

韓國 南海岸의 潛在漁業資源 調查研究*

- 漁業生物資源의 音響學的 調查 -

이대재 · 김진건 · 신형호**

부경대학교 · **여수대학교

(1998년 5월 27일 접수)

Investigations of the Potential Fisheries Resources in the Southern Waters of Korea

- Hydroacoustic Investigations of Abundance
and Distribution of Fish -

Dae-Jae LEE, Jin-Kun KIM and Hyong-Ho SHIN**

Pukyong National University,

**Yeosu National University

(Received May 27, 1998)

Abstract

The hydroacoustic surveys to provide the essential information for the assessment, management and utilization of fishery resources in the southern waters of Korea were carried out during five research cruises between October 1996 and October 1997 by the training ship "KAYA" of Pukyong National University.

These hydroacoustic investigations were designed to obtain more precise estimates of the geographic distribution, absolute abundance and biological characteristics of the fishery resources, and the vertically integrated densities of fish in terms of volume backscattering strength(SV) by survey region and depth bins, such as the entire water column and the 0~10 m from bottom fraction, were measured separately.

Hydroacoustic data were collected by using a Simrad EK 500 scientific echo sounder operating at two frequencies of 38 kHz and 120 kHz and the data stored in field were later processed on a HP PC using a Simrad EP 500 echo integration and target strength analysis system.

The biological compositions of echo signal were identified and sampled using a demersal trawl during daylight hours.

The mean target strength to scale the echo integration data for hydroacoustic surveys was derived from the relationship between the SV and the weight of trawl catch per unit volume of the water column sampled by demersal trawls.

The results obtained can be summarized as follows :

*본 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비(수산과학분야 : KIOS-96-F-12)에 의하여 연구되었음.

1. The mean volume backscattering strength for the entire water column in the southern waters of Korea between 1996 and 1997 were -67.2 dB and -70.9 dB at two frequencies of 38 kHz and 120 kHz , respectively, and for the bottom layer of the $0 - 10 \text{ m}$ from bottom friction were -68.8 dB , -70.2 dB , respectively. That is, the volume backscattering strength for the entire water column at low frequency was higher than that at high frequency.

2. The relationship between the mean backscattering strength ($\langle SV \rangle$, dB) for the depth strata of trawl hauls and the weight (C , kg/m^3) per cubic meter of the catch sampled by bottom trawling in the southern waters of Korea in January and July 1997 were expressed by the following equations:

$$38 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -28.2 + 10 \log(C)$$

$$120 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -32.4 + 10 \log(C)$$

The mean weight - normalized target strengths derived from these equations were $-28.2 \text{ dB}/\text{kg}$, $-32.4 \text{ dB}/\text{kg}$ at 38 kHz and 120 kHz , respectively. That is, the mean weight - normalized target strength at 38 kHz was 4.2 dB higher than that at 120 kHz .

3. The distribution density of fish in terms of biomass per unit volume in the southern waters of Korea were estimated to be $125.9 \times 10^{-6} \text{ kg}/\text{m}^3$ and $141.3 \times 10^{-6} \text{ kg}/\text{m}^3$ at 38 kHz and 120 kHz , respectively.

緒 論

현재 우리나라는 일본, 중국 등이 자국 이익에 우선하는 일방적인 배타적 경제수역을 선포함으로써 동해, 황해 및 동중국해에 출어하는 어선들의 안정적인 조업구역 및 어업자원을 확보하는 데 많은 어려움이 있다.

이와같은 상황속에서 연근해 수산업계는 어업경영의 효율화를 꾀하기 위해 업계의 사활을 걸고 자율적인 구조 조정을 추진하고 있다.

한편, 지금까지 세계 주요 연안국에서는 자국의 관할수역내에 서식, 분포하는 어업생물자원을 효과적으로 평가 및 관리하기 위한 문제 뿐만 아니라 이들 어업자원을 선택적으로 어획 및 이용하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히, 미국이나 노르웨이 같은 수산국에서는 음향에 의한 자원량 평가방법이 실용화됨에 따라 계량어탐시스템에 의한 어업자원의 조사·연구가 활발히 진행되어 왔다^{21)~22)}.

그러나, 과거부터 우리나라에 있어서는 이 분야에 대한 연구의 관심도가 낮아 축적된 정보가 빈약하고, 연구기법의 과학화도 매우 낙후되어 있는 실정이다. 前報¹⁾에서는 우리나라 남해안에 대한

어업생물자원의 평가, 관리 및 유효이용을 위한 기초자료 등을 수집하기 위한 시도로서 저층트롤에 의한 시험조업을 실시하고, 그 어획물의 생물학적 조성 등에 대하여 검토한 바 있다.

본 연구는 前報에 이어 우리나라 남해안에 대한 잠재어업자원을 조사하기 위한 연구의 일환으로 계량어군탐지기에 의한 어업생물의 음향학적 조사를 실시하고, 이 자료와 트롤에 의한 어획 자료 및 해양관측자료 등을 종합적으로 분석하여 조사대상해역에 있어서의 어업생물의 지리적 및 수층별 분포특성과 어류 체장의 음향학적 추정 등에 대하여 검토, 고찰하였다.

材料 및 方法

1. 計測시스템의 構成

어군에 의한 超音波散亂信號를 수록 및 해석하기 위한 계량어탐시스템은 計量魚群探知機(EK500, SIMRAD社), color display(CF140, SIMRAD社), color printer(deskjet 850C, HP社), micro-computer (Vectra VL, HP社) 등에 의해 구성하였다.

本 研究에서는 계량어탐시스템을 이용한 어업

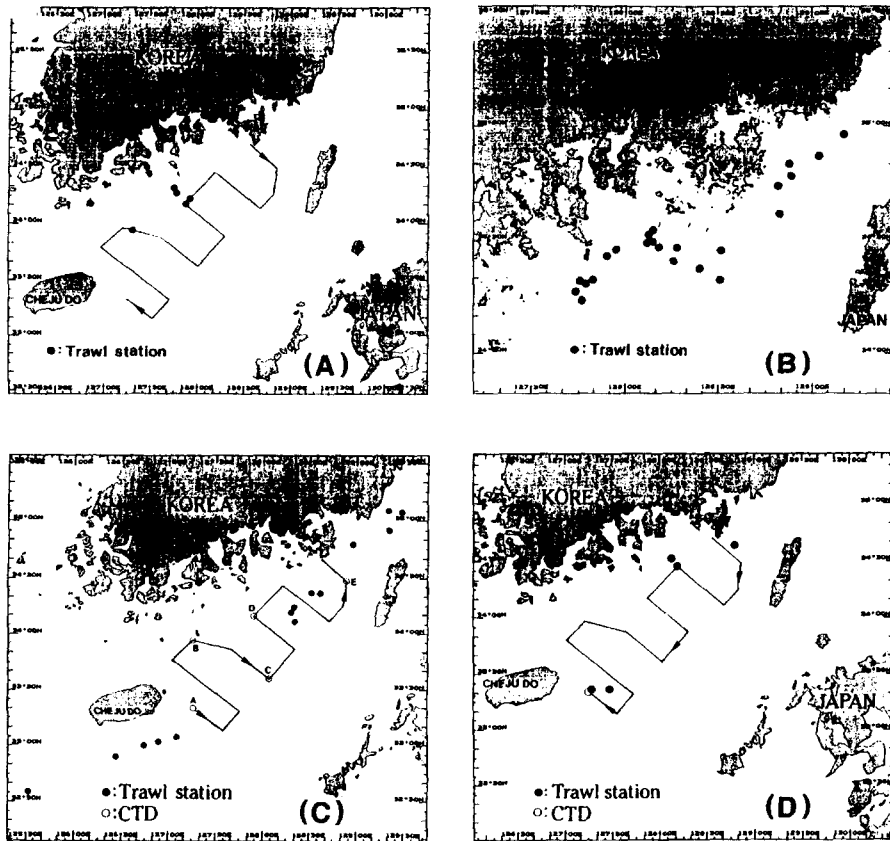


Fig. 1. The transect and trawl haul locations occupied in the southern waters, Korea, of the 1996 and 1997 hydroacoustic/demersal trawl surveys.

(A) October 1996 (B) January 1997 (C) July 1997 (D) October 1997

자원조사에 앞서 선저에 설치된 송·수파기, 케이 블 등을 포함한 모든 계측 시스템에 대한 송·수신 감도의 종합적인 보정을 행하였다. 특히, 시스템의 교정시에는 조사선을 조류 및 바람의 영향이 비교적 적었던 비진도 인근 해역에 左·右舷 앵커를 모두 사용하여 묘박시키고, TS transducer gain, SV transducer gain, -3 dB beam width 등을 측정하였다. 계량어군탐지시스템의 교정은 직경이 60 mm (38 kHz 용)와 23 mm (120 kHz 용)인 銅球(copper sphere)을 音束軸上(sound beam axis) 상에 현수시켜 반사 echo 신호를 관찰하면서 행하였다.

本 調査에서 사용한 계량어군탐지기의 작동주파수는 38 kHz 와 120 kHz 이고, 현장에서 어군의 體積散亂強度는 全水深層과 海底上 10 m 의 底層

水深區間에 대하여 각각 측정하였다. 한편, 이들의 자료 및 해당 수심층에서 탐지한 개개의 어체에 대한 反射強度는 echogram data와 함께 약 15분 간격으로 hard disk에 수록함과 동시에 color printer에 출력하였다.

또한, Echo Processing System(EP500, SIMRAD社)을 이용하여 이와같이 현장에서 수록한 각종의 자료를 분석, 고찰하고, 이로부터 조사해역에 대한 어군의 평균적인 체적산란강도 및 탐지 어체에 대한 반사강도의 분포 등에 대한 정보를 얻었다.

본 조사에서 사용한 EK 500 계량어군탐지기는 어군에 의한 초음파 산란강도를 면적후방산란계수(area backscattering coefficient, s_A)로서 나타내고 있는데, 이 값은 四方 1 마일의 단위면

적($mile^2$)에 대한 어군의 후방산란단면적(m^2)으로 정의된다. 한편, 이 값과 음향에 의한 어업자원 조사에서 세계적으로 널리 통용되고 있는 체적후방산란계수(volume backscattering coefficient, s_V)와의 사이에는 다음의 관계가 성립하고,

$$s_A = 4\pi \cdot \int_{r_1}^{r_2} s_V dr \cdot (1852)^2$$

여기서, r_1, r_2 는 음향적분의 수심구간이다. 체적후방산란계수 s_V 는 해중의 단위체적공간(m^3)에 분포하는 어군의 후방산란단면적(m^2)이다.

본 연구에서는 Fig. 1에서와 같이 우리나라 남해안의 거제도에서 제주도 에 이르는 해역을 대상으로 약 270 마일의 grid상 조사 line을 일정 간격으로 설정하고, 이 line을 항주하면서 어군의 분포밀도를 측정하였다. 현장에서는 EK 500 계량어군탐지기에서 출력되는 적분수심의 각 구간별에 대한 면적후방산란계수의 값(s_A)을 다음 식에 대입하여 해중의 단위체적공간에 대한 체적산란계수를 산출하고, 이 값에 대수의 10 배를 취하여 어군의 체적산란강도(SV, dB)를 다음과 같이 구하였다.

$$SV = 10 \log \left[\frac{s_A}{4\pi(r_2 - r_1) \cdot (1852)^2} \right]$$

2. 漁獲試驗 및 魚群의 反射強度 推定

어획시험은 前報¹⁾에서 보고한 바와 같이 1996년 10월과 1997년 1월, 3월, 7~8월, 9~10월에 부경대학교 실습선 가야호 (Int. G/T 2,136, stern trawler)를 이용하여 Fig. 1에서와 같이 우리나라 남해안 해역에 총 64 개의 트롤 정점을 설정하고, 끝자루에 그물코의 내경이 36 mm인 cover net를 부착한 저층트롤그물을 사용하여 실시하였다.

트롤에 의한 어획시험에서는 트롤그물의 網高와 展開板의 展開間隔 등을 漁網監視裝置(ITI, SIMRAD社)를 이용하여 측정하고, 이 정보를 이용하여 트롤 曳網層의 空間體積을 구하였다.

한편, 魚群의 超音波 反射強度는 트롤조업에 의한 漁獲物의 重量과 曳網層의 空間體積을 이용하여 단위체적당 魚群密度($C, kg/m^3$)를 산출하고, 이것과 計量魚探시스템에 의해 측정된 트롤 曳網

層에 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 어획물 1 kg당에 대한 어군의 反射強度이다. 또한, 1997년의 7월과 9월 조사 당시에는 저층트롤에 의한 어획시험 및 계량어탐시스템에 의한 어업자원조사와 병행하여 CTD (SBE 911, Sea Bird社)에 의한 해양관측을 실시하였다.

3. Split beam 방식에 의한 魚類 反射強度의 現場 測定

계량어군탐지기의 split beam 振動子の 音束(sound beam)내에서 유평하고 있는 어떤 개체어의 音束軸에 대한 위치각을 θ 라 할 때, 개체어의 反射強度(TS, dB)와 계량어군탐지기의 $40 \log(R)$ TVG 증폭기에서 출력되는 echo level(EL, dB)과의 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$TS = EL - (SL + VR + SG) - B_\theta$$

여기서, SL 은 振動子の 音源음압레벨(source level), VR 은 受波感度(receiving sensitivity), SG 는 계량어군탐지기의 受信利得, B_θ 는 $B_\theta = 10 \log(b^2(\theta))$ 이며, 또한, $b(\theta)$ 는 split beam 振動子の 平均指向性 函數이다. 여기서, split beam 振動子の Alongship과 Athwartship 방향의 分割 振動子群에 대한 개체어의 방향각을 각각 θ_1, θ_2 라 하면, 音束軸에 대한 어체의 합성적인 방향각(위치각) θ 는

$$\theta = \sin^{-1} [\sqrt{\sin^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_2}]$$

에 의해 구할 수 있다. 따라서, 計量魚探振動子の 音束軸에 대한 어체의 위치각 θ 를 측정하고, 그 위치각에 대한 指向性 利得을 보정하면, 어체의 반사강도를 구할 수 있다.

본 연구에서는 1997년 1월 23일에 소리도 인근 해역에서 저층에 분산되어 있는 어군을 대상으로 트롤에 의한 생물학적 샘플링을 실시함과 동시에 계량어탐시스템을 이용하여 트롤 에망층내에 흩어져 유평하고 있는 개체어의 반사강도를 위의 방

법에 따라 측정하고, 이 결과를 어획시험에 의한 어체의 체장조성과 비교, 분석하였다.

結果 및 考察

1. 魚群의 平均體積散亂強度

1996년 10월에 Fig. 1의 (A)에서와 같이 우리나라 남해안 해역에 설정한 약 270 마일의 grid상의 調査 line을 따라 약 10 knot의 속력으로 항주하면서 측정한 어군의 平均體積散亂強度의 頻度分布는 Fig. 2와 같다. 여기서, Fig. 2의 (A)와 (B)는 全水層에 대한 결과이고, Fig. 2의 (C)와 (D)는 해저에서 해저상 10 m까지의 수심구간에 대한 결과이다. 또한, 이들 그림에서 (A)와 (C)는 각각 38 kHz, (B)와 (D) 각각 120 kHz의 주파수에 대한 결과이다.

Fig. 2에서는 1 초 간격으로 발사되는 送信 펄스信號에 의해 音響積分器에서 출력되는 각각의 수심층에 대한 어군의 體積散亂係數를 해당수심구간에 대하여 우선 평균한 후, 이것을 다시 항주거

리 2.5 마일 간격으로 평균하여 平均體積散亂強度를 산출하였다.

Fig. 2의 (A)와 (B)에서 조사대상해역에 설정한 track line의 全水層에 대한 어군의 체적산란강도는 38 kHz의 경우, -61~-74 dB 범위로서, 그 平均値는 -66.8 dB 이었고, 120 kHz의 경우에 있어서는 -64~-77 dB 범위로서, 그 平均値는 -70.3 dB이었다. 또한, Fig. 2의 (C)와 (D)에서 해저에서 해저상 10 m까지의 수심구간에 대한 어군의 體積散亂強度는 38 kHz의 경우에는 -54~-86 dB 범위로서, 그 平均値는 -65.4 dB 이었고, 120 kHz의 경우에는 -57~-81 dB로서, 그 平均値는 -66.6 dB이었다. 이들의 全水層과 해저 부근의 수심층에 대한 體積散亂強度를 서로 비교해 볼 때, 兩水層에서 모두 38 kHz에 대한 體積散亂強度가 120 kHz에 대한 그 값보다 더 컸고, 또한 底層에 대한 體積散亂強度는 全水層에서의 그 값보다 컸다.

Fig. 3은 1997년 7월에 Fig. 1의 (C)에서와 같이 우리나라 남해안에 설정한 grid상의 調査線을 따

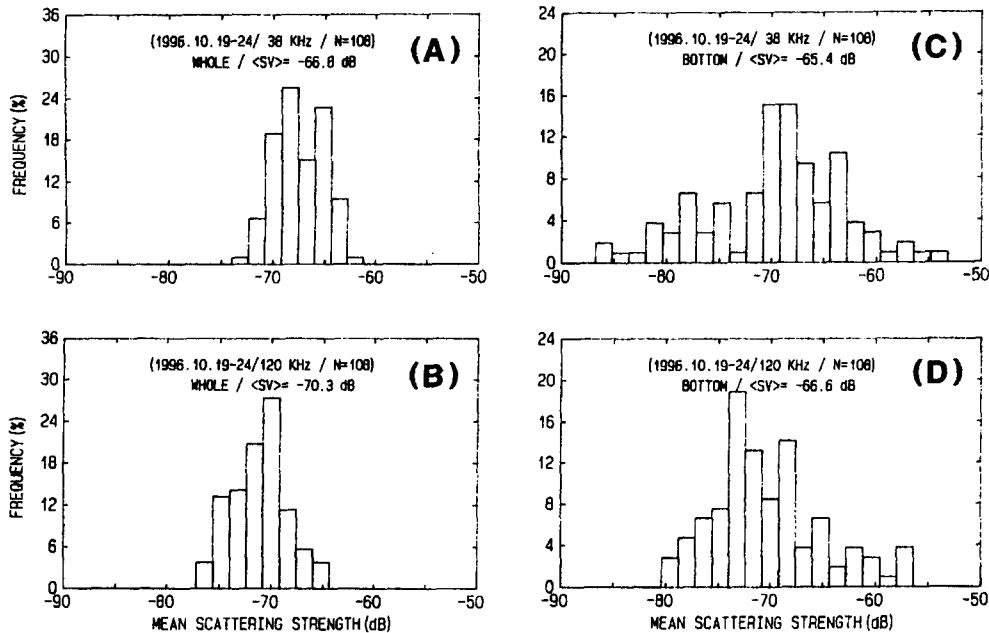


Fig. 2. Distributions of volume backscattering strength by acoustic frequency and depth interval along transect for the southern waters in October 1996.

(A) entire column at 38 kHz

(C) bottom 10 m at 38 kHz

(B) entire column at 120 kHz

(D) bottom 10 m at 120 kHz

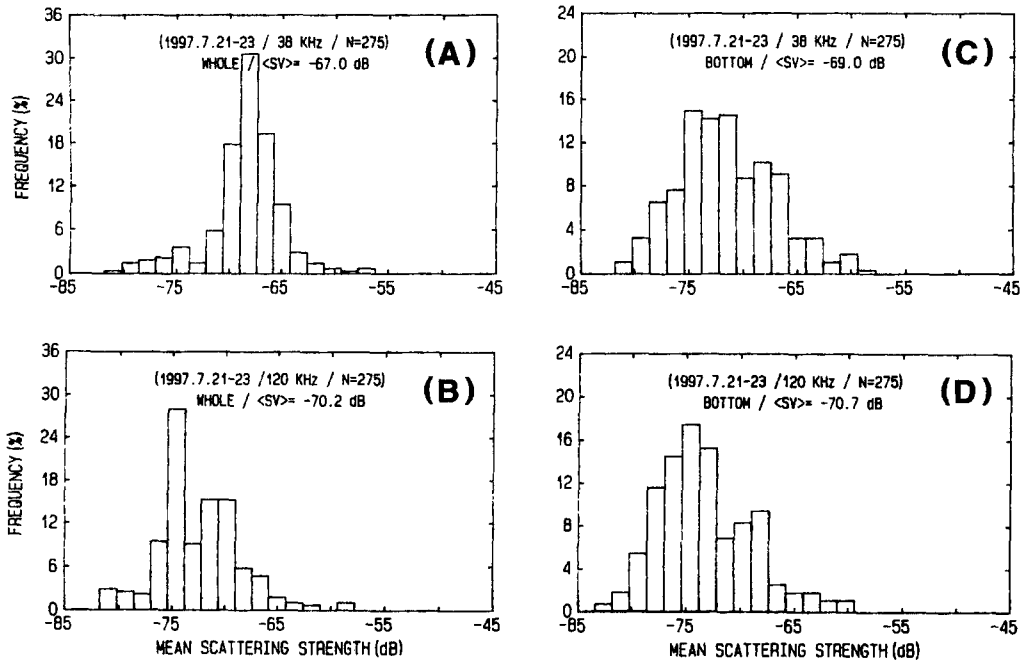


Fig. 3. Distributions of volume backscattering strength by acoustic frequency and depth interval along transect for the southern waters in July 1997.

(A) entire column at 38 kHz
(C) bottom 10 m at 38 kHz

(B) entire column at 120 kHz
(D) bottom 10 m at 120 kHz

라 항주하면서 측정한 魚群의 平均體積散亂強度의 頻度分布인 데, 이 조사는 제주 해역에서 거제도 해역을 향해 실시되었다. 여기서, Fig. 3의 (A)와 (B)는 全水層에 대한 결과이고, Fig. 3의 (C)와 (D)는 해저에서 해저상 10 m까지의 수심구간에 대한 결과이다. 또한, 이들 그림에서 (A)와 (C)는 각각 38 kHz, (B)와 (D) 각각 120 kHz의 周波數에 대한 결과이다.

Fig. 3에서는 1 초 간격으로 音響積分器에서 출력되는 어군의 體積散亂係數를 우선 수심구간에 대하여 평균한 후, 이것을 다시 항주거리 1.0 마일 간격으로 集合平均하여 平均體積散亂強度를 구하였다.

Fig. 3의 (A)와 (B)에서 조사대상해역에 설정한 track line의 全水層에 대한 어군의 體積散亂強度는 38 kHz의 경우, -56 ~ -82 dB 범위로서, 그 平均値는 -67.0 dB이었고, 120 kHz의 경우에 있어서는 -58 ~ -82 dB 범위로서, 그 平均値는

-70.2 dB이었다. 또한, Fig. 3의 (C)와 (D)에서 海底에서 海底上 10 m까지의 수심구간에 대한 어군의 體積散亂強度는 38 kHz의 경우에는 -58 ~ -82 dB 범위로서, 그 平均値는 -69.0 dB이었고, 120 kHz의 경우에는 -60 ~ -84 dB로서, 그 平均値는 -70.7 dB이었다. 여기서, 주파수에 대해서는 1996년 10월과 같이 兩水深層에서 모두 38 kHz에 대한 體積散亂強度가 120 kHz에 대한 그 값보다 더 컸고, 수심층에 대해서는 全水深層에서의 體積散亂強度가 底層에서의 그 값보다 더 컸다.

Fig. 4는 1997년 9월에 Fig. 1의 (D)에서와 같이 우리나라 남해안에 설정한 grid상의 調査線을 따라 항주하면서 측정한 魚群의 平均體積散亂強度의 頻度分布인 데, 이 조사는 거제도 해역에서 제주 해역을 향해 실시되었다. 여기서, Fig. 4의 (A)와 (B)는 全水層에 대한 결과이고, Fig. 4의 (C)와 (D)는 해저에서 해저상 10 m까지의 수심구간에

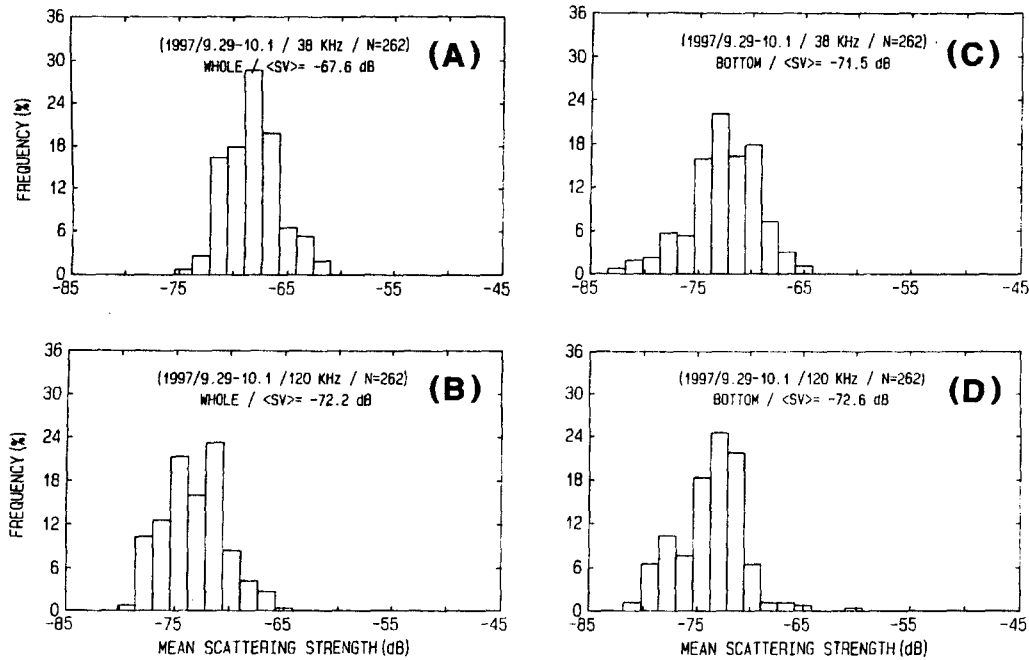


Fig. 4. Distributions of volume backscattering strength by acoustic frequency and depth interval along transect for the southern waters in September 1997.

(A) entire column at 38 kHz
(C) bottom 10 m at 38 kHz

(B) entire column at 120 kHz
(D) bottom 10 m at 120 kHz

대한 결과이다. 또한, 이들 그림에서 (A)와 (C)는 각각 38 kHz, (B)와 (D) 각각 120 kHz의 주파수에 대한 결과이다.

Fig. 4에서는 1997년 7월에서와 같이 음향積分器에서 출력되는 어군의 體積散亂係數를 水深과 航走距離 1.0 마일 간격으로 集合平均하여 平均體積散亂強度를 구하였다.

Fig. 4의 (A) 와 (B)에서 조사대상해역에 설정한 track line의 全水深層에 대한 어군의 體積散亂強度는 38 kHz의 경우, -61~ -75 dB 범위로서, 그 平均值는 -67.6 dB이었고, 120 kHz의 경우에 있어서는 -65~ -80 dB 범위로서, 그 平均值는 -72.2 dB이었다. 또한, Fig. 4의 (C)와 (D)에서 海底에서 海底上 10 m까지의 수심구간에 대한 어군의 體積散亂強度는 38 kHz의 경우는 -65~ -84 dB 범위로서, 그 平均值는 -71.5 dB이었고, 120 kHz의 경우에는 -65~ -82 dB로서, 그 平均值는 -72.6 dB이었다. 1997년 9월에 있어서

는 1997년 7월에서와 같이 주파수에 있어서는 38 kHz에서, 수심층에 대해서는 全水深層에서의 體積散亂強度가 높은 경향을 나타내었다.

Fig. 5는 1996년 10월 및 1997년 7월, 9월에 우리나라 남해안에 설정한 grid상의 調査線을 따라 항주하면서 측정된 어군의 平均體積散亂強度를 모두 중첩시켜 나타낸 頻度分布이다. Fig. 5의 (A) 와 (B)는 全水深層에 대한 결과이고, Fig. 5의 (C)와 (D)는 海底에서 海底상 10 m까지의 수심구간에 대한 결과이다. 또한, 이들 그림에서 (A)와 (C)는 각각 38 kHz, (B)와 (D) 각각 120 kHz의 주파수에 대한 결과이다.

Fig. 5의 (A) 와 (B)에서 全水深層에 대한 體積散亂強度는 38 kHz의 경우, -56~ -81 dB 범위로서, 그 平均值는 -67.2 dB이었고, 120 kHz의 경우에는 -58~ -82 dB 범위로서, 그 平均值는 -70.9 dB이었다. 또한, Fig. 5의 (C)와 (D)에서 海底上 10 m의 수심구간에 대한 體積散亂強度

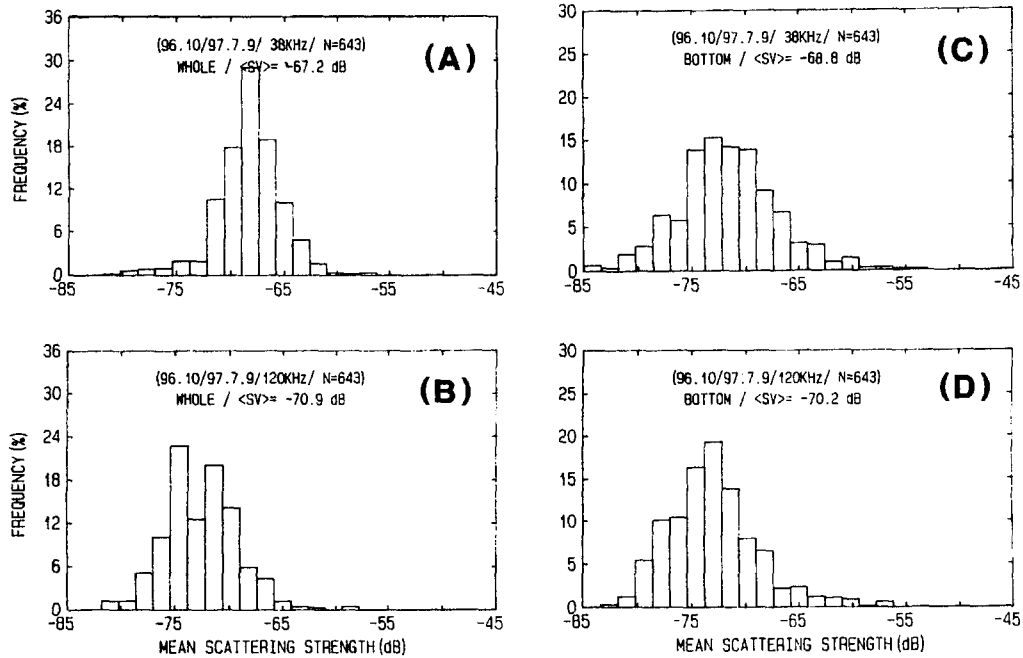


Fig. 5. Cumulated distributions of volume backscattering strength by acoustic frequency and depth interval along transect for the southern waters between October 1996 and September 1997.

(A) entire column at 38 kHz

(C) bottom 10 m at 38 kHz

(B) entire column at 120 kHz

(D) bottom 10 m at 120 kHz

는 38 kHz의 경우, -53 ~ -85 dB 범위로서, 그 平均值는 -68.8 dB이었고, 120 kHz의 경우에 있어서는 -56 ~ -84 dB로서, 그 平均值는 -70.2 dB이었다. 이들의 결과에서 어군의 體積散亂強度는 38 kHz의 경우가 120 kHz의 경우보다 컸고, 또한 38 kHz에서는 全水深層에서의 體積散亂強度가 底層보다 컸다.

2. 魚群의 地理的인 分布特性

1996년 10월에 우리나라 남해안에 설정한 조사 line을 따라 항주하면서 측정된 어군의 지리적인 分布特性은 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 魚群의 지리적인 分布密度는 5 마일 간격으로 구한 平均體積散亂強度로서 표시하였는데, 그림에서 원이 클수록 어군의 分布密度가 높은 것을 의미한다.

Fig. 6의 (A)와 (B)는 全水深層에 대한 어군의 分布密度이고, Fig. 6의 (C)와 (D)는 해저에서 해저 상 10 m까지의 수심구간에 대한 결과이다. 이들

그림에서 (A)와 (C)는 각각 38 kHz, (B)와 (D)는 각각 120 kHz의 周波數에 대한 결과이다.

Fig. 6의 (A)와 (B)에서 全水深層에 대한 어군의 平均분포도를 볼 때, 거제도 남방 해역과 소리도 남동 해역의 군집도는 다른 해역에 비해 비교적 높은 경향을 나타내었다. Fig. 6의 (C)와 (D)의 저층에 있어서는 거제도 남방 해역에 있어서는 어군 군집도가 다른 해역에 비해 높은 경향을 나타내었고, 소리도 남동 해역과 제주도 북동 해역에서의 군집도 역시 비교적 높았다. 한편, 이들 그림에서 어군의 平均體積散亂強度는 全水深層과 해저 부근 兩者에 있어 38 kHz의 경우가 120 kHz보다 더 높은 경향을 나타내었다.

한편, 1997년 7월에 우리나라 남해안에 설정한 조사 line을 따라 항주하면서 측정된 어군의 지리적인 分布特性을 고찰한 결과, 거제도 남방해역과 쓰시마 서방 해역의 全水深層에 대한 어군의 群集度는 다른 해역에 비해 높은 경향을 나타내었고,

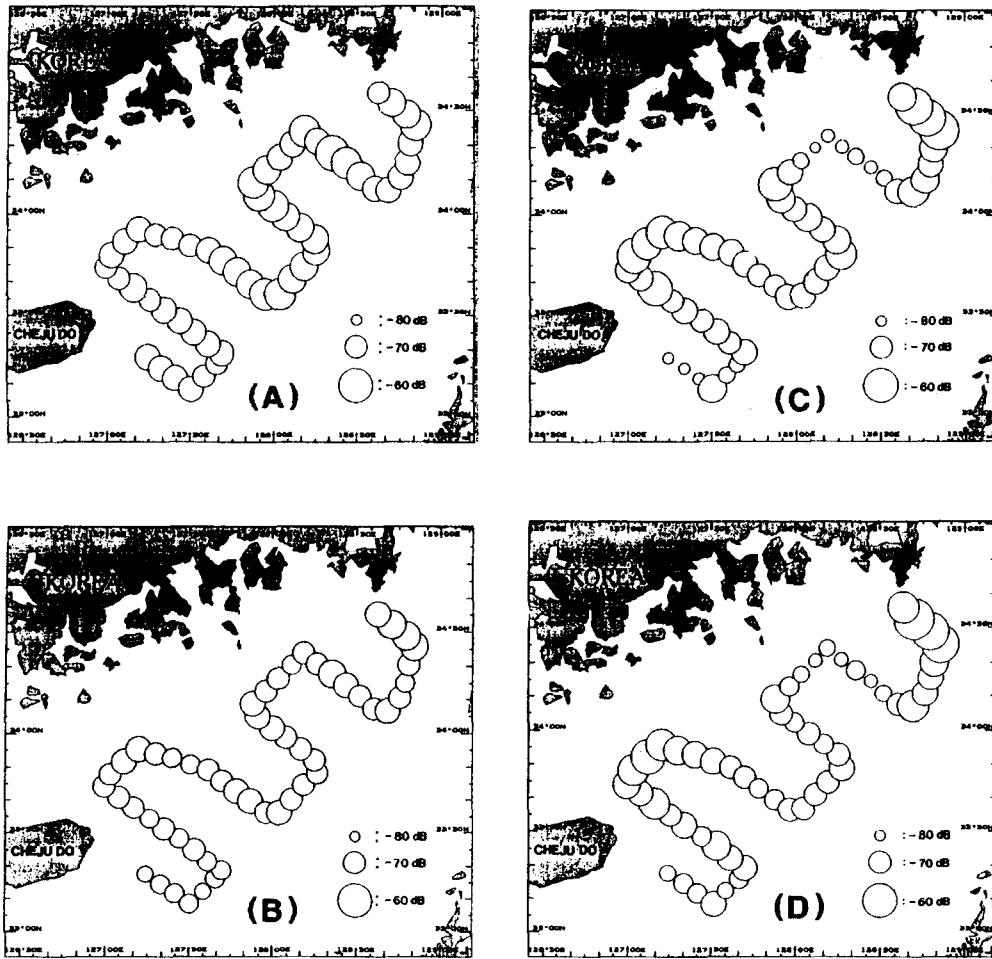


Fig. 6. Geographical distributions of fish densities in terms of SV(dB) by acoustic frequency and depth interval along transect for the southern waters in October 1996.

(A) entire column at 38 kHz

(B) entire column at 120 kHz

(C) bottom 10 m at 38 kHz

(D) bottom 10 m at 120 kHz

해저 부근에 있어서는 1996년 10월의 경우와 유사하게 거제도 남방 해역과 제주도 북동 해역에서 비교적 높은 경향을 나타내었다. 1997년 7월에는 計量魚探에 의한 漁業資源의 分布調査와 더불어 Fig. 1의 A~E의 정점에서 CTD 시스템에 의한 해양관측을 실시하였는데, 이들 정점에 대한 수온과 염분의 연직분포도는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 조사당시의 저층의 수온과 염분은 각각 12~16°C 33.5~34.5%의 범위였고, 표층에 있어서는 23~27°C, 28.5~32.5%의 범위였다.

Fig. 8은 1997년 9월에 우리나라 남해안에 설정

한 조사 line을 따라 항주하면서 측정한 어군의 지리적인 分布特性이다. 여기서, Fig. 8의 (A)와 (B)는 全水層에 대한 어군의 分布密度이고, Fig. 8의 (C)와 (D)는 해저에서 해저상 10 m까지의 수심구간에 대한 결과이다. 이들 그림에서 (A)와 (C)는 각각 38 kHz, (B)와 (D)는 각각 120 kHz의 周波數에 대한 결과이다.

Fig. 8의 (A)와 (B)에서 全水深層에 대한 魚群의 水平分布度에서 소리도 동남방 해역에서의 群集度는 다른 해역에 비해 다소 높은 경향을 나타내었다. 한편, Fig. 8의 (C)와 (D)의 해저 부근에 대

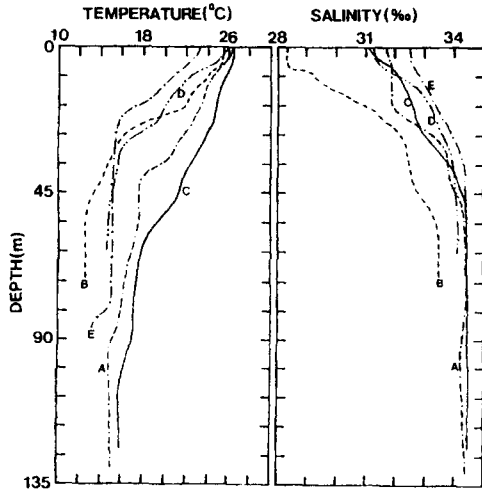


Fig. 7. Vertical profiles of water temperature and salinity by trawl stations in July 1997.

한 어군의 분포는 제주도 북동 해역에서 약간 우세한 경향을 나타내었을 뿐 전해역에 걸쳐 뚜렷한 차이는 없었다.

3. 魚群反射強度의 推定

1997년 1월 및 7월~8월에 Fig. 1의 우리나라 남해안에 설정한 트롤정점에서 실시한 저층트롤 조업에 의해 어획한 어획물의 중량과 그때의 트롤 曳網層에 대한 平均體積散亂強度와의 관계는 Fig. 9와 같다.

Fig. 9의 (A)와 (B)에서 종축은 38 kHz와 120 kHz의 周波數에 대한 트롤 曳網層의 平均體積散亂強度(dB)이고, 횡축은 단위체적당에 대한 어획물의 중량(kg/m³)이다.

이들 그림에서 底層트롤에 의한 어군의 平均體

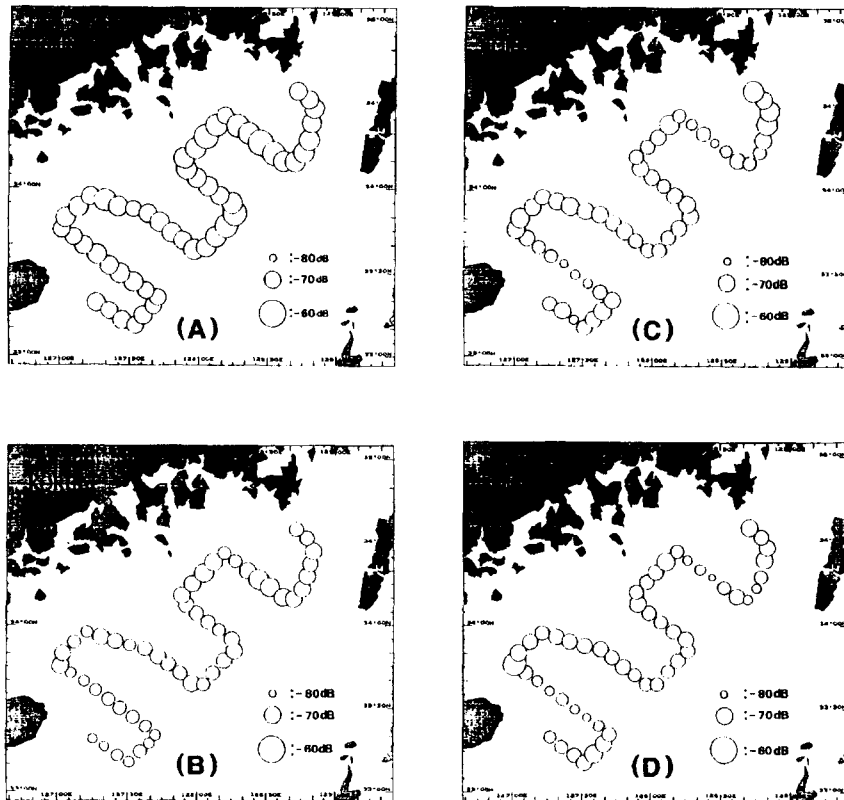


Fig. 8. Geographical distributions of fish densities in terms of SV(dB) by acoustic frequency and depth interval along transect for the southern waters in September 1997.

(A) entire column at 38 kHz

(B) entire column at 120 kHz

(C) bottom 10 m at 38 kHz

(D) bottom 10 m at 120 kHz

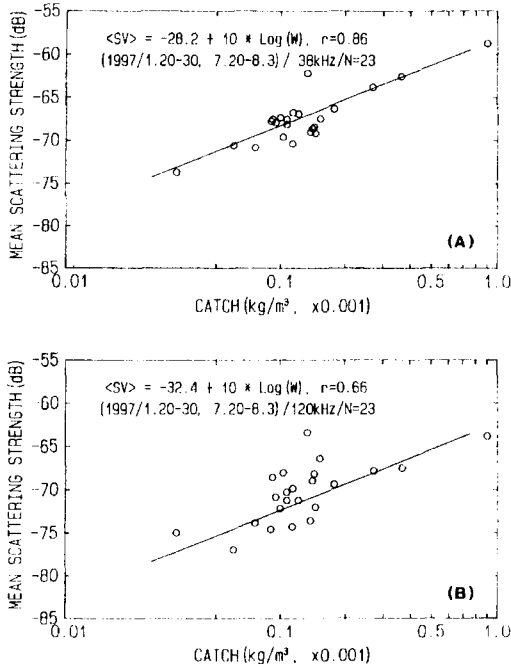


Fig. 9. The relationship between the mean volume backscattering strength(dB) and the weight(kg/m³) of trawl catches at two frequencies of 38 kHz(A) and 120 kHz(B) in the southern waters of Korea in January and July, 1997.

積散亂強度(<SV>, dB) 와 단위체적당에 대한 어획물의 중량(C, kg/m³) 과의 사이에는 다음의 回歸直線式을 얻었다.

$$38 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -28.2 + 10 \log(C)$$

$$120 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -32.4 + 10 \log(C)$$

이들 식에서 38 kHz와 120 kHz의 주파수에 대한 어획물 1 kg에 대한 魚群의 平均反射強度의 推定値는 각각 -28.2 dB/kg, -32.4 dB/kg로서, 38 kHz에 대한 魚群反射強度의 값이 120 kHz에 대한 그 값보다 4.2 dB 더 컸다.

한편, 1997년 3월의 경우, 우리나라 남해안의 18 개의 조사정점에서 저층트롤에 의한 시험조업을 실시하였으나, 어획시험을 실시한 3월 22일~27일 사이에 우리나라 부산, 거제도, 소리도를 연결하는 남해안 全海域의 底層에 플랑크톤의 異常繁殖現象이 나타나 魚探信號가 매우 강하게 수신

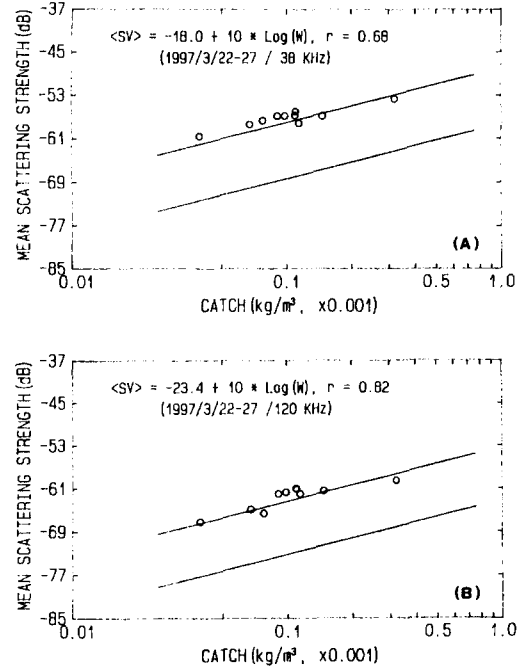


Fig. 10. The relationship between the mean volume backscattering strength(dB) and the weight(kg/m³) of trawl catches at two frequencies of 38 kHz(A) and 120 kHz(B) in the southern waters of Korea in March 1997. The regression line of January 1997 is shown in the figure.

되었다. 1997년 3월에 각각의 조사정점에서 어획한 어획물의 중량과 그 때의 트롤 曳網層에 대한 平均體積散亂強度와의 사이에 Fig. 10의 관계를 얻었다.

Fig. 10의 (A)와 (B)는 각각 38 kHz와 120 kHz의 주파수에 대한 결과이고, 이들 그림에서 아랫쪽의 직선은 1997년 1월의 어획시험과 計量魚探調査에 의한 자료를 이용하여 얻은 回歸直線이다. Fig. 10의 (A)와 (B)에서 해저 부근의 저층 수심구간에 高密度의 플랑크톤이 분포하던 1997년의 3월의 시험조업 및 계량어탐조사에 의해 추정 한 어군의 超音波 反射強度는 플랑크톤의 대량번식이 없었던 1997년 1월의 調査資料에 의한 결과와 비교하여 약 10 dB의 차이를 나타내었다. 이 결과에 의해 육상에서 유입되는 각종 生活下水 및 河川 陸水の 영향을 크게 받는 해역에 대한 어업자원조

사를 실시하는 경우에 있어서는 플랑크톤의 번식 정도가 어업생물의 자원량 추정결과에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다고 판단된다.

본 연구에서는 이와같은 문제에 주목하여 1997년의 3월의 시험조업 및 계량어탐자료는 활용하지 않았다.

4. 魚類 體長의 音響學的 推定과 漁獲試驗結果의 比較

Fig. 11은 1997년 1월 23일에 緯度 34° 19' N, 經度 127° 46' E 海域의 해저 부근에 매우 광범위하게 흩어져 分布하고 있는 어족생물을 대상으로 이들 自由遊泳하는 어류에 대한 초음파 반사강도를 측정함과 동시에 생물학적 샘플링을 실시하고, 그 兩者의 조사결과를 서로 비교한 것이다. 이 조사에서는 트롤그물의 網高 및 예망층을 고려하여 해저에서 해저상 5 m 까지의 수층에 대한 개체의 echo 信號를 EK 500 計量魚探시스템을 이용하여 측정하였는데, 이들 개체의 反射強度는 split beam 振子の -6 dB 音束內에서 탐지된 魚類를 대상으로 音束軸에 대한 魚體의 위치각을 측정하고, 이 방향에 대한 指向性 利得을 보정하여 구하였다.

시험조업에 의해 어획된 漁獲生物의 總重量은 650.7 kg이었고, 이 중에서 밴댕이 *Sardinella zunasi* 가 48.3%, 전어 *Conosirus punctatus* 가 44.5%, 병어 *Pampus argenteus* 가 3.2% 등을 점유하여 이들 3 어종에 대한 어획비율이 總漁獲量의 96%을 점하였고, 그밖에 아귀, 고등어, 꼼치 등이 어획되었다.

Fig. 11의 (A)는 시험조업의 주된 어획생물인 밴댕이, 전어, 병어의 3 개 어종과 그외의 고등어와 꼼치의 총 394 개체에 대한 체장을 측정하고, 이들의 체장조성을 전부 중첩시켜 나타낸 결과인데, 밴댕이, 전어 및 병어는 거의 전부가 소형어로서, 그 평균체장은 11.0 cm였고, 고등어 및 꼼치의 평균체장은 29.7 cm였다. 그림에서 7~21 cm 구간에 대한 체장분포는 밴댕이, 전어 및 병어에 대한 것이고, 21~42 cm 구간에 대한 체장분포는 고등어와 꼼치에 대한 결과이다.

Fig. 11의 (B)는 38 kHz의 주파수를 이용하여

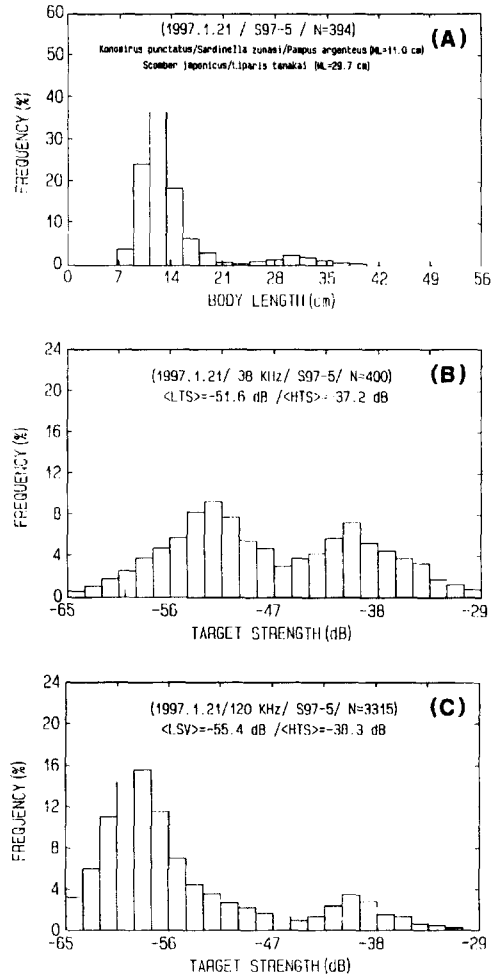


Fig. 11. Length frequency distribution of the dominant species caught by demersal trawl(A) and the target strength distributions at 38 kHz(B) and 120 kHz(C) of fishes sampled acoustically within the towing layer of demersal trawl.

트롤 예망층에서 탐지한 총 400 個體의 어족생물에 대한 반사강도의 빈도분포이고, (C)는 120 kHz의 주파수를 이용하여 측정된 총 3,315 개체의 어족생물에 대한 반사강도의 빈도분포이다. 여기서, 調査對象水層이 트롤 曳網層으로서 동일함에도 불구하고 38 kHz의 주파수에 비해 120 kHz에 있어서 더 많은 개체가 탐지된 것은 38 kHz와 120 kHz에 대한 펄스폭이 각각 1.0 ms, 0.3 ms로서 이들의 距離分解能에 대한 차이에 기인한 것이다.

Fig. 11의 (C)에서 120 kHz에 대한 探知魚體의 반사강도의 빈도분포는 Fig. 11의 (A)의 시험조업에 의한 어획생물의 체장조성과 거의 일치하는 경향을 나타내고 있다. 즉, Fig. 11(C)의 反射強度에 대한 빈도분포특성을 볼 때, 個體魚의 평균반사강도가 -55.4 dB인 -65~-49 dB 구간의 분포모드와 평균반사강도가 -38.3 dB인 -49~-29 dB 구간의 분포모드가 서로 뚜렷하게 구분되어 나타나고 있다. 이 현상은 Fig. 11(A)에서 7~21 cm 구간의 밴댕이와 전어 및 병어에 대한 체장조성과 21~42 cm 구간에 대한 고등어 및 꼼치에 대한 체장조성의 분포모드와 잘 일치하고 있다. 또한, Fig. 11(B)의 38 kHz의 주파수에 대한 반사강도의 分布特性的의 경우에 있어서도 個體魚의 평균반사강도가 -51.6 dB인 -65~-48 dB 구간의 분포모드와 평균반사강도가 -37.2 dB인 -48~-29 dB 구간의 분포모드가 비교적 잘 구분되어 나타나고 있다. 이들의 결과로부터 體長區間 7~21 cm의 밴댕이, 전어 및 병어의 3 개 어종에 대한 38 kHz와 120 kHz의 주파수에서의 평균반사강도는 각각 -51.6 dB, -55.4 dB이고, 또한 體長區間 21~42 cm의 고등어 및 꼼치의 2 개 어종에 대한 38 kHz와 120 kHz의 주파수에서의 평균반사강도는 각각 -37.2 dB, -38.3 dB이라 추정된다.

따라서, 조사해역에 분포하는 어종의 수가 비교적 적고, 어체의 체장 및 유영수심 등의 차이가 뚜렷한 어업생물이 주된 조사대상인 경우에 있어서는 현장에서 여러 어업생물에 대한 반사강도의 頻度分布圖를 작성하고, 이 分布圖의 해석을 통해 類似魚種別에 대한 반사강도를 분리, 식별함으로써 어종별 어업자원량의 정량적인 평가가 가능할 것으로 판단된다.

5. 音響에 의한 漁業生物資源의 分布密度 推定

1996년 10월 및 1997년 7월~8월, 9월~10월에 걸쳐 우리나라 남해안에 설정한 grid상의 조사 line을 따라 항주하면서 수록한 체적산란강도를 集合平均하여 산출한 평균체적산란강도와 1997년 1월 및 7월~8월에 해당 조사해역에서 실시한

저층트롤조업에 의해 어획된 어획량과 트롤 예망층의 체적산란강도를 서로 연관시켜 산출한 어군 반사강도를 이용하여 단위체적공간에 대한 어업생물자원의 공간분포밀도를 추정하였다. 그 결과, 漁業生物資源의 分布密度는 해역과 계절 등에 따라 약간의 차이를 나타내었으나, 38 kHz와 120 kHz의 주파수에 있어서 全水層에 대한 평균적인 分布密度는 각각 $125.9 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$, $141.3 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ 였고, 海底上 10 m의 底層에 대한 分布密度는 각각 $87.1 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$, $166.0 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ 으로서, 全水層과 底層 兩者에 대한 魚族生物의 分布量은 高周波에서 더 높게 평가되었다.

本研究에서 導出した 音響에 의한 漁業生物의 現存資源密度 推定値는 前報¹⁾의 試驗操業結果에 의해 算出した 漁業資源密度의 推定値 $153.8 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ 과 비교할 때, 周波數와 調査對象水層에 따라 다소 차이는 있으나, 調査海域에 서식하는 魚種組成, 漁場環境, 魚族生物의 연직적인 行動習性 등의 여러 漁業生物學的 및 海洋環境學의 特性을 고려할 때, 매우 신뢰할 수 있는 推定値라고 판단된다.

이상의 결과를 미루어 볼 때, 향후에는 지금까지의 연구조사 과정에서 제기된 저서어업생물자원의 해석기법에 대한 문제점을 보완함과 아울러 split beam 방식 計量魚群探知機에 의해 수집되는 어족생물에 대한 반사강도의 데이터 베이스를 작성하고, 이것과 어획물의 생물학적 조성, 조사대상해역의 평균체적산란강도, 어군반사강도 등의 자료를 상호 종합적으로 관련시켜 우리나라 남해안의 잠재어업자원을 평가, 분석할 필요가 있다고 판단된다.

要 約

우리나라 남해안을 대상으로 계량어탐시스템에 의한 어업생물자원의 분포조사와 저층트롤에 의한 어획시험 등을 행하고, 이들의 자료를 종합적으로 분석하여 조사대상해역에 서식하는 現存漁業資源의 分布密度 등에 대하여 분석, 고찰한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 1996년과 1997년에 우리나라 남해안에 있어

서 38 kHz와 120 kHz의 주파수에 대한 어군의 평균體積散亂強度를 측정 한 결과, 全水深層에 대해서는 각각 -67.2 dB, -70.9 dB이었고, 또한 海底上 10 m의 水深區間에 대해서는 각각 -68.8 dB, -70.2 dB이었다. 즉, 38 kHz의 주파수에 대한 體積散亂強度는 120 kHz의 경우 보다 컸고, 또한 38 kHz에 있어서는 全水深層에 대한 체적산란 강도가 底層에 대한 그 값보다 컸다.

2. 우리나라 남해안에 있어서 魚群의 지리적인 分布密度는 다른 해역에 비해 거제도 및 소리도 인근 해역과 제주도 북동 해역에서 비교적 濃密하게 나타났다.

3. 1997년 1월 및 7월~8월에 우리나라 남해안에 설정한 조사정점에서 底層트롤操業에 의해 어획한 單位體積當의 漁獲量(C, kg/m³) 과 트롤 曳網層에 대한 魚群의 平均體積散亂強度(<SV>, dB) 와의 사이에 다음의 回歸直線式을 얻었다.

$$38 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -28.2 + 10 \log(C)$$

$$120 \text{ kHz} : \langle SV \rangle = -32.4 + 10 \log(C)$$

이들 식에서 38 kHz와 120 kHz의 주파수에 대한 어획물 1 kg에 대한 어군의 平均反射強度의 推定値는 각각 -28.2 dB/kg, -32.4 dB/kg로서, 38 kHz에 대한 魚群反射強度의 값이 120 kHz에 대한 그 값보다 4.2 dB 더 컸다.

4. 1997년 1월에 소리도 인근 해역의 저층 부근에 흩어져 분포하는 어족생물에 대한 反射強度의 측정과 漁獲試驗을 동시에 실시한 결과, 밴대이, 전어 및 병어의 7~21 cm (평균체장 11.0 cm) 체장범위에 대한 反射強度는 -65~-49 dB(평균 반사강도 -55.4 dB)이었고, 고등어와 꼼치의 21~42 cm(평균체장 29.7 cm) 체장범위에 대한 반사강도는 -49~-29 dB(평균반사강도 -38.3 dB)이었다.

5. 1996년 10월 및 1997년 7월~8월, 9월~10월에 우리나라 남해안에서 측정 한 平均體積散亂強度와 1997년 1월 및 7월~8월에 해당 조사해역에서 실시한 底層트롤操業資料에 의해 도출한 魚群反射強度를 이용하여 全水層에 대한 漁業生物資源의 空間分布密度를 추정 한 결과, 海域과 季節

에 따라 약간의 차이는 있었으나, 38 kHz와 120 kHz의 주파수에 있어서 각각 $125.9 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$, $141.3 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ 이었다. 이 결과는 前報¹⁾의 저층트롤에 의한 試驗操業資料를 이용하여 산출한 어업생물자원의 분포밀도 $153.8 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ 와 매우 유사하였다.

謝 辭

본 연구에 적극적으로 협조하여 주신 가야호 김민석 선생님, 고대권 기관장님과 승조원 여러분께 감사드리며, 또한 선상에서 어획물 조사에 수고해 준 부경대학교 해양생산시스템공학과와 해양생산 관리학과 학생들에게 감사하는 바입니다.

參考文獻

1. 李兌在 · 金鎮乾 · 申炯浩(1998) : 韓國 南海岸의 潛在 漁業資源 調査研究 - I, 底層트롤 漁獲物의 生物學的 組成, 韓國漁業技術學會術 34(3), 241 - 258.
2. 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.
3. 李兌在(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, 42 - 45.
4. MacLennan D.N. and E.J. Simmonds(1992) : Fisheries Acoustics, Chapman & Hall, 325p.
5. 李兌在(1991) : 東支那海 底棲魚類의 資源調査 研究 - I, 底棲魚類資源의 音響學的 調査(1989), 漁業技術 26(2), 143 - 150.
6. 李兌在(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.
7. 李兌在(1991) : 魚群探知機에 의한 魚群量推定에 관한 基礎的 研究 - I, 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.
8. 李兌在(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 28(4), 337 - 346.
9. Mitson R.B.(1983) : Fisheries Sonar, Fishing

- News Books Ltd, 287p.
10. 李昊在·辛亨鎰·申炯浩(1995): 音響에 의한 魚族生物의 資源調查 研究 - I, 魚群反射强度의 推定, 漁業技術 31(2), 142 - 152.
 11. Dorn, M. W., E.P. Nunnallee, C.D. Wilson and M.E. Wilkins(1994): Status of the coastal Pacific whiting resources in 1993, U.S. Depart. of Commerce, 101p.
 12. Ali, R.b., R.B.b.R. Hassan, A.C. Gambang, H.b. Rajali, Shiomi, K. and S. Fujiwara(1997): Application of the acoustic method in multispecies fish biomass estimation in the South Chia Sea, Int. workshop Acoust. Sur. Nor. Pac. Resouces Oct. 25, 1997. Pusan, Korea, 26p.