

## 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 —

李 昊 在

釜山水產大學校  
(1991년 1월 25일 접수)

## Studies on Estimation of Fish Abundance Using an Echo Sounder-II \*

— The Relationship between Acoustic Backscattering Strength and Distribution Density of Fish in a Net Cage —

Dae-Jae LEE

National Fisheries University of Pusan  
(Received January 25, 1991)

This paper describes the fish-density dependence of the mean backscattering strength with aggregations of encaged, free-swimming fish of known density in relation to the experimental verification of the echo-integration technique for estimating the density of fish shoals.

In this experiment, various numbers of gold crussian, *Carassius burgeri burgeri*, with a mean length of 18.5cm and a mean weight of 205.9g, were introduced into a net cage of approximately 0.76m<sup>3</sup>. During the backscattering measurements, the cage was suspended on the sound axis of the 50kHz transducer having a beam width of 33 degrees at -3dB downpoints. The volume backscattering strengths from fish aggregations were measured as a function of fish density.

Data acquisition, processing and analysis were performed by means of the microcomputer-based sonar-echo processor including a FFT analyzer.

The calibration of echo-sounder system was carried out at field with a steel ball bearing of 38mm in diameter having the target strength of -40.8dB.

The dorsal-aspect target strengths on anesthetized specimens of gold crussian used in the cage experiment were measured and compared with the target strength predicted by the fish density-echo energy relationship for aggregations of free-swimming gold crussian in the cage.

The results obtained can be summarized as follows:

1. The target strengths in the dorsal aspect on anesthetized specimens of gold crussian, with the mean length of 19.1cm and the mean weight of 210.5g, varied from -40.9dB to -44.8dB with a mean of -42.6dB. This mean target strength did not differ significantly from that predicted by the regression of echo energy on fish density of free-swimming gold crussian in the cage. It suggests that the target-strength measurements on anesthetized fish was valid and can be representative for live, free-swimming fish.

2. The relationship between mean backscattering strength( $\langle SV \rangle$ , dB) and distribution density of gold crussian( $\rho$ , fish/m<sup>3</sup>) was expressed by the following equation;

$$\langle SV \rangle = -41.9 + 11 \text{Log}(\rho)$$

\* 이 연구는 1989년도 한국과학재단 연구비지원에 의한 결과임(과제번호: 893-1506-013-2).

with a correlation coefficient of 0.97.

This result support the existence of a linear relationship between fish density and echo energy, but suggest that this line has steeper slope than the regression by the theory of estimating the density of fish schools.

## 緒 言

最近, 美國을 비롯한 世界의 주요 沿岸國이, 自國 領海內에서의 他國漁船에 대한 操業規制를 한층 더 강화함으로써, 우리나라를 비롯한 많은 나라의 海外 漁業이 매우 어려운 상황에 직면하고 있다. 따라서, 各國은 이와같은 難局에 대처하기 위하여 新漁場이나 新漁業資源의 개발을 적극적으로 추진하면서, 自國의 周邊水域에 대한 漁業資源을 효율적으로 評價 및 管理하기 위한 대책수립에 부심하는 한편, 또 이것을 지원하기 위한 새로운 漁業技術을 개발하는 데에도 온갖 노력을 다하고 있다.

이와같은 상황속에서, 美國, 노르웨이, 日本을 비롯한 水産 先進國의 學界와 業界에서는, 직접 현장에서 漁業資源의 現存量을 단시간내에 정량적으로 평가할 수 있는 計測技法의 필요성을 인식하게 되어, 計量魚群探知機가 등장하게 되었고, 현재에는 이것이 漁業資源의 조사에 실용화될 수 있는 단계에까지 발전하였다.

그러나, 이와같이 計量魚群探知機가 각국의 여러 연구기관에서 漁業資源을 평가하는 하나의 手法으로서 정착화되고 있는 이면에는, 이것에 의한 資源量의 評價結果에 대한 信賴度의 문제가 많은 연구자들 사이에서 종종 논란의 대상이 되고 있다<sup>1)~10)</sup>. 따라서, 前報에서는 이와같은 문제에 주목하여 模擬魚群을 대상으로 計量魚群探知機에 의한 魚群量推定法을 실험적으로 檢証한 바에 대하여 報告하였다<sup>11)</sup>.

현재 세계적으로 널리 보급되고 있는 計量魚群探知機의 대부분은 積分方式을 채택하고 있다. 이 積分方式에서는, 海中의 임의 체적공간에 분포하는 多數의 個體魚로부터 산란된 echo 信號가 送受波器에서 서로 合成됨으로서 生成되는 魚群 echo 信號를 정량적으로 처리하여 단위체적당에 분포하는 魚群의 量을 추정하고 있다. 즉, 어군에 의한 echo 信號를 二乘

積分處理하여 echo energy를 구하고, 이것을 개체에 대한 echo 信號의 平均 energy로 나누어, 임의 체적공간에 분포하는 個體魚의 數, 즉 魚群의 分布密度를 추정하고 있다.

그러나, 실제 현장에서 試驗操業에 의한 漁獲物의 組成을 보면, 다수의 어종이 混在하여 어획되는 경우가 많고, 또 각각의 어종에 대한 어체의 體長 및 體重 組成이 해역에 따라 매우 다양하기 때문에, 어획된 어체의 개체를 대상으로 하는 反射強度의 측정법만으로는 해당해역의 어군을 대표할 수 있는 어체 1 마리당의 평균적인 echo energy, 즉 어체의 평균적인 反射強度를 추정하는 것이 매우 어렵다는 문제점이 있다.

따라서, 本 研究에는 net cage (籠網)에 분포밀도가 既知인 어군을 收容하고, 어체의 數를 점차 증가시키면서, 魚群密度의 변화에 기인하는 echo energy의 변동을 고찰함과 동시에, 魚群密度와 echo energy의 관계를 유도하여 個體魚 1 마리당에 대한 평균적인 反射強度를 추정하는 문제에 대하여 검토를 행하였고, 또, 이것을 현장에서 개개의 魚體에 대하여 측정된 平均反射強度와 상호 比較, 檢討하였다.

## 材料 및 方法

### 1. 供試魚와 Net Cage의 構造

Fig. 1은 cage 實驗의 模式圖이고, Fig. 2는 現場 實驗의 광경을 촬영한 寫眞이다.

本 研究에서는 붕어 (*Carassius burgeri burgeri*)를 供試魚로 사용하여 實驗을 행하였다.

Fig. 1에서 魚群探知機의 送受波器는 計測裝置와 活魚槽를 탑재한 小型 FRP船 (길이 7m, 幅 1.6m)의 舷側에 超音波를 鉛直方向으로 送受信할 수 있도록

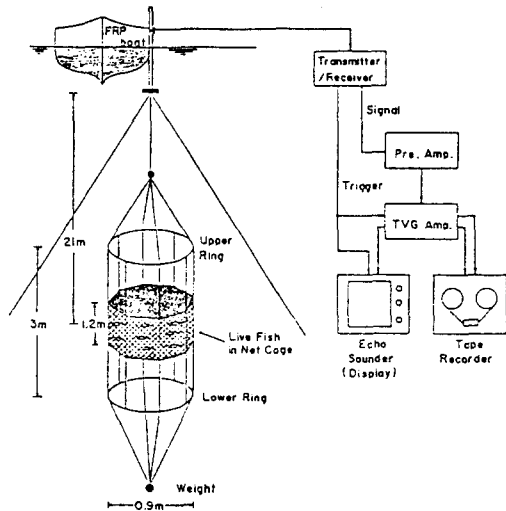


Fig. 1. Experimental net cage and data acquisition system.

그림과 같이 鐵파이프로서 고정하였다. 受受波器의 設置水深은 船底나 舷側에서 超音波가 散亂됨으로서 發生되는 雜音의 影響을 避하기 위하여 約 1m로 하였다. 또 魚群을 收容한 net cage(籠網)는 直徑 1mm의 nylon 줄로서 水深 約 21m의 音軸上에 위치 하도록 懸垂하였다.

한편, cage 內에 수용한 魚群의 遊泳 및 分布패턴이 자연상태에 근사하도록 하기 위해서는 가능한 한 cage의 크기를 크게 하는 것이 바람직하다. 그러나, cage의 크기를 크게 하면 할수록, cage 自體에 의한 散亂波가 cage내에 수용된 魚群으로부터의 echo 신호에 미치는 影響이 점차 커지기 때문에, 魚群을 수용했을 때와 수용하지 않았을 때의 각각에 대한 echo 신호를 분석하여, 魚群에 의한 echo energy 만을 抽出할 때, 이 값이 매우 불안정하게 된다. 따라서, 本 實驗에서는 網目이 10mm인 nylon 網地로서 直徑과 높이가 각각 0.9m, 1.2m인 cage를 제작하여 사용하였다. 수중에 net cage를 懸垂시킬 때에는, 直徑이 0.9m인 鐵製 Ring 2개를 cage의 上部와 下部에 Fig. 1과 같이 부착시켜 cage가 수중에서 잘 展開되도록 하였다.

實驗은 먼저 活魚槽에서 既知의 數의 活魚를 cage에 옮겨 넣은 후, 600 회의 送信에 대한 魚群 echo

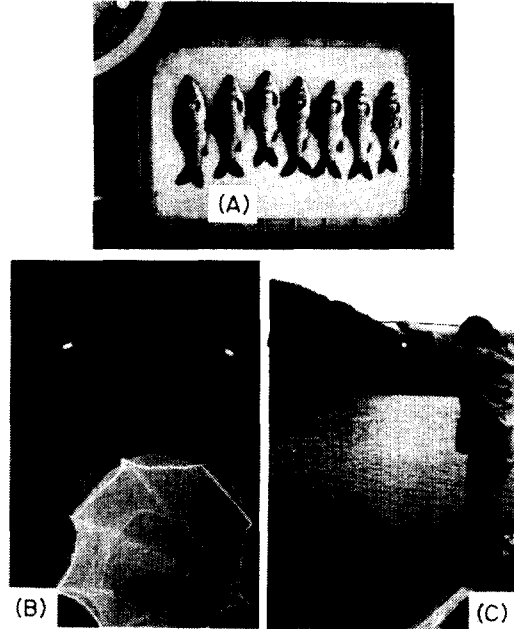


Fig. 2. (A) Fishes used in the cage experiment(Gold crussian).  
(B) A fish aggregation swimming within the net cage.  
(C) Fish suspension used in measuring target strength of anesthetized fish.

信號를 計測하고, 이 cage내의 魚群密度를 점차 증가시키면서 각각의 魚群密度에 대한 echo 信號를 計測했다. 또, 魚群을 수용한 net cage에 대한 실험을 모두 마친 뒤에는, 魚群을 수용하지 않은 net cage만에 대한 echo 信號를 계측하였다.

한편, Fig. 2에서 (A)는 實驗에 사용한 供試魚이고, (B)는 net cage의 水中에서의 展開形狀과 cage내에서 遊泳하고 있는 供試魚群을 나타낸 것이며, 또 (C)는 cage 實驗에 이용한 供試魚를 대상으로 현장에서 직접 反射强度를 측정하고 있는 광경을 나타낸 것이다.

實驗對象으로 설정한 魚群密度는 7, 13, 20, 26, 39, 52, 66 마리/ $m^3$ 의 7 種類이고, 實驗에 이용한 붕어의 體長 및 體重組成은 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 붕어의 체장범위는 13cm~23cm로서 平均體長은 18.5cm였고, 체중범위는 80g~460g으로서 平均體重은 205.9g이었다.

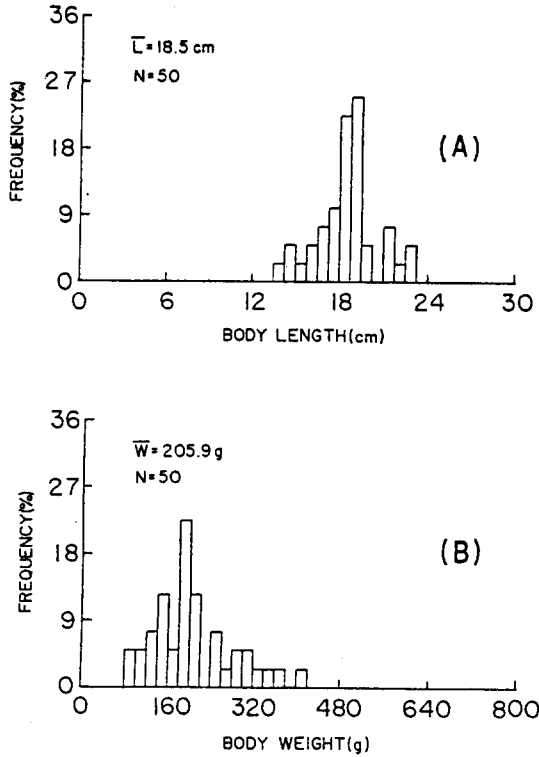


Fig. 3. Frequency distributions of body length(A) and weight compositions (B) of gold crussian, *Carassius burgeri burgeri*, used in the cage experiment.

2. 魚體의 反射强度 測定

本 cage 實驗에 이용한 魚體의 일부에 대해서는 現場에서 MS 222로서 麻醉시킨 후, cage 실험과 동일한 방법으로 水深 約 9m의 音軸上에 魚體를 懸垂시켜, 각각 600 회의 超音波送信에 대한 echo 信號를 계측하여 個體魚에 대한 平均反射强度를 求하였다.

이 實驗에서는 魚體를 수중의 임의의 수심에 懸垂시켜, 그 姿勢를 자유롭게 制御할 수 있는 장치를 제작하여 사용하였고, 魚體의 姿勢는 背方向이 送受波器의 振動面을 向하도록 하였다. 또한 實驗은 供試魚가 麻醉에서 깨어나기 전에 수행하였다.

3. 魚探信號의 收錄 및 處理, 解析시스템

實驗은 Fig. 1에서와 같이, 使用周波數가 50kHz인 魚群深知機(海上電機製, Memo Color-100)에 前置 및 TVG 增幅器를 접속하여 行하고, 現場에서는 低

域檢波器를 통해 檢波한 包絡線信號와 送波 trigger 信號를 analog data recorder (TEAC製, XR-310)에 收錄했다.

實驗에 이용한 送受波器(直徑 60mm)의 -3dB 點에 대한 指向角은 約 33°였고, 이 音束(sound beam)幅은 送受波器로부터 水面下 約 21m의 水深에 설치된 net cage의 크기에 比하여 충분히 넓기 때문에, 本 實驗에서는 cage에 수용된 魚群에 의한 平均後方散亂强度를 산출하는 데에 있어 送受波器의 指向特性에 대한 影響을 무시하였다.

魚探信號의 處理 및 解析시스템은 Fig. 4와 같다.

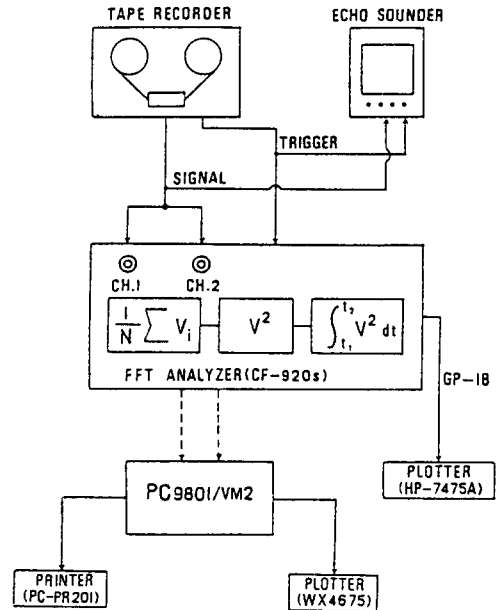


Fig. 4. Block diagram of data processing system.

現場에서 data recorder에 수록한 魚探信號는, 後日 實驗室에서 再生시켜 A/D 變換器를 통하여 digital 化하고, 이것을 Micro-computer(日本電氣製, PC-9801vm2)에 전송하여 floppy disk에 수록하였다. 즉, 2 channel의 FFT analyzer (小野測器製, CF-920s)이용하여 12bit의 分野能과 51.2kHz의 sampling 周波數로서 echo 信號를 數值化하고, cage의 上部와 下部의 水深區間에 相當하는 時間範圍에 대하여 二乘處理한 echo 信號를 積分하여 魚群에 의한 echo energy를 求하였다.

超音波散亂强度의 魚群密度에 대한 依存性 및 魚群을 구성하는 個體魚의 平均反射强度에 대한 檢討는, 이와같이 하여 floppy disk 上에 수록한 echo 資料

를 해석하여 행하였고, 또한 그 結果는 plotter (渡邊測器製, WX4675)로서 圖表化하였다.

#### 4. 魚探시스템의 較正

魚探시스템의 較正은 平均反射強度가  $-40.8\text{dB}$ 인 標準球 (steel ball, 直徑  $38\text{mm}$ )를 사용하여 행하고, 標準球와 Cage內的 魚群에 의한 echo 信號는 동시에 계속하였다. 較正球는 送受波器의 振動面에서 約  $15\text{m}$  떨어진 水深의 音軸上에 설치하였다.

### 結果 및 考察

#### 1. 個體魚의 平均反射強度

現場에서 cage 實驗에 사용한 개개의 供試魚를 麻醉시키고, Fig. 2의 (C)에서와 같이, 이들을 수중에懸垂시켜 超音波散亂信號를 연속적으로 측정된 結果는 Fig. 5와 같다. Fig. 5의 縱軸은 echo level (V)

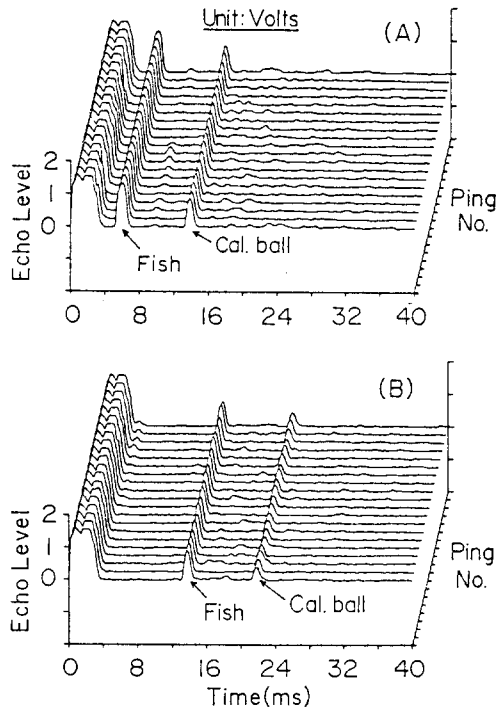


Fig. 5. Echoes by fish and calibration ball which were suspended on the beam axis of transducer. The target strength on the dorsal aspect of fish has been calculated from the echoes by calibration ball of (A) and fish of (B) existing at the same depth.

이고, 橫軸은 水深에 相當하는 時間(ms)이다.

Fig.5에서 (A)는 送受波器의 音軸上에 供試魚와 較正球를 각각 懸垂시키고, 이들에 의한 echo 信號를 측정된 것으로서, 兩者의 信號는 時間軸上에서 約  $8\text{ms}$ (約  $6\text{m}$ ) 떨어져 서로 분리되어 나타나고 있다. 즉, 供試魚의 信號는 約  $4\text{ms}$ (約  $3\text{m}$ )의 수심에, 較正球의 信號는 約  $12\text{ms}$ (約  $9\text{m}$ )의 수심에 각각 나타나고 있다. 한편, (B)는 (A)보다 供試魚와 較正球를 각각 約  $6\text{m}$ 씩 더 깊이 懸垂시켜 供試魚가 (A)의 較正球의 수심에 위치하도록 水深을 조정하여 echo 信號를 측정된 것이다.

供試魚의 平均反射強度는, Fig.5의 (A)와 (B)에서 約  $12\text{ms}$ 의 동일한 수심에 위치한 魚體와 較正球에 의한 echo 信號를 각각 二乘積分處理하여 echo energy를 구하고, 이것을 送信回數 (ping 數)에 대하여 평균한 후, 式(1)에 대입하여 구하였다.

$$\langle TS_F \rangle = 10 \text{Log} \left( \frac{\langle E_F \rangle}{\langle E_S \rangle} \right) + \langle TS_S \rangle \dots\dots (1)$$

여기서,  $\langle TS_F \rangle$ 는 어체의 平均反射強度 (dB),  $\langle TS_S \rangle$ 는 較正球의 反射強度 (dB),  $\langle E_F \rangle$ 는 어체에 의한 echo 信號의 平均 echo energy ( $V^2$ ),  $\langle E_S \rangle$ 는 標準球에 의한 echo 信號의 平均 echo energy ( $V^2$ )이다.

式(1)에 의한 어체의 平均反射強도와 어체의 體長과의 관계는 Fig. 6과 같다. 縱軸은 平均反射強度 (dB)이고, 橫軸은 어체의 體長 (cm)이다.

그림에서 어체의 反射強度는 體長에 따라 큰 변동을 나타내고 있으며, 8마리의 붕어에 대한 平均體長

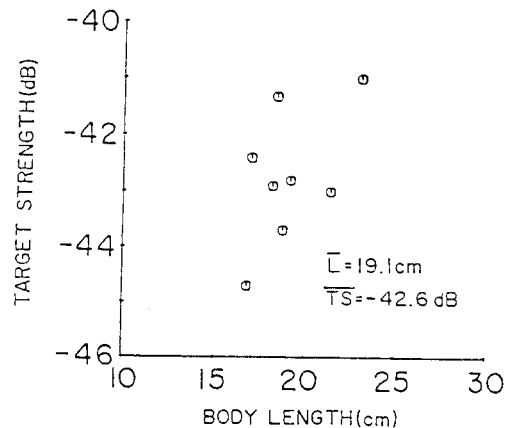


Fig. 6. The relationship between dorsal-aspect target strength and body length of gold crussian used in the cage experiment.

이 19.1cm인 경우에 있어, 個體魚의 平均反射強度는 -42.6dB이었다.

## 2. 魚群의 分布密度와 超音波散亂強度의 關係

net cage내에 어군을 收容했을 때와 收容하지 않았을 때에 대한 超音波 echo 信號를 연속적으로 측정한 結果는 Fig. 7과 같다. Fig. 7의 縱軸은 echo level(V)이고, 橫軸은 水深에 相當하는 時間(ms)이다.

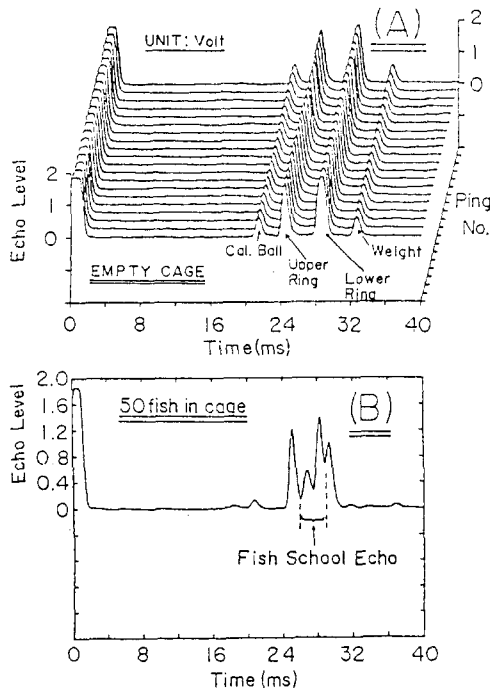


Fig. 7. Echoes backscattered from net cage and fish aggregation.  
(A) Without fish aggregation.  
(B) With fish aggregation.

Fig. 7에서 (A)는 cage내에 어군을 收容하지 않았을 때의 echo 信號로서, cage의 上部와 下部에 부착한 ring에 의한 echo 信號가 서로 잘 분리되어 나타나고 있으며, 또 이들의 上下에는 較正球와 錘의 信號가 선명하게 기록되고 있음을 알 수 있다. 여기서, 錘는 cage가 수중에서 전개될 때, 그 형상의 균형을 유지하기 위해 부착한 것이다. 한편, (B)는 cage내에 50마리의 붕어를 수용한 상태에서 측정한 echo 信號로서, 어군 echo 信號는 cage의 上部와 下部 ring과의 사이의 水深區間에 출현하고 있음을

알 수 있다.

本 實驗에서는 魚群 echo 信號를 收錄하는 동안, cage내에서 어군이 어떻게 분포하는가를 파악하기 위하여, echo 信號를 color display에 表示시켜 魚群像의 變化상황을 관찰했다. 이 관찰 結果에 따르면, cage내의 魚群密度가 높아질 수록, 어군은 cage내의 空空間에 흩어져 분포하는 경향을 나타내었고, 또 cage의 上層部에서 下層部로 향하는 어군의 행동이 종종 관찰되었다. 그러나, cage내의 魚群密度가 낮은 경우에 있어서는 주로 cage의 下層部에 어군의 분포가 편중되는 경향을 보였다.

魚群의 平均體積散亂強度는, Fig. 7의 (A)와 (B)에서, cage의 上部와 下部 ring과의 사이의 중심구간에 대한 Echo 信號를 대상으로 echo energy를 구하고, 이것을 全送信回數(ping 數)에 대하여 평균하여 式(2)에 의해 구하였다.

$$\langle SV \rangle = 10 \text{Log} \left( \frac{\langle E_{CF} \rangle - \langle E_C \rangle}{\langle E_S \rangle} \right) + \langle TS_S \rangle + 10 \text{Log}(N) + 10 \text{Log}(\rho) \dots (2)$$

여기서,  $\langle SV \rangle$ 는 魚群의 平均體積散亂強度(dB),  $\langle TS_S \rangle$ 는 標準球의 平均反射強度(dB),  $\langle E_{CF} \rangle$ 는 魚群을 수용한 cage에 의한 echo 信號의 Energy( $V^2$ ),  $\langle E_C \rangle$ 는 魚群을 수용하지 않은 cage에 의한 echo 信號의 energy( $V^2$ ),  $\langle E_S \rangle$ 는 Cage를 제거하고 이것의 중심위치에 標準球를 설치했을 때, 이 標準球에 의한 echo 信號의 energy( $V^2$ ),  $N$ 는 cage내에 수용된 魚體의 總마리數,  $\rho$ 는 Cage 空間內的 單位體積當에 분포하는 魚體의 數(마리/ $m^3$ )이다.

式(2)에서  $\langle E_{CF} \rangle$ 의 값이  $\langle E_C \rangle$ 의 값보다 매우 적은 echo 資料는  $\langle SV \rangle$ 의 값을 추정하는 데에서 제외하였다.

어군의 分布密度와 平均體積散亂強度의 關係는 Fig. 8과 같다. Fig. 8의 縱軸은 어군의 平均體積散亂強度( $\langle SV \rangle$ , dB)이고, 橫軸은 單位體積當에 분포하는 魚群密度의 對數值( $\text{Log}(\rho)$ ,  $\rho$ :마리/ $m^3$ )이다. 또한, 그림에서 ●은 각각의 魚群密度에 대한  $\langle SV \rangle$ 값이고, 實線은 이들의  $\langle SV \rangle$ 값에 의한 回歸直線이다.

Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이 單位體積當에 분포하는 魚群의 密度가 증가함에 따라 魚群에 의한 平均體積散亂強度는 직선적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 즉, cage내에 수용한 어군의 밀도가 7, 13, 20, 26, 39, 52, 66 마리/ $m^3$ 로 증가할 때, 이

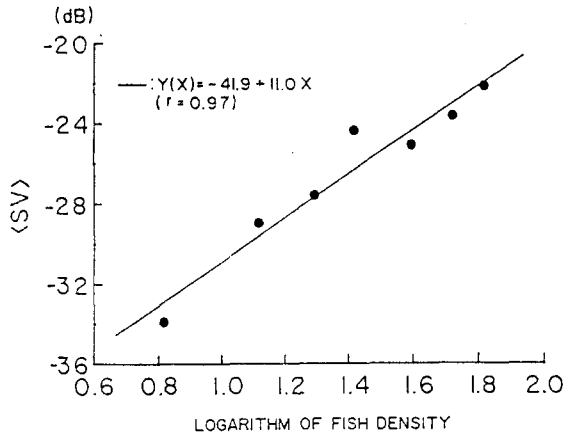


Fig. 8. The relationship between mean volume backscattering strength(<SV>) and logarithm of fish density.

들 어군에 의한 平均體積散亂強度는 각각 -33.0, -28.9, -27.6, -24.3, -25.1, -23.6, -22.1 dB로 증가하였으며, 또 <SV>와  $\rho$  와의 사이에는 다음의 回歸直線式이 성립하였다.

$$\langle SV \rangle = -41.9 + 11.0 \text{Log}(\rho), r = 0.97 \dots (3)$$

한편, 積分方式 魚群量推定法의 기초가 되는 體積殘響理論에 의하면, 임의의 체적공간에 다수의 어체가 random하게 분포하고, 또 魚群減衰와 多重散亂의 영향을 무시할 수 있는 조건하에서는, <SV>와  $\rho$  와의 사이에 다음의 이론적인 관계가 성립한다.

$$\langle SV \rangle = \langle TS \rangle + 10 \text{Log}(\rho) \dots \dots \dots (4)$$

여기서, <TS>는 魚體 1마리당의 平均反射強度 (dB)이다.

式(3)과 式(4)을 비교할 때, 式(3)에서 실험에 의해 유도된 回歸直線의 기울기 11은 式(4)의 이론적인 기울기 10에 비해 약간 크다. 또한, 본 Cage 실험에 供試魚로서 사용한 붕어 1 마리당에 대한 平均反射強度의 推定値는 式(3)에서 -41.9dB이다. 이 값은 현장에서 각각의 個體魚에 대하여 구한 平均值 -42.6 dB보다 0.7dB 더 크다. 그러나, cage 실험에 의해 추정된 平均反射強度는 실제의 活魚群을 대상으로 積分方式에 의해 구한 값이므로, 개개의 魚體를 대상으로 구한 값보다 魚體 1 마리당에 대한 平均적인 反射強度를 더 정확하게 표현하고 있다고 판단된다.

따라서, 計量魚群探知機를 사용하여 魚群量을 평가하는 경우에 있어서는, 현장에서 漁獲試驗을 병행하

여, 실제 어획한 漁獲物을 대상으로 cage 실험 등에 의해 反射強度를 추정하면 魚群量 推定値의 精度를 더욱 높일 수 있다고 판단된다.

### 要 約

魚群의 分布密度와 超音波散亂強度의 關係를 검토하기 위하여, 50kHz의 周波數에서 net cage(籠網)에 분포밀도가 既知인 어군을 收容하고, 魚群密度의 변화에 기인하는 echo energy의 변동을 고찰하고, 또 cage 실험에 의해 추정된 魚體의 平均적인 反射強度와 개개의 魚體를 대상으로 구한 平均反射強度를 상호 비교, 검토한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. cage 실험에 의한 붕어의 平均反射強度는 -41.9dB로서, 이 값은 현장에서 개개의 붕어(麻醉魚, 平均體長 19.1cm)를 대상으로 측정한 平均反射強度 -42.6dB보다 0.7dB 더 컸다.

2. cage내에 수용한 魚群의 分布密度가 증가함에 따라, 魚群에 의한 平均體積散亂強度는 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 즉, 魚群密度가 7, 13, 20, 26, 39, 52, 66 마리/ $m^3$ 였을 때, 각각의 魚群에 의한 平均體積散亂強度는 -33.0, -28.9, -27.6, -24.3, -25.1, -23.6, -22.1dB이었다.

3. 魚群密度  $\rho$  (마리/ $m^3$ )와 平均體積散亂強度 <SV> (dB)와의 사이에는 다음의 관계식이 성립하였다.

$$\langle SV \rangle = -41.9 + 11.0 \text{Log}(\rho), r = 0.97$$

이 式에서 回歸直線의 기울기 11은 이론적인 값 10에 거의 근사하였다.

### 參考文獻

- 1) 李昊在(1988): 魚群의 超音波散亂特性에 關する 基礎的 研究. 北海道大學 大學院, 博士學位論文, 130.
- 2) Foote, K.G.(1983): Linearity of fisheries acoustics, with addition theorems. J. Acoust. Soc. Am. 73, 1932-1940.
- 3) Craig, R.E.(1984): Fisheries Acoustics. Rapp. P. v. Reun. Cons. Explor. Mer. 184, 84-95.
- 4) Saranchov, S.I.(1987): Estimation of target strength of an individual fish by data of acoustic measurements of aggregations of living cod in a cage. In Proceedings of the

- International Symposium on Fisheries Acoustics, Seattle, WA, 22-27 June 1987, 20.
- 5) Foote, K.G.(1990): Target strengths of Antarctic krill(*Euphausia superba*) at 38 and 120 *kHz*. J. Acoust. Soc. Am. 87. 16-24.
- 6) Burczynski, J.J., R.L. Johnson and W.B. Kirchner(1987): Acoustic estimation of high densities of fish in sea pens. In Proceedings of the International Symposium on Fisheries Acoustics, Seattle, WA, 22-27 June 1987, 37.
- 7) Shotton, R.(1983): Linearity of echo response from herring schools. Fish Capture Committee, 20.
- 8) MacLennan, D.M.(1990): Acoustical measurement of fish abundance. J. Acoust. Soc. Am. 87, 1-15.
- 9) Rose, G.A. and W.C. Legget(1988): Hydroacoustic signal classification of fish schools by species. Can. J. Aquat. Sci. 45, 597-604.
- 10) Edwards, J. I. and E. Armstrong(1984): Target strength experiments on caged fish. Scottish Fisheries Bulletin 48, 12-20.
- 11) 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 檢証實驗. 漁業技術 27(1), 1-12.