

도루묵의 체내 변화에 따른 음향산란특성

윤은아 · 이경훈* · 황강석¹ · 이형빈² · 한인우³ · 황두진

전남대학교 해양기술학부, ¹국립수산과학원 연근해자원과, ²국립수산과학원 서해수산연구소, ³전남대학교 수산과학과

Acoustical backscattering characteristic depending on the changes in the body of sandfish (*Arctoscopus japonicus*)

Eun-A YOON, Kyounghoon LEE*, Kangseok HWANG¹, Hyungbeen LEE², Inwoo HAN³ and Doo-Jin HWANG

Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

¹*Fisheries Resource Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*

²*West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Incheon 22383, Korea*

³*Department of Fisheries Sciences, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea*

Changes in target strength (TS) values of sandfish when sandfish was alive and dead were investigated using *ex-situ* at 120 kHz. TS values measured by tilt angles with $-50\sim+50$ degrees showed ranges from -71.0 to -53.3 dB for live sandfish, $-63.1\sim-46.3$ dB for thawed sandfish, and $-70.0\sim-50.4$ dB after 24 hours from thawed, respectively. It was shown that while TS values were similar between the case of live and the case of after 24 hours from thawed, mean TS values were higher by approximately 5 dB in the case of immediate thawed sandfish. It was also seen that TS values were similar between the case of thawed sandfish and the case of after 21 hours from live. The results showed that TS values of live sandfish were different from those of frozen sandfish. It implies that when estimating TS of frozen fish, the influx of bubbles and changes of body should be considered.

Keywords : Sandfish, Swimbladderless, Target strength, Dead fish, Live fish

서론

도루묵은 한류성 어류로서 우리나라 동해, 일본 중부 이북, 캄차카반도, 알래스카 연안 등에 분포하고, 수심 100~200 m 대륙붕의 모래 또는 펄의 저질로 구성된 해역에서 주로 서식한다 (Lee et al., 2009; Yang et al.,

2012). 우리나라에 서식하는 도루묵은 가을철 연안으로 회유하고, 11~1월에 수심 2~10 m인 해조류에 산란을 한다 (Lee et al., 2006; An et al., 2011; Yang et al., 2012). 도루묵은 우리나라에서 TAC 어종 가운데 하나로서 이것을 합리적으로 이용하기 위해서는 지속적인 자원평가가

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

필요한 실정이다 (Yang et al., 2008; Lee et al., 2009).

수중 음향 조사는 수산자원을 관리하고 평가하기 위한 하나의 도구로써 이용되어지고 있으며, 특히 어류의 행동 특성을 파악하고 분포 및 현존량 평가에 유용하다 (Simmonds and MacLennan, 2005). 이 방법은 현장에서 대상 생물의 체적산란강도 (Volume backscattering strength, SV)는 쉽게 취득할 수 있지만, 현존량으로 변환하기 위해서는 대상 어류의 명확한 초음파산란강도 (Target strength, TS) 자료가 필요하다 (Kang et al., 2004; Yasuma et al., 2006; Kang et al., 2009). 어류의 TS는 사이즈, 유영 자세각, 부레의 유무 및 형태, 분포 수심 등 생물학적, 형태학적, 물리학적 요소들에 의해 변화하기 때문에 이러한 여러 가지 요소들을 고려하여 평가되어야 한다 (Jørgensen, 2003; Henderson and Horne, 2007; Lu et al., 2011).

본 연구 대상 종인 도루묵의 TS값은 Saito (2004)에 의한 결과가 이전에 보고되었다. Saito (2004)는 냉동시킨 도루묵을 현장에서 주파수 38 kHz를 이용하여 현수법으로 측정하였으나 도루묵은 부레가 없는 어종임에도 불구하고 TS가 부레를 가진 어종만큼의 높은 값을 보였다. 따라서 본 연구에서는 도루묵의 TS를 명확히 하기 위하여 해수음향수조에서 현수법을 이용하여 동일 개체의 도루묵을 대상으로 살아 있을 때와 냉동시켜 죽었을 때 체내 변화에 따른 TS의 변화를 파악하였다.

재료 및 방법

여수시 돌산읍 전남대학교 수산과학연구소에 위치한 해수음향수조 (5 m×5 m×5 m)에서 현수법을 이용하여 도루묵의 TS값을 측정하였다. TS 측정에 사용된 샘플은 강원도 오희리항 연안해역에서 통발을 이용하여 어획하였고, 살아 있는 상태를 유지하여 연구소 내 사육수조 (ø5 m×1 m)로 이동하여 표본을 순치한 후 실험을 실시하였다.

실험에 사용된 과학어군탐지기는 주파수 120 kHz (EK60, Simrad, Norway) 대역의 split-beam 방식이다. 먼저, TS값을 측정하기 전과 후에 음향수조에 채워진 해수의 수온과 염분 (YSI30, Yellow Springs, USA)을 측정하였다. 음향 시스템은 TS 측정 첫째 날에 교정구를 이용하여 near filed를 고려한 수심 3.5 m에서 교정을

실시하였고, TS 측정 전과 후에는 교정구로 gain값을 확인하였다. Table 1은 도루묵의 음향 자료를 수집하기 위한 시스템의 교정 결과를 나타내었다.

Table 1. System parameter setting of split-beam echosounder for sandfish acoustic data collection

Parameter	Settings
Frequency (kHz)	120
Absorption coefficient (dB/m)	0.033345
Transducer gain (dB)	27.0
Two-way beam angle (dB re 1sr)	-20.0
Major Axis 3 dB beam angle (degrees)	7.1
Minor Axis 3 dB beam angle (degrees)	7.1
Transmitted power (W)	300
Transmitted pulse length (ms)	0.256

도루묵은 Fig. 1과 같이 아래턱과 꼬리 부분에 각각의 낚싯줄을 연결하고 양쪽 끝을 추가 달린 긴 낚싯줄로 연결하여 도루묵을 수심 3.5 m로 위치시킨 후, 긴 낚싯줄로 유영자세각을 -50~+50° 사이로 1° 간격으로 변화를 주면서 조정하였다.

실험에 사용된 시스템 구성은 신호발생기 (WF1944A, NF Electronic Instruments, Japan)로 트리거 신호를 만든 후 이것을 계량어군탐지기에 입력하여 펄스 간격을 0.5 초의 외부 트리거 모드로 구동시켜 음향 데이터를 수집하였다. 또한 수조 바닥과 측면에 설치된 카메라로 도루묵의 유영자세각을 관측하였으며, 측면에 설치된 카메라를 비디오캡처카드 (VCE-pro, ImperX, USA)의 트리거 기능부를 이용하여 음향 데이터와 동기화 시킨 도루묵의 유영자세각 화상 (.jpg) 파일로 저장하였다 (Fig. 1). 이와 같은 방법으로 취득한 음향 자료는 에코데이터 분석 소프트웨어 (Echoview ver. 5.0, Myriax, Australia)로 분석하였다. 단일개체어는 TS 측정데이터의 raw 자료와 angular position을 결합한 single target detection 기능으로 분석하였다. 도루묵의 single target을 추출하기 위한 변수는 Table 2에 나타내었다. 도루묵의 수중영상은 후처리 영상소프트웨어를 이용하여 유영자세각을 측정하였다. 유영자세각은 도루묵의 머리와 꼬리가 수평일 때를 0°로 기준으로 하여 마이너스 (-)는 도루묵의 머리가 아래로 향하는 상태 (Head-down), 플러스 (+)는 도루묵의 머리가 위로 향하는 상태 (Head-up)를 나타낸다 (Fig. 2).

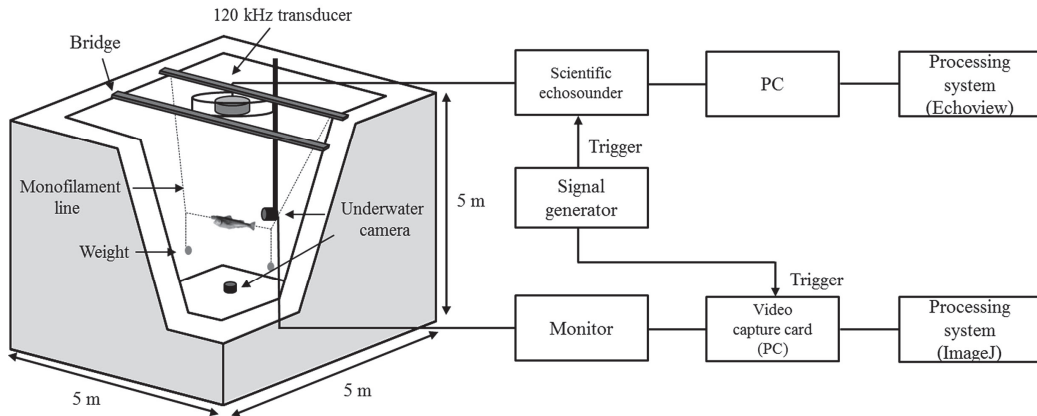


Fig. 1. Experimental diagram for TS measurements of sandfish using 120 kHz split-beam echosounder.

Table 2. Parameters to detect single target

Parameter	Settings
TS threshold (dB)	-80
Pulse length determination level	6.0
Minimum normalized pulse length	0.1
Maximum normalized pulse length	1.5
Maximum beam compensation (dB)	4.0
Maximum standard deviation (degrees)	0.3

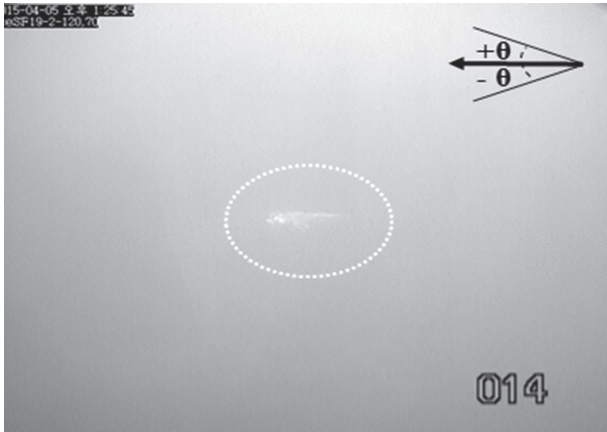


Fig. 2. An individual sandfish tethered for TS measurement.

본 연구에서는 살아 있는 개체와 죽은 개체의 체내 변화에 따른 TS값을 파악하기 위하여 먼저 살아 있는 개체를 대상으로 도루묵이 공기에 노출되지 않도록 주의하며 TS 실험을 실시하였고, 측정 후 해수와 함께 표본통에 넣어 급속 냉동시켰다. 냉동된 죽은 개체는 TS 실험을 하기 전에 급속 냉동된 표본통을 흐르는 수돗물에 약 12시간 이상 서서히 녹인 후 죽은 개체의 기포를 최대한 제거하기 위하여 계면활성제를 투입하여 살아

있는 개체와 같은 방법으로 현수하였다. 죽은 개체의 TS는 도루묵의 유영자세각을 변화시키면서 측정한 후 도루묵이 수평상태인 유영자세각 0°에서 약 24시간 동안 계측하였으며, 이후 다시 유영자세각 변화에 따른 TS값을 측정하였다. 본 실험에 사용된 도루묵 수컷의 가랑이 체장 (Fork length, FL)은 17.9 cm, 습중량 (Wet weight, WW)은 36.04 g이었다.

결과 및 고찰

동일 개체를 대상으로 살아 있는 때, 냉동된 죽은 도루묵을 해동 후 즉시, 냉동된 죽은 도루묵을 해동시킨 약 24시간 후에 각각 측정한 유영자세각 변화에 따른 TS를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3 (a)는 살아 있는 도루묵의 TS값을 나타낸 것으로 TS값은 -71.0~-53.5 dB의 분포를 보였고, 최대 TS값은 유영자세각 -6°에서 나타났다. 유영자세각 -10~+6° 사이에는 TS값이 약 -55~-53 dB로 비슷하게 나타나다가 유영자세각이 마이너스나 플러스 방향으로 더 기울어질 때 TS는 -60 dB 이하로 낮아지는 경향을 나타내었다. Fig. 3 (b)는 냉동된 죽은 도루묵을 해동 후, 계면활성제에 담가 기포를 제거한 후에 유영자세각 변화에 따라 측정한 TS값을 나타낸 것으로 TS값의 분포는 -63.1~-46.3 dB으로 최대 TS값은 유영자세각 +2°에서 나타났다. 유영자세각 -5~+3°사이에는 TS값이 약 -48~-46 dB로 높았고, 유영자세각이 마이너스나 플러스 방향으로 더 기울어질 때 TS값은 -55 dB 이하로 급격히 낮아지는 경향을 나타내었다. 냉동된 죽은 도루묵을 해동 후 즉시 측정한 TS값

은 살아 있을 때 측정된 TS값보다 약 8 dB 높게 나타났다. Fig. 3 (c)는 냉동된 죽은 도루묵을 해동하고 약 24시간 후 유영자세각 변화에 따른 TS값을 나타낸 것이다. Fig. 3 (c)에서 보는 바와 같이 TS값은 $-70.0 \sim -50.4$ dB의 분포를 보였고, 최대 TS값은 유영자세각 -2° 에서 나타났다. 유영자세각 $-8 \sim +2^\circ$ 사이에는 TS값이 약 $-52 \sim -50$ dB로 비슷하게 나타나다가 본 실험 역시 유영자세각이 마이너스나 플러스 방향으로 더 기울어질수록 TS값이 낮아지는 경향을 나타내었다.

유영자세각의 변화에 따른 TS의 25~75% 범위는 살아있을 때에 $-62.4 \sim -57.8$ dB, 냉동된 죽은 도루묵을 해동 후에 $-58.3 \sim -53.7$ dB, 냉동된 죽은 도루묵을 해동

후 약 24시간 후에 $-62.5 \sim -56.7$ dB이었고, 중간값은 각각 -60.6 dB, -55.7 dB, -59.1 dB로 살아있을 때와 냉동된 죽은 도루묵을 해동 후 약 24시간 후의 값은 유사하였으나, 냉동된 죽은 도루묵을 해동 후 즉시 측정된 TS값은 다른 실험에 비하여 중간값이 약 5 dB 정도 높게 나타났다 (Fig. 4).

Saito (2004)는 현장에서 냉동된 도루묵의 개체 (FL=20.3 cm, 24.0 cm)를 현수하여 TS값을 측정할 결과, $-48.2 \sim -32.3$ dB로 부레가 없는 어종임에도 불구하고 TS값이 높게 나타났다. Foote (1980)은 부레가 없는 표층 어류 (Pelagic fish)는 TS_{cm} 가 $-90 \sim -80$ dB에 범위를 가진다고 보고하여 부레가 없는 어종은 부레가 있는 어종에 비하여 상당히 낮은 TS값을 가지는 것을 알 수 있었다. Yasuma et al. (2008)은 부레가 없는 어류가 부레가 있는 어류에 비해 TS_{cm} 값이 10 dB 이상 낮게 나타난다는 것을 확인하였다. Saito (2004)는 TS 측정시에 기포의 유입 가능성을 제기하였고, Lee (2015)는 부레를 가지지 않은 어류는 두부, 척추, 어육 등의 생체 조직에서 TS값 변화가 나타나고, 특히 두부 조직인 아가미 내부에 매우 작은 기포가 다량으로 존재할 가능성이 있으므로, 이 기포 역시 TS값에 많은 영향을 미친다고 하였다. Hirose et al. (2005)은 노무라입깃해파리를 대상으로 기포의 유입 유무로 TS값을 측정하였고, 기포가 유입된 개체가 기포가 유입되지 않은 개체에 비하여 10 dB 이상의 상당히 높은 값을 나타내었으며, 기포의 수와 크기가 커질수록 TS가 높아진다고 보고하였다. Orangy roughy (*Hoplostethus atlanticus*)를 살아 있는

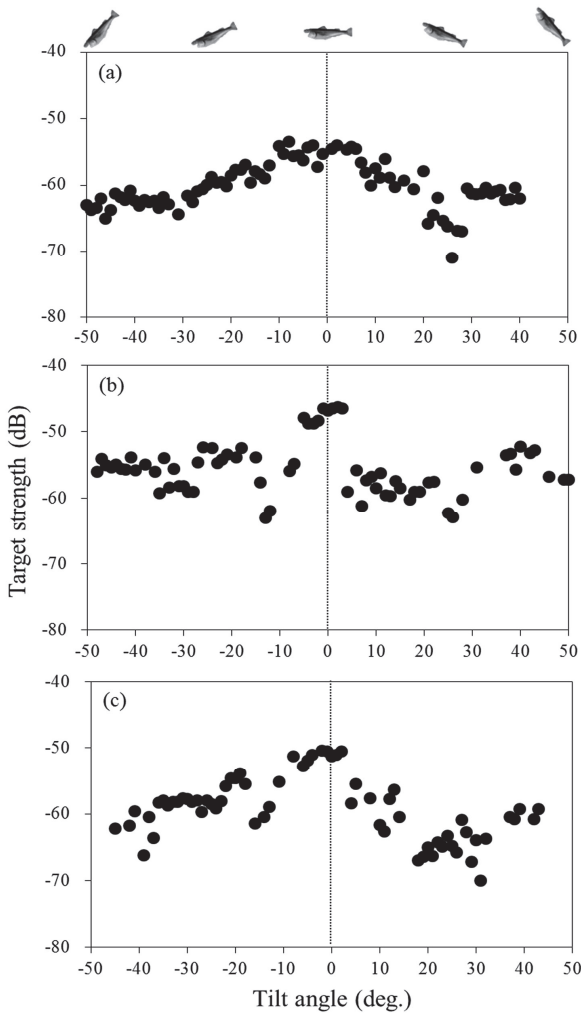


Fig. 3. Tilt angle dependence of target strength for sandfish of 17.9 cm fork length at live (a), thawed dead immediately (b), and thawed dead after 24 h (c).

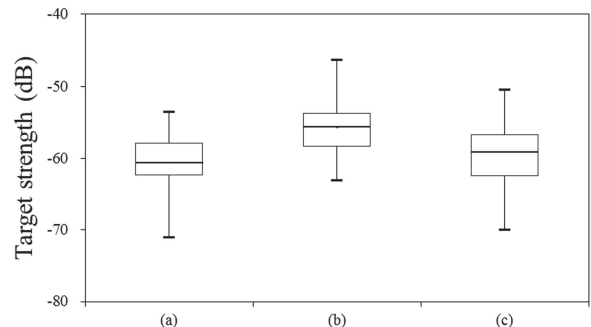


Fig. 4. Comparison target strength of for sandfish of 17.9 cm fork length at live (a), thawed dead immediately (b), and thawed dead after 24 h (c). Box plot indicates 25~75 percentiles of values, the central line is median, and vertical line extends to maximum and minimum values.

개체와 죽어 있는 개체의 TS를 측정된 결과, 죽어 있는 개체의 TS값은 어체의 냉동으로 인한 기포 유입과 체내 조직의 변화 때문에 살아 있는 개체보다 1.9~9.8 dB 높게 나타나 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 이것으로부터 살아 있는 개체와 죽어 있는 개체의 TS값이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다 (McClatchie et al., 1999).

냉동된 죽은 도루묵을 해동 후 유영자세각을 수평으로 고정하여 측정된 시간에 따른 TS값의 변화는 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 30분 간격의 시간 변화에 따른 TS값을 계산한 결과, TS값은 실험 시작시에는 살아 있을 때보다 높았고, 변동폭도 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 실험 시작 4시간 이후 약 8 dB 이상 낮아지다가 다시 높아지며 안정적인 변동 펄스폭을 보였으며, 실험 시작 21시간 이후 TS는 -53 dB로 살아 있을 때와 동일해지고 변동 펄스폭도 안정적으로 나타났다. McClatchie et al. (1999)도 Orangy roughy가 시간 경과에 따라 음향산란 폭이 감소하는 경향을 보였고, 어체의 크기가 커질수록 이러한 경향이 심하게 나타났다. 또한, 본 연구와 동일하게 실험 시작 시에는 음향산란 변동 펄스폭이 크게 보여지다가, 10~15시간 이후 안정되는 경향을 보였다. 이것으로 살아 있는 개체와 냉동된 개체는 체내의 변화가 나타나고, 냉동된 개체의 체내 조직이 회복되는 시간은 상당한 시간이 소요되는 것을 알 수 있었다. 따라서, 살아 있는 개체와 냉동된 개체의 TS는 차이를 나타낼 수 있으므로 냉동된 개체를 대상으로 TS를 측정할 때에는 기포의 유입 및 체내의 변화를 고려하여야 할 것으로 사료된다.

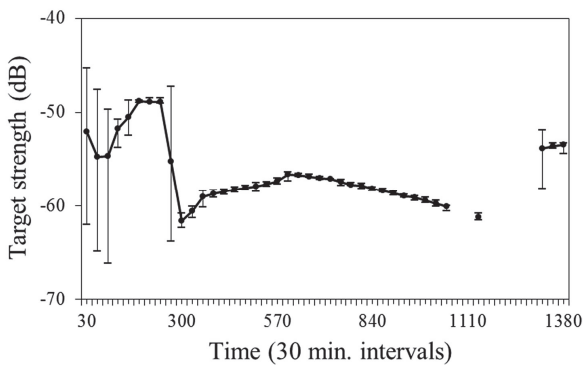


Fig. 5. Target strength by time change of 30 min. intervals for dead fish after thawing. The central line is median, and vertical line extends to maximum and minimum values.

결론

현수법을 이용하여 주파수 120 kHz에 대한 동일 개체의 도루묵을 대상으로 살아 있을 때와 냉동시켜 죽었을 때 체내 변화에 따른 TS의 변화를 파악하였다.

유영자세각 -50~+50°변화에 따른 TS는 살아 있는 개체는 -71.0~-53.5 dB, 냉동된 죽은 도루묵을 해동 후에는 -63.1~-46.3 dB, 냉동된 죽은 도루묵을 해동하고 약 24시간 후에는 -70.0~-50.4 dB의 분포를 보였다. 살아있을 때와 냉동된 죽은 도루묵을 해동 후 약 24시간 후의 값은 유사하였으나, 냉동된 죽은 도루묵을 해동 후 즉시 측정된 TS는 다른 실험에 비하여 중간값이 약 5 dB 정도 높게 나타났다. 냉동된 죽은 도루묵을 해동 후의 시간 변화에 따른 TS는 약 21시간 이후에 살아 있을 때와 유사한 값을 나타내었다. 본 연구 결과 살아 있는 개체와 냉동된 개체의 TS는 차이가 나타나는 것을 알 수 있었고, 냉동된 개체를 대상으로 TS를 측정할 때에는 기포의 유입 및 체내 조직의 변화를 고려하여야 할 것이다.

사사

본 연구는 국립수산물연구원 수산시험연구사업 (R2016026)의 지원에 의해 수행되었으며, 현장 조사 수행에 도움을 준 전남대학교 수산과학과 대학원생 여러분과 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

References

- An HC, Lee KH, Lee SI, Park HH, Bae BS, Yang JH and Kim JB. 2011. Behaviour habitats of sailfin sandfish, *Arctoscopus japonicus* approaching toward the eastern coastal waters of Korea in the spawning season. J Fish Mar Sci Edu 23, 35-42.
- Footo 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:10.1121/1.384452)
- Henderson MJ and Horne JK. 2007. Comparison of *in situ*, *ex situ*, and backscatter model estimates of Pacific hake (*Merluccius productus*) target strength. Can J Fish Aquat Sci 64, 1781-1794. (DOI:10.1139/f07-134)
- Hirose M, Mukai T, Hwang DJ and Iida K. 2005. Target

- strength measurements on tethered live jellyfish *Nemopilema nomurai*. Nippon Suisan Gakkaishi 71, 571-577. (DOI:10.2331/suisan.71.571)
- Jørgensen R. 2003. The effects of swimbladder size, condition and gonads on the acoustic target strength of mature capelin. ICES J Mar Sci 60, 1056-1062. (DOI:10.1016/s1054-3139(03)00115-2)
- Kang D, Sadayasu K, Mukai T, Iida K, Hwang D, Sawada K and Miyashita K. 2004. Target strength estimation of black porgy *Acanthopagrus schlegeli* using acoustic measurements and a scattering model. Fish Sci 70, 819-828. (DOI:10.1111/j.1444-2906.2004.00875.x)
- 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. (DOI:10.1093/icesjms/fsp042)
- Lee DJ. 2015. Changes in the orientation and frequency dependence of target strength due to morphological differences in the fish swim bladder. Korean J Fish Aquat Sci 48, 233-243. (DOI:10.5657/kfas.2015.0233)
- Lee HW, Kim JH and Kang YJ. 2006. Sexual maturation and spawning in the sandfish *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea. J Kor Fish Soc 39, 349-356. (DOI:10.5657/kfas.2006.39.4.349)
- 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. Korean J Fish Aquat Sci 42, 487-493. (DOI:10.5657/kfas.2009.42.5.487)
- Lu HJ, Kang M, Huang HH, Lai CC and Wu LJ. 2011. *Ex situ* and *in situ* measurements of juvenile yellowfin tuna *Thunnus albacares* target strength. Fish Sci 77, 903-913. (DOI:10.1007/s12562-011-0401-4)
- McClatchie S, Macaulay G, Coombs RF, Grimes P and Hart A. 1999. Target strength of the deep-water fish, orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) I. Experiments. J Acoust Soc Am 106, 131-142. (DOI:10.1121/1.427042)
- Saito I. 2004. Development of fishery resources assessment technology using a scientific echosounder. 2002 Annual report of Fisheries Promotion Center, Akita Prefecture Public Relations Division, 4-1-1 sanno, Akita City, Akita 010-8570, Japan, 95-101.
- 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 Kor Soc Fish Tech 44, 312-322. (DOI:10.3796/ksft.2008.44.4.312)
- 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:10.3796/ksft.2012.48.4.401)
- Yasuma H, Takao Y, Sawada K, Miyashita K and Aoki I. 2006. Target strength of the lanternfish, *Stenobrachius leucopsarus* (family Myctophidae), a fish without an air-bladder, measured in the Bering Sea. ICES J Mar Sci 63, 683-692. (DOI:10.1016/j.icesjms.2005.02.016)
- Yasuma H, Sawada K, Miyashita K and Aoki I. 2008. Swimbladder morphology and target strength of myctophid fish of the Northwestern Pacific. J Marine Acoust Soc Jap 35, 17-28. (DOI:10.3135/jmasj.35.17)

2016. 02. 12 Received

2016. 02. 23 Revised

2016. 02. 23 Accepted