

70 및 120kHz에서 쥐노래미와 감성돔에 대한 음향 반사 강도의 체장 의존성

이 대 재*

부경대학교 해양생산시스템관리학부

Fish length dependence of target strength for black porgy and fat greenling at two frequencies of 70 and 120kHz

Dae-Jae LEE*

Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Black porgy and fat greenling are commercially important fish species due to the continuously increasing demand in Korea. When estimating acoustically the fish length by a fish sizing echo sounder, it is of crucial importance to know the target strength (TS) to length dependence. In relation to these needs, the target strength experiments for live fishes were conducted in an acrylic salt water tank using two split-beam echo sounders operating at 70 and 120kHz. The target strength under well-controlled laboratory conditions was simultaneously measured with the swimming movement by digital video recording (DVR) system and analyzed as a function of fish length (L) and frequency (or wavelength λ). Equations of the form $TS = a \log(L) + b \log(\lambda) + c$ were derived for their TS – length dependence. The best fit regression of TS on fork length for black porgy was $TS = 20.62 \log(L, m) - 0.62 \log(\lambda, m) - 30.68$ ($r^2 = 0.77$). The best fit regression of TS on fork length for fat greenling was $TS = 12.06 \log(L, m) - 5.85 \log(\lambda, m) - 22.15$ ($r^2 = 0.44$).

Keywords: Target strength, Fish length dependence, Split beam echo sounder, Black porgy, Fat greenling

서 론

지금까지 우리나라의 각 지방자치단체에서는 연안어장에 대한 어업생물자원과 서식환경을 지속적으로 보호 및 관리함으로써 자원조성효과를 극대화시키고, 어업생산성을 향상시켜 지

역어민의 소득증대를 꾀하기 위해 많은 노력을 경주하여 왔다. 특히, 경남 통영, 전남 여수, 경북 울진, 충남 태안 및 제주도 등에서는 지역 특성에 맞는 인공어초 시설사업, 연안자원의 종묘방류, 해조류 조성 및 체계적인 어업관리를 통해 해

*Corresponding author: daejael@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5889. Fax: 82-51-629-5885

양목장화 사업의 성공적 달성을 위해 많은 노력과 경비를 투입하고 있는 실정이다. 이와 같은 해양목장화사업은 해상가두리양식과는 달리 바닷속에 인공어초와 해중립 등을 인위적으로 조성하고 정착성 어패류를 방류하여 자연상태에서 서식할 수 있는 친환경적 생산기반을 구축하는 데 있다. 지금까지 여러 해역에 시설되어 있는 인공어초어장에 서식하고 있는 주요 어종으로는 볼락, 조피볼락, 참돔, 감성돔, 돌돔 및 쥐노래미 등의 정착성 어류가 주류를 이루고 있다. 특히, 이들 어종 중에서 감성돔 (*Acanthopagrus schlegelii*)은 수심이 얇은 연안 및 내만의 사니질 및 암초지역에 주로 정착하여 서식하면서 성전환을 하는 어종이다. 산란기는 4월 초부터 6월 중순이고, 잡식성으로서 주로 소형의 갑각류, 극피동물 및 조개류 등을 섭이한다 (Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, 1986). 한편, 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*)는 연안의 암초지역이나 해조류가 잘 발달된 지역, 또는 사니질의 해저 등에 정착하여 서식하는 어종으로, 주로 바위나 자갈 등에 근접하여 생활하는 습성이 있다. 산란기는 10월부터 1월로서 이 시기가 되면 수컷은 혼인색을 나타내어 몸 빛깔이 등황색으로 짙어지는데 산란기가 지나면 없어진다. 쥐노래미는 잡식성으로 주로 계류, 새우류, 갯지렁이류 및 작은 어류 등을 섭이한다 (Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, 1986). 이들 어종은 우리나라 연안 해역에 광범위하게 분포하는 관계로 주로 연안자망, 소형선망, 연안복합어업 및 낚시 등에 의해 어획되는데, 특히 감성돔은 바다목장화사업의 주요 대상 어종 중의 하나이다. 이들 어종들은 활어 상태로서의 이용도가 매우 높기 때문에 생물자원의 과학적인 평가, 관리 및 보호를 위한 체계적인 연구 조사가 시급하게 요구되지만, 아직도 음향학적 관점에서 자원관리에 필요한 기초적 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 우리나라 연안 해역에서 주로

연안복합어업 및 낚시 등에 의해 어획되어 유통되고 있는 감성돔과 쥐노래미를 대상으로 70kHz와 120kHz의 split beam echo sounder를 이용하여 각 어종별, 체장별 반사강도를 측정하고, 어종별 반사강도의 체장 및 주파수 의존성을 분석, 고찰하였다.

재료 및 방법

실험장치의 구성

어류의 반사강도는 Fig. 1에서와 같이 투명아크릴수조 (L1.2m×W1.2m×H1.7m)에서 70kHz (ES70, Simrad Co.)와 120kHz (EY500, Simrad Co.)의 split beam echo sounder를 사용하여 측정하였다. 실험은 먼저 송·수파기를 수조 상부의 중앙에 설치된 L0.6m×W0.5m의 관측창을 통해 진동면이 수면하 0.1m 깊이에 위치하도록 고정하고, 어류가 가능한 한 음축상 100~120cm 깊이의 음축 부근에 위치하도록 어류의 유영자세를 제어하면서 반사강도를 측정하였다. 실험에 사용한 70kHz, 120kHz의 split beam 송·수파기의 -3dB에 대한 지향각은 각각 11° (ES70-11), 7° (ES120-7F)이고, 펄스 폭은 0.25ms, 시스템의 교정은 70kHz의 경우는 직경 32.1mm (TS=-39.1dB), 120kHz의 경우는 23.0mm (TS=-40.4dB)의 표준구 (copper sphere)를 사용하여 행하였다. 실험은 부산 광안리 활어 위판장으로부터 이송된 어류를 약 12시간 동안 순치수조에서 안정시킨 후, 어류를 한 마리씩 기포가 혼입되지 않도록 해수 속에 넣어 실험수조로 옮겨 행하였다 (Kang et al., 2004a; Kang et al., 2004b; Lee, 2006; Lee, 2010). 이 때, 음축상 약 100~120cm 부근의 깊이에서 유영하고 있는 어류의 행동은 DVR (digital video recording system) 시스템에 장착된 2개의 CCTV (closed circuit television) 카메라를 이용하여 실시간으로 모니터링하면서 실험을 행하였다. 그러나, 이 실험에서는 활어의 sound beam 내에서의 자세각에 대한 분석은 행하지 않았다.

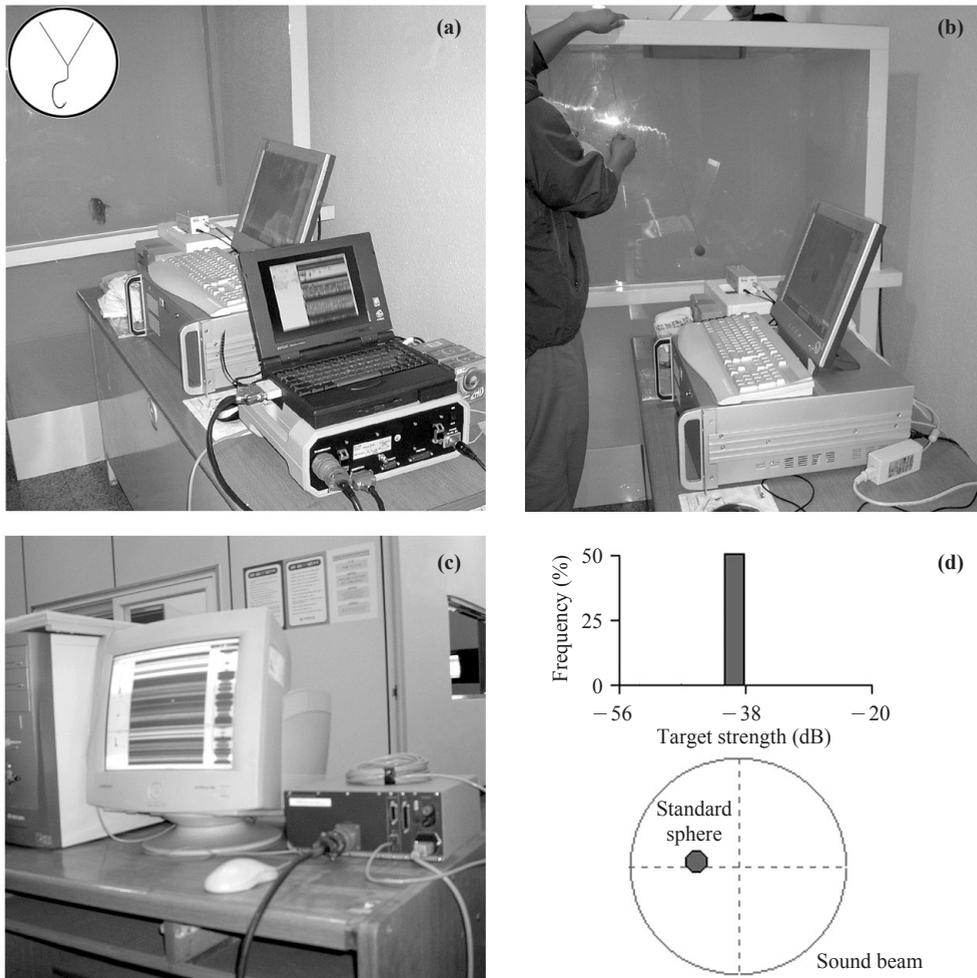


Fig. 1. Photographs showing the TS measurement of a live fish in an acrylic salt water tank. (a) 120kHz measuring system, (b) digital video recording system, (c) 70kHz measuring system, (d) calibration of split-beam echo sounder by a standard sphere.

Fig. 2에서 실험에 사용할 활어를 수조에 수용하면, 대부분의 어류는 수조의 저면이나 벽면 부근으로 이동하려는 경향이 강하게 나타나 완전한 자유유영상태를 유지시키는 것이 매우 어려웠다. 따라서, 여기서는 Fig. 2에서와 같이 어류의 등지느러미 중앙부에 소형의 낚시를 꿰고, Fig. 1의 (a)에서와 같이 두 가닥의 줄로써 어류의 위치를 송·수파기의 음축 부근으로 유도하면서 실험을 행하였다. 이 때, 어류의 위치는 Fig. 1의 (b)에서와 같이 CCTV의 DVR 모니터 상

에 나타나는 어류의 순간적인 유영위치를 관찰하면서 어류가 sound beam의 탐지 영역 밖으로 벗어나지 않도록 인위적으로 유영위치 및 자세를 제어하였다 (Mukai et al., 1993a; Mukai et al., 1993b; Kang et al., 2003; Lee et al., 2005; Mun et al., 2006; Hwangbo et al., 2009; Lee, 2010). 본 실험에 사용한 70kHz와 120kHz split beam 송·수파기의 근거리 음장의 한계는 각각 약 22cm 및 약 33cm이었고, 실험 당시 어류의 평균적인 유영깊이는 어류의 유영행동에 따라 약간의 차이

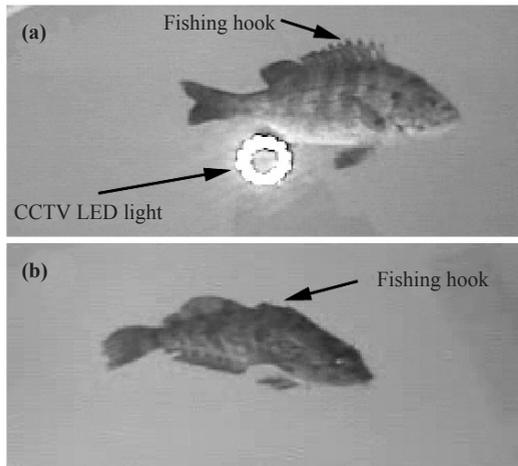


Fig. 2. Photographs of black porgy (a) and fat greenling (b), with a fishing hook connected to the dorsal part by two nylon monofilament lines, swimming at a 110cm controlled depth of an acrylic salt water tank.

는 있었지만, 평균적으로 약 100~120cm이었으므로 근거리 음장에 기인하는 문제는 없다고 판단된다.

어종별 어류 반사강도의 측정

실험에 사용한 어류의 어종별 생물학적 조성은 Table 1과 같다. 실험에 사용한 어류는 쥐노래미 44마리, 감성돔 48마리로서 총 92마리이고, 이들 어류는 부산 용호동, 남천동 및 민락동 소재의 조업어선이 용호만 인공어초 주변 수역에서 어획한 것을 직접 구입하여 사용하였다. 실험에 사용한 쥐노래미는 체장 20.6~29.0cm (평균체장 24.1cm), 체중 100~245g (평균체중 148.1g) 이었고, 감성돔은 체장 16.7~28.8cm (평균체장 21.1cm), 체중 95~405g (평균체중 191.2g)이었는데, 여기서 체장은 모두 가랭이 체장 (fork length)이다.

일반적으로 실험수조에서 활어의 반사강도를 측정할 때, 가장 어려운 문제는 대부분의 어류가 벽면이나 저면 부근으로 이동하려고 하는 습성이다. 따라서, 실험 어류를 송·수파기의 탐지영역 내로 유인하여 반사강도를 측정하기 위해서는 무엇보다도 어류의 유영행동을 관찰할 수 있어야 한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 실험 수조를 투명한 아크릴로 제작함으로써 어류행동의 관찰을 용이하게 하였고, 또한 측정대상 어류의 체장은 가능한 한 이들 어류가 위치할 100~120cm 깊이에 대한 송·수파기의 탐지영역을 초과하지 않는 범위의 크기를 선택하여 실험에 사용하였다.

실제적으로 어류의 반사강도는 유영자세의 변화에 따라 매우 불규칙하게 변동하기 때문에 어종별 각 어류의 자세각에 따른 반사강도의 변화패턴을 예측하는 것은 매우 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 먼저 사용주파수에 따른 어종별 반사강도의 체장 의존성을 $TS = a \log(L) + b$ 의 회귀직선을 통해 분석, 고찰하였다. 여기서, a 는 반사강도의 체장에 대한 의존성을 나타내는 파라미터, 즉, 체장의존성계수이고, b 는 체장 1cm에 대한 음향반사강도, 즉, 체장변환계수이다. 그 다음으로 어류 체장, 평균반사강도, 사용주파수의 상호관계를 종합적으로 고려하여 어종별 반사강도의 체장 의존성을 체장 (L)과 파장 (λ)의 비 (L/λ)와, 음향산란단면적 (σ)과 파장의 2승 (λ^2)의 비 (σ/λ^2)에 대한 실험적인 관계로서 유도하고, 이들 관계로부터 어류 반사강도의 주파수 및 체장 의존성을 서로 결합시켜 분석, 고찰하였다 (Lee, 2006; Lee, 2010).

Table 1. Biological composition of fish species used in the target strength measurement at 70 and 120 kHz

Common name	Species	Fork length range (cm)	Body weight range (g)	No. of fish
Fat greenling	<i>Hexagrammos otakii</i>	20.6~29.0	100~245	44
Black porgy	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	16.7~28.8	95~405	48

결과 및 고찰

감성돔에 대한 반사강도의 체장 및 주파수의 의존성

48마리의 감성돔을 대상으로 70kHz와 120kHz의 split beam echo sounder를 사용하여 반사강도를 측정된 결과는 Fig. 3과 같고, 또한, 이들 모든 감성돔을 대상으로 반사강도의 체장 및 주파수의 의존성을 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다.

Fig. 3에서 (a)는 70kHz에서 25마리의 감성돔(평균체장 21.2cm)을 대상으로 측정된 반사강도의 체장 의존성을 나타낸 것이고, (b)는 120kHz에서 23마리의 감성돔(평균체장 21.0cm)을 대상으로 측정된 반사강도의 체장 의존성을 나타낸 결과이다. 이들 그림에서 종축은 반사강도(dB)이고, 횡축은 감성돔의 가령이 체장(cm)이다. 먼저, Fig. 3(a)의 70kHz의 경우에 대한 평균 반사강도의 추정치는 -43.01dB 이었고, Fig. 3(b)의 120kHz에 대한 평균반사강도의 추정치는

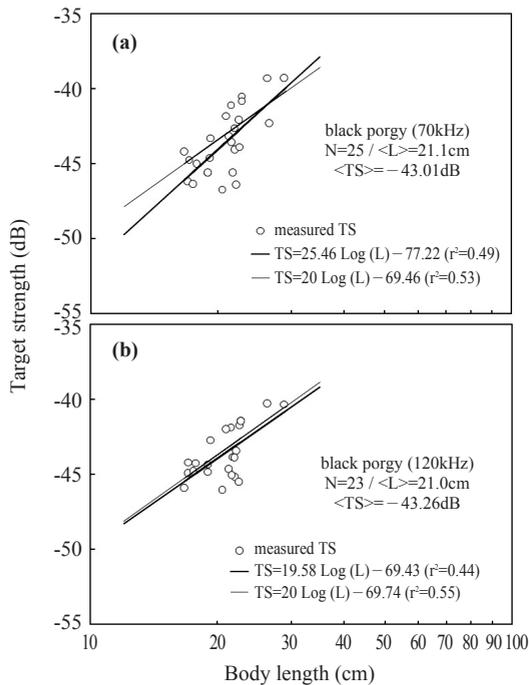


Fig. 3. Fish length dependence of target strength for black porgy at 70kHz (a) and 120kHz (b).

-43.26dB 로서 70kHz의 경우가 120kHz보다 0.25dB 더 높았다. 또한, 그림 Fig. 3에서는 $TS = a \log(L) + b$ 와 $TS = 20 \log(L) + b$ 에 대한 회귀직선을 각각 유도하여 비교, 분석하였는데, 그림에서 ○은 반사강도의 측정치이고, 굵은 실선은 $TS = a \log(L) + b$ 의 회귀직선, 가는 실선은 $a = 20$ 인 경우에 대한 회귀직선이다. Fig. 3(a)의 70kHz에서의 감성돔에 대한 회귀식의 계수 a , b 는 각각 $a = 25.46$, $b = -77.22$ ($r^2 = 0.49$)이었고, 반사강도가 체장의 2승에 비례하는 경우에 대한 체장변환계수는 -69.46 ($r^2 = 0.53$)이었다. 또한, Fig. 3(b)의 120kHz에서의 감성돔에 대한 회귀식의 계수 a , b 는 각각 $a = 19.58$, $b = -69.43$ ($r^2 = 0.44$)이었고, 반사강도가 체장의 2승에 비례하는 경우에 대한 체장변환계수는 -69.74 ($r^2 = 0.55$)이었다. 이들 결과로부터 감성돔의 반사강도가 체장의 2승에 비례하는 경우에 대한 70kHz와 120kHz에 대한 체장변환계수는 각각 -69.46dB , -69.74dB 로서 거의 유사한 경향을 나타내었다. 또한, $TS = 20 \log(L) + b$ 의 회귀직선식으로부터 추정된 70kHz와 120kHz에 대한 감성돔의 평균반사강도는 각각 -42.95dB (평균체장 21.2cm), -41.29dB (평균체장 21.0cm)로서 120kHz의 경우가 70kHz의 경우보다 1.66dB 더 높았다. Fig. 3의 (a)와 (b)에서 70kHz와 120kHz에 대한 $TS = a \log(L) + b$ 의 회귀직선에 대한 a 와 b 값은 서로 큰 차이를 나타내었다.

한편, 120kHz에 대한 감성돔의 반사강도에 대해서는 Kang et al. (2004)이 체장범위 15.5~32.9cm(평균체장 19.8cm)의 9마리 개체를 대상으로 체장 의존성을 추정하고, $TS = 20 \log(L) + b$ 에 대한 체장변환계수를 $b = -65.2\text{dB}$ 로서 제시한 바 있는데, 이 값은 본 연구의 Fig. 3(b)에서의 추정치 -69.46dB 보다 4.44dB 더 컸다.

Fig. 4는 실험에 사용한 체장 16.7~28.8cm(평균체장 21.1cm), 체중 95~405g(평균체중 191.2g)의 감성돔 48마리에 대한 반사강도의 추정치와 어류의 체장을 각각 파장(주파수)에 대

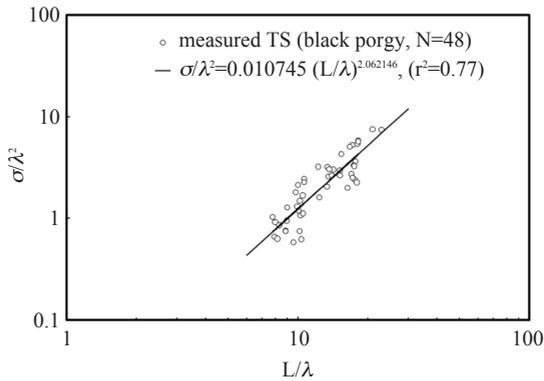


Fig. 4. Fish length dependence of target strength for black porgy. The backscattering cross section (σ) is normalized to the square of wavelength (λ) and plotted against the fish length (L) to wavelength ratio.

하여 정규화한 후, 이들의 관계를 상호 연관시켜 나타낸 결과이다. 따라서, Fig. 4의 실험적인 관계를 정량적으로 분석하면 어류의 음향반사강도가 어류의 체장과 주파수에 따라 어떻게 변화하고 있는가를 알 수 있다. 그림에서 \circ 은 70kHz와 120kHz의 주파수에 대하여 각각 25마리와 23마리, 총 48마리의 감성돔에 대한 반사강도의 측정치이고, 실선은 $\frac{\sigma}{\lambda^2} = a \left(\frac{L}{\lambda}\right)^b$ 의 회귀직선을 나타낸 것인데, 여기서, a 와 b 는 회귀직선식의 상수이다. Fig. 4에서 감성돔의 체장과 파장의 비 (L/λ)와 음향산란단면적과 파장의 2승의 비 (L/λ^2) 사이의 선형성을 분석한 결과, 이들 L/λ 과 L/λ^2 의 사이에는

$$L/\lambda^2 = 0.010745 (L/\lambda)^{2.062146}, r = 0.77$$

의 실험적인 관계식을 얻었다. 이 식으로부터 감성돔의 반사강도에 대한 체장과 측정주파수 (파장)의 의존성을 고찰하기 위하여 양변에 대수의 10배를 취하여 정리하면,

$$TS = 20.62 \log(L) - 0.62 \log(\lambda) - 30.68$$

의 관계식을 얻을 수 있는데, 여기서, $TS = 10 \log(\sigma/4\pi)$ 이다.

이 식으로부터 70kHz에서 실험에 사용한 25마리 (평균체장 21.2cm)의 감성돔에 대한 평균 반사강도의 추정치는 -43.56dB 이었고, 120kHz에서 실험에 사용한 23마리 (평균체장 21.0cm)의 감성돔에 대한 평균반사강도의 추정치는 -43.47dB 로서, 이들 두 주파수에 대한 평균반사강도의 추정치는 거의 유사하였다.

그러나, Fig. 3의 $TS = 20 \log(L) + b$ 의 회귀직선과 Fig. 4의 회귀직선에 의한 반사강도의 추정치를 서로 비교해 볼 때, Fig. 3의 회귀직선식에 의한 평균반사강도 값이 Fig. 4의 체장과 주파수를 상호 연관시켜 유도한 회귀직선식에 의한 그 값보다 70kHz에서는 0.61dB, 120kHz에서는 2.18dB 더 높게 평가되고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 본 연구에서 실험에 사용한 감성돔의 체장범위가 상업성이 있는 체장에 국한되어 있었던 점으로부터 Fig. 3에 있어서는 L/λ 의 범위가 70kHz에 대해서는 7.79~13.44, 120kHz에 대해서는 13.36~23.04에 불과하였지만, Fig. 4에서는 L/λ 의 범위가 7.79~23.04로 확장됨으로서 보다 상관성이 높은 회귀직선식을 구할 수 있었기 때문에 Fig. 4에서 추정한 평균 반사강도 값이 더 신뢰성이 높다고 판단된다.

쥐노래미에 대한 반사강도의 체장 및 주파수의 의존성

44마리의 쥐노래미를 대상으로 70kHz와 120kHz의 split beam echo sounder를 사용하여 반사강도를 측정된 결과는 Fig. 5과 같고, 또한, 이들 모든 쥐노래미를 대상으로 반사강도의 체장 및 주파수 의존성을 나타낸 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 5에서 (a)와 (b)는 70kHz와 120kHz에서 각각 22마리씩의 쥐노래미를 대상으로 측정된 반사강도의 체장 의존성을 나타낸 결과인데, 75kHz에서 실험에 사용한 쥐노래미의 평균체장은 24.0cm이었고, 120kHz에서의 평균체장은 24.2cm이었다. 이들 그림에서 종축은 반사강도 (dB)이고, 횡축은 쥐노래미의 가령이 체장 (cm)

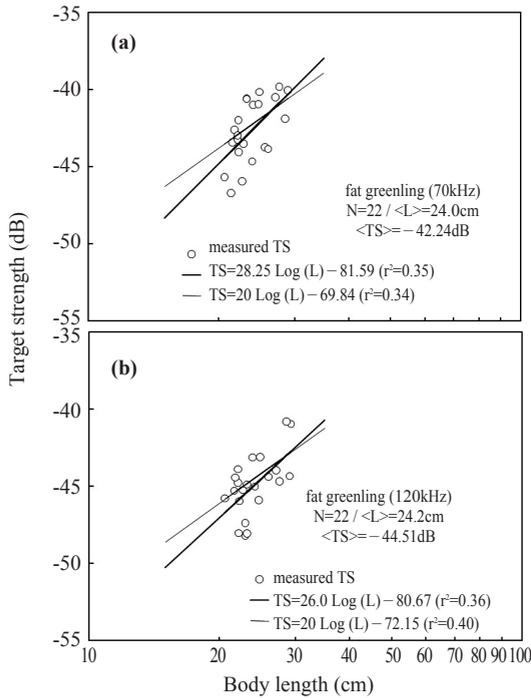


Fig. 5. Fish length dependence of target strength for fat greenling at 70kHz (a) and 120kHz (b).

이다.

먼저, Fig. 5 (a)의 75kHz의 경우, 쥐노래미에 대한 평균반사강도의 추정치는 -42.24dB 이었고, Fig. 5 (b)의 120kHz의 경우에 대한 쥐노래미의 평균반사강도 추정치는 -44.51dB 로서 75kHz의 경우가 120kHz보다 2.27dB 더 높았다. 또한, 그림 Fig. 5에서는 $TS=a \log(L)+b$ 와 $TS=20 \log(L)+b$ 에 대한 회귀직선을 각각 유도하여 비교, 분석하였는데, 그림에서 \circ 은 반사강도의 측정치이고, 굵은 실선은 $TS=a \log(L)+b$ 의 회귀직선, 가는 실선은 $a=20$ 인 경우에 대한 회귀직선이다. Fig. 5 (a)의 75kHz에서의 쥐노래미에 대한 회귀식의 계수 a, b 는 각각 $a=28.25, b=-51.59$ ($r^2=0.35$)이었고, 반사강도가 체장의 2승에 비례하는 경우에 대한 체장변환계수는 -69.84 ($r^2=0.34$)이었다. 또한, Fig. 5 (b)의 120kHz에서의 쥐노래미에 대한 회귀식의 계수 a, b 는 각각 $a=26.0, b=-80.67$ ($r^2=0.36$)이었고, 반사

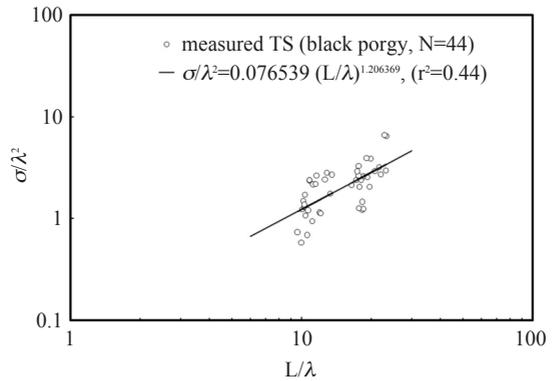


Fig. 6. Fish length dependence of target strength for fat greenling. The backscattering cross section (σ) is normalized to the square of wavelength (λ) and plotted against the fish length (L) to wavelength ratio.

강도가 체장의 2승에 비례하는 경우에 대한 체장변환계수는 -72.15 ($r^2=0.40$)이었다. 이들 결과로부터 쥐노래미의 반사강도가 체장의 2승에 비례하는 경우에 대한 70kHz와 120kHz에 대한 체장변환계수는 각각 -69.84dB , -72.15dB 로서 75kHz의 경우가 120kHz보다 2.31dB 더 높았다. 또한, $TS=20 \log(L)+b$ 의 회귀직선식으로부터 추정된 70kHz와 120kHz에 대한 쥐노래미의 평균반사강도는 각각 -42.57dB (평균체장 24.0cm), -44.47dB (평균체장 24.2cm)로서 70kHz의 경우가 120kHz보다 1.90dB 더 높았다.

Fig. 6은 실험에 사용한 체장 20.6~29.0cm (평균체장 24.1cm), 체중 100~245g (평균체중 148.1g)의 쥐노래미 44마리에 대한 반사강도의 측정치와 어류의 체장을 각각 파장 (주파수)에 대하여 정규화한 후, 이들의 관계를 상호 연관시켜 나타낸 결과이다. Fig. 6에서 \circ 은 70kHz와 120kHz의 주파수에 대하여 각각 22마리씩, 총 48마리의 쥐노래미에 대한 반사강도의 측정치이고, 실선은 $\frac{\sigma}{\lambda^2}=a \left(\frac{L}{\lambda}\right)^b$ 의 회귀직선을 나타낸 것인데, 여기서, a 와 b 는 회귀직선식의 상수이다. Fig. 6에서 쥐노래미의 체장과 파장의 비 (L/λ)와 음향산란단면적과 파장의 2승의 비

(L/λ^2) 사이의 선형성을 분석한 결과, 이들 과 의 사이에는

$$L/\lambda^2 = 0.76539 (L/\lambda)^{1.206369}, r^2 = 0.44$$

의 실험적인 관계식을 얻었다. 이 식으로부터 쥐노래미의 반사강도에 대한 체장과 측정주파수(파장)의 의존성을 고찰하기 위하여 양변에 대수의 10배를 취하여 정리하면,

$$TS = 12.06 \log(L) + 7.94 \log(\lambda) - 22.15$$

의 관계식을 얻을 수 있는데, 여기서, $TS = 10 \log(\sigma/4\pi)$ 이다.

이 식으로부터 70kHz에서 실험에 사용한 22마리(평균체장 24.0cm)의 쥐노래미에 대한 평균반사강도의 추정치는 -43.08dB 이었고, 120kHz에서 실험에 사용한 22마리(평균체장 24.2cm)의 쥐노래미에 대한 평균반사강도의 추정치는 -44.69dB 로서, 70kHz의 경우가 120kHz보다 1.61dB 더 높았다.

그러나, Fig. 5의 $TS = 20 \log(L) + b$ 의 회귀직선과 Fig. 6의 회귀직선에 대한 반사강도의 추정치를 서로 비교해 볼 때, Fig. 5의 회귀직선식에 의한 평균반사강도 값이 Fig. 6의 체장과 주파수를 상호 연관시켜 유도한 회귀직선식에 의한 그 값보다 70kHz에서는 0.51dB, 120kHz에서는 0.22dB 더 높았으나, 이들 사이에 큰 차이는 없었다.

어류의 수영자세의 제어 및 모니터링

실험수조에서 활어의 반사강도를 측정할 때, 고려해야 할 사항 중의 하나는 대부분의 실험어가 수조의 벽면이나 저면을 향해 이동한 후, 그곳에 체류하려는 습성이 있다는 점이다. 따라서, 활어 반사강도를 효율적으로 측정하기 위해서는 실험어를 sound beam의 지향각 내로 유인하여 음축 부근에 위치하도록 어류의 수영자세를 인위적으로 제어할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 수조 밖에서 내부를 어느 방향에서나 관찰할 수 있도록 두께 25mm의 투명한 아크

릴(acrylic)판으로 수조를 제작하였고, 또한, CCTV 카메라 시스템을 설치하여 실험어류의 행동을 실시간으로 관찰하였다. 이와 같은 관찰을 통해 실험어류가 sound beam 밖이나 음축으로부터 벗어나는 경우에는 어류의 등지느러미 중앙부에 꿰어 놓은 낚시 바늘에 연결된 2가닥의 나일론 monofilament(직경 0.3mm)를 사용하여 어류를 송·수파기의 음축 부근으로 당겨 어류의 수영위치와 자세를 조정하고, 그 상황을 CCTV 화면상으로 모니터링하면서 반사강도를 측정하였는데, 실험 당시의 split beam echo sounder의 echogram, 반사강도, 어류의 위치 등을 나타낸 결과는 Fig. 7과 Fig. 8과 같다. Fig. 7은 Fig. 2 (a)에서와 같이 감성돔이 송·수파기의 sound beam 내에서 수영하고 있는 상황 하에서 split beam echo sounder에 의해 수록한 화면영상을 나타낸 것으로서, (a)는 echogram, (b)는 반사강도의 빈도분포, (c)는 감성돔의 sound beam 내에서의 위치, (d)는 echo 신호를 각각 나타낸 것이다. Fig. 7 (a)에서 감성돔로부터의 echo 신호는 수면하 약 110cm 부근에서 출현하였고, 그 echo 레벨(컬러 패턴)은 감성돔의 수영자세 및 위치가 변동함에 따라 불규칙하게 변동하였다. 또한, 감성돔의 echo 신호는 수조 저면으로부터

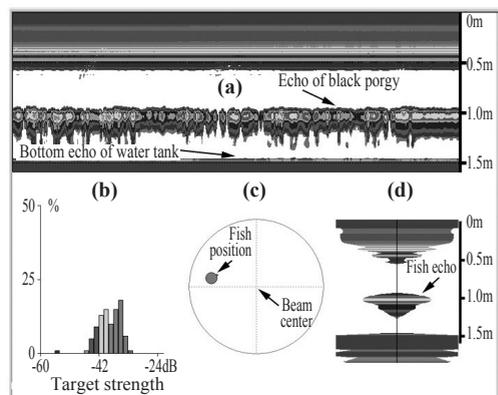


Fig. 7. Echogram (a), TS distribution (b), position of fish within the sound beam (c) and echo signal (d) for the black porgy swimming under well-controlled conditions of an acrylic salt water tank.

의 echo 신호와 완전히 분리되어 나타났고, 감성돔로부터 초음파 신호가 산란되는 과정에서 side lobe의 영향이나 기타 잡음에 의한 영향은 거의 없는 것을 알 수 있다. 이와 같이 실시간으로 수신되는 echo 신호레벨, Fig. 7 (b)의 방향각에 대한 지향성 보정치, split beam echo sounder의 송파감도 및 수파감도로부터 계산된 반사강도가 바로 Fig. 7 (b)이다. Fig. 7 (b)에서 알 수 있는 바와 같이 어류의 자세각이 변동함에 따라 Fig. 7 (a)의 echogram에서 신호레벨이 변동하고 이로 인해 반사강도가 변동함을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 이들 반사강도의 평균값을 구하여 각 개체에 대한 평균반사강도를 산출하였다.

한편, Fig. 8은 Fig. 2 (b)에서와 같이 쥐노래미가 송·수파기의 sound beam 내에서 유명하고 있는 상황 하에서 split beam echo sounder에 의해 수록한 화면영상을 나타낸 것으로서, (a)는 echogram, (b)는 반사강도의 빈도분포, (c)는 쥐노래미의 sound beam 내에서의 위치, (d)는 echo 신호를 각각 나타낸 것이다. Fig. 8 (a)에서도 Fig. 7 (a)와 같이 쥐노래미로부터의 echo 신호는 수면하 약 110cm 부근에서 출현하고 있다. 그러나, Fig. 8 (a)에서는 Fig. 7 (a)와 달리 echo 레벨의 변

동이 매우 완만하면서도 안정적으로 변동하고 있음을 알 수 있다. 이것은 실험당시 쥐노래미가 Fig. 8 (c)의 sound beam 내에 위치하면서 매우 서서히 자세를 바꾸며 유명하였던 관계로 반사강도 역시 Fig. 8 (b)에서와 같이 어떤 특정한 값에 집중되는 현상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나, Fig. 8의 (a)와 (b)에서 실험어류가 sound beam 밖으로 이탈하거나 음측에서 멀어져 반사강도의 측정이 불안정하게 되면 실험어를 음측 부근으로 유도하여 반사강도를 측정하였기 때문에 본 연구에서 추정한 반사강도 값은 활어 상태에 근사하는 신뢰도를 갖고 있다고 판단된다. 그러나, 이들 어종에 대한 어류 반사강도의 체장 의존성에 대한 신뢰도를 더욱 향상시키기 위해서는 앞으로 더 많은 반복적인 실험과, 특히, 자유유영상태에 대한 현장실험이 수행되어야 할 것이다.

결론

부산 용호만 인근 해역에서 어획된 감성돔 및 쥐노래미의 2개 어종을 대상으로 투명아크릴수조에서 70kHz와 120kHz의 split beam echo sounder를 사용하여 각 어종별 음향반사강도의 체장 의존성을 분석, 고찰하였다. 먼저, 감성돔의 음향반사강도와 체장, 주파수 (파장) 사이에는

$$TS=20.62 \log (L)-0.62 \log (\lambda)-30.68$$

의 관계식을 얻었고, 이 식으로부터 추정한 70kHz에서 평균체장 21.2cm의 감성돔에 대한 평균반사강도는 -43.56dB , 120kHz에서 평균체장 21.0cm의 감성돔에 대한 평균반사강도는 -43.47dB 로서, 이들 두 주파수에 대한 평균반사강도의 추정치는 거의 유사하였다. 한편, 쥐노래미의 음향반사강도와 체장, 주파수 (파장) 사이에는

$$TS=12.06 \log (L)+7.94 \log (\lambda)-22.15$$

의 관계식을 얻었고, 이 식으로부터 70kHz에서

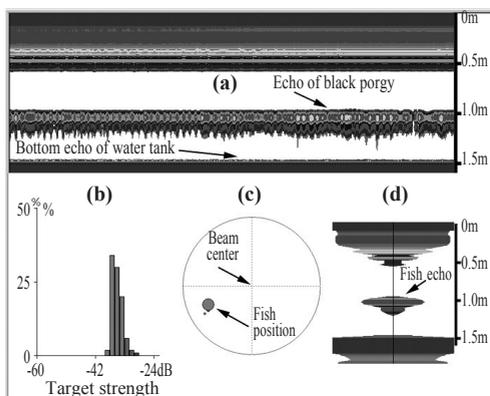


Fig. 8. Echogram (a), TS distribution (b), position of fish within the sound beam (c) and echo signal (d) for the fat greenling swimming under the controlled condition of an acrylic salt water tank.

평균체장 24.0cm의 쥐노래미에 대한 평균반사강도는 -43.08dB , 120kHz에서 평균체장 24.2cm의 쥐노래미에 대한 평균반사강도는 -44.69dB 로서, 70kHz의 경우가 120kHz보다 1.61dB 더 높았다.

본 연구에서 실험에 사용한 감성돔과 쥐노래미의 체장은 상업성이 있는 체장범위로 국한되어 있기 때문에 보다 넓은 체장구간에 걸친 실험적인 데이터의 취득이 필요하다고 판단된다. 이를 위한 하나의 방법으로서 L/λ 와 σ/λ^2 사이의 선형성에 대한 회귀분석을 행하여 반사강도에 대한 체장과 주파수 의존성을 서로 연계하여 평가하는 것이 바람직하다고 판단된다.

참고문헌

- Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, 1986. Fishes of the east china sea and the yellow sea, Nihon Shiko Printing, Nagasaki, pp. 240 – 325.
- Hwangbo, Y., D.J. Lee, Y.W. Lee and K.H. Lee, 2009. The frequency and length dependence of the target strength of the largehead hairtail (*trichiurus lepturus*) in Korean waters, Fish. Aqua. Sci., 12 (2), 152 – 161.
- Kang, H.Y. and D.J. Lee, 2003. Fish length dependence of acoustic target strength for large yellow croaker. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 39 (3), 239 – 248.
- Kang, D.H., K. Sadayasu, T. Mukai, K. Iida, D.J. Hwang, K. Sawada, K. Miyashita, 2004a. Target strength estimation of black porgy *Acanthopagrus schlegelii* using acoustic measurements and a scattering model. Fisheries Science 70 (5), 819 – 828.
- Kang, D.H., D.J. Hwang, T. Mukai, K. Iida and K.H. Lee, 2004b. Acoustic target strength of live Japanese common squid (*Todarodes pacifica*) for applying biomass estimation. J. Kor. Fish. Soc., 37 (4), 345 – 353.
- Mukai, T., N. Sano, K. Iida and S. Sakai, 1993a. Relation between dorsal aspect target strength of fish caught in the East China Sea and their swimbladder. Nippon Suisan Gakkaishi, 60 (2), 215 – 222.
- Mukai, T., N. Sano, K. Iida and S. Sakai, 1993b. Studies on dorsal aspect target strength of ten species of fish collected in the East China Sea. Nippon Suisan Gakkaishi, 59 (9), 1515 – 1525.
- Mun, J.H., D.J. Lee, H.I. Shin and Y.W. Lee, 2006. Fish length dependence of target strength for black rockfish goldeye rockfish at 70kHz and 120kHz. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 42 (1), 30 – 37.
- Lee, D.J. and H.I. Shin, 2005. Construction of a data bank for acoustic target strength with fish species, length and acoustic frequency for measuring fish size distribution. J. Kor. Fish. Soc., 38 (4), 265 – 275.
- Lee, D.J., 2005. Fish length dependence of acoustic target strength for 12 dominant fish species caught in the Korean waters at 75kHz. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 41 (4), 296 – 305.
- Lee, D.J., 2006. Target strength measurement of black rockfish, goldeye rockfish and black scraper using a 70 – kHz split beam echo sounder. Nippon Suisan Gakkaishi, 72 (4), 644 – 650.
- Lee, D.J., 2010. Fish length dependence of target strength for striped beakperch, bluefin searobin and konoshiro gizzard shad caught in the artificial reef ground of Yongho Man, Busan. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 46 (3), 239 – 247.

2012년 3월 5일 접수
2012년 5월 11일 1차 수정
2012년 5월 14일 수리