

삼치어종의 동태적 최적어업관리

조훈석*·남종오**

요약 : 본 연구의 목적은 다수어업에 의해 어획되는 삼치어종에 대해 잉여생산모형을 이용하여 최대지속적어획량(Y_{MSY}) 및 최대지속적어획노력량(F_{MSY})을 추정한 후 현재 가치 해밀토니안 기법을 적용하여 삼치어종을 어획하는 다수어업의 이윤 극대화를 위한 최적어업관리 수준과 민감도 분석을 통한 삼치어종의 제도적 접근 방안을 제공함에 있다. 분석 내용으로, 우선, 다수어업의 어획노력량을 Gavaris의 일반선형모형을 적용하여 하나의 단위로 표준화한 후, 다양한 잉여생산모형 중 CYP 모형을 채택하여 정태적 자원평가를 시도하였다. 다음으로, 생물·기술적 계수와 경제적 매개변수를 가지고 현재가치 해밀토니안 기법을 이용하여 어업 이윤을 극대화하는 동태적 최적 수준을 추정하였다. 분석 결과, 우선, MSY 수준과 이윤이 극대화되는 수준에서 우리나라 삼치자원은 남획되고 있는 것으로 분석되었다. 다음으로, 경제적 주요 변수인 생산가격과 단위당 어업비용 변화에 따른 민감도 분석을 시도해본 결과, 생산가격 및 어업비용이 변화할 때 삼치어종의 자원량이 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 특히, 실제 삼치어종에 대한 어획노력량이 과도하게 투입되고 있어, 동 자원의 남획으로 인해 삼치어종을 어획하는 쌍끌이대형저인망어업, 대형선망어업, 대형트롤어업의 경영에도 비효율성을 야기하고 있는 것으로 분석되었다. 결론적으로, 본 연구에서는 우리나라 연근해 수산자원의 회복과 TAC 총량규제의 정부 정책의 확대에 맞추어 삼치어종도 TAC 대상 품종에 포함하여 체계적으로 자원을 관리해 나가길 제안하였다.

주제어 : 삼치, Gavaris 일반선형모형, 잉여생산모형, 현재가치 해밀토니안, 최적어획량과 최적어획노력량

JEL 분류 : C61, Q22, Q28

접수일(2020년 7월 21일), 수정일(2020년 9월 7일), 게재확정일(2020년 9월 9일)

* 국립부경대학교 일반대학원 자원환경경제학과 박사과정, 제1저자(e-mail: charistmas@naver.com)

** 국립부경대학교 인문사회과학대학 경제학부 부교수, 교신저자(e-mail: namjo1234@pknu.ac.kr)

The Dynamic Optimal Fisheries Management for Spanish Mackerel

Hoonseok Cho* and Jongoh Nam**

ABSTRACT : The purposes of this study are to not only estimate optimal harvests and efforts using the surplus production methods for Spanish mackerel caught by multiple fishing gears, but provide dynamic optimal fisheries management for these gears using the current value Hamiltonian method. To achieve the above purposes this study uses several models such as Gavaris's general linear model for standardizing fishing efforts, surplus production method for estimating biological and technological coefficients, current value Hamiltonian method for estimating dynamic optimal harvest and efforts, and sensitivity analysis for diagnosing economic influences of these fisheries. As a result, this study showed that Spanish mackerel was overfished by multiple fishing gears based on surplus production method and the current value Hamiltonian method. Also, this study found that when the price and cost proportionally changed, the optimal harvest and fishing effort sensitively responded to the stock level of Spanish mackerel. Next, this study suggested that the multiple fishing gears for Spanish mackerel should reduce unnecessary costs such as operating time or inefficient fuel consumption. Finally, this study provided reasons Spanish mackerel should be included in the TAC system in a view of profit maximization based on sustainable use of the Spanish mackerel.

Keywords : Spanish Mackerel, Gavaris General Linear Model, Surplus Production Method, Current Value Hamiltonian, Optimal Harvest and Efforts

Received: July 21, 2020. Revised: September 7, 2020. Accepted: September 9, 2020.

* Ph.D. Student, Department of Resource and Environmental Economics, Graduate School, Pukyong National University, First author(e-mail: charistmas@naver.com)

** Associated professor, Division of Economics, College of Humanities and Social Sciences, Pukyong National University, Corresponding author(e-mail: namjo1234@pknu.ac.kr)

I. 서론

우리나라 연근해어업의 생산량은 통계가 집계된 1970년 724,365톤을 기록한 이후 꾸준히 늘어나 1986년에는 약 1,725,820여 톤까지 증가하였다. 이로 인해 우리나라 연근해어장은 세계적으로도 가치 있는 황금어장으로 불릴 만큼 풍부한 수산자원을 보유하기도 하였다. 그러나 1996년 이후부터 그 생산량이 계속 감소하여 급기야는 2016년과 2017년 들어 심리적 한계선으로 여겨져 왔던 100만 톤 이하까지 급감하였다. 이로 인해 우리나라 연근해어장은 연근해 수산자원의 고갈을 염려해야 하는 심각한 문제에 직면해 있다.

이러한 문제의식 속에서 해양수산부는 2019년 2월 “수산혁신 2030 계획”을 세워 2030년까지 총허용어획량(TAC, Total Allowable Catch) 관리대상종 어종비율을 80%까지 확대하여 연근해 수산자원량을 503만 톤까지 증대시키겠다는 목표를 발표한 바 있다. 이와 관련하여 TAC 의무화 제도 법안 마련 및 자원평가 체계의 고도화·어획량 통계 관리 강화 등의 세부 추진과제도 수립하였다.

연근해 수산자원의 급격한 감소 문제에 대해서는 정부, 지자체, 학계, 연구계, 업계 등에 의해 꾸준히 제기된 바 있다. 그리고 이를 극복해보고자 이들은 수산자원의 회복을 위한 제도적, 정책적 방안 등의 제안과 연구를 꾸준히 수행해왔다. 특히, 학계나 연구계에서는 수산자원의 평가 및 회복을 위한 다양한 연구와 방안 등을 제시하기도 하였다(김기철·권오상, 2000; 최종열·김도훈, 2011; 남종오, 2011; 심성현·남종오, 2015; 남종오 외, 2015; 윤상돈·남종오, 2016; 정민주·남종오, 2017; 남종오·조훈석, 2018; 임정현 외, 2018; 박윤선·권오상, 2019; 최민제·김도훈, 2019; 최민제 외, 2020).

그러나 삼치의 경우 최근 5년(2014~2018년)간 우리나라 연근해어업의 단일품종 중 5위에 해당하는 높은 어획량을 기록하고 있음에도 불구하고, TAC 대상 품종에 포함되어 있지 못하다 보니 연구나 정책의 대상에서 다소 외면되어온 것이 사실이다. 이는 삼치를 어획하는 업종이 다양하여 TAC 제도 도입에 어려움이 있었을 뿐만 아니라 삼치의 자원평가 및 정책과 관련된 연구가 제한적인 것도 한 원인이었다(Yun and Nam, 2017). 그나마 이와 관련하여 발표된 연구도 정태적 자원분석에 국한되어 있다.

한편, 동태적 자원분석의 연구로는 Clark and Munro(1975)의 “동태적 최적이론

(theory of dynamic optimization)”을 바탕으로 국내외에서 다양한 연구가 수행된 바 있다. 이러한 선행연구로 최종열·김도훈(2009, 2011)은 고등어와 도루묵을 대상으로 최적 어획량과 최적어획노력량을 추정하였다.¹⁾ 그리고 남종오(2011)와 남종오 외(2015)는 대형선망어업에 의해 어획되는 고등어와 전갱이와 근해안강망어업과 근해자망어업에서 어획되는 참조기의 동태적 최적량 수준을 분석한 바 있다.

그러나 위의 선행연구들은 Schaefer(1954)의 성장식인 로지스틱 모형을 이용하여 동태적 최적해를 추정하였다는 점에서 본 연구와 뚜렷한 차별성이 존재한다. 일반적으로 자원평가 및 동태적 최적해 추정을 위해서는 역U자 형태의 로지스틱 성장모형을 적용한다. 그러나 Schaefer(1954)의 성장식을 통해 자원평가가 불가능한 어종의 경우 Gompertz의 지수성장함수를 적용하여 분석을 시행하게 된다. 본 연구에서도 삼치어종을 분석함에 있어 Schaefer(1954)의 성장식을 통한 분석의 제약을 극복하고자 Gompertz 지수성장함수에 기초하여 분석을 시도하였다. 특히 세계적으로도 거의 소개된 바 없는 Gompertz 함수에 기초한 동태적 최적량을 수치 해석적 분석을 시도하였다는 점에서 학문적으로 의미가 있는 연구로 판단된다.

이에 본 연구에서는 삼치자원의 정태적 분석에 국한된 기존연구에서 나아가 우리나라 삼치어종에 대한 어업 이윤의 순현재가치(NPV, Net Present Value)를 극대화(NP, Net Profit)하는 동태적 최적량 수준을 분석해보고자 한다. 또한, 민감도 분석을 통해 삼치의 어가 변동과 어업비용 변화 등에 대비하여 삼치의 최적자원량과 어획량 변화 추이를 추가로 예측해본다.

본 연구의 구성으로 2장에서는 모형과 동태적 최적어획량 추정에 관한 이론적 모형을 제시하고, 3장에서 다수어업에 의해 어획되는 삼치의 최대지속적어획노력량(F_{MSY})과 최대지속적어획량(Y_{MSY}) 분석과 더불어, 생산가격과 어업비용, 사회적 할인율을 고려하여 동태적 최적자원량과 최적어획노력량, 최적어획량을 추정한다. 끝으로 4장에서는 분석 결과를 요약하고, 정부 정책 시행에 대한 의견과 분석의 한계 및 향후 연구에 대해 제시한다.

1) 최적어획량이란 시간의 변화에 따라 어획 활동으로부터 발생하는 사회적 이익을 최대화하는 어획 수준을 의미하고 이때의 투입된 어획노력량을 최적어획노력량이라고 한다.

II. 추정모형

1. 모형의 기본가정

우리나라 근해 수산자원은 외끌이대형저인망어업, 쌍끌이대형저인망어업, 동해구의 끌이중형저인망어업 등 약 21개 어업에 의해 어획된다. 이에 본 연구에서는 21개 업종 중 최근 3년(2016~2018년)간 근해어업의 삼치 어획량의 75.0%를 차지하고 있는 쌍끌이대형저인망어업, 대형선망어업, 대형트롤어업을 대상으로 자원평가를 실시하였다.

본 연구의 첫 번째 가정으로 삼치를 어획하는 업종들 사이에 경제적인 상호작용이 존재한다는 것이다. 즉, 근해해역의 수산동물을 어획하는 3개의 어업 중 다른 하나의 어업의 어획량이 줄거나 늘어나면 나머지 2개 어업에서의 어획량은 그 어업의 영향으로 늘거나 줄 수 있음을 의미한다. 두 번째 가정은 본 연구에서 사용된 어획량은 3개 업종에 의해 어획되는 어획량만을 분석의 대상으로 적용하는 것이다. 이러한 이유는 분석대상에서 제외된 다른 근해 업종의 어획량이 분석대상에 포함될 경우 분석 대상인 쌍끌이대형저인망어업, 대형선망어업, 대형트롤어업의 자원평가의 결과가 과대 추정될 수 있기 때문이다.

2. 어획노력량 표준화 과정

어획노력량의 표준화 방법으로 Gavaris(1980)의 일반선형모형(GLM, General Linear Model)을 이용하여 3개 업종의 서로 다른 어구·어법의 어획노력량을 하나의 단위로 표준화하였다(Quinn and Deriso, 1999).

$$\ln U = \ln U_r + \sum_i \sum_j X_{ij} \ln P_{ij} + \epsilon \quad (1)$$

식 (1)에서 U_r 은 어법, 연도, 어업, 어구, 조업구역 등을 나타내는 요인변수의 기준이 되는 CPUE(Catch Per Unit Effort)를 의미한다(조훈석·남종오, 2019). i 는 요인변수를 의미하며, j 는 각 요인변수 내의 수준을 뜻한다. P_{ij} 는 요인변수 i 에서의 j 수준에 대한

상대적인 어획능력을 나타내며, 각 요인변수의 기준이 되는 수준에 대해 P_{ij} 는 1로 정의한다(조훈석·남종오, 2019). X_{ij} 는 자료가 요인변수 i 의 j 수준을 나타낼 때는 1로 표기하고, 그렇지 않을 경우 X_{ij} 는 0으로 설정한다. CPUE의 일반모형은 로그정규분포에 기초하며, ϵ 는 정규확률변수(Normal Random Variable)로 평균이 0이며, σ^2 는 일정한 분산을 가진다(조훈석·남종오, 2019).

3. CYP 모형

본 연구에서 사용된 모형은 Verhulst(1838)에 의해 제시되었으며, 수산자원의 성장량과 어획량이 같다면 균형어군을 유지할 수 있는 것으로, 동 모형을 통해 지속적으로 수산자원을 이용할 수 있음을 제시하였다(조훈석·남종오, 2019).

특히, CYP 모형(1992)은 지수성장함수(Exponential Growth Function)에 기초한 Fox 모형(1970)을 개선하여 개발하였는데, 상기 모형은 본 연구에서 분석한 다른 잉여생산 모형(Surplus Production Model)에 비해 통계적으로 근해어업(쌍끌이대형저인망, 대형선망, 대형트롤) 분석에 적합한 것으로 나타났다(Clarke et al., 1992).

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

여기서, U 는 CPUE(Catch Per Unit Effort), F 는 어획노력량, r 은 수산자원의 본원적 성장률을 의미하며, q 는 어획능률계수, k 는 수산자원의 환경수용능력을 뜻한다.

4. 지속적 어획곡선 및 최대지속적어획량

자원량이 X^* 일 경우, 어획노력량이 지속적으로 투입되어 얻을 수 있는 균형 어획량과 균형 어획노력량 사이의 관계 함수를 지속적 어획곡선(SYC, Sustainable Yield Curve)이라 한다. 지속적 어획곡선은 어획함수 $Y(F) = qFX$ 에 균형자원량 X^* 을 대입하여 구할 수 있다(Clark, 1985; 조훈석·남종오, 2019).

$$SY(F) = qFX^* = qkFe^{-\left(\frac{q}{r}\right)F} \quad (3)$$

최대지속적어획량(Y_{MSY}) 균형하의 어획노력량을 도출하기 위해서 식 (3)을 F 에 대해 미분하고, 이 값을 0으로 설정한 후 F 로 정리하면 최대지속적어획노력량(F_{MSY})을 추정할 수 있다.

$$F_{MSY} = \frac{r}{q} \quad (4)$$

위의 식 (4)의 최대지속적어획노력량(F_{MSY})을 식(3)에 대입하면 식 (5)의 형태로 나타낼 수 있는데, 이를 최대지속적어획량(Y_{MSY})이라고 한다.

$$Y_{MSY} = qkF_{MSY}e^{-\left(\frac{q}{r}\right)F_{MSY}} = \frac{rk}{e} \quad (5)$$

5. 최적어획량 결정모형의 기본가정

최적어획량 결정의 기본모형은 어획노력량과 단위노력당 어획량(CPUE)의 관계를 반영하여 선형보다 지수형태를 보이는 Gompertz의 지수성장함수식을 이용한다.

$$G(X_t) = rX_t \ln\left(\frac{k}{X_t}\right), \text{ where } \frac{dX_t}{dt} = \dot{x} \quad (6)$$

이때, $G(X_t)$ 는 t 시점의 어업자원 성장량을 말하며, X_t 는 t 시점 어종의 자원량을 뜻한다. 또한, \dot{x} 는 시간의 흐름에 따라 변화하는 자원량을 의미한다. 그리고 식 (6)의 지수성장함수에 어업인의 어획 활동을 추가하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dX}{dt} = G(X) - Y_t \quad (7)$$

여기서 Y_t 는 F_t 와 X_t 에 의존하는 어획함수로서 어획능력계수인 q 와 어획노력량의 특성을 반영하는 승수 α 및 수산자원의 특성을 고려한 승수 β 를 이용해 다음의 식 (8)로 나타낼 수 있다. 본 연구의 어획함수는 α 와 β 를 각각 1로 가정한 후 선형함수의 형태로 나타낸다(남종오, 2011; 남종오 외, 2015; 남종오·조훈석, 2018).

$$Y_t = qF_t^\alpha X_t^\beta \quad (8)$$

어획비용함수 $TC(F_t)$ 는 단위노력당 어획비용(c)에 t 시점의 어획노력량 F_t 을 곱하여 도출한다.

$$TC(F_t) = cF_t \quad (9)$$

6. 동태적 최적 어업어획함수

Clark and Munro(1975)는 수산생물의 자원량을 어업에 대한 자본(stock)이라 가정하고, 시간의 변화에 따라 어획활동으로부터 발생하는 사회적 이익을 최대화하는 “동태적 최적이론”을 제시하였다(최종열·김도훈, 2011). 동태적 최적화 모형의 함수와 제약조건은 식 (10)과 같다.

Maximize

$$NPV = \int_0^\infty [pY_t - cF_t]e^{-\delta t} dt = \int_0^\infty [pqF_tX_t - cF_t]e^{-\delta t} dt \quad (10)$$

제약 조건(subject to)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$dX/dt = \dot{x}, X(0) = X_0$$

$$X_t \geq 0, 0 \leq Y_t \leq Y_{t_{\max}}$$

이때, F_t 는 t 시점의 어획노력량, Y_t 는 t 시점의 어획량을 뜻한다. δ 는 사회적 할인율을,

$pY_t - cF_t$ 는 t 시점의 이윤을, X_0 는 어종별 초기 자원량을 의미하며, $Y_{t_{\max}}$ 는 어종별 t 시점의 최대어획량을 나타낸다. 식 (10)의 제약조건 식을 바탕으로 한 목적함수 최적화를 위한 현재가치 해밀토니안 함수식인 H_c 는 식 (11)과 같이 표현할 수 있다(Clark and Munro, 1975; 남종오, 2011; 남종오 외, 2015; 남종오·조훈석, 2018).

$$H_c = [pqF_tX_t - cF_t] + \lambda[G(X_t) - qF_tX_t] \quad (11)$$

여기서 λ 는 잠재 가격(shadow price)으로 수산생물의 미래가치를 현재가치로 할인된 값을 의미한다(Clark and Munro, 1975; 남종오 외, 2015). 식 (11)의 X_t 는 상태변수를 뜻하며, F_t 는 제어변수를 의미한다. H_c 의 최적해는 H_c 를 어획노력량(F)과 자원량(X)으로 편미분한 1계 필요조건(first order necessary condition)과 상태효율조건식(SEC, Static Efficiency Condition)을 t 로 편미분하여 추정할 수 있다(최종열·김도훈, 2011). 여기서, 상태효율조건식은 H_c 를 어획노력량(F)을 가지고 편미분한 1계 필요조건으로부터 도출할 수 있고, 동태효율조건식(DEC, Dynamic Efficiency Condition)은 H_c 를 자원량(X)을 가지고 편미분한 1계 필요조건으로부터 도출할 수 있다(Clark and Munro, 1975; 남종오, 2011).

$$SEC: \frac{\partial H}{\partial F} = pqX - c - \lambda qX = 0, \quad p - \frac{c}{qX} = \lambda \quad (12)$$

$$DEC: \frac{\partial H}{\partial X} = pqF + \lambda G'(X) - \lambda qF = -\dot{\lambda} + \delta\lambda \quad (13)$$

다음으로 상태효율조건(SEC) 식 (12)를 t 에 대해 편미분하면 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{\lambda} = \frac{c}{qX^2} \dot{x} = \frac{c}{qX^2} [G(X - qFX)] \quad (14)$$

위의 식 (12), (13), (14)로부터 최적자원량을 추정하기 위해 적용해야 하는 “황금률 (golden rules)”을 도출할 수 있다(남종오, 2011; 남종오 외, 2015; 남종오·조훈석, 2018).

$$G'(X^*) + G(X^*) \frac{c}{X^*(qpX^* - c)} = \delta \quad (15)$$

여기서, $G'(X^*)$ 는 자원의 한계 성장률을 의미하고, $G(X^*) \frac{c}{X^*(qpX^* - c)}$ 은 한계 자원량 효과를 나타내며, $G'(X^*) + G(X^*) \frac{c}{X^*(qpX^* - c)}$ 은 어업자 자신의 이자율을 의미한다. 따라서 황금률은 어업자 자신의 이자율은 사회적 할인율과 같아야 한다.

어종별 최적자원량은 식 (15)에서 Gompertz의 성장함수에 대입하여 도출할 수 있으며, 최적어획노력량(F^*)은 식 (17)을 이용하여 추정할 수 있다.2)

$$X^* = \frac{1}{2} \left[\left\{ \frac{c}{pq} + \frac{\delta}{r \ln\left(\frac{k}{X^*}\right)} \right\} \pm \sqrt{\left(\left(\frac{c}{pq} + \frac{\delta}{r \ln\left(\frac{k}{X^*}\right)} \right)^2 - 4 \left(\frac{\delta c}{pq r \ln\left(\frac{k}{X^*}\right)} + \frac{c}{pq} \right) \right)} \right] \quad (16)$$

$$F^* = \frac{r \ln\left(\frac{k}{X^*}\right)}{q} \quad (17)$$

그리고 최적자원량(X^*)이 도출되면 자원의 균형 상태인 $\dot{x} = G(X^*) - Y^* = 0$ 으로부터 어종의 최적어획량(Y^*)을 도출할 수 있다(남종오, 2011; 남종오 외, 2015; 남종오·조훈석, 2018).

$$Y^* = qF^*X^* \quad (18)$$

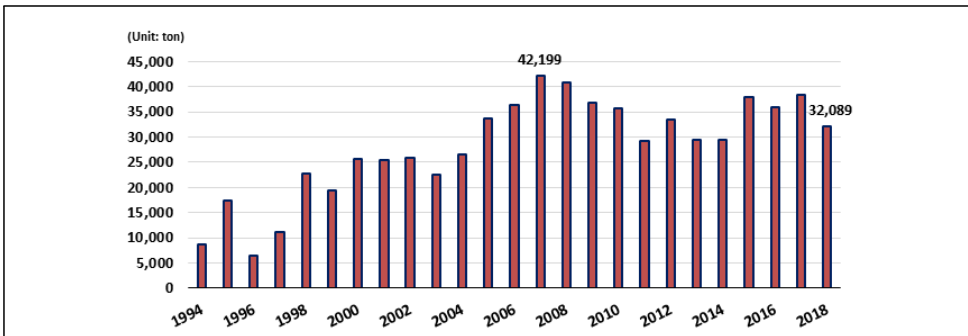
2) 최적자원량을 추정하기 위해 식 (16)과 같이 양변에 최적자원량(X^*)이 포함되어 있어 우선, 중간값 정리(IVT, Intermediate Value Theorem)로 방정식의 해의 존재 여부를 확인하였다. 다음으로, 폐구간의 범위를 점점 좁혀 근사치를 추정하였다. 끝으로, 오차범위를 $10^{(-13)}$ 으로 설정한 후 방정식의 해를 도출한 후, 검산 결과 0으로 분석되어 추정된 값을 이용하는 데 있어 문제가 없도록 조치하였다.

III. 실증분석

1. 자료분석

<그림 1>은 우리나라 삼치의 연도별 어획량을 나타낸다. 우리나라 삼치 어획은 1994년 약 8,667톤과 1996년 약 6,419톤에 머물렀으나 이후 꾸준히 증감 추세를 보이며 2008년에 이르러 약 42,199톤으로 가장 높은 어획량을 기록하였다. 그러나 2008년 이후 어획량이 감소하기 시작하여 2013년에는 약 29,394톤의 어획량을 기록하였다.

<그림 1> 연근해어업의 삼치 어획량 추이(1994~2018년)



자료 : 국가통계포털, “어업생산동향조사”, 각 연도.

2013년 이후 다시 증감을 반복하며 2017년에 이르러 약 38,036톤으로 어획량을 회복하였으나, 2018년에는 다시 약 32,089톤으로 감소하였다. 한편, 삼치 어획량 추세를 살펴보면 2000년대 이후 그 변동 폭이 큰 것으로 나타났으며 2018년 이후 다시 감소하는 경향을 보여 이러한 현상이 일시적인지는 좀 더 지켜볼 필요가 있다. 이러한 어획량 변동이 기후 변화와 어군의 회유경로 변경 등의 자연적 요인에 의한 영향인지 아니면 삼치를 어획하는 어업인의 경쟁적 조업에 따른 자원량 감소에 기인한 것인지 등에 대해서는 충분한 조사가 필요할 것으로 판단된다.

<표 1>은 1994년부터 2018년까지 삼치를 어획하는 근해어업의 어획량 비중을 나타낸 것이다. 삼치를 어획하는 주요 어업은 쌍끌이대형저인망, 대형선망, 대형트롤 어업 등임을 확인할 수 있으며, 최근 3년(2016~2018년)간 이들 3개 어업의 평균 어획량은 약

75.0% 수준인 것으로 나타났다.³⁾ 이에 따라 본 연구에서는 상기 3개 어업을 대상으로 어획노력량을 표준화하여 잉여생산모형 및 동태적 최적화 모형에 적용하였다.

〈표 1〉 삼치어종의 연도별·업종별 어획 비중(1994~2018년)

연도	쌍끌이 대형저인망	대형선망	대형트롤	기타	합계
1994	0.08	0.51	0.21	0.21	1
1995	0.15	0.59	0.18	0.09	1
1996	0.35	0.28	0.26	0.11	1
1997	0.65	0.10	0.10	0.15	1
1998	0.51	0.29	0.07	0.14	1
1999	0.54	0.24	0.07	0.15	1
2000	0.50	0.19	0.09	0.23	1
2001	0.57	0.27	0.05	0.11	1
2002	0.60	0.27	0.05	0.09	1
2003	0.66	0.19	0.05	0.10	1
2004	0.57	0.21	0.02	0.20	1
2005	0.68	0.15	0.04	0.13	1
2006	0.57	0.28	0.04	0.12	1
2007	0.47	0.34	0.04	0.15	1
2008	0.54	0.26	0.03	0.17	1
2009	0.55	0.19	0.05	0.22	1
2010	0.52	0.21	0.04	0.23	1
2011	0.51	0.24	0.02	0.23	1
2012	0.57	0.21	0.01	0.21	1
2013	0.48	0.24	0.03	0.24	1
2014	0.61	0.12	0.03	0.24	1
2015	0.54	0.18	0.03	0.25	1
2016	0.52	0.28	0.02	0.18	1
2017	0.59	0.18	0.01	0.21	1
2018	0.46	0.15	0.02	0.36	1
3년 평균 (2016~2018년)	0.53	0.20	0.02	0.25	1

자료: 국가통계포털, “어업생산동향조사”, 각 연도.

3) 삼치를 어획하는 연안 및 근해 업종은 모두 30여 업종에 해당하며, 본 분석에 이용한 3개 업종 외에 기타 업종의 어획량도 약 25.0%를 차지하여 이들 업종 모두를 포함시켜 분석을 시도하였다. 그러나 삼치를 어획하는 근해 및 연안어업(정치망, 구획 등 포함)의 규모, 성격, 특성 등이 매우 상이하여 이들 업종을 포함한 어획노력량 표준화의 분석 결과가 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 삼치를 어획하는 주요 근해 업종에 한정하여 분석하였다.

2. 어획노력량 표준화

쌍끌이대형저인망어업, 대형선망어업, 대형트롤어업의 어획노력량을 표준화하기 위해 각각의 CPUE를 자연로그(ln)로 변환한 후 Gavaris(1980)의 일반선형모형에 적용하였다. 분석 결과, 추정치 가운데 1995년, 1996년, 1997년, 1999년을 제외한 모든 연도에 서 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준에서 유의한 것으로 분석되었다. 또한, 모형의 설명도를 의미하는 결정계수는 약 0.7338로 비교적 높은 설명력을 가진 것으로 분석되었으며, GLM 모형의 F-통계량 또한 1% 유의수준에서 유의한 것으로 분석되었다<부표 1>.

〈표 2〉 Gavaris(1980) 일반선형모형(GLM) 검정 결과 (단위: 개수)

모형	R^2 ($\overline{R^2}$)	F-stat. (Prob.)	유의적 변수 (Prob. < 0.10)
일반선형모형(GLM)	0.7338 (0.5896)	5.0883 ***	23

주: *, **, ***은 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함.

3. 삼치어종의 잉여생산모형 분석

〈표 3〉은 5개 잉여생산모형의 분석 결과를 나타낸 것으로, CYP 모형(1992)의 R^2 는 0.8232, $\overline{R^2}$ 는 0.8061로 분석되어, 모형의 설명력이 약 82.3%인 것으로 추정된 반면에, CYP 모형(1992)을 제외한 나머지 모형의 R^2 와 $\overline{R^2}$ 는 0.4000 이하로 나타나 모형의 설명력이 CYP 모형에 비해 낮은 것으로 분석되었다.

〈표 3〉 개별 잉여생산모형 분석 결과

모형	R^2 ($\overline{R^2}$)	계수			F-stat. (Prob.)
		C (Prob.)	X_1 (Prob.)	X_2 (Prob.)	
Schaefer	0.2503 (0.1754)	0.0813** (2.1078)	-0.0074** (0.0479)	0.0000 (0.1625)	3.3391* (0.0561)
Schnute	0.1289 (0.0459)	0.1311 (0.8551)	-0.0036 (0.5645)	0.0000 (0.7119)	1.5542 (0.2347)

〈표 3〉 개별 잉여생산모형 분석 결과 (계속)

모형	R^2 (\overline{R}^2)	계수			F-stat. (Prob.)
		C (Prob.)	X_1 (Prob.)	X_2 (Prob.)	
WH	0.3716 (0.3117)	0.6784 (0.9466)	-0.0107* (0.0.922)	0.0000 (0.8056)	6.2087*** (0.0076)
Fox	0.1909 (0.1100)	1.3481* (0.0784)	-0.2518 (0.0.633)	0.0000 (0.2492)	2.3597 (0.1202)
CYP	0.8232 (0.8061)	3.6954** (0.0013)	0.3059* (0.0912)	0.0000** (0.0148)	48.8261*** (0.0000)

주1: Schaefer: ($C=r, X_1 = \frac{r}{qk}, X_2 = q$), Schnute: ($C=r, X_1 = \frac{r}{qk}, X_2 = q$),

WH: ($C=r, X_1 = \frac{r}{qk}, X_2 = q$), Fox: ($C=r \ln(qk), X_1 = r, X_2 = q$),

CYP: ($C = \frac{2r}{2+r} \ln(qk), X_1 = \frac{2-r}{2+r}, X_2 = \frac{q}{2+r}$).

주2: *, **, ***은 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함.

또한, 5개의 잉여생산모형의 상수항(C)과 X_1, X_2 계수의 유의성에서도 다른 모형에 비해 비교적 우수한 것으로 나타났다. 아울러 F-통계량 또한 1% 유의수준에서 유의한 것으로 분석되어 최종적으로 CYP 모형을 이용하였다. 이에 상기 모형에 근거하여 최대지속적어획량(Y_{MSY}), 최대지속적어획노력량(F_{MSY})을 추정하고, 여기에 기술적·생물적 계수와 경제적 매개변수를 활용하여 동태적 최적화 모형에 적용하였다.

〈표 4〉 최근 3년 삼치어종의 실제 어획량·어획노력량 및 Y_{MSY}, F_{MSY} 비교

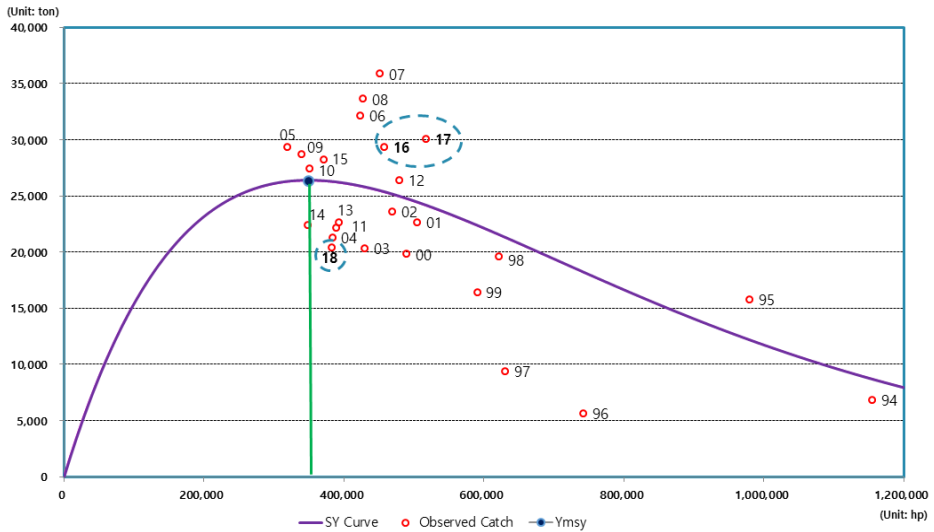
(단위: 톤, 마력)

	어획량	어획노력량
최근 3년(2016~2018년)	26,667	451,612
최대지속적어획수준(MSY)	26,396	349,544

최근 3년(2016~2018년)의 실제어획량 및 실제 어획노력량과 Y_{MSY}, F_{MSY} 비교하였을 때, 본 분석의 결과로, 우리나라의 연근해어업의 고마력화 현실이 여실히 드러나는 것으로 나타났다. 특히, 삼치를 어획하는 3개 어업의 최대지속적어획노력량(F_{MSY})은

약 349,544마력으로 나타났으나, 최근 3년 삼치를 어획하는 데 투입된 마력은 약 451,612마력으로, 약 102,058마력 이상이 추가적인 어획 활동을 하고 있는 것으로 나타났다. 이 같은 과도한 어획노력량의 투입은 이들 어업의 어업경영에 있어 비효율성을 발생시킬 수 있다.

〈그림 2〉 삼치어종의 지속적 어획곡선(쌍끌이대형저인망, 대형선망, 대형트롤)



한편, 최대속적어획량(Y_{MSY})은 약 26,396톤으로 추정되었으며, 최근 3년 어획량(2016~2018년)인 26,667톤과 거의 유사한 수준인 것으로 나타났다. 그러나 구체적으로 살펴보았을 때, <그림 2>와 같이 2016년(29,388톤)과 2017년(30,122톤) 모두 지속적 어획곡선(SYC) 이상에서 어획되었으며, 실제 어획노력량도 F_{MSY} 이상 투입된 것을 확인할 수 있었다. 이에 2018년에 이르러 어선 감척 및 휴어제·금어기 등으로 인해 실제 어획노력량은 감소하였으나, 앞선 연도에서 SYC 이상의 어획으로 인해 최대속적어획량(Y_{MSY})인 26,396톤에 비해 약 5,094톤이 감소한 약 20,492톤을 어획하는 데 그쳤다.

4. 삼치어종의 동태적 최적해 분석

삼치어종의 동태적 최적해 분석을 위해 3개 근해어업(쌍끌이대형저인망어업, 대형선망어업, 대형트롤어업)의 어획량 및 어획노력량(마력수)을 이용하였으며, 국가통계포털의 “어업생산동향조사”, “등록어선통계” 자료를 활용하였다.

〈표 5〉 삼치어종의 생물적·기술적 계수 및 경제적 변수

변수	삼치
q	0.00000304
$k(\text{kg})$	67,504,183
r	1.06292741
$c(\text{won}/\text{hp})$	371,605
$p(\text{won}/\text{kg})$	2,628
$\delta(\%)$	4.5

주: q, k, r, c, p, δ 는 각각 어획능력계수, 환경수용능력, 본원적 성장률, 어업비용, 생산가격, 사회적 할인율을 의미함.

동태적 최적해 분석을 위한 생물·기술적 변수(q, k, r)는 <표 3>의 CYP 모형에서 추정된 계수값을 이용하였다. 그리고 경제적 변수로는 2016년부터 2018년까지 최근 3년간의 자료를 사용하였다. 분석대상 어업의 총비용은 수산경제연구원의 “어업경영조사”를 참조하여 마력단위당 비용을 도출하였다. 또한, 국가통계포털의 신선어류 생산자물가지수의 기준연도인 2015년을 기준으로 실질화하였으며, 각 연도별로 3개 어업의 실질화한 마력단위당 비용과 생산가격은 가중평균하여 도출하였다. 도출된 평균 비용(c)은 371,605원으로 추정되었으며, 평균 가격(p)은 2,628원으로 나타났다. 본 연구에 이용된 사회적 할인율은 한국개발연구원(KDI)에서 발표한 예비타당성 조사에 근거하여 4.5%의 할인율을 적용하였다(조훈석·남종오, 2018).

<표 5>는 삼치어종의 기술적·생물적 계수와 경제적 파라미터들을 정리한 것으로 여기서, 기술적·생물적 계수는 앞서 Gompertz 성장함수에 기초한 CYP 모형을 통해 추정하였다. 우선, 순현재가치(NPV)에서 동태적 이윤이 극대화되는 수준을 분석하기 위해 식 (16)을 통계프로그램 R을 이용하여 수치 해석(Numerical Solution)으로 최적자원량

(X^*)을 도출하였다. 분석 결과, 삼치어종의 최적자원량(X^*)은 약 46,506톤으로 추정되었으며, 식 (17), 식 (18)을 이용해 최적어획노력량(F^*)과 최적어획량(Y^*)을 추정한 결과, 각각 약 130,246마리, 약 18,410톤으로 분석되었다.

〈표 6〉 Gompertz 성장함수에 기초한 삼치어종의 동태적 최적해

(단위: 톤, 마리)

동태적 최적수준	삼치
최적자원량(X^*)	46,506
최적어획노력량(F^*)	130,246
최적어획량(Y^*)	18,410

다음으로, 자원량 감소에 따른 어가 상승, FTA 발효 및 수산물 수입에 따른 어가 하락, 면세유 및 수산보조금 폐지 등에 따른 비용 변화에 따른 삼치어종의 최적 수준의 변화에 대응하기 위한 민감도 분석을 시도해보았다. 분석 결과, 생산가격 및 어업비용 변화에 따른 최적량 수준은 <표 7>, <그림 3>, <표 8>, <그림 4>와 같이 도출되었다.

〈표 7〉 생산가격 변화에 따른 최적자원량(X^*), 최적어획노력량(F^*), 최적어획량(Y^*) 변화

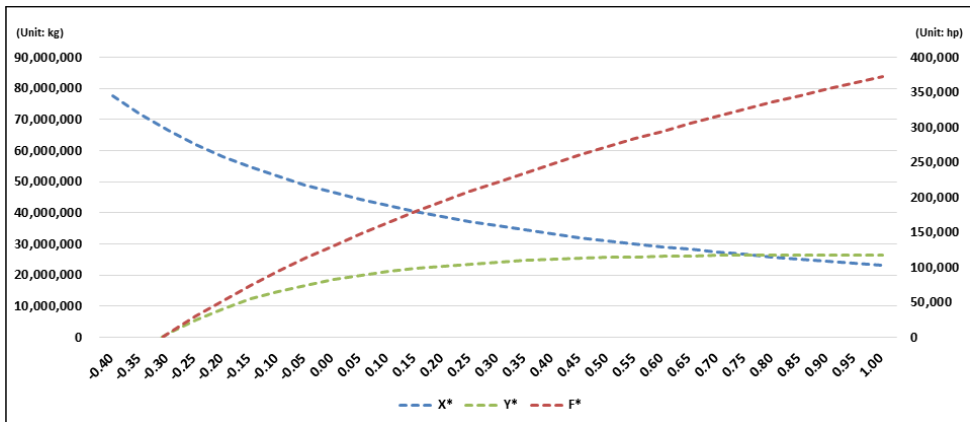
(단위: 톤, 마리)

생산가격 변화	최적자원량(X^*)	최적어획노력량(F^*)	최적어획량(Y^*)
-20%	58,131	52,252	9,237
-10%	51,673	93,415	14,679
0%	46,506	130,246	18,419
+40%	33,218	247,862	25,037
+60%	29,066	294,529	26,033
+80%	25,837	335,700	26,375
+100%	23,253	372,529	26,341

<표 7>과 <그림 3>은 생산가격 변화에 따른 삼치어종의 최적자원량, 최적어획노력량, 최적어획량을 분석 결과를 나타낸다. <표 6>에서 추정된 동태적 최적해의 생산가격을 0%에 두고 생산가격의 상승과 하락에 따라 최적자원량, 최적어획노력량, 최적어획

량이 어떠한 수준으로 변화하는지에 대해 민감도 분석을 시도하였다. 민감도 분석 결과, 생산가격이 하락함에 따라 어업인들로 하여금 조업 동기를 약화시켜 어획노력량이 감소함에 따라 자원량이 증가하는 것으로 분석되었다. 또한, 생산가격이 하락함에 따라 최적어획량이 감소하는 것으로 나타나 삼치 자원에 긍정적인 효과를 가져오는 것으로 분석되었다. 이와 반대로, 생산가격의 상승은 조업에 대한 동기를 크게 유발시켜 최적어획 노력량 수준이 증가하는 것으로 나타났다. 생산가격 상승에 따라 최적어획량은 지속적으로 증가하고 최적자원량 수준은 감소하는 것으로 분석되었으며, 최적어획량은 일정 시점 이상까지 증가하는 것으로 분석되었다. 그러나 생산가격이 80% 상승한 5,257원부터는 최적어획량이 감소하는 추세를 보였다. 이는 앞서 잉여생산모형에서 분석된 최대 지속적어획노력량(F_{MSY})인 349,544마력 이상으로 조업하기 때문에 가격 상승에 따른 어획노력량의 증가가 오히려 삼치의 잠재적 자원량을 감소시켜 최적어획량을 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

<그림 3> 생산가격 변화에 따른 최적자원량(X^*), 최적어획노력량(F^*), 최적어획량(Y^*) 변화



<표 8>과 <그림 4>는 마력당 어업비용이 증가함에 따른 최적자원량, 최적어획노력량, 최적어획량의 변화를 분석한 것이다. 어업비용이 증가하면 조업에 대한 비용 문제로 인해 최적어획노력량 수준이 지속적으로 감소하게 되며, 이와 함께 최적자원량은 증가하게 된다<그림 4>.

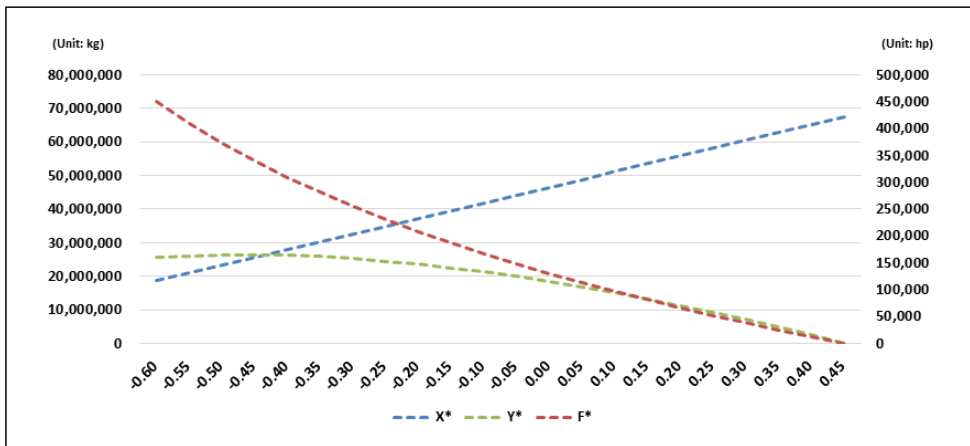
삼치어종의 동태적 최적어업관리

〈표 8〉 어업비용 변화에 따른 최적자원량(X^*), 최적어획노력량(F^*), 최적어획량(Y^*) 변화
(단위: 톤, 마력)

어업비용 변화	최적자원량(X^*)	최적어획노력량(F^*)	최적어획량(Y^*)
- 60%	18,602	450,531	25,485
- 50%	23,257	372,470	26,342
- 40%	27,908	308,740	26,202
- 20%	37,211	208,183	23,557
0%	46,506	130,246	18,419
+10%	51,165	96,869	15,072
+20%	55,817	66,455	11,280
+30%	60,468	38,476	7,075

그러나 어업비용이 현재 371,605원에서 50% 하락한 최대 185,802원까지 감소하게 된다면, 최적어획노력량의 증가가 오히려 최적어획량을 감소시키는 부정적인 효과를 가져오게 됨을 확인하였다. 즉, 생산가격의 변화와 마찬가지로 어업비용 감소로 인한 최대지속적어획노력량(F_{MSY}) 이상의 어획노력량 투입은 삼치를 어획하는 어업인들의 경쟁적 조업에 따라 최대지속적어획량(Y_{MSY}) 수준보다 어획량이 감소하게 되어 궁극적으로는 삼치자원의 잠재자원량 감소라는 부정적인 영향을 초래할 수 있음을 시사한다.

〈그림 4〉 어업비용 변화에 따른 최적자원량(X^*), 최적어획노력량(F^*), 최적어획량(Y^*) 변화



<표 9>는 최근 3년(2016~2018년) 3개 어업의 표준화된 어획노력량과 3개 어업의 실제 삼치 어획량의 합계 및 잉여생산모형을 이용한 F_{MSY} , Y_{MSY} 와 함께 동태적 최적 수준의 어획노력량(F^*)과 어획량(Y^*)을 나타낸다.

<표 9> 삼치어종의 실제 어획량·어획노력량과 최대지속적어획수준(MSY), 동태적 최적 수준 비교

(단위: 톤, 마력)		
	어획량	어획노력량
최근 3년(2016~2018년)	26,667	451,612
최대지속적어획수준(MSY)	26,396	349,544
동태적 최적 수준	18,410	130,246

먼저, 최근 3년 어획노력량과 최대지속적어획노력량(F_{MSY})을 비교해볼 때, 삼치를 어획하는 3개 어업은 무려 약 102,058마력 이상의 어획노력량이 투입되고 있어, 자원보존의 관점에서 여전히 과도한 경쟁적 조업을 하고 있는 것으로 분석되었다. 다음으로, 잉여생산모형인 CYP 모형과 생물·경제 모형 중 하나인 동태적 최적모형을 비교·분석한 결과, 동태적 최적어획량(Y^*)은 약 18,410톤으로 추정되었으나 최대지속적어획량(Y_{MSY})은 약 26,396톤으로 분석되었다. 그리고 동태적 최적어획량(Y^*)은 최대지속적어획량(Y_{MSY})의 약 70.0% 수준인 것으로 나타났다. 한편, 동태적 최적어획노력량(F^*)은 약 130,246마력으로 최대지속적어획노력량(F_{MSY})의 349,544마력에 비해 약 37.0% 수준에 불과한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 최대지속적어획량(F_{MSY})을 동태적 최적어획노력량 수준으로 감소하더라도 어획량의 감소폭은 크지 않다는 점을 시사한다. 즉, 최대지속적어획노력량(F_{MSY})을 약 63.0%(219,298마력) 수준으로 감축하더라도 어획량은 30.0%(7,977톤) 정도밖에 줄지 않는다는 것으로, 이는 이들 어업이 어획량을 증가시키고자 자원량을 고려하지 않고 과도한 어획노력량을 투입해왔음을 의미한다.

IV. 결론

본 연구에서는 우선, Gompertz 성장식에 근거한 CYP 모형(1992)을 적용하여 쌍끌이 대형저인망어업, 대형선망어업, 대형트롤어업에서 어획하는 삼치어종에 대한 정태적 자원평가 분석을 시행하였다. 다음으로 Gompertz 성장식에 근거한 동태적 최적모형을 적용하여 삼치어종의 최적자원량, 최적어획노력량, 최적어획량을 추정하였으며, 경제적인 주요 변수인 생산가격과 어업비용 변화에 따른 자원량, 어획노력량, 어획량의 변화 추이를 살펴보았다.

본 연구를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 삼치어종을 어획하는 상기 3개 어업의 어획노력량을 Gavaris(1980)의 일반선형모형을 적용하여 하나의 단위로 표준화하여 5개의 잉여생산모형을 분석하였다. 5개의 잉여생산모형 중 CYP 모형이 다른 모형에 비해 비교적 높은 결정계수(R-squared) 값을 보였으며, 계수의 유의성에 있어서도 가장 유의한 모형인 것으로 분석되었다. 이에 잉여생산모형으로 CYP 모형을 이용하여 자원평가를 시도하였다. 분석 결과, 실제 어획노력량과 최대지속적어획노력량(F_{MSY})을 비교했을 때 약 102,058마력 이상이 초과 투입되고 있어 삼치어획이 과잉어획상태에 놓여 있는 것으로 나타났으며, 어업 경영에 있어서도 비효율성을 야기하고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 연근해어업 구조개선 기본계획에 근거하여 유효어획노력량 수준을 달성할 수 있도록 어선감척사업을 적극적으로 실시하고, 이를 통해 잔존어업인들의 경영개선을 도모하여야 할 것이다.

둘째, CYP 모형을 통해 추정된 기술적·생물적 계수와 경제적 변수를 이용해 순현재 가치(NPV)에서 동태적 이윤이 극대화되는 최적자원량, 최적어획노력량, 최적어획량을 추정하였다. 그리고 생산가격 및 어업비용 변화에 따른 민감도 분석을 실시하여 동태적 최적량 수준이 어떻게 변화하는지도 분석하였다. 분석 결과, FTA 발효 및 수입수산물 증가 등으로 인해 생산가격이 하락하게 되면 최적어획노력량(F^*)이 감소하여, 삼치 자원량이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 반대로 생산가격이 80% 이상 상승하면 최대지속적어획노력량(F_{MSY}) 수준 이상으로 어획노력량이 투입되어 자원량이 감소함에 따라 최적어획량 또한 감소하는 것으로 분석되었다. 즉, 이러한 분석 결과는 이론적으로 예상한 결과와 부합하는 것으로 경쟁적 조업 등에 따른 어획량 감소는 어가 상승으로 이

어제 삼치자원의 감소를 가져와 오히려 어업인들의 경영을 악화시킬 수 있음을 보여 주고 있다. 또한, 어업비용의 증가는 조업 동기를 결여시켜 삼치 자원이 증가하는 긍정적인 효과를 가져올 수 있다. 그러나 어업비용이 50% 이상 감소하면 생산가격 상승과 마찬가지로 최대지속적어획노력량(F_{MSY}) 수준 이상의 어획노력량이 투입되어 자원량이 감소함에 따라 어획량 또한 줄어드는 것으로 분석되었다. 특히, 수산보조금 확대 및 면세유 공급 증가 등 비용을 감소시키는 요인에 대한 정책이 확대될 경우, 어획노력량 증가가 궁극적으로 삼치자원을 감소시키는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 WTO, UN SDGs, CPTPP, USMCA 등 수산자원의 과잉어획 및 과잉어획능력을 조장하는 수산보조금 및 면세유 문제 등에 대응할 제도 및 법안 등도 마련되어야 할 것으로 판단된다.

셋째, 최근 3년 삼치의 어획량·어획노력량, MSY 수준, 동태적 최적해를 비교 분석한 결과, 동태적 최적어획량(Y^*) 수준은 약 18,410톤 수준으로, 최대지속적어획량(Y_{MSY}) 인 약 26,396톤 대비 약 70.0%의 수준인 것으로 분석되었다. 반면, 동태적 최적어획노력량(F^*) 수준은 약 130,246마력으로 최대지속적어획노력량(F_{MSY})의 349,544마력 대비 약 37.0% 수준으로 나타났다. 따라서 최대지속적어획노력량(F_{MSY})을 약 63.0% (219,298마력) 수준으로 감축하더라도 어획량은 30.0%(7,977톤) 정도밖에 줄지 않는 것으로 분석되었다. 이상을 종합해볼 때, 잉여생산모형의 생물적·기술적 요인을 고려한 결과(F_{MSY} , Y_{MSY})와 함께 생물적·기술적 계수와 경제적 매개변수를 포함한 이윤 극대화 수준의 최적자원량(X^*), 최적어획량(Y^*), 최적어획노력량(F^*)의 결과를 상호 결합적으로 검토한다면 수산자원 증강과 함께 어업경영체의 경제적 효율성을 보다 개선할 수 있는 효과를 달성할 수 있을 것으로 여겨진다.

넷째, “수산혁신 2030 계획”에서 발표된 2030년까지 TAC 관리대상종 어획비율 80%를 달성함에 있어 본 연구의 대상 어종인 삼치도 대상어종에 포함되어야 할 것으로 판단된다. 이는 삼치의 경우 연근해 단일어종 중 생산량 5위에 해당하는 상업적·자원적으로 가치 있는 어종임에도 자원 수준은 남획이 우려되는 상황에 처해 있기 때문이다. 또한, 2030년까지 TAC 관리대상종 어획비율 80%를 달성하기 위해서는 삼치(34,783톤, 3.50%)와 멸치(194,676톤, 19.61%) 등과 같은 어획량 비중이 높은 어종을 우선적으로 고려해볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 한계 및 향후 연구과제는 다음과 같다. 먼저, 삼치어종에 대한 자원평가에 있어 쌍끌이대형저인망, 대형선망, 대형트롤 외에 다른 어업이 분석대상에서 제외되었다는 점이다. 이에 상기 어업 이외에 삼치를 어획하는 모든 어업을 분석대상에 포함하고, 추가적으로 체장, 가입률, 어획사망계수 등의 자료를 활용하여 삼치자원을 보다 과학적으로 평가하고 분석한다면, TAC 산정의 유용한 기초 자료로서 의미가 있을 것으로 여겨진다. 다음으로, 동태적 최적화 분석에 있어 과정오차(Process-error) 모형만을 고려한 점을 들 수 있다. 최근 자원평가 모델로 소개되고 있는 Bayesian state-space 모형의 경우 과정오차(Process-error) 모형과 관측오차(Observation-error) 모형을 모두 고려한 모형으로, 향후 상기의 모형을 고려한 분석을 시행한다면 학문적으로도 더 큰 진전이 있을 것으로 판단된다.

[References]

- 국가통계포털, “등록어선통계”, 각 연도.
 국가통계포털, “생산자 물가지수”, 각 연도.
 국가통계포털, “어업생산통계”, 각 연도.
 김기철·권오상, “한국 연근해 멸치자원량 추정-Maximum Entropy 기법의 응용”, 「자원·환경경제연구」, 제9권 제2호, 2000, pp. 285~309.
 남종오, “해밀토니안기법을 이용한 대형선망어업의 고등어·전갱이 최적어획량 결정”, 「해양정책연구」, 제26권 제2호, 2011, pp. 21~44.
 남종오·심성현·권오민, “해밀토니안기법을 이용한 복수어업의 참조기 최적어획량 추정”, 「수산경영론집」, 제46권 제2호, 2015, pp. 59~74.
 남종오·조훈석, “다수어업의 갈치 자원평가 및 최적어획량 추정”, 「Ocean and Polar Research」, 제40권 제4호, 2018, pp. 237~247.
 박윤선·권오상, “최대 엔트로피 기법을 이용한 한국 연근해 고등어 최적 관리에 관한 연구”, 「자원·환경경제연구」, 제28권 제2호, 2019, pp. 277~306.
 수산경제연구원, “어업경영조사”, 각 연도.

- 심성현·남종오, “생물경제모형을 이용한 참조기의 자원평가에 관한 연구”, 『Ocean and Polar Research』, 제37권 제2호, 2015, pp. 161~177.
- 윤상돈·남종오, “우리나라 기선권현망 멸치어업의 유류비 변동 영향분석”, 『자원·환경경제연구』, 제25권 제4호, 2016, pp. 517~543.
- 임정현·서영일·장창익, “한국 동해 생태계의 잠재생산량 추정방법에 관한 비교 연구”, 『수산해양기술연구』, 제54권 제2호, 2018, pp. 124~137.
- 정민주·남종오, “우리나라 어선감척사업의 연안자망어업에 대한 어자원회복 및 경제적 효과 추정”, 『Ocean and Polar Research』, 제39권 제3호, 2017, pp. 221~232.
- 조훈석·남종오, “어선감척사업에 따른 주요 연안어업의 자원회복 및 경제적 효과 분석”, 『수산경영론집』, 제50권 제1호, 2019, pp. 17~37.
- 최민제·김도훈, “효과적인 자원평가모델 선정을 위한 잉여생산량모델의 비교분석: 동해 생태계의 잠재생산량 분석을 대상으로”, 『Ocean and Polar Research』, 제41권 제3호, 2019, pp. 183~191.
- 최민제·김도훈·이해원·서영일·이성일, “Bayesian state-space 모델을 이용한 말쥐치 자원평가 및 관리효과 분석”, 『Ocean and Polar Research』, 제42권 제1호, 2020, pp. 63~76.
- 최종열·김도훈, “도루묵 수산자원회복계획 하에서 동해구기선저인망어업의 최적 어획 노력량과 어획량 수준 결정에 관한 탐색적 연구”, 『수산경영론집』, 제43권 제1호, 2011, pp. 1~9.
- 최종열·김도훈, “자율갱신적 어업자원의 최적 생산 결정: 고등어 대형선망어업을 사례로”, 『한국생산관리학회지』, 제20권 제1호, 2009, pp. 109~127.
- Clark, C. W., *Bioeconomic Modelling and Fisheries Management*, John Wiley & Sons, New York, 1985. pp. 1~291.
- Clarke, C. W. and G. R. Munro, “The economics of fishing and modern capital theory: a simplified approach,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 2, No. 2, 1975, pp. 92~106.
- Clarke, R. P., S. S. Yoshimoto, and S. G. Pooley, “A bioeconomic analysis of the Northwestern Hawaiian Islands lobster fishery,” *Marine Resource Economics*, Vol.

- 7, No. 3, 1992, pp. 115~140.
- Fox Jr, W. W., "An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations," *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 99, No. 1, 1970, pp. 80~88.
- Gavaris, S., "Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data," *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 37, No. 12, 1980, pp. 2272~2275.
- Quinn, T. J. II. and R. B. Deriso, *Quantitative Fish Dynamics*, Oxford University Press. Inc., 1999. pp. 1~560.
- Schaefer, M. B., "Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries," *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, Vol. 1, No. 2, 1954, pp. 27~56.
- Schnute, J., "Improved estimates from the Schaefer production model: theoretical considerations," *Journal of the Fisheries Board of Canada*, Vol. 34, No. 5, 1977, pp. 583~603.
- Verhulst, P. F., "Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement," *Correspondances mathématiques et physiques*, Vol. 10, 1838, pp. 113~121.
- Walters, C. J. and R. Hilborn, "Adaptive control of fishing systems," *Journal of the Fisheries Board of Canada*, Vol. 33, No. 1, 1976, pp. 145~159.
- Yun, S. D. and J. O. Nam, "Application of a bioeconomic model to Spanish mackerel in the seas of Korea," *Fisheries Science*, Vol. 83, No. 2, 2017, pp. 1061~1076.

부 록

〈부록 표 1〉 Gavaris(1980) 일반선형모형(GLM) 검정 결과

변수	계수추정량	표준오차	t-값	Prob.
C	3.3025***	0.4530	7.2900	0.0000
NUM1995	0.8999	0.6165	1.4597	0.1509
NUM1996	0.0856	0.6165	0.1389	0.8901
NUM1997	0.1532	0.6165	0.2484	0.8048
NUM1998	1.0550*	0.6165	1.7113	0.0935
NUM1999	0.8657	0.6165	1.4044	0.1667
NUM2000	1.3018**	0.6165	2.1117	0.0399
NUM2001	1.3099**	0.6165	2.1248	0.0388
NUM2002	1.3916**	0.6165	2.2574	0.0286
NUM2003	1.2373*	0.6165	2.0071	0.0504
NUM2004	1.3820**	0.6165	2.2417	0.0296
NUM2005	1.8148**	0.6165	2.9439	0.0050
NUM2006	1.8005***	0.6165	2.9206	0.0053
NUM2007	1.9640***	0.6165	3.1859	0.0025
NUM2008	1.8301***	0.6165	2.9686	0.0047
NUM2009	1.8795***	0.6165	3.0487	0.0037
NUM2010	1.8158***	0.6165	2.9455	0.0050
NUM2011	1.4947**	0.6165	2.4247	0.0191
NUM2012	1.3147**	0.6165	2.1325	0.0381
NUM2013	1.5151**	0.6165	2.4577	0.0176
NUM2014	1.4241**	0.6165	2.3101	0.0252
NUM2015	1.6893***	*0.6165	2.7403	0.0086
NUM2016	1.6025**	0.6165	2.5994	0.0124
NUM2017	1.3119**	0.6165	2.1280	0.0385
NUM2018	1.3360**	0.6165	2.1672	0.0352
D1	-2.0503***	0.2136	-9.6009	0.0000
D2	-1.3345***	0.2136	-6.2492	0.0000
R-squared	0.7338	Mean dependent var	2.1672	
Adjusted R-squared	0.5896	S.D. dependent var	-9.6009	
S.E. of regression	0.7550	Akaike info criterion	-6.2492	
Sum squared resid	27.3629	Schwarz criterion	1.5340	
Log likelihood	-68.6092	Hannan-Quinn criter.	0.9591	
F-statistic	5.0883***	Durbin-Watson stat	0.4655	
Prob(F-statistic)	0.0000			

주: *, **, ***은 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함.