

근해 유자망에 의해 어획되는 참조기자원의 관리를 위한 가입당 산란자원량 모델의 비교분석

이은지 · 서영일* · 박희원 · 강희중¹ · 장창익¹

국립수산과학원 연근해 자원과, ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부

Coastal Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science

Eun Ji LEE, Young Il SEO*, Hee Won PARK, Hee Joong KANG¹, Chang Ik ZHANG¹

Fisheries Resources Management Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan, 619-705, Korea

¹Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

Yield per recruit model is the most popular method for fisheries stock assessment. However, stock assessment using yield per recruit model can lead to recruitment overfishing as this model only considers the maximum yield per recruit without spawning biomass for reproduction. For this reason, spawning biomass per recruit model which reveals variations of spawning stock biomass per fishing mortality (F) and age at first capture (t_c) is considered as more proper method for stock assessment. There are mainly two methods for spawning biomass per recruit model known as age specific selectivity method and knife-edged selectivity method. In the knife-edged selectivity method, the spawning biomass per recruit has been often calculated using biomass per recruit value by multiplying the maturity ratio of the recruited age. But the maturity ratio in the previous method was not considered properly in previous studies. Therefore, a new method of the knife-edged selectivity model was suggested in this study using a weighted average of the maturity ratio for ages from the first capture to the lifespan. The optimum fishing mortality in terms of $F_{35\%}$ which was obtained from the new method was compared to the old method for small yellow croaker stock in Korea. The value of $F_{35\%}$ using the new knife-edged selectivity model was 0.302/year and the value using the old model was 0.349/year. However, the value of $F_{35\%}$ using the age specific selectivity model was estimated as 0.320/year which was closer to the value from the new knife-edged selectivity model.

Keywords: Yield per recruit, Spawning biomass per recruit, Stock assessment, Stock management, Small yellow croaker, Drift gill net

서론

전통적인 수산자원의 평가와 관리는 개체군 수준에

서 이루어져 왔으며 대표적인 수산자원 평가모델로는 잉여생산량 모델 (surplus production model), 재생산 모

*Corresponding author: seoyi@korea.kr, Tel: +82-51-720-2296, Fax: +82-51-720-2277

델 (reproduction model), 가입당 생산량 모델 (yield per recruit model)의 세 가지가 있다 (Zhang, 2010). 가입당 생산량 모델은 가입에 따른 생산량의 변화를 추정하는 모델로서 성장남획의 억제를 통해 가입 자원으로부터 얻을 수 있는 어업수익의 최대화를 관리 목표로 하여, 성장남획의 지표로서 널리 사용되고 있으며 (Ye, 1998; Kvamme and Bogstad, 2007), 세 가지 자원평가 모델 중 가장 흔하게 사용된다. 하지만 가입당 생산량 모델만을 사용하여 수산자원을 평가하고 관리할 시 성장남획은 억제할지라도 성어 자원에 대한 보호는 고려하지 않고 가입에 따른 최대 생산량의 산출만을 목표로 하므로 가입남획이 초래될 수 있다. 따라서 가입에 따른 산란자원량의 변화를 고려하여 적정산란자원량의 유지를 위한 적정순간어획사망계수와 적정어획개시연령의 추정이 가능한 가입당 산란자원량 모델 (spawning biomass per recruit model)에 적용시켜 자원을 평가하는 것이 바람직하다.

과거 잉여생산량 모델을 사용한 자원평가 연구로는 Zhang 모델을 사용하여 참조기 자원의 최대지속적생산량을 추정한 Zhang et al. (1992)의 연구, 복수어구에 의한 어획노력량을 표준화하여 Fox 모델을 사용한 Seo and Zhang (2001)의 연구가 있으며 그 외 Park and Choi (2002); Kwon et al. (2013)의 연구가 있다. 재생산 모델을 통한 자원평가 연구로는 Ricker 모델을 사용하여 고등어 자원의 자원량과 가입량 관계를 파악한 Choi et al. (2004)의 연구가 있으며 연령구조 재생산모델에 의해 자원량과 가입량을 예측한 Lee et al. (2012)의 연구가 있다. 가입당 생산량 모델을 사용한 자원평가 연구로는 Beverton and Holt 모델을 참조기 자원에 적용시킨 Zhang et al. (1992)의 연구, 바지락 자원에 적용시킨 Cho and Jeong (2007)의 연구와 오분자기 자원에 적용시킨 Ko et al. (2008)의 연구가 있으며 그 외 Jang et al. (2011), Lee (2011) 등의 연구가 있다. 또한 가입당 산란자원량 모델을 사용한 자원평가 연구로는 다종자원의 $F_{x\%}$ 를 추정한 Seo and Zhang (2001)의 연구와 조피볼락 자원의 $F_{35\%}$ 와 $F_{40\%}$ 를 추정한 Park (2008)의 연구, 칠게의 $F_{40\%}$ 를 추정한 Kwon (2010)의 연구가 있다. 가입당 산란자원량 모델은 크게 두 가지로 분류되는데 첫 번째로 연령별 선택비를 고려한 (age specific selectivity) 가입당 산란자원량의 방법이며, 두

번째로 연령별 선택비를 고려하지 않는 (knife-edged selectivity), Beverton and Holt (1957)의 가입당 자원량 식을 기반으로 한 가입당 산란자원량의 방법이다. 이중 두 번째 방법은 가입당 산란자원량을 가입당 자원량에 어구가입 연령의 성숙비만을 곱함으로써 나타내었는데, 여기서의 어구 가입은 가입에 해당하는 그 연령 뿐만 아니라 가입 이후의 연령 모두를 포함하는 개념이므로 가입 이후의 모든 연령에 대한 성숙비를 고려하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 연령별 선택비를 고려하지 않는 가입당 산란자원량의 식을 Beverton and Holt (1957)의 가입당 자원량 식에 가입 이후의 모든 연령을 고려한 성숙비를 곱함으로써 새롭게 나타내었다. 그리고 연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량의 방법과 선택비를 고려하지 않는 기존의 방법과 새로운 방법을 통한 적정어획사망계수를 비교 분석하기 위해 근해 유자망 어업에 의해 어획되는 참조기 자원에 적용시켰다.

재료 및 방법

자원생태학적 특성치의 추정

자원평가를 위해 각각의 가입당 산란자원량 모델에 사용되는 사망계수, 성장계수, 어획개시연령 등의 자원생태학적 특성치들을 다음과 같이 추정하였다.

체장-체중 관계식

한국 근해 참조기의 체장-체중 관계식 ($W = \alpha L^\beta$)을 구하기 위해 국립수산과학원에서 실시한 어체조사의 결과를 사용하였으며, 2012년 목표해역에서 유자망에 의해 어획된 참조기의 체장, 체중 측정 자료를 사용하였다. 체장은 전장 (total length, TL)을 기준으로 측정하였고 암수구분 없이 측정된 참조기의 총 개체수는 2,396미이다.

성장계수

성장계수는 Lee et al. (2000)에 의해 보고된 추정치를 인용하였다. Von Bertalanffy의 성장식에 의해 구해진 이론적최대체장 (L_∞)은 37.11 cm, 성장계수 (K)는 0.20/year, 체장이 0일 때의 이론적연령 (t_0)은 -1.88세였으며 이론적최대연령 (t_L)은 Lee et al. (2013)의 2010~2012년 유자망 어업에 의한 어획물의 연령조

성 자료 중 가장 고연령인 10세를 사용하였다 (Table 1). 이론적최대체중 (W_{∞})은 이론적최대체장 (L_{∞})인 37.11 cm로부터 체장-체중 관계식을 통해 추정하였다.

Table 1. Quoted estimates for growth parameters

Parameters	(L_{∞})	K	t_0	t_L
	37.11 cm	0.20/year	-1.88 year old	10 years old
Estimates	(Lee et al. 2000)	(Lee et al. 2000)	(Lee et al. 2000)	(Lee et al. 2013)

사망계수

사망계수 중 순간전사망계수 (Z)는 Lee et al. (2013)에서 사용된 2010~2012년 유자망 어업에 의한 어획물의 연령조성 자료 (Table 2)를 사용하여 어획물 곡선법 (Pauly, 1984)을 통해 추정하였다.

순간자연사망계수 (M)는 체장-체중 관계식의 계수 β 와 Lee et al. (2000)에 의해 추정된 Table 1의 성장계수들을 사용하여 Zhang and Megrey (2006) 방법을 통해 식 (1)과 같이 추정하였다.

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

Table 2. Age composition of small yellow croaker caught by drift gillnet fishery in Korean waters

Age (t)	Number of individual (N)			
	2010	2011	2012	Mean
0	-	-	26,696	8,899
1	9,226,932	3,320,908	5,298,196	5,948,679
2	32,140,375	69,586,197	41,600,446	47,775,673
3	15,111,938	34,454,080	33,065,262	27,543,760
4	2,943,247	3,174,891	3,465,201	3,194,446
5	158,366	136,057	181,035	158,486
6	27,154	19,336	13,526	20,005
7	14,610	5,350	5,910	8,623
8	1,582	2,442	3,477	2,500
9	-	-	775	258
10	-	1,026	964	663
Total	59,624,204	110,700,287	83,661,488	84,661,993

여기서 β 는 체장-체중 관계식의 계수, t_{mb} 는 $C_i \times t_L$

이며 t_L 은 최대연령, C_i 는 상수로써 0.440이다 (이 상수는 최대연령과 자원량이 최대인 연령 (t_{mb})의 상대비 (t_{mb}/t_L)를 나타내며, 31종의 표영성 어종과 60종의 저서성 어종 등 총 91종의 생활사 특성치를 사용하여 구해진 값으로 표영성 어종의 경우 $C_i=0.302$, 저서성 어종의 경우 $C_i=0.440$ 이며, 한국 근해 참조기의 경우 저서성 어종이므로 $C_i=0.440$ 의 값을 사용하였다).

순간어획사망계수 (F)는 순간전사망계수 (Z)에서 순간자연사망계수 (M)를 제함으로써 추정하였다 (Zhang, 1991, 2010).

어장가입연령 (t_r) 및 어획개시연령 (t_c)

어장가입연령 (t_r)은 Lee et al. (2013)의 2010~2012년 연근해 유자망 어업의 참조기 체장조성자료 중 최소 체장인 12 cm에 대하여 아래 식 (2)의 von Bertalanffy 성장식을 통해 연령으로 역추정하였다.

$$l_t = L_{\infty} \{1 - e^{-k(t - t_0)}\} \quad (2)$$

여기서 L_{∞} 는 이론적최대체장, K는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적연령을 나타낸다.

어획개시연령 (t_c)은 Lee et al. (2013)의 연령조성자료 (Table 2)를 사용하여 Pauly 방법을 통해 추정하였다. 연령에 관계없이 일정한 사망계수를 가진다는 가정 하에, 기대어획개체수와 실제어획개체수와와의 비를 사용하여 50% 어구가입연령을 추정하였다.

성숙비 (m_t)

국립수산과학원에서 매월 실시하는 어체측정조사 자료 중 2013년 참조기의 주 산란기 (4~6월) 자료를 사용하여 성숙비를 계산하였다. 주 산란기에 측정된 암컷의 어체수는 132미이며 체장별 성숙도 자료를 사용하여 성숙 이상 개체의 비를 계산하였다. 또한 Lee et al. (2000)의 성장계수를 사용하여 식 (2)의 von Bertalanffy 성장식을 통해 체장을 연령으로 역환산하였으며 그에 따른 연령별 성숙비를 계산하였다.

선택비 (S_t)

어구에 의한 연령별 선택비는 망목시험자료가 없어 Lee et al. (2013)의 한국 근해 참조기의 연령조성자료

(Table 2)를 사용하여 Pauly 방법을 통해 구하였으며 그에 따른 로지스틱 선택곡선을 추정하였다.

가입당 산란자원량 모델의 비교

가입당 산란자원량 모델을 통한 적정어획수준의 기준점은 저서성 어종을 기준으로, 어획이 있을 때의 산란자원량이 어획이 없을 때의 산란자원량의 35%가 되는 $F_{35\%}$ 로 하였으며 이 기준점을 통해 연령별 선택비를 고려하지 않는 새로운 가입당 산란자원량 방법과 기존의 산란자원량 방법의 차이점을 비교 분석하였다. 또한 새로운 방법에 의한 $F_{35\%}$ 의 값을 가입당 산란자원량 방법 중 첫 번째 방법인 연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량 모델에 의한 값과 비교 분석하였다.

연령별 선택비를 고려하지 않는 (knife-edged selectivity) 가입당 산란자원량 모델

연령별 선택비를 고려하지 않고 가입당 산란자원량을 추정할 경우 어구 선택비의 정보가 불필요한 가입당 자원량의 식에 성숙비를 곱해줌으로써 계산이 가능하다. 기존의 가입당 산란자원량 (SB/R) 모델은 Beverton and Holt (1957)의 가입당 자원량 (B/R)을 나타내는 식 (3)에 어구 가입에 해당하는 연령의 성숙비 (m_t)를 곱함으로써 식 (4)와 같이 나타내었다.

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

$$\frac{SB}{R} = e^{-M(t_c - t_r)} \cdot W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \cdot e^{-nK(t_c - t_0)}}{F + M + nK} \{1 - e^{-(F+M+nK)(t_L - t_c)}\} \cdot m_t \quad (4)$$

여기서 M은 순간자연사망계수, t_c 는 어구가입연령, t_r 은 어장가입연령, W_{∞} 는 이론적최대체중, K는 von Bertalanffy 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때 이론적연령, F는 순간어획사망계수, t_L 은 최대연령, m_t 는 연령 t의 성숙비를 뜻한다.

하지만 여기서 가입은 어구 가입에 해당하는 연령뿐만 아니라 가입 이후의 모든 연령을 포함하는 개념이므로

로 가입당 자원량에 어구 가입 이후 모든 연령의 성숙비를 고려한 값, 즉, 각 연령별 가입당 자원량에 가중평균된 성숙비를 곱해주는 것이 타당하다. 이 가중평균된 성숙비를 나타내기 위하여 Beverton and Holt (1957)의 각 연령별 가입당 자원량을 나타내는 식 (5)를 사용하였으며 이에 따른 자원량의 비를 고려하여 어구가입 이후부터 최대연령 까지 각 연령별 성숙비의 가중평균 값을 식 (6)과 같이 나타내었다.

$$\frac{B_t}{R} = e^{-M(t_c - t_r)} \cdot e^{-(M+F)(t-t_c)} \cdot W_{\infty} \{1 - e^{-K(t-t_0)}\}^3 \quad (5)$$

$$\frac{\sum_{t=t_c}^{t_L} e^{-(M+F)(t-t_c)} \cdot W_{\infty} \{1 - e^{-K(t-t_0)}\}^3 \cdot m_t}{\sum_{t=t_c}^{t_L} e^{-(M+F)(t-t_c)} \cdot W_{\infty} \{1 - e^{-K(t-t_0)}\}^3} \quad (6)$$

따라서 선택비를 고려하지 않는 가입당 산란자원량은 가입당 자원량을 나타내는 식 (3)에 어구가입 이후부터 최대연령까지 각 연령별 성숙비의 가중평균 값을 나타내는 식 (6)을 곱하여 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{SB}{R} = e^{-M(t_c - t_r)} \cdot W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \cdot e^{-nK(t_c - t_0)}}{F + M + nK} \{1 - e^{-(F+M+nK)(t_L - t_c)}\} \cdot \frac{\sum_{t=t_c}^{t_L} e^{-(M+F)(t-t_c)} \cdot W_{\infty} \{1 - e^{-K(t-t_0)}\}^3 \cdot m_t}{\sum_{t=t_c}^{t_L} e^{-(M+F)(t-t_c)} \cdot W_{\infty} \{1 - e^{-K(t-t_0)}\}^3} \quad (7)$$

새롭게 제시된 선택비를 고려하지 않는 가입당 산란자원량을 나타내는 식 (7)을 통해 적정산란자원량 유지를 위한 적정어획수준의 추정이 가능하며 본 연구에서는 저서성 어종을 기준으로, 어획이 있을 때의 산란자원량이 어획이 없을 때의 산란자원량의 35%가 되게 하는 순간어획사망계수인 $F_{35\%}$ 를 기준으로 설정하였다.

연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량 모델

연령별 선택비 (age specific selectivity ratio)를 고려한 가입당 산란자원량 모델은 연령별로 어구에 의해 가입되는 어구 선택비를 고려한 모델이다. 이 모델은 어획이 없을 때 (F=0)의 산란자원량과 어획이 있을 때 (F=x%), 어획되는 개체의 연령별 선택비를 고려하여

계산된 산란자원량의 비를 나타내며 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{x\%} = \frac{\sum_{t=0}^{t_L} N'_t \cdot m_t \cdot W_{\infty} \{1 - e^{-K(t-t_0)}\}^3 \cdot e^{-(M+F_{x\%} \cdot S_t)}}{\sum_{t=0}^{t_L} N_t \cdot m_t \cdot W_{\infty} \{1 - e^{-K(t-t_0)}\}^3 \cdot e^{-M}} \quad (8)$$

여기서 N_t 는 어획이 없을 때 ($F=0$)의 연령 t 의 개체수, N'_t 는 어획이 있을 때 ($F=x\%$) 연령 t 의 개체수이며, $N_t = N_{t-1} \cdot e^{-M}$, $N'_t = N'_{t-1} \cdot e^{-(M+F_{x\%} \cdot S_t)}$ 이다. m_t 는 연령 t 의 성숙비, W_{∞} 는 이론적최대체중, K 는 von Bertalanffy 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때 이론적 연령이며 $F_{x\%}$ 는 어획이 없을 때 산란자원량의 $x\%$ 가 되는 순간어획사망계수, S_t 는 연령 t 의 선택비를 뜻한다.

이 모델을 통해 추정이 가능한 적정어획수준 역시 $F_{35\%}$ 를 기준점으로 하였으며 $F_{35\%}$ 를 만족시키는 순간어획사망계수를 추정하였다.

결 과

자원생태학적 특성치

체장-체중 관계식

2012년 목포해역에서 유자망에 의해 어획된 참조기의 체장-체중 관계를 알아본 결과 체장-체중 관계식의 계수 α 는 0.0028, β 는 3.3892로써 Fig. 1과 같이 나타났다.

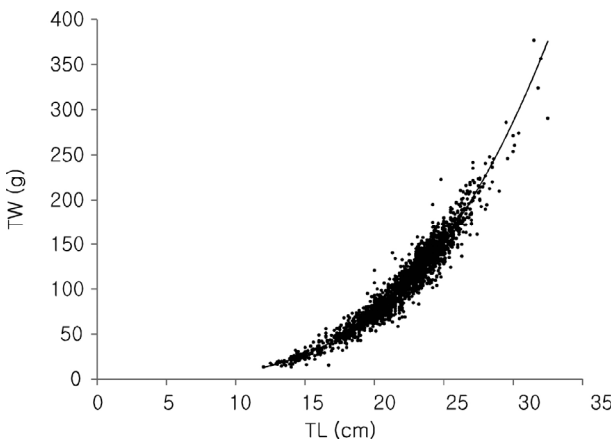


Fig. 1. Curvilinear relationship of total weight (TW) with the total length (TL).

Lee et al. (2000)에서 추정된 체장-체중 관계식인 $TW = 0.0049 TL^{3.2153}$ 과 비교하였을 때, 관계식의 기울기를 나타내는 β 값은 다소 증가함을 나타냈다.

성장계수

이론적최대체장 (L_{∞}), 최대연령 (t_L) 등의 성장계수는 Table 1과 같이 Lee et al. (2000)과 Lee et al. (2013)의 연구 결과를 인용하였으며, 이론적최대체중 (W_{∞})은 Lee et al. (2000)에 의해 추정된 이론적최대체장인 37.11 cm로부터 2012년 목포해역에서 유자망에 의해 어획된 참조기의 체장-체중 관계식인 $TW = 0.0028 TL^{3.3892}$ 을 통해 584.09 g으로 계산되었다.

사망계수

Table 2의 2010~2012년 한국 근해 유자망 어업에 의해 어획된 참조기의 연령조성자료를 사용하여 Pauly 방법을 통해 어구 가입 이후의 어획물을 대상으로 추정된 순간전사망계수 (Z)는 1.611/year로 나타났다 (Fig. 2).

Lee et al. (2000)에 의해 추정된 자원생태학적 특성치 (Table 1)를 사용하여 Zhang and Megrey (2006) 방법을 통해 추정한 순간자연사망계수 (M)는 0.270/year로 나타났다.

순간어획사망계수 (F)는 순간전사망계수 (Z)에서 순간자연사망계수 (M)를 제함으로써 구하였으며 그 값은 1.341/year로 추정되었다.

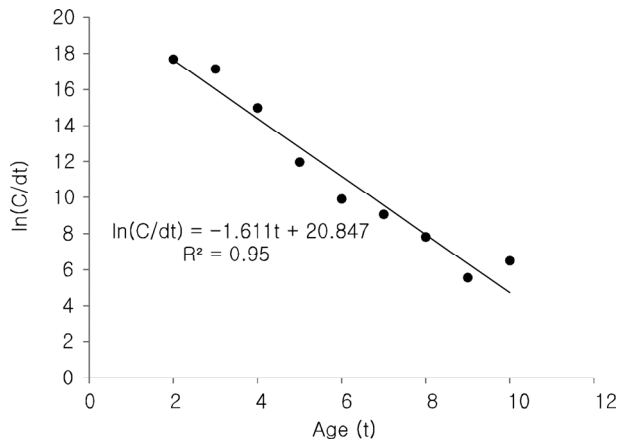


Fig. 2. Estimation of total mortality (Z) of small yellow croaker by Pauly method.

어장가입연령 (t_r) 및 어획개시연령 (t_c)

Lee et al. (2013)의 연구에서 근해 유자망 어업에 의해 어획된 참조기의 체장조성자료 중 최소체장인 12 cm에 대하여 식 (2)의 von Bertalanffy 성장식을 통해 역추정한 어장가입연령 (t_r)은 0.073세로 나타났다.

어획개시연령 (t_c)은 Table 2의 연령조성자료를 사용하여 Pauly 방법을 통해 추정하였으며 연령에 관계없이 일정한 사망계수를 가진다는 가정 하에서 기대어획개체수와 실제어획개체수와의 비를 사용하여 50% 어구가입연령을 추정한 결과 어획개시연령은 1.443세로 추정되었다 (Fig. 3).

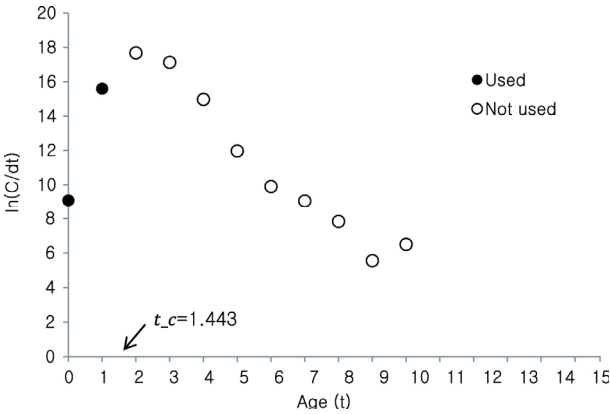


Fig. 3. Estimation of the age at first capture of the small yellow croaker by Pauly method.

성숙비 (m_t)

매월 실시한 어체측정조사 자료 중 2013년 4~6월 (주산란기)에 어획된 참조기의 성숙도 자료를 사용하여 각 연령별 성숙비를 추정하였다. 그 결과 $m_0 = 0.00$, $m_1 = 0.67$, $m_2 = 0.81$, $m_3 = 0.96$, $m_4 = 0.98$, $m_5 = 1.00$, $m_6 = 1.00$, $m_7 = 1.00$, $m_7 = 1.00$, $m_8 = 1.00$, $m_9 = 1.00$, $m_{10} = 1.00$ 으로써 Table 3과 같이 나타났으며 연령-성숙비의 관계식은 아래의 식 (9)와 같이 추정되었다.

$$m_t = \frac{1}{1 + e^{0.5909 - 1.5918t}} \quad (9)$$

Table 3. Maturity and selectivity ratio of small yellow croaker in Korean waters

Age (t)	m_t	S_t
0	0.000	0.000007
1	0.670	0.026342
2	0.810	0.989368
3	0.960	0.999997
4	0.980	1.000000
5	1.000	1.000000
6	1.000	1.000000
7	1.000	1.000000
8	1.000	1.000000
9	1.000	1.000000
10	1.000	1.000000

선택비 (S_t)

Table 2의 2010~2012년 참조기 어획물의 연령조성자료를 사용하여 Pauly 방법에 의해 각 연령별 선택비를 추정한 결과는 Table 3과 같으며 로지스틱 선택곡선은 아래의 식(10)과 같이 나타났다.

$$S_t = \frac{1}{1 + e^{11.753 - 8.1431t}} \quad (10)$$

가입당 산란자원량 모델의 비교

연령별 선택비를 고려하지 않는 (knife-edged selectivity) 가입당 산란자원량 모델의 비교

연령별 선택비를 고려하지 않는 (knife-edged selectivity) 가입당 산란자원량 모델의 기존 방법과 본 연구에서 새롭게 제시한 방법에 의한 어구가입별 성숙비를 Table 4와 같이 나타내었다. 기존 방법에 사용된 성숙비는 어구가입연령에 해당하는 연령의 성숙비만을 나타내며 새로운 방법에 사용되는 성숙비는 어구가입 이후의 모든 연령을 자원량에 대해 가중평균한 값으로 성숙비가 1이 되는 5세 미만에서 어구가입이 이루어질 경우 각 연령별로 성숙비와 가중평균된 성숙비의 차가 나타났으며 가입 연령이 낮을수록 그 차이가 크게 나타났다.

또한 성숙비가 1미만인 연령 (1~4세)에서 연령별 선택비를 고려하지 않는 기존의 가입당 산란자원량 방법과 새로운 방법에 의한 가입당 산란자원량의 변화를 비

교한 결과 Table 5와 같이 나타났다. 어획사망계수 (F)와 어획개시연령 (t_c)별로 기존 방법에 의한 가입당 산란자원량의 값이 과소 추정되었으며 새로운 방법과 비교하였을 때 0.25~130.69 g의 오차를 나타냈다. 또한 이 오차는 순간어획사망계수와 어구가입연령이 낮을수록 그 차가 크게 나타났다.

Table 4. Comparison between age specific and weighted average by of small yellow croaker in Korean waters

t_c	m_t	Weighted average
0	0.000	0.909
1	0.670	0.944
2	0.810	0.968
3	0.960	0.990
4	0.980	0.996
5	1.000	1.000
6	1.000	1.000
7	1.000	1.000
8	1.000	1.000
9	1.000	1.000

Table 5. Comparison of spawning biomass per recruit by fishing mortality (F) and the age at first capture between two knife-edged selectivity methods (unit: g)

F	t_c	Old SBPR method				New SBPR method			
		1	2	3	4	1	2	3	4
0.0		319.67	348.49	355.46	298.16	450.36	416.31	366.53	302.98
0.1		216.85	249.91	266.88	233.06	299.44	295.57	274.52	236.61
0.2		155.07	187.18	207.40	187.02	209.38	218.97	212.81	189.67
0.3		116.19	145.72	166.25	153.71	153.21	168.54	170.16	155.73
0.4		90.60	117.26	136.92	129.06	116.64	134.09	139.80	130.64
0.5		73.04	97.03	115.40	110.43	91.86	109.74	117.57	111.66
0.6		60.51	82.17	99.19	96.03	74.43	91.96	100.85	97.02
0.7		51.26	70.92	86.67	84.69	61.76	78.59	87.96	85.49
0.8		44.23	62.19	76.78	75.59	52.29	68.28	77.79	76.24
0.9		38.75	55.25	68.81	68.16	45.03	60.16	69.61	68.69
1.0		34.38	49.63	62.27	62.01	39.33	53.62	62.92	62.45
1.1		30.83	44.99	56.83	56.84	34.77	48.26	57.35	57.20
1.2		27.90	41.11	52.23	52.44	31.07	43.82	52.65	52.74
1.3		25.45	37.83	48.30	48.66	28.02	40.08	48.65	48.91

연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량 모델과 연령별 선택비를 고려하지 않는 가입당 산란자원량 모델의 비교

연령별 선택비 (age specific selectivity ratio)를 고려한 가입당 산란자원량 모델과 연령별 선택비를 고려하지 않는 (knife-edged selectivity) 가입당 산란자원량 모델의 기존 방법과 새로운 방법에 의해 한국 근해 참조기 자원을 대상으로 현재 수준 ($t_c = 1.443$ 세)에서의 적정순간어획사망계수를 추정하였다. 적정어획수준은 저서성 어종을 기준으로 하여 어획이 없을 때의 산란자원량이 어획이 있을 때 산란자원량의 35%가 되는 기준점인 $F_{35\%}$ 로 하였으며 각 방법에 의한 추정 결과 Table 6과 같이 나타났다. 연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량 모델의 경우 연령별 어구에 가입되는 어획비를 고려하여 이산식을 통해 참값의 가입당 산란자원량을 추정하는 모델로서 근해 유자망에 의해 어획되는 한국 근해 참조기 자원을 대상으로 $F_{35\%}$ 를 추정한 결과 0.302/year로 나타났다. 연령별 선택비를 고려하지 않는 가입당 산란자원량 모델은 Beverton and Holt (1957)의 모델을 기반으로 하여 연속식을 통해 적정어획수준을 추정하는 모델이며, 이 모델의 기존 방법에 의해 추정된 0.349/year로 나타났으며 본 연구에서 새롭게 제시한 방법에 의해 추정된 $F_{35\%}$ 는 0.320/year로 나타났다. 이를 연령별 선택비를 고려하는 가입당 산란자원량 모델에 의한 값과 비교하였을 때 새로운 방법에 의해 추정된 $F_{35\%}$ 의 값이 기존의 방법에 의해 추정된 $F_{35\%}$ 보다 유사하게 나타났다.

또한 이 세 가지 방법을 통해 어획이 있을 때, 순간어획사망계수 (F)별로 산란자원량의 백분율 변화를 Fig. 4와 같이 나타내었다. 그 결과 산란자원량 백분율이 15% 이상일 때 새로운 방법에 의해 추정된 적정순간어획사망계수가 연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량 모델에 의한 값과 유사하게 추정되었다.

Table 6. Comparison with the values of $F_{35\%}$ between age specific selectivity method and knife-edged selectivity methods

	SBPR	New method of SBPR	Old method of SBPR
	(age specific selectivity)	(knife-edged selectivity)	(knife-edged selectivity)
$F_{35\%}$	0.302/year	0.320/year	0.349/year

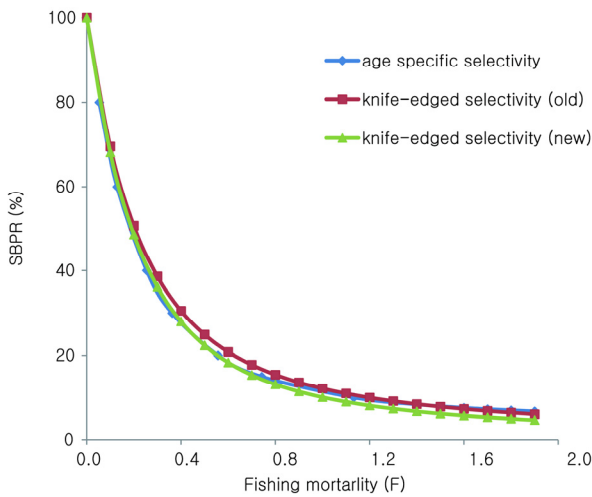


Fig. 4. Comparison with percentage of spawning biomass per recruit between age specific selectivity method and knife-edged selectivity methods.

고 찰

대표적인 자원평가 모델인 가입당 생산량 모델 (yield per recruit model)은 가입에 따른 최대 생산량의 산출만을 목표로 하므로 이 모델만 사용하여 자원을 평가하고 관리할 시에는 재생산을 위한 산란자원량은 고려하지 않아 가입남획을 초래할 수 있다 (Zhang, 2010). 따라서 가입남획을 방지하고 가입에 따른 산란자원량의 변화를 나타내어 적정산란자원량의 유지를 위해 적정 어획수준을 추정하는 가입당 산란자원량 모델을 사용하여 자원을 평가하고 그에 따른 관리방안을 수립하는 것이 타당하다.

산란자원량은 자원량과 성숙비의 곱으로 나타낼 수 있으며 자원량은 자원개체수와 중량의 곱으로 나타낼 수 있다. 이 산란자원량은 낮은 수준의 어획이 있을 때는 어획이 없을 때의 산란자원량과 큰 차이가 나타나지 않지만 높은 수준의 어획이 있을 때는 어획이 없을 때의 자원량뿐만 아니라 산란자원량과의 차이가 크게 나타나므로 어획강도가 높을 시에는 특히 재생산을 위한 적정산란자원량 유지를 고려하여 그에 따른 관리방안을 제시하여야 한다.

가입당 산란자원량 모델 (spawning biomass per recruit model)은 연간 가입량만 알면 산란자원량의 변동의 추정이 가능한 모델로써 연령별 선택비를 고려한 (age specific selectivity) 방법과 연령별 선택비를 고려

하지 않는 (knife-edged selectivity) 방법의 두 가지로 분류된다. 연령별 선택비를 고려하는 가입당 산란자원량 방법은 연령별 어구에 의해 가입되는 어획비율을 고려하여 이산식을 통해 참 값을 구하는 방법으로써 비교적 정확한 가입당 산란자원량의 추정이 가능하다. 연령별 선택비를 고려하지 않는 가입당 산란자원량 방법은 Beverton and Holt (1957)의 가입당 자원량 식에 성숙비를 곱함으로써 나타낼 수 있으며 기존의 방법에서는 가입당 자원량 식에 어구가입에 해당하는 성숙비만을 곱함으로써 나타내었다. 하지만 본 연구에서 이를 수정하여 어구가입 이후의 모든 연령을 고려한 성숙비, 즉, 가중평균된 성숙비를 가입당 자원량에 곱함으로써 새로운 가입당 산란자원량 방법을 제시하였다. 그리고 유자망에 의해 어획되는 한국 근해 참조기 자원에 이 새로운 가입당 산란자원량 방법과 기존의 가입당 산란자원량 방법을 적용시켜 적정어획수준을 비교하였으며 또한 연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량 방법에 의한 적정어획수준과 비교하였다. 그 결과 $F_{35\%}$ 의 값이 0.320/year, 0.349/year, 0.302/year로 각각 나타났으며 새로운 가입당 산란자원량 방법에 의한 $F_{35\%}$ 의 값이 0.320/year로 연령별 선택비를 고려하여 이산식을 통해 참 값으로 추정된 $F_{35\%}$ 인 0.302/year와 더 유사하게 나타났다. 이 결과로 미루어볼 때 연령별 선택비 자료를 사용하여 어획비율을 고려한 방법과 고려하지 않은 방법이 큰 차이가 없음을 알 수 있으며 연령별 선택비 자료가 없더라도 연속함수 형태의 연령별 선택비를 고려하지 않는 방법, 특히 새로운 가입당 산란자원량 방법에 의해 적절한 적정어획사망계수의 추정이 가능할 것으로 판단된다.

또한 Beverton and Holt (1957)의 가입당 자원량 식에서 순간어획사망계수 (F)가 1.0/year 이상일 경우 가입당 생산량이 가입당 자원량보다 커지게 되는데 이는 어획에 의한 사망이 자연사망보다 현저하게 크기 때문으로 어획사망과 자연사망을 고려하여 추정된 가입당 자원량보다 어획에 의한 가입당 생산량이 더 크게 나타나게 된다. 이와 마찬가지로 Beverton and Holt (1957)의 가입당 자원량 식을 기반으로 한 가입당 산란자원량 방법의 경우에도 성숙비가 1.00 이상일 경우에는 순간어획사망계수 (F)가 1.0/year 이상일 때 가입당 생산량이 가입당 산란자원량보다 커지게 되며 성숙비가 1.00

미만일 경우에는 성숙비에 따라 가입당 생산량이 더 커지는 순간어획사망계수 (F)의 기준점이 조금 높아지게 된다.

연령별 선택비를 고려하지 않는 기존의 가입당 산란자원량 방법과 새로운 가입당 산란자원량 방법을 비교하였을 때, 성숙비가 1.00이 되는 연령 미만에서 어구가 가입이 이루어질 경우 두 방법에 의한 가입당 산란자원량의 차가 발생했으며 기존의 방법에서 곱해지는 성숙비와 새로운 방법에서 곱해지는 가중평균된 성숙비의 차이가 어구가입연령이 낮을수록 크게 나타나므로 가입당 산란자원량의 차이 또한 크게 나타났다. Zhang and Lee (2001)의 연구에서 기존방법에 의해 추정된 전갱이의 $F_{35\%}$ 는 1세 가입일 때 0.485/year로 추정되었으나 새로운 방법에 의해 재계산한 결과 0.383/year로 추정되었다. 또한 Park (2008)의 연구에서 추정된 조피볼락의 $F_{35\%}$ 의 값은 1세 가입일 때 0.350/year로 계산되었는데 기존의 방법을 통해 재계산한 결과 0.451/year로 나타났으며 새로운 방법에 의해 추정된 $F_{35\%}$ 는 0.320/year로 계산되었다. 기존의 방법에 의한 값이 다르게 나타났으나 이는 식 계산의 오류라 판단되며, 이 경우 역시 새로운 방법에 의한 $F_{35\%}$ 의 값이 기존 방법에 의한 값보다 더 낮게 추정되었다.

한국 연근해의 경우 대부분의 어종이 0~2세에 어구에 가입되고 성숙률이 낮음을 미루어볼 때 기존의 가입당 산란자원량 방법을 사용하여 산란자원량을 추정할 경우 오차가 크게 나타날 것이며 어구가입연령이 더 낮거나 성숙이 더딘 종의 경우 기존의 방법에 의해서는 더욱 과대 추정되어 남획의 위험이 있을 것으로 판단된다. 따라서 연령별 선택비의 정보가 있을 시에는 이산식의 참 값을 통해 추정되는 가입당 산란자원량 방법이 적합할 것이나 정보가 없을 시에는 연령별 선택비의 정보가 불필요한 가입당 산란자원량 방법 중 어구가입연령별로 정확한 가입당 산란자원량의 추정이 가능하고 이산식의 값과 유사하게 추정되는 새로운 가입당 산란자원량의 방법이 적합할 것이다.

요약

본 연구에서는 가입에 따른 산란자원량의 변화를 나타내어 가입남획을 방지하는 가입당 산란자원량 모델

(spawning biomass per recruit model)을 비교 분석하였다. 가입당 산란자원량 모델은 연령별 선택비를 고려하지 않는 (knife-edged selectivity) 방법과 연령별 선택비를 고려한 (age specific selectivity) 방법의 두 가지가 있으며 연령별 선택비를 고려하지 않는 방법의 경우 가입당 자원량의 식에 성숙비를 곱함으로써 가입당 산란자원량을 나타낼 수 있다. 하지만 기존의 가입당 산란자원량 추정 방법은 어구가입 이후의 모든 연령을 고려하지 않고 어구가입 연령의 성숙비만을 가입당 자원량에 곱함으로써 가입당 산란자원량을 계산하였다. 본 연구에서는 이를 수정하여 어구가입 이후의 모든 연령을 고려한, 즉, 연령별 자원량에 대해 가중평균된 성숙비를 가입당 자원량에 곱하여 가입당 산란자원량을 추정하였다. 한국 근해에서 유자망에 의해 어획되는 참조기자원을 대상으로 기존의 방법과 새로운 방법을 적용하여 추정된 가입당 산란자원량을 비교한 결과 어구가입연령의 성숙비가 1.00 이상에서는 가입당 산란자원량 차이가 없었다. 그러나 성숙비가 1.00 미만인 연령에서는 어구가입연령이 낮을수록 오차가 크게 나타났으며 기존 방법에 의해 가입당 산란자원량이 과소 추정되었고 어구가입연령별로 가입당 산란자원량의 오차 값을 비교하였을 때, 적게는 4세 때의 0.25 g에서 많게는 1세 때의 130.69 g만큼의 오차가 나타났다. 또한 연령별 선택비를 고려하지 않는 방법과 연령별 선택비를 고려한 방법을 통해 $F_{35\%}$ 를 비교한 결과 연령별 선택비를 고려하지 않는 방법 중 기존 방법에 의한 $F_{35\%}$ 가 0.349/year로 나타났으며 새로운 방법에 의한 $F_{35\%}$ 가 0.302/year로써 새로운 방법에 의한 값이 연령별 선택비를 고려한 방법에 의한 $F_{35\%}$ 인 0.320/year와 유사하게 추정되었다. 따라서 본 연구에서 제시된 새로운 가입당 산란자원량 방법은 대부분의 어구가입연령이 2세 미만으로 낮게 나타나는 한국 연근해 어종을 대상으로 가입당 산란자원량 모델을 통해 자원평가를 실시할 경우 가입당 산란자원량과 그에 따른 적정어획수준의 오차 값을 줄여줄 것이며 기존의 방법을 통한 $F_{35\%}$ 의 값은 과대 추정되어 남획의 위험이 있으므로 새로운 방법을 통해 적정어획수준을 추정하는 것이 옳다고 판단된다.

사 사

이 논문은 2015년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업 (R2015025)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Beverton RJH and Holt SJ. 1957. On the Dynamics of Exploited Fish Populations, Fishery Investigations, Series II, Marine Fisheries. Great Britain, Great Britain Ministry of agriculture, Fisheries and Food 19, 533pp.
- Cho SM and Jeong WG. 2007. Ecological study of shortnecked clam *Ruditapes philippinarum* from the Jindu coast of Hansan Island, Korea. *Kor J Malacol* 23(1), 25-30.
- Choi YM, Zhang CI, Lee JB, Kim JY and Cha HK. 2004. Stock assessment and management implications of chub mackerel, *Scomber japonicus* in Korean Waters. *J Kor Soc Fish Res* 6(2), 90-100.
- Jang SH, Ryu HS and Lee JH. 2011. Stock assessment and management implications of the Korean aucha perch (*Coreopercaherzi*) in freshwater. *Kor J Limnol* 44(2), 172-177.
- Ko JC, Yoo JT, Choi YM, Kim JW and Im YJ. 2008. Fisheries management of an abalone *haliotis diversicolor* in the Eastern Coastal Waters of Jeju Island using yield-per-recruit model. *Kor J Malacol* 24(2), 143-151.
- 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.
- Kwon DH. 2010. Population dynamics and stock assessment of *Macrophthalmus japonicus De Haan* in the Yellow Sea of Korea. Ph.D. Thesis. Pukyong National University, Korea, p. 118.
- Kwon YJ, Zhang CI, Pyo HD and Seo YI. 2013. Comparison of models for estimating surplus productions and methods for estimating their parameters. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.* 49(1), 018-028.
- Lee JB, Lee DW, Choi IS and Zhang CI. 2012. Forecasting biomass and recruits by age-structured spawner-recruit model incorporating environmental variables. *J Kor Soc Fish Tech* 48(4), 445-451.
- 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 JW. 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, 222-233.
- Lee SJ. 2011. Stock assessment of elkhorn sculpin (*Alcichthys alcicornis*) along the Uljin area of Korea. Master's Thesis, Pukyong National University, Korea, p. 60.
- Park KD. 2008. Population ecology of black rockfish *Sebastes schlegelii* in Tongyeong marine ranching area. Ph.D. Thesis. Pukyong National University. Korea, p. 141.
- Park YC and Choi KS. 2002. Growth and carrying capacity of pacific oyster, *crassostrea gigas*, in Kamak Bay, Korea. *Korean J Environ Biol* 20(4), 378-385.
- Pauly D. 1984. Length-converted catch curves. A powerful tool for fisheries research in the tropic (Part 2). *ICLARM Fishbyte* 2, 9-10.
- Seo YI and Zhang CI. 2001. A Study on the multi-gear and multi-species fisheries assessment models in Korean Waters. *J Kor Fish Soc* 34(4), 355-358.
- 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. 1991. Fisheries Resources Ecology. Woosung Publishing Co, Seoul, Korea, 1-399.
- Zhang CI. 2010. Fisheries Science Series #1. Marine Fisheries Resources Ecology. Pukyong National University Press, Busan, Korea, 1-561.
- Zhang CI, Kim SA and Yoon SB. 1992. Stock assessment and management implications of small yellow croaker in Korean Waters. *Bull Kor Fish Soc.* 25, 282-290.
- Zhang CI and Lee JB. 2001. Stock assessment and management implications of horse mackerel in Korean Waters, based on the relationships between recruitment and the ocean environment. *Prog. Oceanogr.*, 49, 513-537.
- Zhang CI and Megrey BA. 2006. A revised Alverson and Carney model for estimating the instantaneous rate of natural mortality. *Trans Amer Fish Soc* 135(3), 620-633.

2015. 09. 17 Received

2015. 11. 24 Revised

2015. 11. 26 Accepted