

초월대수 비용함수 추정을 통한 IATTC 해역 원양연승어업의 생산요소 간 대체성 분석

Substitution analysis among production factors of
distant longline fisheries in IATTC waters using a
translog cost function

조현주*·김도훈**·김두남***·이성일****·이미경*****
Jo, Heon-Ju · Kim, Do-Hoon · Kim, Doo-Nam · Lee, Sung-Il · Lee, Mi-Kyung

목 차

- I. 서 론
- II. 분석 자료 및 방법
- III. 결과 및 고찰
- IV. 결 론

〈Abstract〉

The purpose of this study is to analyze the substitution among production factors of Korean distant water longline fisheries in IATTC waters. In the analysis, the translog function which have one output variable of total cost and input variables of labor, fuel, fishing gear, and capital was established and it was transformed into simultaneous equations by each cost. Then, variables of equations were estimated by SUR (seemingly unrelated regression) model. Since distant water longline fisheries is a fishing type with high fuel usage, substitution of fuel with other factors was mainly analyzed. Results showed a substitute relation between fuel and labor as well as fuel and fishing

* 제1저자, 국립수산물과학원 원양자원과 석사후 인턴연구원
** 교신저자, 부경대학교 교수
*** 공저자, 국립수산물과학원 원양자원과 해양수산연구관
**** 공저자, 국립수산물과학원 원양자원과 해양수산연구사
***** 공저자, 국립수산물과학원 원양자원과 해양수산연구사

gear, while a complementary relation between fuel and capital. In addition, it was analyzed that magnitude of fuel elasticity with other factors would be inelastic.

Key words: IATTC, longline fisheries, Translog function, SUR, Substitution

I. 서 론

원양어업의 여러 어법들 중 연승어업은 중서부 태평양, 동부 태평양, 인도양, 대서양 해역 등에서 낚시줄을 이용해 다랑어 및 다랑어 유사종을 어획한다. 특히 어획물을 급속 냉동 처리하여 고급 횡감을 주로 생산한다.

조업대상 해역 중 동부 태평양은 어획물의 크기가 다른 해역에 비해 크고, 이에 따라 어가(魚價)가 높게 형성되어 있어 선장들이 선호하는 어장으로 알려져 있다. 동부 태평양의 다랑어와 다랑어 유사종 자원은 “동부 태평양 다랑어 자원의 보존 관리 및 적정 이용”을 목적으로 1950년 3월 3일 설립된 전미열대 다랑어위원회(Inter-American Tropical Tuna Commission, IATTC)에서 관리하고 있다(해양수산부, 2019). 특히 우리나라에서 최근 5개년(2013~2017년) 동안 원양연승어업으로 어획된 어획량 중 약 32%가 해당 해역에서 어획되었다(<표-1>).

■ 표-1. IATTC 수역 원양연승어업 어획비율 ■

단위 : ton

연도	2013	2014	2015	2016	2017	합계
IATTC	12,555	10,794	14,086	10,931	11,434	59,799
전해역	36,077	38,978	40,166	36,535	34,794	186,549
비율	34.8%	27.7%	35.1%	29.9%	32.9%	32.1%

출처 : 국립수산물과학원 원양어업조업정보시스템(2013-2017)

원양연승어업은 약 90~120km의 바다에 낚시를 투승하고, 투승한 낚시를 양승함으로써 다랑어류를 어획한다. 이러한 조업의 특성상 다른 어업에 비해 연료비가 전체 비용 대비 약 32%로 큰 비중을 차지하고 있다(<표-2>). 특히 연료비의 경우 국제 유가와 연계되어 그 변화 폭이 다른 투입요소들의 비용보다 큰 특징이 있다.

▮ 표-2. 우리나라 원양연승어업 연료비 비율 ▮

단위: 백만원

연도	2013	2014	2015	2016	2017	합계
연료비	124,158	93,962	63,395	46,978	59,150	387,643
전체비용	292,398	238,673	228,407	209,765	261,984	1,231,227
비율	42.5%	39.4%	27.8%	22.4%	22.6%	31.5%

출처: 원양산업종합정보시스템(원양어업통계조사 부분)

동부 태평양 해역 원양연승어업의 경영안정성을 도모하고, 생산성을 높이기 위해서는 원양연승어업의 생산함수 추정을 통해 생산구조를 파악하는 것이 필수적이다. 특히, 조업비용에서 상대적으로 큰 비중을 차지하고, 변화폭이 큰 연료비와 다른 투입요소들 간의 대체성을 분석하는 것은 향후 국제 유가 변화에 효과적으로 대응하기 위한 전략 수립 등 조업을 둘러싼 의사결정에 있어 중요한 부분이다.

1970년대 이전까지 사용된 생산함수 형태는 Cobb and Douglas(1928)가 제안한 콥-더글라스 함수(Cobb-Douglas function)와 Arrow et al.(1961)이 제안한 CES 함수(Constant Elasticities of Substitution function)였다. 하지만 이들 함수들은 불변 대체탄력성이란 강한 가정을 지니고 있는 한계로 이후 제약조건으로부터 자유로운 탄력적인 함수형태에 관한 연구가 진행되어 Diewert(1971)에 의해 일반화된 레온티에프 함수(Generalized Leontief Function)와 Christensen et al.(1971; 1973)가 제안한 Translog 함수(Translog Function) 등이 개발되었다.

Translog 함수는 임의의 대수함수에 대해 테일러 2차 근사함수의 형태이기 때문에 보다 탄력적인 함수라고 할 수 있다. 이 함수는 Cobb-Douglas 함수 그

리고 CES 함수와는 달리 생산기술에 관해 어떠한 사전적인 가정이 필요하지 않는 장점을 가지고 있다(이달석, 1999; 이달석, 2001; 조현주, 2015). Translog 함수는 제조업 분야에서 Berndt and Wood (1975)와 Griffin and Gregory (1976)의 투입요소로서 에너지 요소와 타 요소간의 대체성 연구를 시작으로 이후 여러 분야에서 널리 응용되고 있다.

박선영 외(2012)는 한국의 지자체별로 상·하수도 부분에서 자본, 노동, 중간재를 투입변수로 그리고 산출량을 하수처리량으로 하는 비용함수를 추정하여 비용요소별 탄력성을 통한 규모의 경제성을 분석하였다. 이명현(2014)는 한국 철강업 분야의 자본, 노동, 에너지를 투입요소로 CO₂ 배출량을 산출요소로 하는 비용함수를 추정하여 각 요소별 가격 변화에 따른 CO₂ 배출량 변화를 추정하였다. 김지효·허은영(2014)은 한국, 미국, 영국의 제조업 및 전기·가스·수도사업에서 ICT(Information and Communication technology) 자본투입이 노동 및 에너지 수요에 미치는 영향을 분석하였다. Deininger et al.(2018)은 스위스 제조업 부분에서 패널자료를 사용하여 에너지 비용을 기준으로 소·중·고비용 기업으로 나누어 자본, 노동, 에너지, 그리고 원재료 요소간 대체성을 비교·분석하였다.

수산업 분야의 선행연구를 살펴보면, Alam(1991)은 말레이시아 자망어업의 생산함수를 추정하여 어업의 이익이 최대화 되지 않았음을 지적하였다. 신용민·정겨운(2018)은 한국의 근해어업을 대상으로 연료, 자본, 노동을 투입변수로 하고 산출량을 CO₂ 배출량으로 하는 비용함수를 추정하였다.

본 연구에서는 우리나라 수산업 분야 원양연승어업의 비용함수를 추정하고, 이를 통해 생산요소간 대체성을 분석하고자 한다. 연구 방법은 이달석(1999; 2001)에서 사용한 연립방정식 형태의 비용점유율 방정식을 사용하였다. 구체적으로 노동비용, 연료비용, 어구비용, 자본비용을 투입변수로 하고, 총비용을 산출변수로 하는 Translog 함수를 설정하였다. 이후 각 요소별 비용점유율 방정식으로 결합한 연립방정식 체계로 변환하여 Zellner(1962)에 의해 제안된 SUR(Seemingly Unrelated Regression) 모형을 통해 각 변수를 추정하였다. 그

리고 이를 바탕으로 생산요소별 알렌편대체성, 교차가격탄력성을 분석하였다. 특히, 연료비용 변화에 따른 타 요소와의 대체성을 중점적으로 분석함으로써 연료비용 변화에 대응하여 어떤 형식으로 경제적 효율성을 달성하면서 조업할 수 있는지를 평가해 보았다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서 분석에 사용된 자료와 Translog 함수 그리고 생산요소 간 대체성 분석 방법에 대해서 설명하였다. 이후 분석 결과를 제시하고, 연구 결과와 연구자 고찰을 정리하면서 본 연구를 마무리 하였다.

II. 분석 자료 및 방법

1. 분석 자료

본 연구에서는 IATTC 해역에서 2013년부터 2017년까지 연속 조업한 32개 연승어업어선의 노동(L), 연료(E), 어구(H), 그리고 자본(K)의 4가지 요소에 대한 자료를 조사·수집하여 분석에서 사용하였다. 구체적으로 원양산업종합정보시스템 원양어업통계조사의 연간어로원가 자료, 원양 연승조업선에서 보고한 조업일지(log book) 자료, 그리고 한국원양산업협회 원양어업통계연보(2018년) 자료를 조합하여 사용하였다(원양산업종합정보시스템, 2013-2017; 한국원양산업협회, 2018). 구체적으로 이들 분석 자료를 구축한 방법은 다음과 같다.

노동 항목 관련 자료는 노동투입량은 IATTC 개별어선의 연간 조업 승선원수, 노동가격은 일당 임금, 노동비용은 연간 투입 임금을 추정한 것이다.

노동투입량(IX_L)은 원양연승조업일지에서 IATTC 개별어선의 조업일수(IF_{day})에 원양어업통계연보의 어선정보 자료 중 IATTC 활동 어선의 승선원수(IF_{crew})를 곱하여 사용하였다(식 1).

$$IX_L = IF_{day} \cdot IF_{crew} \quad (1)$$

노동가격(P_L)은 연간어로원가에서 선원임금(C_L)을 원양연승조업일지의 전체 어선조업일수(F_{day})에서 원양어업통계연보의 어선정보 자료 중 연승어업 전체 승선원수(F_{crew})를 곱한 값을 나누어 사용하였다(식 2).

$$P_L = C_L / (F_{day} \cdot F_{crew}) \quad (2)$$

노동비용(IC_L)은 노동투입량(IX_L)과 노동가격(P_L)으로 곱하여 계산하였다(식 3).

$$IC_L = IX_L \cdot P_L \quad (3)$$

연료 항목 관련 자료는 IATTC 개별어선별로 조업에 사용한 정확한 연료사용량 자료 확보 및 단위(리터등과 같은) 정의의 어려움으로 어선 규모(톤수와 마력수)와 조업일수를 연료사용량 가중요소로 활용 후 이를 바탕으로 연료가격과 연료비용을 추정한 것이다.

연료사용량(IX_E)은 연료가격 및 비용을 추정하기 위한 가중요소로 원양연승조업일지에서 IATTC 개별어선의 조업일수(IF_{day})에 원양어업통계연보의 어선정보 자료 중 IATTC 활동 어선의 톤수(IF_{ton})와 마력수(IF_{hp})를 더한 값을 곱한 것으로 사용하였다(식 4).

$$IX_E = IF_{day} \cdot (IF_{ton} + IF_{hp}) \quad (4)$$

연료가격(P_E)은 연간어로원가에서 연료비(C_E)를 원양연승조업일지의 전체 어선조업일수(F_{day})에 원양어업통계연보의 어선정보 자료 중 어선톤수(F_{ton})와 마력수(F_{hp})를 더하여 곱한 값을 나누어 사용하였다(식 5).

$$P_E = C_E / (F_{day} \cdot (F_{ton} + F_{hp})) \quad (5)$$

연료비용(IC_E)은 연료투입량(IX_E)과 연료가격(P_E)을 곱하여 사용하였다(식 6).

$$IC_E = IX_E \cdot P_E \quad (6)$$

어구 항목 관련 자료는 어구투입량은 IATTC 개별어선의 연간 투입낚시갯수, 어구가격은 낚시개당 가격, 어구비용은 연간 투입 어구비를 추정한 것이다.

어구투입량(IX_H)은 원양연승조업일지에서 IATTC 개별어선의 연간투입낚시갯수(IF_{hook})로 하였다(식 7).

$$IX_H = IF_{hook} \quad (7)$$

어구가격(P_H)은 연간어로원가에서 어구비(C_H)를 원양연승조업일지에서 전체 어선 연간투입낚시갯수(F_{hook})를 나누어 사용하였다(식 8).

$$P_H = C_H / F_{hook} \quad (8)$$

어구비용(IC_H)은 연간투입낚시갯수(IX_H)과 어구가격(P_H)을 곱하여 계산하였다(식 9).

$$IC_H = IX_H \cdot P_H \quad (9)$$

자본 항목 관련 자료 또한 연료 항목 자료 부분과 마찬가지로 어선별로 정확한 자본투입량 자료를 확보하기 어려워 어선 선령과 조업일수 자료를 가중요소로 활용 후 자본가격과 자본비용을 추정하였다.

이 때, 자본 관련 비용은 연간어로원가의 총비용에서 노동, 연료, 어구 비용

을 제외한 비용을 활용하였다. 그리고, 선령자료를 가중요소로 활용한 이유는 원양연승어업에서의 감가상각과 수리비 항목이 전체 비용에서 약 9%를 차지하고(원양산업 통계조사 결과, 2013~2017), 이들 항목은 선령과 깊은 관련이 있고 조업일수에 따라 지출요소가 달라지기 때문이다.

자본투입량(IX_K)은 자본가격 및 비용을 추정하기 위한 가중요소로 원양연승조업일지에서 IATTC 개별어선의 조업일수(IF_{day})에 원양어업통계연보의 어선정보 자료 중 IATTC 활동 어선의 선령(IF_{age})을 곱하여 사용하였다(식 10).

$$IX_K = IF_{day} \cdot IF_{age} \quad (10)$$

자본가격(P_K)은 연간어로원가의 총비용(C)에서 선원임금(C_L), 연료비(C_E), 어구비(C_H)를 뺀 값을 원양연승조업일지의 전체 어선조업일수(F_{day})와 원양어업통계연보의 어선정보 자료 중 어선선령(F_{age})을 곱한 값에 나누어 사용하였다(식 11).

$$P_K = (C \quad (11)$$

자본비용(IC_K)은 자본투입량(IX_K)과 자본가격(P_K)을 곱하여 사용하였다(식 12).

$$IC_K = IX_K \cdot P_K \quad (12)$$

모형 추정에 사용한 변수들의 기초통계량은 <표 3>에서 정리된 바와 같다. 분석에 있어서는 이미 앞서 설명한 바와 같이, 2013년~2017년까지 IATTC 해역에서 연속 조업한 32개 선박 자료를 대상으로 하였다.

표-3. 분석에 사용된 변수들의 기초통계량

단위: 10,000원

variable		min	max	mean	S.D
cost	IC_L	352.245	121,172.295	52,415.042	29,707.261
	IC_E	266.233	205,262.070	72,847.720	48,820.069
	IC_H	30.824	9,800.764	4,980.563	2,605.141
	IC_K	525.643	208,074.391	99,511.925	52,503.493
price	P_L	8.455	14.090	10.851	1.978
	P_E	0.133	0.385	0.244	0.103
	P_H	0.010	0.013	0.012	0.001
	P_K	462.764	613.195	516.709	51.366
cost share	S_L			23.2%	
	S_E			30.9%	
	S_H			2.2%	
	S_K			43.7%	

2. 분석 방법

1) Translog 함수

각 생산요소에 대해 연속으로 2차 미분 가능한 생산함수를 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = f(X_L, X_E, X_H, X_K) \quad (13)$$

여기서, Q 는 총 생산량, X_L 는 노동, X_E 는 연료, X_H 는 어구, 그리고 X_K 는 자본투입을 의미한다.

식 (13)에서 비용 최소화 원칙이 주어지고 투입요소의 가격과 산출 수준이 외생적으로 결정된다면, 생산함수와 비용함수 간 쌍대성 관계에 의해 식 (14)과 같은 비용함수로 나타낼 수 있다.

$$C = C(Q, P_L, P_E, P_H, P_K) \quad (14)$$

여기서, C 는 총 생산비, Q 는 총 생산량, P_L 는 노동가격, P_E 는 연료가격, P_H 는 어구가격, 그리고 P_K 는 자본가격을 의미한다.

식 (14)에 관한 Translog 2차 근사치는 다음 식 (15)과 같은 Translog 비용 함수로 나타낼 수 있다(Christensen et al., 1971).

$$\begin{aligned} \ln C = & a_0 + a_Q \ln Q + \sum_i a_i \ln P_i + \frac{1}{2} \beta_{QQ} (\ln Q)^2 + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j \\ & + \sum_i \beta_{iQ} \ln Q \ln P_i \end{aligned} \quad (15)$$

식 (15)을 생산요소의 가격 $P_i (i = L, E, H, K)$ 으로 대수편미분 하면 식 (16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = \frac{\partial C}{\partial P_i} \cdot \frac{P_i}{C} = & a_i + \beta_{iQ} \ln Q + \sum_j \beta_{ij} \ln P_j \\ i, j = & L, E, H, K \end{aligned} \quad (16)$$

여기서, 쉘파드 정리(Shephard's lemma)를 적용하면 식 (17)을 유도할 수 있다(Shephard, 1953).

$$\frac{\partial C}{\partial P_i} = X_i \quad (17)$$

여기서, X_i 는 비용을 최소화 하는 생산요소(i)에 대한 수요량을 의미한다(Diewert, 1971). 이를 식 (16)에 대입하면 다음의 식 (18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = \frac{P_i X_i}{C} = S_i = & a_i + \beta_{iQ} \ln Q + \sum_j \beta_{ij} \ln P_j \\ i, j = & L, E, H, K \end{aligned} \quad (18)$$

식 (18)의 비용함수는 잘 정의된 생산기술을 반영하기 위하여 신고전파 생산이론에 따라 식 (19)과 같은 합계 조건을 만족시켜야 한다(Christensen et al., 1973).

$$\begin{aligned} \sum_i a_i &= 1 \\ \sum_i \beta_{ij} &= \sum_j \beta_{ij} = 0 \\ \sum_i \beta_{iQ} &= 0 \\ \beta_{ij} &= \beta_{ji}, i \neq j \\ i, j &= L, E, H, K \end{aligned} \quad (19)$$

이러한 비용함수가 설정되어 추정되면 생산요소 간 대체성 분석이 가능해진다.

2) SUR 모형

IATTC 해역 원양연승어업의 생산요소 간 대체성을 분석하기 위해 식 (15)의 총 비용함수와 식 (18)의 비용점유율 방정식을 결합하면 다음의 식 (20)과 같은 연립방정식 체계로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} S_L &= \alpha_L + \beta_{LL} \ln(P_L/P_K) + \beta_{LE} \ln(P_E/P_K) + \beta_{LH} \ln(P_H/P_K) + \mu_L \\ S_E &= \alpha_E + \beta_{EL} \ln(P_L/P_K) + \beta_{EE} \ln(P_E/P_K) + \beta_{EH} \ln(P_H/P_K) + \mu_E \\ S_H &= \alpha_H + \beta_{HL} \ln(P_L/P_K) + \beta_{HE} \ln(P_E/P_K) + \beta_{HH} \ln(P_H/P_K) + \mu_H \end{aligned} \quad (20)$$

이렇게 구성된 연립방정식에서는 자본비용 점유율 방정식(S_K)이 제외되지만, 식 (19)과 같은 합계 조건과 대칭성 조건에 의하여 $\alpha_K, \beta_{KL}, \beta_{KE}, \beta_{KH}, \beta_{KK}$ 변수를 추정할 수 있다.

식 (20)의 변수를 추정하기 위해 Zellner(1962)의 SUR 모형을 사용할 수 있다. 이 모형은 외견과는 다르게 실제로는 횡단면 단위 간에 존재하는 오차항들의 상관관계를 고려하기 위해 고안된 방법이다. 구체적으로 SUR 모형은 식 (21)과 같은 방정식을 추정하는 방법이다. 여기서 y_i 는 i 번째 관찰치의 $n \times 1$

벡터이고, X_i 는 i 번째 관찰치의 설명변수의 $n \times k$ 행렬, 그리고 μ_i 는 오차항의 $n \times 1$ 벡터를 의미한다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & X_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & X_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_n \end{bmatrix} \quad (21)$$

이 때 교란항의 분산-공분산 행렬은 식 (22)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Sigma = E(\mu\mu') = \begin{bmatrix} E(\mu_1\mu_1') & E(\mu_1\mu_2') & \cdots & E(\mu_1\mu_n') \\ E(\mu_2\mu_1') & E(\mu_2\mu_2') & \cdots & E(\mu_2\mu_n') \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E(\mu_n\mu_1') & E(\mu_n\mu_2') & \cdots & E(\mu_n\mu_n') \end{bmatrix} \quad (22)$$

식 (10)에서 $E(\mu_i\mu_j') = \delta_{ij}I$ 로 가정하면, 이는 식 (23)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \delta_{11}I & \delta_{12}I & \cdots & \delta_{1n}I \\ \delta_{21}I & \delta_{22}I & \cdots & \delta_{2n}I \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{n1}I & \delta_{n2}I & \cdots & \delta_{nn}I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \cdots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \cdots & \delta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \cdots & \delta_{nn} \end{bmatrix} \otimes I = \Sigma_c I \quad (23)$$

이를 GLS(Generalized Least Square)로 추정하면 계수는 식 (24) 그리고 계수의 분산은 식 (25)과 같이 구해질 수 있다.

$$b_{GLS} = (X'\Sigma^{-1}X)^{-1}X'\Sigma^{-1}y \quad (24)$$

$$var(b_{GLS}) = (X'\Sigma^{-1}X)^{-1} \quad (25)$$

3) 생산요소 간 대체성

생산요소 간의 대체탄력성은 등량곡선의 형태 또는 생산함수의 특성을 나타내는 지표로, 등량곡선 상에서 어느 한 가지 생산요소를 다른 생산요소로 대체할 수 있는 정도를 탄력성의 개념으로 나타낸 것이다(이달석, 2001; 조현주, 2015). 대체탄력성은 생산함수에 의해서 직접적으로 표현될 수 있고, 또는 쌍대관계에 있는 비용함수에 의해 간접적으로 표현될 수 있다. 실증 연구에서는 비용함수에 의한 정의를 주로 사용하고 있다(이달석, 2001; 조현주, 2015).

Allen(1938)은 생산요소가 n 개인 경우, 요소 x_i 와 x_j 의 편 대체탄력성을 식 (26)과 같이 정의하였다.

$$\sigma_{ij} = \frac{\sum f_i x_i}{x_i x_j} \cdot \frac{|F_{ij}|}{|F|} \quad (26)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n \quad i \neq j$$

식 (26)에서 $|F|$ 는 생산함수의 유테헤시안 행렬식이고, $|F_{ij}|$ 는 유테헤시안 행렬의 f_{ij} 원소의 여인수이다.

알렌편대체탄력성은 행렬 $|F|$ 가 대칭적이므로 $|F_{ij}| = |F_{ji}|$ 가 되고, $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ 가 된다. 또한 이 정의로 인해 탄력성 부호가 양(+)이면 두 요소는 대체재가 되고, 음(-)이면 보완재가 된다. 알렌편대체탄력성은 또한 식 (15)에서 추정된 비용함수의 변수들에 의한 선형관계로 다음 식 (27)과 (28)을 통해 도출될 수도 있다. 여기서 S_i, S_j 는 i, j 요소의 비용점유율을 의미한다.

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{S_i S_j} \beta_{ij} + 1 \quad (27)$$

$$\sigma_{ii} = \frac{1}{S_i^2} (\beta_{ii} + S_i^2 - S_i) \quad (28)$$

4) 가격탄력성

요소 수요의 교차가격탄력성은 j 요소의 가격 변화율에 대한 i 요소의 수요 변화율을 의미하기 때문에 알렌편대체탄력성에 비해 경제적인 의미의 직관적인 해석이 용이하다(이달석, 1999). Translog 비용함수에서 요소 수요의 교차가격 탄력성과 요소 수요의 자기가격탄력성은 대체탄력성에 요소비용점유율을 곱하여 다음 식 (29)과 (30)로 나타낼 수 있다(이달석, 2001; 조현주, 2015).

$$\eta_{ij} = \frac{\beta_{ij}}{S_i} + S_j \quad (29)$$

$$\eta_{ii} = \frac{\beta_{ii}}{S_i} + S_i - 1 \quad (30)$$

식 (29)에서 대응되는 변수가 $\eta_{ij} > 0$ 이 되면, 교차가격탄력성은 양(+)의 부호를 가지게 되고, 이는 i 요소와 j 요소는 대체관계를 의미한다. $\eta_{ij} < 0$ 이면, 교차가격탄력성은 음(-)의 부호를 가지게 되고, i 요소와 j 요소는 보완관계를 가진다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 비용점유율 방정식

연립방정식 형태의 비용점유율 방정식인 식 (20)을 SUR 모형으로 추정한 결과와 그 결과를 바탕으로 식 (19)의 조건을 적용한 결과는 <표 4>에서 보는 바와 같다.

■ 표-4. 비용점유를 방정식 추정 결과 ■

방정식	R ²		P-값	
S _L	0.9822		0.0000	
S _E	0.9544		0.0000	
S _H	0.6310		0.0000	
S _K	-		-	
방정식	추정변수	추정계수	표준편차	Z-값
S _L	α _L	0.0456***	0.0158	2.89
	β _{LL}	0.1927***	0.0046	41.62
	β _{LE}	-0.0636***	0.0020	-31.23
	β _{LH}	-0.0012	0.0015	-0.80
	β _{LK}	-0.1280`		
S _E	α _E	1.1794***	0.0189	62.50
	β _{EL}	-0.0636***	0.0020	-31.23
	β _{EE}	0.2155***	0.0041	52.81
	β _{EH}	-0.0061***	0.0007	-8.90
	β _{EK}	-0.1458`		
S _H	α _H	0.1147***	0.0137	8.40
	β _{HL}	-0.0012	0.0015	-0.80
	β _{HE}	-0.0061***	0.0007	-8.90
	β _{HH}	0.0164***	0.0021	7.90
	β _{HK}	-0.0091`		
S _K	α _K	-0.3397`		
	β _{KL}	-0.1280`		
	β _{KE}	-0.1458`		
	β _{KH}	-0.0091`		
	β _{KK}	0.2829`		

*** : 1% 신뢰수준에서 통계적으로 유의함, '식(19)에 의한 결과값

노동비용점유를 방정식 S_L 과 연료비용점유를 방정식 S_E 의 R^2 값이 0.95 이상으로 나타났고, p-값이 영(0)에 가까워 모형의 설명력이 우수한 것으로 분석되었다. 어구비용점유를 방정식인 S_H 식의 R^2 값이 0.63로 나타나 위의 두 방정식 보다는 상대적으로 작게 나타났지만, p-값이 영(0)에 가까워 모형의 설명력을 통계적으로 유의하게 확보하였다.

추정된 변수를 살펴보면, β_{LH} 와 β_{HL} 변수를 제외하고 상수항을 포함한 모든 변수들이 99%의 신뢰수준에서 통계적으로 유의하게 나타나 요소별 탄력성과 가격탄력성을 분석하기 위해 추정된 변수들은 통계적으로 아주 유의하다고 할 수 있다. 그리고 K 변수와 관련된 방정식과 추정된 변수들은 식 (19)의 합계 조건과 대칭성 조건에 의해 구해진 값이다.

2. 탄력성 분석

<표 4>에서 추정된 변수를 식 (27)과 (28)에 대입하여 계산된 알렌편대체탄력성 분석 결과는 다음의 <표 5>에서 보는 바와 같다.

표-5. 알렌편대체탄력성 분석 결과

σ_{ij}	대체탄력성	σ_{ij}	대체탄력성	σ_{ij}	대체탄력성	σ_{ij}	대체탄력성
σ_{LL}	0.3218	σ_{EL}	0.1204	σ_{HL}	0.7650	σ_{KL}	-0.2964
σ_{LE}	0.1204	σ_{EE}	-0.0098	σ_{HE}	0.1238	σ_{KE}	-0.0625
σ_{LH}	0.7650	σ_{EH}	0.1238	σ_{HH}	-10.6591	σ_{KH}	0.0481
σ_{LK}	-0.2964	σ_{EK}	-0.0625	σ_{HK}	0.0481	σ_{KK}	0.1994

연료비용 요소를 중심으로 살펴보면 연료-노동, 연료-어구 간에 대체탄력성이 양(+)의 부호로 나타나 대체관계에 있는 것으로 분석되었다. 그리고 연료-자본 간에는 대체탄력성이 음(-)의 부호로 나타나 보완관계에 있는 것으로 분석되었다. 다음으로 <표 4>에서 추정된 변수를 식 (29)과 (30)에 대입하여 계산된 교차 및 자기가격탄력성 분석 결과는 <표 6>에서 보는 바와 같다.

표-6. 교차 및 자기가격탄력성 분석 결과

η_{ij}	가격탄력성	η_{ij}	가격탄력성	η_{ij}	가격탄력성	η_{ij}	가격탄력성
η_{LL}	0.0734	η_{EL}	0.0274	η_{HL}	0.1744	η_{KL}	-0.0676
η_{LE}	0.0382	η_{EE}	-0.0031	η_{HE}	0.0392	η_{KE}	-0.0198
η_{LH}	0.0168	η_{EH}	0.0027	η_{HH}	-0.2345	η_{KH}	0.0011
η_{LK}	-0.1284	η_{EK}	-0.0271	η_{HK}	0.0208	η_{KK}	0.0863

우선 자기가격탄력성을 살펴보면, 연료(η_{EE})와 어구(η_{HH}) 값이 음(-)으로 나타난 반면, 노동(η_{LL})과 자본(η_{KK}) 값은 양(+)으로 분석되었다. 노동(η_{LL})의 자기가격탄력성이 양(+)의 값으로 분석된 이유는 IATTC 원양연승어업의 특성상 임금(노동가격)이 상승하더라도 조업활동에 필요한 최소한의 인원을 확보해야 하기 때문으로 판단된다. 그리고 자본(η_{KK})의 자기가격탄력성이 양(+)의 값으로 분석된 이유는 본 연구에서 사용한 자본가격 자료에 선박수리비, 소모품비, 입어료 등이 포함되어 있어 이들 가격이 상승하더라도 조업활동에 반드시 사용되어야 하기 때문으로 판단된다.

연료의 가격탄력성 절대값은 0.0031로 매우 비탄력적으로 나타났다. 이는 연료가격이 상승함에도 수요량이 지속적으로 유지되고 있다는 의미이다. 즉, IATTC 원양연승어업에서 연료사용 중심적인 조업 활동이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

어구의 가격탄력성 절대값은 0.2345로 다른 요소들에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 이는 다른 요소들에 비해서 가격 상승에 대한 수요량의 변화가 상대적으로 큰 것을 뜻한다.

연료-노동 간에는 양(+)의 부호가 나타나 대체관계가 확인되었다. 이때, η_{\leq} 의 절대값 크기(0.0382)가 η_{EL} 의 절대값 크기(0.0274)보다 큰 것으로 분석되었다. 이는 노동가격 상승 시 노동에서 연료로의 대체가 이루어질 수 있음을 의미한다.¹⁾ 하지만 각 수치들이 단위탄력적을 뜻하는 절대값 1에 못 미치는 값으로 매우 비탄력적으로 나타났다.

연료-어구 간에도 양(+)의 부호로 나타나 대체관계가 확인되었다. 이때, η_{HE} 의 절대값 크기(0.0392)가 η_{EH} 의 절대값 크기(0.0027)보다 큰 것으로 분석되었다. 이는 어구가격 상승 시 어구에서 연료로의 대체가 활발함을 의미한다.

1) 현재 우리나라 원양연승어업의 조업인원수는 22명~25명으로, 사관급 인원 5명~6명 그리고 일반선원이 16명~18명 정도이다. 실제 노동인력을 감축할 수 있는 가능한 방안으로, 첫 번째는 사관급에서 전파전자자격증을 가진 항해사 인원 탑승으로 인해 통신장 1명의 인원을 감축할 수 있고, 두 번째는 일반 선원에서 SPOOL(자동 모릿줄 양승기) 기계 장착을 통해 선원 1명~2명 정도의 인원을 감축시킬 수 있다.

즉, 어구가격이 상승하면 어구투입량을 연료투입량보다 상대적으로 더 줄이는 조업활동을 해오고 있음을 의미한다. 즉, 연료가격이 상승함에도 투승 및 양승 거리를 줄인다거나 하는 연료 절약형 조업방식을 지양하고 투입 낚시수를 줄이는 조업활동을 통해 비용적 측면에서 경제성을 확보하려고 하고 있음을 알 수 있다.

연료-자본 간에는 음(-)의 부호가 나타나 보완관계가 확인되었다. 이때, η_{EK} 의 절대값 크기(0.0271)가 η_{KE} 의 절대값 크기(0.0198)보다 큰 것으로 분석되었다. 이는 연료가격 상승 시에 연료요소가 자본요소보다 수요가 더 큼을 의미한다. 연료가격이 상승함에 있어 연료비 상승을 상쇄하기 위한 자본수요가 동시에 증가하지만, 자본수요보다 연료수요 증가분이 더 크게 작용하고 있는 점에서 조업활동이 연료사용 중심적인 것을 알 수 있다. 하지만, 각 수치들이 단위탄력적을 의미하는 절대값 1에 못 미치는 값으로 매우 비탄력적인 것으로 분석되었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 IATTC 해역에서 조업 중인 원양연승어업을 대상으로 생산 구조 분석을 시도하였다. 특히, 연료비용이 차지하는 비중이 2013년~2017년을 기준으로 약 31%이고, 국제 유가와 연동되어 그 변화폭이 다른 비용요소들보다 크기 때문에 연료요소를 중심으로 타 요소와의 대체성을 실증적으로 분석하였다.

본 연구의 분석 결과를 요약하면 다음과 같다. 연료와 타 요소간의 알렌편 대체탄력성을 분석한 결과, 연료-노동, 연료-어구 간에는 대체관계로 나타났으며 연료-자본 간에는 보완관계로 나타났다. 자기가격탄력성 분석 결과, 노동과 자본은 각각 +0.0734, +0.0863으로 나타났고, 연료와 어구는 각각 -0.0031, -0.2345로 나타났다. 그리고 연료요소와 타 요소간의 탄력성 크기가 다른 요소

들에 비해 비탄력적으로 나타나 IATTC 해역 원양연승어업에서 연료사용 중심적인 조업 활동이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

이와 같은 분석 결과를 토대로 다음과 같은 정책적 시사점을 제시할 수 있다.

첫째, IATTC 해역 연승어업의 자기가격탄력성 분석 결과, 노동요소의 가격 상승이 수요 감소로 이루어지지 않고 있는 점에서 원양연승어업의 노동시장은 상당히 비탄력적임을 짐작할 수 있다. 이는 원양연승어업의 특성상 임금(노동 가격)이 상승하더라도 조업활동에 필요한 최소한의 인원을 확보해야 하기 때문으로 판단된다. 현재 원양산업에 있어 원양어선 승선 기피 현상은 지속적으로 심화되고 있다. 따라서 노동공급이 보다 원활할 수 있도록 승선원 복지제도 개선, 승선기간 단축, 어선인터넷망 구축을 통한 육지와의 소통 활성화, 그리고 조업시간의 능률적 배분 등을 통한 노동강도 감소 등과 같은 다양한 자구책 마련이 필요할 것이다.

둘째, 자본가격탄력성 분석 결과, 자본요소의 가격 상승이 수요 감소로 이루어지지 않았다. 이는 원양연승어선의 노후화로 인한 수리비, 소모품비 등과 같은 어선 유지·보수비용 부담 문제와 입어로 부담 문제에서 비롯하는 결과라고 판단된다. 따라서 원양연승어선의 노후화에 따른 변동비용 지출 대비 신조선 도입에 따른 고정비용 지출 분석 등을 통해 신조선 도입 등을 위한 방안을 고려해야 할 것이다.

셋째, IATTC 해역의 원양연승어업은 연료 사용적인 조업 형태를 취하고 있고, 연료비 상승에 대비하여 다른 요소와의 대체성이 매우 비탄력적인 것으로 나타났다. 따라서 연료저감형 보조장치 개발, 연료 선물거래 활성화, 그리고 고성능 어탐기술 개발 등과 같은 방안이 다양하게 모색되어야 할 것이다.

본 연구는 IATTC 해역에서 조업 중인 개별어선들의 상세한 경영 자료 확보가 불가능하여 각 생산요소자료를 추정하여 분석에 사용한 한계점이 존재한다. 특히, 연료사용량 자료 구축에 있어 선박규모에 대해 조업일수를 기중요소로 추정할 아쉬움이 남는다. 추후 장기간 시계열 자료 구축, 개별어선들의 상세한 경영자료 확보를 통한 원양어업에 관한 생산함수 추정 연구가 지속되어야

할 것이다.

사사

이 논문은 2019년도 국립수산물과학원 수산시험연구사업(R2019021)의 지원으로 수행된 연구입니다.

투고일	2019. 09. 04
1차 심사일	2019. 09. 27
게재확정일	2019. 10. 30

■ ■ 참고문헌

1. 국립수산물과학원. 원양조업정보시스템(2013-2017).
2. 김지효 · 허은녕. 2014. 「ICT 자본 투입이 노동 및 에너지 수요에 미치는 영향: 한국, 미국, 영국의 제조업 및 전기·가스·수도사업의 생산구조 비교」. 『자원·환경경제연구』, 제 23권 제 1호, pp. 91-132.
3. 박선영 · 유승훈 · 김종원. 2012. 「초월대수 비용함수를 이용한 하수도 부문의 규모의 경제성 평가」. 『국토연구』, 제 74권, pp. 91-132.
4. 신용민 · 정겨운. 2012. 「우리나라 근해어업의 CO2 배출 저감비용함수 추정」. 『자원·환경경제연구』, 제 27권 제 3호, pp. 399-420.
5. 원양산업종합정보시스템. 2019. 원양산업통계조사(2013년~2017년)
6. 이달석. 1999. 「한국 제조업의 생산구조와 에너지요소수요 간 대체와 기술변화의 영향」. 『명지대학교 경제학박사학위 논문』
7. _____. 2001. 「한국 제조업의 에너지수요 변화요인에 관한 연구」. 『경제학연구』, 제 49집 제 2호, pp. 87-110.
8. 이명현. 2014. 「국내 철강업의 생산요소 간 비효율적 배분을 고려한 CO2 저감비용 산정 및 분석: 비용함수접근법」. 『자원·환경경제연구』, 제 23권 제 3호, pp. 453-472. (DOI: 10.15266/KEREA.2014.23.3.453)
9. 조훈주. 2015. 「초월대수 비용함수 추정을 통한 KLEM 요소간 대체성 연구」. 『부경대학교 경제학석사학위 논문』
10. 한국원양산업협회. 2019. 원양어업통계연보(2014~2018) 각 권
11. 해양수산부. 2019. 국제수산물기구 업무 편람
12. Alam, F., 1991. "A Profit Function analysis of Multispecies Fishery in Malaysia : Implications for Management." *Bangladesh Journal of Agriculture Economics*, Vol. 14, No. 2, pp. 51-72.)
13. Allen, R.G.D., 1938. "Mathematical analysis for economists." London Macmillan.
14. Arrow, K.J., Chenery, H.B., Minhas, B.S., and Solow, R.M., 1961. "Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency." *The Review of Economics*

and Statistics, Vol. 43, No. 3, pp. 225-250.

15. Berndt, E.R., and Wood, D.O., 1975. "Technology, price, and derived demand for energy." *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 57, No. 3, pp. 259-268.
16. Christensen, L.R., Jorgenson, D.W., and Lau, L.J., 1971. "Conjugate duality and transcendental logarithmic production function." *Econometrica*, Vol. 39, No. 4, pp. 255-256.
17. _____. 1973. "Transcendental Logarithmic Production Frontiers." *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 55, No. 1, pp. 28-45.
18. Cobb, C.W., and Douglas, P.H., 1928. "A Theory of Production." *The American Economic Review*, Vol. 18, No. 1, pp. 139-165.
19. Deininger, S.M., Mohler, L., and Mueller, D., 2018. "Factor substitution in Swiss manufacturing: empirical evidence using micro panel data." *Swiss J Economics Statistics*, Vol. 154, No. 6, pp. 1-15. (DOI: 10.1186/s41937-071-0016-5)
20. Diewert, W.E., 1971. "An Application of the Shephard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function." *Journal of Political Economy*, Vol. 79, No. 3, pp. 481-507.
21. Griffin, J.M., and Gregory P.R., 1976. "An intercountry translog model of energy substitution responses." *America Economic Review*, Vol. 66, No. 5, pp. 845-857.
22. Shephard, R. A., 1953. "Cost and Production Function." Princeton University Press.
23. Zellner, A., 1962. "An efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests for aggregation bias." *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 57, No. 298, pp. 348-368.