

## 울진 해역에 있어서의 음향산란층 분포에 관한 연구

황두진·김동언·손용욱·정순범·김은호·채진호\*·조기량

여수대학교·\*한국수권환경연구센터

### 서론

지구 온난화 현상과 같은 해양환경의 변화로 최근 우리나라 전 해역에 걸쳐 해파리가 출현하면서 수산자원에 막대한 피해를 끼치고 있으며, 원자력 발전소에서 취수시 취수구에 해양생물이 대량 유입됨에 따라 발전정지나 출력 감발 등의 문제를 일으키고 있다(해양연구원 2004). 울진 원자력발전소 취수시 발생하는 제반 문제에 대한 친환경적인 해결방안을 찾기 위해 해외 연구 사례를 도입하거나 해파리, 크릴새우 등의 주요 취수구 유입 생물의 생활사 연구, 유입원인 규명을 위한 환경요소 분석 및 유입 방지 방안 등을 모색 해볼 필요가 있다. 취수구에 대량으로 유입하는 해양 생물은 1999년과 2004년 2월의 멸치, 2003년 6월의 살파(*Salpa fusiformis*)등을 제외하면 해파리와 난바다곤쟁이(크릴, *Euphausia pacifica*)가 가장 빈번하고 심각한 사고를 일으키는 종으로 그 종류가 비교적 단순하게 나타나고 있었으며, 그 중에서도 크릴(*Euphausia pacifica*)의 경우는 2001년 4월 30일부터 5월 1일까지 200톤이 넘는 양이 유입되어 순환수 펌프 4대를 몇개 하여 발전을 정지시켰다(한국해양연구원, 2004). 크릴(*Euphausia pacifica*)로 인한 사고를 방지하기 위해서는 군집을 형성하는 경향과 군집의 이동경로를 파악하고, 그 메커니즘을 이해해서 사전에 대비하는 것이 무엇보다 중요하리라 생각된다.

본 연구는 원전의 취수구에 대량으로 유입되어, 원전의 운전에 지장을 초래하는 크릴(*Euphausia pacifica*)의 분포 특성과 이동경로 및 그 메커니즘을 파악하기 위하여 2003년 3월과 6월에 울진 연안에서 계량어군탐지기와 개폐식 네트를 이용하여 음향 산란층의 종조성과 분포 특성을 파악하고, 동물플랑크톤의 밀도를 추정하였으며, 이를 통하여 음향을 이용한 동물플랑크톤의 현존량 추정을 시도하여 보았다.

### 재료 및 방법

#### 음향에 의한 분포 조사

2003년 3월과 6월에 계량어군탐지기를 이용한 음향 산란층의 분포 조사는

그림 1의 해역에서 소형선박(6.7G/T)의 현측 수심 1m에 알루미늄 합금으로 만든 사각 파이프에 200kHz 듀얼빔(dual beam) 방식 진동자(DT5000, Biosonics)를 고정하여 설치하였으며, GPS(GP-50, FURUNO) 수신기로부터 연속적으로 위치 정보를 수신하여 Echo sounder unit에 입력하였다. 또, 노트북(IBM)에 위치정보가 입력된 에코데이터를 연속적으로 화면에 나타내면서, 동시에 각 정선(Survey line)별로 디지털화되어 컴퓨터의 하드디스크에 수록하였다. 에코데이터는 후일 실험실에서 재생하여 에코데이터 분석 소프트웨어(Echoview 3.00, Sonar Data)를 이용하여 처리하였다(그림2).

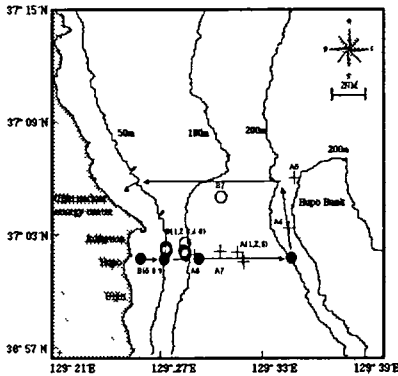


그림 1. 조사해역 및 정점.

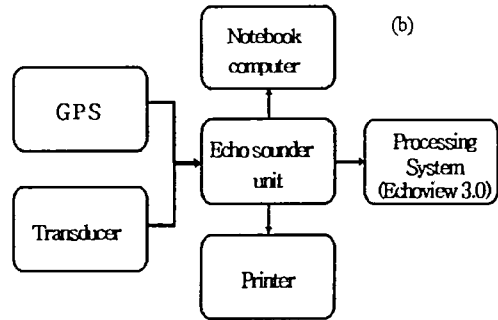


그림 2. 음향자료의 수집 및 분석.

#### 개폐식 네트에 의한 분포 조사

조사 정점에서 개폐식 네트(close-open-close net, mesh aperture 300 $\mu$ m, mouth diameter 0.6m)를 이용하여 주·야간으로 음향 산란층내의 동물플랑크톤을 채집하였으며, 그 분포를 파악하고자 하였다.

조사는 2003년 3월 12일부터 13일까지는 그림 1의 “+”정점에서, 2003년 6월 4일부터 5일까지는 그림 1의 “○”정점에서 주·야간 연속적으로 실시하였다. 먼저, 계량어군탐지기를 이용하여 음향 산란층을 관찰하고, 계량어군탐지기의 에코 그래프로부터 음향 산란층 분포 위치와 수심을 파악한 다음, 분포 수심과 일치하도록 채집망을 투하하여 선속을 3~4knots로 10~30분간 예망하였다. 예망한 채집망이 원하는 위치에 투하되었는지를 확인하기 위해 수심측정기(Temperature and depth recorder, TDR)를 부착하였다.

개폐식 네트에 여과된 해수의 양은, 네트 입구에 유량계(Flowmeter)를 설치하여 계산하였으며, 시료는 채집 즉시 배 위의 현장에서 중성 포르말데히드 수용액으로 최종 농도가 4%가 되도록 고정하여 실험실로 운반하였다. 후일 실험실에서 Folsom 타입의 분할기구(Folsom divider or splitter)로 균등하게 분할하여 해부 현미경(MZ 12.5 PlanApo, Leica)으로 관찰하여 동정하고 개체수를 파악하였다.

#### 음향에 의한 밀도추정

일반적으로 음향 산란층의 밀도를 추정하기 위해서는 음향 산란층을 구성

하는 생물별 개체당 반사강도(Target Strength, TS)를 구하고, 또 네트에 의해 채집된 생물의 종구성비를 조사한 다음 이들의 구성비를 이용해 음향 산란층의 밀도를 구하는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 네트채집으로부터 구한 크릴(*Euphausia pacifica*)의 체장 분포와 DWBA모델에 의한 이론TS, 그리고 계량어군탐지기로부터 얻은 체적산란강도SV(dB)를 이용하여 다음의 식 (1)~(3)으로부터 네트로 채집한 수층에 있어서의 밀도를 추정하였다.

$$SV(dB) = \overline{\rho_n} TS \quad (1)$$

$$\overline{\rho_v} = \overline{\rho_n} w \quad (2)$$

$$\overline{\rho_v} = (SV/TS) \overline{w} \quad (3)$$

단, 여기서 SV는 체적당 산란강도(dB), TS는 크릴의 초음파산란강도(dB),  $\overline{\rho_v}$ 는 체적당 중량 밀도(g/ m<sup>3</sup>),  $\overline{\rho_n}$ 은 체적당 개체수 밀도(indi/ m<sup>3</sup>),  $\overline{w}$ 는 개체당 평균습중량(g)이다.

## 결과 및 고찰

### 음향 산란층을 구성하는 생물의 종조성

개폐식 네트(Close-open-close net)를 이용하여 울진 연안에서 얻은 플랑크톤의 종조성은 Folsom 분할 법으로 구하였으며, 각 정점에서 다수의 음향 산란층이 존재할 경우 1~2개의 수심에서 채집을 하였다.

그림 3(a)는 2003년 3월 13일부터 14일까지 조사 해역에 있어서 개폐식 네트를 이용하여 구한 음향 산란층에서 존재하는 동물플랑크톤의 종조성 비를 나타낸 것이다. Fig.4(a)에서 보는 바와 같이 2003년 3월 조사 해역에 있어서 음향 산란층을 구성하고 있는 동물플랑크톤은 크릴(*Euphausia pacifica*) 38%, 요각류(copepods) 29%, 모약뿔물(chaetognaths) 23%, 그리고 단각류(amphipods) 10%로 나타났다.

그림 3(b)는 2003년 6월 4일부터 5일까지 조사 해역에 있어서 채집망을 이용하여 구한 동물플랑크톤의 종조성 비를 나타내는 것으로, 요각류 43%로 다소 높은 비율을 차지하고 있지만, 3월과 마찬가지로 크릴(*Euphausia pacifica*)이 51%로 우점하는 종으로 나타나고 있다. 이상 두 계절(봄,여름) 동안 음향산란층을 구성하는 생물의 종조성을 파악한 결과 크릴(*Euphausia pacifica*)이 동물플랑크톤 종 중에서 가장 우점하는 종으로 나타나고 있음을 확인 할 수 있다.

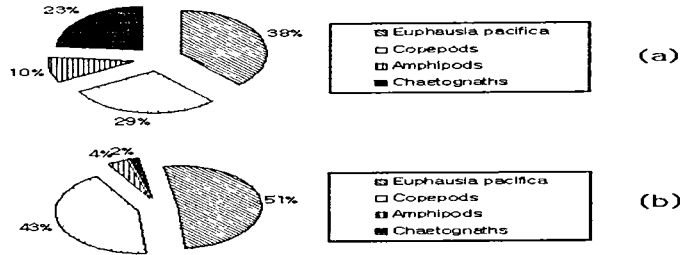


그림 3. Close-open-close net 채집에 의한 동물플랑크톤의 종조성.

### 음향자료에 의한 밀도 추정

크릴의 이론 모델에 의한 TS, 길이분포와 습중량 자료 그리고 현장에서 수집한 체적후방산란강도(SV)를 이용하여 생물의 밀도를 구하였다. 먼저, 2003년 3월의 경우, A<sub>1</sub>-A<sub>5</sub>정점에서는 음향산란층이 형성되지 않았고, A<sub>7</sub>정점에서는 체적후방산란강도(SV)가 매우 낮게 나타나 밀도계산이 곤란하였다. 다만 A<sub>6</sub>정점에 있어서 체적후방산란강도(SV)가 -63.9dB 전후로 나타나, 이를 밀도로 환산한 결과 수심 25m에서 232.2mg/m<sup>3</sup>, 30m에서 266.9mg/m<sup>3</sup>이었다. 2003년 6월의 경우는 3월에 비해 높은 밀도의 음향산란층이 넓게 분포하고 있었으며, 대부분의 정점에서의 체적후방산란강도(SV)가 -55.9~-71.2dB로 나타났다. 이를 밀도로 환산한 결과 152.2~345.8mg/m<sup>3</sup>으로 나타났다.

### 네트 채집에 의한 밀도

2003년 3월과 6월, 조사 해역에서 개폐식 네트를 이용하여 채집한 결과로부터 각 동물플랑크톤의 밀도를 구하였다. 본 연구에서는 채집망 시료 분석 결과 우점종으로 나타난 크릴(*Euphausia pacifica*) 밀도만을 선별하여, 각 정점에 있어서 채집시간과 수심에 따라 크릴의 밀도를 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 2003년 3월의 경우, 그림 4에서 보는 바와 같이 A<sub>1</sub>-A<sub>4</sub> 정점에서는 수심이 깊은 저층에서 크릴(*Euphausia pacifica*)이 분포하였으며, 크릴의 분포밀도는 37.3~291.2 mg/m<sup>3</sup>였다. 반면, A<sub>5</sub>-A<sub>7</sub> 정점에서는 수심 30m 이심에서 크릴(*Euphausia pacifica*)이 분포하고 있었으며, 크릴의 밀도는 68.4~718.3 mg/m<sup>3</sup>으로 나타났다. 2003년 3월, 조사 해역에서의 채집망에 의한 크릴의 평균밀도는 성체와 미성어(juveniles)를 합쳐서 188.4 mg/m<sup>3</sup>이었다.

2003년 6월의 경우는 그림 5에서 보는 바와 같이, 음향 산란층에는 크릴 알과 유생들이 많이 포함되어 있었으며, 크릴의 밀도도 3월에 비해 20배 이상 높게 나타났다. 각 정점별로는 채집이 주간 이루어진 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>7</sub>에서 크릴의 밀도가 33.5~741.8 mg/m<sup>3</sup>으로 아주 낮게 나타났으며, 반면에 야간에 채집이 이루어진 B<sub>3</sub>-B<sub>6</sub>와 B<sub>8</sub>-B<sub>9</sub>정점에서는 크릴의 밀도가 149.8~4537.6 mg/m<sup>3</sup>으로 매우 높게 나타났다. 2003년 6월, 조사 기간 동안 조사 해역에서 채집망에 의한 크릴의 평균 밀도는 성체와 미성어를 합쳐서 1548.6 mg/m<sup>3</sup>이었다.

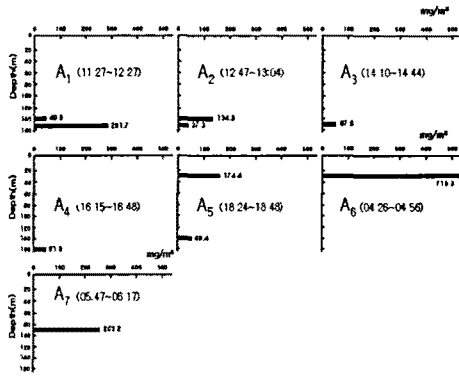


그림 4. 채집수심 및 채집망을 이용하여 구한 크릴의 밀도(2003.3).

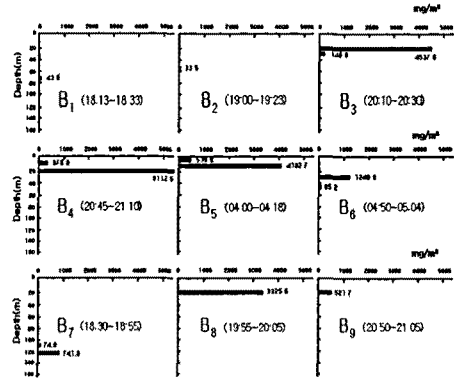


그림 5. 채집수심 및 채집망을 이용하여 구한 크릴의 밀도(2003.6).

### 참고문헌

- Aoki, I. and T. Inagaki. 1992. Acoustic observation of fish schools and scattering layers in a Kuroshio warm-core ring and its environs. *Fish. Oceanogr.*, 1, 137-142.
- Chou, S.C., M.A. Lee and K.T. Lee. 1999. Diel vertical movement of the deep scattering layer on the continental slope of I-Lan Bay, Taiwan. *Fish. Sci.*, 65, 694-699.
- Donhyug Kang, Doojin Hwang, Hoyoung Soh, Yangho Yoon, Haelip Suh, Youngjoo Kim, Hyunchul Shin and Kohji Iida. 2003. Density Estimation of euphausiid (*Euphausia pacifica*) in the Sound Scattering Layer of the East China Sea. *J. Kor. Fish. Soc.* 36(6), 749-756.(in korea)