907,612 | 203,551 | 53,792 | 132,676 | 8,281,323 |
| 2009 | 857,175 | 3,047 | 132,436 | 2,120,735 | 201,082 | 50,752 | 124,856 | 8,183,018 |
| 2010 | 784,416 | 2,875 | 127,382 | 1,699,986 | 199,526 | 47,882 | 122,313 | 8,394,382 |
| 2011 | 871,513 | 2,845 | 127,467 | 1,739,900 | 201,187 | 46,643 | 120,766 | 7,986,218 |
| 2012 | 792,151 | 2,842 | 126,682 | 1,764,334 | 177,536 | 45,609 | 112,286 | 7,513,872 |
| 2013 | 761,333 | 2,780 | 126,340 | 1,777,286 | 178,015 | 44,713 | 116,604 | 8,522,477 |
| 2014 | 764,485 | 2,714 | 125,848 | 1,783,003 | 174,192 | 43,116 | 118,519 | 8,455,840 |
| 2015 | 784,802 | 2,643 | 126,845 | 1,795,167 | 158,634 | 42,692 | 120,189 | 8,412,801 |
| 2016 | 655,309 | 2,640 | 126,164 | 1,828,445 | 150,734 | 41,166 | 120,009 | 8,561,963 |
| 2017 | 637,512 | 2,730 | 130,148 | 1,939,944 | 179,064 | 39,607 | 118,716 | 8,596,506 |
| 2018 | 654,563 | 2,720 | 128,616 | 1,976,309 | 173,701 | 38,399 | 117,958 | 8,698,444 |
| 2019 | 548,159 | 2,677 | 129,860 | 2,007,684 | 187,887 | 37,785 | 119,043 | 8,919,423 |

Source: KOSIS Korean Statistical Information Service (<https://kosis.kr>), Statistics from Ministry of Oceans and Fisheries (<https://www.mof.go.kr>).

Fig. 1은 근해 및 연안어업의 어선척당 CPUE의 변화 추이를 나타내었는데, Fig. 1에서 근해와 연안어업 모두 어선척당 CPUE는 매년 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 근해어업은 2019년 205톤으로 1992년 134톤에 비해 약 53.3%가 증가하였고, 연안어업은 5.0톤으로 3.8톤에서 약 32.2%가 증가하였는데, 연안어업에 비해 근해어업의 어선척당 CPUE의 증가 폭이 큰 것으로 나타났다. 어선척당 CPUE의 비중은 근해어업이 연안어업보다 1992년은 약 35.5배, 2019년은 약 41.2배가 높은 것으로 나타났다.

Fig. 2는 근해 및 연안어업의 어선톤당 CPUE의 변화 추이를 나타내었는데, Fig. 2에서 근해어업의 어선톤당 CPUE는 매년 지속적으로 증가하는 것으로 나타났는데 반해 연안어업은 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

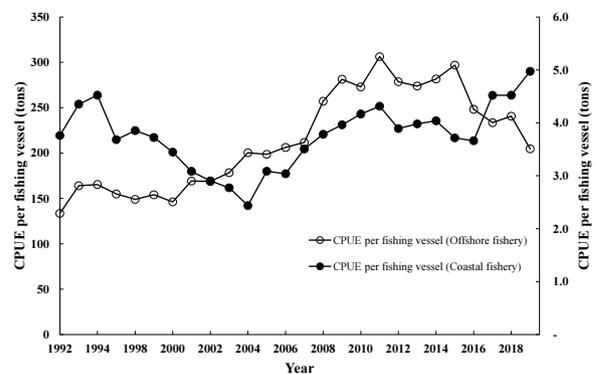


Fig. 1. Changes in CPUE per fishing vessel in coastal and offshore fisheries.

근해어업은 2019년 205톤으로 1992년 134톤에 비해 약 53.3%가 증가하였고, 연안어업은 5.0톤으로 3.8톤에

서 약 1.5%가 오히려 감소하였다. 어선톤당 CPUE의 비중은 근해어업이 연안어업보다 1992년은 약 1.7배, 2019년은 약 2.7배가 높은 것으로 나타났다.

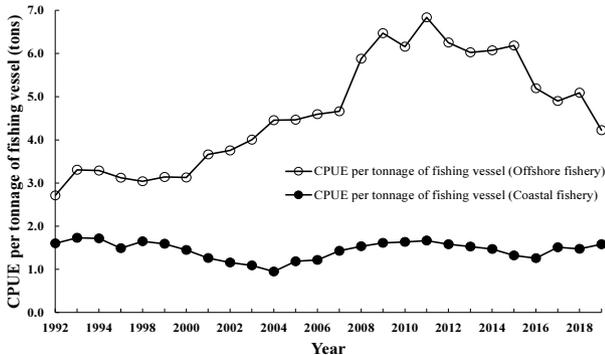


Fig. 2. Changes in CPUE per tonnage of fishing vessels in coastal and offshore fisheries.

Fig. 3은 근해 및 연안어업의 어선마력당 CPUE의 변화 추이를 나타내었는데, Fig. 3에서 근해 및 연안어업의 어선마력당 CPUE는 매년 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 근해어업은 2019년 0.27톤으로 1992년 0.56톤에 비해 약 49.0%가 감소하였고, 연안어업은 0.02톤으로 0.07톤에서 약 69.3%가 감소하였다. 어선마력당 CPUE의 비중은 근해어업이 연안어업보다 1992년은 약 6.5배, 2019년은 약 13.0배가 높은 것으로 나타났다.

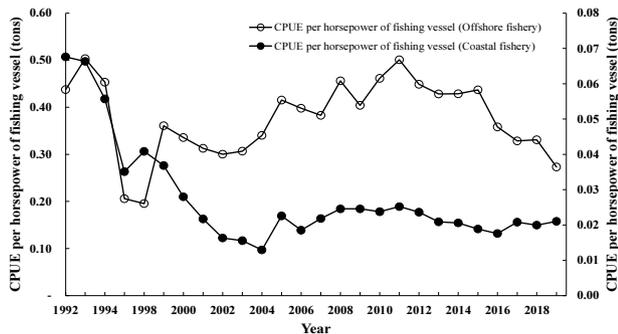


Fig. 3. Changes in CPUE per horsepower of fishing vessels in coastal and offshore fisheries.

분석 방법

본 연구에서는 FAO에서 어획능력과 CU를 추정하기 위한 방법으로 가장 선호하는 DEA 기법을 이용하여 연안 및 근해 어업별로 어획능력과 CU를 추정하였다.

DEA 경영분석 기법은 경제적 지표의 단점을 보완하

고 정성/정량적 투입, 산출요소를 고려한 조직의 효율성을 평가하기 위해 Charnes et al. (1978)이 Farrell (1957)의 효율성 개념에 입각하여 발표하였다. Charnes et al. (1978)는 투입측면에서 산출물을 고정시킨 상태로 산출물을 최대 얼마만큼 증가시킬 수 있는가에 관한 규모수익불변(Constant Return to Scale: CRS) 모형을 개발하였고 이후 Banker et al. (1984)는 CRS 모형에서 고려하지 못한 분석단위의 규모를 모형에 추가하여 규모수익변화(Variable Return to Scale: VRS) 모형을 발표하였다. DEA는 이들 개발자들의 이름을 따라서 CCR (Charnes, Cooper & Rhodes), BCC (Banker, Charnes & Cooper) 모형으로 구분되며 일반적으로 DEA 모형 중 가장 많이 활용되고 있다(Jung, 2013).

CCR 모형은 규모가 변화해도 효율이 변하지 않는 CRS를 가정하고 BCC 모형은 CRS를 변형하여 VRS를 고려한 것으로 이 두 모형은 투입지향(Input Oriented)과 산출지향(Output Oriented)으로 구별된다. 효율성 측정의 목적이 투입요소를 얼마나 효율적으로 운영할 것인지 또는 산출요소를 얼마나 효율적으로 운영할지 결정하는 기준이 되므로 효율성 분석을 통하여 투입지향일 경우 산출요소가 정해져 있다고 가정하면 투입요소를 얼마나 효율적으로 줄일 수 있는지 가능할 수 있으며, 산출지향은 투입지향과 반대로 투입요소가 정해져 있다면 산출요소를 얼마나 효율적으로 늘릴 수 있는지 판단하는 기준이 될 것이다. 즉 투입요소에 중점을 두는지, 산출요소에 중점을 두는지에 따라 투입지향, 산출지향 모형으로 구분된다고 할 수 있다(Kim, 2014)

DEA는 먼저 각 투입 요소들과 산출 요소들의 상대적 중요도를 평가하여 각각에 대한 가중치를 부여하게 된다. 의사결정단위(Decision Making Unit: DMU)의 가중치가 반영된 투입물의 합 대비 가중치를 고려한 산출물 합을 비교(CCR Ratio)를 평가함으로써 각 의사결정단위의 효율성 값을 평가하게 된다(Jung, 2013). 투입지향 CCR 모형은 규모수익불변을 만족하는 생산가능 집합에서 산출의 수준을 고정시킨 채 투입을 최대한 줄일 수 있는가를 파악하는 것으로 투입요소의 조합을 통해 생산하는 의사결정단위의 산출물 수준이 주어졌을 때, 현재의 산출수준을 유지하면서 투입요소의 사용량을 얼마나 줄일 수 있는가를 파악하고자 하는 경우에 사용하는 DEA의 가장 기본적인 모델이다.

Park (2008)에 따르면 투입지향 CCR 모형은 Charnes et al. (1978)가 제시한 모형으로 평가대상이 되는 DMU들의 투입물 가중합계에 대한 산출물의 가중합계 비율이 1을 초과해서는 안되며, 각 투입요소와 산출요소의 가중치들은 0보다 크다는 단순한 제약조건하에서 DMU의 투입물 가중합계에 대한 산출물 가중합계의 비율을 최대화시키고자 하는 선형분수계획법이다. 따라서 CCR 모형은 투입요소 가중치와 산출요소 가중치의 비율로서 실적을 요약한다. 즉, 투입요소에 대한 가중치 $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)$ 와 산출요소에 대한 가중치 $u = (u_1, u_2, \dots, u_s)$ 를 사용하여 가상산출(Virtual Output)과 가상투입(Virtual Input)의 총요소 생산성 비율을 다음 식 (1)과 같이 구한다.

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_i} \quad (1)$$

평가대상이 되는 개별 DMU_k $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ 에 대하여 효율성은 다른 DMU의 실적을 반영하는 제약조건하에서 가중산출과 가중투입 비율의 극대치로써 측정할 수 있다. 투입지향 CCR 모형은 평가되어야 할 n 개의 DMU가 존재하고 각 DMU는 m 개의 투입물을 사용하여 s 개의 산출물을 생산한다. 특히 j 번째 DMU_j ($j = 1, 2, \dots, n$)의 i 번째 투입물의 사용량을 x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$)라고 하고, r 번째 산출물을 y_{rj} ($r = 1, 2, \dots, s$)라고 하자. 그리고 $x_{ij} \geq 0$ 이고 $y_{rj} \geq 0$ 이라 하고, 개별 DMU는 최소한 하나 이상의 투입요소를 사용하여 하나 이상의 산출요소를 생산한다고 하자. 그러면 특정 의사결정단위, DMU_0 의 효율성 측정치 h_0 를 구하기 위한 수리계획모형은 다음 식 (2)와 같은 분수형 계획문제(Fractional Programming Problem)로 표현할 수 있다.

$$Max h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}$$

$$s.t. \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$u_r \geq \varepsilon > 0, \quad r = 1, \dots, s$$

$$v_i \geq \varepsilon > 0, \quad i = 1, \dots, m$$

여기서 h_0 는 DMU_0 의 효율성, u_r 은 r 번째 산출물에 대한 가중치, v_i 는 i 번째 투입물에 대한 가중치, y_{rj} 는 DMU_j 의 r 번째 산출물의 양, x_{ij} 는 DMU_j 의 j 번째 투입물의 양, y_{r0} 는 평가대상 DMU_0 의 r 번째 산출물의 양, x_{i0} 는 평가대상 DMU_0 의 i 번째 투입물의 양, ε 는 non-Archimedean 상수, n 은 DMU의 수, m 은 투입물의 수, s 는 산출물의 수를 말한다.

식 (2)는 목적함수에서 동일한 가중치 u_r 와 v_i 를 이용하여 계산한 가중합계의 비율이 1보다 작거나 같다는 것을 나타내며, 투입물과 산출물의 가중치는 0보다 커야 한다는 것이 제약조건이 있으나 가중치 u_r 와 v_i 를 통해 DMU들의 효율성 값을 구할 수 있다. 이러한 CCR 모형은 최초에는 분수계획의 형태(Fractional)로 출발하여 목적함수가 비선형(Nonlinear)의 특성을 가지므로 목적함수의 투입물의 가중합을 1로 고정하고 제약조건식을 변형한 후 식 (3)의 선형계획법(Linear Programing)으로 문제를 풀 수 있다.

$$Max h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (3)$$

$$s.t. \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$u_r, v_j \geq \varepsilon, \quad \forall r, i$$

식 (3)은 선형분수계획 모형의 형태를 일반적인 선형 계획모형으로 전환하여 나타낸 것이다. 일반적으로 선형 계획법에서는 제약조건식의 수가 많아지면 문제를 해결하는데 소요되는 시간이 증가하며 해결하기가 어려워지므로 쌍대문제로 변형한 후 해결한다. 즉, DEA

모형에서 DMU의 수 n 은 투입요소 수와 산출요소 수의 합 $m + s$ 보다 상당히 크기 때문에 많은 제약 조건식을 가진다. 따라서 DEA 원문제를 쌍대문제로 변형한 후 효율성을 구한다. 식 (2)를 쌍대문제로 변형하고 제약조건식이 \leq 형이므로 표준형으로 변형하기 위해서는 여유변수 s^- , s^+ 를 도입하여 정리하면 식 (4)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \text{Min } h_0 &= \theta \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= \theta x_{i0}, \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{r0}, \quad r = 1, \dots, s \\ s_i^-, s_r^+, \lambda_j &\geq 0, \quad \forall i, r, j \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서 s_i^- , s_r^+ 는 각각 투입부등식과 산출부등식에 관련된 비음수의 여유변수(Slack Variable)의 벡터를 나타낸다. 식 (4)를 통해 효율성을 측정하기 위해서는 Arnold et al. (1998)이 제안한 다음 식 (5)와 같은 2단계 해법(two-stage solution)을 적용할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Max } \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= \theta^* x_{i0}, \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{r0}, \quad r = 1, \dots, s \\ s_i^-, s_r^+, \lambda_j &\geq 0, \quad \forall i, r, j \end{aligned} \quad (5)$$

1단계로 식 (4)를 이용하여 θ^* 를 구하고, 2단계로 1단계에서 구한 θ^* 를 식 (5)에 대입하여 여유변수들의 값 s_i^* , s_r^* 을 구함으로써 h_0^* 를 구할 수 있다. 기본적으로 DEA가 비율모형이라는 점을 감안할 때, 효율적인 DMU들은 효율성지수($h_0^*=1$)를 제공하고, 비효율적인 DMU들은 1보다 작은 효율성 지수($h_0^*<1$)를 제공한다.

지금까지 살펴본 바와 같이 DEA는 능력 분석기법의 유용성으로 인해 어획능력 측정에 대한 사례연구에서 널리 활용되어 왔고, 어획능력에 관한 FAO 전문가그룹

에서도 이 기법의 사용을 적극 권장하고 있다. 수리적 선형계획법을 이용하여 분석대상 어선들의 어획능력 투입량과 최대 생산량과의 일차적인 관계식을 도출하게 된다. 즉, 주어진 투입량에 대한 최대 생산량을 산출하므로 이는 FAO (2000)가 제안한 바와 같이 어획능력의 물리적 개념과 일치하게 된다. 이러한 어획능력 투입량과 최대 어획량의 관계식에 따라 각 어선별 어획능력 투입량에 대한 최대 어획량 수준을 추정하고 이를 실제 어획량과 비교함으로써 어선별 어획능력의 과잉 수준을 판단하게 된다(Kim, 2006).

본 연구에서는 이와 같은 DEA 기법에 기반한 효율성 분석 등을 지원하기 위해 Park (2008)이 개발한 효율성 및 생산성 분석 시스템(EnPAS)을 이용하여 산출요소(생산량)와 투입요소(어선척수, 어선톤수, 어선마력수)로 사용하여 최대 어획량을 추정하고 CU를 측정하였다.

수산업법에 따라 분류된 근해어업(대형트롤어업 등 21개)과 연안어업(연안개량안강망어업 등 8개)의 전체에 대하여 각각 CU를 측정하였다.

결과 및 고찰

근해어업과 연안어업의 어획능력의 변화

DEA 기법으로 추정한 근해어업의 실제 및 최대 어획량과 CU는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 2019년 기준 근해어업의 전체 최대 어획량은 820,007톤으로 추정되었고 생산량의 통계값인 실제 어획량은 548,159톤으로 CU는 약 66.8%로 측정되어 어획능력이 약 33.2%가 과잉 투입된 것으로 분석되었다.

근해어업의 연도별 최대 어획량의 변화를 살펴보면 어획능력량인 어선척수, 어선톤수 및 어선마력수의 투입요소들의 규모 변화에 따라 최대 어획량도 변화하고 있는 것으로 분석되었다. 최대 어획량은 1992년 이후 계속 증가하다 어획능력량이 가장 높았던 1997년에 1,943,648톤으로 최고값을 기록한 이후 1998년부터는 다시 어획능력량이 감소하면서 매년 지속적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다. 반면에 실제 어획량은 최대 어획량의 변화와 달리 최대 어획량을 기록한 1997년이 아닌 1993년이 1,095,424톤으로 최고값을 기록한 이후 매년 감소하고 있다.

최대 어획량과 실제 어획량으로부터 측정된 근해어업의 연도별 CU는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 다양하게 증감

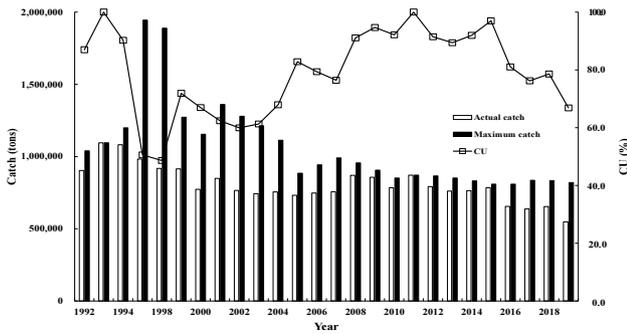


Fig. 4. Comparison of actual and maximum catches and CU of estimated offshore fisheries using the DEA method.

을 반복하고 있다. CU가 100%를 기록한 연도는 1993년과 2011년으로 이 기간 동안에는 증감을 반복하다 2012년부터는 매년 지속적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다.

CU가 가장 낮은 연도는 최대 어획량에 근접한 1998년으로 약 48.6%로 나타났다. 분석 기간인 1992년부터 2019년까지의 평균 CU는 79.1% 수준으로 나타났고 최근 10년간의 평균은 86.5%로 과거 10년간의 평균 69.9%보다 높게 나타났다. 따라서 분석기간의 평균 과잉 어획능력은 20.9%, 최근 10년 동안의 평균 과잉 어획능력은 13.5%, 과거 10년 동안의 평균 과잉 어획능력은 30.1%로 평가되었다. 어획능력의 관리가 과거 10년 동안보다 최근 10년 동안이 더 잘 되고 있음을 알 수 있다. 이는 근해어선의 어획량은 감소하였지만 꾸준한 감축으로 인해 어선척수가 감소한 것이 주원인으로 판단된다. 그리고, 연안어업에 대한 실제 및 최대 어획량과 CU는 Fig. 5에서 나타내었다. Fig. 5에서 2019년 기준 연안어업의 전체 최대 어획량은 187,887톤으로 추정되었고 생산량의 통계값인 실제 어획량도 같은 값으로 CU는 약 100.0%로 측정되어 어획능력은 과잉 투입이 없는 것으로 분석되었다.

연안어업의 연도별 최대 어획량의 변화를 살펴보면 어획노력량인 어선척수, 어선톤수 및 어선마력수의 투입요소들의 변화에 따라 최대 어획량도 변하고 있는 것으로 분석되었다. 최대 어획량은 1992년 이후 계속 증가하다 어획노력량이 가장 높았던 2004년에 276,118톤으로 최고 값을 기록한 이후 2005년부터는 다시 어획노력량이 감소하면서 매년 지속적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다. 반면에 실제 어획량은 최대 어획량의 변화와 달리 최대 어획량을 기록한 2004년이 아닌 1999년이 226,572톤으로

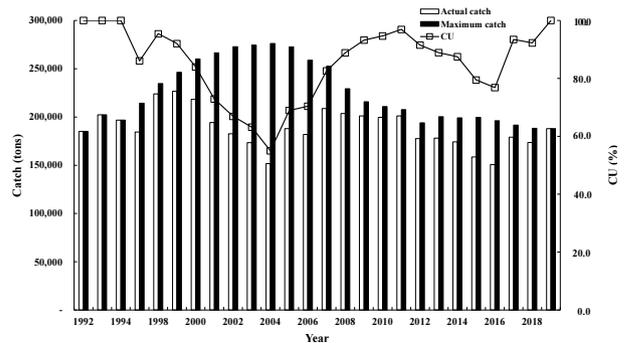


Fig. 5. Comparison of actual and maximum catches and CU of estimated coastal fisheries using the DEA method.

최고값을 기록한 이후 매년 증감을 반복하고 있다.

연안어업의 연도별 CU도 역시 다양하게 증감을 반복하고 있다. CU가 100%를 기록한 연도는 1992년, 1993년, 1994년 및 2019년이며, 나머지 연도는 증감을 반복하고 있는 것으로 나타났다. CU가 가장 낮은 연도는 최대 어획량을 기록한 2004년으로 약 55.0%로 나타났다. 분석 기간인 1992년부터 2019년까지의 평균 CU는 85.4% 수준으로 나타났고 최근 10년간의 평균은 90.1%로 과거 10년간의 평균 86.0%보다 높게 나타났다. 따라서 분석기간의 평균 과잉 어획능력은 14.6%, 최근 10년 동안의 평균 과잉 어획능력은 9.9%, 과거 10년 동안의 평균 과잉 어획능력은 14.0%로 평가되었다. 근해어업과 마찬가지로 연안어업도 어획능력의 관리가 과거 10년 동안보다 최근 10년 동안이 더 잘 되고 있음을 알 수 있다. 이는 연안어선의 어획량은 큰 감소가 없으면서 근해어선과 마찬가지로 꾸준한 감축으로 인해 어선척수가 감소한 것이 주원인으로 판단된다.

이와 같이, 근해어업과 연안어업 모두 과잉 어획능력이 발생하고 있는 것은 Kim (2006)이 지적한 바와 같이 어획노력량인 어선척수, 어선톤수 및 어선마력수의 투입요소량이 크게 증가하였지만 실제 어획량은 증가하지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 즉 실제 어획량 보다 어선들의 어획능력이 높아서 유휴 어획능력이 존재한다는 것을 의미한다.

근해어업과 연안어업의 어획능력 변화 비교

Fig. 6은 DEA 기법으로 추정된 근해어업과 연안어업의 연도별 CU의 비교를 나타내었는데, Fig. 6에서 근해어업은 2015년까지는 CU가 증가하는 경향을 보이다 2016년부터는 감소하는 경향을 보이고 있는 반면, 연안

어업은 2004년까지는 감소하는 경향을 보이다 2005년부터는 증가하는 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이는 최근 들어 근해어업보다 연안어업이 어획능력의 관리가 잘 되고 있음을 의미한다.

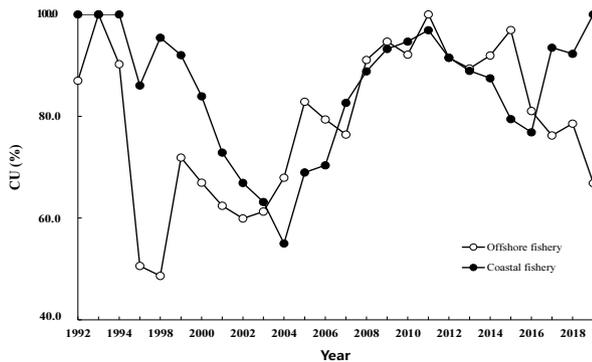


Fig. 6. Comparison of CU by year of coastal and offshore fisheries estimated by DEA method.

근해어업은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 2019년 기준으로 어획능력이 약 33.2%가 과잉된 것으로 분석되었는데 이는 2019년 어획량 548,159톤을 어획하기 위해서는 현재 어획능력의 66.8% 수준으로도 어획할 수 있으므로 나머지 33.2%의 어획능력은 유향 어획능력임을 의미한다. 이는 근해어업은 어획량의 감소에도 불구하고 2019년 기준 여전히 허가정수(2,639건) 대비 허가처분수(3,077건)의 비율이 약 116.6%에 이른다. 즉, 아직도 어선규모가 높아 어획노력량이 과다 투입되고 있어 과잉 어획능력이 발생하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 적절한 어획능력의 관리를 위해서는 Kim (2006)이 지적한 바와 같이 추가적인 어선감척 등을 통한 어획노력량의 통제가 이루어져야 할 것이다.

연안어업은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 2019년 기준으로 CU가 100%로 어획능력의 과잉이 없는 것으로 분석되었는데 이는 2019년 어획량 187,887톤을 어획하기 위해서는 현재 어획능력이 충분하다는 것을 의미한다. 이는 연안어업은 상대적으로 어획노력량 관리가 잘 되어 온 것에 기인한 것으로 판단된다. 연안어업은 2019년 기준 허가정수(47,578건) 대비 허가처분수(47,151건)의 비율이 약 99.1%로 근해어업에 비해 낮은 수준을 유지하고 있다. 하지만 이러한 어획능력을 계속해서 유지하기 위해서는 어선척수 등 어획노력량의 통제가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

결론

근해어업과 연안어업에 대하여 DEA 기법을 이용하여 어획능력을 분석한 결과, 어획량 및 어선세력의 감소에도 불구하고 어획능력은 증가하는 추세로 나타났다. 따라서 지속적인 연근해어업의 영위를 위해서는 무엇보다도 어획능력에 대한 관리가 필요하다는 것을 알 수 있다. Kim (2006)이 지적한 바와 같이 어획능력의 감축을 위해서는 여러 가지 어업관리 수단을 이용해 어획노력량의 규모를 통제하는 방안이 필요하다.

첫째, 연근해의 어업별로 어획능력에 맞게 어선의 감척이 지속되어야 할 것으로 판단된다. 특히 2016년부터 CU가 감소하고 있는 근해어업에 대한 감척이 계속 확대되어야 한다고 본다. 「연근해어업 구조개선 및 지원에 관한 법률」에 의한 연근해어업 구조개선 기본계획을 장기적인 관점에서 보다 과학적이고 체계적으로 수립하되, 각 어업별로 특성을 반영한 차별화된 감척 계획을 수립할 필요가 있다고 본다. 그리고 우리어선 뿐만 아니라 중국어선의 우리나라 EEZ에서의 입어규모를 점차적으로 줄여나가야 한다. 이미 우리나라 어선들은 중국 EEZ에 거의 입어하지 않는 상황에서 계속해서 우리나라 EEZ에 중국어선의 입어규모를 월등히 높게 가져가는 것은 우리나라 어선의 생산성을 더욱 악화시켜 나갈 수밖에 없을 것이다.

둘째, 어업의 종류별로 적절한 어획능력의 관리를 위해서 TAC 제도를 보다 체계적이고 과학적으로 발전시킬 필요가 있다. 가장 먼저 우리나라 연근해의 수산자원량을 정확하게 조사하고 평가하여 산정한 후 할당하여야 불필요한 어획능력을 투입하는 일이 줄어들 것이다. 또한 어업인들의 TAC 참여 의무화를 추진하고, 성실하게 참여하는 어업인에게는 경영개선자금 지원 확대 등 다양한 유인책 마련이 필요하다. 나아가 개별적으로 할당량의 거래가 가능한 ITQ 같은 선진적인 TAC 제도의 도입도 서둘러야 할 것이다.

셋째, 연근해 어선의 감척과 더불어 수산자원의 상태 및 어업을 경영하는 자의 수 등을 고려하여 설정하고 있는 허가의 정수를 보다 과학적인 방법으로 설정하고 현재 100% 이상인 허가 처분율도 100% 미만으로 유지되도록 조정이 필요하다. 이를 위해 허가 처분수가 허가 정수보다 높은 어업은 과감하게 감척을 통해 축소하고, TAC 등과 연계하여 과학적으로 주기적인 정수 조정이 이루어져야 할 것이다.

넷째, 연근해어업은 「수산업법」과 「수산자원관리법」에 따라 조업금지구역, 어구사용금지구역·기간, 어업허가 제한·조건, 그물코 제한, 어구사용량 제한, 기관마력·부속선 제한 및 금지 체장과 금어기 등 매우 다양한 규제가 존재하고 있다. 과도한 조업 규제는 어업비용을 증대시킬 우려가 있으므로 불필요한 조업 규제는 합리적으로 완화되어야 한다고 본다. 다만 아무 조건 없이 조업 규제를 완화할 경우 오히려 어획능력을 높일 수 있으므로 어선감척 및 TAC 확대 등과 연계해서 순차적으로 완화하면 부작용을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용한 DEA 기법은 Kim (2006)이 지적한 바와 같이 다수의 투입물과 산출물 자료를 이용하여 어획능력을 쉽게 측정할 수 있는 장점이 있다.

그러나 추정된 산출물에 대한 통제가 불가능한 확률적 오차 등의 무작위적 영향들이 모두 비효율로 간주되므로 비효율성의 수준이 실제보다 과장되게 나타날 수 있는 문제점이 있을 수 있다. 즉 각 어업별로 분석한 CU가 과소하게 측정되어 과잉 어획능력의 수준이 과다하게 측정되었을 수도 있다. 또한 대형트롤어업이나 연안개량안강망어업 등 개별 어업이 아니라 근해어업과 연안어업의 전체를 대상으로 CU를 측정하다 보니 오차가 더 증가할 수도 있다. 하지만 연근해어업에 있어서 어업협정 체결 등 주변환경과 어업생산량의 변화가 심했던 1990년 이후 30년 동안의 CU를 측정해 분석하는 것은 나름대로 의미가 있다고 생각한다. 또한 앞에서도 언급한 바와 같이 어획노력량의 통제는 수산자원의 관리에 있어서 반드시 수반되어야 하는 수단이므로 다양한 방법을 활용한 어획능력의 분석은 필요하다고 사료된다. 앞으로 본 연구에서 보다 더 정확한 방법과 통계 자료를 사용하여 근해어업과 연안어업의 세부 어업의 종류별로도 어획능력을 분석함으로써 연근해 수산자원 관리에 기여할 수 있는 연구가 이루어지기를 기대한다.

References

Arnold V, Bardhan I, Cooper WW and Gallegos A. 1998. Primal and dual optimality in computer codes using two-stage solution procedures in DEA in Aronson J and Zionts S, eds., *Operations Reserach Methods, Models and Applications*. 57-96.

Banker RD, Charnes A and Cooper WW. 1984. Model for the

estimation of technical and scale efficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30, 1078-1092.

Charnes A, Cooper WW and Rhodes E. 1978. Measuring efficiency of decision making units. *European Journal of Operations Research*, 2, 429-444.

Choi JY, Kim KS and Kim DH. 2010. Productive efficiency of the coastal fishing business: A comparison of data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Korean Management Science Review* 35, 59-68.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2000. Report of the technical consultation on the measurement of fishing capacity. *FAO Fisheries Report*, 615, 1-92.

Farrell MJ. 1957. The measurement of productivity efficiency. *Journal of Royal Statistical Society*, 120, 253-267.

Jung SM. 2013. A Study on evaluation of operational efficiency of sustainable management company using Fuzzy-DEA. Ph.D. Thesis, The Graduate School of Soongsil University. 26-30.

Kim CJ. 2014. Efficiency analysis of R&D projects in public institution using DEA: Case study of mine reclamation corporation. Master's Thesis, The Graduate School of Sungkyunkwan University. 1-18.

Kim DH. 2006. Measurement of fishing capacity of large purse seines fishery (A data envelopment analysis). *Environmental and Resource Economics Review*, 15, 71-79.

KOSIS (Korea Statistical Information Service). 2021. Korean statistical information system. Fishery production trend survey. Retrieved from <https://kosis.kr> on May 22.

Lee KN, Kim JT, Oh JH, Jung YT, Lee SM, Kim SJ, Kang SR, Kim CM, Moon DY and Hwang SJ. 2007. A study on detailed action plans for the IPOA-fishing capacity management. *MOMAF (Ministry of Maritime Affairs and Fisheries)*. 1-34.

MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2021. Statistical information. Retrieved from <https://www.mof.go.kr> on May 22.

Park MH. 2008. Analysis of efficiency and productivity. *Korean Studies Information*, 13-70, 175-192.

2021. 10. 26 Received

2021. 11. 17 Revised

2021. 11. 25 Accepted