

# 승어, 도다리, 쥐노래미의 超音波 反射強度에 관한 研究

黃斗濂 · 辛亨鎔 · 李昊在

釜山水產大學

(1990년 1월 15일 접수)

## Target Strength for the *Mugil Cephalus*, *Pleuronichthys Cornutus* and *Hexagrammos Otakii*

Doo-Jin HWANG, Hyeong-II SHIN and Dae-Jae Lee

National Fisheries University of Pusan

(Received January 15, 1990)

This paper describe on the target strengths for the dorsal and the side aspects of swim-bladdered fishes, Mullet *Mugil cephalus*, Flounder *Pleuronichthys cornutus* and Rock trout *Hexagrammos otakii* two frequencies of 50KHz and 200KHz in the experimental water tank in order to improve the biomass estimation by the scientific fish finder.

The results obtained are as follows :

1. The average of maximum target strength normalized by squared total length in *cm* unit are almost ranging from -70.9 *dB* to -66.8 *dB* regardless of species or frequencies.
2. The average of maximum target strength normalized by two-thirds squard body weight in *g* unit are almost ranging from -57.1 *dB* to -54.1 *dB* regardless of species or frequencies.
3. In comparison with target strength for 50KHz and 200KHz the former is more strong than the latter.

### 緒 論

최근 漁業資源量을 정밀하게 추정하기 위하여 많이 이용되고 있는 科學魚群探知機는 기본적으로 魚群에 반사된 超音波 에너지가 개체의 分布密度에 비례해서 선형적으로 증가할 것이라는 가정을 바탕으로 魚群量을 추정하고 있다.

그러나 실제의 경우 魚體의 超音波 反射特性은 魚種, 周波數, 魚體가 游泳할 때의 姿勢등에 따라 크게 변동하기 때문에 정확한 魚群量을 추정하기는 어려운 실정이다.

이러한 점을 해결하기 위한 研究로서는 Nakken<sup>1)</sup> 등의 魚體의 TS 測定에 관한 研究, Foote<sup>2)</sup>의 標的強度에 있어서 부레의 중요성, Miyano-hana<sup>3)</sup> 등의 游泳姿勢를 가정한 魚體의 등방향의 TS 측정에 관한 研究, 신<sup>4)</sup> 등의 이스라엘어의 長, 體重別 超音波 標的強度에 관한 研究등이 있으나 韓國 沿岸에서 많이 어획되는 어류에 대한 이 같은 研究는 거의 없다.

本 研究는 50KHz, 200KHz용 科學魚群探知機로서 韓國 沿岸에서 많이 어획되고 있는 승어 *Mugil cephalus*, 도다리 *Pleuronichthys cornutus*, 쥐노래미 *Hexagrammos otakii*의 資源量을 추정

할 때 보다 정밀하게 추정할 수 있는 기초자료를 제공하기 위하여 이들 어류에 대한 體長別, 體重別, 魚體의 姿勢別 超音波 反射特性에 대하여 檢討·分析하였다.

材料 및 方法

1. 供試魚

本 實驗에 사용한 供試魚는 송어의 경우, 全長 19.5~45cm, 體重 60~600g, 53마리를 사용하였고, 쥐노래미는 全長 16.5~31.5cm, 體重 40~420g, 33마리 도다리는 全長 13~31.5cm, 體重 20~320g, 33마리를 사용하였다.

Table 1. Specification of the experimented fishes

Species	Total Length (cm)	Weight (g)	Number of fishes
<i>Mugil cephalus</i>	15~20	60	5
	21~25	60~150	18
	26~30	150~250	11
	31~35	260~350	10
	36~40	370~525	9
<i>Hexagrammos otakii</i>	15~20	40~90	10
	21~25	100~200	13
	26~30	210~300	8
	31~35	420	2
<i>Pleuronichthys cornutus</i>	10~15	20~50	9
	16~20	50~120	18
	21~25	120~150	2
	26~30	150~350	4
Sum			119

2. 裝置

實驗水槽(L300×W300×H200 cm)는 Fig. 1과 같이 水槽內部를 관찰할 수 있도록 水槽壁에 투명 유리창(L30×W60 cm)을 부착한 콘크리트水槽였고, 淡水를 넣어 水深이 190cm되도록 하였으며, 水溫은 14°C~15°C였다.

振動子는 Fig. 1과 같이 實驗水槽의 한쪽 벽 중앙에 설치하고, 遠距離 音場領域이 되도록 振動子の 送受信面으로 부터 약 1.5m 떨어져게 하였으며, 수심 1m 지점에 놓았다.

供試魚는 海水에서 산 상태로 보관하였다가 實驗直前에 延髓를 바늘로 찔러 순간적으로 腦死

시켰으며, Fig. 2와 같이 供試魚의 입과 꼬리지느러미 그리고 등지느러미에 직경 0.2mm 모노 필라멘트로 묶고, 60g의 추를 사용하여 水平狀態를 유지하도록 하여 回轉裝置에 고정시켰다.

送受信 裝置의 系統圖는 Fig. 3과 같으며, 먼저 50KHz의 持續波를 信號發生機에서 발생시켜 Trigger에 인가하여 펄스폭 0.2ms, 펄스주기 35ms인 펄스신호로 변환시킨 후 電力增幅機에 입력시켜 餘振電壓이 450 Vp-p가 되도록 증폭하여 振動子를 통하여 送信하였고, 200KHz도 역시 50KHz에서와 같이 동일한 방법으로 送信하였다.

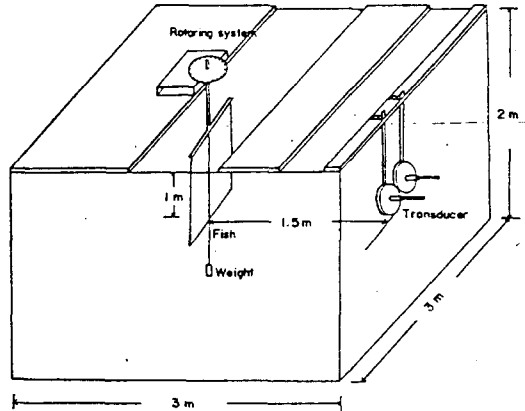


Fig. 1. Arrangement of the experimented set-up in water tank.

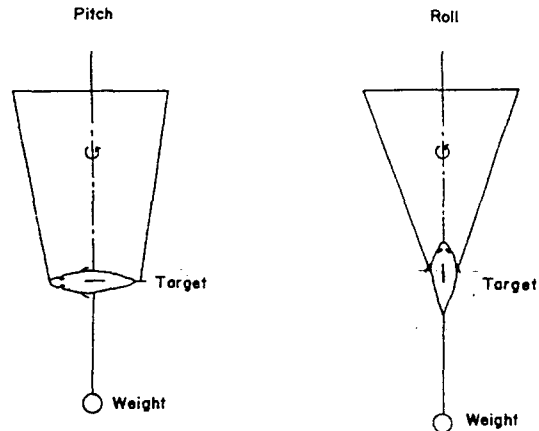


Fig. 2. Pose of the target fish in two aspects towards the transducers.

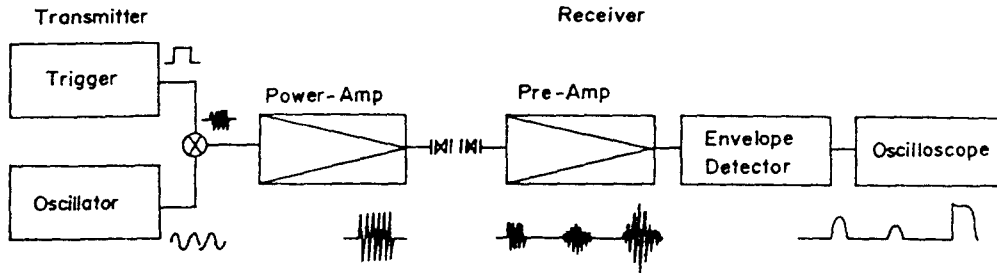


Fig. 3. Block diagram of the experimented set-up.

受信은 受信振動子에서 受信한 反射波를 전치 증폭기로 증폭시킨후, 검파부에서 포락선이 되도록 검파하여 오실로스코프에 나타내었다.

### 3. 測定方法

供試魚에 대한 反射強度는 魚體의 姿勢를 Pitching 방향과 Rolling 方向으로 나누어 0°부터 180°까지 회전시키면서 측정하였으며, Pitching 방향은 머리로 부터 꼬리까지, Rolling 방향은 왼쪽에서 오른쪽으로 각각 1°간격씩 측정하였다.

魚體의 部位別 反射強度는 ±15°, ±30°, ±45°, ±60°, ±90°의 각도 범위로 구분하여 각각의 평균값을 魚體의 姿勢別 反射強度로 하였다.

魚體의 標的強度는 일반적으로 단위거리 1m에 있는 완전고체구(基準球)에서 반사되는 信號의 電壓과 目標物과의 相對電壓比로서 魚體의 標的強度를 측정하나 本 實驗에서는 거리 1.5m에서 實驗하였으므로 이에 대한 距離補正을 (1)식과 같이 행하였다.

$$TS_{ref} = TS_1 - 40 \text{Log } 1.5 \dots\dots\dots(1)$$

단,  $TS_{ref}$ : 임의의 거리에서의 標的強度

$TS_1$ : 단위거리에서 標的強度

한편, 基準球을 이용한 魚體의 標的強度는 동일 조건에서 魚群探知機의 送受信機에서 감지되는 음원의 출력에 대한 基準球과의 相對電壓比와 그때의 基準球 標的強度를 가감하여 측정한다.

따라서 임의의 거리에 있는 魚體의 標的強度  $TS_{fish}$ 는 식(1)에 의한 基準球의 標的強度를 구하여 식(2)로써 산출하였다.

$$TS_{fish} = 20 \text{Log}(V_{fish}/V_{ref}) + TS_{ref} \dots\dots\dots(2)$$

단,  $TS_{fish}$ : 임의의 거리에서 魚體의 標的強度

$V_{fish}$ : 임의의 거리에서 魚體의 測定電壓

$V_{ref}$ : 임의의 거리에서 基準球의 測定電壓

## 結果 및 考察

### 1. 供試魚의 全方向 超音波 放射特性

供試魚로 사용한 송어 *Mugil cephalus*(全長 31.5cm, 體重 270g), 도다리 *Pleuronichthys cornutus*(全長 18.0cm, 體重 120g), 쥐노래미 *Hexagrammos otakii*(全長 23.5cm, 體重 60g)에 대한 50KHz와 200KHz에 있어서 魚體의 姿勢別(Pitching, Rolling) 全方向 超音波 放射特性은 다음과 같다.

#### (1) 魚體의 Pitching 姿勢에서의 全方向의 超音波 放射特性

魚體의 등방향을 振動子の 垂直面에 대하여 Pitching 방향으로 0°부터 180°까지 1°간격으로 회전시켜 超音波 反射強度를 측정한 結果는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 50KHz와 200KHz의 2周波數에 대한 供試魚의 超音波 放射特性은 대체로 魚體의 등방향 즉 60°~120°사이에서 큰 경향을 나타내었다.

이와 같은 原因은 超音波散亂反射面積이 큰 部位일 뿐만아니라 音波의 主反射源이 되는 부레가 있기 때문인 것으로 생각된다.

또한, 同一魚體에 있어서 50KHz쪽은 비교적 둔한 곡선 형태로 나타난 반면 200KHz쪽은 예

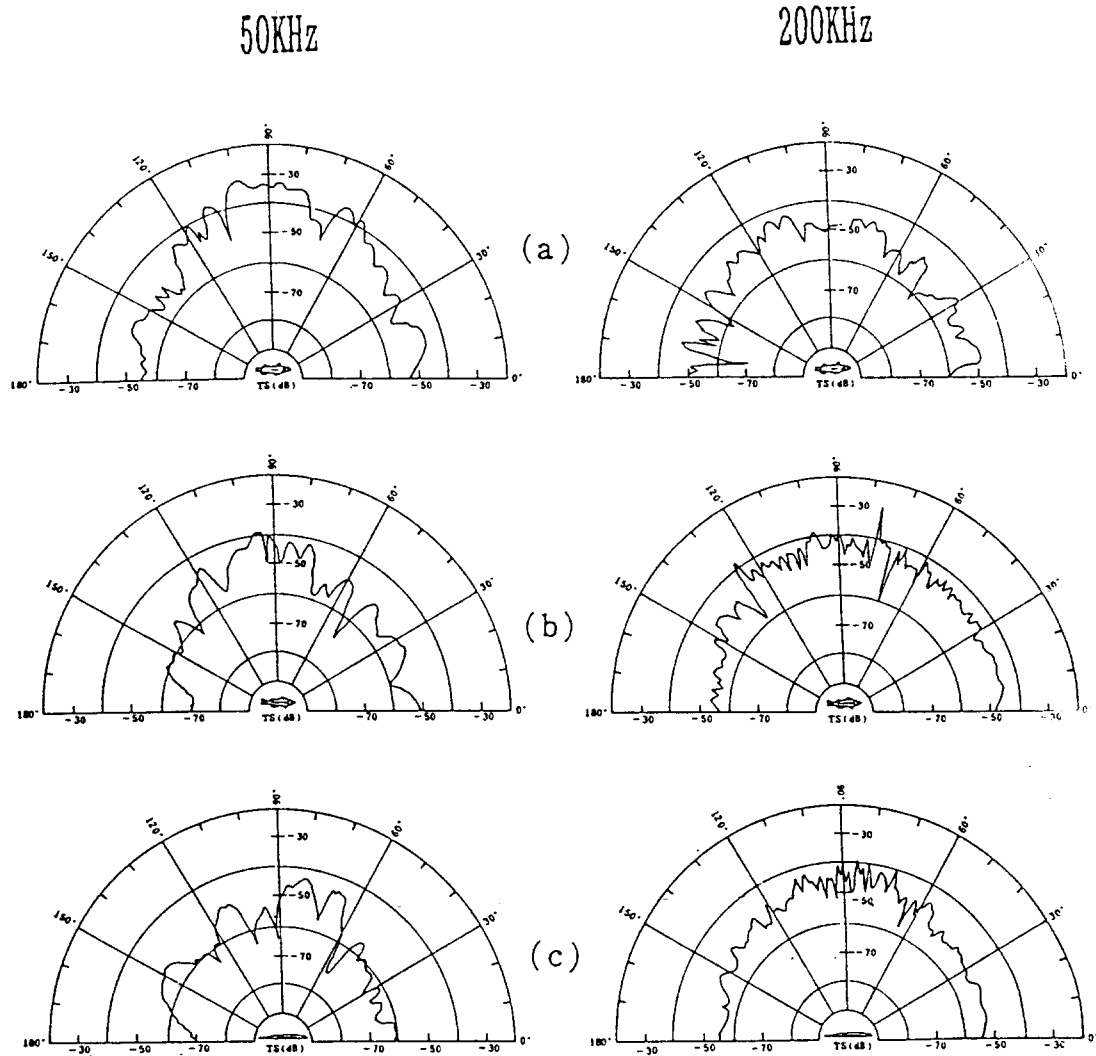


Fig. 4. Ultrasonic back-scattering polar diagram of the experimented fish in accordance with two frequencies 50KHz and 200KHz in pitching pose.

(a): *Mugil cephalus*, (b): *Hexagrammos otakii*, (c): *Pleuronichthys cornutus*.

리한 곡선 형태로 변화가 심한 경향을 나타내었다.

이러한 현상은 50KHz보다는 200KHz가 波長이 짧고 分解能이 좋아 예리한 指向性을 가졌기 때문이라 생각된다.

(2) 魚體의 Rolling 姿勢에서의 全方向

超音波 反射特性

魚體의 왼쪽 측면을 0°로 하여 오른쪽 측면가

지 1° 간격으로 180° 회전시켜 魚體의 Rolling 姿勢에서의 超音波 反射强度를 측정 한 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서와 같이 50KHz에서 승어는 80°~100°, 도다리 70°~110°에서 反射强度가 크게 나타났으나, 쥐노래미의 경우는 21°, 60°, 99°, 130°에서 크게 나타났다.

200KHz에서 승어는 85°~95°, 도다리는 70°~90°에서 反射强度가 크게 나타났고, 쥐노래미

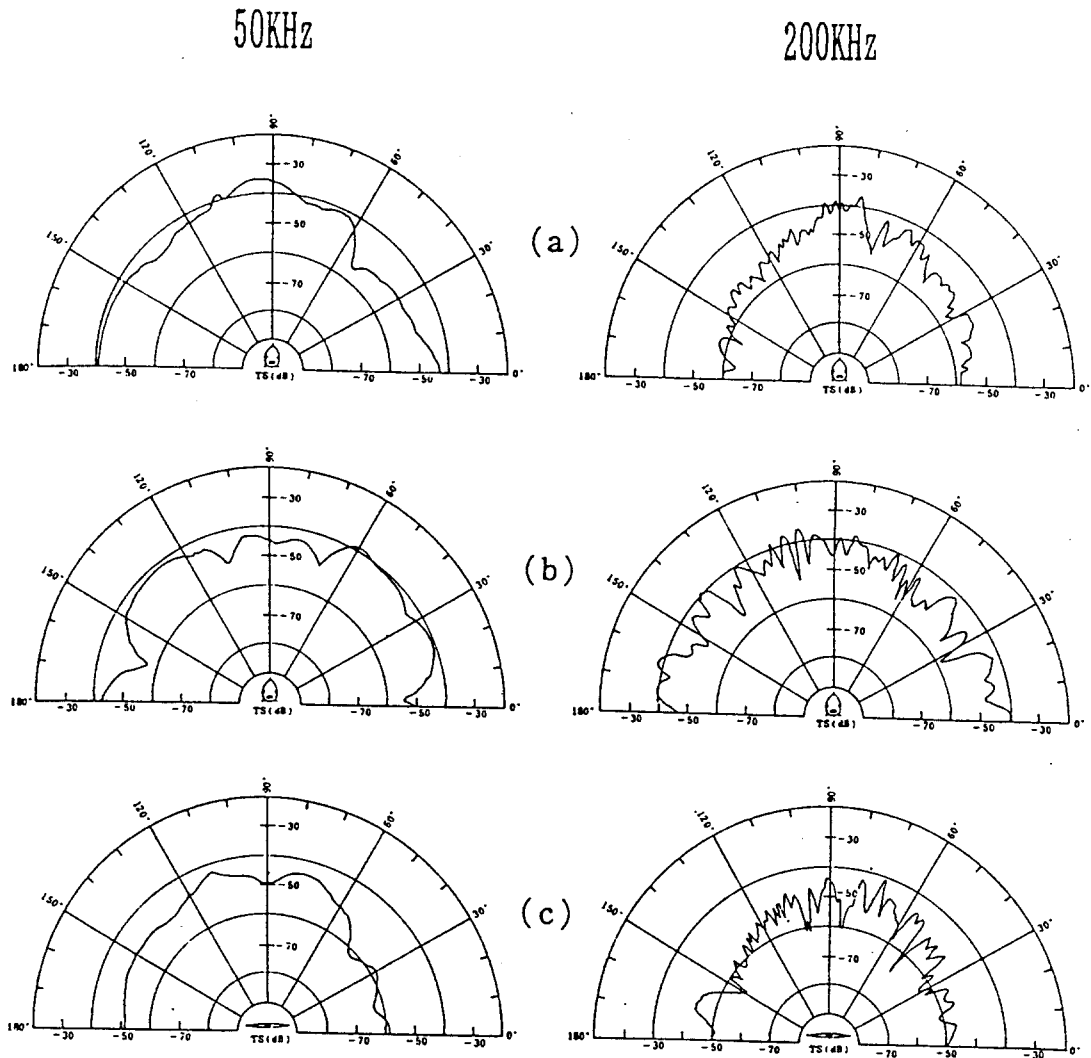


Fig. 5. Ultrasonic back-scattering polar diagram of the experimented fish in accordance with two frequencies 50KHz and 200KHz in rolling pose.

(a): *Mugil cephalus*, (b): *Hexagrammos otakii*, (c): *Pleuronichthys cornutus*.

는 全方向에 대하여 비슷한 경향을 나타내었다.

또한, 同一魚體에 있어서 50KHz쪽은 비교적 단순한 곡선의 형태로 나타난 반면 200KHz쪽은 예리한 곡선 형태로 변화가 심한 경향을 나타내었다.

이러한 原因은 Pitching 방향에 있어서의 反射特性和 같이 魚體의 부레 위치와 使用周波數의 波長에 관계된다고 생각된다.

## 2. 50KHz에서의 魚體의 超音波 反射特性

### (1) 全長別 超音波 反射特性

科學魚群探知機에서는 全長에 대한 일반식을 魚體의 超音波 反射強度가 全長の 제곱에 비례한다는 가정하에 식(3)과 같이 變換係數 A만을 미지수로 하여 일정한 값을 대입하여 資源量을

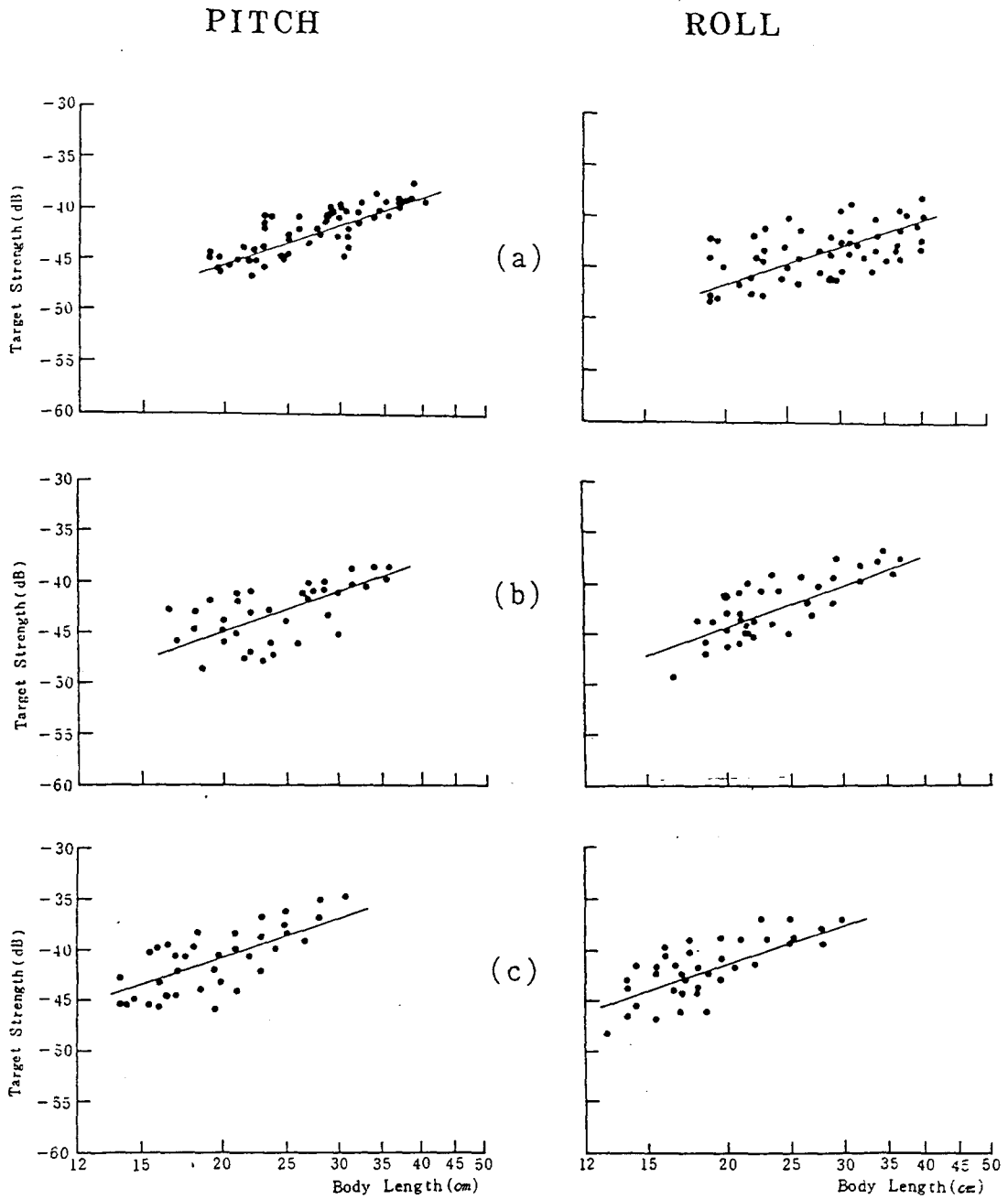


Fig. 6. Comparison between the target strengths for the body length by the species of fish in the pitching and the rolling pose in case of 50KHz.  
(a): *Mugil cephalus*, (b): *Hexagrammos otakii*, (c): *Pleuronichthys cornutus*.

평가한다.

$$TS = 20 \log L + A \dots\dots\dots(3)$$

단,  $L$  : 魚體의 全長(cm)

Fig. 6은 供試魚의 Pitching 방향에 대해 머리부터 꼬리까지, Rolling 방향에 대해 왼쪽 측면으로부터 오른쪽 측면까지 1°간격으로 회전시켜 振動子의 垂直面에 대해 魚體의 등방향을 角度別로  $\pm 15^\circ$ ,  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$ ,  $\pm 90^\circ$ 로 나누어, 측정된 超音波 反射強度중 그 평균값이 가장 큰 것만을 골라 魚種別로 나타낸 것이다.

Fig. 6에서 Pitching 방향으로 회전하였을 경우 資源量추정에 關건이 되는 變換係數 A값은 도다리 -66.8dB, 쥐노래미 -69.8dB, 송어 -70.9dB 순으로 나타났고, Rolling 방향으로 회전하였을 경우, 도다리 -68.7dB, 쥐노래미 -69.8dB, 송어 -72.4dB 순으로 나타났다.

따라서, 供試魚인 도다리, 쥐노래미, 송어의 資源量을 科學魚群探知機로써 추정할 경우 50 KHz에서는 全長別 變換係數 A에 이들 값을 대입하여 추정하는 것이 더욱 정도를 높힐 수 있으리라 생각된다.

(2) 體重別 超音波 反射特性

科學魚群探知機에서의 體重에 대한 일반식을 魚體의 超音波 反射強度가 體重의 2/3승에 비례한다는 가정하에 식(4)와 같이 變換係數 B만을 미지수로 하여 일정한 값을 대입하여 資源量을 평가한다.

$$TS = 6.7 \log W + B \dots\dots\dots(4)$$

단,  $W$  : 魚體의 體重(g)

Fig. 7에서 Pitching 방향으로 회전하였을 경우 體重別 變換係數 B값은 도다리 -54.1dB, 쥐노래미 -56.8dB, 송어 -57.7dB 순으로 나타났으며, Rolling 방향으로 회전하였을 경우는 도다리 -55.7dB, 쥐노래미 -56.9dB, 송어 -58.6dB 순으로 나타났다.

따라서, 供試魚인 도다리, 쥐노래미, 송어의 資源量을 體重을 기준하여 科學魚群探知機로써 추정할 경우, 50 KHz에서는 體重別 變換係數 B에 이들 값을 대입하여 추정하는 것이 더욱 정도를 높힐 수 있으리라 생각된다.

3. 200KHz에서의 魚體의 超音波 反射特性

(1) 全長別 超音波 反射特性

Fig. 8은  $\pm 15^\circ \sim \pm 90^\circ$ 범위에 대한 200KHz에서의 超音波 反射強度중 그 평균값이 가장 큰 것만을 골라 魚種別로 나타낸 것이다.

Fig. 8에서 全長別 反射強度는 全長이 클수록 높은 경향을 나타내었으며, Pitching 방향으로 회전하였을 경우 全長別 變換係數 A는 도다리 -71.6dB, 쥐노래미 -71.9dB, 송어 -74.1dB 순으로 나타났고, Rolling 방향으로 회전하였을 경우는 도다리 -72.1dB, 쥐노래미 -72.3dB, 송어 -72.9dB 순으로 나타났다.

따라서, 200KHz 科學魚群探知機로써 도다리, 쥐노래미, 송어의 資源量을 全長을 기준하여 추정할 경우 이들 값을 이용하여 추정하는 것이 더욱 정도를 높힐 수 있으리라 생각된다.

(2) 體重別 超音波 反射特性

Fig. 9는  $\pm 15^\circ \sim \pm 90^\circ$ 범위에 대한 200KHz에서의 超音波 反射強度중 그 평균값이 큰 것만을 골라 魚種別로 나타낸 것이다.

Fig. 9에서 體重別 超音波 反射強度는 體重在 무거울수록 높은 경향을 나타내었으며, Pitching 방향으로 회전하였을 경우 變換係數 B값은 도다리 -58.8dB, 쥐노래미 -59.1dB, 송어 -60.2dB 순이었고, Rolling 방향으로 회전하였을 경우 송어 -59.0dB, 도다리 -59.1dB, 쥐노래미 -59.5dB 순으로 나타났다.

따라서, 200KHz 科學魚群探知機로써 도다리, 쥐노래미, 송어의 資源量을 體重을 기준하여 추정할 경우 이들 값을 이용하여 추정하는 것이 더욱 정도를 높힐 수 있으리라 생각된다.

4. 魚種別, 周波數別, 姿勢別 超音波 反射特性 比較

송어, 쥐노래미, 도다리에 대한 魚體의 姿勢別, 魚種別, 周波數別로 全長別 變換係數 A값의 最大值와 體重別 變換係數 B값의 最大值는 Table 2와 같다.

Table 2에서 姿勢別로는 3魚種이 대체로  $\pm 15^\circ$

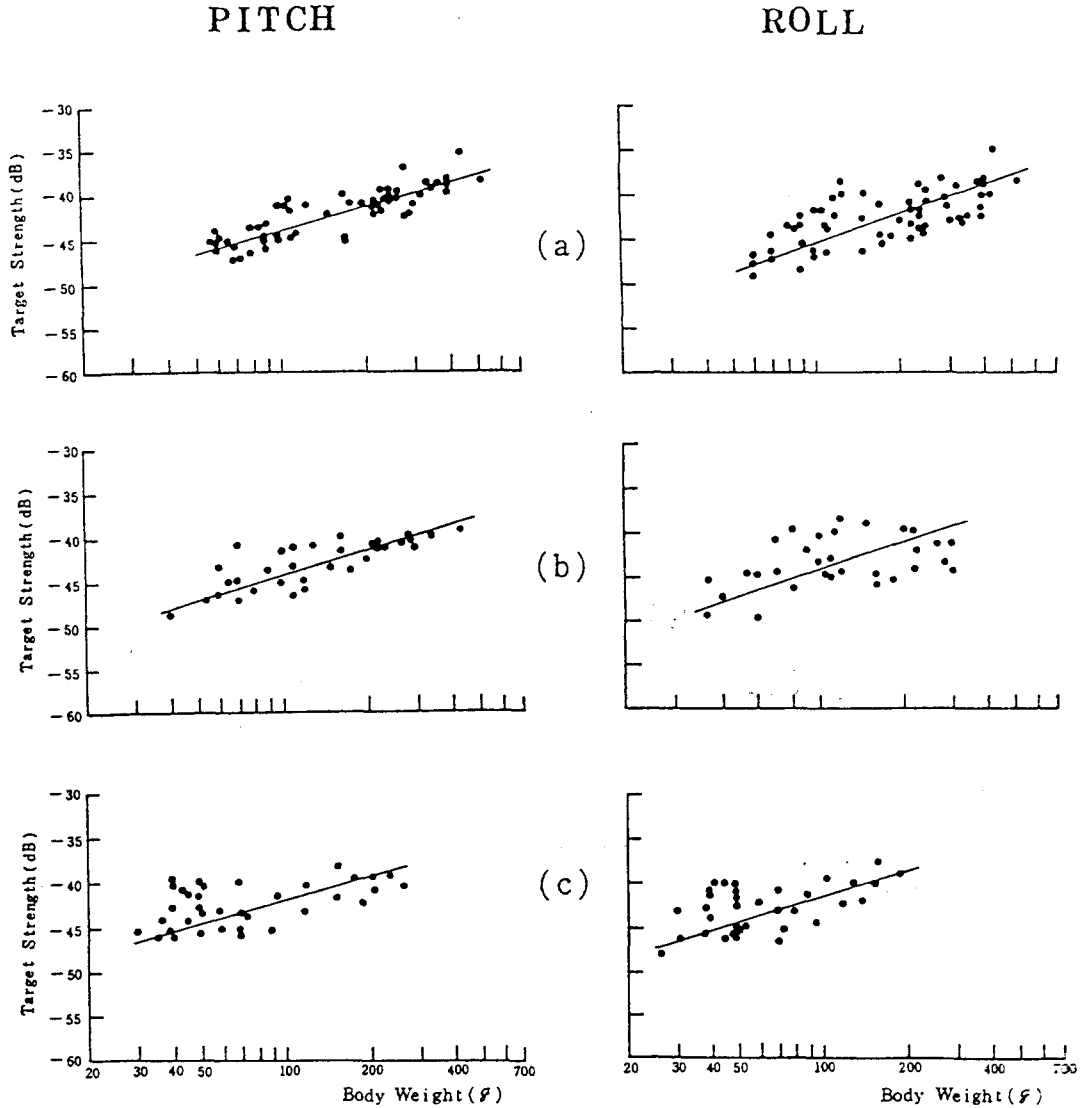


Fig. 7. Comparison between the target strengths for the body length by the species of fish in the pitching and the rolling pose in case of 50KHz.

(a) : *Mugil cephalus*, (b) : *Hexagrammos otakii*, (c) : *Pleuronichthys cornutus*.

범위로 평균하여 구한 값이 最大值였으나, 쥐노래미의 Rolling에 있어서 全長別 變換係數 A값이 50KHz에서  $\pm 90^\circ$ , 200KHz에서  $\pm 30^\circ$ 에서 最大值를, 體重別 變換係數 B값은 50KHz와 200KHz 모두  $\pm 30^\circ$ 에서 最大值를 나타내었다.

魚種別로는 도다리, 쥐노래미, 송어의 순으로 크게 나타났으며, 周波數 比較에서는 200KHz보

다 50KHz쪽이 모두 큰 경향을 나타내었다.

따라서, 科學魚群探知機를 이용하여 도다리, 쥐노래미, 송어의 資源量을 추정할 때에는 魚體의 姿勢와 魚類의 形態 및 使用周波數를 고려하여 추정하여야만 資源量의 정도를 높힐 수 있을을 알 수 있었다.



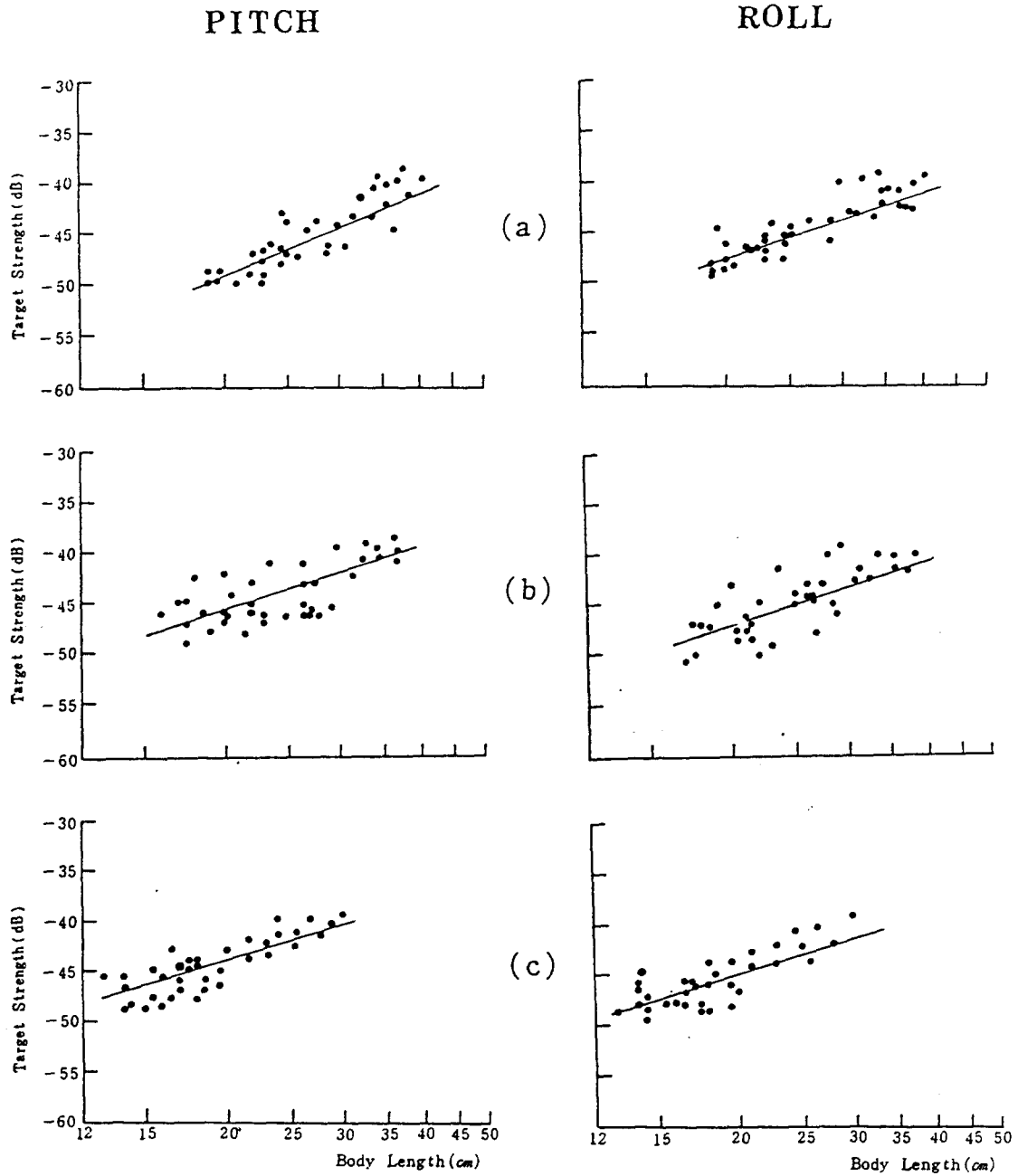


Fig. 8. Comparison between the target strengths for the body length by the species of fish in the pitching and the rolling pose in case of 200KHz.

(a) : *Mugil cephalus*, (b) : *Hexagrammos otakii*, (c) : *Pleuronichthys cornutus*.

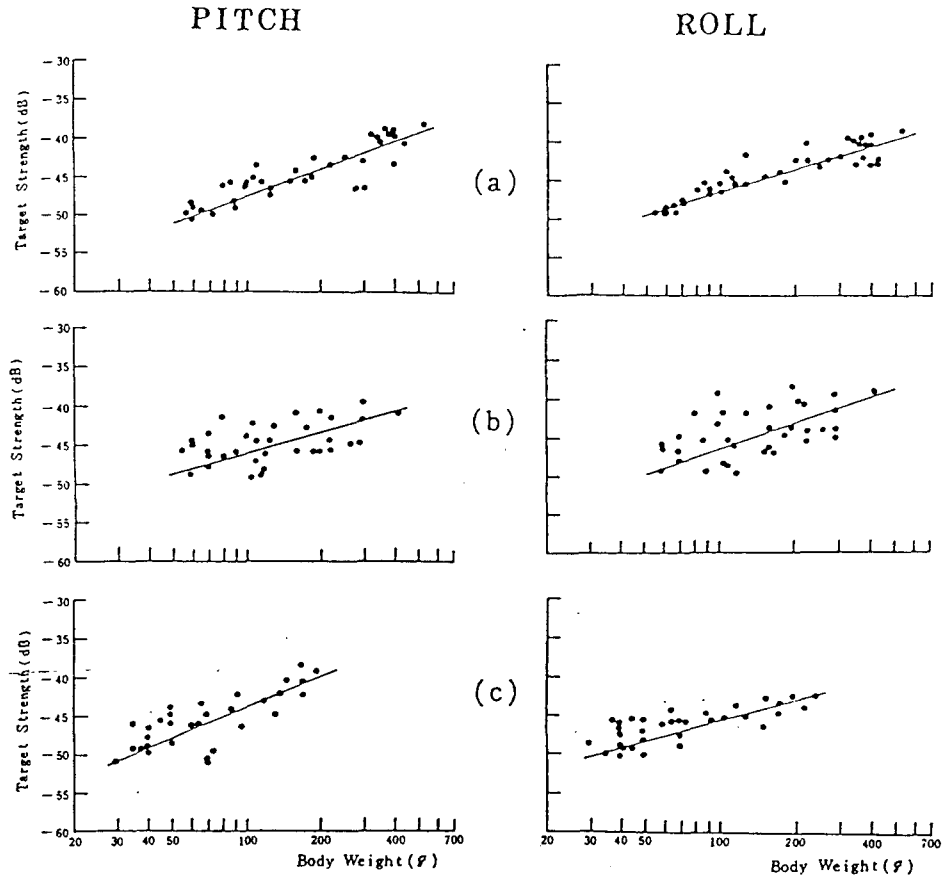


Fig. 9. Comparison between the target strengths for the body length by the species of fish in the pitching and the rolling pose in case of 200KHz.

(a): *Mugil cephalus*, (b): *Hexagrammos otakii*, (c): *Pleuronichthys cornutus*.

Table 2. Comparison between conversional coefficient A and B according to the postural direction of fish body and the used frequencies

Postural direction of fish body	Range for the radiating angle	Conversional coefficient A by the total length (dB)						Conversional coefficient B by the body weight (dB)					
		<i>Mugil cephalus</i>		<i>Hexagrammos otakii</i>		<i>Pleuronichthys cornutus</i>		<i>Mugil cephalus</i>		<i>Hexagrammos otakii</i>		<i>Pleuronichthys cornutus</i>	
		50KHz	200KHz	50KHz	200KHz	50KHz	200KHz	50KHz	200KHz	50KHz	200KHz	50KHz	200KHz
Pitching	±15°	-70.9	-74.1	-69.8	-71.9	-66.8	-71.6	-57.1	-60.2	-56.8	-59.1	-54.1	-58.8
	±30°	-72.1	-75.3	-71.2	-73.3	-68.4	-72.9	-58.3	-61.4	-58.2	-60.4	-55.6	-60.0
	±45°	-73.0	-75.8	-72.3	-74.2	-69.5	-74.0	-59.2	-61.9	-59.3	-61.3	-56.7	-61.1
	±60°	-73.7	-76.5	-73.7	-74.8	-70.4	-74.7	-59.9	-62.6	-60.1	-62.0	-57.6	-61.9
	±90°	-75.1	-77.5	-74.3	-76.0	-71.7	-76.1	-61.3	-63.6	-60.3	-63.2	-58.9	-63.3
Rolling	±15°	-72.4	-72.9	-70.7	-72.5	-68.7	-72.1	-58.6	-59.0	-57.7	-59.6	-55.2	-59.2
	±30°	-72.5	-73.2	-69.9	-72.3	-68.9	-72.8	-58.7	-59.3	-56.9	-59.5	-56.2	-59.1
	±45°	-73.0	-73.7	-69.9	-72.7	-69.7	-73.5	-59.1	-59.8	-56.9	-59.8	-56.9	-60.6
	±60°	-73.3	-74.0	-69.9	-72.9	-70.4	-74.3	-59.5	-60.0	-56.9	-60.0	-57.7	-61.4
	±90°	-73.8	-74.7	-69.8	-73.1	-71.6	-75.4	-59.9	-60.8	-56.8	-60.3	-58.8	-62.6

要 約

50KHz, 200KHz用 科學魚群探知機로서 韓國 沿岸에서 많이 어획되고 있는 송어 *Mugil cephalus*, 쥐노래미 *Hexagrammos otakii*, 도다리 *Pleuronichthys cornutus*의 資源量을 추정할 때 보다 정밀하게 추정할 수 있는 기초자료를 제공하기 위하여 이들 어류에 대한 體長別, 體重別, 魚體의 姿勢別 超音波 反射特性에 대하여 실험한 結果는 다음과 같다.

1. 송어, 쥐노래미, 도다리의 超音波 放射特性은 대체로 이들 魚體의 등방향 60°~120°사이가 가장 큰 경향을 나타내었고, 200KHz가 50KHz보다 예리한 特性을 나타내었다.
2. 50KHz周波數에서의 超音波 反射強度는 魚體의 姿勢가 Rolling 방향일 때가 Pitching 방향일 때 보다 다소 높은 경향을 나타내었으며, 도다리, 쥐노래미, 송어의 全長別, 體重別 超音波 反射強度의 變換係數 A, B는 각각 -66.8dB, -69.8dB, -70.9dB, -54.1dB, -56.8dB, -57.1dB이었다.
3. 200KHz周波數에서의 超音波 反射強度는 魚體의 姿勢가 Pitching 방향일 때가 Rolling 방향 보다 다소 높은 경향을 나타내었으며, 도다리, 쥐노래미, 송어의 全長別, 體重別 超音波 反射強度의 變換係數 A, B는 각각 -71.6dB, -71.9dB, -74.1dB, -58.8dB, -60.2dB이었다.
4. 魚體의 部位에 따른 超音波 反射強度는 도다리와 송어의 경우 등방향을 중심으로 ±15°범위가 가장 높은 경향을 나타내었고 쥐노래미의 경우 ±30°범위가 가장 높게 나타났다.

參考文獻

- 1) Nakken, O. and K. Olsen(1977): Target strength measurement of fish. Rapp. P.-V. Reun. Cons. int. Explor. Mer, 170.
- 2) Foote, K. G. (1980): Averaging of fish target strength functions. J. Acoust. Soc. Am. 67(2) 508-514.

- 3) 宮野鼻洋一·石井惠·古澤昌彦(1985): 游泳姿勢를 假定して計算した魚類의 背方向タゲツト·ストレンクス. 日本水産學會講演要旨集, 21.
- 4) 신형호·윤갑동·박해운(1990): 이스라엘잉어 *Cyprinus Carpio*의 體長, 體重別 超音波標의強度에 관한 研究. 漁業技術 25(4), 201-207.
- 5) McCartncy, B. S. and A. R. Stubbs(1971): Measurement of target strength of fish in dorsal aspect, including swimbladder resonance. J. Sound Vib. 15, 397-420.
- 6) Love, R. H. (1977): Target strength of individual fish at any aspect. J. Acoustic Soc. Am. 62, 1398-1403.
- 7) Hung, K. and C. S. Clay(1980): Backscattering cross sections of live fish: PDF and aspect. J. Acoustic. Soc. Am. 67 795-801.
- 8) Foote, K. G. (1980): Impoprtances of the swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strengths. J. Acoustic. Soc. Am. 67(6) 2084-2089.
- 9) Edwards, J. I. and F. Armstrong: Measurement of the target strength of live herring and mackerel. Bergen Symposium 1982, No. 78(mimeo).
- 10) Burczynski, J. (1982): Introduction to the use of sonar systems for estimating fish biomass. FAO Fisheries Technical paper No. 191 Revision 1, 19-20.
- 11) 박해운·장지원(1984): 활어의 후방산란 단면적 측정. 漁業技術20(1), 11-16.
- 12) Shibata, K. (1971): Experimental measurement of target strength of fish. Modern Fishing Gear of the World 3, Fishing News(Books) Ltd. London, 104-108.