

울진 연안의 음향 산란층 분포

황두진* · 김동언 · 정순범 · 손용욱 · 채진호¹ · 조기량²
 여수대학교 해양생산관리학과, ¹한국수권환경연구센터, ²여수대학교 전자통신공학과

Distribution of the Deep Scattering Layer around Uljin Coastal Area

Doo Jin HWANG*, Dong Eon KIM, Sun Beom JEONG, Yong Uk SON,
 Jin Ho CHAE¹ and Ki Ryang CHO²

Department of Fisheries Science and Technology, Yosu National University, Jeonnam 550-757, Korea

¹Korea Environmental Research Centre for Hydrosphere, Gyeonggi 426-817, Korea

²Department of Electronic Communication Engineering, Yosu National University, Jeonnam 550-757, Korea

A hydroacoustic and a close-open-close zooplankton net survey were conducted to understand the distribution characteristics of the deep scattering layer (DSL) and to estimate the density of zooplankton in the DSL, in the Uljin coastal area. The survey was carried out during March 13-14 and June 4-5, 2003 at each station for zooplankton. The vertical migration mechanisms of zooplankton are very variable to the taxa. In this study, after we grasp the vertical migration of zooplankton through the results of an echo-sounder survey, we verified the mechanisms of their vertical migration in the Uljin coastal area. Also, to estimate effectively the biomass of zooplankton, we researched the acoustic scattering strength according to the species. On the basis of these results, we devised a method for estimating zooplankton biomass through comparing net and echo-soundings. We obtained the results as a follows;

- 1) According to the examination of collections from the net sampling, in March, 2003, *Euphausia pacifica* comprised 38% of zooplanktons inhabiting the sound scattering layer, while copepods, chaetognaths, and amphipods accounted for 29%, 23% and 10%, respectively. And in June, 2003, the ratio of *E. pacifica* was 51%, copepods 43%, and the others comprised 6%. In both March and June *E. pacifica* showed dominance among the species of zooplankton.
- 2) The analysis of vertical distribution through acoustic data in the scattering layer was more apparent in June (spring/summer) of 2003, than in March (winter/spring) of that year. The vertical migration of zooplankton peaked around sunrise and sunset in both March and June.
- 3) As for the sound scattering layer, it distributed in the open sea in March, and in the inland sea in June. Therefore it is suggested that some zooplankton species such as *E. pacifica* performed ontogenic horizontal migration through the spring and early summer.

Key words: Echo-sounder, Deep Scattering Layer, Zooplankton, *Euphausia pacifica*

서론

어군탐지기는 해양 산업에 대한 전자 기술의 발달과 함께 꾸준히 발전되어 현재에는 과학어군탐지기가 개발 보급되어 짧은 시간에 넓은 해역에서 어류, 갑각류, 플랑크톤에 이르기 까지 다양한 생물을 실시간으로 전 수층에 대한 공간적 분포를 정량적으로 평가할 수 있게 됨에 따라 해양 생태계의 파악은 물론 어업 자원 관리를 위한 생물자원 평가 등의 관한 도구로 활용되어지게 되었다(Johannesson and Mitson, 1983).

우리나라도 최근 남극에서 음향을 이용한 크릴 새우의 분포 조사(Kang et al.), 황해에서의 음향자료와 저층 트롤의 어획자료를 이용한 수산자원 분포조사(Hwang et al.), 동중국해 및 남해안에서 음향 자료와 저층 트롤에 의한 어획자료를 이용한

해양 생태계 조사(Hwang et al.), 남해안에 있어서의 음향자료와 중층 트롤을 이용한 멸치의 자원조사(Choi et al.) 등과 같이 해양 생태계 조사의 도구로서 음향학적 기법이 많이 이용되고 있다. 또한, 음향의 물리적 특성 즉 주파수 특성에 따라 어류와 플랑크톤의 음파 산란 강도가 상이하다는 특성을 이용하여 음향 산란층(Depth Scattering Layer, DSL)의 분포와 플랑크톤 채집 결과와의 비교, 어류 및 플랑크톤의 일주기 특성을 파악하는 연구도 활발하게 진행되고 있다.(Lee et al., 1990; Aoki and Inagaki, 1992; Chou et al., 1999, Kang et al., 2003).

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

*Corresponding author: djhwang@yosu.ac.kr

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 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 멈추게 하여 발전을 정지시켰다(KERCH, 2005).

크릴(*Euphausia pacifica*)로 인한 사고를 방지하기 위해서는 군집을 형성하는 경향과 군집의 이동경로를 파악하고, 그 매커니즘을 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 매커니즘을 파악하기 위하여 2003년 3월과 6월에 울진 연안에서 계량어군탐지기에 의한 음향 산란층의 분포 특성을 파악하고, 개폐식 네트를 이용하여 음향 산란층에서의 해양생물의 종조성을 조사하였다.

재료 및 방법

조사 해역 설정

음향 산란층은 분포와 행동학적 특성 때문에, 일년 중 특정한 시기를 제외하면 가까운 연안에서는 발견되지 않고, 먼 바다라 하더라도 일반적인 방법의 채집으로는 실제 분포하는 것보다 훨씬 적은 양의 개체 수만 조사될 가능성이 크다(Mauchline, 1980). 이런 어려움 때문에 동해에서 동물플랑크톤의 조사가 계속 되어 왔으면서도 음향 산란층의 분포, 서식지, 환경 요인 등에 관한 정보는 거의 없는 실정이다.

따라서, 울진 연안과 같은 해저지형의 조건에서 음향 산란층의 광범위한 분포가 발견(Greene et al., 1988)된 것에 착안하여, 후포뱅크와 육지쪽의 죽변항까지를 잇는 선을 기준선으로 하여 후포 뱃크의 연장선에서 형성된 골짜기(Channel, Submarine canyons)가 위치한 지점까지를 조사 영역으로 정하였다.

Fig. 1은 2003년 3월 12-13일과 6월 4-5일, 울진 연안에 있어서 음향 산란층이 형성된 지점과 네트를 이용하여 생물채집을 실시한 지점(O, +)을 나타낸 조사 정점도 이다.

계량어군탐지기에 의한 음향 산란층의 분포 조사

2003년 3월과 6월에 계량어군탐지기를 이용한 음향 산란층의 분포 조사는 소형선박(6.7 GT)의 현측 수심 1m에 알루미늄 합금으로 만든 사각 파이프에 200 kHz 듀얼빔(dual beam) 방식 진동자(DT5000, Biosonics)를 고정하여 설치하였으며,

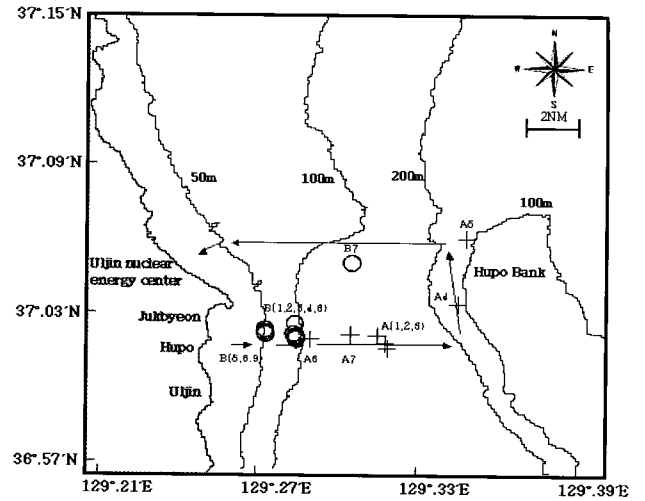


Fig. 1. Acoustic transects and zooplankton sampling stations. (→: Survey line, +: March 12-13, ○: June 4-5, 2003)

GPS(GP-50, FURUNO) 수신기로부터 연속적으로 위치 정보를 수신하여 계량어군탐지기의 시스템에 입력하였다(Fig. 2(a)). 또, 노트북(IBM)에 위치정보가 입력된 에코데이터를 연속적으로 화면에 나타내면서, 동시에 각 정선(Survey line)별로 디지털화되어 컴퓨터의 하드디스크에 수록하였다(Fig. 2(b)). 에코데이터는 후일 실험실에서 재생하여 에코데이터 분석 소프트웨어(Echoview 3.00, Sonar Data)를 이용하여 처리하였다.

음향데이터 수집을 위해 펄스폭 0.3 ms, 펄스 반복주기 1sec., TVG를 20 log r로 설정하였으며, 음향 산란층을 관찰하기 위하여, 에코그램의 설정범위(Threshold)를 -90 dB로 하였

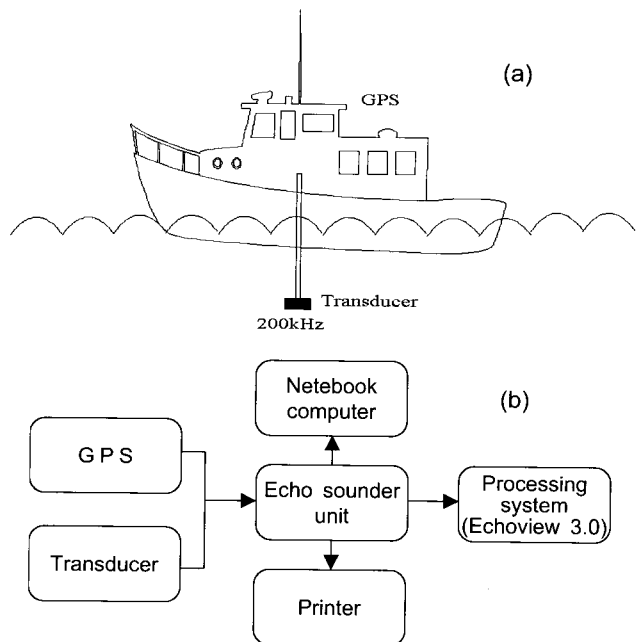


Fig. 2. Data acquisition system by hydroacoustic and GPS.

다. 또, 당시에 사용한 계량어군탐지기(DT-5000, Biosonics)의 상세한 제원은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

Table 1. System parameters of the quantitative echosounder (DT-5000)

Items	Parameters
Frequency	200 kHz
Beam type	Dual-Beam
Absorption coef.	0.002631 dB/m
Ping Rate	1.00 pps
Pulse Width	0.30 ms
Beam Width	
Narrow	6.50 deg
Wide	14.50 deg
Bandwidth	20 kHz
Transmit Source Level	224.30 dB// μ Pa
Receive Sensitivity	-54.40 dB// μ Pa

개폐식 네트에 의한 음향 산란층의 분포 조사

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

Fig. 3은 각 수심에서 음향 산란층 내의 동물플랑크톤을 채집하기 위해 사용된 개폐식 네트로, 이중메신저(Double-trip)에 의해서 개폐장치에 있는 열림쇠가 닫힌 상태에서 차례로 열리는 과정을 보여 주는 것이다. 현장에서 개폐식 네트를 사용할 때, 닫힌 상태로 네트를 투입(Fig. 3(a))하고 원하는 깊이에서 네트를 열어 생물 채집(Fig. 3(b))을 하고, 네트를 거둬들일 때 다시 닫게 하여, 다른 층에 분포하는 생물의 채집(Fig. 3(c))으로 인한 영향을 최소화하였다.

조사는 2003년 3월 12일부터 13일까지는 Fig. 1의 “+”정점에서, 2003년 6월 4일부터 5일까지는 Fig. 1의 “○”정점에서 주·야간 연속적으로 실시하였다. 먼저, 계량어군탐지기를 이용하여 음향 산란층을 관찰하고, 계량어군탐지기의 에코 그래프으로부터 음향 산란층 분포 위치와 수심을 파악한 다음, 분포

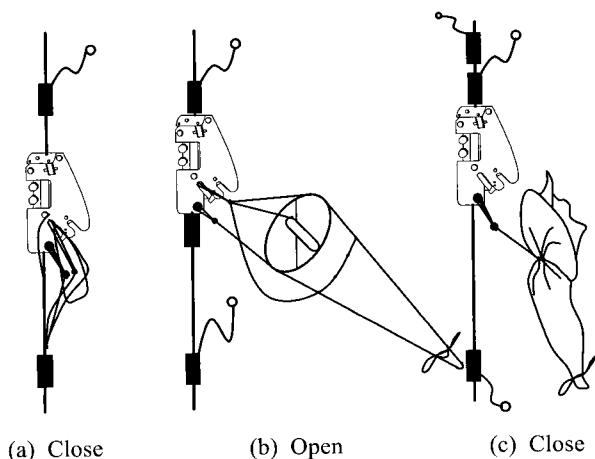


Fig. 3. Operating procedure of sampling gear for target layer.

수심과 일치하도록 채집망을 투하하여 선속을 3-4 knots로 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 배위의 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 구성하는 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 DWBA (Distorted Wave Born Approximation)모델에 의한 이론TS, 그리고 계량어군탐지기로부터 얻은 체적후방산란강도SV(dB)를 이용하여 다음의 식 (1)-(3)으로부터 네트로 채집한 수층에 있어서의 밀도를 추정하였다.

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

$$\overline{\rho_v} = \overline{\rho_n} w \tag{2}$$

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

단, 여기서 SV는 체적후방산란강도(dB), TS는 크릴의 초음파산란강도(dB), $\overline{\rho_v}$ 는 체적당 중량 밀도(g/m^3), $\overline{\rho_n}$ 은 체적당 개체수 밀도(ind/m^3), \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 분할법으로 구하였으며, 각 정점에서 다수의 음향 산란층이 존재할 경우 1-2개의 수심에서 채집을 하였다.

Fig. 4(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%, 모악동물(Chaetognaths) 23%, 그리고 단각류(Amphipods) 10%로 나타났다.

Fig. 4(b)는 2003년 6월 4일부터 5일까지 조사 해역에 있어서 채집망을 이용하여 구한 동물플랑크톤의 종조성 비를 나타내

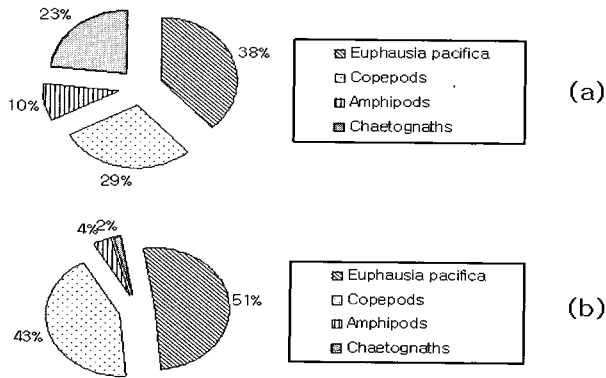


Fig. 4. Species composition of the zooplankton around the Uljin coastal area. (a) March 13-14, 2003, (b) June 4-5, 2003.

는 것으로, 요각류 43%로 다소 높은 비율을 차지하고 있지만, 3월과 마찬가지로 크릴이 51%로 우점하는 종으로 나타나고 있다. 이상 두 계절(봄, 여름) 동안 음향산란층을 구성하는 생물의 종조성을 파악한 결과 크릴이 동물플랑크톤 중 중에서 가장 우점하는 종으로 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

계량어군탐지기를 이용한 음향 산란층의 분포 특성
연직 분포

2003년 3월과 6월에 조사 해역에서 조사 정선을 따라 계량어군탐지기를 이용하여, 음향 산란층의 시-공간 연직 분포 특성을 알아보았다.

Fig. 5은 2003년 3월 조사 해역에서 오전 10시경부터 죽변항을 출발하여 조사선을 따라 수집한 음향자료이다. Fig. 5의 화살표는 계량어군탐지기를 이용하여 음향 산란층을 관찰하고, 계량어군탐지기의 에코 그래프로부터 음향 산란층의 분포 위치와 수심을 파악한 다음, 분포 수심과 일치하도록 채집망의 예망 구간을 나타내고 있다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 3월 12일 10시경부터 일몰 시간까지는 음향 산란층이 출현하지 않았다. 그러나, 조사 이틀째인 13일 04:00부터 100 m 이상의 수심인 후포 뱃크 연장선을 따라 음향 산란층이 뚜렷하지는 않지만 존재하는 것을 확인할 수 있었으며, 이후 일출이 진행되는 05:30부터 상층부의 음향 산란층이 빠른 속도로 하강하여 06:00부터 음향 산란층이 분산되는 형태를 보여주고 있다. 고밀도로 분포하는 A₆ 지점에서의 체적후방산란강도(SV)는 -63.9 dB로 나타났다.

또, Fig. 6에서 보는 바와 같이 2003년 6월은 조사 시작한 4일 17:00부터 100 m 이상의 수심인 후포 뱃크 연장선을 따라 음향 산란층이 강하게 형성되었다. 일몰이 시작되는 19:40부터 상층부인 10 m 수층까지 음향 산란층이 이동하였으며, 다음날 일출이 시작되는 04:50부터 하강하기 시작하여 2003년 3월과 동일하게 음향 산란층이 분산되는 형태를 보이고 있다. 고밀도로 분포하는 B₄ 지점에서의 체적후방산란강도(SV)는 -63.7 dB, 저밀도로 분포하는 B₂ 지점에서는 -90 dB로 나타났다.

2003년 3월과 6월을 종합하여 보면 계절별로는 2003년 3월

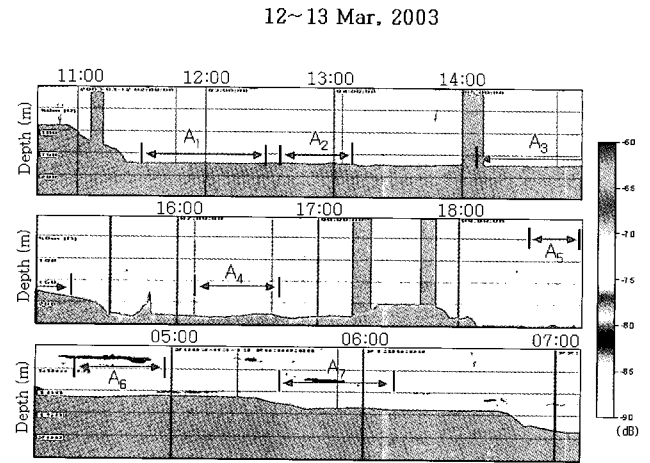


Fig. 5. Vertical distribution of deep scattering layer at the Uljin coastal area, March 12-13, 2003.

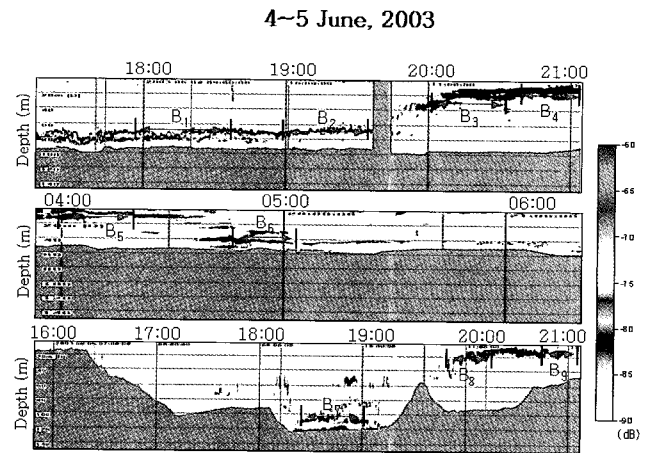


Fig. 6. Vertical distribution of deep scattering layer at the Uljin coastal area, June 4-5, 2003.

(겨울/봄)보다는 6월(봄/여름)에 음향 산란층이 더 뚜렷하게 나타났고, 3월과 6월 모두 일출과 일몰을 전후로 하여 일출 연직 회유가 활발하게 나타나, 음향 산란층은 일출 시간을 기점으로 분산되었다가 어느 정도의 시간이 흐르면서 해저면 부근에서 존재하다가 일몰 시간을 기점으로 상층부로 상승하는 형태를 보이고 있었다.

수평 분포

계량어군탐지기를 이용하여 2003년 3월과 6월에 조사 해역에 있어, 조사 정선을 따라 얻은 에코 데이터를 지리정보(GPS의 경위도)를 이용하여 음향 산란층의 수평분포를 파악하고자 하였다. 음향 산란층의 수평분포는 음향자료 분석 소프트웨어(Echoview 3.00, Sonar Data)를 이용하였으며, 에코 그래프는 적분 주기를 5마일, 적분폭을 표층 3 m에서 저층까지로 하여 체적후방산란강도(SV)를 구하였다. 2003년 3월과 6월 음향 산란층의 수평분포를 파악한 결과 Fig. 7(a)에 나타난

바와 같이 3월에 주로 수심 200 m 부근의 바깥쪽 계곡 부근에서 SV가 -63.9 dB 정도의 고밀도 음향 산란층이 분포하고 있었다. 한편, Fig. 7(b)에서 보는 바와 같이 2003년 6월에는 죽변과 울진 원자력 발전소에 가까운 연안근처에서 SV가 -63.7 dB 정도의 농밀한 음향 산란층이 관측되었다. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)로부터 음향 산란층의 계절적 이동을 파악한 결과, 3월(겨울/봄)에는 주로 외해에서 분포하였으며, 6월(봄/여름)에는 내해로 이동하는 경향이 있음을 알 수 있었다.

음향 산란층 내의 크릴(*Euphausia pacifica*) 밀도

2003년 3월과 6월, 조사해역에서 네트채집을 한 조사정점에 있어서 음향자료를 이용하여 밀도와 네트 채집에 의해 구한 밀도를 비교해 보았다.

음향자료를 이용한 밀도

일반적으로 음향자료를 이용하여 생물의 밀도를 추정하기 위해서는 대상 생물의 TS (Target Strength) 파악과 생물의 체장조성 등과 같은 자료가 필요하다. 본 연구에서는 편의상 우점종으로 나타난 크릴의 TS만을 구하여 모든 정점에서 밀도를 구하였으며, 단위는 mg/m^3 으로 표현하였다.

크릴과 같은 생물의 경우는 그 크기가 소형이고, 또한 몸체가 각질로 구성되어 있어, 크릴의 TS는 매우 낮은 것으로 알려져 있다. 최근에는 이러한 크릴과 같이 TS가 매우 낮은 경우 음향 산란 이론 모델을 이용하여 이론적으로 TS를 구하여 이용하기도 한다(McGehee et al., 1998; Kang et al., 2003). 본 연구에서는 편의상 DWBA모델을 이용하여 주파수 200 kHz에서의 TS를 구하여 보았다. Fig. 8은 주파수 200 kHz에 있어서 DWBA모델을 이용하여 크릴의 이론적 TS를 구한 결과이다. Fig. 8에서와 같이 크릴의 체장이 증가함에 따라 평균 TS도 증가함을 나타내고 있는데, 특히 체장이 6 mm 미만($TL/\lambda < 8$)에서는 체장의 변화에 따라 평균TS의 변화가 급격하였고, 6-28 mm ($8 < TL/\lambda < 38$)에서는 체장변화에 따른 평균TS의 변화가 완만하였으며, 28 mm를 초과하는 영역 ($38 < TL/\lambda$)에

서는 평균TS의 변화가 적음을 알 수 있었다.

2003년 3월과 6월의 음향자료 중에서 음향 센서의 설치수심에 의한(해수면과 수심 5 m 사이) 음향자료와 3월중 A6 지점을 제외한 다른 정점의 자료는 에코 그래프와 일치하지 않고, 채집 수심도 명확하지 않아 밀도 추정에는 이용하지 않았다.

또, 한국 연안에서 채집된 크릴의 체장 분포와 습중량과의 관계식(Kang et al., 2003)를 이용하여 체장의 분포를 간접적으로 파악하였다. 본 연구에서 채집된 정점별 크릴의 중량과 개체수의 자료를 이용하여 개체당의 평균습중량을 구하고 이것으로부터 체장분포를 구하였다.

Fig. 9는 네트 채집으로 구한 울진 연안에서의 크릴의 체장 분포를 빈도 그래프로 나타내고 있으며, 크릴 성체의 길이가 약 30 mm 였다.

이상과 같이 크릴의 이론 모델에 의한 TS, 체장분포와 습중량 자료 그리고 현장에서 수집한 체적후방산란강도(SV)를 이용하여 생물의 밀도를 구하였다. 먼저, 2003년 3월의 경우, 앞장의 Fig. 5에서 보는 바와 같이 A₁-A₅정점에서는 음향산란층이 형성되지 않았고, A₇정점에서는 체적후방산란강도(SV)가 매우 낮게 나타나 밀도계산이 곤란하였다. 다만 A₆정점에 있어서 체적후방산란강도(SV)가 -63.9 dB 전후로 나타나, 이를 밀도로 환산한 결과 수심 25 m에서 $232.2 mg/m^3$, 30 m에서 $266.9 mg/m^3$ 이었다. 2003년 6월의 경우는 Fig. 6과 같이 3월에 비해 높은 밀도의 음향산란층이 넓게 분포하고 있었으며, 대부분의 정점에서의 체적후방산란강도(SV)가 -55.9 - -71.2 dB로 나타났다. 이를 밀도로 환산한 결과 $152.2-345.8 mg/m^3$ 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 크릴밀도만을 선별하여, 각 정점에 있어서 채집시간과 수심에 따라

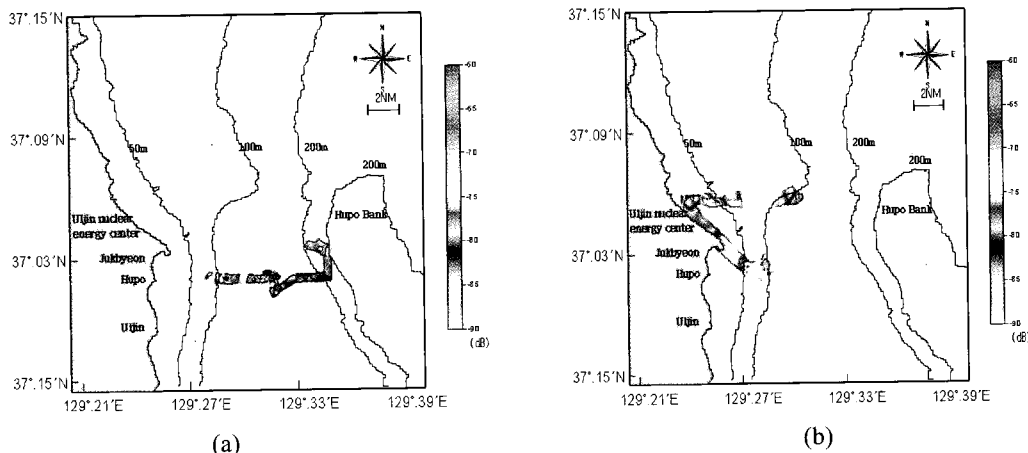


Fig. 7. Horizontal distribution of the volume back-scattering strength (SV) along acoustic transect at Uljin coastal area. (a) March 12-13, 2003, (b) June 4-5, 2003

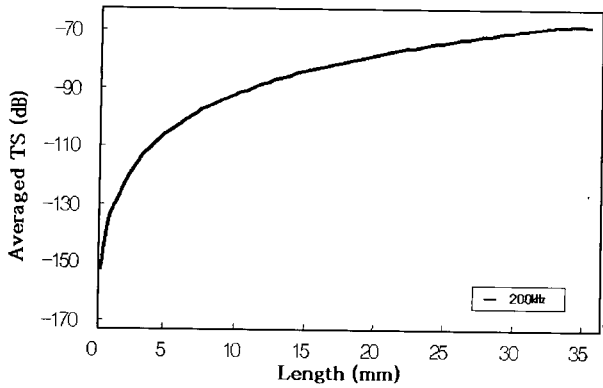


Fig. 8. Relations of the TS-length at 200 kHz, derived from Distorted-Wave Born Approximation model, $TS(dB) = -138.43 + 46.12 \log (TL, mm)$.

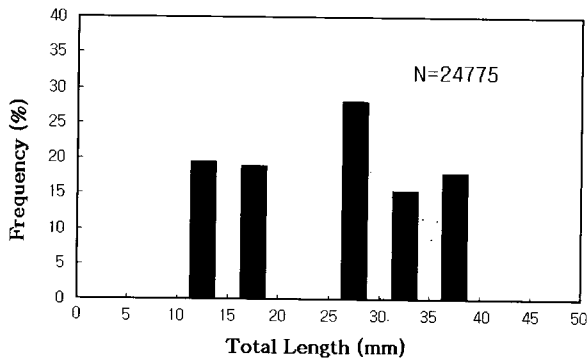


Fig. 9. Length frequency of the krill (*Euphausia pacifica*), collected in deep scattering layer at the Uljin coastal area.

크릴의 밀도를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 2003년 3월의 경우, Fig. 10에서 보는 바와 같이 A₁-A₄ 정점에서는 수심이 깊은 저층에서 크릴이 분포하였으며, 크릴의 분포밀도는 37.3-291.2 mg/m³였다. 반면, A₅-A₇ 정점에서는 수심 30 m 이 심에서 크릴이 분포하고 있었으며, 크릴의 밀도는 68.4-718.3 mg/m³으로 나타났다. 2003년 3월, 조사 해역에서의 채집망에 의한 크릴의 평균밀도는 성체와 미성어(juveniles)를 합쳐서 2003년 6월의 경우는 Fig. 11에서 보는 바와 같이, 음향 산란층에는 크릴 알과 유생들이 많이 포함되어 있었으며, 크릴의 밀도도 3월에 비해 20배 이상 높게 나타났다. 각 정점별로는 채집이 주간에 이루어진 B₁, B₂, B₇에서 크릴의 밀도가 33.5-741.8 mg/m³으로 아주 낮게 나타났으며, 반면에 야간에 채집이 이루어진 B₃-B₆와 B₈-B₉정점에서는 크릴의 밀도가 149.8-4537.6 mg/m³으로 매우 높게 나타났다. 2003년 6월, 조사 기간 동안 조사 해역에서 채집망에 의한 크릴의 평균 밀도는 성체와 미성어를 합쳐서 1548.6 mg/m³이었다.

2003년 3월과 6월의 채집망에 의한 크릴의 분포는, 낮 시간 동안에는 크릴이 저층에서 분포하고, 밤에는 상층부에서 분포하고 있었으며, 특히, 야간에 표층 부근(30 m 전후)에서 밀도 분포가 최대로 나타났다. 한편 수심이 150-200 m 부근인 수층 끝짜기에서 크릴의 분포 밀도가 낮아지는 경향을 보였다. 또, 연안에서 가까운 수심 60 m 이하인 해역의 농밀한 음향 산란층에서는 크릴의 알과 유생들이 많이 포함되어 있었다.

크릴의 음향학적 추정밀도와 개폐식 넷트 채집에 의한 추정밀도 비교

여기서는 음향 자료(채적산란강도)와 음향 산란 이론 모델

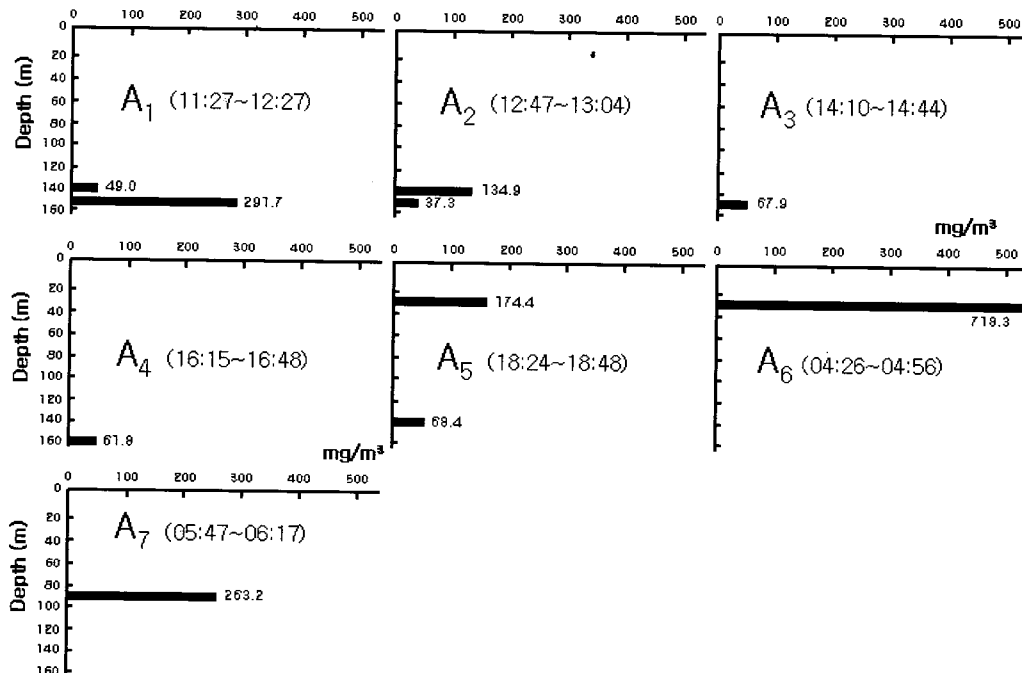


Fig. 10. Mean krill (*Euphausia pacifica*) density, collected with the close-open-close net on March 13-14, 2003.

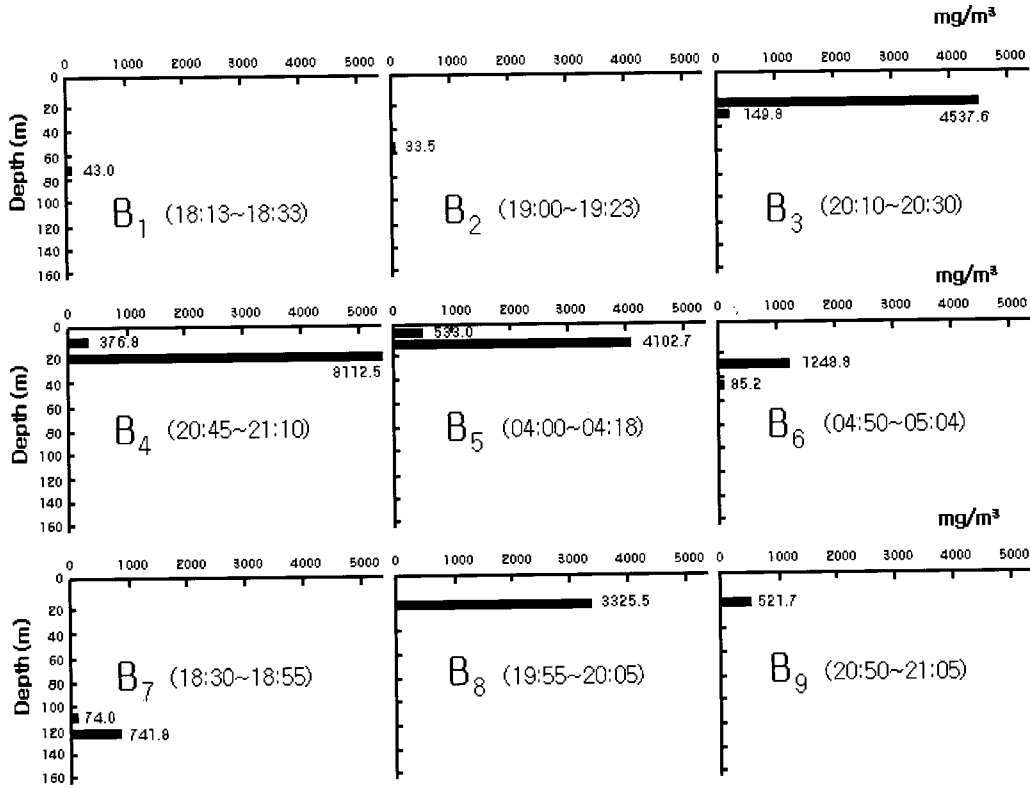


Fig. 11. Mean krill (*Euphausia pacifica*) density, collected with the close-open-close net on June 4-5, 2003.

Table 2. Mean krill (*Euphausia pacifica*) density calculated from acoustic data and the close-open-close net sampling data.

Date	Station No.	DSL Layer (m)	Acoustic method Density (mg/m ³)	Close-open-close net Density (mg/m ³)	Towing duration	
					Start	Finish
March	A ₆	25	232.2	174.3	04:26	4:58
		30	266.9	718.3		
	B ₁	70	192.4	42.0	18:13	18:33
	B ₃	15	282.0	4,537.6	20:10	20:30
		25	228.8	149.8		
June	B ₄	5	257.8	376.8	20:45	21:10
		15	345.8	8112.5		
	B ₅	5	209.4	533.0	04:00	04:18
		10	258.8	4,102.7		
	B ₆	30	288.1	1,248.8	04:50	05:04
		40	196.2	85.2		
	B ₇	110	191.2	74.0	18:30	18:55
		115	219.1	741.8		
	B ₈	20	238.0	3,325.5	19:55	22:05
B ₉	15	194.5	521.7	20:50	21:05	

188.4 mg/m³이었다.

을 이용하여 각 정점별로 밀도를 추정된 결과와 개폐식 네트를 이용하여 예망 채적과 네트에 채집된 생물량으로부터 밀도를 추정하는 다음, 두 방법에 의해 구한 추정 밀도를 비교해 보았다.

음향 산란층내의 크릴의 밀도 비교는 네트가 음향 산란층을 통과했던 데이터만을 취했으며, 2003년 3월과 6월 네트에 의

한 채집은 3월은 A₆만을, 6월은 조사 정점 전부를 비교대상에 포함하였다.

Table 2는 각 조사 정점에 있어서 두 방법에 의해 구한 밀도, 예망 수심, 예망 시간을 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이 네트에 의해 채집된 밀도와 음향 신호로 계산한 밀도는 전체 정점에서 대체적으로 비슷한 경향을 나타내고 있지만, 음향에 의해 구한 밀도는 고른 밀도 분포를 보이고 있는 반면,

네트를 이용하여 구한 추정 밀도는 2가지로 나누어 졌다. 먼저, 네트가 음향 산란층이 존재하는 수심을 정확히 통과한 정점은 밀도가 높게 나타났고(B_{4, 5, 6, 8}), 음향 산란층이 형성되지 않았거나 네트가 음향 산란층이 존재하는 수심을 정확히 통과 하지 못한 정점(B_{1, 2})에서는 밀도가 매우 낮게 나타났다. 이러한 차이점은 네트를 이용한 동물플랑크톤의 밀도 관측에서 음향 산란층의 위치와 수심의 파악이 중요함을 보여주고 있으며, 네트 채집에 의해 확인된 밀도는 음향에 의해 파악된 밀도와는 차이가 있을 수 있음을 의미한다.

음향을 이용하여 구한 추정 밀도와 계곡식 네트를 이용하여 구한 밀도의 관계를 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 음향자료를 이용하여 구한 밀도가 증가할수록 네트 채집에 의해 구한 밀도도 증가함을 보여 주고 있으며, 이들 사이에는 정의 상관관계($r=0.77$)를 나타내었다. 반면에 표준편차가 1,734 mg/m³로 나타나, 정점별 생물의 평균 밀도가 음향과 네트 샘플링 사이에 비교적 일치하는 정점(Fig. 12의 타원범위 내 정점: B₃, B₄, B₆, B₇)과 매우 상이한 정점(A₆, B₁, B₂, B₅, B₈, B₉)으로 나누어 졌다. 먼저 음향자료와 네트 샘플링 사이에 밀도가 비슷하거나 정의 상관 관계가 있는 정점에 있어서는 네트를 이용하여 채집한 수심과 계량어군탐지기에 나타난 음향산란층의 수심이 서로 일치하여 적합하게 채집되었기 때문이라고 생각한다. 한편 네트를 이용하여 구한 생물밀도가 낮게 나타난 정점은 음향산란층이 존재하는 수심을 정확히 채집하지 못하고 음향산란층의 위층이나 아래층을 채집하게 된 것으로 생각된다. 또, 음향자료 보다 네트에 의한 밀도가 높은 정점에서는 실제 분포하고 있는 생물의 분포량은 매우 높으나 음향의 기술적 문제가 기인 한 것으로 생각된다. 그것은 먼저 어군탐지기 거리분해능에 의한 제약으로 생물 상호간의 간격(거리)이 너무 좁을 경우 생기는 감쇄를 들 수 있을 것이다. 또 한 가지는 크릴과 같이 크기가 아주 작고, 부레(공기주머니), 뼈 등과 같이 해수와 음향 임피던스의 차가 커서 음파를 잘 반사하는 물질이 없다는 점 등을 들 수 있을 것이다. 향후 음향을 이용하여 생물의 자원량을 추정할 시에

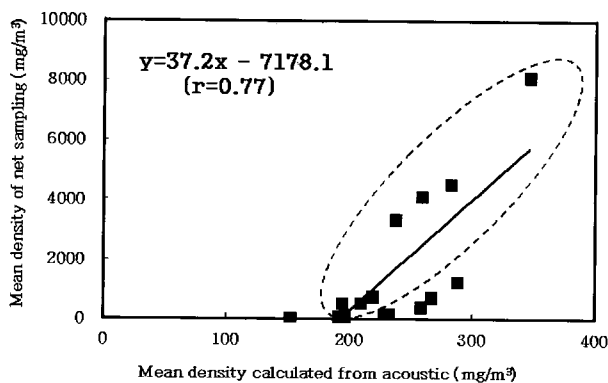


Fig. 12. Comparison of the mean krill (*Euphausia pacifica*) density calculated from acoustic data and net sampling in the deep scattering layer.

는 이러한 것들을 고려하여야 할 것이며, 또한 기술개발을 통하여 해양에 있어서의 소형생물을 대상으로 한 자원량 평가 방법을 개선해야 할 것이다.

사 사

이 연구는 과학기술부 원자력 연구 개발 중 장기계획사업의 세부과제 “해양생물에 의한 취수구 폐쇄현상 방지기술-과제 관리번호H-6”과 한국과학재단 특정기초연구 “수중음향을 이용한 동물플랑크톤 생체량 추정 및 음파산란층 특성 파악-과제번호 R01-2002-000-00222-0”의 일환으로 수행되었습니다. 지원하여 주신 두 기관 관계 여러분께 심심한 감사의 말씀을 드립니다. 아울러 해상에서 연구수행을 위해 적극적으로 도와 주신 울진 원영호·윤명숙 선생님께도 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- Aoki, I. and T. Inagaki. 1992. Acoustic observation of fish schools and scattering layers in a Kuroshio warm-core ring and its environments. *Fish. Oceanogr.*, 1, 137-142.
- Choi, S.G., J.Y. Kim, S.S Kim, Y.M. Choi and K.H. Choi. 2001. Biomass estimation of anchovy (*Engraulis japonicus*) by acoustic and trawl surveys during spring season in the Southern Korean Waters. *J. Kor. Soc. Fish. Res.*, 4, 20-29.
- 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.
- Greene, C.H., Wiebe, P.H. Burczynski and M.J. Youngbluth. 1998. Acoustical detection of high-density krill layers in the submarine canyons off Georges Bank. *Science* 241, 359-361.
- Hwang, D.J., D.H. Kang, Y.J. Kim, H.H. Shin and Y.H. Yoon. 2003. A Study on Fisheries Resource of the East China Sea in summer of 2002 by acoustic survey. *Bull. Fish. Sci. Inst., Yosu Natl. Univ.* 12, 110-117.
- Hwang, D.J., H.H. Shin and D.H. Kang. 2002. Studies on fish distribution characteristics using a scientific echo sounder in the Yellow Sea. *Bull. Kor. Soc. Fish. Technol.*, 38, 140-148.
- Hwang, D.J., Y.J. Kim, H.H. Shin, Y.H. Yoon and C.H. Son. 2002. A study on fisheries resource in the East China Sea by hydroacoustic survey. *Bull. Fish. Sci. Inst., Yosu Natl. Univ.* 11, 76-82.
- Johannesson, K.A. and R.B. Mitson. 1983. *Fisheries Acoustics (A practical manual for aquatic biomass estimation)*, FAO. Fisheries Technical Paper, pp. 240.
- Kang, D.H., D.J. Hwang, H.Y. Soh, Y.H. Yoon, H.L.

- Suh, Y.J. Kim, H.C. Shin and K. Iida. 2003. Density Estimation of euphausiid (*Euphausia pacifica*) in the sound scattering layer of the East China Sea. J. Kor. Fish. Soc. 36, 749-756.
- Kang, D.H., D.J. Hwang and S.A. Kim. 1999. Biomass and distribution of Antarctic krill, *Euphausia superba*, in the northern part of the South Shetland Islands, Antarctic Ocean. J. Kor. Fish. Soc., 32, 737-747.
- KERCH. 2005. Ecology on the screen clogging of euphausiids at cooling water intakes of power plants. Report of Korea Ocean Research & Development Institute. pp 151.
- 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. Technol., 26, 14-19.
- Lee, K.H., T. Mukai, D.H. Kang and K. Iida. 2004. Application of acoustic Doppler current profiler combined with a scientific echo sounder for krill *Euphausia pacifica* density estimation. Fish. Sci., 70, 1051-1060.
- Mauchline, J. 1980. The biology of mysids and euphausiids. Adv. Mar. Biol., 18, 1-681.
- 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.
- 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. Technol., 38, 129-139.

2005년 4월 19일 접수
2005년 6월 27일 수리