

가입당 생산액 분석에 의한 한국 해역 참조기 *Larimichthys polyactis* 자원의 관리

장창익 · 이은지* · 강희중
부경대학교 해양생산시스템관리학부

Management of small yellow croaker stock in Korean waters based on production value-per-recruit analysis

Chang-Ik ZHANG, Eun-Ji LEE* and Hee-Joong KANG

Department of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

This study was performed to estimate optimum fishing mortality (F) and the age at first capture (t_c) for small yellow croaker in Korean waters. We first estimated optimum F and t_c using traditional yield-per-recruit (YPR) analysis, and the results were 0.8/year and 2.5 years old, respectively. However, the individual fish price per unit weight of small yellow croaker in Korea increases dramatically by size. Thus, we developed an alternative method, which is called as production value-per-recruit (PPR) analysis. We developed two types of the PPR analysis, that is, the discrete function and the continuous function method. We estimated optimum F and t_c using the two types of the PPR analysis and compared the results. The optimum F and t_c from the discrete function method, were 0.3/year and 5.0 years old, respectively, while those from the continuous function method were 0.5/year and 3.5 years old, respectively. These PPR estimates were much more conservative for the stock management than the traditional YPR analysis, which can prevent the fish stock from the economic overfishing. As a result, the PPR analysis could be more proper approach for stock assessment in the case that the individual fish price per unit weight increases dramatically by size like small yellow croaker in Korea.

Keywords: Small yellow croaker, Stock assessment, Yield-per-recruit (YPR), Production value-per-recruit (PPR)

서 론

참조기 (small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*)는 농어목 민어과에 속하는 종으로서 우리나라 서남해, 발해만, 동중국해에 널리 분포하며 강소계군, 한국계군, 절강계군, 발해계군의 4가지로 알려져 있다 (Ikeda,

1964; NFRDI, 1979). 북서태평양의 넓은 해역에 분포하는 참조기는 한국을 비롯하여 일본, 중국 및 대만에 서 공동으로 이용하는 자원이며, 특히 우리나라 연근해 어업에 있어서 아주 중요한 어종으로, 어업관리 시에는 자원변동뿐만 아니라 사회-경제적 측면까지 고려하여

*Corresponding author: otolith@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5892 Fax: 82-51-629-5886

적절한 관리규제를 실시하여야 한다.

지금까지 참조기에 관한 연구로는 연령과 성장 및 자원량 추정에 관하여 Hwang and Choi (1980); Lee et al. (2000); Kim et al. (2006)의 연구가 있었으며, 참조기 유자망의 망목 선택성 등에 관한 Kim et al. (2009)의 연구, 또한 자원관리에 관해서는 Zhang et al. (1992)의 연구가 선행되었다.

자원관리를 위한 기존의 대표적인 자원평가 방법으로는 잉여생산량 모델 (surplus production model), 가입당 생산량 모델 (yield-per-recruit model), 재생산 모델 (regeneration model)의 3가지가 있는데, 그 중 가입당 생산량 모델은 가입에 따른 생산량의 변화를 추정하여 적정순간어획사망계수 (F)와 적정어획개시연령 (t_c)을 구하는 방법으로써 자원평가에 자주 사용되고 있다 (Beverton and Holt, 1957). 또한 이 모델은 성장남획의 억제제를 통해 가입 자원으로부터 얻을 수 있는 어업수익의 최대화를 관리 목표로 하여, 성장남획의 지표로서 널리 사용되고 있다 (Ye, 1998; Kvamme and Bogstad, 2007). 하지만 우리나라 연근해 참조기의 경우 영리를 목적으로 하는 종이며 같은 양의 어획량, 어업 생산량이라 할지라도 어체 크기에 따라 무게당 어가의 차이가 크다는 특징이 있다. 따라서 자원관리 시에는 생산량뿐만 아니라 생산액을 고려한 자원관리가 필요하다.

본 연구의 목적은 첫째, 현재의 한국 연근해 참조기의 생산량 변화를 알아보기 위하여 가입당 생산량 모델을 사용하여 적정순간어획사망계수 (F)와 적정어획개시연령 (t_c)을 추정하는 것이다. 둘째, 가입당 생산량을 구하는 방법을 변형시켜 이산함수와 연속함수의 가입당 생산액 (production value-per-recruit)을 구하는 방법을 개발하는 것이다. 이산함수의 방법은 1세 단위의 각 연령별 어가를 이용한 이산식의 방법이며 연속함수는 체중에 따른 어가의 직선 관계식을 이용하여 가입당 생산액을 추정하는 방법이다. 셋째, 이 두 가지 방법을 사용하여 가입당 생산액의 변동에 따른 적정어획개시연령 (t_c)과 적정순간어획사망계수 (F)를 구하여 이를 가입당 생산량 모델에 의한 값과 비교 분석하는 것이며, 넷째, 가입당 생산액의 두 가지 방법의 비교를 위해 자원생태학적 특성치인 성장계수 (K), 순간자연사망계수 (M), 어장가입연령 (t_r)에 대한 민감도 분석을 실시하여 각 방법의 장단점을 비교하는 것이다.

재료 및 방법

1. 자원생태학적 특성치

1-1. 성장계수

성장계수는 Lee et al. (2000)에 의해 보고된 추정치를 인용하였다. Von Bertalanffy의 성장식에 의해 구해진 이론적최대체장 (L_∞)은 37.11cm, 성장계수 (K)는 0.20/year, 체장이 0일 때의 이론적연령 (t_0)은 -1.88세, 이론적최대체중 (W_∞)은 545.2 g이며, 이론적최대연령 (t_L)은 Lee et al. (2000)에서 실제 연령사정된 최대연령인 8세를 인용하였다.

1-2. 사망계수

순간전사망계수 (Z)는 Lee et al. (2013)에서 보고된 1.61/year의 추정치를 인용하였으며, 순간자연사망계수 (M)는 Lee et al. (2000)에 의해 추정된 자원생태학적 특성치를 사용하여 Zhang and Megrey (2006) 방법을 통해 식 (1)과 같이 추정하였다.

$$M = \frac{\beta K}{e^{K(t_{mb} - t_0)} - 1} \quad (1)$$

여기서 β 는 체장-체중관계식의 계수, t_{mb} 는 $C_i \times t_L$ 이며 표영성 어종의 경우 $C_i=0.302$, 저서성의 경우 $C_i=0.440$ 이다. 이 상수는 최대연령과 자원량이 최대인 연령 (t_{mb})의 상대비 (t_{mb}/t_L)를 나타내며, 31종의 표영성과 60종의 저서성 등 총 91종의 생활사 특성치를 사용하여 구해진 값이다. 한국 연근해 참조기의 경우 저서성 어종이므로 $C_i=0.440$ 의 값을 사용하였다.

순간어획사망계수 (F)는 순간전사망계수 (Z)에서 순간자연사망계수 (M)를 제함으로써 구하였다.

1-3. 어획개시연령 및 어장가입연령

어획개시연령 (t_c)은 Lee et al. (2013)에서 유자망어업의 어획자료를 사용하여 Pauly 방법으로 구해진 1.3세를 사용하였으며 어장가입연령 (t_r)에 관해서는 정보를 얻을 수 없어 Lee et al. (2013)에서 참조기의 자원생물학적 특성치 추정에 사용된 2010년부터 2012년까지 연근해 유자망어업의 참조기 체장조성자료 중 최소체장인 12 cm에 대하여 아래 식 (2)의 von Bertalanffy 성장식으로 역추정하였다.

$$l_t = L_\infty [1 - \exp\{-K(t-t_0)\}] \quad (2)$$

여기서 t 는 연령, l_t 는 연령 t 에서의 체장, L_∞ 는 이론적최대체장, K 는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적연령을 나타낸다.

2. 적정순간어획사망계수 및 적정어획개시연령 추정

2-1. 가입당 생산량 (yield-per-recruit) 모델에 의한 추정

참조기의 적정순간어획사망계수 (F)와 적정어획개시연령 (t_c)을 구하기 위해서 Beverton and Holt (1957)의 가입당 생산량 모델을 식 (3)과 같이 사용하였다.

$$\frac{Y}{R} = F \cdot \exp\{-M(t_c - t_r)\} \cdot W_\infty \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \cdot \exp\{-nK(t_c - t_0)\}}{F + M + nK} [1 - \exp\{-(F + M + nK)(t_L - t_c)\}] \quad (3)$$

여기서 $U_0=1$, $U_1=-3$, $U_2=3$, $U_3=-1$ 이며 M 은 순간자연사망계수, t_r 은 어장가입연령, t_L 은 이론적최대연령, W_∞ 는 이론적최대체중, K 는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적연령을 나타낸다.

2-2. 가입당 생산액 (production value-per-recruit) 방법에 의한 추정

순간어획사망계수 (F)와 어획개시연령 (t_c)에 따른 생산액의 변동을 구하기 위해 가입당 생산량 (yield-per-recruit) 모델의 식을 변형하여 가입당 생산액 (production value-per-recruit)을 이산함수와 연속함수의 방법으로 추정하였다.

2-2-1. 어가 자료

가입당 생산액 추정방법에 사용되는 연령별 g당 어가와 체중-마리당 어가의 관계식을 구하기 위해 2014년 10월 목표수협외의 전화인터뷰 (pers. comm. 판매과)를 통해 2013년 연근해 유자망에 의해 어획되는 참조기의 크기별 평균체장, 총무게, 총단가를 파악하였다 (Table 1). 연근해 유자망에서 어획된 참조기는 위판장에서 ‘(A) 소형어, (B) 135미, (C) 100미, (D) 75미’의 4가지로 구분된다. 연령별 어가를 구하기 위하여 먼저 크기별 체장을 식 (2)의 von Bertalanffy 성장식을 통해 연령으로 역환산하였다. 그리고 총단가에서 총무게를

나누어 크기별 g당 어가를 구하였으며, 각 크기별 연령을 직선회귀시켜 각 연령과 g당 어가의 관계식을 구하였다. 또한 체중-마리당 어가의 관계식을 구하기 위하여 Lee et al. (2000)에 의해 보고된 체장-체중 관계식인 $W=0.0049L^{3.2153}$ 을 통해 크기별 체중을 구하였으며 이 체중에 따른 g당 어가를 곱하여 마리당 어가를 계산하였다.

Table 1. Age, total weight and individual fish price by size group of small yellow croaker in 2013

Size group	Mean TL (cm)	Age (year)	Total Amount (kg)	Total Price (10 ⁴ won)	TW (g)	Price per individual fish (won)	Price per g (won)
A	15	0.7	75,000	2,170	29.6	86	2.9
B	17 (16~18)	1.2	6,500,000	2,812,000	44.3	191	4.3
C	19.5 (19~20)	1.8	1,630,000	1,788,000	68.9	758	11.0
D	23	3.0	239,000	556,000	117.1	2,728	23.3

TL : Total Length, TW : Total Weight

2-2-2. 이산함수에 의한 추정

이산함수의 방법은 가입당 생산액에 크기별 실제 판매된 어가로부터 환산된 각 연령별 g당 어가를 곱하여 가입당 생산액을 구하는 방법이다. 이 방법의 기본식은 가입당 생산량 모델의 식 (3)에 각 연령별 g당 어가의 가중평균값을 곱함으로써 나타내었다. 어가의 가중평균값은 어구가입 이후 각 연령별 가입당 생산량을 나타내는 Beverton and Holt (1957)의 식 (4)를 사용하였다.

$$\frac{Y_t}{R} = F \cdot \exp\{-(M + F)(t - t_c)\} \cdot W_\infty [1 - \exp\{-K(t - t_0)\}]^3 \quad (4)$$

식 (4)에 Table 2의 각 연령별 g당 어가인 $P(t)$ 를 사용하여 어가의 가중평균값을 식 (5)와 같이 나타내었다.

$$\frac{\sum_{t=t_c}^{t_L} F \cdot \exp\{-(M + F)(t - t_c)\} \cdot W_\infty [1 - \exp\{-K(t - t_0)\}]^3 \cdot P(t)}{\sum_{t=t_c}^{t_L} F \cdot \exp\{-(M + F)(t - t_c)\} \cdot W_\infty [1 - \exp\{-K(t - t_0)\}]^3} \quad (5)$$

따라서 가입당 생산액을 구하는 이산함수의 식은 가입당 생산량 모델의 식 (3)에 어가의 가중평균값을 나타내는 식 (5)를 곱하여 아래의 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{P_v}{R} &= F \cdot \exp\{-M(t_c - t_r)\} \\ &\cdot W_\infty \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \cdot \exp\{-nK(t_c - t_0)\}}{F + M + nK} [1 - \exp\{-(F + M + nK)(t_L - t_c)\}] \\ &\cdot \frac{\sum_{t=t_c}^{t_L} F \cdot \exp\{-(M + F)(t - t_c)\} \cdot W_\infty [1 - \exp\{-K(t - t_0)\}]^3 \cdot P(t)}{\sum_{t=t_c}^{t_L} F \cdot \exp\{-(M + F)(t - t_c)\} \cdot W_\infty [1 - \exp\{-K(t - t_0)\}]^3} \end{aligned} \quad (6)$$

2-2-3. 연속함수에 의한 추정

연속함수의 방법에서는 이산함수의 방법과 달리 어가는 체중의 증가에 따라 직선적으로 증가한다는 가정을 바탕으로 하였다. 실제 어획되는 참조기 체장으로부터 환산된 체중과 어가의 직선관계식을 구한 다음 이를 가입당 생산량 모델의 기본식에 적용하여 가입당 생산액을 추정하였다. 아래의 식 (7)은 가입당 생산량 모델의 기본식 (Beverton and Holt, 1957)이다.

$$Y = F \cdot R \cdot \exp\{-M(t_c - t_r)\} \int_{t_c}^{t_L} \exp\{-(F + M)(t - t_c)\} \cdot W(t) \quad (7)$$

연령별 체중 ($W(t)$)과 마리당 어가 ($P(t)$)의 관계는 아래의 식 (8)과 같이 선형식으로 나타내었다.

$$P(t) = a + bW(t) \quad (8)$$

여기서, a , b 는 체중-마리당 어가의 선형 관계식에 대한 절편과 기울기를 나타내며, $W(t)$ 는 연령(t)별 체중으로 $W(t) = W_\infty [1 - \exp\{-K(t - t_0)\}]^3$ 이다. 연령별 생산액은 연령별 생산량을 나타내는 식 (7)에서 체중을 나타내는 함수 $W(t)$ 를 어가 함수 $P(t)$ 로 치환하여 구하였으며 그 식은 아래의 식 (9)와 같다.

$$P_v = F \cdot R \cdot \exp\{-M(t_c - t_r)\} \int_{t_c}^{t_L} \exp\{-(F + M)(t - t_c)\} \cdot (a + bW(t)) dt \quad (9)$$

따라서 식 (9)를 적분하여 정리하면 식 (10)과 같이 연속함수의 가입당 생산액을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{P_v}{R} &= F \cdot \exp\{-M(t_c - t_r)\} \cdot bW_\infty \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \cdot \exp\{-nK(t_c - t_0)\}}{F + M + nK} \\ &[1 - \exp\{-(F + M + nK)(t_L - t_c)\}] + \frac{a}{F + M} [1 - \exp\{-(F + M)(t_L - t_c)\}] \end{aligned} \quad (10)$$

2-2-4. 이산함수와 연속함수의 비교

가입당 생산액을 구하는 이산함수와 연속함수 방법의 비교를 위해 각 방법의 매개변수 (M , K , t_r)에 대한 민감도 분석 (sensitivity analysis)을 실시하여 현재의 순간자연사망계수와 성장계수, 어장가입연령의 변화 (0%, ±10%, ±20%)에 따른 가입당 생산액의 변동을 추정하고 두 방법을 비교하였다.

결 과

1. 자원생태학적 특성치 추정

1-1. 사망계수

순간자연사망계수 (Z)는 Lee et al. (2013)에서 추정된 1.61/year의 값을 사용하였으며, Lee et al. (2000)에 의해 추정된 자원생태학적 특성치를 이용하여 Zhang and Megrey (2006) 방법을 통해 추정한 순간자연사망계수 (M)는 0.33/year였다. 순간자연사망계수 (Z)에서 순간자연사망계수 (M)를 제함으로써 구한 순간어획사망계수 (F)는 1.30/year로 추정되었다.

1-2. 어장가입연령

Lee et al. (2013)에서 참조기의 자원생물학적 특성치 추정에 사용된 2010년부터 2012년까지 연근해 유자망 어업의 참조기 체장조성자료 중 최소체장인 12cm에 대하여 식 (2)의 von Bertalanffy 성장식으로 역추정한 연령은 0.073세였다.

2. 적정순간어획사망계수 및 적정어획연령 추정

2-1. YPR (yield-per-recruit) 모델에 의한 추정

가입당 생산량 (yield-per-recruit) 모델을 사용하여 가입당 생산량 변동을 추정하였으며 그에 따른 등생산량 곡선은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 A-A'는 순간어획사망계수 (F) 값에 따른 최대 가입당 생산량을 산출하는 점들을 연결한 선 (eumetric fishing line)이며, B-B'는 어획개시연령 (t_c)에 따른 최대 가입당 생산량을 산출하는 점들을 연결한 선 (cacometric fishing line)이다 (Quinn and Deriso, 1999). 점 P는 현재 수준 ($t_c=1.3$ 세, $F=1.3$ /year)을 나타내며 현재 수준에서 가입당 생산량은 44.01 g으로 계산되었다. 가입당 생산량의 증가를 위해서는 순간어획사망계수 (F)를 그대로 유지했을 경우, 현재의 어획개시연령 (t_c)을 1.3세에서 2.5세로 높임으로써 가입

당 생산량을 44.01 g에서 49.05 g으로 약 11% 증가시킬 수 있다. 또한 어획개시연령 (t_c)을 유지했을 경우, 순간어획사망계수 (F)를 현재의 1.3/year에서 0.8/year까지 낮춤으로써 가입당 생산량을 44.78 g으로 증가시킬 수 있지만 그 증가 폭은 약 2%로써 어획개시연령 (t_c)을 조절하는 경우보다 증가 폭이 작았다.

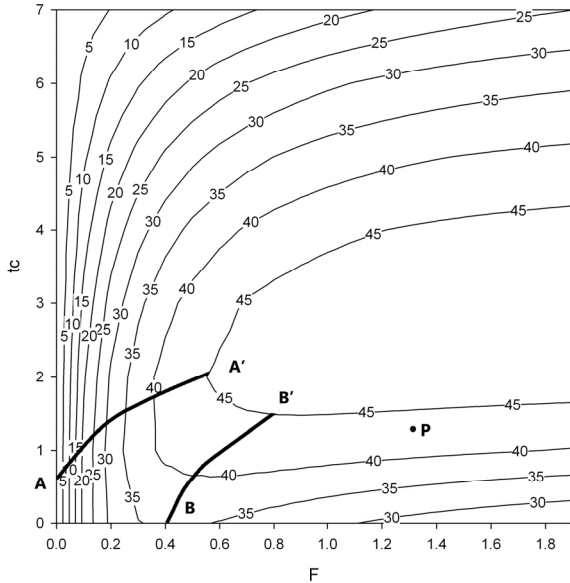


Fig. 1. Yield isopleths by fishing mortality (F) and the age at first capture (t_c) for small yellow croaker in 2013. P represents the current state of F and t_c . A-A' shows eumetric fishing line and B-B' shows cacometric fishing line (unit:g).

2-2. PPR (production value-per-recruit) 방법에 의한 추정

2-2-1. 연령별 어가 및 체중별 어가의 추정

목포수협에서 수집한 크기별 평균체장을 사용하여 식 (2)의 von Bertalanffy 성장식을 통해 환산한 연령과 Lee et al. (2000)의 체장-체중 관계식인 $W=0.0049L^{3.2153}$ 을 사용하여 구한 크기별 체중은 Table 1과 같다. 또한 연령과 g당 어가의 관계식은 크기별 총단가와 총무계로 구해진 Table (1)의 크기별 g당 어가를 연령에 관해 직선회귀시켜 Fig. 2와 같이 구하였다. 이산함수의 식 (5)와 식 (6)에서 사용한 각 연령별 g당 어가 ($P(t)$)는 Table 2와 같다. 연속함수의 식 (9)와 (10)에서 사용한 체중에 따른 어가의 관계식 (식 8)은 Table 1의 체중과 마리당 어가자료를 사용하여 Fig. 3과 같이 구하였다.

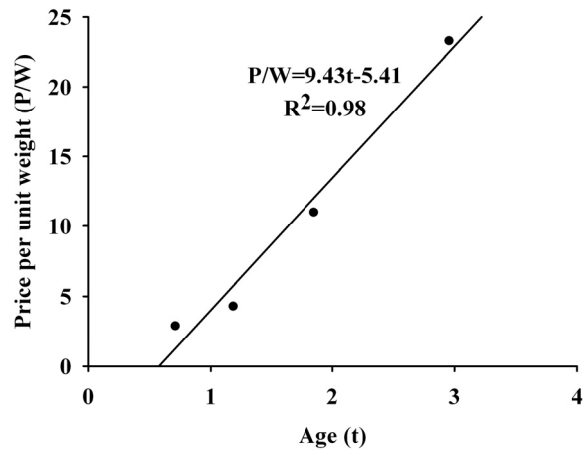


Fig. 2. Fish prices in g by size group and the relationship between age and fish prices in g of small yellow croaker in 2013.

Table 2. Fish price per g by age of small yellow croaker in 2013

Age	Price per g (won)
1	4.0
2	13.4
3	22.9
4	32.3
5	41.7
6	51.2
7	60.6

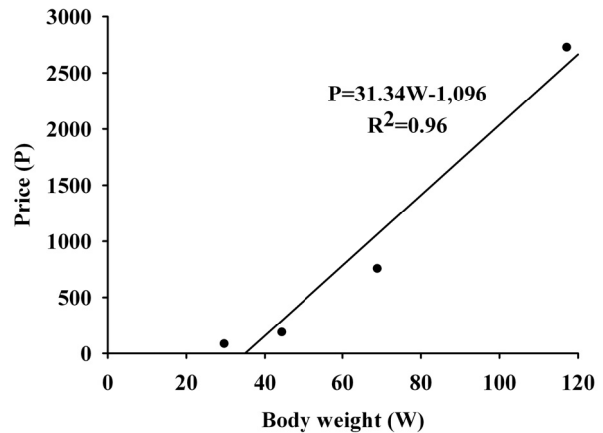


Fig. 3. Relationship between body weight and price per individual fish by size group of small yellow croaker in 2013.

2-2-2. 이산함수에 의한 추정

앞의 식 (6)을 사용하여 이산함수에 의해 구해진 가입당 생산액의 값으로 나타난 등생산액 곡선은 Fig. 4

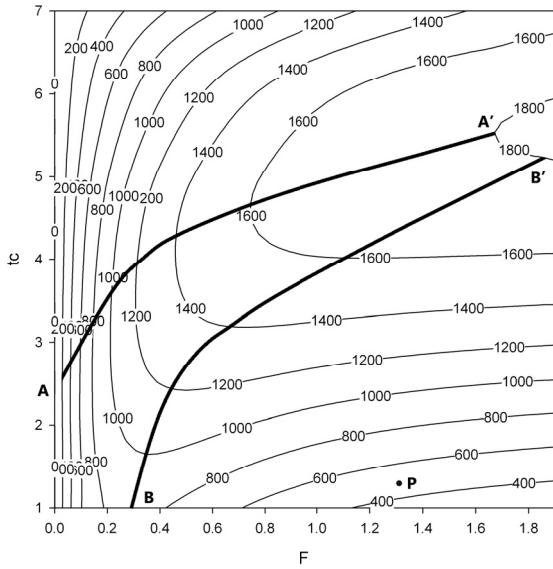


Fig. 4. Production value isopleths of discrete function by fishing mortality (F) and the age at first capture (t_c) for small yellow croaker in 2013. P represents the current state of F and t_c . A-A' shows eumetric fishing line and B-B' shows cacometric fishing line (unit:g).

와 같다. Fig. 4에서 A-A'는 순간어획사망계수 (F) 값에 따른 최대 가입당 생산액을 산출하는 점들을 연결한 선이며, B-B'는 어획개시연령 (t_c)에 따른 최대 가입당 생산액을 산출하는 점들을 연결한 선이다. 점 P는 현재 수준 ($t_c=1.3$ 세, $F=1.3/\text{year}$)을 나타내며 현재 수준에서 가입당 생산액은 483원으로 나타났다. 현 상태에서 가입당 생산액을 증가시키기 위해서는 순간어획사망계수 (F)를 그대로 유지했을 경우, 현재의 어획개시연령 (t_c)을 1.3세에서 5.0세로 높임으로써 483원에서 1,737원으로 가입당 생산액을 약 260% 증가시킬 수 있다. 또한 어획개시연령 (t_c)을 유지했을 경우, 순간어획사망계수 (F)를 현재의 1.3/year에서 0.3/year까지 낮춤으로써 가입당 생산액을 879원으로 증가시킬 수 있지만 증가 폭은 약 82%로써 어획개시연령 (t_c)을 높이는 경우보다 증가 폭이 작았다.

2-2-3. 연수함수에 의한 추정

가입당 생산액을 구하는 연속함수에서 2013년 연근해 참조기의 경우 체중-마리당 가격에 따른 선형식의 기울기와 절편은 31.34와 -1,096으로 나타났다 (Fig. 3). 또한 가입당 생산액을 구하는 식 (10)을 사용하여 구한 생산액의 값으로 그린 등생산액 곡선은 Fig. 5와 같다.

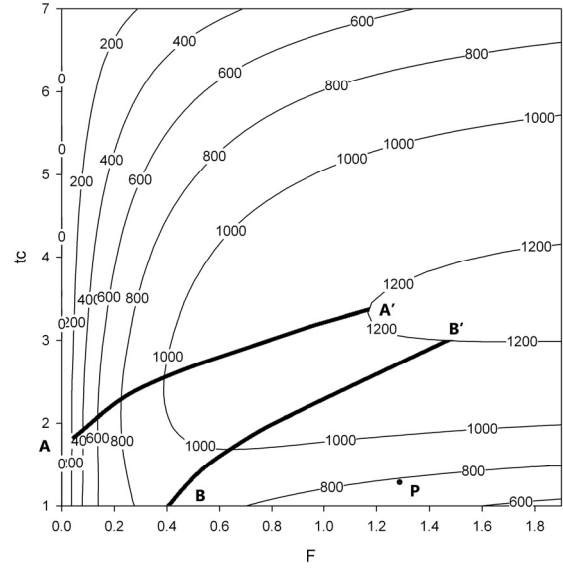


Fig. 5. Production value isopleths of linear continuous function by fishing mortality (F) and the age at first capture (t_c) for small yellow croaker in 2013. P represents the current state of F and t_c . A-A' shows eumetric fishing line and B-B' shows cacometric fishing line (unit:g).

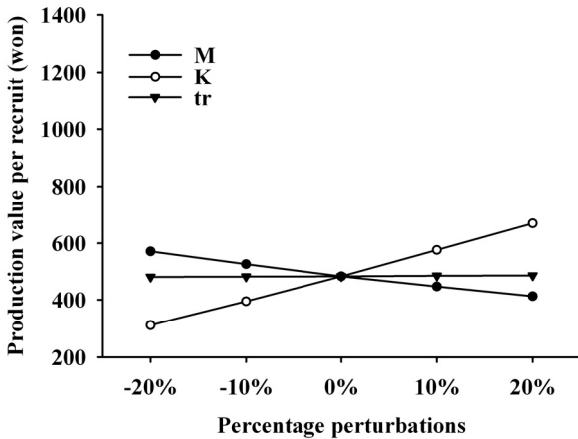
Fig. 5에서 A-A'는 순간어획사망계수 (F) 값에 따른 최대 가입당 생산액을 산출하는 점들을 연결한 선이며, B-B'는 어획개시연령 (t_c)에 따른 최대 가입당 생산액을 산출하는 점들을 연결한 선이다. 점 P는 현재 수준 ($t_c=1.3$ 세, $F=1.3/\text{year}$)을 나타내며 현재 수준에서 가입당 생산액은 797원으로 나타났다. 현 상태에서 가입당 생산액을 증가시키기 위해서는 순간어획사망계수 (F)를 그대로 유지했을 경우, 현재의 어획개시연령 (t_c)을 1.3세에서 3.5세로 높임으로써 797원에서 1,207원으로 가입당 생산액을 약 51% 증가시킬 수 있다. 또한 어획개시연령 (t_c)을 유지했을 경우, 순간어획사망계수 (F)를 현재의 1.3/year에서 0.5/year까지 낮춤으로써 가입당 생산액을 923원으로 증가시킬 수 있지만 증가 폭은 약 16%로써 어획개시연령 (t_c)을 조절하는 경우보다 증가 폭이 작았다.

2-2-4. 이산함수와 연속함수의 비교

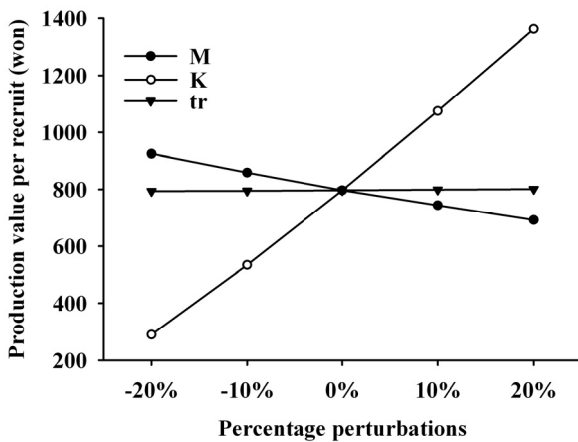
이산함수와 연속함수의 방법에 의해 가입당 생산액을 구한 결과 현재 수준에서 이산함수에 의해 구해진 생산액은 483원, 연속함수에 의해 구해진 생산액은 797원으로 나타났다. 또한 적정순간어획사망계수 (F)는 이산함수의 경우 0.3/year, 연속함수의 경우 0.5/year로 추

정되었고, 적정어획개시연령 (t_c)은 각각 5.0세와 3.5세로 추정되었다.

현재의 순간자연사망계수 ($M=0.33/\text{year}$)와 성장계수 ($K=0.20/\text{year}$), 어장가입연령 ($t_r=0.073\text{세}$)의 변화 (0%, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$)에 따른 가입당 생산액의 변동을 추정하여 민감도를 분석한 결과, 순간자연사망계수 (M)에 대해서는 이산함수의 경우, 생산액의 변화가 413~571원으로 나타났으며, 연속함수의 경우에는 692~925원으로 나타났다. 성장계수 (K)에 대해서는 생산액의 변화가 각각 311~670원, 290~1,363원으로 나타났으며, 어장가입연령 (t_r)에 대해서는 각각 481~486원, 794~801원으로 나타났다 (Fig. 6).

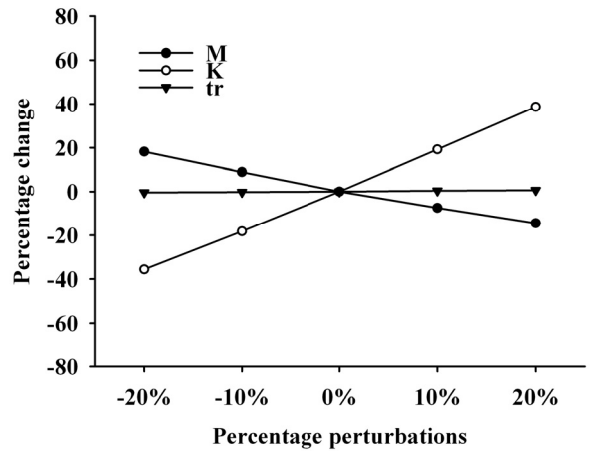


(A)

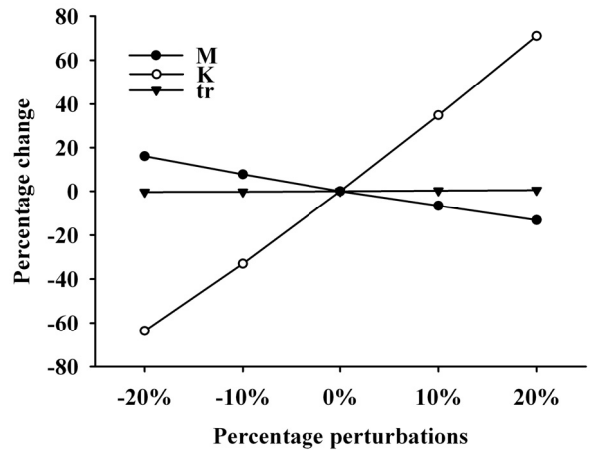


(B)

Fig. 6. Production value per recruit of discrete function (A) and linear continuous function (B) for perturbations in three input parameters.



(A)



(B)

Fig. 7. Percentage change induced in production per recruit values of discrete function (A) and linear continuous function (B) for perturbations in three input parameters.

이산함수와 연속함수 방법의 매개변수 변화에 대한 생산액의 변화를 백분율로 변화로 나타낸 결과 순간자연사망계수 (M)에 대해서는 이산함수의 경우 생산액의 변화가 -15~18%로 나타났으며, 연속함수의 경우에는 -13~16%로 나타났다. 어장가입연령 (t_r)에 대해서는 모두 0~1%로 나타났다. 성장계수 (K)에 의한 가입당 생산액의 백분율 변화가 가장 크게 나타났으며 연속함수의 생산액 백분율의 변화 폭이 -64~71%로 이산함수의 변화 폭인 -36~39%보다 크게 나타났다 (Fig. 7).

고 찰

가입당 생산액 (production value-per-recruit) 방법은 기존의 가입당 생산량 (yield-per-recruit) 모델에서 발전된 어체 크기에 따른 가격변동을 고려하여 가입당 생산액을 추정하는 방법이다. 이러한 생산액 변동에 관한 연구는 Charmaine et al. (2004)의 순간어획사망계수 (F)에 의한 지출과 계절별 순간자연사망계수 (M)의 변화를 고려한 가입당 이익 (revenue-per-recruit)의 연구가 있었지만 본 연구에서는 순간어획사망계수 (F)에 따른 지출과 월별, 계절별 순간자연사망계수 (M)의 변화는 고려하지 않고 가입당 생산액의 변동만을 추정하였다.

첫째, 가입당 생산량 모델에 적용했을 경우, 현재 상태에서의 적정어획개시연령 (t_c)과 적정순간어획사망계수 (F)는 각각 2.5세와 0.8/year로 추정되었다. 현재 상태 (F=1.3/year, t_c =1.3세)에서 가입당 생산량 증가를 위한 어업관리로는 어획강도를 낮추거나 어획개시연령을 높이는 두 가지 방법이 있으나 어획개시연령을 높이는 것이 약 11% 더 많은 가입당 생산량을 얻을 수 있으므로 어구의 망목 크기를 조정하는 것이 적절한 관리방안이 될 것이다.

둘째, 참조기의 생산액 변동을 알아보기 위하여 가입당 생산액을 구하는 이산함수의 방법에 적용했을 경우, 적정어획개시연령 (t_c)과 적정순간어획사망계수 (F)는 각각 5.0세와 0.3/year로 추정되었고, 연속함수 방법에 적용했을 경우에는 각각 3.5세와 0.5/year로 추정되었다. 이는 가입당 생산량 모델에 의한 추정치와 비교하였을 때 적정어획개시연령 (t_c)은 더 높고 적정순간어획사망계수 (F)는 더 낮은 값을 나타낸다. 또한 경제적 이익을 위해서는 순간어획사망계수를 낮추는 것보다 적정어획개시연령 (t_c)을 높이는 것이 더 많은 생산액을 얻을 수 있다. 가입당 생산액 방법에 의한 적정어획개시연령으로 어업관리를 할 경우 현재 상황에서 가입당 생산량 모델에 의한 관리 방안보다 이산함수의 경우 816원, 연속함수의 경우 61원의 이익이 더 발생하게 된다. 적정어획개시연령 (t_c)이 높아진 원인은 연근해 참조기의 경우 같은 양의 생산량이라 할지라도 어체 크기에 따라 가격차이가 크다는 특징 때문으로, 어체 크기가 클수록 즉, 연령이 높을수록 무게당 가격이 높아지기 때문으로 예상된다. 또한 적정순간어획사망계수 (F)의 값이 낮아진 원인은 순간어획사망계수 (F)의 값이

높을 경우 고가의 고연령어가 어획될 확률이 낮아지기 때문에 생산액이 감소하는 반면 그 값이 낮아지면 고가의 고연령어의 어획기회가 높아지기 때문에 생산액이 증가하는 것으로 추정된다. 이 결과에 따르면 한국 근해 참조기의 크기에 따른 가격 변동은 생산량을 증대시키는 어업 규제 방안과 전혀 다른 방식의 관리 방안을 초래하게 되며, 또한 가입당 생산액을 고려하지 않은 어업 관리 시에 자원은 남획되지 않을지라도 경제적 남획 (economic overfishing)이 초래될 수 있다. 게다가 가입당 생산액 (production value-per-recruit) 방법은 연간 가입량만 알더라도 순간어획사망계수 (F)와 어획개시연령 (t_c)에 따른 연간 생산액의 추정이 가능하기 때문에 어업경영의 예측이 가능하며 그 경영을 합리화시킬 수 있다. 따라서 참조기, 갈치 등과 같이 어체 크기가 증가함에 따라 어가가 급격히 증가하는 어종의 경우 가입당 생산량 모델만 사용하여 어업을 관리할 시에 경영상의 손실이 예상된다.

셋째, 가입당 생산액을 구하는 이산함수와 연속함수의 방법의 특징을 비교한 결과 이산함수의 경우 실제 판매어가를 사용하는 방법이지만 1세 단위의 각 연령별 생산액만을 나타내는 단점이 있다. 반면 선형함수의 경우에는 1-7세 사이의 모든 연령에 대한 생산액 계산이 가능하다는 장점이 있다. 그리고 자연사망계수 (M), 성장계수 (K), 어장가입연령 (t_r)에 따른 민감도를 분석한 결과 연속함수의 방법이 이산함수의 방법보다 각 매개변수에 의한 생산액의 변동이 컸으며 성장계수 (K)에 의한 생산액의 변동이 가장 크게 나타났다. 하지만 성장계수 (K)는 von Bertalanffy 성장식에 의해 추정되는 비교적 정확도가 높은 추정치이므로 큰 문제가 되지는 않을 것이다. 또한 연속함수의 방법으로 가입당 생산액을 추정할 시 어획개시연령 (t_c)이 0.1세 이하일 경우 생산액의 값이 음수로 나타나게 되는데 이는 어체의 크기가 커짐에 따라서 어가가 급격하게 변화하는 특징 때문으로 체중-마리당 어가의 직선식에서 y절편이 음수로 나타나기 때문이다. y절편을 0으로 고정시킬 수는 있으나 이 경우 값이 현저하게 떨어지게 되며 또한 어획개시연령 (t_c)이 0.1세 이하가 되는 경우는 비현실적이다. 따라서 위의 특징들로 미루어 보아 선형함수의 경우 모든 연령에 대한 생산액의 추정이 가능한 장점이 있기는 하지만 실제 판매 어가를 이용한 이산함수의 방

법이 연속함수의 방법보다 가입당 생산액을 구하기에 더 적합하다고 판단된다.

결론

한국 근해 참조기 자원의 자원생태학적 특성치를 이용하여 가입당 생산량 (yield-per-recruit) 모델, 가입당 생산액 (production value-per-recruit) 방법을 통해 적정순간어획사망계수 (F)와 적정어획개시연령 (t_c)을 알아본 결과 서로 다른 적정어획수준을 나타냈다. 가입당 생산액 방법에 의해 구해진 적정순간어획사망계수 (F)는 이산함수의 경우 0.3/year, 연속함수의 경우 0.5/year로 가입당 생산량 모델에 의해 구해진 0.8/year의 값과는 큰 차이를 나타내며, 또한 적정어획개시연령 (t_c)은 가입당 생산량 모델에 의해 구해진 2.5세보다 가입당 생산액 방법에 의해 구해진 값이, 이산함수의 경우 5.0세, 연속함수의 경우 3.5세로 높게 나타났다. 가입당 생산액을 구하는 이산함수와 연속함수의 자연사망계수 (M), 성장계수 (K), 어장가입연령 (t_r)에 따른 민감도를 분석한 결과 성장계수 (K)에 의한 생산액의 변동이 가장 크게 나타났으며, 연속함수의 방법이 이산함수의 방법보다 생산액 백분율의 변화 폭이 크게 나타났다. 게다가 이산함수의 경우 실제 판매 어가를 이용한 반면 연속함수의 경우 무게-어가를 직선관계로 가정한 것이므로 이산함수의 방법이 더 정확하다. 따라서, 이들 결과를 종합해보면 경제적 측면을 고려한 어업관리 시에는 가입당 생산량 모델보다 가입당 생산액 방법, 특히 연속함수보다는 이산함수의 방법이 적합할 것으로 판단된다.

사사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비 (2014)에 의하여 연구되었습니다.

References

Beverton RJH and Holt SJ. 1957. On the Dynamics of Exploited Fish Populations, Fishery Investigations, Series II, Marine Fisheries. Great Britain Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 19, 533pp.

Charmaine MG, Robert WH and Gillbert S. 2004. A comparison of yield per recruit and revenue per recruit models for the Oregon ocean shrimp fishery. Fish Res, 71-84.

Hwang BN and Choi SH. 1980. Age and Growth of Yellow Croaker in the Yellow Sea and the East China Sea. Bull NFRDI 23, 171-178.

Ikeda I. 1964. Studies and fisheries biology of the yellow croaker in the East China and the Yellow Sea. Bull Seikai Reg Fish Res Lab 31, 49-81.

Kim SH, Park SW, Bae JH and Kim YH. 2009. Mesh selectivity of drift gill net for Yellow croaker in the coastal sea of Gageo-do. J Kor Soc Fish Aquat Sci 42(5), 518-522.

Kim YH, Lee SK and Lee JB. 2006. Age and Growth of yellow croaker, *Larimichthys polyactis* in the South Sea of Korea. Kor J Ichthyol 18(1), 45-54.

Kvamme C and Bogstad B. 2007. The effect of including length structure in yield-per-recruit estimates for northeast Arctic cod. ICES J Mar Sci 64, 357-368.

Lee JH, Seo YI, Oh TY and Lee DW. 2013. Estimations on population ecological characteristics of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* by the drift gillnet fishery in Korean waters. J Kor Soc Fish Tech 49(4), 440-448.

Lee MW, Zhang CI and Lee JU. 2000. Age determination and estimation of growth parameters using otoliths of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean waters. Bull Kor Soc Fish Tech 36(3), 222-233.

NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 1979. Oceanographic handbook of the neighboring seas of Korea. NFRDI, 1-650.

Pauly D. 1984. Length-converted catch curves. A powerful tool for fisheries research in the tropics (Part 2). ICLARM Fishbyte 2(3), 9-10.

Quinn TJ and Deriso RB. 1999. Quantitative Fish Dynamics, Oxford University Press, 542pp.

Ye Y. 1998. Assessing effects of closed seasons in tropical and subtropical penaeid shrimp fisheries using a length-based yield-per-recruit model. ICES J Mar Sci 55, 1112-1124.

Zhang CI, Kim YM, Yoo SJ, Park CS, Kim SA, Kim CK and Yoon SB. 1992. Estimation of population ecological characteristics of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* off Korea. Bull Kor Fish Soc 25, 29-36.

Zhang CI and Megrey BA. 2006. A revised Alvenson and Carney model for estimating the instantaneous rate of natural mortality. Trans Amer Fish Soc 135(3), 620-633.

2014. 9.18 Received

2014. 10.30 Revised

2014. 11.18 Accepted