

## 음향 실험 및 모델 기법을 이용한 도루묵 (*Arctoscopus japonicus*)의 음향산란반사강도 특성

이형빈 · 이경훈<sup>1\*</sup> · 윤은아<sup>1</sup> · 황강석 · 최정화 · 박태건<sup>2</sup>

국립수산과학원 자원관리과, <sup>1</sup>전남대학교 해양기술학부, <sup>2</sup>한국해양수산연수원 교육연구팀

### Target strength characteristics of sailfin sandfish (*Arctoscopus japonicus*) using ex situ experiment and acoustic model

Hyungbeen LEE, Kyoungsoon LEE<sup>1\*</sup>, Eun-A YOON<sup>1</sup>, Kangseok HWANG, Junghwa CHOI, Tae-Geon PARK<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>School of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

<sup>2</sup>Team of Education and Research, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 606-773, Korea

Acoustic target strength (TS) measurement and theoretical acoustic scattering models were applied to estimate the TS for assessing the fish biomass. TS measurement was made of *ex situ* sailfin sandfish *Arctoscopus japonicus* at 70 and 120 kHz, and then compared to backscatter model prediction. The live sandfish was tethered in seawater using monofilament lines. Measurements were made versus incidence angle,  $-50^{\circ}$  to  $50^{\circ}$  relative to dorsal aspect directions. Distorted wave Born approximation (DWBA) model was used to calculate TS pattern. The TS values of sandfish (body length: 16.2 cm) at 70 and 120 kHz were  $-66.94$  dB and  $-64.45$  dB, respectively, and were about 20 dB lower than TS of other fishes in Korea waters. These TS levels were distributed within the range of the theoretical TS. *Ex situ* measurement and theoretical TS may be applied to improve acoustical detection and biomass estimation of the sandfish, and is necessary to measure with various lengths.

Keywords: Sailfin sandfish, *Arctoscopus japonicus*, Target strength, distorted wave Born approximation, dB difference

### 서론

도루묵 (sailfin sandfish, *Arctoscopus japonicus*)은 우리나라 동해에 서식하는 국내 TAC 어종 중 하나로 상업적으로 중요한 어종이다. 이 어종은 주로 동해 대륙붕 (100~200 m) 의 해저면 부근에 분포하며, 동계에 산란을 위해 얇은 연안으로 회유할 때 어선에 의해서 어

획이 된다 (Kim et al., 2005; Lee et al., 2009). 도루묵은 1970년대에 20,000 ton 이상으로 많이 어획되었으나, 어군탐지 및 어획기술의 발달로 인한 과도한 남획으로 2000년 이후 4,000 ton이하로 어획량이 감소하였다 (Yang et al., 2012). 이에 도루묵의 자원 회복을 위해서 어구기법을 이용한 도루묵의 분포 및 자원량에 대

\*Corresponding author: khlee71@jnu.ac.kr, Tel: +82-61-659-7124, Fax: +82-61-659-7129

한 연구가 진행되고 있다 (Lee et al., 2009; Choi and Kim, 2012).

국내 수산자원 관리를 위한 과학적인 조사방법 중 수중음향 기법은 음향장비의 발달로 인하여 1980년대 이후 수산자원을 관리하고 평가하기 위한 하나의 도구로 이용되고 있다 (Simmonds and MacLannan, 2005). 이 기법은 기존의 방법에 비하여 어류의 시·공간적인 분포 및 현존량 평가에 유용하다고 알려져 있다. 음향기법을 이용한 어류의 분류 및 현존량을 파악하기 위한 가장 중요한 요소는 구성 어종의 음향 반사강도 (target strength, TS)이다. 어류의 TS는 사이즈, 유연 자세각, 부레의 유무 및 형태, 분포 수심 등 생물학적, 형태학적, 물리학적 요소들에 의해 변화한다. 이러한 TS값은 실험 어종에 대해서 *ex situ* 와 *in situ* 실험과 음향 산란 모델로 크게 3가지 방법을 통해서 측정한다. *Ex situ* 실험은 대상 단일어종에 대해서 현수법을 이용한 자세각 조정 또는 자유 유형을 통해 주요 자세각에 대한 TS값의 측정을 진행한다. *In situ*는 다양한 빔 종류를 이용하여 현장에서 자유 유평하는 어종의 TS값을 측정한다. 뿐만 아니라 음향 산란모델은 대상 어종의 형태학적 특성을 고려하여 크기, 유연 자세각, 부레의 크기, 사용 주파수 등 다양한 변수를 고려하여 TS값을 측정한다. 이렇게 측정된 조사 해역에 분포하는 주요 어종의 TS값은 음향 함수를 유도하여 현장 조사에서 획득한 체적 후방산란강도 (Volume backscattering strength, SV)를 음향 적분법을 적용하여 현존량 및 자원량으로 변환하는 과정으로 이용된다.

음향기법을 이용한 자원조사는 일반적으로 베링해 명태 (walleye pollock, *Theragra chalcogramma*), 북대서양 청어 (herring, *Clupea harengus*), 그리고 남극 크릴 (Antarctic krill, *Euphausia superba*)과 같은 단일 어종이 우점된 해역에서 자원량 예측을 진행한다 (Greene et al., 1991; Maravelias et al., 1996; Honkalehto et al., 2011). 하지만, 국내 연안과 같이 다양한 어종이 공존하는 해역에서 획득 음향 신호는 각각의 어종에 대한 분류 및 자원량 분석에 대한 많은 문제점이 존재한다. 이를 개선 할 수 있는 방법 중 하나로 다중 주파수의 평균 체적후방산란강도 차이 (dB difference)를 이용하여 어종 식별 및 분리 기법에 대한 연구가 진행되고 있다 (Woillez et al., 2012; D'Elia et al., 2014). 따라서, 혼합된 어종을 식별하고 분리하기 위해서는 각 어종에 대한

주파수 특성을 파악하는 것이 필요하다.

음향기법을 이용한 어류 탐지시 과학어군탐지기에서 활용하는 주파수에 대해서 어류 내 부레 (swimbladder)는 TS값의 90% 이상의 영향을 준다고 알려져 있다 (Foote, 1980). 어류 내의 부레의 유·무는 TS값에서 큰 차이를 보이므로, 부레가 없는 종에 대하여 다중 주파수를 적용하면 다른 어종과의 분류 및 식별 가능성이 높게 된다.

따라서, 본 연구에서는 국내 주요 상업어종 중 하나인 도루묵의 음향산란특성을 파악하기 위해서 과학어군탐지기를 이용하여 자세각 변화에 따른 TS값을 측정하였고, 음향 산란모델을 이용하여 실측 신호와 비교 및 검증을 실시하였다. 또한, 부레가 없는 도루묵에 대한 음향산란특성을 통해 주요 어종과의 분류 가능성을 확인하였다.

## 재료 및 방법

### 음향 조사 및 음향 시스템

본 실험은 전라남도 여수시 돌산읍에 위치한 전남대학교 수산과학연구소 해수 수조 (5 m × 5 m × 5 m)에서 2015년 3월 26일 과학어군탐지기를 이용하여 도루묵 음향산란특성 조사를 실시하였다. 실험에 사용한 표본어류는 2014년 12월 동해안 강원도 오호리항에서 어획된 도루묵을 살아있는 상태로 이송하여, 사육수조 (Ø5 m × 1 m)에서 안정화 시킨 후 실험에 사용하였다.

실험에 사용한 도루묵은 현수법을 이용하여 TS 신호를 획득하였다 (Fig. 1). 자료 획득 시 두 개의 낚시 줄 (monofilament line)을 이용하여 도루묵을 수심 3.5 m에 위치시킨 후, 유연 자세각을  $-50^{\circ} \sim +50^{\circ}$ 까지  $10^{\circ}$ 간격으로 변화시키면서 TS값을 측정하였다. 여기서, 어류의 자세각은 입사파와 어체의 윗면이 직각인 부분을  $0^{\circ}$ 를 기준으로 머리가 위로 향하는 경우 양의 각도 (+), 머리가 아래로 향하는 경우는 음의 각도 (-)로 정의하였다. 실험 시 샘플은 음향 신호에 영향을 최소화하기 위해서 공기에 노출되지 않도록 하였다. TS 실험 후 도루묵 샘플에 대해서는 길이 (cm)와 무게 (g)를 측정하였다.

도루묵의 TS 측정은 과학어군탐지기의 주요 주파수인 70 kHz (ES70-7C)와 120 kHz (ES120-7C)의 다중 주파수를 활용하였다. 실험에 사용한 과학어군탐지기 (EK60, Simrad Kongsberg Maritime AS, Norway)는 시

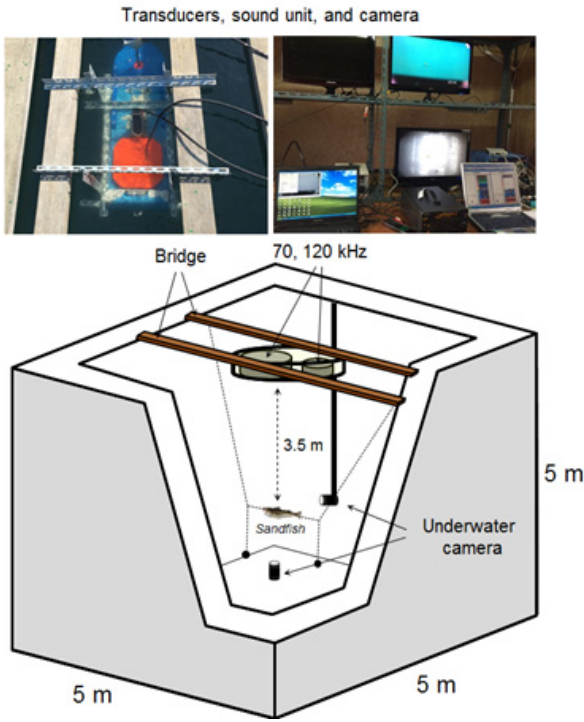


Fig. 1. Sailfin sandfish configuration and the acoustic system set-up for the TS measurements.

스텝 제어부와 센서부로 구성된 통합 시스템으로, 센서는 음 측에 대한 생물체의 위치 파악 및 보정이 가능한 분할 빔 (split-beam) 형태이다. 송신 신호의 폭 (pulse width)과 간격 (ping interval)은 각각 0.256 ms와 0.5 s 이고, 자세한 시스템 변수는 Table 1에 기술하였다. 시스템 교정은 실험 전에 교정구를 이용하여 실시하였다.

음향 자료 취득 시 도루묵의 정확한 자세각 및 상태 확인을 위해서 수조의 측면과 바닥에 수중 카메라 (T-water-7000DX, WIRELESS TSUKAMOTO, Japan)를 설치하여 유영 자세각의 변화를 확인하였다. 수조의 측면 수중카메라는 과학어군탐지기와 같이 0.5 s로 동기화 시켜 .jpg 파일로 저장하였다 (Fig. 1). 저장된 동영상 자료는 후처리 영상 소프트웨어를 이용하여 유영 자세각을 측정하여 음향 자료와의 비교 및 분석 시 활용하였다.

### 음향 자료 처리

과학어군탐지기로 획득한 도루묵의 자세각별 TS자료는 음향 자료 처리 프로그램 (EchoView 6.1, Myriax, Australia)의 가상 에코그램 기법을 이용하여 자료처리

를 진행하였다 (Myriax, 2009). 자료 처리는 획득한 70 kHz와 120 kHz의 TS 자료 중에서 자료의 질이 불량한 영역에 대한 잡음 제거 (Mask bad data) 후, Single target detection 방법을 이용하여 자세각 변동에 따른 음향 신호를 선별하는 방법으로 실시하였다. 선별된 신호는 주파수별 dB difference를 비교하기 위해서 matched pings time 알고리즘을 사용하여 동시에 두 센서에 수신된 신호에 대해서만 추출하였다. 추출된 신호 분석은 Matlab (R2009a, MathWorks) 프로그램을 이용하였다.

Table 1. System parameter of scientific echosounder for TS experiment

Echosounder	Settings	
Frequency (kHz)	70	120
Transmitted power (W)	500	300
Pulse duration (ms)	0.256	0.256
Ping rate (pings/s)	2	2
Two-way beam angle (dB)	-20.60	-20.60
Receiver bandwidth (kHz)	5.56	12.0
Transducer gain (dB)	25.46	26.82
Sound speed (m/s)	1491.3	1491.3
Echoview analysis parameter		
Minimum TS threshold level (dB)	-80	
Pulse length determination level (dB)	6	
Minimum normalized pulse length	0.1	
Maximum normalized pulse length	1.5	
Maximum beam compensation (dB)	4	
Minimum number of single targets in a track	3	
Minimum number of pings in track	3	
Maximum gap between single targets	2	

### 도루묵 TS 예측을 위한 음향 모델 구현

본 연구에서 측정한 도루묵은 부레가 없기 때문에 DWBA (distorted wave Born approximation) 음향 모델을 이용하였다 (Stanton et al., 1996; Miyashita, 2003; Ito et al., 2011; Safruddin et al., 2013). DWBA 모델은 대상 생물체의 형상을 여러 개의 실린더 형태로 가정하여 음향 산란 특성을 예측하는 방법이고, 모델식은 식 (1)을 통해서 구현된다 (McGehee et al., 1998).

$$f_{bs} = \frac{k_{sw}}{4} \int_{\gamma_{pos}} a(\gamma_k - \gamma_\rho) e^{2i\vec{k}_{sw} \cdot \vec{\gamma}_{pos}} \frac{J_1(2k_{sw} \cos\beta_{tilt})}{\cos\beta_{tilt}} |d\vec{\gamma}_{pos}| \quad (1)$$

$$\sigma_{bs} = |f_{bs}|^2 \quad (2)$$

$$TS = 10\log\sigma_{bs} \quad (3)$$

여기서,  $r_{pos}$ 는,  $k$ 는 파수 ( $2\pi/\lambda$ ),  $\lambda$ 는 파장 ( $c/f$ ) 이고,  $c$ 와  $f$ 는 각각 음속 (m/s)과 주파수 (Hz)이다. 또한,  $a$ 는 절단원통의 반경 (m),  $B_{tilt}$ 은 입사하는 음파와 원통 축 사이의 각도,  $J_1$ 은 제 1종 베셀함수이다.  $r_k$ ,  $r_0$ 는 어류의 음속비 ( $h$ ), 밀도비 ( $g$ )를 이용하여 다음 식 (4)와 (5)으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma_k = \frac{1}{gh^2} - 1 \quad (4)$$

$$\gamma_\rho = 1 - \frac{1}{g} \quad (5)$$

이와 같이 대상 길이의 어류를 여러 개의 실린더 모양으로 분리한 후, 분리된 실린더로부터 Coherent한 합을 통해서 후방산란음압 ( $f_{bs}$ )과 후방산란단면적 ( $\sigma_{bs}$ )

으로부터 주파수와 길이를 동시에 고려하여 TS를 계산할 수 있다 (식 2와 3).

DWBA 모델을 이용하여 음향산란특성을 계산하기 위해서 어류의 체형 묘사, 음속비, 밀도비가 중요한 변수가 된다. TS 실험이 끝난 샘플을 대상으로 어류의 체형은 측면과 등 방향을 디지털 촬영을 실시하였고, 디지털링 프로그램을 이용하여 2 mm 간격으로 어체의 등 방향에 대한 좌표를 추출하였다. 어류의 등방향으로 추출한 어체의 형상 좌표를 3차원으로 형상화하여 어류의 형태적 특징 분석 및 음향산란특성과 관계에 대해서 검토하였다 (Fig. 2). 이때 몸체를 구성하는 실린더의 축 방향 (axis)을 x축, 폭 (width)은 y 축으로, 높이 (height)는 z축으로 구성하였다. DWBA 모델을 이용하여 자세각별로 70 kHz와 120 kHz의 음향강도 차이를 계산하였다. 또한, 계산 시 모델의 매개 변수인 음속비와 밀도비는 도루묵과 같이 부레가 없는 Sandeel의 음속비와 밀도비를 적용하였고, 적용한 음속비는 1.018과 밀도비는 1.032이었다 (Yasuma et al., 2009).

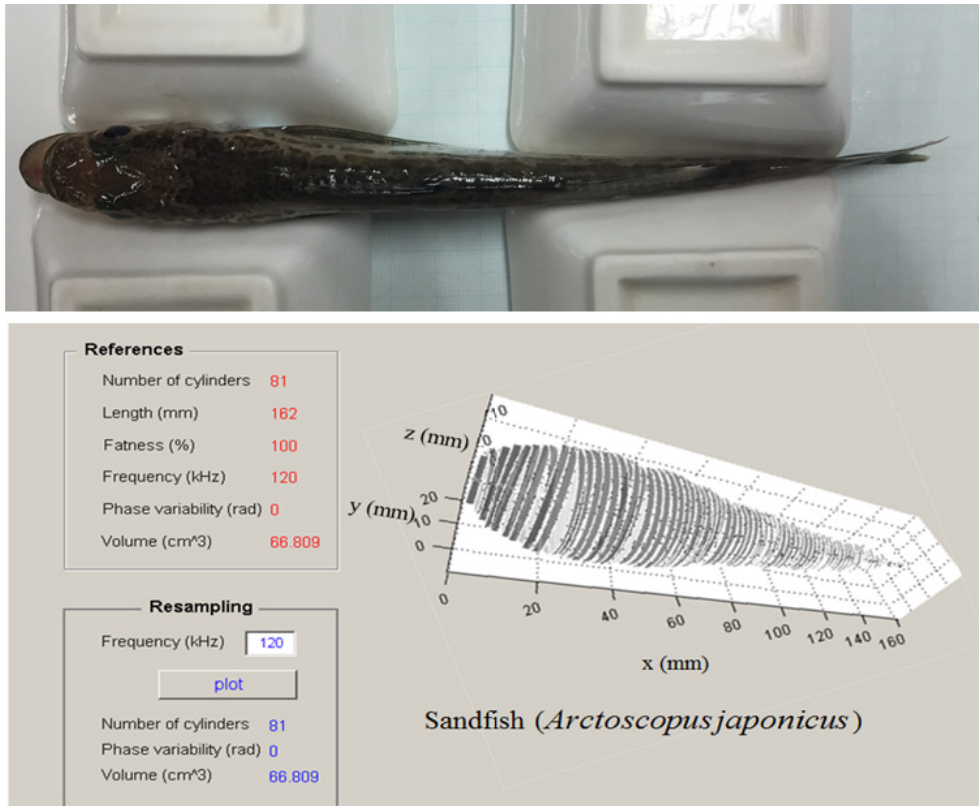


Fig. 2. 3-dimensional coordinates of sailfin sandfish (*Arctoscopus japonicus*) in distorted wave Born approximation model.

두 주파수 차에 대한 종식별 방법은 대상 산란체의 체장을 기준으로 하여 평균 TS의 주파수 차에 대한 값이 에코그램에서 수집한 임의의 체적에 대한 SV의 주파수 차의 값이 동일하다는 것으로 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 두 주파수의 차이는 도루묵의 실측 및 음향 모델을 통한 TS 결과를 이용하여 계산하였으며, 이 결과를 기준에 연구된 자료와 비교하여 보았을 때, 국내 주요 어종의 신호 분류가 가능함을 확인할 수 있었다.

$$\begin{aligned} \Delta \text{dB difference}_{120-70\text{kHz}} &= S_V(120 \text{ kHz}, L) - S_V(70 \text{ kHz}, L) \\ &= \text{TS}(120 \text{ kHz}, L) - \text{TS}(70 \text{ kHz}, L) \end{aligned} \quad (6)$$

### 결과 및 고찰

음향 실험과 음향 모델에서 사용된 도루묵 표본은 수컷으로 길이 및 무게는 각각 16.2 cm와 30.67 g이었다. 실측 신호는 약 53 분 동안 6,384 pings을 수신하였고, 수신된 신호 중 70 kHz와 120 kHz가 동시에 수신된 신호인 289 pings에 대해서 추출 후 분석하였다. 주파수별로 추출한 도루묵의 TS<sub>70kHz</sub>과 TS<sub>120kHz</sub>은 각각 -66.84 dB (± 4.19)와 -64.45 dB (± 4.44)이었다 (Fig. 3(a), (b)). 두 주파수의 TS 신호는 120 kHz가 70 kHz에 비해서 약 2.39 dB 높게 측정되었다. 또한, 추출한 TS값 신호 차이의 25~75%사이 값이 -2.5~5.5 dB의 범위에서 측정되었다 (Fig. 3(c)).

주파수 70 kHz와 120 kHz에 대하여 어류의 자세각을 변경하면서 측정한 실측 결과와 DWBA 모델을 이용한 자세각에 따른 TS 패턴을 비교하였다 (Fig. 4). 모델 결과 70 kHz와 120 kHz에 대한 도루묵의 TS 패턴은 자세각 +4 ~ +5°에 최대값을 보이는 유사한 패턴을 보였고, 최대값은 각각 -54.20 dB와 -53.74 dB가 예측되었으며, 평균 자세각을 고려한 음향 신호는 -61.16 dB와 -61.64 dB로 측정되었다. 도루묵의 TS에 대한 실측값과 모델 결과 비교시 70 kHz의 경우에는 유사한 패턴을 보였으나, 120 kHz는 실측 신호가 상대적으로 강하게 측정되었다. 하지만, 자세각의 차이는 있지만 실측 신호가 음향 모델 결과 범위 내에 분포하였다. 본 연구에서는 부레가 없는 Sandeel의 음속비와 밀도비를 적용하였는데, 음속비와 밀도비는 대상생물, 사이즈, 환경요소 등에 따라 다르게 나타나고, 이러한 음속비와 밀도비 적용값의 차이로 인하여 TS값이 차이를 보인다

(Miyashita, 2003; Matsukura et al., 2009; Forman and Warren, 2010; Smith et al., 2012). Miyashita (2003)은 부레가 생성되지 않는 멸치에 대상으로 DWBA 모델을 이용하여 음속비와 밀도비의 변화를 주어 TS를 계산한 결과, 음속비와 밀도비가 증가하면 TS값도 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같이 정확한 실측 TS값과 모델 TS값을 비교하기 위해서는 향후에는 도루묵의 음속비와 밀도비를 측정하여 음향 모델에 적용해야 할 것으로 판단된다. 또한, 기존 연구에서는 부레가 없는 어류의 TS값을 계산하는데 DWBA 모델이 다수 적용되었다. Miyashita (2003)와 Ito et al. (2011)는 멸치를, Safruddin et al. (2013)은 Sandeel을 모델에 적용하였고, 이 어류의 체형을 보면 체폭과 체고의 차이가 크지 않지만, 본 연구에 사용된 도루묵의 체형은 체폭 (1.76 cm)에 비하여 체고 (3.11 cm)가 높다. Smith et al. (2012)는 난바다곤쟁이류의 한 개체를 대상으로 부피를 다르게 체형 묘사하여 이론적인 TS값을 계산하였고, 이에 따라 TS값이 달라지는 것을 검토하였다. 본 연구에서 사용된 DWBA 모델은 등 방향이나 측면 방향의 한 방향에 대한 체형을 묘사하여 원통으로 가정하여 TS가 계산되기 때문에, 향후에는 대상 생물의 형태를 고려하여 등 방향 뿐만 아니라, 측면 방향을 묘사하는 모델을 적용하여 TS값을 검증하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

자세각별 도루묵 TS 측정 결과는 -20 ~ +10°에서는 거의 추출되지 않았고, 평균 ±28°부근에서 대부분 추출되었다. 이는 실제 실험 시 일정한 시간 간격을 두고 도루묵의 자세각 변동에 따라 측정하였으나, 70 kHz와 120 kHz의 비교를 위해 matched pings time 알고리즘을 이용하여 동시에 수신된 신호에 대해서 추출 시 소실된 것으로 판단된다. 따라서, 도루묵의 자세각에 대해서 각 주파수별 TS 값을 추가적으로 진행해야 할 것으로 판단된다.

Fig. 5는 주파수 70 kHz와 120 kHz의 도루묵 TS값을 측정한 결과와 도루묵 국내 주요 어종의 TS값 결과를 비교한 것이다. 조피볼락 (black rockfish)과 눈볼락 (goldeye rockfish)의 경우 120 kHz에서 70 kHz를 뺀 dB difference 결과, 각각 4.41 dB와 4.35 dB의 차이로 유사한 패턴을 보였다 (Mun et al., 2006). 감성돔 (black porgy)과 쥐노래미 (fat greenling)의 120 kHz와 70 kHz의 차이는 각각 -0.31 dB와 -2.31 dB로 보고되

었다 (Lee, 2012). 음향 모델을 통해서 연구된 볼락 (dark banded rockfish)은 120 kHz와 70 kHz의  $b_{20}$ 값은 각각 -70.17 dB와 -69.83 dB으로 나타났고, dB difference는 -0.34 dB로 주파수 별 큰 차이는 나타나지 않았다 (Hwang, 2015). 도루묵의 실측 및 어류 음향 모델을 통해서 120 kHz와 70 kHz의 dB difference를 계산하였고, 실측과 모델 각각 2.39 dB와 -0.58 dB의 차이를 보였다 (Table 2). 기존에 국내 주요 어종의 dB difference와 비교 결과 큰 차이를 보이지는 않았다 (Fig. 5). 하지만, 본 연구에 사용한 도루묵과 동일한 길이의 어종 TS를 비교 할 경우, 큰 차이를 나타내는 것을 확인하였다. TS는 70 kHz의 경우 -46.19 dB (-47.84~-45.27), 120 kHz의 경우 -44.74 dB (-47.96~-42.67)로 기존 주요 어종의 TS값 결과와 비교 시 실측값은 20.65 dB와 19.70 dB, 모델 결과는 14.97 dB와 16.90 dB으로 낮은 음향 신호가 측정되었다 (Table 2). 이러한 원인은 우리나라 주요 회유성 어종과 달리, 도루묵은 부레가 없는 어종이기 때문이며, 다수의 어종과 혼재하여 분포할 경우 단순한 음향 신호 외에 분포 습성 및 어군 형태 등도 동시에 고려해야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 한정된 생물 표본으로는 정확한 대상 어류의 다양한 체장에 대한 TS-체장 관계식을 추정하기 무리가 있는 것은 사실이다. 따라서, 향후 표본 개수를 증가하여 다양한 크기에 대한 평균화 작업이 필요할 것으로 판단된다.

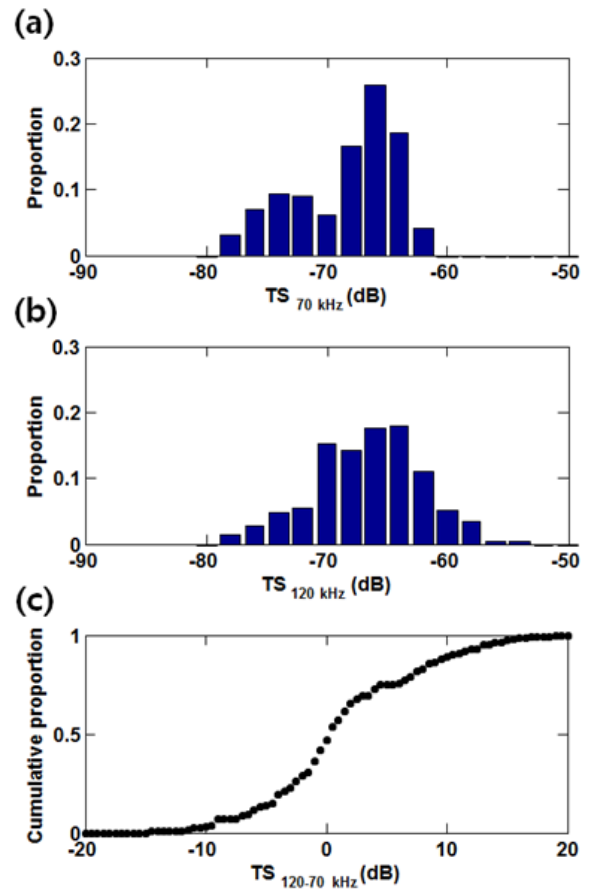


Fig. 3. Histogram of TS distribution from sailfin sandfish (*A. japonicus*) at (a) 70 kHz and (b) 120 kHz. The cumulative distribution function (CDF) of (c) the whole  $TS_{120-70kHz}$ . Note that 25th and 75th percentile of CDF are -2.5 dB and 5.5 dB, respectively.

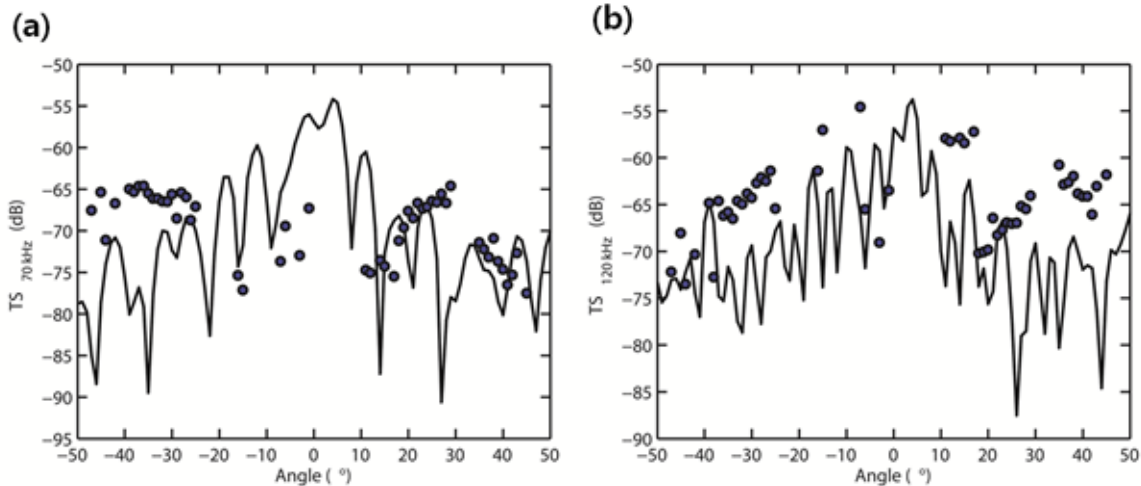


Fig. 4. The modeled (line) and measured target strength (dot) plotted a function tilt for (a) 70 kHz and (b) 120 kHz.

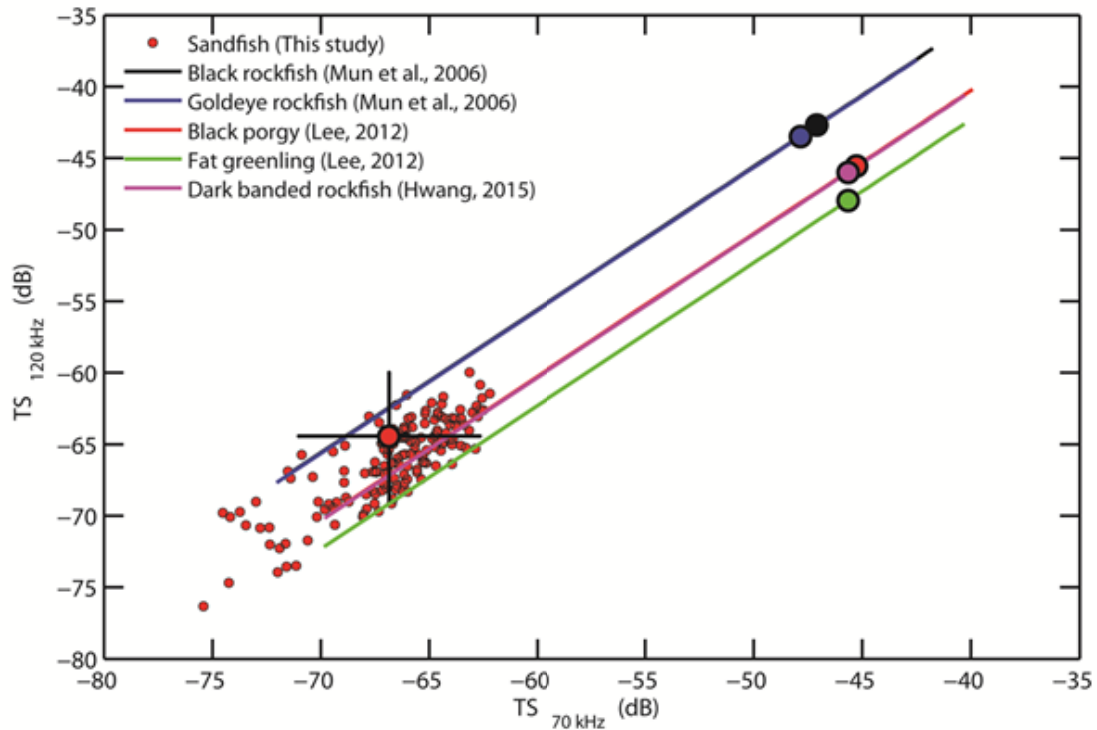


Fig. 5. Comparison of the relationship between  $TS_{70\text{kHz}}$  and  $TS_{120\text{kHz}}$  for sailfin sandfish (red circle) with other Korean fish species. Black rockfish:  $TS_{70\text{kHz}}=20 \cdot \log_{10}^{-71.29}$ ,  $TS_{120\text{kHz}}=20 \cdot \log_{10}^{-66.88}$ ; goldeye rockfish:  $TS_{70\text{kHz}}=20 \cdot \log_{10}^{-72.03}$ ,  $TS_{120\text{kHz}}=20 \cdot \log_{10}^{-67.68}$ ; Black porgy:  $TS_{70\text{kHz}}=20 \cdot \log_{10}^{-69.46}$ ,  $TS_{120\text{kHz}}=20 \cdot \log_{10}^{-69.74}$ ; Fat greenling:  $TS_{70\text{kHz}}=20 \cdot \log_{10}^{-69.84}$ ,  $TS_{120\text{kHz}}=20 \cdot \log_{10}^{-72.15}$ ; Dark banded rockfish:  $TS_{70\text{kHz}}=20 \cdot \log_{10}^{-69.83}$ ,  $TS_{120\text{kHz}}=20 \cdot \log_{10}^{-70.17}$ . These circles are TS for various fishes from 16.2 cm.

Table 2. Regression equation between TS at 120 kHz and 70 kHz from 16.2 cm for Korean fish species

Fish species	$TS_{120\text{kHz}}$	$TS_{70\text{kHz}}$	$TS_{120-70\text{kHz}}$	Method	References
Sand fish	-64.45	-66.94	2.39	Experiment	This study
	-61.64	-61.16	-0.58	Model	This study
Black rockfish	-42.69	-47.10	4.41	Experiment	Mun et al., 2006
Goldeye rockfish	-43.49	-47.84	4.35	Experiment	Mun et al., 2006
Black porgy	-45.55	-45.27	-0.31	Experiment	Lee, 2012
Fat greenling	-47.96	-45.65	-2.31	Experiment	Lee, 2012
Dark banded rockfish	-45.98	-45.64	-0.34	Model	Hwang, 2015

도루묵에 대한 광대역 음향산란특성을 추정된 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 x축은 유영 자세각으로 범위는  $-50^{\circ} \sim +50^{\circ}$ 이고, y축은 주파수로 20~200 kHz의 범위를 나타낸다. 대상 어류에 대한 음향 산란패턴은  $0^{\circ}$ 를 전후하여 최대값이 나타났고, 이는 부레가 없기 때문에 어류의 형태에 직접적인 영향으로 판단된다. 전 세계적으로 어종 식별을 위해서 광대역에 대한 연구가 증가하고 있기 때문에, 주파수 차이에 의한 어종 간의 식별에 대한 연구를 지속적으로 진행해야 할 것이다.

음향 조사를 통한 어류의 자원 예측은 적은 비용을 이용한 넓은 연구 지역과 어획자료의 상관관계 등 장점을 가지고 연구를 진행 할 수 있기 때문에 국제적으로 다양하게 활용하고 있다. 하지만, 음향 조사 시 음향 시스템 상태 및 해상상태 등에 의한 영향뿐만 아니라, 연구자에 의한 자료 처리과정시 주요 어종의 TS 및 어종 식별의 정확도가 자원량 추정에 큰 영향을 준다 (Simmonds and McLennan, 2005). 다중 주파수의 TS를 이용한 어종을 분리하면, 단일종이 분포하는 해역과 국

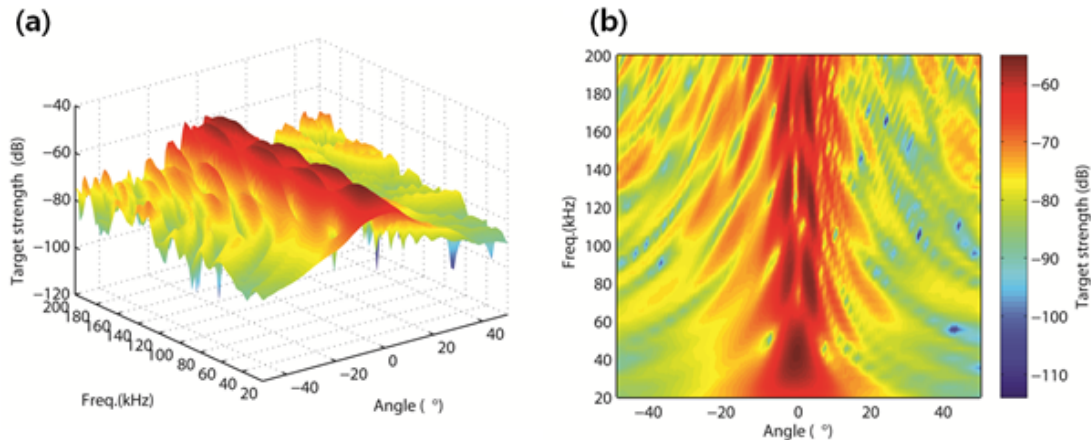


Fig. 6. Broadband acoustic scattering pattern of sailfin sandfish (*A. japonicus*). Frequency range and tilt angle of the fish body is 20 to 200 kHz and  $-50$  to  $50^\circ$ , respectively.

내 연안의 다양한 어종이 혼합된 해역에서도 자원량 추정에 사용 가능하다 (Kang et al., 2003). 따라서, 지속적으로 살아있는 다수 어종에 대한 현장 및 수조 실험과 음향 모델에 대한 TS에 관한 연구가 병행되어야 하며, 실제 혼합어종으로부터 획득한 음향 자료의 적용을 통한 검증이 필요하다.

### 결론

본 연구에서는 70 kHz와 120 kHz의 다중주파수 센서를 이용하여 도루묵의 음향산란특성을 측정하였다. 도루묵의 TS측정 자료의 해석은 어류의 실측 실험한 결과와 음향 반사 모델을 기반으로 한 이론적인 자세각별 TS를 계산한 모델 결과를 비교하였고, 국내 주요 어종과의 종 분리 가능성을 확인하였다. 실험에 사용된 도루묵은 16.2 cm로 평균 TS는 70 kHz와 120 kHz에서 각각  $-66.94$  dB과  $-64.45$  dB으로 측정되었다. 음향 모델 결과는 평균 자세각 기준으로 70 kHz는  $-61.16$  dB, 120 kHz는  $-61.64$  dB 로 예측되었으나, 실측값이 모델 결과 범위 내에서 있어 본 연구에서 측정한 TS 값의 효용성을 보여 주고 있다. 또한, 도루묵은 음향 신호에 큰 영향을 주는 부레가 존재하지 않기 때문에 국내 주요 어종과의 비교 시 약 20 dB 내외의 약한 신호가 나타나 종 분리 가능성을 확인하였다. 본 연구 결과는 동해 중요 수산자원 중 하나인 도루묵의 음향 자원조사에 활용하기 위한 기초 자료로 활용 가능 할 것이며, 향상된 자료 도출을 위해서 어체 길이에 대한 추가적인 실험을

통한 검증이 필요할 것이다.

### 사사

본 연구는 국립수산물연구원 수산시험연구사업 (R2015052)의 지원에 의해 수행되었으며, 현장 조사 수행에 도움을 준 권인영님을 비롯한 전남대학교 수산과학과 대학원생 여러분과 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

### References

- Choi JY and Kim DH. 2012. An exploratory study on determining optimal fishing effort and production levels of danish seine fishery under the sandfish stock rebuilding plan. *J Fish Bus Adm* 43, 01-09. (DOI: <http://dx.doi.org/10.12939/fba.2012.43.1.001>)
- D'Elia M, Patti B, Bonanno A, Fontana I, Giacalone G, Basilone G and Fernandes PG. 2014. Analysis of backscatter properties and application of classification procedures for the identification of small pelagic fish species in the Central Mediterranean. *Fisher Res* 149, 33-42. (DOI: 10.1016/j.fishres.2013.08.006)
- Forman KA and Warren JD. 2010. Variability in the density and sound-speed of coastal zooplankton and nekton. *ICES J Mar Sci* 67, 10-18. (DOI: 10.1093/icesjms/fsp217)
- Foote KG. 1980. Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: a comparison of gadoid and mackerel target strengths. *J Acoust Soc Am* 67, 2084-2089. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1121/1.384452>)
- Greene CH, Stanton TK, Wiebe PH and McCiatchie S. 1991. Acoustic estimates of Antarctic krill. *Nature* 349, 110. (DOI:



- <http://dx.doi.org/10.1038/349110a0>)
- Hwang BK. 2015. logical properties and target strength characteristics for dark banded rockfish (*Sebastes inermis*). J Kor Soc Fish Technol 51, 120-127. (DOI: <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.1.120>)
- Honkalehto T, Ressler PH, Towler RH and Wilson CD. 2011. Using acoustic data from fishing vessels to estimate walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) abundance in the eastern Bering Sea. Can J Fish Aquat Sci 68, 1231-1242. (DOI: 10.1139/ f2011-050)
- Ito Y, Yasuma H, Masuda R, Minami K, Matsukura R, Morioka S and Miyashita K. 2011. Swimming angle and target strength of larval Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*). Fish Sci 77, 161-167. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12562-011-0323-1>)
- Kang D, Shin HC, Kim S, Lee Y, Hwang D. 2003. Spices identification and noise cancellation using volume backscattering strength difference of multi-frequency. J Kor Fish Soc 36, 541-548. (DOI: <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2003.36.5.541>)
- Kim IS, Choi Y, Lee CY, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyohak Press, Seoul, Korea, 1-615.
- Lee DJ. 2012. Fish length dependence of target strength for black porgy and fat greenling at two frequencies of 70 and 120 kHz. J Kor Soc Fish Tech 48, 137-146. (DOI: <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.2.137>)
- Lee SI, Yang JH, Yoon SC, Chun YY, Kim JB, Cha HK and Choi YM. 2009. Biomass estimation of sailfin sandfish, *Arctoscopus japonicus*, in Korean waters. Kor J Fish Aquat Sci 42, 487-493. (DOI: <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2009.42.5.487>)
- Maravelias CD, Reid DG, Simmonds EJ and Haralabous J. 1996. Spatial analysis and mapping of acoustic survey data in the presence of high local variability: geostatistical application to North Sea herring (*Clupea harengus*). Can J Fish Aquat Sci 53, 1497-1505. (DOI: 10.1139/f96-079)
- Matsukura R, Yasuma H, Murase H, Yonezaki S, Funamoto T, Honda S and Miyashita K. 2009. Measurements of density contrast and sound-speed contrast for target strength estimation of Neocalanus copepods (*Neocalanus cristatus* and *Neocalanus plumchrus*) in the North Pacific Ocean. Fish Sci 75, 1377-1387. (DOI: 10.1007/s12562-009-0172-3)
- McGehee DE, O'Driscoll RL and Traykovski LVM. 1998. Effects of orientation on acoustic scattering from Antarctic krill at 120 kHz. Deep Sea Res Part II. 45, 1273-1294. (DOI: 10.1016/s0967-0645(98)00036-8)
- Mun JH, Lee DJ, Shin HI and Lee YW. 2006. Fish length dependence of target strength for black rockfish, goldeye rockfish at 70 kHz and 120 kHz. J Kor Soc Fish Tech 42, 30-37. (DOI: 10.3796/KSFT.2006.42.1.030)
- Miyashita K. 2003. Diurnal changes in the acoustic-frequency characteristics of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) post-larvae "shirasu" inferred from theoretical scattering models. ICES J Mar Sci 60, 532-537. (DOI: 10.1016/S1054-3139(03)00066-3)
- Myriax. 2009. Echoview. Version 6.10 Myriax Software Pty Ltd, Horbart. Hobart, Australia.
- Safuruddin, Kawauchi Y, Ito Y, Minami K, Itaya K, Maeda K, Matsukura R, Abe K, Yasuma H and Miyashita K. 2013. Tilt angle and theoretical target strength of the Japanese sandeel, *Ammodytes personatus*, captured on the Northern coast of Hokkaido. J Marine Acoust Soc Jap 40, 329-338.
- Simmonds J and MacLennan D. 2005. Fisheries acoustics: Theory and practice, second edition. Blackwell, pp. 217-261.
- Smith JN, Ressler PH and Warren JD. 2012. A distorted wave Born approximation target strength model for Bering Sea euphausiids. ICES J Mar Sci 70, 204-214. (DOI: 10.1093/icesjms/fss140)
- Stanton TK, Chu D and Wiebe PH. 1996. Acoustic scattering characteristics of several zooplankton groups. ICES J Mar Sci 53, 289-295. (DOI: 10.1006/jmsc.1996.0037)
- Wuillez M, Ressler PH, Wilson CD and Horne JK. 2012. Multifrequency species classification of acoustic-trawl survey data using semi-supervised learning with class discovery. J Acoust Soc Am 131, 184-190. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1121/1.3678685>)
- Yang JH, Lee SI, Park KY, Yoon SC, KIM JB, Chun YY, Kim SW and Lee JB. 2012. Migration and distribution changes of the Sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea. J Kor Soc Fish Tech 48, 401-414. (DOI: <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.4.401>)
- Yasuma H, Nakagawa R, Yamakawa T, Miyashita K and Aoki I. 2009. Density and sound-speed contrasts, and target strength of Japanese sandeel *Ammodytes personatus*. Fish Sci 75, 545-552. (DOI: 10.1007/s12562-009-0091-3)

---

2015. 8.01 Received  
 2015. 8.23 Revised  
 2015. 8.26 Accepted