

다중 주파수의 체적산란강도 차이를 이용한 에코그램 내에서의 종 분리와 잡음 제거

강돈혁 · 신형철¹ · 김수암² · 이윤호¹ · 황두진^{3,*}
북해도대학 수산과학연구소, ¹한국해양연구원 극지연구소
²부경대학교 자원생물학과, ³여수대학교 수산공학과

Species Identification and Noise Cancellation Using Volume Backscattering Strength Difference of Multi-Frequency

Donhyug KANG, Hyoung-Chul SHIN¹, Suam KIM², Yoonho LEE¹ and Doojin HWANG^{3,*}
Laboratory of Marine Environment and Resource Sensing, Hokkaido University, Japan
¹*Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan 425-600, Korea*
²*Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*
³*Department of Fisheries Science & Technology, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea*

Species identification in hydroacoustic survey is one of the key requirements to estimate biomass of organism and to understand the structure of zooplankton community. Feasibility of species identification using two frequencies (38 and 120 kHz) was investigated on the basis of mean volume backscattering strength difference (MVBS). Virtual echogram technique was applied to two frequencies data sets that obtained from surveys in the Antarctic Ocean and Yellow Sea. Virtual echogram method using MVBS revealed the possibility of species identification, which species identification relying on visual scrutiny of single frequency acoustic data resulted in significant errors in biomass estimation. Through noise cancellation using MVBS, much of the acoustic noise caused by acoustic instruments could be removed in new virtual echogram, and the biomass estimation and data quality was improved.

Key words: Acoustic survey, Two-frequency method, Noise cancellation, Species identification, Volume backscattering strength difference

서 론

수산 분야에 수중음향이 도입된 1920년 후반 이후, 2차 세계 대전을 거쳐 1960년 중반 이후에 음향은 수산자원 조사에 다양한 방법으로 응용되어 오고 있다. 음향을 이용한 수산자원 조사에서 정확한 자원량 산출을 위해서는 대상 어류의 산란강도 (target strength: TS)를 비롯한 여러 변수들 가운데 수신된 음향 자료에서 원하는 종만을 분리하는 것과 생물체에 의한 신호와 섞여 있는 잡음 신호를 제거하는 것은 예측된 자원량의 정확도에 크게 영향을 주고 있다 (MacLennan and Simmonds, 1992).

1980년 중반 이후 수산 자원 조사에 광범위하게 사용되고 있는 음향 적분법은 음향 계수법에 비해 높은 밀도를 이루고 있는 수산자원량 예측에서 보다 정확하므로 최근까지 다양하게 이용되고 있다 (Aksland, 1986; Bodholt et al., 1989). 다양한 종이 소량으로 섞여 존재하는 해역에서의 자원량 예측은 수산 자원 관리 측면에서 큰 의미를 나타내지 못하고, 또한 음향 조사의 필요성도 뒤떨어진다. 또한 이러한 해역에서의 음향 조사는 음향 계수법, 음향 적분법 모두 부정확성 때문에 자원량 예측이 불가능한 실정이다. 그러나 베링해 명태 (walleye pollock, *Theragra chalcogramma*), 북대서양의 청어 (herring,

Clupea harengus) 혹은 남극 크릴 (Antarctic krill, *Euphausia superba*)과 같이 단일 어종이 우점하여 형성되는 해역에서 음향 적분법을 이용한 자원량 예측은 어획 자료와 비교하였을 때 정확성을 나타내므로 다양하게 응용되고 있다 (Misund and Øvredal, 1988; Foote and Traynor, 1988; Hewitt and Demer, 2000). 그러나 이 방법 또한 임의의 수층에 존재하는 모든 음향 산란체에 의한 신호를 적분하므로 여러 종이 섞여 있거나 혹은 동물플랑크톤과 어류가 섞여서 나타나는 해역에서는 원하지 않은 종에 의한 음향 적분치를 제거해주어야 하는 과정이 뒤따른다. 수신된 에코그램으로부터 어종을 분리하는 과정에서 기존에 많이 사용되는 시각적 분류법은 연구자의 경험에 의존하는 단점이 있고, 특정 어종에 의한 신호에 다른 어종의 신호가 섞임으로써 자원량이 실제보다 높게 평가 (over-estimation) 되는 등의 많은 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 최근까지 다양한 방법들이 사용되어 왔다. 사전에 알고 있는 어류의 생태학적 특성을 고려하여 임의의 수층까지만 음향 자료를 적분하는 방법 (Gerlotto, 1993), 신경망 회로 기법을 이용한 방법 (Simmonds et al., 1996; Kim et al., 1998), 다중 주파수의 음향 특성에 따라 임의의 수층에 분포하는 어종만을 선택하는 방법 등 다양한 방법을 사용하고 있으나 (Miyashita et al., 1997), 관심

*Corresponding author: djhwang@yosu.ac.kr

$$\text{Extract} \begin{pmatrix} \text{MVBS}_{11} & \text{MVBS}_{12} & \dots & \text{MVBS}_{1n} \\ \text{MVBS}_{21} & \text{MVBS}_{22} & \dots & \text{MVBS}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \text{MVBS}_{m1} & \text{MVBS}_{m2} & \dots & \text{MVBS}_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} & \dots & N_{1n} \\ N_{21} & N_{22} & \dots & N_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ N_{m1} & N_{m2} & \dots & N_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

수신될뿐 아니라 수신 신호의 강도도 강한 특성을 이용한다. 즉, 본 연구에서 사용한 에코그램에는 120 kHz 신호에서 잡음이 강하게 나타나므로 식 (1)의 주파수 1의 행렬에 120 kHz 에코그램을, 주파수 2의 행렬에 38 kHz 에코그램을 배열하여 ΔMVBS 행렬이 양의 값을 나타내는 가상 행렬을 구성한 후, 원 에코그램 행렬에서 이 가상 행렬의 각 셀을 제거하게 된다.

음향 자료

종 분류 시도를 위해 2000년 12월 남극해에서 관측한 자료와, 2000년 4월 황해에서 관측한 음향 자료의 일부를 이용하였다 (Fig. 2, Fig. 3). 자원량을 예측하는 연구가 아닌 것을 고려하여 관측된 음향 자료 가운데 네트 및 트롤 채집을 한 지점에서 관측된 일부 음향 자료만을 분리하였다. 사용한 음향 자료는 동일한 장소와 시간에 관측한 두개의 음향 센서 (38 kHz, 120 kHz)로부터 기록된 것이다. Fig. 2는 남극 크릴 (*Antarctic krill, Euphausia superba*)이 우점종인 남극해의 음향 자료로 관측 해역은 수심이 1500 m인 대륙 사면이었다. 한편, Fig. 3은 중층 및 저층 어류가 분포하고 있는 우리나라 황해 해역의 자료이며, 관측 해역의 수심은 74 m로 평탄한 해저면이었다. 두 음향 관측 모두 split 빔의 특성을 가진 38 kHz와 120 kHz의 두

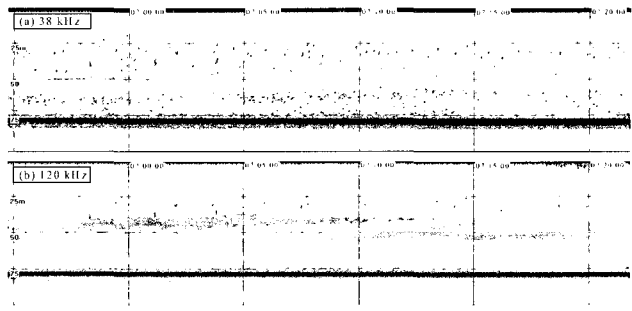


Fig. 3. Raw echograms of 38 and 120 kHz measured in Yellow Sea, April 2000. The threshold level of each echogram is -75 dB.

주파수를 이용했으며, 음향 신호 적분기인 BI500을 이용하여 자료 저장을 하였다 (SIMRAD, 1997).

수신된 에코그램에서 잡음 제거 방법을 위해 사용한 음향 자료는 2001년 6월 동중국 해역에서 관측한 자료의 일부분을 나타내었다 (Fig. 4). 관측 당시 해양 환경 관측을 위하여 100 kHz 주파수 영역의 도플러 유속계를 사용하였으므로 상대적인 낮은 주파수 대역인 38 kHz에서의 음향 신호는 잡음이 없이 양호한 반면, 비슷한 주파수 대역인 120 kHz 대역에서는 주파수 간섭에 의한 잡음이 포함되어 음향 자료의 사용에 문제점이 내포되어 있다. 따라서 이러한 음향 자료는 잡음을 제거하지 않으면 사용이 불가능하므로 잡음 제거를 하는 과정이 뒤따라야 한다.

결 과

ΔMVBS 를 이용한 남극해 크릴의 분리

Fig. 2에서 보여주고 있는 에코그램은 남극 크릴이 분포하는 해역에서 1 마일에 해당하는 35분 동안 수신한 38, 120 kHz의 두 주파수 자료이다. 산란체의 분포는 50-100 m 수층에 띠 모양의 형태와 100 m 이하의 수직 기둥 모양이 섞여 있는 형태로 나타나 있다.

남극해양생물 자원보존협약 (Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources: CCAMLR)내의 과학위원회에서는 크릴 채집 자료, 음향 에코그램 및 음향 산란 모델 (bent cylinder model)을 이용한 주파수별 차이에 의한 체적 산란강도 방법으로 부터 크릴과 다른 산란체를 분리해 내는 방법을 제안하였다 (CCAMLR, 2000). 이때 크릴과 다른 산란체 (중층 어류 및 그 밖의 동물플랑크톤)를 구별하는 기준을 임의의 체적 내에서 산란강도 차이의 범위를 “2 dB < $\Delta\text{MVBS}_{120-38}$ < 16 dB”로 두었다. 이 방법을 사용하기 위하여 본 예에서는 수신된 두 주파수의 에코그램에서 각 격자 셀을 구성하기 위하여 조사선 이동 시간은 5초 (수평거리 약 25 m)와 수심 1 m를 설정하여 (230×360) 행렬을 구성하였다. 이때 수신 역치값 (threshold level)은 -75 dB로 하였다. 각 셀에서 체적 산란강도 차이가 ($\Delta\text{MVBS}_{120-38}$) 2-16 dB인 셀만을 분리한 후, 원 에코그램에서 이 셀들을 이용하여 새로운 가상

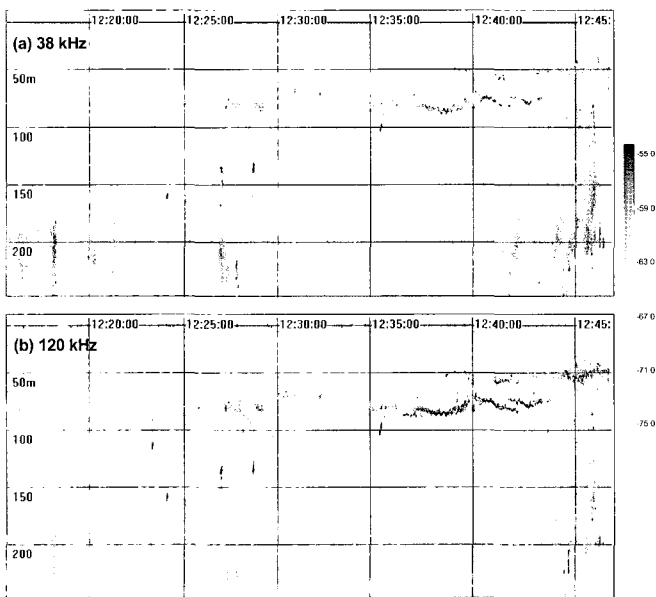


Fig. 2. Raw echograms of 38 and 120 kHz measured in Antarctic Ocean, December 2000. The threshold level of each echogram is -75 dB.

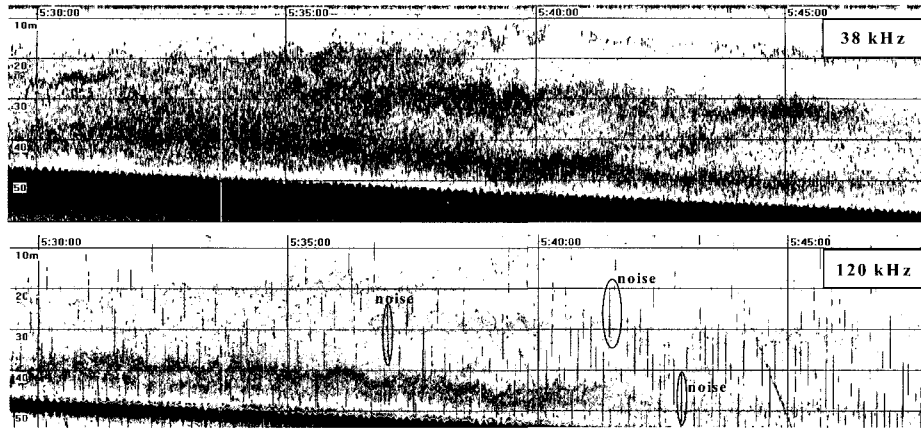


Fig. 4. Raw echogram of 38 and 120 kHz measured in East China Sea, June 2001. The 120 kHz echogram contained acoustic noise that are originated from acoustic current meter. The threshold level of each echogram is -75 dB.

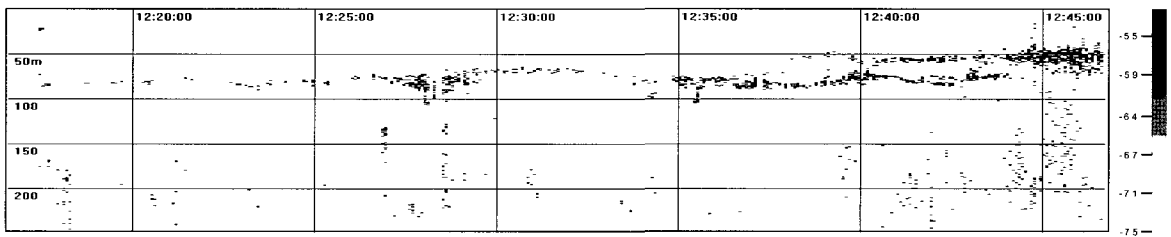


Fig. 5. Virtual echogram made from MVBS₁₂₀₋₃₈ between 120 and 38 kHz. For each cell, horizontal time is 5 seconds and vertical interval is 5 meter. Therefore, matrix for virtual echogram is to be 230×360 and number of cell is 82,800.

에코그램을 생성하였다 (Fig. 5). 새롭게 생성된 가상 에코그램과 원 에코그램을 비교했을 때, 100 m 상층부에 나타난 산란체는 두 에코그램에서 일치성을 가지고 있으나, 100 m 이하에서는 원 에코그램에서의 많은 신호들이 제거되고 일부 분만 가상 에코그램에 나타나 있다. 즉, 100 m 상층부는 크릴로 중 구분이 되었으나 하층에서는 크릴이 아닌 다른 산란체로 이루어졌음을 알 수 있다.

새로 만들어진 크릴만의 가상 에코그램을 이용하여 수평 이동 시간 1분과 전 수층을 고려한 크릴 밀도를 계산하였다 (Fig. 6(a), dotted line). 이때, 크릴의 산란강도 ($TS_{120\text{ kHz}} = -127.45 + 34.85 \log_{10}[\text{length, mm}]$) 함수와 현장에서 채집한 크릴의 길이 조성과 무게 함수를 사용하였다 (Greene et al., 1991). 계산 결과, 크릴 밀도는 12:28에 37.2 g/m^3 , 12:37 이후에 증가하기 시작하여 12:46에는 95.8 g/m^3 로 나타났으며 1마일 전체에 대한 평균 밀도량은 약 19.4 g/m^3 으로 계산되었다. 한편, 1990년 후반까지 사용되어 왔던 시각적인 판별법 (visual scrutinize)을 이용하여 전 수층에 걸친 음향 적분 값을 계산하였다 (Fig. 6(a), solid line). 가상 에코그램과 동일하게 수평 이동 시간은 1분, 적분 수심은 전 층인 230 m를 고려하였다. 1분 간격의 음향 적분 값에 의한 크릴 밀도는 12:28에 62.5 g/m^3 , 12:37 이후에 증가하기 시작하여 12:46에 나타난 커다란 음향 산란체에서는 214.7 g/m^3 으로 최대 분포를 나타

내고 있다. 이때 1 마일 전체에 대한 평균 밀도량은 약 35.5 g/m^3 으로 계산되었다.

체적 산란강도 차이를 이용하는 가상 에코그램 방법에 의한 계산 결과는 시각적 판별법에 의한 평균 밀도량에 비해 약 45%가 감소하는 것으로 나타나고 있다. 120 kHz의 원 에코그램과 가상 에코그램 사이에서 수심에 따른 상관성을 알아보기 위하여 1마일 수평 거리에 대해 수층별 상관계수는 100 m 상층부에서는 0.95 이상으로 크게 나타난 반면, 100 m 이하에서는 변동성이 상대적으로 크게 나타나고 있다. 이러한 상관관계로부터 100 m 상층부의 음향 신호는 크릴에 의한 것이며, 하층부에서는 크릴 이외의 산란체에 의한 영향이 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

이러한 방법으로부터 단일 주파수에 의한 자원량 조사는 자료 처리 과정에서 종 분리에서 한계점이 있음을 보여주고 있으며, 역으로 자원량 계산의 가장 중요한 종 분리 단계에서 다중 주파수의 이용이 유용함을 보여주고 있다.

△MVBS를 이용한 어류의 분리

Fig. 3의 에코그램은 동일한 산란체에 대한 신호임에도 불구하고 주파수간 에코그램의 차이를 보여주고 있다. 이러한 차이점은 산란체의 음향 특성이 주파수에 따라 다양함을 나타낸다. 관측 시간대는 일출이 이미 끝난 아침으로 어류 및 동물플

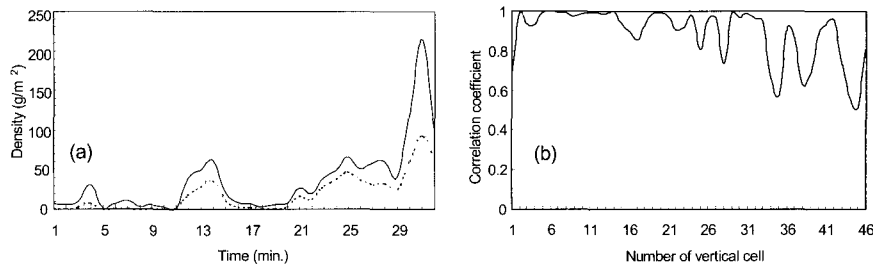


Fig. 6. (a) Krill density of raw (solid line) and virtual echogram (dot line) at 120 kHz, (b) correlation coefficient of krill density at the same depth layer of raw and virtual echogram. The depth for each layer is 5 meter.

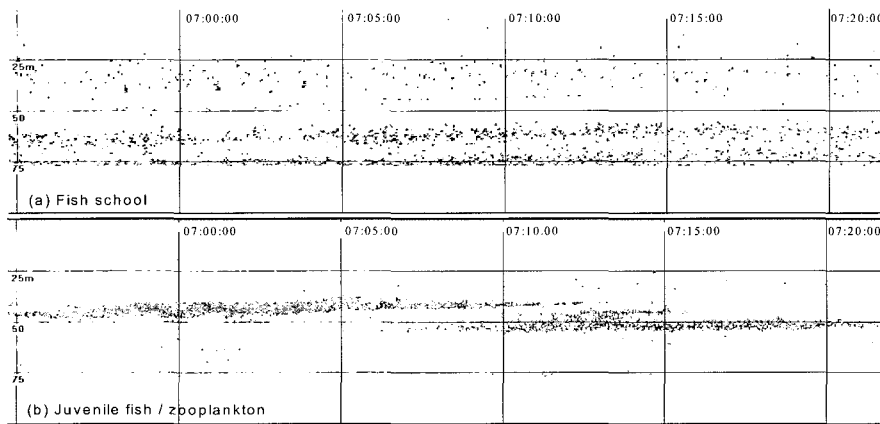


Fig. 7. Separated virtual echogram for fish school (a) and juvenile fish or zooplankton swarm (b). For each cell, horizontal time is 3 seconds and vertical interval is 0.5 meter. Therefore, matrix for virtual echogram is to be 200×600 and number of cell is 120,000.

랑크톤은 일주기 변동성을 가지며 중층 이하로 이동한 상태였다. 저층 트롤에 의해 채집된 우점 어종은 농어목의 열동가리돔 (Vertical striped cardinalfish, *Apogon lineatus*)과 솜뱅이목의 풀미역치 (Spotted velvet fish, *Erisiphex potti*) 였다 (Shin et al., 2002). 관측 당시 주변 해역에서 실시한 치어 (juvenile fish) 및 동물플랑크톤 채집 결과에서 0.75-5.25 cm의 체장 (평균 체장: 약 4.25 cm) 범위를 가지고 있는 까나리 (Pacific sand lance, *Ammodytes personatus*) 치어가 우점종으로 발견되었으나 동물플랑크톤 자료는 알려지지 않았다.

38 kHz 음향 자료에 있는 30 m 부근의 분산 분포, 40-50 m 부근의 연속 분포, 65 m 부근과 해지면 근처의 산란체로 구성되어 있다. 38 kHz와는 달리 120 kHz 에코그램에서는 40-55 m 부근에서 연속적인 띠 모양의 산란체가 분포하며, 나머지 수층에서는 강도의 세기에 차이가 나고 있으나 38 kHz 에코그램 분포와 동일한 분포를 보이고 있다. 산란체에 대한 주파수 특성상 부레의 성숙이 미약한 치어와 동물플랑크톤의 경우 고주파에서 강한 산란 특성을, 부레 형성이 끝난 어류에서는 저주파인 38 kHz에서 강한 산란 특성을 보이게 된다. 따라서, 120 kHz 에코그램에서 강하게 나타나고 있는 40-55 m 부근의 연속 분포 (patch)를 이루고 있는 산란층은 작은 치어 혹은 동물플랑크톤에 의한 신호이며, 나머지 3개의

수층에 존재하는 산란층은 어류에 의한 신호로 판단된다.

두 주파수의 체적산란강도 차이를 이용한 가상 에코그램을 만들기 위하여 (200×600) 행렬을 구성하였다. 종 분리를 위한 $\Delta MVBS$ 사용 범위는 어류의 경우, 부레를 이용한 공진 주파수 모델 (swimbladder resonance model)에서 38과 120 kHz의 MVBS 차이가 2 dB 이상으로 나타나는 점을 고려하였다 (Miyashita et al., 1997). 따라서, 두 주파수의 체적 산란강도 차이 가운데 어류만으로 구성된 가상 에코그램을 위하여 “ $2 \text{ dB} < \Delta MVBS_{38-120}$ ”의 기준을 이용하였다.

치어 및 동물플랑크톤은 산란체의 체장을 고려한 플랑크톤 음향 산란 모델을 적용하였다 (Johnson, 1977; Furusawa, 1988). 산란체의 최소 체장과 파장의 비율 (L/λ)이 38 kHz에서 0.2, 120 kHz에서 0.6 이고, 최대 체장을 고려하며 L/λ 는 38 kHz에서 1.3, 120 kHz에서 4.2로 나타났는데 이 값의 범위를 플랑크톤 산란 모델에 대입하면 $MVBS_{120-38}$ 는 7-18 dB로 계산되었다. 따라서, 치어 및 동물플랑크톤으로 구성된 가상 에코그램은 “ $7 \text{ dB} < \Delta MVBS_{120-38} < 18 \text{ dB}$ ”의 범위를 적용하였다.

어류와 치어 및 동물플랑크톤을 분리하여 자원량 혹은 분포 형태를 파악하기 위해서는 종 분리를 한 후, 체적 산란강도로 표현해야 하므로 가상 에코그램 형태로 어류만으로 구성된 자료와 그 밖의 치어 및 동물플랑크톤으로 구성된 자료로

분리하였다 (Fig. 7). 가상 에코그램으로 분리된 어류만의 음향 신호와 어류의 자원 조사에 많이 사용되고 있는 38 kHz 원 에코그램의 음향 신호와의 차이점을 비교하기 위하여 면적 후방산란 계수 (integrated volume backscattering strength, S_A , $m^2/n \text{ mile}^3$)를 계산하였다 (Fig. 8). 38 kHz 원 에코그램에서 종 분리를 시도하지 않은 모든 수층에 대한 평균 S_A 는 101.8 이나, 체적 산란강도 차이를 이용하여 어류 신호만을 분리한 가상 에코그램에서의 평균 S_A 는 62.9로 나타났다. 따라서 원 에코그램만을 이용하여 S_A 를 계산할 때, 어류만의 에코그램에서 보다 약 37% 정도 높게 평가되는 셈이다. 37% 높게 나타나는 것은 38 kHz의 원 에코그램에 작은 크기의 치어 및 동물플랑크톤이 영향을 주었기 때문으로 정확한 음향 자원 조사를 위해서는 이러한 부분을 제거해 주어야만 한다.

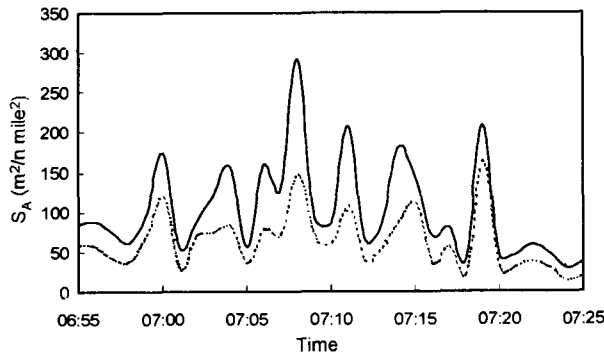


Fig. 8. Compared with S_A value due to raw (solid line) echogram and virtual echogram at 38 kHz using selected fish school (dot line).

MVBS를 이용한 잡음 제거

Fig. 4의 120 kHz 에코그램에서 보여주고 있는 수직 잡음 성분이 38 kHz 에코그램에는 나타나지 않은 특성을 이용하여 두 주파수 간의 MVBS 차이로부터 120 kHz 에코그램에서 잡음 성분을 제거하였다 (Fig. 9). 이를 위하여 각각의 에코그램을 수평 시간 1초, 수심 1m의 행렬 (60×1860)로 구성하였다. 이때, 두 주파수 사이에서 각 셀을 차지하고 있는 체적 산란강도 차이는 “1 dB < MVBS₁₂₀₋₃₈ < 20 dB”의 범위를 이용하였다.

이러한 적용 범위를 사용한 이유는 두 주파수의 에코그램에서 산란체에 의한 산란강도는 38 kHz에서 모두 높게 나타나 어류에 의한 신호만이 포함되어 있었으므로 잡음이 포함되지 않았다. 따라서 120 kHz의 음향 신호에서만 수신된 잡음 성분은 MVBS₁₂₀₋₃₈에서 양의 분포를 나타내게 된다.

120 kHz 에코그램을 고려할 때, 잡음이 제거된 가상 에코그램은 원 에코그램에서 나타났던 수직 모양의 잡음이 효과적으로 제거되었으며 생물체에 의한 신호는 양호하게 재현됨을 보여주었다. 120 kHz의 원 에코그램과 잡음이 제거된 에코그램과의 차이를 비교하기 위하여 1분 간격의 이동 거리와 전 수층에 대한 평균 및 최대 체적산란강도를 알아보았다. 원 에코그램에서 최대 S_v 의 분포 (Fig. 10(a))는 관측 기간 내내 -50 dB 이상의 높은 값을 가지고 있었는데, 이는 수직 모양의 잡음 때문으로 잡음이 제거된 에코그램 내에서의 최대 S_v 의 값 (Fig. 10(b))에 비해 7-20 dB 높게 나타나고 있다. 특히 원 에코그램에서 05:45:00 시간대에 약한 어군이 형성되었음에도 불구하고 -40 - -43 dB의 높은 값을 가지고 있으나, 잡음이 제거된 에코그램에서는 -60 - -64 dB의 분포를 나타내었기 때문에 잡음이 제거되었음을 알 수 있다. 전체 수층을 고려한 평균 S_v 값은 원 에코그램 (Fig. 10(c))에서 잡음이 제거된 에코그램 (Fig. 10(d))에 비해 0.6-11 dB 높게 나타나 있으나 이러한 잡음 특성이 평균 체적 산란강도 차이를 이용함으로써 제거 가능함을 보여주고 있다.

고 찰

음향 조사를 통한 수산 자원량 예측 과정 및 생태계 연구는 조사의 반복성, 한정된 시간에서 연구 지역의 확장성, 채집 자료와의 상관관계 등 많은 장점 때문에 광범위하게 사용되고 있지만 여러 가지 위험성을 내포하고 있다. 관측 당시의 시스템 안정성, 센서 보정, 해상 상태, 유사한 음향 장비와의 간섭 현상, 대상 해역에서의 생물 채집 등과 같은 일차적인 요소들과, 자료 취득 후의 처리 단계에 필요한 개개 어류의 산란강도 정보와 어종 분리의 이차적인 요소들에 의해 정확도가 결정이 된다 (MacLennan and Simmonds, 1992).

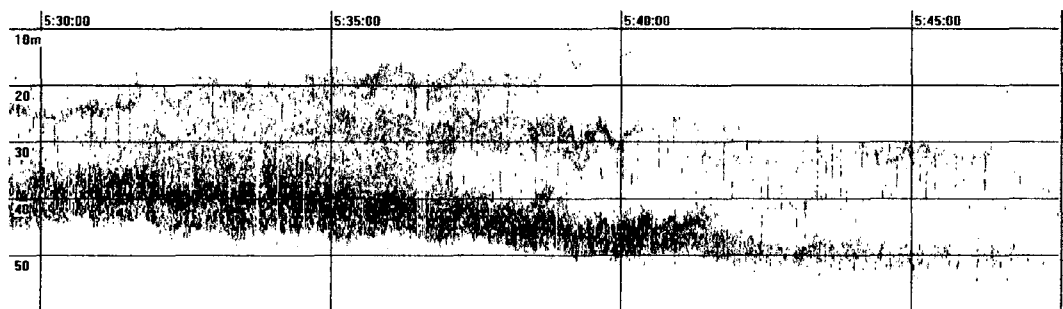


Fig. 9. Virtual echogram excluded acoustic noise from raw echogram at 120 kHz.

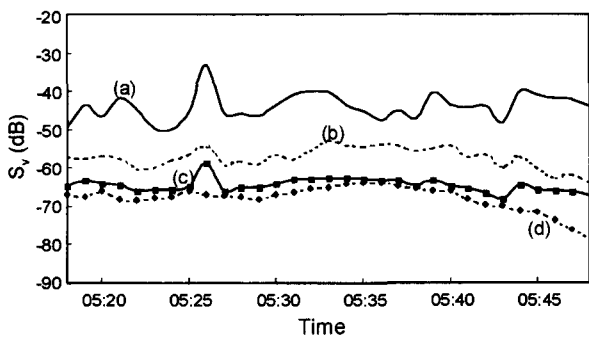


Fig. 10. Maximum and mean S_v due to raw echogram and virtual echogram at 120 kHz. (a) maximum S_v of raw echogram, (b) maximum S_v of virtual echogram, (c) mean S_v of raw echogram, and (d) mean S_v of virtual echogram.

1990년 초반까지의 음향 조사에서는 주로 일차적인 요소들에 의한 연구가 집중되어 시스템의 안정성과 방법론에 많은 발전이 있었다. 이러한 일차적인 문제점의 해결됨에 따라 음향 자원 조사의 주된 관심 분야가 어류를 비롯한 여러 음향 산란체인 생물체로 이동하고 있다. 따라서 1990년 중반부터는 TS의 정확성과 종 분리에 많은 연구가 수행되고 있다 (Mitson et al., 1996; Miyashita et al., 1997).

단일 주파수를 사용하는 방법에는 자료 처리 단계에서 시각적 판별법을 주로 이용하는데 이것은 관측자의 경험에 크게 좌우되며 어류 신호만을 분리하기가 어려워 많은 경우에 S_A 값만으로 나타내는 경우가 대부분이다. 따라서 생물체의 공간적인 분포만을 고려해야 하는 문제점이 있고 또한 모든 에코그램에 대한 수동적인 작업 과정을 거쳐야 하는 번거로움이 따르고 자원량 계산에 많은 오차를 내포할 가능성이 있다.

본 연구에서 사용한 남극 크릴의 경우, 120 kHz의 원 에코그램만을 사용했을 때 크릴 밀도는 크릴만을 분리한 가상 에코그램에 비해 약 1.8배 정도 높게 계산되어 단일 주파수에 의한 자원량 예측에 많은 위험 요소가 있음을 알 수 있었다. 또한 황해 음향 자료에서도 어류의 밀도에 대해 치어 및 동물플랑크톤의 영향이 37% 정도 나타나고 있었다. 이러한 방법의 사용에 가장 중요한 요소는 대상 종에 대한 주파수별 TS (혹은 S_v) 분포이다. 남극 크릴의 경우 사전 연구로부터 TS 정보가 알려져 있으므로 보다 정확한 Δ MVBS 범위를 사용할 수 있으나, 황해 어종의 경우 대부분의 어종에 대한 TS 정보의 부족으로 Δ MVBS 범위를 결정하는데 한계가 있다. 그러나 상기의 황해 자료에서 치어에 의한 신호와 어류에 의한 신호를 분리하는 과정의 응용은 연근해 생태계의 어류와 치어 및 동물플랑크톤 연구에 좋은 수단으로 사용하여도 충분함을 보여주고 있다.

Δ MVBS를 이용한 가상 에코그램의 구현에서 행렬을 구성하는 각 셀의 크기 결정이 중요한 변수가 될 수 있다. 이러한 셀의 크기는 음향 자료의 분량 혹은 자료 처리용 컴퓨터의 성능에 크게 좌우되는데 이를 위해 셀의 크기를 바꾸어 가면

서 테스트를 하였다 (Table 1). 사용한 에코그램은 Fig. 3의 황해 자료이다. 수신된 음향 자료가 100 m 수심이므로 수직 셀의 수가 200인 경우, 셀의 각 행의 크기는 0.5 m이며, 수직 셀의 수가 50인 것은 셀의 각 행의 크기가 2 m를 의미한다. 1 마일과 모든 수층을 고려한 평균 S_v 는 거의 차이를 나타내지 않으나, 셀의 크기가 작을수록 (즉, 보다 많은 행렬로 구성) 평균 S_v 는 감소하고 이러한 경향은 평균 S_A 에서 뚜렷이 나타나고 있다. 그러므로 가상 에코그램 구현 과정에서 적절한 셀의 크기는 관측 수심과 전체 자료의 양에 따라 결정이 되지만 가능한 셀의 크기를 작게 하는 것이 원 자료의 형태를 유지하는데 유리하다.

Table 1. Variations of mean S_v or mean S_A with changing cell dimension to make virtual echogram

Case	Cell dimension		Mean S_v (dB) / Mean S_A ($m^2/n \text{ mile}^2$)	Matrix
	Number of vertical cell	Horizontal time (sec)		
1	200	3	-77.6 / 62.9	200×600
2	50	3	-77.3 / 71.1	50×600
3	200	10	-77.5 / 65.1	200×180
4	50	10	-77.4 / 71.7	50×180

Fig. 4에서 보여주고 있는 잡음 제거 기법에서 각 셀의 크기를 결정할 때, 잡음의 특성을 고려해야 하는데 그림에서 나타나고 있는 잡음은 1초의 시간 폭을 가지고 있다. 따라서 각 셀의 수평 거리를 1초 이상의 간격으로 설정하면 MVBS를 이용한 잡음 제거에서 어군의 신호가 셀의 크기만큼 제거될 가능성이 커지게 된다.

이상의 연구에서 사용한 다중 주파수의 체적산란강도 차이에 의한 어종 식별 방법은 단일종이 나타나는 해역뿐만 아니라, 우리나라 연근해역처럼 다양한 어종, 치어 및 동물플랑크톤이 혼합하여 나타나는 해역에서 자원량 추정 및 분포 특성 연구의 정확도를 증가시키는 하나의 방법으로 사용 가능함을 알 수 있었다. 그러나 본 연구에서 시도된 방법을 본격적으로 사용하기 위해서는 대상 종에 대한 TS 정보가 필수적이다. 따라서, 살아있는 어종에 대한 현장 및 수조 실험과 음향 모델에 대한 연구가 병행되어야 하며, 실제 관측한 다양한 어종의 음향 자료에 이 방법을 적용함으로써 정확도를 높이는 추가적인 검증이 필요하다.

사 사

본 연구는 해양수산부의 “남극해 유용생물자원 개발 연구” 과제의 연구비로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Aksland, M. 1986. Estimating numbers of pelagic fish by echo integration. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 43, 7-25.
- Bodholt, H., H. Ness and H. Solli. 1989. A new echo-

- sonder system. Proc. Inst. Acoust., 11, 123-130.
- CCAMLR. 2000. Report of Bo workshop. WG-EMM-00/21, La Jolla, USA. pp. 70.
- Foote, K.G. and J.J. Traynor. 1988. Comparison of walleye pollock target strength estimates determined from in situ measurements and calculation based on swim-bladder form. J. Acoust. Soc. Am., 83, 9-17.
- Furusawa, M. 1988. Prolate spheroidal models for predicting general trends of fish target strength. J. Acoust. Soc. Jap., 9, 13-24. (in Japanese)
- Gerlotto, F. 1993. Identification and spatial stratification of tropical fish concentrations using acoustic populations. Aqua. Living Resour., 6, 243-253.
- Greene, C.H., T.K. Stanton, P.H. Wiebe and S. McClatchie. 1991. Acoustic estimates of Antarctic krill. Nature 349, 110.
- Hewitt, R.P. and D.A. Demer. 2000. The use of acoustic sampling to estimate the dispersion and abundance of euphausiids, with an emphasis on Antarctic krill, *Euphausia superba*. Fish. Res., 47, 215-229.
- Higginbottom, I.R., T.J. Pauly and D.C. Heatley. 2000. Virtual echograms for visualization and post-processing of multiple-frequency echosounder data. Proceedings of the Fifth European Conference on Underwater Acoustics, ECUA 2000, Zakharia, M.E., ed. 1497-1502.
- Johnson, P.K. 1977. Sound scattering from a fluid sphere revisited. J. Acoust. Soc. Am., 61, 375-377.
- Kim, Z.G., Y.M. Choi, K.S. Hwang and G.D. Yoon. 1998. Study on the Acoustic Behaviour Pattern of Fish School and Species Identification 1. Shoal Behaviour Pattern of anchovy (*Engraulis japonicus*) in Korean waters and Species Identification Test. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 34, 52-61. (in Korean)
- MacLennan, D.N. and E.J. Simmonds. 1992. Fisheries Acoustics. Chapman & Hall, London, pp. 325.
- Misund, O.A. and J.T. Øvredal. 1988. Acoustic measurements of schooling herring; estimation of school biomass and target strength. Int. Coun. Explor. Sea CM 1988/B, 26.
- Mitson, R.B., Y. Simrad and C. Goss. 1996. Use of a two-frequency algorithm to determine size and abundance of plankton in three widely spaced locations. ICES J. Mar. Sci., 53, 209-215.
- Miyashita, K., I. Aoki, K. Seno, K. Taki and T. Ogishima. 1997. Acoustic identification of isada krill, *Euphausia pacifica* Hansen, off the Sanriku coast, north-eastern Japan. Fish. Oceanogr. 6, 266-271.
- Shin, H.H., D.J. Hwang and Y.J. Kim. 2002. Studies on the Distribution of Fisheries Resources by Bottom Trawling in the Yellow Sea. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 38, 129-139. (in Korean)
- Simmonds, E.J., F. Armstrong and P.J. Copland. 1996. Species identification using wideband backscatter with neutral network and discriminant analysis. ICES J. Mar. Sci., 53, 189-195.
- SIMRAD. 1997. Operation manual, Simrad EK500 scientific echo sounder, Base version, P2170, A Kongsberg Company.

2003년 8월 26일 접수
2003년 10월 18일 수리