

70kHz 및 120kHz에 있어서 조피볼락, 볼볼락에 대한 반사강도의 체장 의존성

문재호 · 이대재^{1*} · 신형일¹ · 이유원¹

국립수산과학원 연구운영팀, ¹부경대학교 해양생산시스템공학과

Fish length dependence of target strength for black rockfish, goldeye rockfish at 70kHz and 120kHz

Jae-Ho MUN, Dae-Jae LEE^{1*}, Hyeong-II SHIN¹ and Yoo-Won LEE¹

Management support team, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Busan

¹Department of Marine Production System Engineering, Pukyong National University,

Busan 608-737, Korea

Black rockfish and goldeye rockfish are commercially important fish species due to the increasing demand in Korea. When estimating the abundance of stocks for these species acoustically, it is of crucial importance to know the target strength(TS) to length dependence. In relation to these needs, TS measurement was conducted on black rockfish and goldeye rockfish in an acrylic salt water tank using 70kHz and 120kHz split beam echo sounders. The TS for these two species under the controlled condition was simultaneously measured with the swimming movement by DVR system and analyzed as a function of fish length(L). The results obtained are summarized as follows: The best fit regression of TS on fish length of black rockfish was $TS = 19.38 \text{ Log}(L, \text{cm}) - 70.46$ ($r^2 = 0.71$) at 70kHz and $TS = 22.39 \text{ Log}(L, \text{cm}) - 70.40$ ($r^2 = 0.64$) at 120kHz and in the standard form $TS = 20 \text{ Log}(L, \text{cm}) - 71.29$ ($r^2 = 0.70$) at 70kHz and $TS = 20 \text{ Log}(L, \text{cm}) - 66.88$ ($r^2 = 0.57$) at 120kHz. The best fit regression of TS on fish length of goldeye rockfish was $TS = 17.10 \text{ Log}(L, \text{cm}) - 68.28$ ($r^2 = 0.37$) at 70kHz and $TS = 24.39 \text{ Log}(L, \text{cm}) - 73.74$ ($r^2 = 0.59$) at 120kHz and in the standard form $TS = 20 \text{ Log}(L, \text{cm}) - 72.03$ ($r^2 = 0.32$) at 70kHz and $TS = 20 \text{ Log}(L, \text{cm}) - 67.68$ ($r^2 = 0.64$) at 120kHz. An empirical model for fish TS(dB) averaged over the dorsal aspect of 115 fishes of black rockfish and goldeye rockfish and which spans the fish length(L, m) to wavelength(λ , m) ratio between 8 and 30 was derived : $TS = 34.12 \text{ Log}(L) - 14.12 \text{ Log}(\lambda) - 23.83$, ($r^2 = 0.90$).

Key words : Target strength, Length dependence, Black rockfish, Goldeye rockfish

서 론

세계 각 연안국의 EEZ 선포에 따른 어장축소와 무분별한 남획으로 인한 수산자원의 고갈 및 해양

오염문제 등이 대두되면서 연안어업의 입지는 좁아지고 있으며, 어업의 기반이 되는 어장은 황폐화되어 가고 있다. 이러한 현실 속에서 정부는 지난

*Corresponding author: daejael@pknu.ac.kr Tel: 82-51-620-6116 Fax: 82-51-628-8145

1970년대부터 인공어초, 인조 해조장, 해중립 등을 시설하여 인위적인 수산 동식물의 서식공간을 조성하고, 해역별 특성에 맞는 수산생물을 방류하여 연안해역의 수산자원량을 증대시키는 동시에 해양환경을 조사하면서 지속 가능한 어업과 수산물을 공급하는 바다목장화 사업을 펼치고 있다.

정부는 어업생산구조를 “기르는 어업”으로 전환하기 위하여 전국 연안 5개소에 시범 바다목장을 조성하고, 중·장기적으로는 전국 연안을 바다목장화 하는 사업을 추진 중이다. 그 첫 번째 사업으로 1998년부터 경상남도 통영시 산양읍 일대를 “통영바다목장”으로 조성하여 운영하고 있다. 그리고 2001년부터는 전라남도 해역에 다도해형 바다목장을 개발하기 위한 기초조사를 시작하였으며, 앞으로 2010년까지 동해 및 서해와 제주 해역 등 환경에 적합한 바다목장 5개소를 조성할 계획이다(MOMAF, 2004).

바다목장화 대상생물에 대한 음향반사강도 연구로서는, kang et al.(2003, 2004)과 Son and Hwang (2002)에 의한 split beam 계량어군탐지기의 38, 120, 200kHz를 이용하여 조피볼락, 참돔, 감성돔에 대한 반사강도의 체장 의존성을 추정한 것이 있다. 그러나, 향후 우리나라 어선에 보급될 계량어군탐지기의 주파수 대역에 있어서, 어류뿐만 아니라 동물플랑크톤의 음향산란특성을 파악할 수 있는 70kHz 주파수 대역에 대한 검증과 주파수 및 체장을 고려한 음향산란특성을 검증할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 70kHz와 120kHz의 split beam 계량어군탐지기를 이용하여 우리나라 연안에 분포하고 있는 조피볼락과 볼볼락에 대한 음향산란특성을 파악하기 위하여, 투명 아크릴의 해수 수조에서 현수법을 이용하여 대상생물을 관찰하면서 체장별, 주파수별 음향반사강도를 측정하고, 각 어종에 대한 음향반사강도의 체장 의존성을 분석, 고찰하였다.

장치 및 방법

실험어종

실험에 사용한 어종은 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)과 볼볼락(*Sebastes thompsoni*)으로, 이들 어종은 솜뱅이목 양볼락과에 속하는 어류로서 실험에 사용

Table 1. Biological composition of fish species used in the target strength measurement

Common name	Species	Frequency (kHz)	Length range(cm)	Weight range(g)	No. of fish
black rockfish	<i>Sebastes schlegeli</i>	70/120	17.5 - 32.0	89.8 - 380.8	30
goldeye rockfish	<i>Sebastes thompsoni</i>	70 120	19.5 - 28.0 18.5 - 28.0	110.0 - 366.0 86.4 - 365.9	20 35

한 어류는 활어상태로, 주파수별 어종별 체장과 체중범위는 Table 1과 같다. 70kHz와 120kHz에서 조피볼락의 체장과 체중범위는 17.5 - 32.0cm, 89.8 - 380.8g이었고, 이 때의 평균체장 및 평균체중은 25.2cm, 234.0g이었다. 볼볼락의 체장과 체중범위는 70kHz에서는 19.5 - 28.0cm, 110.0 - 366.0g이었고, 120kHz에서는 18.5 - 28.0cm, 86.4 - 365.9g이었다. 이때 평균체장 및 평균체중은 70kHz에서는 21.2cm, 170.0g이었고, 120kHz에서는 22.0cm, 156.0g이었다.

장치의 구성

실험은 2005년 4월, 투명아크릴수조(L 1.2m × W 1.2m H × 1.5m)에서 70kHz(Simrad, ES60)와 120kHz(Simrad, EY500)의 split beam 계량어군탐지기를 이용하여 측정하였다.

실험은 순치수조에 수용되어 있는 실험어종을 한 마리씩 기포가 혼입되지 않게 해수 속에 넣어 실험수조로 옮기고, 약 120cm 부근의 깊이에서 유명하도록 위치를 제어한 후, Fig. 1과 같이 DVR (digital video recording)시스템에 장착된 2개의 CCTV 카메라를 이용하여 어류의 유영행동을 관찰하면서 행하였다. 그리고 각각의 주파수에 대한 echogram과 TS 정보는 실시간으로 ethernet data network를 이용하여 PC의 하드디스크에 CCTV 영상과 함께 수록한 후, 후일 목적에 따른 분석을 행하였다.

실험에 사용한 70과 120kHz split beam 계량어군탐지기의 -3dB에 대한 지향각은 각각 7°, 11°이고, 실험에 앞서 70kHz에 대해서는 직경32.1mm의 표준구(銅球, -39.1dB)를, 120kHz에서는 직경23.0mm의 표준구(銅球, -40.4dB)를 사용하여 시스템을 교정하였으며, 그 때 echogram의 일레는

70kHz 및 120kHz에 있어서 조파블락, 불블락에 대한 반사강도의 측정 의존성

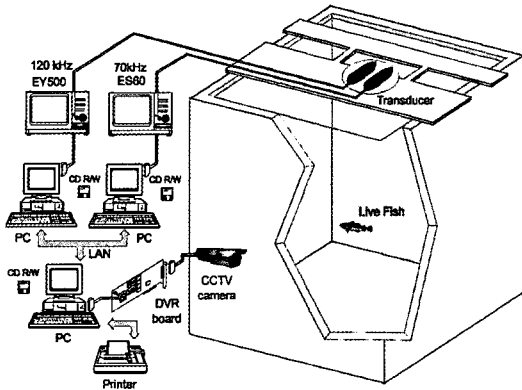


Fig. 1. Block diagram of experimental setup in the tank.

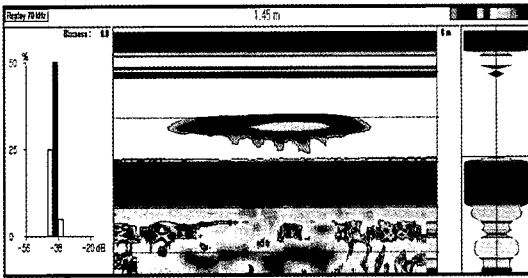


Fig. 2. Echogram of system calibration using calibration ball (32.1mm copper sphere, -39.1dB) at 70kHz.

Fig. 2와 같다.

실험 당시 대부분의 어류는 수조의 저면이나 벽면 부근에 정체를하려는 경향이 강하게 나타나 완전한 자유유영상태에서의 실험이 매우 어려웠다. 따라서 실험어종의 등부 중앙부에 소형의 낚시를 꿰어 두 가닥의 낚시줄로 어류의 위치를 진동자의 음속 부근으로 유도하여 양쪽에서 낚시줄을 잡고서 실험을 행하였다. 이 때, 실험어종의 위치는 EY500 및 ES60 시스템의 모니터 상에 실시간으로 나타나는 어류의 순간적인 평면위치의 변동을 관찰하면서 실험어종을 가능한 sound beam 내부에서 유영하도록 위치를 인위적으로 제어하면서 실험을 행하였다.

이 때 실험어종의 순간적인 자세 변동에 기인하여 산란 신호가 돌발적으로 강하게 나타나는 경우, 어체 echo를 수조면 echo 신호로 판독할 우려가 있어 이를 미연에 방지하기 위해 수조면의 최소탐지 레벨을 -40dB로서 설정하였고, 수조면의 깊이를

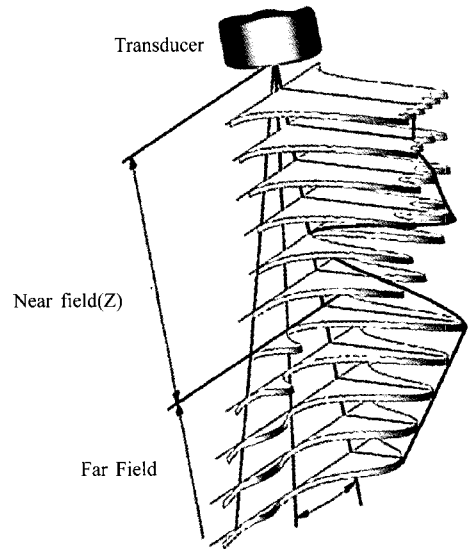


Fig. 3. Limit of near field in the water tank.

1.4m 이상의 신호를 대상으로 식별토록 강제적으로 설정함으로써 bottom detection의 안정화를 기하였다.

Fig. 3과 같이 본 실험에서 사용한 split beam 계량어군탐지기의 근거리 음장의 한계 Z는 식 (1)을 이용하여 구하였다.

$$Z = \frac{D^2}{4\lambda} \left[1 - \left(\frac{\lambda}{D} \right)^2 \right] \quad (1)$$

단, D는 송·수파기의 직경, λ 는 사용주파수의 파장을 나타낸다.

위 식을 이용하여 70kHz 송수파기(Simrad, ES 70 - 11)와 120kHz 송수파기(Simrad, ES120 - 7F)의 근거리 음장을 구한 결과, 각각 약 22cm, 약 33cm 이었다. 본 실험에서는 반사강도 측정 시 실험어종의 평균적인 유영공간을 가능한 한 110 - 120cm가 되도록 유지하여 근거리 음장에 기인하는 문제가 발생하지 않도록 하였다.

분석방법

본 실험에 사용한 70과 120kHz split beam 계량어군탐지기에서 sound beam의 유효 탐지범위는 수조 깊이가 120cm에서 각각 38cm, 26cm이었고, 반사강도의 측정은 이들 탐지한계에 상당하는 체장을 가능

한 한 초과하지 않는 활어를 대상으로 행하였다. 또한, 120kHz의 경우에 대해서는 TS 전용 해석 software(Simrad, EP500)를 이용하여 실험어종의 유영행동의 변화에 기인하는 음향반사강도를 측정하고, 순간적인 반사강도들의 빈도분포로부터 평균반사강도를 산출하여 어종별 음향반사강도의 체장 의존성을 분석하였다.

실험에 이용한 각 실험어종의 평균반사강도는 먼저 각각의 반사강도(TS_i, dB)를

$$\sigma_i = 10^{\frac{TS_i}{10}} \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 산란단면적(σ)으로 환산한 후,

$$\langle \sigma \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여 평균 산란면적(σ)을 구하고, 식 (4)를 이용하여 평균 반사강도(TS, dB)를 구하였다.

$$\langle TS \rangle = 10 \text{Log} \left(\frac{\langle \sigma \rangle}{4\pi} \right) \quad (4)$$

일반적으로 어류의 반사강도는 유영자세의 변화에 따라 매우 불규칙하게 변동하기 때문에 어종별 각 어류의 자세각에 따른 반사강도의 변화패턴을 예측하는 것은 매우 어렵다. 따라서, 여기서는 어류 체장, 평균반사강도, 사용주파수의 상호관계를 고려하여 어종별 반사강도의 체장 의존성을 $TS = a \text{Log}(L) + b$ 의 회귀직선을 통해 분석, 고찰하였다(Foote et al., 1986; Foote et al., 2002; Gauthier and Rose, 2001; Goddard and Welsby, 1986; Kang et al., 2004a; kang et al., 2004b; Kang and Lee, 2003; Lee, 1999; Mukai et al., 1993a; Mukai et al., 1993b). 여기서, a 는 반사강도의 체장에 대한 의존성을 나타내는 파라미터, 즉 체장 의존성계수이고, b 는 체장 1cm에 대한 음향반사강도, 즉 체장변환계수이다. 어류의 음향반사강도가 체장의 2승에 비례하는 가정 하에서 $TS = 20 \text{Log}(L) + b_{20}$ 의 회귀직선식으로부터 체장변환계수 b_{20} 을 산출하였다.

결과 및 고찰

조피볼락에 대한 반사강도 체장 의존성

조피볼락에 대한 반사강도의 빈도분포와 체장

의존성을 분석한 결과는 Fig. 4 및 Fig. 5과 같다.

Fig. 4는 70kHz에서 측정된 결과로서, Fig. 4(A)는 30마리 조피볼락에 대한 반사강도의 빈도분포이다. Fig. 4(A)에서 총 2,698개의 데이터를 토대로 산출한 평균반사강도는 -42.83dB이었다. 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 평균반사강도와 평균체장을 이용하여 조피볼락의 체장 1cm에 대한 체장변환계수(b_1)를 산출하면 $b_1 = -70.87\text{dB}$ 이 된다.

Fig. 4(B)는 조피볼락의 평균반사강도와 체장과의 관계를 나타낸 결과이다. Fig. 4(B)에서 \circ 은 반사강도의 측정치이고, 가는 실선은 $TS = a \text{Log}(L) + b$ 의 회귀직선이며, 굵은 실선은 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 구한 $TS = 20 \text{Log}(L) + b_{20}$ 의 회귀직선이다. Fig. 4(B)에서 조피볼락에 대한 회귀직선식의 계수 a , b 는 각각 $a = 19.38$, $b = -70.46\text{dB}(r^2 = 0.71)$ 이었고, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 구한 체장변환계수 b_{20} 은 $-71.29\text{dB}(r^2 = 0.70)$ 이었다. 조피볼락의 경우, 이들 체장변환계수 b , b_{20} , b_1 사이에는 큰

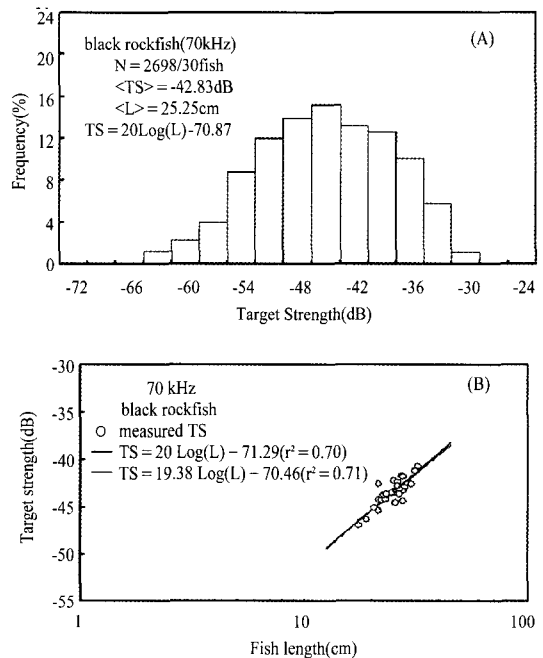


Fig. 4. Frequency distribution (A) and length dependence (B) of target strength for black rockfish at 70kHz.

차이가 없었다.

한편, Fig. 5는 120kHz에서 측정한 결과로서, Fig. 5(A)는 조피볼락에 대한 반사강도의 빈도분포이다. Fig. 5(A)에서 총 2,788개의 데이터를 토대로 산출한 평균반사강도는 -38.73dB 이었다. 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 평균반사강도와 평균체장을 이용하여 조피볼락의 체장 1cm 에 대한 체장변환계수(b_i)를 산출하면 $b_i = -66.76\text{dB}$ 이 된다.

Fig. 5(B)는 120kHz에서 조피볼락의 평균반사강도와 체장과의 관계를 나타낸 결과이다. 조피볼락에 대한 회귀직선식의 계수 a, b 는 각각 $a = 22.39, b = -70.40\text{dB}$ ($r^2 = 0.64$)이었고, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 구한 체장변환계수 b_{20} 은 -66.88dB ($r^2 = 0.57$)이었다. 체장변환계수 b, b_{20}, b_i 사이에는 b_i, b_{20}, b 의 순으로 큰 경향을 나타냈고, 계수 b 값과 b_i 값 사이의 차는 3.64dB 이었다. 또한 Son and Hwang(2002)의 결과에서는 조피볼락의 평균반사강도와 전장과의 관계에서 반사강도가 전장의 2승에 비례한다는 가정 하에 구한 체장변환계수 b_{20} 은 -73.4dB 이었다. 본 결과와의 차이

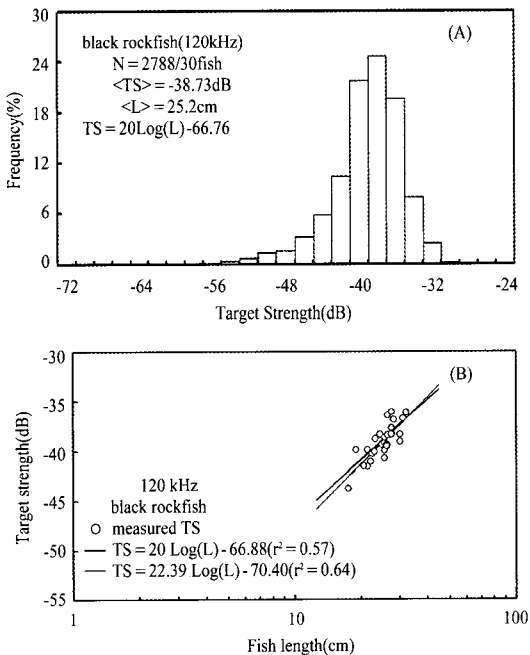


Fig. 5. Frequency distribution (A) and length dependence (B) of target strength for black rockfish at 120kHz.

는, 측정방법의 차이, 자세각의 변화에 따른 반사강도의 변화, 측정한 개체의 성숙도에 따른 부레의 체적 변화 등 반사강도에 미치는 여러 가지 요인에 대하여 금후 다양한 실험과 검증이 요구된다.

볼볼락에 대한 반사강도 체장 의존성

볼볼락에 대한 반사강도의 빈도분포와 체장 의존성을 분석한 결과는 Fig. 6 및 Fig. 7와 같다.

Fig. 6은 70kHz에서 측정한 결과로서, Fig. 6(A)는 20마리 볼볼락에 대한 반사강도의 빈도분포이다. Fig. 6(A)에서 총 1,895개의 데이터를 토대로 산출한 평균반사강도는 -44.24dB 이었다. 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 평균반사강도와 평균체장을 이용하여 볼볼락의 체장 1cm 에 대한 체장변환계수(b_i)를 산출하면 $b_i = -70.76\text{dB}$ 이 된다.

Fig. 6(B)는 볼볼락의 평균반사강도와 체장과의 관계를 나타낸 결과로, 회귀직선식의 계수 a, b 는 각각 $a = 17.10, b = -68.28\text{dB}$ ($r^2 = 0.37$)이었고, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 구한 체장변환계수 b_{20} 은 -72.03dB ($r^2 = 0.32$)이었다. 이

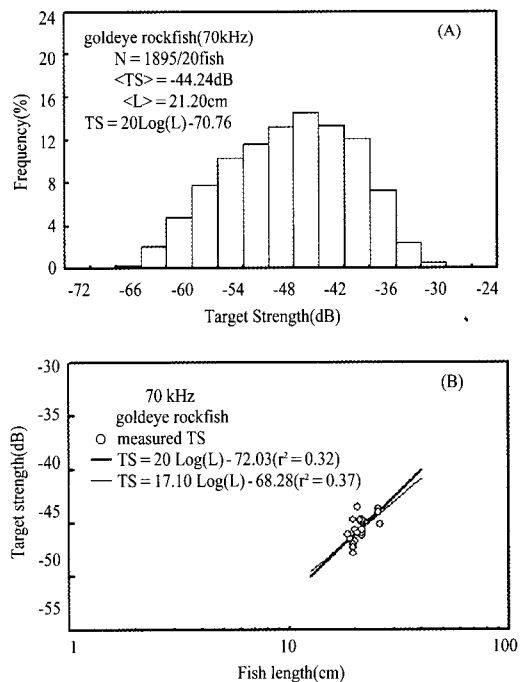


Fig. 6. Frequency distribution(A) and length dependence (B) of target strength for goldeye rockfish at 70kHz.

들 불볼락에 대한 체장변환계수 b , b_{20} , b_t 사이에는 b , b_t , b_{20} 의 순으로 큰 경향을 나타내었고, 그 계수 b 값과 b_{20} 값 사이의 차는 3.75dB이었다.

한편, Fig. 7은 120kHz에서 측정한 결과로서 Fig. 7(A)는 35마리 불볼락에 대한 반사강도의 빈도분포이다. Fig. 7(A)에서 총 2,530개의 데이터를 토대로 산출한 평균반사강도는 -40.88dB이었다. 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 평균반사강도와 평균체장을 이용하여 불볼락의 체장 1cm에 대한 체장변환계수(b_t)를 산출하면 $b_t = -67.72$ dB이 된다.

Fig. 7(B)는 120kHz에서 측정한 불볼락의 평균반사강도와 체장과의 관계를 나타낸 결과로, 회귀식 선식의 계수 a , b 는 각각 $a=24.39$, $b = -73.74$ dB ($r^2=0.59$)이었고, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에서 구한 체장변환계수 b_{20} 은 -67.68 dB($r^2=0.64$)이었다. 체장변환계수 b , b_{20} , b_t 사이에는 b_{20} , b_t , b 의 순으로 큰 경향을 나타냈고, 계수 b_{20} 값과 b 값 사이의 차는 6.06dB이었다.

조피볼락과 불볼락을 대상으로 반사강도의 체

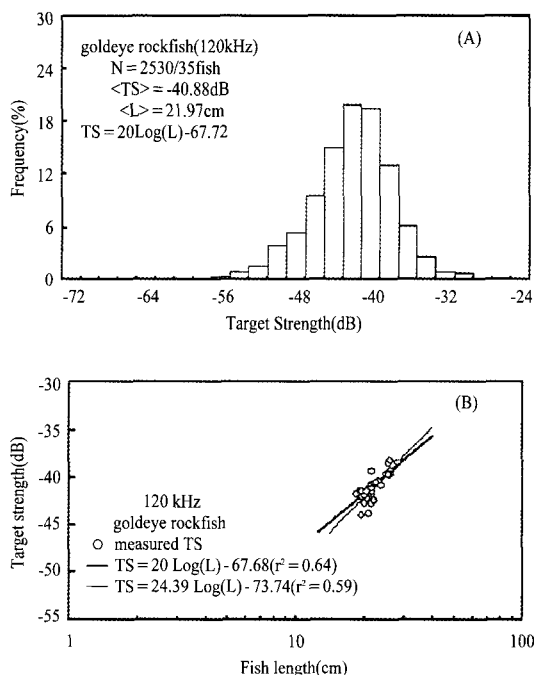


Fig. 7. Frequency distribution (A) and length dependence (B) of target strength for goldeye rockfish at 120kHz.

장 의존성을 나타내는 $TS = a \text{ Log}(L) + b$ 에 대한 회귀식의 계수 a , b 를 서로 비교해볼 때, 70kHz 측정에서 조피볼락($a = 19.38$, $b = -70.46$ dB ($r^2 = 0.71$))이 불볼락($a = 17.10$, $b = -68.28$ dB ($r^2 = 0.37$)) 보다 체장의 2승에 더 근접하는 체장 의존성을 나타내었고, 체장변환계수는 더 작은 특성을 나타내었다. 120kHz 측정에서는 조피볼락($a = 22.39$, $b = -70.40$ dB ($r^2 = 0.64$))이 불볼락($a = 24.39$, $b = -73.74$ dB ($r^2 = 0.59$)) 보다 체장 의존성계수가 더 작게 나타났고, 체장변환계수는 더 큰 특성을 나타내었다. 즉, 반사강도의 체장 의존성이 강할수록 체장에 따른 산란단면적의 증가가 크기 때문에 체장변환계수는 역으로 작아지는 특성을 나타낼 수 있다.

Fig. 8에서는 주파수 및 어종별 반사강도의 체장 의존성을 종합적으로 분석, 고찰하기 위해 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 관계를 유도함으로써, 어류 반사강도의 주파수 및 체장 의존성을 서로 결합시켜 파악하고자 하였다(Love, 1971). 70kHz, 120kHz에서 총 115마리 조피볼락과 불볼락의 L/λ 에 따른 σ/λ^2 의 관계는 식 (5)와 같고, 결정계수(r^2)는 0.90이었다.

$$\frac{\sigma}{\lambda^2} = 0.00032934 \left(\frac{L}{\lambda} \right)^{3.41150} \quad (5)$$

이것을 반사강도(TS), 체장(L), 파장(λ)의 관계식으로 나타내면 식 (6)과 같다.

$$TS = 34.12 \text{ Log}(L) - 14.12 \text{ Log}(\lambda) - 23.83 \quad (6)$$

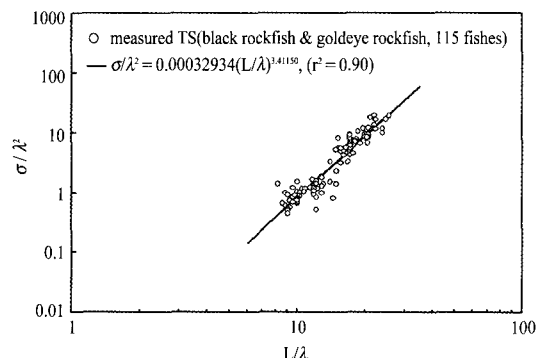


Fig. 8. Relationship between L/λ and σ/λ^2 for black rockfish and goldeye rockfish at 70 and 120kHz.

즉, 이 식은 조피볼락과 불볼락 반사강도의 체장 및 주파수(λ) 의존성을 동시에 나타내는 실험식이고, 이 식으로부터 사용 주파수(λ)에 대한 임의체장의 위 어종 반사강도를 추정하는 것이 가능하다.

결 론

우리나라 남해안에서 주로 연안복합어업 등에 의해 어획된 조피볼락 및 불볼락을 대상으로 70kHz와 120kHz split beam 어군탐지기를 이용하여 투명 아크릴의 해수수조에서 유영상태를 관찰하면서 체장 및 주파수별 음향반사강도를 측정하고, 각 어종에 대한 음향반사강도의 체장 의존성에 대하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다. 조피볼락 30마리(평균체장 25.3cm, 평균체중 234.0g)를 대상으로 70kHz에서 측정한 결과, 평균반사강도는 -42.83dB 이었고, $TS = a \text{Log}(L) + b$ 에서 체장 의존성계수 a 와 체장변환계수 b 는 각각 $a = 19.38$, $b = -70.46 \text{ dB}$ ($r^2 = 0.71$)이었으며, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하의 체장변환계수는 -71.29dB ($r^2 = 0.70$)이었다. 한편, 120kHz에서 측정한 결과, 평균반사강도는 -38.73dB 이었고, 체장 의존성계수 a 와 체장변환계수 b 는 각각 $a = 22.39$, $b = -70.40\text{dB}$ ($r^2 = 0.64$)이었으며, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하의 체장변환계수는 -66.88dB ($r^2 = 0.57$)이었다. 불볼락 20마리(평균체장 21.2cm, 평균체중 170.0g)를 대상으로 70kHz에서 측정한 결과, 평균반사강도는 -44.24dB 이었고, $TS = a \text{Log}(L) + b$ 에서 체장 의존성계수 a 와 체장변환계수 b 는 각각 $a = 17.10$, $b = -68.28 \text{ dB}$ ($r^2 = 0.37$)이었으며, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하의 체장변환계수는 -72.03 dB ($r^2 = 0.32$)이었다. 한편 체장 범위 18.5 - 28.0cm, 체중 범위가 86.4 - 365.9g인 불볼락 35마리(평균체장 22.0cm, 평균체중 156.0g)를 대상으로 120kHz에서 측정한 결과, 평균반사강도는 -40.88dB 이었고, 체장 의존성계수 a 와 체장변환계수 b 는 각각 $a = 24.39$, $b = -73.74 \text{ dB}$ ($r^2 = 0.59$)이었으며, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하의 체장변환계수는 -67.68dB ($r^2 = 0.64$)이었다. 70kHz와 120kHz에서 총 115마리의 조피볼락과 불볼락을 대상으로 평균 반사강도 (TS, dB), 어종의 체장(L), 사용주파수의 파장(λ)의

관계를 유도한 결과는

$TS = 34.12\text{Log}(L) - 14.12\text{Log}(\lambda) - 23.83$, ($r^2 = 0.90$)이었다. 이들 어종에 대한 어류 반사강도의 체장 의존성에 대한 신뢰도를 더욱 향상시키기 위해서는 앞으로 지속적인 실험과 특히 자유유영상태에 대한 현장실험이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Foote, K.G. and D.I. Francis, 2002. Comparing Kirchhoff - approximation and boundary - element models for computing gadoid target strengths. J. Acoust. Soc. Am., 111, 1644 - 1654.
- Foote, K.G., A. Aglen and O. Nakken, 1986. Measurement of fish target strength with split - beam echo sounder. J. Acoust. Soc. Am., 80, 612 - 621.
- Gauthier, S. and G.A. Rose, 2001. Target strength of encaged Atlantic redfish (*Sebastes spp.*). ICES Journal of Marine Science, 58, 562 - 568.
- Goddard, G.C. and V.G. Welsby, 1986. The acoustic target strength of live fish. J. Cons. int. Explor. Mer., 42, 197 - 211.
- Kang, D.H., D.J. Hwang, T. Mukai, K. Iida and K.H. Lee, 2004a. Acoustic target strength of live Japanese common squid (*Todarodes pacifica*) for applying biomass estimation. J. Kor. Fish. Soc., 37, 345 - 353.
- Kang, D.H., K. Sadayasu, T. Mukai, K. Iida, D.J. Hwang, K. Sawada and K. Miyashita, 2004b. Target strength estimation of black porgy *Acanthopagrus schlegeli* using acoustic measurements and a scattering model. Fisheries Science, 70, 819 - 828.
- Kang, D.H. and D.J. Hwang, 2003. *Ex situ* target strength of rockfish (*Sebastes schlegeli*) and red sea bream (*Pagrus major*) in the Northwest Pacific. ICES Journal of Marine Science, 60, 538 - 543.
- Kang, H.Y. and D.J. Lee, 2003. Fish length dependence of acoustic target strength for large yellow croaker. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 39, 239 - 248.
- Lee, D.J., 1999. Instrumentation engineering for fisheries. Taehwa Printing, Busan, pp. 180 - 207.
- Love, R.H., 1971. Measurements of fish target strength: a review. Fish. Bull., 69, 703 - 715.
- Ministry of Maritime Affairs & Fisheries(MOMAF), 2004. Feasibility Studies on the Maine Ranching Program of East, West and Jeju Coastal Areas in Korea. Ministry of

- Maritime Affairs & Fisheries, 1 – 3.
- Mukai, T., N. Sano, K. Iida and S. Sakai, 1993a. Studies on dorsal aspect target strength of ten species of fish collected in the East China Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 1515 – 1525.
- Mukai, T., N. Sano, K. Iida and S. Sakai, 1993b. Relation between dorsal aspect target strength of fish caught in the East China Sea and their swimbladder. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 60, 215 – 222.
- Son, C.W. and D.J. Hwang, 2002. Target Strength of Schlegel's Black Rockfish (*Sebastes schlegeli*) and Red Seabream (*Pagrus major*). *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, 38(2), 119 – 128.

2006년 1월 16일 접수

2006년 2월 6일 수리