

주파수 70 kHz를 이용한 청어의 유행자세각과 체장에 따른 초음파산란강도의 변동

박미선 · 윤은아¹ · 황강석² · 이동길³ · 오우석⁴ · 이경훈^{1*}

남동해수산업연구소, ¹전남대학교 해양기술학부, ²국립수산과학원 연근해자원과, ³국립수산과학원 수산공학과,
⁴전남대학교 수산과학과

Variation of target strength by swimming orientation and size for Pacific herring (*Clupea pallasii*) at the frequency of 70-kHz

Miseon PARK, Euna YOON¹, Kangseok HWANG², Donggil LEE³, Wooseok OH⁴ and Kyoungsoon LEE^{1*}

Southeast Sea Fisheries Research Institute, Tongyeong-si 53085, Korea

¹*School of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea*

²*Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*

³*Fisheries Engineering Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*

⁴*Department of Fisheries Sciences, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea*

We measured the target strength according to the swimming tilt angle and size change for Pacific herring at the frequency of 70 kHz as the basic database in order to estimate its abundance as well as density in the survey area using the hydroacoustical method. The number of the sample used in this study was 14 individuals, and its size distribution by fork length ranged between 20.3 and 29.8 cm and wet weight was measured between 187.6 and 269.9 g. The variation of TS according to the swimming angle (-30~30°) was measured between 10.3 and 18.8 dB in frequency range, the highest value was measured at head-down of Pacific herring in the tilt angle range between 5 and 9 deg. of its swimbladder. The relationship between TS-FL of herring was the same as $TS = 20\log_{10}(FL) - 66.79$ when its swimming tilt angle in the daytime ($3.8 \pm 6.0^\circ$) and nighttime ($-3.2 \pm 13.6^\circ$), respectively.

Keywords : Target strength, Pacific herring, Swimming orientation, Swimbladder, Tilt angle

서론

청어 (Pacific herring, *Clupea pallasii*)는 청어목 (Clupeiformes) 청어과 (Clupeidae)에 속하는 어류로 한국, 일본, 베링해, 알래스카, 북태평양, 서태평양의 연근해에 널리 서식한다. 우리나라에서는 동해 영일만, 서해

태안, 남해 거제도 등지에 서식하며 산란기는 동해에서 1~2월로 알려져 있다 (Ji et al., 2015). 우리나라 청어의 연근해어업 총생산량은 1970년대에 5천여 톤으로 저조하였으나, 2008년에 4만 5천여 톤으로 최대 어획량을 보였으며, 다시 2011년에 2만 5천여 톤으로 감소하는

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

경향을 보이며 어획량의 변동이 크게 나타났다 (KOSIS, 2017). 이와 같이 최근 연근해어업에 있어서 청어의 생산량이 불안정하게 변동하고 있으므로, 대상어종을 지속적으로 이용하기 위해서는 적절한 자원 관리와 정량적인 평가방법의 도입이 필요하다.

수산자원 평가 방법 가운데 음향 조사는 단 시간에 넓은 해역에 서식하고 있는 어류의 시공간적인 분포 및 현존량 평가할 수 있어 수산 선진국에서 많이 이용되고 있다. 음향조사방법은 정량적인 음향에너지를 수집할 수 있는 과학어군탐지기를 활용하여 현장에서 대상생물의 체적후방산란강도 (Volume backscattering strength, SV)는 쉽게 취득할 수 있지만, 현존량으로 변환하기 위해서는 대상 어류의 크기 및 주파수에 대한 정확한 초음파산란강도 (Target Strength, TS)의 자료가 필요하다 (MacLennan and Simmonds, 1992).

청어의 초음파산란강도에 관한 연구는 Norwegian Fjord 해역, Iceland 해역, N.E. Atlantic 해역, Shetland island 해역, Blatic 해역, N.E. Pacific 해역에서 대부분 조업 및 조사현장에서 수행되어졌고, 38 kHz의 주파수 대역에 대한 연구가 대부분이다 (Halldorsson and Reynisson, 1983; Edwards et al., 1984; Foote et al., 1986; Rudstam et al., 1988; Reynisson, 1993; Misund and Beltestad, 1996; Ona et al., 2001; Thomas et al., 2002; Ona, 2003; Didrikas and Hansson, 2004; Peltonen and Balt, 2005). 최근에는 다주파수를 이용하여 현장에서 대상 종을 식별하여 밀도 및 현존량을 파악하는 연구가 활발히 이루어지고 있다 (Horne and Jeck, 1999;

Korneliussen and Ona, 2002; McKelvey and Wilson, 2006). 음향을 이용하여 청어의 밀도 및 현존량을 파악하기 위해서는 다주파수에 대한 TS 정보가 필요한 실정이다. 어류 음향 조사에는 대부분 주파수 38과 120 kHz 대역을 이용하여 조사가 많이 이루어지고 있으나, 다주파수에 대한 정보를 얻기 위해서는 주파수 70 kHz 대역에 대한 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 현수법을 이용한 70 kHz 주파수 대역에 대한 청어의 유영 자세각 및 사이즈 변동에 따른 TS를 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

청어의 TS 측정은 2016년 8~10월부터 전남대학교 수산과학연구소 돌산증양식센터 내에 위치한 해수음향수조 (L5 m×W5 m×H5 m)에서 이루어졌다. 본 실험에 사용된 청어는 강원도 동해시 묵호항 근처 정치망에서 어획한 개체를 살아있을 때 사육수조 (L0.5 m×W0.5 m×H1.0 m)에 넣어 1~2시간 순치시킨 후 표본통에 해수와 함께 한 개체씩 넣어 급속으로 냉동하여 실험장소로

Table 1. Summary of system calibration at 70 kHz

Frequency (kHz)	70
Two-way beam angle (dB)	-21.0
Receiver bandwidth (kHz)	4.69
Transducer gain (dB)	26.76
3-dB Beam angle (athwart/along) (deg.)	6.38/6.38
Absorption coefficient (dB km ⁻¹)	18.4
Sound speed (m s ⁻¹)	1535.6
Power (W)	700
Pulse length (ms)	0.512

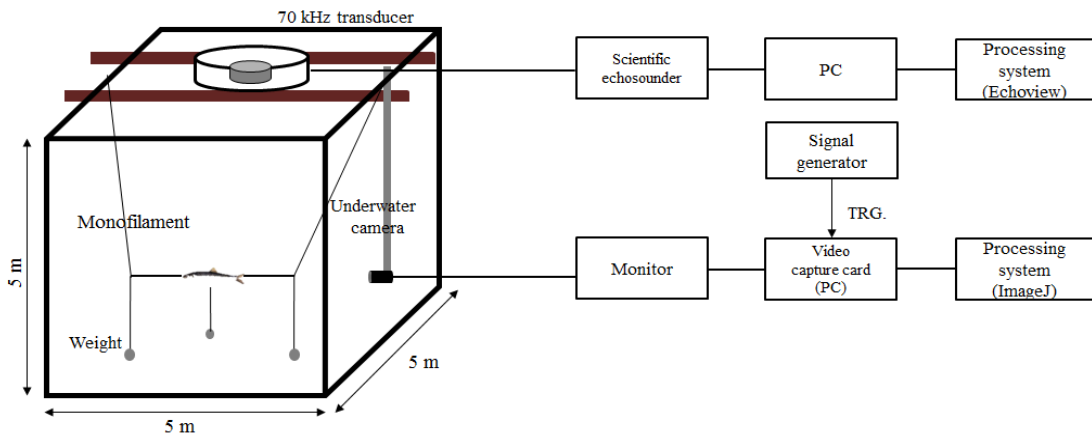


Fig. 1. Block diagram of system composition and experiment method to measure TS of Pacific herring.

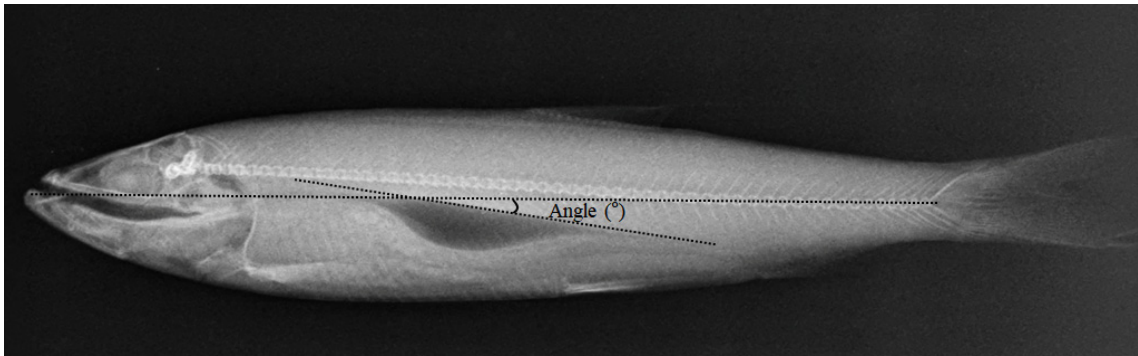


Fig. 2. X-ray image of Pacific herring (*Clupea pallasii*). The swimbladder angle was indicated the tilt angle of swimbladder, centerline between anterior and posterior margins according to the fish body.

이송하였다. 실험 시에는 청어가 투입된 표본통을 흐르는 물에 해동시키고 큰 양동이에 해수에 넣은 후 계면활성제를 투입하여 해수와 혼합시킨 후 표본통에 있는 청어를 넣어 청어의 체외 및 체내에 포함되어 있는 기포를 최대한 제거하여 실험하였다.

청어의 TS 측정은 70 kHz 주파수대역의 과학어군탐지기 (EK60: Split-Beam Scientific Echosounder, Simrad, Norway)를 이용하여 측정하였고, 실험어를 측정하기 전에 교정구를 이용하여 음향센서의 교정을 실시하였다. 시스템 교정 결과는 Table 1과 같이 나타내었다. 청어의 자세각 변동은 수조 측면에 설치된 수중카메라 (T-water-7000DX, Wireless Tsukamoto, Japan)를 이용하여 관측하였다. 신호발생기 (WF1944A, NF Electronic Instruments, Japan)에 영상저장카드를 연결하였고, 신호발생기에서 구형파 트리거 신호를 만든 후, 펄스 간격을 0.5 sec의 외부 트리거 모드로 구동시켜 청어의 수중 영상을 영상저장카드 (VCE-Pro, ImperX, USA)의 트리거 기능부를 이용하여 이미지를 컴퓨터에 저장하였다. 또한 과학어군탐지기의 펄스 간격도 0.5 sec 간격으로 설정하여 청어의 자세각 화면과 동기화시켜서 저장하였다.

실험에 사용된 청어는 Fig. 1과 같이 위치하도록 설치하였다. 청어는 기름진 육질로 구성되어 체내 조직이 단단하지 않기 때문에 두부와 몸통에 고무줄을 끼우고 그 사이에 낚싯줄로 넣어 추가 달린 긴 모노필라멘트 줄에 연결하였다. 또한 죽은 개체는 자세각을 조정하면 자연스럽게 위치하기 어렵기 때문에 복부 아래 추가 달린 낚싯줄을 연결하여 실험어가 트랜스듀서 아래에

3.5~4.0 m 사이에 위치하도록 고정하였다. 청어의 자세각은 각도 조정 자동컨트롤러를 이용하여 미세하게 변화를 주어서 측정하였다. 실험이 끝난 후에는 체장판과 저울을 이용하여 청어의 가랑이체장 (Fork length, cm) 및 습중량 (Weight, g)을 측정하였다. 그 결과, 실험에 사용된 청어는 14개체로 가랑이체장은 20.3~29.8 cm, 습중량은 187.6~269.9 g의 범위이었다. 또한 청어의 부레 기울기를 파악하기 위하여 실험에 사용된 개체를 급동 냉동시켜 X-ray 촬영을 하고, 부레의 기울기를 Fig. 2와 같이 측정하였다.

청어의 TS에 대한 음향자료는 음향 후처리분석소프트웨어 (Echoview V 4.7, Echoview Software Pty Ltd, Australia)를 사용하여 재생하였고, 프로그램 내에 설정 모듈인 single target detection 기능을 이용하여 음향신호를 추출하였다. 대상어류의 자세각은 ImageJ 소프트웨어 (ImageJ, US National Institutes of Health, USA)를 사용하여 측정하였다.

현수법으로 측정한 TS는 다음 식 (1), (2)와 같이, 청어의 주간과 야간의 유영자세각 평균값 (\pm 표준편차)을 각각 $3.8^\circ (\pm 6.0^\circ)$, $-3.2^\circ (\pm 13.6^\circ)$ 로 가정하여 확률밀도 함수 (Probability density function, PDF)로 구하고 (Beltestad, 1973), 1° 마다 계산된 각 유영자세각의 TS값을 산란단면적으로 바꾸어 각 자세각에 대한 확률밀도 함수와 합성하여 평균 TS를 계산하였다 (Fig. 3).

$$\sigma_{bs} = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sigma(\theta) f(\theta) d\theta \quad (1)$$

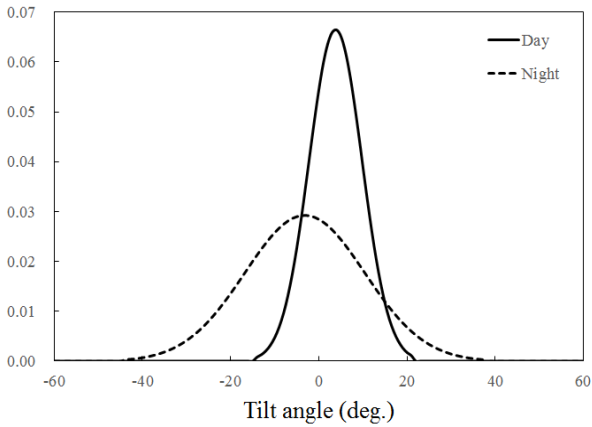


Fig. 3. Probability density function (PDF) of tilt angle (Daytime: $3.8 \pm 6.0^\circ$, Nighttime: $-3.2 \pm 13.6^\circ$) to calculate TS for Pacific herring.

$$TS_{avg} = 10 \log_{10} \sigma_{avg} \quad (2)$$

여기서, $\sigma(\theta)$ 는 각 유영 자세각별 θ 에서 후방산란단면적, $f(\theta)$ 는 각 유영 자세각별의 출현빈도를 말한다. 청어의 체장에 따른 TS 관계식은 다음 식 (3)으로 나타낼 수 있다. 식 (3)은 음향후방산란강도가 사이즈의 2승에 비례한다고 가정하여 어체 1 cm당의 TS를 TS_{cm} 라 할 때,

$$TS = 20 \log_{10} FL + TS_{cm} \quad (3)$$

으로 표현된다. 여기서, FL 은 가랑이체장 (cm)을 말한다. 또한 청어의 체중에 따른 TS 관계식은 다음 식 (4)로 표현할 수 있다. 식 (4)는 반사강도가 체중의 2/3승에 비례한다고 가정하여 어체 1 g당의 TS를 TS_g 이라 할 때 (Love, 1977),

$$TS = 20/3 \log_{10} W + TS_g \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서, W 는 습중량을 말한다.

결과 및 고찰

청어의 유영자세각 변화에 따른 TS

현수법을 이용하여 주파수 70 kHz에 대한 청어의 유영자세각 $-60 \sim 60^\circ$ 의 변화에 TS를 Fig. 4에 나타내었다.

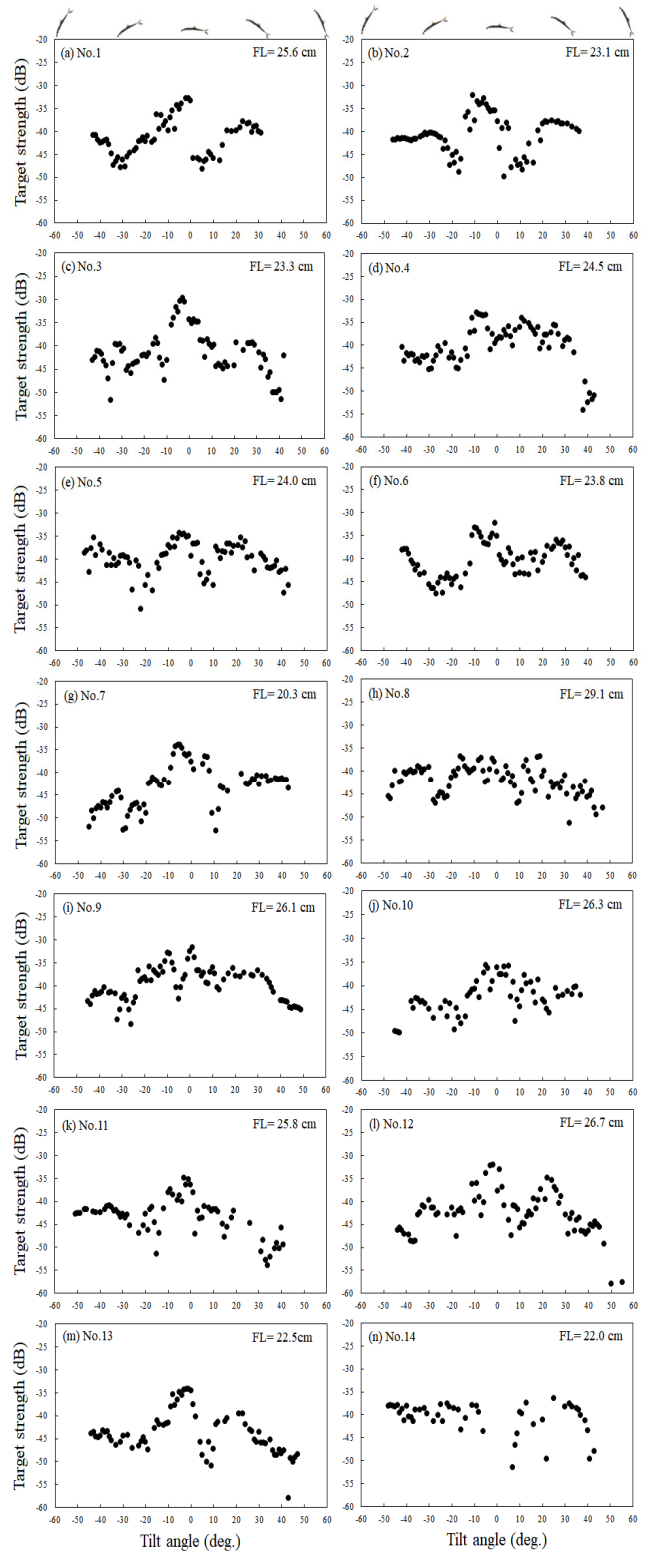


Fig. 4. Relationship between TS and tilt angle of Pacific herring of No.1 (a)~No.14 (n) at 70 kHz.

청어의 유평자세각은 수평일 때 0°이고, 머리가 아래 방향일 때 음 (-)이며, 머리가 윗 방향일 때 양 (+)으로 나타낸다. 14개체의 TS값을 유평자세각 범위 (-30~+30°)를 기준으로 결과를 비교한 결과, TS는 -52.7~+29.7 dB 사이에서 변동을 보였고, 대부분 유평자세각이 음의 방향으로 머리가 아래 방향으로 향할 때 가장 높은 TS값을 보였다 (Fig. 4). 어류의 TS는 유평자세각, 주파수, 사이즈, 수심 순으로 큰 영향을 받는다. 따라서 유평자세각의 영향이 가장 크기 때문에 유평자세각의 변화에 따른 TS를 관측하는 것이 가장 중요하다 (Hazen and Horne, 2003). 청어의 유평자세각을 -30~30°의 변화에 따른 TS의 변동은 10.3~18.8 dB의 차이가 나타났다. 또한 14개체 청어의 TS값은 머리가 아래 방향으로 향할 때 가장 높았다. 본 실험에 사용된 청어의 부레 기울기는 +5~9°로 양의 기울기를 가지고 있으므로 음파의 입사각과 부레 사이의 각도가 직각일 때 부레의 단면적이 가장 넓어지기 때문에 유평자세각이 음의 기울기를 가질 때, 즉 머리가 아래로 향할 때 TS는 최댓값을

나타낸다.

청어의 체장 및 체중 변화에 따른 TS 변동

청어의 주간 및 야간시간대의 유평자세각을 고려한 TS-FL의 회귀선을 Fig. 5와 같이 나타내었다. 주간 및 야간시간대의 유평자세각을 고려한 TS 값의 상관계수 (r)은 0.97으로 높았고, 유의한 차이가 나타나지 않았다 (p>0.05). Fig. 5와 같이 주간의 유평자세각을 고려한 $TS=20\log_{10}(FL)-66.79$ (r=0.09), 야간의 유평자세각을 고려한 $TS=20\log_{10}(FL)-66.79$ (r=0.35)으로 주간과 야간의 유평자세각에 따른 TS_{cm} 는 동일하게 나타내는 것을 알 수 있었다. 청어의 주간과 야간 유평자세각을 고려한 TS-W의 회귀선은 Fig. 6과 같이 나타내었다. 청어의 주간시간대의 유평자세각을 고려한 회귀선은 $TS=20/3\log_{10}(W)-53.39$ (r=0.16), 야간의 유평자세각을 고려한 회귀선은 $TS=20/3\log_{10}(W)-53.40$ (r=0.45)으로 나타났으며, 주간과 야간의 유평자세각에 따른 TS_g 은 유사한 값을 나타내는 것을 알 수 있었다.

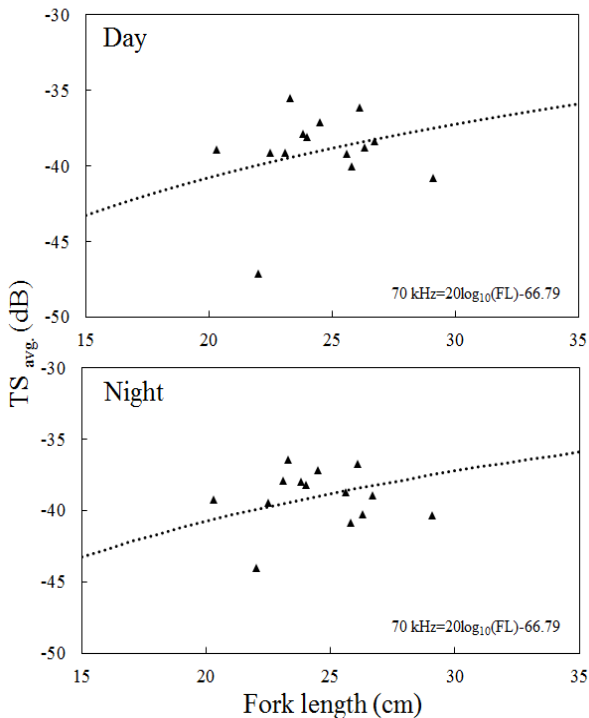


Fig. 5. TS-FL relationships of the regression equations ($20\log_{10}(FL)+TS_{cm}$) with tilt angle at day and night of Pacific herring at 70 kHz using *ex-situ* methods.

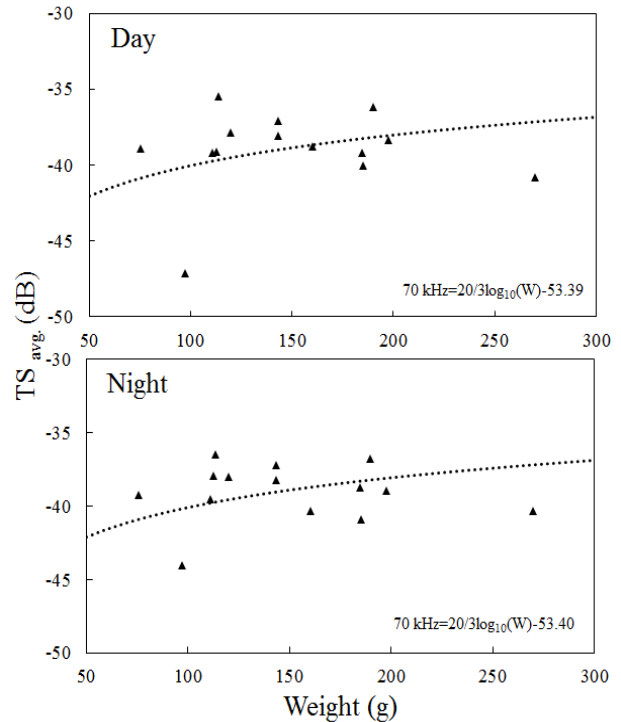


Fig. 6. TS-W relationships of the regression equations ($20/3\log_{10}(W)+TS_g$) with tilt angle at day and night of Pacific herring at 70 kHz using *ex-situ* methods.

Table 2. Summary of TS estimates by previous studies for herring from $TS = 20\log_{10}(FL) + TS_{cm}$

Frequency (kHz)	TS_{cm}	Area	Source	
38	-64.6	Norwegian Fjord	Ona et al., 2001	
	-67.3		Ona, 2003	
	-71.1	Iceland	Misund and Beltestad, 1996	
	-69.4		Halldorsson and Reynisson, 1983	
	-67.1		Reynisson, 1993	
	-71.3		N.E. Atlantic	Edwards et al., 1984
	-72.1		Shetland island	Foote et al., 1986
	-67.8		Baltic	Didrikas and Hansson, 2004
	-63.9		N. Baltic	Peltonen and Balt, 2005
	70		Baltic	Rudstam et al., 1988
120	N.E. Pacific	Thomas et al., 2002		

본 연구에서 현수법을 이용하여 주파수 70 kHz에 대한 주간과 야간의 유행자세각을 고려한 TS-체장 회귀선의 TS_{cm} 값을 산정한 결과, 주-야간 모두 -66.79 dB이었다. 청어의 TS-체장관계식은 Norwegian Fjord 해역, Iceland 해역, N.E. Atlantic 해역, Shetland island 해역, Baltic 해역, N.E. Pacific 해역의 현장에서 조사한 결과가 보고되었다. 조사 해역마다 측정된 TS-체장 회귀선의 TS_{cm} 는 Norwegian Fjord 해역의 경우, 주파수 38 kHz에서 -64.6 dB (Ona et al., 2001), -67.3 dB (Ona, 2003) 및 -71.1 dB (Misund and Beltestad, 1996), Iceland 해역의 경우, 주파수 38 kHz에서 -69.4 dB (Halldorsson and Reynisson, 1983), -67.1 dB (Reynisson, 1993), N.E. Atlantic 해역의 경우, 주파수 38 kHz에서 -71.3 dB (Edwards et al., 1984), Shetland island 해역의 경우 주파수 38 kHz에서 -72.1 dB (Foote et al., 1986)이었다. Baltic 해역의 경우, 주파수 38 kHz에서 -67.8 dB (Didrikas and Hansson, 2004), 주파수 70 kHz에서 -69.9 dB (Rudstam et al., 1988)으로 나타났고, N. Baltic 해역의 경우, 주파수 38 kHz에서 -63.9 dB (Peltonen and Balt, 2005), N.E. Pacific 해역의 경우, 주파수 120 kHz에서 -66.0 dB (Thomas et al., 2002)의 결과가 보고되었다. 본 연구에서 사용된 주파수 70 kHz에 대한 TS_{cm} 는 이전의 연구 (Rudstam et al., 1988)보다 약 3 dB 정도 높게 나타났다. 본 연구에서는 죽은 개체를 사용하여 어류에 기포가 포함되어 있을 가능성이 있으며, 청어는 기름이 많은 육질을 가지고 있는데 죽은 개체의 경우 육질의 변화가 나타나기 때문에 TS값의 차이를 나타낸 것으로 고려할 수 있다. 청어와 유사하게 기름진 육질을

가진 Orangy roughy (*Hoplostethus atlanticus*)를 살아있는 개체와 죽어있는 개체의 TS를 측정된 결과, 죽어 있는 개체는 냉동하여 기포가 유입되고 체내 조직의 변화 때문에 TS가 살아 있는 개체보다 1.9~9.8 dB 높게 나타났다 (McClatchie et al., 1999). 이와 같이 냉동된 개체를 대상으로 TS를 측정할 때에는 기포의 유입 및 체내 조직의 변화를 고려하여야 할 것이다.

또한 동일한 주파수 38 kHz의 TS_{cm} 값을 비교했을 때, 조사 해역마다 큰 차이를 가지는 것으로 나타났다. 청어의 경우 서식 수심은 얇은 곳에서 깊은 곳까지 서식한다. 부레를 가진 어류는 수심이 깊어짐에 따라 압력 때문에 부레의 크기가 작아지게 된다. Thomas et al. (2002)은 수심이 깊어짐에 따라 TS 측정값은 감소하였고, 수심 100 m에서는 약 -7 dB 감소하는 것을 알 수 있었다. 이러한 수심과의 관계를 고려하여 Ona (2003)은 수심에 따른 TS값은 $20\log L - 2.3\log(1+z/10) - 65.4$ 으로 고려하는 것이 필요하다고 설명하였다.

본 연구에서는 현수법을 이용하여 주파수 70 kHz에 대한 청어의 유행자세각 및 체장 변화에 따른 TS값의 변동을 파악하였으며, 본 결과는 음향을 이용하여 조사현장에서 서식하는 청어의 시공간 분포 및 현존량을 파악하는 기본 자료로 활용되어질 수 있을 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 음향을 이용하여 청어의 시공간적인 분포와 현존량을 파악하기 위한 기초 자료로서, 주파수 70 kHz 대역을 이용하여 청어의 유행자세각 및 체장 변화에 따른 TS를 측정하였다. 실험에 사용된 청어는

14개체로 가랑이 체장은 20.3~29.8 cm, 습중량은 187.6~269.9 g의 범위이었다.

청어의 자세각 (-30~30°)에 따른 TS 측정값은 10.3~18.8 dB의 차이가 나타났으며, 청어의 머리가 아래로 향할 때 부레의 기울기에 따른 산란단면적이 최대가 되는 각도에 서 가장 높은 TS값을 나타내었다. 청어의 TS-FL의 관계 식은 주간과 야간시간대의 유평자세각을 각각 $3.8 \pm 6.0^\circ$ 및 $-3.2 \pm 13.6^\circ$ 를 적용하였으며 합성한 결과, 주간과 야간 시간대의 체장의존식은 $TS = 20 \log_{10}(FL) - 66.79$ 로 동일하게 나타났다.

사 사

본 연구는 2017년도 국립수산물연구원 수산과학연구소 (R2017015)의 지원에 의해 수행되었으며, 현장 조사 수행에 도움을 준 전남대학교 수산과학과 대학원생 여러분과 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님 들과 편집위원님께 감사드립니다.

References

- Beltestad AK. 1973. Feeding behavior and vertical migration in 0-group herring (*Clupea harengus L.*) in relation to light intensity. Cand. Real. thesis, University of Bergen.
- Didrikas T and Hansson S. 2004. *In situ* target strength of the Baltic Sea herring and sprat. ICES J Mari Sci 61, 378-382. (DOI:10.1016/s1054-3139(04)00005-0)
- Edwards JI and Armstrong F. 1984. Target strength experiments on caged fish. Scottish Fisheries Bulletin 48, 12-20.
- Korneliussen RJ and Ona E. 2002. An operational system for processing and visualizing multi-frequency acoustic data. ICES J Mari Sci 59, 293-313. (DOI:10.1006/jmsc.2001.1168)
- Foote KG, Aglen A and Nakken O. 1986. Measurement of fish target strength with a split beam echo sounder. Journal of the Acoustical Society of America 80, 612-621.
- Halldorsson O and Reynisson P. 1983. Target strength measurement of herring and capelin in situ at Iceland. FAO Fisheries Report 300, 78-84.
- Hazen EL and Horne JK. 2003. A method for evaluating the effects of biological factors on fish target strength. ICES J Mari Sci 60, 555-562. (DOI:10.1016/s1054-3139(03)00053-5)
- Horne JK and Jech JM. 1999. Multi-frequency estimates of fish abundance: constraints of rather high frequencies. ICES J Mari Sci 56, 184-199. (DOI:10.1006/jmsc.1998.0432)
- Ji HS, Lee DW, Choi JH and Choi KH. 2015. Natural hatching-induced and management for Pacific herring *Clupea pallasii* eggs attached to the gill net. J Kor Soc Fish Technol 51, 370-374. (DOI:10.3796/ksft.2015.51.3.370)
- KOSIS. 2017. Fishery Production Survey. http://kosis.kr/eng/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ETITL E&parentId=F (accessed August 20, 2017).
- Love RH. 1977. Target strength of an individual fish at any aspect. The Journal of the Acoustical Society of America 62, 1397. (DOI:10.1121/1.381672)
- MacLennan DN and Simmonds EJ. 1992. Fisheries acoustics. Chapman and Hall, London. 325.
- 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. Journal of the Acoustical Society of America 106, 131-142. (DOI:10.1121/1.427042)
- McKelvey DR and Wilson CD. 2006. Discriminant classification of fish and zooplankton backscattering at 38 and 120 kHz. Transactions of the American Fisheries Society, 135, 488-499. (DOI:10.1577/t04-140.1)
- Misund OA and Beltestad AK. 1996. Target-strength estimates of schooling herring and mackerel using the comparison method. ICES J Mari Sci 53, 281-284. (DOI:10.1006/jmsc.1996.0035)
- Ona E. 2003. An expanded target-strength relationship for herring. ICES J Mari Sci, 60, 493-499. (DOI:10.1016/S1054-3139(03)00031-6)
- Ona E, Zhao X, Svellingen I and Fosseidengen JE. 2001. Seasonal variation in herring target strength. In Herring: expectations for a new millenium. Edited by F. Funk, J. Blackburn, D. Hay, A.J. Paul, R. Stephenson, R. Toresen, and D. Witherell. Lowell Wakefield Fisheries Symposia Series, Fairbanks, Alaska, 461-487.
- Peltonen H and Balk H. 2005. The acoustic target strength of herring (*Clupea harengus L.*) in the northern Baltic Sea. ICES J Mari Sci 62, 803-808. (DOI:10.1016/j.icesjms.2005.02.001)
- Rudstam LG, Lindem T and Hansson S. 1988. Density and *in-situ* target strength of herring and sprat: a comparison

between two methods of analyzing single beam sonar data. Fisheries Research 6, 305-315. (DOI:10.1016/0165-7836(88)90001-x)

8675(2002)022<1136:estsmo>2.0.co;2)

Thomas GL, Kirsch J and Thorne RE. 2002. *Ex situ* target strength measurements of Pacific herring and Pacific sand lance. North America Journal of Fisheries Management 22, 1136-1145. (DOI:10.1577/1548-

2017. 10. 12 Received

2017. 11. 25 Revised

2017. 11. 25 Accepted