

음향산란이론모델을 이용한 멸치(*Engraulis japonicus*)의 음향산란강도 추정

박근창 · 오우석¹ · 이유원² · 이형빈³ · 이경훈^{2*}

국립부경대학교 해양생산관리학부, ¹국립경대학교 저탄소해양생산기술연구소, ²국립경대학교 해양생산시스템관리학부, ³국립수산과학원 수산자원연구센터

Target Strength of Anchovy *Engraulis japonicaus* by Theoretical Acoustic Scattering Model

Geunchnag Park, Wooseok Oh¹, Yoo-won Lee², Hyoung Been Lee³ and Kyounghoon Lee^{2*}

Department of Fisheries Physics, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

¹Institute of Low-Carbon Marine Production Technology Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

²Division of marine production system management, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

³Fisheries Resource Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53064, Republic of Korea

This study estimates the target strength of anchovy *Engraulis japonicus* required for studying their distribution and density using acoustics and evaluates the acoustic scattering characteristics of anchovies by frequency using the Kirchhoff ray mode (KRM) model. The experiment was conducted on 30 anchovies with 4.7–21.5 cm total length. The maximum TS_{cm} (Simming angle, 9.1° ; standard deviation, $\pm 13.1^\circ$) according to total length was -66.9, -65.2, -64.4, and -63.4 dB at 38, 70, 120, and 200 kHz, respectively. The average TS_{cm} (Simming angle: 9.1° , standard deviation: $\pm 13.1^\circ$) according to total length was -68.9, -68.8, -69.6, and -70.0 dB at 38, 70, 120, and 200 kHz, respectively. The results of this study provide an important basis for future studies that use acoustics to estimate the target strength of anchovies.

Keywords: Anchovy, Target strength, Kirchhoff-ray mode modal, Swimming angle

서론

멸치(*Engraulis japonicus*)는 청어목(*Clupeiformes*) 멸치과(*Engraulidae*)에 속하는 어류로, 우리나라 연근해 생태계에서 일차생산자와 상위 포식자를 연결해주는 어종이다(Takahashi et al., 2001; Takagi et al., 2009). 또한, 상업적으로 가치가 매우 높은 어종이며, 우리나라에서는 멸치 자원을 보호하기 위해서 연간 잡을 수 있는 양을 정하여, 그 한도내에서만 어획을 허용하여는 총허용어획량(total allowable catch) 제도를 시범운영하고 있다(FIRA, 2024). 하지만, 최근 10년간 멸치의 어획량은 점점 감소하고(MOF, 2023), 수온 상승으로 인하여 성육장과 산란장이 변동되고 있는 추세이다(NIFS, 2024). 따라서, 우리나라 연근해 생태계에서 생물학적 가치가 높으며, 우리의 일

상생활에서 다양한 용도로 사용되는 멸치를 지속적으로 이용하기 위해서는 과학적인 조사를 통한 수산자원의 모니터링이 필요하다. 수산자원을 모니터링하는 방법 중 하나로 음향조사 방법이 있다. 음향조사 방법은 다른 조사와 달리 조사 해역의 전 수층을 관측할 수 있으며, 수산자원의 수직·수평 분포를 파악할 수 있어 세계 여러 나라에서 사용하고 있는 방법이다(Yang et al., 2014; Han et al., 2017; Yoon et al., 2017). 음향조사 방법을 이용하여 대상 생물의 분포와 밀도를 추정하기 위해서는 먼저 대상 생물이 가지고 있는 고유의 음향산란강도(target strength, TS)를 파악해야 한다. 대상 생물의 TS를 추정하는 방법에는 실험적 방법과 이론적 방법이 있다. 실험적 방법에는 *ex-situ* 방법과 *in-situ* 방법이 있으며, 이론적인 방법에는 음향이론모델을 이용한 방법이 있다. *Ex-situ* 방법은 대상 생물을 마취시켜

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5889 Fax: +82. 51. 629. 5886

E-mail address: ricky1106@naver.com



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.2024.0302>

Korean J Fish Aquat Sci 57(3), 302-309, June 2024

Received 24 May 2024; Revised 17 June 2024; Accepted 25 June 2024

저자 직위: 박근창(대학원생), 오우석(연구원), 이유원(교수), 이형빈(연구사), 이경훈(교수)

줄에 고정하여 실험하는 방법과 수조에 어류를 풀어놓고 자유 유영상태에서 실험하는 방법이 있다. *In-situ* 방법은 실제 현장에서 과학어군탐지기를 이용하여 측정하는 방법이다. 이론적인 방법은 KRM (Krichoff-ray Mode) 또는 DWBA (Distorted Wave Born Approximation) 모델과 같이 대상 생물의 체형과 부레를 근사하여 대상 생물의 TS를 측정하는 방법이다. 음향산란이론모델 방법을 이용하여 대상 생물의 TS를 측정할 때는 대상 생물의 체장과 체중, 음속비와 밀도비, 부레의 유무 여부, 대상 생물의 유영자세각, 주파수 등의 매개변수들을 고려해야 한다(Mukai and Iida, 1996; Sawada et al., 2002; Yoon et al., 2017; Park et al., 2022).

본 연구에서는 어류의 TS 추정에 자주 사용되는 KRM model을 이용하여 유영자세각과 체장에 따른 주파수별(18, 38, 70, 120 kHz) 멸치의 TS 변동 특성을 파악하였으며, 측정의 정확도를 분석하기 위해서 선행연구에서 나타난 TS 값과 비교 분석하였다.

재료 및 방법

멸치 체형과 부레 묘사

음향산란이론모델을 이용하여 멸치의 TS를 측정하기 위해서는 멸치의 체형과 부레에 대한 정보가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 국립수산물과학원에서 2020년부터 2023년까지 트롤 조사를 통해 채집된 멸치와 통영 정치망에서 채집된 멸치를 대상으로 체형과 부레의 정보를 X-ray 촬영을 통해 수집하였다. 총 203개의 X-ray 사진 중 멸치의 체형과 부레의 형태가 선명한 30개의 사진을 선별한 후, 디지털화징 소프트웨어(Getdata Graph Digitizer V 2.26.0.20; Getdata Pty Ltd., Berghain, Germany)를 이용하여 멸치의 배면과 측면을 0.5 mm 간격으로 나누어 멸치 체형과 부레를 근사하였다(Fig. 1). 멸치 부레의 각도는 이미지분석프로그램(ImageJ V 1.54; Bharti Airtel Ltd., Bethesda, ML, USA)을 이용하여 측정하였다. KRM 모델에 사용한 멸치의 체장 분포는 4.7–21.5 cm (Avg, 9.7 cm)이었으

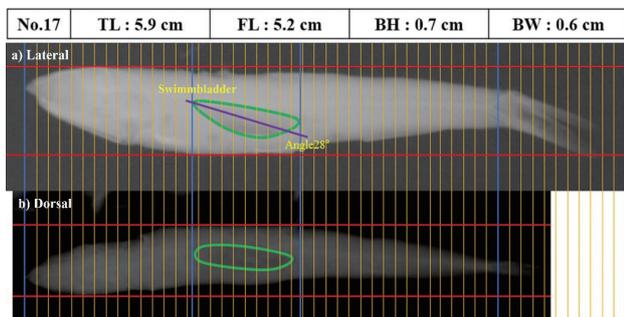


Fig. 1. An example of comparing the X-ray image of anchvov *Engraulis japonicus* and measuring the size and tilt angle of the swimbladder. a, Lateral; b, Dorsal.

며, 가랑이 체장은 4.3–20.8 cm (Avg, 9.0), 체고는 0.5–2.3 cm (Avg, 1.2 cm), 체폭은 0.3–1.7 cm (Avg, 0.7 cm), 부레의 기울기 각도는 4.7–42.3° (Avg, 17.1°)이었다(Appendix Table 1).

음향산란이론모델

멸치의 TS를 측정하기 위해 KRM model (Krichhoff-ray mode; Clay and Home, 1994)을 이용하였다. KRM model은 어류의 체형과 부레를 실린더 혹은 원뿔모양으로 근사하여 각각의 음향산란성분을 구한 후, 어류 전체의 음향산란값을 추정한다. 식 (1)은 멸치 부레에 대한 음향산란성분 추정 식으로 구할 수 있다.

$$L_{blad} \approx -i \frac{R_{bc} (1-R_{bc}^2)}{2\sqrt{\pi}} \sum_{j=0}^{N_s-1} A_{sb} \times \frac{1}{[(k_b a(j)+1)\sin\theta]^2} \times \exp[-i(2k_b v_j + \psi_{sb})] \Delta u(j) \dots\dots (1)$$

여기서, N_s 은 부레의 실린더 수, i 는 복소수의 허수, k 와 k_b 은 해수와 체형에 대한 파수, A_{sb} 은 ka 에 대한 진폭, ψ_{sb} 은 ka 에 대한 위상 조정이다. A_{sb} 와 ψ_{sb} , ψ_b , R_{wb} 은 식 (2)–(5)을 이용하여 구할 수 있다.

$$A_{sb} \approx \frac{ka_j}{ka_j + 0.083} \dots\dots\dots (2)$$

$$\psi_{sb} \approx \frac{ka_j}{40 + ka} - 1.05 \dots\dots\dots (3)$$

$$\psi_b \approx \frac{\pi k_b z_u}{2[k_b z_u + 0.4]} \dots\dots\dots (4)$$

$$R_{wb} = \frac{\rho_b C_b - \rho_w C_w}{\rho_b C_b + \rho_w C_w} \dots\dots\dots (5)$$

여기서, ψ_b 은 위상 계수, R_{wb} 은 어류의 체형과 해수 사이 경계면에 대한 반사계수, ρ_b 는 어체의 밀도, C_b 는 어체의 음속, ρ_w 는 해수의 밀도, C_w 는 해수의 음속이다. 식 (6)은 멸치 체형에 대한 음향산란성분 추정 식으로 구할 수 있다.

$$L_{body} \approx -i \frac{R_{wb}}{2\sqrt{\pi}} \sum_{j=0}^{N_s-1} [ka(j)]^2 \Delta u(j) \times [\exp(-i2k v_{uj} - (1-R_{wb}^2)) \times \exp\{-i2k v_{uj} + i2k_b (v_{uj} - v_{lj}) + i\psi_b\}] \dots\dots\dots (6)$$

여기서, N_b 는 어류 체형에 대한 실린더 수, R_{bc} 는 어류의 체형과 부레 사이 경계면에 대한 반사계수입니다. R_{bc} 는 식 (7)을 이용하여 구할 수 있으며, 여기서 g 와 h 는 각각 밀도비와 음속비이다.

$$R_{bc} = \frac{gh-1}{gh+1} \dots\dots\dots (7)$$

대상 생물의 TS은 부레에 대한 음향산란성분과 체형에 대한 음향산란성분의 합으로 구하기 때문에 식 (8)과 같이 대상 생물의 후방산란성분(L_{fish})를 구할 수 있다.

$$L_{fish} = L_{blad} + L_{body} \dots\dots\dots (8)$$

따라서, 대상 생물의 TS는 식 (9)와 같다.

$$TS = 20 \log |L_{fish}| \dots\dots\dots (9)$$

본 연구에서는 멸치의 TS 값을 주파수(38, 70, 120, 200 kHz) 대역별로 유영 자세각을 $-60 - 60^\circ$ 까지 1° 간격으로 계산하였고, TS의 평균값과 최대값을 추정하였다. 멸치 TS의 평균값은 Kang et al. (2009)의 선행연구에서 나타난 멸치의 평균 자세각 9.1° , 표준편차 $\pm 13.1^\circ$ 와 선행연구들(Hwang et al., 2012, 2015; Park et al., 2022)에서 사용한 일반적인 어류의 평균 자세각 -5° , 표준편차 $\pm 15.0^\circ$ 의 두 가지 값을 확률밀도함수(probability density function, PDF)로 가정하여 각각의 평균 TS 값을 구하였으며, 평균 TS는 식 (10)과 (11)를 이용하여 계산하였다.

$$\sigma_{bs} = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sigma(\theta) f(\theta) d\theta \dots\dots\dots (10)$$

$$TS_{avg} = 10 \log_{10} \sigma_{avg} \dots\dots\dots (11)$$

여기서, $\alpha(\theta)$ 은 유영자세각 θ 별의 후방산란단면적이며, $f(\theta)$ 은 각 유영자세각별 출현빈도이다. 멸치 체장에 따른 TS는 식 (12)와 (13)을 이용하여 구할 수 있으며, 식 (13)은 TS가 체장의 2승에 비례한다고 가정하였을 때 구할 수 있는 식이다.

$$TS = a \log_{10} FL + b \dots\dots\dots (12)$$

$$TS = 20 \log_{10} FL + TS_{cm} \dots\dots\dots (13)$$

음향산란이론모델을 이용하여 대상 어종의 TS를 추정하기 위해서는 어류 체형에 대한 밀도비와 음속비, 부레에 대한 밀도비와 음속비, 해수에 대한 밀도비와 음속비가 필요하다. 본 연구에서는 Clay and Horne (1994)의 선행 연구에서 나타난 밀도비와

Table 1. The mean swimming angle and standard deviation of fish

Sources	Species	Mean swimming angle	Standard deviation
Kang et al. (2009)	Anchovy	9.1°	$\pm 13.1^\circ$
Pilot studies	Fishies	-5.0°	$\pm 15.0^\circ$

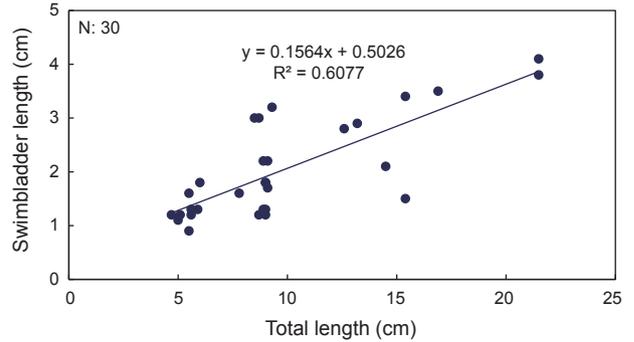


Fig. 2. Relationship between body length and swim-bladder length.

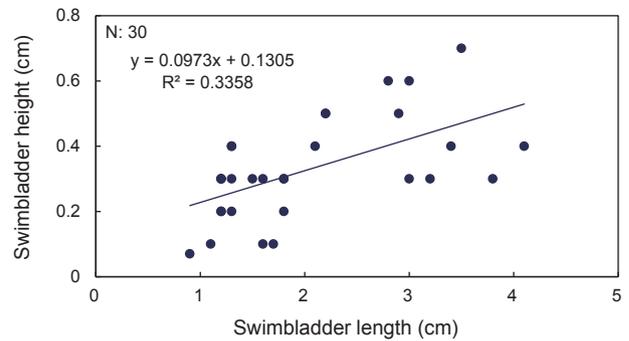


Fig. 3. Relationship between length and height of swimbladder.

음속비를 이용하였다. 실험에 사용한 어체의 음속비와 밀도비는 각각 $1,070 \text{ kg/m}^3$, $1,570 \text{ m/s}$ 이었으며, 부레에 대한 음속비와 밀도비는 각각 1.24 kg/m^3 , 345 m/s 다(Table 1).

결과 및 고찰

멸치의 부레 형상

촬영된 X-ray 사진을 통해 멸치 30개체의 체형과 부레와의 관계를 파악하였다(Fig. 2). 멸치의 체장이 4.7–21.5 cm (Avg, 9.7 cm)일 때, 부레의 길이는 0.9–4.1 cm (Avg, 2.0 cm)로 체장이 커질수록 부레의 길이는 증가하였으며, 체장에 대한 부레의 길이비는 0.10–0.35이었다. 부레 길이에 따른 부레의 높이는 0.07–0.70 cm (Avg, 0.3 cm)로 나타났으며, 부레의 길이가 증가할수록 부레의 폭도 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 3). 멸치의 부레 형상을 연구한 Ok and Gucu (2019)의 연구에서 멸치 부레의 크기는 통계적으로 위 포만도와 내장의 유무와는 상관 없이, 간중량지수와 체중이 멸치 부레의 크기에 유의미한 영향을 나타낸다고 하였다. 또한, Zhao et al. (2008)과 Tong et al. (2022)의 연구에 따르면 수심이 깊어지면 압력이 커지고 이로 인해 부레의 크기가 감소하며, 이에 따라 어류의 TS 값이 감소한다는 연구결과가 있다. 따라서, 멸치 부레의 형상과 크기

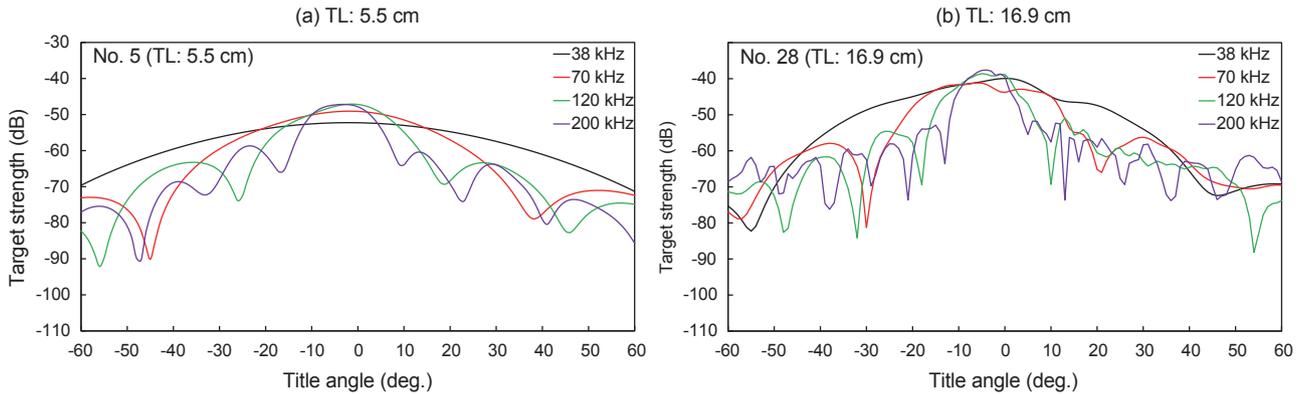


Fig. 4. TS of anchovy for multi-frequency according to the tilt angle. a, TL, 5.5 cm; b, TL, 16.9 cm. The blue bars represent the bands with the highest TS values. TS, Target strength.

는 멸치의 체형 및 행동에 따라 영향을 받는 것으로 판단되며, KRM model을 이용하여 대상 생물의 TS 값을 추정하기 위해서는 어류 체형과 부레의 형상을 파악하는 것은 매우 중요한 것으로 판단된다.

유영자세각에 따른 멸치의 음향산란강도

KRM 모델을 이용하여 멸치의 유영자세각(-60°-60°)에 따른 주파수별(38, 70, 120, 200 kHz) TS 변화를 파악하였다(Fig. 4). 멸치의 자세각이 0°일 때 멸치는 수평 방향을 나타내며, 자세각이 마이너스(-)일 때는 머리를 아래로 하였을 때, 자세각이 플러스(+)일 때는 머리를 위로하였을 때를 나타낸다. 체장 5.5 cm (No. 5) 멸치의 주파수별 TS 값은 -99.0 - -52.0 dB로 나타났다. 자세각에 따른 주파수별 최대 TS 값은 38 kHz의 경우 유영자세각이 -3°일 때 -62.5 dB로 가장 높은 값을 나타내었으며, 70 kHz에서 멸치의 TS 값은 유영자세각이 2°일 때 -58.0 dB로 가장 높은 값을 나타내었다. 120 kHz에서 멸치의 TS 값은 유영자세각이 3°일 때 -54.2 dB로 가장 높았으며, 200 kHz에서 멸치의 TS 값은 유영자세각이 3°일 때 -52.0 dB로 가장 높은 값을 나타내었다. 체장 16.9 cm (No. 28) 멸치의 주파수별 TS 값은 -88.1 - -37.5 dB로 나타났다. 자세각에 따른 주파수별 최대 TS 값은 38 kHz에서 유영자세각이 0°일 때 -39.9 dB로 가장 높은 값을 나타내었으며, 70 kHz에서 멸치의 최대 TS 값은 유영자세각이 -6°일 때 -41.1 dB로 가장 높은 값을 나타내었다. 120 kHz에서 멸치의 최대 TS 값은 유영자세각이 -5°일 때 -38.5 dB로 가장 높은 값을 나타내었으며, 200 kHz에서 멸치의 최대 TS 값은 유영자세각이 -4°일 때 -37.5 dB로 가장 높은 값을 나타내었다. 체장 4.7-21.5 cm 멸치의 유영 자세각에 따른 주파수별 TS는 38 kHz의 경우 유영자세각이 -7° - 3°일 때 -62.6 - -29.7 dB, 70 kHz의 경우 유영자세각이 -7° - 9°일 때 -58.0 - -34.3 dB, 120 kHz의 경우 유영자세각 -8° - 2°일 때 -52.2 - -34.3 dB, 200 kHz의 경우 유영자세각이 -8° - 3°일 때 -55.7 - -35.6 dB로 머리를 아래 방향으로 향할 때 가장 높은 TS 값을 나타내었다.

체형에 따른 멸치의 음향산란강도

음향산란이론모델을 이용하여 서로 다른 크기의 멸치 30개체에 대한 주파수별(38, 70, 120, 200 kHz) 최대 TS와 평균 TS를 산정하였다(Table 2). 최대 TS는 자세각 -60° - 60° 사이에서 가장 큰 값을 말한다. 평균 TS는 자세각 9.1°, 표준편차 ±13.1°와 자세각 -5.0°, 표준편차 ±15.0°를 PDF로 계산한 값을 말한다. 또한, 일반적으로 어류의 TS 값은 어류의 유영 행동에 많은 영향을 받으므로, 본 연구에서는 평균 유영자세각에 따른 멸치의 TS의 차이를 파악하고자 2가지 평균 유영자세각을 이용하여 멸치의 평균 TS를 파악하였다. 38 kHz에서 최대 TS는 -62.6 - -29.7 dB, 70 kHz에서 -58.0 - -34.3 dB, 120 kHz에서 -55.2 -

Table 2. Summary of linear regression of TS vs body length of anchovy *Engraulis japonicus* at frequency 38, 70, 120, 200 kHz; the values in the horizontal column are the average swimming angle and standard deviation of the fish

Target strength	Frequency (kHz)	TS=log ₁₀ TL+b		Normalized TS _{cm} (dB)
		a	b	
Maximum TS	38	33.9	-80.1	-66.9
	70	25.7	-70.7	-65.2
	120	23.3	-67.6	-64.4
	200	23.1	-66.4	-63.4
Average TS [9.1°, ± 13.1°]	38	28.2	-76.8	-68.9
	70	20.0	-68.9	-68.8
	120	17.8	-67.6	-69.6
	200	18.5	-68.6	-70.0
Average TS [-5.0°, ± 15.0°]	38	28.8	-77.1	-68.7
	70	20.9	-69.1	-68.2
	120	18.4	-67.2	-68.7
	200	18.5	-67.6	-68.9

TS, Target strength.

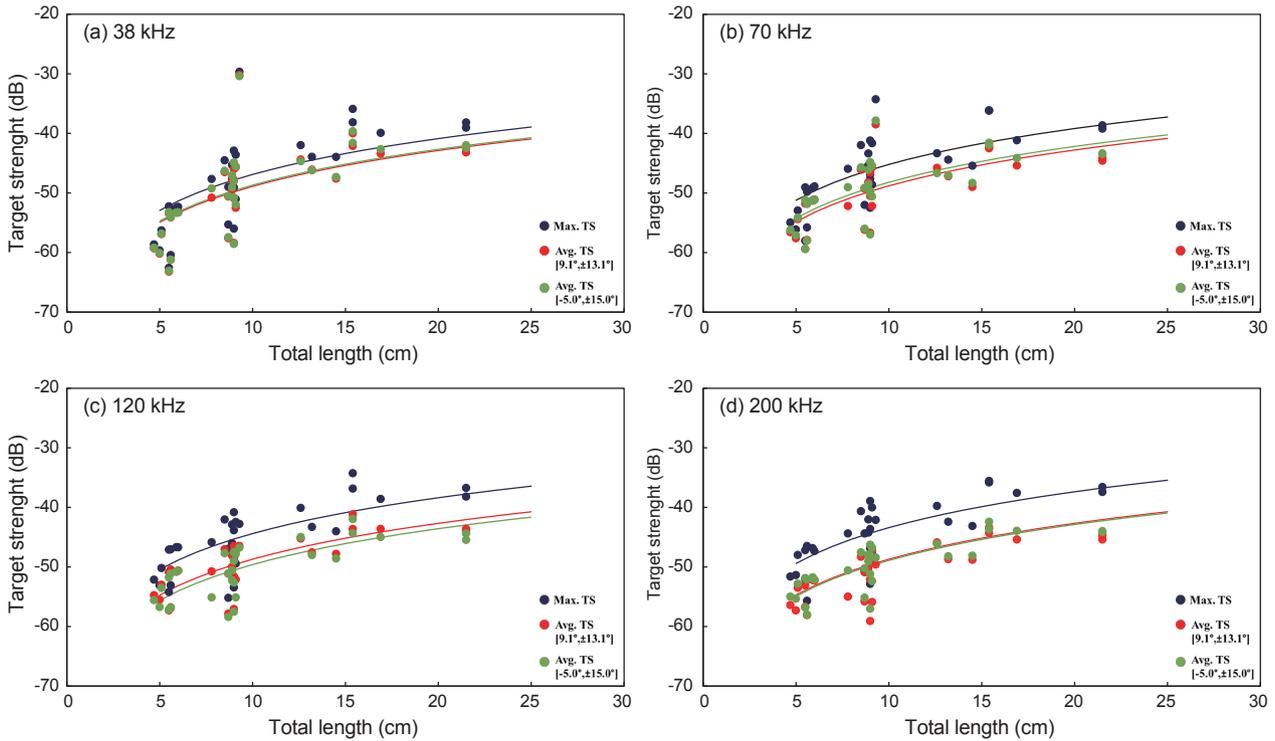


Fig. 5. TS of anchovy according to the total length. a, 38 kHz; b, 70 kHz; c, 120 kHz; d, 200 kHz. The blue colour represent the maximum TS, while the red colour represent the average TS [9.1°, ±13.1°] and the green colour represent the average TS [-5.0°, ±15.0°] value. TS, Target strength.

-34.3 dB, 200 kHz에서 -55.7 – -35.6 dB로 나타났다. TS를 체장의 2승에 비례하여 계산한 표준화된 최대 TS_{cm} 값은 38 kHz에서 -66.9 dB, 70 kHz에서 -65.2 dB, 120 kHz에서 -64.4 dB, 200 kHz에서 -63.4 dB로 나타났다.

멸치의 평균 자세각을 9.1°, 표준편차를 ± 13.1°로 가정하였을 때 멸치의 평균 TS는 38 kHz에서 -63.2 – -30.2 dB, 70 kHz에서 -59.4 – -38.5 dB, 120 kHz에서 -58.4 – -42.0 dB, 200 kHz에서 -59.1 – -43.4 dB로 나타났다. 표준화된 평균 TS_{cm} 값은 38 kHz에서 -68.9 dB, 70 kHz에서 -68.8 dB, 120 kHz에서 -69.6 dB, 200 kHz에서 -70.0 dB로 나타났다.

멸치의 평균 자세각을 -5.0°, 표준편차를 ± 15.0°로 가정하였을 때 멸치의 평균 TS는 38 kHz에서 -63.0 – -30.3 dB, 70 kHz에서 -59.4 – -37.8 dB, 120 kHz에서 -57.8 – -41.1 dB, 200 kHz에서 -58.0 – -42.0 dB로 나타났다. 표준화된 평균 TS_{cm} 값은 38 kHz에서 -68.7 dB, 70 kHz에서 -68.2 dB, 120 kHz에서 -68.7 dB, 200 kHz에서 -68.9 dB로 나타났다(Fig. 5). 일반적인 어류의 평균 자세각과 수조 실험을 통해 나타난 멸치의 평균 자세각을 이용하여 나타난 멸치의 평균 TS를 파악한 결과 38 kHz에서는 거의 차이를 보이지 않았으며, 200 kHz로 평균 TS 값은 약 2 dB 정도 차이를 나타났다. 이러한 차이를 보이는 이유는 멸치 체형에 따라 음향신호를 받는 면적이 다르기 때문이라 판단된

다. 실험을 통해 나타난 멸치의 평균 유평자세각은 멸치가 머리를 위쪽으로 향한 상태이며, 일반적인 어류의 평균 유평자세각

Table 3. Summary of average TS estimates by previous studies for anchovy *Engraulis japonicus*

Sources	Method	Frequency (kHz)	Avg. TS_{cm} (dB)
This study	Modeling	38	-68.9
		70	-68.8
		120	-69.6
		200	-70.0
Zhao (1990)	<i>ex-situ</i>	38	-72.5
Yoon (1990)	<i>in-situ</i>	38	-72.9
Zhao et al. (2008)	<i>ex-situ</i>	38	-67.2
Kang et al. (2009)	<i>ex-situ</i>	38	-65.8
Sobradillo et al. (2021)	<i>ex-situ</i>	38	-66.5
		120	-68.9
	<i>in-situ</i>	200	-70.5
		38	-65.8
		120	-66.4
		200	-68.7

TS, Target strength.

은 멸치가 머리를 아래쪽으로 향한 상태이기 때문에 반사되는 멸치의 음향신호의 면적이 다르기 때문이라 판단된다. 따라서, 어류의 평균 자세각과 표준편차 값에 따라 TS 값이 달라질 수 있으므로, 향후 연구에서는 멸치의 평균 유형자세각과 표준편차를 측정하여 멸치의 TS를 추정해야 한다고 판단된다.

In-situ 방법을 이용하여 멸치의 TS 값을 추정한 Yoon et al. (1996)의 연구에 따르면 주파수 38 kHz에서 멸치의 b_{20} 값은 -72.9 dB로 나타났다. *Ex-situ* 방법을 이용하여 멸치의 TS 값을 추정한 Zhu (1990)의 연구에 따르면 주파수 38 kHz에서 b_{20} 값은 -72.5 dB로 나타났다. *Ex-situ* 방법을 이용하여 체장 6.0–15.0 cm인 멸치를 대상으로 TS 값을 추정한 Zhao et al. (2008)의 연구에 따르면 주파수 38 kHz에서 b_{20} 값은 -67.6 dB로 나타났다. *ex-situ* 방법을 이용하여 체장 4.8–12.2 cm인 멸치의 TS를 추정한 Kang et al. (2009)의 연구에 따르면 38 kHz에서 b_{20} 값은 -65.8 dB, 120 kHz에서 -68.4 dB, 200 kHz에서 -69.1 dB로 나타났다. *in-situ* 방법을 이용하여 체장 3.5–19.5 cm인 멸치의 TS를 추정한 Sobradillo et al. (2021)의 연구에 따르면 멸치의 b_{20} 값은 38 kHz에서 -66.5 dB, 120 kHz에서 -68.9 dB, 200 kHz에서 -73.2 dB로 나타났다. *ex-situ* 방법을 이용하여 멸치의 TS를 추정한 Sobradillo et al. (2021)의 연구에 따르면 멸치의 b_{20} 값은 38 kHz에서 -65.8 dB, 120 kHz에서 -66.4 dB, 200 kHz에서 -68.7 dB로 나타났다(Table 3). 본 연구결과와 비교하였을 때 TS는 약 -4 dB 정도 차이를 나타내었으며, 이러한 이유는 실험에 사용한 멸치의 체장이 다르기 때문이다. 본 연구에서는 체장 10.0 cm 미만의 작은 멸치도 이용하여 멸치의 TS를 추정하였으나, 선행연구에서는 체장 13.0 cm 이상의 성어만을 이용하여 멸치의 TS를 추정하였기 때문에 이러한 차이가 나타난 것으로 판단된다. 또한, 일반적으로 알고 있는 어류의 평균 자세각인 -5.0° , 표준편차 $\pm 15.0^\circ$ (Hwang et al., 2012, 2015; Park et al., 2022)가 아닌 실험을 통해 나타난 멸치의 평균 자세각 9.0° , 표준편차 $\pm 13.1^\circ$ (Kang et al., 2009)로 평균 TS를 추정하였기 때문에 TS의 차이가 나타난 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 부경대학교(신임교수 학술연구비, 202315520001)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

Clay CS and Horne JK. 1994. Acoustic models of fish: The Atlantic cod (*Gadus morhua*). J Acoust Soc Am 96, 1661-1668. <https://doi.org/10.1121/1.410245>.
 FIRA (Korea Fisheries Resources Agency). 2024. Introduction to TAC. Retrieved from https://www.fira.or.kr/fira/fira_030601.jsp on Jan 27, 2024.
 Han IS, Oh WS, Yoon EA, Suh YS, Lee KH and Sin H. 2017. The relationship between fish and zooplankton in south-

western region of the East Sea using hydroacoustics. J Kor Sci Fish Ocean Technol 53, 376-385. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2017.53.4.376>.
 Hwang K, Lee K and Hwang BK. 2012. Verification and application of target strength for Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) by theoretical acoustic scattering model. J Kor Soc Fish Technol 48, 487-494. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.4.487>.
 Hwang BK, Lee YW, Jo HS, Oh JK and Kang MH. 2015. Visual census and hydro-acoustic survey of demersal fish aggregations in Uiju small scale marine ranching area (MRA), Korea. J Kor Soc Fish Technol 51, 16-25. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.1.016>.
 Kang D, Cho S, Lee C, Myoung JG and Na J. 2009. Ex situ target-strength measurements of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) in the coastal Northwest Pacific. ICES J Mar Sci 66, 1219-1224. <https://doi.org/10.1093/icesjms/66/12/1219>.
 Kim H, Cho S, Kim M, Kim S and Kang D. 2023. Acoustic target strength according to different growth stages of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*): A comparison of juvenile and adult fish. J Mar Sci Eng 11, 1575. <https://doi.org/10.3390/jmse11081575>.
 MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2023. Press Release. Retrieved from <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=49328&searchDeptName=&menuSeq=971&searchEndDate=&searchEtc1=&searchEtc2=&searchEtc3=&searchEtc4=&searchEtc5=¤tPageNo=1&searchSelect=title&searchStartDate=&recordCountPerPage=&bbsSeq=10&searchValue=%EC%96%B4%EC%97%85%EC%83%9D%EC%82%B0%EB%9F%89> on Feb 05, 2024.
 Mukai T and Iida K. 1996. Depth dependence of target strength of live kokanee salmon in accordance with Boyle's law. ICES J Mar Sci 53, 245-248. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0029>.
 NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2024. Fishing Condition and Oceanic Condition. Retrieved from <https://www.nifs.go.kr/board/actionBoard0014List.do> on Feb 05, 2024.
 Ok M and Gücü AC. 2019. A study on European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) swimbladder with some considerations on conventionally used target strength. Turk J Zool 43, 203-214. <https://doi.org/10.3906/zoo-1809-21>.
 Park GC, Oh WS, Oh SY and Lee KH. 2022. Acoustic scattering characteristics of chub mackerel (*Scomber japonicus*) by KRM model. J Kor Soc Fish Technol 58, 32-38. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2022.58.1.032>.
 Sawada K, Takao Y, Miyanoana Y and Kinacigil HT. 2002. Introduction of the precise TS measurement for fisheries acoustics. Trurk J Vet Anim Sci 26, 209-214.
 Sobradillo B, Boyra G, Pérez-Arjona I, Martinez U and Espinosa V. 2021. Ex situ and in situ target strength measurements of European anchovy in the Bay of Biscay. ICES J Mar Sci

- 78, 782-796. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa242>.
- 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>.
- Takagi K, Yatsu A, Itoh H, Moku M and Nishida H. 2009. Comparison of feeding habits of myctophid fishes and juvenile small epipelagic fishes in the western North Pacific. *Mar Biol* 156, 641-659. <https://doi.org/10.1007/s00227-008-1115-8>.
- Tong J, Xue M, Zhu Z, Wang W and Tian S. 2022. Impacts of morphological characteristics on target strength of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean. *Front Mar Sci* 9, 856483. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.856483>.
- Yang YS, Lee KH, Hwang BK, Lee HB, Kim IO and Kim SH. 2014. Backscattering strength and vertical distribution of dominant fishes in inland waters by Hydroacoustics. *J Kor Soc Fish Technol* 50, 476-486. <https://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.4.476>.
- Yoon GD, Kim ZG and Choi YM. 1996. Acoustic target strength of the pelagic fish in the southern waters of Korea I. *In situ* measurement of target strength of anchovy (*Engraulis japonica*). *J Kor Soc Fish Technol* 29, 107-114.
- Yoon EA, Kim KS, Lee IT, Jo HJ and Lee KH. 2017. Target strength estimation by tilt angle and size dependence of rockfish (*Sebastes schlegeli*) using ex-situ and acoustic scattering model. *J Kor Soc Fish Technol* 53, 152-159. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2017.53.2.152>.
- Zhu DS. 1990. Anchovy and other fish resources in the Yellow Sea and East China Sea. *Mar Fish Res* 11, 1-143.
- Zhao X, Wang Y and Dai F. 2008. Depth-dependent target strength of anchovy (*Engraulis japonicus*) measured *in situ*. *ICES J Mar Sci* 65, 882-888. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn055>.

부 록

Appendix Table 1. The total length distribution of anchovy *Engraulis japonicus* used in the KRM model

No.	Total length (cm)	Fork length (cm)	BH (cm)	BW (cm)	Swimbladder angle (°)
1	4.7	4.3	0.5	0.3	11.5
2	5.0	4.5	0.5	0.4	27.0
3	5.1	4.6	0.6	0.3	9.0
4	5.5	4.8	0.6	0.3	16.1
5	5.5	4.8	0.6	0.3	10.9
6	5.6	5.3	0.6	0.4	23.0
7	5.6	5.3	0.8	0.3	28.1
8	5.9	5.2	0.7	0.6	28.4
9	6.0	5.5	0.8	0.4	14.1
10	7.8	6.9	1.5	0.6	7.1
11	8.5	8.0	1.0	0.7	4.7
12	8.7	8.0	1.1	0.6	11.5
13	8.7	7.9	1.2	0.6	27.7
14	8.9	8.2	1.2	0.6	10.6
15	8.9	8.3	1.2	0.7	42.3
16	9.0	8.3	1.2	0.7	12.1
17	9.0	8.2	1.2	0.7	9.3
18	9.0	7.8	1.2	0.8	18.6
19	9.0	8.8	2.1	1.6	21.6
20	9.1	8.3	1.2	0.6	8.8
21	9.1	8.4	1.0	0.6	26.6
22	9.3	8.5	1.2	0.6	6.5
23	12.6	12.1	1.9	1.2	32.5
24	13.2	12.6	2.1	1.3	19.2
25	14.5	13.7	2.2	1.7	25.0
26	15.4	14.5	1.2	0.6	6.5
27	15.4	14.5	2.1	1.6	9.1
28	16.9	15.0	2.3	1.6	12.7
29	21.5	20.7	1.7	1.0	13.2
30	21.5	20.8	1.5	1.0	20.4
Avg.	9.7	9.0	1.2	0.7	17.1

KRM, Krichoff-ray mode; BH, Bladder height; BW, Bladder weight.