

## 조피볼락과 참돔의 표적 강도에 관한 연구

손창환 · 황두진

(2002년 4월 6일)

여수대학교

## Target Strength of Schlegel's Black Rockfish (*Sebastes schlegeli*) and Red Seabream (*Pagrus major*)

Chang-Whan SON and Doo-Jin HWANG

Yosu National University

(Received May 6, 2002)

### Abstract

This study investigates dorsal aspect target strength with fish size, tilt angle and frequency characteristics for the schlegel's black rockfish(*Sebastes schlegeli*) and the red seabream (*Pagrus major*). This study was carried out on free swimming fish in a cage in order to obtain acoustic data of the biomass estimation using the scientific echo sounder.

The results obtained from this study are summarized as follows;

1. The coefficients of the schlegel's black rockfish and the red seabream using maximum TS with fish length were expressed  $-63.7dB$  and  $-62.6dB$  at a frequency of  $38kHz$ ,  $-64.4dB$  and  $-65.4dB$  at  $120kHz$ , and  $-62.4dB$  and  $-65.0dB$  at  $200kHz$ , respectively.
2. The coefficients of the schlegel's black rockfish and the red seabream using averaged TS with fish length were expressed  $-68.4dB$  and  $-67.9dB$  at a frequency of  $38kHz$ ,  $-73.4dB$  and  $-72.7dB$  at  $120kHz$ , and  $-70.8dB$  and  $-73.4dB$  at  $200kHz$ , respectively.
3. The coefficients of the schlegel's black rockfish and the red seabream using maximum TS with body weight were expressed  $-52.0dB$  and  $-50.9dB$  at a frequency of  $38kHz$ ,  $-52.7dB$  and  $-53.7dB$  at  $120kHz$ , and  $-50.7dB$  and  $-53.3dB$  at  $200kHz$ , respectively.
4. The coefficients of the schlegel's black rockfish and the red seabream using averaged TS with body weight were expressed  $-56.7dB$  and  $-56.2dB$  at a frequency of  $38kHz$ ,  $-61.7dB$  and  $-61.0dB$  at  $120kHz$ , and  $-59.1dB$  and  $-61.6dB$  at  $200kHz$ , respectively.
5. Varying the tilt angle of the two red seabream from  $-26^\circ$  to  $+25^\circ$ , the variation width of target strength expressed smaller at a frequency of  $38kHz$  than at  $120kHz$  and expressed about  $3\sim 6dB$  higher head up than head down at  $120kHz$ .

### 서론

우리 나라는 어족 자원 남획으로 인한 자원의 감소와 해외 어장의 의존도가 커서 어장 확보에

많은 어려움이 있다. 최근 국제 해양법의 발효와 더불어 세계 각국은 배타적 경제 수역(Exclusion Economic Zone)을 설정하여 자국의 어업 자원에 대하여 보존하고 관리함으로써 수산 자원의 합리

\* 이 논문은 한국과학재단 목적기초연구(200-1-22300-003-2) '음향을 이용한 수산자원평가기술의 고도화에 관한 연구'의 일환임.

적인 이용을 추구하고 있다. 이를 위해 전자 기술의 발달과 더불어 발전한 계량 어군 탐지기는 해양에 있어서 짧은 시간에 넓은 해역을 대상으로 어류에서 갑각류, 플랑크톤에 이르기까지 다양한 생물을 실시간으로 공간적 분포 상태를 정량적으로 평가할 수 있어 해양 생태계 파악과 어업 자원 관리를 위한 생물 자원 평가 등의 주요 도구로 활용되고 있다.

공간적 분포 상태를 파악하기 위한 계량 어군 탐지기는 어군의 분포 밀도를 계산하기 위하여 임의의 수층에서 산란된 신호를 적분 처리하여 체적 산란 강도(Volume Scattering Strength, SV)를 구하고 그 때의 대상 어군에 대한 산란 강도를 구하게 된다. 따라서, 대상 어군을 구성하는 개체의 표적 강도(Target Strength, TS)는 가장 중요한 변수이며, TS를 알면 현장에서 어군의 분포 밀도를 보다 더 정확하게 추정을 할 수 있다. 어류의 TS를 결정하는 변수로 자세각, 어체의 체장, 부레의 유무, 사용 주파수 등이 있으며, 이들 요인에 따라 TS가 변화함으로써 음향을 이용한 어류의 생물 자원 평가에 오차를 일으킨다.

어류의 생물 자원 평가의 오차를 일으키는 변수를 해결하기 위해 많은 연구가 이루어 졌는데, Foote 등<sup>1), 2)</sup>은 어체에 의한 TS가 주로 부레에 의한 산란, Mukai 등<sup>3)~6)</sup>의 수심의 변화에 따른 TS의 변화, 어류의 일주 변화에 따른 TS의 변화, 어류의 등 방향 TS와 부레와의 관계, 신<sup>7)</sup>은 이스라엘 잉어의 체장, 체중별 초음파 TS의 특성에 관하여, 황<sup>8)</sup>은 어체의 형태별 TS에 관하여 그 특성을 연구한 바 있다.

그러나 이들은 대부분이 죽은 어체를 이용하였거나 담수어를 대상으로 행한 실험이 대부분이다. 우리 나라 연안에 주로 서식하고 있는 해산 어류를 대상으로 한 TS에 관한 연구는 거의 없다. 최근에는 현장에서 어체의 반사 강도를 측정하기 위한 직접법(*in situ* TS)이 사용되고 있으며, 빔 축으로부터 어체 위치, 어체의 유연 자세각의 변화에 따라 TS를 측정하고 있다(Foote 등<sup>9)~12)</sup>).

따라서 본 연구에서는 우리 나라 연안에서 주로 서식하고 있는 조피볼락과 참돔의 자원량을 추정할 때 보다 더 정확히 추정할 수 있는 기초 자료를 얻기 위하여 *in situ* TS 측정법과 유사한 환경 속에서 망(Cage)과 3개의 주파수를 이용하여 자세의 변화와 빔 축으로부터의 위치를 관찰하면서, 어체의 크기와 자세별 및 주파수 특성에 따른 TS에 대하여 조사하였다.

## 재료 및 방법

TS 실험은 전라남도 여수시 돌산읍 금봉리에 위치한 여수대학교 중앙식 센터의 콘크리트 수조(L5×W5×H5m, 수위 4.8m)를 이용하였으며(Fig. 1), 1999년 9월과 2000년 9월 두 차례에 걸쳐 실시하였다.

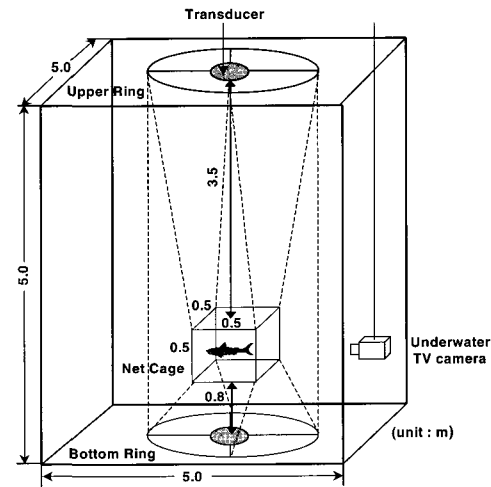


Fig. 1. Experimental seawater tank and measuring system.

실험에 사용한 어류는 가두리 양식장에서 사육된 조피볼락(Schlegel's black rockfish, *Sebastes schlegeli*)과 참돔(Red seabream, *Pagrus major*)으로 정하고 건강상태가 양호한 상태인 것을 선별하였으며, 조피볼락은 전장이 9.8~23.9cm, 체중이 17.2~242.0g 되는 것 21마리를, 참돔은 전장이 10.3~34.9cm, 체중이 19.3~791.2g 되는 것 20마리를 사용하였다(Table 1).

Table 1. Specification of fishes used in the experiment.

Species	Number of fish	Total Length(cm) of fish		Body Weight(g) of fish	
		Range	Mean	Range	Mean
Schlegel's black rockfish	21	9.8~23.9	16.2	17.2~242.0	90.9
Red seabream	20	17.2~242.0	19.9	19.3~791.2	209.3

본 실험에 사용한 계량 어군 탐지기의 주파수는 38 kHz와 120 kHz(Split beam, Simrad) 및 200 kHz(Dual beam, Biosonics)였으며(Table 2~3), 진동자는 자체 제작한 현수 장치에 고정하고 수조의 중앙에 위치하도록 하였다.

Table 2. Hardware parameters of equipment EK-500.

Parameters	Value	
	Frequency (kHz)	38
Beam type	Split Beam	Split Beam
Absorption coefficient (dB/km)	10	38
Pulse length (ms)	1.0	0.3
Bandwidth (kHz)	3.8	12
Transmitt power (kw)	4	1
2-way beam angle (dB)	-20.5±1	-20.6
Transducer gain (dB)	28.0±1	26.5
3 dB beam width (°)	7×7±1	7.1
Sample distance (cm)	10	3

Table 3. Hardware parameters of equipment DT-5000.

Parameters	Value
Frequency(kHz)	200
Beam type	Dual Beam
Absorption coefficient(dB/m)	0.002969
Beam width	6.50, 14.50
Ping Rate(pps)	1.00
Pulse Width(ms)	0.40
Bandwidth(kHz)	5±1
Transmit Source Level(dB// μPa)	224.30
Receive Sensitivity(dBC/ μPa)	-54.40

TS를 측정하기 위한 망(L50×W50×H50 cm)은 음향학적으로 투명한 랫셀 그물감으로 만들었으며, 수면에 있는 진동자로부터 약 3.5 m 떨어진 곳에 설치하고 망 안에 어류 한 마리씩 넣어 실험하였다. 또한 망은 상부 링과 하부 링 사이에 설치하였고, Nylon 단일섬유로 망의 상, 하부를 링에 고정하였으며, 어체의 자세를 확인하기 위해 진동자의 빔 폭을 벗어난 바깥쪽에 수중 카메라를 설치하였다(Fig. 1).

38 kHz와 120 kHz의 TS 자료는 EK-500 Sounder

Unit의 Serial Port와 RS-232 Cable을 이용하여 Personal Computer에 수록하였고, 200 kHz는 DT-5000 System으로부터 Serial Port를 이용하여 노트북에 수록하였다(Fig. 2). 또한 각 주파수 별 TS의 측정은 현수 장치를 회전시켜 측정하고자 하는 진동자가 음 축의 중앙에 망이 위치하도록 하여 각 주파수에 따라 TS를 수집하였으며, 동시에 망의 옆에 설치한 수중 카메라를 이용하여 자세각의 변화를 관찰하면서 개체별 TS의 최대 값과 평균 값을 구하고, 이를 전장의 변화, 체중의 변화 및 자세의 변화에 따라 그 특성을 분석하였다.

그리고 자세각 변화에 따른 TS 측정은 Cage의 측 방향에 설치되어 있는, 수중 카메라로부터 자세를 측정하고 그 때의 TS 자료와 동기시켜 측정하였다. 또 어체의 자세각은 비디오에 수록되어 있는 영상을 컴퓨터 화면상에 재생한 후, 입과 꼬리 지느러미를 기준으로 해서 수평일 때의 자세각을 0°, 머리가 위로 향할 때를 +(Head up)로, 아래로 향할 때를 -(Head down)로 하여 자세각을 측정하였다.

또한 실험이 끝난 공시어는 부레의 형태를 보존하기 위하여 드라이아이스와 알코올을 사용하여 급속 냉동한 후 냉동실에 보관하였으며, 실험 종료 후 X-ray 촬영을 통하여 부레의 형태, 크기 및 위치 등을 확인하였다.

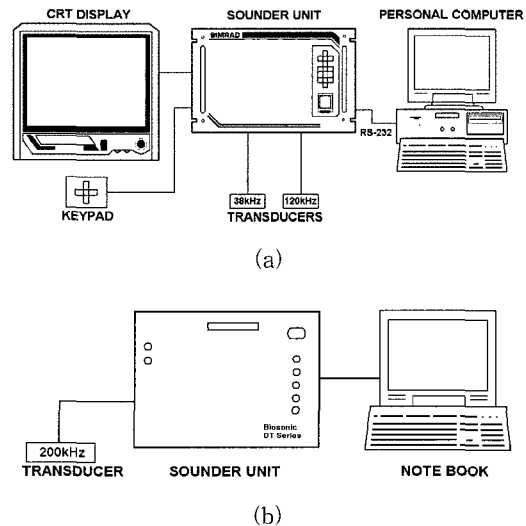


Fig. 2. Target strength measurement system.  
 (a) Simrad EK-500 System,  
 (b) Biosonics DT-5000 System

### 결과 및 고찰

#### 1. 전장별 표적 강도

계량 어군 탐지기를 사용하여 자원량을 추정할 경우에 이용되는 어체의 TS는 일반적으로 어체 전장 ( $L$ , cm)의 2승에 비례하므로 어종별 전장 변환 계수로 어체 1cm당의 TS를  $TS_{cm}$ 라 할 때,

$$TS = 20 \log L + A \dots\dots\dots(1)$$

으로 표시된다(Love 등<sup>13), 14</sup>). 이 때  $A$ 는 어종별 변환 계수로 어종에 따라 변하게 된다.

본 실험에서 어류로 사용한 조피볼락과 참돔에 대해 (1) 식의 관계로부터 전장 변화에 따른 최대 TS 값을 이용하여 최소자승법으로 회귀 직선을 구하고 각 주파수별로 어종별 변환 계수를 알아본 결과는 Fig. 3과 같다. 두 어종 모두 전장이 증가함에 따라 최대 TS도 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었고, 조피볼락의 변환 계수는 38 kHz에서 -63.7 dB, 120 kHz에서 -64.4 dB, 200 kHz에서 -62.4 dB로 나타났다.

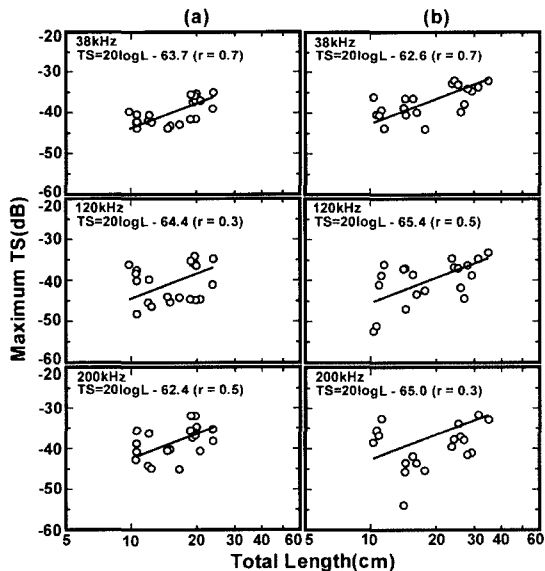


Fig. 3. Relation of total length to maximum target strength at three various frequencies. r: correlation coefficient  
(a) : Schlegel's black rockfish  
(b) : Red seabream

또한 참돔의 변환 계수는 38 kHz에서 -62.6 dB, 120 kHz에서 -65.4 dB, 200 kHz에서 -65.0 dB로 나타나, 조피볼락과 참돔 모두 38 kHz에서 가장 크게 나타났다. 그리고 두 어종의 38 kHz에서는 그 상관 계수가 0.7로 비교적 높게 나타났으며, 조피볼락과 참돔의 120 kHz, 200 kHz에서는 상관 계수가 0.3 ~ 0.5로 낮은 상관 관계를 보였다.

이상의 결과에서, 38 kHz의 변환 계수가 120 kHz와 200 kHz에 비해 약 0.7~2.8 dB 정도 높게 나타난 것은 두 어종 모두 부레를 가지고 있어서, 상대적으로 파장이 짧은 120 kHz와 200 kHz보다 파장이 긴 38 kHz에서 초음파가 잘 반사되었기 때문이라고 생각된다.

전장 변화에 따른 평균 TS 값을 이용하여 각 주파수별로 따라 어종별 변환 계수를 알아본 결과는 Fig. 4와 같다.

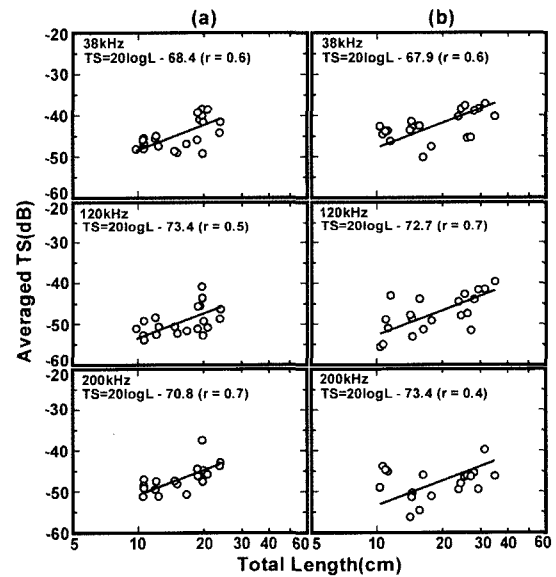


Fig. 4. Relation of total length to mean target strength at three various frequencies.  
(a) : Schlegel's black rockfish  
(b) : Red seabream

평균 TS 역시 두 어종 모두 전장이 증가함에 따라 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었고, 조피볼락의 변환 계수는 38 kHz에서 -68.4 dB, 120 kHz에서 -73.4 dB, 200 kHz에서 -70.8 dB로 나

타났으며, 참돔의 변환 계수는 38 kHz에서 -67.9 dB, 120 kHz에서 -72.7 dB, 200 kHz에서 -73.4 dB로 나타났다. 주파수별로 구한 변환 계수는 최대 TS에서와 마찬가지로 두 어종 모두 38 kHz에서 가장 크게 나타났다. 그리고 참돔의 200 kHz의 상관 계수 0.4를 제외한 다른 주파수에서는 상관 계수가 0.5~0.7로 비교적 높은 정의 상관 관계를 나타내어, 전 주파수에 걸쳐 상관 관계가 개선되었다는 것을 알 수 있었다. 특히, 저주파수인 38 kHz 보다 120 kHz와 200 kHz의 상관 관계가 개선된 것은 지향성 패턴과 어체의 자세에 밀접한 관계가 있어, 고주파일수록 어체의 자세 변화에 따른 TS의 변화가 크다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 3과 Fig. 4를 이용하여 구한 최대와 평균 변환 계수의 차를 Table 4에 나타내었으며, 38 kHz에서 조피볼락은 4.7 dB, 참돔은 5.3 dB, 120 kHz에서 조피볼락은 9 dB, 참돔은 7.3 dB, 200 kHz에서 조피볼락은 8.4 dB, 참돔은 8.4 dB로 나타났다. 이러한 차이는 저주파수인 38 kHz에서 파장이 길고 빔 폭이 넓어 TS의 변화가 작게 나타난 반면, 고주파일수록 TS의 변화가 크게 나타난다는 것을 알 수 있었다.

Table 4. The coefficients  $A_{max}$  and  $A_{avg}$  were derived from maximum TS data and averaged TS data for the two species at three various frequencies

Species	Frequency (kHz)	$A_{max}$ (dB)	$A_{avg}$ (dB)	$\Delta A_{cm}$ (dB)
Schlegel's black rockfish	38	-63.7	-68.4	4.7
	120	-64.4	-73.4	9
	200	-62.4	-70.8	8.4
Red seabream	38	-62.6	-67.9	5.3
	120	-65.4	-72.7	7.3
	200	-65.0	-73.4	8.4

$$(\Delta A = A_{max} - A_{avg})$$

## 2. 체중별 표적 강도

계량 어군 탐지기를 사용하여 자원량을 추정할 경우에 이용되는 어체의 TS는 일반적으로 어체 체중 ( $W, g$ )의 2/3승에 비례하므로 어종별 체중 변환 계수로 어체의 1g당의 TS를  $TS_g$ 이라 할 때,

$$TS = 20/3 \log W + B \dots\dots\dots(2)$$

으로 표시된다(Love 등<sup>13, 14</sup>). 이때  $B$ 는 어종별 변환 계수로 어종에 따라 변하게 된다.

본 실험에서 어류로 사용한 조피볼락과 참돔에 대해 (2) 식의 관계로부터 체중 변화에 따른 최대 TS 값을 이용하여 최소자승법으로 회귀 직선을 구하고 각 주파수별로 어종별 변환 계수를 알아 본 결과는 Fig. 5와 같다. 두 어종 모두 체중이 증가함에 따라 최대 TS도 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었고, 조피볼락의 변환 계수는 38 kHz에서 -52.0 dB, 120 kHz에서 -52.7 dB, 200 kHz에서 -50.7 dB로 나타났다. 또한, 참돔의 변환 계수는 38 kHz에서 -50.9 dB, 120 kHz에서 -53.7 dB, 200 kHz에서 -53.3 dB로 나타나, 조피볼락과 참돔 모두 38 kHz에서 가장 크게 나타났다. 그리고 그림에서 보는 바와 같이 두 어종의 38 kHz에서는 그 상관 계수가 0.6으로 비교적 높게 나타났으며, 조피볼락과 참돔의 120 kHz, 200 kHz에서는 상관 계수가 0.3~0.5로 낮은 상관 관계를 보였다.

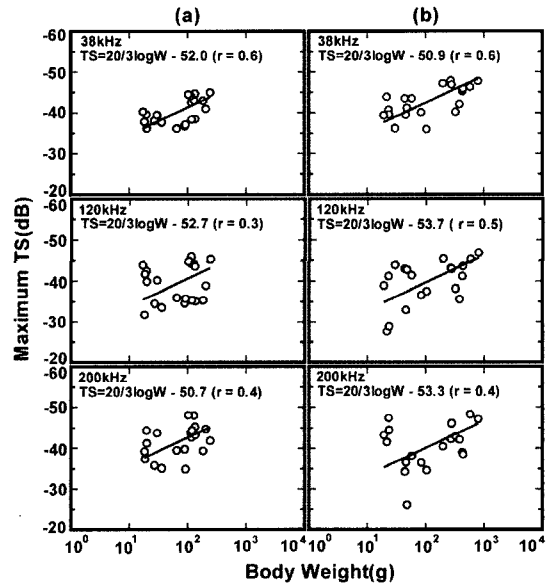


Fig. 5. Relation of body weight to maximum target strength at three various frequencies.

- (a) : Schlegel's black rockfish
- (b) : Red seabream

이상의 결과에서, 38kHz의 변환 계수가 120 kHz와 200 kHz에 비해 약 0.7~2.8dB 정도 높게 나타난 것은 전장과 최대 TS의 관계와 마찬가지로, 상대적으로 파장이 짧은 120 kHz와 200 kHz 보다 파장이 긴 38 kHz에서 초음파가 잘 반사되었기 때문이라고 생각된다.

체중 변화에 따른 평균 TS의 관계를 이용하여 각 주파수별에 따라 어종별 변환 계수를 알아본 결과는 Fig. 6과 같다. 평균 TS 역시 두 어종 모두 체중이 증가함에 따라 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었고, 조피볼락의 변환 계수는 38 kHz에서 -56.7 dB, 120 kHz에서 -61.7 dB, 200 kHz에서 -59.1 dB로 나타났으며, 참돔의 변환 계수는 38 kHz에서 -56.2 dB, 120 kHz에서 -61.0 dB, 200 kHz에서 -61.6 dB로 나타났다. 주파수별로 구한 변환 계수는 최대 TS에서와 마찬가지로 두 어종 모두 38 kHz에서 가장 크게 나타났다. 그리고 그림에서 보는 바와 같이 조피볼락의 120 kHz와 참돔의 200 kHz의 상관 계수 0.4를 제외한 다른 주파수에서는 0.5, 0.6으로 비교적 높은 상관 관계를 나타내어, 전 주파수에 걸쳐 비교적 상관 관계가 개선되었다는 것을 알 수 있었다.

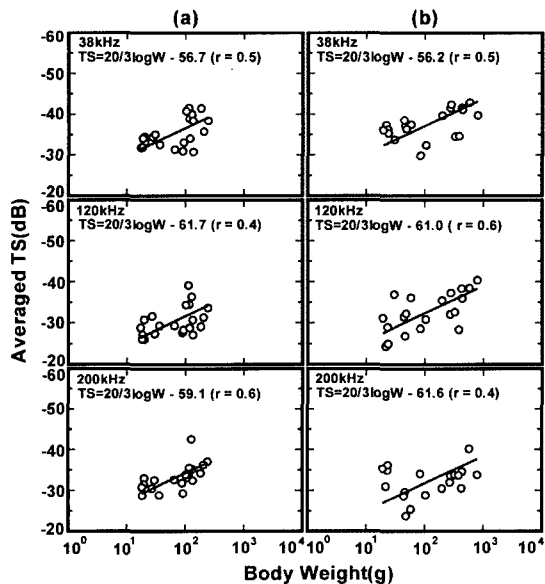


Fig. 6. Relation of body weight to mean target strength of at three various frequencies.  
 (a) : Schlegel's black rockfish  
 (b) : Red seabream

특히 저주파수인 38 kHz보다 120 kHz와 200 kHz의 상관 관계가 개선된 것은 전장과 평균 TS의 관계와 마찬가지로 지향성 패턴과 어체의 자세에 밀접한 관계가 있어, 고주파일수록 어체의 자세 변화에 따른 TS의 변화가 크다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 5와 Fig. 6을 이용하여 구한 최대와 평균의 변환 계수 차이를 Table 5에 나타내었으며, 38 kHz에서 조피볼락은 4.7 dB, 참돔은 5.3 dB, 120 kHz에서 조피볼락은 9 dB, 참돔은 7.3 dB, 그리고 200 kHz에서 조피볼락은 8.4 dB, 참돔은 8.3 dB로 나타나, 주파수가 낮은 38 kHz에서 그 차이가 적게 나타났다. 이러한 차이는 전장과 TS의 관계와 마찬가지로 저주파수인 38 kHz에서 파장이 길고 빔 폭이 넓어 TS의 변화가 작게 나타난 반면, 고주파수일수록 TS의 변화가 크게 나타난다는 것을 알 수 있었다.

Table 5. The coefficients  $B_{max}$  and  $B_{avg}$  were derived from maximum TS data and averaged TS data for the two species at three various frequencies

Species	Frequency (kHz)	$TS_{max}$ (dB)	$TS_{avg}$ (dB)	$\Delta B_g$ (dB)
Schlegel's black rockfish	38	-52.0	-56.7	4.7
	120	-52.7	-61.7	9
	200	-50.7	-59.1	8.4
Red seabream	38	-50.9	-56.2	5.3
	120	-53.7	-61.0	7.3
	200	-53.3	-61.6	8.4

( $\Delta B = B_{max} - B_{avg}$ )

### 3. 자세별 표적 강도

자세각 변화에 따른 TS의 변화를 파악하기 위하여 자유 유영 상태에서 참돔 2마리와 조피볼락 1마리를 대상으로 TS를 측정하였다. 수중 카메라로부터 구한 어체의 자세각과 그 때의 TS를 측정하여 나타낸 결과가 Fig. 7~9이다.

Fig. 7은 전장이 16.3 cm, 체중이 84.0 g인 참돔을 대상으로 횡측은 자세각 분포를, 종측은 그 때의 등 방향 TS를 나타내었으며, 자세각의 변화에 따른 등 방향 TS는 다항식 회귀 분석을 통하여 그 분포 특성을 파악하였다. Fig. 7(a)는 38 kHz

의 결과로 자세각이  $-12^{\circ} \sim 23^{\circ}$  사이에서 TS가  $-43.4 \sim -53.8 \text{ dB}$ 로 분포하였고, Fig. 7(b)는  $120 \text{ kHz}$ 의 결과로 자세각이  $-26^{\circ} \sim 19^{\circ}$  사이에서 TS가  $-43.4 \sim -57.6 \text{ dB}$ 로 분포하였다.

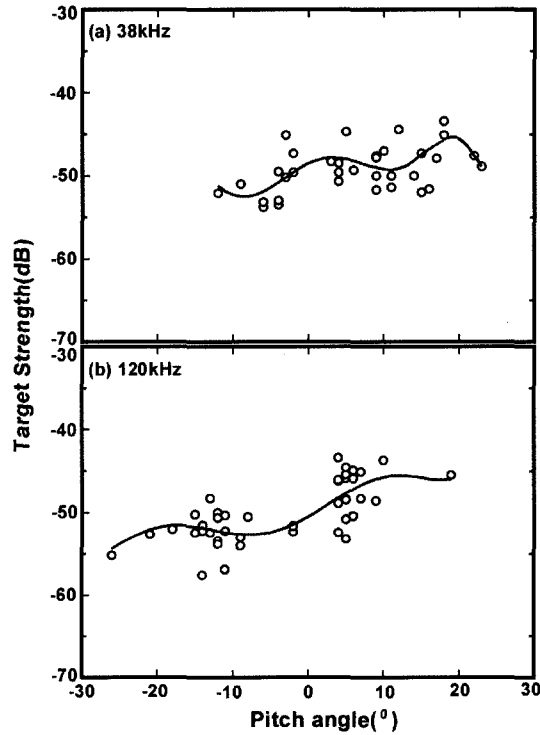


Fig. 7. Target strength of the red seabream (16.3cm, 84.0g), with a tilt angle. (+ = Head Up, - = Head Down)

Fig. 8은 전장이  $17.8 \text{ cm}$ , 체중이  $104.0 \text{ g}$ 인 참돔을 사용하였으며, Fig. 8(a)는 자세각이  $-17^{\circ} \sim 23^{\circ}$  사이에서 TS가  $-42.7 \sim -53.4 \text{ dB}$ 로 분포하였고, Fig. 8(b)는 자세각이  $-7^{\circ} \sim 25^{\circ}$  사이에서 TS가  $-42.5 \sim -54.8 \text{ dB}$ 로 분포하였다.

이상과 같이 참돔 2마리를 대상으로 하여  $38 \text{ kHz}$ 와  $120 \text{ kHz}$ 를 비교한 결과,  $38 \text{ kHz}$ 의 Fig. 7(a)와 Fig. 8(a)에서는 자세각 변화에 따른 TS 변화 폭이 비교적 적었고, Head up에서 TS가 약간 높은 경향을 나타냈다. 또한,  $120 \text{ kHz}$ 의 Fig. 7(b)와 Fig. 8(b)에서는 자세각 변화에 따른 TS 변화 폭은 약  $10 \text{ dB}$  정도로 크게 나타났으며, Head up 되었을 때의 TS는 Head down 보다 약  $3 \sim 6 \text{ dB}$  정도 높게 나타났다.

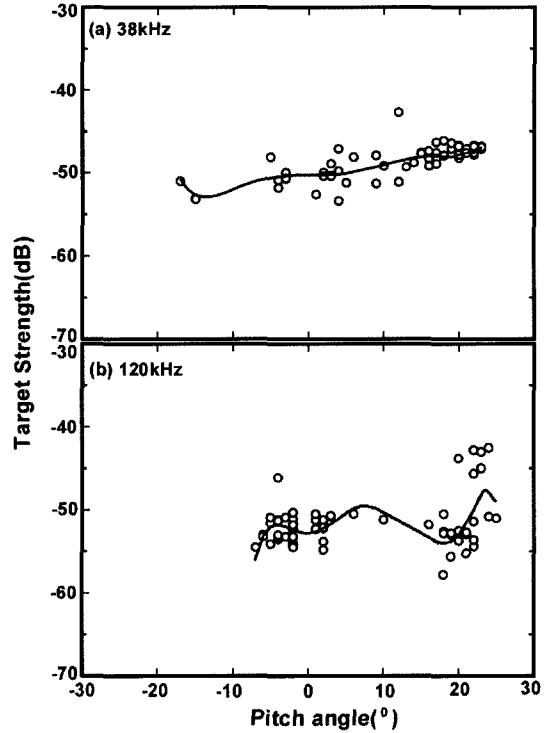


Fig. 8. Target strength of the red seabream (17.8cm, 104.0g), with a tilt angle.

Fig. 9는 전장이  $14.7 \text{ cm}$ , 체중이  $65.0 \text{ g}$ 인 조피볼락을 사용하였으며, Fig. 9(a)는 자세각이  $2^{\circ} \sim 82^{\circ}$  사이에서 TS가  $-44.9 \sim -65.5 \text{ dB}$ 로 분포하였으며, 자세각 변화에 따른 TS 변화 폭이 비교적 적었으나  $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$  사이에는  $-45.4 \text{ dB} \sim -65.5 \text{ dB}$ 로 TS 변화 폭이 크게 나타났다. 또한 Fig. 9(b)는 자세각이  $-22^{\circ} \sim 78^{\circ}$  사이에서 TS가  $-51.2 \sim -57.3 \text{ dB}$ 로 자세각에 따른 TS 자료가 적어 비교할 수 없었다.

두 어종을 대상으로 그들의 자세각에 대하여 수중 카메라로 관찰한 결과, Fig. 7~8의 참돔은 망안에서 상하 방향의 급격한 자세 변화 없이 거의 수평 방향으로 자유롭게 유평하였으며, Fig. 9의 조피볼락은 머리를 망 상부로 향하도록 하여 그 자세를 지속적으로 유지하려는 경향이 많았다. 그리고 두 어종 모두 자세각을 Head down으로 하고 있는 것보다 주로 Head up으로 하여 유평하는 모습이 많이 관찰되었다.

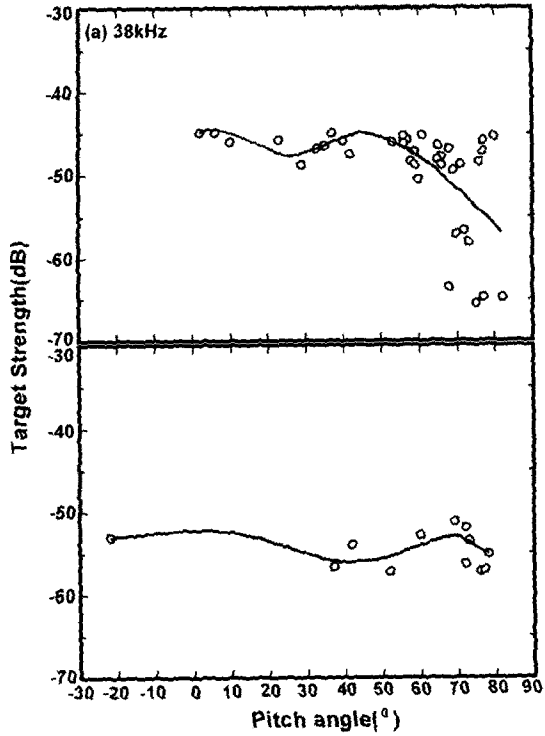


Fig. 9. Target strength of the schlegel's black rockfish(14.7cm, 65.0g), with a tilt angle.

일반적으로, 어체에 있어서 TS는 부레의 유무와 그 크기에 따라 영향을 받는다. 따라서 본 실험에 사용한 조피볼락과 참돔은 부레의 위치와 기울기를 파악하기 위하여 X-ray 사진 촬영을 행하여 나타내었다(Fig. 10~11).

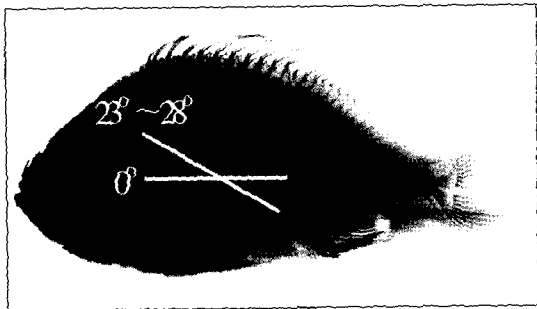


Fig. 10. X-ray photograph of the schlegel's black rockfish.

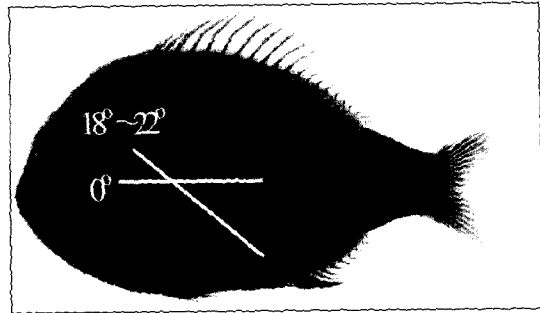


Fig. 11. X-ray photograph of the red seabream.

부레의 위치는 두 어종 모두 어체의 등뼈를 기준으로 하부에 위치하고 머리부분 쪽으로 쏠려 있는 형태를 하고 있었으며, 부레는 전장에 따라 경사각과 그 크기가 약간씩 틀렸다. 또한 조피볼락은 등뼈를 기준으로 약 23°~28°, 참돔의 경우는 약 18°~22° 아래로 경사져 있다는 것을 알 수 있었다.

초음파는 해수와 산란체 내부의 음향 임피던스의 차가 클수록 잘 반사한다. 어체의 경우에 있어서는 공기 주머니인 부레가 가장 초음파를 잘 반사하는 것으로 알려져 있으며, 따라서 부레를 가진 어류의 경우, 어체의 자세각의 변화에 따라 TS도 크게 변화하게 된다. 본 실험에서 사용한 어류인 조피볼락의 부레 경사각은 등뼈를 기준으로 약 23°~28°, 참돔의 부레 경사각은 약 18°~22° 아래로 경사져 있기 때문에, 앞에서 말한 바와 같이 어체의 자세가 머리를 약간 숙인 Head down을 하고 있을 때, 어군 탐지기의 송수신 면과 직교하여, 그 때의 부레에 의한 초음파 산란 단면적이 최대가 되어, TS가 최대가 될 것으로 생각되어진다. 그러나 본 실험의 결과에 의하면 어체의 자세각이 Head down보다 Head up에서 약 3~6 dB로 높게 나타난 것은 머리 부분의 뼈와 육질에 의한 반사로 추정되며, 향후 이에 대해서는 실험을 통한 검증이 필요하다고 생각한다.

### 요 약

우리 나라 연안에서 주로 서식하고 있는 조피볼락(Schlegel's black rockfish, *Sebastes schlegeli*)과 참돔(Red seabream, *Pagrus major*)의 자원량을 추정할 때 보다 더 정확히 추정할 수 있는 기초 자료를 얻기 위하여 in situ TS 측정법과 유



사한 환경 속에서 망과 3개의 주파수를 이용하여 어체의 크기와 자세별 및 주파수 특성에 따른 TS에 대하여 조사하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전장 ( $L$ , cm)에 따른 최대 TS 값을 이용한 조피볼락의 변환 계수 ( $A$ ) 값은 38 kHz에서 -63.7 dB, 120 kHz에서 -64.4 dB, 200 kHz에서 -62.4 dB로 나타났으며, 참돔은 38 kHz에서 -62.6 dB, 120 kHz에서 -65.4 dB, 200 kHz에서 -65.0 dB이었다. 또한, 평균 TS 값을 이용한 조피볼락의 변환 계수 값은 38 kHz에서 -68.4 dB, 120 kHz에서 -73.4 dB, 200 kHz에서 -70.8 dB로 나타났으며, 참돔은 38 kHz에서 -67.9 dB, 120 kHz에서 -72.7 dB, 200 kHz에서 -73.4 dB로 각각 나타났다.

2. 어체 1g당 최대 TS 값을 이용한 조피볼락의 변환 계수 ( $B$ ) 값은 38 kHz에서 -52.0 dB, 120 kHz에서 -52.7 dB, 200 kHz에서 -50.7 dB로 나타났으며, 참돔은 38 kHz에서 -50.9 dB, 120 kHz에서 -53.7 dB, 200 kHz에서 -53.3 dB이었다. 또한 평균 TS 값을 이용한 조피볼락의 변환 계수 값은 38 kHz에서 -56.7 dB, 120 kHz에서 -61.7 dB, 200 kHz에서 -59.1 dB로 나타났으며, 참돔은 38 kHz에서 -56.2 dB, 120 kHz에서 -61.0 dB, 200 kHz에서 -61.6 dB로 각각 나타났다.

3. 참돔 2마리를 대상으로 한 자세각 분포는  $-26^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 로 나타났으며, 그 때의 주파수에 따른 자세별 표적 강도는 38 kHz에서 변화 폭이 비교적 적었으며, 120 kHz에서는 Head down 되었을 때 보다 Head up 되었을 때 3~6 dB 정도 높게 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. Foote, K. G.(1980) : Importance of the Swimbladder in acoustic scattering by fish : A comparison of gadoid and mackerel target strengths, J. Acoust. Soc. Am. 67(6), 2084~2089.
2. Foote, K. G.(1985) : Rather-high-frequency sound scattering by swimbladdered fish, J. Acoust. Soc. Am. 78(2), 688~700.
3. Mukai, T. and Iida, K.(1995) : Depth dependence of target strength of live kokanee salmon in accordance with Boyle' law, ICES J. marine science 53(2), 245~248.
4. Mukai, T. and Iida, K.(1995) : Diurnal Variation of Encaged Fish Echoes, and Estimation of Fish Tilt Angle Distribution, Bull. Fisheries Science Soc. Jap. 61(4), 647~652.
5. 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, 日本水産學會誌 59(9), 1515~1525.
6. 向井徹・佐野典達・飯田浩二・佐々木成二(1994) : 東シナ海で漁獲された魚の背方ターゲットストレングスと鰾との關係, 日本水産學會誌 60(2), 215~222.
7. 신형호・윤갑동・박해훈(1989) : 이스라엘잉어 *Cyprinus carpio*의 體長, 體重別 超音波 標的強度에 관한 研究, 漁業技術 25(4), 191~199.
8. 황두진・신형일・이대재(1990) : 송어, 도다리, 쥐노래미의 超音波 反射強度에 관한 研究, 漁業技術 26(1), 34~44.
9. Foote, K. G., Aglen, A. and Nakken, O.(1986) : Measurement of fish target strength with a split-beam echo sounder, J. Acoust. Soc. Am. 80(2), 612~621.
10. Foote, K. G.(1987) : Fish target strength for use in echo integrator surveys, J. Acoust. Soc. Am. 82(3), 981~987.
11. Clay, A. and Castonguay, M.(1996) : In situ target strength of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) in the Northwest Atlantic, J. Fish. Aquat. Sci. Can. 53, 87~98.
12. Nielsen, J. R. and Lundgren, B.(1999) : Hydroacoustic ex situ target strength measurements on juvenile cod (*Gadus morhua* L.), ICES J. Marine Science 56(5), 627~639.
13. Love, R. H.(1977) : Target Strength of an individual fish at any aspect, J. Acoust. Soc. Am. 62, 1397~1403.
14. McCartney, B. S. and Stubbs, A. R.(1971) : Measurement of target strength of fish in dorsal aspect, including swimbladder resonance, J. Sound Vib. 15, 397~420.
15. Foote, K. G.(1980) : Averaging of fish

- target strength functions, J. Acoustic. Soc. Am. 67(2), 508~514.
16. Kohji, I., T. Mukai and Hwang, D. J. (1998) : Acoustic Backscattering Characteristics of Swimbladderred Juvenile Fish Derived from Cage Experiments, Bull. Fisheries Science. Soc. Jap. 64(6), 929~934.
  17. MacLennan, D. N.(1990) : Acoustical measurement of fish abundance, J. Acoust. Soc. Am. 87(1), 1~15.
  18. 李昊在(1991) : 魚群探知機에 의한 魚群量推定에 관한 基礎的 研究-I, 漁業技術 27(1), 1~12.
  19. 李昊在(1991) : 魚群探知機에 의한 魚群量推定에 관한 基礎的 研究-II, 漁業技術 27(1), 13~20.
  20. 辛亨鎰 · 李昊在 · 尹甲東 · 梁龍林 · 黃斗溱 (1991) : 魚體의 超音波 散亂 特性에 관한 研究, 漁業技術 27(1), 21~30.
  21. 飯田浩二(1994) : 音響資源調査法の基礎, 日本水産學會誌 60(6), 791~792.
  22. 官野鼻洋一(1994) : 魚의 音響散亂特性: 鰾의 影響, 日本水産學會誌 60(6), 795~796.