

韓國 南海岸 浮魚類의 音響反射強度에 關한 研究

I. 멸치 (*Engraulis japonica*)의 *in situ* 反射強度 測定

尹甲東 · 金場根* · 崔暎玟*
釜山水產大學校 漁業工學科, *國立水產振興院

Acoustic Target Strength of the Pelagic Fish in the Southern Waters of Korea

I. *In situ* Measurement of Target Strength of Anchovy (*Engraulis japonica*)

Gab Dong YOON, Zang Geun KIM* and Young Min CHOI*
Department of Fishing Engineering, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea
*National Fisheries Research and Development Agency, Kijang-Gun,
Pusan 619-900, Korea

The *in situ* target strength for the anchovy (*Engraulis japonica*) were measured by the split beam echo sounder system at 38 kHz. This study allowed us to detect the single echos from anchovy shoals which were dispersed during trawling operation in day time. The results of our study were as follows:

We found that the anchovy occupied about 95% of the total catch from the detected shoals from which target strength data were collected. Length distribution of anchovy showed a mode and ranged from 13.6 to 15.4 cm with a mean of 14.4 cm and a standard deviation of 0.45 cm, and weight distribution showed a mode and ranged from 16 to 28 g with a mean of 21.9 g and a standard deviation of 2.7 g. The target strength distribution of anchovy ranged from -40.7 dB to -69.2 dB in the water layer of 10~30 m, -42.19 to -67.7 dB in the 30~50 m and -42.2 to -67.7 dB in 10~50 m, showing 2 modes in each layer, respectively.

Overall mean target strengths were -49.7 dB/fish and -33.1 dB/kg, averaged by area backscattering cross section (σ), and the confidence interval for target strength was less than 1 dB. With the mean total length and the mean target strength, we derived the target strength-length relationship as $TS(\sigma) = 20 \text{ Log } L - 72.9$.

Key words : acoustic target strength, pelagic fish, anchovy, Korea

序 言

魚群에 의한 音響反射強度는 魚群의 密度 및 魚群을 構成하는 魚體의 反射強度 (target strength: TS)와 밀접한 관계가 있는데, 어체의 반사강도를 알고 있으면 音響積分値로부터 魚群의 密度를 구할 수 있다.

어체의 반사강도는 魚類의 體長, 魚體의 遊泳자세 등에 따라 변동하기 때문에 資源量 推定에 있어 이와 같은 TS의 變動을 考慮하지 않으면 推定資源值에 큰 誤差가 포함된다.

어체의 반사강도는 室內水槽에 의한 模擬實驗, 海面上的에서의 활어를 利用한 cage實驗 및 *in situ* 實驗에

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

의해 측정할 수 있다. 人爲的 條件下에서 어체의 반사강도를 측정하는 경우에는 自然狀態에 대한 魚類의 遊泳行動, 기타 in situ 狀態의 要因들이 考慮되지 못하는 문제점이 있다.

本 研究은 우리나라 南海東部에 分布하는 멸치魚群을 對象으로 split beam 어군탐지기를 이용하여 어체의 반사강도를 측정하였다.

材料 및 方法

1. 調査海域

멸치의 반사강도 및 魚體標本資料의 收集은 國立水産振興院 試驗調査船 釜山 881號 (360 G/T)를 사용하여 1994年 11月 22일부터 12月 3일까지 南海東部沿岸에서 실시하였고, 그 조사해역의 위치는 Fig. 1과 같다.

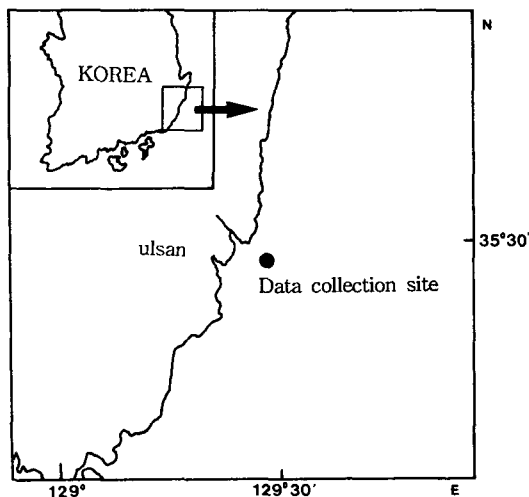


Fig. 1. Map of the data collection site for *in situ* target strength measurement.

2. 實驗裝置

本 研究에서 멸치의 반사강도 측정에 使用된 裝置는 Fig. 2에서와 같이 音響積分 (20 log R)과 split beam TS 分析機能 (40 log R)을 내장하고 있는 科學魚群探知機 (SIMRAD EK500), 38 kHz split beam 送受波器 (ES38B), 音響記錄用 color printer (HP Paintjet), Remote control PC, Speed log (Furuno DS70)

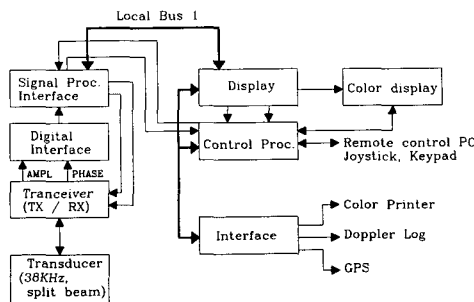


Fig. 2. Block diagram of data acquisition and processing system.

및 GPS Receiver (Furuno GP-520)로 構成하였다.

Split-beam 送受波器는 Fig. 3과 같이 4개로 분할된 형태의 것으로서, 4개의 분할 진동자는 同時に 音波를 發射하고 反射信號는 각각의 분할진동자를 이용하여 수신하는 데, 이때 음속 (sound beam)내에 존재하는 어체의 위치를 구하기 위해 어체의 전후방향에 대한 위치각은 前後方 四分圓 振動子の 電氣位相差 (AP+AS 信號와 FP+FS 信號와의 위상차), 左右방향에 대한 위치각은 左右方 四分圓 振動子の 位相差 (FP+AP 信號와 FS+AS 信號와의 위상차)에 의해 決定된다.

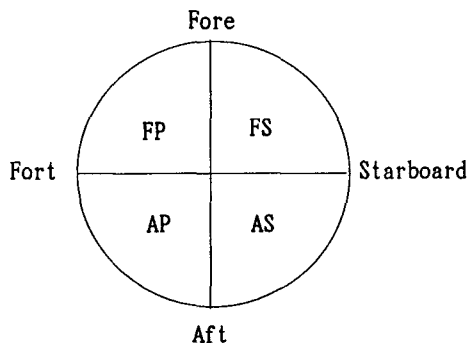


Fig. 3. Diagram of the split beam transducer, showing location of 4 segments described in the text.

3. 標準求에 의한 裝置較正

科學魚群探知機는 尙해직전에 標準球 (φ 60 mm, -33.6 dB)를 利用하여 시스템의 종합적인 교정을 실시하였다.

裝置의 較正을 위해 파도 및 조류가 거의 없는 蔚山灣 (수심 27 m)에 調査船 (부산 881호)을 묘박시키

I. 멸치 (*Engraulis japonica*)의 *in situ* 反射強度 測定

고, 船底에 附着되어 있는 38 kHz split beam 送受波器의 音軸上에 표준구를 位置시키기 위하여 3개의 소형원치를 좌현에 2개, 우현에 1개를 設置하였다.

標準球로 부터 2m 깊이까지는 직경 0.6 mm 나일론 줄을 이용하여 標準球 매달줄 (φ 0.6 mm, 길이 10 cm) 을 만들고, 各各의 원치로부터 풀려져 나온 스테인레스 와이어 (φ 1 mm)에 그것을 연결하였다. 이때 標準球의 흔들림을 防止하기 위하여 標準球로 부터 2m 아래에 5 kg의 침자를 달았다.

또한, 氣泡 發生을 防止하기 위하여 標準球 등 材料들을 家政用 식기세척액에 24시간 담가 둔 후 물속에 投下하였다. 원치를 使用하여 標準球를 送受波器 빔 중앙에 位置시킨 후, 標準球의 반사강도와 측정 반사강도, 標準球 音響積分值 및 理論積分值를 반복적으로 校正하여 測定값이 표준치에 일치하도록 하였다.

빔의 주엽내의 임의의 位置에서 標準球의 반사강도가 빔의 중앙에서의 그 값과 同一한 測定置가 되도록 標準球를 빔의 中央軸을 따라 前後 및 左右方向으로 移動 測定하여 빔각을 校正하였고, 標準球에 의한 裝備校正 結果值는 Table 1과 같다.

4. 어체의 반사신호 측정

조사선이 선속 약 11 knots로서 항주하면서 멸치의 어군을 탐지할 결과의 일례는 Fig. 4의 (A)와 같다.

反射信號는 船舶의 航海速度에 따라 水平깊이는 差異가 있으나 垂直깊이는 實際 크기와 同一하게 나타난다.

In situ TS의 측정을 위해서는 個體魚의 反射信號를 수신하여야 한다. 그러나, 본 연구의 조사기간동안 탐지된 어군은 고밀집 어군으로서 정선중이나 음향조사를 하는 동안은 개체가 반사신호의 수집은 어려웠으나, 트롤어구를 투망한 채로 반복하여 멸치어군을 교란한 결과 개체가 반사신호의 탐색이 가능하였고, 그 결과는 Fig. 4의 (B)와 같다.

반사강도의 측정은 1994年 11月 27日 오전 10時부터 11時까지 蔚山沿岸의 35°28'09 N, 129°30'03E로부터 35°26'97 N, 129°30'53 E사이의 海域에서 船速 3~4 knot로 魚群을 分散시키고, 어구를 曳網하면서 행하였다.

In situ TS의 측정대상 어종인 멸치를 漁獲하여 體長과 體重을 測定하였는데, 體長은 0.1 cm 單位로 全長을 測定했다.

멸치의 시험조업에 使用한 중층트롤은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 그물의 길이는 81 m, 網口의 둘레는 364 m, 網高 27 m, 網幅 32 m, 網口 부근의 그물코 크기 1200 mm, 끝자루 그물코 크기 50 mm이었다.

그물을 魚群層에 정확히 位置시키기도록 調節하기 위하여 無線 넷트레코드 센서를 망구 뜬줄의 中央部에 附着하여 어군의 입망을 觀察하였다.

Table 1. Echo-sounder system calibration report carried

Items	Specification	Items	Calibration data
Calibration date	25 Nov 1993	Water Temp.	16.0 °C
Place	Ulsan Bay	Salinity	33.8 ‰
		Bottom depth	27.0 m
Frequency	38 kHz	TS of sphere	-33.6 dB
Absorption coefficient	10 dB/km	Depth of sphere	14.6 m
		TS transducer gain	25.5 dB
Angle sensitivity	21.9	2-way beam angle	-20.6 deg.
Ping interval	1.0 sec	SV transducer gain	25.6 dB
Transmit power	2000 W	3 dB beam width	7.2 deg.
Pulse duration	1 ms	Longitudinal offset	0.3 deg.
Bandwidth	3.8 kHz	Transversal offset	0.1 deg.

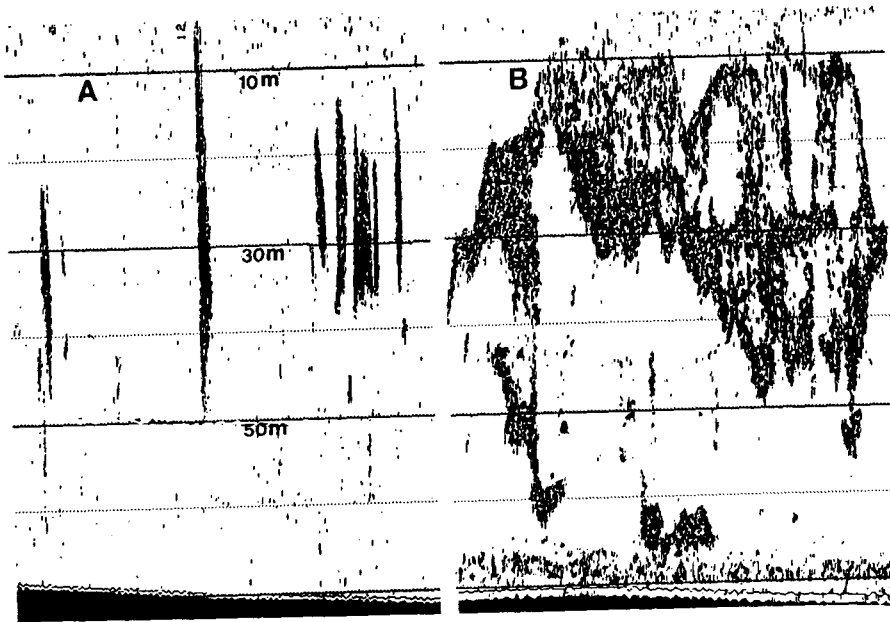


Fig. 4. Dense echo signs of the anchovy detected at the study site, showing a typical shape of high aggregation under the vessel speed of 10~12 knotw (A) and a relatively dispersed echo sign, disturbed by trawling operation with the vessel speed of 3~4 knots (B).

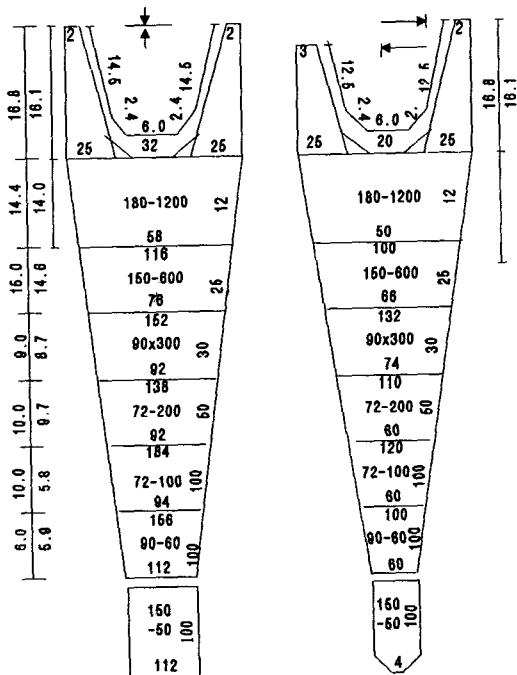


Fig. 5. Midwater-trawl diagram used for the collection of biological samples which made echo signs.

5. 어체의 체장과 평균반사강도와의 관계

본 調査에서 魚群을 構成하는 어류의 TS는 分散과 平均을 가지는 統計値이며, 平均을 中心으로 넓게 散布한다. 개체어의 平均반사강도는 平均산란단면적을 σ 라 할때

$$TS = 10 \log \frac{\sigma}{4\pi} \quad (\text{dB/fish}) \quad (1)$$

이고, 또한, kg 당에 대한 반사강도는

$$TS = 10 \log \frac{\sigma}{4\pi} - 10 \log(\bar{W}) \quad (\text{dB/fish}) \quad (2)$$

이다. 여기서, \bar{W} 는 개체어의 平均 重量 (kg)이다.

어체의 반사강도 (TS)는 체장의 2승에 비례하기 때문이다

$$TS = 20 \log L + A \quad (\text{dB/kg}) \quad (3)$$

에 의해 표시할 수 있다. 여기서, A는 체장변환계수이다.

I. 멸치 (*Engraulis japonica*)의 *in situ* 反射強度 測定

따라서, 本 研究에서는 멸치의 개체에 대한 平均 *in situ* \overline{TS} 와 測定 魚群으로 부터 어획한 멸치의 平均體長 (\overline{L})으로 부터 A의 값을 다음 식에 의해 구하였다.

$$A = \overline{TS} - 20 \log \overline{L} \quad (4)$$

結果 및 考察

트롤漁具를 曳網하면서 密集된 魚群을 분산시켜 개체로부터의 반사신호를 수신하였는데, 이때 어획한 漁獲物은 Table 2에 나타난 바와같이 총 133 kg이었고, 그 중 멸치는 126 kg으로서 全중량의 95%를 점하였다.

멸치의 體長頻度分布는 Fig. 6에 나타난 바와같이 體長範圍는 13.6~15.4 cm로서 平均 體長은 14.4 cm, 표준편차 0.45 cm이었다. 체중빈도분포는 體重範圍가 16~28 g로서, 平均체중은 21.9 g, 標準편차는 2.75 g이었다.

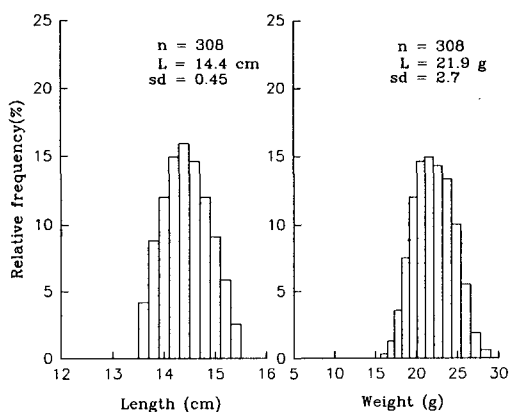


Fig. 6. Length and weight distribution for the anchovy collected by midwater trawling with the data collection of target strength.

개체의 반사강도는 Fig. 7에 나타난 바와같이 10~30 m 수층에서 -40.7~-69.2 dB, 30~50 m 수층에서 -42.2~-67.7 dB, 10~50 m 수층에서 -42.2~-67.7 dB의 범위를 나타내었고, 각각 2개의 분포 mode가 나타났다.

그림 6과 그림 7에서 어체의 반사강도의 頻度分布에서는 2개의 mode가 명확하게 분리되어 나타나는데 반하여 漁獲된 멸치의 體長頻度分布는 한 개의 mode를 나타내고 있다. 調査海域인 東海 南部沿岸은 小型 海洋生物 密集群에 의한 濃密한 音響散亂層이 分布하고 있으나 이것은 멸치魚群과 쉽게 區分되고 있으며, 특히 沿岸에서는 水溫이 낮은 海底부근에 分布하고 있다. 本 研究에서 使用된 그물의 끝자루의 그물코 크기가 50 mm이므로 體長 4~5 cm 以上の 浮遊生物도 멸치와 함께 漁獲될 것으로 보이나 漁獲結果 거의가 멸치魚群이었다.

Traynor and Williamson (1983)은 베링해 명태 (*Theragra chalcogramma*)의 *in situ* TS 研究에서 本 研究에서와 같은 현상을 관찰하였다.

Aoki et al (1988)은 水中 광카메라를 利用한 멸치 (*Engraulis japonica*)의 夜間 遊泳行動의 관찰 報告에서 멸치의 個體間의 最近접 距離는 平均 62.6~96.2 cm로 나타났으며 遊泳時에는 두부를 약 10° 가량 上方 方向으로 維持하고 群을 이루는 平均密度는 0.25~0.87 kg/m³라고 하였다.

本 研究에서 使用한 주파수는 38 kHz이고, 펄스길이가 1 ms이므로 개체가 分離될 수 있는 개체간 수직거리는 75 cm이다.

멸치의 반사강도를 분석한 결과는 Table 3과 같다. Table 3에서 개체의 平均 반사강도는 -49.7 dB/fish이었고, 그 반사신호의 90% 信賴區間은 1 dB 以下였다.

또한, 1 kg 당에 대한 멸치의 반사강도는 (2)식에서 -33.1 dB/kg이었으며, 멸치 반사강도와 體長과의 사이에 다음의 식을 얻었다.

Table 2. Catch data for midwater trawling made at target strength data collection sites

Date	Time	Position		Average headrope depth (m)	Catch	
		Latitude	Longitude		Anchovy (kg)	Others (kg)
27 Nov	10 : 00~11 : 00	35°26'97 N	129°30'53 E	25	126	7

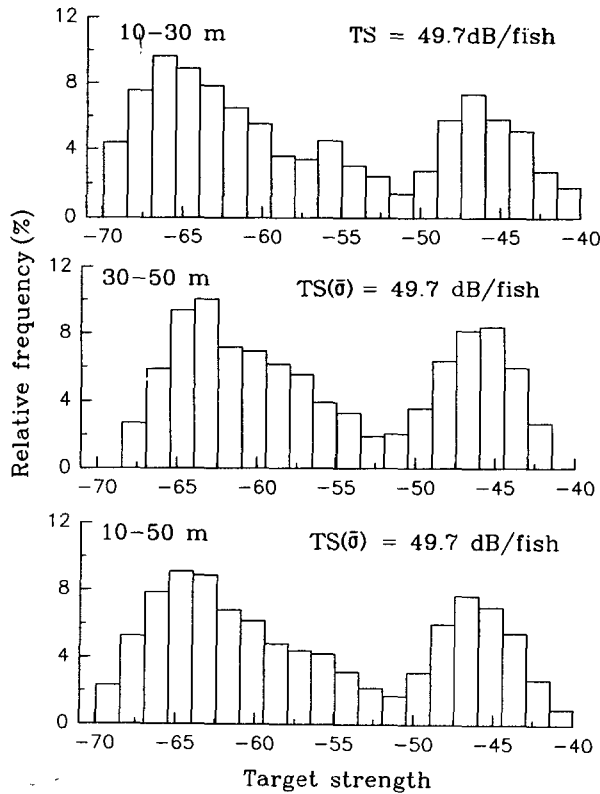


Fig. 7. Target strength distribution collected from the anchovy shoals as shown in Figure 4B.

Table 3. Results of anchovy target strength analysis for 38 KHz

Layer	Length (cm)	Weight (g)	$\bar{\sigma}$	$SD(\bar{\sigma})$	$TS(\bar{\sigma})$ (dB/fish)	$TS(\bar{\sigma})$ (dB/kg)	Sample size	90% confidence interval for TS in dB/fish
10~30	14.4	21.90	0.000134	0.0000582	-49.7	-33.1	2332	(-49.78, -49.65)
30~50	14.4	21.90	0.000134	0.0000523	-49.7	-33.1	2077	(-49.77, -49.65)
10~50	14.4	21.90	0.000134	0.0000394	-49.7	-33.1	4409	(-49.74, -49.68)

$TS=20 \log L-72.9$

Buerkle (1983)은 청어과 魚類의 죽은 魚體標本을 利用하여 水槽實驗을 行하였다. 體長 10~32.4 cm 청어에 대하여 魚體 傾斜角分布 $N(-3.4, 10.3)$ 로 週間에 行한 實驗에서 $TS=20\log L-69.1$, 體長 16~31 cm의 청어에 대하여 傾斜角分布 $N(12.0, 23.5)$ 로 夜間에 行한 實驗에서 $TS=20\log L-72.5$ 와 같이 推定하였다.

Edwards and Armstrong (1983)은 24 cm 및 9 cm의 청어를 對象으로 水深 17.5 m에서 行한 cage 實驗에서 $TS=20\log L-69.8$ 과 같이 推定하였다. Hagastrom

and Rottingen (1982)은 水深 30~60 m의 水層에서 遊泳하는 平均體長 34.6 cm의 청어를 對象으로 實驗한 結果 $TS=20\log L-73.5$ 와 같이 推定하였다.

따라서, TS測定은 魚類의 遊泳角, 時間, 分布水深 및 熟度에 따라 同一한 魚種에서도 큰 變移를 볼 수 있다.

Foot (1987)은 cage 실험, *in situ* 實驗 및 이론적인 고찰을 통하여, 38 kHz에 대한 청어과 魚類의 반사강도에 대하여 다음식을 유도하였다.

$TS=20 \log L-71.9$

I. 멸치 (*Engraulis japonica*)의 *in situ* 反射強度 測定

이 식에서의 제적변환계수는 본 연구에서 구한 제적변환계수보다 1dB 더 컸다. 본 연구에서 트롤漁具를 사용하여 魚群을 分散시켰기 때문에 魚群의 游泳行動, 즉 魚類의 游泳角에 큰 변화가 초래되었기 때문이라 생각된다.

Halldorsson and Reynisson (1982)은水深 10~50 m 水層의 청어 魚群을 對象으로 船舶소음에 대한 유영생물의 變化를 考慮한 결과, 水層別 游泳行動에 있어 有意할 水準의 反應을 나타내지 않았다고 하였다.

水深에 따른 TS의 變移는 본 연구에서는 觀察되지 않았지만, Blaxter and Batty (1984)의 報告에 의하면, 청어류는 游泳하는 동안 부레벽을 통하여 가스가 繼續 消耗되어 가스의 補充을 위해 表層 가까운 곳으로 游泳하는 한편 壓力의 變化에 매우 늦게 反應한다고 하였다. Foote (1992)는 水深에 따라 어체의 有效後方散亂面이 달라진다고 하였다.

本 연구에서의 멸치의 경우 TS測定資料의 收集 水深이 約 50 m지만, 魚群의 수직깊이가 거의 表層에서 底層에 까지 이르고 있어 水層別 어체의 反射強度의 차이는 거의 없었던 것으로 생각된다.

音響積分値를 魚群의 密度로 換算하기 위해서는 調査 對象 魚種의 游泳行動을 고려한 어체의 反射強度에 관한 정보가 必要하다.

Nakken and Olsen (1977)은 魚體의 游泳角은 分散된 魚群과 密集 魚群間에도 差異가 있다고 하였다. Traynor et al. (1990)은 魚體의 크기, 游泳行動習性 및 生理的 狀態에 따른 어체의 反射強度의 변동특성을 고찰할 필요가 있다고 지적하였다.

本 연구의 연구결과를 토대로 앞으로 魚體의 자세 변화에 따른 TS의 變動, 水中카메라에 의한 魚體의 *in situ* 游泳行動 特性의 觀察을 병행하고자 한다.

要 約

우리나라 연안에 분포되어 있는 주요 어업대상어종의 자원량을 측정하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 南海東部沿岸에 分布하는 멸치魚群을 對象으로 Split beam 어군탐지기를 이용하여 *in situ* TS를 測定한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 조사에서 漁獲物의 95%가 멸치였으며, 그

體長頻度 分布는 體長範圍 13.6~15.4 cm, 平均體長 14.4 cm이었고, 體重頻度 分布는 體重範圍 16~28 g, 平均體重 21.9 g이었다.

2. 멸치의 反射強度는 수심 10~30 m 에서 -40.7~-69.2 dB, 30~50 m 水層에서 -42.2~-67.7 dB, 10~50 m 水層에서 -42.2~-67.7 dB의 범위였고, 그 빈도분포에는 2개의 mode가 명확하게 분리되어 나타났다.

3. 멸치의 평균反射強度는 -49.7 dB/fish 및 -33.1 dB/kg 이었으며, 90% 信賴區間은 1dB 이하 였다. 또한, 멸치의 反射強度 (TS)와 체장 (cm)과의 관계는 다음과 같았다.

$$TS = 20 \log L - 72.9$$

參 考 文 獻

- Aoki, I. and T. Inagaki. 1988. Photographic observations on the behaviour of Japanese anchovy *Engraulis japonica* at night in the sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., 43, 213~221.
- Blaxter, J. H. S and R. S. Batty. 1984. The herring swimbladder: loss and gain of gas. J. Mar. Biol. Ass. UK, 64, 441~459.
- Buerkle, U. 1983. First look at herring distributions with a bottom referencing underwater towed instrumentation vehicle. BRUTIV. FAO Fish. Rep., 300, 125~130.
- Edwards, J. I and F. Armstrong, 1983. Measurements of the target strength of live herring and mackerel, FAO Fish. Rep., 300, 69~77.
- Foote, K. G. 1987. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. J. Acoust. Soc. Am., 82 (3), 981~987.
- Hagstrom, O and I. Rottingen. 1982. Measurement of the density coefficient and average target strength of herring using purseine. Coun. Meet. Int. Coun. Explor. Sea 1982/B : 33, Copenhagen, Denmark.
- Halldorsson, O and P. Reynisson. 1982. Target strength measurements of herring and capelin

- in situ* at Iceland. FAO Fish. Rep., 300, 78~84.
- Nakken, O and K. Olsen. 1977. Target strength measurements of fish. Rapp. P.-v. Reun. Cons. perm. int. Explor. Mer., 170, 52~69.
- Traynor, J. J and N. J. Williamson. 1983. Target strength measurements of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and a simulation study of the dual beam method. FAO Fish. Rep., 300, 112~124.
- Traynor, J. J, N. J. Williamson and W. A. Karp. 1990. A consideration of the accuracy and precision of fish-abundance estimates derived from echo-integration surveys. Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer., 189, 101~111.

1995년 11월 28일 접수

1996년 1월 6일 수리