

감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*)의 유영자세각과 체장에 따른 200 kHz대역 음향산란강도

최정화 · 오우석^{1*} · 윤은아² · 임양재 · 이경훈²

국립수산물연구원 수산자원연구센터, ¹전남대학교 수산과학과, ²전남대학교 해양기술학부

Target Strength According to Tilt Angle and Length of Black Seabream *Acanthopagrus schlegeli* at 200 kHz-frequency

Jung-Hwa Choi, Woo-Seok Oh^{1*}, Euna Yoon², Yang-Jae Im and Kyounghoon Lee²

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

¹Division of Fisheries Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

²Department of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

This study determined the acoustic target strength (TS; dB) of black seabream *Acanthopagrus schlegeli* off the southern coast of Korea. For the *ex-situ* measurements, 200 kHz split beam transducers were used, and a Kirchhoff-ray mode (KRM) model acoustic model was used for the calculation. The fork length and total weight of the black seabream ranged from 6.4 to 30.8 cm and 6.4 to 683.8 g, respectively. At 200 kHz, the TS could be expressed as a function of fork length as: $TS_{max} = 20 \log_{10}(FL) - 60.35 (R=0.92)$ and $TS_{avg} = 20 \log_{10}(FL) - 66.89 (R=0.88)$. These TS results for black seabream can be used for estimating the biomass of fish in acoustic surveys in coastal areas.

Key words: Target strength, Acoustic, Split beam, Black seabream, KRM model

서론

감성돔은 농어목(Perciforme) 도미과(Family Sparidae)에 속하는 어류로 연안의 암반 주위에 서식하며 계절에 따라 적정 수온역을 찾아 이동하는 연안 회유성 어종이고 우리나라 서·남해, 동·남중국해, 일본 북해도 이남지역에 분포한다(Kang and Shin, 2008). 우리나라에서 수산자원을 보호하고 관리하기 위하여 인공어초와 해조림 등을 인위적으로 조성한 바다목장 사업이 활발하게 이루어지고 있으며, 감성돔은 바다목장의 주요 어종으로 바다목장의 사후 평가와 지속적으로 이용하기 위해서는 자원 평가 및 관리가 지속적으로 이루어져야 한다(Lee, 2012). 일반적으로 수산자원조사에 트롤 및 음향조사법이 이용되고 있다. 트롤 조사는 종 명확성은 있으나 조사 시간이 많이 소요되고, 넓은 해역에 일부 정점만 조사가 가능하므로 정량적인 조사가 어렵다. 음향 조사는 단시간에 넓은 해역에 서식하고 있는 어류의 시·공간적인 분포 및 현존량 평가할 수 있으나 어종이 명확하지 않다는 단점이 있다. 수산선진국에서는 이 두 가지의 방법을 병행하며 자원조사에서 널리 이용되어지고 있

다(Hwang, 2015).

음향 조사 방법은 현장에서 대상 생물의 체적후방산란강도(volume backscattering strength, S_v)는 쉽게 취득할 수 있지만, 현존량으로 변환하기 위해서는 대상 어류의 명확한 음향산란강도(TS, target strength) 자료가 필요하다(MacLennan and Simmonds, 1992). 어류의 TS의 변화 요인들은 유영자세각(Horne, 2003), 사육 주파수(Holliday and Pieper, 1995), 수심(Mukai and Iida, 1996), 체내 음속과 밀도(Yasuma et al., 2009) 등의 변화 요인들과 어류의 체내 요인인 어류의 체장과 부레의 모양 크기에 따라서 가장 많은 변수요인이 되었고 그리고 어류의 뼈와 어육 또한 변화 요인중 하나이다(Nakken and Olsen, 1977; Foote, 1980; Lee, 2015). 또한, TS를 측정하는 방법은 실험적인 방법과 이론적인 방법으로 나눌 수 있다(Sawada, 2002). 실험적인 방법에는 *ex-situ*와 *in-situ*에서 측정하는데 *ex-situ*에는 현수법과 케이지법이 있다. 현수법은 대상 생물을 죽이거나, 마취, 혹은 살아있는 상태에서 모노필라멘트로 현수시켜 유영자세각 등을 인위적으로 변경시켜 측정하고, 케이지법은 케이지 안에 대상 생물을 넣어 자유 유영하는 것을 계측한다. *In-situ*에

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0566>



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.

Korean J Fish Aquat Sci 51(5), 566-570, October 2018

Received 6 August 2018; Revised 22 August 2018; Accepted 2 October 2018

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 659. 7124 Fax: +82. 61. 659. 7129

E-mail address: owsnice@gmail.com

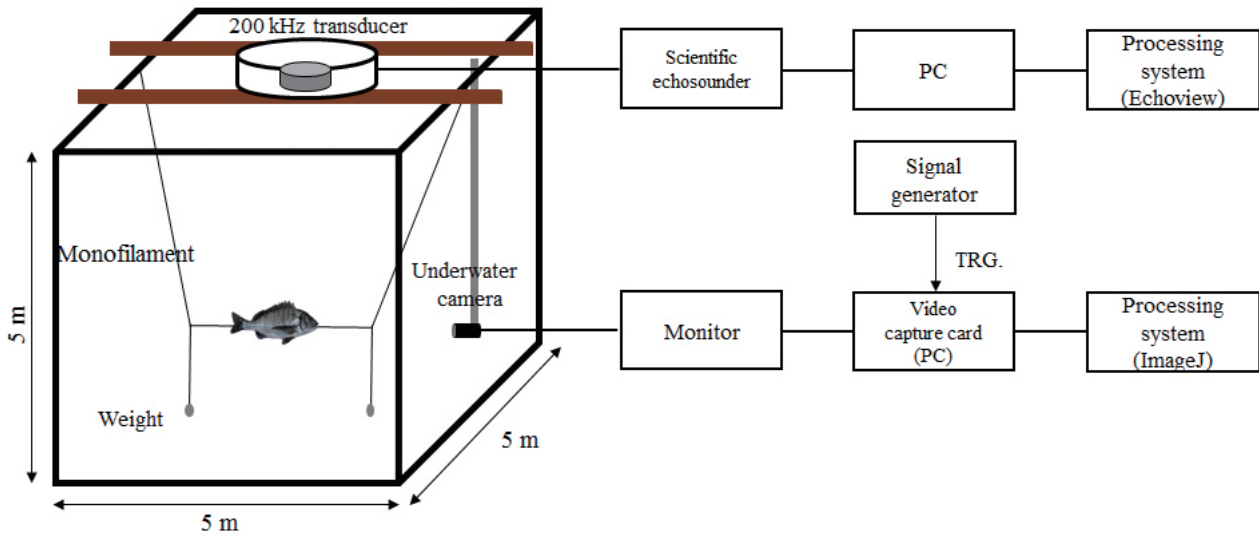


Fig. 1. Experimental scheme and system composition for measuring the target strength of black seabream *Acanthopagrus schlegeli* using 200 kHz Frequency.

서 직접법은 여러 종류의 빔을 이용하여 현장에서 대상 생물의 유영 자세각과 사이즈 분포에 의존하는 것을 측정한다. 이론적인 방법은 음향 모델을 이용하는 것이다. 대상 생물은 물리학, 생태학, 형태학에 따라 TS가 변화하는데 이 모든 요소에 대한 TS를 측정하기 위해서는 다소 무리가 따르기 때문에 실측 자료와 음향 모델을 비교하고 여러가지 요인을 고려하여 생물의 TS를 계산한다.

이전에 감성돔에 대한 TS의 연구결과는 Lee (2012)와 Kang et al. (2004)가 보고하였다. Lee (2012)는 현수법을 이용하여 주파수 70, 120 kHz에 대한 TS를 측정하였고, Kang et al. (2004)은 현수법과 음향모델로 주파수 38, 120 kHz에 대한 TS 측정이 이루어졌으며, 주파수 200 kHz에 관한 자료는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 현수법과 음향 모델을 이용하여 주파수 200 kHz에 대한 감성돔의 유영자세각과 체장 의존성에 따른 TS의 변동을 파악하였다.

재료 및 방법

실험 어종 및 샘플

본 연구에 사용된 실험 어종은 경상남도 거제에 위치한 수산자원연구센터와 여수 수산시장에서 살아있는 개체를 샘플하였다. 샘플은 아이스박스 밑에 아이스 팩을 넣고 투명 샘플봉투에 해수를 채워 샘플들에 기포가 유입되지 않게 샘플봉투에 넣은 후 수온을 샘플 전과 유사하게 해준 후 실험 장소까지 살아있는 상태로 유지하면서 안전하게 수송하였다. TS측정 실험은 2017년 9월에 이루어졌고, 실험 시기에 출현하는 체장 범위의 한계로 인하여 체장이 작은 25개체는 현수법, 체장이 큰 5개체

는 음향모델을 방법을 사용하였다. 현수법에 사용한 25개체의 가랑이체장은 6.4-18.7 cm, 체중은 6.4-129.3 g, 음향모델에 사용한 5개체의 가랑이체장은 29.0-30.8 cm, 체중은 489.4-683.8 g이었다.

현수법의 실험 시스템 구성 및 자료 분석

현수법을 이용한 감성돔의 TS는 전남대학교 수산과학연구소 내에 위치한 해수음향수조[5 m (L)×5 m (W)×5 m (H)] 수심 3.5-4.0 m에서 측정하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 샘플의 TS는 주파수 200 kHz의 과학어군탐지기(EK80, Simrad, Norway)로 계측하였다. 시스템의 교정은 어종별 TS의 실험 전에 교정구를 이용하여 실시하였으며 시스템의 교정 결과는 Table 1에 나타내었다. 샘플의 유영자세각은 수조 측면에 설치된 수중카메라(T-water-7000DX, WIRELESS TSUKAMOTO, Japan)로 관측하였다. 샘플의 유영자세각 변화 이미지는 비디오

Table 1. Acoustic parameters for measuring the target strength of black seabream *Acanthopagrus schlegeli*

Parameters	200 kHz
Two-way beam angle (dB)	-20.70
Transducer gain (dB)	25.52
3-dB Beam angle (athwart/along) (deg.)	9.12/7.04
Absorption coefficient (dB km ⁻¹)	7.72
Sound speed (ms ⁻¹)	1529.4
Power (W)	105
Pulse length (ms)	0.512

캡처 카드(VCE-Pro, ImperX, USA)의 외부 트리서 기능부를 이용하여 0.5 s간격으로 컴퓨터에 저장하였다. 비디오 캡처 카드에서 공급한 0.5 s간격의 구형파 트리거 신호는 신호발생기(WF1944A, NF Electronic Instruments, Japan)를 사용하여 만들었다. 또한 과학어군탐지기의 펄스 간격도 0.5 s간격으로 설정하여 샘플의 유영 행동 이미지와 TS 자료를 동기화 시켰다.

취득한 TS의 자료는 후일에 실험실에서 음향분석소프트웨어(Echoview V 8, Echoview Software Pty Ltd., Australia)를 사용하여 재생하였고, single target detection 기능으로 분석하였다. 어류의 유영자세각은 ImageJ 소프트웨어(ImageJ, US National Institutes of Health, USA)를 이용하여 측정하였다.

음향산란이론 모델 및 체형 묘사

감성돔의 TS를 계산하기 위하여 Kirchhoff-ray mode (KRM) 모델(Clay and Horne, 1994)을 이용하였다. KRM 모델은 어류의 부레와 체형을 실린더 혹은 원뿔 모양으로 근사하여 이들의 부피의 합으로 계산된다. 어체의 음향산란진폭(L_{body})은 다음 식 (1)과 같이 구한다.

$$L_{body} = f(f_r, \theta_{tilt}, S_b, \rho_w, \rho_b, C_w, C_b) \quad \dots\dots\dots (1)$$

기서, f_r 는 주파수, θ_{tilt} 는 체축과 입사각 사이의 각도, S_b 는 반원통형으로 근사한 어체의 체형, ρ_w 는 매질(해수)의 밀도, ρ_b 는 어체의 밀도, C_w 는 매질(해수)의 음속, C_b 는 어체의 음속이다. 그리고 부레에 의한 음향산란진폭은($L_{bladder}$) 식 (2)와 같다.

$$L_{bladder} = f(f_r, \theta_{tilt}, S_{sb}, \rho_{sb}, \rho_{sb}, C_b, C_{sb}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

여기서, S_{sb} 는 원통형으로 근사한 부레의 형태, ρ_{sb} 는 부레의 밀도, C_{sb} 는 부레내의 음속이다. 따라서, 어류몸체와 부레에 의한 음향산란, 즉 어류 전체에 의한 음향산란진폭(L_{fish})은

$$L_{fish} = L_{body} + L_{bladder} \quad \dots\dots\dots (3)$$

으로 구할 수 있으며, 와의 관계는 식 (4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$TS = 20 \log |L_{fish}| \quad \dots\dots\dots (4)$$

계산된 음향산란강도를 체장의 2승에 비례한다고 가정한 식 (5)으로 나타내었다(Lee et al., 2010)

$$TS = 20 \log_{10} L + TS_{cm} \quad \dots\dots\dots (5)$$

KRM 모델에 사용된 감성돔은 자연 상태와 유사하게 유지되도록 드라이아이스와 알코올을 이용하여 급속 냉동을 시킨 후

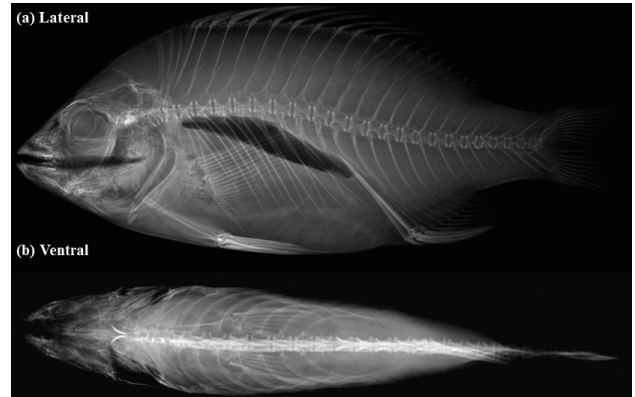


Fig. 2. X-ray images of (a) lateral and (b) ventral of black seabream *Acanthopagrus schlegelii*.

실험실로 운반하였다. 음향산란모델을 수행하기 위해서는 어류의 체형과 부레가 필요하기 때문에 급속 냉동시킨 어류의 측면과 배면을 Fig. 2와 같이 X-ray 촬영을 하였다. 촬영된 X-ray 사진은 디지털라이징 소프트웨어를 이용하여 어류의 측면과 배면에 대한 각각의 물체와 부레를 0.2 mm간격의 슬라이드로 나누어 체형 좌표를 묘사하였다. 어류의 부레 기울기는 ImageJ 소프트웨어를 이용하여 측정하였다.

KRM 모델로 TS를 계산하기 위해서는 대상 어류에 대한 몸체의 음속, 밀도, 부레의 음속, 밀도 및 해수의 음속, 밀도의 파라미터가 필요하다. 본 연구에서는 Clay and Horne (1994)의 연구 결과를 인용하여 몸체의 음속은 1,570 m/s, 밀도는 1,070 kg/m³, 부레의 음속은 345 m/s, 밀도는 1.24 kg/m³, 해수의 음속은 1,490 m/s, 밀도는 1,030 kg/m³을 음향 모델에 사용하였다.

결과 및 고찰

감성돔의 체장(가랑이체장) 및 체중 함수

본 연구에서 사용된 감성돔 30개체의 가랑이체장과 체중의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 감성돔의 가랑이체장은 6.4-30.8 cm, 체중은 6.4-683.8 g 범위이었고, 측정된 감성돔의 가랑이체장과 체중과의 관계식은 다음 식 (6)으로 나타낼 수 있다(Fig. 3).

$$W(g) = 0.0291 \times FL(cm)^{2.9086}, R = 0.99 \quad \dots\dots\dots (6)$$

감성돔의 유영자세각에 따른 초음파산란강도

감성돔의 유영자세각 -60~60° 변화에 따른 TS를 Fig. 4에 나타내었다. 유영자세각과 TS 관계는 가랑이체장이 작은 개체(No. 13, FL=6.9 cm)와 큰 개체(No. 29, FL=30.8 cm)를 나타내었다.

유영자세각에 따른 TS값은 No. 13 감성돔의 경우 -62.04~

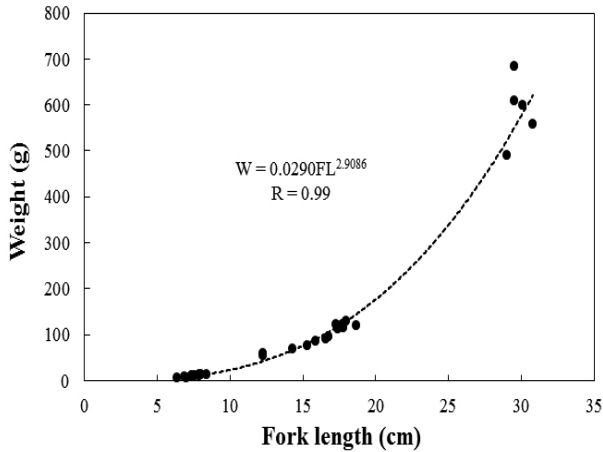


Fig. 3. Relationships between fork length and weight of black seabream *Acanthopagrus schlegeli*.

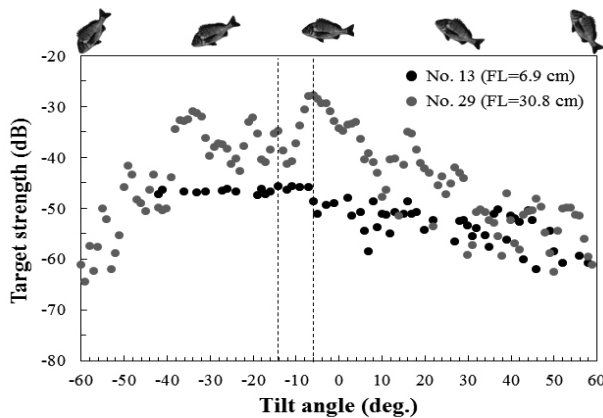


Fig. 4. Compared target strength values of a small size individual (No. 13, FL=6.9 cm) to those of a large size individual (No. 29, FL=26.0 cm) of black seabream *Acanthopagrus schlegeli*. FL, Fork length.

45.75 dB으로 -16.29 dB차이가 나타났고, 유영자세각이 -6° 일 때 가장 높았다. No. 29 감성돔(부레의 기울기, 20°)의 경우 -75.40~-27.08 dB으로 48.32 dB 차이가 나타났으며, 유영자세각이 -14° 일 때 가장 높게 나타났다.

감성돔 30개체의 유영자세각 변화에 따른 TS 및 평균 TS를 Fig. 5에 표현하였다. Fig. 5에 나타낸 바와 같이 모든 개체의 유영자세각에 따라 TS 값은 약 32 dB차이를 나타내었고, 모든 개체를 유영자세각별로 평균한 TS값은 유영자세각 -1° 에서 -35.84 dB으로 가장 높았다. 감성돔의 부레 기울기는 $16-24^\circ$ (평균, $20 \pm 3^\circ$)였다. TS값은 유영자세각 $-30 \sim -2^\circ$ 에서 높게 나타났으며, 최대 TS값이 나타난 유영자세각의 평균은 $-12 \pm 8^\circ$ 였다. 유영자세각이 음의 옥으로 기울어져 부레의 기울기가 수평이 될 때 높은 TS 값을 보이는 경향을 나타내었다.

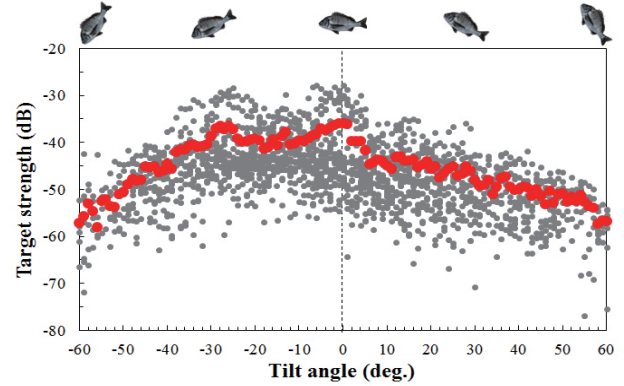


Fig. 5. Target strength values according to the tilt angles of 30 individuals black seabream *Acanthopagrus schlegeli*.

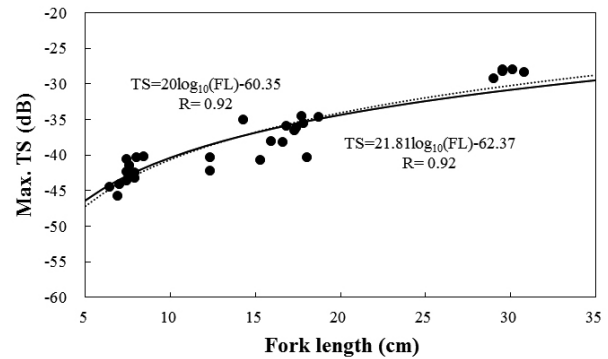


Fig. 6. Relationship between the fork length and the maximum TS of black seabream *Acanthopagrus schlegeli*. TS, Target strength; FL, Fork length.

감성돔의 체장에 따른 TS 함수식

감성돔의 체장에 따른 최대 TS와 평균 TS 함수식을 각각 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다.

검은색 점은 음향산란강도의 측정치이고, 점선은 $TS = a \log(L) + b$ 의 회귀직선식이며 실선은 음향산란강도 체장의 2승에 비례하는 경우에 체장변환계수의 식이다. 감성돔의 최대 TS의 측정 구간은 -45.8~-27.9 dB으로 체장이 커짐에 따라 최대 TS 값이 증가하는 경향을 나타내었고, 체장과 최대 TS 함수식은 $TS_{Max} = 21.81 \log_{10}(FL) - 62.37 (R = 0.92)$ 으로 나타났으며 체장의 2승에 비례하는 경우에는 $TS_{Max} = 20 \log_{10}(FL) - 60.35 (R = 0.92)$ 으로 나타낼 수 있다(Fig. 5). 감성돔의 평균 TS는 -50.5~-33.9 dB으로 체장이 커짐에 따라 평균 TS값도 증가하는 경향을 나타내었고, 체장과 평균 TS 함수식은 $TS_{Avg} = 19.68 \log_{10}(FL) - 66.53 (R = 0.88)$ 과 체장의 2승에 비례하는 경우에는 $TS_{Avg} = 20 \log_{10}(FL) - 66.89 (R = 0.88)$ 으로 나타낼 수 있다(Fig. 6).

감성돔의 TS에 관한 이전 연구는 주파수 38, 70, 120 kHz에

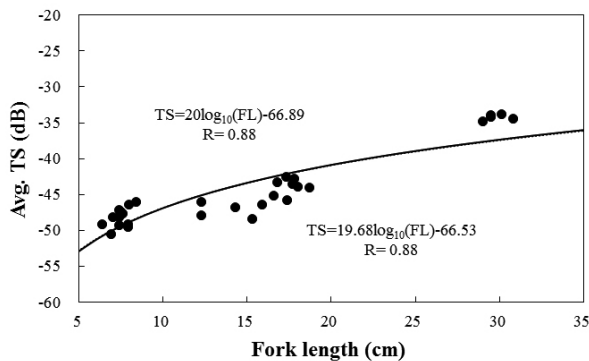


Fig. 7. Relationship between the fork length and the averaged TS of black seabream *Acanthopagrus schlegeli*. TS, Target strength; FL, Fork length.

대한 결과가 보고되었고, Lee (2012)는 감성돔의 가랑이체장이 16.7-28.8 cm인 개체를 현수법을 이용하여 체장에 따른 TS_{cm} 를 계산한 결과, 주파수 70 kHz에서 -69.46 dB, 120 kHz에서 -69.74 dB으로 나타났다. 또한, Kang et al. (2004)은 감성돔의 체장이 15.5-32.9 cm인 개체를 현수법과 KRM 모델을 이용하여 체장에 따른 TS_{cm} 를 계산한 결과 현수법에서는 -64.60 dB (38 kHz) 및 -65.20 dB (120 kHz) 였으며, KRM모델에서는 -64.80 dB (38 kHz) 및 -65.40 dB (120 kHz)로 현수법과 모델의 결과가 거의 유사하다는 것을 증명하였다. 주파수 200 kHz에 감성돔의 TS의 선행 연구 결과가 보고되지 않아 본 연구결과와 비교는 어렵지만, 주파수 200 kHz에 대한 TS_{cm} 는 주파수 120 kHz와 유사하다는 것을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 국립수산물학원 수산시험연구사업(R2018028)의 지원에 의해 수행되었으며, 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님과 편집위원님께 감사드립니다.

References

- Clay CS and Horne JK. 1994. Acoustic models of fish: the Atlantic cod (*Gadus morhua*). J Acoust Soc Am 96, 1661-1668.
- 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. <https://doi.org/10.1121/1.384452>.
- Holliday DV and Pieper RE. 1995. Bio acoustical oceanography at high frequencies. ICES J Mar Sci 52, 279-296. [https://doi.org/10.1016/1054-3139\(95\)80044-1](https://doi.org/10.1016/1054-3139(95)80044-1).
- Horne JK. 2003. The influence of ontogeny, physiology, and behaviour on the target strength of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*). ICES J Mar Sci 60, 1063-1074. [https://doi.org/10.1016/s1054-3139\(03\)00114-0](https://doi.org/10.1016/s1054-3139(03)00114-0).
- Hwang BK, Lee YW, Jo HS, OH JK and Kang MH. 2015. Visual census and hydro-acoustic survey of demersal fish aggregations in Ulju small scale marine ranching area (MRA), Korea. J Kor Soc Fish Technol 51, 16-25. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.1.016>.
- Kang DH, Sadayasu K, Mukai T, Iida K, Hwang DJ, Sawasa 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. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2004.00875.x>.
- Kang K and Shin HO. 2008. Behavioral characteristics of black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) in Yeosu waters during Winter. J Kor Fish Soc 41, 48-53. <https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.1.048>.
- Lee SJ, Lee YW, Kim JI, Oh WY, Hwang BK, Kim BY and Lee KH. 2010. Target strength estimation of dominant species in marine ranching ground of Jeju coastal water by KRM-model. J Kor Soc Fish Tech 46, 157-163.
- Lee DJ. 2012. Fish length dependence of target strength for black porgy and fat greenling at two frequencies of 70 and 120kHz. J Kor Soc Fish Tech 48, 137-146. <https://doi.org/10.3796/ksft.2012.48.2.137>.
- 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.
- MacLennan DN and Simmonds EJ. 1992. Fisheries Acoustic. Chapman and Hall, London, U.K.
- 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>.
- Nakken O and Olsen K. 1977. Target strength measurements of fish. Rapp P-v Riun Cons int Explor Mer 170, 52-69. <https://doi.org/10.1002/9780470995303.ch6>.
- Sawada K. 2002. Study on the precise estimation of the target strength of fish. Bull Fish Res Agency 11, 47-122.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s12562-009-0091-3>.