

濟州道 東南海域의 底棲漁業資源 調查研究

- 음향에 의한 어업생물의 분포밀도 추정 -

이 대 재 · 이 원 우*

부경대학교 · 군산대학교*

(1996년 6월 25일 접수)

Hydroacoustic Investigations of Demersal Fisheries Resources in the Southeastern Area of the Cheju Island, Korea

- Acoustical Estimation of Fish Density and Distribution -

Dae - Jae LEE and Won - Woo LEE*

Pukyong National University

*Kunsan National University

(Received June 25, 1996)

Abstract

The distribution and abundance of fish in the Cheju southeastern area was studied by the combined hydroacoustic and bottom trawl surveys in April 1994 and in July 1995, respectively. The main purpose of these investigations was to provide the basic data for this management and the biomass estimation of commercially important demersal fish stocks in this area.

The hydroacoustic surveys were performed by using a 50 kHz scientific echo sounder system with a microcomputer-based echo integrator.

Acoustical measurements of fish abundance and distribution were conducted along the cruise tracks of research vessel and during all trawl hauls by continuous echo sounding.

The average weight-normalized target strength for demersal fish aggregations was derived from the relationship between the mean volume backscattering strength for the depth strata of trawl hauls and the weight per cubic meter of trawl catches.

The geographical distribution of fish stocks in the 1994 survey area was investigated in relation to oceanographic conditions.

The results obtained can be summarized as follows :

1. From the 1994 and 1995 survey data, the relationship between the mean volume backscattering strength ($\langle SV \rangle$, dB) for the depth strata of trawl hauls and the weight (W , kg/m³) per cubic meter of trawl catches was expressed by the following equation

$$\langle SV \rangle = -32.8 + 10 \log(W)$$

The average weighted-target strength value at 50 kHz derived from this equation was -32.8 dB/kg.

2. In 1994 and 1995, both surveys showed a trend of decreasing fish abundance toward the

이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

southern area of the Cheju Island with high densities of fish along the west coast of the Tsushima Island. The highest demersal concentrations in the southern area of the Cheju Island appeared in bottom waters colder than 12°C.

3. From the results of combined bottom trawl and hydroacoustic surveys, the estimated fish densities in the southeastern area of the Cheju Island were $1.5488 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ in the 1994 survey and $1.9498 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ in the 1995 survey, respectively.

緒 言

한반도 주변 수역에서 한국과 중국 어선들에 의한 조업 경쟁이 심각하게 우려되고 있는 가운데, 우리나라는 이 해역에 출어하는 어선의 조업 안전을 확보하기 위한 대책의 수립에 부심하고 있고, 특히 요즘은 韓·中 兩國은 국제 해양법에 의거한 排他的 經濟 水域의 선포를 둘러싸고 첨예하게 대립하고 있는 실정이다.

이처럼 세계 여러 나라가 국제 해양법에 따른 排他的 經濟 水域의 선포를 시작한 이후, 우리나라를 비롯하여 해외 어장에 크게 의존하던 나라들은 안정적인 어장의 확보에 많은 어려움을 겪고 있다.

현재 미국, 노르웨이, 캐나다를 비롯한 세계의 많은 연안국은 자국 수역에 대한 어업 생물 자원을 과학적인 방법에 의해 평가함과 더불어, 자국 수역의 어업 자원을 체계적으로 관리하기 위한 각종의 연구를 활발하게 수행하고 있는데, 최근에는 음향에 의한 어업 생물 자원의 조사 기법이 실용화됨에 따라 계량 어탐 시스템에 의한 어업 자원의 조사·연구가 활발히 진행되고 있다^{1)~13)}.

前報¹⁾에서는 제주도 동남 해역에 대한 어업 생물 자원의 유효 이용 및 그 관리에 필요한 기초 자료를 수집하기 위한 방안의 하나로써, 트롤 조업에 의한 어획물의 조성과 트롤 그물의 어획 효율이 어군 반사 강도에 미치는 영향에 대하여 검토한 바 있다.

본 연구는 前報¹⁾에 이어 제주도 동남 해역에서 수집한 계량 어군 탐지기에 의한 어업 생물의 음향학적 조사 자료와 트롤에 의한 어획 자료 및 해양 관측 자료 등을 분석하여 조사 대상 해역에 대한 어업 생물의 분포 특성에 대하여 검토, 고찰하였다.

實驗裝置 및 調查方法

1. 計測 시스템의 構成

濟州道 東南海域에 대한 底棲漁業資源을 조사하기 위한 계측 및 해석 시스템은 1994년도에 있어서서는 어군에 의한 초음파 산란신호를 수록 및 해석하기 위한 計量魚群探知機(古野電氣, FQ-50), 音響積分器(古野電氣, FQ-570A), digital data recorder (Denon, DTR-100P), micro-computer(日本電氣, PC-9801VX), plotter (Roland, DXY-1300) 등을 이용하여 구성하였고, 1995년도에 있어서서는 送信部(Koden, CVS-888), 受信部 및 TVG 增幅器(海上電機), A/D 變換器(ELM data, EP-98ADCH), micro-computer (日本電氣, PC-9801VM2) 등을 서로 조합하여 구성하였다(Fig. 1).

1994년도 및 1995년도의 조사에서 사용한 계량 어탐시스템의 동작 주파수는 모두 50 kHz이지만, 1994년도의 조사에서는 현장에서 계량어군탐지기의 20log(R)의 TVG 출력 신호를 정량화하여 어군의 체적산란강도를 산출하고, 그것을 프린터에 출력함과 동시에 RS-232C의 인터페이스를 통해 micro-computer에 전송하여 floppy disk에 수록하였다. 그러나, 1995년도의 조사에서는 20log(R)의 TVG 출력 신호를 12 bit A/D 변환기를 이용하여 數值化한 데이터를 floppy disk에 수록하였다. 후일 실험실에서는 이들의 수치 데이터를 재생하여 평균 echo energy를 구하고, 이 값을 이용하여 單位體積當에 분포하는 어군의 後方體積散亂強度(SV, dB)를 다음 식에 의해 구하였다⁹⁾.

$$SV = 10 \log(E^2) - (PMG_R) - 10 \log\left(\frac{c\tau}{2}\right)$$

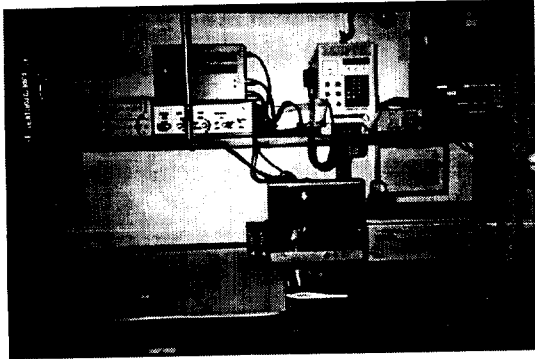


Fig. 1. Hydroacoustic data acquisition and processing system used in the 1995 survey.

$$-10\log(\Psi_D) - GT_M + 40 + SS$$

여기서, E^2 는 $20\log(R)$ 의 TVG 증폭기에서 출력되는 echo 신호를 二乗處理하고, 그것을 적분 구간과 송신 펄스 신호의 송신 회수(N)에 대하여 평균한 값이다. 즉,

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

이고, PMG_R 은 送·受信係數인데, 이 값은 反射强度(target strength, TS)가 알려져 있는 校正球를 이용하여 구하였다. GT_M 는 $20\log(R)$ 의 TVG 계수, SS 는 減衰器의 감도 설정치, τ 는 펄스폭, Ψ_D 는 送·受波器의 等價指向角이다.

2. 調査方法

조사는 前報¹⁾에서와 같이 1994年 4月 및 1995年 7月에 각각 실시하였는데, 1994년도에는 日本長崎大學 실습선 長崎丸(G/T 1,174, stern trawler)를 이용하였고, 1995년도에는 釜慶大學校 실습선 가야호(G/T 2,136, stern trawler)를 이용하였다.

Fig. 2는 1995년 7월에 실시한 조사 해역과 트롤 조업 위치를 나타낸 것이다.

漁獲試驗은 1994년도 및 1995년도에 각각 5회씩 모두 10회를 실시하였고, 트롤 조업시에는 트롤의 예망 체적을 산출하여 트롤 어획물의 단위 체적당에 대한 漁獲重量을 구하였다.

한편, 魚群의 反射强度는 前報¹⁾에서와 같이 트롤 조업에 의한 어획물의 重量으로부터 단위 체적

당에 대한 어군의 분포밀도($W, kg/m^3$)를 산출하고, 이것과 트롤 예망층의 단위 체적당에 대한 평균 체적산란강도($\langle SV \rangle, dB$)의 관계를 다음의 回歸直線式에 근사시켜 구하였다⁹⁾.

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

여기서, TS_{kg} 은 시험 조업에 의한 어획물 1kg당에 대한 魚群의 反射强度이다. 트롤 예망층의 평균 체적산란강도 $\langle SV \rangle$ 는 예망층의 수직 깊이를 1m 간격으로 분할하여 각각의 水層別에 대한 어군의 체적산란강도를 산출하고, 이것을 평균하여 구하였다. 즉,

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

여기서, N 은 예망층의 分割數, L 은 echo 신호의 측정 회수, $SV(i, j)$ 는 j 번째 측정시의 i 번째 수층의 체적산란강도이다.

또한, 1994년도의 조사에서는 트롤에 의한 어획 시험 및 계량어담시스템에 의한 어업생물의 분포 조사와 병행하여 조사 대상 해역에 설정해 놓은 26개의 관측 정점을 대상으로 CTD 시스템(Neil Brown, Mark-III) 및 XBT에 의한 해양관측을 실시하였다.

3. 魚群의 分布 密度 推定

어군의 분포 밀도는 어군의 평균 반사강도와 조사 대상 해역의 단위 체적공간에 대한 평균 체적산란강도를 상호 연관시켜 추정하였다.

結果 및 考察

1. 魚群의 分布特性和 漁場環境의 關係

1994년도 4월에 제주도 남방 해역에 설정한 조사 라인을 따라 조사선을 항주시키면서 계량어군 탐지시스템을 이용하여 단위 체적당에 대한 어군의 체적산란강도를 측정하고, 조사 대상 해역의 저층부와 전수층부에 대한 평균 체적산란강도의 수평 분포도를 작성하여 그것을 수온의 수평 분포도와 비교, 고찰하였다.

Fig. 3은 해저로부터 10m의 수직폭을 갖는 저층

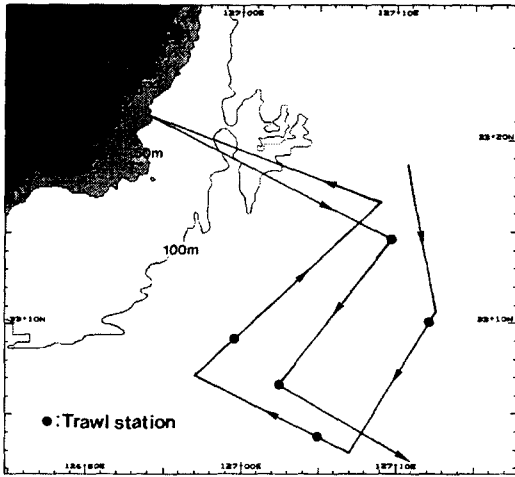


Fig. 2. The transect and trawl haul locations occupied in the southeastern area of the Cheju Island in the 1995 survey.

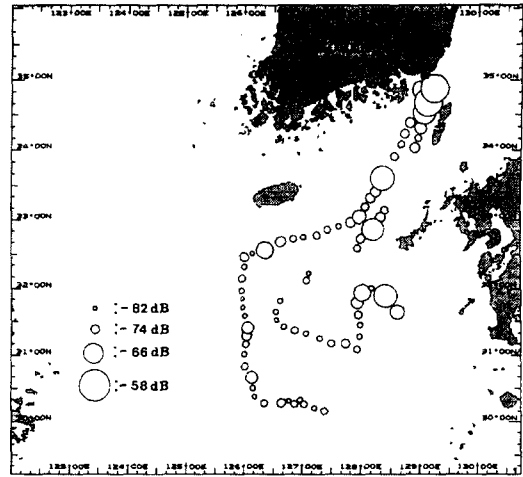


Fig. 4. Distribution of fish densities in the entire water column along the cruise tracks in the southern area of the Cheju Island in April 1994.

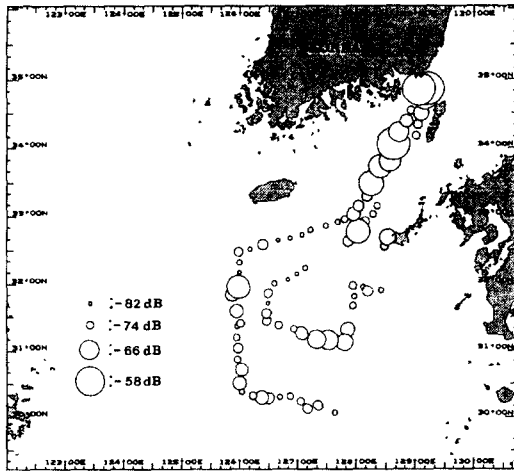


Fig. 3. Distribution of fish densities in the 10 m depth strata above seabed along the cruise tracks in the southern area of the Cheju Island in April 1994.

부에 대한 체적산란강도를 측정하여 해당 수심 구간과 조사선의 항주 거리에 대하여 각각 평균하고, 이로부터 평균 체적산란강도를 산출하여 그것을 조사 라인상의 각 해역에 원으로써 나타낸 것인데, 그림에 표시한 평균 체적산란강도의 값은 조사선의 항정을 10 마일 단위로 분할하여 구한 것이다.

또한, Fig. 4는 선저의 송·수파기면에서 해저까지의 전수층부에 대한 체적산란강도를 구한 후에

수심과 조사선의 항주 거리에 대하여 각각 평균하고, 그것을 조사 라인상의 각 해역에 원으로써 나타낸 것이다. 이들 그림에서 원의 크기가 클수록 어군의 군집 밀도, 즉 체적산란강도가 크다는 것을 의미한다.

Fig. 5는 1994년도의 조사 기간 동안에 조사 대상 해역에 설정한 해양 관측 정점에서 측정된 저층 수온의 수평 분포도를 나타낸 것이고, Fig. 6은 표층 수온의 수평 분포도를 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 저층 수온은 緯度 32° 30'N, 經度 126° E의 제주 남부 해역에서 12℃를 나타내었고, 緯度 30° 30'N, 經度 128° 30'E의 대륙사면 부근에서는 저층 수온이 가장 낮아 8℃였다. 저층 수온의 수평 분포를 살펴보면, 緯度 33°N의 동서 방향에 걸쳐 15℃의 등온선이, 동중국해의 대륙사면을 따라서는 13℃의 등온선이, 또한, 제주도 남부 해역에서는 북동쪽을 향해 형성된 14℃의 등온선이 각각 존재함으로써 조사 대상 해역의 저층부에는 13~15℃의 수위가 광범위하게 분포하였다.

한편, Fig.6에서 표층 수온은 緯度 32°N, 經度 126° E의 제주 남부 해역에서 가장 낮아 12℃를 나타내었고, 緯度 31°N, 經度 128° 30'E의 제주도 동남방 해역에서는 표면 수온이 가장 높아 21℃이었다. 표면 수온의 수평 분포를 살펴보면, 제주도 남

부해역에서는 동서 방향을 가로질러 조밀하게 형성된 전선역이 존재하고, 그 전선역의 동서 방향에 대한 수온의 수평 경도차는 0.06 °C/mile이었다.

Fig. 3~ Fig. 6에서 해역에 따른 어군의 군집 특성과 수온의 수평 분포도를 상호 연관시켜 고찰해보면, 전수층 및 저층에 있어서의 어군의 분포는 표면 수온이 12~15 °C 되는 제주도 동쪽에서 쓰시마 서쪽에 이르는 해역에서 모두 가장 농밀하게 군집하는 특성을 나타내었다. 제주도 남부 해역에 있

어서는 저층 수온이 12 °C인 緯度 31° 50'N, 經度 126° E 부근의 저층과 동중국해 대륙사면의 저층 수온이 13 °C인 등온선역에서 군집 어군이 약간 탐지되었을 뿐, 그 밖의 해역에서는 어군의 군집도가 매우 낮았다. 한편, 전수층에 대한 어군의 군집도는 緯度 32° 50'N, 經度 126° 30'E의 제주도 남부 해역과 緯度 32° N, 經度 128° E의 일본 큐슈 이동 해역에서 높았고, 그 밖의 해역에서의 어군의 군집도는 매우 낮았다.

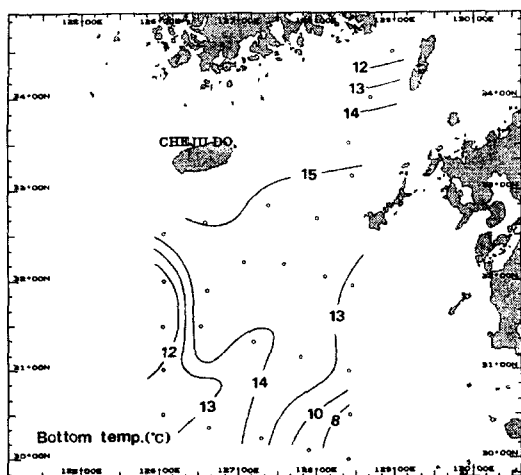


Fig. 5. Horizontal distribution of bottom temperature in the southern area of the Cheju Island in April 1994.

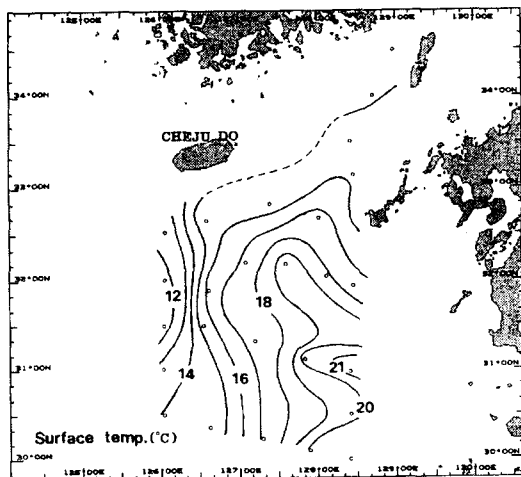


Fig. 6. Horizontal distribution of surface temperature in the southern area of the Cheju Island in April 1994.

2. 調査海域의 平均 體積散亂強度 및 魚群의 分布密度 推定

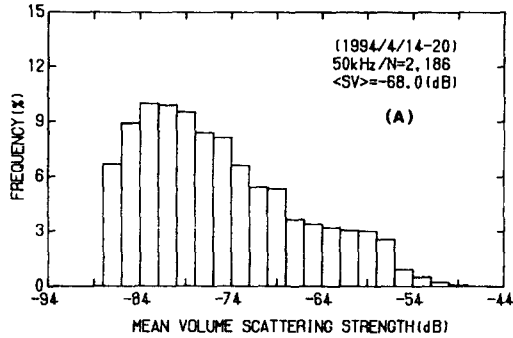
1) 調査海域의 平均 體積散亂強度

1994년도 4월에 계량 어탐 시스템을 이용하여 제주도 남방 해역을 대상으로 측정 한 50 kHz의 주파수에 대한 어군의 체적산란강도의 빈도 분포도는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 (A)와 (B)는 각각 조사 대상 해역의 저층부와 전수층부에 대한 결과이다.

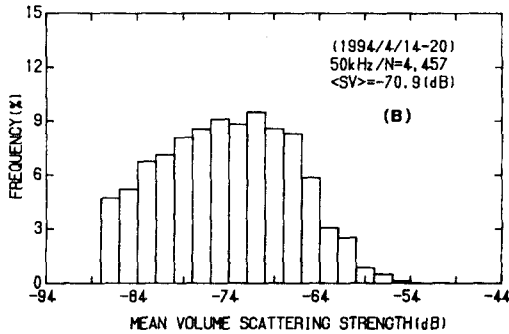
조사 대상 해역의 저층부에 대한 어군의 체적산란강도는 -86~-48 dB의 범위로서, 그 평균치는 -68.0 dB이었다. 한편, 전수층부에 대한 어군의 체적산란강도는 -86~-54 dB의 범위로서, 그 평균치는 -70.9 dB이었다. Fig. 7에서 1994년도의 조사에서는 저층부에 대한 어군의 평균 체적산란강도가 전수층에 대한 그 값보다 2.9 dB 더 높았다.

한편, 1995년도 5월에 계량어탐시스템을 이용하여 제주도 동남방 해역을 대상으로 측정 한 어군의 체적산란강도의 빈도 분포도는 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 (A)와 (B)는 각각 조사 대상 해역의 저층부와 전수층부에 대한 결과로서, 이들의 측정 주파수는 Fig. 7에서와 같이 50 kHz이다.

이 조사 해역의 저층부에 대한 어군의 체적 산란강도는 -87.5~-53.5 dB의 범위로서, 그 평균치는 -68.7 dB이었다. 한편, 전수층부에 대한 어군의 체적산란강도는 -83.5~-62.5 dB의 범위였고, 그 평균치는 -69.9 dB이었다. 1995년도의 조사에서도 1994년도와 마찬가지로 저층부에 대한 어군의 평균 체적산란강도가 전수층에 대한 그 값보다 더 높아 兩水層間의 차는 1.2 dB이었다.



(A) In the 10 m depth strata above bottom



(B) In the entire water column

Fig. 7. Histograms of volume backscattering strength in the 1994 survey area.

2) 魚群 反射强度의 推定

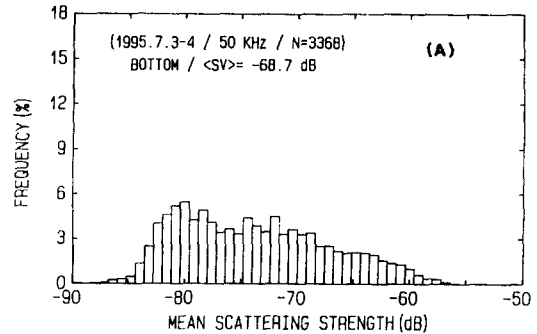
1994년도 및 1995년도의 제주도 동남방 해역에 설정한 10 개의 조사 정점에서 저층 트롤 조업에 의해 어획한 어획량과 그때의 트롤 예망층에 대한 평균 체적산란강도와와의 관계는 Fig. 9와 같고, 그림에서 종축은 평균 체적산란강도이고, 횡축은 단위 체적당에 대한 어획량이다. Fig. 9에서 트롤 예망층의 평균 체적 산란 강도 (<SV>, dB)와 저층 트롤에 의한 단위 체적당의 어획량 (W , kg/m^3)과의 사이에 다음의 회귀 직선식을 얻었다.

$$\langle SV \rangle = -32.8 + 10 \log(W)$$

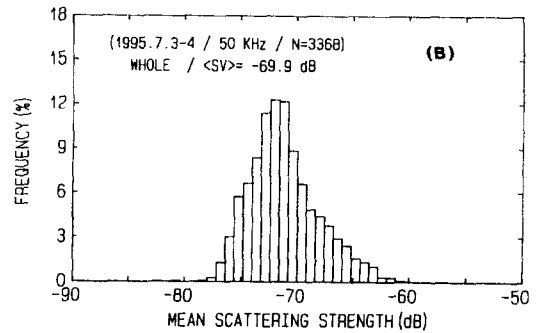
이 식에서 50 kHz의 주파수에 대한 조사 대상 해역에 있어서의 어획물 1 kg당에 대한 어군의 평균 반사강도의 추정치는 -32.8 dB/kg이었다.

3) 魚群의 分布密度 推定

1994년도 4월과 1995년도 7월에 제주도 동남방 해역에서 실시한 저층 트롤 조업에 의해 어획한 어



(A) In the 10 m depth strata above bottom



(B) In the entire water column

Fig. 8. Histograms of volume backscattering strength in the 1995 survey area.

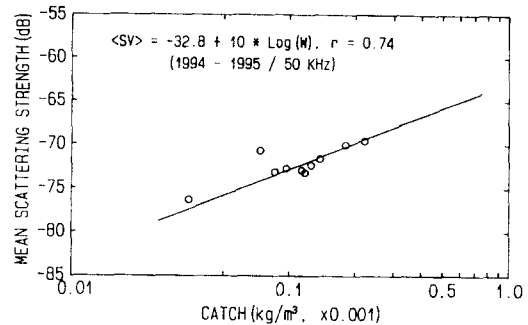


Fig. 9. The relationship between the mean volume backscattering strength(dB) and the weight (kg/m^3) per cubic meter of trawl catches in the southeastern area of the Cheju Island during 1994 - 1995.

획량과 트롤 예망층의 평균 체적산란강도와와의 관계로부터 산출한 어군의 평균 반사강도와 조사 대상 해역의 전수층에 대하여 측정된 평균 체적산란 강도를 토대로 어군의 평균적인 분포 밀도를 추정

한 결과, 1994년도의 제주도 남방의 공해 해역에 있어서의 어군 밀도는 $1.5488 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ 이었고, 1995년도의 제주도 동남방의 연안 해역에 있어서는 $1.9498 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ 이었다.

要 約

제주도 동남 해역에 서식하는 어업 생물 자원의 평가 및 그 관리에 필요한 기초 자료를 수집하기 위해 계량 어군 탐지기에 의한 어업 생물의 음향학적 조사 자료와 트롤 조업에 의한 어획 자료 및 해양 관측 자료 등을 상호 연관시켜 조사 대상 해역에 대한 어업 생물의 분포 특성을 분석, 고찰한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 조사 대상 해역의 전수층에 대한 어군의 분포 밀도는 표면 수온이 12~15℃ 되는 제주도 동쪽에서부터 쓰시마서쪽에 이르는 해역에서 가장 높았다.

4. 1994년도 및 1995년도의 조사 대상 해역의 저층부에 대한 평균체적산란강도는 각각 -68.0 dB, -68.7 dB이었고, 전수층부에 대해서는 각각 -70.9 dB, -69.9 dB로써, 저층부에 대한 평균체적산란강도가 전수층에 대한 그 값보다 1994년도에는 2.9 dB, 1995년도에는 1.2 dB 더 높았다.

5. 1994년도 및 1995년도의 제주도 동남방 해역에 설정한 10 개의 조사 정점에서 트롤 예망층의 평균 체적산란강도 ($\langle SV \rangle$, dB)와 저층 트롤에 의한 단위 체적당의 어획량 (W , kg/m^3)과의 사이에 다음의 회귀 직선식을 얻었다.

$$\langle SV \rangle = -32.8 + 10 \log(W)$$

이 식에서 50 kHz의 주파수에 대한 조사 대상 해역에서 어획된 어획물 1 kg당에 대한 어군의 평균 반사강도의 추정치는 -32.8 dB/kg이었다.

6. 1994년도의 제주도 남방 해역에 대한 어군의 분포밀도 추정치는 $1.5488 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ 이었고, 1995년도의 제주도 동남방의 연안 해역에 대한 추정치는 $1.9498 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ 이었다.

參考文獻

1) 이대재 · 이원우(1996) : 濟州道 動南海域의 底棲漁業資源 調査研究, 트롤 어획물의 조성과 어구 효율

이 어군반사강도에 미치는 영향, 漁業技術學會誌 32(3), 257 - 265.

- 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, 103P.
- 3) 李吳在(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 & HILL, 325P.
- 5) 朴仲熙 · 辛亨鎰 · 尹甲東 · 李吳在 · 卓圻錫(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) 李吳在(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) 李吳在(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.
- 8) 尹甲東 · 梁龍林 · 辛亨鎰 · 李珠熙 · 曹圭大 · 李吳在(1993) : 東支那海 底棲漁業資源의 調査研究. 漁業技術 29(3), 183 - 190.
- 9) 李吳在 · 辛亨鎰 · 申炯浩(1995) : 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. 漁業技術學會誌 31(2), 142 - 152.
- 10) 大瀧英夫 譯(1991) : 東海, 黃海의 카タクテイワ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.
- 11) Iversen S. A., D. Zhu, A. Johannessen and R. Toresen(1993) : Stock size, distribution and biology of anchovy in the Yellow Sea and East China Sea, Fisheries Research 16, 147 - 163.
- 12) Karp W. A. and J. J. Trayner(1988) : Assessment of the abundance of Eastern Bering Sea walleye pollock stocks, Proc. Int. Symp. Biol. Mgmt. Walleye Pollock, Alaska, 433 - 456.
- 13) Swartzman G., W. Stuetzle, K. Kulman and M. Powojowski(1994) : Relating the distribution of pollock schools in the Bering Sea to environmental factors, ICES J. mar. Sci. 51, 481 - 492.