

## 옥돔과 자리돔의 등방향 반사강도에 관한 연구

김 승 필 · 안 장 영 · 오 성 우 · 최 찬 문  
제주대학교 해양과학대학

### Studies on Dorsal Aspect Target Strength of Horse-head Fish (*Branchiostegus japonicus*) and Demoiselles (*Chromis notata*)

Seung-Pil Kim, Jang-Young Ahn, Sung-Woo Oh and Chan-Moon Choi  
College of Ocean Sciences, Cheju National University, Cheju-do 690-756, Korea

The experiment was carried out measurement of the dorsal aspect target strength of two species. they were Horse-head fish which are caught in the East China and South Sea of Korea, and Demoiselles which are caught around the Cheju Island. The relation between the target strength and a parameter such as swimming pitch angle, total length, body weight, and the form of swimming bladder, was inspected.

The results were following.

1. Swimming pitch angle distribution of Horse-head fish and Demoiselles that showed maximum target strength was  $3^{\circ} \sim 9^{\circ}$ ,  $9^{\circ} \sim 16^{\circ}$  head turning down direction from the equilibrium shape respectively.
2. The formula refers to the average target strength on total length(L:cm) of Horse-head fish and Demoiselles.

$$\text{Horse-head fish : TS} = -75.94 + 20 \cdot \log L$$

$$\text{Demoiselles : TS} = -71.85 + 20 \cdot \log L$$

3. The formula refers to the average target strength on body weight(W:g) of Horse-head fish and Demoiselles.

$$\text{Horse-head fish : TS} = -63.26 + 20/3 \cdot \log W$$

$$\text{Demoiselles : TS} = -60.44 + 20/3 \cdot \log W$$

4. The slop angle of swimming bladder of Horse-head fish and Demoiselles was  $9^{\circ}$ ,  $18^{\circ}$  respectively.

It is consistent with the swimming pitch angle when the fish shows the maximum target strength.

**Key words** : dorsal aspect, target strength, horse-head fish, demoiselles, bladder

### 서 론

최근의 해양에서의 유용수산생물은 산업의 발달과 더불어 급격하게 감소되어 가고 있어서 이에 각 해양

인접국가에서는 수산자원의 관리 유지에 심혈을 기울이고 있다.

수산자원의 관리는 관리하고자 하는 해역의 자원을 신속하고 정확히 조사·평가하는 것이 무엇보다 중요

한데, 여기에는 어류플랑크톤조사법, 트롤조사법, 음향조사법 등이 많이 이용된다. 이들 조사법중에서 짧은 시간에 광범위한 해역을 동시성 있게 평가하고 현존자원에도 피해를 주지 않는 것은 계량어군탐지기에 의한 음향조사법이다. 그런데 유럽 등에서는 같이 대부분 단일 어종으로 어군이 형성되고 있는 해역에서는 자원량 추정에 효율적인 이용이 가능하나, 우리나라와 아열대 지방에서 처럼 여러 어종이 혼재하여 있는 해역에서는 어종 판별에 많은 어려움이 있고 자원량 추정에도 문제가 있어 이에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

계량어군탐지기를 이용한 자원량의 추정에 관한 연구로는, 후 등(1991)의 어체에 대한 초음파 산란 특성에 관한 연구, 向井 등(1993)이 동중국해에서 어획된 물고기의 등방향 반사강도와 부레와의 관계에 대하여 연구하였으며, 이 등(1995)은 음향에 의한 어족 생물의 자원 조사를 실시하여 보고한 바 있다. 특히 Foote(1980)는 물고기의 부레 유무와 반사강도와의 관계를 연구하여 어체의 음향 산란에 부레의 기여도가 대단히 높은 것을 보고한 바 있다. 그러나 제주에서 많이 어획되는 옥돔과 자리돔에 대한 어체의 반사강도는 물론 음향학적인 자원 조사에 관한 보고는 없다.

이 연구는 제주도를 중심으로 한 우리나라 남해안 및 동중국해에서 많이 어획되는 옥돔과 자리돔의 등방향에 대한 반사강도를 측정하여, 계량어군탐지기에 의한 자원량조사의 기초자료를 제공할 목적으로 유영 자세에 따른 반사강도, 체장 및 체중과 반사강도와의 관계, 부레의 형태가 반사강도에 미치는 영향등을 조사·분석하였다.

## 재료 및 방법

### 송수파기 교정

어군탐지기와 같은 수중 음향기에 의하여 어체의 반사강도를 측정하기 위해서는 센서에 해당되는 송수파기의 정도가 대단히 중요하다. 따라서, 측정전에 송수파기의 교정을 행하였는데 수중청음기와 표준구에 의한 교정법중 표준구에 의한 교정법으로 교정에 사

용한 표준구는 Simrad사에서 제작된 직경 23mm의 황동구로서 그 반사강도는 각각 -40.6dB이었는데, 이 값을 이론치로 하였다. 실험에 사용된 송수파기로서 황동구의 반사강도의 측정은 Fig. 1에서와 같이 음측에서 1m의 거리에 황동구를 설치하고 신호발생기에서 발생된 주파수 200kHz, 전압 3V<sub>p-p</sub>, 펄스폭 0.1ms의 음파를 전력증폭기에서 전압 150V<sub>p-p</sub>로 증폭시켜 송수신절환장치를 통하여 송수파기에서 송신하였다. 송신된 음파는 송수파기로부터 음측선상의 수평거리 1m에 있는 표준구에서 반사되어 되돌아오게 되며, 이 음파를 송수파기로 다시 수신하여 송수신절환장치, 전치증폭기, 대역필터, RMS변환기, A/D 보-드를 통하여 개인용 컴퓨터에 입력시켜 입력 전압을 측정·저장하였다. 저장된 전압은 다음의 (1-1)식과 같은 소오나 방정식에 의하여 표준구의 반사강도를 계산하였다.

$$TS = EL - SL + 2TL - SR - GR \quad (1-1)$$

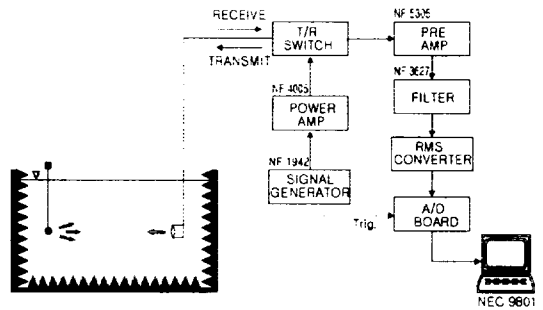


Fig. 1. Block diagram for measurement of target strength of standard sphere with the transducer.

### 실험어의 반사강도 측정

실험에 사용된 실험어는 옥돔과 자리돔으로 옥돔은 서귀포 연안 30해리 부근에서 주남으로 어획된 5마리, 자리돔은 가파도 부근 연안에서 들망으로 어획된 4마리로서, 전장과 체중별로 다양하게 선택되도록 하였으며 선택된 실험어의 크기는 Table 1과 같다. 이 실험어들은 실험전에는 냉동실(-10°C)에 보관하였다가 실험을 시작하기 약 2시간 전부터 자연적인 상태

Table 1. The sizes of experimental fishes for measurement of target strength

Species	Type	Total length (cm)	Bodylength (cm)	Bodyheight (cm)	Bodywidth (cm)	Bodyweight (g)
Horse-head fish	A	28.0	23.5	7.0	3.0	270
	B	26.0	21.5	6.5	2.9	215
	C	25.5	21.0	5.5	2.8	210
	D	24.0	20.5	6.0	2.6	170
	E	22.5	18.5	5.7	2.5	140
Demoiselles	F	14.5	11.5	6.0	2.6	70
	G	14.0	11.0	5.5	2.1	50
	H	12.1	9.5	4.3	2.0	30
	I	10.0	7.8	3.4	2.0	20

에서 해동시커 실험을 행하였다.

해동된 실험어들에 대한 등방향 반사강도 측정은 Fig. 1에서 교정구 대신에 Table 1의 실험어를 넣어 교정구의 반사강도를 측정하는 동일한 방법으로 행하였으며, 그 구성도는 Fig. 2와 같다. 여기서 실험어가 해중에서 유영 수심을 이동할 경우, 등수심 방향에서 상하 45° 이상의 자세로 이동하는 경우가 적으므로 반사강도의 측정도 상하 45°의 자세까지 행하였으며, 수조에서의 실험은 실험어의 등지느러미가 송수파기를 향하도록 하여서 송수파기의 음축 방향을 기준으로 좌우 45°까지 1° 간격으로 실험어를 회전시키면서 반사강도를 측정하였다. 수조속에서 실험어의 수평방향 회전은 실험어를 고정된 H자형틀의 위쪽에 연결된 지름 200mm의 방위판을 회전시켜 행하였으며, 회전 완료 후 실험어의 흔들림 방지를 위해 3분~5분 경과 후에 측정하였다. 실험어는 등지느러미가 송수파기 음축 방향으로 향하도록 고정하기 위하여 H자형틀에 나일론 텍스 0.5mm로 실험어 머리 방향 양쪽과 꼬리 방향 양쪽의 4곳을 고정하였고, 실험어의 흔들림을 방지하기 위하여 실험어의 아래쪽에는 가는 스테인레스 봉으로 만든 직사각형의 추를 달았다.

실험어의 반사강도 계산은 표준구의 반사강도의 계산법과 같이 (1-1)식에 의해 구하였으며, 이렇게 구하여진 반사강도와 실험어의 체장으로써 실험어의 체장에 대한 반사강도를 계산할 수 있는 회귀식을 (1-2)식에 의하여 최소자승법으로 구하였다.

$$TS = A + 20 \log L \quad (1-2)$$

단, L : 실험어의 체장(cm)

A : 실험어의 단위 체장에 대한 반사강도

또한, 실험어의 체중에 대한 반사강도의 회귀식은 측정하여 얻어진 실험어의 반사강도 및 체중으로 (1-3)식에 의하여 최소자승법으로 구하였다.

$$TS = B + 20/3 \log W \quad (1-3)$$

$$L = kW / 3 \quad (1-4)$$

단, W : 실험어의 체중(g)

B : 실험어 단위체중에 대한 반사강도

k : 실험어의 체장과 체중사이의 상수

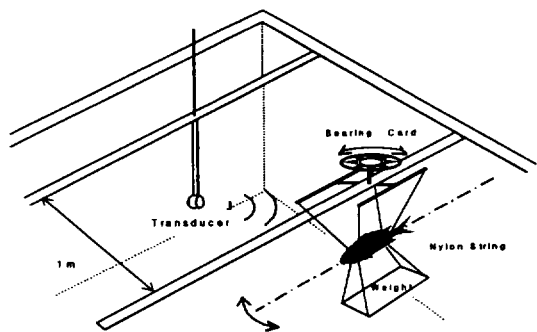


Fig. 2. Schematic diagram of target strength measuring system.

### 실험어의 부레 특성

실험어의 반사강도에 대한 부레의 영향을 조사하기

위하여 체장이 각각 220mm 및 140mm인 옥돔과 자리돔을 대상으로 X-ray 촬영을 행하였다. X-ray 촬영은 soft X-ray System(Hitex, HA-100)를 사용하였으며, 촬영 결과에 의한 부레의 경사도( $\theta_{SB}$ ), 부레 길이(SBL), 부레 높이(SBH) 등을 실험어의 전장(TL)과 부레 길이의 비, 실험어의 체고(BH)와 부레 높이의 비로서 向井 등(1993)의 분석방법으로 분석을 행하였다.

또한 자리돔인 경우 크기가 비슷한 전장 130mm~140mm인 6마리를 선택하여 부레의 형태 및 크기를 X-ray 촬영하여 조사하였다.

## 결 과

### 실험어의 반사강도

주파수 200kHz용 송수파기를 사용하여 실험어인 옥돔과 자리돔의 반사강도를 측정하여 전장별로 자세에 따른 반사강도를 나타낸 결과는 각각 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다. Fig. 3에서 옥돔의 반사강도는, 전장 280mm, 260mm, 255mm, 240mm, 225mm 일때 최대

반사강도를 나타내는 Pitch angle은 각각 -8° 에서 -37.4dB, -3° 에서 -39.2dB, -9° 에서 -36.9dB, -6° 에서 -38.9dB, -4° 에서 -41.2dB이었다. Fig. 4에서 자리돔의 반사강도는, 전장 145mm, 140mm, 121mm, 100mm 일 때 최대반사강도를 나타내는 Pitch angle은 각각 -16° 에서 -40.8dB, -15° 에서 -41.1dB, -9° 에서 -43.9dB, -12° 에서 -42.4dB, -11° 에서 -42.9dB이었다.

이상에서 실험어의 최대반사강도가 옥돔은 -3° ~ -9° 일때 -39.2 ~ -36.9dB이었으며, 자리돔은 -9° ~ -16° 일때 -42.9 ~ -40.8dB이었다.

Fig. 5는 Fig. 3과 Fig. 4의 옥돔(A)과 자리돔(B)의 각 실험어에 대한 반사강도를 유명 자세별로 평균값을 나타내고 있다. Fig. 4에서 자세에 따른 어체의 반사강도는 옥돔인 경우는 머리가 하 방향으로 9° 기울었을 때가 최대로서 -38.70dB이었고, 자리돔인 경우는 머리가 하 방향으로 12° 기울었을 때로서 -41.56dB의 최대반사강도를 나타내었다.

Fig. 6과 Fig. 7은, 옥돔과 자리돔에 대한 체장에 따른 반사강도와 체중에 따른 반사강도를 나타내고 있으며, 실험어의 체장 및 체중이 증가함에 따라 반사강도도 증가하고 있다.

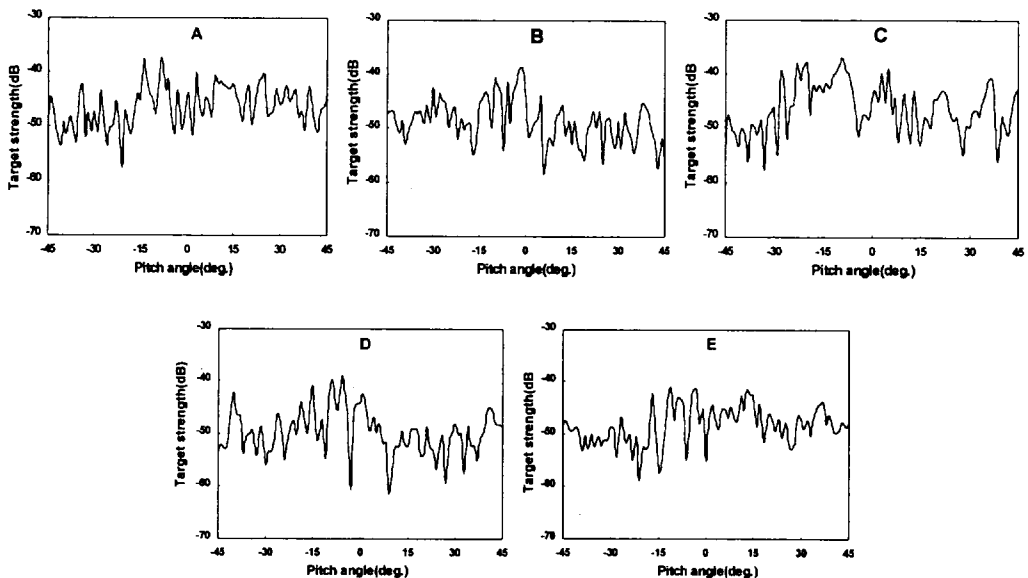


Fig. 3. Scatter diagram of dorsal aspect target strength on total length at horse-head fish.

옥돔과 자리돔의 등방향 반사강도에 관한 연구

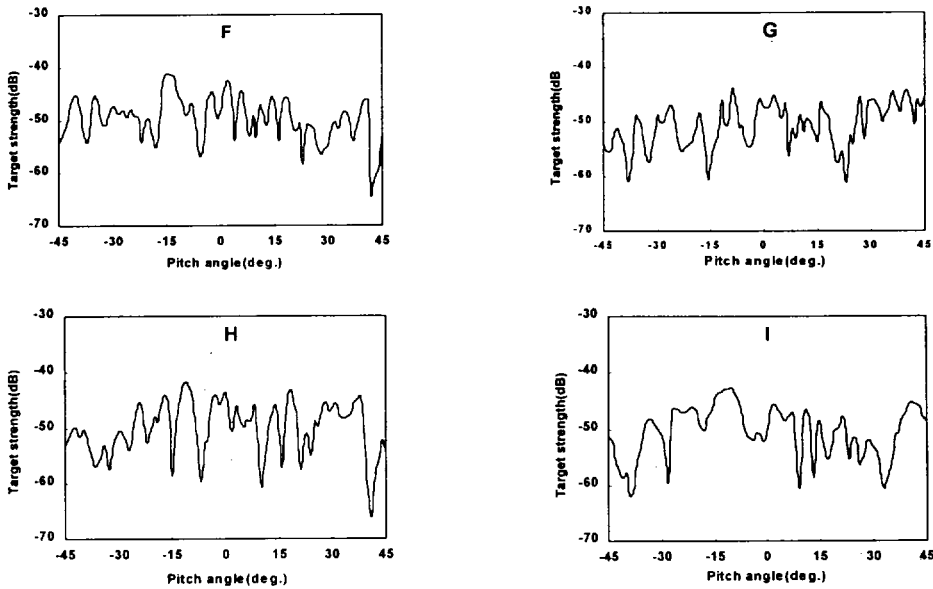


Fig. 4. Scatter diagram of dorsal aspect target strength on total length at demoiselles.

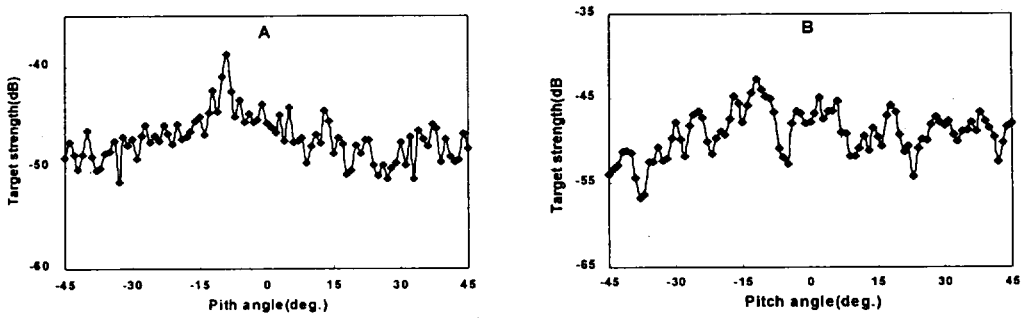


Fig. 5. Scatter diagram of average dorsal aspect target strength on total length at Horse-head fish(A) and Demoiselles(B).

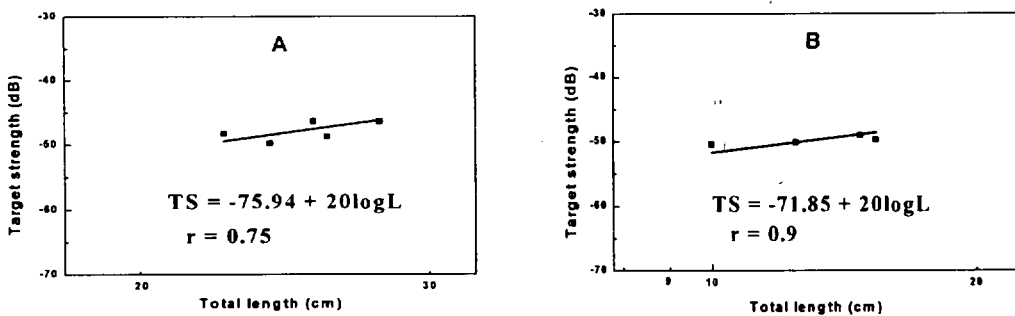


Fig. 6. Scattering diagram of average dorsal aspect target strength on total length.  
(A : Horse-head fish B : Demoiselles)

Fig. 6에서 최대 등방향 반사강도로써 최소자승법으로 구한 옥돔의 체장에 따른 반사강도의 회귀식은  $TS = -75.94 + 20 \cdot \log L$  이었으며, 회귀직선에 대한 상관계수는 0.75이었다. 자리돔에 대하여 체장에 따른 반사강도의 회귀식은  $TS = -71.85 + 20 \cdot \log L$  이었으며, 회귀직선에 대한 상관계수는 0.90로서 상관성이 높은 편이었다.

Fig. 7에서 최대 등방향 반사강도로써 최소자승법으로 구한 옥돔의 체중에 따른 반사강도의 회귀식은  $TS = -63.26 + 20/3 \cdot \log W$  이었으며, 회귀직선에 대한 상관계수는 0.77이었다. 자리돔에 대하여 체중에 따른 반사강도의 회귀식은  $TS = -60.44 + 20/3 \cdot \log W$  이었으며, 회귀직선에 대한 상관계수는 0.85이었다.

실험어의 부레 특성

부레가 실험어의 반사강도에 미치는 영향을 규명하기 위하여, 실험어인 옥돔(A)과 자리돔(B)에 대한 X-ray 촬영을 실시하였는데 그 일예를 Fig. 8에 나타냈다. 그리고 이 사진에서 촬영한 부레의 길이, 부레의 높이, 부레의 경사각을 구하고 실험어의 체장과 부레길이의 비, 실험어의 체고와 부레높이의 비 등을 구한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 실험어의 머리와 꼬리의 길이 방향에 대한 부레의 경사각이 옥돔은 9°, 자리돔은 18°로 나타났다. 실험어의 전장에 대한 부레길이의 비는 옥돔은 0.30, 자리돔은 0.16이었으며, 또한 실험어의 체고에 대한 부레높이의 비는 옥돔이 0.3, 자리돔이 0.2로 옥돔과 자리돔이 서로 비슷한 값을 나타내었다. 따라서 양쪽 값이 비슷하다는 것은 부레 형상이 비교적 어체의 체형과 비슷하기 때문이라고 볼 수가 있다.

Fig. 9는 크기가 거의 같은 자리돔 6마리를 택하여 X-ray 촬영한 사진이다. Fig. 9에서 실험어의 크기는 거의 같지만 부레의 모양이 여러 형태임을 보여주고 있으며, 이에 따라 실험어의 반사강도도 상당한 영향을 받을 수 있음을 간접적으로 보여주고 있다.

고찰

계량어군탐지기에 의하여 자원량 추정시에 이용되는 실험어의 반사강도는 일반적으로 어체의 형상 및 내부조직에 의하여 음향 산란한다고 한다. 이 논문에서 실험어의 최대반사강도는 등방향으로 본 유영자세로 볼 때, 수평방향에서 옥돔인 경우는 머리가 하방향으로 3~9° 내려갔을 때, 그리고 자리돔의 경우는

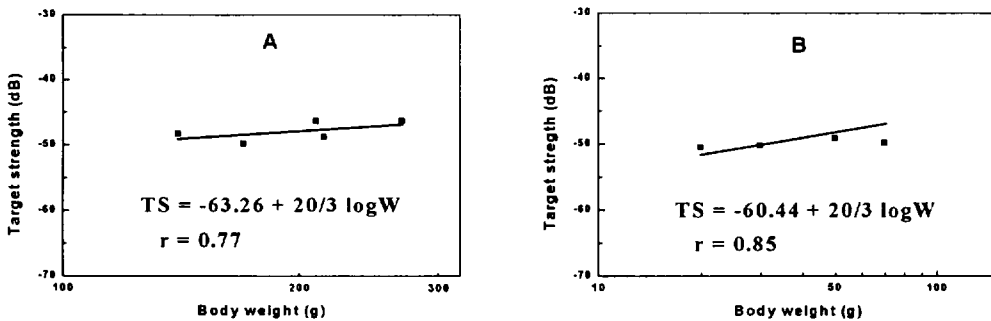
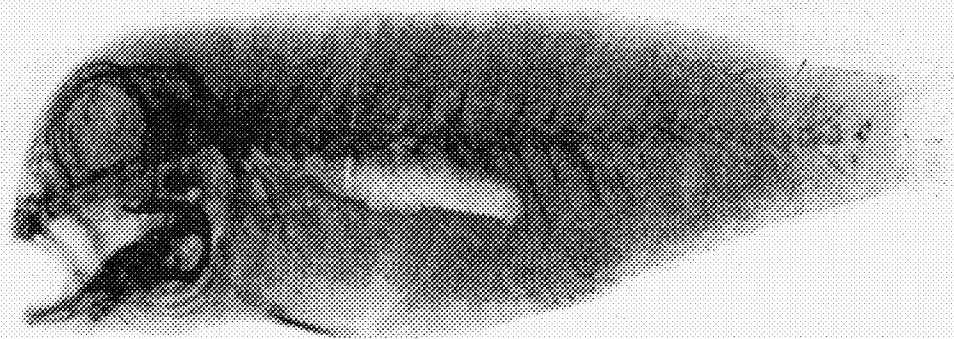


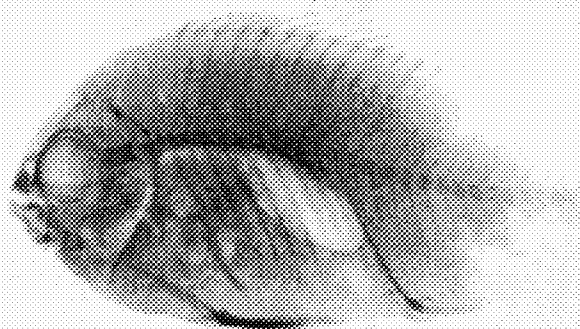
Fig. 7. Scattering diagram of average dorsal aspect target strength on body weight. (A : Horse-head fish B : Demoiselles)

Table 2. Ratio of total length and swimming bladder(Horse-head fish and Demoiselles)

Species	TL (cm)	BH (cm)	BWi (cm)	BW (g)	$\theta_{SB}$ (°)	SBL (cm)	SBH (cm)	SBL/TL	SBH/BH
Horse-head fish	22.5	5.7	2.5	140	9	6.9	0.9	0.3	0.16
Demoiselles	14.0	5.5	2.5	50	18	4.2	1.1	0.3	0.20



(A)



(B)

Fig. 8. X-ray photograph of Horse-head fish (A) and Demoiselles(B).

머리가 하방향으로 9~16° 내려갔을 때 최대 반사강도를 나타내었다. 이것은 向井 등(1993), 古澤(1990), 糞(1995), 우 등(1991)이 머리가 하방향으로 약간 내려갔을 때 최대 반사강도를 나타낸다는 보고와 일치하고 있으며 또한 Foote(1980)는 일반적으로 어체의 반사강도에 대한 부레의 기여도가 90~95%에 이른다는 보고에서도 알 수 있다. 부레의 형상을 살펴보면, 육동의 부레 경사도는 9°, 자리돔은 18°로서 각 실험어의 반사강도가 부레의 길이 방향에 수직 방향 부근에서 최대 반사강도를 나타냄을 알 수 있으며, 向井 등(1993), 糞(1995)등도 이와 같은 분석의 보고를 한 바 있다. 따라서, 부레는 위나 생식선의 외

알 등 여러 요인에 따라 크기나 형상이 미소하게 변화하여, 어체의 반사강도는 반사강도를 측정할 시기 및 시간 중에 따른 물고기의 생리학적 변화나 물고기의 행동에 따라 변화한다고 向井 등(1993), 古澤(1990) 등에 의하여 보고되고 있다. 그러나, 자리돔인 경우 크기가 비슷한 개체 6개를 선택하여 X-ray 촬영을 한 결과, 각 개체마다 부레의 형상이나 크기가 여러 요인에 의하여 차이를 보여 주고 있어서, 채광과 채증이 증가하면 반사강도도 증가해야 하는 일반적인 현상과는 달리 채광과 채증이 증가해도 반사강도가 뚜렷하게 증가하지 않거나, 어체의 유영 자세에 따라 반사강도가 예측할 수 없는 경우도 충분히 있을

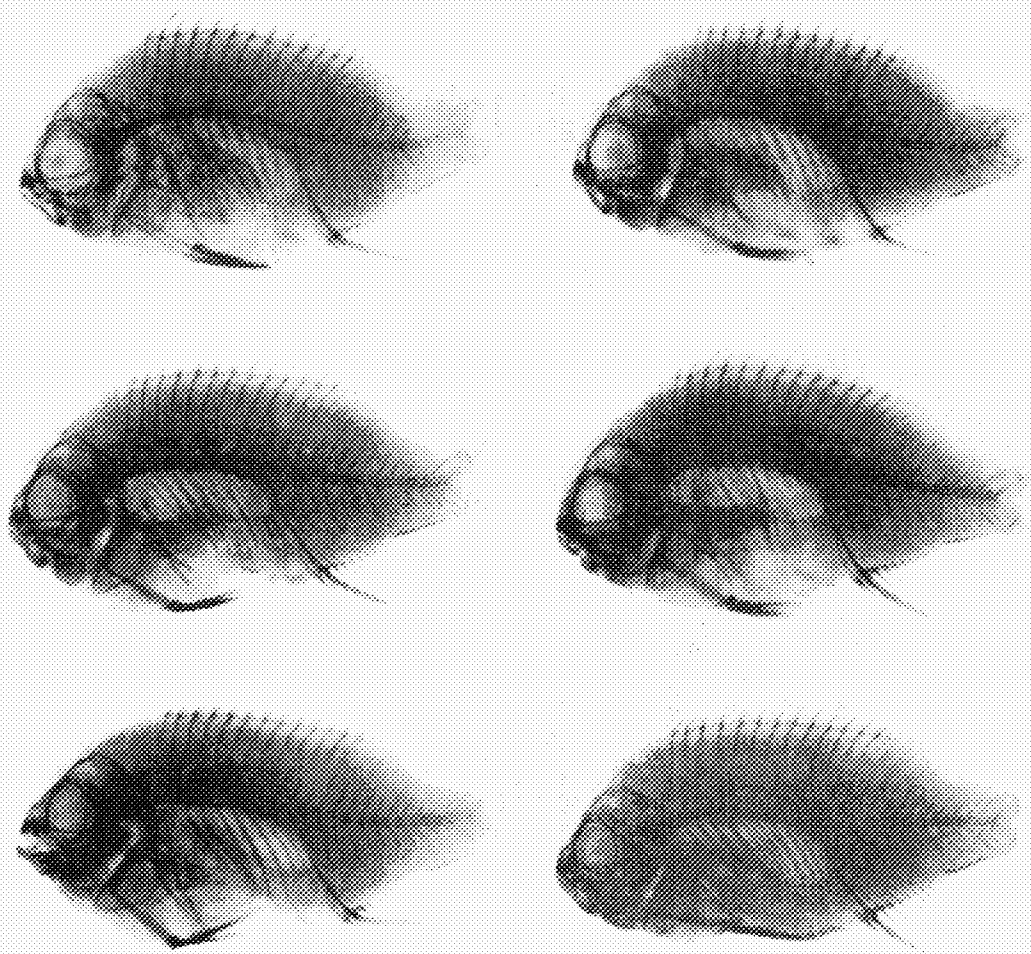


Fig. 9. X-ray photographs of demoiselles.

수 있는 것을 암시하고 있다.

자리돔인 경우 부레를 검사하기 위하여 채부하여 온 결과 내부에 미정숙란을 많이 가지고 있었는데, 자리돔은 6-8월이 제주도 주변에서의 주 어획 시기인 동시에 산란 시기이므로 산란 전후의 반사강도가 상당히 차이가 있을 것으로 본다.

특히 이번 실험에서 자원량 추정시 이용되는 어획의 반사강도에 있어서 부레의 영향 및 체형의 변화가 반사강도에 많은 영향을 미치고 있어서 이의 변화에 대한 반사강도의 변화를 어떻게 유용 적절히 가미할 수 있을 것인가가 차후의 과제로 남는다.

## 요 약

제주도를 중심으로 한 우리나라 남해안 및 동중국해에서 많이 어획되는 옥동 5마리와 자리돔 4마리의 등방향에 대한 반사강도를 측정하여, 유영 자세와 반사강도의 관계, 체장 및 체중과 반사강도, 부레의 형태가 반사강도에 미치는 영향을 조사하고, 그 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 주파수 20kHz를 송수파기에 의한 옥동과 자리돔의 유영 자세별 최대 반사강도 범위는 옥동은 머리가 하방향으로 3-5° 기울었을 때이고, 자리



돔은 머리가 하방향으로 9~16° 기울었을 때였다. 이들 실험어의 최대반사강도가 나오는 평균 유평 자세는, 옥돔은 -9° 에서이고, 자리돔은 -12° 이었다.

2. 각 실험어의 전장에 따른 어체의 평균반사강도를 나타내는 식은,

$$\text{옥돔} : TS = -75.94 + 20 \cdot \log L$$

$$\text{자리돔} : TS = -71.85 + 20 \cdot \log L \text{ 이다.}$$

3. 각 실험어의 체중에 따른 어체의 평균반사강도를 나타내는 식은,

$$\text{옥돔} : TS = -63.26 + 20/3 \cdot \log W$$

$$\text{자리돔} : TS = -60.44 + 20/3 \cdot \log W \text{ 이다.}$$

4. 부레의 형상을 측정 한 결과, 옥돔의 부레 경사도는 약 9°, 자리돔의 부레경사도는 약 18° 로서, 실험어의 반사강도가 최대로 나타나는 유평자세와 거의 일치하였다.

### 참고문헌

- K. G. Foote, 1980. Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish : a comparison of gadoid and mackerel target strengths. J.acoust. soc.am 67, 2084~2089.
- Urlick, R. J(土屋 明 譯), 1985. 水中音響의 原理. 公立出版社, 2~12.

古澤昌彦, 1990. 水産資源量推定のための超音波による魚群探知機による研究. 日本水産工學研究報告, 11, 173~249.

申亨鎔·李吳在·尹申東·梁龍林·黃斗榛, 1991. 魚體의 超音波 散亂特性에 관한 研究. 漁業技術學會誌, 27(1), 21~30.

李吳在, 1991. 魚群探知機에 의한 魚群量推定에 관한 基礎的 研究-I, II. 漁業技術學會誌, 27(1), 1~12.

李吳在·申亨鎔·辛炳浩, 1995. 音響에 의한 魚族生物의 資源調査. 漁業技術學會誌, 31(2), 142~152.

日本水産工學研究所, 1984. 國內·國外의 TS測定値一覽表 - 音響資源調査の基本パラメータとしての TS の手引. 1~10, 105~113.

海洋水産資源開發センター, 1985. 水産音響學(水産資源推定の理論と實體). 65~75.

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. 日本水産學工學會誌, 59(9), 1515~1525.

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魚の背方向ターゲットストレングスと鰾との關係. 日本水産學工學會誌, 60(2), 215~222.

黃斗榛, 1995. 音響を利用いた底魚資源量の推定に関する基礎的研究. 北海道大學 水産學部 學位論文, 14~27.