

魚體의 超音波 散亂特性에 관한 研究*

辛亨鎰 · 李昊在 · 尹甲東 · 梁龍林 · 黃斗湊

釜山水產大學校

(1990年 11월 28일 접수)

Acoustic Scattering Characteristics of the Individual Fish*

Hyeong-II SHIN, Dae-Jae LEE, Gab-Dong YOON,
Yong-Rym YANG and Doo-Jin HWANG

National Fisheries University of Pusan

(Received November 28, 1990)

The estimation of the fish biomass density or the size of fish by means of the acoustic equipment is an important part in the quantitative assessment of fisheries resources. The precision of such estimates depend upon the target strength of fish and the accuracy to which the acoustic equipment has been calibrated.

This paper examine the accuracy of the digital measurement system which is manufactured by way of trial in order to measure the target strength of fish, and calibrations of that system carry out with an ogive and a ellipsoid made of the aluminum and the epoxy, respectively. Furthermore, measurements of target strength for eight species of fish are made at 25, 50, 100 kHz.

The accuracy of the digital measurement system is compared the theory with measurements on ogive and ellipsoid, and the agreement is reasonable.

Results of establishemnts on the target strength to fish length and to fish weight regression obtained from the measurements are available to provide the methods of design for use in interpreting acoustic measurements of fish abundance on the experimented eight species.

緒 論

魚群探知機를 이용한 漁業資源量의 推定方法에는, 魚群으로부터 散亂된 反射信號를 積分處理하여 魚群 密度를 구하는 積分方法과 個體魚의 反射信號를 計數 處理하여 個體魚의 分布密度를 구하는 計數方式이 있다.

현재로서 가장 널리 이용되고 있는 방식은 積分方式이지만, 이 방식에서는 魚群으로부터 散亂된 超音波 反射信號의 에너지와 個體魚의 反射信號에너지와의 比例關係로부터 魚群의 分布密度를 추정하고 있기 때문에, 對象魚群을 구성하는 魚體 1마리當의 平均反

射强度는 魚群量의 推定密度를 좌우하는 중요한 요소가 된다.

그러나, 魚體의 超音波散亂特性은 魚種, 어체의 體長, 어체의 運動狀態 및 姿勢, 測定周波數에 따라 매우 복잡하게 변동한다. 따라서, 이와같은 變化因子의 영향을 고려하여 魚體의 平均反射强度를 추정하는 분제는 魚群探知機에 의한 魚群量推定の 精度 향상과 관련하여 그 研究가 매우 시급한 실정이지만 우리나라에서는 이에 대한 研究가 매우 미흡한 실정이다.

본 研究는 魚群探知機로서 魚群量을 추정할 때 그 精度를 향상시킬 수 있는 基礎資料를 제공하기 위하여 水中標的의 反射强度에 대한 디지털측정시스템을

* 이 論文은 1989年度 文教部 學術研究助成費에 의하여 研究되었음.

제작하고, 그 精度를 ogive와 長橢圓體로서 檢定하는 한편, 8魚種의 體長別, 體重別, 周波數別 反射強度를 測定하여 魚種別 資源量推定의 反射強度 平均化에 대해 檢討 · 分析하였다.

1. 檢定標的과 供試魚

水中目標物의 超音波 散亂特性和 反射強度를 측정하기 위해 제작한 디지털측정시스템의 精度檢定用 ogive와 長橢圓體는 Fig. 1과 같고, 실험에 사용한 供試魚의 諸元은 Table 1과 같다.

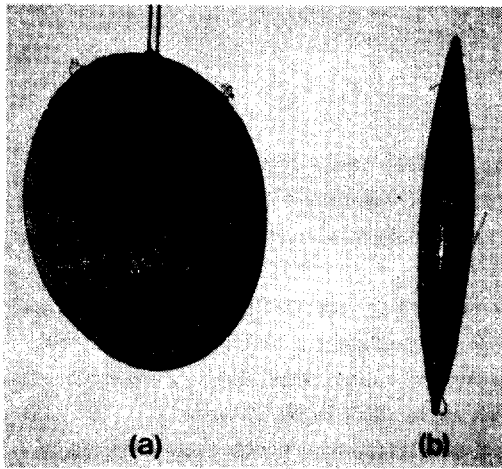


Fig. 1. Ogive and ellipsoid used as the test target of the digital measurement system.

Fig. 1에서 ogive는 알루미늄으로 만든 것으로 그 직경은 18cm, 곡률반경은 34.8cm였으며, 長橢圓體는 예폭시로 만든 것으로 그 장경은 24cm, 곡률반경은 46.4cm였고, 중심부의 단경은 3.2cm였다.

2. 測定裝置

反射強度 측정에 사용한 實驗水槽(L3×W3×D2 m)는 콘크리트수조였고, 실험중에는 淡水를 깊이 1.9m 되도록 넣었으며, 그 때의 水溫은 13°C~15°C였다.

送 · 受信振動子は Fig. 1과 같이 수조의 한쪽 벽 중앙에 설치하고 측정대상 표적은 遠距離音場領域에 있도록 하기 위해 진동자를 送 · 受信面으로 부터 1.5m 떨어지게 하였으며, 표적의 깊이는 1m가 되도록 하였다.

供試魚는 海水에서 산 상태로 보관하였다가 실험직전에 延髓를 바늘로 찔러 순간적으로 腦死시켰으며, Fig. 1과 같이 供試魚의 입과 꼬리지느러미 그리고 등지느러미를 직경 0.2mm nylon fiber의 모노필라멘트로 묶고, 60g의 추를 사용하여 수평상태를 유지하도록 回轉裝置에 고정시켰다.

디지털측정시스템은 Fig. 1과 같이 送信部, 受信部, 電算處理部로 구성하였다. 送信部에서는 發振器에서 25, 50, 100kHz의 持續波를 발생시키고 펄스폭 0.2ms, 펄스주기 35ms의 트리거펄스로 만들어 送信器에서 電力增幅하여 送信振動子에서 각 주파수의 超音波가 放射되도록 하였다.

受信部에서는 표적에 반사된 反射波를 受信振動子로 수신하여 受信器에서 增幅 · 檢波한 후 그 信號를 電算處理部에 입력시켰으며, 한편 오실로스코프로 송 · 수신 파형을 관찰하였다.

電算處理部에서는 受信部에서 검파한 아날로그 신호를 積分器로 hold하고, 이 적분값을 변환시간이 40ms인 A/D Convert로서 디지털 신호로 바꾸어 software에 의하여 memory에 저장하였다. 또한, 저장된 적분값과 chip을 reset한 후 표적의 入射角

Table 1. Body length and body weight of the experimented fishes

| Species | No. of fish | Body length (cm) | | | Body weight (g) | | |
|----------------|-------------|------------------|------|------|-----------------|--------|-------|
| | | Min. | Max. | Mean | Min. | Max. | Mean |
| Filefish | 31 | 11.0 | 23.5 | 16.1 | 20.0 | 141.0 | 62.0 |
| Pomfret | 10 | 18.0 | 40.8 | 28.8 | 61.0 | 1112.0 | 475.2 |
| Kingfish | 10 | 13.3 | 23.0 | 17.9 | 40.0 | 228.0 | 111.0 |
| Horse mackerel | 10 | 13.7 | 26.6 | 17.6 | 22.0 | 175.0 | 58.5 |
| Croaker | 17 | 23.0 | 42.2 | 32.0 | 170.0 | 610.0 | 319.5 |
| Kandari | 10 | 12.9 | 21.4 | 15.5 | 15.0 | 90.0 | 39.0 |
| Rock trout | 16 | 12.0 | 20.0 | 15.3 | 18.0 | 75.0 | 33.3 |
| Flatfish | 15 | 14.0 | 25.0 | 20.8 | 40.0 | 190.0 | 118.3 |

(θ)을 프로그램에 의하여 stepmotor controller로 변경시키면서, trigger입력에 의하여 새로운 값을 읽어 이것을 원하는 횟수만큼 반복한 다음, 그 동안 read된 데이터 값을 monitor에 표시하고, 入射角 θ에 따른 signal 電壓值를 圖表化하였다.

3. 測定方法

디지털측정시스템의 精度檢定을 위해 사용한 ogive와 長橢圓體의 散亂特性은, ogive는 회전축에 수직으로, 長橢圓體는 수평이 되게 고정하고 세로방향이 振動面과 일치할 때를 0°로 하여 1.8°간격씩 360°까지 컴퓨터 프로그램에 의해 stepmotor가 자동적으로 회전하도록 하여 각 방향에 따른 散亂強度를 측정하여 이 값의 최대치에 대한 각 방향별 相對比를 極座標로 나타내어 구하였다.

供試魚에 대한 反射強度는 디지털측정시스템을 이용하여 魚體의 머리가 振動面과 일치할 때를 0°로 하여 1.8° 간격씩 360°까지 檢定標의과 같은 방법으로 회전시켜 구하였다.

4. 測定理論

(1) 檢定標의 散亂特性

일정한 출력으로 송신되는 송신파가 標에 반사되어 受信振動子에 수신되는데, 이반신호의 전압(μe)은 반사세기의 평방근에 비례하고, 표적의 산란단면적을 σ, 振動子로부터 표적까지의 거리를 R, 音波의 對數로 표시한 吸收減衰率을 β, 受信振動子의 指向特性을 b라 하면

$$\mu_e \sim \frac{1}{R^4 \exp(2\beta R)} \sigma \cdot b \dots\dots\dots(1)$$

의 관계가 성립한다¹⁰⁾.

본 실험에 사용한 Fig. 1의 ogive와 長橢圓體의 길이를 L, 半頂角을 α, 두께의 1/2을 d, 곡률반경을 R₁이라 하고, 長橢圓體에 있어서 그 폭과 높이를 각각 B, H라 하면, ogive를 θ만큼 회전시킬 때, 그 산란단면적(σ(θ))은

0° < θ < ~ (90° - α)인 경우

$$\sigma(\theta) = \frac{\lambda^2 \tan^2 \alpha}{16\pi \cos^6 \theta (1 - \tan^2 \alpha \tan^2 \theta)^3} \dots\dots(2)$$

단, λ : 波長

~ (90° - α) < θ < 90°인 경우

$$\sigma(\theta) = \pi R_1^2 \left[1 - \frac{R_1 - \alpha}{R_1 \sin \theta} \right] \dots\dots\dots(3)$$

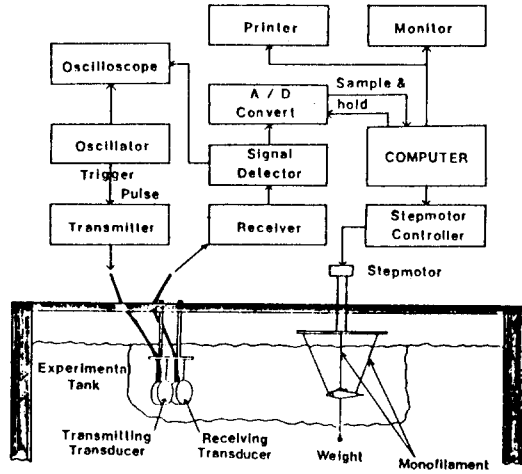


Fig. 2. Experimental set up and block diagram of the digital measurement system used to the target strength measurements of the experimented fishes, the ogive and the ellipsoid.

로 나타낼 수 있다²⁾.

또한, 長橢圓體의 산란단면적(σ)은

$$\alpha = \frac{\pi H^2 L^2 \gamma^2}{4B^2} \dots\dots\dots(4)$$

단, γ : 음파의 반사율

로 나타낼 수 있다⁷⁾.

한편, 본 실험에 사용한 수신진동자는 페라이트 진동자를 평면배열한 것이며, 평면배열 진동자의 지향 특성(b)은

$$b = \left[\frac{1}{M} \frac{\sin[\frac{M}{2} \phi_x]}{\sin[\frac{\phi_x}{2}]} \right] \left[\frac{1}{N} \frac{\sin[\frac{M}{2} \phi_y]}{\sin[\frac{\phi_y}{2}]} \right] \dots\dots\dots(5)$$

단, φ_x = k d_x sinθ cosφ + β_x

φ_y = k d_y sinθ cosφ + β_y

으로 나타낼 수 있다¹¹⁾.

따라서, 본 실험에 사용한 ogive(Do)와 장타원체(De)의 수신지향특성은 각각

$$Do = 0.3972 \sigma(\theta) \cdot b \dots\dots\dots(6)$$

$$De = 5.9534b \dots\dots\dots(7)$$

와 같다.

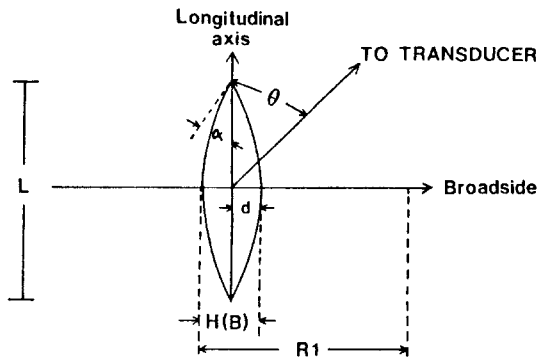


Fig. 3. The ogive and the ellipsoid definition of geometry.

(2) 供試魚의 反射強度

魚體의 反射強度는 단위거리에 대한 基準球의 反射信號電壓과 標的의 相對電壓比로 측정한다. 본 실험의 경우 標的과 振動子간의 거리가 1.5m이므로 이에 대한 거리를 보정하면 反射強度는

$$TS_{ref} = TS_1 - 40 \log 1.5 \dots \dots \dots (8)$$

단, TS_{ref} : 임의의 거리에서의 표적강도

TS_1 : 단위거리에서의 표적강도

으로 나타낼 수 있고, 魚體의 反射強度 (TS_{fish})는

$$TS_{fish} = 20 \log (V_{fish} / V_{ref}) + TS_{ref} \dots \dots \dots (9)$$

단, V_{fish} : 임의의 거리에서 어체의 측정전압

V_{ref} : 임의의 거리에서 기준구의 측정전압으로 나타낼 수 있다²⁰⁾.

結果 및 考察

1. 檢定標的의 散亂特性

디지털 측정시스템의 精度分析과 魚體의 反射強度의 모델화를 위해 제작한 ogive와 長橢圓體의 散亂特性은 Fig. 4(a), (b)와 같다.

Fig. 4(a)에서 실선은 측정치이고 점선은 式(6)에 의한 계산치로써 측정치와 계산치는 거의 일치하였고, ogive의 측면이 振動子와 직각을 이룰 때 최대의 散亂特性을 나타내었으며, 受信指向角은 15°였다.

Fig. 4(b)에서 측정치와 式(7)에 의한 계산치는 거의 일치하였고, 長橢圓體의 측면이 振動子와 직각을 이룰 때 최대의 散亂特性을 나타내었으며, 受信指向角은 8°였다.

Fig. 4의 결과는 디지털측정시스템의 精度가 높음을 입증할 수 있고, 魚體의 反射強度에 대한 모델화가 가능함을 알 수 있었다.

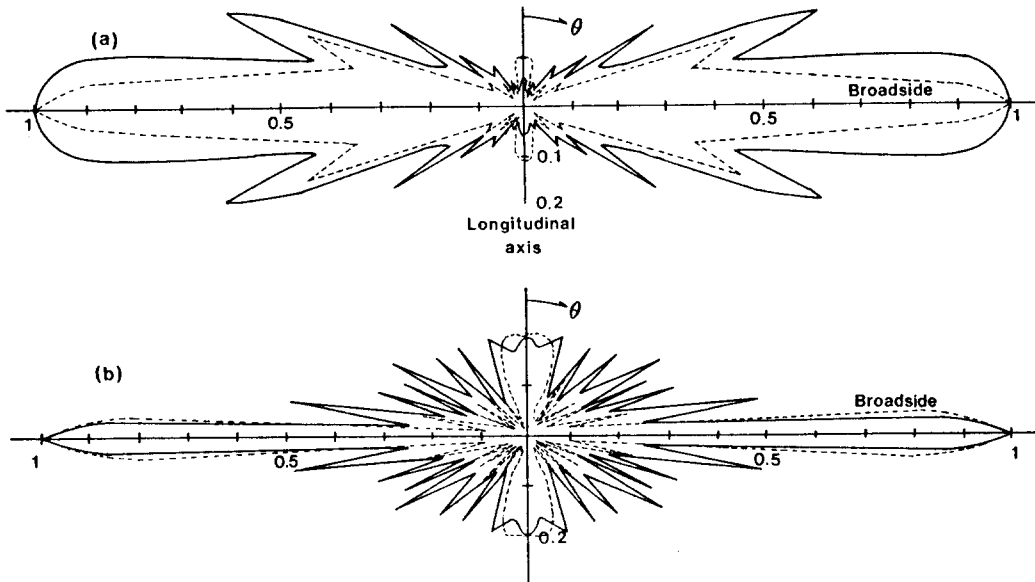


Fig. 4. Back-scattering polar diagram for the ogive(a) and the ellipsoid(b) of revolution made of aluminum and epoxy, respectively, taken in the horizontal plane. The measurements are the solid lines and the theoretical scattering is the dashed lines. Frequency 50kHz. Radial scales: relative scattering level.

2. 魚體의 超音波反射強度 推定

魚體의 超音波散亂特性은 어체의 形狀, 内部組織, 體長 및 體重組成, 測定周波數, 計測시스템의 安定性, 어체의 遊泳姿勢 등에 따라 불규칙하게 변동하기 때문에 어체에서 산란되는 超音波信號를 해석하여 해당어체의 平均적인 散亂強度를 추정하는 데에는 신중한 주의를 요한다.

따라서, 어체의 超音波散亂特性에 직접적인 영향을 미치는 어체의 體長, 體重 및 周波數와 反射強度와의 관계를 검토하기 위하여 25, 50, 100kHz의 3종류의 周波數에 대하여 8개 魚種을 대상으로 體長別, 體重別, 周波數別에 대한 어체의 平均反射強度를 측정하고, 이들을 서로 비교·분석한 結果는 Table 2 및 Fig.5~Fig.10과 같다.

Table 2. Measured mean target strengths of eight species at three frequencies

| Experimented fish | Mean target strength(dB) | | |
|--|--------------------------|-------|--------|
| | 25kHz | 50kHz | 100kHz |
| Filefish, <i>Thamnaconus modestus</i> | -40.8 | -44.5 | -43.0 |
| Pomfret, <i>Pampus argenteus</i> | -39.9 | — | -45.8 |
| Kingfish, <i>Caranex equula</i> | -41.9 | — | -45.9 |
| Horse mackerel, <i>Trachurus japonicus</i> | -36.9 | — | -41.9 |
| Croaker, <i>Nibea imbricatus</i> | -36.7 | -40.6 | -39.1 |
| Kandari, <i>Collichthys Fragilis</i> | -41.1 | — | -45.2 |
| Rock trout, <i>Agrammus agrammus</i> | — | -42.0 | — |
| Flatfish, <i>Paralichthys loivaceus</i> | — | -42.2 | — |

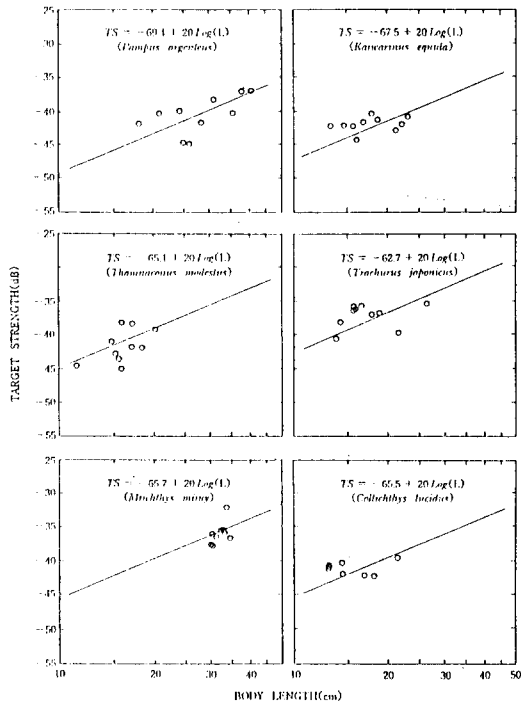


Fig. 5. The relationship between mean target strength and body length of eight species at 25kHz.

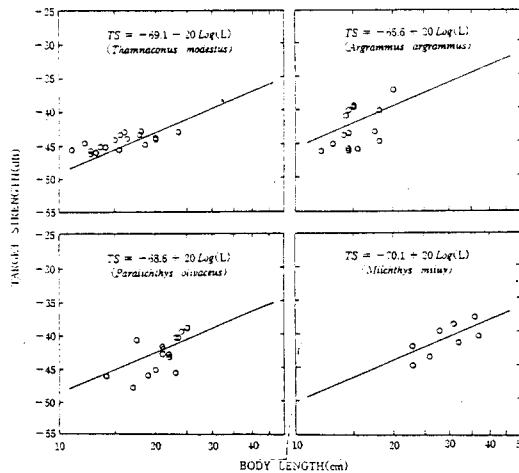


Fig. 6. The relationship between mean target strength and body length of four species at 50kHz.

(1) 周波數別, 魚種別 魚體의 平均反射強度

25, 50, 100 kHz의 周波數에서 말쥐치 (*Thamnaconus modestus*), 병어 (*Pampus argenteus*), 갈전갱이 (*Caranex equula*), 전갱이 (*Trachurus japonicus*), 민어 (*Nibea imbricatus*), 강달이 (*Collichthys Fragilis*), 노래미 (*Agrammus*

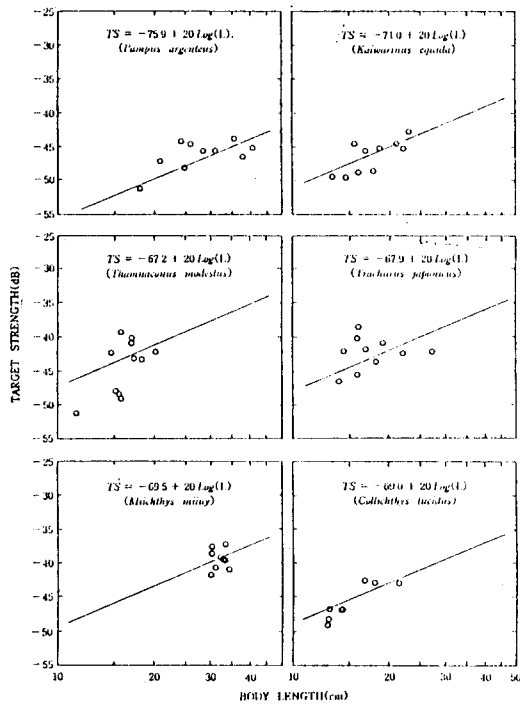


Fig. 7. The relationship between mean target strength and body length of eight species at 100kHz.

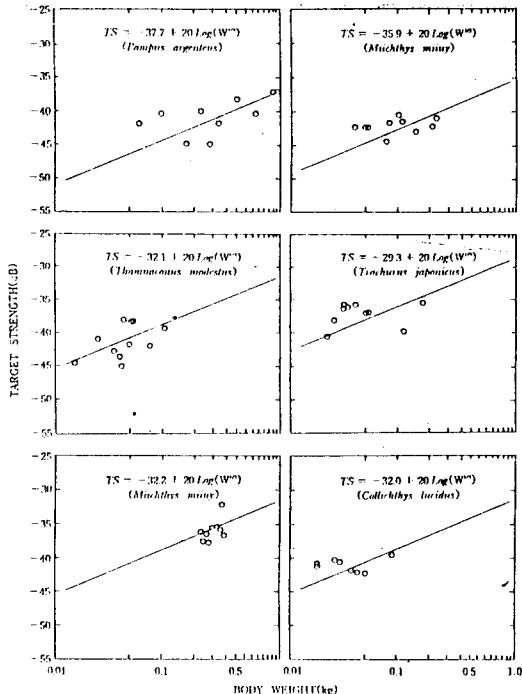


Fig. 8. The relationship between mean target strength and body weight of eight species at 25kHz.

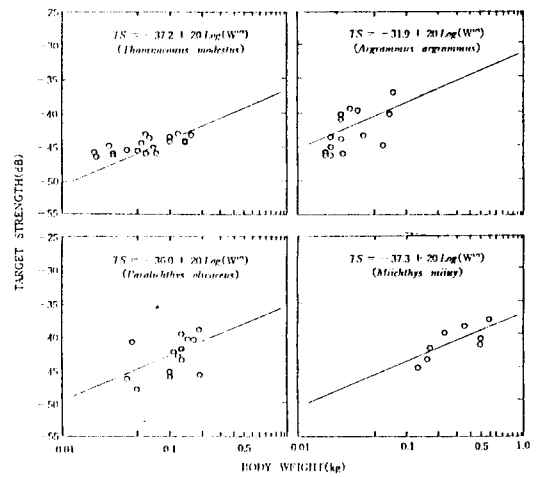


Fig. 9. The relationship between mean target strength and body weight of four species at 50kHz.

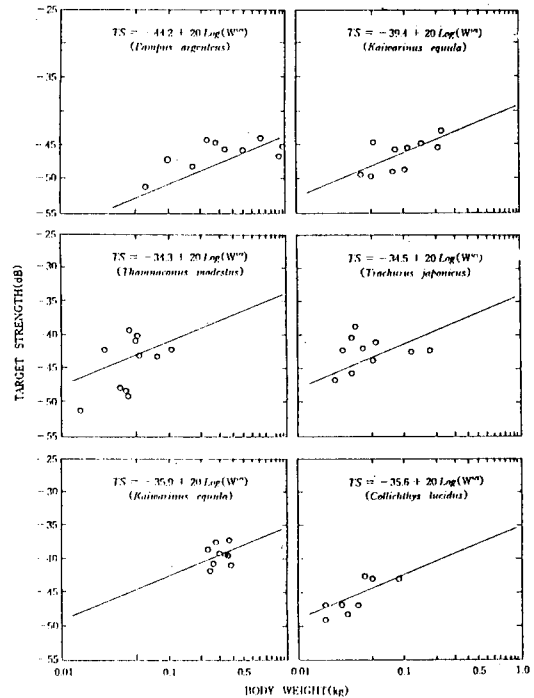


Fig. 10. The relationship between mean target strength and body weight of eight species at 100kHz.

agrammus), 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)에 대한 反射強度를 측정된 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에 측정된 총 8개 魚種 119마리의 平均體長範圍는 15.3cm~32cm이고, 平均體重範圍는 33.3g~475.2g이었다.

魚體의 超音波 散亂特性에 관한 研究

어종별 어체의 平均反射強度는 말쥐치, 병어, 갈전갱이, 전갱이, 민어, 강달이에 평균체장과 평균체중이 각각 16.1cm, 28.8cm, 17.9cm, 17.6cm, 32.0cm, 15.5cm와 62.0g, 475.2g, 110.0g, 58.5g, 319.5g, 39.0g일 때, 25kHz에서 각각 -40.8dB, -45.8dB, -45.9dB, -41.9dB, -39.1dB, -45.2dB이었다.

한편 50kHz에 대한 말쥐치, 민어, 노래미, 넙치의 平均反射強度는 각각 -44.5dB, -40.6dB, -42.0dB, -42.2dB이었다.

Table 2에서 말쥐치, 병어, 갈전갱이, 전갱이, 민어, 강달이의 平均反射強度는 100kHz에서 보다 25kHz에서 평균 약 4dB 정도 더 높았고, 특히 25kHz, 50kHz, 100kHz에 대한 말쥐치와 민어의 平均反射強度를 서로 비교하여 볼 때, 그 값은 25kHz에 가장 높고, 50kHz에서는 가장 낮은 경향을 나타내었다.

이와같이 測定周波數가 변화할 때 魚體의 反射強度가 크게 변동하는 원인은, 魚種에 따라 魚體의 形狀 및 內部組織特性 등이 서로 다르므로 인해서 각각의 周波數에 대한 音響散亂特性이 급격히 변화하기 때문이라고 생각된다.

(2) 魚體의 體長과 平均反射強度의 관계

25, 50, 100kHz의 周波數에서 8개 魚種에 대한 어체의 體長과 平均反射強度의 관계는 Fig. 5~Fig. 7과 같다.

Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7은 각각 25, 50, 100kHz의 周波數에 대한 어종별, 어체의 체장과 反射強度의 관계로서, 縱軸은 어체의 平均反射強度(dB), 橫軸은 어체의 體長(cm)이며, ○은 反射強度의 측정치를 나타내고, 實線은 이것의 回歸直線이다.

또한 Fig. 5과 Fig. 7에서 (A), (B), (C), (D), (E), (F)는 각각 병어, 갈전갱이, 말쥐치, 전갱이, 민어, 강달이에 대한 결과이고, Fig. 6에서 (A), (B), (C), (D)는 각각 말쥐치, 노래미, 넙치, 민어에 대한 결과이다.

Fig. 5~Fig. 7에서 回歸直線은 어체의 背方向에 대한 反射強度가 體長의 2乘에 비례하여 증가할 것이라는 전제하에서, 體長 L(cm)과 平均反射強度 TS(dB)의 관계를 (10)식에 근사시켜 구한 것이다.

$$TS = A + 20 \text{Log}(L) \dots\dots\dots (10)$$

식(10)에서 係數 A는 어체의 길이 1cm당에 대한 反射強度를 나타내는 값(dB)이다.

Fig. 5~Fig. 7에서 魚種別 魚體의 平均反射強度는 체장에 따라 매우 불규칙하게 변동하고 있으나, 그 값은 體長이 증가함에 따라 비교적 직선적으로 증가하는 경향을 나타내고 있고, 또 周波數의 변화에 기인하는 反射強度의 변동패턴이 서로 상이함을 알 수 있다.

魚種別의 回歸直線式에 대한 係數 A의 값을 주파수 별로 나타낸 결과는 Table 3과 같다.

Table 3에서 어종별 어체의 체장과 평균반사강도의 관계를 나타내는 회귀직선식의 계수 A는 말쥐치, 병어, 갈전갱이, 전갱이, 민어, 강달이의 경우, 25kHz에서 각각 -65.1dB, -69.4dB, -67.5dB, 62.7dB, -65.7dB, -65.5dB이었고, 100kHz에서는 각각 -67.2dB, -75.9dB, -71.0dB, -67.9dB, -69.5dB, -69.0dB이었다.

한편 50kHz에 대한 말쥐치, 민어, 노래미, 넙치의 A값은 각각 -69.1dB, -70.1dB, -65.6dB, -68.6dB이었다.

Table 3. Length-target strength relationships for eight species at three frequencies. The linear regression was performed on the pairs of data, mean target strength TS(dB) and body length L(cm) to obtain the intercept "A" for the function of $TS = A + 20 \text{Log}(L)$

| Experimented fish | Regression coefficient(A) | | |
|--|---------------------------|-------|--------|
| | 25kHz | 50kHz | 100kHz |
| Filefish, <i>Thamnaconus modestus</i> | -65.1 | -69.1 | -67.2 |
| Pomfret, <i>Pampus argenteus</i> | -69.4 | - | -75.9 |
| Kingfish, <i>Caranx equula</i> | -67.5 | - | -71.0 |
| Horse mackerel, <i>Trachurus japonicus</i> | -62.7 | - | -67.9 |
| Croaker, <i>Nibea imbricatus</i> | -65.7 | -70.1 | -69.5 |
| Kandari, <i>Collichthys Fragilis</i> | -65.5 | - | -69.0 |
| Rock trout, <i>Agrammus agrammus</i> | - | -65.6 | - |
| Flatfish, <i>Paralichthys loivaceus</i> | - | -68.6 | - |

말쥐치, 병어, 갈전갱이, 전갱이, 민어, 강달이의 A값의 평균치는 25kHz와 100kHz에서 각각 -66.0 dB, -70.1dB로서, 25kHz의 경우가 100kHz 보다 평균 약 4dB 정도 더 높은 경향을 나타내었고, 특히 말쥐치와 민어에 대한 25kHz, 50kHz, 100kHz에서의 A값은 25kHz에서 가장 높고, 50kHz에서는 가장 낮은 경향을 나타내었다. 한편, 100kHz에서 병어에 대한 A값이 다른 값과 비교하여 현저한 차이를 나타내고 있으나, 이것은 散亂周波數特性和 관계가 있는 것으로 판단되기 때문에 앞으로 더욱 상세한 검토가 필요하다고 판단된다.

(3) 魚體의 體重과 平均反射強度의 관계

Fig. 8~Fig. 10은 25, 50, 100kHz의 8개 魚種에 대한 어체의 體重과 平均反射強度의 관계를 나타낸 것이다.

Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10은 각각 25, 50, 100kHz의 周波數에 대한 결과로서, 縱軸은 어체의 平均反射強度 (dB), 橫軸은 어체의 體重 (g)이며, ○은 反射強度의 측정치이고, 實線은 回歸直線이다. Fig. 8과 Fig. 10에서 (A), (B), (C), (D), (E), (F)는 각각 병어, 갈전갱이, 말쥐치, 전갱이, 민어, 강달이에 대한 反射強度이다. 그림에서 回歸直線은 어체의 體長 L(cm)과 體重 W(kg)과의 사이에 $L=kW^{1/3}$ (k:係數)의 관계가 성립할 것이라는 전제하에서, 이식을 (10)식에 대입하여 體重 W(kg)과 平均反射強度 TS(dB)의 관계를 식(11)과 같이 유도하고, 이식에 의해 구하였다.

$$TS=B+20Log(W) \dots\dots\dots(11)$$

式(11)에서 係數 B는 어체의 體重 1kg 당에 대한 反射強度를 나타내는 값(dB)이다.

Fig. 8~Fig. 10에서 魚種別 어체의 體重에 대한 平

均反射強度는 體重에 대한 경우와 마찬가지로, 體重의 변화에 따라 매우 불규칙하게 대체로 체중이 증가하면 반사강도도 이에 비례하여 직선적으로 증가하는 경향을 나타내고 있고, 주파수에 따라서는 큰 변화가 있음을 알 수 있다. 體重別의 回歸直線式에 대한 係數 B의 값을 周波數別로 나타낸 결과는 Table 4와 같다.

Table 4에서 回歸直線式의 係數 B, 즉 魚體重量 1kg당에 대한 平均反射強度는 말쥐치, 병어, 갈전갱이, 전갱이, 민어, 강달이의 경우, 25kHz에서 각각 -32.1dB, -37.7dB, -35.9dB, -29.3dB, -32.0dB이었고, 100kHz에서는 각각 -34.3dB, -44.2dB, -39.4dB, -34.5dB, -35.9dB, -35.6dB이었다.

또한, 50kHz에서 말쥐치, 민어, 노래미, 넙치에 대한 그 값은 각각 -37.2dB, -37.3dB, -31.9dB, -36.0dB이었다.

말쥐치, 병어, 갈전갱이, 전갱이, 민어, 강달이의 경우, 體重 1kg당에 대한 反射強度의 평균치는 25kHz와 100kHz에서 각각 -33.2dB, -37.3dB로서, 25kHz의 경우가 100kHz보다 평균 약 4dB정도 더 높은 경향을 나타내었고, 말쥐치와 민어에 대한 B 값은 50kHz와 200kHz에서 보다 25kHz에서 더 높은 값을 나타내었다.

또, 100kHz에서 병어에 대한 B값은 Table 3의 A값과 마찬가지로 다른 魚種에 비하여 현저한 차이를 나타내고 있다.

한편, 이와같이 다수의 魚種에 대한 개개의 어체를 대상으로 個體魚의 反射強度를 측정하고, 이 값과 현장에서 계측한 魚群의 體重散亂強度를 토대로 積分方式의 魚群量推定法에 의해 漁業資源의 現存量을 평가하는 경우, 反射強度에 대한 推定值의 精度는 직접적

Table 4. Weight-target strength relationships for eight species at three frequencies. The linear regression was performed on the pairs of data, mean target strength TS(dB) and body wight W(kg) to obtain the 'intercept "B" for the function of $TS=B+20Log(W^{1/3})$

| Experimented fish | Regression coefficient (B) | | |
|--|----------------------------|-------|--------|
| | 25kHz | 50kHz | 100kHz |
| Fliefish, <i>Thamnaconus modestus</i> | -32.1 | -37.2 | -34.3 |
| Pomfret, <i>Pampus argenteus</i> | -37.7 | - | -44.2 |
| Kingfish, <i>Caranx equula</i> | -35.9 | - | -39.4 |
| Horse mackerel, <i>Trachurus japonicus</i> | -29.3 | - | -34.5 |
| Croaker, <i>Nibea imbricatus</i> | -32.2 | - | -35.9 |
| Kandari, <i>Collichthys Fragilis</i> | -32.0 | - | -35.6 |
| Rock trout, <i>Agrammus agrammus</i> | - | -31.9 | - |
| Flatfish, <i>Paralichthys loivaceus</i> | - | -36.0 | - |

으로 資源量 推定值의 신뢰도를 좌우하는 결정적인 요인이 되므로, 앞으로 이 문제와 관련하여 보다 많은 연구가 요망된다.

要 約

魚群탐지기를 이용하여 魚群量을 추정할 때 필요한 어체의 平均反射強度를 정량적으로 계측하기 위한 디지털측정시스템을 제작하고, 이의 성능을 ogive와 長橢圓體 標的을 대상으로 檢定하는 한편, 실제 8개 魚種에 대한 體長別, 體重別, 周波數別 反射強度를 측정하여 反射強度의 平均化에 대하여 檢討한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 本 研究에서 제작한 어체의 反射強度 디지털측정시스템은 ogive와 長橢圓體 標的을 대상으로 理論 및 實驗的인 散亂特性을 比較, 檢定한 結果, 兩者가 서로 잘 일치하여 精度가 매우 높다고 판단되었다.

2. 8個 魚種에 대한 어체의 平均反射強度는 말퀴치, 병어, 갈전갱이, 전갱이, 민어, 강달이의 경우, 평균체장이 각각 16.1cm, 28.8cm, 17.9cm, 17.6cm, 32.0cm, 15.5cm이고, 평균체중이 각각 62.0g, 475.2g, 110.0g, 58.8g, 319.5g, 39.0g였을 때, 25kHz에서 각각 -40.8dB, -39.9dB, -41dB, -36.9dB, -35.7dB, -41.1dB였고, 100kHz에서는 각각 -43.0dB, -45.8dB, -45.9dB, -41.9dB, -39.1dB, -45.2dB였다.

또, 50kHz에 대한 말퀴치, 민어, 노래미, 넙치의 平均反射強度는 각각 -44.5dB, -40.6dB, -42.0dB, -42.2dB이었다.

3. 魚種別 어체의 體長(L, cm)과 平均反射強度(TS, dB)와의 관계를 $TS = A + 20 \log(N)$ 의 回歸直線式에 근사시켰을 때, 魚種別에 대한 回歸直線式의 係數 A 값은, 말퀴치, 병어, 갈전갱이, 전갱이, 민어, 강달이의 경우, 25kHz에서 각각 -65.1dB, -69.4dB, -67.5dB, -62.7dB, 65.7dB, -65.5dB였고, 100kHz에서는 각각 -67.2dB, -75.9dB, -71.0dB, -67.9dB, -69.5dB, -69.0dB였다. 또, 50kHz에 대한 말퀴치, 민어, 노래미, 넙치에 대한 A값은 각각 -69.1dB, -70.1dB, -65.6dB, -68.6dB이었다.

4. 8個 魚種에 대하여 魚體의 重量 1kg 당에 대한 平均反射強度는 말퀴치, 병어, 갈전갱이, 전갱이, 민어, 강달이의 경우, 25kHz에서 각각 -32.1dB, -37.7dB, -35.9dB, -29.3dB, -32.2dB, -32.0

dB였고, 100kHz에서는 각각 -34.3dB, -44.2dB, -39.4dB, -34.5dB, -35.9dB, -35.6dB였다. 또, 50kHz에서 말퀴치, 민어, 노래미, 넙치에 대한 그 값은 각각 -37.2dB, -37.3dB, -31.9dB, -36.0dB였다.

한편, 魚體의 平均反射強度의 推定精度는 資源量 推定值의 신뢰도를 좌우하는 직접적인 요인이 되므로, 앞으로 이 문제에 대해서는 보다 체계적인 研究가 필요하다고 판단된다.

參考文獻

1. Peters, L.(1958): End-Fire Echo Area of Long, Thin Bodies. IEEE. Trans. 12P-6, 133-139.
2. Crispin, J.W. and A.L. Maffett (1965): Radar Cross-Section Estimation for Simple Shapes. PROCEEDINGS OF THE IEEE 1965, 833-847.
3. Diercks, K.J. and R.G. Gidsberry (1970): Target Strength of a Single Fish. J. Acoust. Soc. Am. 48, 415-416.
4. Love, R.H.(1971): Measurements of Fish Target Strength. Fishery Bulletin, Vol.69, No. 4, 703-715.
5. Foote, K.G.(1978): Effect of Fish Behaviour on Echo Energy: the Need for Measurements of Orientation Distributions. J. Cons. int. Explor. Mer. 39(2), 193-201.
6. Edwards, J.I.(1980): A Preliminary Investigation of Target Strength of Herring. ICES CM/B 19, 18.
7. Foote, K.G.(1990): Averaging of Fish Target Strength Functions. J. Acoust. Soc. Am. 67, 504-515.
8. MacLennan, D.N.(1981): The Theory of Solid Spheres as Sonar Calibration Targets. Scot-tish Fisheries Research Report Number 22, 1-17.
9. MacLennan, D.N.(1982): Target Strength Measurements on Metal Spheres. Scottish Fisheries Research Report Number 25, 1-11.
10. Burczynski, J.(1982): Introduction to the Use of Sonar Systems for Estimation Fish Biomass. FAO Fish. Tech. Pap. No. 191, 28-40.
11. Balanis, C.A.(1982): Antenna Theory.

- Happer & Row, Publishers, New York, 260-269.
12. Ehrenberg, J.E.(1982): A Review of in situ Target Strength Estimation Techniques. BioSonics, Inc., Symposium of Fisheries Acoustic 1982, 1-16.
 13. Johannesson, K.A. and R.B. Mitson (1983): Fisheries Acoustics. FAO Fish. Tech. Pap. 240, 240.
 14. Ehreberg, J.E.(1983): A Review of in situ Target Strength Estimation Techniques. FAO Fish. Rep. 300, 85-90.
 15. Dahl, P.H. and O.A. Mathisen (1983): Measurement of Fish Target Strength and Associated Directivity at High Frequencies. J. Acoust. Soc. An. 73(4), 1205-1211.
 16. Craig, R.E.(1984): Fisheries Acoustic. Rapp. P. V. Reun. Cons. Inst. Explor. Mer, 184, 5-6.
 17. Blue, J.E.(1984): Physical Calibration, Rapp. P.V. Reun. Cons. Inst. Explor. Mer. 184, 19-24.
 18. Clay, C.S. and B.G. Heist (1984): Acoustic Scattering by Fish-Acoustic Models and a Two-Paramater Fit. J. Acoust. Soc. Am. 75(4), 1077-1083.
 19. Miyanoana, Y., Ishii, K. and Furusawa (1987): Measuremets and Analysis on Dorsal Aspect Target Strength of Six Fish Frequencies. Internatonal Symposium on Fisheries Acoustics, 1987, 1-37.
 20. Hwang, D.J., Lee (1990): Target strength for the *Mugil Cephalus*, *Pleuronichthys Cornutus* and *Hexagrammos Otakii*. Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 26(1), 34-44.