

해밀토니안기법을 이용한 복수어업의 참조기 최적어획량 추정

남종오¹ · 심성현 · 권오민*

¹국립부경대학교 인문사회과학대학 경제학부, 국립부경대학교 일반대학원 응용경제학과

Estimating Optimal Harvesting Production of Yellow Croaker Caught by Multiple Fisheries Using Hamiltonian Method

Jong-Oh Nam¹, Seong-Hyun Sim, and Oh-Min Kwon*

¹Division of Economics, College of Humanities & Social Sciences, Pukyong National University,
Busan, 48513, Korea

Department of Applied Economics, Graduate School, Pukyong National University, Busan, 48513,
Korea

Abstract

This study aims to estimate optimal harvesting production, fishing efforts, and stock levels of yellow croaker caught by the offshore Stow Net and the offshore Gill Net fisheries using the current value Hamiltonian method and the surplus production model.

As analyzing processes, firstly, this study uses the Gavaris general linear model to estimate standardized fishing efforts of yellow croaker caught by the above multiple fisheries. Secondly, this study applies the Clarke · Yoshimoto · Pooley(CY&P) model among the various exponential growth models to estimate intrinsic growth rate(r), environmental carrying capacity(K), and catchability coefficient(q) of yellow croaker which inhabits in offshore area of Korea. Thirdly, the study determines optimal harvesting production, fishing efforts, and stock levels of yellow croaker using the current value Hamiltonian method which is including average landing price of yellow croaker, average unit cost of fishing efforts, and social discount rate based on standard of the Korean Development Institute. Finally, this study tries sensitivity analysis to understand changes in optimal harvesting production, fishing efforts, and stock levels of yellow croaker caused by changes in economic and biological parameters.

As results drawn by the current value Hamiltonian model, the optimal harvesting production, fishing efforts, and stock levels of yellow croaker caught by the multiple fisheries were estimated as 19,173 ton,

접수 : 2015년 7월 20일 최종심사 : 2015년 8월 17일 게재확정 : 2015년 8월 19일

*Corresponding author : 010-5059-2766, kom2766@gmail.com

101,644 horse power, and 146,144 ton respectively. In addition, as results of sensitivity analysis, firstly, if the social discount rate and the average landing price of yellow croaker continuously increase, the optimal harvesting production of yellow croaker increases at decreasing rate and then finally slightly decreases due to decreases in stock levels of yellow croaker. Secondly, if the average unit cost of fishing efforts continuously increases, the optimal fishing efforts of the multiple fisheries decreases, but the optimal stock level of yellow croaker increases. The optimal harvest starts climbing and then continuously decreases due to increases in the average unit cost. Thirdly, when the intrinsic growth rate of yellow croaker increases, the optimal harvest, fishing efforts, and stock level all continuously increase.

In conclusion, this study suggests that the optimal harvesting production and fishing efforts were much less than actual harvesting production(35,279 ton) and estimated standardized fishing efforts(175,512 horse power) in 2013. This result implies that yellow croaker has been overfished due to excessive fishing efforts. Efficient management and conservative policy on stock of yellow croaker need to be urgently implemented.

Keywords : Current Value Hamiltonian, Gavaris General Linear Model, CY&P Surplus Production Model, Yellow Croaker

I. 서 론

참조기는 예로부터 제사와 혼례 등 중요한 날에 빠지지 않는 귀한 생선으로 여겨져 왔으며, 오늘날에도 동 어종은 제수용과 선물용으로 소비되고 있는 인기 있는 고급 생선이다. 참조기는 우리나라의 동해 남부, 서해, 남해와 일본의 서부, 그리고 중국의 동중국해에 주로 서식하고 있다. 이에 한·중·일 모두 어획하고 있는 동 어종은 이들 세 국가의 과잉어획 및 중국의 불법어업 등의 영향으로 인해 2011년 이후 어획량이 다시 감소하고 있다(Fig. 1). 그 결과 참조기 국내 가격은 동 어종의 자원량 감소의 영향으로 중국 산 참조기의 수입량마저 줄면서 최근 들어 다시 상승하고 있는 추세이다(Table. 4)¹⁾. 이에 우리나라는 남서해안 참조기를 자원회복을 위한 대상 어종으로 선정하고, 동 어종의 자원 회복을 위해 관련 연구기관들과 지자체가 협력하여 자원회

복 사업을 지속적으로 시행해 오고 있다(Kim et al., 2012).

이렇듯 소비자들에게 인기 있는 참조기의 높은 상업적 가치와 자원적 가치에도 불구하고, 동 어종은 지금까지 자원평가에 기초한 과학적 관리가 체계적으로 이루어지지 못했으며, 자원의 보존적 측면에서 지속적 어획수준을 유인하는 TAC 관리대상 어종에도 포함되어 있지 않다. 이에 본 연구는 근해자망어업과 근해안강망어업에 의해 주로 어획되고 있는 참조기의 경제적 생산 활동을 돋기 위한 한 방안으로서 시간의 흐름에 따른 참조기 어업의 순현재가치를 동태적으로 최적화하는데 유용한 해밀토니안기법을 이용하여 복수어업이 어획하는 참조기의 최적자원량, 최적어획량, 최적어획노력량을 추정해 보고자 한다. 아울러 본 연구는 가격, 비용, 할인율, 자원 성장률과 같은 경제적·생물적 파라미터의 변화에 대해 참조기의 자원량, 어획량, 어획

1) 수산정보포털의 수산물 수출입 통계 자료에 의하면, 중국으로부터 수입된 조기의 양은 2010년 44,242톤, 2011년 36,378톤, 2012년 27,925톤, 2013년 27,798톤, 2014년 25,411톤으로 계속 감소해 왔음을 알 수 있다.

노력량이 어떠한 변화를 보이는지를 분석해 보고자 한다. 이상과 같은 연구는 참조기 자원의 관리와 보존을 위한 정책 수립의 참고 자료가 될 뿐만 아니라 참조기와 같은 경계왕래성 어종에 대한 인접 국가 간의 공동 자원 관리의 필요성을 제기하는 기초 자료로서 향후 유용하게 활용되리라 판단된다.

자율갱신자원의 최적화와 관련된 국외 선행 연구로는 우선적으로 Clark et al.(1979)의 자율갱신자원에 대한 최적해 개발 연구를 들 수 있다. 상기 저자들은 투자의 비가역성 가정을 이용하여 수산업에 있어 자본투자의 중요 이슈를 상세히 기술하였다. 아울러 Clark(1990)은 자율갱신자원에 대한 최적 관리를 이론적으로 규명하는 수치적 생물경제학을 체계화 시키는데 기여하였다. 또한 Conrad(1999)는 해밀토니안기법에 기초하여 개별 어종의 어획량, 자원량, 어획노력량의 최적해를 수치적으로 계산한 산출식을 제공하였다. 그 외에도 자율갱신자원의 최적화와 관련된 논문들은 다수 있다(Ragonzin and Brown, 1985; Skonhoft, 1999; Fleming and Alexander, 2003).

국내 선행연구로는 Park(1992)이 어업경제학을 자본이론적인 관점에서 해밀토니안기법을 소개하였고, Choi and Kim(2009)이 해밀토니안기법을 적용하여 대형선망어업에 의해 어획되고 있는 고등어의 최적어획량과 최적어획노력량 등을 추정하였다. 그 외에도 Choi and Kim(2012)은 해밀토니안기법을 적용하여 동해 구기선저인망어업에 의해 어획되는 도루묵의 최적어획노력량과 최적어획량 수준을 결정하는 연구를 수행하였으며, Nam(2011)도 동 기법을 이용하여 대형선망어업이 어획하는 복수어종인 전갱이와 고등어의 어획노력량을 안다는 가정 하에 어종별 최적자원량, 최적어획량, 최적어획노력량을 추정하였다. 그 외에도 생물경제모형을 이용한 자원평가와 관련된 최근 논문들은 다수 있다(Pyo, 2002; Kim, 2003; Lee et al., 2006;

Sim and Nam, 2015; Kim, 2015).

본 연구와 기존 연구의 차별성으로 기존 선행 연구의 대부분이 자원량, 어획량, 어획노력량의 최적해를 추정함에 있어 해밀토니안기법을 이용한 단일어종·단일어업에 한정된 연구를 수행한 반면, 본 연구는 참조기를 어획하는 복수어업의 어획노력량을 Gavaris(1980) 기법을 적용하여 어획노력량을 표준화하는 과정을 거쳐 단일어종·복수어업의 동태적 최적해를 도출해 보았다는 점을 들 수 있다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 동태적 최적해 도출에 유용한 해밀토니안기법과 어획노력량을 표준화시키는데 필요한 Gavaris 일반선형모형(General Linear Model, GLM), 그리고 지수성장모형의 생물적 계수 추정에 적합한 CY&P모형 등을 제시한다. Ⅲ장에서는 현재가치 해밀토니안기법을 이용하여 근해자망어업과 근해안강망어업에 의해 어획되는 참조기의 최적자원량과 최적어획량, 그리고 최적어획노력량을 추정하고, 생물적·경제적 계수의 변화에 따른 참조기의 최적자원량, 최적어획량, 최적어획노력량의 변화 정도를 분석한다. Ⅳ장은 결론으로 본 연구의 분석 결과를 간략히 요약하고, 본 연구의 함의 및 한계를 언급하며 글을 맺고자 한다.

Ⅱ. 최적어획량 결정의 이론적 모형

1. 어획노력량 표준화 기법

본 연구에서는 참조기를 어획하는 두 어업의 어획노력량을 한 노력량으로 표준화시키기 위해 Gavaris(1980)의 일반선형모형을 이용하고, 그 식은 다음과 같다.

$$U = U_r \prod_i \prod_j P_{ij}^{x_{ij}} e^e \quad (1)$$

식 (1)의 종속 변수 U 는 단위노력당어획량(Catch Per Unit Effort, CPUE)을 의미하며, U_r 은 연도, 어법, 수심 등의 요인변수의 개별 수준에

서의 기준 CPUE를 나타낸다. 여기서, i 는 요인 변수, j 는 개별 요인변수 내의 수준이며, P_{ij} 는 i 요인변수에서의 j 수준에 대한 상대적 어획능력을 의미한다. 개별 요인변수의 기준 수준에 대해 P_{ij} 는 1로 설정된다. 또한 X_{ij} 는 더미변수로 X 가 i 요인변수의 i 수준을 제외한 다른 j 수준을 의미할 때, 더미변수인 X_{ij} 는 1의 값을 가지며, 요인변수와 수준이 일치하지 않을 시에는 0의 값을 가진다. 요인변수의 개별 수준들의 조합(combination)에 대한 CPUE의 일반선형모형은 로그정규분포를 따르는데, 여기서, ε 는 정규확률변수(normal random variable)를 의미한다 (Quinn and Deriso, 1999; Sim and Nam, 2015).

또한 상기 식 (1)을 로그로 치환하면 아래의 식 (2)와 (3)과 같은 형태로 변형되어질 수 있다.

$$\ln \hat{U} = \ln U_r + \sum_i \sum_j X_{ij} \ln P_{ij} + \varepsilon \quad (2)$$

$$Y = \beta_0 + \sum_k \beta_k X_k + \varepsilon, \text{ where } k = i \cup j \quad (3)$$

여기서, Y 절편인 β_0 는 기준 로그 CPUE를 나타내고, 파라미터 β_k 는 i 와 j 를 포함한 k 의 로그화된 어획능력 계수를 나타낸다. 본 분석에서는 참조기를 어획하는 대표어업인 근해자망(Gill Net, GN)어업과 근해안강망(Stow Net, SN)어업의 어획노력량을 표준화시키기 위해 연도와 어업의 요인변수를 이용하고, 각 요인변수의 수준 변수로는 2개(SN, GN)의 어업과 22년(1992~2013년)의 연도를 사용한다(Quinn and Deriso, 1999; Sim and Nam, 2015).

개별어업의 추정된 표준화된 어획노력량(\hat{E}_{SN} , \hat{E}_{GN})은 개별어업의 추정된 CPUE(\hat{U})와 참조기 어획량(C_{SN} , C_{GN})에 의해 도출되고, 추정된 표준화된 총어획노력량(\hat{E}_T)은 아래 식 (4), (5)에서 볼 수 있듯이 추정된 개별어업의 어획노력량의 합에 의해 도출된다.

$$C_{T_t} = C_{SN_t} + C_{GN_t}, \quad \hat{E}_{T_t} = \hat{E}_{SN_t} + \hat{E}_{GN_t}, \\ \hat{U}_{T_t} = \hat{U}_{SN_t} + \hat{U}_{GN_t} \quad (4)$$

$$\hat{E}_{SN_t} = \frac{C_{SN_t}}{\hat{U}_{SN_t}}, \quad \hat{E}_{GN_t} = \frac{C_{GN_t}}{\hat{U}_{GN_t}} \quad (5)$$

여기서, C_{T_t} 는 개별어업에 의해 어획된 참조기의 t 시점 동안의 총어획량을 의미하고, C_{SN_t} 와 C_{GN_t} 는 t 시점 동안의 개별어업에서의 어획량을 나타낸다. \hat{E}_{SN_t} 와 \hat{E}_{GN_t} 는 t 시점의 개별어업의 표준화된 어획노력량의 추정치를 의미하며, \hat{U}_{SN_t} 와 \hat{U}_{GN_t} 는 t 시점의 개별어업의 표준화된 CPUE의 추정치를 의미한다.

2. CY&P(Clarke·Yoshimoto·Pooley) 모형

CY&P 모형은 Clarke · Yoshimoto · Pooley가 Schnute이 1977년에 Schaefer 모형을 이용하여 통합한 로지스틱 모형과 동일한 방법으로, Fox 모형에 Taylor 근사(approximation)를 이용하여 개발하였다. Clarke · Yoshimoto & Pooley에 따르면 식 (6)은 식 (7)과 같이 변형될 수 있다 (Clark et al., 1992; Sim and Nam, 2015).

$$\frac{\Delta U}{\bar{U}} = r \ln(qK) - r \ln(\bar{U}) - q \bar{E} \quad (6)$$

$$\frac{1}{U} \frac{dU}{dt} = r \ln(qK) - r \ln(U) - qE \quad (7)$$

여기서, r 은 자원의 본원적 성장률, K 는 환경 수용능력, q 는 어획능률계수, E 는 어획노력량을 의미한다. 또한 \bar{U} 와 \bar{E} 는 t 시점의 평균 CPUE와 평균 E 를 의미한다. 식 (7)은 식 (8)을 도출하고자 1년에 걸쳐 적분되어질 수 있음을 의미한다 (Clark et al., 1992; Sim and Nam, 2015).

$$\ln \left[\frac{U_{t+1}}{U_t} \right] = r \ln(qK) - r \ln(\bar{U}) - q \bar{E} \quad (8)$$

U_t 와 U_{t+1} 는 t 와 $t+1$ 시점의 개별 CPUE를 의미한다. $\ln(\bar{U})$ 의 Taylor 급수 근사(series approximation)는 식 (9)와 같이 $\ln(U)$ 의 적분 추정치로부터 도출되어진다(Clark et al., 1992; Sim and Nam, 2015).

$$\int_n^{n+1} \ln(U_n) \cong \ln(\bar{U}_n) \quad (9)$$

Schnute의 방식에 따라 식 (8)의 근사는 식 (8)에 t 시점과 $t+1$ 시점을 더하여 도출된다. $\bar{U}_n \cong \sqrt{U_t U_{t+1}}$ 에서 주어진 근사를 가정한 결과식은 다음의 식 (10)과 같다(Clark et al., 1992; Sim and Nam, 2015).

$$\begin{aligned} \ln(\bar{U}_{t+1}) &= \frac{2r}{2+r} \ln(qK) + \frac{2-r}{2+r} \ln(\bar{U}_t) \\ &\quad - \frac{q}{2+r} (\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1}) \end{aligned} \quad (10)$$

끝으로 도출된 CY&P 모형의 식 (10)을 이용하여 근해자망어업과 근해안장망어업에 의해 어획되고 있는 참조기의 q, K, r 계수 값을 추정한다.

3. 최적어획량 결정의 기본모형

1) 기본모형

최적어획량을 도출하기 위한 기본모형은 Gompertz의 지수성장함수(Exponential Growth Function)로부터 출발한다(Fox, 1970).

$$F(X(t)) = rX(t) \ln\left(\frac{K}{X(t)}\right), \text{ where } \frac{dX(t)}{dt} = F(X(t)) = \dot{X} \quad (11)$$

여기서, $F(X(t))$ 는 t 시점 어업자원의 성장량을 의미하고, $X(t)$ 는 t 시점 어종의 자원량을 나타낸다. 또한 \dot{X} 는 자원이 시간에 걸쳐 변동하는 양을 의미한다. 그리고 식 (11)의 지수성장함수에 어획활동을 추가하면 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dX}{dt} = F(X) - H(t) \quad (12)$$

여기서, $H(t)$ 는 t 시점의 어획노력량($E(t)$)과 자원량($X(t)$)에 의존하는 어획생산함수로서 어획능력계수(catchability coefficient)인 q 와 어획노력량의 특성을 반영하는 승수 α 및 자원의 특성을 고려한 승수 β 를 이용해 다음의 식 (13)으로 나타낼 수 있다. 본 연구의 어획생산함수는 α 와 β 를 각각 1로 가정하여 선형함수의 형태를 취한

다(Clark, 1990; Conrad, 1999; Kim, 2003).

$$H(t) = qE(t)^\alpha X(t)^\beta \quad (13)$$

또한 식 (14)에서 볼 수 있듯이 어획비용함수($C_E(t)$)는 단위노력당 어획비용(c)에 t 시점의 어획노력량($E(t)$)을 곱하여 도출한다.

$$C_E(t) = cE(t) \quad (14)$$

2) 동태적 최적 어업생산 함수

Clark and Munro(1975)는 어업자원량을 어업에 대한 자본이라 가정하고, 시간이 지남에 따라 어업활동으로부터 발생하는 사회적 이익을 최대화하는 동태적 최적이론을 제시하였다(Clark and Munro, 1975; Choi and Kim, 2009). 동태적 최적화 모형의 함수식과 제약조건식은 식 (15)와 같다.

Maximize

$$\begin{aligned} NPV &= \int_0^{\infty} [pH(t) - cE(t)] e^{-\delta t} dt \\ &= \int_0^{\infty} [pqE(t)X(t) - cE(t)] e^{-\delta t} dt \end{aligned} \quad (15)$$

subject to,

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

$$X_t \geq 0, 0 \leq H(t) \leq H(t)_{max}$$

여기서, $H(t)$ 는 t 시점의 어종별 생산량, $E(t)$ 는 어획노력량을 의미하며, $pH(t) - cE(t)$ 는 t 시점의 이윤(profit)을, δ 는 사회적 할인율을, X_0 는 어종별 초기 자원량을 의미한다. 여기서, H_{max} 는 어종별 최대생산량을, E_{max} 는 어종별 최대어획노력량을 나타낸다.

식 (15)의 제약조건을 바탕으로 한 목적함수의 최적화를 위한 현재가치 해밀토니안의 함수식인 H_c 는 식 (16)과 같이 나타낼 수 있다(Choi and Kim, 2009; Nam, 2011).

$$H_c = [pqE(t)X(t) - cE(t)] + \lambda[F(X(t)) - qE(t)X(t)] \quad (16)$$

여기서, λ 는 그림자 가격(shadow price)으로 어

종별 미래가치를 현재가치로 할인한 값을 의미한다(Choi and Kim, 2009; Nam, 2011). 식 (16)의 $X(t)$ 는 상태변수(state variable)를 나타내고, $E(t)$ 는 제어변수(control variable)를 나타낸다. H_c 의 최적해는 H_c 를 어획노력량(E)과 자원량(X)을 편미분한 1계 필요조건(first order necessary condition)에 어획노력량(E)을 편미분하여 얻을 수 있는 상태효율조건식(Static Efficiency Condition, S.E.C.)의 λ 를 t 로 편미분하여 구할 수 있다(Nam, 2011). 아울러 동태효율조건식(Dynamic Efficiency Condition, D.E.C)은 자원량(X)과 어획량(H)을 가지고 편미분한 1계 필요조건으로부터 도출가능하다.

● S.E.C

$$\frac{\partial H}{\partial E} = pqX - c - \lambda qX = 0, p - \frac{c}{qX} = \lambda \quad (17)$$

● D.E.C

$$\frac{\partial H}{\partial X} = pqE + \lambda F'(X) - \lambda qE = -\dot{\lambda} + \delta\lambda \quad (18)$$

● S.E.C의 t에 대한 편미분

$$\dot{\lambda} = \frac{c}{qX^2} \dot{X} = \frac{c}{qX^2} [F(X) - qEX] \quad (19)$$

상기 식 (17), (18), (19)로부터 최적자원량을 추정하기 위해 적용해야 하는 “황금률(golden rules)”을 구할 수 있다(Clark, 1990; Nam, 2011).

$$F(X^*) + F(X^*) \frac{c}{X^*(qpX^* - c)} = \delta \quad (20)$$

식 (20)에서 어종별 최적자원량은 어획이 이루어지지 않은 안정상태(steady-state: $\dot{X}=0, \dot{\lambda}=0$)로서 어종의 한계성장률($F'(X^*)$)과 어종별 한계자원효과($F(X^*) \frac{c}{X^*(qpX^* - c)}$)의 합이 사회적 할인율(δ)과 일치할 때 달성된다(Nam, 2011). 그리고 어종의 최적자원량(X^*)과 최적어획노력량(E^*)은 식 (20)을 이용하여 구할 수 있다.

$$X^* = \frac{K}{4} \left[\left(\frac{c}{pqK} + 1 - \frac{\delta}{r} \right) + \sqrt{\left(\frac{c}{pqK} + 1 - \frac{\delta}{r} \right)^2 + \frac{8c\delta}{pqKr}} \right] \quad (21)$$

식 (21)에서 X^* 는 참조기의 최적자원량을 의미하며, 이들 어종별 최적자원량은 CY&P모형을 통해 구해지는 기술적·생물적 파라미터인 q, K, r 과 참조기 어업의 시장거래 등으로부터 산출된 p, c, δ 의 값들로부터 얻을 수 있다(Conrad, 1999; Nam, 2011).

$$E^* = \frac{r}{q} \left[\frac{3}{4} - \frac{1}{4} \left(\frac{c}{pqK} - \frac{\delta}{r} \right) + \sqrt{\left(\frac{c}{pqK} + 1 - \frac{\delta}{r} \right)^2 + \frac{8c\delta}{pqKr}} \right] \quad (22)$$

그리고 최적자원량이 도출되면 자원의 안정상태를 나타내는 식($\dot{X}=F(X^*) - H^* = 0$)을 통해 어종의 최적어획량을 산출할 수 있다(Nam, 2011).

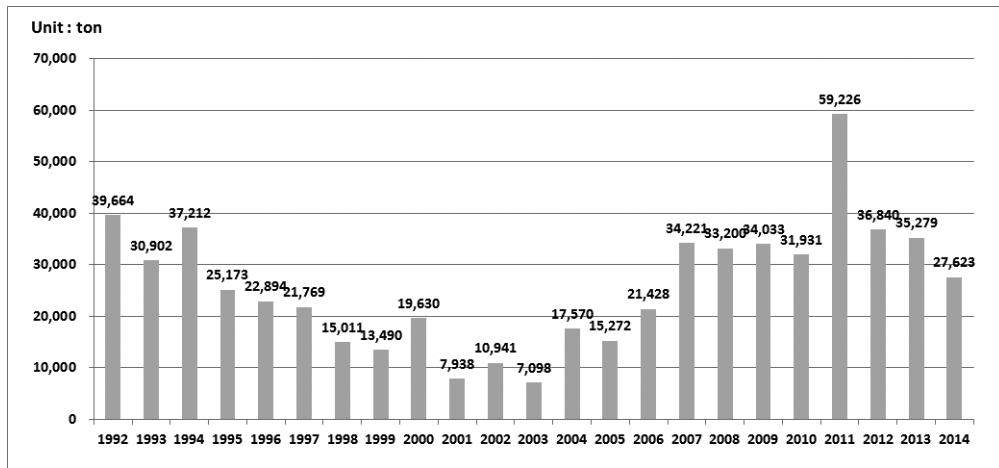
$$H^* = qE^*X^* \quad (23)$$

III. 실증분석

1. 참조기의 자원현황 및 어획상황

Fig. 1은 우리나라 참조기의 연도별 생산량을 나타낸다. 우리나라의 참조기 생산은 1992년과 1994년에 각각 39,664톤과 37,212톤을 기록하며 90년대 초반까지만 해도 높은 추세를 보였다. 하지만 90년대 중반부터 꾸준히 하락하기 시작하여 2003년에는 7,098톤으로 가장 낮은 어획량을 기록하였다. 이후 참조기 생산량은 2005년 15,272톤을 기록하며 다시 증가하기 시작하여 2011년에 가장 높은 어획량인 59,226톤을 기록하였지만, 2014년에는 27,623톤으로 다시 감소하는 추세를 보이고 있다. 이는 최근 들어 자원 감소에도 불구하고 국내 주요어장인 서남해 지역에 중국어선의 불법조업으로 인한 어획노력량의 과잉투입과 회유성 어종에 쉽게 영향을 줄 수 있는 온수대 등

해밀토니안기법을 이용한 복수어업의 참조기 최적어획량 추정



Source: Fisheries Information Service(<http://www.fips.go.kr/>), accessed 10 Oct. 2014

Fig. 1. Trends in production of yellow croaker.

Table 1. Catch ratio of yellow croaker based on fishing effort ratio(1992~2013)

(unit : %)

Year	Stow Net	Gill Net	Pair Trawl	Others	Total
1992	0.453	0.019	0.504	0.024	1
1993	0.436	0.033	0.494	0.037	1
1994	0.576	0.027	0.345	0.052	1
1995	0.447	0.055	0.430	0.068	1
1996	0.541	0.061	0.318	0.081	1
1997	0.510	0.058	0.328	0.103	1
1998	0.410	0.069	0.447	0.073	1
1999	0.369	0.130	0.398	0.103	1
2000	0.262	0.272	0.357	0.109	1
2001	0.170	0.355	0.278	0.196	1
2002	0.219	0.293	0.363	0.125	1
2003	0.261	0.457	0.178	0.103	1
2004	0.180	0.519	0.140	0.161	1
2005	0.139	0.618	0.097	0.146	1
2006	0.160	0.555	0.135	0.150	1
2007	0.183	0.514	0.134	0.169	1
2008	0.173	0.599	0.073	0.154	1
2009	0.176	0.631	0.083	0.110	1
2010	0.304	0.498	0.036	0.162	1
2011	0.248	0.490	0.111	0.152	1
2012	0.262	0.558	0.048	0.132	1
2013	0.138	0.695	0.030	0.137	1
Average	0.301	0.341	0.242	0.116	1

의 기후변화 영향에 기인한 것으로 판단된다.

Table 1에서 볼 수 있듯이 참조기는 1990년대의 경우 쌍끌이대형기선저인망어업과 균해안강망

어업이 어획량의 대부분을 차지하고 있었지만, 2013년에는 참조기 어획량의 약 70%를 균해자망 어업이 어획하는 것으로 나타났다. 이렇듯 참조

기 어획량에서 근해자망어업의 비중이 커진 이유는 근해자망에 속하는 유자망어업이 다른 어종을 어획하는 유자망어업에 비하여 어선과 어구의 규모가 소형임에도 불구하고 어업 생산성이 매우 높고 어획 생산물의 선도유지가 상대적으로 좋기 때문인 것으로 보여진다(Koo and Kim, 2014). 따라서 본 연구에서는 참조기를 주로 어획하는 근해자망어업과 근해안강망어업의 어획노력량을 표준화하여 최적화 모형에 활용한다.

어획노력량을 표준화시키기 위해 근해자망어업과 근해안강망어업의 CPUE를 Gavaris의 일반 선형모형에 적용한다. 일반선형모형을 위한 요인변수로는 연도와 어업을 적용하고, 수준변수로는 1992년에서 2013년 사이의 22개 연도 및 참조기 주요 어업인 근해자망과 근해안강망 2개 어업을 선정한다. 본 연구에서는 참조기를 어획

하는 근해자망과 근해안강망어업의 어획노력량으로 마력수를 적용하고, 이때의 개별어업의 기준 CPUE는 1992년의 CPUE로 한다.

2. 자료분석

근해자망어업과 근해안강망어업을 통해 어획되는 참조기의 최적자원량, 최적어획량, 최적어획노력량을 추정시 생물적·기술적 계수(q, K, r) 및 경제적 파라미터(p, c, δ) 자료가 요구된다. 이에 이들 변수 또한 추정된 자료와 통계자료로부터 가공된 평균 자료 등을 이용한다.

1) 어획노력량 표준화

본 연구는 복수어업·단일어종 모형으로 참조기를 어획하는 근해자망어업과 근해안강망어업을 선정하여 이들 어업이 참조기를 어획함에

Table 2. Standardized fishing efforts estimated by Gavaris' general linear model(1992~2013)

Year	Stow Net			Gill Net			Total Standardized Efforts (hp)	Total Estimated Standardized CPUE(kg/hp)
	Catches (ton)	Standardized CPUE (kg/hp)	Standardized Efforts (hp)	Catches (ton)	Standardized CPUE (kg/hp)	Standardized Efforts (hp)		
1992	17,962	17	1,056,588	768	11	69,818	1,126,406	16.63
1993	13,467	17	792,176	1,018	11	92,545	884,722	16.37
1994	21,429	21	1,020,429	1,009	13	77,615	1,098,044	20.43
1995	11,253	17	661,941	1,382	11	125,636	787,578	16.04
1996	12,376	17	728,000	1,387	11	126,091	854,091	16.11
1997	11,111	14	793,643	1,273	9	141,444	935,087	13.24
1998	6,162	10	616,200	1,043	7	149,000	765,200	9.42
1999	4,981	11	452,818	1,747	7	249,571	702,390	9.58
2000	5,144	22	233,818	5,349	14	382,071	615,890	17.04
2001	1,351	8	168,875	2,821	5	564,200	733,075	5.69
2002	2,393	14	170,929	3,203	9	355,889	526,817	10.62
2003	1,853	14	132,357	3,246	9	360,667	493,024	10.34
2004	3,168	39	81,231	9,122	25	364,880	446,111	27.55
2005	2,127	32	66,469	9,445	21	449,762	516,231	22.42
2006	3,429	50	68,580	11,894	32	371,688	440,268	34.80
2007	6,250	76	82,237	17,595	48	366,563	448,799	53.13
2008	5,752	79	72,810	19,896	50	397,920	470,730	54.49
2009	5,996	84	71,381	21,460	53	404,906	476,287	57.65
2010	9,702	93	104,323	15,895	59	269,407	373,729	68.49
2011	14,672	155	94,658	29,018	98	296,102	390,760	111.81
2012	9,647	105	91,876	20,569	67	307,000	398,876	75.75
2013	4,857	79	61,481	24,521	50	490,420	551,901	53.23

Source: Fishing Fleet Statistics in Korean Statistical Information Service(2014), Fisheries Information Service(2014)

있어 투입된 어획노력량 자료를 Gavaris의 일반 선형모형을 이용하여 표준화한다. 이때의 요인 변수는 연도와 어업으로, 연도는 1992년에서 2013년까지를 사용하였고, 어업으로는 참조기 를 어획하는 대표 어업인 근해자망어업과 근해 안강망어업이 사용되었다. 이 요인변수들의 조합에 따라 더미변수의 수치가 결정되며, 이 수치 들에 대해 회귀모형을 활용한 분석을 실시하여 두 어업 간 CPUE 및 어획노력량의 표준화 자료를 추정할 수 있다.

Table 2는 표준화된 어획노력량을 이용하여 추정된 CPUE를 나타낸다. 표준화된 개별어업의 CPUE는 근해자망어업보다 근해안강망어업이 더 높은 것으로 나타났으며, 표준화된 CPUE 추정치는 두 어업의 실제 CPUE 보다는 많이 낮게 나타났다.

2) 생물적·기술적 계수 추정

q, K, r 을 추정하기 위해 선정된 CY&P 모형²⁾의 식 (10)에 E-Views 7.0 프로그램을 이용하여 회귀분석을 실시하였다.

Table 3의 q, K, r 은 CY&P 모형에 따른 추정 결과로써 분석의 적합도를 보여주는 조정된 결정계수 값이 0.75로 높게 나타났고, 계수의 t-통계량과 F-통계량도 모두 유의한 것으로 나타나 q, K, r 값을 이용하는 데에는 통계적으로 문제

가 없는 것으로 판단된다. 아울러 CY&P 모형 내 자기상관 유무를 살펴보기 위해 D-W 통계량을 분석해 본 결과, D-W 통계량이 2.544로 미정영역에 떨어져 다시 LM 검증을 시도해 보았고, 시차 1의 자기상관 LM 검정 결과, 귀무가설이 5% 유의수준에서 채택되어 분석에 문제가 없는 것으로 나타났다.

3) 경제적 파라미터 설정

근해자망어업과 근해안강망어업의 총어업비용은 수협의 연도별 어업경영조사보고서를 이용하였고, 마력수는 통계청의 연도별 등록어선 통계조사를 이용하였다. 위판가격과 척당 어업비용은 연도별 자료를 통계청에서 조사한 조기 소비자물가지수와 생산자물가지수를 이용해 2010년의 가치로 환산하여 분석을 실시하였다. 참조기의 비용과 가격은 두 어업의 평균치를 이용하였고, 그 수치는 비용이 1,045,445원, 가격이 11,154원으로 추정되었다. 연구에 이용된 사회적 할인율은 한국개발연구원(KDI)이 2008년 발표한 예비타당성조사 연구보고서에 기초하여 5.5% 할인율을 적용하여 분석하였다.

3. 분석결과

CY&P모형을 통해 추정된 생물적·기술적 계수와 통계 자료 분석에 기초한 경제적 파라미터

Table 3. Statistic results of CY&P model

R-Squared (Adj. R-Squared)	C	X ₁	X ₂	F stat. (Prob.)	D-W Stat.	LM Stat (Prob.)
	t stat. Std. error (Prob.)	t stat. Std. error (Prob.)	t stat. Std. error (Prob.)			
0.78	2.49 0.67 (0.75) (0.229)	5.28 0.13 (0.000)	-2.13 0.00 (0.047)	31.71 (0.000)	2.54	2.99 (0.083)

$$\text{Note : } C = \frac{2r}{2+r} \ln(qK), X_1 = \frac{2-r}{2+r}, X_2 = \frac{q}{2+r}$$

2) 모형 선정을 위한 CPUE와 표준화된 어획노력량의 관계에 대한 분석 결과, 선형함수모형의 적합도를 알아보기 위한 결정계수(R^2) 수치가 비슷하여 모형이 선형함수적 성격인지 지수함수적 성격인지에 대한 판단이 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 자원평가에 이용되는 5개의 모형을 모두 분석해 그 중 결정계수 값이 가장 높은 CY&P 모형을 본 연구의 분석 모형으로 적용하였다.

Table 4. Landing price and fishing cost per horse power of yellow croaker caught by offshore Stow Net and offshore Gill Net fisheries

Year	Stow Net			Gill Net		
	Total cost (thousand won)	Fishing cost (won/hp)	Landing price (won/kg)	Total cost (thousand won)	Fishing cost (won/hp)	Landing price (won/kg)
1992	104,643,327	354,161	1,432	18,516,093	82,363	7,731
1993	145,406,454	488,459	2,958	25,037,676	107,485	8,197
1994	248,844,387	822,751	4,226	46,989,054	189,766	16,538
1995	266,870,053	823,299	6,609	73,570,087	273,301	20,743
1997	624,100,395	1,804,593	15,296	229,346,875	788,768	50,708
1998	520,117,027	1,460,810	12,531	240,680,106	832,630	33,401
1999	361,874,387	1,131,381	8,890	281,912,216	869,474	32,689
2000	315,719,517	1,103,729	10,263	292,310,158	939,077	19,830
2001	170,355,846	627,799	7,530	166,946,111	558,991	12,136
2002	181,257,567	838,662	7,753	196,148,223	723,677	16,301
2003	157,187,321	886,136	8,031	207,326,668	839,417	13,129
2004	195,573,119	1,347,897	10,628	240,952,487	1,130,489	12,395
2005	210,320,622	1,562,015	7,349	240,411,687	1,066,066	9,280
2006	250,882,049	2,009,870	5,340	268,846,415	1,306,837	9,085
2007	263,981,992	1,998,168	7,435	294,106,980	1,302,453	8,067
2008	237,265,819	1,889,977	4,848	313,722,509	1,356,743	5,603
2009	160,318,149	1,253,181	4,571	285,442,081	1,260,386	5,684
2010	146,409,089	1,118,275	2,695	276,206,155	1,288,551	6,798
2011	158,095,717	1,149,093	3,457	288,036,275	1,412,123	5,644
2012	136,472,406	991,928	2,589	257,027,541	1,260,100	4,927
2013	175,488,050	1,243,476	4,330	356,075,600	1,696,422	6,723
Average	251,009,617	1,191,967	6,893	224,184,715	898,923	15,414

Source : Fishing Fleet Statistics in Korean Statistical Information Service(2014), Annual Fisheries Business Statistics in National Federation of Fisheries Cooperatives(2014), Producer Price Index and Consumer Price Index in Korean Statistical Information Service(2014)

Table 5. Technological & biological estimates and economic parameters

Parameter	Yellow croaker
q	0.00000129
K (kg)	239,323,336
r	0.33696012
c (won/hp)	1,045,445
p (won/kg)	11,154
δ (%)	5.5

를 정리하면 Table 5와 같다.

식 (21), (22), (23)을 이용하여 도출한 최적자원량(X^*), 최적어획량(H^*), 최적어획노력량(E^*)은 Table 6과 같다.

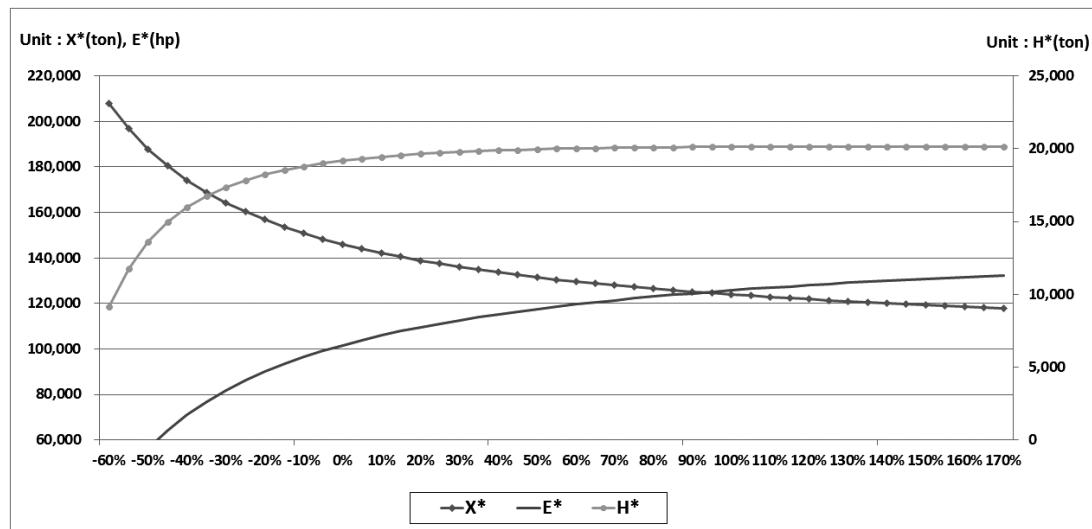
Table 6. Optimal stock level, harvesting production, and fishing efforts

Optimal level	Yellow croaker
X^* (ton)	146,144
E^* (hp)	101,644
H^* (ton)	19,173

참조기의 최적자원량은 약 146,144톤이고, 최적어획노력량은 101,644마력으로 추정되었으며, 최적어획량은 약 19,173톤으로 추정되었다. Table 7, 8, 9, 10은 생물적, 경제적 변수의 변화에 따른 참조기의 최적량 변화를 분석해 본 것으로, 우선 위판가격(p)의 변화에 따른 최적자원량

Table 7. Changes in optimal stock level, harvesting production, and fishing efforts caused by changes in average landing price(p)

Changing ratio of p	X^* (ton)	E^* (hp)	H^* (ton)
- 60%	207,944	34,230	9,187
- 30%	164,329	81,807	17,351
0%	146,144	101,644	19,173
30%	136,077	112,625	19,781
60%	129,660	119,625	20,020
90%	125,202	124,488	20,117
120%	121,922	128,067	20,153
150%	119,405	130,812	20,161
160%	118,691	131,591	20,159
170%	118,028	132,314	20,157

Fig. 2. Changes in optimal stock level, harvesting production, and fishing efforts caused by changes in average landing price(p).

(X^*), 최적어획노력량(E^*), 그리고 최적어획량 수준(H^*)의 변화는 Table 7과 같다.

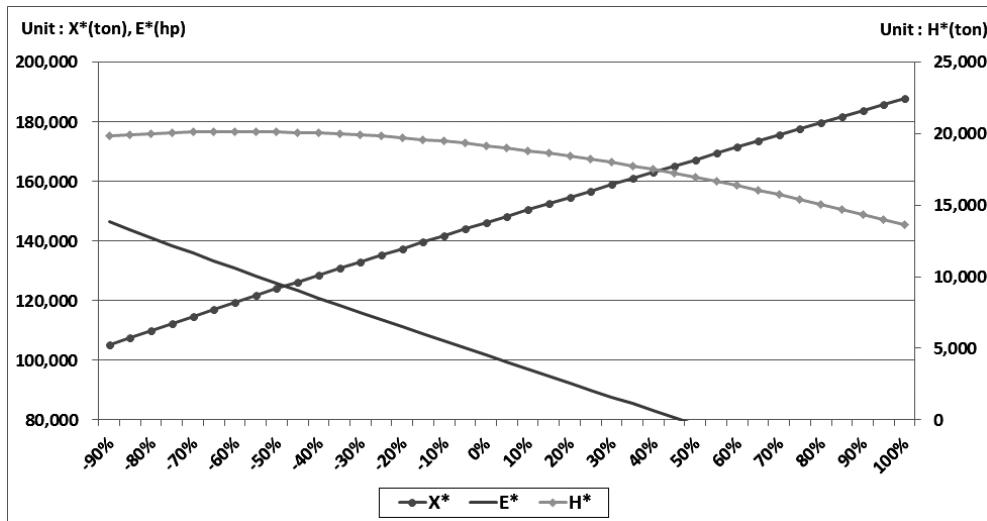
Fig. 2는 Table 7을 그래프로 표현한 것으로, Table 5에서 추정된 가격을 “변화가 없다”는 의미의 0%에 두고 위판가격의 증감 정도에 따라 최적자원량과 최적어획량, 최적어획노력량이 어떻게 변하는지 분석하였다. 그 결과, Fig. 2에서 알 수 있듯이 위판가격이 상승함에 따라 최적어획노력량은 증가하고, 최적어획노력량의 증가에 따라 최적자원량은 감소하는 경향을 보였

다. 최적어획량은 최적어획노력량의 증가와 함께 증가하지만 가격이 150% 정도 상승한 27,885 원부터는 조금씩 감소하는 추세를 보였다. 이는 참조기의 최적어획량 수준이 최적자원량의 최대점인 $K/2$ 수준을 넘으면서 자원량 감소와 함께 최적어획량도 같이 감소하였기 때문인 것으로 판단된다.

Table 8과 Fig. 3은 마력당 어업비용이 상승함에 따른 개별 최적량의 변화를 나타낸다. 마력당 어업비용이 상승하면 최적어획노력량은 감소하

Table 8. Changes in optimal stock level, harvesting production, and fishing efforts caused by changes in average fishing cost(c) per horse power

Changing ratio of c	$X^*(\text{ton})$	$E^*(\text{hp})$	$H^*(\text{ton})$
-90%	105,110	146,405	19,862
-60%	119,405	130,812	20,161
-30%	133,010	115,971	19,910
0%	146,144	101,644	19,173
30%	158,933	87,694	17,989
60%	171,459	74,029	16,383
90%	183,780	60,589	14,372

Fig. 3. Changes in optimal stock level, harvesting production, and fishing efforts caused by changes in average fishing cost(c) per horse power.

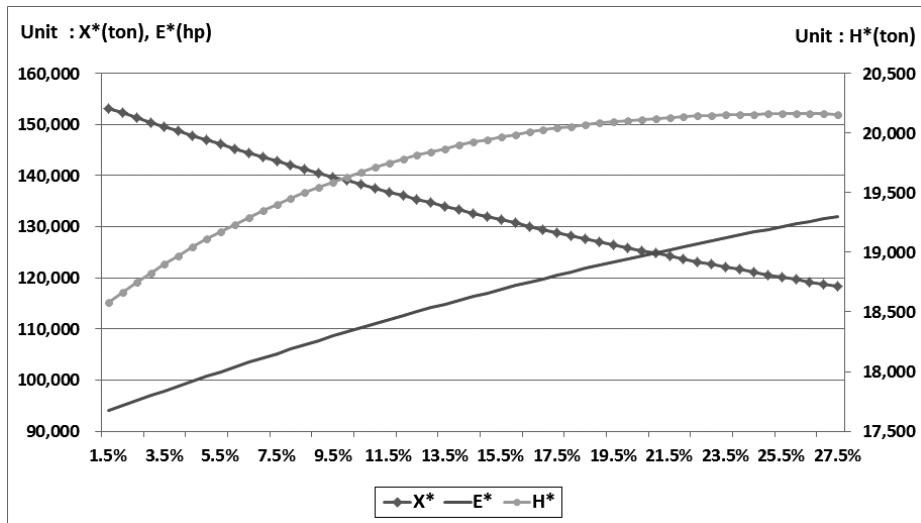
고 최적자원량은 증가한다. Fig. 3을 보면 알 수 있듯이 마력당 어업비용이 계속 상승하면 최적 어획노력량 또한 함께 감소하여 최적어획량을 감소시키므로 최적자원량을 증가시키는 효과를 가져온다. 그러나 마력당 어업비용이 현 수준에서 60% 하락한 418,178원 이하로 떨어지면 최적 어획노력량의 증가가 최적어획량을 다시 감소시키는 부정적 효과를 가져 옴을 알 수 있다. 다시 말해, 어업비용이 최대 60%까지 하락할 경우 어획노력량의 증가가 어획량 증가에 긍정적 효과를 가져올 수 있으나, 그 이상으로 어업비용이 하락하면 어획노력량의 증가가 어획량을 감소시키는 부정적 효과를 초래한다. 이는 이 수준

이상의 어업비용 하락이 오히려 참조기 자원을 남획시키는 요인으로 작용할 수 있기 때문이다.

사회적 할인율 상승에 따른 각 최적량의 변화는 Table 9와 Fig. 4에서 확인할 수 있다. 여기서 사회적 할인율은 KDI에서 제시한 5.5%를 기준으로 0.05%씩 변화시키는 민감도 분석을 시도하였다. 사회적 할인율이 상승하면 미래의 가치보다 현재의 가치가 상승하기 때문에 어업인은 이윤을 남기기 위해 미래보다 현재에 많은 어획노력량을 투입함으로써 최적자원량을 감소시키는 문제를 발생시킨다. 이렇듯 최적어획노력량의 증가는 최적어획량을 초기에는 증가시킬 수 있지만 이후에는 자원량 감소가 커짐에 따라 증

Table 9. Changes in optimal stock level, harvesting production, and fishing efforts caused by changes in social discount rate(δ)

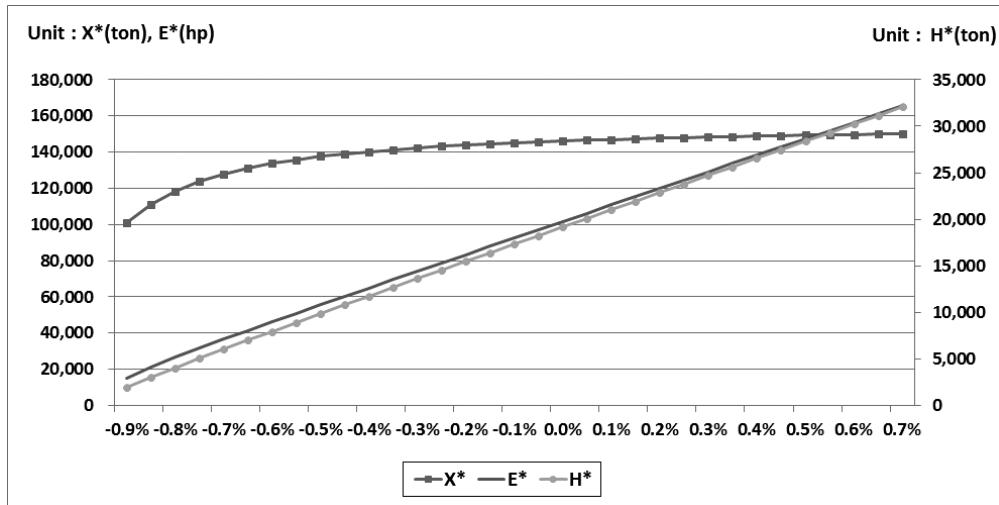
δ	$X^*(\text{ton})$	$E^*(\text{hp})$	$H^*(\text{ton})$
0%	155,970	90,925	18,304
2.5%	151,352	95,963	18,747
5.5%	146,144	101,644	19,173
7.5%	142,873	105,212	19,402
10.5%	138,266	110,238	19,673
15.5%	131,356	117,775	19,968
20.5%	125,346	124,331	20,115
25.5%	120,147	130,003	20,160
30.5%	116,080	134,439	20,143

Fig. 4. Changes in optimal stock level, harvesting production, and fishing efforts caused by changes in social discount rate(δ).Table 10. Changes in optimal stock level, harvesting production, and fishing efforts caused by changes in intrinsic growth rate(r)

Changing ratio of r	$X^*(\text{ton})$	$E^*(\text{hp})$	$H^*(\text{ton})$
-0.9%	101,035	15,085	1,967
-0.7%	127,845	36,482	6,020
-0.5%	137,532	55,519	9,855
-0.3%	142,306	74,081	13,607
0%	146,144	101,644	19,173
0.3%	148,303	129,076	24,707
0.5%	149,283	147,330	28,388
0.7%	150,042	165,567	32,064

가 수준이 점차 줄어들게 되고 그 결과 사회적 할인율이 25.5% 수준을 넘어서면 최적어획량도 서

서히 감소하는 결과를 유발한다. 한편 사회적 할인율이 기준 할인율인 KDI의 5.5%보다 하락하

Fig. 5. Changes in optimal stock level, harvesting production, and fishing efforts caused by changes in intrinsic growth rate(r).

면 어업인의 조업 동인이 약화되어 최적어획노력량이 감소하고 그 결과 최적어획량도 감소하여 최적자원량을 증가시키는 유인을 가져온다.

Table 10과 Fig. 5는 자원의 본원적 성장률이 변화함에 따른 참조기의 최적자원량, 최적어획량, 최적어획노력량의 증감을 보여준다. 여기서 본원적 성장률은 0.3369%의 기준 하에서 “변화가 없다”라는 의미인 0%에 두고 0.1%씩 변화를 시키는 민감도 분석을 시도하였다. Fig. 5에서 본원적 성장률이 증가함에 따라 최적자원량이 계속 증가하고는 있으나, 최적어획노력량과 최적어획량은 빠르게 증가하면서 최적자원량의 증가폭은 계속 줄어듦을 확인할 수 있었다. 따라서 자원의 본원적 성장률이 꾸준히 증가하여 자원량이 늘어난다하더라도 체계적·과학적 자원관리시스템 도입을 통해 적정 어획량 수준을 지속적으로 유지할 수 있는 제도적 접근이 요구되어진다.

Table 11은 2013년의 두 어업의 표준화된 어획노력량과 두 어업의 참조기 실제 어획량의 합계 및 해밀토니안기법으로 분석된 최적어획노력량과 최적어획량을 나타낸다. Table 11 자료의 비교 분석 결과, 참조기의 최적어획량과 최적어획

Table 11. Comparison between optimal levels and actual Catch & estimated standardized Effort(2013)

Item	Effort(hp)	Catch(ton)
Recent level(2013)	175,512	35,279
Optimal level	101,644	19,173

노력량이 2013년 기준 참조기의 실제 어획량과 표준화된 어획노력량의 추정치에 비해 훨씬 낮음을 확인할 수 있다. 이는 2013년의 표준화된 어획노력량 수준이 최적어획노력량 수준보다 과다 투입되어져 참조기의 남획을 초래하고 있으며(Sim and Nam, 2015), 이로 인해 참조기 어업의 경제적 효율성을 저해할 뿐만 아니라 참조기 자원량 또한 감소시키는 문제가 있음을 의미한다. 따라서 참조기 어업의 경제적 효율성과 자원의 지속적 이용을 위해 참조기 어업에 대한 정부 차원에서의 체계적·과학적 자원관리시스템 도입이 필요할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 현재가치 해밀토니안기법을 이용하여 근해자망어업과 근해안강망어업으로

어획되는 참조기의 최적자원량, 최적어획량, 최적어획노력량을 추정한 후 경제적·생물적 주요 파라미터인 가격, 비용, 할인율, 자원 성장률의 변화에 따라 이들 자원량과 어획량, 그리고 어획노력량이 어떻게 변하는지를 살펴보았다.

본 연구의 분석 결과를 종합해 볼 때, 우선, 참조기를 어획하는 근해자망어업과 근해안강망어업의 표준화된 어획노력량을 추정한 후, CY&P 모형을 적용하여 q , K , r 값을 추정하였다. 분석 결과, 조정된 결정계수 값이 0.75로 종속변수인 CPUE와 어획노력량(E) 변수를 이용한 CY&P 모형의 설명력은 비교적 우수하였으며, 모형의 유의성을 의미하는 F-통계량도 31.71로 나타나 통계적으로 CY&P 모형을 이용함에 있어 무리가 없음을 확인하였다. 둘째로, q , K , r 계수 값을 해밀토니안기법에 적용하여 최적자원량, 최적어획량, 최적어획노력량을 추정하였다. 추정 결과, 참조기의 최적어획노력량 수준은 101,644마력이고, 이때의 최적어획량과 최적자원량은 각각 19,173톤, 146,144톤이었다. 이들 최적량 수치는 2013년의 참조기 실제어획량과 표준화된 어획노력량 보다는 상당히 낮은 수준으로 현재 참조기 자원이 비효율적으로 이용되고 있음을 뚜렷이 보여주고 있다. 따라서 참조기 자원의 자원회복 계획의 일환으로 동 어종을 TAC 제도의 관리대상 품목에 포함시키는 방안 또한 적극적으로 검토해 볼 필요가 있다.셋째, 해밀토니안기법으로 추정된 각 최적량이 위판가격(p), 마력당 비용(c), 사회적 할인율(δ), 본원적 성장률(r)의 변화에 따라 어떻게 변하는지에 대한 민감도를 분석하였다. 분석 결과, 참조기 위판가격의 상승으로 최적어획량이 최적자원량의 최대 절반 $K/2$ 수준을 넘어서면 참조기 자원량의 감소로 인해 최적어획량 또한 서서히 감소하는 결과가 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 마력당 어업비용이 60% 이상 하락할 경우, 어획노력량의 증가가 참조기 어획량의 증가를 유인할 수 없음을 확인하였다. 아울러 사회적 할인율의 상승은 참조기의

현재가치를 높임에 따라 현재의 최적어획량과 최적어획노력량을 증가시켰고, 그 결과 최적자원량을 감소시킬 수 있었다. 끝으로 본원적 성장률의 상승은 최적자원량과 최적어획량, 최적어획노력량 모두 증가시켰지만, 어획노력량과 어획량을 효과적으로 관리하지 않는다면 자원량의 지속적 증강에 부정적 영향을 초래할 수 있음을 확인하였다. 하지만 최근 들어 국내 할인율이 계속 하락해 왔으므로, 장기적인 관점에서 할인율의 하락은 참조기 자원의 보존에 긍정적인 영향을 끼칠 것으로 판단된다. 즉, 할인율 하락은 현재의 남획된 참조기의 자원상태 하에서 어획노력량을 감소시켜 남획된 자원량을 증가시키는 효과를 가져 올 수 있다. 아울러 정부가 수매·비축·방출사업을 통해 참조기 위판가격의 하락을 유인한다면 이들 어업의 어획노력량을 감소시켜 참조기 자원량을 증가시키는 유인을 가져올 수도 있다.

본 연구의 한계로 우선, 참조기를 어획하는 어업 중 근해자망어업과 근해안강망어업만을 선정하여 분석한 점을 들 수 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 향후 연구에서는 참조기를 어획하는 모든 어업을 고려하여 분석을 실시할 필요가 있다. 다음으로 참조기 어업의 최적량을 결정함에 있어 인접한 국가의 정보를 활용하지 못한 점을 들 수 있다. 따라서 향후에는 참조기와 같이 인접한 국가의 해역을 회유하는 어종의 경우 이를 국가의 어획량 및 어획노력량 정보를 활용하여 자원을 평가하고, 이들 자원을 공동관리하는 방안도 적극적으로 모색되어져야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Choi, J. Y. and Kim, D. H. (2009), "Optimal Production of Self-Renewable Fishery Resources: The Case of Mackerel Large Purse Seines Fishery," *Journal of the Korean Production and Operations Management*

- Society*, 20 (1), 109 – 127.
- Choi, J. Y. and Kim, D. H. (2012), “An Exploratory Study on Determining Optimal Fishing Effort and Production Levels of Danish Seine Fishery under the Sandfish Stock Rebuilding Plan,” *Journal of Fisheries Business Administration*, 43 (1), 1 – 9.
- Clark, C. W., et al. (1979), “The Optimal Exploitation of Renewable Resource Stocks,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 47, 25 – 47.
- Clark, C. W. and Munro, G. R. (1975), “The Economics of Fishing and Modern Capital Theory: A Simplified Approach,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 2, 92 – 106.
- Clark, C. W. (1990), *Mathematical Bioeconomics*, John Wiley&Sons, 1 – 386.
- Clark, R. P. et al. (1992), “A bioeconomic analysis of the North-western Hawaiian Islands lobster fishery,” *Marine Resource Economics*, 7 (3), 115 – 140.
- Conrad, J. M. (1999), *Resource Economics*, Cambridge University Press, 44 – 49.
- Fleming, C. M. and Alexander, R. R. (2003), “Single-species versus Multiple-species Models: the Economic Implications,” *Ecological Modelling*, 170, 203 – 211.
- Fox, W. J. Jr. (1970), “An Exponential Surplus Yield Model for Optimizing Exploited Fish Populations,” *Transactions of the American Fisheries Society*, 99 (1), 80 – 88.
- Gavaris, S. (1980), “Use of a Multiplicative Model to Estimate Catch Rate and Effort from Commercial Data,” *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 37, 2272 – 2275.
- Kim, D. H. (2015), “Evaluating the TAC Policy in the Sandfish Stock Rebuilding Plan,” *Journal of Fisheries Business Administration*, 46 (1), 29 – 39.
- Kim, D. H. (2003), “A Bioeconomic Analysis on the Evaluation of Alternative Management Policies in the Multispecies Fishery,” *Journal of Fisheries Business Administration*, 35 (1), 1 – 22.
- Kim, S. H. et al. (2012), “The Estimation of the Optimum Mesh Size Selectivity of a Drift Net for Yellow Croaker(*Larimichthys Polyactis*) Using by the SELECT Model,” *Fisheries Technology*, 48 (1), 10 – 19.
- Koo, M. S. and Kim, S. J. (2014), “A Study of the Efficiency of the Labor-saving-type, Five-step-drum Net Hauler,” *The Korean Society for Fisheries and Marine Sciences Education*, 26 (1), 98 – 107.
- Lee, J. S. et al. (2006), *A Study on Assessment of TAC for Multi-species and Multi-gears II*, Korea Maritime Institute, 183.
- Nam, J. O. (2011), “Determining Optimal Production of Mackerel and Jack Mackerel Caught by Large Purse Seine Based on Hamiltonian Method,” *Ocean Policy Research*, 26 (2), 22 – 46.
- Park, J. I. (1992), “Modern Capital Theory and Optimal Fisheries Management,” *Journal of Fisheries Business Administration*, 23 (2), 53 – 67.
- Pyo, H. D. (2002), “Determining Appropriate Bioeconomic Models for Stock Assessment of Aquatic Resources,” *Journal of Fisheries Business Administration*, 33 (2), 75 – 98.
- Quinn, T. J., II and Deriso, R. B. (1999), *Quantitative Fish Dynamics*, University of Oxford, 560.
- Ragozin, D. and Brown, G. (1985), “Harvest Policies and Nonmarket Valuation in a Predator-prey System,” *Journal of Environmental Economics Management*, 12, 155 – 168.
- Sim, S. H. and Nam, J. O. (2015), “A Stock Assessment of Yellow Croaker Using Bioeconomic Model : Focused on the Single Species and Multiple Fishery Cases,” *Ocean and Polar Research*, 37 (2), 161 – 177.
- Skonhoft, A. (1999), “On the Optimal Exploitation of Terrestrial Animal Species,” *Environmental Resource Economics*, 13 (1), 45-57.