

저서어자원량의 음향추정에 있어서 해저 데드존의 보정에 관한 연구

黃 斗 溍

여수대학교
(2000년 6월 23일 접수)

Dead Zone Correction for Abundance Estimation of Demersal Fish by Acoustic Method

Doo-Jin Hwang

Yosu National University

(Received June 23, 2000)

Abstract

In order to estimate demersal fishes using acoustic echo sounders and echo integrators, we consider several problems that are accurate bottom detection, optimum bottom offset and dead zone. The dead zone where no fish detection are summed distance resolution by the half pulse length of transmitted pulse and beam angle above the seabed. This paper has considered the dead-zone correction method to be technically correct for survey of demersal fishes. A comparison between near-bottom SV profiles acquired in Funka Bay, Hokkaido, of Japan, the East China Sea and the Yellow Sea, of Korea, with before and after the bottom correction, shows that the SV obtained with after the bottom correction is 2~3dB higher than before the bottom correction in Funka Bay, and 17dB higher in East China Sea, too.

서 론

계량어군탐지기를 이용한 어업자원의 평가기술은 전자공학 및 컴퓨터의 기술발전과 더불어 급속도로 발전하고 있다. 특히, 자원조사 중층성의 단일어종에 대한 음향자원평가기술은 실용화 단계로 북태평양 어장에 있어서 명태, 북해도의 어장에 있어서의 명태, 대구, 칠레연안에서의 멸치자원, 북유럽에서의 청어의 자원조사 등^{1)~3)}이 이루어

져 실제 자원관리형 어업을 위한 기초자료로서 활용되고 있다. 그러나, 저서어를 대상으로 음향자원조사^{4)~9)}를 하기 위해서는 기술적으로 해결해야 할 몇 가지 문제점이 남아있다.

첫째로, 생물의 특성¹⁰⁾에 기인하는 문제점으로 어체의 형상, 부레의 유무, 어군분포 형태 등이 다양하여 음향학적 수법으로 평가하기에 불리하다는 점이며, 두 번째로, 어군탐지기의 기술적인 문제로, 어탐신호의 해저식별이나 해저기준설정 그

* 본 연구는 1999년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

리고 해저기준으로부터의 해저오프셋의 결정이 어렵다는 점, 세 번째로는 물리적 문제로 특히 수직어군탐지기에서 문제가 되는 해저부근의 데드존의 존재¹³⁾를 들 수 있다.

본 연구는 이러한 문제점들 중에서 특히 물리적 문제인 해저 데드존에 대하여 고찰하였다. 바다에서 수직어군탐지기를 이용하여 저서어를 탐지할 경우, 해저의 바로 위에 위치한 어군은 해저와 분리할 수 없어, 해저에코에 어군의 에코가 마스크 되어 버린다. 따라서, 이러한 데드존 내에 어군이 존재할 경우에 생기는 오차에 대해 검토하고, 그 오차의 보정 방법에 대하여 고찰하였다.

해저 데드존의 정의

저서어의 음향자원조사에 있어서, 해저부근의 어군이 탐지되지 않는 해저 데드존의 발생에 대해서 생각하면, 먼저 해저로부터 분리거리를 들 수가 있다. 이 거리는 송신펄스길이 $c\tau$ 의 반에 해당되며, 여기서 c 는 수중음속, τ 는 펄스폭이다. 예를 들면 해저와 또 하나의 표적인 어군간의 거리가 펄스길이의 반이라고 가정하면, 음향펄스의 선두

가 해저에 도달하고, 또 어군이 음향펄스의 후단에 위치한다고 가정하면, 해저 에코의 선단과 고기의 에코의 후단이 혼합되어 구별이 되지 않게 된다. 이것을 거리분해능이라고 부르며, 해저부근의 위치관계를 모식화한 것이 Fig. 1이다. Fig. 1에서 거리분해능에 의한 탐지불가능 영역은 $b'b'd'd'$ 가 되고, 이것을 일반적으로 DDZ(definite dead zone)라고 부른다. 또 하나는 시간의 경과와 함께 음향빔이 퍼져 가게 되어, 주축상의 해저까지의 거리와 그 바깥 원측, $bb'd'd'$ 내에 있는 어군 역시 탐지가 불가능하게 된다. 이것을 일반적으로 IDZ(indefinite dead zone)라고 부르며, 해저 데드존은 DDZ와 IDZ의 합을 말하며, 이 데드존의 높이는 다음식으로 나타내어진다.

$$h = d \left(1 - \cos \frac{\psi}{2} \right) + \frac{c\tau}{2} \quad (1)$$

여기서 h 는 데드존의 최대높이, d 은 송수파기의 직하의 수심, ψ 는 송수파기의 빔폭, $c\tau/2$ 는 거리분해능이다.

Fig. 2는 데드존의 최대 높이를 수심별로 본 빔폭으로부터의 각도와 관계를 나타낸 것이다. 그림과 같이 빔축상에서는 해저로부터 $c\tau/2$ 까지는 DDZ의 영향으로 어군을 탐지할 수 없으며, 그 이외의 방향에서는 빔축으로부터 멀어질수록, 또 수

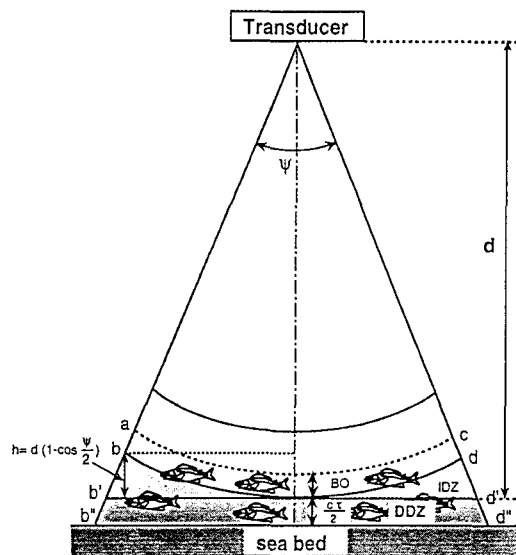


Fig. 1. Definition of deadzone on sea bed.

BO : Bottom offset.

IDZ : Indefinite dead zone.

DDZ : Definite dead zone.

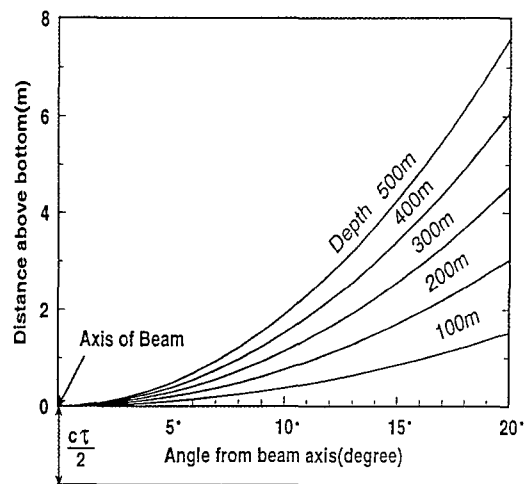


Fig. 2. Detection height above the bottom for beam width ψ and depths.

심이 깊어질수록 데드존의 크기는 커진다. 또, 이 데드존의 체적 V_d 는 다음식과 같이, 높이의 원추대의 체적 V_f 로부터 구관부분의 체적 V_c 를 뺀 나머지가이다.

$$V_d = V_f - V_c \quad (2)$$

여기서,

$$V_f = 0.2618 \left[\left(d - \frac{c\tau}{2} \right) \left(1 - \frac{\sin \frac{\psi}{2}}{\tan \frac{\psi}{2}} \right) + \frac{c\tau}{2} \right] \times \left[\left(2d \tan \frac{\psi}{2} \right)^2 + \left\{ 2 \left(d - \frac{c\tau}{2} \right) \sin \frac{\psi}{2} \right\}^2 + \left(2d \tan \frac{\psi}{2} \right) \left\{ 2 \left(d - \frac{c\tau}{2} \right) \sin \frac{\psi}{2} \right\} \right] \quad (3)$$

$$V_c = \frac{\pi}{3} \left[\left(d - \frac{c\tau}{2} \right) \left(1 - \frac{\sin \frac{\psi}{2}}{\tan \frac{\psi}{2}} \right) \right]^2 \times \left[3 \left(d - \frac{c\tau}{2} \right) - \left(d - \frac{c\tau}{2} \right) \left(1 - \frac{\sin \frac{\psi}{2}}{\tan \frac{\psi}{2}} \right) \right] \quad (4)$$

의 관계가 성립한다.

위의 식 (1)~(4)를 이용하여 데드존의 체적과 수심, 빔폭과의 관계를 나타낸 것이 Fig. 3이며, 그림의 위 부분은 음향빔폭(ψ)은 20° 에 고정하여, 펄스폭을 $0.5 \sim 1.5 \text{ ms}$ 까지 변화한 것이다. 그림과 같이 펄스폭이 클수록 데드존의 체적이 커짐을 알 수 있을 것이다. 또 아래 그림은 펄스폭(τ)을 1.0 ms 로 고정하여, 음향 빔폭(ψ)을 $10^\circ \sim 30^\circ$ 까지 변화시킨 것이다. 그림으로부터 빔폭의 변화가 데드존 체적에 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있을 것이다.

실제로 본 연구에서 이용한 계량어군탐지기의 파라미터를 이용하여 데드존 체적을 계산한 결과는 Fig. 4와 같다. 2주파수 모두 τ 를 1 ms , 빔폭을 25 kHz 에서는 26.4° , 100 kHz 에서는 13.0° 로서 계산하였다. 그림에서 수심 100 m 에서는 25 kHz 의 데드존의 체적은 3000 m^3 , 100 kHz 에서는 400 m^3 가 되어, 빔폭이 넓은 25 kHz 가 빔폭이 좁은 100 kHz 에 비해서 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 이

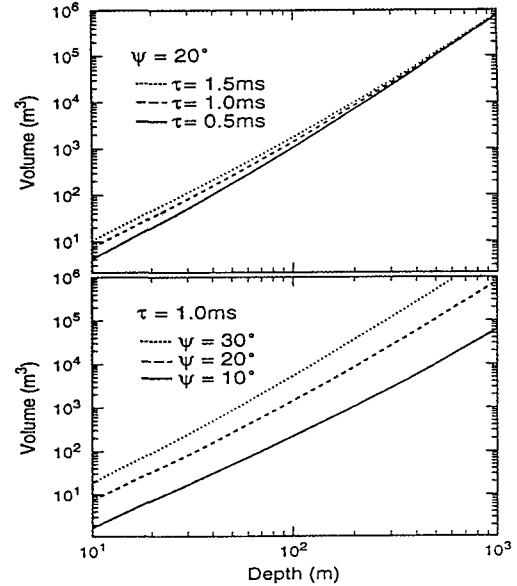


Fig. 3. Dead zone volumes for different pulse duration and beam angles.

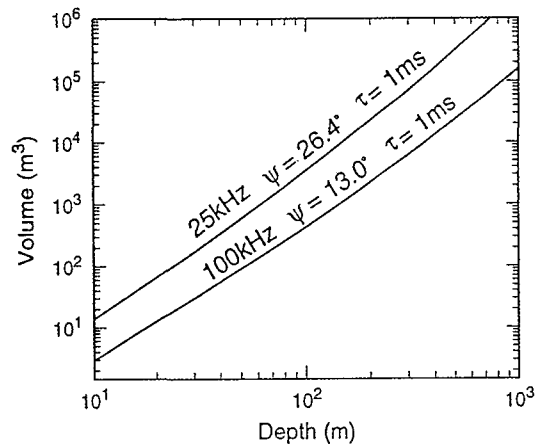


Fig. 4. Dead zone volume calculated from the parameters used in the echo survey for demersal fish.

와 같은 범위에 어군이 존재하는 경우 음향자원조사에 의한 어군량 추정치는 실제보다 과소평가 될 것으로 생각된다.

재료 및 방법

북해도 분화만에 회유하는 명태어군을 대상으

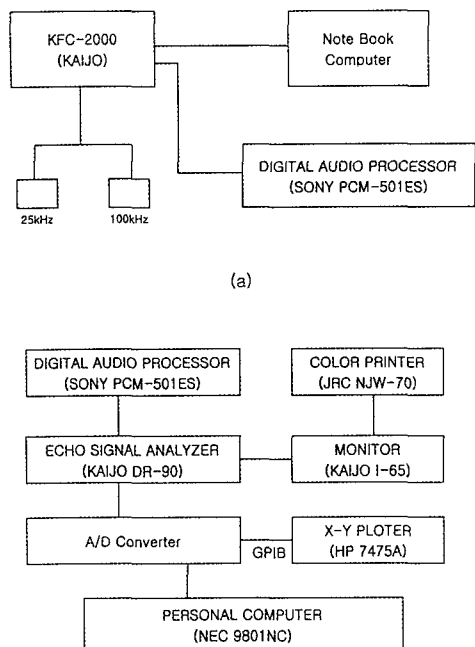


Fig. 5. Block diagram of data acquisition system.

로, Fig. 5의 a와 같이 계량어군탐지기 KFC-2000형(KAIJO), 이용하여 저서어에 대한 에코파형을 수집하였다. 사용한 계량어군탐지기의 주파수는 25kHz와 100kHz로서, 선저장비의 트랜스듀서를 이용하여 수집하였으며, 수집당시 펄스 폭 1ms, 펄스 반복주기 0.35s, 측정 수심은 100m로 하여 데이터를 수집하였다.

후일, 현장에서 얻은 어탐신호를 Fig. 5의 (b)와 같이 디지털 오실로프로세서를 통하여 재생한 후, 에코 해석장치(KAIJO, DR-90)의 칼라 모니터에 표시함과 동시에 양주파수의 TVG 처리후의 신호를 분해능 12bit의 A/D변환기를 이용하여 퍼스널 컴퓨터에 입력하고, 동시에 XY-플로터로 1ping씩 파형을 나타내었다. 에코파형의 분석은 칼라 모니터상에 나타난 해저부근의 에코그램과 동시에 퍼스널 컴퓨터상에서 1ping씩 재생한 후 자체 프로그래밍 한 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

해저 데드존의 체적은 어군탐지기에서 사용하는 음향펄스폭 τ , 빔폭 ψ 의 음향 파라미터와 수심 d 가 주어지면 임의로 그 체적을 구할 수가 있다. 따

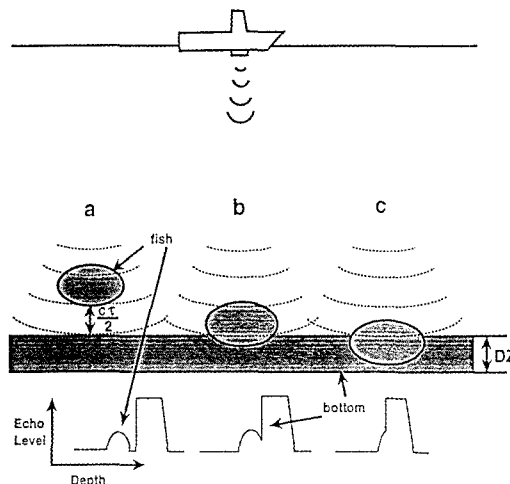


Fig. 6. Three models of fish school distribution on the bottom and expected echo envelopes.

라서, 이 데드존 체적내의 어군량을 추정해야 할 경우에 대하여 고찰해 보고자 한다. 데드존 내의 어군에코는 해저 에코에 마스크되므로 에코 파형 그것으로부터 어군량은 직접 추정하는 것은 불가능하다. 여기서, 해저 부근의 에코파형의 분포 패턴을 추정함으로써 해저 에코에 매몰되어 버린 어군에코파형을 구해 보았다.

해저상의 데드존 내에 있어서 생각할 수 있는 대표적인 어군 분포패턴은 Fig. 6에 나타낸 것과 같이 세가지로 분류할 수 있다. 이것에 대응하는 어군분포에 대응해서 생각할 수 있는 에코 엔벨로프파형을 나타내었다. 즉 a는 해저로부터 거리분해능 이상 떨어져, 해저와 완전히 에코가 분리된 경우이며, b는 어군의 일부가 해저와 분리되지 않은 경우, 데드존 내에 어군이 일부가 감춰져 있는 경우이며, c는 어군이 대부분이 데드존 내에 감추어져 있는 경우이다. a의 경우는 어군에코가 해저로부터 완전히 분리되어 있어 데드존 보정이 불필요하겠지만, b와c의 경우에는 해저 에코 내에 매몰되어있는 어군 에코를 어떠한 방법으로든지 추정할 필요가 있다. Fig. 7은 해저부근의 어군 에코파형의 개념도를 나타낸 것으로, 그림의 중의 3선은 각각 진의 해저(굵은선), 에코파형으로부터 구한 해저기준(가는실선), 및 적분 하한이되는 해저 오프셋(점선)을 나타낸다. 데드존에 특별히 주의

하지 않으면, 위 그림과 같이 해저오프셋보다 위에 있는 어군에코 밖에 적분되지 않게 되지만, 데드존 내의 어군분포는 아래그림에 나타낸 것과 같이 ①의 발산형, ②의 평행형, ③의 수렴형의 어느 쪽이 될 것이므로, 여기서 해저직전 에코파형 형상을 데드존 내의 어군에코 파형의 추정에 이용하였다.

즉, 해저직전의 에코파형의 변화율에 착안하여, 직전의 변화율이 부(-)의 경우는 수렴형으로 판정하고, ③과 같이 위로 볼록한 경우는 2차 곡선으로 데드존 내의 어군에코 파형을 추정하였다. 한편으로 변화율이 정의 경우나 평행한 경우에는 현실적으로 어군밀도가 발산하지 않는다는 것을 고려하여 어군에코가 발산하지 않도록 직선으로 근사하는 데드존 보정을 행하였다.

이러한 3종류의 데드존 내의 어군에코 파형의 외삽에 있어서는 어군생태등의 어장 지식이 충분하게 반영되지 않으면 안 될 것이다. 즉, 해저에 밀착하여 생활하는 광어, 도다리, 가오리류등의 저서어는 발산형 또는 평행형 분포를 할 것으로 생각되어지며, 여기에 대해 회유성의 저서어인 대구, 명태등은 수렴형의 경향이 될 것으로 생각되어진다. 따라서, 저서어의 음향자원조사에 있어서는 현장에서의 생물샘플링이 데드존의 어군에코의 추정에 중요한 역할을 하게 될 것이다.

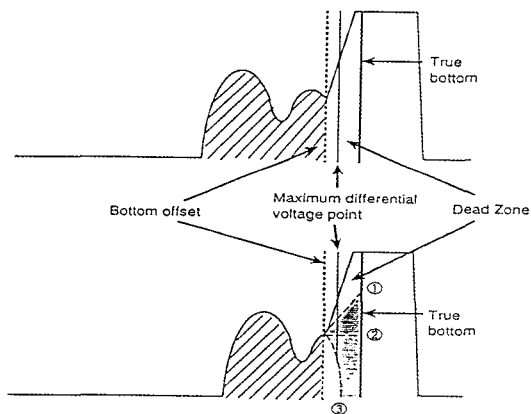


Fig. 7. Dead zone correction by the curve fitting meethod. Dashed lines indicate extrapolated waveform for concentrated fish(1), dispersed fish(2), and diminished fish(3) on the bottom.

결과 및 고찰

Fig. 8은 동중국해에서의 음향자원조사에서 얻은 어군에코를 3차원으로 표시한 것으로, 당 해역에서는 수심이 약 70m, 저질은 빨로 해저지형은 평탄하였다. 해저부근의 어군에코는 트롤의 결과로부터 물품으로 생각되었으며, 해저와 분리되지 않은 다수의 어군에코를 볼 수가 있었다. 이와같이 해저와 분리되지 않은 어군에코에 대하여 데드존 보정을 행하고자 A/D변환기를 이용하여 해저부근의 에코파형을 추출하였다.

Fig. 9는 Fig. 8중에서 추출한 2종류의 대표적인 어군에코파형을 나타낸 것이다. 그림의 파선원은 데드존 직전의 어군에코를 나타내고, a가 수렴형, b가 발산형을 나타내고 있다. Fig. 9의 a는 Fig. 6의 b와 같이 어군에코의 일부가 해저에코에 마스크 되어 있으며, Fig. 9의 b는 Fig. 6의 c와 같이 어군에코의 대부분이 해저에코에 마스크 되어 있는 것으로 판단된다.

Fig. 10은 25kHz와 100kHz의 해저어군에 대한 엔베로프의 에코파형(a)와 데드존 보정을 행하기

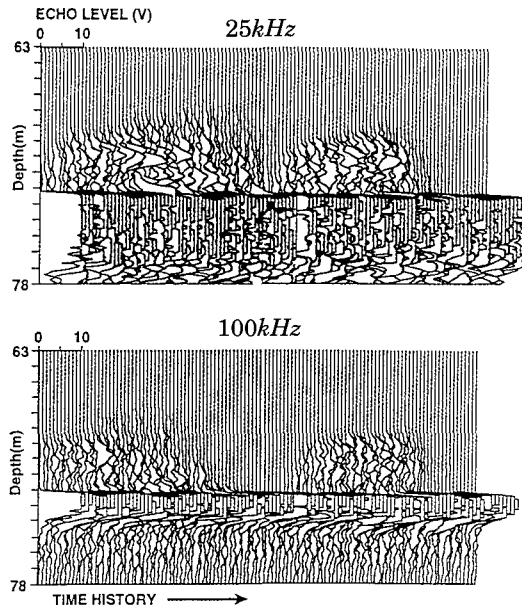


Fig. 8. Three dimensional plots of echo-envelopes form fish school near the bottom in East China Sea.

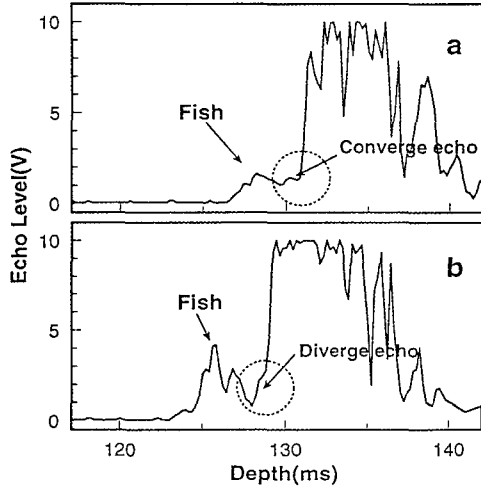


Fig. 9. Representative two patterns of converge to zero and diverge fish echo at near bottom.

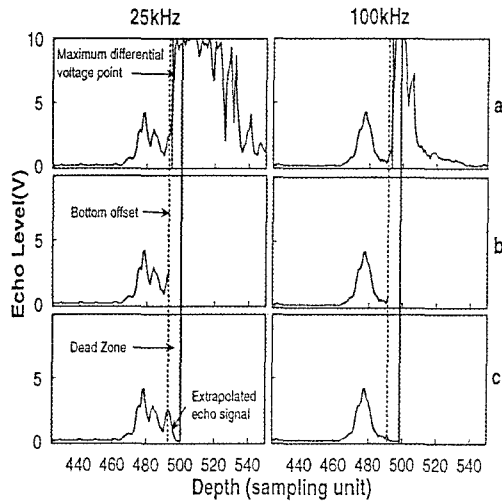


Fig. 10. Extrapolation of echo signal in the dead zone.
 a : Raw echo signal waveform from fish on the bottom.
 b : Echo signal waveform from fish school on the bottom before dead zone correction.
 c : Revisited echo signal waveform fish school in the dead zone.

전의 에코파형(b), 그리고 데드존 내의 어군에코파형을 외삽으로 구한 것(c)을 나타내었다. 여기서 해저기준은 전압차분법을 이용하여 해저기준을 정한다음, 해저에코제거를 위한 적분오프셋을

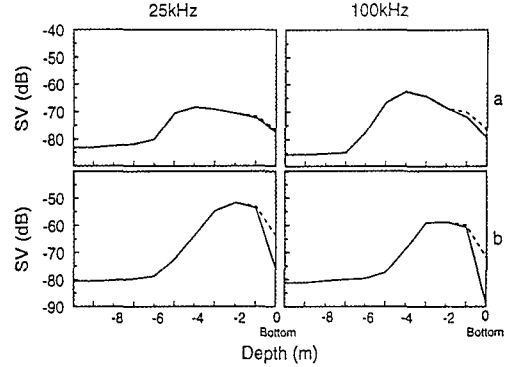


Fig. 11. Comparison of SV profiles on the bottom before(solid lines) and after(dashed lines) dead zone correction.
 a : Obtained in Funka Bay.
 b : Obtained in East China Sea.

0.4ms로 설정한다음, 데드존 보정을 한 결과가 (c)이다. (c)에 나타난 것과 같이, 해저에 부착하고 있는 것같이 보이는 어군에코에 대해서 데드존 보정을 행함으로써 보다 많은 어군이 정확히 적분되어 추정되었다.

데드존 보정법을 이용하여 데드존 내의 어군량을 추정하기 위하여, 북해도 분화만 및 동중국해에서 실시한 음향자원조사의 데이터를 이용하여 재평가를 해 보았다. 재평가를 위하여 컴퓨터상에 1ping씩 에코파형을 재생한 다음 에코전압을 2승적분한 후 이것을 다시 시스템상수를 곱하여 체적후방산란강도(SV)로 환산하였다.

Fig. 11은 데드존 보정전(실선)과 보정후(점선)의 해저로부터 해저의 10m내를 1m간격으로 SV분포를 나타내었다. a는 분화만의 명태어군, b는 동중국해의 물꿈의 어군에코이다. 어느쪽도 수심 약100m, 펄스폭 1ms, 해저오프셋 0.4ms의 조건으로 데드존 보정을 행하였다. 보정전과 비교하여 보면, a의 분화만에서는 25kHz에서 해저에서 0.7dB, 해저상 1m에서 0.7dB 높게 나타났고, 100kHz에서는 해저에서 2.5dB, 해저상 1m에서 1.8dB 높게 나타났다.

이것에 비해서, b의 동중국해의 데이터에서는 25kHz에서, 해저에서 12.3dB, 해저상 1m에서 0.6dB 높게, 100kHz에서는 해저에서 16.9dB, 해저상 1m에서 0.8dB 높게 나타났다.

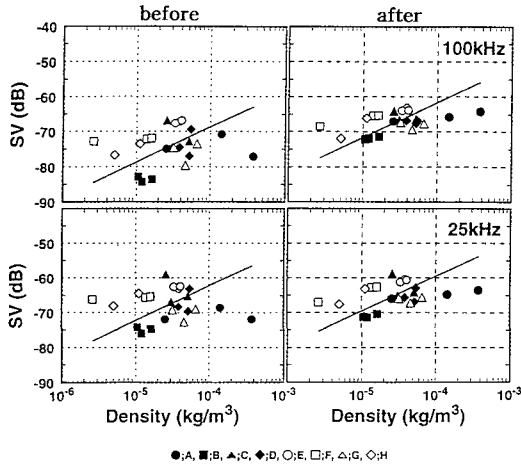


Fig. 12. The relationship between mean volume backscattering strength SV and fish density ρ after dead zone correction.

이와 같은 결과는 동중국해의 어군이 분화만의 어군에 비해 해저 가까운 곳에 집중되어 있었기 때문에 데드존 보정량이 많게 나타났으며, 또 분화만에 있어서는 어군이 해저로부터 분리되어 있었기 때문으로 생각되어진다.

Fig. 12는 동중국해의 트롤에 의한 어획데이터로부터 얻어진 생물밀도와 재계산한 SV값과의 관계를 플롯한 결과이며, 그림의 왼쪽은 데드존 보정을 행하기전이며, 오른쪽은 데드존 보정을 행한 후의 결과를 나타내었다. 그림중의 A~H는 조사해역을 의미하고, 각 조사해역에 있어서 3회의 트롤조사 결과를 플롯하였다. 그림에서 보는 바와 같이 데드존 보정전에 비해 전체적으로 SV가 2~5dB 증가하여 밀도와 SV의 상관성이 개선되었다.

해역별로 보면, 중량밀도가 큰 A, B 해역에서는 다른 해역에 비해서 SV가 6~15dB 이상 증가하였는데, 이것은 당 해역에 집중된 어군이 많았기 때문이라고 생각된다.

다음으로는 체형이 방추형이며, 회유성이 성질이 많은 삼치, 강달이 등이 많이 어획된 C, E, F, H 해역과 쥐치나 줄돔 등과 같이 체장이 작고, 종편형의 어군이 많이 어획된 A, B, D, G 해역의 2그룹으로 분류하여 재 플롯한 것이 Fig. 13이다. Fig. 12보다 더욱더 상관성이 높게 나타났으며, 상관계수는 C, E, F, H에서 0.74~0.87, A, B, D, G 해역

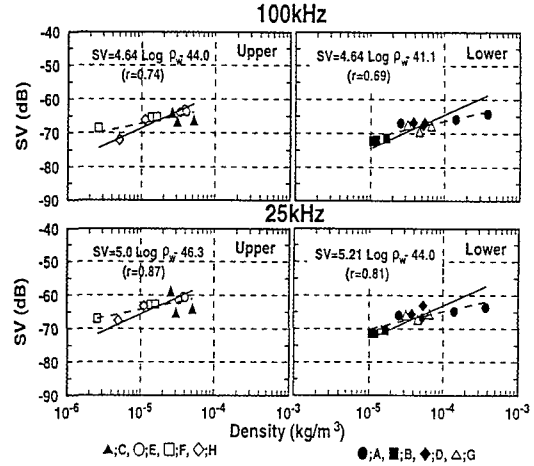


Fig. 13. The relationship between mean volume backscattering strength SV and fish density ρ in the survey area divided into two groups by fish species.

에서는 0.69~0.81이 되어 밀도와 SV간에 유의수준의 상관성을 이루었다.

이와 같은 결과로부터 동중국해에서 본 바와 같이 해저직상 또는 해저부근에 분포하는 어군의 경우에도 음향에 의한 자원량 추정이 충분히 가능할 것으로 사료된다.

요 약

저서어의 음향자원조사에 있어서 해저 데드존에 의한 어군량의 추정오차에 관하여 고찰하기 위하여, 북해도 분화만과 동중국해에서 행한 음향자원조사의 에코적분데이터를 이용하여 그 정도를 알아보았다. 그리고 해저상의 에코파형의 형상으로부터, 어군분포 패턴을 고려하여 데드존 내에 어군이 존재할 경우 그 에코파형을 발산형, 평행형, 수렴형으로 정의한 데드존 보정법을 제안하고 이를 이용한 보정을 행하였다.

북해도 분화만 내에 회유하는 명태어군을 대상으로 데이터를 재평가한 결과 해저 직상의 1~2m 내의 SV가 2~3dB, 자원량으로 약 2배 증가하였으며, 동중국해의 경우에 있어서는 해저 직상 1~2m에 어군이 집중되어 분포하고 있는 경우 SV가 최대 17dB까지 증가하였으며, 이는 자원량으로

약 50배 증가한 것과 같았다.

끝으로, 계량어군탐지기를 이용하여 저서어의 자원량을 추정할 경우에는 해저기준의 최적화와 정확한 해저기준을 이용한 적분구간 오프셋 설정의 최소화를 달성한 후에 해저의 에코에 마스크 되어 있는 어군의 에코를 어떠한 방법을 통하여 보정하여, 지금까지 기술적 곤란으로 제약을 점차 줄여 나감으로서 저서어를 대상으로 한 음향자원 조사 방법이 좀 더 고도화하여, 실용화할 수 있도록 노력해야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) Burczynski, J. and Azzali, M. (1977) : Report to the Government of Italy on the quantitative acoustic estimation of sardine stock and distribution in the northern Adriatic Sea. *Rome, FAO, Italian Funds-in-Trust, FAO/ITA/TF* : 53.
- 2) Johannesson, K.A. and Miston, R.B.(1983) : Fisheries acoustics : A practical manual for aquatic biomass estimation, FAO Fisheries Technical Paper, 240(FAO, Rome), 140~145.
- 3) Nickerson, T. B. and Dowd, R. G. (1977) : Design and operation of survey patterns for demersal fishes using the computerized echo counting system. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer.*, 170, 232~236.
- 4) Dowd, R. G. (1967) : An echo counting system for demersal fishes. *FAO Fish. Rep.*, 62, 315~322.
- 5) Dalen, J., Hysten, A. and Smedstad, O. M. (1977) : Investigations on demersal fish in the Barents Sea in winter 1977. *ICES CM. 1977/F*, 23, 1~19.
- 6) Dalen, J. and Smedstad, O. M. (1982) : Abundance estimation of demersal fish in the Barents sea by an extended acoustic method. *FAO Fish. Rep.*, 300, 232~239.
- 7) Dickie, L. M., Dowd, R. G. and Boudreau, P. R. (1983) : An echo counting and logging system (ECOLOG) for demersal fish size distributions and densities. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40, 487~498.
- 8) Engas, A. and Ona, E. (1990) : Day and night fish distribution pattern in the net mouth area of the Norwegian bottom-sampling trawl. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer.*, 189, 123~127.
- 9) Ona, E. (1993) : Hydroacoustical method for estimation of demersal fish resources. *Proceedings of International Symposium on the Investigation of Demersal Fish Resources*, Hokkaido University, 22~34.
- 10) Marshall, N. B. (1960) : Swimbladder structure of deep-sea fishes in relation to their systematics and biology. *Discovery Reports*, 31, 1~122.
- 11) Mitson, R. B. (1983) : Acoustic detection and estimation of fish near the sea bed and surface. *FAO Fish. Rep.*, 300, 27~34.