

천해 체적 산란강도의 수직분포 변동성

Variability of Vertical Distribution of Volume Scattering Observed in the Shallow Water

박 경 주*, 김 은 혜*, 강 돈 혁*, 나 정 열*
(Kyungju Park*, Eunhye Kim*, Donhyug Kang*, Jungyul Na*)

*한양대학교 지구해양학과

(접수일자: 2002년 7월 10일; 수정일자: 2002년 11월 4일; 채택일자: 2002년 12월 3일)

연안역의 천해 해저면에 설치된 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, 300 kHz, 1200 kHz)를 이용, 천해에서 체적 산란강도 (volume scattering strength, Sv)의 수직분포에 대한 시변동성을 알아보았다. 수심 85 m와 113 m에서 ADCP로 측정한 후방 산란강도의 일주기 변동성은 동물플랑크톤 (zooplankton)으로 추측되는 산란체의 일주기 수직이동 (daily vertical migration)에 기인된 것으로 추정되었다. 그러나 수심 20 m의 천해에서 관측된 산란강도의 시변동성은 경험적 직교함수 (Empirical Orthogonal Function, EOF) 분석 결과, 해저면 부근의 변화가 천해 체적 산란강도의 변동성에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

핵심용어: 체적 산란강도, 미세 공기방울, 동물플랑크톤, 일주기 수직이동, 경험적 직교함수, ADCP

투고분야: 수중음향 분야 (5.2)

Measurements of backscattered intensity were made over a shallow water using 300 kHz and 1200 kHz bottom mounted ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) to determine the temporal variability of vertical distribution of high-frequency volume scattering strength (Sv). The variability of Sv in relatively deep water column (85 m and 113 m) was due to the daily vertical migration, probably of larger zooplankton. However it was not found with 1200 kHz data at shallow water column. From the empirical orthogonal function (EOF) analysis using 1200 kHz data, the vertical distribution of the first mode eigenvectors of Sv is characterized by the presence of the maximum values near the bottom of the water.

Keywords: Volume scattering strength, Micro bubble, Zooplankton, Daily vertical migration, Empirical Orthogonal Function (EOF), ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

ASK subject classification: Underwater acoustics (5.2)

I. 서론

해양의 경계면 (해수면, 해저면)과 해수 체적내의 산란체 등은 수중 음파산란에 많은 영향을 미치는 요소들이며, 이러한 요소들은 수중물체의 탐지측면에서 장애요소로 작용한다. 음파산란 연구에 있어서 경계면 산란에 비해 체적 산란에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 편이며 이러한 원인은 능동소나의 탐지와 관련하여 상대적인 중요성 저하와 큰 시변동성 (temporal variability)에 따른 변수화의 어려움으로 보인다. 하지만 체적 산란강도는

해상풍에 의해 생성된 미세 공기방울들 (micro bubbles)의 공진현상 (resonance) 및 공기 방울군 (bubble plume)에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있으며[1], 또한 해저면 부유물질에 의한 체적 산란강도도 큰 비중을 차지하고 있다[2]. 따라서 이러한 요인들에 대한 체적 산란강도의 변화성 파악은 정확한 음향모델의 구현 및 소나 운용에 있어서 반드시 연구되어야 할 부분이다.

일반적으로 저주파 대역에서 체적 산란강도에 가장 큰 영향을 주는 요소는 부레를 가진 어군이며[3], 고주파 대역에서는 동물플랑크톤 및 부유물질 등이다[4]. 저주파 대역의 산란 특성은 음파 전달 손실에 큰 영향을 미치므로 수중폭발성 음원 (SUS) 및 저주파 음원을 이용한 여러 실험이 있었으며[5], 고주파 대역의 산란 특성은 주로 플

책임저자: 박경주 (pkj@ihanyang.ac.kr)
·25-822 경기도 안산시 사1동 1271번지
한양대학교 지구해양학과와 해양음향연구소
전화: 031-400-4233; 팩스: 031-406-6458

랑크톤의 생물학적 특성이나 군집조사에 한정되어 있
다[6].

이러한 고주파 음원으로서는 ADCP를 많이 사용하고 있
으며, ADCP로부터 계산된 후방 산란강도 자료를 이용하
여 동물플랑크톤이나 해저 부유물질의 산란강도 측정에
이용하고 있다[7]. 그 예로써 아라비아 해 200 m 이상의
수심에서 265 kHz~3 MHz 주파수 대역의 합정 예인형
ADCP를 이용한 실험에서 체적 산란의 시간적 변화 및
동물플랑크톤의 수직이동 등에 대하여 언급하고 있으며
[4], 여기서 420 kHz의 저주파 대역에서 산란강도 변화의
가장 큰 요인은 동물플랑크톤의 일주기 수직이동에 기인
한다고 하였으며, 이러한 운동은 고주파 대역보다 잘 나
타난다고 분석하고 있다. 또한 ADCP의 후방 산란강도 자
료를 이용, 해저면 부근의 부유물질에 의한 탁도 (turbid-
ity)를 측정하기도 하였다[7].

한국 연안에서 체적 산란강도 변화성에 대한 연구는
매우 한정되어 있는 실정으로 1987년 대한해협에서 ADCP
를 이용한 동물플랑크톤의 시공간적 분포를 추정하였으
며[8], 최근 연구로는 1999년 제주해협의 수심 120 m 되
는 지점에서 해저면 설치 300 kHz ADCP를 이용하여 동
물플랑크톤의 일주기 수직이동을 확인하고, 또한 해저
부유 퇴적물의 산란강도와 그 해역 조류 (tidal current)
와의 상관관계를 밝혔다[2]. 기존의 ADCP를 이용한 여러
체적 산란에 관한 연구[2, 4, 6, 7]는 대부분 깊은 수심에서
수행되었으며, 상대적으로 천해에서 체적 산란강도의 특

성에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았으며, 특히 이러
한 환경에서 체적 잔향음은 농동소나 운용시 탐지측면에
서 중요한 요소이므로 관심을 가져야 한다.

본 연구에서는 기존 연구해역의 수심과는 상당한 차이
가 있는 연안 20 m에서 측정된 고주파 음원 (1200 kHz)에
의한 81일간의 산란강도 자료를 이용, 경험적 직교함수
분석법을 적용하여 천해에서 체적 산란강도의 시간적인
변화 특성과 수심 85 m와 113 m에서 측정된 300 kHz 자료
를 이용, 동물플랑크톤에 의한 체적 산란의 일주기 변화
성을 파악하고자 하였다.

II. 자료 및 방법

2.1. 자료 수집

2001년 6월 17일부터 9월 5일 사이에 동해시 인근 해역
의 해저면에 300 kHz와 1200 kHz ADCP를 설치하고 해류
및 산란강도 자료를 수신하였다 (그림 1). 1200 kHz 자료
는 20 m (위치 BM3) 수심에서 81일간, 300 kHz 자료는
85 m (BM1) 및 113 m (BM2)에서 50시간 동안 관측하였다.
또한 실험 기간 동안 실시간 해상관측부이로부터 바람
자료를 수신하였으며, 이들 해류, 산란강도 및 바람자료
는 10분 간격으로 기록하였다. 각 조사 위치에서 총별 산란
강도를 측정하기 위한 음향변수 및 수층 간격은 표 1과 같다.

고주파 체적 산란강도에 큰 영향을 주고 있는 동물플랑

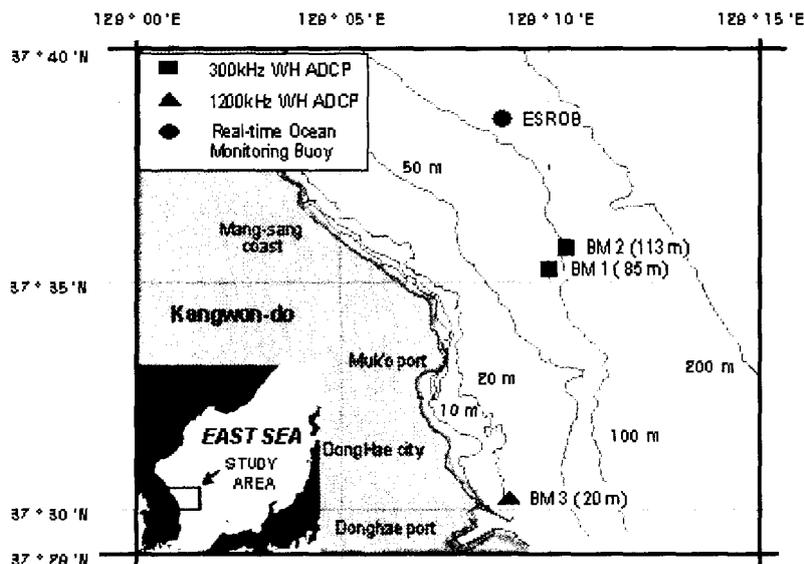


그림 1. 실험 위치
Fig. 1. Location of experiments.

표 1. 각 조사 정점에서의 음향변수 및 수층 간격
Table 1. The system parameters for data collection at each station.

	BM1 300 kHz	BM2 300 kHz	BM3 1228.8 kHz
Upward-looking orientation			
Transducer	convex		
Beam angle	20° relative to vertical		
Bin size	2.0 m	5.0 m	0.5 m
Number of bins	43	23	30
Blank	1.50 m	1.50 m	0.3 m
Distance to First bin	3.78 m	6.86 m	0.8 m
Sample interval	30 sec	30 sec	10 min
Pings per ensemble	60	45	80
Duration	50 hours	50 hours	81 days

크톤 자료는 국립수산과학원 자료를 인용하였다[9]. 또한 해저면 부근의 수온은 ADCP 자체 수온 센서를 이용하여 실험 기간 동안 10분 간격으로 기록하였다. 실험지역 BM3의 해저면 지형은 평탄하였고 퇴적물의 구성물질은 주로 모래입자로 구성되어 있는 것으로 관측되었다.

2.2. 경험적 직교함수 산출 및 체적 산란강도 계산

체적 산란의 시공간적인 특성을 분석하기 위하여 경험적 직교함수 분석법을 적용하였다. 이 분석법은 시공간적인 변동성을 동시에 효과적으로 제시할 수 있는 대표적인 통계적 방법 중 하나이다[10]. 이 방법의 장점은 단지 몇 개의 고유함수만으로 전체 현상을 설명할 수 있으며, 또한 관측치를 재현할 수도 있다.

이는 임의의 공간적 범위 내에서 시계열 자료를 이용, 시간에 대하여 평균을 구하고 원래 자료로부터 각 시간에서의 잔차(residual)를 구한 후, 잔차의 교차 공분산 행렬을 구성하여 고유값(eigenvalue)과 고유벡터(eigen-vector)를 계산하는 방법이다[11]. 분석에 사용된 체적 산란강도 자료는 ADCP에서 수신된 산란강도(echo intensity) 자료에 대하여 다음 식을 적용하여 환산한 값이다[12].

$$S_V = C + 10 \log \left((T_X + 273.16) R^2 \right) - L_{DBM} - P_{DBM} + 2\alpha R + K_c(E - E_r)$$

S_V : 체적산란강도 (dB re $(4\pi m)^{-1}$)

C : system parameter, 상수

T_X : 센서면이 위치한 수심에서의 온도 (°C)

R : 센서면과 각 수층까지의 거리 (m)

L_{DBM} : $10 \log_{10}$ (transmit pulse length, m)

P_{DBM} : $10 \log_{10}$ (transmit power, Watts)

α : 해수의 흡수 손실계수 (dB/m)

K_c : system constant

E : echo intensity, E_r : reference echo intensity

III. 결과 및 토의

3.1. 환경 자료 (바람, 해류 및 해저면 수온)

산란강도 자료를 비롯한 바람, 해류 및 수온 자료의 주기성 분석은 대역통과 필터 (band-pass filter)를 적용하여 8시간보다 짧은 주기와 10일 이상의 긴 주기성분을 제거시킨 후 수행하였다. 바람 자료를 관측한 곳은 그림 1에서 보는바와 같이 1200 kHz ADCP 실험위치로부터 북쪽으로 15 km 이상 떨어져 있으며, 풍속은 81일간 자료로 최고 12.6 m/s, 평균 3.3 m/s로 관측되었다.

또한 실험 기간 동안 해저면 수온은 평균 14.5°C이었으며 전체적으로 6°C~25°C의 범위를 보이고 있다 (그림 2). 수온 변화 양상은 크게 두 구간으로 구분어 되는데 6월 17일부터 8월 4일까지 평균 수온은 11.9°C이며, 그 이후는 평균 19.3°C로써 7°C 이상의 수온차이를 나타내고 있다. 이러한 양상은 동해 연안 3°C이하의 북한한류계수 (North Korean Cold Current)가 남하하면서 5월 중순과 6월 말에 연안 쪽으로 크게 확장, 6월에 가장 강하고 8월에 약화되는 경향과 관련 있는 것으로 보인다[13]. 그림 3에서 바람의 주기는 3.7일과 4.4일이 우세하고 7일과 1일주기도 잘 나타나고 있으며, 해저면 수온 자료의 경우는 8일과 약 5일 주기가 우세하게 나타나고 있다. 그림 4는 바람과 1200 kHz의 각 층별 해류 자료의 속도 벡터를 나타내고 있다. 일반적으로 바람이 일정 기간 이상 지속적으로 불

고있을 때 해류는 같은 방향으로 흐르며 이때 유속은 수심에 깊어짐에 따라 약해진다. 그러나 그림 4에서 보는바와 같이 바람과 해류의 방향이 항상 일치하는 것은 아니다.

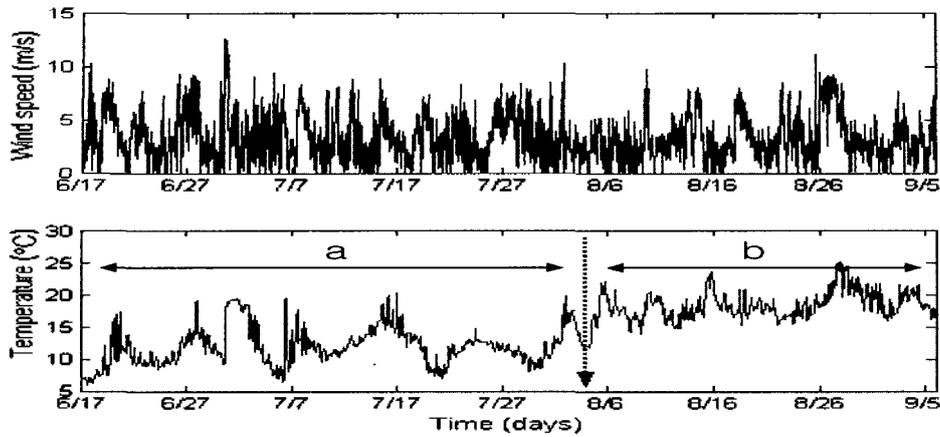


그림 2. 실험 기간 동안 관측된 바람과 1200 kHz ADCP에 의한 수온 시계열 (위치 BM3); (a) 냉수의 유입에 기인한 저온부분 (평균 11.9°C), (b) 냉수의 영향이 약한 고온부분 (평균 19.3°C)
 Fig. 2. Time series of wind and temperature by 1200 kHz ADCP during the experiment period at site BM3; (a) indicates low temperature (mean 11.9°C), due to intrusion of cold water. (b) indicates high temperature (mean 19.3°C), due to contraction of cold water.

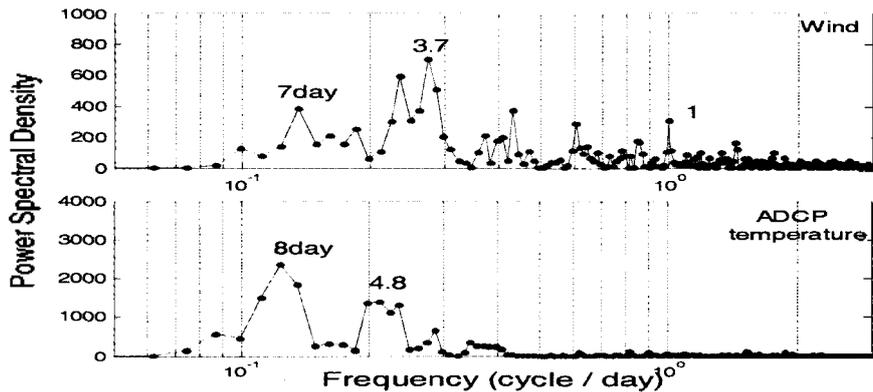


그림 3. 바람과 ADCP 수온 자료의 파워 스펙트럼
 Fig. 3. Power spectral density of the wind and ADCP temperature.

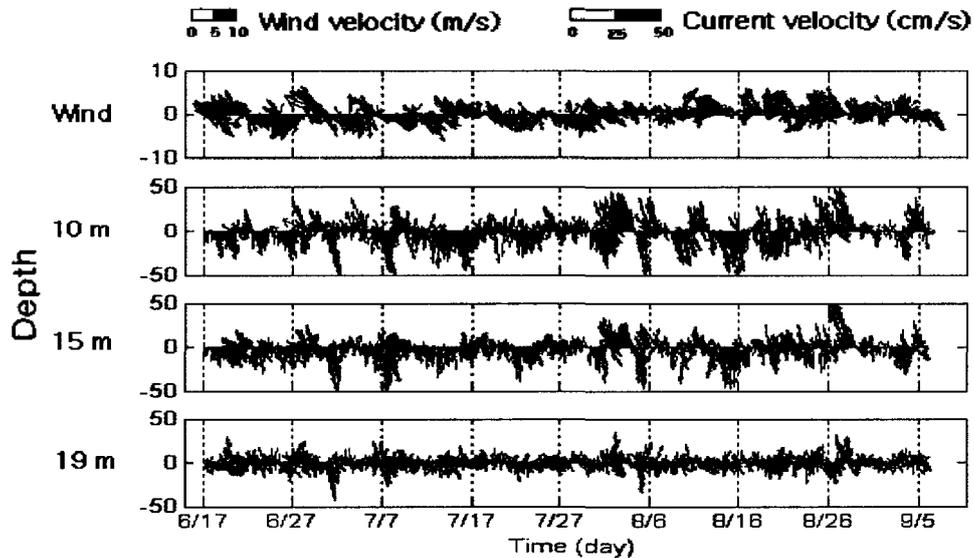


그림 4. 바람과 해류의 속도 벡터
 Fig. 4. Plots of the velocity vectors for the wind and current.

3.2. 체적 산란강도의 변화 특성

1200 kHz의 81일간 체적 산란강도 자료를 보면 전체적으로 -80~-40 dB의 분포를 보이고 있으며, 해수면 쪽이 평균적으로 높게 나타나고 해저면 부근은 변화가 심한 것으로 나타났다. 그러나 중간층은 해수면 쪽과 해저면 부근에 비해 상대적으로 약하게 나타나고 있다 (그림 5).

이러한 체적 산란강도의 시간적인 변화 특성을 파악하기 위하여 81일간의 체적 산란강도 자료에 대하여 경험적 직교함수 분석을 적용, 고유값 및 고유벡터를 계산하였고 (그림 6), 이로부터 각 모드의 시간계수 (time coefficient)

를 계산한 후, 이에 대해 주기성 분석을 하였다 (그림 7).

계산된 고유값에서 상위 2번째까지의 분산은 총 분산의 약 91%에 해당되며, 제 1모드는 전체의 74%에 해당하는 변동성으로 주로 해저면 부근에서 발생되고 있으며, 주파수 특성은 8일 주기가 우세하며 4.5일 주기도 나타나고 있다. 이것은 ADCP 수온 자료의 8일 주기와 4.8일 주기와 유사하다.

제 2모드는 전체의 17%를 차지하며 주로 중층과 하층에서 발생하는 변동을 나타내고 있다. 주기를 보면 제 1모드에서 나타나지 않던 1일 주기가 잘 나타나고 있다. 1일

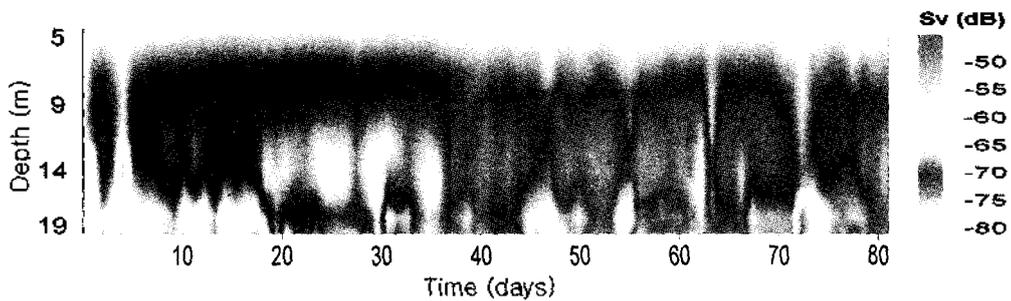


그림 5. 수심과 시간에 따른 1200 kHz 체적 산란강도
Fig. 5. 1200 kHz volume scattering strength vs. depth and time.

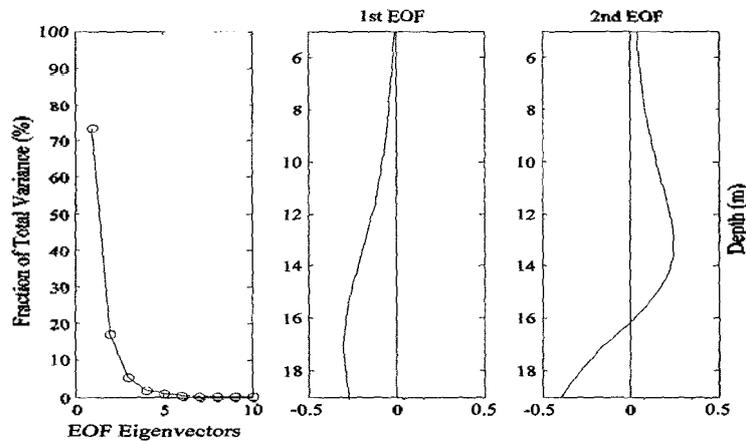


그림 6. 각 모드의 기여도 및 제 1, 2모드 경험적 직교함수
Fig. 6. Contribution to total sum and the first two EOFs.

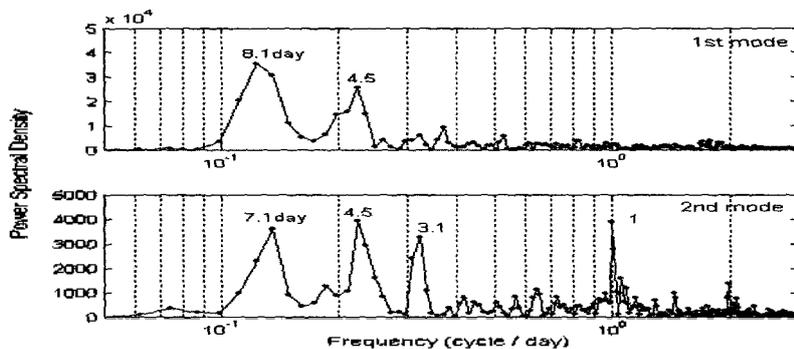


그림 7. 체적 산란강도의 경험적 직교함수 분석에 따른 제 1, 2모드의 시간계수에 대한 파워 스펙트럼
Fig. 7. Power spectral density of the time coefficient of the first two EOFs of volume scattering strength.

주기가 강하게 나타나는 것은 해상풍과 가장 밀접한 관련이 있는 상층의 영향을 받은 것으로 보인다.

실험 기간 중 실시간 해상관측부이에서 관측된 해상풍은 최고 12.6 m/s로 불었다. 해상풍으로 인한 쇠파 (wave breaking)에 의해 발생하는 미세 공기방울의 밀도는 풍속에 강한 종속성을 보이며, 풍속의 증가에 따른 공기방울의 밀도를 추정하는 실험식[14]에 의하면 풍속이 증가할수록 해수 내 공기방울 밀도는 증가하는 것으로 나타난다. 또한 공기방울의 생성량이 많아짐에 따라 해수면 후방 산란강도가 높게 나타나는 것으로 알려져 있다[1]. 실제 풍속이 4 m/s 경우 수심 1~5 m 사이의 존재하는 총 공기방울개수는 $5.3 \times 10^2 \sim 500$ 개이며, 12 m/s 경우는 $1.2 \times 10^5 \sim 5764$ 개 정도이다[15]. 또한 1200 kHz에 대해 공진현상을 발생시킬 수 있는 공기방울의 반지름은 수심 1~10 m 경우 $2.9 \times 10^{-4} \sim 3.8 \times 10^{-4}$ cm로 계산된다[16].

본 실험은 동해항 부근의 내해 20 m에서 이루어졌으며

로 방파제, 해변 등에 의한 쇠파 및 선박통행까지 고려한다면, 해수내의 미세 공기방울은 상당히 많이 분포했으리라 추측되며, 이러한 미세 공기방울과 공진현상은 해수면 부근의 후방 산란강도에 많은 영향을 미칠 수 있다.

체적 산란강도의 수심에 따른 변화를 좀더 세부적으로 보기 위하여 전체 수심을 세 개의 층으로 구분하였다. 상층은 관측된 최대 풍속 12.6 m/s를 고려하여 계산상 공기방울의 영향이 미약해지는 수심 9 m를 기준으로 약 4~9 m를, 그리고 하층은 경험적 직교함수 분석으로부터 해저면 부근에서 최대의 변동성을 보이는 14~19 m를 선정하였으며, 나머지를 중층으로 구분하여 3개의 층에 대하여 경험적 직교함수 분석을 하였다. 그림 8은 각 층별 주기성을 보여주는 것으로 상층은 1일 주기가 가장 우세하고 하층은 8일 주기가 크게 나타났다. 그러나 중간층에서는 8일 및 1일 주기를 포함한 다양한 주기가 나타났다. 상층은 해상풍의 영향을 가장 많이 받으므로 1일 주기가 우세

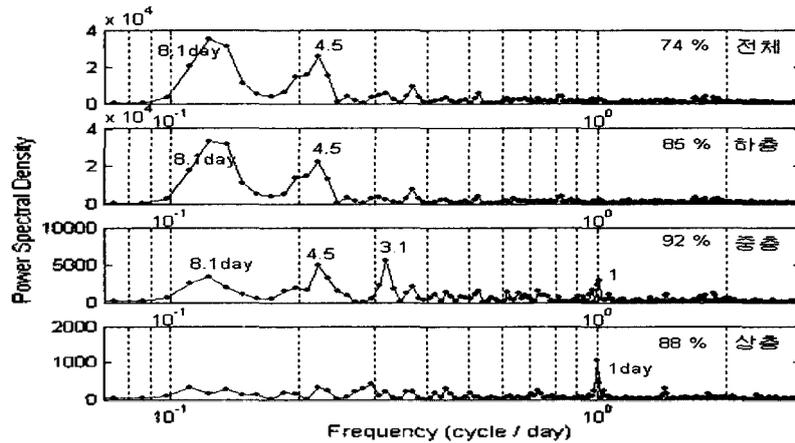


그림 8. 각 층별 체적 산란강도의 경험적 직교함수 분석에 따른 제 1모드의 시간계수에 대한 파워 스펙트럼
Fig. 8. Power spectral density of the time coefficient of the first EOF of volume scattering strength for each layers.

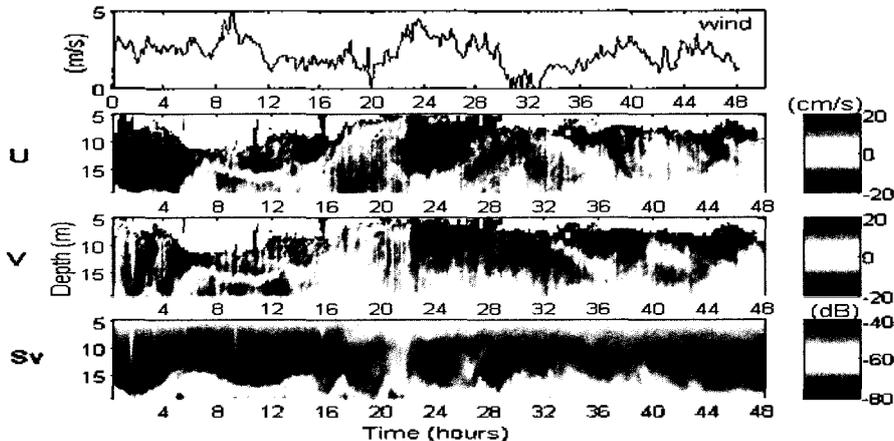


그림 9. 바람 및 1200 kHz ADCP에 의한 등서 (U), 남북 (V) 방향 해류속도와 체적 산란강도 (Sv)
Fig. 9. Plots of wind, eastward current velocity (U), northward current velocity (V) and volume scattering strength (Sv) by 1200 kHz ADCP.

하게 나타난 것으로 보이며, 또한 그림 7의 제 2모드와 그림 8의 중층에서 나타나는 3.1일 주기도 동일한 원인에 기인한 것으로 판단된다. 하층은 전체 수심을 대표하는 권동성을 보여주며 해저면 근처의 수온 변화에 대한 주기성과 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이것은 자료 관측기간 동안 북한한류계수가 연안으로 확장되는 것과 관계 있는 것으로 생각된다. 그리고 중층에서 8일 주기와 1일 주기가 같이 나타나는 것은 해상풍과 북한한류계수의 확장에 의한 영향을 모두 받은 것으로 보인다.

그림 9는 해류의 움직임에 따른 해저면에서 발생하는 체적 산란강도 변화를 잘 보여주고 있으며, 그림 10은 그림 9의 해류를 속도 벡터 그림으로 표현한 것으로 수심 6 m부터 해류의 방향이 급변하는 모습을 볼 수 있다. 특히 4~16시간 사이에 해류의 방향이 급변하는 상황에서 해저면 부근의 체적 산란강도 변화도 크게 나타나고 있으며, 이러한 원인은 해류 유동에 의한 해저면 퇴적물의 부유에 기인한 것으로 추정된다. 또한 이러한 현상은 실제 모의실험을 통해 입증된 바도 있다[17].

수심에 따른 산란체의 분포 특성은 수중물체 탐지 및 음향모델 구현에 있어 중요한 변수로 작용하게 되며, 주변 해역에 대한 산란체의 분포 특성을 파악하는 것은 중요하

다. 수층내에 존재하는 산란체로는 여러 가지가 있지만 생물체에 의한 것이 대부분이다. 특히 동물플랑크톤에 의한 산란강도는 상대적으로 크게 나타나며, 일주기 이동 특성을 가지고 있다. 국립수산과학원 정점 관측 자료에 의하면 300 kHz 자료 관측기간인 6월 중 동해시 연안역에 서식하고 있는 동물플랑크톤은 주로 Copepoda와 Amphipoda가 분포되어 있는 것을 알 수 있으며 (표 2), Copepoda는 전형적인 일주기 수직이동을 하는 동물플랑크톤으로 주간에는 수심이 깊은 해저면 근처에서 머물다가 야간에는 주로 해수면 근처에서 활동하는 특성이 있다[2,7].

수심 20 m의 산란강도 자료에서는 산란체 (동물플랑크톤)의 일주기 변화를 관측할 수 없었다. 이는 사용된 주파수와의 무관하며, 관측위치에서의 동물플랑크톤 분포에 대한 자료의 부재와 극천해 환경 특성상 여러 가지 복합적인 영향에 의해 구분이 어렵다고 판단된다. 그림 11은 300 kHz 자료의 체적 산란강도를 보여주고 있으며, 이는 수심과 시간에 따른 변화에 있어서 수심 20 m 자료에서는 나타나지 않았던 산란체의 일주기성이 수심 85 m와 113 m에서는 나타났다. 이 그림에서 산란체는 오후 5~8시경 해수면 부근으로 상승, 해수면 근처에서 활동하다가 오전 5~8시경 다시 해저면 쪽으로 하강하여 주간에는 해저

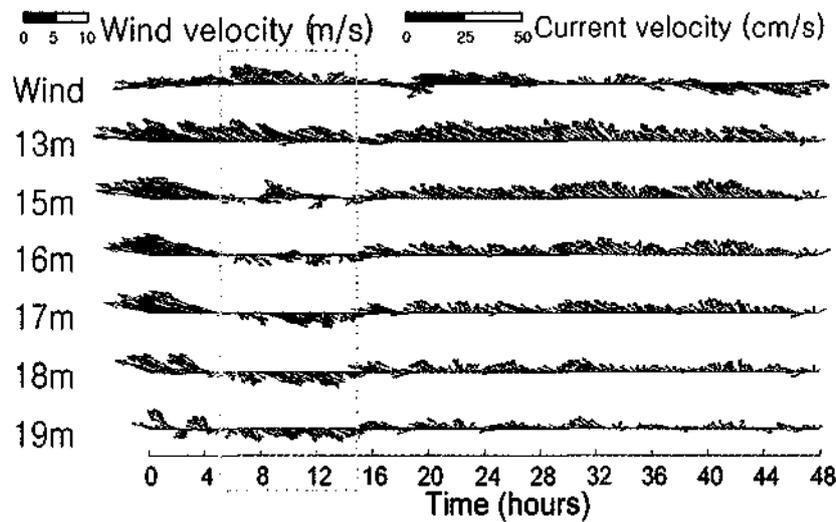


그림 10. 바람과 해류의 속도 벡터
Fig. 10. Plots of the velocity vectors for the wind and current.

표 2. 실험해역 주변 (NFRDI, 해양 관측선 105선 3번 정점)의 동물플랑크톤 분포
Table 2. Distribution of zooplankton near the study area (NFRDI, line 105 st. 3).

Dominant Species	Standing Crops	Ratio (%)	Size
Copepoda	14233 (ind./L)	98.11	3~5 mm
Amphipoda	167 (ind./L)	1.15	수 mm~1 cm
Chaetognatha	100 (ind./L)	0.69	5~11 mm
Euphausiacea	17 (ind./L)	0.12	3 cm

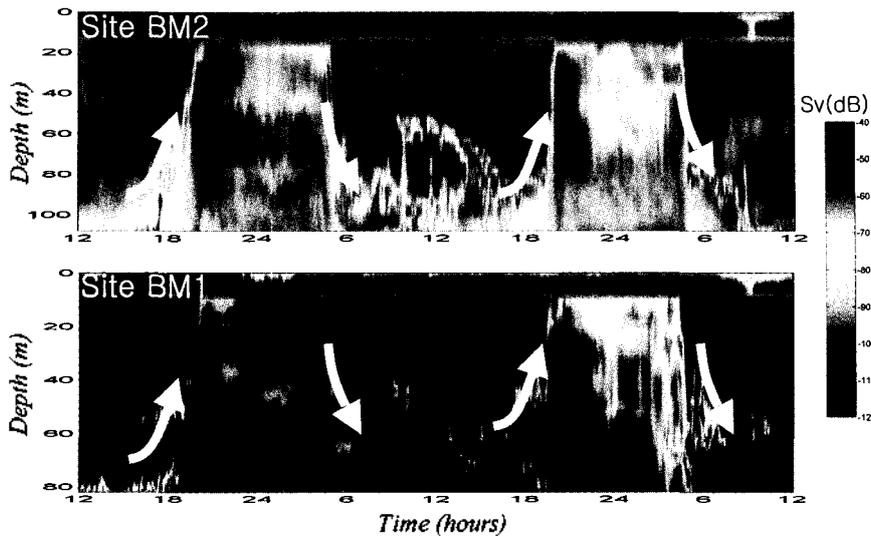


그림 11. 수심과 시간에 따른 300 kHz 체적 산란강도의 일주기 변화
 Fig. 11. Daily variations of 300 kHz volume scattering strength vs. depth and time.

면 부근에서 주로 활동하는 형태인 일주기 변화를 보인다 (그림 11). 이러한 양상은 국립수산과학원 자료와 그림 11의 체적 산란강도 변화 형태를 종합해 볼 때 동물플랑크톤의 일주기 수직이동으로 추정할 수 있다.

주기 변화 양상은 동물플랑크톤의 서식 특성과 기타 자료를 종합해 볼 때, 실험해역의 우점종인 Copepoda에 의한 일주기 수직 이동임을 알 수 있었다. 이러한 동물플랑크톤의 수직 이동 특성은 수심에 따른 체적 산란강도의 변화에 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다.

IV. 결론

본 연구의 중점은 천해 체적 산란강도의 시변동성 파악에 있다. 천해 20 m 수심에서의 1200 kHz 체적 산란강도 자료에 대한 경험적 직교함수 분석 결과 대부분의 변동성은 해저면 부근에서 발생되고 있는 것으로 나타났다. 제 1모드의 시간계수에 대한 약 8일과 5일 주기는 ADCP 온도 센서에 의한 해저면 수온 변화의 주기와 거의 일치하고 있으며, 이것은 해저면 수온 변화의 양상이 실험 기간 중 북한한류계수가 연안으로 확장되는 것과 관련 있는 것으로 생각된다. 특히 극 천해에서는 해상풍과 해류의 흐름이 체적 산란강도 변화에 많은 영향을 주는데, 이러한 해류의 흐름 방향이 급변하는 경우, 퇴적물의 부유로 인하여 해저면 부근의 체적 산란강도가 높게 나타남을 알 수 있었다. 그리고 해수면 부근의 미세 공기방울에 의한 체적 산란강도 변화는 평균적으로 높게 나타났으며, 만약 표층 부근의 자료가 충분했다면 경험적 직교함수 분석 결과 제 1모드에 대한 변동 양상은 다르게 나타났을 가능성이 높다고 판단된다.

또한 수심과 시간에 따른 300 kHz 체적 산란강도의 일

감사의 글

본 연구는 2001년도 한양대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었으며, ADCP 자료를 제공해 준 서울대학교 해양순환연구실에 감사드립니다.

참고 문헌

1. S. T. McDaniel, "Sea surface reverberation: A review," *J. Acoust. Soc. Am.*, 94 (4), 1905-1922, 1993.
2. K.-I. Chang, W.-S. Kim, M.-S. Suk and Y.-H. Ahn, "Variation of backscatter strength and Doppler currents on the continental shelf," International Workshop, Ansan, Korea, 2000.
3. C. Feuillade, R. W. Nero and R. H. Love, "A low-frequency acoustic scattering model for small schools of fish," *J. Acoust. Soc. Am.*, 99 (1), 196-208, 1996.
4. D. V. Holliday and R. E. Pieper, "Volume scattering strength and zooplankton distributions at acoustic frequencies between 0.5 and 3 MHz," *J. Acoust. Soc. Am.*, 67 (1), 135-146, 1980.
5. P. M. Ogden and F. T. Erskine, "Surface and volume scattering measurements using broadband explosive charges in the Critical Sea Test 7 experiment," *J. Acoust. Soc. Am.*, 96

(5), 2908-2920, 1994.

6. D. E. McGehee, C. F. Greenlaw, D. V. Holliday and R. E. Pieper, "Multifrequency acoustical volume backscattering patterns in the arabian Sea-265 kHz to 3 MHz," *J. Acoust. Soc. Am.* **107** (1), 193-200, 2000.

7. X. H. Zhu, Y. Takasugi, M. Nagao and E. Hashimoto, "Diurnal cycle of sound scatters and measurements of turbidity using ADCP in beppu bay," *Journal of Oceanography*, **56**, 559-565, 2000.

8. 나정열, 박정수, "한국 해협에서 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)의 음파 산란신호에 의한 동물플랑크톤 분포의 추정," *한국해양학회지* **24** (4), 172-183, 1989.

9. 국립수산과학원, *해양조사연보* **49** (2000년도 조사결과), 2001.

10. J.-Y. Na, S.-K. Han, J.-W. Seo, Y.-G. Noh and I.-S. Kang, "Empirical orthogonal function analysis of surface pressure, sea surface temperature and winds over the east sea of the korea (Japan Sea)," *J. Korean Fish. Soc.* **30**, 188-202, 1997.

11. R. W. Preisendorfer and C. D. Mobley, *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*, ELSEVIER, New York, 1988.

12. K. L. Deines, "Backscatter estimation using broadband acoustic doppler current profilers," *Proc. IEEE Conf.*, San Diego, 1999.

13. 조창봉, "동해시 연안역의 시-공간적 물성변화," 서울대학교 대학원 지구환경과학부, 이학석사논문, 2001.

14. J. C. Novarini and G. V. Norton, "Acoustic index of refraction in the background bubble layer of the ocean: an updated bubble spectrum and the computer program CBUBBLY,"

Naval Research Lab Rept., NRL/FR/7181-93-9432, 1994.

15. J. Wu, "Bubbles in the near-surface ocean: a general description," *J. Geophys. Res.* **93** (C1), 587-590, 1988.

16. L. M. Brekhovskikh and Yu. P. Lysanov, *Fundamentals of Ocean Acoustics*, Springer-Verlag, New York, 1982.

17. 윤관섭, "잔향음 특성 파악을 위한 해저면 산란 신호의 분석 기법," 한양대학교 대학원 지구해양과학과, 이학석사논문, 2001.

저자 약력

● 박 경 주 (Kyungju Park)

한국해양학회지 제20권 제6호 참조

● 김 은 혜 (Eunhye Kim)

2000년 8월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학사)
 2001년 3월~ 현재: 한양대학교 지구해양과학과 석사과정
 * 주관심분야: 수중음향

● 강 돈 혁 (Donhyug Kang)

한국해양학회지 제20권 제5호 참조

● 나 정 열 (Jungyul Na)

한국해양학회지 제21권 제8호 참조