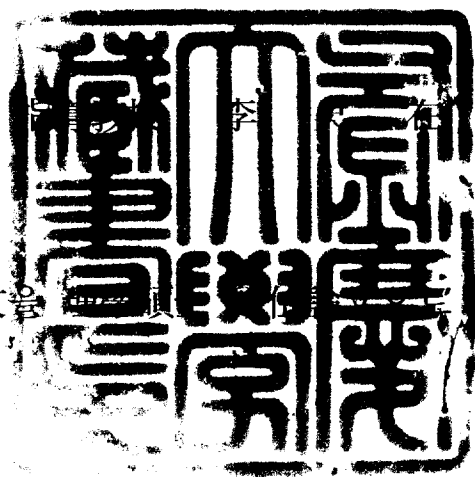


2004
2005
2006
2007

理學碩士 學位論文

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



이 論文을 提出함

2006年 2月

釜慶大學校 産業大學院

漁業生產學科

文 載 皓

文載皓의 理學碩士 學位論文을 認准함

2006年 1月 6日

主 審 工學博士 辛 亨 鎰



委 員 水産學博士 李 遺 元



委 員 水産學博士 李 吳 在



목 차

Abstract	ii
서 론	1
장치 및 방법	3
1. 실험어종 및 장치의 구성	3
1) 실험어종	3
2) 장치의 구성	4
2. 분석방법	10
결과 및 고찰	12
1. 조피볼락에 대한 반사강도 체장 의존성	12
2. 불볼락에 대한 반사강도 체장 의존성	16
요 약	22
감사의 글	24
참고문헌	25

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

Jae-Ho Mun

*Department of Fishing Production, Graduate School of industry,
Pukyong National University*

Abstract

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, target strength measurement was conducted on black rockfish and goldeye rockfish in an acrylic salt water tank using 70kHz and 120kHz split beam echo sounders. The target strength 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 $TS = 19.38 \text{ Log (L, cm) - 70.46 (r}^2\text{=0.71)}$ at 70kHz and $TS = 22.39 \text{ Log (L, cm) - 70.40 (r}^2\text{=0.64)}$ at 120kHz and in the standard form $TS = 20 \text{ Log (L, cm) - 71.29 (r}^2\text{=0.70)}$ at 70kHz and $TS = 20 \text{ Log (L, cm) - 66.88 (r}^2\text{=0.57)}$ at 120kHz.

The best fit regression of TS on fish length of goldeye rockfish was $TS = 17.10 \text{ Log (L, cm) - 68.28 (r}^2\text{=0.37)}$ at 70kHz and $TS = 24.39 \text{ Log (L, cm) - 73.74 (r}^2\text{=0.59)}$ at 120kHz and in the standard form $TS = 20 \text{ Log (L, cm) - 72.03 (r}^2\text{=0.32)}$ at 70kHz and $TS = 20 \text{ Log (L, cm) - 67.68 (r}^2\text{=0.64)}$ at 120kHz.

An empirical model for fish target strength(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:

$$TS = 34.12 \text{ Log(L) - 14.12 Log}(\lambda) - 23.83, (r^2 = 0.90).$$

서 론

세계 각 연안국의 EEZ 선포에 따른 어장축소와 무분별한 남획으로 인한 수산자원의 고갈 및 해양오염문제 등이 대두되면서 연안어업의 입지는 좁아지고 있으며 어업의 기반이 되는 어장은 황폐화 되어 가고 있다. 이러한 현실 속에서 정부는 지난 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 계획이다¹⁾.

우리나라에서 바다목장화 대상생물에 대한 음향반사강도 연구로서, 자원조사에서 주로 사용되고 있는 split beam 어군탐지기의 세 주파수 (38, 120, 200kHz)를 이용하여 조피볼락, 참돔, 감성돔에 대한 반사강도의 체장 의존성을 추정한 것이 있다²⁾⁻⁴⁾. 그러나, 향후 우리나라 어선에 보급될 체장어군탐지기의 주파수 대역에 있어서, 어류뿐만 아니라 동물플랑크톤의 음향산란

특성을 파악할 수 있는 70kHz 주파수 대역에 대한 검증과 주파수 및 체장을 고려한 음향산란특성을 검증할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 연안에 분포하고 있는 조피볼락과 볼볼락에 대한 음향산란특성을 파악하기 위하여, 투명 아크릴의 해수수조에서 현수법을 이용하여 대상생물을 관찰하면서 체장별, 주파수별 음향반사강도를 측정하고, 각 어종에 대한 음향반사강도의 체장 의존성을 분석, 고찰하였다.

장치 및 방법

1. 실험어종 및 장치의 구성

1) 실험어종

실험에 사용한 어종은 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*)과 불볼락(*Sebastes thompsoni*)이고, 이들 어종은 솜뱅이목 양볼락과에 속하는 어류로서 어종별 생물학적 조성은 Table 1과 같다. Table 1에서 실험에 사용한 어류의 상태는 활어이며, 주파수별 어종별 체장과 체중범위는 다음과 같다. 70kHz와 120kHz에서 조피볼락의 체장과 체중범위는 17.5~32.0cm, 89.8~380.8g이었고, 이 때의 평균체장 및 평균체중은 25.2cm, 234.0g이었다. 불볼락의 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.

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	19.5~28.0	110.0~366.0	20
		120	18.5~28.0	86.4~365.9	35

2) 장치의 구성

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

실험은 순치수조에 수용되어 있는 실험어종을 한 마리씩 기포가 혼입되지 않게 해수 속에 넣어 실험수조로 옮기고, 약 120cm 부근의 깊이에서 유영하도록 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 어군탐지기의 -3dB에 대한 지향각은 각각 7°, 11°이고, 실험에 앞서 70kHz에 대해서는 직경32.1mm의 표준구(銅球, -39.1dB)를, 120kHz에서는 직경 23.0mm의 표준구(銅球, -40.4dB)를 사용하여 시스템을 교정하였으며, 그 때 echogram의 일례는 Fig. 2 Fig. 3과 같다.

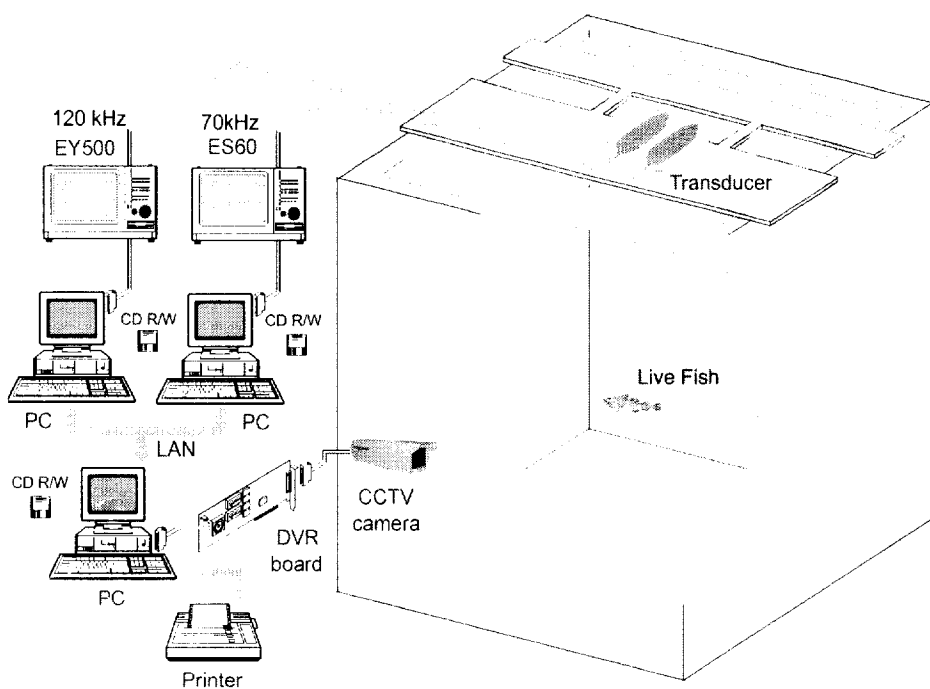


Fig. 1. Block diagram of experimental setup in the tank.

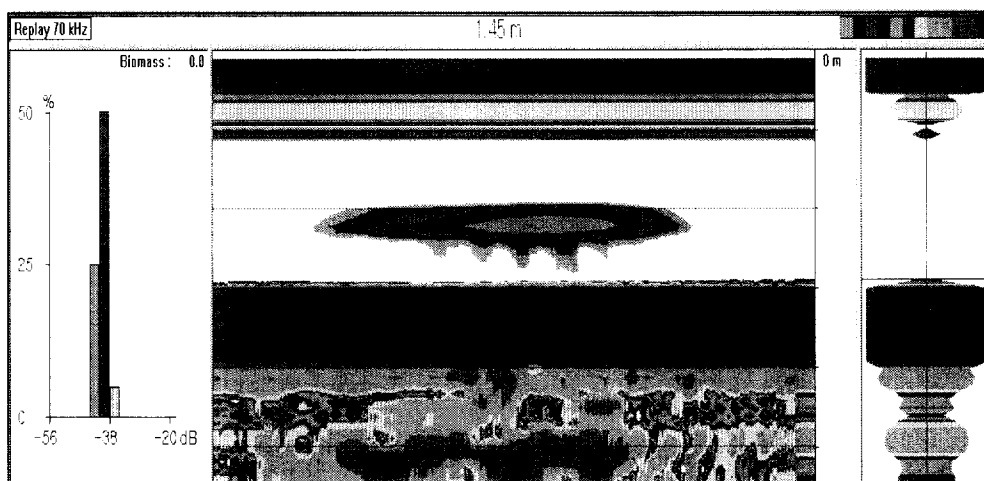


Fig. 2. Echogram of system calibration using calibration ball (32.1mm copper sphere, -39.1dB) at 70kHz.

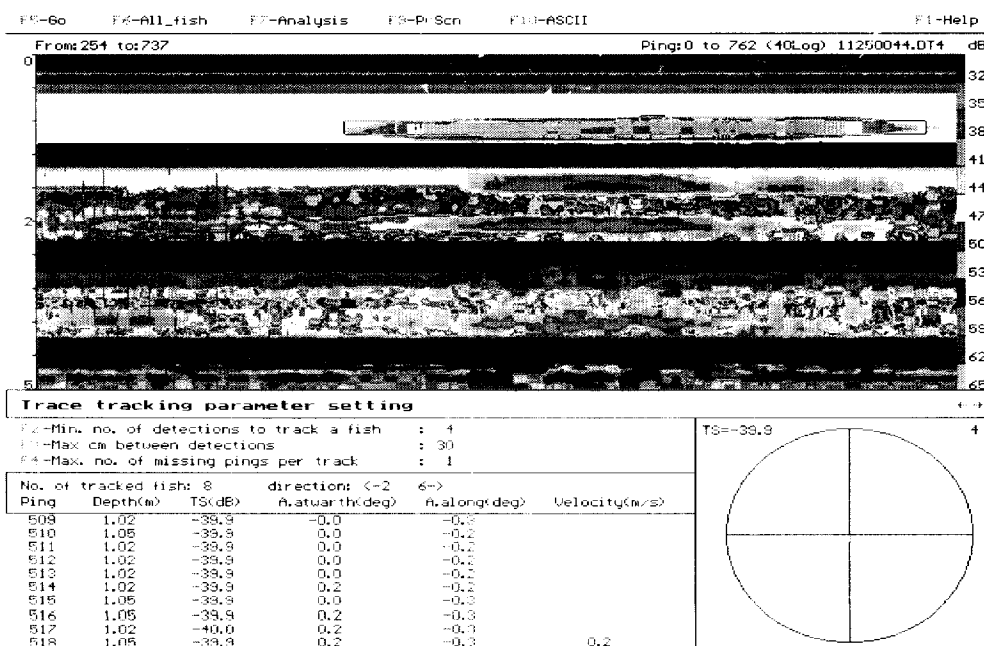


Fig. 3. Echogram of system calibration using calibration ball (23mm copper sphere, -40.4dB) at 120kHz.

실험 당시 대부분의 어류는 수조의 저면이나 벽면 부근에 정체하려는 경향이 강하게 나타나 완전한 자유유영상태에서의 실험이 매우 어려웠다. 따라서 실험어종의 등부 중앙부에 Fig. 4와 같이 소형의 낚시를 꿰어 두 가닥의 낚싯줄로 어류의 위치를 진동자의 음축 부근으로 유도하여 양쪽에서 낚싯줄을 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 최소탐지레벨을 -40dB로서 설정하였고, 수조면의 깊이를 1.4m 이상의 신호를 대상으로 식별토록 강제적으로 설정함으로써 bottom detection의 안정화를 기하였다.

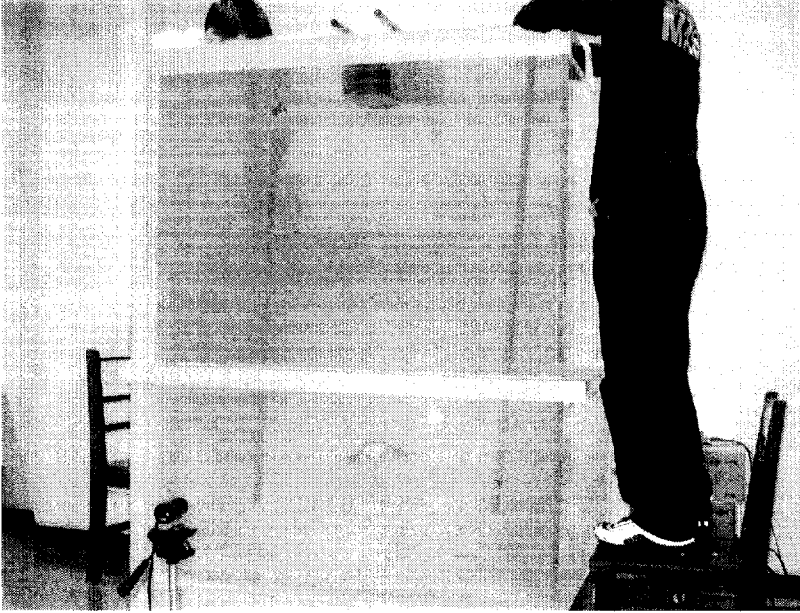


Fig. 4. Photograph of TS experiment using an acrylic salt water tank.

Fig. 5와 같이 본 실험에서 사용한 split beam 어군탐지기의 근거리 음장의 한계 Z 는 송·수파기의 직경과 사용주파수의 파장을 각각 D , λ 라 할 때, $Z = \frac{D^2}{4\lambda} [1 - (\frac{\lambda}{D})^2]$ 에 의해 70kHz 송수파기 (Simrad, ES70-11)와 120kHz 송수파기(Simrad, ES120-7F)에 대해 각각 약 22cm, 약 33cm이었다. 본 실험에서는 반사강도 측정 시 실험어종의 평균적인 유영공간을 가능한 한 110~120cm가 되도록 유지하여 근거리 음장에 기인하는 문제가 발생하지 않도록 하였다.

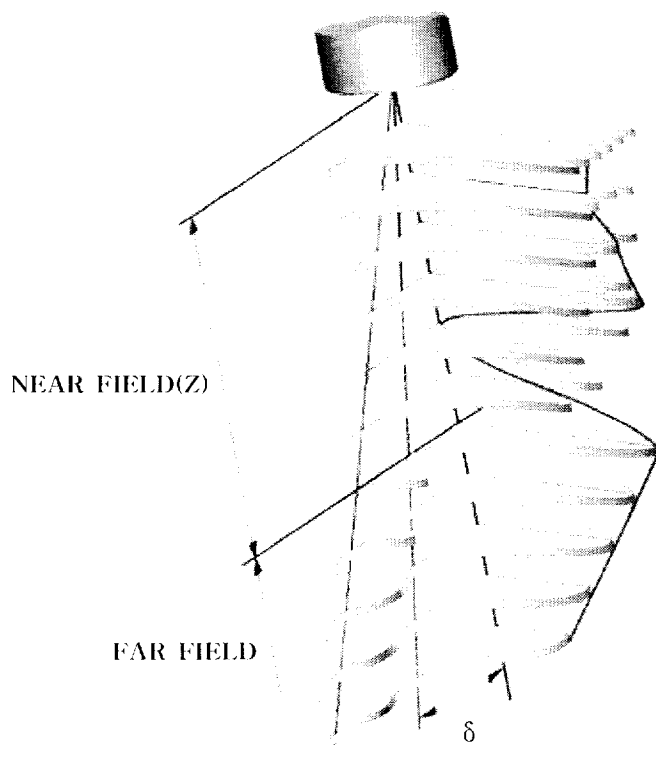


Fig. 5. Limit of near field in the water tank.

2. 분석방법

본 실험에 사용한 70과 120kHz split beam 어군탐지기에서 sound beam의 유효 탐지범위는 수조 깊이 120cm에서 각각 38cm, 26cm이었고, 반사강도의 측정은 이들 탐지한계에 해당하는 체장을 가능한 한 초과하지 않는 활어를 대상으로 행하였다. 또한, 120kHz의 경우에 대해서는 TS 전용해석 software (Simrad, EP500)를 이용하여 실험어종의 유행행동의 변화에 기인하는 음향반사강도를 측정하고, 순간적인 반사강도들의 빈도분포로부터 평균 반사강도를 산출하여 어종별 음향반사강도의 체장 의존성을 분석하였다.

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

$$\sigma_i = 10 \frac{TS_i}{10} \quad (1)$$

에 의해 산란단면적(σ_i)으로 환산한 후,

$$\langle \sigma \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i \quad (2)$$

에 의해 평균 산란면적(σ)을 구하여 평균 반사강도(TS, dB)를 구하였다.

$$\langle TS \rangle = 10 \text{ Log} \left(\frac{\langle \sigma \rangle}{4\pi} \right) \quad (3)$$

일반적으로 어류의 반사강도는 유행자세의 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, 고찰하였다⁴¹⁻¹⁴⁾. 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 회귀직선식 으로부터 체장변환계수 b_{20} 을 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 조피블락에 대한 반사강도 체장 의존성

조피블락에 대한 반사강도의 빈도분포와 체장 의존성을 분석한 결과는 Fig. 6 및 Fig. 7과 같다.

Fig. 6은 70kHz에서 측정한 결과로서, Fig. 6 (A)는 30마리 조피블락에 대한 반사강도의 빈도분포이다. 그림에서 총 2,698개의 데이터를 토대로 산출한 평균반사강도는 -42.83dB 이었다. 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 평균반사강도와 평균체장을 이용하여 조피블락의 체장 1cm 에 대한 체장변환계수 (b_t)를 산출하면 $b_t = -70.87\text{dB}$ 이 된다.

또한, Fig. 6 (B)는 조피블락의 평균반사강도와 체장과의 관계를 나타낸 결과이다. 그림에서 $\circ$ 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. 그림에서 조피블락에 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 -71.29dB ($r^2 = 0.70$)이었다. 조피블락의 경우, 이들 체장변환계수 b , b_{20} , b_t 사이에는 큰 차이가 없었다.

한편, Fig. 7은 120kHz에서 측정한 결과로서, Fig. 7(A)는 조피블락에 대한 반사강도의 빈도분포이다. 그림에서 총 2,788개의 데이터를 토대로 산출한 평균반사강도는 -38.73dB 이었다. 반사강도가 체장의 2승에 비례한다

는 가정 하에 평균반사강도와 평균체장을 이용하여 조피볼락의 체장 1cm에 대한 체장변환계수 (b_t)를 산출하면 $b_t = -66.76\text{dB}$ 이 된다.

또한, Fig. 7 (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_t 사이에는 b_t , b_{20} , b 의 순으로 큰 경향을 나타냈고, 계수 b 값과 b_t 값 사이의 차는 3.64dB 이었다.

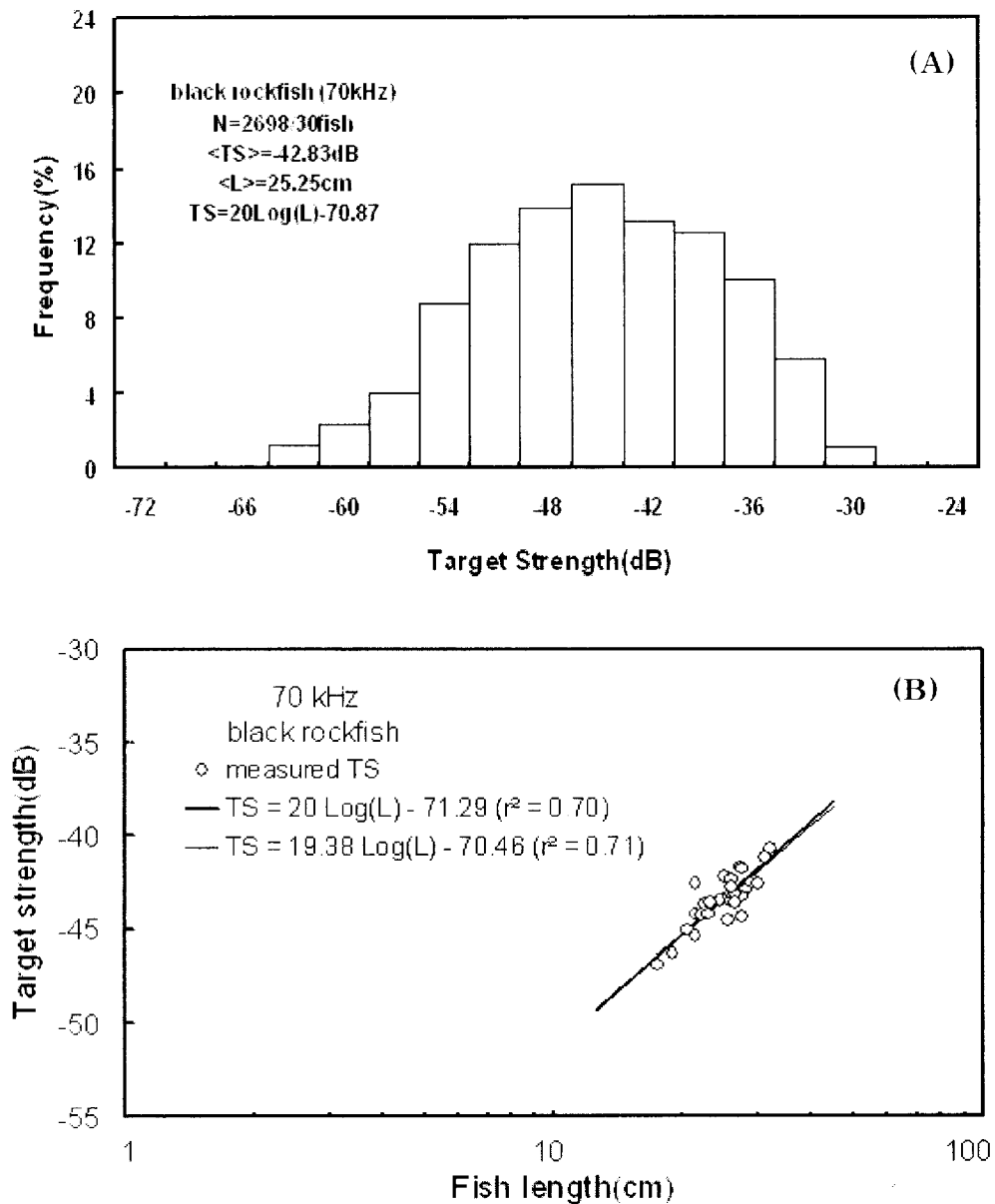


Fig. 6. Frequency distribution (A) and length dependence (B) of target strength for black rockfish at 70kHz.

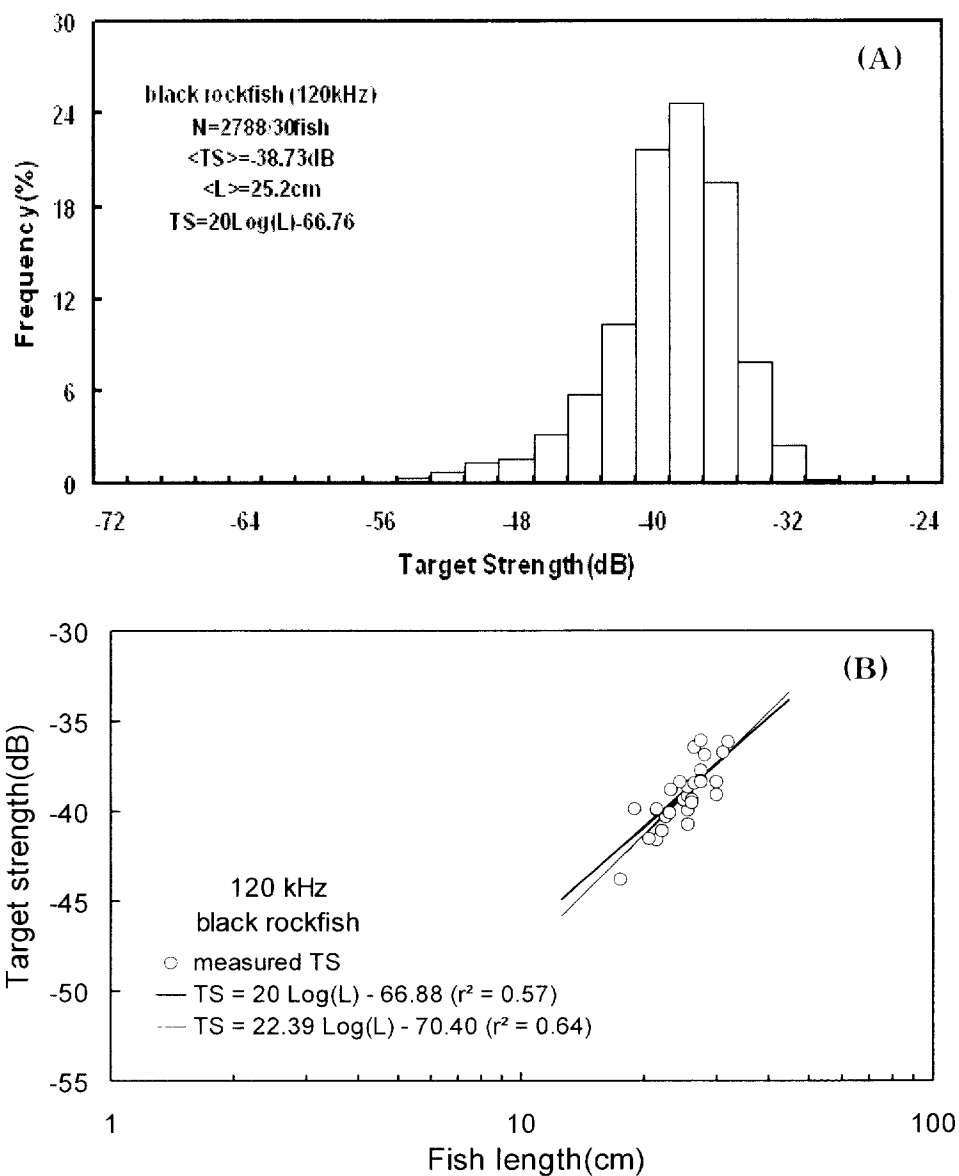


Fig. 7. Frequency distribution (A) and length dependence (B) of target strength for black rockfish at 120kHz.

2. 불블락에 대한 반사강도 체장 의존성

불블락에 대한 반사강도의 빈도분포와 체장 의존성을 분석한 결과는 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다.

Fig. 8 (A)는 70kHz에서 측정한 결과로서, 20마리 불블락에 대한 반사강도의 빈도분포이다. 그림에서 총 1,895개의 데이터를 토대로 산출한 평균반사강도는 -44.24dB이었다. 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 평균반사강도와 평균체장을 이용하여 불블락의 체장 1cm에 대한 체장변환계수(b_t)를 산출하면 $b_t = -70.76\text{dB}$ 이 된다.

또한, Fig. 8 (B)는 불블락의 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. 이들 불블락에 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 3.75dB 이었다.

한편, Fig. 9는 120kHz에서 측정한 결과로서 Fig. 9 (A)는 35마리 불블락에 대한 반사강도의 빈도분포이다. 그림에서 총 2,530개의 데이터를 토대로 산출한 평균반사강도는 -40.88dB 이었다. 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에 평균반사강도와 평균체장을 이용하여 불블락의 체장 1cm에 대한 체장변환계수 (b_t)를 산출하면 $b_t = -67.72\text{dB}$ 이 된다.

또한, Fig. 9(B)는 120kHz에서 측정한 불블락의 평균반사강도와 체장과의 관계를 나타낸 결과로, 회귀직선식의 계수 a, b 는 각각 $a = 24.39$, $b = -73.74\text{dB}$ ($r^2 = 0.59$)이었고, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에서 구한 체장변환계수 b_{20} 은 -67.68dB ($r^2 = 0.64$)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 체장 의존성을 나타내는 $TS = a \text{ Log}(L) + b$ 에 대한 회귀식의 계수 a , b 를 서로 비교해볼 때, 70kHz 측정에서 조피볼락 ($a = 19.38$, $b = -70.46\text{dB}$ ($r^2 = 0.71$))이 불볼락 ($a = 17.10$, $b = -68.28\text{dB}$ ($r^2 = 0.37$)) 보다 체장의 2승에 더 근접하는 체장 의존성을 나타내었고, 체장변환계수는 더 작은 특성을 나타내었다. 120kHz 측정에서는 조피볼락 ($a = 22.39$, $b = -70.40\text{dB}$ ($r^2 = 0.64$))이 불볼락 ($a = 24.39$, $b = -73.74\text{dB}$ ($r^2 = 0.59$)) 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 나타냄을 알 수 있다.

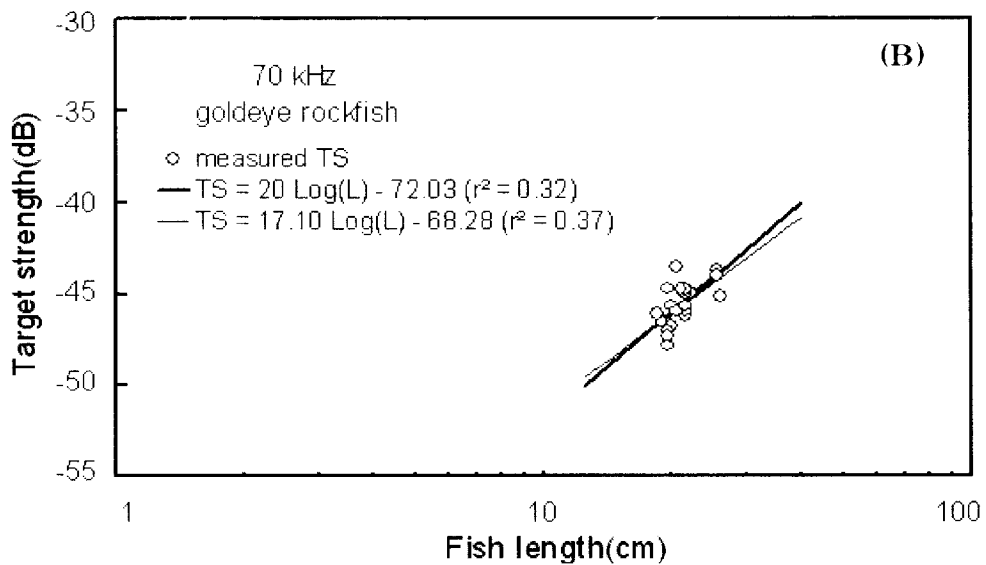
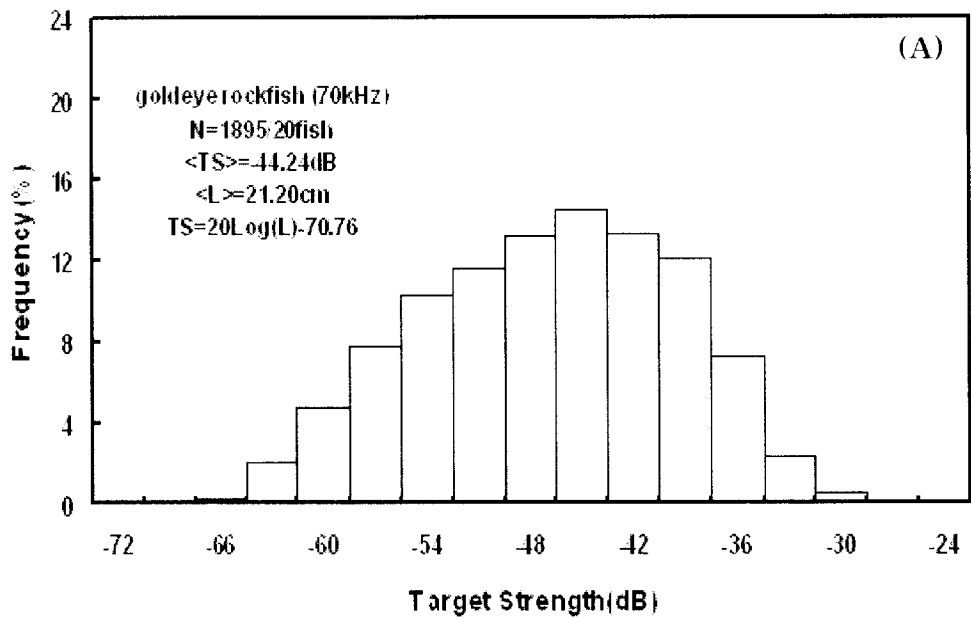


Fig. 8. Frequency distribution (A) and length dependence (B) of target strength for goldeye rockfish at 70kHz.

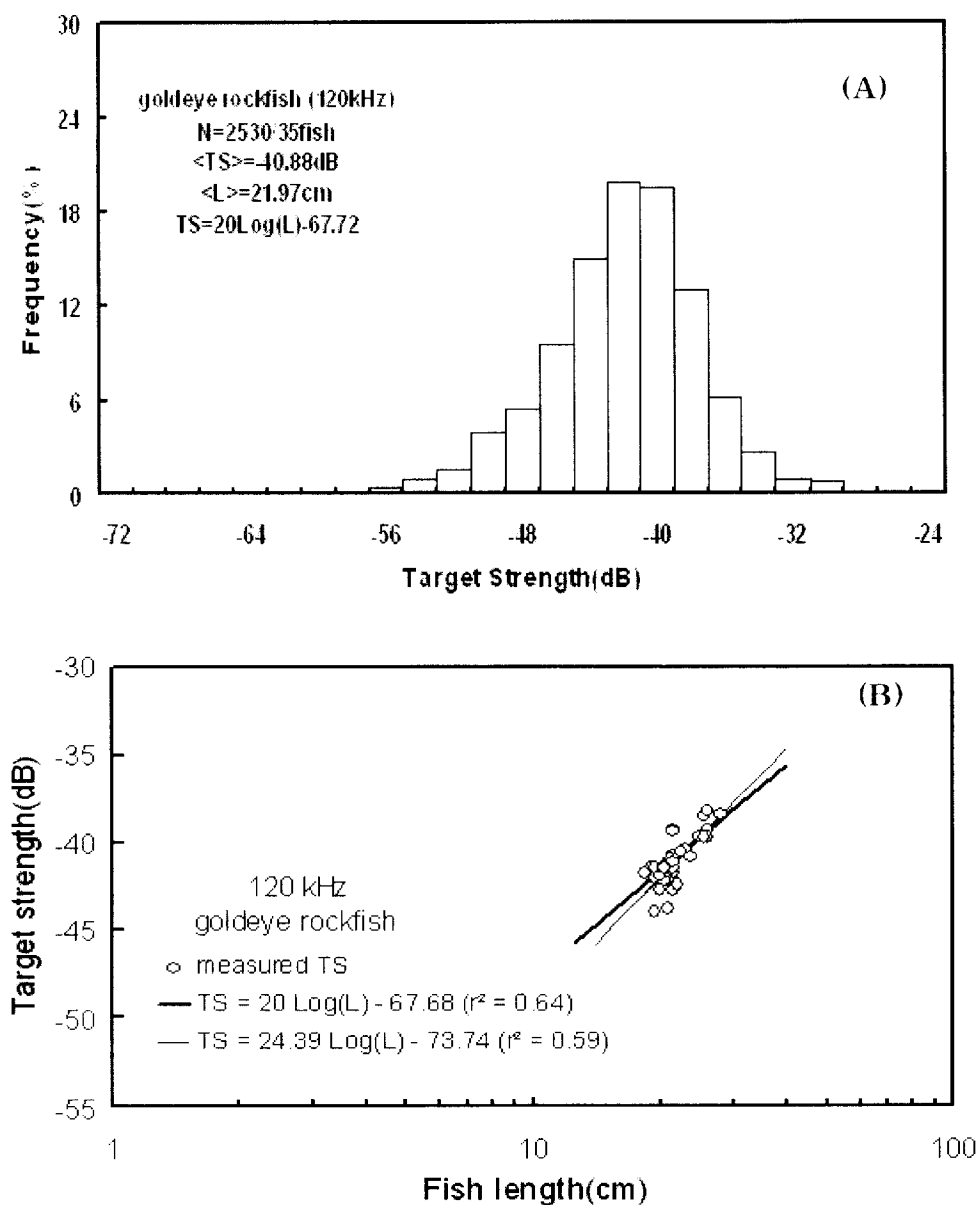


Fig. 9. Frequency distribution (A) and length dependence (B) of target strength for goldeye rockfish at 120kHz.

Fig. 10에서는 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 하였다¹⁵⁾. 70kHz, 120kHz에서 총 115마리 조피볼락과 불볼락의 L/λ 에 따른 σ/λ^2 의 관계는

$$\frac{\sigma}{\lambda^2} = 0.00032934 \left(\frac{L}{\lambda} \right)^{3.41150} \quad (4)$$

이었고, 결정계수(r^2)는 0.90이었다. 이것을 반사강도(TS), 체장(L), 파장(λ)의 관계식으로 나타내면

$$TS = 34.12 \text{ Log}(L) - 14.12 \text{ Log}(\lambda) - 23.83 \quad (5)$$

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

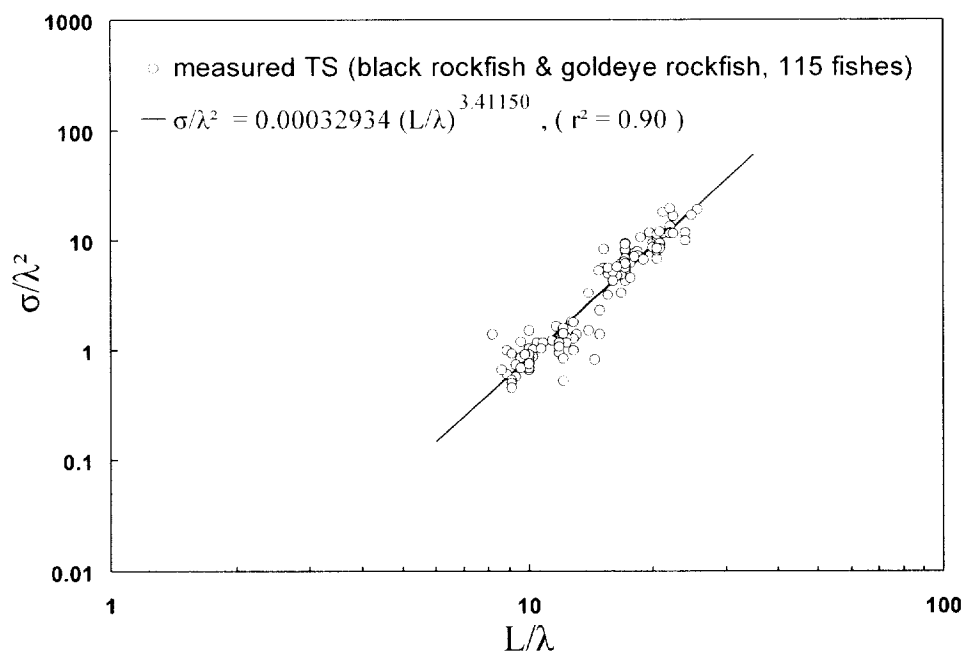


Fig. 10. Relationship between L/λ and σ/λ^2 for black rockfish and goldeye rockfish at 70 and 120kHz.

요 약

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 음향 반사강도를 측정하고, 각 어종에 대한 음향반사강도의 체장 의존성에 대하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 체장 범위 17.5 ~ 32.0cm, 체중 범위 89.8 ~ 380.8g인 조피볼락 30마리 (평균체장 25.3cm, 평균체중 234.0g)를 대상으로 70kHz에서 측정한 결과, 평균반사강도는 -42.83dB이었고, $TS = a \log(L) + b$ 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 -38.73dB이었고, 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.

2. 체장 범위 19.5 ~ 28.0cm, 체중 범위 110.0 ~ 366.0g인 불볼락 20마리(평균체장 21.2cm, 평균체중 170.0g)를 대상으로 70kHz에서 측정한 결과, 평균반사강도는 -44.24dB이었고, $TS = a \log(L) + b$ 에서 체장 의존

성계수 a 와 체장변환계수 b 는 각각 $a = 17.10$, $b = -68.28$ 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 -40.88 dB이었고, 체장 의존성계수 a 와 체장변환계수 b 는 각각 $a = 24.39$, $b = -73.74$ dB ($r^2 = 0.59$)이었으며, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하의 체장변환계수는 -67.68 dB ($r^2 = 0.64$)이었다.

3. 70kHz와 120kHz에서 총 115마리의 조피볼락과 불볼락을 대상으로 평균 반사강도(TS, dB), 어종의 체장(L), 사용주파수의 파장(λ)의 관계를 유도한 결과는

$$TS = 34.12 \text{ Log}(L) - 14.12 \text{ Log}(\lambda) - 23.83, \quad (r^2 = 0.90) \text{ 이었다.}$$

이들 어종에 대한 어류 반사강도의 체장 의존성에 대한 신뢰도를 더욱 향상시키기 위해서는 앞으로 지속적인 실험과 특히 자유유영상태에 대한 현장 실험이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 미흡하고 부족한 저를 항상 따뜻한 마음으로 가르침을 주신 이대재 교수님께 깊은 존경과 감사의 마음을 드립니다. 그리고 바쁘신 중에도 항상 저의 논문에 세심한 관심을 가지시고 논문의 결실을 맺도록 이끌어 주신 신형일 교수님, 이유원 교수님께 감사를 드립니다.

또한, 끊임없는 격려와 관심으로 지켜봐 주신 강일권 교수님, 김형석 교수님, 이주희 교수님, 홍철훈 교수님, 이춘우 교수님, 장창익 교수님, 권병국 교수님께 감사드리며, 학위 과정 중에 많은 관심과 도움을 주신 배문기 선배님, 이경훈 선배님, 정봉규 선배님, 강희영 후배님, 황보영 후배님, 실험실 후배님들께 감사드립니다.

그리고 항상 따뜻한 마음으로 저의 앞길을 걱정하시며 응원해 주신 부모님과 학위과정 뿐만 아니라, 옆에서 많은 도움을 준 이원섭 동기님, 학위과정에서 업무적으로 많은 도움을 주신 손현규 팀장님, 김영국 사무관님, 사무실 동료직원님들께 감사드립니다.

끝으로 본인의 실험으로 결혼준비를 혼자서 하느라 고생하고, 임신한 몸으로 언제나 헌신적인 사랑과 정성으로 내조를 하는 아내 명성에게 깊은 감사의 마음을 전합니다.

참고문헌

- 1) 해양수산부 (2004) : 동·서·제주해역 바다목장 개발 후보지 선정에 위한 기초조사 연구용역(2차년도 보고서). 해양수산부, 1-3.
- 2) 손창환, 황두진 (2002) : 조피볼락과 참돔의 표적강도에 관한 연구. 한국어업기술학회지, 38(2), 119-128.
- 3) Kang, D.H. and Hwang, D.J. (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.
- 4) Kang, D.H., Sadayasu, K., Mukai, T., Iida, K., Hwang, D.J., Sawada, K. and Miyashita, K. (2004) : Target strength estimation of black porgy *Acanthopagrus schlegeli* using acoustic measurements and a scattering model. Fisheries Science, 70, 819-828.
- 5) 이대재 (1999) : 漁業計測工學 理論과 實際. 태화출판사, 180-207.
- 6) 宮野鼻洋一, 石井 憲, 古澤昌彦 (1983) : 魚体の背方向ターゲットストレングスの測定例. 水工研技報 漁船工學, 4, 95-105.
- 7) Foote, K.G. and Francis, D.I. (2002) : Comparing Kirchhoff-approximation and boundary element models for computing gadoid target strengths. J. Acoust. Soc. Am., 111, 1644-1654.
- 8) 강희영, 이대재 (2003) : 부세에 대한 음향반사강도의 체장 의존성. 한국어업기술학회지, 39(3), 239-248.
- 9) Foote, K.G., Aglen, A. and Nakken, O. (1986) : Measurement of fish target strength with split-beam echo sounder. J. Acoust. Soc. Am., 80, 612-621.

- 10) Gauthier, S. and Rose, G.A. (2001) : Target strength of encaged Atlantic redfish (*Sebastes spp.*). ICES Journal of Marine Science, 58, 562-568.
- 11) 강돈혁, 황두진, Mukai, T., Iida, K., 이경훈(2004): 살오징어 (*Todarodes pacifica*)의 음향 반사강도 측정. 한국수산학회지, 37(4), 345-353.
- 12) Mukai, T., Sano, N., Iida, K. and Sakai, S. (1993) : Relation between dorsal aspect target strength of fish caught in the East China Sea and their swimbladder. Nippon Suisan Gakkaishi, 60, 215-222.
- 13) 向井 徹, 佐野典達, 飯田浩二, 佐々木成二(1993) : 東シナ海で漁獲された主要10魚種のターゲットストレングスの測定. 日水誌, 59, 1515-1525.
- 14) Goddard, G.C. and Welsby, V.G. (1986) : The acoustic target strength of live fish. J. Cons. int. Explor. Mer., 42, 197-211.
- 15) Love, R.H. (1971) : Measurements of fish target strength: a review. Fish. Bull., 69, 703-715.