

해밀토니안기법을 이용한 대형선망어업의 고등어·전갱이 최적어획량 결정

Determining Optimal Production of Mackerel and Jack Mackerel Caught by Large Purse Seine Based on Hamiltonian Method

남 종 오*
Nam, Jong-Oh

〈목 차〉

- I. 서 론
 - II. 최적어획량 결정의 이론적 모형
 - III. 실증분석: 대형선망어업의 고등어·전갱이 사례
 - IV. 요약 및 결론
-

Abstract: This paper estimates optimal production, fishing efforts, and stock of mackerel and jack mackerel caught by the large purse seine with current value Hamiltonian method and surplus production model. First of all, this study investigates volume of catches and fishing efforts of mackerel and jack mackerel caught by the large purse seine to estimate intrinsic growth rate, environmental carrying capacity, and catchability coefficient. Secondly, the study analyzes landing price and unit cost per fishing effort, and social discount rate to find optimal solution of production, fishing efforts, and stock by species from the current value Hamiltonian method.

As a result, optimal production, fishing efforts, and stock summed from mackerel and jack mackerel caught by the large purse seine were 173,647 ton, 25,925 hauls, and 2,532,659 ton respectively. Optimal production,

* 한국해양수산개발원 전문연구원 (namjo@kmi.re.kr)

fishing efforts, and stock of mackerel caught by the large purse seine were 172,972 ton, 25,082 hauls, and 2,516,906 ton and optimal production, fishing efforts, and stock of jack mackerel were 702 ton, 843 hauls, and 15,753 ton respectively. In addition, when social discount rate continuously augments, the optimal production, fishing efforts, and stock of both species also increased. With increasing intrinsic growth rate of mackerel and jack mackerel, the optimal production, fishing efforts, and stock of them also increased. However, changing in the landing price and the cost per haul of both species, signals of the optimal production and stock of them were moved into opposite direction respectively.

In conclusion, this study found that the large purse seine gears would catch much more mackerel with relatively high economic efficiency than jack mackerel under the optimal condition.

Key Words : Current Value Hamiltonian, Optimal Production, Mackerel, Jack Mackerel, Large Purse Seine

I. 서 론

최근 우리나라 연근해 어족자원은 전반적으로 감소하는 추세를 보이고 있다. 특히 대형선망에 의해 어획되는 고등어와 전갱이의 어획량이 감소하면서 이들 어종의 위판가격도 상승하고 있다. 또한 이들 어종을 어획하는 대형선망어업은 연도별로 어획량이 크게 변동하면서 불안정한 경영 상태를 보여 왔다.¹⁾ 이러한 경영 불안정은 어종의 생태 환경 변화가 주 원인이겠지만, 다양한 어종을 어획하는 대형선망어업이 자원의 특성과 경제성을 고려한 효율적 어획을 성공적으로 수행하지 못한 것도 한 원인일 수 있다.²⁾ 이에 본 연구는 이들 어업의 효율적 생산 활동을 돕기 위한 한 방안으로서, 여러 어종을 어획하는 특정어업에 있어 어종별 어족자원의 최적이용을 단일어업·단일어종의 확장된 한 모형을 이용하여 최적해(最適解)를 추정해 보고자 한다.

따라서 본 연구의 목적은 대형선망에 의해 어획되는 고등어와 전갱이의 어획량, 자원량, 어획노력량을 동태적 접근방법인 현재가치 해밀토니안기법(Hamiltonian Method)을 적용하여 최적해를 찾아내고, 그 최적해로부터 이들 어종의 생물적·경제적 영향을 분석해 보는 데 있다. 아울러 본 연구는 대형선망어업의 어업경영 활동에 있어 사회적 할인율과 그 외 생물적·경제적 파라미터들이 이들 어종의 최적량에 어떠한 영향을 미치는지도 분석해 보고자 한다.

한편, 자율갱신자원의 최적화모형과 관련된 해외선행 연구로는 Clark 외(1979)의 자율갱신자원의 최적 개발을 들 수 있다. 여기서 Clark 외는 “투자는 비가역적이다”는 가정 하에 어업에 있어 자본투자의 이슈들을 심도있게 다루었다(Hanley·Shogren·White, 1997). 또한 Clark(1990)은 자율갱신자원의 최적관리에 대한 수치적 바이오경

1) 상기 내용의 근거자료로서 국립수산물과학원 내부 자료인 <그림-2>와 통계청 어업생산동향조사 및 국립수산물과학원 내부 자료인 <표-1>과 <표-4>, 그리고 통계청 어업경영조사 보고 자료인 <표-3>을 참조하기 바란다.

2) TAC하에서 개별경영체가 가능한 자신에게 할당된 쿼터를 다 소진하려고 노력하는 것이 이들의 문제일 수는 없다. 하지만 간혹 생태환경의 악화로 이들이 투입한 어획 노력에 비해 포획된 어획물이 적어 순이익을 감소시킬 수도 있음을 의미한다.

제학을 체계화시켰다. 그 후 Clark·Munro(1995)는 현대자본이론과 어업경제학을 이론적으로 단순화시키기도 하였다. 그리고 Conrad(1999)는 자율갱신자원의 현재가치를 최대화하는 접근방식을 이용해 특정 어종의 자원량, 어획량, 어획노력량의 최적해를 수치적으로 도출하는 산출식을 제공해 주기도 하였다. 그 외에도 자율갱신자원에 대한 최적화 모형의 이론과 논문은 어업의 성격과 어종의 상호작용, 그리고 특정 어종에 대한 어업주체의 경쟁적 조업 등에 따라 다양한 형태로 계속 발전해 왔다(Ragozin · Brown, 1985; Fleming · Alexander, 2003; Skonhoft, 1999).

한편 국내 선행연구로는 박장일(1992)이 해밀토니안기법에 기초한 Clark의 최적어업관리와 현대자본이론을 소개하였고, 조정희·홍성결(2002)이 해밀토니안기법을 적용하여 GAMS/MINO 프로그램으로 고등어 어업의 순이윤을 극대화하는 최적어획량을 추정하였다. 그리고 최근 최종열·김도훈(2009)이 해밀토니안기법으로 대형선망에 의해 어획되는 고등어의 최적자원량과 최적어획량 수준 등을 추정하였다. 그러나 국내적으로 해밀토니안 기법을 이용하여 수산자원을 최적화하는 다양한 실험적 분석은 그리 많지 않았다.³⁾

이에 본 연구는 실험적 분석으로 해밀토니안기법을 이용하여 특정 어업이 여러 어종을 어획할 때, 상기 어업이 어획하는 개별 어종의 어획노력량을 안다는 가정 하에 이들 어종의 최적해 즉, 최적자원량, 최적어획량, 최적어획노력량 추정을 시도해 본다는 점에서 지금까지 국내에 소개된 다른 논문들과 다소 차이가 있다.

끝으로 본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 대형선망어업의 고등어·전갱이의 어종별 최적어획량 결정의 이론적 모형을 제시한다. 다음으로 III장은 현재가치(current value) 해밀토니안기법을 이용하여 대형선망에 의해 어획되는 고등어와 전갱이의 최적자원량과 최

3) 생물경제모형을 이용한 단일어업·단일어종의 최대지속적어획량(Maximum Sustainable Yield), 최대경제적어획량(Maximum Economic Yield) 등을 추정한 국내 논문들은 많으나, 해밀토니안 기법을 이용한 최적어획량 추정의 국내 논문들은 상기 언급한 조정희·홍성결(2002)과 최종열·김도훈(2009)의 실험적 논문 외에 거의 없는 상황이다.

적어획노력량, 그리고 최적어획량을 도출하고, 그것이 대형선망어업에 미치는 생물적·경제적 함의를 제시한다. 끝으로 IV장은 결론 부분으로서 본 논문을 간략히 요약하고, 논문의 실증적 분석에서 나타난 한계들을 언급하면서 글을 맺고자 한다.

II. 최적어획량 결정의 이론적 모형

1. 기본모형

최적어획량 결정의 기본모형은 일반적으로 쉐퍼(Schaefer)모형인 로지스틱성장함수(logistic growth function)로부터 출발한다(유동운·강세훈, 1989; 박장일, 1992).

$$F(X(t)) = rX(t) \left(1 - \frac{X(t)}{K} \right), \text{ where } \frac{dX(t)}{dt} = F(X(t)) - \dot{x} \quad (1)$$

여기서 $F(X(t))$ 는 t 시점의 어업자원 성장량, r 은 자원의 본원적 성장률(intrinsic growth rate), K 는 환경수용능력(environmental carrying capacity), $X(t)$ 는 t 시점의 어군밀도인 자원량(stock)을 의미한다. 그리고 식 (1)의 자원의 로지스틱성장함수에 인간의 어획활동을 추가하면 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{dX}{dt} = F(X) - H(t) \quad (2)$$

여기서 어획생산함수인 $H(t)$ 는 t 시점의 어획노력량($E(t)$)과 자원량($X(t)$) 간의 함수로서 표현될 수 있으며, 거기에 어획강도를 나타내는 어획계수(catchability coefficient: q)와 어획노력량의 특성을 반영하는 승수 α , 그리고 자원의 특성을 고려한 승수 β 를 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$H(t) = qE(t)^\alpha X(t)^\beta \quad (3)$$

그러나 본 분석에서는 어획생산함수의 승수 α 와 β 를 각각 1로 가정한 선형의 함수형태를 이용한다. 다음으로 어획비용함수는 어획노력량($E(t)$)의 함수로서 상수인 단위노력당 어획비용(c)에 t 시점의 어획노력량($E(t)$)을 곱하여 추정한다.

$$C_E(t) = cE(t) \quad (4)$$

여기서 $C_E(t)$ 는 t 기의 다수어종을 어획하는 단일어업의 총어획비용을 의미한다.

2. 단일어업의 어종별 동태적 최적화 모형

동태적 최적화 모형을 개별어업에 적용하는 이유는 한 특정어업이 여러 어종을 어획함에 있어 자원의 시간적 배분에 따른 편익과 비용의 발생을 고려하여 각 시기의 최적어획량을 결정하기 위함이다(조정희 · 이정삼 · 남종오, 2009). 따라서 상기 어업의 목적함수는 단일어업이 여러 어종을 어획함에 있어 각 시기별로 얻어지는 경제지대(economic rent)의 순현재가치(net present value)의 합을 최대화시키는 데 있다.

이에 다수어종을 어획하는 단일어업의 동태적 최적화 모형의 목적함수식과 제약조건식을 제시하면 다음과 같다.

Maximize

$$\begin{aligned} NPV &= \int_0^{\infty} [(p_m H_m(t) + p_j H_j(t)) - cE(t)] e^{-\delta t} dt \\ &= \int_0^{\infty} [(p_m H_m(t) + p_j H_j(t)) - (c_m E_m(t) + c_j E_j(t))] e^{-\delta t} dt \\ &= \int_0^{\infty} [(p_m q_m E_m(t) X_m(t) + p_j q_j E_j(t) X_j(t)) - (c_m E_m(t) + c_j E_j(t))] e^{-\delta t} dt \end{aligned} \quad (5)$$

Subject to,⁴⁾

$$\begin{aligned} dX_m/dt &= \dot{x}_m, \quad X_m(0) = X_{0_m}, \quad X_m(t) \geq 0 \\ dX_j/dt &= \dot{x}_j, \quad X_j(0) = X_{0_j}, \quad X_j(t) \geq 0 \\ 0 \leq H_m(t) &\leq H_m(t)_{MAX}, \quad 0 \leq E_m(t) \leq E_m(t)_{MAX} \\ 0 \leq H_j(t) &\leq H_j(t)_{MAX}, \quad 0 \leq E_j(t) \leq E_j(t)_{MAX} \end{aligned}$$

여기서 $H(t)$ 와 $E(t)$ 는 t 시점의 어종별 생산량과 어획노력량을 의미하며, p 와 c 는 어종별 가격 및 단위노력당 어획비용을 나타낸다. 그리고 $(p_m H_m(t) + p_j H_j(t) - cE(t))$ 는 t 시점의 편익(profit)을, δ 는 사회적 할인율을 나타낸다. 그 외에 H_{MAX} 와 E_{MAX} 는 어종별 최대생산 및 최대어획노력 수준을 의미하고, X_0 는 어종별 초기자원량을 나타낸다.

식 (5)의 제약조건을 바탕으로 한 목적함수의 극대화를 해결하기 위한 현재가치 해밀토니안(current value Hamiltonian) 함수식(H_c)을 기술하면 다음과 같다.

- 4) 상기 제약조건식은 어종별 성장·어획함수에 있어 아래와 같은 등식 관계를 전제로 하고 있다.

$$\begin{aligned} F(X_m(t)) &= r_m X_m(t) \left(1 - \frac{X_m(t)}{K_m}\right), \quad F(X_j(t)) = r_j X_j(t) \left(1 - \frac{X_j(t)}{K_j}\right), \\ H_m(t) &= q_m E_m(t) X_m(t), \quad H_j(t) = q_j E_j(t) X_j(t), \quad cE(t) = c_m E_m(t) + c_j E_j(t), \\ \dot{x}_m &= F(X_m(t)) - H_m(t) = F(X_m(t)) - q_m E_m(t) X_m(t), \\ \dot{x}_j &= F(X_j(t)) - H_j(t) = F(X_j(t)) - q_j E_j(t) X_j(t) \end{aligned}$$

여기서 $cE(t)$ 를 $c_m E_m(t) + c_j E_j(t)$ 로 분리하는 이유는 해밀토니안기법으로부터 개별어종의 최적해 도출을 용이하게 하기 위함이며, 이러한 시도는 한 특정어업이 어획하는 개별 어종에 대한 어종별 단위노력당 어획비용과 어획노력량을 안다는 가정을 전제로 한다. 이에 본 분석은 이들 개별 어종의 단위노력당 어획비용과 어획노력량을 도출하기 위해 대형선망어업이 어획하는 고등어와 전갱이의 어획 비중을 이용한다. 즉, 개별어종의 어획노력량은 대형선망어업의 총어획노력량에 개별어종의 어획비중을 나누어 산출하고, 개별어종의 단위노력당 어획비용은 대형선망어업의 총어업비용에 대형선망어업의 양망횟수를 나누어 산출된 양망당 비용에 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 어획 비중을 곱하여 산출한다. 물론 본 가정은 실제 현실과는 분명히 괴리가 있다. 그러나 다수어종·다수어업을 단일어종·단일어업으로 가정하고 최적해를 추정하는 기존의 선행연구보다 현실성이 없다고 판단하기는 어렵다고 보인다.

$$H_c = [p_m q_m E_m(t) X_m(t) + p_j q_j E_j(t) X_j(t)] - [c_m E_m(t) + c_j E_j(t)] \quad (6)^5$$

$$+ \lambda_m [F(X_m(t)) - q_m E_m(t) X_m(t)] + \lambda_j [F(X_j(t)) - q_j E_j(t) X_j(t)]$$

여기서 λ 는 어종별 미래가치를 현재로 할인한 그림자 가격(shadow price)으로서 이들 어종의 희소성에 의해 결정되는 자원자체의 잠재가격을 의미한다(최종열·김도훈, 2009). 그리고 식 (6)의 $X(t)$ 는 상태변수(state variable), $E(t)$ 는 제어변수(control variable)이며, H_c 의 최적해는 H_c 를 어획노력량(E), 자원량(X)을 가지고 편미분한 1계 필요조건(first order necessary condition)에 어획노력량(E)으로부터 편미분된 상태효율조건식(S.E.C.)의 λ 를 t 로 편미분함으로써 구할 수 있다.

- 상태효율조건(Static Efficiency Condition: S.E.C.)

$$\frac{\partial H_c}{\partial E_m} = p_m q_m X_m - c_m - \lambda_m q_m X_m = 0, \quad p_m - \frac{c_m}{q_m X_m} = \lambda_m \quad (7)$$

$$\frac{\partial H_c}{\partial E_j} = p_j q_j X_j - c_j - \lambda_j q_j X_j = 0, \quad p_m - \frac{c_m}{q_m X_m} = \lambda_m$$

- 동태효율조건(Dynamic Efficiency Condition: D.E.C.)

$$\frac{\partial H_c}{\partial X_m} = p_m q_m E_m + \lambda_m F'(X_m) - \lambda_m q_m E_m = -\dot{\lambda}_m + \delta \lambda_m \quad (8)$$

$$\frac{\partial H_c}{\partial X_j} = p_j q_j E_j + \lambda_j F'(X_j) - \lambda_j q_j E_j = -\dot{\lambda}_j + \delta \lambda_j$$

5) 여기서 어획생산함수($H(t)$)와 어획비용함수($CE(t)$)를 선형함수식으로 가정한 것은 제어변수인 $E(t)$ 가 현재가치 해밀토니안 목적함수에 대해 선형관계를 유지하기 위함이다. 이는 최대화원리(maximum principle)를 이용하여 전환함수(switching function), $\sigma(t)$ 를 “0”으로 묶으로써 단일해(singular solution), E^* 를 “bang-bang 접근”을 통해 구할 수 있기 때문이다.

$$\sigma(t) = \frac{\partial H_c}{\partial E}, \quad E = \begin{cases} E_{MAX}, & \sigma(t) > 0 \\ E^*, & \sigma(t) = 0 \\ E_{MIN}, & \sigma(t) < 0 \end{cases}$$

그러나 어획생산함수 및 어획비용함수를 선형함수로 가정함에 따라 단일해 도출에는 용이한 장점이 있는 반면, 모형 자체가 현실을 정확히 반영하지 못하는 약점도 갖게 된다.

- 상태효율조건식(S.E.C)의 t에 대한 편미분

$$\dot{\lambda}_m = \frac{c_m}{qX_m^2} \dot{x}_m = \frac{c_m}{qX_m^2} [F(X_m - q_m E_m X_m)] \quad (9)$$

$$\dot{\lambda}_j = \frac{c_j}{qX_j^2} \dot{x}_j = \frac{c_j}{qX_j^2} [F(X_j - q_j E_j X_j)]$$

그리고 상기 식 (7), (8), (9)로부터 단일어업의 어종별 최적자원량을 추정하게 하는 “황금률(golden rules)”을 도출할 수 있다(Clark, 1990).

$$F'(X_m^*) + F(X_m^*) \frac{c_m}{X_m^*(q_m p_m X_m^* - c_m)} = \delta \quad (10)$$

$$F'(X_j^*) + F(X_j^*) \frac{c_j}{X_j^*(q_j p_j X_j^* - c_j)} = \delta$$

여기서 어종별 최적자원량은 안정상태(steady-state: $\dot{x}=0, \dot{\lambda}=0$)로서 어종별 즉각적 한계성장률($F'(X^*)$)과 어종별 한계자원효과($F(X^*) \frac{c}{X^*(qpX^* - c)}$)의 합이 사회적 할인율(δ)과 일치할 때 달성됨을 알 수 있다.

그리고 단일어업에 대한 다수어종의 최적자원량(X^*)과 최적어획노력량(E^*)은 식 (10)을 이용하여 도출할 수 있다.

$$X_m^* = \frac{K_m}{4} \left[\left(\frac{c_m}{p_m q_m K_m} + 1 - \frac{\delta}{r_m} \right) + \sqrt{\left(\frac{c_m}{p_m q_m K_m} + 1 - \frac{\delta}{r_m} \right)^2 + \frac{8c_m \delta}{p_m q_m K_m r_m}} \right] \quad (11)$$

$$X_j^* = \frac{K_j}{4} \left[\left(\frac{c_j}{p_j q_j K_j} + 1 - \frac{\delta}{r_j} \right) + \sqrt{\left(\frac{c_j}{p_j q_j K_j} + 1 - \frac{\delta}{r_j} \right)^2 + \frac{8c_j \delta}{p_j q_j K_j r_j}} \right]$$

여기서 X_m^* 와 X_j^* 는 단일어업에서 어획된 어종별(고등어, 전갱이) 최적자원량을 의미하며, 이들 어종별 최적자원량은 생물경제모형으로부터 도출된 기술적·생물적 파라미터인 q, K, r 과 어업의 경제행위로부터 형성된 p, c, δ 의 값들로부터 산출될 수 있다.

$$E_m^* = \frac{r_m}{q_m} \left[\frac{3}{4} - \frac{1}{4} \left\{ \left(\frac{c_m}{p_m q_m K_m} - \frac{\delta}{r_m} \right) + \sqrt{\left(\frac{c_m}{p_m q_m K_m} + 1 - \frac{\delta}{r_m} \right)^2 + \frac{8c_m \delta}{p_m q_m K_m r_m}} \right\} \right] \quad (12)6$$

$$E_j^* = \frac{r_j}{q_j} \left[\frac{3}{4} - \frac{1}{4} \left\{ \left(\frac{c_j}{p_j q_j K_j} - \frac{\delta}{r_j} \right) + \sqrt{\left(\frac{c_j}{p_j q_j K_j} + 1 - \frac{\delta}{r_j} \right)^2 + \frac{8c_j \delta}{p_j q_j K_j r_j}} \right\} \right]$$

그리고 단일어업에 의해 어획된 다수어종의 최적자원량이 도출되면 자원의 안정상태를 나타내는 본 식($\dot{x} = F(X^*) - H^* = 0$)으로부터 이들 어종의 최적어획량을 도출할 수 있게 된다.

$$H_m^* = q_m E_m^* X_m^* \quad (13)$$

$$H_j^* = q_j E_j^* X_j^*$$

Ⅲ. 실증분석 : 대형선망어업의 고등어·전갱이 사례

1. 대형선망어업의 자원현황 및 경영실태

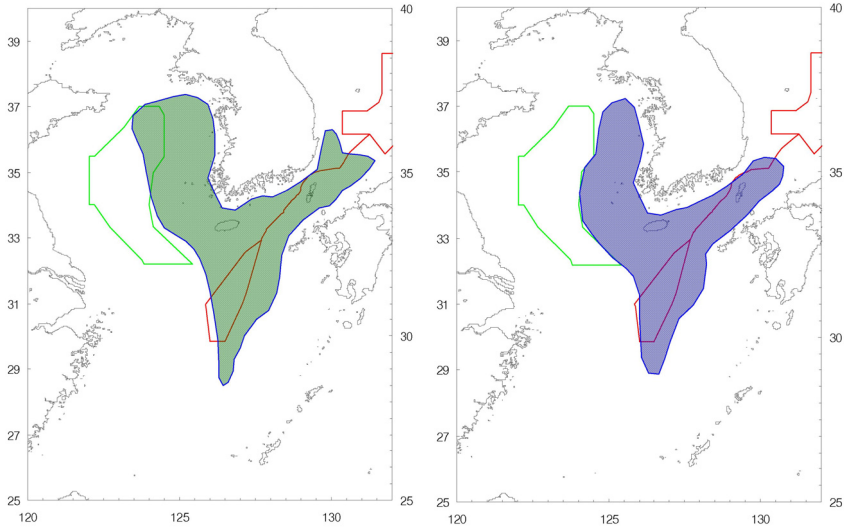
1) 고등어·전갱이의 어군분포 및 자원현황

우리나라 주변 해역에 분포하는 고등어는 크게 대마난류 계통과 동중국해 계통으로 구분된다. 이 중 대마난류 계통군은 오도(五島) 서부에서 대마도 주변 해역에 걸쳐 분포하고, 동중국해 계통군은 동중국해 남부, 중국대륙 연안, 바렌 근해에 걸쳐 분포한다. 그리고 우리나라 주변 해역에 서식하는 전갱이는 동해와 일본 큐슈 서부해역, 서해와 동중국해, 그리고 동중국해 남부해역에 주로 분포한다(국립수산물학원, 2006).

6) 식 (12)는 $\dot{x}_m = F(X_m^*) - H_m^* = 0$ 과 $\dot{x}_j = F(X_j^*) - H_j^* = 0$ 에 기초하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$E_m^* = \frac{r_m \left(1 - \frac{X_m^*}{K_m}\right)}{q_m}, \quad E_j^* = \frac{r_j \left(1 - \frac{X_j^*}{K_j}\right)}{q_j}$$

<그림-1> 우리나라 주변 고등어·전갱이의 어장분포 현황



(a) 고등어

(b) 전갱이

자료: 국립수산물과학원, 「한국 연근해 2007년도 TAC 대상어종에 대한 어획동향 분석 및 자원상태 평가」, 2006

<그림-2> 고등어·전갱이의 추정 자원량 추이



자료: 국립수산물과학원 내부자료, 각 연도

우리나라의 고등어와 전갱이의 연도별 추정 자원량을 살펴볼 때, 고등어 자원량은 1996년 168만 톤까지 증가하였다가 그 이후부터 2003년까지 계속 감소하였다. 하지만 2003년을 기점으로 다시 자원량이 회

복되기 시작하여 2008년에는 120만 톤 수준까지 회복되었다. 다음으로 전갱이 자원량은 1990년대 초에 8~11만 톤 대를 보였으나, 1990년대 중반 들어 자원량이 급감하였다. 그리고 그 후 전갱이 자원량은 다시 회복하여 2004년에 무려 15만 톤까지 증가하였다가 다시 급감하기 시작해 2008년에는 7만 톤 수준까지 떨어졌다(조정희·이정삼·남종오, 2009).

2) 대형선망어업의 고등어·전갱이 생산 및 경영 현황

1990년 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 개별 생산량은 각각 92,775톤과 12,525톤이었고, 이들 어종의 생산비중은 각각 25.9%, 3.5%로 낮은 수준이었다. 그러나 그 이후 이들 어종의 생산량이 계속 증가하여 2005년에는 각각 127,983톤과 20,831톤까지 늘어났으며, 이때의 생산비중 또한 77.4%, 12.6%로 매우 높았다.

<표-1> 대형선망어업의 총어획량 및 고등어·전갱이의 생산량과 생산비중

단위: 톤, %

구분	1990년		1995년		2000년		2005년		2010년	
	생산량	비중	생산량	비중	생산량	비중	생산량	비중	생산량	비중
총계	357,997	100.0	218,189	100.0	159,314	100.0	165,327	100.0	149,296	100.0
(A)+(B)	105,300	29.4	167,341	76.7	123,313	77.4	148,814	90.0	98,218	65.8
고등어 (A)	92,775	25.9	159,820	73.2	109,025	68.4	127,983	77.4	87,796	58.8
전갱이 (B)	12,525	3.5	7,521	3.4	14,288	9.0	20,831	12.6	10,422	7.0

자료: 통계청 어업생산동향조사, 각 연도

그러나 그 후 다시 감소하여 2010년에는 이들 어종의 어획량이 87,796톤과 10,422톤까지 떨어졌으며, 어획비중 또한 58.8%와 7%로 다시 낮아졌다. 하지만 1995년 이후 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 어획량 비중이 약 70%를 상회하여 이들 두 어종에 대한 대형선망어업의 최적자원량과 최적어획노력량, 그리고 최적어획량을 분석해 보는 데에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

다음으로 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 생산금액 및 생산금액 비중을 살펴보면, 대체적으로 생산량 및 생산비중과 비슷한 경향을 보였다.

<표-2> 대형선망어업의 총생산금액 및 고등어·전갱이의 생산금액과 비중

단위: 백만 원, %

구분	1990년		1995년		2000년		2005년		2010년	
	생산 금액	비중	생산 금액	비중	생산 금액	비중	생산 금액	비중	생산 금액	비중
총계	111,766	100.0	155,686	100.0	165,475	100.0	190,997	100.0	257,984	100.0
(A)+(B)	56,870	50.9	119,698	76.9	138,839	83.9	172,511	90.3	175,950	68.2
고등어 (A)	52,845	47.3	112,969	72.6	126,646	76.5	157,705	82.6	158,947	61.6
전갱이 (B)	4,025	3.6	6,728	4.3	12,193	7.4	14,805	7.8	17,002	6.6

자료: 통계청 어업생산동향조사, 각 연도

대형선망어업의 1990년대 경영상황을 살펴볼 때, 연도별 변동은 있었으나 전반적으로 좋지 못한 상황이었다. 통계청 어업경영조사에 의하면 통당 대형선망어업의 '90년대 매출액 이익률은 1990년 -5.6%, 1991년 -5.1%, 1994년 -3.5%, 1997년 -1.5%인 것으로 조사되었다. 그러나 생산량이 늘어났던 1996년과 1998년에는 각각 4.3%와 8.3%의 플러스(+) 매출액 이익률을 보이기도 하였다. 그 후 2000년대 초반까지 높은 매출액 이익률을 보이던 대형선망어업은 중반 들어 어획량 감소와 연료 및 임금 등 어업비용 상승의 원인으로 다시 통당 매출액 이익률이 감소하여 2006년 2.4%, 2007년 5.9%의 낮은 수준을 보였다. 그러나 최근 들어 다시 대형선망어업의 통당 매출액 이익률이 회복되는 경향을 보이고 있다.

<표-3> 대형선망어업의 매출액 이익률 및 어업수익과 어업비용 현황

단위: 백만 원, %

연도	매출액 이익률	어업	대형선망 통당 어업비용						
		수익	합계	임금	임금 비중	연료	연료 비중	수리	기타
1990	-5.6	2,317	2,447	894	36.53	326	13.32	207	1,007
1992	0.7	3,164	3,141	959	30.53	366	11.65	254	1,562
1994	-3.5	3,572	3,698	1,041	28.15	486	13.14	282	1,889
1996	4.3	4,417	4,226	1,401	33.15	566	13.39	316	1,943
1998	8.3	5,347	4,902	1,436	29.29	780	15.91	526	2,160
2000	7.9	5,867	5,402	1,654	30.62	878	16.25	503	2,367
2002	9.8	6,441	5,810	1,876	32.29	1,062	18.28	319	2,553
2004	20.8	10,651	8,431	2,155	25.56	1,558	18.48	1,315	3,403
2006	2.4	8,375	8,173	2,290	28.02	2,010	24.59	810	3,063
2007	5.9	8,912	8,378	2,372	28.31	2,023	24.15	734	3,249
2008	11.8	11,487	10,125	2,490	24.59	2,739	27.05	802	4,094
2009	17.3	15,183	12,549	3,383	26.96	2,023	16.12	1,034	6,109
2010	13.1	14,235	12,375	3,376	27.28	2,739	22.13	881	5,379

자료: 통계청 어업경영조사, 각 연도

이상과 같이 어획량의 변동과 어업비용의 상승이 심화되는 대형선망어업에 있어 지속가능한 어업을 통한 안정적 어업경영을 유지하기 위해 동 어업이 어획함에 있어 각 시기별로 얻어지는 경제지대의 순현재가치를 극대화하는 어종별 최적자원량 및 최적어획노력량, 그리고 최적어획량을 추정해 보는 것은 상당히 의미있는 시도라 여겨진다.

2. 자료분석

대형선망에 의해 어획되는 고등어·전갱이의 최적자원량과 최적어획노력량, 그리고 최적어획량을 추정하기 위해서는 생물적·기술적 계수(q , K , r) 추정 및 경제적 파라미터(p , c , δ) 산정이 필요하다.

1) 생물적·기술적 계수 추정

생물적·기술적 계수인 q , K , r 은 Graham-Schaefer의 잉여생산량 모형을 이용하여 추정한다. 상기 모형은 Schaefer의 성장함수와 어획함수로부터 도출된 균형생산량 모형으로 생산량을 종속변수, 어획노력량을 설명변수로 취한다.⁷⁾

본 분석에서는 통계청 및 국립수산물과학원이 32년(1978~2010년)간 축적한 대형선망어업의 고등어·전갱이 연도별 어획량과 어획노력량 자료를 이용한다. 특히, 본 분석에 이용된 어획노력량은 대형선망어업의 연도별 양망횟수인데, 이는 대형선망어업의 총통수에 대형선망어업의 1년간 출어일수와 대형선망어업의 1일 평균 양망횟수를 곱하여 산정한다.

<표-4> 대형선망어업의 고등어·전갱이 어획량, 어획노력량, CPUE 현황

단위: 톤, 양망횟수, 톤/양망

연 도	대형선망 (총어획어종)		대형선망 (고등어)				대형선망 (전갱이)			
	어획량	어획 노력량	어획량	어획 비중	어획 노력량	CPUE	어획량	어획비중	어획 노력량	CPUE
1978	178,467	5,177	85,421	0.4786	2,478	34.47	835	0.0047	24	34.79
1979	186,656	3,663	65,938	0.3533	1,294	50.96	5,721	0.0306	112	51.08
1980	218,651	5,825	60,578	0.2771	1,614	37.54	280	0.0013	7	40.00
1981	250,007	7,674	100,528	0.4021	3,086	32.58	656	0.0026	20	32.80

7) 균형생산량과 어획노력량의 관계식: $H = qKE(1 - \frac{qE}{r}) = qKE - \frac{q^2 K}{r} E^2$

q , K , r 추정식: $\frac{CPUE_{t+1} - CPUE_{t-1}}{2CPUE_t} = r - \frac{r}{qK} CPUE_t - qE_t$,

여기서 CPUE는 단위노력당 어획량(H/E)을 의미한다.

<표-4> 대형선망어업의 고등어·전갱이 어획량, 어획노력량, CPUE 현황(계속)

연 도	대형선망 (총어획어종)		대형선망 (고등어)				대형선망 (전갱이)			
	어획량	어획 노력량	어획량	어획 비중	어획 노력량	CPUE	어획량	어획 비중	어획 노력량	CPUE
1983	328,028	8,986	119,508	0.3643	3,274	36.50	10,090	0.0308	276	36.56
1984	349,325	10,147	99,444	0.2847	2,889	34.43	1,829	0.0052	53	34.51
1985	314,154	9,046	62,419	0.1987	1,797	34.73	12,726	0.0405	366	34.77
1986	458,785	11,976	98,202	0.2140	2,563	38.31	2,465	0.0054	64	38.52
1987	355,817	9,724	88,490	0.2487	2,418	36.59	4,526	0.0127	124	36.50
1988	409,708	10,062	154,948	0.3782	3,805	40.72	31,740	0.0775	780	40.69
1989	415,609	10,176	158,744	0.3820	3,887	40.84	10,582	0.0255	259	40.86
1990	358,993	9,467	92,775	0.2584	2,447	37.92	12,525	0.0349	330	37.95
1991	191,815	6,822	82,541	0.4303	2,936	28.12	10,664	0.0556	379	28.14
1992	212,475	8,373	108,848	0.5123	4,289	25.38	21,316	0.1003	840	25.38
1993	283,577	9,376	156,573	0.5521	5,177	30.24	30,062	0.1060	994	30.24
1994	310,967	12,360	197,761	0.6360	7,860	25.16	35,036	0.1127	1,393	25.15
1995	227,995	12,294	159,820	0.7010	8,618	18.55	7,521	0.0330	406	18.52
1996	453,337	10,599	386,877	0.8534	9,045	42.77	10,790	0.0238	252	42.82
1997	184,789	9,606	139,293	0.7538	7,241	19.24	12,867	0.0696	669	19.23
1998	205,037	8,272	148,892	0.7262	6,007	24.79	15,296	0.0746	617	24.79
1999	229,927	9,107	155,728	0.6773	6,168	25.25	7,913	0.0344	313	25.28
2000	179,988	9,318	109,025	0.6057	5,644	19.32	14,288	0.0794	740	19.31
2001	231,821	11,121	177,935	0.7676	8,536	20.85	10,729	0.0463	515	20.83
2002	181,849	9,585	126,519	0.6957	6,669	18.97	18,965	0.1043	1,000	18.97
2003	158,662	8,023	113,121	0.7130	5,720	19.78	13,558	0.0855	686	19.76
2004	220,004	8,255	175,831	0.7992	6,598	26.65	17,179	0.0781	645	26.63
2005	173,795	8,532	127,983	0.7364	6,283	20.37	20,831	0.1199	1,023	20.36
2006	146,839	7,816	93,787	0.6387	4,992	18.79	17,815	0.1213	948	18.79
2007	194,093	7,505	138,086	0.7114	5,339	25.86	9,566	0.0493	370	25.85
2008	234,525	15,220	164,375	0.7009	10,668	15.41	11,533	0.0492	749	15.40
2009	241,052	16,500*	109,459	0.4541	7,493	14.61	11,395	0.0473	780	14.60
2010	160,409	16,500*	87,796	0.5473	9,030	9.72	10,422	0.0650	1,073	9.72

주: * 2009~2010년 양망횟수는 자료 확보가 어려워 대형선망수산업협동조합에 의뢰하여 연간 양망횟수를 추정한 것임. 추정식은 1일 양망횟수 3회, 월 양망일 20일, 조업월 수 11개월을 곱하여 산출된 통당 양망횟수 660회에 대형선망어업 총통수 25통을 곱하여 산출한 수치임

자료: 통계청 어업생산동향조사, 각 연도 및 국립수산물과학원 내부자료, 각 연도

2) 경제적 파라미터 산정

고등어와 전갱이의 가격(p)은 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 최근 3년(2008~2010) 위판가격⁸⁾의 평균값을 이용한다. 이는 <표-4>에서 보듯이 최근 고등어와 전갱이 어획량의 감소로 인해 이들 어종의 위판가격이 크게 상승함을 반영해 주기 위함이다. 추정 결과, 고등어와 전갱이의 최근 3년(2008~2010년)의 평균 위판가격은 kg당 각각 1,515원, 1,196원이었다.

<표-5> 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 위판가격

단위 : 원/kg

연 도	고등어	전갱이
2000	1,162	853
2002	1,236	841
2004	1,270	1,029
2006	1,455	610
2008	1,126	1,241
2009	1,610	717
2010	1,810	1,631
3년 ('08~'10) 평균	1,515	1,196

자료 : 통계청 어업생산동향조사, 각 연도

다음으로 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 양망당 어업비용(c)도 위판가격과 동일한 시점을 비교하기 위해 최근 3년(2008~2010년)의 평균을 적용한다. 여기서 고등어와 전갱이의 양망당 어업비용은 대형선망어업의 총어업비용에 대형선망어업의 양망횟수를 나누어 산출된 양망당 비용을 구하고, 이것에 다시 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 어획 비중을 곱하여 산출한다. 추정 결과, 고등어와 전갱이의 최근 3년(2008~2010년)의 양망당 평균 어업비용은 각각 10,340천 원, 990천 원인 것으로 나타났다.⁹⁾

8) 고등어와 전갱이의 위판가격은 통계청 어업생산통계의 연도별 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 생산금액에 개별 어종의 생산량을 나누어 산출한다.

<표-6> 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 양망당 어업비용

단위 : 천원, 천원/양망

연 도	대형선망		어업비중		양망당 어업비용	
	총어업 비용	양망당 어업비용	고등어	전갱이	고등어	전갱이
2000	189,074,970	20,291	0.6057	0.0794	12,290	1,611
2002	181,972,418	18,986	0.6957	0.1043	13,208	1,980
2004	264,689,024	32,064	0.7992	0.0781	25,626	2,504
2006	228,831,260	29,277	0.6387	0.1213	18,699	3,551
2008	263,243,968	17,296	0.7009	0.0492	12,123	851
2009	313,731,425	19,014	0.4541	0.0473	8,634	899
2010	309,396,300	18,751	0.5473	0.0650	10,263	1,219
3년 ('08~'10) 평균	295,457,231	18,354	0.5674	0.0538	10,340	990

자료 : 통계청 어업생산동향조사, 국립수산물과학원 내부자료, 각 연도

끝으로 사회적 할인율(δ)은 수산부문의 공공투자사업에 적용된 국내의 사회적 할인율의 사례에 근거하여 이들 자료의 평균인 6.64를 적용하였다.

<표-7> 공공투자사업 적용 사회적 할인율 사례

단위 : %

국내 사례	사회적 할인율	국외 사례	사회적 할인율
공공투자사업(1999년 이후)	7.5	미국, 캐나다, 프랑스	7.0
애월항 외항 타당성 조사(2006)	6.5	영국, 스페인	6.0
비용도 여항 타당성 조사(2000)	7.5	일본	4.0
전북 방류사업 경제성 분석(2005)	8.0	국내외 사례 평균	6.64

자료 : 한국해양수산개발원, 「대형선망어업 전진기지 조성을 위한 타당성 분석 연구」, 2008.

$$9) \text{ Fishing Cost per Haul by Species}_{LPS} = \left[\frac{\text{Total Fishing Cost}_{LPS}}{\text{Total Hauls}_{LPS}} \right] \times \text{Fishing Ratio}_{\text{Species}_{LPS}}$$

여기서 LPS는 대형선망어업(Large Purse Seine)을, Haul은 양망횟수를 의미한다. 그리고 대형선망어업의 총어업비용(Total Fishing Cost)은 연도별 통당 어업비용에 연도별 대형선망어업의 총통수를 곱하여 산출한다.

3. 분석결과

이상의 추정된 생물적·기술적 계수와 분석을 통해 산정된 경제적 파라미터를 요약·정리하면 <표-8>과 같다.

<표-8> 생물적·기술적·경제적 파라미터 및 추정치

파라미터	어종 추정방법	고등어 (m)	전갱이 (j)
		추정치 또는 산정값	추정치 또는 산정값
q		0.00000274	0.0000529
K(톤)		16,067,267	815,978
r		0.081489	0.044676
c(원/양망)		10,340,000	990,000
p(원/kg)		1,515	1,196
$\delta(\%)$		6.64	6.64

주: q, K, r은 각주 7)의 q, K, r 추정식을 전통적 통계기법인 최소자승법을 활용해 추정함¹⁰⁾

대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 최적자원량과 최적어획노력량, 그리고 최적어획량 수준을 도출하기 위해 <표-8>의 분석자료들을 식 (11)과 (12)에 대입하여 도출하면 <표-9>와 같다.

대형선망이 어획하는 고등어와 전갱이를 합친 최적자원량은 2,532,659톤이며, 최적어획노력량은 25,925양망횟수로 추정되었다. 또한 두 어종에 대한 최적어획량은 173,674톤으로 나타났다. 한편 대형선망에 의해 어획된 개별어종, 즉 고등어와 전갱이의 최적자원량은 각각 2,516,906톤, 15,753톤으로 나타났다. 그리고 동일어업으로부터 어획된 고등어와 전갱이의 최적어획노력량은 각각 25,082양망횟수, 843양망횟수로 나타났다. 끝으로 고등어, 전갱이의 최적어획량은 상기 도출된 최적어획노력량(E^*)과 최적자원량(X^*)을 어획생산함수식

10) 대형선망어업에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 q, K, r 추정 계수는 다음과 같다. 우선, 대형선망 고등어의 상수항(C), 단위노력당 어획량(CPUE), 어획노력량(E)의 계수(coefficient)는 각각 -0.0815, 0.0019, -0.000002이었고, 다음으로 전갱이의 상기 계수는 각각 -0.0447, 0.0010, -0.000052이었다.

($H^* = qE^*X^*$)에 대입하여 도출해 본 결과, 각각 172,972톤, 702톤인 것으로 추정되었다.

<표-9> 어종별 최적 자원량 · 어획노력량 · 어획량 추정

최적 수준 \ 어 종	대형선망 ¹¹⁾ (고등어+전갱이)	고등어	전갱이
최적자원량 (X^*) (톤)	2,532,659	2,516,906	15,753
최적어획노력량 (E^*) (양망횟수)	25,925	25,082	843
최적어획량 (H^*) (톤)	173,674	172,972	702

추정 결과, 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 최적어획량은 최근 3년(2008~2010년)간 대형선망어업이 어획한 두 어종의 평균 어획량인 131,660톤보다 약 4만여 톤이 많은 것으로 나타났다. 이는 고등어의 최적어획량이 크게 증가한 데 기인한 것으로 대형선망업계의 입장에서 볼 때, 각 시기별로 순이익을 최대화하기 위해 자원의 안정된 상태 하에서 경제적 효율성을 높일 수 있는 고등어를 전갱이보다 더 어획하려는 경향 때문인 것으로 보인다. 이에 따라 대형선망에 의해 어획된 최적어획노력량 또한 최근의 대형선망어업의 어획노력량보다는 높은 수준인 것으로 추정되었다.

한편, 대형선망에 의해 어획된 전갱이의 최적어획량은 최근 어획량에 비해 크게 낮은 수준인 것으로 나타났다. 이는 대형선망어업에 있어 전갱이의 어획은 상대적으로 타 어종에 비해 경제성이 떨어지는 어획활동이기 때문이다. 다시 말해, 대형선망에 의해 어획된 전갱이의 생물적, 기술적 계수 값은 현 수준의 어획량을 고려할 때 낮은 수준은 아니나 타 어종에 비해 경제적으로 효율성이 떨어지다 보니 그에 대한 최적어획량 또한 감소한 것으로 추정된다.

11) 대형선망어업(고등어+전갱이)의 최적자원량, 최적어획노력량, 최적어획량은 식 (5)의 목적함수로부터 도출된 결과이다. 여기서 추정된 최적해들은 단일어업·단일어종의 추정방식을 확장한 모형으로 두 모형의 최적해를 구하기 앞서, 대형선망어업에 의해 어획된 두 어종의 개별 어획노력량, 단위노력당 어획량, 위판가격, 양망당 어업비용, q , K , r , 자원량 등을 모두 분리한 후 각각의 최적해를 추정한 점에서 기존의 선행연구와 차별된다. 그러나 여전히 대형선망어업에 의해 어획된 두 어종의 상호작용에 대한 최적해의 조합을 찾지는 못했다는 점에서 향후 추가연구가 더 필요하다.

이상으로 대형선망에 의해 어획되는 고등어의 현재 어획량은 대형선망이 이들 어종을 어획함에 있어 각 시기별로 얻어지는 경제지대의 순현재가치의 합을 극대화시키는 방향으로 어업행위를 조장할 필요가 있음을 알 수 있었다. 그리고 어획노력량 또한 보다 경제성이 높은 어종을 목표 어종으로 삼고 어획을 시도하는 기술적 개선도 요구됨을 알 수 있었다.

그러나 이러한 결과는 <표-7>에서 계측(gestimate)하여 도출된 사회적 할인율(δ)의 변화에 따라 이들 어종의 최적해도 바뀔 수 있으므로 이러한 변화를 재분석해 보았다. 분석 결과, 두 어종의 최적어획량과 최적어획노력량이 사회적 할인율이 상승함에 따라 더 증가함을 알 수 있었다. 이것은 일반적으로 현 시점의 사회적 할인율이 높을수록 개별 경영체는 자신이 이용하는 어족 자원을 미래보다 현재에 더 사용하고자 한다는 이론을 그대로 반영하였다.

<표-10> 사회적 할인율(δ) 변화에 따른 어종별 최적량 변화

단위: %, 톤, 양망횟수

δ	고등어			전갱이		
	X_m^*	E_m^*	H_m^*	X_j^*	E_j^*	H_j^*
1	2,669,896	24,799	181,414	16,363	828	716
3	2,548,908	25,022	174,757	15,879	828	696
6.64	2,516,906	25,082	172,972	15,753	843	702
9	2,510,055	25,094	172,588	15,724	828	689
12	2,505,251	25,103	172,319	15,705	828	688

다음으로 생물적, 기술적, 경제적 파라미터의 변화가 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 최적해에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다.

우선, 대형선망이 어획하는 고등어와 전갱이의 본원적 성장률(r)을 $\pm 33\%$ 범위의 수준에서 단계별로 변동시켜 볼 때, 이들 두 어종의 추정된 최적해는 <표-11>과 같다. 분석 결과, 두 어종의 본원적 성장률이 증가할수록 최적자원량과 최적어획량뿐만 아니라 최적어획노력량 또한 늘어남을 알 수 있었다.

<표-11> 본원적 성장률(r) 변화에 따른 어종별 최적량 변화

단위 : 톤, 양망횟수

고등어				전갱이			
r	X_m^*	E_m^*	H_m^*	r	X_j^*	E_j^*	H_j^*
0.04	2,503,626	12,324	84,540	0.01	15,671	185	153
0.06	2,510,017	18,477	127,074	0.03	15,717	556	462
0.081489	2,516,906	25,082	172,972	0.044676	15,753	843	702
0.10	2,522,859	30,766	212,672	0.07	15,811	1,298	1,085
0.12	2,529,311	36,901	255,738	0.09	15,858	1,668	1,400

둘째, 대형선망어업이 어획하는 고등어와 전갱이의 위판가격을 $\pm 10\%$ 범위의 수준에서 단계별로 변동시켜 볼 때, 이들 두 어종의 최적해는 <표-12>와 같다. 분석 결과, 고등어, 전갱이의 위판가격(p)이 상승할수록 최적자원량과 최적어획량은 감소한 반면 최적어획노력량은 역으로 증가함을 알 수 있었다. 한편 고등어는 위판가격이 상승함에 따라 최적자원량과 최적어획량이 1,415원대에서 증가하다 다시 감소함을 알 수 있었다. 이는 고등어와 전갱이의 최적 어획량 수준이 최적 자원량의 정점을 찍는 $K/2$ 수준을 넘어서면서 이들 자원의 감소와 함께 최적어획량도 함께 감소하였기 때문이다.

<표-12> 위판가격(p) 변화에 따른 어종별 최적량 변화

단위 : 원/kg, 톤, 양망횟수

고등어				전갱이			
p	X_m^*	E_m^*	H_m^*	p	X_j^*	E_j^*	H_j^*
1,315	2,694,407	24,753	182,745	996	18,914	825	825
1,415	2,898,844	24,375	193,605	1,096	17,189	827	752
1,515	2,516,906	25,082	172,972	1,196	15,753	843	702
1,615	2,361,346	25,370	164,144	1,296	14,536	829	638
1,715	2,223,896	25,624	156,140	1,396	13,495	831	593

끝으로, 대형선망어업이 어획하는 고등어와 전갱이의 양망당 어업비용(c)을 $\pm 10\%$ 범위의 수준에서 단계별로 변동시켜 볼 때, 이들 두

어종의 최적해는 <표-13>과 같다. 분석 결과, 두 어종의 양망당 어업 비용(c)이 상승할수록 최적자원량과 최적어획량은 증가한 반면 최적어획노력량은 감소함을 알 수 있었다. 결과적으로 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 위판가격과 양망당 어획비용이 변화할 때, 이들의 최적자원량과 최적어획량, 그리고 최적어획노력량은 각각 서로 반대 방향으로 움직임을 알 수 있었다.

<표-13> 양망당 어업비용(c) 변화에 따른 어종별 최적량 변화

단위: 천 원, 톤, 양망횟수

고등어				전갱이			
c	X_m^*	E_m^*	H_m^*	c	X_j^*	E_j^*	H_j^*
8,340	2,030,845	25,981	144,574	790	12,570	832	553
9,340	2,273,922	25,531	159,075	890	14,161	830	622
10,340	2,516,906	25,082	172,972	990	15,753	843	702
11,340	2,759,799	24,632	186,264	1,090	17,342	827	758
12,340	3,002,600	24,183	198,954	1,190	18,933	825	826

IV. 요약 및 결론

본 연구는 현재가치 해밀토니안기법을 이용하여 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 동태적 최적자원량과 최적어획노력량, 그리고 최적어획량을 추정한 후, 사회적 할인율의 변동에 따라 이들 최적량이 어떻게 대형선망어업에 영향을 주는지를 살펴보았다.

분석 결과, 대형선망에 의해 어획된 고등어의 최적자원량, 최적어획노력량, 최적어획량은 현재의 어획량 및 어획노력량 수준 보다는 높은 것으로 나타났으나 전갱이의 최적자원량, 최적어획노력량, 최적어획량은 다소 낮은 것으로 분석되었다. 이는 대형선망어업이 고등어와 전갱이를 어획함에 있어, 각 시기별로 얻어지는 경제지대의 순현재가치의 합이 극대화되는 어종을 목표로 어획노력량을 투입할 필요가 있음을 의미한다.

따라서 대형선망업계는 자원의 안정된 상태($\dot{X}=0$: 예, MSY 또는 TAC) 하에서 지속가능하면서도 효율적인 어업활동을 수행하기 위해, 목표 어종에 우선순위를 두고 선별적으로 어획할 수 있는 어획기술을 확보하여 경제성이 높은 어종부터 순차적으로 최소 어획비용을 들어가며 어획할 수 있는 사업 전략을 세워나갈 필요가 있다.

결론적으로 단일어업·단일어종의 확장된 모형을 통해 추정된 대형선망어업의 고등어와 전갱이의 최적해 추정의 함의는 단일어업·단일어종의 가정 하에 각 시기별로 순이윤의 현재 가치를 극대화시킴에 있어 간과되어왔던 특정어업의 어업행위로부터 발생 가능한 기술적·경제적 상호작용을 본 연구의 확장된 모형에서 반영하여 분석해 보았다는 점이다. 그러나 기술적·생물적 상호작용에 기인하여 대형선망어업이 희망하는 어종별 최적어획량을 달성하기에는 현실적으로 많은 어려움이 있음도 알 수 있었다.

끝으로 본 연구의 한계로서 우선 대형선망에 의해 어획되는 고등어와 전갱이의 어획비용함수($cE(t)$)를 모형의 분석 용이성과 명료성을 위해 $c_m E_m(t)$ 과 $c_j E_j(t)$ 으로 나누어 분석하였다는 점이다. 그러나 현실에서는 대형선망에 의해 어획되는 이들 어종의 어획비용을 어종별로 따로 분리하여 고려하지는 않고 있다. 다음으로 본 연구는 어획노력량 변수인 대형선망어업의 양망횟수에 대한 자료 수집의 어려움에 기인하여 2009~2010년 어획노력량 자료는 대형선망수산업협동조합에 의뢰하여 산정한 자료를 활용하여 생물적·기술적 계수를 추정하였다는 점에서 다소 한계가 있다. 그 외에도 어획노력량과 단위노력당 어획량 간의 연별 불규칙 변화에 기인하여 q , K , r 추정식으로부터 도출된 생물적·기술적 계수값의 통계적 유의성이 낮게 나타난 점 등을 들 수 있다.

투고일(2011년 10월 6일)

심사일(1차: 2011년 11월 25일, 2차: 2011년 12월 16일)

게재확정일(2011년 12월 22일)

참고문헌

1. 국립수산물과학원, 「한국 연근해 2007년도 TAC 대상어종에 대한 어획동향 분석 및 자원상태 평가」, 2006, pp. 7~37.
2. 박장일, “현대자본이론과 최적어업관리”, 「수산경영론집」 제23권 2호, 1992, pp. 53~66.
3. 유동운 · 강세훈, 「자원경제학」, 법문사, 1989, pp. 187~197.
4. 조정희 · 홍성걸, “고등어 최적어획량 추정에 관한 연구 - 생물경제모델을 이용하여”, 「농업경제연구」, 제43권 2호, 2002, pp. 35~55.
5. 조정희 · 이정삼 · 남종오, 「생물경제모형을 이용한 수산물 최적생산량 추정 및 활용에 관한 연구」, 한국해양수산개발원, 2009, pp. 1~153.
6. 최종열 · 김도훈, “자율갱신적 어업자원의 최적 생산 결정 : 고등어 대형선망어업을 사례로”, 「한국생산관리학회지」, 제20권 1호, 2009, pp. 109~126.
7. 통계청, 어업생산동향조사 및 어업경영조사, 각 연도, <http://kosis.kr/>
8. 한국해양수산개발원, 「대형선망어업 전진기지 조성을 위한 타당성 분석 연구」, 2008, pp. 1~131.
9. Clark, C. W. and G. R. Munro, “The Economics of Fishing and Modern Capital Theory: A Simplified Approach”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 1975, 2:92-106.
10. Clark, C. W., F. H. Clarke and G. R. Munro, “The Optimal Exploitation of Renewable Resource Stocks: Problems of Irreversible Investment”, *Econometrica*, 1979, 47:25-47.
11. Clark, C. W., *Mathematical Bioeconomics*, John Wiley & Sons, 1990, pp. 1~386.
12. Conrad, J. M., *Resource Economics*, Cambridge, 1999. pp. 44~49.
13. Fleming, C. M. and R. R. Alexander, “Single-species versus Multiple-species Models: the Economic Implications”, *Ecological Modelling*, 2003, 170:203-211.
14. Hanley, N., J. F. Shogren, and B. White, *Environmental Economics, In Theory and Practice*, New York Oxford University Press, 1997, pp. 308~311.

15. Jung-Hee Cho, *Optimal Exploitation of Atlantic Herring Stocks in U.S.A.: Bioeconomic Model for Atlantic Herring*, Ph.D. Dissertation, Environmental and Natural Resource Economics, University of Rhode Island, 2001, pp. 45~56.
16. Ragozin, D. and G. Brown, "Harvest Policies and Nonmarket Valuation in a Predator-prey System", *Journal of Environmental Economics Management*, 1985, 12:155-168.
17. Skonhott, A., "On the Optimal Exploitation of Terrestrial Animal Species", *Environmental Resource Economics*, 1999, 13(1):45-57.