



SFA를 이용한 원양참치어업의 어선별 생산성분석

김학수 · 박철형[†]

부경대학교(학생) · [†]부경대학교(교수)

Analysis on the Productivity of Overseas Tuna Fisheries by Fishing Boat Using SFA

Hak-Su KIM · Cheol-Hyung PARK[†]

Pukyong National University(student) · [†]Pukyong National University(professor)

Abstract

This study analyzed the efficiency of 132 overseas long line and overseas purse seine fishing boats using SFA model. In the production function, the elastic Translog production function is used because it is less restrictive than the Cobb-Douglas production function. We selected the amount and value of catch as the dependent variables. Assuming the distribution of the error term in technical inefficiency to be different, each result was obtained. Also, when we assumed that the distribution of u_i follows the truncated normal distribution, inefficiency determinants were analyzed by adding an environmental variable that was not considered in the production function. If the distribution of the error term in technological inefficiency was assumed to be a half-normal distribution and the dependent variable is the amount of catch, the DMU 95 is the most efficient DMU, and the DMU 110 is the most inefficient DMU. The average of efficiency was 0.996752 and the standard deviation of efficiency was 0.000012.

When the assumption of the error term was the same and the dependent variable was the value of catch, the DMU 95 was the most efficient DMU, and the DMU 32 was the most inefficient DMU. The average of efficiency was 0.997248 and the standard deviation of efficiency was 0.000012.

On the other hand, when the distribution of the error term in technical inefficiency was assumed to be a truncated normal distribution and the model introducing the new variables (fuel cost, entry fee, fishing method dummy variable) determining the efficiency, a different set of estimates could be obtained. Regardless of whether the dependent variable was amount of catch or value of catch, the most efficient DMU was DMU14, and the most inefficient DMU was DMU14.

The log likelihood statistics, AIC, and SBC values were compared to determine the suitable model for the analysis. As a result of the analysis, when the dependent variable was the value of catch, the model with the added fuel cost, entry fee, and fishing method dummy variables was selected as the most suitable model.

To summarize, this study was meaningful in that it analyzed the efficiency by fishing boat of overseas tuna fishery through SFA model. In addition, it is important to analyze the cause of the inefficiency further from the general SFA efficiency analysis.

Key words : Overseas tuna fisheries, Stochastic frontier analysis, SFA, Efficiency, Translog production function

[†] Corresponding author : 051-629-5319, chpark@pknu.ac.kr

I. 서론

원양어업이란 해외수역¹⁾에서 수산동식물을 포획 및 채취하는 어업활동을 의미한다. 예로부터 원양어업은 해외로부터의 안정적인 수산자원 공급을 통해 1960년대와 1970년대에 걸쳐서 국민경제 발전에 이바지했으며, 당시 빈약했던 국민식탁에 양질의 동물성 단백질을 공급해왔다. 뿐만 아니라 원양어업은 연근해 수산자원의 보호와 어장 황폐화의 방지에도 큰 기여를 하고 있다. 그 중에서도 원양 참치어업은 1970년대 초 원양수산물 수출총액 가운데 50%를 차지하는 등 단일 수출어종으로는 최고의 위치를 차지하고 있었다.

그러나 최근 원양참치어장을 보유한 연안국, 관련 국제기구 및 지역수산기구가 자원 관리와 보존을 위해 입어료 인상, 조업일수 규제 등의 조치를 취하면서 원양참치어업의 조업여건은 갈수록 악화되는 실정이다. 실제로 이러한 상황을 방증하듯 한국원양산업협회장은 2019년 신년사에서 원양선사들의 구인난과 어선의 노후화를 문제삼으며 현재 우리나라 원양어업의 실태에 대한 명확한 진단이 필요하다는 점을 역설했다.

우리나라는 원양어업의 조업여건 악화를 탈피하기 위해 생산, 유통, 가공, 해외양식 등의 분야를 하나의 사업으로 수용하여 원양산업화를 추구하는 ‘제3차(2019~2023) 원양산업발전종합계획’을 수립하였다. 이 계획에서 해양수산부는 우리나라 원양산업을 지속가능하고 국제경쟁력 있는 산업으로 육성하도록 하면서, 2023년까지 원양어업 생산량을 90만 톤으로 증대하겠다는 목표를 제시했다.

이런 점들을 종합해보면 우리나라 원양어업의 생산성에 대한 명확한 진단이 필요한 시점이라고 판단할 수 있다. 이에 본 연구는 원양참치어업의 산업화에 초석이 되는 어선어업, 즉 원양참치어

업의 어선별 생산효율성 분석을 목적으로 한다. 구체적으로는 확률적변경분석(Stochastic Frontier Analysis : SFA)을 이용하여 원양참치어선들의 생산효율성을 도출하고, 생산성에 영향을 미치는 변수를 추정하여 제시함으로써 우리나라의 원양어업이 경쟁력 있는 원양산업으로 나아가는데 실용적인 정보를 제공하고자 한다.

이 분야와 관련된 선행연구로는 효율성 분석에 관한 Park and So(2013)의 “SFA와 DEA를 이용한 종합물류인증기업의 효율성 비교분석”이 있고, 수산업 분야의 효율성 관련 연구로는 Kim and Park(2016)의 “SFA를 이용한 굴, 홍합양식어의 효율성 분석”, Kim and Song(2012)의 “SFA를 이용한 전복양식업의 지역별 효율성 분석에 관한 연구” 등이 있다. 그리고 본 연구와 가장 유사한 대상을 연구한 논문으로는 Jo et al.(2017)의 “SFA를 이용한 태평양 원양연승어업의 어선별 생산효율성 분석”이 있다.

이렇듯 수산업 분야에서도 다양하게 효율성분석이 이루어지고 있을 뿐만 아니라 원양어업의 효율성 분석도 이루어지고 있다. 그러나 원양참치어업의 어선별 마이크로 데이터를 이용하여 효율성을 분석하고, 더 나아가 효율성에 영향을 주는 결정요인들을 분석한 연구는 아직 이루어진 바가 없다. 따라서 본 연구는 마이크로 데이터를 기반으로 원양참치어업의 효율성을 분석하고 효율성에 영향을 미치는 변수를 추적함으로써 우리나라 원양어업의 생산효율성을 정확히 진단하고, 이를 바탕으로 기존연구들과는 차별성 있는 생산성향상의 정보를 제공하고자 한다.

II. 분석 모형

효율성분석에 이용되는 대표적인 방법론으로는 자료포락분석(Data Envelopment Analysis : DEA)과 SFA가 있다. Charnes et al.(1978)에 의해 제안된 DEA는 DMU들의 투입요소와 산출요소를 이

1) 동해·서해 및 동중국해와 북위 25도선 이북, 동경 140도선 이서의 태평양해역을 제외한 해역

용해 경험적 프론티어를 도출하고 각 DMU들의 효율성을 추정하는 비모수적 접근방법이다. DEA는 사전에 생산함수를 설정하지 않기 때문에 함수 추정에 의한 오차를 줄일 수 있다는 장점이 있지만, 효율변경으로부터의 편차를 모두 기술적 비효율성이라 간주하기 때문에 비효율성의 과대 추정 문제를 발생시킨다. 반면, SFA에서는 사전에 특정한 함수를 가정해야하고 비효율성을 나타내는 오차항의 분포를 가정해야 한다는 한계점이 있지만, 확률적 오차항과 기술적 비효율성에 대한 오차항을 분리하여 분석하기 때문에 DEA에 비해 효율성 추정이 보다 정확하다는 장점이 있다(Park and So, 2013).

SFA모형, 즉 확률적 프론티어 모형은 확정적 프론티어에서 오차항이 갖는 비효율의 과대추정 문제를 해결하기 위해 Aigner et al.(1997) 및 Meeusen et al.(1977)에 의해 확률오차항이 추가된 모형으로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln(Q_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln(X_{ji}) + v_i - u_i \dots\dots\dots (1)$$

여기서 Q_i 는 i 번째 DMU의 산출량이고, X_{ji} 는 투입요소이다. v_i 와 u_i 는 앞서 언급한 확률적 오차항과 비효율성에 대한 오차항을 나타낸다. 확률적 오차항 v_i 는 모형설계의 오류, 측정의 오차 및 확률적 사건의 영향이 포함되며, 확률변수 u_i 는 DMU_i 의 비효율성을 나타낸다.

그리고 기술적 비효율성의 분포는 반정규분포(half-normal), 절단된 정규분포(truncated-normal), 지수분포(exponential) 등의 분포로 가정할 수 있다(Cho et al., 2017).

본 분석에서는 이와 같이 다양한 분석 모형들 중 적합한 모형을 찾기 위해 각 모형의 로그 우도통계치를 이용했다. 다음은 각 모형의 로그우도 함수를 나타낸다(Coelli, T. J. 1995, Pagan, A. R., A. D. Hall. 1983).

- Normal & half-normal model

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{1}{2} \ln \left(\frac{2}{\pi} \right) - \ln \sigma_s + \ln \Phi \left(-\frac{s \epsilon_i \lambda}{\sigma_s} \right) - \frac{\epsilon_i^2}{2\sigma_s^2} \right\} \dots\dots (2)$$

- Normal & exponential model

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ -\ln \sigma_u + \frac{\sigma_v^2}{2\sigma_u^2} + \ln \Phi \left(\frac{-s \epsilon_i - \frac{\sigma_v^2}{\sigma_u}}{\sigma_v} \right) + \frac{s \epsilon_i}{\sigma_u} \right\} \dots\dots (3)$$

- Normal & truncated-normal model

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ -\frac{1}{2} \ln(2\pi) - \ln \sigma_s - \ln \Phi \left(\frac{\mu}{\{\sigma_s^2 \gamma\}^{1/2}} \right) \right. \\ \left. + \ln \Phi \left[\frac{(1-\gamma)\mu - s \gamma \epsilon_i}{\{\sigma_s^2 \gamma(1-\gamma)\}^{1/2}} \right] - \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_i + s \mu}{\sigma_s} \right)^2 \right\} \dots\dots (4)$$

여기서 σ_s 는 $(\sigma_u^2 + \sigma_v^2)^{1/2}$ 을, λ 는 σ_u/σ_v 를, γ 는 σ_u^2/σ_s^2 을 의미하고, ϵ_i 는 $y_i - X_i\beta$ 를 의미한다. 그리고 $\Phi()$ 는 표준정규분포의 누적분포 함수를 나타낸다.

이후 비효율성의 원인분석을 위해 제 3의 변수를 추가한 모형에서는 μ 를 공변량 집합 w 의 선형조합으로 나타낼 수 있다.

$$\mu = W_i \delta \dots\dots\dots (5)$$

그러므로 비효율성 원인분석을 위해 제3의 변수를 추가한 모형에서의 로그우도 함수는 다음과 같이 도출된다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ -\frac{1}{2} \ln(2\pi) - \ln \sigma_s - \ln \Phi \left(\frac{W_i \delta}{\{\sigma_s^2 \gamma\}^{1/2}} \right) \right. \\ \left. + \ln \Phi \left[\frac{(1-\gamma) W_i \delta - s \gamma \epsilon_i}{\{\sigma_s^2 \gamma(1-\gamma)\}^{1/2}} \right] - \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_i + s W_i \delta}{\sigma_s} \right)^2 \right\} \dots\dots (6)$$

앞서 언급한 것과 같이 SFA분석에 있어서는 기본적인 생산함수 모형과 비효율성의 분포를 사전에 가정해야 한다. 다시 말해 어떤 생산함수 모형과 비효율성의 분포가 본 분석에 더 적합한가를 검증하는 것이다. 먼저, 가장 일반적인 생산함수로 콥-더글라스 생산함수를 고려할 수 있으나 탄력성을 고정한다는 제약이 있다. 한편, 콥-더글라스 생산함수에서 각 투입변수를 곱한 항과 제곱한 항까지 고려하여 보다 탄력적인 형태의

트랜스로그 생산함수를 고려할 수 있다.

본 연구에서 고려한 콥-더글라스 생산함수와 트랜스로그 생산함수의 수식은 다음과 같다(Sim and Nam, 2017).

$$\ln output_i = \beta_0 + \beta_1 \ln K_i + \beta_2 \ln L_i + v_i - u_i \dots (7)$$

$$\ln output_i = \beta_0 + \beta_1 \ln K_i + \beta_2 \ln L_i \dots (8)$$

$$+ \frac{1}{2} \beta_3 \ln(K_i)^2 + \frac{1}{2} \beta_4 \ln(L_i)^2$$

$$+ \beta_5 \ln(K_i) \ln(L_i) + v_i - u_i$$

마지막으로 효율성 추정에 관한 DMU_i 의 기술 효율성(technical efficiency)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$TE_i = \frac{Y_i}{Y_i^*} = \exp(-u_i) \dots (9)$$

TE_i 는 0에 가까울수록 비효율적인 DMU_i 임을, 1에 가까울수록 효율적인 DMU_i 임을 의미하는데, 위의 수식에서 알 수 있듯 u_i 의 값이 0일 때 TE_i 는 1이 되어 가장 효율적인 값이 도출되며, TE_i 는 [0,1]의 구간 내에서 결정된다(Kim and Park, 2016).

III. 분석 결과

1. 분석 자료

본 연구는 2015년 원양참치어업 어선 총 132척을 DMU로 선정하여 분석을 시행했다. 2015년 원양선망 및 원양연승 어선은 약 150척이었으나, 분석에 필요한 항목에 결측치를 가진 몇몇 DMU는 제외하고 132척에 대해서 분석을 실시했다.

투입변수로는 자본의 대리변수로 어선톤수를 고려하고, 노동의 대리변수로 어로일수를 고려했다. 산출변수는 생산량과 생산금액을 고려했으며, 각 산출변수에 따라 서로 다른 두 가지 분석결과를 제시했다. 그리고 생산함수에서 고려하지는

않았지만, 어선의 생산효율성에 영향을 줄 수 있는 환경변수로써 연료비, 입어료, 그리고 업종의 더미변수를 고려했다.2)

다음 <Table 1>은 투입변수, 산출변수, 환경변수의 기초통계량을 나타낸다.

<Table 1> Basic Statistics of Input · Output · Environmental Variable

		Max	Min	Average	Standard Deviation
Input Variable	Ton (MT)	2,023	173	571	374
	Days (days)	365	105	319	48
Output Variable	Amount of catch (MT)	17,290	121	2,471	4,454
	Value of catch (1,000 won)	24,595,589	576,907	4,379,634	5,979,875
environmental variable	Oil (1,000 won)	2,996,818	247,321	968,866	800,814
	Enter (1,000 won)	4,326,047	1,320	583,565	1,191,850

2. 분석모형 선택

SFA분석에 있어서는 기본적인 생산함수 모형을 선정해야한다. 즉, 분석모형에서 언급한 두 생산함수 중 어떤 모형이 본 분석에 보다 적합한

2) 서로 다른 어구어법에 대해 각기 다른 생산함수를 추정하였을 때는 자유도의 제약으로 인해, 만족할 만한 적합도를 유지하면서 유의적인 추정결과가 확보되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 통계적으로 유의한 추정결과를 확보하기 위해 두 자료를 pooling하여 어종에 기초한 두 어구어법의 통합적인 생산함수를 추정하였다. 다행히 서로 다른 어구어법의 차이는 효율변경의 위치를 결정짓는 생산함수 자체가 아닌 비효율성의 결정함수를 통하여 사후적으로 식별할 수 있었다. 이는 주어진 자료를 소실하지 않는 범위 내에서는 최선의 연구모형이었음을 밝힌다.

함수형태 인지를 검정하는 것이다.

다음 <Table 2>는 콥-더글라스 생산함수 모형과 트랜스로그 생산함수 모형의 우도비검정 결과를 나타낸 것이다.

검정결과, 콥-더글라스 생산함수와 트랜스로그 생산함수간의 차이가 없다는 귀무가설이 기각되었으며, 이는 종속변수가 생산량이든 생산금액이든 동일한 결과를 도출할 수 있었다. 즉, 종속변수가 생산량일 때와 생산금액일 때 모두 제약이 적고 탄력적인 트랜스로그 생산함수가 본 연구에 적합한 모형임이 입증되었다.

<Table 2> Log Likelihood Ratio Test Result about Production function

Independent Variable	Cobb-Douglas	Translog	LR Statistics
Amount of catch	-116.1574	-94.48079	43.35
Value of catch	-70.44372	-47.49065	45.91

3. SFA 분석 결과

SFA분석에서는 기술적 비효율성을 나타내는 오차항 u_i 의 분포를 어떻게 가정하느냐에 따라 다양한 분석이 가능하다. 다음 <Table 3>에서는 종속변수가 생산량인 트랜스로그 생산함수에서 기술적 비효율성을 나타내는 오차항 u_i 가 반정규 분포일 때, 지수분포일 때, 절단된 정규분포일 때를 가정한 각각의 추정결과를 나타낸다.

u_i 의 분포에 관계없이 상수항, 톤수, 어로일수, 톤수×어로일수의 항들은 1% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났으며, 톤수와 어로일수의 제곱항들 역시 5% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다.

그리고 어선의 톤수가 크면 클수록, 조업일수가 많으면 많을수록 생산량이 증가하는 것으로 나타나 일반적인 생산함수의 특성들을 만족하는 것으로 분석되었다. 반대로 각 투입변수의 제곱

항의 부호가 음(-)인 것을 고려해볼 때, 투입변수를 계속해서 투입하면 단위노력 당 생산량의 증가폭인 한계생산성은 점점 감소할 것이라는 결과가 도출되어, 이 역시 일반적인 생산함수의 특성을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

이때 연료비와 입어료 역시 자본의 대리변수이므로 생산함수에 포함되어야 한다는 것이 일반적인 시각이라 할 수 있다. 그러나 본 분석에서는 생산함수에 두 변수를 추가하여 분석한 결과, 유의한 독립변수로 추정되지 않았다. 때문에 이후 생산함수 외에 효율성에 영향을 주는 환경변수로 고려하여 추가적인 분석을 실시했다.³⁾ 이러한 결과는 연료비와 입어료가 어업에 중요한 변수이기는 하나, 해당 변수의 투입이 증가하더라도 직접적인 생산량의 증가를 가져오지는 않는다는 것을 의미한다.

<Table 3> Translog Model Results Using Amount by Independent Variable

Amount of catch	H-normal	Exponential	T-normal
β_0 (Constant)	-223.1824*** (-7.28)	-223.1723*** (-7.28)	-223.1888*** (-7.28)
β_1 (Ton)	32.78899*** (6.97)	32.78767*** (6.97)	32.78858*** (6.97)
β_2 (Days)	42.41808*** (5.58)	42.42049*** (5.58)	42.42026*** (5.58)
β_3 (Ton×Ton)	-0.9379063** (-2.48)	-0.9377536** (-2.48)	-0.9378579** (-2.48)
β_4 (Days×Days)	-2.969181** (-2.48)	-2.969687** (-2.48)	-2.969594** (-2.48)
β_5 (Ton×Days)	-4.217439*** (-6.10)	-4.217386*** (-6.10)	-4.217425*** (-6.10)
Log(likelihood)	-94.480742	-94.483261	-94.480738

Note: ***, **, and * represents statistically significant at 1%, 5%, and 10% respectively.

3) 이는 생산함수 상에서 발생할 수 있는 부적합변수(redundant variables)의 오류와 비효율성 결정함수 상에서 발생할 수 있는 누락변수(omitted variables)의 편의에 따른 모형설정오류를 회피하기 위한 연구설계이다.

다음 <Table 4>에서는 종속변수가 생산금액일 때의 분석결과를 나타냈다. 종속변수가 생산량일 때와 유사한 분석결과를 도출할 수 있었다. 즉, 톤수와 조업일수가 증가하면 생산금액 또한 증가하지만, 이에 따른 생산금액의 증가폭은 점점 감소한다는 결과를 도출할 수 있었다.

<Table 4> Translog Model Results Using Value by Independent Variable

Value of catch	H-normal	Exponential	T-normal
β_0 (Constant)	-149.2557*** (-6.95)	-149.2484*** (-6.95)	-149.2501*** (-6.95)
β_1 (Ton)	24.13749*** (7.33)	24.13752*** (7.33)	24.13763*** (7.33)
β_2 (Days)	29.29887*** (5.50)	29.2985*** (5.50)	29.2961*** (5.50)
β_3 (Ton×Ton)	-0.6325644** (-2.39)	-0.6325751** (-2.39)	-0.6326068** (-2.39)
β_4 (Days×Days)	-1.699782** (-2.03)	-1.699719** (-2.03)	-1.699306** (-2.03)
β_5 (Ton×Days)	-3.195667*** (-6.60)	-3.195661*** (-6.60)	-3.195642*** (-6.60)
Log(likelihood)	-47.490619	-47.493178	-47.490614

Note: ***, **, and * represents statistically significant at 1%, 5%, and 10% respectively.

앞선 분석결과에서 보듯 종속변수와 비효율성 오차항의 분포에 대한 가정에 따라 다양한 결과를 도출할 수 있다. 이처럼 다양한 모형에 대한 분석을 시행할 때, 모형의 적합도를 측정하기 위한 척도로써 로그 우도통계치, AIC(Akaike 기준), SBC(Schwartz 기준) 등을 이용할 수 있다. 이를 통해 각각의 모형이 종속변수를 얼마나 잘 설명하는지를 알 수 있다.

다음 <Table 5>에서는 위에서 제시한 척도를 바탕으로 각 모형의 적합도를 나타냈다. 이때 로그 우도 통계치는 클수록, AIC와 SBC의 값은 작으면 작을수록 적합도가 높은 모형이라 평가할 수 있다. 먼저, 생산량을 종속변수로 했을 때, 그 격차가 크진 않았지만 절단된 정규분포모형의 로

그 우도통계치가 가장 큰 것을 확인 할 수 있었다. AIC와 SBC 역시 그 차이는 크지 않지만, 반정규분포 모형이 가장 낮은 값을 가지는 것으로 나타나, 종속변수가 생산량일 때는 반정규분포 모형이 가장 종속변수를 잘 설명하는 모형이라 판단할 수 있다. 이러한 결과는 종속변수가 생산금액일 때도 동일한 결과가 도출되었다.

한편, 종속변수 간의 비교에서는 그 격차가 크게 나타났다. 종속변수가 생산량일 때보다 생산금액일 때의 로그 우도통계치가 높고, AIC와 SBC 값은 낮게 도출되었다. 다시 말해, 생산량보다 생산금액을 종속변수로 했을 때가 분석에 더 적합한 모형이라 해석할 수 있다. 이는 생산금액이란 변수 자체에 생산량과 함께 생산된 어종의 가치까지 고려되기 때문에 모형의 적합도가 더 높게 나타나는 것으로 판단할 수 있다.

<Table 5> Goodness of Fit about Each Model

Independent Variable	Distribution of u_i	Log (likelihood)	AIC	SBC
Amount of catch	H-normal	-94.48074	1.55274	1.72745
	Exponential	-94.48326	1.55278	1.72749
	T-normal	-94.48074	1.56789	1.76444
Value of catch	H-normal	-47.49062	0.84077	1.01548
	Exponential	-47.49318	0.84081	1.01552
	T-normal	-47.49061	0.85592	1.05247

다음으로 반정규분포와 절단된 정규분포 중 어떤 분포가 기술적 비효율성의 분포를 설명하는데 적합한지를 판단하기 위해 $H_0 : \mu = 0$ 에 대한 우도비검정을 실시하였다.

분석결과 종속변수가 생산량일 때와 생산금액일 때 모두 귀무가설이 채택되었다. 앞선 적합도 측정에서는 차이가 크게 나타나지 않았지만, 이를 통해 반정규분포가 절단된 정규분포에 비해 기술적 비효율성 u_i 의 분포를 잘 설명해 준다는 결과가 도출되었다. 그에 대한 통계치는 <Table 6>에 나타났다.

<Table 6> Log Likelihood Ratio Test Result about Distribution of Error term

Independent Variable	LR Statistics	Critical Point	Result
Amount of catch	0.00	$\chi^2_{0.95,1} = 3.841$	Adopt
Value of catch	0.00	$\chi^2_{0.95,1} = 3.841$	Adopt

이렇게 기술적 비효율성 오차항의 분포에 따른 SFA분석 결과, 각 DMU들의 기술적 효율성 추정치를 도출했다. 다음은 DMU들의 생산효율성에 대한 기초통계량을 요약했다.

<Table 7> Basic Statistics of Efficiency Result about Each Model

DMU	Amount of catch		Value of catch	
	H-normal	T-normal	H-normal	T-normal
Max	0.99681041	0.99855652	0.99729739	0.99876047
Min	0.99673135	0.99852908	0.99722128	0.99873296
Average	0.99675206	0.99853627	0.99724797	0.99874262
Standard Deviation	0.00001211	0.00000420	0.00001241	0.00000449

반정규분포 모형 하에서 생산효율성의 추정치 가운데 가장 효율적인 DMU는 DMU95였으며, 종속변수가 생산량일 때와 생산금액일 때 모두 가장 효율적인 DMU인 것으로 분석되었다.

반대로 가장 비효율적인 DMU는 종속변수에 따라 달라졌는데, 종속변수가 생산량일 때는 DMU110, 종속변수가 생산금액일 때는 DMU32가 가장 비효율적인 DMU로 분석되었다.

종속변수가 달라짐에 따라서 비효율적인 DMU가 바뀌었지만, 종속변수가 생산금액일 때 DMU110의 기술적 효율성 순위가 130번째이고, 종속변수가 생산량일 때 DMU32의 기술적 효율성 순위가 126번째임을 고려해본다면, 종속변수가 달라지더라도 DMU의 효율성에는 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 종속

변수로 이용된 생산량과 생산금액 사이의 밀접한 상관관계에서 기인한다는 점을 예측할 수 있다.

이러한 예측을 통계적으로 검정하기 위해 각 DMU들의 생산효율성에 순위를 부여하고, 종속변수가 생산량일 때와 생산금액일 때의 순위 차에 대한 분석을 실시했다. 이는 대응표본 t검정을 이용해 분석했으며 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

H_0 : 종속변수가 생산량일 때의 생산효율성 순위와 종속변수가 생산금액일 때의 생산효율성 순위에 차이가 없다.

H_1 : 종속변수가 생산량일 때의 생산효율성 순위와 종속변수가 생산금액일 때의 생산효율성 순위에 차이가 있다.

검정결과, 생산량 효율성 순위와 생산금액 효율성 순위 차의 평균은 -0.015였으며, p-값이 0.993으로 나타나 귀무가설을 채택하는 것으로 분석되었다. 이를 통해 종속변수가 달라지더라도 DMU들의 생산효율성 순위에는 유의적인 차이가 없다는 것을 통계적으로 확인할 수 있었다.

<Table 8> Result of Paired Samples Test(H-normal)

Mean of Paired Differences	Std. Deviation of Paired Differences	95% Confidence Interval of the Difference		p-value
-0.015	21.073	-3.644	3.613	0.993

4. 비효율성의 결정요인 분석

다음 <Table 9>, <Table 10>은 트랜스로그 생산함수에서 고려하지 않은 변수들 가운데 효율성에 영향을 미치는 변수들을 모형에 추가하여 추정된 결과이다. 이런 효율성의 결정요인들을 분석모형에 추가하기 위해서 기술적 비효율성 오차항의 분포에 절단된 정규분포를 사용하였다.

종속변수를 생산량으로 한 <Table 9>에서 Model 2는 기술적 비효율성 오차항의 분포를 절단된 정규분포로 가정했을 때의 결과이며, Model

1은 동일한 가정하에서 생산함수로써 고려하지 않은 환경변수를 효율성의 결정요인으로 추가한 모형이다. 이때 고려한 변수는 연료비, 입어료, 업종의 더미변수로 원양선망어업을 1로 식별하여 이들 변수가 기술적 비효율성의 결정에 유의한 영향을 주는 것으로 분석되었다.

구체적으로는 연료비가 증가할수록 비효율성이 커지는 것으로 분석되었다. 반대로 입어료는 높아질수록 비효율성이 작아지는 것으로 분석되었는데, 이는 입어료가 높은 어장에선 자원이 체계적으로 관리되고 있음을 방증한다. 그리고 업종에 따라서는 원양연승어업보다 원양선망어업이 보다 효율적인 조업을 하고 있는 것으로 분석되었다.

<Table 9> Translog Model Results Introducing Inefficiency Cause Variable(Amount)

Amount of catch	Model 1	Model 2
β_0 (Constant)	-128.1753*** (-6.34)	-223.1888*** (-7.28)
β_1 (Ton)	16.02931*** (5.09)	32.78858*** (6.97)
β_2 (Days)	29.0505*** (6.06)	42.42026*** (5.58)
β_3 (Ton×Ton)	0.0619236 (0.25)	-0.9378579** (-2.48)
β_4 (Days×Days)	-2.153885*** (-2.91)	-2.969594** (-2.48)
β_5 (Ton×Days)	-2.683614*** (-6.14)	-4.217425*** (-6.10)
δ_1 (oil)	0.2540654*** (11.68)	
δ_2 (enter)	-0.1257926*** (-5.73)	
δ_3 (kinds)	-1.856457*** (-11.25)	
Log(likelihood)	-29.801144	-94.480738

Note: ***, **, and * represents statistically significant at 1%, 5%, and 10% respectively.

종속변수를 생산금액으로 달리하여 분석한 <Table 10>에서도 <Table 9>와 동일한 결과를 도출할 수 있었다. 구체적인 수치에서의 차이만 있을 뿐 연료비, 입어료, 업종의 더미변수가 효율성에 미치는 유의성이라든지, 해당 변수의 계수 부호(+, -)는 동일하게 분석되었다.

<Table 10> Translog Model Results Introducing Inefficiency Cause Variable(Value)

Value of catch	Model 1	Model 2
β_0 (Constant)	-87.69532*** (-4.70)	-149.2501*** (-6.95)
β_1 (Ton)	13.60993*** (4.68)	24.13763*** (7.33)
β_2 (Days)	20.1464*** (4.57)	29.2961*** (5.50)
β_3 (Ton×Ton)	0.0013014 (0.01)	-0.6326068** (-2.39)
β_4 (Days×Days)	-1.065562 (-1.57)	-1.699306** (-2.03)
β_5 (Ton×Days)	-2.225985*** (-5.53)	-3.195642*** (-6.60)
δ_1 (oil)	0.1336242*** (4.92)	
δ_2 (enter)	-0.0574275*** (-2.86)	
δ_3 (kinds)	-1.083933*** (-7.20)	
Log(likelihood)	-14.738609	-47.490614

Note: ***, **, and * represents statistically significant at 1%, 5%, and 10% respectively.

Model 1과 Model 2의 적합도를 알아보기 위해 앞선 분석에서도 이용했던 로그 우도통계치, AIC(Akaike 기준), SBC(Schwartz 기준) 등을 이용해 모형의 적합도를 분석했다.

다음 <Table 11>에서는 환경변수를 고려한 모형(Model 1)과 기본적인 절단된 정규분포 모형(Model 2)에 대한 적합도를 나타냈다. 먼저, 생산량을 종속변수로 했을 때, Model 1의 로그 우도통계치가 더 큰 것을 확인 할 수 있었다. AIC와

SBC 역시 Model 1이 더 낮은 값을 가지는 것으로 나타나, 종속변수가 생산량일 때는 Model 1이 종속변수를 더욱 잘 설명하는 모형이라 판단할 수 있다. 이러한 결과는 종속변수가 생산금액일 때도 동일한 결과가 도출되었다.

Model 2의 로그 우도통계치, AIC, SBC 값들은 대부분 H-normal 모형과 Exponential 모형의 결과와 큰 차이가 없었지만, Model 1과 비교해서는 그 격차가 크게 나타났다. 이는 환경변수를 고려하지 않을 때보다 환경변수를 고려한 모형이 본 분석에 더 적합한 모형이라는 것이 입증되었다.

한편, Model 1에서도 종속변수 간의 비교는 종속변수가 생산량일 때보다 생산금액일 때의 로그 우도통계치가 낮고, AIC와 SBC 값은 높게 도출되었다.

해당 분석에 따르면 지금까지 고려한 많은 모형 중에서 종속변수를 생산금액으로 하고 환경변수를 고려했을 때가 가장 적합한 모형이라는 결론을 도출할 수 있다.

<Table 11> Goodness of Fit about Model 1

Independent Variable	Model	Log (likelihood)	AIC	SBC
Amount of catch	Model 1	-29.801144	0.63335	0.89542
	Model 2	-94.48074	1.56789	1.76444
Value of catch	Model 1	-14.738609	0.40513	0.66720
	Model 2	-47.49061	0.85592	1.05247

다음으로 Model 1과 Model 2 중 어떤 모형이 적합한지를 판단하기 위해 $H_0 : \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0$ 에 대한 우도비검정을 실시했다. 분석결과, 종속변수가 생산량일 때와 생산금액일 때 모두 귀무가설이 기각되었다. 이를 통해 생산함수에 기술적 효율성 결정요인들의 존재를 확인할 수 있었고, 연료비, 입어료, 업종의 더미변수가 함께 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그에 대한 통계치는 <Table 12>에 나타났다.

입어료나 연료비의 두 변수는 원양참치어업의

일반적인 재화의 생산함수처럼 자본재 성격의 변수일 수도 있으나 전 세계에 걸쳐 분포되어있는 참치어장의 특성을 고려해 보면 오히려 어장의 조업환경을 결정하는 변수로 볼 수 있다. 참치어장마다 다양한 금액의 입어료가 징수되며 기항지를 통해서 조업 활동이 이루어진다는 원양어업의 특성을 고려한다면 연료비 역시 기항지의 유류가격에 의해서 결정되므로 두 변수 모두 어장의 조업환경에 의해서 결정되는 제3의 변수로 해석할 수 있다. 이러한 함의는 실증분석의 결과로써 생산함수에선 유의하지 않았던 변수들이 비효율성 결정함수에서는 유의적인 변수들로 나타난 것으로 설명할 수 있다.

<Table 12> Log Likelihood Ratio Test Result about Added Variables

Independent Variable	LR Statistics	Critical Point	Result
Amount of catch	248.56	$\chi^2_{0.95,2} = 5.991$	Reject
Value of catch	65.50	$\chi^2_{0.95,2} = 5.991$	Reject

이렇게 연료비, 입어료, 업종의 더미변수를 고려하여 SFA분석을 실시하고, 각 DMU들의 기술적 효율성 값을 도출했다. 다음은 DMU들의 수정된 생산효율성에 대한 기초통계량을 요약했다.

<Table 13> Basic Statistics of Efficiency Introducing Inefficiency Cause Variable

DMU	Amount of catch	Value of catch
Max	0.99993236	0.99997701
Min	0.08569515	0.25637997
Average	0.29821798	0.44406600
Standard Deviation	0.33387103	0.26448191

분석결과, 가장 효율적인 DMU는 DMU14로 종속변수가 생산량일 때와 생산금액일 때 모두 가

장 효율적인 것으로 나타났다. 반면, 가장 비효율적인 DMU는 DMU10으로써 생산량과 생산금액 일 때 모두 가장 비효율적인 DMU로 나타났다.

또한, Model 2(절단된 정규분포)의 분석에서 DMU14는 종속변수가 생산량일 때 효율성 순위가 9번째, 종속변수가 생산금액일 때는 효율성 순위가 18번째였으며, 동일한 분석에서 DMU10은 종속변수가 생산량일 때 효율성 순위가 112번째, 종속변수가 생산금액일 때는 효율성 순위가 100 번째로 Model 1의 분석과 유사한 결과를 도출할 수 있었다.

이를 통계적으로 분석하기 위해 앞선 방법과 마찬가지로 각 DMU들의 생산효율성에 순위를 부여하고, 종속변수가 생산량일 때와 생산금액일 때의 순위 차에 대한 검정을 실시했다. 이는 대응표본 t검정을 이용해 분석했으며 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

H_0 : 종속변수가 생산량일 때의 생산효율성 순위와 종속변수가 생산금액일 때의 생산효율성 순위에 차이가 없다.

H_1 : 종속변수가 생산량일 때의 생산효율성 순위와 종속변수가 생산금액일 때의 생산효율성 순위에 차이가 있다.

검정결과, 생산량 효율성 순위와 생산금액 효율성 순위 차의 평균은 0.000이었으며, p-값이 1.000으로 나타나 반정규분포 모형에서의 결과보다 귀무가설을 더 강하게 채택하는 것으로 분석되었다.

<Table 14> Result of Paired Samples Test(Model 1)

Mean of Paired Differences	Std. Deviation of Paired Differences	95% Confidence Interval of the Difference		p-value
0.000	2.104	-0.362	0.362	1.000

이를 통해 종속변수가 달라지더라도 DMU들의 생산효율성 순위에는 유의적인 차이가 없으며,

환경변수가 추가된 모형에선 그 차이가 더 작아진다는 것을 통계적으로 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 연구는 SFA모형을 이용하여 132개의 원양 연승어선과 원양선망어선에 대한 효율성을 분석했다.

생산함수에 있어서는 콥-더글라스 생산함수보다 제약이 적고 탄력적인 트랜스로그 생산함수를 이용했고, 종속변수는 생산량과 생산금액 두 가지를 고려했으며, 기술적 비효율성을 나타내는 오차항 u_i 의 분포를 달리 가정하며 다양한 분석 결과를 도출했다. 또한, u_i 의 분포가 절단된 정규분포를 따른다고 가정했을 때 생산함수에서 고려되지 않은 제3의 환경변수를 추가하여 새로운 효율성 값을 도출하고 비효율성 결정요인을 분석했다.

종속변수를 생산량으로 두고 분석한 결과, 투입변수로 고려한 톤수, 어로일수, 톤수 제곱항, 어로일수 제곱항, 톤수×어로일수 항이 반정규분포 모형, 지수분포 모형, 절단된 정규분포 모형에서 모두 유의한 변수인 것으로 분석되었다. 이는 종속변수가 생산금액으로 바뀌더라도 동일한 분석결과를 도출할 수 있었다.

추가적으로 비효율성 원인 분석을 위해 u_i 의 분포를 절단된 정규분포로 가정하고, 생산함수에서 고려하지 않은 연료비, 입어료, 업종의 더미변수를 추가해서 분석했다. 종속변수를 생산량으로 했을 때의 분석결과, 다른 변수들의 유의성에는 변화가 없었지만 톤수 제곱항은 유의하지 않은 것으로 나타났고, 추가된 세 변수는 모두 효율성에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 종속변수가 생산금액일 경우, 어로일수의 제곱항도 유의하지 않은 것으로 분석되었는데, 이는 어로일수의 증가에 따른 생산금액의 한계적인 변화를 통계적 유의성을 갖고 설명할 수 없다는 결과를

말해준다.

기술적 비효율성을 나타내는 오차항 u_i 의 분포를 반정규분포로 가정하고 종속변수가 생산량일 때의 분석결과, DMU95가 가장 효율적인 DMU로 분석되었으며, DMU110은 가장 비효율적인 DMU로 분석되었다. 이때 효율성 평균은 0.996752, 표준편차는 0.000012이었다. 이는 해당 모형하에서는 평균적으로 0.3248%의 기술적 비효율성이 존재하고, DMU들 간의 효율성 격차는 약 0.0012%임을 의미한다.

오차항 u_i 의 분포에 대한 가정이 동일하고 종속변수가 생산금액일 때의 분석결과는 DMU95가 가장 효율적인 DMU였으며, DMU32가 가장 비효율적인 DMU로 분석되었다. 이때 효율성 평균은 0.997248, 표준편차는 0.000012이었다. 이는 해당 모형하에서는 평균적으로 0.2752%의 기술적 비효율성이 존재하고, DMU들 간의 효율성 격차는 약 0.0012%임을 의미한다.

반면, 기술적 비효율성을 나타내는 오차항 u_i 의 분포를 절단된 정규분포로 가정하고 효율성에 영향을 주는 환경변수(연료비, 입어료, 업종의 더미변수)를 고려한 모형에서는 다른 결과를 도출할 수 있었다. 종속변수가 생산량인지 생산금액인지에 관계없이 가장 효율적인 DMU는 DMU14였으며, 가장 비효율적인 DMU는 DMU10으로 나타났다.

또한 종속변수가 생산량일 때의 효율성 평균은 0.2982, 표준편차는 0.3339로 도출되었다. 이는 해당 모형하에서 평균적으로 70.18%의 기술적 비효율성이 존재하고, DMU들 간의 효율성 격차는 약 33.39%임을 의미한다.

종속변수가 생산금액으로 달라지면 효율성 평균이 0.4441, 표준편차는 0.2645로 도출되었다. 이는 해당 모형하에서는 평균적으로 55.59%의 기술적 비효율성이 존재하고, DMU들 간의 효율성 격차는 약 26.45%임을 의미한다.

이처럼 오차항 u_i 의 분포를 반정규분포로 가

정했을 때는 DMU들 간의 효율성 차이가 상당히 낮고 대부분의 DMU들이 효율적인 조업을 하고 있는 것으로 나타났다. 반대로 오차항 u_i 의 분포를 절단된 정규분포로 가정하고 제3의 환경변수를 고려했을 때는 DMU들의 평균적인 효율성 값이 낮아지고, DMU들 간의 격차도 커진다는 것을 분석할 수 있었다. 또한 제3의 변수로 고려한 연료비, 입어료, 업종의 더미변수가 통계적으로 유의한 변수인 것으로 분석되었고, 이는 추가된 변수들이 효율성에 상당한 영향을 미치는 변수임을 의미한다. 다시 말해, 이러한 변수들을 고려한 모형이 그렇지 않은 모형보다 본 연구에 적합하다는 것을 확인하였다.

더 구체적으로 분석에 적합한 모형을 판단하기 위해 로그 우도통계치, AIC, SBC 값을 비교했다. 분석 결과, 종속변수가 생산금액이면서 연료비와 입어료, 업종의 더미변수를 추가한 모형이 가장 적합한 모형으로 선정되었다.

종합하자면 본 연구는 SFA모형을 통해 원양참치어업의 어선별 효율성을 분석했는데 그 의의가 있다. 또한, 일반적인 SFA효율성 분석에서 더 나아가 도출된 효율성의 결정요인을 분석하고 생산함수에는 고려되지 않았지만 효율성에 영향을 미치는 환경변수를 찾아냈다는데 의의를 갖는다. 그리고 향후 분석과제로는 패널자료를 이용하여 시간적 변화에 대한 원양참치어업의 효율성분석을 실행할 필요가 있다.

본 연구에선 원양참치어업에 대한 효율성분석을 실시했지만 원양참치어업뿐만 아니라 수산업에 있어서의 효율성은 다시 생각해볼 필요가 있다. 일반적으로 효율성이란 제한된 투입요소 하에서 최대의 산출을 만들어 내거나, 동일한 산출량을 최소의 투입요소를 이용해 달성하는 것이다. 그러나 수산자원은 한정되어 있다. 따라서 무분별한 효율성의 추구는 오히려 수산자원을 고갈시키는 방향으로 흐를 수 있다. 그럼에도 불구하고 수산업에서의 효율성분석이 필요한 이유는 분

명히 존재한다. 정확한 효율성의 진단을 통해 지속가능한 산출량 하에서 불필요한 투입요소를 감소시키고 사회적으로 최적의 배분 효율성을 달성하는 것이 바로 수산업에서 효율성분석이 갖는 의의라고 할 수 있다.

References

- Aigner DC, Lovell CAK and Schmidt P(1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Model, *Journal of Econometrics*, 6(1), 21~37.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304407682900045>.
- Cho HJ, Kim DN, Kim DH, Lee SI, Kwon YJ and Ku JE(2017). Estimating the productive efficient of distant-water longline vessels in Pacific Ocean using a Stochastic Frontier Approach, *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 53(4), 537~362.
<http://db.koreascholar.com/Article?code=339804>.
- Coelli TJ(1995). Estimators and hypothesis tests for a stochastic frontier function: A Monte Carlo analysis, *Journal of Productivity Analysis* 6, 247~268.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01076978>.
- Kim HS and Song JH(2012). A study on the Efficiency Analysis of Abalone Aquaculture in Wando Region Using Stochastic Frontier Approach, *The Journal of Fisheries Business Administration*, 43(2), 67~77.
<http://kiss.kstudy.com/thesis/thesis-view.asp?key=3100494>.
- Kim TH and Park CH(2016). Analysis for Efficiency in the Oyster, Mussel Aquaculture Household using SFA, *The Journal of Fisheries Business Administration*, 47(2), 1~14.
<http://kiss.kstudy.com/thesis/thesis-view.asp?key=3452485>.
- Meeusen W and van den Broeck J(1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error, *International Economic Review*, 18(2), 435~444.
<https://www.jstor.org/stable/2525757>.
- Pagan AR and Hall AD(1983). Diagnostic tests as residual analysis, *Econometric Reviews* 2, 159~218.
<https://doi.org/10.1080/07311768308800039>.
- Park YS and So SH(2013). A Comparative Analysis of the Efficiency of Certified Integrated-Logistics Companies Using SFA and DEA, *The Journal of shipping and logistics*, 70, 937~954.
<http://kiss.kstudy.com/thesis/thesis-view.asp?key=3231449>.
- Sim SH and Nam JO(2017). Analysis of Marginal Productivity and Return to Scale Using Estimation of Production Function in Offshore Fisheries, *Ocean and Polar Research*, 39(4), 301~318.
<http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE07284369>.

-
- Received : 11 February, 2019
 - Revised : 19 March, 2019
 - Accepted : 28 March, 2019