



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 석 사 학 위 논 문

수산자원 관리를 위한 가입당
산란자원량 모델의 비교 분석



2015년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 물 리 학 과

이 은 지

이 학 석 사 학 위 논 문

수산자원 관리를 위한 가입당 산란자원량 모델의 비교 분석

지도교수 장 창 익

이 논문을 석사학위논문으로 제출함.

2015년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 물 리 학 과

이 은 지

이은지의 이학석사 학위논문을 인준함.

2015년 2월 27일



위 원 장 이학박사 서 영 일 (인)

위 원 이학박사 박 희 원 (인)

위 원 이학박사 장 창 익 (인)

목 차

Abstract.....	1
서 론.....	4
자료 및 방법.....	8
1. 자원생태학적 특성치의 추정.....	8
1.1 체장-체중 관계식.....	8
1.2 성장계수.....	8
1.3 사망계수.....	11
1.4 어장가입연령 및 어획개시연령.....	13
1.5 성숙비.....	14
1.6 선택비.....	14
2. 가입당 산란자원량 모델의 비교.....	15
2.1 가입당 산란자원량의 기초적 이론.....	15
2.2 연령별 선택비를 고려하지 않는 가입당 산란자원량 모델.....	24
2.3 연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량 모델.....	27

결 과	28
1. 자원생태학적 특성치의 추정	28
1.1 체장-체중 관계식	28
1.2 성장계수	30
1.3 사망계수	30
1.4 어장가입연령 및 어획개시연령	32
1.5 성숙비	34
1.6 선택비	34
2. 가입당 산란자원량 모델의 비교	36
2.1 연령별 선택비를 고려하지 않는 가입당 산란자원량 모델의 비교 ...	36
2.2 연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량 모델과 연령별 선택비를 고려하지 않는 가입당 산란자원량 모델의 비교	49
고찰	53
요약	58
감사의 글	60
참고문헌	61

A study on the comparison of spawning biomass per recruit analyses for fisheries management

Eun Ji Lee

*Department of Marine Production System Management, The Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

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. Spawning biomass per recruit was under-estimated when using the old knife-edged selectivity model and the error ranged from 0.61g for the age 4 to 130.69g for the age 1 when comparing with the new knife-edged selectivity model. Also 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.

In conclusion, the new knife-edged selectivity model could be considered as

more proper spawning biomass model than the old knife-edged selectivity model for the analysis of spawning biomass per recruit in stock assessment, since over-estimation of $F_{35\%}$ can lead to overfishing of fish stocks.



서 론

전통적인 수산자원의 평가와 관리는 개체군 수준에서 이루어져 왔으며 대표적인 수산자원 평가모델로는 잉여생산량 모델 (surplus production model), 재생산 모델 (reproduction model), 가입당 생산량 모델 (yield per recruit model)의 세 가지가 있다 (Zhang, 2010). 잉여생산량 모델은 생물생체량의 재생산률과 어획률을 파악하여 자원을 평가하는 모델로써 자원크기와 그 자원이 생산하는 잉여생산량과의 관계를 규명하는 것이 목적이다. 재생산 모델은 어류자원의 크기와 매년 그 자원에 가입되는 가입량 간의 관계를 파악하는 모델이며 성어 자원량에 따른 가입의 과정은 어류 개체군을 조절하는 중요한 요소가 된다. 가입당 생산량 모델은 가입에 따른 생산량의 변화를 추정하는 모델로써 성장남획의 억제를 통해 가입 자원으로부터 얻을 수 있는 어업수익의 최대화를 관리 목표로 하여, 성장남획의 지표로써 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 et al. (2011) 등의 연구가 있다. 또한 가입당 산란자원량 모델을 사용한 자원평가 연구로는 다종자원의 $F_{x\%}$ 를 추정한 Seo and Zhang (2001)의 연구와

전갱이의 $F_{35\%}$ 를 추정한 Zhang and Lee (2001)의 연구, 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. 이 중 두
번째 방법이 연령별 선택비의 정보를 불필요로 할 뿐만 아니라
연속함수의 형태로써 계산이 간편하여 흔하게 사용되며 가입당
산란자원량은 가입당 자원량에 성숙비를 곱함으로써 나타낼 수 있다.
이 방법을 사용한 기존의 자원평가 연구에서는 가입당 산란자원량을
가입당 자원량과 어구가입 연령의 성숙비만을 곱함으로써 나타내었다.
하지만 여기서의 어구 가입은 가입에 해당하는 그 연령뿐만 아니라
가입 이후의 연령 모두를 포함하는 개념이므로 가입당 자원량에
성숙비를 곱할 시에 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 새로운 가입당 산란자원량 모델을 검증하기 위하여 한국 근해 유자망 어업에 의해 어획되는 참조기 자원에 적용시켜 적정순간어획사망계수를 추정하였다. 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 $F_{35\%}$ 값과 비교 분석하였다.



자료 및 방법

1. 자원생태학적 특성치의 추정

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

1.1 체장-체중 관계식

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

1.2 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 연령조성 자료 중 가장 고연령인 10세를 사용하였다 (Table 1). 이론적최대체중 (W_{∞})은 이론적최대체장 (L_{∞})인 37.11 cm로부터 1.1의 체장-체중 관계식을 통해 추정하였다.

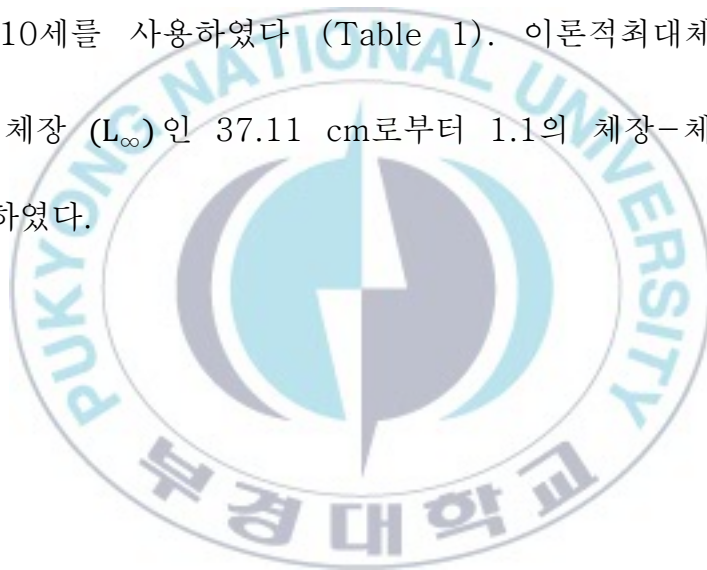


Table 1. Quoted estimates for growth parameters

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



1.3 사망계수

사망계수 중 순간전사망계수 (Z)는 Lee et al. (2013)에서 사용된 2010~2012년 유자망 어업에 의한 어획물의 연령조성 자료 (Table 2)를 사용하여 Pauly 방법을 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.

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

여기서 β 는 체장-체중 관계식의 계수, t_{mb} 는 $C_i \times t_L$ 이며 t_L 은 최대연령, C_i 는 상수로서 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 표영성 어종과 60종의 저서성 어종 등 총 91종의 생활사 특성치를 사용하여 구해진 값이다. 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).

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

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

1.4 어장가입연령 (t_r) 및 어획개시연령 (t_c)

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

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

여기서 L_{∞} 는 이론적최대체장, K 는 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 실제어획개체수와의 비를 사용하여 50% 어구가입연령을 추정하였다.

1.5 성숙비 (m_t)

국립수산과학원에서 매월 실시하는 어체측정조사 자료 중 2013년 참조기의 주 산란기 (4~6월) 자료를 사용하여 성숙비를 계산하였다. 주 산란기 (4~6월)에 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.

1.6 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.

2. 가입당 산란자원량 모델의 비교

2.1 가입당 산란자원량의 기초적 이론

산란자원량 (spawning stock biomass)은 자원량 중 산란이 가능한, 즉, 재생산이 가능한 자원량을 뜻하며 자원량에 각 연령별 성숙비를 곱함으로써 계산이 가능하다. 자원량은 자원 개체수에 중량을 곱함으로써 나타낼 수 있는데 이를 연령별 식으로 나타내면, 자원 개체수는 $N_t = N_0 \cdot \{\exp -(M + F)\}t$ 이고, 체중은 von Bertalanffy의 체중 성장식인 $W_t = W_{\infty}[1 - \exp\{-K(t - t_0)\}]^3$ 로 나타낼 수 있으므로 자원량은 $B_t = N_0 \cdot \exp -(M + F)t \cdot W_{\infty}[1 - \exp\{-K(t - t_0)\}]^3$ 가 된다. 만약 0세일 때 참조기 자원의 개체수가 1000미이고 어획은 없으며 ($F=0$) 순간자연사망계수 (M)가 0.3/year일 때, 각 연령별 성숙비를 $m_0 = 0.00, m_1 = 0.10, m_2 = 0.20, m_3 = 0.40, m_4 = 0.60, m_5 = 0.80, m_6 = 1.00, m_7 = 1.00, m_8 = 1.00, m_9 = 1.00, m_{10} = 1.00$ 으로 가정하면 참조기의 연령별 자원 개체수와 중량, 그에 따른 자원량과 산란자원량의 변화는 Fig. 1과 같이 나타난다.

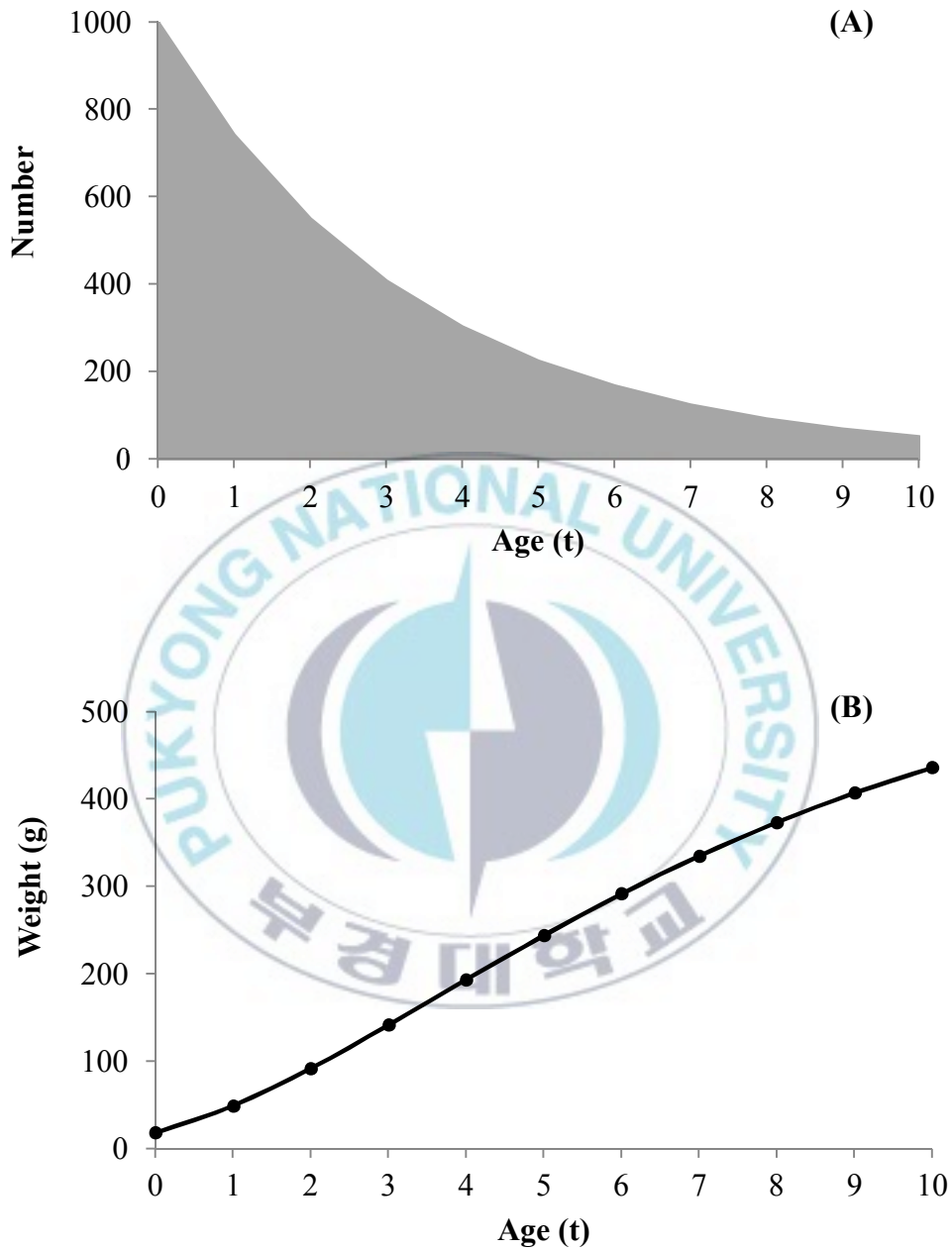


Fig. 1. Number, weight, biomass and spawning biomass at age. (continue)

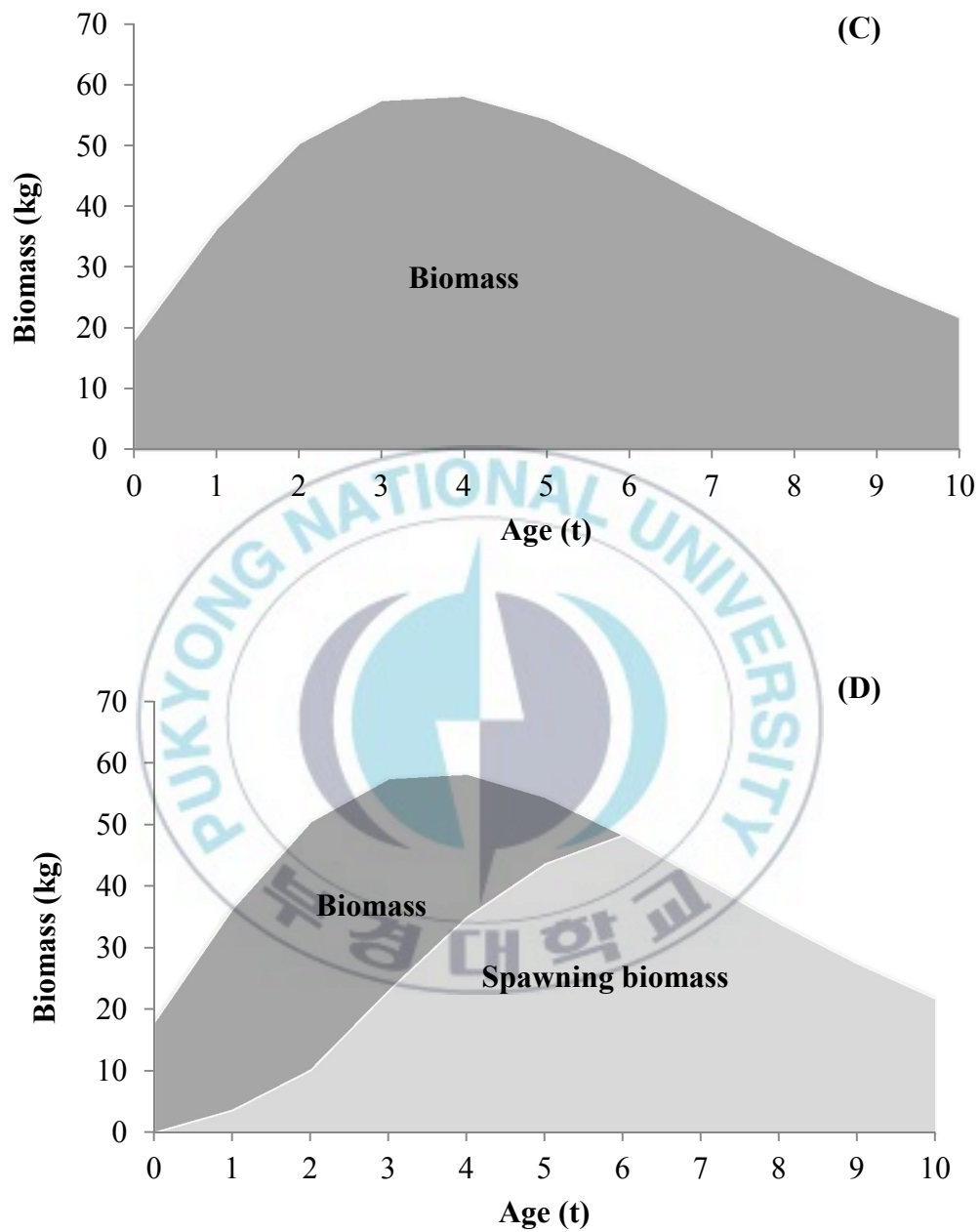


Fig. 1. Number, weight, biomass and spawning biomass at age.

Fig. 1의 (A)에서 자원 개체수는 연령이 증가함에 따라 자연사망에 의해 지수함수적으로 감소하며, 연령별 체중은 von Bertalanffy 성장식에 의해 (B)와 같이 증가한다. 자원량은 자원 개체수와 중량을 곱함으로써 나타내므로 연령이 증가함에 따라 어느 수준까지는 증가하다 감소하는 형태로 (C)와 같이 나타난다. 산란자원량은 자원량 중 산란 가능한 자원을 뜻하므로 각 연령별 성숙비를 자원량에 곱해줌으로써 (D)와 같이 나타낼 수 있다. 이 산란자원량을 자원량과 비교해보면 성숙비가 1미만인 0~5세에서는 성숙비에 따라 차이가 발생하며 성숙비가 1.00인 6세 이상에서는 자원량과 산란자원량이 같게 나타나게 된다.

또한 위와 같은 가정 하에서 어획이 이루어지되 그 어획의 수준이 낮고 ($F=0.1/\text{year}$) 어획개시연령은 0세일 때, 연령별 자원 개체수와 중량, 그에 따른 자원량과 산란자원량의 변화는 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

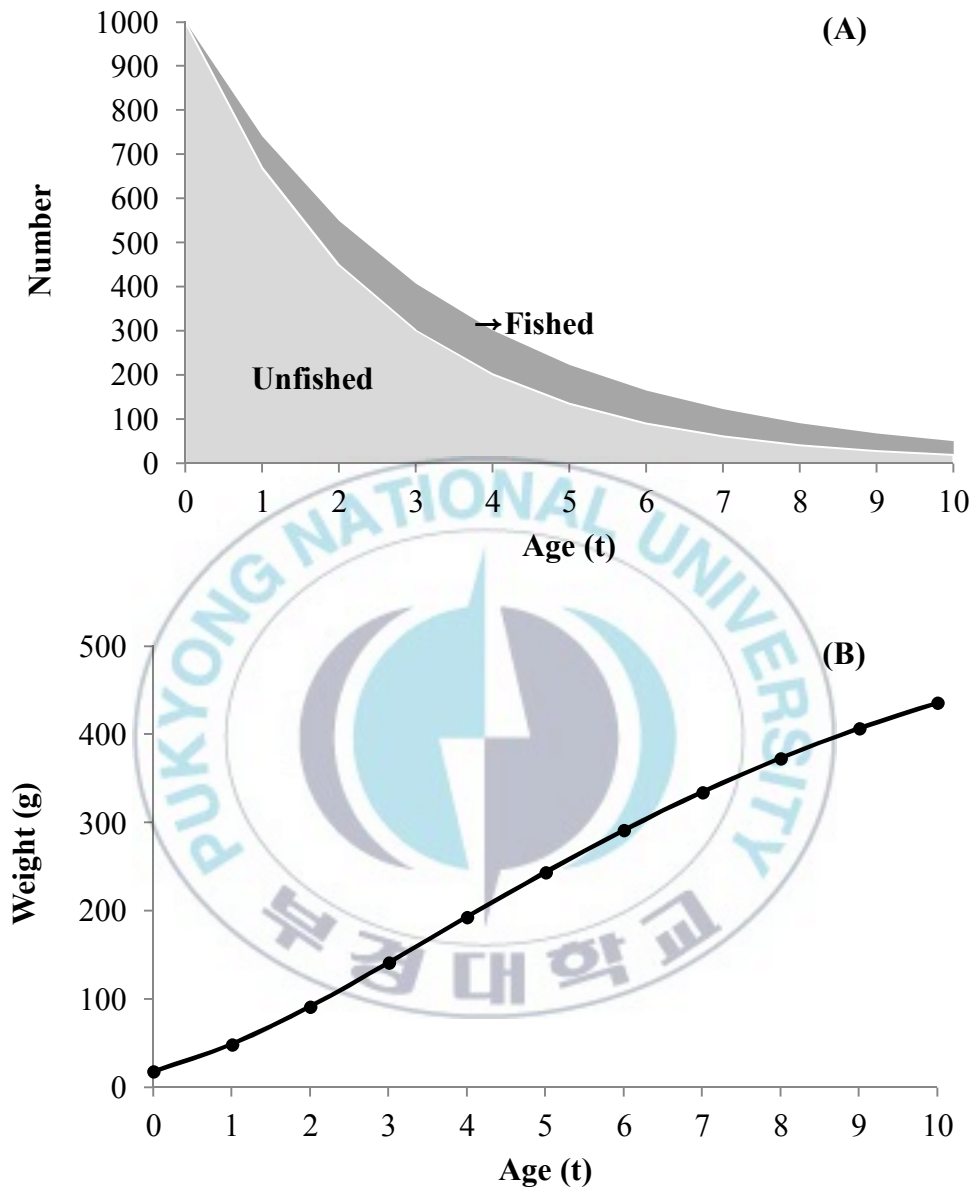


Fig. 2. Number, weight, biomass and spawning biomass per age when $F=0.1/\text{year}$ and $t_c = 0$. (continue)

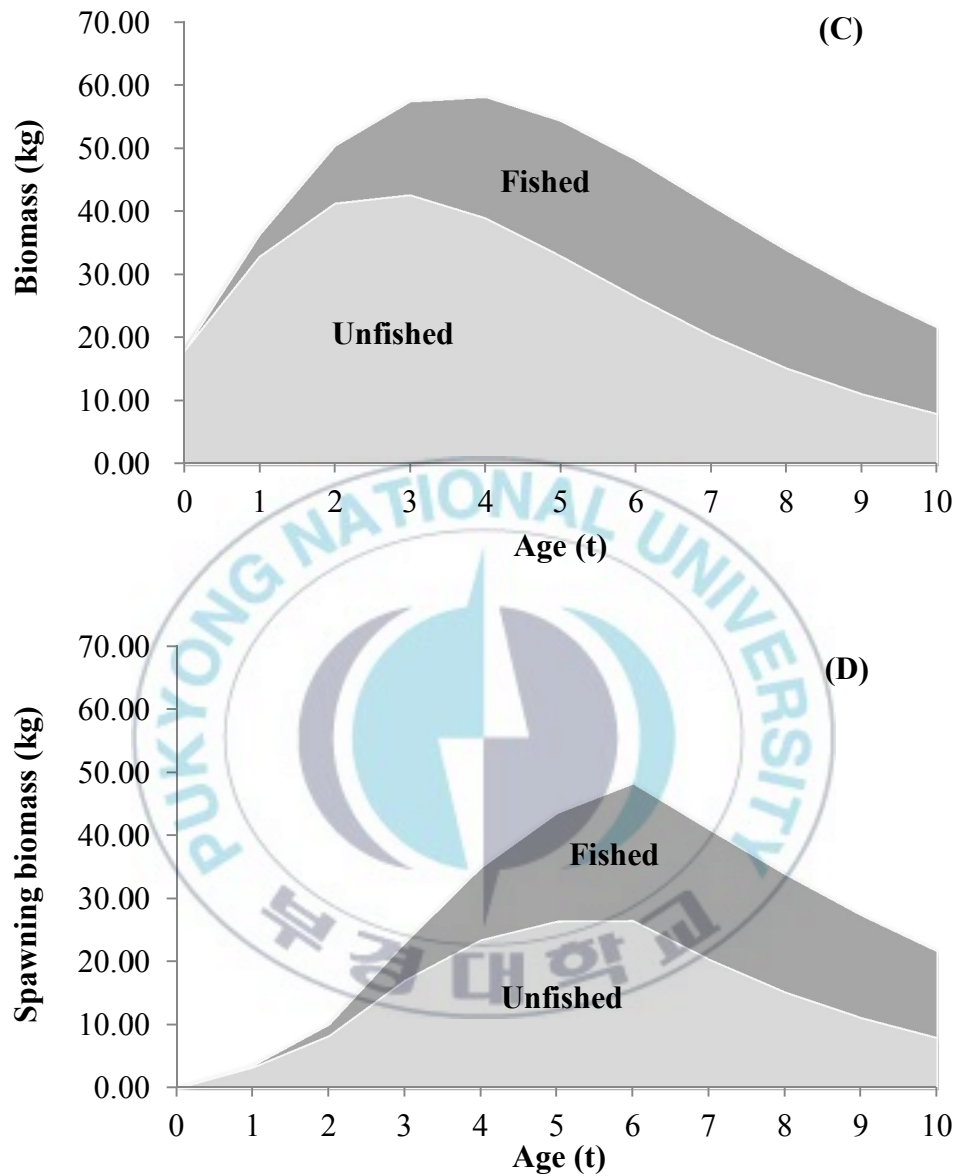


Fig. 2. Number, weight, biomass and spawning biomass per age when $F=0.1/\text{year}$ and $t_c = 0$.

Fig. 2에서 자원 개체수는 자연적 요인뿐만 아니라 낮은 수준의 어획 ($F=0.1/\text{year}$)에 의해 감소하게 되며 어획이 없을 때의 자원량과 비교하였을 때, 어획된 개체수를 뜻하는 (A)의 음영부분을 제외한 양만큼 자원개체수가 남게 된다. (C)의 자원량 역시 자연적 요인뿐만 아니라 어획에 의해 감소하게 되며 자원 개체수가 어획에 의해 감소한 만큼 그 중량에 따라 자원량은 약 36% 감소하게 된다. 자원량 중 성숙한 개체만의 중량을 나타내는 산란자원량 또한 (D)와 같이 어획에 의해 감소된다. 이와 같이 어획이 존재하지만 그 어획수준이 낮은 경우 ($F=0.1/\text{year}$)의 산란자원량은 어획이 없을 때 ($F=0$)의 산란자원량의 약 56% 수준으로써 큰 감소를 나타내지 않는다.

하지만 어획수준이 높은 경우 ($F=0.5/\text{year}$)에는 자원 개체수와 중량, 자원량과 산란자원량의 변화가 Fig. 3과 같이 나타난다. 순간어획사망계수 (F)가 $0.5/\text{year}$ 인 경우, 자원 개체수는 어획에 의해 Fig. 3 (A)의 음영부분만큼 감소하게 된다. 자원량 역시 (C)와 같이 어획에 의해 대폭 감소하게 되며 감소량은 약 80%로 나타났다. (D)의 산란자원량 또한 어획에 의한 감소량이 매우 컸으며 $F=0.5/\text{year}$ 일 때의 어획되고 남은 산란자원량은 어획이 없을 때의 산란자원량과 비교하였을 때 약 8%로써 매우 낮게 나타났다. 이와 같이 어획수준이 높은 경우 재생산을 위한 산란자원량이 급격하게 감소하게 되며 어획이 없을 때의 산란자원량과 비교하였을 때 그 차가 크게 나타난다.

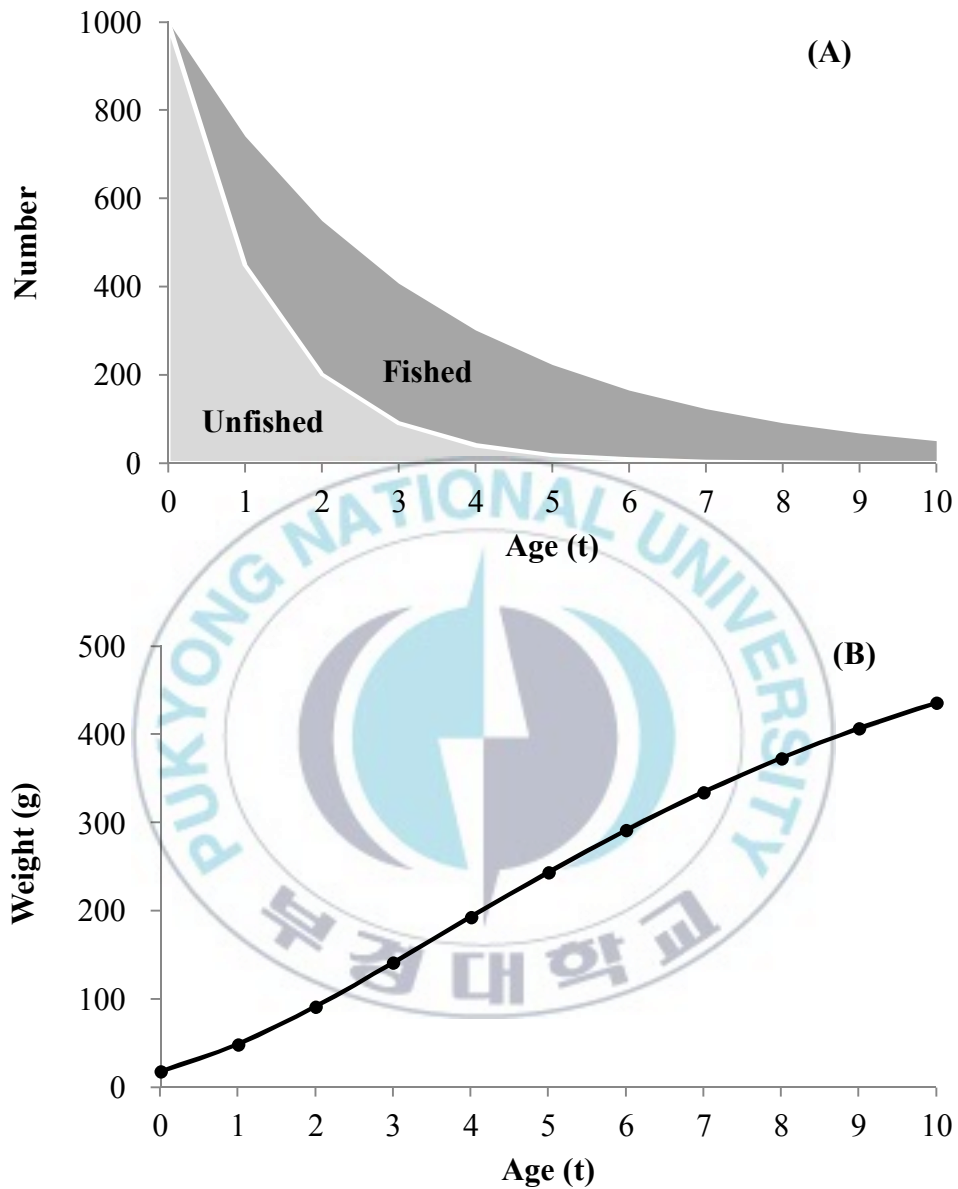


Fig. 3. Number, weight, biomass and spawning biomass per age when $F=0.5/\text{year}$ and $t_c = 0$. (continue)

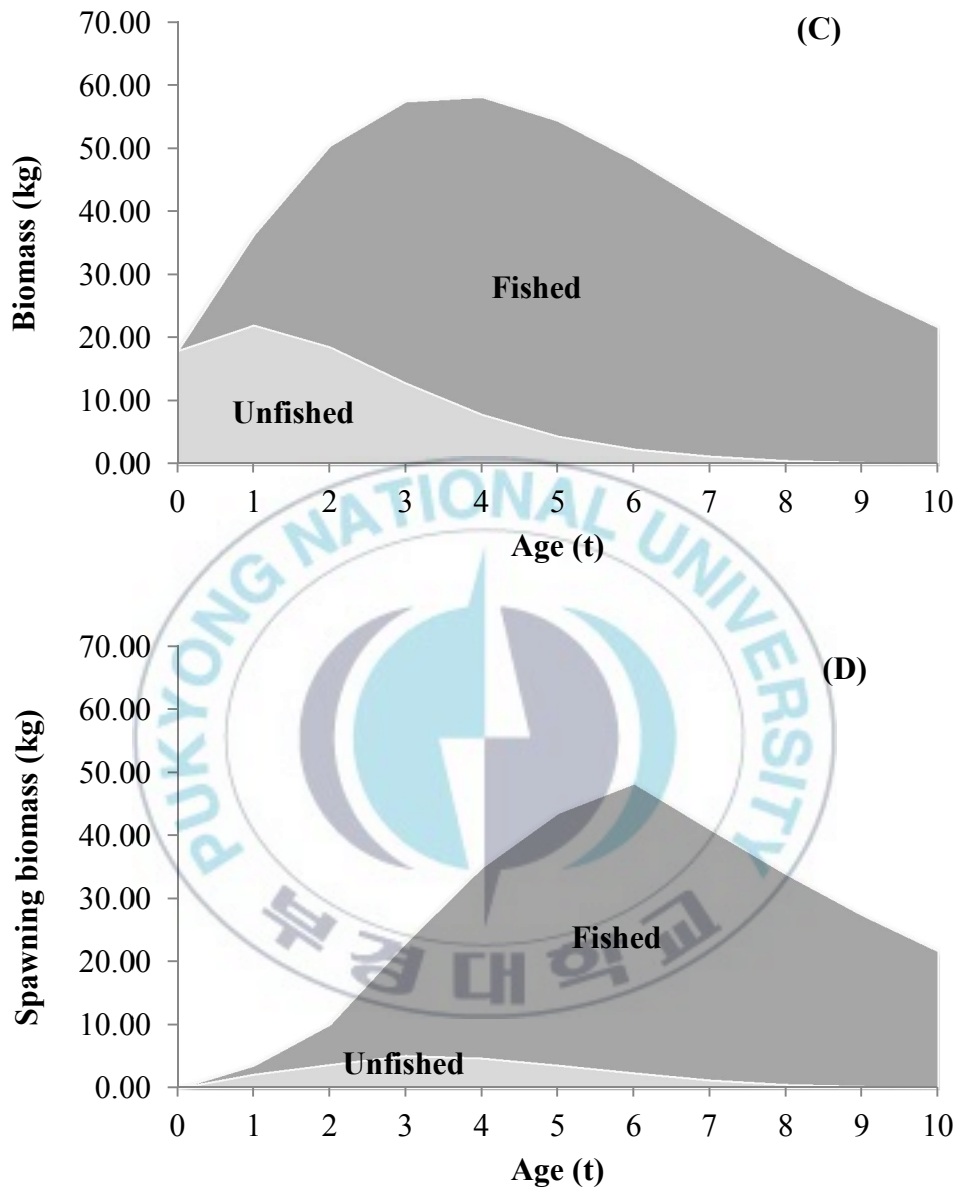


Fig. 3. Number, weight, biomass and spawning biomass per age when $F=0.5/\text{year}$ and $t_c = 0$.

2.2 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 모델은 Beverton and Holt (1957)의 가입당 자원량을 나타내는 식 (3)에 어구 가입에 해당하는 연령의 성숙비 (m_t)를 곱함으로써 식 (4)와 같이 나타내었다.

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

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

여기서 M 은 순간자연사망계수, t_c 는 어구가입연령, t_r 은 어장가입연령, W_{∞} 는 이론적최대체중, K 는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때 이론적연령,

F는 순간어획사망계수, t_L 은 최대연령, m_t 는 연령 t 의 성숙비를 뜻한다.

하지만 여기서 가입은 어구 가입에 해당하는 연령뿐만 아니라 가입 이후의 모든 연령을 포함하는 개념이므로 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 (t_c) 이후부터 최대연령 (t_L) 까지 각 연령별 성숙비의 가중평균 값을 식 (6)과 같이 나타내었다.

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

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

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.

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

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 하였다.

2.3 연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량 모델

연령별 선택비를 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.

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

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 $N_t = N_{t-1} \cdot \exp(-M)$, $N'_t = N'_{t-1} \cdot \exp\{-(M + F_{x\%} \cdot S_t)\}$ 이다. m_t 는 연령 t 의 성숙비, W_{∞} 는 이론적최대체중, K 는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때 이론적연령이며 $F_{x\%}$ 는 어획이 없을 때 산란자원량의 $x\%$ 가 되는 순간어획사망계수, S_t 는 연령 t 의 선택비를 뜻한다.

이 모델을 통해 추정이 가능한 걱정어획수준 역시 $F_{35\%}$ 를 기준으로 하였으며 Excel solver를 통해 $F_{35\%}$ 를 만족시키는 순간어획사망계수 ($F_{x\%}$)를 추정하였다.

결 과

1. 자원생태학적 특성치

1.1 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. 4와 같이 나타났다. Lee et al. (2000)에서 추정된 체장-체중 관계식인 $TW = 0.0049TL^{3.2153}$ 과 비교하였을 때, 관계식의 기울기를 나타내는 β 값은 다소 증가함을 나타냈다.

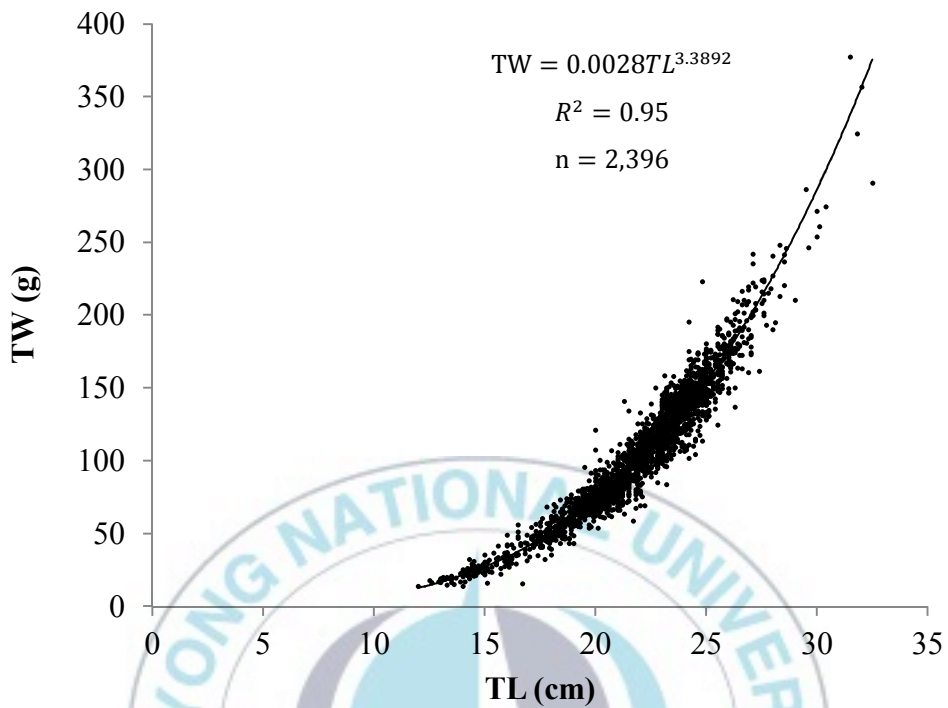


Fig. 4. Curvilinear relationship of total weight (TW) with the total length (TL).

1.2 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 37.11cm로부터 1.1의 2012년 목포해역에서 유자망에 의해 어획된 참조기의 체장-체중 관계식인 $TW = 0.0028TL^{3.3892}$ 을 통해 584.09g으로 계산되었다.

1.3 사망계수

Table 2의 2010~2012년 한국 근해 유자망 어업에 의해 어획된 참조기의 연령조성자료를 사용하여 Pauly 방법을 통해 어구 가입 이후의 어획물을 대상으로 추정한 순간전사망계수 (Z)는 1.611/year로 나타났다 (Fig. 5).

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.

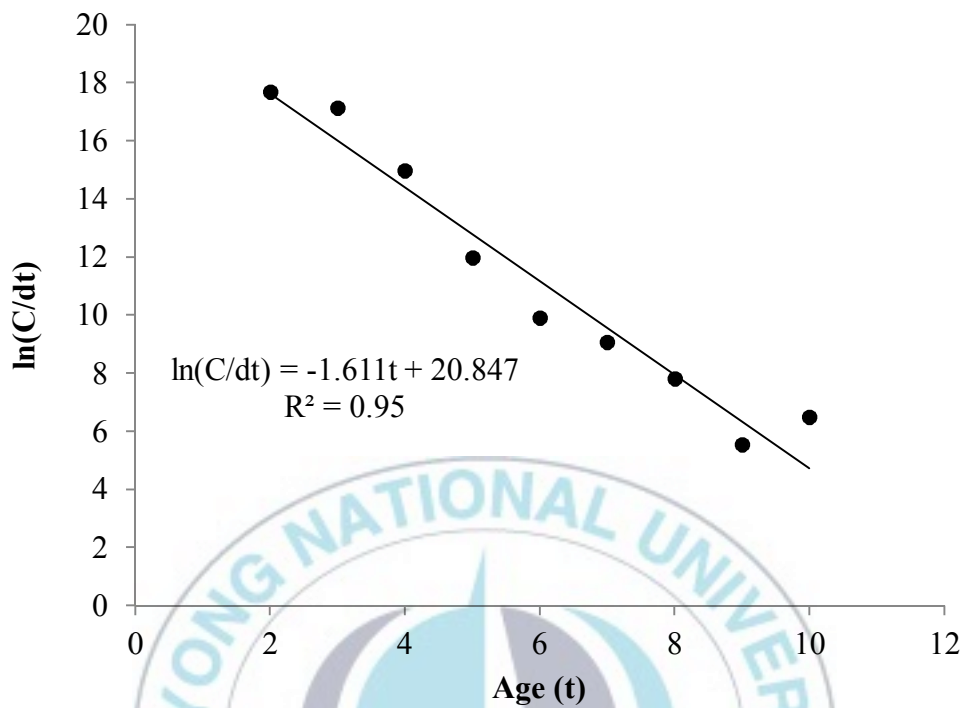


Fig. 5. Estimation of total mortality (Z) of small yellow croaker by Pauly method.

1.4 어장가입연령 (t_r) 및 어획개시연령 (t_c)

Lee et al. (2013)의 연구에서 근해 유자망 어업에 의해 어획된 참조기의 체장조성자료 중 최소체장인 12cm에 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 실제어획개체수와를 비를 사용하여 50% 어구가입연령을 추정한 결과 어획개시연령은 1.443세로 추정되었다 (Fig. 6).

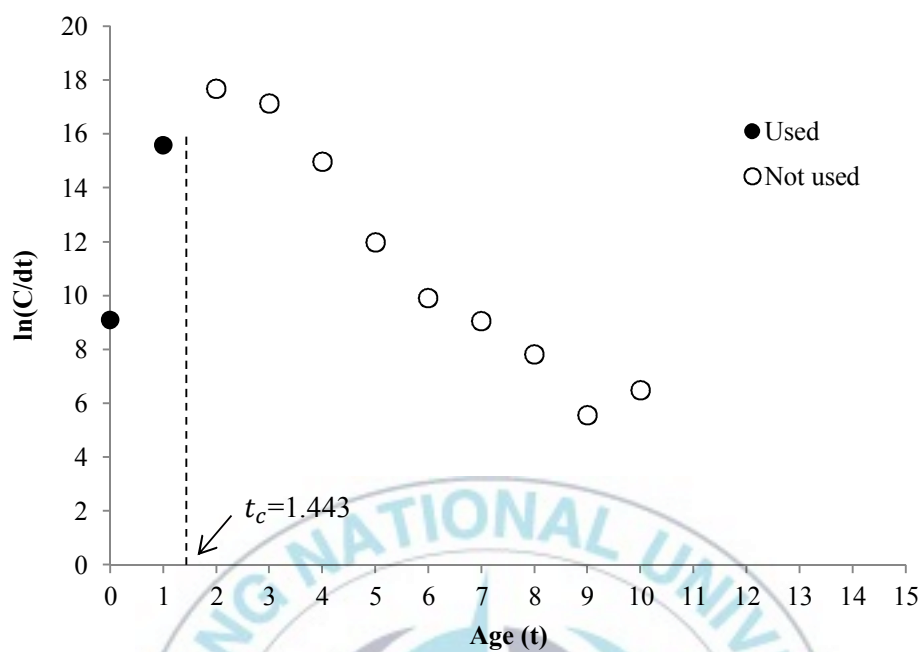


Fig. 6. Estimation of the age at first capture of the small yellow croaker by Pauly method.

1.5 성숙비 (m_t)

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

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

1.6 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.

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

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

Age (t)	m_t	S_t
0	0.00	0.000007
1	0.67	0.026342
2	0.81	0.989368
3	0.96	0.999997
4	0.98	1.000000
5	1.00	1.000000
6	1.00	1.000000
7	1.00	1.000000
8	1.00	1.000000
9	1.00	1.000000
10	1.00	1.000000

2. 가입당 산란자원량 모델의 비교

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

연령별 선택비를 고려하지 않는 (knife-edged selectivity) 가입당 산란자원량 모델의 기존 방법에서는 가입당 자원량의 식에 어구 가입에 해당하는 연령의 성숙비만을 곱함으로써 가입당 산란자원량을 나타내었다. 반면에 본 연구에서 새롭게 제시한 가입당 산란자원량의 식은 가입당 자원량의 식에 어구 가입 이후의 모든 연령을 고려한, 즉, 어구가입 이후의 자원량에 대해 가중평균된 성숙비를 곱함으로써 나타내었다. 가입당 자원량의 식에 곱해지는, 기존 방법에 사용된 한국 근해 참조기의 각 연령별 성숙비와 새로운 방법에 사용되는 가중평균된 성숙비를 비교하여 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 1.0이 되는 5세 미만에서 어구가입이 이루어질 경우 각 연령별로 성숙비와 가중평균된 성숙비의 차가 나타났으며 가입 연령이 낮을수록 그 차가 크게 나타났다.

Table 4. Comparison between age specific m_t and weighted average m_t by t_c of small yellow croaker

t_c	m_t	Weighted average m_t
0	0.00	0.909
1	0.67	0.944
2	0.81	0.968
3	0.96	0.990
4	0.98	0.996
5	1.00	1.000
6	1.00	1.000
7	1.00	1.000
8	1.00	1.000
9	1.00	1.000

또한 연령별 선택비를 고려하지 않는 기존의 가입당 산란자원량 방법과 새로운 방법에 의한 가입당 산란자원량의 변화를 비교한 결과 Table 5와 같이 나타났다. 어획사망계수 (F)와 어획개시연령 (t_c)별로 기존 방법에 의한 가입당 산란자원량의 값이 과소 추정되었으며 새로운 방법과 비교하였을 때 0.61~130.69g의 오차를 나타냈다. 가입당 산란자원량의 값 역시 성숙비가 1.0이 되는 5세 미만에서 기존의 방법과 새로운 방법에 의한 차이가 나타나며 순간어획사망계수와 어구가입연령이 낮을수록 그 차가 크게 나타났다.



Table 5. Comparison of spawning biomass per recruit by fishing mortality (F) and the age at first capture (t_c) 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 고려하지 않는 가입당 산란자원량 모델의 기존 방법과 새로운 방법의 명확한 비교를 위하여 순간어획사망계수 (F)와 연령별 성숙비 (m_t) 를 가정하여 두 방법을 비교하였다. 순간어획사망계수 (F)는 0.2/year로 가정하였으며 연령별 성숙비는 $m_0 = 0.00$, $m_1 = 0.10$, $m_2 = 0.20$, $m_3 = 0.40$, $m_4 = 0.60$, $m_5 = 0.80$, $m_6 = 1.00$, $m_7 = 1.00$, $m_8 = 1.00$, $m_9 = 1.00$, $m_{10} = 1.00$ 으로 가정하였다. 이 가정을 바탕으로 하여 Beverton and Holt (1957)의 연령별 자원량 식 (식 5)에 성숙비를 곱하여 어구가입연령별 가입당 자원량과 연령별 가입당 산란자원량의 기존 방법과 새로운 방법의 가입당 산란자원량을 Fig. 7과 같이 비교하였다.

Fig. 7에서 (A)~(F)는 어구가입연령이 1~6세일 때의 연령별 자원량과 산란자원량을 나타낸다. (A)에서 기존의 가입당 산란자원량 모델을 사용하여 연령별 산란자원량을 추정할 경우 어구가입연령인 1세의 성숙비만 각 연령별 자원량에 곱해지므로 실제 산란자원량보다 과소 추정된다. 하지만 새로운 방법을 통해 계산된 연령별 산란자원량은 각 연령별 자원량에 모든 연령의 성숙비를 고려하므로 비교적 정확하게 추정된다. Table 6은 어구가입연령별 새로운 방법에 의한 산란자원량과 기존의 방법에 의한 산란자원량의 차이를 나타내며 Fig. 7에서 나타나는 것과 같이 성숙비가 1.0이 되는 6세 미만에서 가입당 산란자원량의 기존 방법과 새로운 방법에 의한 차가

나타났으며 어구가입연령이 낮을수록 차이의 폭이 크게 나타났다. 6세 이상의 연령에서는 모든 연령의 성숙비가 1.0이 되므로 가입당 자원량과 두 방법에 의한 가입당 산란자원량이 같게 나타났다.



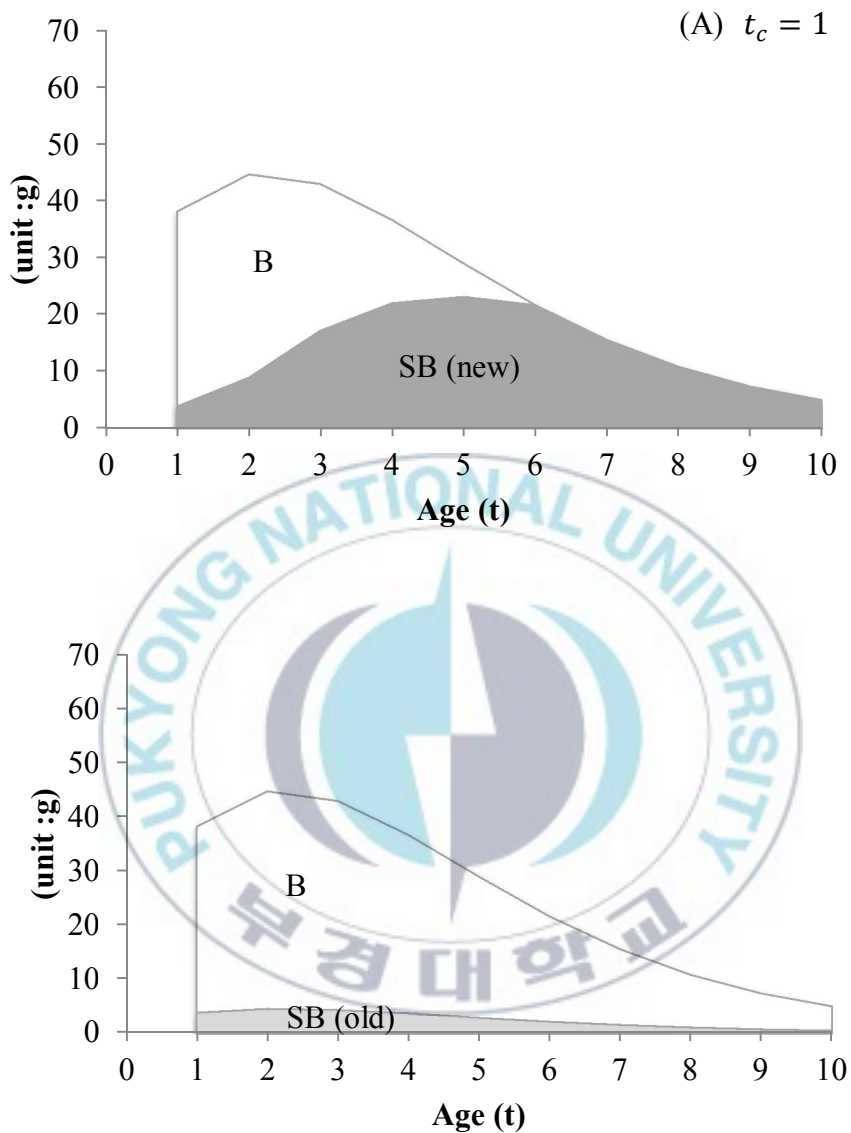


Fig. 7. Comparison of spawning biomass per recruit between old method and new method by age at first capture (t_c). (continue)

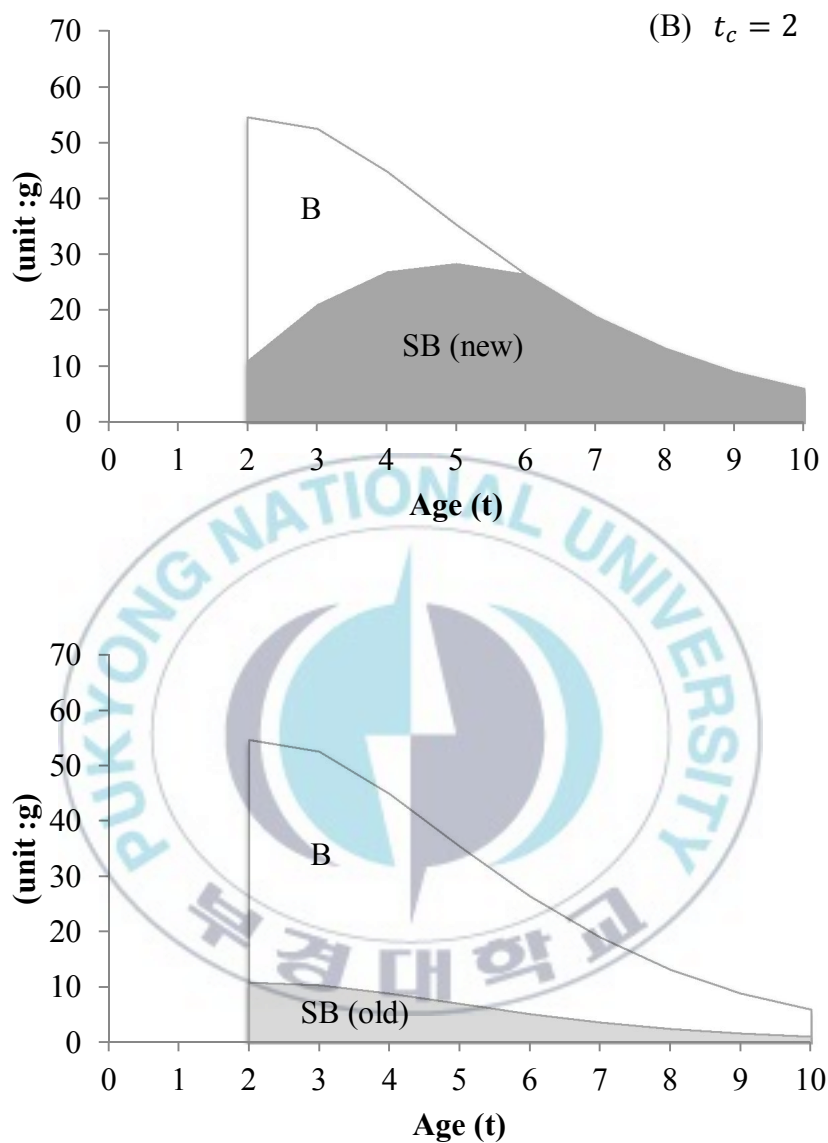


Fig. 7. Comparison of spawning biomass per recruit between old method and new method by age at first capture (t_c). (continue)

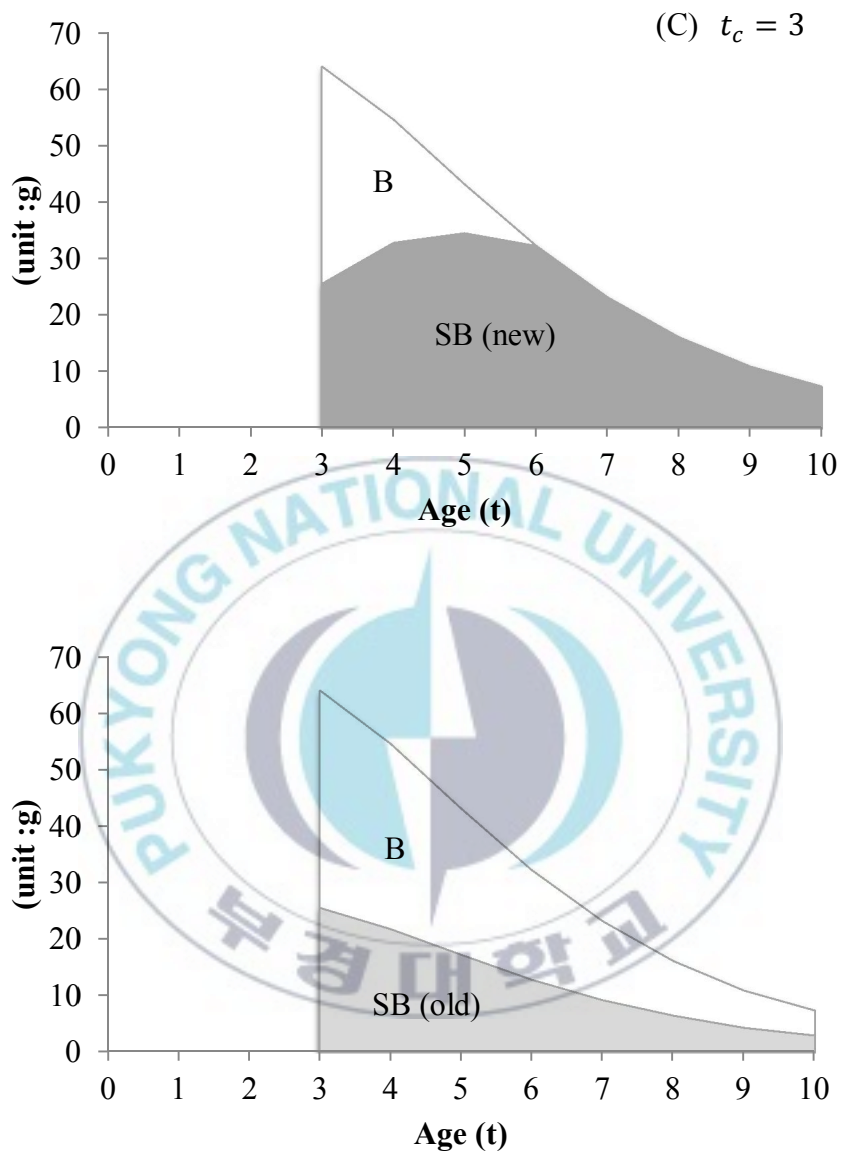


Fig. 7. Comparison of spawning biomass per recruit between old method and new method by age at first capture (t_c). (continue)

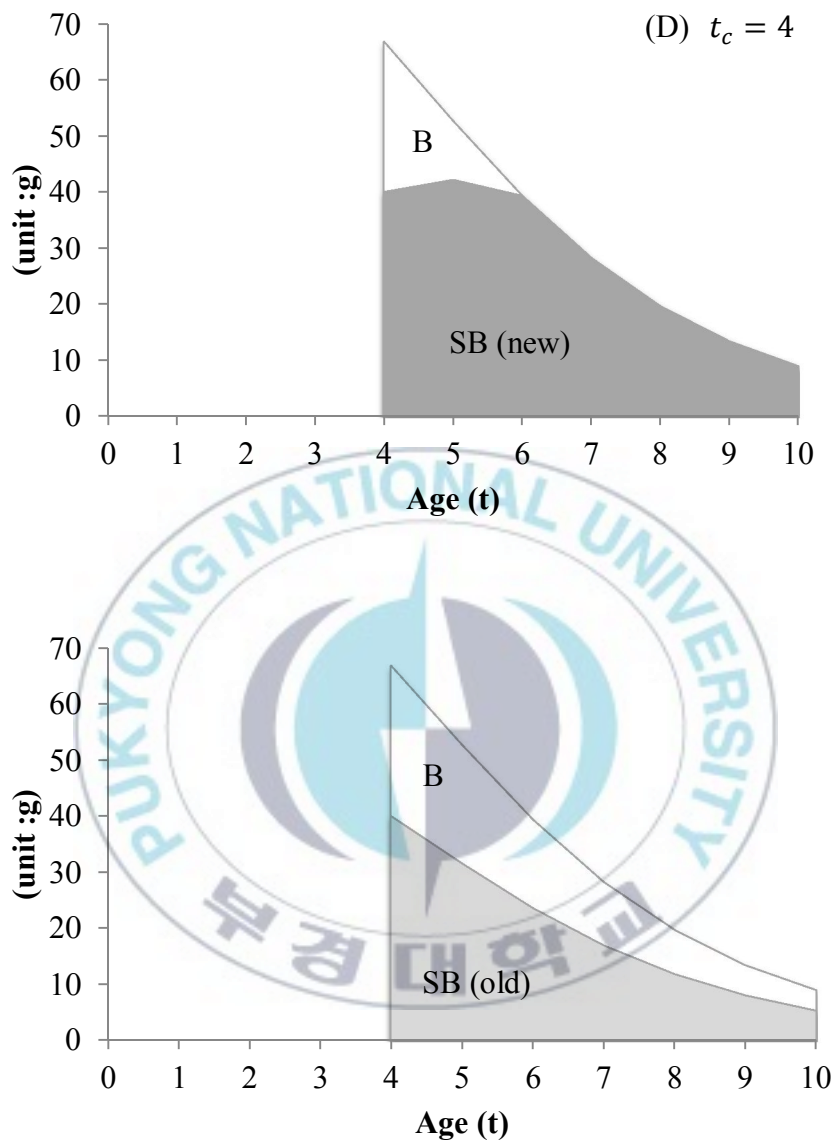


Fig. 7. Comparison of spawning biomass per recruit between old method and new method by age at first capture (t_c). (continue)

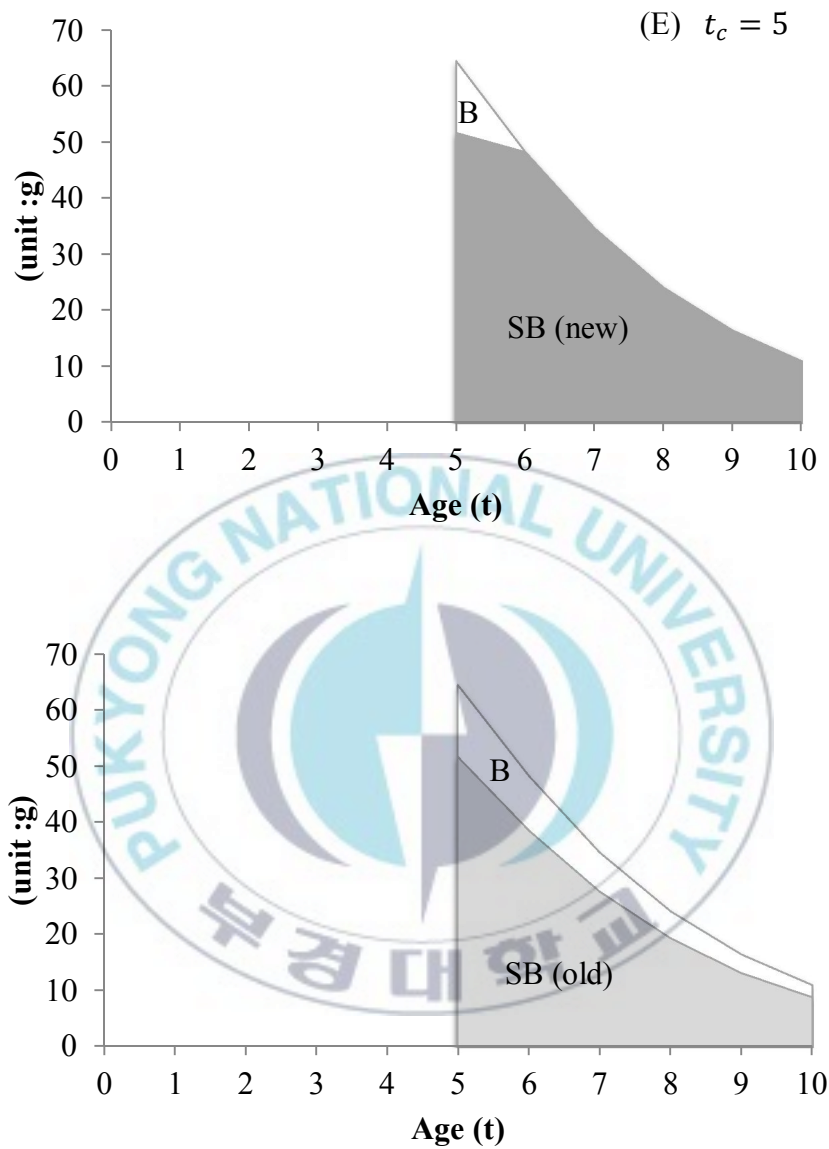


Fig. 7. Comparison of spawning biomass per recruit between old method and new method by age at first capture (t_c). (continue)

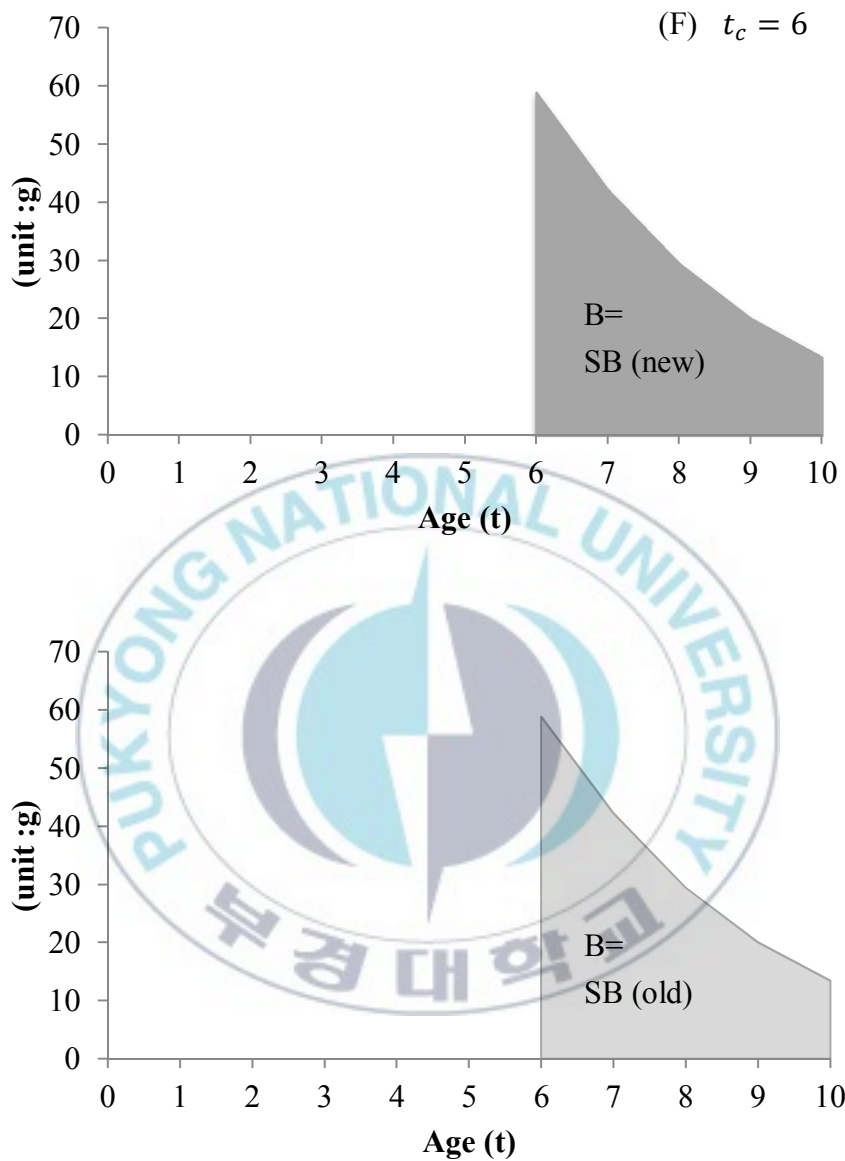


Fig. 7. Comparison of spawning biomass per recruit between old method and new method by age at first capture (t_c).

Table 6. Comparison of spawning biomass per recruit (g) between old method and new method by age at first capture (t_c)

t_c	Old method	New method	Percentage error (%)
1	25.2	135.5	81.4
2	52.2	160.8	67.5
3	100.8	183.1	44.9
4	137.8	192.3	28.4
5	159.0	185.8	14.4
6<	164.0	164.0	0.0

2.2 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 7과 같이 나타났다. 연령별 선택비를 고려한 가입당 산란자원량 모델의 경우 연령별 어구에 가입되는 어획비를 고려하여 이산식을 통해 참값의 가입당 산란자원량을 추정하는 모델로써 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 $F_{35\%}$ 는 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. 8과 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 7. 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



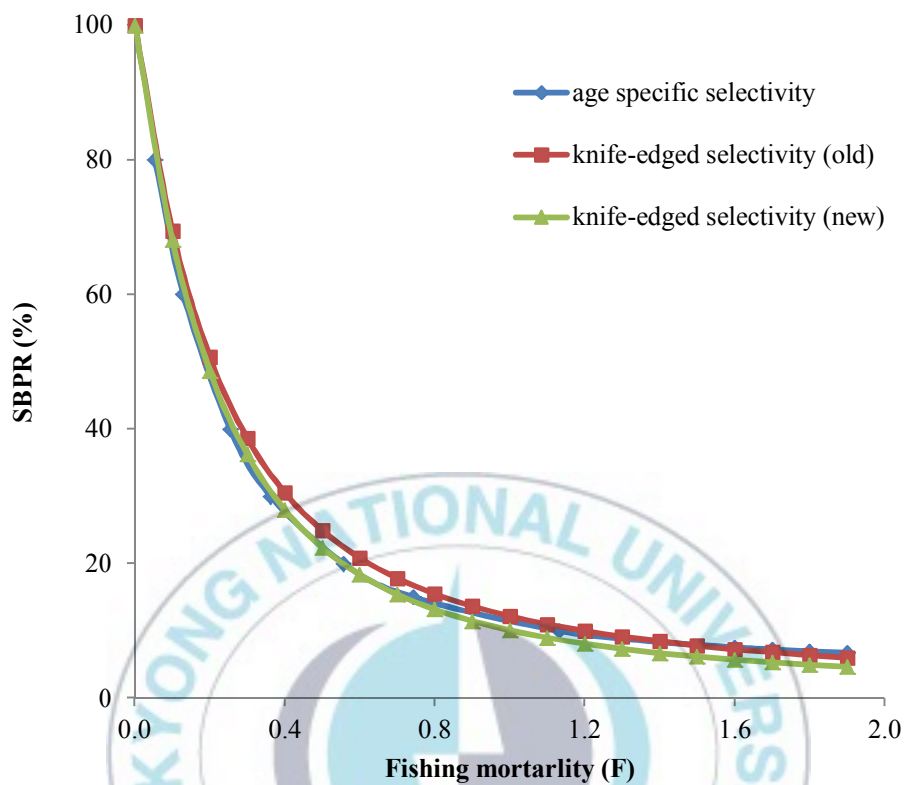


Fig. 8. Comparison with percentage of spawning biomass per recruit between age specific selectivity method and knife-edged selectivity methods.

고 찰

가입당 생산량 모델 (yield per recruit model)은 대표적인 자원평가모델로써 가입에 따른 생산량의 변화를 추정하여 가입 자원으로부터 얻을 수 있는 어업수익의 최대화를 목표로 하며 이 전의 자원평가 연구에서 가장 많이 사용된 모델이다. 하지만 이 모델은 가입에 따른 최대 생산량의 산출만을 목표로 하므로 이 모델만 사용하여 자원을 평가하고 관리할 시에는 재생산을 위한 산란자원량은 고려하지 않아 가입남획을 초래할 수 있다. 따라서 가입남획을 방지하고 가입에 따른 산란자원량의 변화를 나타내어 적정산란자원량의 유지를 위해 적정어획수준을 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. 자원개체수는 연령이 증가함에 따라 자연사망과 어획사망에 의해 지수함수적으로 감소하게 되며 중량은 von Bertalanffy 성장식에 의해 연령이 증가함에 따라 증가하게 되고 그에 따른 자원량은 연령에 따라 어느 정도 증가하다 감소하는 형태를 나타내게 된다. 산란자원량은 이 자원량 중에서

성숙한 개체의 중량만을 나타내며 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 고려하지 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 1.0 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 1.0이 되는 연령 미만에서 어구가입이 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 계산한 결과 0.383/year로 추정되었다. 또한 Park (2008)의 연구에서 추정된 조피볼락의 $F_{35\%}$ 의 값은 기존의 방법을 통해 1세 가입일 때 0.350/year로 계산되었는데 본 연구에서 동일한 방법을 사용해서 재계산한 결과 0.451/year로 나타났으며 새로운 방법에 의해 추정된 $F_{35\%}$ 는 0.320/year로 계산되었다. 기존의 방법에 의한 값이 다르게 나타난 원인은 계산의 오류인 것으로 판단된다. 또한 Kwon (2010)의 연구에서 칠게의 $F_{40\%}$ 는 0.279/year로 추정되었으나 이를 기존방법과 새로운 방법에 적용하여 0.71세 가입 시의 $F_{40\%}$ 를 추정한 결과 Kwon (2010)의 연구

결과와는 달리 5.0/year 이상의 값으로 계산되었다. 이 경우 칠게는 최대연령이 2.35세로써 연단위로 가입당 산란자원량을 적용하는 것이 적합하지 않다고 판단된다. 한국 연근해의 경우 대부분의 어종이 0~2세에 어구에 가입되고 성숙률이 낮음을 미루어볼 때 기존의 가입당 산란자원량 방법을 사용하여 산란자원량을 추정할 경우 오차가 클 것이며 어구가입연령이 더 낮거나 성숙이 더딘 종의 경우 기존의 방법에 의해서는 가입당 산란자원량 모델에 의한 적정어획사망계수가 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.

요 약

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 참조기 자원을 대상으로 기존의 방법과 새로운 방법을 적용하여 추정된 가입당 산란자원량을 비교한 결과 어구가입연령의 성숙비가 1.00 이상에서는 가입당 산란자원량이 차이가 없었다. 그러나 성숙비가 1.00 미만인

연령에서는 어구가입연령이 낮을수록 오차가 크게 나타났다. 기존 방법에 의한 가입당 산란자원량은 과소 추정되었고 참조기의 어구가입연령별로 가입당 산란자원량의 오차를 비교하였을 때, 적게는 4세 때의 0.61g에서 많게는 1세 때의 130.69g만큼의 오차가 나타났다. 또한 두 방법을 통해 참조기의 적정어획수준인 $F_{35\%}$ 를 비교한 결과 기존 방법에 의한 값이 0.349/year로 계산되었으며 새로운 방법에 의한 값이 0.302/year로써 기존의 방법을 사용한 값이 새로운 방법에 비해 과대 추정되었다. 연령별 선택비를 고려한 모델을 통한 $F_{35\%}$ 의 값은 0.320/year로써 이를 연령별 선택비를 고려하지 않는 두 방법과 비교하였을 때 새로운 방법에 의한 값이 기존 방법에 의한 값보다 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 오차를 줄여줄 것이다. 또한 기존의 방법을 통한 $F_{35\%}$ 의 값은 과대 추정되어 남획의 위험이 있으므로 새로운 방법을 통해 적정어획수준을 추정하는 것이 옳다고 판단된다.

감사의 글

석사학위 논문을 잘 마무리할 수 있게 되어 매우 뜻 깊게 생각하며 지난 2년간 아낌없는 조언과 격려를 해주신 모든 분들께 감사의 마음을 전하고자 합니다.

뒤늦게 대학원 생활을 시작하여 너무나도 부족하고 미흡한 저에게 좋은 가르침을 주시고 많은 관심을 주신 장창익 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 전합니다. 또한 바쁘신 와중에도 본 논문이 완성되기까지 많은 조언을 해주신 서영일 박사님과 박희원 박사님께 깊은 감사의 마음을 드리며 수산물리학과와 여러 교수님들께도 감사드립니다.

언제나 진솔하게 조언해주시고 따뜻하게 격려해주신 국립수산물과학원의 손명호 연구사님, 이성일 연구사님, 윤상철 연구사님, 이종희 연구사님, 권유정 연구사님 그리고 한국연안생태연구소의 이만우 선배님, 선박해양플랜트 연구소의 임정현 선배님과 가장 큰 힘이 되었던 강희중 동기님, 김현아 후배님께 감사의 마음을 전합니다.

항상 저를 믿어주시고 사랑해주시고 지원해주시는 부모님과 연구자로서 끊임없는 잔소리와 조언을 주신 오빠님께 감사를 전하며 이 논문을 바칩니다.

참고문헌

- Bae TH. 1960. The biological study on the yellow sea corvenia in the adjacent sea of Korea. Report of the research for fisheries resource 4, 1-106.
- 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.
- Hwang BI and Choi SH. 1980. Age and growth of yellow croaker, *Pseudosciaena manchurica* Jordan et Thompson, in the Yellow Sea and the East China Sea. Bull. Fish. Res. Dev. Agency 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.
- Jang SH, Ryu HS and Lee JH. 2011. Stock assessment and management implications of the Korean aucha perch (*Coreoperca herzi*) in freshwater. Kor. J. Limnol. 44(2). 172-177.

- Jeong SC. 1970. Age and growth of the yellow croaker, *Pseudosciaena manthurica* Jordan et Thompson, in the Western Coastal Waters of Korea. Bull. Kor. Fish. Soc. 3, 154–160.
- 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.
- Kim YH, Kwon DH, Lee DW, Chang DS, Kim JB, Kim ST and Ryu DK. 2007. Stock assessment of purplish washington clam *Saxidomus purpuratus* in the Southern Coastal Waters of Korea. Kor. J. Malacol. 23(1), 31–38.
- Kim YH, Lee SK, Lee JB, Lee DW and Kim YS. 2006. Age and growth of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* in the South Sea of Korea. Kor. J. Ichthyol. 18, 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.
- 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. Busan.
- 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 JU. 1977. Estimation of age composition and survival rate of the yellow croaker, *Pseudosciaena manchurica* Jordan et Thompson, in the Yellow Sea and the East China Sea. Bull. Fish. Res. Dev. Agency 16, 7–31.
- 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.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 1979. Oceanographic handbook of the neighbouring seas of Korea. NFRDI, 1–650.
- Park KD. 2008. Population ecology of black rockfish *Sebastes schlegelii* in Tongyeong marine ranching area. Ph.D. Thesis. Pukyong National University. Busan.
- Park YC and Choi KS. 2002. Growth and carrying capacity of pacific oyster, *crassopstrea 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.
- Quinn TJ and Deriso RB. 1999. Quantitative Fish Dynamics. New York, Oxford University Press, 542pp.
- 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.

- Shin ST. 1976. Approximate estimation of the survival rate in fish population utilizing the length composition. Bull. Kor. Fish. Soc. 9, 143–150.
- Shin ST. 1977. Estimation of the survival rate in fish population from the length composition and the growth equation. Bull. Kor. Fish. Soc. 10. 137–143.
- 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.
- Yoen IJ, Lee DW, Lee JB, Choi KH, Hong BK, Kim JI and Kim YS. 2010. Long-term changes in the small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*, population in the Yellow and East China Seas. J. Kor. Soc. Fish. Tech. 46, 392–405.
- 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, Kim YM, Yoo SJ, Park CS, Kim SA, Kim CK and Yoon SB. 1992c. Estimation of population ecological characteristics of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* off Korea. Bull. Kor. Fish. Soc. 25, 29–36.
- 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. Progress in Oceanography, 49, 513–537.

- Zhang CI, Lee EJ and Kang HJ. 2014. Management of small yellow croaker stock in Korean Waters based on production value-per-recruit analysis. J. Kor. Soc. Fish. Tech. 50(4)
- 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.

