

패널문턱모형을 이용한 천해양식어류 생산의 영향요인 분석

전용한 · 남종오†

부경대학교(강사) · †부경대학교(교수)

Analysis of Influencing Factors in the Production of Shallow-sea Aquaculture Fish using Fixed Effect Panel Threshold Model

Yong-Han JEON · Jong-Oh NAM†

Pukyong National University(lecturer) · †Pukyong National University(professor)

Abstract

The purpose of this study is to analyze the factors affecting the production of the shallow-sea aquaculture fish using the fixed effect panel threshold model which is a nonlinear panel regression model, and also to present policy implications based on the results. The result shows that the production of shallow-sea aquaculture fish increases when the number of workers, inputted feed, the number of stocked fry, and price increase. In particular, in case of the number of cultured fish was large, when the number of stocked fry was inputted, the production of shallow-sea aquaculture fish was rather lower than in the case of the small cultured fish. Besides, when the water area of aquaculture increased, the production rather decreased. Therefore, in order to increase the production of the shallow-sea aquaculture fish, this study suggests that the re-examination of the aquaculture license has to be reinforced to reorganize the aquaculture farm and accurate information on the number of stocked fry considering the number of cultured fish, biological and socio-economic factors needs to be provided to aquaculture fishermen.

Key words : Fixed effect panel threshold model, Nonlinear panel regression model, Shallow-sea aquaculture, Fish production

I. 서론

2020년 연근해어업의 어업생산량은 약 93만 톤으로 집계되어 여전히 생산량이 100만 톤 수준을 하회하는 것으로 나타났다(KOSIS, 2020). 그동안 심리적 한계선으로 인식되어 온 연근해어업의 생산량 100만 톤이 2016년 붕괴되었고, 수산자원의 악화로 인해 단기간에 이전의 어업생산량 수준으로 회복이 쉽지 않은 상황에 직면해 있다(MOF, 2019).

이러한 연근해어업의 어업생산량 감소에도 불구하고 양식업은 지속적으로 성장하고 있으며, 2020

년 기준 약 231만 톤을 생산하여 어업생산량의 약 62%를 차지하고 있다. 이러한 양식업의 생산량 증가는 연근해어업의 어업생산량 감소를 보완하여 어업생산량 증대를 견인하고 있다.

이처럼 양식업은 안정적인 수산물 공급을 위한 대안으로 자리매김하고 있으며, 그 중요성 또한 지속해서 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 양식업의 생산량을 품목별로 자세히 살펴보면, 생산량의 대부분을 차지하고 있는 품목은 해조류와 패류이며, 천해양식어류의 생산량은 약 8만 톤 수준에서 머무르고 있다. 천해양식어류 생산

† Corresponding author : 051-629-5317, namjo1234@pknu.ac.kr

의 양적인 성장이 정체된 원인으로는 투자 부족과 자연재해, 어장환경 악화 등을 들 수 있을 것이다.

이에 따라 정부는 2019년 ‘수산혁신 2030 계획’에서 양식업부문의 추진전략 및 과제를 발표하여 양식업이 직면하고 있는 문제점을 해결하기 위해 다양한 대책을 수립하고, 2022년까지 천해양식어류 생산량을 10만 톤 수준으로 확대하겠다는 목표를 제시하였다. 구체적으로 정부가 발표한 추진전략은 양식업의 규모화 및 기업화를 지원하고, 첨단 스마트양식을 확산하며, 친환경 양식 및 재해에 대응한 예방양식을 강화하는 것이 주요 골자이다. 정부는 특히 천해어류양식업 분야에 기업의 진입 규제를 완화하여 투자 부족을 해소하고 천해어류양식업의 생산성 향상과 산업 경쟁력 확보를 위해 2020년 8월부터 「양식산업발전법」을 시행하고 있다. 그러나 이러한 정부의 노력에도 불구하고 상기 계획과 법의 시행 기간이 짧은 관계로 천해양식어류의 생산량 증대와 같은 구체적인 성과는 아직 도출되지 않고 있다.

천해어류양식업은 양식생산량에 영향을 미치는 요인들을 어느 정도 관리할 수 있는 특징이 존재하다 보니 양식어업인의 경험에 의존하여 양식업을 경영하기도 한다. 물론 양식어업인의 사육 경험도 천해양식어류 생산에 중요한 요소일 수 있으나, 계량경제학적인 기법을 활용하여 천해양식어류 생산량에 어떤 요인이 얼마나 영향을 미치는가를 실증적으로 분석해보는 연구 또한 의미 있는 주제라고 여겨진다.

그동안 천해어류양식업의 생산과 관련된 연구는 다양한 분석기법을 활용하여 수행되었다. Sim and Nam(2019)은 어류양식동향조사 패널자료를 동적(dynamic) 패널모형에 적용하여 천해양식어류의 생산량에 영향을 미치는 요인을 추정하였다. Lee(2010)는 어업권 수와 가격, 시간 등의 패널 자료를 프로비트(probit) 모형에 기초한 Heckman 2 단계 추정방법에 적용하여 양식 생산의 결정요인을 분석하였다. 이외에도 DEA 모형을 이용하여

양식방법별·양식어종별 생산효율성을 비교·분석한 연구와 넙치양식장의 수온, 밀식, 경영비용항목을 고려하여 생산모형을 구축한 연구가 존재한다(Park, 2012; Eh, 2011A; Eh, 2011B; Eh, 2014; Eh, 2015).

본 연구에서 활용되는 패널문턱모형(fixed effect panel threshold model)은 행정 또는 거시경제부문에서 이미 사용되었으나 수산분야에서는 거의 소개된 바 없으므로 본 연구의 차별성은 충분하다고 판단된다. 패널문턱모형은 여러 독립변수 중 하나를 특정 수준 이상 또는 미만일 경우로 구분하여 해당 독립변수가 종속변수에 미치는 영향을 더욱 자세히 살펴볼 수 있다는 장점이 있다.

본 연구는 총 네 개의 장으로 구성되어 있다. 2장에서는 패널문턱모형의 이론을 설명하고, 3장에서는 패널문턱모형의 추정결과를 설명한다. 결론에 해당하는 4장에서는 분석 결과를 종합하고, 연구의 의의 및 시사점과 한계점 및 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 연구 방법

1. 패널분석모형

패널자료를 활용한 분석은 고정효과(fixed effects) 또는 확률효과(random effects) 존재 여부에 따라 고정효과모형(fixed effects model) 또는 확률효과모형(random effects model)으로 구분하여 실시된다. 여기서 고정효과는 독립변수와 패널 개체의 특성이 상관되는 것을 의미하며, 확률효과는 독립변수와 무관하게 패널 개체의 특성이 임의로 주어지는 것을 의미한다. 패널 개체의 특성을 고려한 패널회귀식은 식 (1)과 같다(Min and Choi, 2012).

$$y_{it} = \alpha + \beta x_{it} + u_i + e_{it} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 i 는 패널 개체, t 는 시점을 의미하며, y_{it} 는 종속변수, x_{it} 는 독립변수를 나타낸다. 또

한, α 는 상수항, β 는 x_{it} 의 계수, u_i 는 패널 개체의 특성, e_{it} 는 일반적인 오차항을 의미한다. 고정효과모형은 패널 개체의 특성인 u_i 를 추정대상인 모수(parameter)로 간주한다(Allison, 2009). 그리고 고정효과모형은 F 검정을 통해 ‘모든 $u_i = 0$ ’이라는 귀무가설을 검정하는데 귀무가설을 채택하면 통합최소제곱법(pooled OLS)을 통해 추정하고, 귀무가설을 기각하면 고정효과모형을 선정하여 분석한다.

확률효과모형은 고정효과모형과 다르게 패널 개체의 특성 u_i 를 확률변수로 간주한다(Bottai and Orsini, 2004). 확률효과모형의 u_i 는 평균이 0이고, 분산이 일정한 분포를 지니고 있다고 가정하며, 이는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$u_i \sim N(0, \sigma_u^2), e_{it} \sim N(0, \sigma_e^2) \dots\dots\dots (2)$$

확률효과모형은 Breusch-Pagan 검정을 통해 ‘ $var(u_i) = 0$ ’이라는 귀무가설을 검정하는데 귀무가설을 채택하면 통합최소제곱법을 선정하고, 귀무가설을 기각하면 확률효과모형을 통해 분석을 진행한다.

Hausman 검정은 패널회귀모형의 u_i 가 고정효과모형인지 확률효과모형인지 확인하는 검정방법으로 독립변수와 패널개체의 특성(u_i)간의 공분산에 대한 가설검정을 수행하며 귀무가설과 대립가설은 식 (3)과 같다(Min and Choi, 2012).

$$H_0 : cov(x_{it}, u_i) = 0, H_1 : cov(x_{it}, u_i) \neq 0 \dots (3)$$

Hausman 검정결과, 귀무가설을 채택한다면 더 효율적인 확률효과모형을 선택하고, 귀무가설을 기각하면 대립가설하에서 일치추정량을 얻을 수 있는 고정효과모형을 선택한다.

2. 패널문턱모형

패널문턱모형(fixed effect panel threshold model)은 일반적인 고정효과모형에서 문턱(threshold)을

반영한 비선형 패널회귀모형으로 Hansen(1999)에 의해 제시되었다. 식 (4)는 패널문턱모형을 표현한 것이다(Wang, 2015).

$$y_{it} = \alpha + \beta_1 x_{it} I(q_{it} \geq \gamma) + \beta_2 x_{it} I(q_{it} < \gamma) + u_i + e_{it} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 q_{it} 는 문턱 변수, γ 는 문턱 모수로 관측치를 구분하는 기준점이 된다. 문턱이 1개일 때를 가정하면 q_{it} 가 γ 보다 크거나 작음에 따라서 관측치들이 상위(upper) Regime과 하위(lower) Regime으로 나뉘게 된다. 이때 문턱변수에 의해서 Regime이 구분되는 관측치로 구성된 독립변수의 Regime별 계수는 각각 β_1 와 β_2 로 달리 추정된다. I 는 지시함수(indicator function)를 의미하며, 지시함수 괄호 내부의 조건을 만족하면 1의 값을 가지게 되고, 아니면 0의 값을 가지게 된다.

상기 패널문턱모형을 분석에 이용하기에 앞서 문턱 변수에 문턱 효과가 존재하는지를 통계적으로 검정해야 한다. 설명의 편의상 일반적인 고정효과모형에 1개의 문턱이 존재하는지 확인하기 위한 귀무가설과 대립가설은 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2, H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \dots\dots\dots (5)$$

귀무가설은 두 계수의 값이 같으므로 문턱이 존재하지 않음을 의미하며, 대립가설은 두 계수의 값이 달라 문턱이 존재함을 의미한다. 식 (5)의 귀무가설하에서는 γ 를 식별할 수 없게 되어 우도비(likelihood ratio) 검정통계량의 분포가 비표준적인 분포(non-standard distribution)를 가지게 된다. 따라서 문턱이 존재하지 않는다는 귀무가설을 채택 또는 기각하기 위해서는 Hansen(1999)이 제안한 부트스트랩(bootstrap) 기법을 활용하여 우도비 검정통계량의 점근적 분포(asymptotic distribution)를 도출해야 한다(Hansen, 1999; Moon, 2011; Ge et. al., 2019).

부트스트랩 기법을 활용한 우도비 검정방법은

식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{S_0 - S_1(\hat{\gamma})}{\hat{\sigma}^2} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 S_0 는 귀무가설하에서 최소자승법으로 추정된 패널회귀식의 잔차제곱합(RSS, residual sum of square)이며, $S_1(\hat{\gamma})$ 는 대립가설하에서 최소자승법으로 추정된 패널회귀식의 잔차제곱합을 나타내고, $\hat{\sigma}^2$ 는 문턱 효과가 존재하는 패널회귀식 오차항의 분산 추정치를 의미한다(Moon, 2011).

고정효과모형에 문턱 효과의 존재 여부를 검정한 후 문턱 추정치인 $\hat{\gamma}$ 에 대한 귀무가설인 $H_0: \gamma = \gamma_0$ 의 검정을 수행한다. 여기서 γ_0 은 일치성(consistency)을 가지는 $\hat{\gamma}$ 를 의미한다(Hansen, 1999).

$$LR(\gamma) = \frac{S_1(\gamma) - S_1(\hat{\gamma})}{\hat{\sigma}^2} \dots\dots\dots (7)$$

문턱 추정치인 $\hat{\gamma}$ 에 대한 귀무가설을 검정하기 위해 식 (7)의 우도비 검정통계량을 사용하는데 Hansen(1999)은 우도비 검정통계량의 점근적 분포가 비표준적인 분포라도 γ 에 대한 비기각구간(no-rejection region)을 설정하면 유의수준 α 에서

임계치인 $-2\ln(1 - \sqrt{1 - \alpha})$ 를 도출할 수 있게 되며, $LR(\gamma_0)$ 이 임계치를 넘어서면 귀무가설을 기각하게 된다.

III. 연구 결과

1. 자료 분석

본 연구에서는 통계청에서 공개하는 어류양식 동향조사를 이용하여 천해양식어류 생산량에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 어류양식동향조사는 천해어류양식어업을 지역·양식방법·어종별로 나누어 생산량, 생산금액, 입식량, 현재사육량, 사료투입량, 종사자수, 사육수면적의 자료를 공개하고 있다.

<Table 1>은 본 분석에 사용된 2010년부터 2019년까지 8개 지역(부산, 울산, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주)의 생산량(production), 노동자수(labor), 사육수면적(water), 입식량(input), 현재사육량(raising), 사료투입량(feed), 양식어류 가격(price)의 기초통계량을 정리한 결과이다. 양식어류 가격은 동 조사의 생산금액을 생산량으로 나눈 후, 신선어류 생산자물가지수를 적용하여 명목가격을 현재가치화한 후 분석에 사용하였다.

<Table 1> Basic statistics of analysis data

Level	(unit)	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
lnproduction	(ton)	14.7665	2.0106	11.4721	17.1671
lnlabor	(person)	5.5186	1.7072	3.0445	7.8192
lnwater	(m^2)	12.2482	1.5634	9.3631	14.4417
lninput	(thousand fish)	16.5157	1.8301	13.2249	18.8887
lnraising	(thousand fish)	16.4615	2.0144	13.1143	19.1899
lnfeed	(ton)	16.5407	2.1597	13.2997	19.1839
lnprice	(kg/won)	9.2606	0.1685	8.7273	9.6488
Observation			560		

Source: Korean Statistical Information Service (2020), Aquaculture survey. Accessed 25 Dec 2020

본 분석에 활용한 어류양식동향조사 자료는 추후 추정된 결과의 해석을 용이하게 하기 위해 수 준변수를 로그형태로 변환하여 사용하였다. 이때 독립변수와 종속변수 모두 로그가 존재하면 모형에서 추정된 계수는 탄력성과 동일하게 해석할 수 있게 된다. 예를 들어 한 독립변수가 1% 증가하게 되면 종속변수는 독립변수 계수의 % 만큼 변화한다고 해석할 수 있다.

2. 분석 결과

가. 분석모형의 비교 및 선정

<Table 2>는 어류양식동향조사 패널자료를 이

용하여 도출한 3가지 형태의 패널회귀분석 결과이며, 통합최소제곱법(pooled OLS), 고정효과모형(fixed effects model), 확률효과모형(random effects model)을 통해 추정된 분석 결과를 제시하였다.

우선, 통합최소제곱법을 실시할 때 패널 개체의 이질성을 포함하게 되면 오차항과 독립변수 간 상관관계가 존재할 수 있어 통합최소제곱법을 추정하기 전 오차항의 자기상관과 이분산 존재 여부를 검정하였다. 검정결과, 오차항의 이분산과 자기상관이 존재하지 않아 통합최소제곱법을 이용하여 분석을 진행하였다.

<Table 2> Comparison of panel regression model analysis results

Level	Pooled OLS	Fixed Effects Model	Random Effects Model
	Coefficient (t-statistic)	Coefficient (t-statistic)	Coefficient (t-statistic)
lnlabor	0.5667*** (3.85)	0.3314 (1.56)	0.5384*** (3.57)
lnwater	-0.0780 (-1.62)	-0.2673* (1.73)	-0.1701** (2.03)
lninput	0.1794** (2.44)	0.2865*** (3.77)	0.2943*** (4.15)
lnraising	-0.1727** (-2.32)	-0.0746 (0.64)	-0.1568* (1.67)
lnfeed	0.5375*** (5.04)	0.4383*** (4.05)	0.4918*** (5.05)
lnprice	0.7226*** (3.21)	0.4030* (1.91)	0.5125** (2.49)
constant	-3.1068 (-1.09)	1.7250 (0.56)	-1.2802 (0.50)
R^2	Within	-	0.4331
	Between	-	0.9794
	Overall	0.9832	0.9683
F-statistic (P-value)	711.83*** (0.0000)	8.40*** (0.0000)	-
u_i test (P-value)	-	5.20*** (0.0001)	-
Wald χ^2 (P-value)	-	-	602.80*** (0.0000)

Note: * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01

다음으로, 고정효과모형은 패널 개체의 특성을 상수항과 마찬가지로 추정 모수(parameter)로 간주하고 분석을 진행하게 된다. 또한, 패널 개체에 따라 상수항이 상이하지만, 고정효과모형을 통해 추정되는 변수의 계수는 고정되어 있다고 가정한다(Allison, 2009).

끝으로, 확률효과모형은 고정효과모형과 다르게 패널 개체의 특성을 확률변수로 간주하기 때문에 이를 오차항에 포함시켜 분석을 진행한다. 이때 패널 개체의 특성은 평균이 0이고, 분산이 일정한 분포를 가지게 된다(Wooldridge, 2012).

상기 3가지 모형은 앞서 설명한 패널 개체의 특성을 처리하는 방법에 따라 통계적 분석방법이 상이하다. 그러므로 <Table 2>를 통해 제시된 3가지 모형의 추정된 변수별 계수나 t-statistic 값 등은 차이가 발생할 수 있다.

추정된 통합최소제곱법, 고정효과모형, 확률효과모형 중 본 분석에 사용할 모형을 선정하기 위해 F 검정, Breusch-Pagan 검정, Hausman 검정을 실시하였으며, 검정결과는 <Table 3>에 상세히 제시하였다.

첫째, F 검정은 통합최소제곱법과 고정효과모형 중 어느 모형이 분석에 적합한지를 검정하는 방법이다. F 검정결과에 따르면 ‘패널 개체 특성이 존재하지 않는다’라는 귀무가설을 1% 유의수준에서 기각하여 패널 개체의 특성을 고려한 고정효과모형이 분석에 적합한 것으로 판명되었다.

둘째, Breusch-Pagan 검정은 통합최소제곱법과 확률효과모형 중 분석에 적합한 모형을 검정하는 방법이다. Breusch-Pagan 검정결과, ‘패널 개체 특

성의 분산이 존재하지 않는다’라는 귀무가설을 1% 유의수준에서 기각함에 따라 패널 개체의 특성을 확률변수로 가정하는 확률효과모형이 통합최소제곱법에 비해 적합한 것으로 분석되었다.

셋째, Hausman 검정은 고정효과모형과 확률효과모형 중 어떤 모형이 분석에 더 적합한가를 확인하는 방법이다. Hausman 검정결과에 따르면 귀무가설인 ‘독립변수와 패널개체의 특성(u_i) 간에 공분산이 존재하지 않는다’라는 귀무가설을 기각하여 고정효과모형이 분석에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 상기 검정결과를 종합하면 세 모형 중 고정효과모형이 분석에 적합한 것으로 나타났다.

나. 패널문턱모형 추정 결과

F 검정, Breusch-Pagan 검정, Hausman 검정을 실시하여 고정효과모형이 분석에 적합한 모형으로 선정되었다. 따라서 선형의 패널회귀모형인 고정효과모형에서 파생된 비선형 형태의 패널문턱모형을 본 연구에서 활용하여도 무방할 것으로 판단된다(Kwon et. al., 2014; Moon and Yoon, 2015; Lim, 2020).

본 연구에서 천해양식어류 생산량에 영향을 미칠 것으로 예상되는 변수들 중에 입식량을 사육량의 문턱에 따라 구분되는 문턱 종속적인 변수로 설정하고, 사육량을 문턱변수로 설정하였다. 일반적으로 해상가두리나 육상수조식 어류양식은 가두리나 수조의 수면적에 따라 어류가 생존할 수 있는 환경수용능력이 제한되므로 기존의 사육량이 존재하는 가운데 입식량을 지속적으로 증가시킨다고 하더라도 생산량 증대가 불확실하다는 특징이 존재한다.

<Table 3> F·Breusch-Pagan·Hausman test results

Test	Null hypothesis(H_0)	Alternative hypothesis(H_1)	Statistic	P-value
F	$H_0 : all u_i = 0$	$H_1 : all u_i \neq 0$	5.20***	0.0001
Breusch-Pagan	$H_0 : var(u_i) = 0$	$H_1 : var(u_i) \neq 0$	11.30***	0.0004
Hausman	$H_0 : cov(x_{it}, u_i) = 0$	$H_1 : cov(x_{it}, u_i) \neq 0$	17.96***	0.0063

Note: * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01

본 연구에 활용되는 패널문턱 모형은 이와 같은 양식업의 특성을 반영하여 특정한 사육량 수준 이상 또는 미만일 때, 입식량이 양식어류 생산량에 미치는 영향의 정도를 보다 자세하게 살펴볼 수 있는 장점이 있다.

사육량에 문턱 효과가 존재하는지 검정한 결과는 <Table 4>에서 제시하였다. 사육량의 문턱 효과가 통계적으로 유의적인지 검정한 결과, 10% 유의수준에서 ‘문턱이 존재하지 않는다’라는 귀무가설을 기각하여 사육량에는 1개의 문턱이 존재하는 것으로 분석되었다. 구체적으로 사육량의 문턱은 13.9483으로 추정되었으며, 이 추정치를 기준으로 하여 사육량이 13.9483 미만 또는 이상일 때 입식량을 두 개의 Regime으로 구분할 수 있다. 사육량이 13.9483 미만일 때의 입식량 관측치가 모인 집단을 하위 Regime이라고 하고, 13.9483 이상일 때의 입식량 관측치로 구성된 집단을 상위 Regime이라고 하며, 이들 Regime에 속한 관측치들로부터 Regime별 입식량의 계수를 추정하게 된다.

사육량에 문턱 효과가 존재함을 확인한 후 추정된 패널문턱모형의 결과와 일반적인 고정효과모형의 추정결과를 <Table 5>에 제시하였다. 우선, 고정효과모형의 변수별 계수중 노동자수와 현재사육량, 상수항을 제외한 다른 변수의 계수는 1~10% 유의수준하에서 유의적인 것으로 나타났다. 다음으로, 패널문턱모형에서는 현재사육량과 상수항을 제외한 모든 변수의 계수는 1~10% 유의수준하에서 통계적으로 유의적이었다. 한편 고정효과모형에서는 유의적이지 않던 노동자수의 계수가 패널문턱모형에서는 1% 유의수준하에서

통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다.

아울러 고정효과모형과 패널문턱모형의 개별 변수를 비교한 결과, 우선, 노동자수는 고정효과모형에서 유의적이지 않은 변수였지만 패널문턱모형에서는 10% 유의수준에서 통계적으로 유의적이었다. 분석결과를 해석해보면, 노동자수가 1% 증가할 때 양식어류 생산량은 0.3435% 증가하는 것으로 분석되었다. 그동안 국내 양식업은 대표적인 양식업 선진국인 노르웨이와 달리 대기업의 진입이 제도적으로 제한되어 있었다. 따라서 소규모 어가들이 양식업의 대부분을 차지함에 따라 생산시설을 자동화 및 스마트화 하는데 자본을 투자할 여력이 부족했었다. 이처럼 양식업의 투자 부족에 따라 대부분 어가가 아직도 생산과정 전반을 노동력에 의존하고 있기 때문에 위의 결과가 도출된 것으로 추정된다.

둘째, 사육수면적은 고정효과모형과 패널문턱모형 모두 10% 유의수준하에서 패널문턱모형 유의미한 변수로 분석되었다. 고정효과모형에서는 사육수면적이 1% 증가할 때 양식어류 생산량은 0.2673% 감소하는 것으로 나타났고, 패널문턱모형에서는 사육수면적이 1% 증가할 경우 양식어류 생산량은 0.2557% 감소하는 것으로 분석되었다. 일반적으로 양식어장의 사육수면적이 증가하면 양식어류 생산량도 증가할 것이라는 일반적인 인식과 배치되는 결과가 도출되었다. 이러한 결과에 대해서는 다양한 견해가 존재할 수 있으나, 추론 가능한 몇 가지 원인을 살펴보면 다음과 같다.

<Table 4> Threshold effect test results

Variable	Number of Threshold	Threshold	F-statistic	P-value
lnrasing	1	13.9483	11.20*	0.0970
	2	13.9483 / 14.2512	9.98	0.2090
	3	13.6922 / 13.9483 / 14.2512	12.84	0.6080

Note: * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01

<Table 5> Comparison of fixed effects model and fixed effect panel threshold model analysis results

Level	Fixed Effects Model	Fixed Effect Panel Threshold Model
	Coefficient (t-statistic)	Coefficient (t-statistic)
lnlabor	0.3314 (1.56)	0.3435* (1.73)
lnwater	-0.2673* (1.73)	-0.2557* (-1.77)
overall	0.2865*** (3.77)	-
lninput	lower regime (lnraising < 13.9483)	-
	upper regime (lnraising ≥ 13.9483)	-
		0.2750*** (3.86)
		0.2496*** (3.47)
lnraising	-0.0746 (0.64)	0.0911 (0.75)
lnfeed	0.4383*** (4.05)	0.4859*** (4.75)
lnprice	0.4030* (1.91)	0.4948** (2.48)
constant	1.7250 (0.56)	-2.2998 (-0.74)
R^2	Within	0.4331
	Between	0.9794
	Overall	0.9683
F -statistic (P-value)	8.40*** (0.0000)	9.72*** (0.0000)
u_i test (P-value)	5.20*** (0.0001)	5.57*** (0.0000)

Note: * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01

우선 수질 악화에 따른 양식생물의 어병 발생 빈도 증가를 들 수 있다. 다음으로 기후변화에 따른 고수온 및 냉수대의 발생으로 인한 양식어류의 집단 폐사를 들 수 있다. 그리고 어류양식 면허면적이 가장 큰 남해안에 유입된 적조 등의 자연재해도 양식어류 생산량 감소에 어느 정도 영향을 미쳤을 것으로 보여진다. 마지막으로 양식어장개발이 포화상태임에도 불구하고 양식어장의 적지가 아닌 수역을 어장으로 과도하게 개발한 점도 생산량 감소의 여러 원인 중 하나로 추정된다.

셋째, 입식량은 고정효과모형에서 통계적으로 1% 유의수준에서 유의미한 변수이었으며, 패널문턱모형의 하위 regime과 상위 regime에서도 1%

유의수준하에서 유의미한 변수로 분석되었다. 고정효과모형에서는 입식량이 1% 증가할 때 양식어류 생산량은 0.2865% 증가하여 입식량 증가가 생산량 증가에 긍정적 영향을 미칠 것이라는 연구자의 직관과 일치하였다. 패널문턱모형의 하위 Regime에서는 입식량이 1% 증가할 때 양식어류 생산량은 0.2750% 증가하였고, 상위 Regime에서는 입식량이 1% 증가할 때 생산량이 0.2496% 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 사육량이 많을 때보다 적을 경우에 어류종자를 입식하게 되면 양식어류 생산량이 0.0254% 더 증가한다는 것을 의미한다. 이와 같은 결과는 개별어가들이 양식어장의 현재 사육량과 환경수용능력을 고려하여 입식량을 조절할 필요가 있음을 시사한

다. 특히 양식어류 주요생산지이며, 사육량이 문턱수준에 비해 높은 전남, 경남, 제주를 타 지역에 비해 사육수면적당 종자입식량도 1.16배 높은 것으로 나타나 어류종자 과잉 입식이 생산성 둔화에 어느 정도 영향을 미친 것으로 판단된다.

넷째, 사료투입량은 고정효과모형과 패널문턱모형 모두에서 통계적으로 1% 유의수준하에서 유의한 것으로 분석되었다. 고정효과모형에서는 사료투입량이 1% 증가할 때 양식어류 생산량이 0.4383% 증가하였고, 패널문턱모형에서도 사료투입량이 1% 증가할 때 생산량이 0.4859% 증가하여 일반적 인식과 일치함을 확인할 수 있었다.

다섯째, 양식어류 가격 변수의 경우 고정효과모형에서는 10% 유의수준하에서 통계적으로 유의적이었으나, 패널문턱모형에서는 5% 유의수준하에서 유의적인 것으로 분석되었다. 고정효과모형에서는 양식어류의 가격이 1% 상승할 때 양식어류 생산량이 0.4030% 증가하는 것으로 나타났고, 패널문턱모형에서는 양식어류 가격이 1% 상승할 경우 생산량이 0.4948% 증가하는 것으로 분석되었다. 분석 결과에 의하면 양식어류 가격과 양식어류 생산량의 관계는 다른 조건이 불변일 때, 양식어류의 가격이 상승하면 더 많은 물량을 공급하려 하는 공급의 법칙을 따르고 있는 것으로 나타났다. 어선어업의 경우 어업의 불확실성으로 인해 수산물 공급이 가격변화에 즉각적으로 반응하지 못하는 제약이 존재한다. 그러나 양식어업은 시장에 공급할 수 있는 양식어류가 수조나 해상가두리에 존재하고 있어 어선어업에 비해 가격변화에 상대적으로 민감하게 반응하여 생산량을 조절할 수 있기 때문이다.

IV. 결론

본 연구는 어류양식동향조사 패널자료를 패널문턱모형에 적용하여 천해어류양식업의 생산량에 영향을 미치는 요인과 그 정도를 실증적으로 분

석해 보았다.

본 연구의 분석 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저, 통합최소제곱법과 고정효과모형, 확률효과모형을 추정한 후 모형 간 F 검정, Breusch-Pagan 검정, Hausman 검정을 실시한 결과, 3가지 모형 중 고정효과모형이 분석에 적합한 모형으로 선정되었다.

다음으로 선형 형태의 고정효과모형에 기반한 비선형 형태의 패널문턱모형의 분석을 위해 문턱효과의 존재 여부를 검정한 결과, 사육량에서 문턱이 1개 존재하는 것으로 분석되었고, 사육량이 13.9483 미만 또는 이상일 때, 입식량은 2개의 Regime으로 구분되었다.

끝으로 고정효과모형과 패널문턱모형의 변수별 계수의 추정결과를 비교하였다. 구체적으로 노동자수는 패널문턱모형에서만 유의적인 변수로 나타났다. 노동자수가 양식어류 생산량을 증가시키는 요인임을 확인하였다. 한편, 연구자의 직관과는 다르게 사육수면적은 두 모형에서 공통으로 양식어류 생산량을 감소시키는 요인으로 식별되었다. 그러나 사료투입량은 두 모형에서 양식어류 생산량을 증가시키는 요인인 것으로 분석되었다. 양식어류의 가격은 패널문턱모형에서 통계적으로 유의성이 더 높았으나 고정효과모형에서도 양식어류 생산량을 증대시키는 것으로 판명되었다. 입식량은 고정효과모형과 패널문턱모형 모두에서 양식어류 생산량을 증가시키는 것으로 나타났다. 그러나 패널문턱모형에서는 사육량이 적은 경우에 어류종자를 입식하게 되면 양식어류 생산량을 더 증가시키는 것으로 분석되었다.

상기 분석 결과를 바탕으로 안정적인 천해양식어류의 생산기반을 구축하고, 궁극적으로 양식어류 생산량을 증대시키기 위해서는 다음과 같은 정책이 보완되어야 할 것으로 판단된다.

우선, 사육수면적이 증가해도 양식어류의 생산량이 감소하는 경향이 나타남에 따라 어류양식어가 스스로 양식어장의 환경개선에 임하도록 면허갱신시 어장환경의 관리실태 등을 까다롭게 심

사·평가한 후 재면허 또는 면허불허를 결정하는 제도를 실효성 있게 추진할 필요가 있다.

다음으로, 사육량이 문턱 수준을 넘었을 때 어류종자를 입식하게 되면 오히려 생산성이 둔화되는 경향을 보임에 따라 밀식으로 인한 여러 문제를 예방할 수 있도록 사육량 뿐만 아니라 생물학적 기준과 사회·경제적 측면도 함께 고려한 적정 입식량 정보를 양식어업인에게 제공하는 관측정보제공 서비스의 강화가 필요하다.

본 연구는 수산분야에서 거의 시도해 보지 않은 패널문턱모형을 이용하여 천해양식어류의 생산량에 영향을 미치는 요인을 파악해 본 점에 의의를 둘 수 있다. 또한 패널문턱모형을 이용하여 사육량이 특정기준 미만 또는 이상일 경우 어류종자를 입식할 때 양식어류의 생산량에 미치는 영향을 개별적으로 추정한 후 그 결과의 함의를 도출하고 어류양식과 관련된 정책의 개선사항을 제안한 점 또한 연구의 의의라 할 수 있다.

그러나 분석에 이용한 사회경제적 변수 외에 천해양식어류의 생산량에 영향을 미칠 수 있는 환경적 요인(수질, 수온, 염분 등)과 생물적 요인(생존율, 폐사율, 환경수용능력 등)을 충분히 고려하지 못한 한계가 존재한다. 따라서 향후 연구 과제로 분석에 활용하지 못한 요인들을 고려하여 패널문턱모형을 분석해보거나 패널문턱모형의 시차(lagged) 종속변수가 독립변수로 포함된 동태적 패널문턱모형(dynamic panel threshold model)을 이용하여 천해양식어류의 생산량에 영향을 미치는 요인을 보다 자세히 분석해 볼 필요가 있다.

References

Allison PD(2009). Fixed Effects Regression Models, Newbury Park, CA: Sage, 6~27.
 Bottai M and Orsini N(2004). Confidence intervals for the variance component of random-effects linear models. *Stata Journal* 4(4), 429~435.
 Eh YY(2011A). An Environmental Effect on Productivity of Flounder Culture Farms. *Journal of*

Fisheries Business Administration 42(3), 79~93.
 Eh YY(2011B). Productivity of the Flounder Stocking Density on the Flounder Culture Farms. *Journal of Fisheries Business Administration* 42(2), 85~96.
 Eh YY(2014). Productivity of aquaculture facility utilization. *Journal of Fisheries Business Administration* 45(2), 85~95.
<https://doi.org/10.12939/FBA.2014.45.2.085>
 Eh YY(2015). Production planning in fish farm. *Journal of Fisheries Business Administration* 46(3), 129~141.
<https://doi.org/10.12939/FBA.2015.46.3.129>
 Ge NN, Yu C and Hwang YS(2019). An Empirical Test of the Effects of Absorptive Capacity of Host Country on the inflow FDI. *International Commerce and Information Review* 21(2), 123~140.
<http://dx.doi.org/10.15798/kaici.2019.21.2.123>
 Han SB(2013). Threshold Effects of Trade Openness on Economic Growth. *Journal of International Trade and Commerce* 9(7), 81~96.
<https://doi.org/10.16980/jitc.9.7.201312.81>
 Hansen BE(1999). Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. *Journal of Econometrics* 93, 345~368.
 Hausman JA(1978). Specification Tests in Econometrics, *Econometrica* 46, 1251~1271.
 Joint Ministries(2019). Fisheries Innovation 2030 Plan, 26~29.
 Korean Statistical Information Service(KOSIS). 2020. Statistical data of aquaculture survey. Retrieved from <https://kosis.kr>. Accessed 25 Dec 2020.
 Korean Statistical Information Service(KOSIS). 2020. Statistical data of fishery production survey. Retrieved from <https://kosis.kr>. Accessed 29 Dec 2020.
 Kwon KS, Yoo SK, Kim JH and Kim JJ(2014). An Analysis of the Marginal Effect of Construction Company Debts on Profitability: using Panel Threshold Regression Model Approach. *Journal of the Architectural Institute of Korea* 30(10), 49~57.
https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2014.30.10.49
 Lim JH(2020). The Effect of Government Subsidies on the Budget Compilation of Government Subsidy Projects by Local Governments: Based on the Fungibility Hypothesis. *The Korea Local Administration Review* 34(3), 59~88.

- Min IS and Choi PS(2012). Panel Data Analysis. Jiphimedia, 79~178.
- Moon KM and Yoon SI(2015). Economic Effect of Local Tax Exemption and Reduction: Investigation of Non-linearity using Threshold Model. The Korean Journal of Local Government Studies 19(1), 257~277.
UCI: I410-ECN-0102-2015-300-001935722
- Moon KM(2011). Central Government Grant and Local Government Efficiency: A Panel Threshold Regression Analysis. Korean Public Administration Review 45(4), 85~116.
UCI : G704-000298.2011.45.4.010
- Park CH(2012). The Study on the Comparative Analysis of the Aquaculture Production Efficiency Regarding Methods and Species. Journal of Fisheries Business Administration 43(2), 79~94.
<https://doi.org/10.12939/FBA.2012.43.2.079>
- Sim SH and Nam JO(2019). Identifying Factors Influencing Fish Production of Shallow-sea Aquaculture Based on the Dynamic Panel Model. Ocean and Polar Research 41(1), 35~46.
<https://doi.org/10.4217/OPR.2019.41.1.035>
- Wang Q(2015). Fixed-effect panel threshold model using Stata. The Stata Journal 15(1), 121~134.
- Wooldridge JM(2012). Introductory Econometrics: A Modern Approach 5th ed, Boston: Cengage, 484~511.
-
- Received : 04 February, 2021
 - Revised : 18 February, 2021
 - Accepted : 05 March, 2021