

저서어자원량의 음향추정에 있어서 해저기준과 해저오프셋의 최소화

黃 斗 溱

여수대학교

(2000년 6월 23일 접수)

Stable Bottom Detection and Optimum Bottom Offset for Echo Integration of Demersal Fish

Doo-Jin Hwang

Yosu National University

(Received June 23, 2000)

Abstract

This paper discusses methods for the stable bottom detection and the optimum bottom offset which enable to separate the fish echoes from the bottom echoes with echo integration of demersal fish.

In preprocessing of the echo signal, the bottom detection has to be done stably against the fluctuation of echo level and the bottom offset has to be set to a minimum height such that near bottom fish echoes are included

Two methods of bottom detection, namely echo level threshold method and maximum echo slope method were compared and analyzed. The echo level method works well if the ideal threshold level was given but it sometimes misses the bottom because of the fluctuation of the echo. Another method to detect the bottom which uses maximum echo slope indicates the simple and stable bottom detection.

In addition, the bottom offset has to be set near to the bottom but not to include the bottom echo. Optimum bottom offset should be set a few samples before the detected bottom echo which relates the beginning of pulse shape and acoustic beam pattern to the bottom feature.

서 론

최근 계량어탐기술은 눈부시게 발전하여, 종래에는 곤란하였던 저서어 자원의 조사에도 이용되

고 있다^{1)~3)}. 저서어에는 돔, 대구, 아귀 등의 고급어가 많이 포함되어 있어, 그 자원량이나 생태를 파악하기 위하여 앞으로 더욱더 음향자원조사가 중요시 될 것으로 생각된다.

* 본 연구는 1999년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

에코 적분법을 이용하여 저서어의 자원현존량을 측정하는 경우, 해저를 어떻게 취급하는가는 매우 많은 문제점이 남아있다.

즉, 송신펄스의 물리적 길이로 결정하는 거리분해능이나, 해저부근의 어군에코가 음향범내의 해저에코에 마스크 되어버리는 방위 분해능의 제약으로부터 생기는 Dead Zone의 존재^{4)~6)}, 나아가 해저판별 알고리즘이나 해저상의 에코적분의 하한을 결정하는 해저오프셋의 결정이 적절하지 않으므로써 생기는 오차 등을 들수가 있다. 여기서 해저 오프셋을 충분히 크게하면 해저에코를 잘못 적분하는 일은 없겠지만, 해저부근의 어군에코를 적분대상으로부터 제외시켜버리게 되는 누를 범하게 된다.

본 논문은 에코 적분법에 의한 저서어 자원량 평가를 위한 해저판별 알고리즘의 개량과 최적 해저 오프셋의 결정에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

북해도 분화만에서, 북해도대학 수산학부 연구조사선 우시오 마루(128톤)을 이용하여, 분화만에서 회유하는 명태 어군의 음향자원조사를 실시하였다. 사용한 계량어군탐지기(KAIJO, KFC-2000)는 25kHz와 100kHz의 2주파수로써, 선저장비의 트랜스듀서를 사용하고, 펄스폭 1ms, 펄스

주기 0.35s, 측정레인지 100m로 사용하였다. 트랜스듀서의 빔폭은 25kHz가 26.4도, 100kHz가 13도였다. 에코 인터그레이터의 적분모드는 10s 주기의 시간 적분으로 설정하고, 10s씩 계산된 해면하 1m당의 체적후방 산란강도 SV의 값을 선위, 조류, 수온등의 데이터와 함께 GPIB인터페이스를 경유해서 퍼스널 컴퓨터의 플로피 디스크에 기록함과 동시에, 어탐신호를 자기 테이프에 수록하였다. 후일, 현장에서 얻은 어탐신호를 Fig. 1과 같이 디지털 오실로 프로세서를 통하여 재생한 후, 에코해석장치(KAIJO, DR-90)의 칼라 모니터에 표시함과 동시에 양주파수의 TVG 처리후의 신호를 분해능 12bit의 A/D변환기를 이용하여 퍼스널 컴퓨터에 입력하여, XY플로터로 1ping씩 파형을 나타내었다. 다음으로 다수의 어군이 출현하고 있는 곳을 선택하여, 칼라 모니터상에 에코그램과 퍼스널 컴퓨터에 재현한 에코파형을 비교하여, 여러 형태의 어군 패턴에 대하여 분석하였다.

결과 및 고찰

조사에서 얻어진 에코그램을 Fig. 2의 a, b에 나타내었다. 그림은 해저 확대 표시를 나타내고 있으며, Fig. 2a는 25kHz, Fig. 2b는 100kHz이며, 위의 반쪽을 해면으로부터 해저까지의 전체 에코를, 아래 반쪽은 해저상 10m층 (85~95m)을 확대한 것이다. 레벨 스케일은 위의 반쪽은 3dB 스텝, 아래 반쪽은 1.5dB이다. 화면에 표시되어있는 수심은(91m) 선저로부터의 깊이를 나타내고, 실제의 수심은 선박의 흘수를 가산하면 94m가 된다. 양주파수 모두 해저확대 표시에 있어서 명태의 산란회유군으로 보이는 16개의 어군(A~P)이 확인되었다.

Fig. 2의 a, b에 나타낸 데이터를 사용하여 에코 파형을 그린 것이 Fig. 3의 a, b이다. Fig. 3의 a는 25kHz, b는 100kHz의 파형을 나타내고, 횡축은 에코레벨(V), 종축은 수심(m)으로서, 시간의 경과와 함께 좌측으로부터 우측으로 연속표시 한 것이다. 또 해면으로부터 수심 85m에 실선을 긋고, 그곳으로부터 해저까지 수직으로 파선을 그어서 어군이 분포하고 있는 심도를 알 수 있도록 하였다.

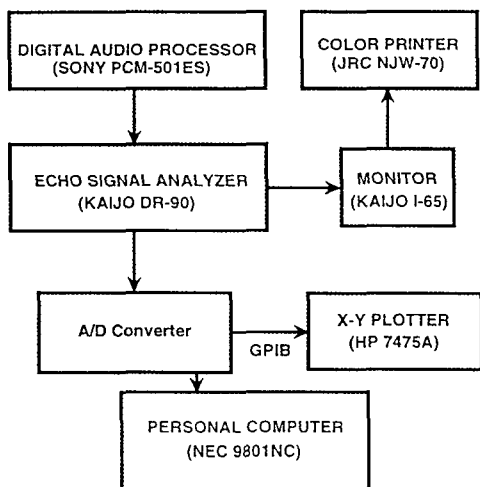


Fig. 1. Block diagram of data processing system.

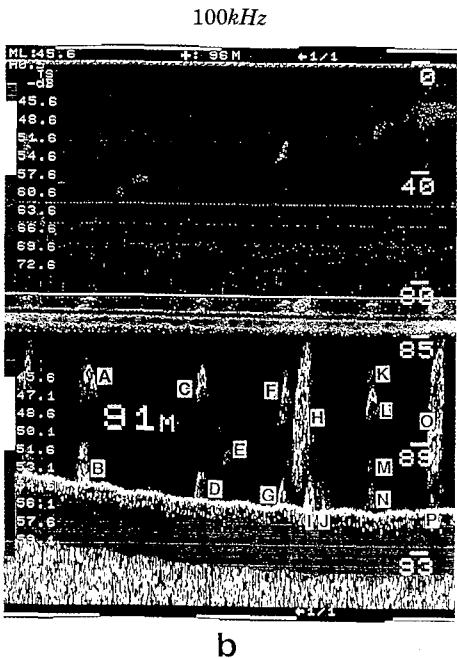
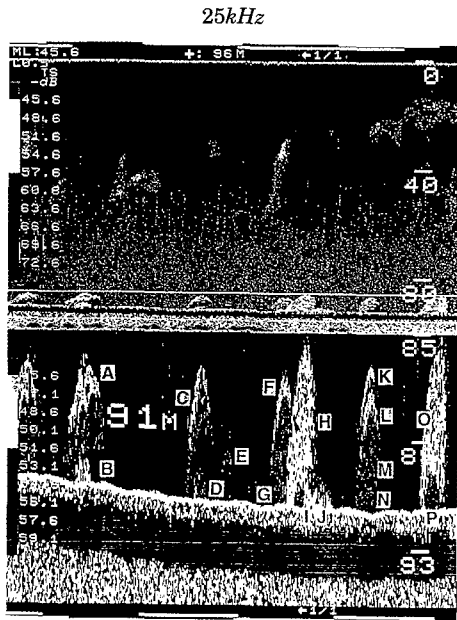


Fig. 2. Echograms of demersal fish school obtained by 25kHz (a) and 100kHz (b) in Funka Bay. Depth ranges are 0~95m (upper) and 85~95m (lower).

양주파수 모두, 그림의 하단에 나타나 있는 에코 레벨이 포화인 부분이 해저이다. 그리고 각각의 어군에 대하여 Fig. 2의 에코그램이 대응하는 어군 A로부터 P까지의 에코파형을 나타내었다.

이들 어군은 에코그램상에 있어서 해저로부터 2~3m 떨어져 분포하고 있는 것 같이 보이는 A, C, E, F, H, K, L, M, O와 해저에 부착하고 있는 것 같이 보이는 B, D, G, I, J, N, P의 2 그룹으로 나누어져 있다. 이와 같이 분포하는 어군에 대해 에코 적분을 행하는 경우, 명확히 분리하고 있는 어군에코의 추출이나 적분은 용이하지만, 해저에 부착하고 있는 것처럼 보이는 어군의 경우는 해저와 어군과를 식별하기 위한 해저 판별의 정도가 문제가 되어, 해저 판별 그 자체가 추정 자원량에 큰 오차를 포함할 가능성이 있다.

여기에서 해저의 에코가 해저부근의 어군 에코에 어떻게 영향을 미치는 가를 보기 위해서 Fig. 3의 각 에코 파형을 수치화 한 데이터(샘플링 간격을 15cm)를 이용하여, 해저부근에서 적분층의 폭

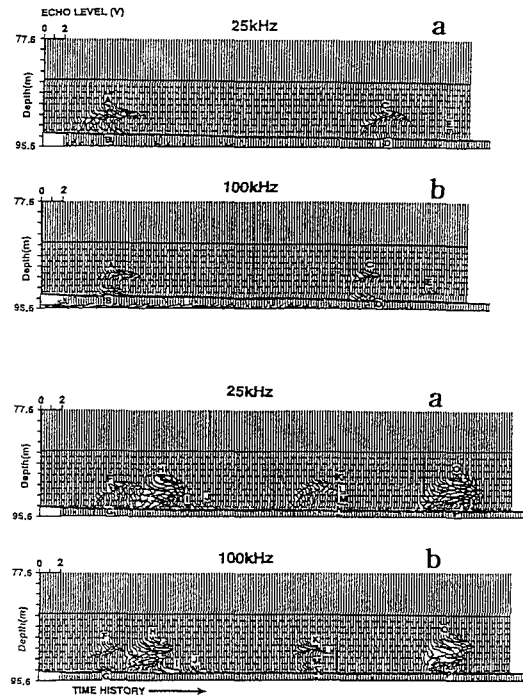


Fig. 3. Three dimensional plots of echo-envelopes from fish schools near the bottom.

은 5m에 고정했을 때의 면적후방산란계수 S_{a5m} 를 계산하였다. 트랜스듀서로부터 거리 r에, 밀도 n, 후방산란단면적 σ_{bs} 의 어군이 존재한 경우, 이것으로부터 얻어진 에코 전압은 다음 식과 같다.

$$E = P \cdot M \cdot G \sqrt{\frac{c \cdot \tau}{2}} \Omega \frac{10^{-0.1\alpha}}{r} \sqrt{n \cdot \sigma_{bs}} \quad (1)$$

단,

- α : 흡수감쇄계수
- P : 송파음압레벨
- M : 수파감도
- G : 수신부이득
- c : 수중음속
- τ : 등가펄스폭
- Ω : 송수파기의 등가지향각

(1) 식에 있어서 $n \cdot \sigma_{bs}$ 는 단위체적당 후방산란 단면적을 나타내고, 이것은 또 체적후방산란계수 S_v 와 동등하다. 즉

$$S_v = \left(\frac{E}{P \cdot M \cdot G} \right)^2 \cdot r^2 \cdot 10^{0.2\alpha r} \cdot \frac{2}{c \cdot \tau \cdot \Omega} \quad (2)$$

이 된다.

S_a 는 S_v 를 심도에 적분한 것으로서 정의되어,

$$S_a = \int_{z_1}^{z_2} S_v(z) dz \quad (3)$$

로 바꾸어 쓸 수 있어, 여기에서는 1m씩 평균한 S_v 를 이용하여 5m폭의 S_a 를 구하였기 때문에 임의의 심도로부터 5개의 S_v 에 대하여 적분한 것으로

$$S_{a5m} = \sum_{i=1}^5 S_{v_i} \quad (4)$$

이다.

여기서, 적분층의 개시심도를 83.05m부터 1샘플링 단위씩 해저방향으로 이동하면서, 각 수심에 있어서 S_{a5m} 의 변화에 대해서 검토하였다. 만약 5m폭의 적분층에 해저의 일부가 포함하게 되면, S_{a5m} 는 크게 변화하게 된다. 해저상의 어군분포 형태를 간단하게 5가지 패턴으로 분류하여, 이것에 대응하는 S_{a5m} 의 변화를 모식화 한 것이 Fig. 4이다. Fig. 4a의 (1)과 같이 어군이 전혀 없는 경우는 Fig. 4b의 (1)과 같이 해저까지의 S_a 가 최저로 되고, 해저에코의 성분이 포함되는 곳에서 갑자기 S_a

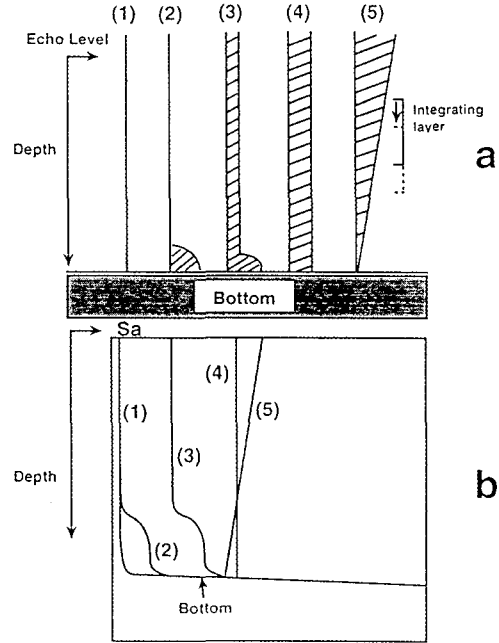


Fig. 4. Five models of fish vertical distribution and area backscattering coefficient S_a variation above the bottom.

가 크게 된다. 또 Fig. 4a의 (2)와 같이 해저 부근에 어군이 집중되는 경우는, Fig. 4b의 (2)와 같이 해저의 접근점에서 일단 S_{a5m} 가 급하게 되어 그 후 해저에코 성분이 증대된다.

또, Fig. 4a의 (3)과 같이 균일한 어군과 해저상에 집중하는 어군이 존재하는 경우는, Fig. 4b의 (3)과 같이 Fig. 4b의 (2)에 일정한 바이어스를 주는 형태로 나타난다. 또, Fig. 4a의 (4)와 같이 균일한 분포의 경우는 Fig. 4b의 (4)와 같이 높은 S_{a5m} 가 계속되는 해저에코 성분이 나타난다. 마지막으로 Fig. 4a의 (5)와 같이 해저에 가까워질수록 어군이 감소하는 경우는, Fig. 4b의 (5)와 같이 심도와 함께 S_{a5m} 로 감소하게 된다.

Fig. 5는 관측된 몇 개의 어군에 대해서 적분 범위를 이동 한 때의 해저상의 S_{a5m} 의 변화를 플롯트 한 것이다. 그림의 좌측은 25kHz, 우측은 100kHz의 것으로, 횡축에는 1샘플단위 (15cm)씩의 수심을, 종축은 그 때의 S_{a5m} 를 대수로 표시하였다. 각 그림은 연속하는 6평분의 S_{a5m} 곡선을 겹쳐 그린 것이다. 그림에서의 번호는 Fig. 4에서 모식화된 5

가지의 어군분포 패턴에 대응하도록 하였다. 어느 쪽의 그림에서도 해저에코 성분이 나타나 있는 곳(파선)에서 $S_{a_{5m}}$ 가 갑자기 크게 나타났다. 특히 (2)형, (3)형 어군의 경우는, 해저 에코의 직전에 해저에 부착한 어군의 성분이 나타나는 특징적인 변화를 나타내었다. 따라서 이와 같은 분포 양식의 어군의 경우는 해저기준을 어느 곳에 설정하는가에 따라 추정 오차를 일으킨다는 것을 명확하게 알 수 있다. 예를 들면 Fig. 5의 (2)에 있어서, 해저기준을 파선으로부터 떨어진 84.65m 부근에 설정한 경우, 그 이후 깊은 수심의 87.05m 부근에 있는 어군의 성분은 $S_{a_{5m}}$ 에 포함되지 않게 되고, 역으로 해저기준을 87.65m에 설정하면 해저에코의 성분이 적분되어 버리는 결과를 초래하게 되어, 해저기준을 어디에 두는가에 의해서 저서어 자원량의 과소 또는 과다평가를 하는 것이 된다.

저서어의 에코 적분에 있어서 적분 범위의 하한이 되는 해저기준의 결정은 어군이 해저에 가까울수록 중요하게 된다. 해저판별을 행하는 일반적인 방법은 해저의 에코레벨이 어군의 에코레벨보다 큰 것을 이용하여, 적당한 역치를 설정하여, 이것

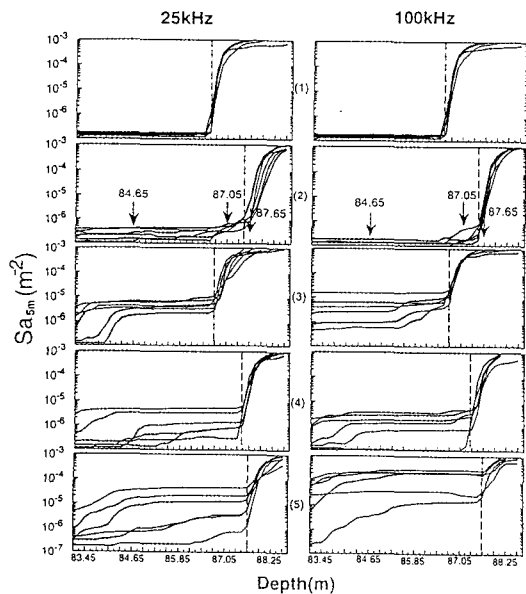


Fig. 5. Area backscattering coefficient S_a variation near the sea bottom. The thickness of integration layer is fixed to 5m.

을 넘는 순간을 해저로 하는 것이다.

그러나 이 방법은 역치를 설정하여 해저검출을 하는 그 자체가 바로 오검출의 원인이 된다. Fig. 6은 역치를 변화시켰을 때에 샘플링한 해저부근의 에코 파형을 나타낸 것이다.

그림의 왼쪽 반은 25kHz를, 오른쪽 반은 100kHz를 나타내고, 횡축은 설정한 역치를 초과하는 순간을 해저기준으로 하고(B점), 그로부터 앞은 15샘플링점과 그후의 5샘플링점을 나타내며, 종축은 에코레벨(V)이다. 위에서부터 순서대로 설정한 역치를 9V로부터 2V까지 1V씩 변화시켰을 때의 30ping분의 에코파형을 중첩하여 그린 것이다. 해석한 에코파형은 해저부근에 어군이 집중한 Fig. 4의 (3)형 어군이다.

그림에서 보는 바와 같이 보면 해저검출 역치가 5~6V 일 때는 해저와 어군이 충실하게 표현되지만, 역치가 크면 (7~9V)해저에코레벨이 낮을 때는 해저를 검출할 수 없는 기회가 증가하고 (Fig. 6 중의 Bottom detect failure), 반대로 역치를 작게

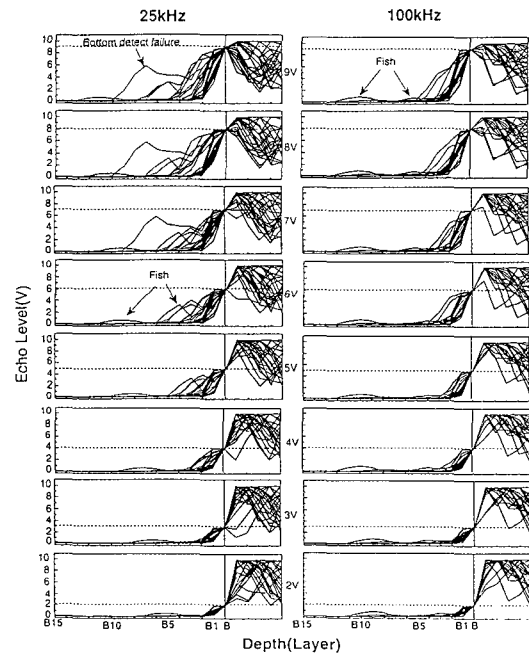


Fig. 6. Echo signal waveforms from the bottom synchronized with the threshold point. Threshold levels are changed from 20 to 90(%) of the saturation level.

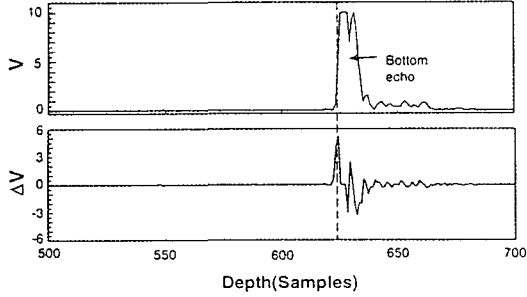


Fig. 7. Relationship between echo signal waveform and its differential waveform from the sea bottom.

(2~4V)하면, 어군에코를 해저에코와 오인하는 확률이 높아짐을 알 수 있다.

여기서, 해저에코레벨의 변화율에 착안하여, 해저판별에 적용하여 보았다. 즉, 해저에코형성은 음향 빔의 지향특성이나 해저의 반사특성 혹은 음향펄스 파형 등의 시간적 상호작용에 의해 결정되기 때문에, 일반적으로 해저에코파형의 형태는 완만하게 나타나다가 해저에코성분이 기여되는 순간 갑자기 에코레벨이 극대화하여 나타나게 된다. 이 변화를 다음과 같은 샘플링 전압의 차분법으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta V = V(t + 1) - V(t) \quad (5)$$

(5)식으로 계산한 차분전압의 변화의 예를 Fig. 7에 나타내었다. 위 그림은 에코전압 파형을 나타내고, 아래 그림은 차분전압 파형이다. 횡축은 샘플링 단위, 종축은 전압 V 를 나타낸다. 그림으로부터 전압변화량이 최대가 되는 점을 명확하게 1점만이 존재한다는 것을 알 수 있다. 여기에서 이것을 새로운 해저기준으로서 Fig. 6과 같은 30ping분의 에코파형을 나타낸 것이 Fig. 8이다.

그림에서 보면 해저검출역치를 5V로 할 때와 같이 해저부근의 어군이 충실하게 표현되었다. 또, 그때의 적분하한은 해저에코의 입상점이 일정하며, 또한 안정적이다. 따라서, 해저기준 B로부터 역치는 1~2 샘플단위(0.2~0.4ms)로서 충분하여, 해저오프셋을 최소로 할 수가 있을 것으로 생각되어진다. 해저에코가 나타나는 곳을 보면 25kHz의 쪽이 100kHz에 비해서 완만하고, 이것

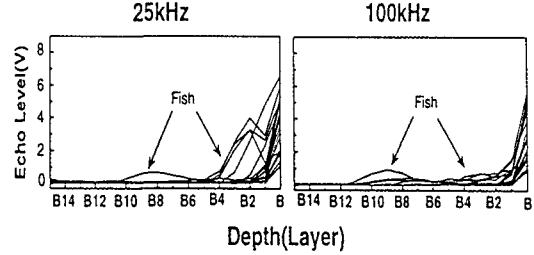


Fig. 8. Echo signal waveforms synchronized with the maximum differential of echo level.

에 대해서는 2가지의 이유가 생각되어진다. 하나는 펄스파형의 입상과 관계하고, 100kHz의 쪽이 25kHz보다 펄스파형이 구형파에 가깝기 때문이라고 생각되어진다. 또 한가지는 음향빔에 관계가 있으며, 빔폭이 넓은 25kHz쪽의 음향펄스가 해저 중앙에 최초로 도달 한 후 빔 주변의 에코가 되돌아 올 때까지 시간이 길기 때문이다. 이것들에 관해서는 앞으로 더욱더 이론적 검토가 필요하다고 생각된다.

요 약

계량어군탐지기를 이용하여 저서어를 대상으로 에코적분을 행하는 경우, 적분범위의 하한을 결정하기 위해 설정하는 해저기준이나 해저오프셋은, 저서어 자원량추정의 중요한 요인 중의 하나이다. 해저부근의 어군에코의 해석으로부터 해저기준의 결정방법과 최적 오프셋에 관하여 고찰한 결과, 다음과 같은 결과를 보였다.

1) 적분층의 폭을 5m로 하여, 적분범위를 1샘플링씩 해저방향으로 이동하면서, 해저부근의 $S_{a_{5m}}$ 의 변화를 본 결과, 해저부근의 어군에코를 적분하기 위해서는, 적분범위의 하한을 가능한 해저까지 접근시켜야 한다.

2) 에코레벨의 역치로서 해저검출을 행한 경우, 역치가 클수록 해저검출 불능횟수가 증가하고, 작을수록 해저검출 횟수가 늘어났다.

3) 에코레벨의 최대변화점을 해저기준으로 한 해저검출법은, 그 정도가 매우 높았으며, 나아가 에코레벨의 변동에 대해 아주 안정한 해저기준 알고리즘으로 적합하였다.

4) 이 해저검출 알고리즘에 의하면, 최적해저오프셋은 해저기준으로부터 0.4ms 이내였고, 이것은 펄스파형과 해저지형에 대한 음향빔에 의존한다.

참고문헌

- 1) 朱 徳山, Iverson, S. A.(1991) : 黄海・東海のカタクチイワシ及びその他重要魚類資源の音響學的評價研究(大龍英夫譯), 資料No.32(海洋資源調査センター, 東京), 56~57.
- 2) 黄 斗濤・佐野典達・飯田浩二・向井 徹・増田紀義・佐佐木成二(1993) : エコ-積分とトル-ル-データから算出した東シナ海における底棲魚族のターゲットストレングスについて. 北大水産彙報, 44, 197~208.
- 3) ONA, Egil(1993) : Hydroacoustic method for estimation of demersal fish resources, in "Proceedings of International Symposium on the Investigation of Demersal Fish Resources", Hokkaido University, Hokodate, 22~34.
- 4) Mitson, R. B.(1983) : Acoustic detection and estimation of fish near the sea bed and surface. FAO Fish. Rep., 300, 27~34.
- 5) Mitson, R. B.(1983) : FISHERIES SONAR (incorporation Underwater Observation using Sonar by D. G. Tucker), Fishing News Books, Ltd., England, 156~169.
- 6) Johannesson, K. A. and Mitson, R. B.(1983) : Fisheries acoustics : A practical manual for aquatic biomass estimation, FAO Fisheries Technical Paper, 240, FAO, Rome, 155~180.