

Article

근해어업 생산함수 추정을 이용한 규모수익 및 한계생산성 분석

심성현¹ · 남종오^{2*}

¹국립부경대학교 일반대학원 응용경제학과

²국립부경대학교 인문사회과학대학 경제학부

(48513) 부산광역시 남구 용소로 45

Analysis of Marginal Productivity and Return to Scale Using Estimation of Production Function in Offshore Fisheries

Seonghyun Sim¹ and Jongoh Nam^{2*}

¹*Department of Applied Economics, Graduate School*

²*Division of Economics, College of Humanities & Social Sciences*

Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Abstract : The production of Korean offshore fisheries has been gradually decreasing due to the severe depletion of offshore fisheries resources caused by excessive fishing efforts. The production of the offshore fisheries in 2016 was the lowest since 1975. So the federal and local governments in Korea adopted and implemented various fisheries management plans and policies in order to restore fisheries resources. However, these plans and policies have not been successful in re-establishing fisheries resources. Thus, in order to accurately diagnose the situation with regard to offshore fisheries, this study sought to estimate not only the return to scale by fishing gear of offshore fisheries, but marginal productivity of individual fishing gear based on production factors derived from offshore fisheries production functions. The study was organized in the following manner. First of all, this study estimates production functions of offshore fisheries. The Cobb-Douglas and the translog production functions are adopted as offshore fisheries production functions. Specifically, the functions are estimated by crew, vessels, and offshore resource as production factors. The offshore resource is estimated by the Clarke-Yoshimoto-Pooley model based on the surplus production model. Secondly, the fisheries production functions are extended to the fixed-effect model and the random-effect model with panel data. Thirdly, this study analyzes the return to scale of offshore fisheries and the marginal productivity of the production factors from the estimated offshore fisheries production function. In conclusion, this study suggests plans and countermeasures for productivity improvement by group (labor intensive or technology intensive) based on the characteristics of individual offshore fishing gear.

Key words : offshore fisheries, Cobb-Douglas and translog production functions, CYP model, return to scale, marginal productivity

1. 서론

수산물은 인류의 역사에서 주요 동물성 단백질 공급원으로 이용되어왔고, 현재에는 우수한 건강식품으로 사랑받고 있다. 국가가 발전하고 국민의 소득이 늘어남에 따라 수산물에 대한 수요가 증가하기 시작했고, 증가한 수산물 수요를 충족하기 위해 각 어업국은 많은 어획노력량(fishing effort)을 투입하여 어업생산량을 늘려왔다. 어업기술의 진보와 수산업의 발달로 어업생산량은 크게 늘어났지만, 어로어업을 실시하는 대다수 어업국들은 현재 수산자원의 고갈로 인해 어업생산량의 감소라는 위기를 겪고 있다.

특히, 주요 수산물 소비국이자 어업국인 우리나라는 과잉어획으로 인해 수산자원(fishery resources)이 감소되어 2016년 연근해어업 생산량이 44년 만에 100만 톤 이하로 하락하는 등 큰 위기를 겪고 있다. 일본과 중국 등 주변국과의 어업협정으로 인해 어장이 축소되고 경쟁적으로 수산자원은 감소하였으며, 이에 따라 우리나라 연근해어업 생산량은 1986년 173만 톤으로 최고치를 기록한 이후 지속적으로 감소하였다(국가통계포털 2016).

최근에는 어선의 규모가 영세한 연안어업보다 어선의 규모가 큰 근해어업 생산량이 크게 감소하여 1990년대 약 103만 톤이던 생산량이 2010년대에는 77만 톤 수준까지 떨어졌다. 이러한 여건 속에서 우리나라 근해어업의 생산성을 다시 높이기 위해서는 근해어업의 생산함수 추정을 통해 어업의 생산구조를 파악하는 것이 필요하다고 판단된다. 나아가 근해어업의 규모에 대한 수익(returns to scale) 분석을 통해 현재 우리나라 근해어업이 처해 있는 규모수익의 수준에 대한 파악이 필요하며, 각 생산요소의 한계생산성(MP, Marginal Product) 분석을 통해 이들 생산요소가 어업생산에 미치는 영향 또한 분석해 볼 필요가 있다.

따라서 본 연구는 계량경제학적 분석을 통해 우리나라 근해어업의 생산함수를 추정하고, 규모의 경제성 및 한계생산성을 분석한다. 구체적으로 근해어업 대상 자원량, 어선척수, 선원수 등의 생산요소를 이용하여 근해어업의 생산함수를 추정하고, 그 추정 결과를 이용하여 우리나라 근해어업의 규모에 대한 수익 및 생산요소의 한계생산성을 분석하여 생산성을 향상시키기 위한 방안을 제시한다.

어업생산함수 추정과 관련된 연구는 꾸준히 발전해 왔다. 세계적으로 어업생산함수와 관련된 연구는 생물경제모형(Bio-economic Model)을 이용한 어업생산함수 추정이 주를 이루고 있으며, 추정된 모형을 이용하여 어업관리의 목표가 되는 최대지속적생산량(MSY, Maximum Sustainable Yield)과 최대경제적생산량(MEY, Maximum

Economic Yield)을 추정하고 있다. 우리나라의 어업생산함수와 관련된 연구 또한 생물경제모형을 이용한 생산함수 추정과 MSY, MEY 추정이 주를 이루고 있으며 최근에는 자료포락분석(DEA, Data Envelopment Analysis), 맘퀴스트(Malmquist) 분석과 확률변경분석(SFA, Stochastic Frontier Analysis)을 이용하여 어업의 생산효율성을 측정하는 다양한 연구 또한 병행되어 실시되고 있다.

어업생산함수 추정과 관련이 있는 국내 선행연구로 김(1992)은 Cobb-Douglas 생산함수를 이용하여 경기도 화성군의 바지락양식어업과 건간망어업의 어업생산성을 추정하였으며, 김과 강(1993)은 Cobb-Douglas 생산함수를 이용하여 인천 소래어촌계의 낭장망어업과 연안통발어업의 생산함수를 추정하였다. 조 등(2009)은 생물경제모형과 Cobb-Douglas 생산함수를 이용하여 대형선망어업이 어획하는 고등어와 전갱이의 최적생산량을 추정하였으며, 허(2013)는 Cobb-Douglas 생산함수와 패널 자료(Panel Data)를 이용한 분석을 통하여 15개 근해어업의 생산함수를 추정하였다.

어업생산함수 추정과 관련된 국외 연구 또한 국내 연구와 동일한 방향으로 진행되고 있다. Nahrstedt et al. (2002)은 고정 대체탄력(CES, Constant Elasticity of Substitution) 생산함수, Translog 생산함수, Cobb-Douglas 생산함수와 생물경제모형을 이용하여 덴마크 트롤(Trawl) 선단어업의 생산함수를 추정하였으며, Jahanifar et al. (2010)은 카스피해(Caspian Sea) 남동부 연안의 경골어류(Osteichthyes) 협동조합의 성과를 평가하기 위해 다중회귀분석을 이용하여 생산함수를 추정하였다. Crentsil and Ukpong (2014)은 Cobb-Douglas 생산함수를 이용하여 가나 Amansie-West 지역의 양식어업의 생산함수를 추정하였으며, Kateregga and Sterner (2014)는 Translog 생산함수를 이용하여 우간다 빅토리아 호수(Victoria Lake)의 Nile Perch 어업과 Tilapia 어업의 생산함수를 추정하였다.

본 연구는 선행연구의 여러 모형을 이용하여 분석을 실시하였지만, 선행연구들과는 달리 다양한 분석 방법론을 이용하였다는 점에서 차이가 존재한다. 우선, Cobb-Douglas 생산함수와 Translog 함수를 모두 추정하여 적합도가 높은 모형을 선정하였다. 구체적으로 허(2013)의 연구와 동일한 방법으로 패널 자료를 이용하여 고정효과모형과 확률효과모형을 추정하였으나, 본 연구에서는 Cobb-Douglas 생산함수와 Translog 생산함수를 모두 추정하여 우도비 검정을 통해 적합도가 높은 모형을 선정하였다. 우도비 검정을 통해 선정된 모형을 이용하여 각 어업의 규모수익 및 생산요소의 한계생산성을 분석하였다.

둘째, 분석에 이용되는 근해어업 대상 자원량 자료를 잉여생산모형을 활용하여 직접 추정한 후 생산함수를 도출하였다. 구체적으로 기존의 선행연구와는 달리 어업생

산에 있어 중요한 생산요소 중 하나인 근해어업 대상 자원량을 직접 추정하여 분석에 이용하였다. 13개 근해어업의 대상 자원량은 각 근해어업의 어획노력량 자료를 표준화하여 CYP(Clark·Yoshimoto·Pooley) 모형과 Gompertz 성장함수, 어업생산량을 이용하여 추정하였다. 그리고 각 어업의 어업생산량 비율을 고려하여 추정된 근해어업 대상 자원량을 어업별로 할당하여 어업생산함수의 생산요소로 이용하였다.

본 연구의 구성으로 2장에서는 근해어업의 현황을 제공하고, 3장에서는 근해어업 생산함수 추정 등의 실증 분석을 위한 이론적 방법을 설명한다. 4장에서는 생산함수 추정 결과와 규모수익 및 생산요소의 한계생산성 분석 결과를 제시하며, 결론인 5장에서는 연구의 결과를 요약하고 연구의 한계 및 의의, 향후 연구에 대해 제시한다.

2. 근해어업 현황 분석

생산 현황

우리나라 근해어업 생산량은 연근해어업의 약 73%를

차지하고 있다. 최근 3년 평균 기준 어업별로는 대형선망어업(199,113톤, 27.1%), 기선권현망어업(121,211톤, 16.5%), 대형트롤어업(67,236톤, 9.2%), 근해자망어업(49,032톤, 6.7%), 쌍끌이대형저인망어업(47,813톤, 6.5%) 순으로 어업생산량이 높게 나타났다. 어업생산량 상위 5개 어업의 어업생산량이 근해어업 생산의 약 66%를 차지하고 있어, 상위 5개 어업에 대한 생산의존도가 높음을 알 수 있다.

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 우리나라 근해어업 생산량은 1996년 약 125만 톤 이후 지속적으로 하락하여 2004년 약 76만 톤 수준을 유지하다 잠시 증가한 후 다시 감소하였다. 2016년 기준 근해어업 생산량은 약 66만 톤으로 1990년대 이후 가장 낮은 생산량을 기록하였다. 어업생산금액 또한 어업생산량과 유사한 추세를 보이고 있으며, 2016년 기준 약 2조 1,160억 원을 기록하였다.

어선세력 현황

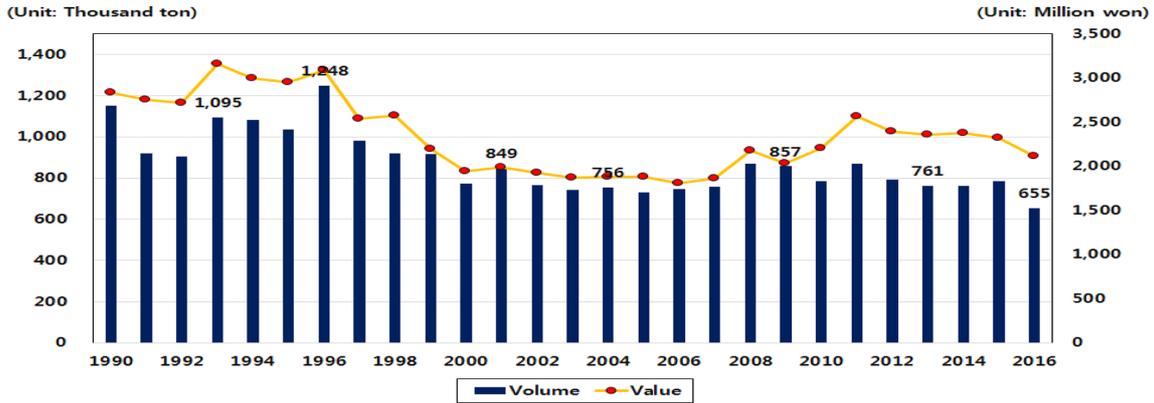
우리나라 근해어업은 주요 소비어종인 고등어와 살오징어, 갈치 등을 포함하여 다양한 어종을 생산하고 있다. 근해어업의 생산은 어구와 어업의 종류에 의해 그 규모

Table 1. Production volume and ratio by offshore fishing gear (2014–2016)

(Unit: ton, %)

Gear	2014	2015	2016	Average	Ratio
Large Danish Seine	10,152	10,210	14,613	11,658	1.6
Large Pair Bottom Trawl	54,117	45,933	43,390	47,813	6.5
East Sea Danish Seine	9,318	9,778	12,803	10,633	1.4
Southwest Sea Medium Danish Seine	14,751	13,717	10,230	12,899	1.8
Southwest Sea Medium Pair Bottom Trawl	15,255	12,884	5,029	11,056	1.5
Large Otter Trawl	81,449	69,269	50,990	67,236	9.2
East Sea Trawl	36,450	23,376	26,473	28,766	3.9
Large Purse Seine	171,082	218,267	207,989	199,113	27.1
Small Purse Seine	14,672	19,968	16,219	16,953	2.3
Offshore Angling	37,922	48,900	32,415	39,746	5.4
Anchovy Drag Net	137,844	141,633	84,156	121,211	16.5
Offshore Gill Net	55,903	49,660	41,532	49,032	6.7
Offshore Stow Net	48,975	45,195	42,312	45,494	6.2
Offshore Stick-Held Lifting Net	-	-	-	-	-
Offshore Coral fish Lift Net	-	-	-	-	-
Diver fishery	9,043	9,026	8,796	8,955	1.2
Offshore Eel Trap	40,027	43,235	35,787	39,683	5.4
Offshore Octopus Trap	8,639	8,717	8,540	8,632	1.2
Offshore Trap	30	36	-	33	0.0
Offshore Shellfish Beam Trawl	152	131	421	235	0.0
Offshore Long Line	17,861	14,868	12,823	15,184	2.1
Sum	763,642	784,803	654,518	734,332	100

Source: Fisheries Information Service (2016)



Source: Fisheries Information Service (2016)

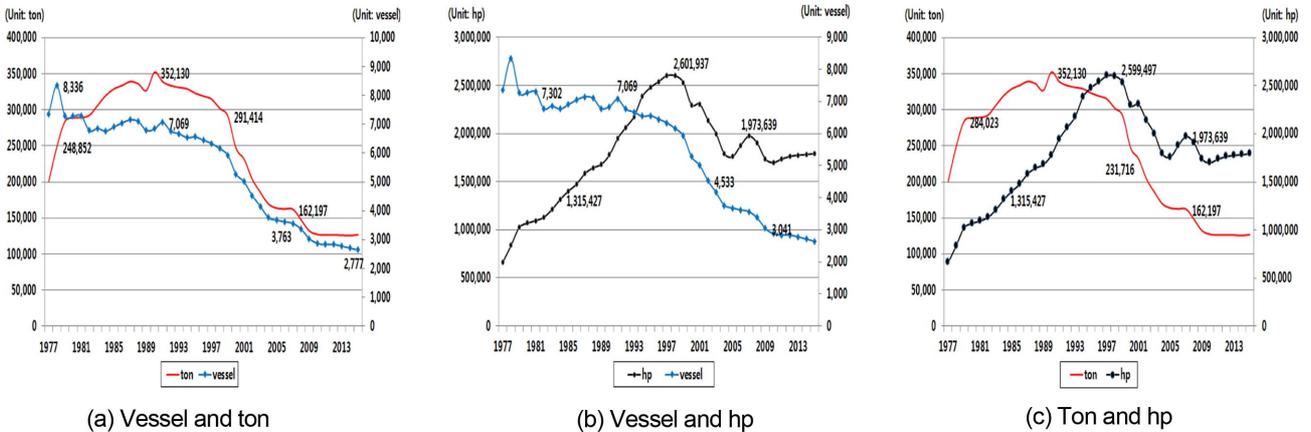
Fig. 1. Trends in production volume and value of offshore fisheries (1990–2016)

와 생산어종이 달라지지만, 가장 기본이 되는 어획노력량인 어선에 의해 결정된다. 우리나라 근해어업의 어선세력은 어선감척사업 실시 이후 지속적으로 감소하다 2000년대 이후 감소폭이 더 크게 나타났다. 특히 어선척수와 어선톤수의 감소가 가장 크게 나타났으며, 2015년 기준 어선 세력은 2,640척, 126,817톤, 1,793,602 hp으로 조사되었다.

1994년 근해어업을 대상으로 어선감척사업이 실시됨에 따라 어선의 척수가 감소하기 시작하였고, 이로 인해 어선의 톤수도 함께 감소하였다. 하지만 어선의 마력수는 2002년을 기점으로 감소를 멈추고, 어선 척수의 감소에도 불구하고 일정수준을 유지하고 있다. 2006년에는 오히려 마력수가 증가하기도 하였으며, 최근에도 어선마력수가 증가하고 있는 추세이다. 이는 어업인이 어선감척사업으로 인해 줄어드는 어선척수 대신 어선의 마력수를 증가시

켜 어선감척사업 이전의 어업생산량 수준을 달성하기 위한 노력으로 판단된다.

Table 2는 근해어업별 최근 3년(2013–2015) 평균 어선세력으로, 이중 근해채낚기어업이 가장 많은 어선척수와 높은 마력수를 보유하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 어선척수가 많은 어업의 어선톤수와 마력수가 높게 나타남을 의미한다. 구체적으로 어선척수는 근해채낚기어업(17.4%), 기선권현망어업(14.2%), 근해자망어업(14.0%), 근해연승어업(10.4%), 대형선망어업(5.3%) 순으로 높게 나타났다. 또한 어선톤수는 대형선망어업(18.4%), 기선권현망어업(14.2%), 근해채낚기어업(14.0%), 근해안강망어업(8.3%), 근해통발어업(8.3%) 순이며, 어선마력수는 근해채낚기어업(15.5%), 근해자망어업(12.5%), 대형선망어업(11.2%), 기선권현망어업(11.0%), 근해연승어업(9.2%) 순으로 높게 나타났다.



Source: Korean Statistical Information Service (2017)

Fig. 2. Trends in vessel, ton, and hp of offshore fisheries (1977–2015)

Table 2. Recent 3 year (2013–2015) average of vessel, ton, and hp by offshore fishing gear

(Unit: number, ton, hp, %)

Gear	Vessel	Ratio	Ton	Ratio	Hp	Ratio
Large Danish Seine	46	1.7	3,061	2.4	29,503	1.7
Large Pair Bottom Trawl	71	2.6	8,401	6.7	86,939	4.9
East Sea Medium Danish Seine	39	1.4	2,202	1.7	17,140	1.0
Southwest Sea Medium Danish Seine	42	1.5	2,158	1.7	18,245	1.0
Southwest Sea Medium Pair Bottom Trawl	18	0.7	1,002	0.8	6,429	0.4
Large Otter Trawl	52	1.9	7,161	5.7	76,292	4.3
East Sea Trawl	37	1.4	1,989	1.6	43,786	2.5
Large Purse Seine	144	5.3	23,182	18.4	200,081	11.2
Small Purse Seine	70	2.6	983	0.8	38,592	2.2
Offshore Angling	471	17.4	17,714	14.0	276,770	15.5
Anchovy Drag Net	384	14.2	17,901	14.2	195,756	11.0
Offshore Gill Net	379	14.0	10,207	8.1	222,288	12.5
Offshore Stow Net	214	7.9	10,525	8.3	151,598	8.5
Diver fishery	233	8.6	1,168	0.9	104,420	5.9
Offshore Trap	184	6.8	10,430	8.3	128,982	7.2
Offshore Shellfish Beam Trawl	46	1.6	525	0.4	21,934	1.0
Offshore Long Line	281	10.4	7,706	6.0	164,910	9.2
Sum	2,711	100	126,315	100	1,783,665	100

Source: Korean Statistical Information Service (2017)

3. 추정모형 및 분석방법

생산함수 추정 방법

어업생산함수는 어획노력량과 어업생산량의 관계를 의미하며, 어업생산함수 추정에는 생산량에 영향을 미치는 생산요소의 선정이 매우 중요하다. 본 연구에서는 어획노력량인 선원수, 어선척수와 어업생산량에 직접적으로 영향을 미치는 근해어업 대상 자원량을 생산요소로 선정하여 분석을 실시하였다. 우선 근해어업의 생산함수 추정을 위해 13개 분석 대상 어업의 어획노력량을 표준화한 후 잉여생산모형을 이용하여 근해어업 대상 자원량을 추정하였다. 추정된 근해어업 대상 자원량과 어획노력량 자료를 패널 분석모형 및 Cobb-Douglas 생산함수, Translog 생산함수에 적용하여 생산함수 분석을 실시하였다. 분석 시 u_i 검정과 Hausman 검정을 통해 고정효과와 확률효과의 존재 여부를 확인하였으며, 우도비 검정을 통해 Cobb-Douglas 생산함수와 Translog 생산함수의 적합도를 확인하였다. 그리고 분석 대상 근해어업의 규모수익과 생산요소의 한계생산성을 확인하였다.

근해어업 대상 자원량 추정

13개 근해어업은 서로 다른 단위의 어획노력량을 투입하여 다양한 어종을 생산하고 있다. 이에 본 연구에서는

우리나라 13개 근해어업의 대상 자원량을 추정하기 위해 각 어업의 어획노력량을 표준화하였다. 어획노력량을 표준화하는 방법으로는 여러 방법이 존재하나 본 연구에서는 Gavaris (1980)의 일반선형모형(GLM, General Linear Model)을 이용하였으며(Quinn and Deriso 1999; 심과 남 2015), 표준화한 어획노력량과 CYP 모형을 이용하여 근해어업 대상 자원량 추정에 필요한 q, k, r 의 계수를 도출하였다. CYP 모형은 Clarke·Yoshimoto·Pooley가 Taylor 근사(approximation)를 Fox 모형에 적용하여 새로운 모형을 개발한 후 1992년 소개하였다(Clarke et al. 1994). Clarke·Yoshimoto·Pooley가 개발한 CYP 모형은 식 (1)과 같다(Clarke et al. 1992).

$$\ln(\bar{U}_{t+1}) = \frac{2r}{2+r} \ln(qk) + \frac{2-r}{2+r} \ln(\bar{U}_t) - \frac{q}{2+r} (\bar{F}_t + \bar{F}_{t+1}) \quad (1)$$

여기서, U 는 CPUE, r 는 수산자원의 본원적 성장률, q 는 어업생산 능력계수, k 는 환경의 수용능력을 의미하고, F 는 어획노력량을 의미한다. 그리고 \bar{U} 와 \bar{F} 는 평균 CPUE와 평균 어획노력량을 의미하며, $qk(=U_\infty)$ 는 수산자원을 이용하지 않은 초기 자원(initial stock) 상태의 CPUE를 의미한다. 식 (1)을 회귀분석하여 추정한 q, k, r 의 계수와 Gompertz 성장함수 및 어업생산량을 이용하여 우리나라

13개 근해어업의 대상 자원량을 추정할 수 있다. 일반적으로 알려진 어업생산함수는 Cobb-Douglas 생산함수적인 성격을 지니며 식 (2)와 같이 표현된다.

$$Q_t = qF_t X_t \quad (2)$$

여기서, Q_t 는 t 시점의 어업생산량, F_t 는 t 시점의 어획노력량, X_t 는 t 시점의 근해어업 대상 자원량을 의미하며, 식 (2)의 변형을 통해 X_t 를 추정할 수 있다. 식 (3)은 X_t 를 나타낸 식으로 근해어업 대상 자원량은 어업생산량에 어업생산 능력과 어획노력량의 곱을 나눔으로써 도출된다.

$$X_t = \frac{Q_t}{(qF_t)} \quad (3)$$

하지만 식 (3)을 이용한 근해어업 대상 자원량은 매 시점 최적의 상태인 근해어업 대상 자원량(X^*)을 의미한다. 이에 본 연구에서는 동태적인 관점을 고려하여 어업생산량과 수산자원의 성장을 반영한 근해어업 대상 자원량을 추정하였다. 이를 위해 최초 시점의 근해어업 대상 자원량을 추정 후 동일 시점의 어업생산량을 빼고 수산자원의 성장량을 더하여 $t+1$ 시점의 근해어업 대상 자원량을 도출하였다. 이는 식 (4)와 같다.

$$X_{t+1} = X_t - Q_t + G_t \quad (4)$$

$$G_t = rX_{t-1} \ln\left(\frac{k}{X_{t-1}}\right) \quad (5)$$

여기서, X_{t+1} 은 $t+1$ 시점의 근해어업 대상 자원량을, G_t 는 t 시점의 수산자원의 성장량을 의미한다. 하지만 위의 과정을 통해 추정한 근해어업 대상 자원량은 13개 근해어업 전체의 대상 자원량(X_A)으로 다시 어업별로 할당해야 하는 문제가 발생한다. 이는 어획노력량을 표준화하여 13개 어업을 하나의 어업으로 가정하고 계수를 추정하였기에 발생하는 문제로 본 연구에서는 각 어업의 어업생산량 비율을 추정된 전체의 근해어업 대상 자원량에 곱하여 각 어업별로 대상 자원량을 할당하였다. 다시 말해, 13개 근해어업의 어업생산량(Q_A)에 각 어업의 어업생산량 비율(Q_i/Q_A)을 곱하여 각 어업별 대상 자원량(X_i)을 추정하는데 이는 식 (6)과 같다.

어업별 근해어업 대상 자원량 추정에 있어 어획노력량 비율이 아닌 어업생산량 비율을 사용한 이유는 근해어업 대상 자원량이 어획노력량보다 어업생산량과 더 밀접한 관련이 있기 때문이다. 분석 자료 중 어획노력량이 높은 어업의 어업생산량이 낮은 경우가 많이 존재하였다. 이는 어획노력량이 어업생산량에 영향을 미치기는 하지만 근해어업 대상 자원량이 어업생산량에 미치는 영향보다는 적기 때문인 것으로 판단된다. 즉 어획노력량→어업생산량

→ 근해어업 대상 자원량의 순으로 영향이 미치므로, 본 연구에서는 어업생산량 비율을 이용하여 근해어업 대상 자원량을 어업별로 할당하였다.

$$X_i = X_A \left(\frac{Q_i}{Q_A}\right), (i=1 \dots 13) \quad (6)$$

Cobb-Douglas와 Translog 생산함수

“주어진 시간 동안 사용한 여러 가지 생산요소의 양과 이를 통해 그 기간 동안 생산할 수 있는 최대한의 상품량 사이의 관계를 나타내는 함수를 생산함수라 한다.”(이 2013). 생산함수는 Cobb and Douglas (1928)가 개발한 Cobb-Douglas 생산함수를 시작으로 Arrow et al. (1961)의 CES 생산함수, Christensen et al. (1973)의 Translog 생산함수까지 발전하였다.

Cobb-Douglas 생산함수는 동차(Homogeneous)함수로 단일 대체탄력성(Unitary Elasticity of Substitution)의 특성을 지닌다. 하지만 동차라는 제약으로 인해 Arrow et al. (1961)은 고정 대체탄력성을 기반으로 하는 CES모형을 제시하였으며, Christensen et al. (1973)은 좀 더 유연한 형태의 Translog 함수를 개발하였다. Cobb-Douglas 생산함수는 분석의 간단함과 편리성으로 인해 생산함수 분석에 널리 이용되고 있으며, Cobb-Douglas 생산함수의 동차제약을 제거한 Translog 생산함수 또한 다양한 분야에서 사용되고 있다.

본 연구에서는 13개 근해어업의 생산함수를 추정하기 위해 종속변수로 어업생산량(Q), 독립변수로 어업별 선원수(F_{crew}), 어업별 어선척수(F_{vessel}), 어업별 대상 자원량(X_{stock})을 선정하여 분석을 실시하였으며, 이를 생산함수의 형태로 표현하면 식 (7)과 같다.

$$Q = f(F_{crew}, F_{vessel}, X_{stock}) \quad (7)$$

식 (7)을 Cobb-Douglas 생산함수 형태로 표현하면 식 (8)과 같이 표현할 수 있고, 다시 분석이 용이한 자연로그 형태로 변환하면 식 (9)와 같이 표현된다.

$$Q = AF^{\alpha_{crew}} F^{\alpha_{vessel}} X^{\alpha_{stock}} \quad (8)$$

$$\ln Q = \alpha_0 + \alpha_{crew} \ln F_{crew} + \alpha_{vessel} \ln F_{vessel} + \alpha_{stock} \ln X_{stock} + D_{ship} + D_{tac} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

여기서, 각 독립변수의 계수는 생산요소의 탄력성을 의미하며, u_i 는 패널 개체의 이질성, ε_{it} 는 일반적인 오차항을 의미한다. 패널 개체의 이질성이란 13개 각 근해어업이 지니고 있는 시간의 영향을 받지 않는 고유한 특성을 말한다. 분석 시 어선감척사업과 TAC 제도가 어업생산량에 미치는 영향을 확인하기 위해 모형에 두 사업의 가변수

(D_{ship} , D_{tac})를 추가하였다.

일반적으로 동차라는 제약조건이 존재하는 Cobb-Douglas 생산함수보다 상대적으로 유연한 Translog 생산함수는 비동차(Nonhomogeneous) 함수로 생산요소에 제약조건이 없는 함수이다. 식 (9)의 Cobb-Douglas 생산함수에 Taylor 2차 전개를 실시하면 식 (10)과 같은 Translog 생산함수로 나타낼 수 있다.

$$\ln Q = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln F_i + \alpha_{stock} \ln X_{stock} + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln F_i \ln F_j + \frac{1}{2} \beta_{stock\ stock} (\ln X_{stock})^2 + \sum_i \beta_{i\ stock} \ln F_i \ln X_{stock} + u_i + \epsilon_{it} \quad (10)$$

($i, j = crew, vessel$) $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ ($i \neq j$)

식 (10)에 $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ ($i \neq j$)의 대칭조건을 부과하여 풀면 식 (11)과 같은 형태로 표현되며, Cobb-Douglas 생산함수의 기본식과 각 독립변수의 교차항, 제곱항으로 구성된 형태로 나타난다.

$$\ln Q = \alpha_0 + \alpha_{crew} \ln F_{crew} + \alpha_{vessel} \ln F_{vessel} + \alpha_{stock} \ln X_{stock} + \frac{1}{2} \beta_{crew\ crew} (\ln F_{crew})^2 + \frac{1}{2} \beta_{vessel\ vessel} (\ln F_{vessel})^2 + \frac{1}{2} \beta_{stock\ stock} (\ln X_{stock})^2 + \beta_{crew\ vessel} \ln F_{crew} \ln F_{vessel} + \beta_{crew\ stock} \ln F_{crew} \ln X_{stock} + \beta_{vessel\ stock} \ln F_{vessel} \ln X_{stock} + D_{tac} + D_{ship} + u_i + \epsilon_{it} \quad (11)$$

($i, j = crew, vessel$) $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ ($i \neq j$)

규모에 대한 수익 및 한계생산성

생산요소의 변화에 대한 생산량 변화를 나타내는 지표로 규모수익불변(CRS, Constant Returns to Scale), 규모수익체증(IRS, Increasing Returns to Scale), 규모수익체감(DRS, Decreasing Returns to Scale)으로 구분되는 규모수익이 이용된다. 일반적으로 규모수익은 생산요소의 투입이 고정된 단기보다 생산요소의 투입이 가변적인 장기에서 사용 가능한 개념이며, 생산요소 투입을 y 배 증가하였을 경우 생산량이 y 배와 동일한 비율로 증가한 경우를 CRS라 한다. 그리고 생산량이 y 배보다 더 큰 비율로 증가하였을 경우를 IRS라 하며, y 배보다 더 작은 비율로 증가하였을 경우를 DRS라 한다.

규모수익을 의미하는 지수는 생산요소의 탄력성을 이용하여 분석이 가능하다. 생산요소의 탄력성은 생산요소를 1% 증가시켰을 경우 발생하는 생산량의 % 변화율을 의미하며 각 생산요소 탄력성의 합이 곧 규모수익 판단의 지표(RS)가 된다.

$$RS = \alpha_{crew} + \alpha_{vessel} + \alpha_{stock} \quad (12)$$

$$RS = E_{crew} + E_{vessel} + E_{stock} \quad (13)$$

식 (12)는 Cobb-Douglas 생산함수의 RS를 나타낸 식이고, 식 (13)은 Translog 생산함수의 RS를 나타낸 식이다. Cobb-Douglas 생산함수는 분석을 통해 추정된 생산요소 계수가 탄력성을 의미하므로 이들의 합을 통해 RS 추정이 가능하다. 하지만 Translog 생산함수는 생산요소의 탄력성을 추정하기 위해 식 (13)을 각 생산요소에 대해 편미분하여야 한다.

$$E_{crew} = \frac{\partial \ln Q}{\partial \ln F_{crew}} = \alpha_{crew} + \beta_{crew\ crew} \ln F_{crew} + \beta_{crew\ vessel} \ln F_{vessel} + \beta_{crew\ stock} \ln X_{stock} \quad (14)$$

$$E_{vessel} = \frac{\partial \ln Q}{\partial \ln F_{vessel}} = \alpha_{vessel} + \beta_{vessel\ vessel} \ln F_{vessel} + \beta_{crew\ vessel} \ln F_{crew} + \beta_{vessel\ stock} \ln X_{stock} \quad (15)$$

$$E_{stock} = \frac{\partial \ln Q}{\partial \ln X_{stock}} = \alpha_{stock} + \beta_{stock\ stock} \ln X_{stock} + \beta_{crew\ stock} \ln F_{crew} + \beta_{vessel\ stock} \ln F_{vessel} \quad (16)$$

식 (14), 식 (15), 식 (16)은 Translog 생산함수의 생산요소 탄력성을 나타낸 식으로 이들의 합을 통해 RS를 추정할 수 있다. 규모수익에 대한 여부는 “RS=1” 즉, “규모수익불변(CRS)의 특성을 지닌다.”라는 귀무가설 검정을 통해 확인할 수 있다. 가설 검정 결과, 귀무가설이 기각되지 않는다면 우리나라 어업은 규모수익불변의 특성을 지닌다. 하지만 귀무가설이 기각된다면 규모수익체증(IRS), 규모수익체감(DRS)의 특성을 지니고 있으므로 RS에 의해 규모수익에 대한 여부를 확인한다. RS 추정 결과, RS가 1인 경우 CRS를 의미하고, 1보다 크면 IRS, 1보다 작으면 DRS를 의미한다.

한계생산(MP)이란 생산요소를 1단위 증가하였을 경우 발생하는 생산의 변화를 의미하며, MP를 추정하기 위해 타 생산요소는 고정되어 있다고 가정한다. 본 연구에서는 생산요소에 따른 근해어업의 어업생산성 제고를 위해 각 생산요소의 MP를 추정하였다. MP는 식 (17)과 같이 표현할 수 있으며, 이를 통해 우리나라 근해어업의 각 생산요소에 대한 MP를 추정할 수 있다.

$$MP_i = \frac{\text{생산량의 변화}}{\text{생산요소의 변화}} = \frac{\partial Q}{\partial i} \quad (17)$$

MP는 또한 식 (14), 식 (15), 식 (16)에서 추정된 선원수, 어선척수, 근해어업 대상 자원량의 탄력성을 이용하여 쉽게 추정할 수 있다. 근해어업 생산함수 추정에 이용된 각 생산요소의 MP는 식 (18), 식 (19), 식 (20)과 같이 다시

표현할 수 있다.

$$MP_{crew} = E_{crew} \cdot \frac{Q}{F_{crew}} \quad (18)$$

$$MP_{vessel} = E_{vessel} \cdot \frac{Q}{F_{vessel}} \quad (19)$$

$$MP_{stock} = E_{stock} \cdot \frac{Q}{X_{stock}} \quad (20)$$

4. 실증분석

자료분석

근해어업 생산함수의 분석 대상은 외끌이대형저인망어업, 쌍끌이대형저인망어업, 서남해구의끌이중형저인망어업, 대형트롤어업, 동해구중형트롤어업, 대형선망어업, 근해채낚기어업, 기선권현망어업, 근해자망어업, 근해안강망어업, 잠수기어업, 근해통발어업, 근해연승어업을 포함한 13개 근해어업으로 선원수 자료가 존재하지 않는 동해구 외끌이중형저인망어업, 서남해구쌍끌이중형저인망어업, 소형선망어업, 근해형망어업 등의 어업은 분석에서 제외하였다. 그러나 근해어업 21개 중 이들 13개 어업의 생산량이 근해어업 생산량의 약 93%를 차지함에 따라 주요 어업은 대부분 포함되었음을 알 수 있다.

분석 자료 중 어업별 어업생산량은 국가통계포털

(2016) 자료를 이용하였으며, 어업별 선원수는 수산경제연구원 (2015) 자료를 이용하였다. 그리고 어업별 어선척수는 국가통계포털 (2015) 자료를 이용하였다.

Table 3은 최근 3년(2013–2015) 평균 분석 대상 어업의 생산요소로 근해어업의 어업생산량은 717,418톤, 선원수는 21,781명, 어선척수는 2,538척, 근해어업 대상 자원량은 3,500,083톤으로 나타났다. 이 중 어업생산량이 가장 높은 어업은 대형선망어업으로 184,403톤을 생산하였으며, 기선권현망어업(139,816톤), 대형트롤어업(71,634톤) 순으로 어업생산량이 높게 나타났다. 어선의 선원수는 근해자망어업이 4,040명으로 가장 많았으며, 기선권현망어업(3,017명), 근해연승어업(2,807명) 순으로 선원수가 많았다. 어선척수는 근해채낚기어업이 144척으로 가장 많았으며, 기선권현망어업(384척), 근해자망어업(379척) 순으로 높게 나타났다. 그리고 근해어업 대상 자원량은 대형선망어업(898,798톤), 기선권현망어업(682,164톤), 근해자망어업(273,039톤) 순으로 높게 나타났다.

어업별 근해어업 대상 자원량 추정

본 연구에서는 13개 근해어업의 CPUE와 Gavaris의 GLM을 이용하여 각 어업의 어획노력량을 표준화하였다. GLM 추정 결과, 추정치 중 1987년의 추정치만이 유의하지 않게 분석되었으며, 나머지 연도의 추정치들은 5%와 1%의 유의수준 하에서 유의하게 분석되었다. 그리고 결정계수(R^2)는 0.8297, 조정된 R^2 는 0.8096로 나타나 모형의

Table 3. Recent 3 year (2013–2015) average of production, crew, vessel, and stock by offshore fishing gear

(Unit: ton, number)

Gear	Production	Crew	Vessel	Stock
Large Danish Seine	10,730	396	46	52,371
Large Pair Bottom Trawl	51,936	821	71	253,590
Southwest Sea Medium Danish Seine	14,911	375	42	72,791
Large Otter Trawl	71,634	728	52	349,576
East Sea Trawl	32,292	374	37	157,821
Large Purse Seine	184,403	1,752	144	898,798
Offshore Angling	43,131	2,674	471	210,293
Anchovy Drag Net	139,816	3,017	384	682,164
Offshore Gill Net	55,920	4,040	379	273,039
Offshore Stow Net	46,927	2,137	214	229,022
Diver fishery	8,916	699	233	43,503
Offshore Trap	40,940	1,961	184	199,694
Offshore Long Line	15,862	2,807	281	77,421
Average	55,186	1,675	195	269,237
Sum	717,418	21,781	2,538	3,500,083

Source: Korean Statistical Information Service (2015, 2016)
National Federation of Fisheries Cooperatives (2016)

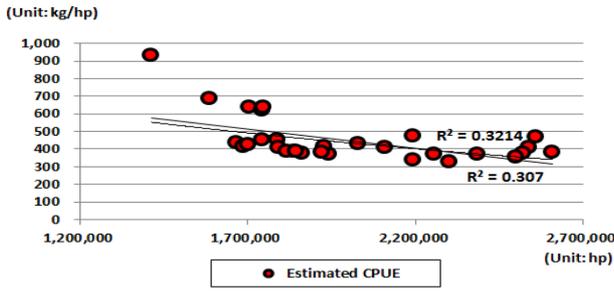


Fig. 3. Relationship of standardized CPUE and hp

설명력이 약 80% 수준으로 높게 나타났다. GLM의 F-통계량 또한 1% 유의수준 하에서 유의하게 분석되어 추정된 모형은 유의한 모형인 것으로 분석되었다(APPENDIX A).

근해어업의 어업별 대상 자원량 추정에 앞서 자원평가에 이용되는 모형을 선정하였다. 일반적으로 Gompertz 성장 함수에 기초한 지수모형(Fox 1970; Clarke et al. 1992)과 Logistic 성장 함수(Schaefer 1954; Schnute 1977; Walters and Hilborn 1976)에 기초한 Logistic 모형이 많이 이용되고 있으며, 분석 모형은 CPUE와 어획노력량의 관계를 통해 선정할 수 있다. Fig. 3에서 확인할 수 있듯이 Logistic 모형의 R^2 는 0.3070, 지수모형의 R^2 는 0.3214로 R^2 의 차이가 크지 않아, 모형 선정이 불가능하였다. 이에 본 연구에서는 5개 잉여생산모형을 모두 분석하여 그 중 모형의 설명력을 의미하는 R^2 와 계수의 유의성, 모형의 예

측 정확도를 측정하는데 이용하는 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error)와 평균절대오차(MAE, Mean Absolute Error)를 고려한 모형을 선정하여 분석을 실시하였다. 잉여생산모형을 통해 추정되는 계수인 C는 상수항을, X_1 과 X_2 는 각 모형에서 q, k, r 을 포함하고 있는 변수를 의미하며 추정된 각 계수를 통해 q, k, r 을 도출할 수 있다.

Table 4에서 확인할 수 있듯이 각 모형의 R^2 와 추정된 계수의 유의성 및 RMSE, MAE를 종합적으로 비교한 결과, CYP모형의 X_2 계수는 유의하지 않았지만 R^2 는 가장 높게 나타나 모형의 설명력이 우수한 것으로 나타났으며, RMSE, MAE는 가장 낮게 나타나 모형의 예측력이 4개의 모형보다 우수한 것으로 분석되어 본 연구에서는 CYP모형의 분석 결과를 이용하여 근해어업 대상 자원량을 추정하였다.

Table 5는 식 (1)의 CYP모형과 추정된 모형의 자기상관 검정, 이분산 검정 등의 분석 결과로 우선 추정된 CYP모형은 1% 유의수준 하에서 유의한 것으로 분석되었으며, 이에 따라 q, k, r 추정치도 유의한 것으로 분석되었다. 그리고 자기상관 검정 결과 “자기상관이 존재하지 않는다.”라는 귀무가설을 채택하여 자기상관이 존재하지 않는 것으로 나타났다. 이분산 검정에서도 “오차항이 동분산이다.”라는 귀무가설을 채택하여 이분산이 존재하지 않는 것으로 나타났다. 또한 분산팽창계수(VIF, Variance Inflation Factor)를 이용하여 다중공선성 존재 여부를 확

Table 4. Statistic results of surplus production model and estimate results of RMSE and MAE

Model	R^2 (adjusted R^2)	Coefficient			RMSE	MAE
		C (Prob.)	X_1 (Prob.)	X_2 (Prob.)		
Schaefer	0.1833 (0.1180)	0.2579 (0.1434)	-0.0005** (0.0277)	0.0000 (0.4313)	223,876	146,331
Schnute	0.1709 (0.1071)	0.3301 (0.2019)	-0.0006** (0.0348)	0.0000 (0.5324)	209,778	134,118
WH	0.3283 (0.2766)	0.3557* (0.0918)	-0.0006*** (0.0029)	0.0000 (0.4786)	191,954	126,369
Fox	0.1743 (0.1083)	1.3593** (0.0428)	-0.2140** (0.0324)	0.0000 (0.4359)	221,431	141,162
CYP	0.7212 (0.6997)	2.5815*** (0.0006)	0.6037*** (0.0000)	0.0000 (0.1707)	193,318	126,046

Note: Schaefer model's X_1 is $-r/qk$, X_2 is $-q$. Schnute model's X_1 is $-r/qk$, X_2 is $-q$
WH model's X_1 is $-r/qk$, X_2 is $-q$. Fox model's X_1 is $-r$, X_2 is $-q$

CYP model's X_1 is $\frac{2-r}{2+r}$, X_2 is $-\frac{q}{2+r}$

*, **, *** mean that estimators are statistically significant under 10%, 5%, 1% critical values respectively

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (Y_i - \hat{Y}_i)^2}, MAE = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T |Y_i - \hat{Y}_i|$$

where, T means number of observation, $Y_i - \hat{Y}_i$ means prediction error (Gujarati 2016)

Table 5. Statistic results of CY&P model

F-Stat. (Prob.)	Autocorrelation test Stat. (Prob.)	Heteroscedasticity test Stat. (Prob.)	VIF		r	q	k (ton)
			X ₁	X ₂			
33.6245 ^{***} (0.0000)	1.0967 (0.2950)	5.0326 (0.4119)	1.3260	1.3260	0.4942	0.000000125	5,385,145

Note: Null hypotheses (H_0) of the Heteroscedasticity test implies that variance of error is homoskedasticity
 Null hypothesis (H_0) of the autocorrelation test means that there is no autocorrelation
 * ** *** mean that estimators are statistically significant under 10%, 5%, 1% critical values respectively
 *, **, *** indicates rejection of H_0 at the 10%, 5%, 1% significance level

인한 결과, VIF가 10보다 적어 다중공선성이 존재하지 않는 것으로 분석되었다. 종합적으로 추정된 CYP 모형은 자기상관과 이분산, 다중공선성이 존재하지 않는 안정적인 모형인 것으로 나타났다.

CYP모형에서 추정된 q, k, r 과 식 (3), (4), (5)를 이용하여 13개 근해어업의 대상 자원량을 추정할 수 있다. 분석을 통해 13개 근해어업의 대상 자원량은 약 350만 톤으로 추정되었다. 추정된 근해어업 대상 자원량에 각 어업의 어업생산량 비율(Q_i/Q_A , APPENDIX B)을 곱하여 각 어업별 대상 자원량(X_i)을 추정할 수 있다. 어업생산량 비율 추정 결과, 대형선망어업이 27.4%로 분석 대상 어업 중 가장 많은 어업생산을 하는 것으로 나타났으며, 기선권현망어업(14.2%), 대형트롤어업(11.2%), 근해안강망어업(11.1%), 쌍끌이대형저인망어업(9.6%) 순으로 어업생산량 비율이 높게 나타났다.

Table 6은 분석 대상 어업의 추정된 어업별 대상 자원량으로 2015년 현재 대형선망어업의 추정된 근해어업 대상 자원량이 1,052,591톤으로 가장 높게 추정되었으며, 기선권현망어업(683,024톤), 대형트롤어업(334,049톤), 근해자

망어업(239,485톤), 근해채낚기어업(235,820톤) 순으로 높게 나타났다.

Cobb-Douglas 생산함수 추정

본 연구에서는 Cobb-Douglas 생산함수를 추정하기 위해 우리나라 13개 근해어업의 선원수, 어선척수, 근해어업 대상 자원량을 생산요소로 이용하였으며, 식 (9)와 같은 형태의 Cobb-Douglas 생산함수를 추정하였다. 그리고 확률효과모형과 고정효과모형을 모두 추정하여 패널 자료를 이용한 모형의 선정에 이용되는 Hausman 검정을 통해 모형을 선정하였다. Hausman 검정의 검정통계량은 카이제곱(Chi-Square) 분포를 따르며, 분포의 자유도(Degree of Freedom)는 상수항을 제외한 독립변수의 수와 같다. Hausman 검정의 검정통계량은 식 (21)과 같다(민과 최 2012).

$$H = (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})' [var(\hat{\beta}_{FE}) - var(\hat{\beta}_{RE})]^{-1} (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE}) \tag{21}$$

Table 7에서 확인할 수 있듯이 Cobb-Douglas 생산함수

Table 6. Estimated fish stock volume by offshore fishing gear (1986–2015)

Gear	1986	1987	...	2014	2015	Average
Large Danish Seine	121,178	60,837	...	49,786	49,238	46,997
Large Pair Bottom Trawl	599,024	476,955	...	265,391	221,512	309,671
Southwest Sea Medium Danish Seine	300,899	184,359	...	72,339	66,150	83,586
Large Otter Trawl	811,848	474,316	...	399,428	334,049	363,514
East Sea Trawl	138,764	58,190	...	178,752	112,731	96,885
Large Purse Seine	2,592,550	1,610,399	...	838,990	1,052,591	923,917
Offshore Angling	146,816	190,138	...	185,970	235,820	232,687
Anchovy Drag Net	846,539	521,046	...	675,990	683,024	466,697
Offshore Gill Net	307,782	180,679	...	274,150	239,485	177,607
Offshore Stow Net	1,369,536	1,034,227	...	240,175	217,953	377,361
Diver fishery	87,035	60,453	...	44,347	43,528	47,394
Offshore Trap	54,627	52,487	...	196,293	208,501	112,928
Offshore Long Line	29,656	25,182	...	87,591	71,701	52,102
Sum	7,406,255	4,929,269	...	3,509,202	3,536,281	3,291,345

(Unit: ton)

Table 7. Results of Cobb-Douglas production function of Fixed and Random effect models

Cobb-Douglas		Fixed effect		Random effect	
		Coef. (Std. Err.)	Z-Stat. (Prob.)	Coef. (Std. Err.)	Z-Stat. (Prob.)
Constant	α_0	0.7012* (0.4106)	1.7100 (0.0880)	-0.5590*** (0.2074)	-2.7000 (0.0070)
Increw	α_{crew}	-0.0162 (0.0539)	-0.3000 (0.7640)	0.0652* (0.0363)	1.8000 (0.0730)
Invessel	α_{vessel}	0.3325*** (0.0592)	5.6200 (0.0000)	-0.0045 (0.0351)	-0.1300 (0.8980)
Instock	α_{stock}	0.8049* (0.0212)	38.0300 (0.0000)	0.9375*** (0.0134)	70.1200 (0.0000)
	D_{ship}	0.0830*** (0.0260)	3.1900 (0.0020)	0.0022 (0.0295)	0.0800 (0.9390)
	D_{tac}	-0.1222*** (0.0305)	-4.0100 (0.0000)	-0.2077*** (0.0279)	-7.4400 (0.0000)
	Within		0.8214		0.7708
R^2	Between		0.8850		0.9950
	Overall		0.8745		0.9548
	F-Stat. (Prob.)		342.1800*** (0.0000)		Wald Chi ² (Prob.)
	u_i test (Prob.)		16.6100*** (0.0000)		8,106.1300*** (0.0000)
	Hausman			Stat. (Prob.)	
				133.9600***	(0.0000)

Note: *, **, *** mean that model is statistically significant under 10%, 5%, 1% critical values respectively
 *, **, *** mean that coefficients of variables are statistically significant under 10%, 5%, 1% critical values respectively
 *, **, *** indicate rejection of H_0 at the 10%, 5%, 1% significance level
 The u_i test's null hypothesis (H_0) is that u_i is 0
 The Hausman test's null hypothesis (H_0) is that u_i and x_{it} are no correlation

의 고정효과모형과 확률효과모형의 Hausman 검정 결과, “ X_{it} 와 u_i 간 상관관계가 없다.”는 귀무가설을 기각하여 고정효과모형이 선정되었고, 고정효과모형의 분석 결과도 R^2 가 대체로 높게 나타나 모형의 설명력이 높은 것으로 분석되었다. 패널 분석에서는 Within, Between, Overall 3가지의 R^2 를 제시하고 있는데, Within은 패널 개체 내의 R^2 를, Between은 패널 개체 간의 R^2 를, Overall은 전체 대상의 R^2 를 의미한다. 그리고 고정효과 존재 유무에 대한 u_i 검정 결과도 귀무가설을 기각하여 고정효과모형 선정이 유의한 것으로 나타났다.

추정모형은 1%의 유의수준 하에서 유의하게 추정되었으나, 추정계수 중 선원수의 추정계수는 유의하게 분석되지 않았다. 근해어업 생산량에는 근해어업 대상 자원량이 가장 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 근해어업 대상 자원량이 1% 증가하였을 경우 어업생산량은 0.8049% 증가하였고, 어선척수가 1% 증가하였을 경우 어업생산량은 0.3325% 증가하는 것으로 나타났다.

또한 어선감척사업과 TAC 제도가 어업생산에 미치는 영향을 보기 위해 투입한 가변수인 D_{ship} 과 D_{tac} 는 어업생

산량에 각각 다른 영향을 미쳤다. 어선감척사업은 어업생산량에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 어업생산량을 0.0830% 증가시키는 것으로 나타났다. 반면 TAC 제도는 어업생산량에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 어업생산량을 0.1222% 감소시키는 것으로 나타났다.

Translog 생산함수 추정

Translog 생산함수 추정은 Cobb-Douglas 생산함수 추정과 동일한 과정으로 생산요소의 교차항, 제곱항으로 구성된 형태인 식 (11)의 Translog 생산함수를 추정하였으며, 확률효과모형과 고정효과모형을 모두 추정한 후 Hausman 검정을 통해 모형을 선정하였다.

Table 8은 Translog 생산함수 고정효과모형과 확률효과모형의 추정 결과로 Hausman 검정 결과, Cobb-Douglas 생산함수의 결과와 유사하게 고정효과모형 선정이 유의한 것으로 나타났으나, 추정모형에서는 Cobb-Douglas 생산함수의 결과와 달리 추정계수 모두 유의한 것으로 분석되었다. 근해어업 생산량에는 어선척수가 가장 많은 영향을

Table 8. Results of translog production function of fixed and random effect models

Translog		Fixed effect		Random effect	
		Coef. (Std. Err.)	Z-Stat. (Prob.)	Coef. (Std. Err.)	Z-Stat. (Prob.)
Constant	α_0	-9.2346** (3.7899)	-2.4400 (0.0150)	8.0909** (3.1668)	2.5500 (0.0110)
Increw	α_{crew}	-5.0252*** (1.2984)	-3.8700 (0.0000)	-5.7766*** (1.0429)	-5.5400 (0.0000)
Invessel	α_{vessel}	5.3481*** (1.3695)	3.9100 (0.0000)	5.1853*** (0.9704)	5.3400 (0.0000)
Instock	α_{stock}	2.5016*** (0.4051)	6.1700 (0.0000)	0.9127** (0.3529)	2.5900 (0.0100)
Increw ²	$\beta_{crew crew}$	-0.6035*** (0.1488)	-4.0600 (0.0000)	-0.5554*** (0.1423)	-3.9000 (0.0000)
Invessel ²	$\beta_{vessel vessel}$	-0.8178*** (0.2073)	-3.9500 (0.0000)	-0.3658* (0.1945)	-1.8800 (0.0600)
Instock ²	$\beta_{stock stock}$	-0.1360*** (0.0256)	-5.3100 (0.0000)	-0.0676*** (0.0238)	-2.8400 (0.0050)
Increw*Invessel	$\beta_{crew vessel}$	0.6631*** (0.1701)	3.9000 (0.0000)	0.4450*** (0.1613)	2.7600 (0.0060)
Increw*Instock	$\beta_{crew stock}$	0.3192*** (0.0745)	4.2800 (0.0000)	0.4165*** (0.0659)	2.7600 (0.0060)
Invessel*Instock	$\beta_{vessel stock}$	-0.2984*** (0.0754)	-3.9600 (0.0000)	-0.3574*** (0.0630)	-5.6700 (0.0000)
	D_{ship}	0.0526** (0.0258)	2.0300 (0.0430)	0.0102 (0.0298)	0.3400 (0.7310)
	D_{tac}	-0.1296*** (0.0294)	-4.4000 (0.0000)	-0.1828*** (0.0281)	-6.5100 (0.0000)
R^2	Within		0.8435		0.7887
	Between		0.8630		0.9967
	Overall		0.8598		0.9603
F-Stat. (Prob.)		179.3900*** (0.0000)		Wald Chi ² (Prob.)	
u_i test (Prob.)		16.4400*** (0.0000)		9,141.0000*** (0.0000)	
Hausman			Stat. (Prob.)		
			133.9600*** (0.0000)		

Note: *, **, *** mean that model is statistically significant under 10%, 5%, 1% critical values respectively
 *, **, *** mean that coefficients of variables are statistically significant under 10%, 5%, 1% critical values respectively
 *, **, *** indicate rejection of H_0 at the 10%, 5%, 1% significance level
 The u_i test's null hypothesis (H_0) is that u_i is 0
 The Hausman test's null hypothesis (H_0) is that u_i and x_{it} are no correlation

미치는 것으로 분석되었으며, 어선척수가 1% 증가하였을 경우 어업생산량은 5.3481% 증가하였고, 근해어업 대상 자원량이 1% 증가하였을 경우 어업생산량은 2.5016% 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 선원수가 1% 증가하였을 경우 어업생산량은 5.0252% 감소하는 것으로 분석되어 음(-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

또한 어선감척사업과 TAC 제도가 어업생산량에 미치

는 영향을 보기 위해 투입한 가변수인 D_{ship} 과 D_{tac} 는 어업생산량에 각각 다른 영향을 주는 것으로 분석되었다. 어선감척사업은 어업생산량에 양(+)의 영향을 미쳐 어업생산량을 0.0526% 증가시키는 것으로 나타났다. 반면 TAC 제도는 어업생산량에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 어업생산량을 0.1296% 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 어선감척사업이 어획노력량을 줄여 수산자원을 보호하

여 생산량을 증가시키는 유인을 가져온 반면, TAC 제도는 자원이 악화된 상황에서 동 제도를 통해 총허용어획량을 제한하다보니 생산량을 오히려 감소시킴에 기인한 것으로 판단된다.

Cobb-Douglas 생산함수와 Translog 생산함수 중 규모 수익 분석에 더 적합한 모형을 선정하기 위해 우도비 검정을 실시해 본 결과, “두 모형이 동일하다.”는 귀무가설이 기각되어 두 생산함수 간에 차이가 존재함을 확인할 수 있었으며, 비제약모형인 Translog 생산함수의 적합도가 더 높은 것으로 나타났다. 우도비 검정은 제약이 존재하는 (Restricted) 모형과 제약이 존재하지 않는(Unrestricted) 모형에 대한 가설 검정으로 제약모형과 비제약모형을 모두 추정하는 검정력이 우수한 검정 방법 중의 하나이다. 여기서 제약모형은 교차항과 제곱항을 포함하지 않는 Cobb-Douglas 생산함수로 설정하고, 비제약모형은 교차항과 제곱항을 포함하는 Translog 생산함수로 설정하였다. 우도비 검정의 검정통계량은 식은 $LR = -2(\ln Cobb - \ln Translog) \sim \chi^2_{df}$ 으로 정의되며, 우도비 검정의 “검정통계량은 카이 제곱 분포(χ^2_{df})를 따르며 분포의 자유도는 제약이 가해진 모수의 개수가 된다.”(민과 최 2012).

Translog 생산함수는 Cobb-Douglas 생산함수와는 달리 생산요소의 교차항과 제곱항을 포함하고 있다. Translog 생산함수의 모든 교차항과 제곱항이 유의하지 않다면 Translog 생산함수는 Cobb-Douglas 생산함수와 동일한 형태가 된다. Table 10에서 확인할 수 있듯이 Translog 생산

함수의 교차항과 제곱항의 유의성 검정 결과, 모든 검정에서 귀무가설을 기각하여 교차항과 제곱항이 유의한 것으로 분석되었다. 따라서 근해어업의 규모수익 분석 및 생산요소의 한계생산성 분석은 Translog 생산함수의 추정 결과를 적용하여 실시하였다.

본 연구의 생산함수는 패널 개체의 이질성을 고려하는 일원고정효과모형만을 추정하였다. 시간의 이질성(v_i)을 고려하는 이원고정효과모형과 이원확률효과모형을 추정하였지만 추정 결과, 모형의 추정계수가 유의하지 않았다. 이에 본 연구에서는 더 유의적인 일원고정효과모형의 생산함수 추정 결과를 이용하였다.

규모수익 및 한계생산성 분석

Table 11은 13개 근해어업의 최근 3년 평균 어업별 규모수익에 대한 검정 결과로 우리나라 근해어업은 대형선망어업, 근해자망어업만이 “규모수익불변의 특성을 지닌다.”라는 귀무가설을 기각하지 않아 규모수익이 불변하는 것으로 나타났다. 외끌이대형저인망어업을 포함한 11개 어업은 귀무가설을 기각하여 각각 규모수익이 체감, 규모수익이 체증하는 것으로 나타났다. 이에 따라 11개 어업의 규모수익은 RS에 의해 판단하였다.

RS에 의한 규모수익분석 결과, 근해채낚기어업, 기선권현망어업, 잠수기어업을 제외한 모든 어업이 규모수익이 체증하는 것으로 나타났다. 하지만 규모수익이 체증하는 어업의 RS가 대부분 1에 근접하여 IRS가 사라지는 지점에 도달한 것으로 나타났다. 이 중 대형선망어업(1.0267), 근해자망어업(1.0419), 근해안강망어업(1.0799)은 RS가 1에 상당히 가까워 CRS 지점에 거의 도달한 것으로 나타났다. 이는 우리나라의 각 근해어업이 현재 최적시설규모 이상으로 어업을 하고 있다는 것을 의미한다.

따라서 우리나라 각 근해어업의 효율적이고 지속적인 어업을 위해서는 현재 수준의 규모를 유지하거나 규모를 축소해야 할 것으로 판단된다. 구체적으로 개별어업을 살펴보면 DRS인 근해채낚기어업(0.8172), 기선권현망어업(0.8199), 잠수기어업(0.8094)은 최적규모인 CRS 도달을 위해 현재 수준의 규모를 축소해야 할 것으로 판단되며, 규모 축소 시 탄력성이 음(-)수로 나타난 상기 어업의 어선척수를 줄여야 할 것으로 판단된다.

Table 12는 DRS 어업인 근해채낚기어업, 기선권현망어업, 잠수기어업이 CRS에 도달하기 위한 어선척수를 추정한 결과이다. 선원수와 근해어업 대상 자원량은 고정되어 있는 것으로 가정하고 어선척수를 변화시켜 RS가 “1”이 되는 지점의 어선척수를 추정한 결과, 현재의 수산자원과 선원수 하에서 근해채낚기어업은 기존 어선척수인 471척보다 156척 감축한 315척이 되어야 CRS에 도달하는 것으로 분석되었다. 기선권현망어업은 기존 어선척수인 384

Table 9. Result of the likelihood-ratio test

Cobb-Douglas Log Likelihood	Translog Log Likelihood	Likelihood-ratio Stat. (Prob.)
118.6441	144.4517	51.6200*** (0.0000)

Note: The Likelihood-ratio test's null hypothesis (H_0) is that two models are equal
*, **, *** indicate rejection of H_0 at the 10%, 5%, 1% significance level

Table 10. Result of significance test of squared and cross term of translog production function

	Translog	F-Stat. (Prob.)
Squared term	$H_0 : \beta_{crew crew} = \beta_{vessel vessel} = \beta_{stock stock} = 0$	14.7000*** (0.0000)
Cross term	$H_0 : \beta_{crew vessel} = \beta_{crew stock} = \beta_{vessel stock} = 0$	10.3800*** (0.0000)
Squared and cross term Joint		8.6300*** (0.0000)

Note: *, **, *** indicate rejection of H_0 at the 10%, 5%, 1% significance level

Table 11. Results of returns to scale of recent 3 year (2013–2015) average by offshore fishing gear

Gear	E_{crew}	E_{vessel}	E_{stock}	RS	t-Stat.
Large Danish Seine	-0.4222	0.8792	0.8509	1.3079***	4.5691
Large Pair Bottom Trawl	-0.0708	0.5370	0.7396	1.2058***	3.7270
Southwest Sea Medium Danish Seine	-0.3445	0.8192	0.8159	1.2906***	4.2482
Large Otter Trawl	-0.1023	0.6162	0.7505	1.2644***	3.7280
East Sea Trawl	-0.1799	0.6902	0.7476	1.2579***	3.6039
Large Purse Seine	0.3446	0.0837	0.5984	1.0267	0.5140
Offshore Angling	0.4114	-0.1716	0.5774	0.8172***	-2.6529
Anchovy Drag Net	0.5789	-0.2757	0.5168	0.8199***	-2.9284
Offshore Gill Net	0.1016	0.2018	0.7385	1.0419	1.0785
Offshore Stow Net	0.0509	0.2994	0.7296	1.0799***	2.4120
Diver fishery	0.2514	-0.0155	0.5734	0.8094*	-1.9400
Offshore Trap	-0.0411	0.4068	0.7659	1.1316***	3.9027
Offshore Long Line	-0.2793	0.5812	0.8829	1.1848***	5.3196

Note: *, **, *** indicates rejection of H_0 at the 10%, 5%, 1% significance level
Return to scale test's null hypothesis (H_0) is that RS is 1

Table 12. Number of optimal vessel scale of three offshore fishing gears with decreasing returns to scale

(Unit: number)

Gear	Before vessel	After vessel	Difference	Multiple
Offshore Angling	471	315	-156	1.50
Anchovy Drag Net	384	258	-126	1.49
Diver fishery	233	153	-80	1.52

Source: Korean Statistical Information Service (2015)

척보다 126척 감축한 258척이 되어야 CRS에 도달하고, 잠수기어업은 기존 어선척수인 233척보다 80척 감축한 153척이 되어야 CRS에 도달하는 것으로 분석되었다.

Table 13은 최근 3년(2013–2015) 평균 근해어업의 어업별 MP 추정 결과로, 근해어업 대상 자원량은 모든 어업에서 어업생산량을 증대시키는 양(+)의 생산성을 지니는 것으로 나타났다. 하지만 선원수는 대형선망어업, 근해채낚기어업, 기선권현망어업, 근해자망어업, 근해안강망어업, 잠수기어업을 제외한 모든 어업에서 어업생산량을 감소시키는 음(-)의 생산성을 지니는 것으로 나타났다. 어선척수는 근해채낚기어업, 기선권현망어업, 잠수기어업을 제외한 모든 어업에서 어업생산량을 증대시키는 양(+)의 생산성을 지니는 것으로 나타났다.

MP_{crew} 가 양(+)의 생산성을 지니고 MP_{vessel} 이 음(-)의 생산성을 지니는 어업인 근해채낚기어업, 기선권현망어업, 잠수기어업은 노동집약적인 어업을 나타내며, MP_{vessel} 이 양(+)의 생산성을 지니고 MP_{crew} 가 음(-)의 생산성을 지니는 어업인 외끌이대형저인망어업, 쌍끌이대형저인망어업, 서남해구외끌이중형저인망어업, 대형트롤어업, 동해구트롤어업, 근해연승어업은 기술집약적인 어업임을 확인

할 수 있다. 따라서 노동집약적 어업의 생산성을 증대시키기 위해서는 소규모·노후화된 어선을 감축하고 선원수가 많은 대규모 어선의 확대가 바람직하며, 기술집약적인 어업의 생산성을 증대시키기 위해서는 어업기술개발 및 어로장비·어선의 혁신 등이 필요하다.

즉, 기술집약적 어업인 외끌이대형저인망어업, 쌍끌이대형저인망어업, 서남해구외끌이중형저인망어업, 대형트롤어업, 동해구트롤어업, 근해연승어업의 어업생산량을 제고하기 위해서는 어업장비 및 어업기술의 개발과 첨단화·현대화된 어선의 신조, 노후화된 어선의 감축 등을 유인하는 반면, 선원수는 오히려 줄이는 방향으로 진행할 필요가 있다. 한편, 노동집약적 어업인 근해채낚기어업, 기선권현망어업, 잠수기어업의 어업생산량을 제고하기 위해서는 어선의 규모가 작은 어선과 노후화된 어선을 감축하고, 규모가 큰 어선으로 대체하여 어선척수는 줄이거나 유지하고 선원수는 늘려가는 방향으로 진행할 필요가 있다.

그리고 MP_{crew} , MP_{vessel} 모두 양(+)의 생산성을 지니는 어업인 대형선망어업, 근해자망어업, 근해안강망어업은 노동집약적 어업과 기술집약적 어업의 특성을 모두 지닌 어업이다. 하지만 MP_{vessel} 이 어업생산량에 미치는 영향력

Table 13. Marginal production of recent 3 year (2013–2015) average by each offshore fishing gear

(Unit: kg)

Gear	MP_{crew}	MP_{vessel}	MP_{stock}
Large Danish Seine	-11,439	205,073	0.1743
Large Pair Bottom Trawl	-4,480	392,793	0.1515
Southwest Sea Medium Danish Seine	-13,698	290,830	0.1671
Large Otter Trawl	-10,065	848,801	0.1538
East Sea Trawl	-15,531	602,342	0.1530
Large Purse Seine	36,266	107,167	0.1228
Offshore Angling	6,636	-15,715	0.1184
Anchovy Drag Net	26,826	-100,400	0.1059
Offshore Gill Net	1,407	29,778	0.1512
Offshore Stow Net	1,117	65,660	0.1495
Diver fishery	3,207	-591	0.1175
Offshore Trap	-859	90,523	0.1570
Offshore Long Line	-1,579	32,805	0.1809

이 상대적으로 더 크기 때문에 기술집약적 어업에 좀 더 가중치를 두고 정책을 추진할 필요가 있다.

비록 노동집약적 어업의 경우 “소규모·노후화된 어선을 감척하고 선원수가 많은 대규모 어선의 확대”라는 분석 결과를 도출하였지만, 선원의 높은 임금과 고령화, 그리고 선원수 부족에 따른 선원 채용의 어려움으로 인해 현실적으로 선원수 증가는 힘들 것으로 판단된다. 따라서 노동집약적 어업도 미래에는 현대화된 어선과 첨단 어업 장비의 도입을 통해 기술집약적 어업으로 전환시켜 나가야 할 것으로 판단된다.

이상의 근해어업의 어업별 MP 분석 결과, 13개 근해어업의 생산성 제고를 위해서는 최우선적으로 근해어업 대상 자원량을 증가시켜야 하며, 추가적으로 MP 가 어업생산량을 증대시키는 양(+)의 생산성을 지니는 생산요소를 증가시켜야 함을 확인하였다. 특히 근해어업 대상 자원량은 모든 어업에서 어업생산량을 증가시키는 양(+)의 생산성을 지니는 것으로 나타나 근해어업 대상 자원량의 증대를 기초로 한 어업생산량 증대가 가장 바람직할 것으로 판단된다.

종합적으로 근해어업의 생산성 제고를 위해 수산자원을 증대시키는 TAC 제도 등의 자원관리정책 및 바다목장 조성사업 등의 자원조성정책, 노후화된 어선을 감소시키는 어선감척사업, 첨단 어업 장비를 보유한 현대화된 어선을 늘리는 어선 현대화사업이 병행되어 실시되어야 할 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

본 연구는 우리나라 근해어업을 대상으로 생산함수를

추정하고 근해어업의 규모수익과 한계생산성을 분석하였다. 근해어업 생산함수는 외끌이대형저인망어업 등 13개 근해어업을 대상으로 1986년부터 2015년까지의 어업별 선원수, 어선척수, 어업생산량, 근해어업 대상 자원량 패널 자료를 이용하여 추정하였으며, 추정 결과를 바탕으로 근해어업의 규모수익과 한계생산성을 분석하였다.

근해어업 생산함수 추정 결과, 고정효과모형에 대한 u_i 검정, Hausman 검정에 의해 고정효과모형이 선정되었으며, 우도비 검정을 통해 Cobb-Douglas 생산함수보다 Translog 생산함수가 적합도 측면에서 더 우수한 모형으로 분석되었다. 아울러 Translog 생산함수의 추정 결과에 따르면 근해어업 생산량에는 어선척수가 가장 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 어선척수가 1% 증가하였을 경우 어업생산량은 5.3481% 증가하는 것으로 나타났다.

어업별 근해어업의 규모수익 분석 결과, 규모수익에 대한 검정 결과에서는 대형선망어업, 근해자망어업만이 규모수익이 불변하는 것으로 나타났다. RS 에 의한 규모수익 분석 결과에서는 근해채낚기어업, 기선권현망어업, 잠수기어업을 제외한 모든 어업의 규모수익이 체증하는 것으로 나타났다. 특히, DRS 인 근해채낚기어업, 기선권현망어업, 잠수기어업은 최적규모인 CRS 도달을 위해 규모 축소가 불가피한 것으로 분석되었으며, 규모 축소 시 탄력성이 음(-)수로 나타나는 어선척수를 줄여야함을 확인하였다.

어업별 근해어업의 한계생산성 추정 결과, MP_{stock} 은 모든 어업에서 양(+)의 생산성을 지니는 것으로 나타났다. 하지만 MP_{crew} 와 MP_{vessel} 은 일부 어업에서 음(-)의 생산성이 존재하였다. 노동집약적 어업의 생산성을 증대시키기 위해서는 소규모·노후화된 어선을 감척하고 선원수가

많은 대규모 어선의 확대가 필요하며, 기술집약적인 어업의 생산성을 증대시키기 위해서는 어업기술개발 및 어로장비·어선의 혁신 등이 필요함을 확인하였다.

그리고 13개 근해어업의 생산성 제고를 위해서는 최우선적으로 근해어업 대상 자원량을 증가시켜야 하며 추가적으로 MP 가 양(+) MP 의 생산성을 지니는 생산요소를 증가시켜야 함을 확인하였다. 특히 근해어업 대상 자원량은 모든 어업에서 어업생산량을 증가시키는 것으로 나타나 근해어업 대상 자원량의 증대를 기초로 한 어업생산량 증대가 바람직함을 확인하였다.

본 연구는 선행연구와는 다른 생산요소와 분석 방법을 이용하였다는 점과 우리나라 근해어업의 대상 자원량 추정, 근해어업의 규모수익과 MP 를 추정하였다는 점에서 의의가 존재한다. 또한 본 연구는 우리나라 근해어업의 생산성 향상을 위한 방안을 제시함으로써 현재의 어업생산 위기에 따른 정부의 정책 시행에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

하지만 추정한 근해어업 대상 자원량의 신뢰성 문제 및 생산함수 추정 시 모든 근해어업을 대상으로 분석하지 못했다는 한계와 패널 분석 시 시간의 이질성을 고려하지 못했다는 한계가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 근해어업 대상 자원량이나 선원수 관련 통계 자료 확보가 필요할 것으로 판단된다. 향후 연구 과제로 2016년의 자료를 추가한 근해어업 생산함수 추정 연구와 SFA 분석의 결과와 본 연구의 결과를 비교·분석하는 연구 역시 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 심성현(2017)의 부경대학교 응용경제학과 경제학박사 학위논문의 일부를 발췌하였습니다. 본 연구의 수행 과정에서 귀중한 자문을 아끼지 않으셨던 부경대학교 응용경제학과 교수님들과 본 저널의 심사위원님들께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 국가통계포털 (2015) 등록어선통계. <http://kosis.kr> Accessed 23 Apr 2017
- 국가통계포털 (2016) 어업생산동향조사. <http://kosis.kr> Accessed 23 Apr 2017
- 김기수, 강용주 (1993) 연안어선어업의 생산함수추정. 수산경영론집 24(2):69-82
- 김원재 (1992) 어업생산성 추정을 위한 통계적 응용에 관한 실증 연구. 수산경영론집 23(2):91-99
- 민인식, 최필선 (2012) STATA 패널데이터 분석. (주)지필미디어, 서울, 262 p
- 수산경제연구원 (2015) 어업경영조사. <http://fei.suhyp.co.kr> Accessed 23 Apr 2017
- 수산정보포털 (2016) 어업생산통계. <http://www.fips.go.kr> Accessed 23 Apr 2017
- 심성현, 남종오 (2015) 생물경제모형을 이용한 참조기의 자원평가에 관한 연구. Ocean Polar Res 37(2):161-177
- 이준구 (2013) 미시경제학. 문우사, 서울, 783 p
- 조정희, 이정삼, 남종오 (2009) 생물경제모형을 이용한 수산물 최적생산량 추정 및 활용에 관한 연구. 한국해양수산개발원, 정책연구 2009-14, 153 p
- 허수진 (2013) 패널회귀분석을 이용한 연근해어업 생산함수 추정. 경제학석사 학위논문, 부경대학교, 70 p
- Gujarati D (2016) 예제를 통한 계량경제학. 시그마프레스, 서울, 560 p
- Arrow KJ, Chenery HB, Minhas BS, Solow RM (1961) Capital-labor substitution and economic efficiency. Rev Econ Statistics 43(3):225-250
- Christensen LR, Jorgenson DW, Lau LJ (1973) Transcendental logarithmic production frontiers. Rev Econ Statistics 55(1):28-45
- Clarke RP, Yoshimoto SS, Pooley SG (1992) A bioeconomic analysis of the North-western Hawaiian Islands lobster fishery. Mar Res Econ 7(3):115-140
- Cobb CW, Douglas PH (1928) A theory of production. Am Econ Rev 18(1):139-165
- Crentsil C, Ukpong IG (2014) Production function analysis of fish production in Amansie-West district of Ghana, West Africa. Am J Exp Agr 4(7):817-835
- Fox WW (1970) An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations. T Am Fish Soc 99(1):80-88
- Gavaris S (1980) Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data. Can J Fish Aquat Sci 37:2272-2275
- Jahanifar K, Abedi Z, Zeraatkish Y (2010) Estimation of production function in fishery on the coasts of Caspian Sea. Int J Biol Biomol Agr Food Biotech Eng 4(5):276-279
- Kateregga E, Sterner T (2014) Production functions for Nile perch and Tilapia fisheries: a case study of Uganda's section of lake Victoria. Int J Agri Innov Res 2(4):448-457
- Nahrstedt B, Jorgensen HP, Hoff A (2002) Estimation of production functions on fishery: a danish survey. <https://ideas.repec.org/p/sdk/wpaper/33.html> Accessed 23 Apr 2017
- Quinn TJ, Deriso RB (1999) Quantitative fish dynamics. University of Oxford, New York, 560 p

- Schaefer MB (1954) Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *B Inter-American Trop Tuna Comm* **1**(2):27–56
- Schnute J (1977) Improved estimates from the Schaefer Production Model : theoretical considerations. *J Fish Res Board Can* **34**(5):583–603
- Walters CJ, Hilborn R (1976) Adaptive control of fishing systems. *J Fish Res Board Can* **33**(1):145–159
- 국문 참고자료의 영어 표기**
English translation / Romanization of references originally written in Korean
- Korean Statistical Information Service (2015) Fishing fleet statistics. <http://kosis.kr> Accessed 23 Apr 2017
- Korean Statistical Information Service (2016) Fishery production trend. <http://kosis.kr> Accessed 23 Apr 2017
- Kim KS, Kang YJ (1993) An estimation of production function in the coastal fishing. *J Fishery Bus* **24**(2):69–82
- Kim WJ (1992) An empirical study to estimate fisheries productivity using a statistical application. *J Fishery Bus* **23**(2):91–99
- Min IS, Choi PS (2013) Panel data analysis. Jiphilmedia, Seoul, 262 p
- National Federation of Fisheries Cooperatives (2016) Annual fisheries business statistics. <http://fei.suhyup.co.kr> Accessed 23 Apr 2017
- Fisheries Information Service (2016) Fishery production. <http://www.fips.go.kr> Accessed 23 Apr 2017
- Sim SH, Nam JO (2015) A stock assessment of Yellow Croaker using Bioeconomic Model: a case of single species and multiple fisheries. *Ocean Polar Res* **37**(2):161–177
- Lee JG (2013) Microeconomics. Moonwoosa, Seoul, 783 p
- Jo JH, Lee JS, Nam JO (2009) A study on estimating the fishery optimal production by using a bio-economic model. Korea maritime institute, Policy Research 2009–14, 153 p
- Heo SJ (2013) An estimation of Korean offshore and coastal fisheries production function based on panel data analysis. M.D. Thesis, Pukyong National University, 70 p
- Gujarati D (2016) Econometrics by example. SigmaPress, Seoul, 560 p

Received Oct. 23, 2017

Revised Dec. 1, 2017

Accepted Dec. 4, 2017

APPENDIX

Table APPENDIX A. Result of general linear model

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Stat.	Prob.
C	4.6202***	0.1279	36.1255	0.0000
1987	-0.2410	0.1529	-1.5766	0.1158
1988	-0.3825**	0.1529	-2.5026	0.0128
1989	-0.3551**	0.1529	-2.3232	0.0207
1990	-0.2840*	0.1529	-1.8580	0.0640
		∴		
2012	-0.5139***	0.1529	-3.3617	0.0009
2013	-0.5467***	0.1529	-3.5764	0.0004
2014	-0.5545***	0.1529	-3.6275	0.0003
2015	-0.6030***	0.1529	-3.9448	0.0001
d1	2.0458***	0.1006	20.3309	0.0000
d2	2.2509***	0.1006	22.3689	0.0000
		∴		
d11	1.3751***	0.1006	13.6653	0.0000
d12	1.1372***	0.1006	11.3017	0.0000
R-squared	0.8297		Mean dependent var	5.9599
Adjusted R-squared	0.8096		S.D. dependent var	0.8932
S.E. of regression	0.3897		Akaike info criterion	1.0547
Sum squared resid	52.8548		Schwarz criterion	1.4818
Log likelihood	-163.6594		Hannan-Quinn criterion	1.2240
F-statistic	41.3538		Durbin-Watson stat	0.5222
Prob. (F-statistic)	0.0000			

Note: *, **, *** mean that estimators are statistically significant under 10%, 5%, 1% critical values respectively

Table APPENDIX B. Production rate of thirteen offshore fisheries (1986–2015)

Gear	(Unit: %)							
	86	87	88	...	13	14	15	Average
Large Danish Seine	1.6	1.2	1.2	...	1.7	1.4	1.4	1.4
Large Pair Bottom Trawl	8.1	9.7	9.7	...	7.9	7.6	6.3	9.6
Southwest Sea Medium Danish Seine	4.1	3.7	2.2	...	2.3	2.1	1.9	2.5
Large Otter Trawl	11.0	9.6	14.9	...	9.1	11.4	9.4	11.2
East Sea Trawl	1.9	1.2	0.7	...	5.3	5.1	3.2	2.9
Large Purse Seine	35.0	32.7	37.8	...	23.3	23.9	29.8	27.4
Offshore Angling	2.0	3.9	3.1	...	6.1	5.3	6.7	7.6
Anchovy Drag Net	11.4	10.6	6.7	...	19.9	19.3	19.3	14.2
Offshore Gill Net	4.2	3.7	2.5	...	8.8	7.8	6.8	5.4
Offshore Stow Net	18.5	21.0	17.8	...	6.6	6.8	6.2	11.1
Diver fishery	1.2	1.2	1.3	...	1.2	1.3	1.2	1.5
Offshore Trap	0.7	1.1	1.4	...	5.6	5.6	5.9	3.6
Offshore Long Line	0.4	0.5	0.7	...	2.1	2.5	2.0	1.6
Sum	100	100	100	...	100	100	100	100

Source: Fisheries Information Service (2016)