

가중평균에 의한 역계산 어류 성장식추정법 개선 연구

양우성 · 이재봉* · 허요원 · 권대현¹ · 최석관 · 정상덕 · 안두해
국립수산과학원 원양자원과, ¹국립수산과학원 연근해자원과

The study on the improvement of estimating back-calculated fish growth equation by weighted average method

Woo Sung YANG, Jae Bong LEE*, Yo Won HEO, Dae Hyeun KWON¹,
Seok Gwan CHOI, Sang Deok CHUNG and Doo Hae AN

Distant Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹*Coastal Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*

This study aims to suggest the methodology to improve to estimate back-calculated fish growth parameters using weighted average. It is to contribute to correct errors in the calculation of back-calculated growth equation with unequal numbers of sample by age. If the numbers of sample were evenly collected by age, each back-calculated length at age was equal between arithmetic and weighted averages. However, most samples cannot be evenly collected by age in reality because of different catchability by fishing gear and limitation of environment condition. Therefore, the estimation of back-calculated length by weighted average method is essential to calculate growth parameters. There were some published growth equations from back-calculated length using a simple arithmetic average with different numbers of samples by age when searching for back-calculated growth equations from 91 relevant papers. In this study, the process of deriving growth equation was investigated and two different average calculations were applied to a fish growth equation, for example of *Acheilognathus signifer*. Growth parameters, such as L_{∞} , k and t_0 , were estimated from two different back-calculated averages and the growth equations were compared with growth performance index. Based on the correction of back-calculated length using weighted average by age, the changes by female and male were -14.19% and -5.23% for L_{∞} , and 59.28% and 18.91% for k , respectively. The corrected growth performance index by weighted average improved at 7.05% and 2.46% by female and male, respectively, compared to the arithmetic averages.

Keywords : Back-calculated Growth Equation, Weighted Average, Growth Pparameters, Growth Performance Index

서 론
수산자원의 성장식 연구는 수산자원 연령구조를 파악

하고 자원 상태를 평가하기 위하여 기초적이고 중요한 분야 중 하나이다. 연령성장 연구를 하는데 있어 가장

*Corresponding author: leejb@korea.kr, Tel: +82-51-720-2321, Fax: +82-51-720-2337

적합한 방법과 모델을 선택하여 성장식을 추정하는 과정은 수산자원의 생물학적 특성을 알아낸다는 의미뿐만 아니라, 자원량 산정 및 정도 높은 자원평가 수행을 위하여 오차를 줄이고 정확한 평가결과를 도출하기 위해 중요하다. 일반적으로 성장식을 추정하기 위해서는 연령형질을 이용하여 연륜을 판정하고, 체장과 연륜의 관계식을 구한다. 그리고 연륜체장의 관계식을 이용하여 연령별 역계산 체장을 구하고, 체중체장 관계식에서 각 연령별 역계산 체중을 추정한다. 이후 성장식 추정에는 von Bertalanffy, Robertson, Gompertz 성장식 등을 이용한다. 이 과정에서 각 연령별 표본의 수를 가능한 통계적으로 유의한 수준으로 확보하여 연령별 또는 크기별 개체수가 균등한 조건에서 성장식을 추정하는 것이 바람직하다.

하지만 일선 현장조사에서는 기상 또는 해양환경의 제한된 조건으로 인해 채집이 어렵거나 어구의 특성으로 인해 다양한 크기 또는 연령이 포획되는 경우가 다수 발생하여, 연령별 또는 크기별 개체수를 균등하게 확보하는 것이 현실적으로 어려운 실정이다. 따라서 만약 표본의 수를 통계적으로 유의한 수준으로 확보하지 않다면 확보된 자료를 최대한 반영할 수 있는 방법으로는 전체 표본수에 대한 역계산 체장 또는 체중의 연령별 산술평균값을 산정하거나, 연륜 및 연령별 역계산 체장 또는 체중을 산정할 때, 표본의 수를 가중값으로 적용하여 가중평균값을 계산하는 것이 바람직하다.

국내외적으로 연령성장 연구는 다수 있으며, 전자저널 검색이 가능한 논문 중 국내에서 수행된 관련 연구는 1971년부터 2015년까지 총 91편이고, 대표적인 연령성장 연구사례로는 한국연근해의 보구치 (*Argyrosomus argentatus*) (Kwon et al., 1999), 동해안 도루묵 (*Arctoscopus japonicus*) (Yang et al., 2008), 울릉도 및 독도근해의 불볼락 (*Sebastes thompsoni*) (Heo et al., 2015)을 대상으로 수행된 결과가 있다. 과거에 수행된 연령성장 연구결과에서 연령별 이석경표, 역계산표 및 연령별 표본수 자료가 제시된 논문 중 균일하지 않은 연령별 표본수임에도 불구하고 가중평균이 적용되지 않았거나 단순산술평균이 적용된 사례들이 다수 있어 역계산 어류 성장식 추정법에서 개선의 필요성이 대두되었다. 이에 본 연구는 과거 수행된 연구자료를 비판하기 위함이 아니라, 앞으로의 정확한 수산자원평가가 수행

되기를 바라는 취지로 역계산 체장 및 성장식에 오차를 줄이고 보다 정확한 성장계수를 산정할 수 있는 가중평균을 활용하는 방법론을 제시하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

연륜 및 연령별 역계산 체중 또는 체중을 산정할 때 산술평균이 적용되어 있는 선행 연구 중 묵납자루 (*Acheilognathus signifer*)의 연륜과 성장 (Baek et al., 2002)의 논문을 대상으로 기존연구결과에 가중평균을 적용하고 새롭게 추정된 성장곡선과 성장계수를 재산정하여 기존의 성장식과 비교하였다.

성장식 추정을 위한 표본의 연령별 개체수의 균등한 정도를 파악하기 위해 식 (1)과 같이 변동계수 (Coefficient of variation, CV)를 이용하였다.

$$CV = \sigma / \bar{x} \quad (1)$$

여기에서 σ 는 표본수에 대한 표준편차를 말하며, \bar{x} 는 표본수의 산술평균값을 의미한다 (Heo et al., 2015). 다음으로 연륜 및 연령별 역계산 체장 또는 체중표에서 각 연령별 평균값을 구하기 위하여 식 (2)와 같이 가중평균식을 적용하였다.

$$\bar{x} (\text{Weighted average}) = (\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i) / (\sum_{i=1}^n w_i) \quad (2)$$

여기에서 x_i 는 i 번째 연령의 체장, w_i 는 i 번째 연령의 개체수를 뜻한다. 그리고 성장식 추정은 식 (3)과 같이 일반적으로 널리 이용되고 있는 von Bertalanffy (1938) 성장식을 사용하였다.

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (3)$$

여기에서 L_t 는 연령 t 세의 어류의 체장, L_{∞} 는 이론적 최대 체장, k 는 성장계수, t 는 연령, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적 연령을 나타낸다. 이렇게 가중평균을 적용하여 새롭게 구한 성장식 값으로부터 성장 정도를 비교하기 위해 식 (4)와 같이 L_{∞} 와 k 가 매개변수로 들어가는 Growth performance index (ϕ , Munro and Pauly, 1983)를 사용하였다.

$$\phi = \log k + 2\log L_{\infty} \quad (4)$$

그리고 산술평균법과 가중평균법을 통해 얻은 성장식의 매개변수를 사용하여 ϕ 값을 구하고 증감률을 비교하였다.

결과 및 고찰

연령별 표본수에 대한 변동계수 (CV) 비교

논문의 연령별 표본수의 균등한 정도를 확인하기 위해 변동계수를 구해본 결과, 표본 수에 대한 변동계수 값은 암컷 0.74, 수컷 0.61로 확인되었다 (Table 1). 즉 표본의 수가 크거나 연령별로 격차가 있는 것으로 보이며, 이는 표본의 어획을 위하여 이용되었던 어구 또는 어획 환경 등에 의해 표본이 연령 및 크기 별로 유의한 수준으로 채집되지 않은 것을 확인할 수 있었다.

연령별 표본수에 대한 가중평균법 적용 후 성장식 파라미터의 비교

다음으로 산술평균법이 적용된 논문에 대하여 표본수

를 가중평균법을 적용하여 매개변수를 추정하고 이를 기존 연구와 비교한 결과, 산술평균일 때 최대 체장인 L_{∞} 값은 암컷, 수컷 각각 7.36 cm, 7.89 cm였고 가중평균 적용 시 6.31 cm, 7.47 cm로 산정되었다 (Table 2). 그리고 성장계수인 k 값은 산술평균시 암·수 각각 0.18, 0.23에서 가중평균시 암·수 모두 0.28로 차이를 보였으며, 체장이 0일 때의 이론적 연령을 나타내는 t_0 의 값은 산술평균시 암·수 각각 -2.41 cm, -1.93 cm에서 가중평균시 -1.31 cm, -1.24 cm까지 변화를 보였다.

Growth performance index (GPI)를 이용한 비교

산술평균법과 가중평균법을 적용하여 구한 성장 매개변수를 이용하여 Growth performance index (GPI)를 각각 구하였다 (Table 2). GPI 값의 증감율을 비교해 본 결과, 암컷과 수컷이 각각 0.98과 1.16에서 1.05와 1.19로 가중평균을 적용한 GPI 값이 암·수 모두 증가한 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 연령성장 연구를 하는데 있어 표본의 수가 연령별로 균등하지 못한 상황에서 산술평균이 아닌 가

Table 1. Back-calculated body length (mm) and Coefficient of variation (CV) corresponding to the age and sex of *Acheilobnathus signifer*

Sex	Age*	Number of sample*	CV	Body length*			
				L0.5	L1.5	L2.5	L3.5
Female	1	63	0.74	31.07			
	2	141		30.61	38.49		
	3	75		29.47	37.72	44.96	
	4	11		27.44	34.13	43.27	48.87
				Arithmetic average*	29.65	36.78	44.12
		Weighted average	30.29	38.02	44.74	48.87	
Male	1	20	0.61	31.93			
	2	48		35.11	42.86		
	3	33		36.07	45.33	52.98	
	4	9		33.06	41.82	49.65	56.92
				Arithmetic average*	34.04	43.34	51.32
		Weighted average	34.65	43.66	52.27	56.92	

*Asterisk indicates the originative of data from Baek et al. (2002).

Table 2. Comparison of growth parameters and growth performance index (GPI) between arithmetic and weighted average methods

Species	Sex	Arithmetic average				Weighted average			
		L_{∞} *	k *	t_0 *	ϕ	L_{∞}	k	t_0	ϕ
<i>Acheilognathus signifer</i>	F	7.36	0.18	-2.41	0.98	6.31	0.28	-1.31	1.05
	M	7.89	0.23	-0.93	1.16	7.47	0.28	-1.24	1.19

*Growth parameters (L_{∞} , k , t_0) were referred from Baek et al. (2002).

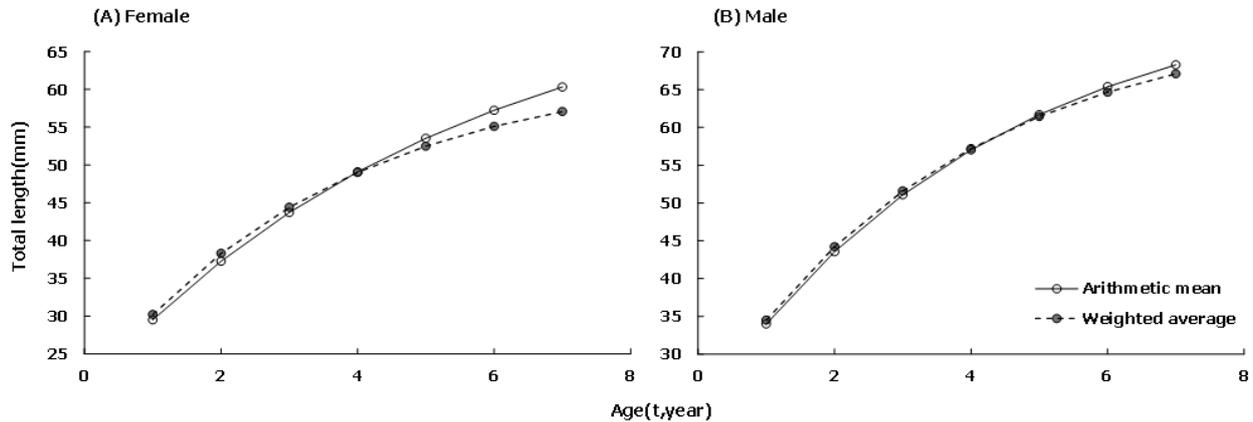


Fig. 1. Differences of growth curve between arithmetic (Baek et al., 2002) and weighted average of female (A) and male (B) of *Acheilognathus signifer*.

중평균을 적용하였을 때 성장곡선을 비교하고 각 성장계수가 어떻게 개선되는지를 확인하였다. 그 결과 기존의 산술평균을 하였을 때 암·수 각각 성장식이 $L_t = 7.36(1 - e^{-0.18(t+2.41)})$, $L_t = 7.89(1 - e^{-0.23(t+0.93)})$ 에서 가중평균 적용 후 $L_t = 6.31(1 - e^{-0.28(t+1.31)})$, $L_t = 7.47(1 - e^{-0.28(t+1.24)})$ 로 변화하였다 (Fig. 1). 이는 어획된 표본의 연령별 개체수가 균등하지 못할 때 산술평균을 적용하여 발생하는 것으로 보인다. 따라서 가중평균을 통해 평균을 구하면 오차를 개선할 수 있는 것으로 판단된다. 과거에 수행되었던 성장식 추정의 오류를 비판하기 위함이 아니라 정확한 자원평가 결과가 도출되기를 위한 목적으로 오류를 바로 잡을 수 있는 방법론 개발 및 성장식 수정 연구의 필요성이 있다고 판단된다.

향후 연구를 통해 연령성장 관련논문 결과들이 보다 정확한 입력자료로 인용될 수 있도록 산술평균을 사용했던 결과들의 수정이 필요할 것이며, 최근 사후정보 수집방법의 발달로 기존자료의 유의수준이 낮은 경우 사후추정법 (Coghlan, 2016)를 통한 사후 자료확보 방법의 적용도 필요한 것으로 사료된다. 이를 바탕으로 과거에 수행되었던 성장식 추정의 오류를 바로 잡을 수 있는 방법론 개발 및 성장식 수정을 통해 정확한 자원평가 결과가 도출되기를 바란다.

결론

역계산 체장을 이용한 성장식을 산정하는데 있어서

연령별 표본이 균일하게 확보할 수 있을 경우에는 전체 표본수에 대한 역계산 체장 또는 체중의 연령별 산술평균값을 산정하여 성장계수를 추정한다.

하지만 기상 또는 해양환경의 제한된 조건 또는 어구의 특성으로 인한 연령별 또는 크기별 개체수를 균등하게 확보하는 것이 현실적으로 어려운 실정에서 표본의 수를 통계적으로 유의한 수준으로 확보하지 못하여 연륜 및 연령별 역계산 체장 또는 체중을 산정할 때, 표본의 수를 가중값으로 적용하여 가중평균값을 계산하는 것이 바람직하다. 산술평균이 적용되었던 선행 연구 중 묵납자루 (*Acheilognathus signifer*)의 연령성장 (Baek et al., 2002)의 연구결과를 토대로 가중평균법을 적용하여 역계산 체장 또는 체중 성장식을 추정된 결과, 산술평균이 적용된 연구에 가중평균이 적용되었을 때 성장계수 추정치는 암컷에서 L_∞ 값은 -14.19%, k 값은 59.28% 차이를 나타냈으며, 수컷에서는 L_∞ 값은 -5.23%, k 값은 18.91%로 차이를 보였다. 그리고 t_0 값은 암컷에서 46%, 수컷에서 36%로 차이가 확인되었다. 이를 토대로 성장률 (GPI 값)을 비교했을 때 암컷에서 7.05%, 수컷에서 2.46% 개선된 것을 확인할 수 있었다.

사사

이 논문은 2017년도 국립수산물과학원 수산과학연구지원사업 (R2017027)으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Baek HM, Song HB and Kwon OK. 2002. Age and growth of korean bitterling, *Acheilognathus signifer* in upper reaches of the Hong-cheon river, Korea. *Korean J Ichthyol* 14, 254-261.
- Campana Steven E. 2014. Age determination of elasmobranchs, with special reference to Mediterranean species. *A technical manual* 94, 32-34.
- Coghalan A. 2016. *A little Book of R for Bayesian Statistics*. Release 0.1, 1-23.
- Heo YW, Lee JB, Yang JH, Cha HK, Kim JJ and Zhang CI. 2015. Age and growth of the goldeyes rockfish *Sebastes thompsoni* in the Ulleungdo and Dokdo areas. *Korean J Fish Aquat Sci* 48, 929-939. (DOI:10.5657/KFAS.2015.0929)
- Kwon DH, Kang YJ and Lee DW. 1999. A population ecological study of white croaker, *argyrosomus argentatus* HOUTTUYN in Korea waters age and growth. *J Korean Soc Fish Res* 2, 54-60.
- Munro JL and Pauly D. 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. *Fishbyte* 1, 5-6.
- von Bertalanffy L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Bio* 10, 181-213.
- Yang JH, Lee SI, Cha HK, Yoon SC, Chang DS and Chun YY. 2008. Age and growth of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 44, 312-322. (DOI:10.3796/KSFT.2008.44.4.312)

2017. 10. 31 Received

2017. 11. 21 Revised

2017. 11. 21 Accepted