

동중국해 음향 산란층내의 euphausiid (*Euphausia pacifica*) 밀도 추정

강돈혁 · 황두진^{1*} · 서호영² · 윤양호¹ · 서해립³ · 김용주¹ · 신현출¹ · Kohji IIDA
북해도대학 수산과학연구과, ¹여수대학교 수산해양대학
²여수대학교 수산과학연구소, ³전남대학교 지구환경과학부

Density Estimation of an Euphausiid (*Euphausia pacifica*) in the Sound Scattering Layer of the East China Sea

Donhyug KANG, Doojin HWANG^{1*}, Hoyoung SOH², Yangho YOON¹
Haelip SUH³, Yongju KIM¹, Hyunchul SHIN¹ and Kohji IIDA
Laboratory of Marine Environment and Resource Sensing, Hokkaido University, Japan
¹*School of Fisheries and Ocean Science, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea*
²*Fisheries Sciences Institute, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea*
³*Department of Oceanography, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea*

Hydroacoustic and open-closing zooplankton net survey were conducted to understand the characteristics of the sound scattering layer (SSL) and to estimate the density of an euphausiid (*Euphausia pacifica*) in the SSL, in the northwestern part of the East China Sea. The survey was carried out during July 6-9 2002 at 8 sampling stations for zooplankton. The virtual echogram technique was used to identify *E. pacifica* from all acoustic scatters. Mean volume backscattering strength difference (MVBS_{120kHz-38kHz}) and target strength equation for *E. pacifica* were derived from the Distorted-wave Born Approximation (DWBA) model. Although vertical migration of the SSL is similar to the general pattern, dispersion at night shows some differences. Estimated mean density using acoustic data ranged from 20.4-221.4 mg/m³ over the whole depth, and 87.1-553.5 mg/m³ in the SSL. The density using the zooplankton net ranged from 0.2-362.4 mg/m³ and was not related to net deploying method. The results from the acoustic and net survey suggest that *E. pacifica* might be an important zooplankton community in the northwestern part of the East China Sea.

Key word: Acoustic survey, East China Sea, Euphausiid, *Euphausia pacifica*, Sound scattering layer, Volume backscattering strength difference

서 론

해양의 음향 산란층 (sound scattering layer, SSL) 혹은 심해 산란층 (deep scattering layer, DSL)의 존재는 1940년대에 처음 발견된 이후 전 세계 많은 해역에서 관측이 되고 있다 (Lee et al., 1999; Medwin & Clay, 1998). SSL은 여러 종류의 동물플랑크톤과 일부 소형 어류 (nekton) 등으로 구성되어 있으며, 이들은 특정 해역의 해양 환경에 따라 다양한 분포 특성을 보여주고 있다. SSL을 구성하는 동물플랑크톤과 소형 어류는 포식자와 피식자의 먹이 사슬 구조에 의해 식물플랑크톤의 분포에 민감하게 반응을 한다. 이에 따라 계절적 변동이나 해양의 물리·화학 요소에 따라 분포 중심이 해역마다 다양하며, 일반적으로 해수면 부근에서 수 백 미터의 수층까지 분포하며 일주기 변동의 급집 이동 특성을 강하게 보여주고 있다 (Medwin and Clay, 1998). SSL을 구성하는 중요 동물플랑크톤 분포 특성의 파악은 해양생물학 측면에서 생태계의 이해뿐만 아니라, 어류의 먹이에도 중요한 구성 요소이므로 수산자원

연구 분야에도 고려해야 할 중요 연구 사항이다.

기존의 동물플랑크톤 채집 방법으로는 전체적인 현상 규명이 힘들었던 SSL의 존재 및 특성 파악은 다양한 수중음향 장비의 개발로 가능해졌다. SSL에 관한 초기의 많은 연구는 주로 SSL의 존재 유무에 초점이 맞추어졌으나, 최근에는 분포 파악과 함께 생물량 추정의 단계로까지 발전하고 있다 (Mitson et al., 1996; David et al., 1999). 이를 위하여 SSL과 함께 이동을 하는 어류와 같은 포식자를 음향 자료에서 분리해내는 다양한 방법-1. 사전에 알고 있는 어류의 생태학적 특성을 고려하여 임의의 수층까지만 음향 자료를 적분하는 방법 (Gerlotto, 1993), 2. 신경망 회로 기법을 이용한 방법 (Simmonds et al., 1996; Kim et al., 1998), 3. 다중 주파수의 음향 특성에 따라 임의의 수층에 분포하는 어종만을 선택하는 방법 (Miyashita et al., 1997)-들이 제시되고 있으며, 최근에는 주파수 차이에 의한 방법이 광범위하게 사용되고 있다.

대륙붕이 광범위하게 형성된 동중국해는 쿠로시오 해류를 비롯하여 대만 해류, 중국 연안류와 계절적인 해상풍의 영향

*Corresponding author: djhwang@yosu.ac.kr

으로 다양한 해양 환경이 형성되고 있다 (Han et al., 1995; Lie and Cho, 2002). 이러한 해양 환경의 시변동성은 SSL를 비롯한 식물 플랑크톤, 어류 등 모든 해양 생물의 분포에 직접적인 영향을 주고 있다.

동중국 해역에서 SSL에 대한 연구는 1980년 중반부터 시작되어 최근까지 진행되고 있으며, 대부분이 SSL의 존재 파악 및 수직 이동 특성 (Lee et al., 1990; Aoki and Inagaki, 1992; Chou et al., 1999)에 연구의 주 목적을 두었다. 이러한 현상 파악만의 연구는 수산음향과 네트 채집이라는 방법론의 차이와 두 자료의 연관성 부족으로 발생했으나 최근에는 직·간접적인 두 방법 모두를 사용함으로써 상호 보완하는 방향으로 연구가 진행중이다. 최근에, SSL의 음향 신호로부터 구성 동물플랑크톤의 종조성을 파악하기 위하여 퍼지 이론을 적용하였으나 채집 자료와의 연관성 규명보다는 수괴에 따른 동물플랑크톤의 분포 특성을 기술하는데 그치고 있다 (Liao et al., 1999).

본 연구는 앞에서 기술한대로 음향 기법을 이용한 동중국해 SSL의 많은 연구가 분포 특성 및 현상 파악에 한정된 점을 주목하여 이에 대한 개선 방향으로 SSL의 특성 및 밀도 추정 등 실질적인 접근법을 시도하고자 하였다. 이를 위해 간접적인 조사 방법인 수산음향 조사와 직접적인 네트 채집 조사로부터 동중국해 SSL을 이루는 동물플랑크톤 음향 산란체의 분포 특성을 파악하였다. 특히, 한국 남해안 일부를 포함하는 동중국해 북서 해역에서 관측된 음향 자료와 채집 자료를 이용하여 어류 신호가 제거된 SSL의 분포 특성과 SSL내에 존재하는 euphausiid의 일종인 *Euphausia pacifica* 신호만을 이용하여 밀도를 계산하였다.

재료 및 방법

음향 관측 및 동물플랑크톤 채집

현장 조사는 2002년 7월 6-9일에 걸쳐 여수대학교 실습선 동백호 (1,057톤)를 이용하였다. 조사 지역 (31°-34°N, 124°-128°E)은 제주도 주변 해역을 포함한 동중국해의 북서 해역으로 제주도와 중국 상하이를 연결하는 곳이다 (Fig. 1). 관측 지역의 해저 지형은 최대 수심 140 m 부근인 제주 해협 부근을 제외하고는 대부분의 지역이 대륙붕 지역으로 30 m에서 100 m까지 완만한 대륙사면이 발달되어 있는 곳이다.

음향 관측은 조사선의 선저에 설치된 38 kHz (ES38B), 120 kHz (ES120_7) split-beam 음향 센서인 과학어군탐지기 EK500 (Simrad, version 5.20)을 이용하였다. 두 주파수간 ping 간격은 0.5초이며, threshold 값은 -75 dB였다. 자료 처리를 위해 수신된 음향 신호는 위치 정보와 함께 음향 적분기인 B1500에 저장하였다. 음향 센서 보정은 센서를 조사선에 설치하기 전에 해수 수조에서 실시하였다.

해양환경 관측은 총 8개의 정점에서 이루어졌으며, 모든 정점에서 CTD와 동물플랑크톤 채집을 실시하였다. 동물플랑크톤 채집은 개폐식 네트 (open-closing net, 망목 320 μ m, 망구

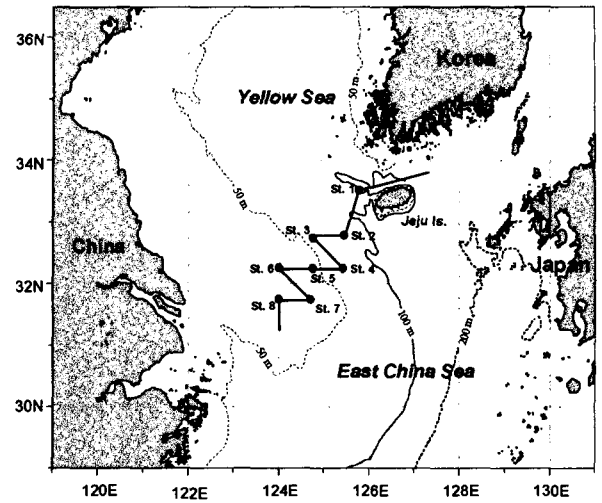


Fig. 1. Map of the acoustic transect and ocean environmental survey of the East China Sea during July 6-9, 2002.

1 m)를 이용하여 수직 채집과 경사 채집을 병행하였다. 네트 입구에 유량계를 설치하였으며, 경사 채집의 경우 일부 정점에서는 수심 변화를 알기 위하여 압력 센서 (time depth recorder, TDR)를 설치하였다. 전 조사 정점에서 경사 채집 속도는 약 2 노트의 선속으로 약 20-30 분간 실시하였으며, 수직 채집은 약 1 m/s 속도로 하였다. 채집된 동물플랑크톤은 중성 포르말린으로 고정하였다. 한편, 연구 지역의 어획물 조성 정보를 위하여 저층 트롤을 4개 정점을 중심으로 실시하였으나 본 연구에서는 SSL의 특성만을 보았으므로 제외시켰다.

Fig. 2는 St. 1에서 채집한 *E. pacifica*의 길이 분포 및 습중량과의 관계를 나타내고 있다. 7 mm 이상인 juvenile과 성체의 평균 길이가 약 11 mm 정도되는 분포를 하고 있었다. 전체 연구 지역에서 길이 분포는 St. 1에서 채집한 길이 분포와 비슷한 경향을 보인다고 가정하여 길이-습중량과의 관계식을 음향 자료에 의한 밀도 계산에 이용하였다.

전체 음향 신호에서 SSL의 추출

에코그램에서 어류 신호를 제거하기 위해 다중 주파수의 평균 체적산란강도 차이법(mean volume backscattering strength difference, MVBS)을 이용하였다 (Miyashita et al., 1997; Watkins and Brierley, 2002). 체내에 부레를 가지고 있는 어류는 주파수 특성에 의해 상대적으로 저주파인 38 kHz에서, 부레가 없는 동물플랑크톤은 고주파인 120 kHz에서 강한 체적산란강도 (S_v)를 가지게 된다. 그러므로 동일한 조사선 이동 시간 (10초)과 수심 (1 m)을 고려한 해수 체적에서, SSL에 대한 주파수별 S_v 를 가상 에코그램 기법을 사용하는 echoview software (version 2)를 사용하여 각각의 셀로 나누었다 (Higginbottom, 2000; SonarData, 2000).

나누어진 두 주파수의 셀에서 SSL 내에 존재하는 *Euphausia pacifica*을 분리해 내기 위해 Distorted-wave Born Approxima-

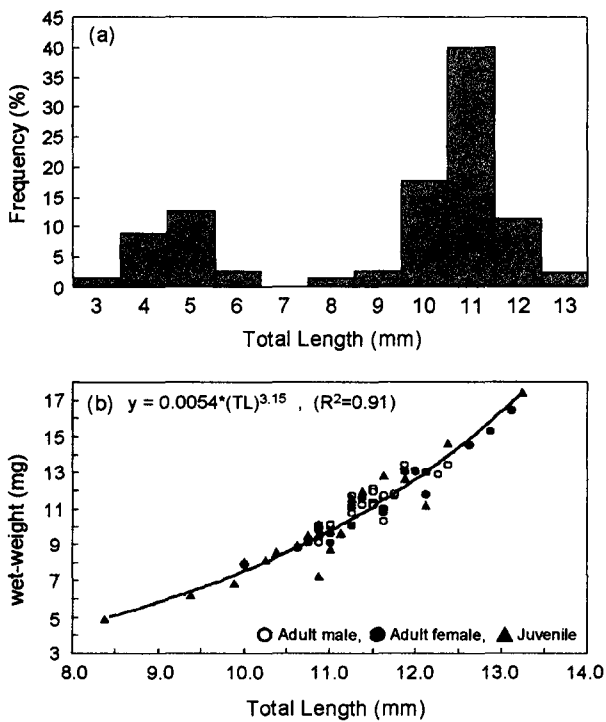


Fig. 2. Length frequency (a) and wet weight-total length (TL) (b) of collecting *Euphausia pacifica* in sound scattering layer at Station 1.

tion (DWBA) 모델로부터 크릴의 산란강도 특성을 이용하였다 (McGehee et al., 1998). 임의의 길이를 가지고 있는 *E. pacifica*을 DWBA 모델로 계산할 때, 개개 주파수에 대한 TS (target strength) 정보를 예측할 수 있으며 이때 TS와 후방산란 계수의 관계로부터 체적 후방산란강도의 차이를 유도할 수 있다.

DWBA 모델에 적용하기 위하여 채집된 *E. pacifica* 가운데 juvenile 단계 이상의 평균 길이를 나타내는 11 mm를 이용하였다. *E. pacifica*을 여러 격자로 분리한 후, 분리된 각 격자의 실린더로부터 후방산란음압 (f_{bs})과 후방산란단면적 ($\sigma_{bs} = |f_{bs}|^2$, 단위: m^2)으로부터 주파수와 길이를 동시에 고려하는 TS를 계산하였다 (Fig. 3(a)). 이때 입사각에 대한 *E. pacifica*의 평균 유평 자세각은 Miyashita et al. (1996)이 관측한 평균 각도 30.4° , 표준편차 19.9° 의 자세 변화로부터 계산된 확률밀도함수를 입사각에 대한 TS에 적용하였다.

$$f_{bs} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{k_1^2 a}{4k_2} (\gamma_x - \gamma_r) e^{2jk_2 r} \frac{J_1(2k_2 a \cos \beta_{int})}{\cos \beta_{int}} |dr_{pos}| \quad (1)$$

식 (1)에서, 아래 첨자 1은 해수를, 2는 산란체 체내를 나타낸다. k 는 파수 ($=2\pi/\lambda$), a 는 실린더 단면적의 반경, $\gamma_x = (x_2 - x_1)/x_1$, x 는 압축율 ($=1/\rho c^2$), ρ 와 c 는 산란체의 밀도와 음속, $\gamma_r = (\rho_2 - \rho_1)/\rho_1$ 이다. 한편, r_{pos} 는 *E. pacifica* 중심에서의 위치 벡터, β_{int} 는 입사각과 실린더간의 각도, J_1 은 제

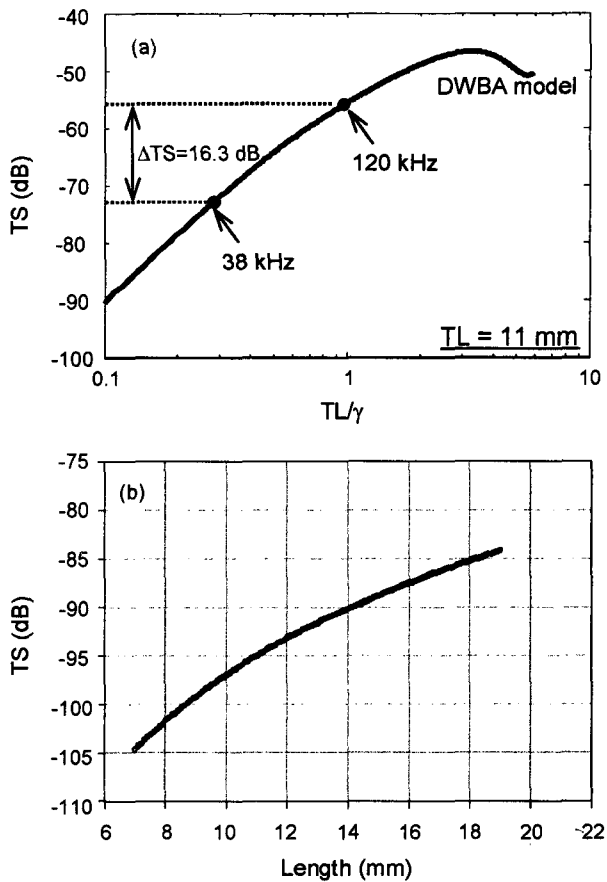


Fig. 3. TS estimation based on Distorted-wave Born Approximation model. (a) shows TS difference from total length with 11 mm, and (b) represents TS-total length curve at 120 kHz, $TS (dB) = -135.5 + 39.4 \log (TL, mm)$.

1차 Bessel 함수이다. 한편, DWBA 모델식을 이용하여 자원량 계산에 필요한 길이에 따른 산란강도 함수를 120 kHz 주파수에 대해 계산하였다 (Fig. 3(b)).

채집된 *E. pacifica*은 약 3-13 mm의 길이 분포를 보여주고 있다. 본 연구에서 채집된 최대 길이 13 mm는 북태평양에 존재하는 *E. pacifica*의 평균 길이에 근접한다. 따라서 길이 분포를 평균에 대한 정규 분포로 가정한다면 juvenile과 성체의 길이 분포는 평균 길이 13 mm로부터 최소 7 mm에서 최대 19 mm에 이르게 된다.

체장을 TL (단위: m)이라 하면, DWBA 모델로 예측되는 산란체의 상대적 산란강도 (relative TS, $TS_{rel} = 10 \log_{10} [\sigma_{bs} / (TL)^2]$)는 최소 길이 (7 mm)를 고려했을 때, 38 kHz, 120 kHz에서 각각 -79.5 dB, -60.6 dB, 최대 길이 (19 mm)에서는 각각 -59.8 dB, -48.7 dB로 계산되었다. 임의의 해수 체적의 평균 후방산란강도 ($\langle S_r \rangle$)는 존재하는 산란체의 전체 개체수 (N_b), 각각의 산란체 길이에 의한 후방산란 단면적과 개체수의 함수인 식 (2)로 표현된다. 따라서, 동일한 체적에서 수신된 두 주파수의 에코그램에서 *E. pacifica* 만을 고려한

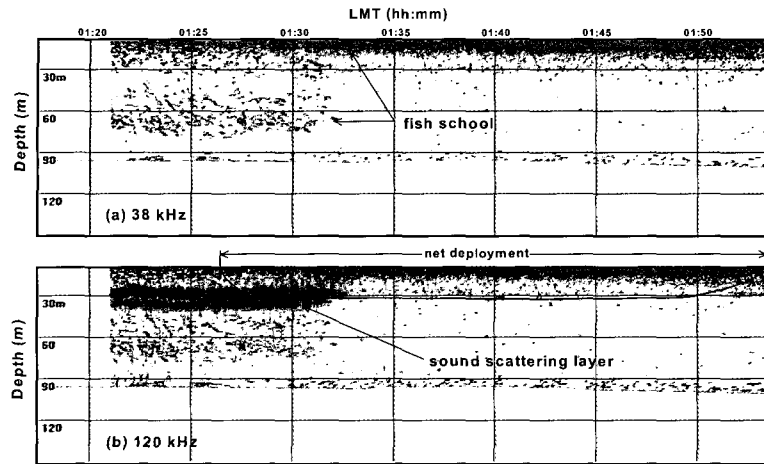


Fig. 4. Two frequencies echogram obtained from station 1. Sound scattering layer appeared around 30 m depth. Net was deployed at sound scattering layer during 20 minutes.

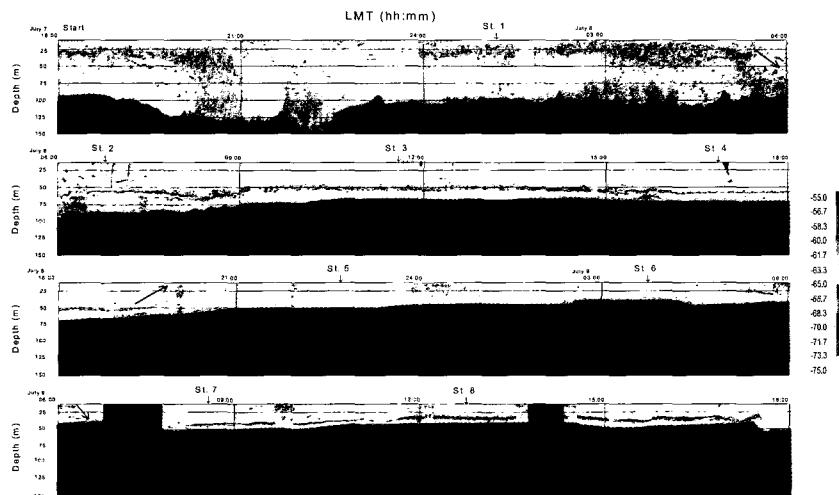


Fig. 5. Vertical migration pattern of sound scattering layer in the northwestern part of the East China Sea. Acoustic measurement was conducted on July 7-9, 2002.

MVBS_{120kHz-38kHz} 범위는 다음의 범위를 가지게 된다.

$$\langle S_v \rangle \approx \frac{1}{N_b} \sum_i n_i |\sigma_{bsi}| \quad (2)$$

$$11.9 \text{ dB} < \text{MVBS}_{120\text{kHz}-38\text{kHz}} < 19.7 \text{ dB} \quad (3)$$

Fig. 4는 St. 1에서 관측된 전체 에코그램을 나타내고 있다. 자정이 조금 지난 시간으로 동일한 시간대와 공간임에도 불구하고 38 kHz와 120 kHz에 나타나는 음향 에코그램의 형태가 다르게 나타나고 있다. 120 kHz의 에코그램에서는 24-40 m 근처에서 SSL이 존재하고, 표층 부근과 60 m 근처에서는 어류의 음향 특성이 존재하고 있다. 120 kHz의 빨간 실선은 수평 방향으로 네트를 채집한 경로이다.

동일한 체적 내에서 MVBS_{120kHz} 값과 MVBS_{38kHz}의 차이를 계산하기 위하여 수평거리 10 m, 수직거리 1 m의 가상 셀로

전체 에코그램을 분리한 후, 이때 각각의 셀에서 계산된 MVBS_{120kHz-38kHz}가 식 (3)을 만족하는 셀만을 추출하여 크릴에 의한 신호로 판별하였다 (Higginbottom, 2000).

SSL내의 크릴 밀도 계산

*E. pacifica*로 판별된 각 셀로부터 얻어지는 S_v 값, 채집자료로부터 얻어진 길이-무게 관계식과 DWBA 모델로부터 계산한 길이별 TS 함수로써 *E. pacifica*의 밀도를 계산하였다. 이때, 수신된 S_v 값은 최근 과학어군탐지기에서 임의의 수심에 대한 체적 후방산란단면적의 합으로 표현하는 S_A 로 상호변경이 가능하므로 ($S_v \leftrightarrow S_A$), 본 계산에서는 S_A 값을 이용하였다 (Hewitt and Demer, 1993). 각 단계별 계산식은 다음과 같다.

$S_v \leftrightarrow S_A$ 관계식:

$$S_A = 4\pi r_0^2 1852^2 \int_{z_1}^{z_2} S_v dz \quad (4)$$

산란체의 길이-무게 관계식:

$$w \text{ (mg)} = 0.0054 \cdot (TL)^{3.15} \quad (5)$$

DWBA 모델에 의한 TS 함수식:

$$TS_{120kHz} = -135.5 + 39.4 \log_{10}(TL) \quad (6)$$

$$\text{밀도: } \rho \text{ (mg/m}^2\text{)} = (w/\sigma_{bs}) \cdot S_A \quad (7)$$

식 (4)에서 r_0 는 후방산란강도 측정을 위한 기준거리, z_1, z_2 는 적분 수심을 의미한다. 식 (5), (6)에서 w 는 습중량, TL 은 산란체의 전체 길이 (단위: mm) 이다. 한편, 식 (7)은 하나의 길이 분포만을 가정 한 식이다. 음향 신호에 영향을 주는 전체 산란체의 길이 분포 (Fig. 2(a))를 고려하기 위하여 채집된 자료 가운데 juvenile과 성체의 길이 (TL_i)와 빈도 분포 (f_i)를 적용해야 하므로, 이때 식 (7)은 식 (8)과 같이 바뀌게 된다. 식 (8)의 우변에서 S_A 를 제외한 앞 부분을 음향 자료로부터 산란체의 밀도 계산을 위한 변환 계수 (conversion factor)라고 한다. 이때 a, b는 식 (5)와 (6)으로부터 계산되는 상수이다.

채집 길이를 고려한 밀도:

$$\rho \text{ (mg/m}^2\text{)} = [a \sum_{i=1}^n f_i (TL_i)^b] \cdot S_A \quad (8)$$

결 과

SSL의 시·공간 특성

2002년 7월 7일 오후부터 48시간에 걸쳐 이동한 조사선 경로를 따라 동중국해 북서 해역에 나타나는 SSL의 시공간 분포 특성을 알아보았다 (Fig. 5). 이때 전체 에코그램에서 SSL의 추출은 *E. pacifica*만을 고려한 것이 아니라 소형 nekton을 포함하는 동물플랑크톤 모두의 SSL을 고려하였다. 이를 위하여 MVBS_{120kHz-38kHz} 값이 2 dB 이상인 범위를 적용하였으므로 (Miyashita et al., 1997) 부레를 가진 어류의 음향 신호는 모두 제거된 상태의 SSL 만을 의미하고 있다.

SSL의 일주기 이동 특성은 조사 시작인 7월 7일 18:00부터 100 m 이상의 수심인 제주 해협을 통과하는 21:00까지는 25-50 m의 수층에 SSL이 뚜렷이 존재하고 있었으며, 이후 자정까지는 분산 형태를 보이다가 7월 8일 00:00부터 일출이 진행되는 05:10까지 상층부인 10 m 수층까지 SSL이 상승하여 최대 50 m 수층까지 강하게 형성되었다. 일출이 시작된 7월 8일 05:10부터 상층부의 SSL은 빠른 속도로 하강하여 05:30에는 75 m 수층까지 이동하였다. 7월 8일 낮 시간동안 수심 75 m의 평탄한 해저 지형에서 SSL은 50-60 m 수층에 분포하는 특성을 보이다가 일몰이 진행되는 19:20부터 다시 상승하기 시작하였다. 이때 SSL은 수심이 깊은 곳의 상층부에 비해 분산되는 형태를 보여주고 있었으며 이후 SSL은 7월 9일 06:00에는 다시 해저면으로 하강하여 낮 시간동안 계속 30-40 m 수층에서 안정된 층을 형성하였다.

공간적으로 SSL은 수심 100 m 내외의 사면이 발달한 제주도 근처 해역과 (정점 1-2) 수심 50-75 m의 평탄한 지역인 대륙붕이 발달한 지역 (정점 3-8)에서 동일한 일주기 경향을 나타내

지 않았다. 수심이 깊은 곳인 제주도 해역 부근에서 SSL은 전체적으로는 밤 시간 동안 상층부로 이동하지만 일부 지역에서는 전 수층에 분산되는 모습을 나타내고 있었다. 수심이 얇은 대륙붕에서 SSL은 낮 시간동안 뚜렷하게 해저면 부근에서 존재하나 밤 시간 동안에는 전 수층으로 분산되는 특성을 보이고 있다.

이상의 48시간 관측으로부터 동중국해 북서 해역 또한 강한 SSL이 형성되며 이러한 SSL은 상대적으로 수심이 얇은 곳에서 뚜렷한 일주기 이동형태를 보여주고 있었다.

전 수층의 *Euphausia pacifica* 평균 밀도

음향 자료로 계산된 S_A 는 임의의 수층에 대한 면적 산란의 적분값으로 존재하는 산란체의 밀도 또한 임의의 수층에 대해 mg/m^2 의 값으로 표현하게 된다. 그러나 많은 동물플랑크톤 자료에서 지형적인 수심을 고려한 평균 밀도를 나타내므로, 본 연구에서 계산된 모든 정점의 *E. pacifica* 밀도를 각 정점의 평균 수심으로 나누어 mg/m^3 으로 표현하였다. 이때 음향 센서의 수심 때문에 해수면과 수심 9 m 사이의 자료는 제외시켰으며, 수신된 음향 자료로부터 매 1분 간격으로 *E. pacifica* 밀도를 계산한 후 평균을 취하였다.

전 수층을 고려한 평균 밀도는 중국 연안인 St. 6에서 221.4 mg/m^3 으로 가장 높은 분포를, 제주도 북서 해역인 St. 1에서 20.4 mg/m^3 으로 가장 낮은 분포를 나타내 최대 11배의 밀도

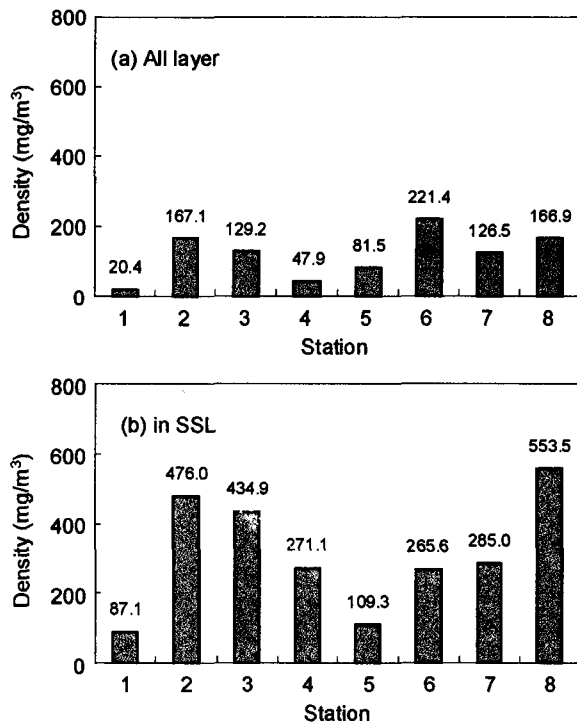


Fig. 6. Mean *Euphausia pacifica* density calculated from acoustic data, over the whole depth (a), and in the sound scattering layer (b). (x-axis: sampling station, y-axis: mean density).

Table 1. Mean *Euphausia pacifica* density calculated from acoustic data and open-closing net sampling data. Acoustic data were divided into whole depth and sound scattering layer. Information about the specific layer of sound scattering layer was described.

Station No.	Acoustic method (mg/m ³)		Open-closing net (mg/m ³)		Depth (m)	Time (local)
	all depth / SSL	SSL layer (m)	Towing method & layer			
1	20.4 / 87.1	24 - 40 m	363.4	horizontal (33 m)	98	00:25
2	167.1 / 476.0	47 - 60 m	25.0	vertical (0 m - bottom)	83	04:45
3	129.2 / 434.9	40 - 57 m	-	-	69	11:55
4	47.9 / 271.1	52 - 62 m	173.8	vertical (40 m - 70 m)	72	17:50
			51.1	vertical (0 m - bottom)		
5	81.5 / 109.3	20 - 35 m	44.5	vertical (30 m - bottom)	50	22:50
			142.4	horizontal (30 m)		
6	221.4 / 265.6	25 - 36 m	130.4	vertical (0 m - bottom)	39	03:45
7	126.5 / 285.0	40 - 46 m	0.2	horizontal (35 m)	50	08:50
8	166.9 / 553.5	30 - 37 m	50.6	vertical (0 m - 40 m)	41	13:00
			85.7	vertical (20 m - bottom)		
			252.6	horizontal (33 m)		

차이를 보이고 있다 (Fig. 6(a), Table 1). 지형학적으로 각각 분리되어 있는 수심 100 m 부근의 제주도 인근 (St. 1, 2; 평균 밀도 - 93.8 mg/m³), 수심 50-75 m인 사면 부근 (St. 3, 4; 평균 밀도 - 88.6 mg/m³), 수심 50 m 이하의 중국 연안의 대륙붕 (St. 5, 6, 7, 8; 평균 밀도 - 149.1 mg/m³)에서 *E. pacifica*의 평균 밀도는 가장 수심이 얇은 중국 연안 부근에서 높은 밀도를 나타내고 있었다.

한편, 해저면에서 표층까지 수직 채집한 네트 자료에서 juvenile과 성체 모두를 고려한 습중량은 St. 2, 5, 6, 8에서 자료 사용이 가능했다 (Table 1). 이때 네트에 의해 채집된 밀도와 음향 신호로 계산한 밀도 비율 (네트:음향)은 각 정점에서 0.15:1.0, 0.63:1.0, 0.59:1.0, 0.30:1.0으로 나타나 모든 정점에서 음향 자료에 의한 밀도 분포가 높게 나타나고 있었다.

SSL내의 *Euphausia pacifica* 평균 밀도

SSL의 분포 수층은 일주기 특성에 따라 각 정점마다 다르게 나타나고 있으나, 연구 지역 전체에서 수심이 상대적으로 깊은 지역 (St. 14)에서는 40 m 수층을 경계로 SSL의 분포 위치가 낮과 밤에 바뀌는 특성을 보여주고 있다. 한편, 수심이 50 m 보다 얇은 곳(St. 5-8)에서 SSL은 낮 시간 동안에는 해저면 부근에, 밤 시간에는 중층에서 분산되는 모습을 보이고 있다 (Table 1).

SSL내의 밀도는 St. 8에서 553.5 mg/m³으로 가장 높고, St. 1에서 87.1 mg/m³으로 가장 낮게 계산되었다 (Fig. 6(b), Table 1). 전 수층과 SSL의 밀도를 비교하였을 때 최대 5배 정도 SSL에서 높게 나타나고 있다. St. 1을 제외한 모든 정점에서 100 mg/m³ 이상의 높은 밀도 분포는 동중국해 북서 해역에서 밀도가 높음을 보여주고 있다.

네트를 이용한 크릴 채집 과정에서 네트가 SSL을 통과한 시간의 밀도는 높게 나타나고 있는 반면 (St. 1, 5, 8의 수평 채집), SSL이 없는 층 (St. 7)을 통과한 밀도는 매우 낮게 나타나고 있다. 이러한 차이점은 네트를 이용한 동물플랑크톤의

밀도 관측에서 SSL의 위치 파악이 중요함을 보여주고 있으며, 네트를 이용한 밀도는 실제 밀도보다 작게 평가될 수 있음을 나타내고 있다.

고찰

제주도 북서 해역과 황해 중부 해역에서 1997년 여름과 1998년 겨울에 Yoon et al. (2000)이 관측한 수직 채집 결과, 여름철에 *E. pacifica* 밀도가 높게 관측되고 있다. 전 수층에 걸쳐 많은 관측점에서 257-2048 개체가 관측되었는데, 성체의 평균 길이를 11 mm, 평균 수심을 75 m로 계산하면 평균 밀도는 35.3-281.3 mg/m³으로 나타나게 된다. 이러한 밀도 분포는 동중국해 북서 해역뿐만 아니라 황해도에도 많은 양의 *E. pacifica* 자원이 분포함을 알 수 있다. 본 연구에서 음향으로 계산한 전 층의 밀도 범위 (20.4-221.4 mg/m³)와 SSL만을 고려한 평균 밀도 범위 (87.1-553.5 mg/m³)는 Yoon 등 (2000)의 연구 지역보다 남쪽에 치우쳐 있지만 전체적으로 높은 밀도의 *E. pacifica*가 분포함을 보여주고 있다. 이러한 *E. pacifica*의 높은 밀도는 이 지역에서 해양 생물 뿐만 아니라 수산 자원에 중요한 역할을 하는 종임을 알 수 있다.

한편, 국립수산과학원의 정선 해양 관측에서 정기적으로 실시하는 조사에서는 (해양조사연보), *E. pacifica*의 밀도는 다른 종과 비교하여 매우 낮게 나타나고 있다. 낮은 밀도는 이 지역에서 크릴이 동물플랑크톤의 중요 종이 아닌 것으로 오류를 범할 가능성이 있다. 그러나 채집 방법의 다양화와 음향을 통한 관측에서 높은 밀도의 크릴이 분포하는 것으로 나타나므로, 자료의 정확도를 위해 기존의 채집 방법에 대한 고려가 필요하다고 할 수 있다.

채집 방법의 효율성에 대한 예는 본 조사의 St. 1과 St. 7에서 실시한 수평 채집에서 나타나고 있다. St. 1에서 SSL은 24-40 m 수층에 나타나고 있으며, 수평 채집은 약 33 m에서 이루어져 네트 입수 단계에서 약 7분간 산란체가 밀집한 층을 채집하

참고 문헌

- 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.
- David, P.M., O. Guerin-Ancey and J.P. Van Cuyck. 1999. Acoustic discrimination of two zooplankton species (mysid) at and 120 kHz. *Deep-Sea Res.*, 1 46, 319-333.
- Gerlotto, F. 1993. Identification and spatial stratification of tropical fish concentrations using acoustic populations. *Aqua. Living Res.*, 6, 243-253.
- Han S.K., H.J. Lie and J.Y. Na. 1995. Temporal and spatial characteristics of surface winds over the adjacent seas of the Korean peninsula. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 30, 550-564. (in Korean)
- Hewitt, R.P. and D.A. Demer. 1993. Dispersion and abundance of Antarctic krill in the vicinity of Elephant island in the 1992 austral summer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 99, 29-39.
- 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*, M.E. Zakharia, ed., 1497-1502.
- 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)
- Lee D.J., H.I. Shin and J.H. Park. 1990. Acoustic scattering layers in the East China Sea I. Diurnal fluctuations in echo level of the scattering layers. *Bull. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 26, 14-19. (in Korean)
- Lee M.A., J.R. Wang, T.J. Cheng, S.C. Chou and K.T. Lee. 1999. A case study on the category composition and distribution of zooplankton in the sound scattering layer of offshore waters of north Taiwan. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 26, 133-144.
- Liao, C.H., K.T. Lee, M.A. Lee and H.J. Lu. 1999. Biomass distribution and zooplankton composition of the sound-scattering layer in the waters of southern East China Sea. *ICES J. Mar. Sci.*, 56, 766-778.
- Lie, H.J. and C.H. Cho. 2002. Recent advances in understanding the circulation and hydrography of the East China Sea. *Fish. Oceanogr.*, 11, 318-328.
- McGehee, D.E., R.L. O'Driscoll and L.V.M. Traykovski. 1998. Effects of orientation on acoustic scattering from Antarctic krill at 120 kHz. *Deep-Sea Res.*, II 45, 1273-1294.
- Medwin, H. and C.S. Clay. 1998. Biomass echoes, reverberation, and scattering models. In: *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. Academic Press, pp. 348-404.
- Mitson, R.B., Y. Simrad and Goss, C. 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 and T. Inagaki. 1996. Swimming behavior and target strength of isada krill (*Euphausia pacifica*). *ICES J. Mar. Sci.*, 53, 303-308.
- 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.
- 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.
- SonarData. 2000. SonarData echoview user guide, EchoView v. 2.10.53. Sonar Data Tasmania Pty. Ltd.
- SIMRAD. 1997. Operation manual, Simard EK500 scientific echo sounder. Base version, P2170. A Kongberg Co.
- Stanton, T.K. and D. Chu. 2000. Review and recommendations for the modeling of acoustic scattering by fluid-like elongated zooplankton: euphausiids and copepodas. *ICES J. Mar. Sci.*, 57, 793-807.
- Watkins J.L. and A.S. Brierley. 2002. Verification of the acoustic techniques used to identify Antarctic krill. *ICES J. Mar. Sci.*, 59, 1326-1336.
- Yoon, W.D., S.H. Cho, D. Lim, Y.K. Choi and Y. Lee. 2000. Spatial distribution of *Euphausia pacifica* (Euphausiacea: Crustacea) in the Yellow Sea. *J. Plankton Res.*, 22, 939-949.

2003년 9월 25일 접수
2003년 12월 17일 수리