

한국 남해안 멸치(*Engraulis japonicus*)의 연령과 성장 연구

정경미 · 문성용¹ · 정재묵² · 김희용^{3*}

국립수산과학원 연구해자원과, ¹국립수산과학원 남해수산연구소, ²국립수산과학원 수산자원연구센터, ³국립수산과학원 원양자원과

Age and Growth of Anchovy *Engraulis japonicus* in the South Sea of Korea

Kyung-Mi Jung, Seong Yong Moon¹, Jae Mook Jeong² and Heeyong Kim^{3*}

Fisheries Resource Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

¹South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Republic of Korea

²Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53064, Republic of Korea

³Distant Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

We studied the age and growth of anchovies *Engraulis japonicus*, collected using three different fishing gears (drag net, set net, and bottom trawl) in the South Sea of Korea from November 2020 to October 2021. To determine the age, 344 specimens were analyzed by reading the otolith sagittal plane. Monthly changes in the growth of translucency at the edge and the marginal increment ratio revealed that annuli in otoliths were fully formed in March once a year. We compared four different types of growth equations, and found that the data set of observed length at age (yearly) as estimated the growth parameter ($L_{\infty} = \text{FL } 16.17 \text{ cm}$, $k = 0.33/\text{year}$, $t_0 = -1.65$) fitted well on the von Bertalanffy growth curve.

Keywords: South Sea, Anchovy, *Engraulis japonicus*, Growth parameters

서론

멸치(*Engraulis japonicus*)는 한국 전 해역에 분포하는 난류 성 소형 부어류로, 기선권현망, 정치망, 근해자망에 의해 주로 어획되고 있고, 1990년대부터 현재까지 단일어종으로 생산량이 가장 높다(KOSIS, 2023). 특히, 멸치는 치어부터 성어까지 대부분의 생활사 단계를 식품으로 이용하고 있어 상업적으로 매우 중요한 수산자원일뿐만 아니라, 남해안 생태계에서 많은 어식성 어류의 주요한 먹이생물로 이용되고 있다(Baeck et al., 2011). 하지만, 이렇게 중요한 멸치자원이 2000년대에 어획량이 24만톤에서 최근 18만톤 수준으로 감소하여 정부에서는 멸치 자원관리를 위해 2020년도에 수산자원 회복대상종으로 선정하였고, 2022년 7월부터는 시범적으로 TAC (total allowable catch) 제도를 도입하여 적극적으로 관리하고 있다. 해수 및 담수 경골어류의 이석을 이용한 연령 연구는 100년이 넘는 역사를 가지고 있으며, 연령과 성장 추정 연구는 수산자원의 생태학적 특성과 자원관리를 이해하는데 중요하게 이용된다(Benson et al., 2023).

한 개체군의 자원상태를 파악하기 위해 연령구조, 연령별 크기, 성숙 연령, 수명 등과 같은 연구결과를 활용하여 자원평가가 수행되는데(Campana and Thorrold, 2001), 현재 국내 서식 멸치의 자원상태를 이해하기 위해 연령정보 기반의 자원평가가 요구되는 상황이다. 대서양에 서식하는 멸치(*E. encrasicolus*)의 경우는 성어를 대상으로 초륜 검증(Aldanondo et al., 2016; Basilone et al., 2020)에서부터 서식지 환경조건에 따른 성장 차이(Basilone et al., 2004)까지 연령을 이용한 연구가 다양하게 수행되어왔고, 국제해양탐사위원회(International Council for the Exploration of the Sea, ICES)는 유럽 인접국가들간 연령 분석 방법과 검증 방법을 표준화하기 위해 매뉴얼을 발간하였다(ICES, 2019). 반면, 태평양에 서식하는 멸치에 대한 연령과 성장 연구는 초기생활사 단계에서는 활발히 수행(Kim and Kim, 1986; Cha, 1990; Takahashi et al., 2001; Hwang et al., 2006)되었으나, 성어 단계에서는 이석을 이용한 Fellatami et al. (2024), Lee et al. (2021), Iversen et al. (1993)에 의한 연구, 체장빈도를 이용한 Ohshimo (2009)에 의한 연구, 비늘을 이용한 Hayashi and Kondo (1957)에 의한 연구 등 소수의 연

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2310 Fax: +82. 51. 720. 2337

E-mail address: heeyongkim@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0364>

Korean J Fish Aquat Sci 57(4), 364-371, August 2024

Received 10 June 2024; Revised 25 June 2024; Accepted 15 July 2024

저자 직위: 정경미(연구사), 문성용(연구사), 정재묵(연구사), 김희용(연구관)

구결과가 있다. 본 연구해역과 동일한 남해안에서 수행된 Lee et al. (2021)의 연구는 2004년에 채집된 멸치를 대상으로 당시의 서식수온, 먹이생물 등의 환경조건에서 성장한 특성을 반영한 것으로, 최근 환경조건에서의 멸치자원의 성장 특성 연구가 요구된다.

따라서, 본 연구는 멸치의 이석을 이용한 연령사정을 통해 우리나라 남해안에 서식하는 멸치의 성장 특성을 이해하고자 하였고, 남해안 멸치어업 관리 및 자원보존 전략 수립에 중요한 과학적 근거를 제공하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

시료 채집 및 처리

본 연구는 2020년 11월부터 2021년 10월까지 남해안에서 상업어선(기선권현망, 정치망) 및 국립수산물과학원 수산과학조사선을 이용한 근해역 저층트롤조사로 어획한 멸치 시료(총 2,168개체)를 이용하였다(Table 1). 채집된 개체의 가랑이 체장(fork length, FL)은 0.1 cm까지, 체중(body weight, BW)은 0.1 g까지 측정하였다. 산란기 분석을 위해 무작위로 선택하여 암·수컷(총 832개체)을 구분하고 생식소 중량(gonad weight, GW)을 0.01 g까지 측정 후 생식소속도지수(gonadosomatic Index, GSI)를 구하였다.

$$GSI=(GW/BW) \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

여기서, GW는 생식소 중량(g), BW는 체중(g)이다.

측정을 마친 개체에서 한 쌍의 이석(총 344쌍)을 적출하여 깨끗하게 세척하고 건조시킨 후 샘플병에 넣어 보관하였다.

윤문 분석 및 월·연령 계산

이석 표면에 형성된 윤문은 실체현미경(SZX16; Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 반사광으로 관찰하여 투명대에서 불투명대로 이행하는 경계를 연륜으로 간주하였다. 한 쌍의 이석을 나란히 놓고 양쪽 이석표면을 관찰하며 윤문의 위치 및 개수, 가장자리 형태(불투명대, 투명대 구분 등)를 판독하였다. 길이 측정은 오른쪽 이석만을 선택하여 영상분석 장치를 통해 핵(core)에서 각 윤문(투명대가 끝나는 지점, r_n)까지의 거리, 핵에서 가장자리 끝(otholith radius, OR; 윤경)까지의 거리를 수평방향으로 측정하였다(Fig. 1).

이석의 윤문 형성시기 및 연간 형성주기를 파악하기 위해 동일한 길이측정법으로 가장자리에 형성된 투명대의 성장특성은 길이를 측정하여 월변화를 분석하였고, 가장자리 불투명대는 성장비(marginal increment ratio, MIR)를 계산하여 연중 변화하는 패턴을 분석하였다.

$$MIR=(OR-r_n)/(r_n-r_{n-1}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, OR은 핵에서 가장자리 끝까지의 거리, r_n 은 핵에서 n번째 투명대까지의 거리이다.

연령은 핵에서부터 이석 가장자리 사이에 형성된 투명대의 개수를 세어 계산하였다. 월령은 Lee et al. (2021)의 계산식을 따라 윤문형성 시기인 3월(본 연구에서도 동일하게 투명대 형성의 완료시기가 3월로 나타남)을 기준으로 채집시기까지의 기간을 합산하여 추정하였다.

성장 매개변수 추정

윤문 형성시의 체장은 윤경과 체장간의 회귀관계식

Table 1. Information of specimens used for this study about month of collection, number of individuals, range and mean of fork length, fishing gear and seablock

Year	Month	Number of ind.	Range of FL (cm)	Mean FL (cm)	Fishing gear	Seablock
2020	Nov.	190	6.0-12.7	8.4	Drag net	97
	Dec.	200	5.4-9.2	7.0	Drag net	214
	Jan.	160	4.8-12.7	8.2	Drag net	214
	Feb.	370	5.3-13.0	7.1	Drag net, bottom trawl	104
	Mar.	170	8.0-14.1	10.8	Drag net	214
	Apr.	200	7.0-11.4	9.0	Set net	97
2021	May	200	6.8-14.3	10.7	Set net	97
	Jun.	160	7.4-12.6	9.7	Set net	97
	Jul.	200	6.8-14.5	8.7	Drag net	104
	Aug.	58	9.4-15.0	12.0	Bottom trawl	213, 214, 222, 242
	Sep.	200	7.6-13.7	10.2	Drag net	99
	Oct.	60	9.3-11.8	10.4	Drag net	98
Total		2,168	4.8-15.0			

FL, Fork length.

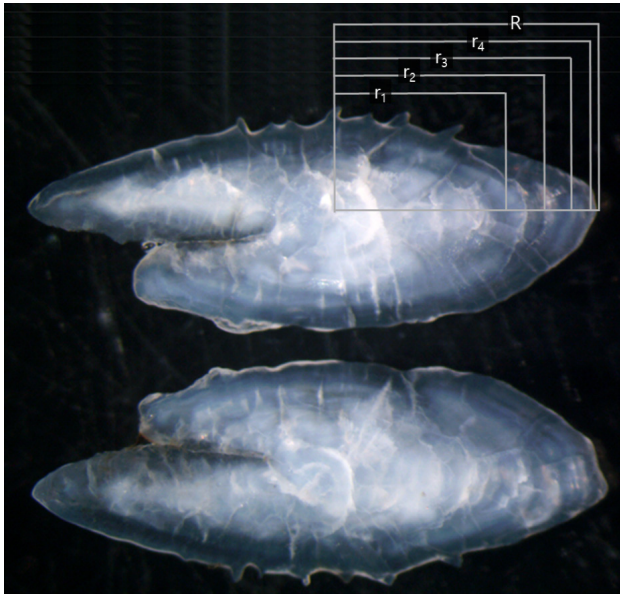


Fig. 1. Image of right (upper) and left (lower) sagitta from anchovy *Engraulis japonicus* otolith collected by a bottom trawl around Chuja Island (seablock: 222-6). Age is 4 years old (53 months old).

($FL=a+b \times OR$)의 상수를 이용하여 2가지 방법으로 역추정하였다.

첫 번째 방법은 회귀직선식($FL_i=a+b \times r_i$; FL_i , i 번째 윤문 형성 시의 체장; r_i , 핵에서 i 번째 윤문까지의 거리)으로 추정하였고, 두 번째 방법은 Fraser-Lee의 관계식($FL_i=(r_i/OR) \times (FL_c - a) + a$; OR , 윤경; FL_c , 채집당시의 체장) (Bagenal and Tesch, 1978)을 이용하여 추정하였다.

성장식은 4가지 유형의 자료를 이용하여 추정하였다. (1) 회귀직선식에 의한 윤문형성시의 체장 자료, (2) Fraser-Lee에 의한 윤문형성시의 체장 자료, (3) 이석 판독에 의한 채집 당시의 연령-체장 자료, (4) 이석 판독에 의한 채집 당시의 월령-체장 자료 형태로 분류하였고, R 소프트웨어의 TMB (Template Model Builder) Tool을 이용해서 우도함수법(Likelihood method)으로 4가지 유형의 von Bertalanffy (1938) 성장식의 매개변수를 추정하였다. 성장 모델의 적합도는 AIC (akaike information criterion) 값을 비교하여 가장 낮은 값을 가지는 매개변수를 가장 적합도가 높은 것으로 판단하였다.

$$FL_t = L_\infty \times \{1 - \exp[-k \times (t - t_0)]\} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, FL_t 는 연령 t 시의 가랑이 체장, L_∞ 는 이론적 최대체장, k 는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적 연령이다.

암컷과 수컷 성장식의 기울기차 검증은 R 소프트웨어를 이용하여 ANCOVA test를 실시하여 유의수준 5% 이내($P < 0.05$)로 하였다.

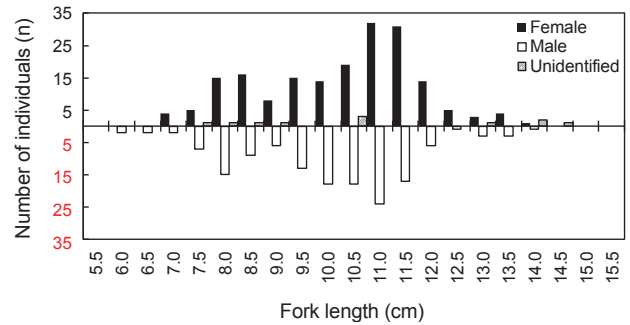


Fig. 2. Length frequency distribution of anchovy *Engraulis japonicus* collected by drag net, set net and bottom trawl in the South Sea of Korea from November 2020 to October 2021. April to June.

결 과

체장분포

본 연구를 위해 남해안(경남-전남-제주해역)에서 2020년 11월부터 2021년 10월까지 다양한 어구(기선권원망, 정치망, 저층트롤)를 이용하여 멸치시료를 채집하였고, 총 2,168개체에 대해 길이를 측정하였다(Table 1). 서식을 확인한 멸치의 FL은 4.8–15.0 cm였으며, 8월 제주도 주변해역에서 저층트롤에 의해 FL 9.4–15.0 cm 범위의 큰 개체가 서식하는 것을 알 수 있었다.

연령사정을 위해 총 344개체에 대해 연(월)령을 판독하였고, 가장 큰 개체인 FL 15.0 cm는 4세 또는 5세로 추정되었으나 정확하게 판독하기 어려워 연령분석에서는 제외하였다. 연령을 판독한 시료 중에서 암컷은 186개체(54.1%), 수컷은 147개체(42.7%), 성별 판독불가는 11개체(3.2%)였으며, 각각의 FL은 암컷 6.9–14.0 cm, 수컷 5.8–13.9 cm, 판독불가 7.5–14.5 cm이었다(Fig. 2).

멸치의 체장(FL)-체중(BW) 간의 상대성장식을 관계식으로 나타낸 결과, 암컷의 관계식은 $FL=0.0039 \times BW^{3.2785}$, 수컷은 $FL=0.0038 \times BW^{3.2953}$ 이었으며, 암수를 모두 합한 경우는 $FL=0.0042 \times BW^{3.244}$ 이었다.

산란시기

멸치의 GSI의 월 변화를 분석한 결과, 암컷의 경우 월 평균 GSI는 11월부터 이듬해 2월까지 0.70–0.98의 가장 낮은 값을 보이다가 3월에 1.91로 증가하기 시작하여 5월에 4.45로 최고 값을 보인 후 점차적으로 감소하여 7월에 1.17이었으나, 8월에 다시 급격히 증가하여 4.18의 높은 값을 나타낸 후 감소하여 10월에는 1.15였다(Fig. 3). 수컷의 평균 GSI는 11–2월 동안 0.21–0.68로 가장 낮은 값을 보이다가 3월에 2.11로 증가하기 시작하여 5월에 4.55로 최고 값을 보인 후 점차적으로 감소하였으나, 8월에 다시 4.21의 높은 값을 보인 후 감소하여 10월에 2.45였다. GSI의 월 변화 양상은 암컷과 수컷에서 동일하게 나

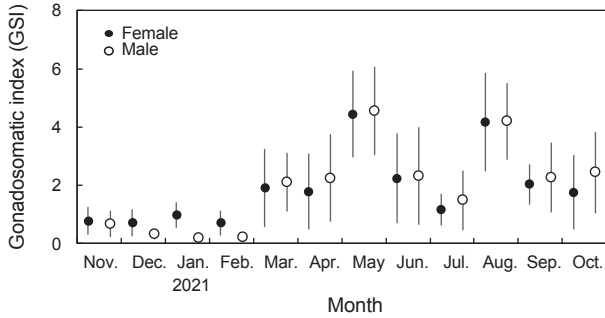


Fig. 3. Monthly changes of mean gonadosomatic index (\pm standard deviation) of anchovy *Engraulis japonicus* caught in the South Sea of Korea from November 2020 to October 2021.

타났으며, 이를 통해 산란시기는 3월부터 10월까지이고 산란 절정 시기는 5-6월과 8-9월인 것으로 추정되었다.

윤문 형성 시기 및 주기

투명대의 연간 형성 양상을 파악하기 위해 이석 가장자리가 투명대인 개체를 선택하여 마지막 불투명대가 끝나는 곳에서 가장자리 끝까지(가장자리 투명대 성장부분) 길이를 측정하였다(Fig. 4). 투명대는 10월부터 가장자리에 나타나기 시작하였고, 3월까지 형성되는 것을 알 수 있었다. 핵에서부터 첫 번째 투명대는 가장 넓은 띠의 형태로 나타났고, 이후부터는 점차적으로 좁아져 얇은 띠의 형태로 투명대가 형성되었다. 이석 가장자리 투명대 성장의 월변화를 1-2세군(n=19)에서 살펴본 결과, 투명대는 10월에 좁게 형성되기 시작하였고, 2-3월에 최대 로 성장하여 형성을 마치는 것으로 나타났다. 반면, 불투명대는 MIR를 계산하여 연령군별로 살펴보았다(Fig. 5). 1세군의 불투명대는 3월에 나타나기 시작하여 6월까지 최대 로 성장하는 뚜렷한 양상을 나타내었고, 2-4세군의 불투명대는 2월부터 나타나기 시작하여 3-5월 사이에 최대 로 성장하는 것으로 나타났다. 따라서, 연령군별 윤문의 최대 성장 시기를 통해 투명대와 불투명대가 각각 연 1회 형성되는 것으로 추정할 수 있었다.

Table 2. Back-calculated mean fork length derived by the simple regression between fork length and otolith radius of anchovy *Engraulis japonicus* collected in the South Sea of Korea from November 2020 to October 2021

Estimated age	Number of specimens	Back-calculated fork length (cm)			
		L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
1	130	9.28			
2	27	9.23	11.25		
3	4	9.37	11.67	12.87	
4	4	9.34	11.02	12.36	13.09
Mean		9.27	11.27	12.61	13.09
SD		1.21	0.81	0.73	0.83

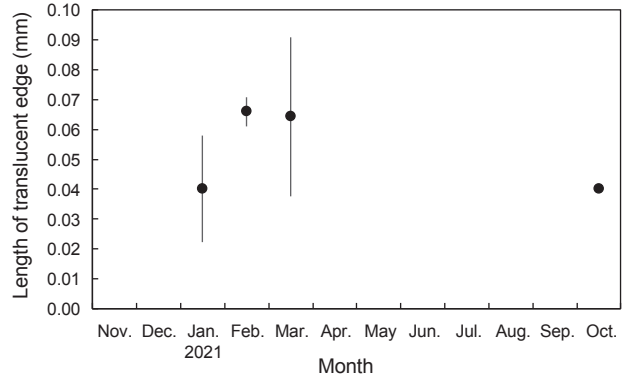


Fig. 4. Mean length (\pm standard deviation) of translucent zone formed at the otolith edge of 1 and 2-year old individuals from November 2020 to October 2021.

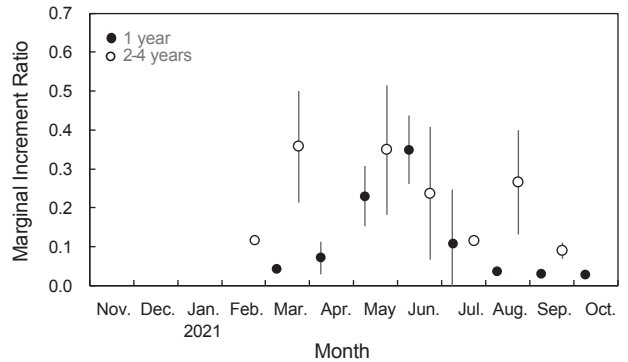


Fig. 5. Marginal increment ratio (\pm standard deviation) of opaque zone for 1 year old and 2-4 years old individuals from November 2020 to October 2021.

성장 매개변수

Von Bertalanffy 성장식의 매개변수는 4종류(회귀직선식, Fraser-Lee, 채집당시 연령판독, 채집당시 월령판독)의 연

Table 3. Back-calculated mean fork length derived by Fraser-Lee equation of the relation between fork length and otolith radius of anchovy *Engraulis japonicus* collected in the South Sea of Korea from November 2020 to October 2021

Estimated age	Number of specimens	Back-calculated fork length (cm)			
		L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
1	130	9.40			
2	27	9.53	11.60		
3	4	9.46	11.79	13.01	
4	4	9.70	11.46	12.86	13.63
Mean		9.43	11.61	12.94	13.63
SD		1.24	0.91	0.36	0.39

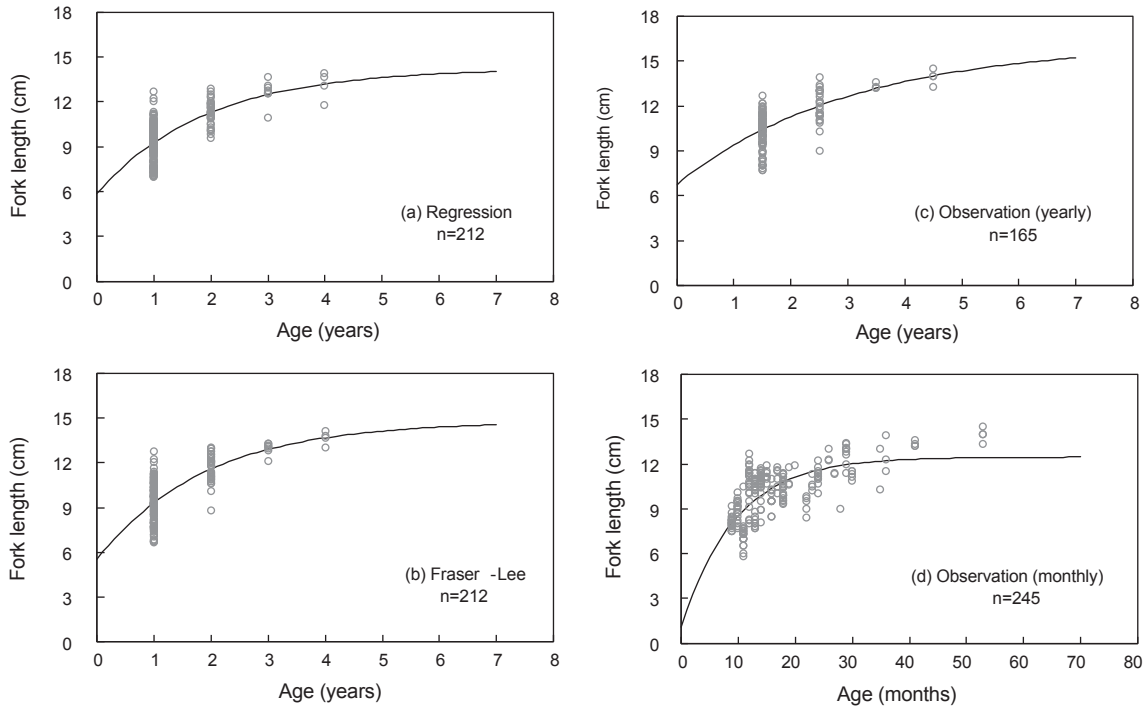


Fig. 6. von Bertalanffy growth curves derived from back-calculated length at age [(a) simple regression, (b) Fraser-Lee equation] and from observed length at age [(c) yearly, (d) monthly] for anchovy *Engraulis japonicus* sampled in the South Sea of Korea from November 2020 to October 2021.

월령-체장 자료를 이용하여 추정하였다. 먼저, 회귀직선식과 Fraser-Lee 방법으로 율문형성 시의 평균 TF (Table 2, Table 3)는 성별간 유의한 차이가 나타나지 않아(ANCOVA test, Regression P=0.305; Fraser-Lee P=0.479) 암컷과 수컷을 모두 합쳐 계산에 이용하였다. 역추산된 연령-체장 자료 및 율문판독에 의한 채집당시 연(월)령-체장 자료를 TMB tool에 적용하여 우도함수법으로 성장 매개변수가 추정되었다.

자료유형에 따라 추정한 성장 매개변수와 AIC는 Table 4와 같다. 회귀직선식과 Fraser-Lee 방법으로 추정한 L_{∞} 은 각각 FL 14.23 cm, 14.76 cm, K 는 0.52/year, 0.53/year, t_0 는 -1.01 year, -0.89 year으로 서로 유사하게 나타났다. 채집당시 개체의 연령과 월령자료를 이용하여 추정한 L_{∞} 은 각각 FL 16.17 cm, 12.24 cm, K 는 0.33/year, 0.12/month (=1.44/year), t_0 는 -1.65 year,

-0.65 month (= -0.05 year)으로 상이하게 나타났다. AIC를 비교하면, 채집당시 연령-체장 자료를 이용한 von Bertalanffy 성장식이 멸치의 성장 특성을 가장 잘 설명하였다. 4가지 방법에 따른 von Bertalanffy 성장곡선은 Fig. 6에 나타내었다.

연령구조

남해안에 출현하는 멸치의 연령은 0-4세까지 판독되었고, 4세 이상의 율문판독 결과는 Fig. 1과 같다. 고연령어(3-4세)는 제주도 남부와 북부해역에서 8월 저층트롤에 의해 채집되었다. 각 연령군의 조성비를 살펴보면, 0세군은 전체의 52.0%로 가장 많았고, 1세군은 37.8%, 2세군은 7.8%, 3세군과 4세군은 동일하게 각각 1.2%를 차지하였다(Table 5). 0세군의 평균 FL은 9.3 cm, 1세군은 10.4 cm, 2세군은 12.0 cm, 3세군은 13.3 cm, 4세

Table 4. Estimate and standard error of von Bertalanffy growth parameters (L_{∞} , K , t_0) calculated by four different methods

Method	Estimate			Standard error			AIC
	L_{∞}	K	t_0	L_{∞}	K	t_0	
Regression (yearly)	14.23	0.52	-1.01	1.50	0.25	0.59	659.61
Fraser-Lee (yearly)	14.76	0.53	-0.89	2.15	0.32	0.69	698.94
Observation (yearly)	16.17	0.33	-1.65	3.13	0.24	1.30	486.53
Observation (monthly)	12.24	0.12	-0.65	0.28	0.01	0.28	717.59

AIC, Akaike information criterion.

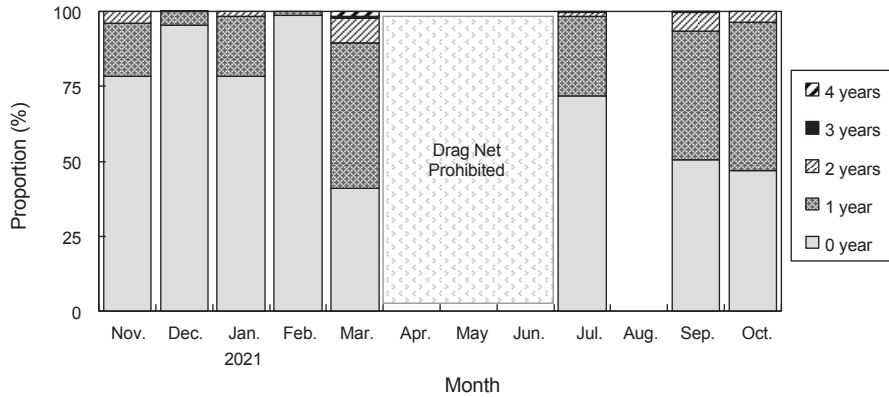


Fig. 7. Proportion of age groups (0–4 years old) by month for anchovy *Engraulis japonicus* caught by drag net in the South Sea of Korea from November 2020 to October 2021. Rectangle filled with dots indicates prohibition period of fishing by drag net from April to June.

균은 14.0 cm이었다.

한국에서 멸치 어획비중이 가장 높은 기선권현망 어획물의 연령구조를 분석하였다(Fig. 7). 멸치시료는 포획금지기간(4–6

월)과 8월을 제외한 나머지 기간 동안 무작위로 채집하였고, 어획물의 월별 체장분포와 age-length key를 이용하였다. 산란시기 이전(11월–이듬해 2월)에는 0세군의 어획비율이 평균 87.6%로 높았고 나머지 연령군(1–4세군)은 12.4%로 매우 낮았다. 하지만, 산란시기(3–10월)에는 0세군의 어획비율이 평균 52.5%로 감소하였고 1–4세군은 평균 47.5%로 증가하였다. 산란철을 맞은 1세 이상 개체들이 연안으로 이동하였다가 기선권 현망어업에 어획되는 것을 알 수 있었다.

Table 5. Age-length relationship for anchovy *Engraulis japonicus* from the South Sea of Korea

Length group (FL, cm)	Age group (year)				
	0	1	2	3	4
5.6-6.0	2				
6.1-6.5	2				
6.6-7.0	6				
7.1-7.5	13				
7.6-8.0	24	7			
8.1-8.5	20	6			
8.6-9.0	10	4	1		
9.1-9.5	17	11			
9.6-10.0	19	13			
10.1-10.5	20	19	1		
10.6-11.0	21	33	2		
11.1-11.5	14	26	8		
11.6-12.0	10	8	2		
12.1-12.5	1	2	3		
12.6-13.0		1	6		
13.1-13.5			3	3	1
13.6-14.0			1	1	2
14.1-14.5					1
14.6-15.0					
n	179	130	27	4	4
Proportion (%)	52.0	37.8	7.8	1.2	1.2
Mean FL (cm)	9.3	10.4	12.0	13.3	14.0

FL, Fork length.

고찰

본 연구는 남해안에 서식하는 멸치(*E. japonicus*)의 저연령어부터 고연령어까지 다양한 크기의 시료를 확보하기 위해 3가지 종류의 어법(기선권현망, 정치망, 저층트롤)을 이용하였으며, 3–4세의 고연령어는 제주 주변해역에서 수행한 국립수산물학원 수산과학조사선의 저층트롤에 의해 채집되었다. 이석 윤문판독을 통해 4세인 멸치(FL 14.5 cm)가 남해안에 서식하고 있음을 확인하였고, 이는 국내에서 멸치 최고 출현 연령으로 보고된 2세(Lee et al., 2021)보다 나이가 많았다. 한국과 인접한 중국의 산둥반도 주변해역에서도 멸치의 이석 윤문판독을 통해 최대 4세까지 보고하였다(Fellatami et al., 2024). 반면, 일본 주변해역에서는 체장빈도를 이용하여 멸치 최고 출현 연령은 2세로 나타났으나, 어획된 최고 체장은 FL 14 cm를 넘지 못하였다(Ohshimo, 2009). 일본 해역 멸치의 연령이 낮은 이유가 해역별 서식 환경 차이에 따른 성장 특성으로 생각할 수 있겠으나(Iversen et al., 1993), 2세 이상의 큰 개체를 채집하지 못하여 연령이 과소추정된 것일 수도 있을 것으로 판단된다.

우도함수법으로 남해안 멸치의 성장 매개변수를 추정하고, 채집당시 체장과 연령자료를 이용한 von Bertalanffy 성장식이 멸치의 성장 특성을 가장 잘 나타내었다. 이론적 최대 체장(L_{∞})은 FL 16.17 cm으로 추정되었는데, 윤문형성시의 체장을 역계산하는 방법인 회귀직선식과 Fraser-Lee 방법에서 L_{∞}

이 각각 FL 14.23 cm, 14.76 cm으로 추정된 것에 비해 다소 크다. 하지만 실제 채집된 시료 중에서 가장 큰 개체가 FL 15.0 cm이었음을 고려하면 채집당시 체장과 연령자료를 이용한 것이 가장 현실적으로 적합한 L_{∞} 을 나타내었다고 생각한다. 또한, 중국 산둥반도 주변해역에 출현하는 멸치의 L_{∞} 가 전장(TL) 15.44 cm로 나타난 것과 크게 차이가 나지 않는다(Fellatami et al., 2024). 반면, 채집당시 체장과 월령자료를 이용한 성장식은 2세까지는 모델과 잘 맞으나 3-4세에서는 측정값과 모델추정값 간의 오차가 크게 발생하였고, L_{∞} 은 FL 12.24 cm로 작게 추정되어 AIC는 가장 낮았다.

이석의 윤문형성 시 체장을 역계산하여 연령별 평균 체장을 추정한 결과, 1세 평균크기는 FL 9.27-9.43 cm, 2세는 FL 11.27-11.61 cm, 3세는 FL 12.61-12.94 cm, 4세는 FL 13.09-13.63 cm이었다. 멸치는 생애 첫 1년 동안 최대로 클 수 있는 크기(L_{∞})의 64.5%까지 빠른 성장을 하고, 2세가 되면 L_{∞} 의 78.9%까지 체성장하는 것을 확인할 수 있었다. 이후부터는 조금씩 성장이 느려지면서 최대 크기에 도달하는 특징을 보였다. 성장계수(K)의 범위는 0.33-0.53/year으로 중국 산둥반도 멸치의 0.60/year (Fellatami et al., 2024)과 유사하였다. 남해안에서 2004년에 샘플한 멸치의 월령자료를 이용한 연구에서는 K값이 1.29/year였으며(Lee et al., 2021), 본 연구의 월령자료를 이용하여 추정한 1.44/year와 크게 차이 나지 않았다.

이석표면에 교대로 형성되는 투명대 및 불투명대는 어종마다(Beckman and Wilson, 1995), 동일한 어종 안에서도 지역에 따라(Williams et al., 2005) 형성 시기가 다르게 나타날 수 있다. 이석의 윤문형성 기작에 대해 정보가 많이 부족하지만, 이석 윤문의 성장은 일반적으로 수온, 먹이 가용성, 광주기, 번식 활동과 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Williams et al., 2005). 본 연구에서 멸치 이석의 투명대는 10월부터 형성되기 시작하여 3월까지 최대로 성장하였고, 불투명대는 2월부터 형성되기 시작하여 10월까지 나타났다. 특히, 불투명대 형성시기는 멸치의 산란시기로 파악된 3-10월과 크게 일치하였다. 중국 산둥반도 해역에 서식하는 멸치의 경우는 불투명대 형성시기는 5-9월이고, 이 지역 산란시기인 5-8월과 일치하는 것을 알 수 있었다(Fellatami et al., 2024).

멸치의 성장 연구를 위해 큰 개체 확보에 노력하였으나 연령 사정에 사용된 3-4세어는 전체 344개체 중에서 8개체만 해당된다. 국내에서 고연령 멸치시료를 확보하기 어려운 가장 큰 이유는 연안과 내만어업에서는 주로 중형크기 이하의 멸치를 어획하여 포획 즉시 찌서 건멸치로 위탁판매(예: 기선권현망, 정치망, 죽방렴 등)하고 있고, 근해어업에서는 멸치가 비목표종으로 어획되어 폐기되기 쉽기 때문이다. 하지만 본 연구에서 부족한 3-4세어 시료수를 보완한다면 멸치의 성장 특성이 보다 정확하게 반영된 매개변수가 추정될 수 있을 것으로 생각되며, 이를 위해서는 상업어선보다 직접자원조사(중·저층트롤 등)에 의한 시료확보 노력이 필요할 것으로 판단된다.

한국 남해안에서 멸치 어획이 가장 높은 기선권현망어업에 대해 age-length key를 이용하여 어획물의 연령구조를 살펴본 결과, 0세군은 전체의 70.1%, 1세군은 26.3%, 2세군은 3.2%, 3-4세군은 0.4%를 차지하였다. 멸치의 자원관리를 위해 기선권현망어업에 대해서는 TAC 제도를 도입하여 관리하고 있기에, 본 결과가 어업특성을 이해하는데 필요한 기초적인 생물학적 정보로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 국립수산물연구원 수산과학연구소인 '남해 연안어업 및 환경 생태 조사(R2024010)'의 지원으로 수행되었으며, TMB를 이용한 성장식 추정법을 소개해 주신 부경대학교 현상윤 교수님께 감사의 인사를 드립니다.

References

- Aldanondo N, Cotano U, Alvarez P and Uriarte A. 2016. Validation of the first annual increment deposition in the otoliths of European anchovy in the Bay of Biscay based on otolith microstructure analysis. *Mar Freshwater Res* 67, 943-950. <http://dx.doi.org/10.1071/MF15083>.
- Baeck GW, Yeo YM, Jeong JM, Park JM and Huh SH. 2011. Feeding habits of scorpion fish, *Sebastes marmoratus*, in the coastal waters of Tongyeong, Korea. *Korean J Ichthyol* 23, 128-134.
- Bagenal TB and Tesch FW. 1978. Age and growth. In: *Methods for Assessment of Fish Production in Freshwater*, 3rd Edition. Bagenal T, ed. IBP Handbook No. 3, Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.
- Basilone G, Barra M, Ferreri R, Mangano S, Pulizzi M, Giacalone G, Fontana I, Aronica S, Gargano A, Rumolo P, Genovese S and Bonanno A. 2020. First annulus formation in the European anchovy; a two-stage approach for robust validation. *Sci Rep* 10, 1079. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58174-5>.
- Basilone G, Guisande C, Patti B, Mazzola S, Cuttitta A, Bonanno A and Kallianiotis A. 2004. Linking habitat conditions and growth in the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Fish Res* 68, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2004.02.012>.
- Beckman DW and Wilson CA. 1995. Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths. In: *Recent Developments in Fish Otolith Research*. Secor DH, Dean JM and Campana SE, eds. University of South Carolina Press, Columbia, SC, U.S.A., 27-43.
- Benson IM, Helser TE, Marchetti G and Barnett BK. 2023. The future of fish age estimation: Deep machine learning coupled with fourier transform near-infrared spectroscopy of otoliths. *Can J Fish Aquat Sci* 80, 1482-1494. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2023-0045>.

- Campana SE and Thorrold SR. 2001. Otoliths, increments, and elements: Keys to a comprehensive understanding of fish populations?. *Can J Fish Aquat Sci* 58, 30-38. <https://doi.org/10.1139/cjfas-58-1-30>.
- Cha SS. 1990. Age and growth of anchovy (*Engraulis japonicus*) juvenile in the coastal waters of chonnam, Korea. *Bull Korean Fish Soc* 23, 385-393.
- Fellatami K, Zhang W, Zhang C, Liu S and Tian Y. 2024. Age and growth of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*, Temminck & Schlegel, 1846) in Coastal Waters around Shandong Peninsula, China. *Fishes* 9, 124. <https://doi.org/10.3390/fishes9040124>.
- Hayashi S and Kondo K. 1957. Growth of the Japanese anchovy - IV. Age determination with the use of scales. *Bull Tokai Reg Fish Res Lab* 17, 31-64.
- Hwang SD, Song MH, Lee TW, McFarlane GA and King JR. 2006. Growth of larval Pacific anchovy *Engraulis japonicus* in the Yellow Sea as indicated by otolith microstructure analysis. *J Fish Bio* 69, 1756-1769. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01244.x>.
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea). 2019. Handbook of fish age estimation protocols and validation methods. ICES cooperative research report. NO. 346. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5221>.
- Iversen SA, Zhu D, Johannessen A and Toresen R. 1993. Stock size, distribution and biology of anchovy in the Yellow Sea and East China Sea. *Fish Res* 16, 147-163. [https://doi.org/10.1016/0165-7836\(93\)90049-D](https://doi.org/10.1016/0165-7836(93)90049-D).
- Kim JY and Kim YM. 1986. Growth of juvenile anchovy *Engraulis japonica* in the Korean waters, as determined by daily growth increments in otoliths. *Bull Fish Res Dev Agency* 37, 151-156.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2023. Statistic Databased for Fishery Production Survey. Retrieved from <https://kosis.kr> on Dec 29, 2023.
- Lee HW, Hwang SD and Kim HY. 2021. Age and growth characteristic of Pacific anchovy, *Engraulis japonicus*, in the Southern waters of Korea based on the year ring of otolith and collection date. *Korean J Ichthyol* 33, 31-36. <https://doi.org/10.35399/ISK.33.1.5>.
- Ohshimo S. 2009. Biological characteristics of Japanese anchovy in the waters off northern and western Kyushu in Japan. *Cont Fish Res Jpn Sea Block* 44, 51-60.
- Takahashi M, Watanabe Y, Kinoshita T and Watanabe C. 2001. Growth of larval and early juvenile Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, in the Kuroshio-Oyashio transition region. *Fish Oceanogr* 10, 235-247. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.2001.00160.x>.
- von Bertalanffy L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human Biol* 10, 181-213.
- Williams AJ, Davies CR and Mapstone BD. 2005. Variation in the periodicity and timing of increment formation in red throat emperor (*Lethrinus miniatus*) otoliths. *Mar Freshwa Res* 56, 529-538. <https://doi.org/10.1071/MF04129>.