

音響에 의한 魚族生物의 資源調査 研究 - I *

- 魚群反射強度의 推定 -

李昊在 · 辛亨鎰 · 申炯浩*

釜山水產大學校 · 麗水水產大學校*

(1995년 3월 13일 접수)

Fish Stock Assessment by Hydroacoustic Methods and its Applications - I *

- Estimation of Fish School Target Strength -

Dae - Jae LEE, Hyeong - Il SHIN and Hyong - Ho SHIN*

National Fisheries University of Pusan, *Yeosu Fisheries University

(Received March 13, 1994)

The combined bottom trawl and hydroacoustic survey was conducted by using the training ship "Oshoro Maru" belong to Hokkaido University in November 1989 - 1992 and the training ship "Nagasaki Maru" belong to Nagasaki University in April 1994 in the East China Sea, respectively. The aim of the investigations was to collect the target strength data of fish school in relation to the biomass estimation of fish in the survey area.

The hydroacoustic survey was performed by using the scientific echo sounder system operating at three frequencies of 25, 50 and 100 kHz with a microcomputer-based echo integrator.

Fish samples were collected by bottom trawling and during the trawl surveys, the openings of otter board and net mouth were measured.

The target strength of fish school was estimated from the relationship between the volume backscattering strength for the depth strata of bottom trawling and the weight per unit volume of trawl catches.

A portion of the trawl catches preserved in frozen condition on board, the target strength measurements for the defrosted samples of ten species were conducted in the laboratory tank, and the relationship between target strength and fish weight was examined.

In order to investigate the effect of swimbladder on target strength, the volume of the swimbladder of white croaker, *Argyrosomus argentatus*, sampled by bottom trawling was measured by directly removing the gas in the swimbladder with a syringe on board

The results obtained can be summarized as follows :

1. The relationship between the mean volume backscattering strength ($\langle SV \rangle$, dB) for the depth strata of trawl hauls and the weight (C , kg/m³) per unit volume of trawl catches were expressed by the following equations :

$$25 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -29.8 + 10 \text{Log}(C)$$

* 이 논문은 1994년도 교육부 학술연구조성비(해양·수산과학분야)에 의하여 연구되었음.

$$50 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -32.4 + 10 \log(C)$$

$$100 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -31.7 + 10 \log(C)$$

The mean target strength estimates for three frequencies of 25, 50 and 100 kHz derived from these equations were -29.8 dB/kg, -32.4 dB/kg and -31.7 dB/kg, respectively.

2. The relationship between target strength and body weight for the fish samples of ten species collected by trawl surveys were expressed by the following equations :

$$25 \text{ kHz} : TS = -34.0 + 10 \log(W^{\frac{2}{3}})$$

$$100 \text{ kHz} : TS = -37.8 + 10 \log(W^{\frac{2}{3}})$$

The mean target strength estimates for two frequencies of 25 and 100 kHz derived from these equations were -34.0 dB/kg, -37.8 dB/kg, respectively.

3. The representative target strength values for demersal fish populations of the East China Sea at two frequencies of 25 and 100 kHz were estimated to be -31.4 dB/kg, -33.8 dB/kg, respectively.

4. The ratio of the equivalent radius of swimbladder to body length of white croaker was 0.089 and the volume of swimbladder was estimated to be approximately 10% of total body volume.

緒 言

현재, 우리나라 沿近海 海域에 대한 魚族資源의 고갈현상은 극히 심각한 상태에 있다. 특히, 이 현상은 해를 거듭함에 따라 그 정도가 날로 심화되고 있고, 또 어선 상호간의 경쟁적인 操業과 魚族生物의 남획은 우리나라 沿近海 海域에 있어서의 漁業生産性を 저하시키는 주요 요인의 하나가 되고 있다.

따라서, 우리나라 沿近海 海域에 대한 漁業資源의 有效利用 및 그 管理를 위한 대책의 수립이 절실히 요구되고 있으나, 그 방안의 수립을 위한 기초적인 연구가 매우 미흡한 실정이고, 이를 위해서는 무엇보다도 우리나라 주변수역에 대한 潛在 魚族資源의 分布實態를 정확히 評價 및 診斷하여 강력한 資源의 管理對策을 수립하는 것이 필요하다. 최근 외국의 여러나라에서는 自國水域에 대한 魚族生物資源을 정량적으로 평가함과 동시에 그 자료를 토대로 自國의 漁業資源을 효과적으로 管理하기 위한 각종의 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 최근에는 음향에 의한 魚族生物資源의 調査技法이 실용화됨에 따라 計量魚探시스템에 의한 漁業資源의 調査·研究가 활발히 진행되고 있다¹⁻⁹⁾.

本 研究에서는 우리나라 沿近海 海域에 대한 魚族生物의 資源評價 및 그 管理를 위한 기초자료를 수집하기 위한 연구의 일환으로 東中國海를 대상으로 計量魚群探知機 및 트롤 操業에 의해 수집된 魚族生物의 음향學的 調査資料와 漁獲資料 및 水槽實驗資料 등을 종합적으로 분석하여 調査對象 海域에 대한 魚族生物의 資源量을 평가하는 데 있어 필요한 魚群反射強度를 추정된 結果에 대하여 보고한다.

實驗裝置 및 調査方法

1. 計測시스템의 構成

1989~1992年度の 調査에 대한 計測시스템의 構成은 Fig. 1과 같이 魚群에 의한 超音波散亂信號를 정량적으로 수록 및 해석하기 위한 計量魚群探知機(海上電機, KFC-200型), 音響積分器(echo integrator, 海上電機 PRC-17型), 記錄器(海上電機, R-42型), color display(海上電機, I-62型), digital data recorder (Denon, DTR-100P), micro-computer(Epson PC-286C, Hynuju HJC-486), 프린터 및 플롯터 등으로 구성하였고, 1994년도 調査에서는 FQ-50 計量魚群探知機(古野電氣)를 이용하여 調査를 실시하였다.

本 調 査 에 서 사 용 한 計 量 魚 群 探 知 機 의 作 動 周 波 數 는 25 kHz, 50 kHz 및 100 kHz 이 고, 현 장 에 서 魚 群 의 體 積 散 亂 強 度 는 $20\text{Log}(R)$ 의 TVG 出 力 信 號 를 定 量 化 하 여 구 하 였 고, 또 魚 群 의 分 布 패 턴 은 $40\text{Log}(R)$ 의 TVG 出 力 信 號 를 이 용 하 여 記 録 하 였 다.

魚 群 의 體 積 散 亂 強 度 는 먼 지 각 각 의 周 波 數 에 서 측 정 한 魚 群 echo 信 號 의 $20\text{Log}(R)$ TVG 出 力 信 號 를 12 bit A/D 變 換 器 를 통 해 數 值 化 한 後, 그 信 號 를 音 響 積 分 器 에 入 力 시 켜 各 水 深 區 間 별 에 대 한 魚 群 echo 信 號 를 二 乘 平 均 하 여 平 均 echo energy 를 算 出 하 고, 이 積 分 電 壓 值 로 부 터 單 位 體 積 當 에 분 포 하 는 魚 群 의 後 方 體 積 散 亂 強 度 (SV, dB) 를 다 음 式 에 의 해 구 하 였 다.

$$SV = 10\text{Log}(E^2) - (PMG_R) - 10\text{Log}\left(\frac{c\tau}{2}\right) - 10\text{Log}(\Psi_D) - GT_M + 40 + SS$$

여 기 서, E^2 는 $20\text{Log}(R)$ 의 TVG 增 幅 器 에 서 出 力 되 는 echo 信 號 를 二 乘 處 理 하 여 그 것 을 積 分 水 深 區 間 과 送 信 信 號 의 發 射 回 數 (N) 에 대 하 여 平 均 한 값 이 다. 즉,

$$E^2 = \frac{1}{d} \int_r^{r+d} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V_n^2 \right) dr$$

이 고, 또 한 PMG_R 은 送 受 信 係 數 로 서, 이 값 은 反 射 強 度 (target strength, TS) 를 알 고 있 는 校 正 球 를 이 용 하 여 計 量 魚 探 시 스템 을 總 合 的 으 로 校 正 하 는 방 법 에 의 해 구 하 였 으 며, GT_M 은 $20\text{Log}(R)$ 의 TVG 係 數, SS 는 減 衰 器 의 感 度 設 定 值, τ 는 필 스 幅, Ψ_D 는 送 · 受 波 器 의 等 價 指 向 角 이 다.

현 장 에 서 는 計 量 魚 群 探 知 機 에 서 出 력 되 는 SV 값 을 RS-232C 의 interface 를 통 하 여 micro-computer 로 서 수 신 하 여 연 속 적 으 로 floppy disk 에 수 록 하 였 다.

2. 調 査 方 法

1) 調 査 海 域

트 롤 및 魚 探 調 査 는 1990 年 ~ 1992 年 의 11 月 및 1994 年 4 月 에 각 각 실 시 하 였 다. 1990 年 ~ 1992 年 에 는 北 海 道 大 學 實 習 船 Oshoro 丸 (G/T 1,383, stern trawler) 를 이 용 하 여 실 시 하 였 고, 1994 年 도 에 는 長 崎 大 學 實 習 船 Nagasaki 丸 (G/T 1,174, stern trawler) 를 이 용 하 여 濟 州 道 南 西 方 海 域 에 서 실 시 하 였 는 데, 그 트 롤 조 사 의 定 點 은 Fig. 2 와 같 다.

2) 트 롤 曳 網 層 의 空 間 體 積 과 魚 群 反 射 強 度 의 推 定

本 調 査 에 사 용 한 트 롤 그 물 은 4 枚 式 의 그 물 로 서 끝 자 루 는 이 중 망 으 로 구 성 하 였 는 데, 그 물 코 의 크 기 는 약 54 mm 였 다. 트 롤 操 業 시 曳 網 時 間 은 30 分 ~ 2 時 間, 曳 網 速 力 은 약 4 knot 로 하 였 고, 트 롤 그 물 의 網 高 와 展 開 板 의 展 開 間 隔 은 天 井 網 과 展 開 板 에 각 각 net recorder (海 上 電 機, G-10 型) 와 otter graph (海 上 電 機, KOG-10L 型) 를 장 치 하 여 측 정 하 였 다.

트 롤 조 업 시 에 대 한 曳 網 層 의 空 間 體 積 (V, m^3) 은 網 口 附 近 에 대 한 그 물 의 展 開 形 狀 이 날 개 그 물 앞 단 의 展 開 幅 (D_w) 과 그 물 의 網 高 (N_h) 를 각 각 長 半 徑, 短 半 徑 으 로 하 는 타 원 형 이 라 가 정 하 여 다 음 식 으 로 부 터 구 하 였 다.

$$V = \frac{\pi N_h D_w}{4} \cdot R_s \cdot 1852$$

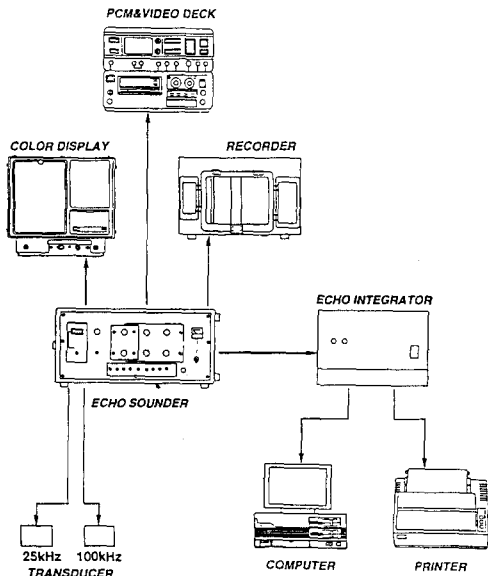


Fig. 1. Block diagram of hydroacoustic data acquisition and processing system

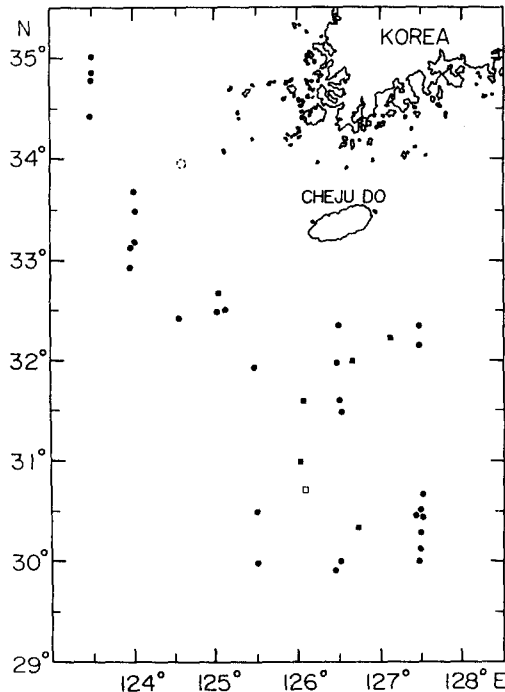


Fig. 2. Stations of hydroacoustic survey and trawl sampling in the East China Sea.

- : Bottom trawl survey during 1989 - 1992.
- : Bottom trawl survey in April 1994.
- : Midwater trawl survey in April 1994.

여기서, R_s 는 曳網距離이고, 날개그물의 展開幅 D_w 는 otter graph에 의한 전개판의 展開間隔을 D_o , 후릿줄 및 그물목줄의 총길이를 L_h , 날개그물 앞단에서 자루그물 끝단까지의 길이를 L_n 이라 할 때 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$D_w = \frac{L_n D_o}{L_h + L_n}$$

트롤조업에 의해 漁獲된 어획물은 魚種別로 분류하여 體長, 體重 및 體高 등을 측정하였다.

한편, 現場實驗에서 어군의 反射強度는 먼저 트롤조업에 의한 漁獲物의 重量과 曳網層의 공간체적을 이용하여 단위체적당에 대한 魚群密度(C , kg/m^3)를 산출하고, 이것과 計量魚群探知機에 의해 측정된 트롤 曳網層의 단위체적당에 대한 平均體積散亂強度($\langle SV \rangle$, dB)와의 관계를 다음의 回歸直線式에 근사시켜 구하였다.

$$\langle SV \rangle = TS_{kg} + 10 \log(C)$$

여기서, TS_{kg} 은 漁獲物 1 kg 당에 대한 魚群의 反射強度이고, 트롤 曳網層의 平均體積散亂強度 $\langle SV \rangle$ 는 曳網層의 수심을 1 m 간격으로 분할하여 각 水層別 魚群의 體積散亂強度를 구하고, 이것을 echo신호의 測定回數에 대하여 集合平均하여 구하였다.

$$\langle SV \rangle = \frac{1}{L} \sum_{j=0}^L \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N SV(i, j) \right\}$$

여기서, N 는 曳網層 수심의 分割數, L 은 echo신호의 측정회수, $SV(i, j)$ 는 j 번째 측정시의 i 번째 수층의 體積散亂強度이다.

3) 水槽實驗에 의한 魚群反射強度의 測定

水槽實驗은 現場調查에서와 같이 25 kHz 와 100 kHz 의 주파수에 대하여 행하였는데, 魚體의 反射強度 (TS_f)는 魚體의 背方向이 送·受波器를 향하도록 설치하고 魚體의 pitch각을 1°씩 변화시키면서 $\pm 90^\circ$ 의 pitch각 범위에 대한 反射信號의 電壓 V_f 를 측정하여 다음식에 의해 구하였다.

$$TS_f = TS_s + 20 \log\left(\frac{V_f}{V_s}\right)$$

여기서, TS_s , V_s 는 각각 校正球의 反射強度 및 反射信號의 電壓이다.

水槽實驗에 의한 魚體의 反射強度 測定은 트롤에 의해 어획된 漁獲物의 일부 魚種을 대상으로 실시하였는데, 특히 본 연구에서는 全魚種에 대한 單位重量當의 平均反射強度를 구하기 위해 각 魚種別 魚體의 體重(W , kg)과 平均反射強度($\langle TS \rangle$, dB)와의 관계를 다음의 回歸直線式에 의해 구하였다.

$$\langle TS \rangle = TS_A + 10 \log(W^{\frac{2}{3}})$$

여기서, TS_A 는 어체 1 kg 당에 대한 平均反射強度이다.

4) 부레의 體積測定

현재, 音響에 의한 資源調査에 있어서 그 資源量 推定에 영향을 미치는 요인중의 하나는 부레에 기인하는 魚體反射強度의 변동이다. 즉, 부레를 갖는



Fig. 3. A photograph showing the swimbladder extruded through the mouth of white croaker, *Argyrosomus argentatus*, brought quickly to surface in bottom trawls.

魚類가 수면을 향해 상승할 때에는 부레의 체적이 증가하고, 또 침강할 때에는 부레의 체적이 감소하는 현상이 발생하기 때문에 부레의 체적변화에 기인하는 反射强度의 변동이 필연적으로 발생한다¹⁰⁾.

본 연구에서는 濟州道 近海에서 저층트롤에 의해 어획한 보구치의 부레체적을 측정하고 (Fig. 3), 그 부레와 동일한 체적을 갖는 球의 等價半徑을 산출하여 그 等價半徑과 體長의 관계에 대하여 고찰하였으며, 또한 어체의 全體積에 대한 부레 체적의 占有比率를 다음식에 의해 구하였다¹¹⁾.

$$\frac{K_s}{K_f} = \frac{4\pi\rho(A/L)^3}{3M/L^3}$$

여기서, K_s , K_f 는 부레의 체적 및 어체의 全體積이고, ρ 는 해수의 밀도, A 는 부레의 等價半徑, L 은 魚體의 體長, M 은 魚體의 體重이다.

結 果

1. 트롤操業에 의한 魚群反射强度의 推定

1994년도 4월에 제주도 南西方 海域에서 실시한 底層 및 中層 트롤 操業에 의해 어획한 漁獲物의 重量과 그때의 트롤 曳網層에 대한 平均體積散亂强度와의 관계는 Fig. 4과 같다.

그림에서 ○과 ●은 각각 中層과 底層트롤에 의한 결과로서, 縱軸은 50 kHz의 周波數에 대한 트롤 曳網層의 平均體積散亂强度(dB)이고, 橫軸은 트롤 어획물의 단위체적당에 대한 重量(kg/m³)이다.

中層 트롤시에 대한 그물의 網高는 10.5 m, 展

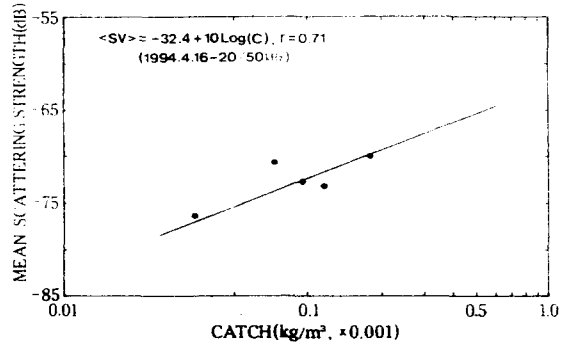


Fig. 4. The relationship between mean volume backscattering strength(dB) and fish weight (kg/m³) of trawl catches at 50 kHz in April 1994.

開板의 展開間隔은 약 49 m였고, 漁獲物은 멸치 (平均체장 10.4 cm)가 7.4 kg, 병어(平均체장 13.5 cm)가 2 kg 어획되었으며, 中層 트롤의 曳網層(網深 36 m)에 대한 平均體積散亂强度는 -68.8 dB 이었다. 中國水産科學研究院이 東中國海의 멸치에 대한 反射强度(TS, dB)와 체장(L, cm)과의 관계 및 體長과 體重(W, g)과의 관계에 대하여 유도한 실험식을 이용할 때,

$$TS = 20\text{Log}(W^{1/3.09}) - 57.1$$

이 성립하고⁹⁾, 이 식을 적용하여 본 연구의 中層 트롤에 의해 어획된 멸치 1 kg당에 대한 魚群反射强度의 값을 구하면 -37.7 dB/kg이다. 또한 이 魚群 反射强度의 값과 트롤 曳網層의 平均體積散亂强度 및 曳網體積에 의해 구한 단위체적당에 대한 魚群密度의 推定値는 7.69×10^{-4} kg/m³이다. 그러나, 실제 中層 트롤에 의해 어획된 어획물의 重量으로부터 산출한 魚群密度는 8.86×10^{-6} kg/m³로서, 이 값은 그 推定値보다 매우 작았는데, 이것은 본 연구에서 사용한 그물의 網目(54 mm)이 매우 커서 대부분의 멸치가 그물을 빠져나갔기 때문이다.

Fig. 4에서 底層트롤에 의한 魚群의 平均體積散亂强度(<SV>, dB)와 단위체적당에 대한 어획물의 重量(C, kg/m³)과의 사이에 다음의 回歸直線式을 얻었다.

$$\langle SV \rangle = -32.4 + 10\text{Log}(C)$$

이 식에서 어획물 1 kg당에 대한 魚群의 平均反射强度의 推定値는 -32.4 dB/kg이다.

한편, 1989~1992년도의 11월중에 東中國海에서 실시한 底層 트롤 操業에 의해 어획한 어획물의 重量과 그 때의 트롤 曳網層에 대한 平均體積散亂強度와의 관계를 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대하여 나타낸 결과는 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다.

Fig. 5는 25 kHz의 周波數에 대한 결과로서, 그림에서 縱軸은 트롤 曳網層의 平均體積散亂強度(dB)이고, 橫軸은 트롤 어획물의 단위체적당에 대한 重量(kg/m³)이다. 또한, Fig. 6은 100 kHz의 周波數에 대한 결과이다.

Fig. 5와 Fig. 6에서 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대한 曳網層의 平均體積散亂強度(<SV>, dB)와 단위체적당의 漁獲量(C, kg/m³)과의 사이에는 다음의 回歸直線式을 얻었다.

$$25 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -29.8 + 10 \text{Log}(C)$$

$$100 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -31.7 + 10 \text{Log}(C)$$

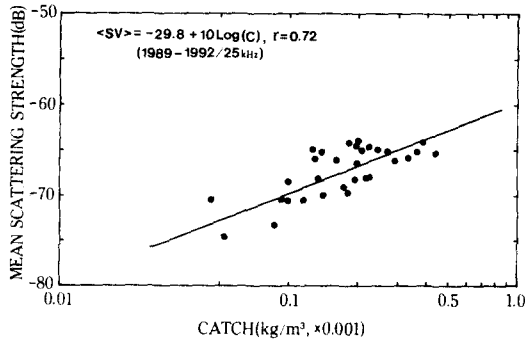


Fig. 5. The relationship between mean volume backscattering strength(dB) and fish weight (kg/m³) of trawl catches at 25 kHz during 1989 - 1992.

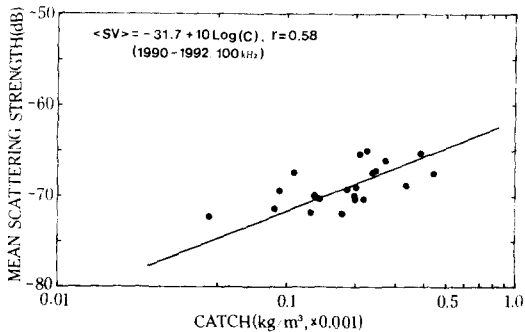


Fig. 6. The relationship between mean volume backscattering strength(dB) and fish weight (kg/m³) of trawl catches at 100 kHz during 1989 - 1992.

이들 식에서 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대한 어획물 1 kg당에 대한 魚群의 平均反射強度의 推定値는 각각 -29.8 dB/kg, -31.7 dB/kg로서, 25 kHz에 대한 平均反射強度의 값이 100 kHz의 그 값보다 1.9 dB 더 컸다.

2. 水槽實驗에 의한 魚群反射強度의 推定

個體魚의 平均反射強度를 추정하는 데 있어서는 魚體의 姿勢變動에 따른 反射信號의 變動특성을 고려해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 魚體의 pitch角을 변화시키면서 反射強度를 측정하고, pitch角의 변화에 따른 魚體反射強度의 變動특성을 고찰하였다.

Fig. 7은 現場調查 當時 트롤 操業에 의해 어획한 10마리의 고등어(平均體長 24.9 cm, 平均體重 139.9 g)를 대상으로 實驗水槽에서 측정된 $\pm 45^\circ$ 의 pitch角 범위에 대한 反射強度를 서로 중첩시켜 나타낸 것으로서, (A)와 (B)는 각각 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대한 결과이다. 그림에서 縱軸은 反射強度(dB)이고, 橫軸은 pitch角이다. pitch角은 頭部가 하강할 때의 각도를 負의 방향, 상승할 때의 각도를 正의 방향으로 하였다.

Fig. 7에서 25 kHz의 경우에 있어서는 超音波가 어체의 등쪽을 향해 垂直入射하는 pitch角 0°를 중심으로 그 前後 $\pm 15^\circ$ 의 pitch角 범위에서 魚體의 反射強度가 가장 크게 나타났고, 그 pitch角 범위를 벗어남에 따라 그 값이 급속히 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나, 100 kHz의 경우에 있어서는 pitch角 0° 부근에서 反射強度가 가장 크게 나타났.

실제 海上에서는 船底에 장치된 送·受波器의 音束(sound beam)내에서 魚體의 遊泳姿勢가 시시각각으로 변화하기 때문에 魚體에서 산란되는 超音波信號가 매우 불규칙하게 변동하게 되고, 또 이 때문에 그 魚體를 대표할 수 있는 平均적인 反射強度를 추정하는 데에 많은 어려움이 있다.

따라서, 본 研究에서는 Fig. 7의 (A)와 (B)에 대한 魚體의 反射強度를 pitch角別로 集合平均하여 入射角에 따른 平均反射強度의 변화양상을 검토하였는데, 그 결과는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 ○과 ●은 각각 25 kHz와 100 kHz의

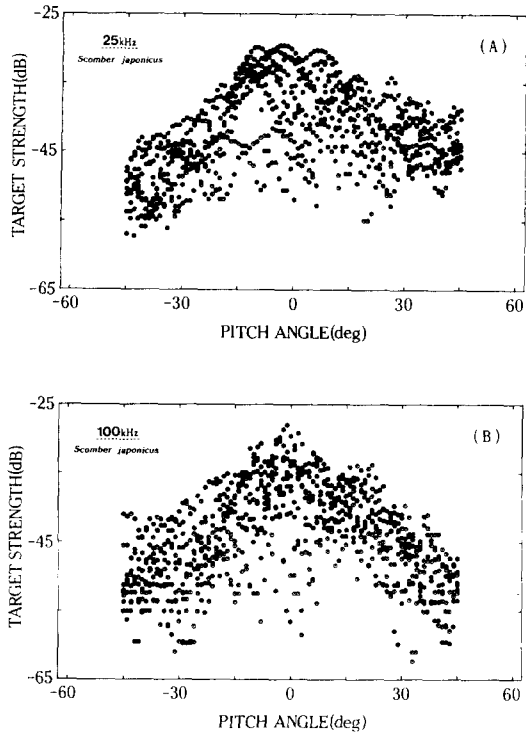


Fig. 7. Variations in target strength with pitch angle for 10 samples of mackerel, *Scomber japonicus*, at 25 kHz(A) and 100 kHz(B).

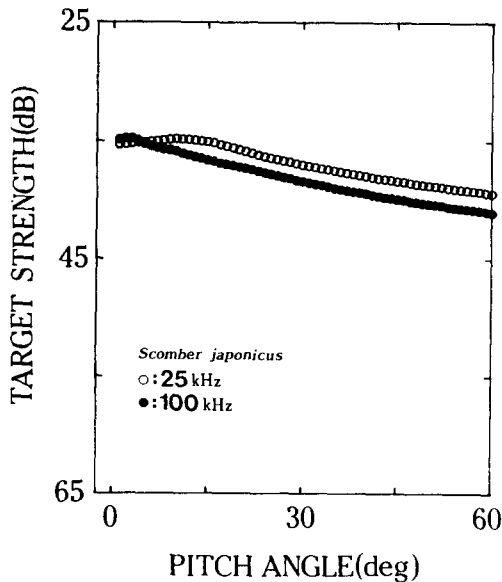


Fig. 8. Variations in mean target strength with pitch angle derived from 10 mackerel samples at 25 kHz(○) and 100 kHz(●).

周波數에 대한 pitch角別 平均反射強度의 변동패턴을 나타낸 것이다.

그림에서 25 kHz의 周波數에 대한 고등어의 平均反射強度는 pitch角이 0°일 때 -35.3 dB이었으나, pitch角이 증가함에 따라 점차 증가하여 pitch角이 10°일 때 그 값은 -34.8 dB로서 가장 높았고, 그 이후의 pitch角에서는 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나, 100 kHz의 周波數에 있어서는 pitch角 3°까지 -34.8 dB로서 거의 같았고, 그 이후의 pitch角에서는 25 kHz의 경우와 같은 패턴으로 감소하였다.

本 研究에서는 魚體의 pitch角에 따른 反射強度의 변동특성을 검토하여 魚種別 平均反射強度를 산출하였는데, 고등어에 대해서는 ±15°의 pitch角 범위에 대한 平均反射強度를 구하였다.

한편, 부레를 갖고 있는 魚體의 경우에 있어서는 부레의 形狀, 크기, 位置角에 따라 反射信號가 변동하는 데, 이 현상을 검토하기 위하여 實驗水槽에서 민어의 反射強度를 측정 한 결과는 Fig. 9와 같다.

Fig. 9는 底層트롤에 의해 어획한 9마리의 민어(平均體長 32.0 cm, 平均體重 305.2 g)의 ±45° 범위의 pitch角에 대한 反射強度를 서로 중첩시켜 나타낸 것으로서, (A)와 (B)는 각각 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대한 결과이다. 그림에서 縱軸은 反射強度(dB)이고, 橫軸은 pitch角이다. 또한, Fig. 9의 민어에 대한 反射強度를 pitch角에 대하여 集合平均하여 入射角에 따른 平均反射強度의 변동특성을 검토한 결과는 Fig. 10과 같다.

Fig. 9에서 25 kHz의 周波數에 대한 민어의 反射強度는 pitch角 18°를 중심으로 그 前後 ±5°의 범위내에서 매우 높게 나타나고 있는데, 이 현상은 魚體의 脊椎骨 下部에 위치하는 부레의 기울기와 밀접한 관계가 있다고 생각된다. 그러나, 100 kHz에 있어서는 부레의 존재에 기인하는 반사강도의 변동이 나타나지 않았다.

Fig. 10에서 ○과 ●은 각각 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대한 민어의 pitch角別 平均反射強度의 변동패턴을 나타낸 것이다.

그림에서 25 kHz에 周波數에 대한 민어의 平均反射強度는 pitch角이 0°일 때 -36.5 dB이었으나, pitch角이 증가함에 따라 점차 증가하여 pitch角이

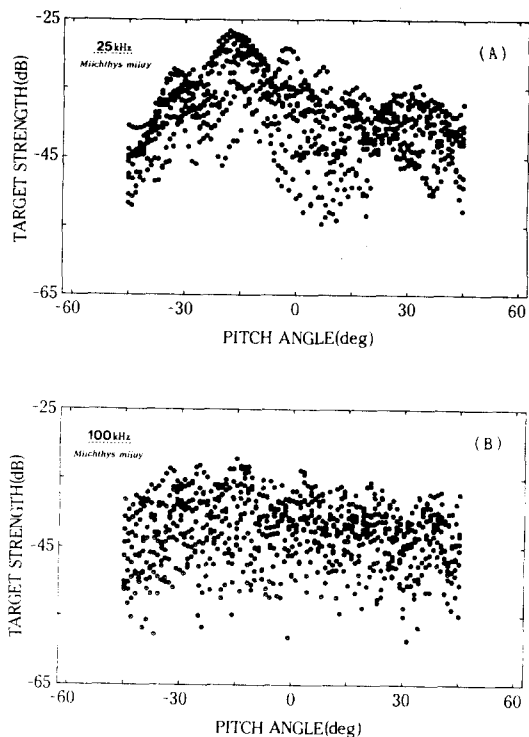


Fig. 9. Variations in target strength with pitch angle for 9 samples of croaker, *Miichthys miiuy*, at 25 kHz(A) and 100 kHz(B).

20°일 때 그 값은 -34.5 dB로서 가장 높았고, 그 이후의 pitch角에서는 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. 한편, 100 kHz에 있어서는 pitch角 3°와

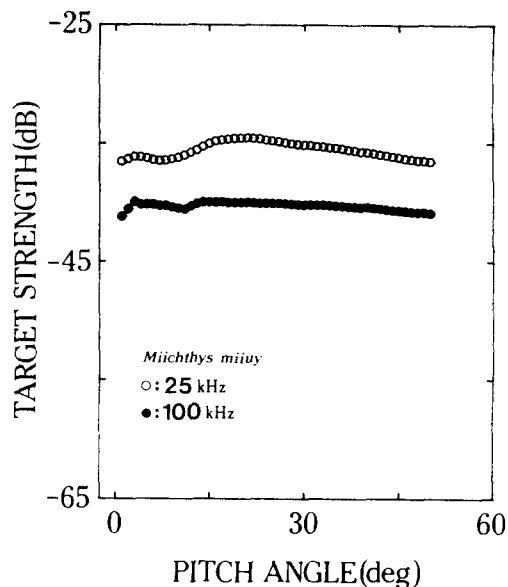


Fig. 10. Variations in mean target strength with pitch angle derived from 9 croaker samples at 25 kHz(○) and 100 kHz(●).

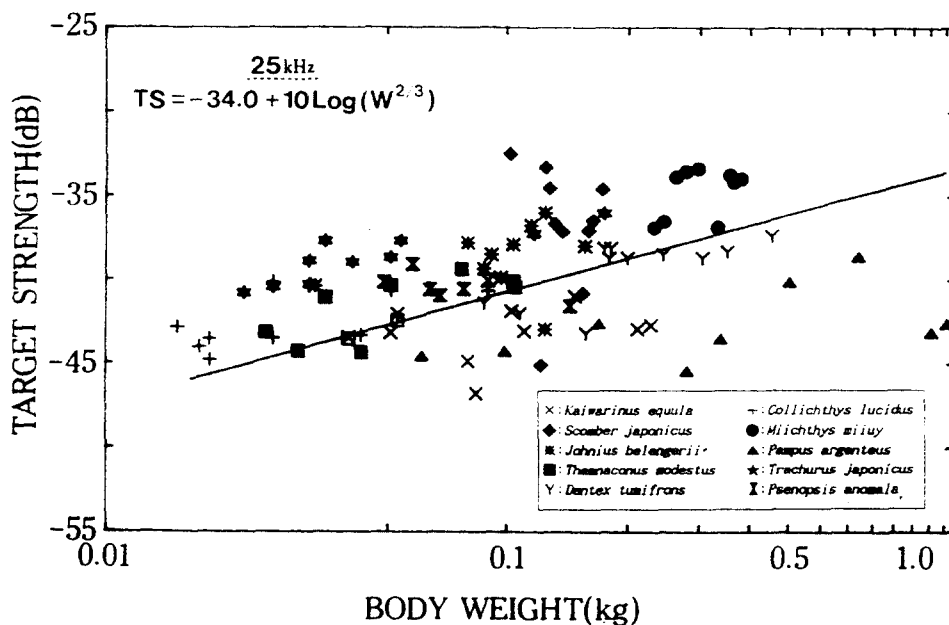


Fig. 11. The relationship between mean target strength(dB) and body weight(kg) for 10 species caught by bottom trawls at 25 kHz.

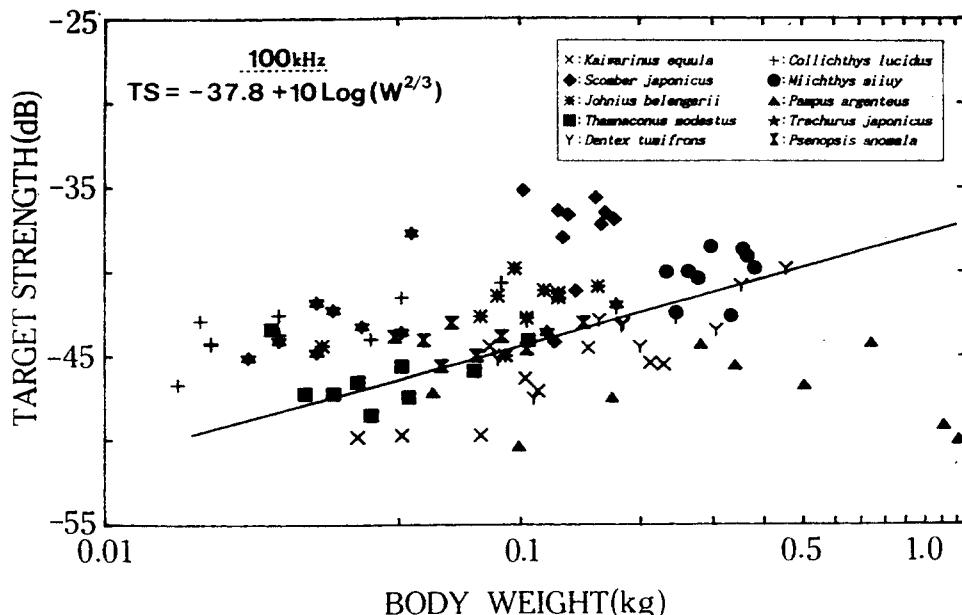


Fig. 12. The relationship between mean target strength(dB) and body weight(kg) for 10 species caught by bottom trawls at 100 kHz.

15°에서 平均反射强度가 -39.9 dB로서 가장 높았고, 15° 이후의 pitch角에서는 매우 완만하게 감소하였다. 따라서, 민어에 대해서는 이와같은 平均反射强度의 변동특성을 고려하여 ±20°의 pitch角 범위에 대한 平均值를 平均反射强度로 하였다.

調査海域에서 底層트롤에 의해 주로 많이 어획되었던 강달이, 말퀴치, 갈전갱이, 민태, 병어, 황돔, 민어, 고등어, 셋돔, 전갱이 등의 10 魚種을 대상으로 各 魚種에 대한 pitch角別 平均反射强度의 변동특성을 검토하여 總 96 魚體에 대한 平均反射强度를 구하고, 그 값과 各 魚體의 體重과의 관계를 나타낸 결과는 Fig. 11 및 Fig. 12와 같다.

Fig. 11은 25 kHz의 周波數에 대한 결과로서, 그림에서 縱軸은 魚體의 平均反射强度(dB)이고, 橫軸은 體重(kg)이다. 한편, Fig. 12는 100 kHz의 周波數에 대한 결과이다.

Fig. 11 및 Fig. 12에서 調査를 실시한 海域에 있어 트롤에 의해 어획한 魚體의 平均反射强度와 體重과의 사이에 다음의 回歸直線式을 얻었다.

$$25 \text{ kHz} : TS = -34.0 + 10 \text{Log}(W^{\frac{2}{3}})$$

$$100 \text{ kHz} : TS = -37.8 + 10 \text{Log}(W^{\frac{2}{3}})$$

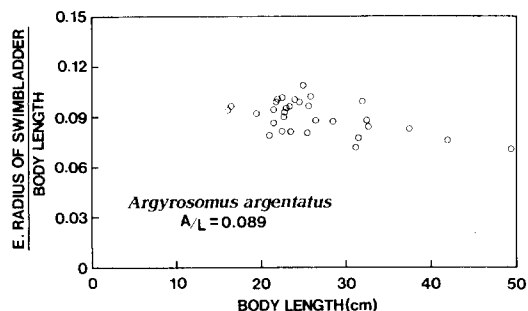


Fig. 13. Variation in the A/L values with body length of white croaker, *Argyrosomus argentatus*, caught by bottom trawls.

A : the equivalent radius of swimbladder
L : body length

이들 식에서 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대한 魚體 1 kg당에 대한 平均反射强度의 推定値는 각각 -34.0 dB/kg, -37.8 dB/kg로서, 25 kHz에 대한 平均反射强度의 값이 100 kHz의 그 값보다 3.7 dB 더 컸다.

한편, 本 研究에서는 魚體의 超音波散亂特性에 대한 부레의 영향을 검토하기 위한 시도로서 魚體의 부레 체적과 같은 체적을 갖는 球의 等價의인

半徑을 산출하여, 그 等價半徑과 體長과의 관계, 또한 魚體의 全體積에 대한 부레 체적의 占有比率를 조사하였는데, 그 결과는 Fig. 13과 같다.

Fig. 13은 濟州道 近海에서 어획된 보구치에 대한 부레의 等價半徑과 魚體의 體長과의 관계를 나타낸 것이다. 底層에서 트롤그물에 입망된 보구치를 甲板上에 引揚하였을 때, 그 魚體內의 부레가 입을 통해 洩출되었는데, 이것은 魚體를 底層에서 表層으로 끌어 올릴 때, 水壓의 급격한 감소때문에 부레 체적이 급속히 증가한 데 기인한 것으로 생각된다. 本 研究에서는 이들의 보구치중에서 부레의 손상이 거의 없는 것만을 골라 주사기를 이용하여 부레내의 공기를 뽑아내고, 그 洩출된 空氣體積을 부레의 체적으로 하였다.

Fig. 13에서 魚體의 體長(L, cm)과 부레의 等價半徑(A, cm)의 비는 魚體의 體長이 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 보였고, A/L 의 平均值는 0.089이었다. 한편, 이들 보구치를 현장에서 解剖하여 魚體 중심선에 대한 부레의 傾斜角을 측정 한 결과, 부레의 傾斜角은 約 15.6° 였다. 따라서, 이와 같은 보구치의 부레 傾斜角과 Fig. 9의 민어에 대한 反射強度를 상호 연관시켜 고찰해 볼 때, Fig. 9에서 pitch角 -18° 부근에 대한 反射強度가 가장 높았던 것은 민어의 부레 경사각과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었고, 또한 보구치의 全體積에 대한 부레 체적의 占有比率는 約 10%였다.

3. 魚群의 平均反射強度 推定

1990~1992년의 11月中旬에 東中國海에서 트롤 및 魚探調査에 의해 추정된 트롤 어획물 1 kg당에 대한 反射強度와 조사당시 트롤에 어획된 어획물 중에서 주요 10魚種을 대상으로 實驗水槽에서 측정 한 魚體 1 kg당에 대한 反射強度의 평균적인 값은 25 kHz와 100 kHz의 周波數에서 각각 $-31.4 dB/kg$, $-33.8 dB/kg$ 이었다. 향후 이 값들은 東中國海의 魚族生物에 대한 現存資源量을 평가하는데 있어 그 基礎資料가 될 것으로 사료된다.

要 約

우리나라 沿近海 海域에 대한 魚族生物의 資源

評價 및 그 管理를 위한 기초자료를 수집하기 위한 연구의 일환으로 東中國海를 대상으로 計量魚群 探知機 및 트롤조업에 의해 수집된 魚族生物의 音響學的 調查資料와 漁獲資料 및 水槽實驗資料 등을 종합적으로 분석하여 調查對象海域에 대한 魚族生物의 魚群反射強度를 추정 한 결과를 要約하면 다음과 같다.

1. 1994년 4월에 濟州道 南西方 海域에서 50 kHz의 周波數에 대하여 측정 한 트롤 曳網層에 대한 魚群의 平均體積散亂強度($\langle SV \rangle, dB$)와 그 때의 트롤조업에 의해 어획한 단위체적당의 漁獲量($C, kg/m^3$)과의 사이에는 다음의 回歸直線式을 얻었다.

$$\langle SV \rangle = -32.4 + 10 \log(C)$$

이 식에서 어획물 1 kg당에 대한 魚群의 平均反射強度의 推定値는 $-32.4 dB/kg$ 이었다.

2. 1989~1992년의 11월중에 東中國海에서 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대한 트롤 曳網層의 平均體積散亂強度($\langle SV \rangle, dB$)와 단위체적당의 漁獲量($C, kg/m^3$)과의 사이에는 다음의 回歸直線式을 얻었다.

$$25 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -29.8 + 10 \log(C)$$

$$100 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -31.7 + 10 \log(C)$$

이들 식에서 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대한 어획물 1 kg당에 대한 魚群의 平均反射強度의 推定値는 각각 $-29.8 dB/kg$, $-31.7 dB/kg$ 으로서, 25 kHz에 대한 魚群反射強度의 값이 100 kHz에 대한 그 값보다 1.9 dB 더 컸다.

3. 트롤조업에 의해 어획한 강달이, 말귀치, 갈전갱이, 민태, 병어, 황돔, 민어, 고등어, 셋돔, 전갱이 등을 대상으로 25 kHz와 100 kHz의 周波數에서 측정 한 魚體의 平均反射強度와 體重과의 사이에는 다음의 回歸直線式을 얻었다.

$$25 \text{ kHz} : TS = -34.0 + 10 \log(W^{\frac{2}{3}})$$

$$100 \text{ kHz} : TS = -37.8 + 10 \log(W^{\frac{2}{3}})$$

이들 식에서 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대한 魚體 1 kg당에 대한 平均反射強度의 測定値는 각각 $-34.0 dB/kg$, $-37.8 dB/kg$ 로서, 25 kHz에 대한 魚體의 平均反射強度의 값이 100 kHz에 대

한 그 값보다 3.8 dB 더 컸다.

4. 濟州道 近海에서 어획한 보구치의 부레의 등價半徑(A)에 대한 體長(L)의 比率(A/L)는 體長이 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 보였고, 그 平均值는 0.089이었다.

以上の 트롤조업 및 魚探調査, 또한 實驗水槽에서 측정한 魚體의 反射強度를 종합적으로 고찰할 때, 東中國海의 漁業資源을 평가함에 있어 적용할 수 있는 魚群 1 kg당에 대한 평균적인 反射強度는 25 kHz와 100 kHz의 周波數에 대하여 각각 -31.4 dB/kg, -33.8 dB/kg이라고 추정된다.

參考文獻

- 1) Sasaki T.(1992) : Report of cooperative JAPAN-U. S. pelagic pollock investigation in the ALEUTIAN basin during August-October in 1988. Special Publication of the Research Institute of Far East Fisheries No. 21. Fisheries Agency of JAPAN.
- 2) 李昊在(1993) : 計量魚探とトロール實測値との關係. 底魚類資源調査に關する國際シンポジウム論文集, 北海道大學.
- 3) MacLennan D. N. and E. J. Simmonds(1992) : Fisheries Acoustics. Chapman & Hill, 325p.
- 4) 李昊在(1991) : 東那支海底接魚類資源의 音響學的 調査(1989). 漁業技術 27(2), 143 - 150.
- 5) 李昊在(1991) : 魚群探知機에 의한 魚群量推定에 관한 基礎的 研究 -I, 魚群量推定理論의 檢證實驗. 漁業技術 27(1), 1 - 12.
- 6) 李昊在(1991) : 魚群探知機에 의한 魚群量推定에 관한 基礎的 研究 -II, 魚群의 分布密度와 超音波散亂強度의 關係. 漁業技術 27(1), 13 - 20.
- 7) 李昊在(1992) : 魚群探知機에 의한 魚群의 分布와 生態計測에 관한 研究. 漁業技術 27(4), 337 - 346.
- 8) Mitson R. B.(1993) : Fisheries Sonar. Fishing News Books Ltd, 287p.
- 9) 大瀧英夫 譯(1991) : 東海, 黃海의 카タクチウシ及びその他重要魚類資源의 音響學的評價研究, - 北斗號 1984年 11月~1989年 1月の調査研究報告 -, 海洋水産研究センター, 1 - 147.
- 10) Tait, R. V.(1981) : Elements of Marine Ecology. Butterworths, 100 - 118.
- 11) Okeefe, D. J., Geortner, J. F. and S. H. Gregory(1988) : Two experimental studies of fish swimbladder volumes, J. Acoust. Soc. Am. 84(2), 785 - 786.