# 주파수차법을 이용한 남극크릴(Euphausia superba)의 종 식별에 관한 여구

최석관·한인우1\*·황두진1·김태호1·안두해·이경훈1

국립수산과학원 원양자원과. '전남대학교 수산과학과

## Species Identification of Antarctic Krill Euphausia superba Using the **2-frequency Difference Method**

Seok-Gwan Choi, Inwoo HAN1\*, Doo-Jin Hwang, Tae-Ho Kim, Doo-hae An and Kyounghoon LEE

Distant Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea <sup>1</sup>Division of Fisheries Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

Antarctic krill Euphausia superba are important components of the Antarctic marine ecosystem both economically and ecologically; to manage this species effectively, their distribution and abundance must be understood. Using the Kwang Ja-Ho (3.012 tonnage), a commercial fishing vessel, we conducted acoustic surveys during April 13-24, 2016. to estimate the distribution and population size of krill around the South Shetland Islands of the Antarctic Continent, We used acoustic techniques based on the dB-difference, a method used mainly to classify of marine species. We found that Antarctic krill were present in numbers over 99% at six survey stations, with the exception of Station 3, where we only found *Electrona carlsbergi*. There was no difference in cell size due to frequency differences, but echo signals differed between species: 4.7-12.0 dB for Antarctic krill, and -4.1~0 dB for Electrona carlsbergi.

Key words: Antarctic krill, Euphausia superba, 2-Frequency difference method, Species identification

#### 서 론

남극크릴(Euphausia superba)은 남극해의 고래, 펭귄, 바다표 범 등과 같은 남극 생물의 먹이연쇄에 중요한 역할을 하며, 상업 적으로 생태학적으로 중요한 종이며(Everson, 2000), 각종 건 강식품, 약품개발 및 화장품 등의 원료와 미래 식량의 대체자 원으로 각광받고 있어 그 이용과 개발이 세계적으로 주목되고 있다(Hewitt and Demer, 1993; Atkinson et al., 2009; Jarvis et al., 2010; Fielding et al., 2014). 그러나, 지구 온난화 및 수온 상승과 같은 해양환경의 변화와 생태계 혼란, 크릴의 남획 등 으로 인하여 남극해 자원의 감소와 해양 생태계의 다양한 문제 들이 발생되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 1982년 남극해 양생물자원 보존 위원회(Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, CCAMLR)가 발효되어 남극 주변해역을 관찰 구역 및 지속적인 보존과 합리적인 이용 을 위한 국제감시제도 운영, 남극해양생물 생태계 조사와 연구 진행의 업무를 수행하고 있다(Hewitt and Low, 2000; Hewitt

https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0788

(cc)

This is an Open Access article distributed under the terms of  $(\mathbf{i})$ the Creative Commons Attribution Non-Commercial Licens (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

et al., 2004). 현재 회원국으로는 25개국이 가입되어 있으며, 우 리나라도 1985년 4월 28일에 CCAMLR에 가입하여 남극 해양 생물의 지속적 보존 및 합리적인 이용을 위한 국제기구관련 업 무를 수행하고 있다.

이와 같이 남극크릴을 관리하기 위해 시공간 분포 및 밀도를 파악하는 것이 매우 중요한데, 수중음향 기법은 짧은 시간동안 넓은 해역에 전 수층의 정보를 파악 할 수 있어 많이 이용되어지 고 있다(Lawson et al., 2008; Cox et al., 2011; La et al., 2016). 선박에서 음향조사를 수행하는 과정에서는 배경잡음, 전기신 호에 의한 잡음, 기계신호에 의한 잡음 등 다양한 잡음이 생기게 되는데, 이러한 잡음이 포함될 경우 정확한 분석이 어렵고, 정 량적인 결과를 얻기 어렵다. 정확한 분석을 위해서는 음향데이 터의 잡음을 제거하는 것이 매우 중요하다. 이러한 생물 추정의 정도 향상을 위한 방안으로 노이즈 처리 및 분석방법의 개선에 대해 많은 연구와 개발이 이루어지고 있다. 하지만, 남극해 조 사현장에서 남극크릴은 다른 생물 종과 섞여있기 때문에 크릴 의 밀도 및 현존량을 파악하기 위해서는 남극크릴의 분포를 식

Korean J Fish Aquat Sci 50(6) 788-798, December 2017

Received 6 September 2017; Revised 18 October 2017; Accepted 30 October 2017 \*Corresponding author: Tel: +82. 61. 659. 7124 Fax: +82. 61. 659. 7129 E-mail address: a2anna13@naver.com

별하는 것이 필요하다. 현재 음향 기법을 이용한 다양한 어종식 별 방법이 있는데, 최근 음향산란층에 존재하는 어군과 동물플 랑크톤, 치어 등이 음향산란층에 분포하는 여러 생물종을 구별 하는 방법으로서 2개의 주파수 차에 의한 방법을 주로 사용하 고 있다(Miyashita et al., 1997; Kang et al., 2002; Han, 2017). 본 논문에서는 음향자료를 수집하는 과정에서 발생하는 다양 한 배경잡음을 제거하는 방법을 이용하여 남극크릴의 밀도 추 정의 정도를 높이고, 크릴 종을 식별하기 위해 주파수 38과 120 kHz와 표본 조사를 통해 크릴의 크기분포에 따른 주파수 특성 을 파악하였다. 2개의 주파수로 구성되어 있는 과학어군탐지기 (EK60, 38 and 120 kHz)를 이용하여 대상 어종에 대한 주파수 별로 다른 음향산란특성을 이용하여 다양한 음향산란층의 생물 로부터의 종 식별과 South Shetland island (Subarea 48.1) 주변 해역에 분포하는 남극크릴의 시공간 분포와 현존량을 추정하여 남극크릴의 기초연구 활용에 기여하고자 한다.

#### 재료 및 방법

#### 조사해역 및 표본 채집

본 연구의 조사해역은 남극해의 48.1해구로서 South Shetland island 남쪽과 서쪽 및 외곽 해역의 남극 해안에서 조금 떨 어져 있는 Elephant island 주변으로 해역으로서, 수심 200 m 이내의 대륙붕으로 형성되는 연안 해역과 외해해역으로 구성되 어 있다. 조사기간은 2016년 4월 13일부터 24일까지 상업어선 인 광자호(3,012 tonnage, Insung, Korea)를 이용하여 이루어졌 으며, Fig. 1과 같이 7개의 조사정점을 설정하였다. 7개의 조사 정점에서는 중층트롤을 이용하여 생물을 채집하였다. 트롤을 이용하여 어획 채집된 생물은 양망 후, 각각의 생물량을 측정하 였으며, 남극크릴이 채집된 정점에서 크릴 200마리를 무작위로 선택하여 CCAMLR (2011) 보고서에서 제시된 가장 널리 알려 진 크릴 측정법인 'Discovery' 측정법으로 눈의 안테나 끝부터 꼬리까지의 길이를 mm 간격으로 측정하였다.

#### 조사 시스템의 구성

음향조사 시스템은 광자호의 선저에 부착된 과학어군탐지 기(EK60, Simrad, Norway)의 센서를 이용하였으며, 음향조 사 시스템의 설정값은 남극해양생물을 보호하기 위해 1982년 에 발효된 CCAMLR에서 제시한 음향조사기준으로 Table 1과 같이 설정하였다. 38 kHz와 120 kHz 송수파기의 타입은 각각 ES80B, ES120-7C로 설정하였고, Table 1에 나타낸 바와 같 이 주파수 38과 120 kHz의 펄스폭은 1024 ms, ping 간격은 2 초, 데이터 탐지 범위는 0-1100 m로 설정하여 음향자료를 수 집하였다.

과학어군탐지기의 교정은 음향조사 실시 전에 연안 해역 (62°28.7'S, 59°42.4'W)에서 실시하였으며, 38 kHz는 60 mm, 120 kHz는 23 mm 교정구를 이용하여 센서 보정을 실시하였고



Fig. 1. Acoustic survey station for collection of Antarctic krill *Euphausia superba* sample. Trawl collection station were shown from T1 to T7.

Table 1. Parameters of scientific echosounder for acoustic data collection

Parameter	Setting	
Transducer	ES38B	ES120-7C
Power (W)	2000	250
Pulse duration (microsecond)	1024	1024
Ping interval (second)	2	2
Data collection range (minimum-maximum) (m)	0-1100	0-1100
Bottom detection range (minimum-maximum) (m)	5-1100	5-1100
Display range (minimum-maximum) (m)	0-1100	0-1100

Table 2. Calibration result of frequency 38 kHz and 120 kHz for scientific echosounder

Frequency (kHz)	38	120
Two-way beam angle (dB)	-20.6	-21.0
Receiver bandwidth (kHz)	2.43	3.03
Transducer gain (dB)	26.82	27.64
3-dB Beam angel (athwart/along) (deg.)	7.08/7.03	6.47/5.60
Absorption coefficient (dB km <sup>-1</sup> )	9.8	24.7
Sound speed ( <i>m s</i> <sup>-1</sup> )	1448.9	1448.9

시스템의 주요 교정 사항은 Table 2에 나타내었다(Foote et al., 1987). 음향시스템의 교정 결과, 38 kHz와 120 kHz 등가지향

각은 -20.6, -21.0이었으며, Receiver bandwidth는 2.43, 3.03 이었고, Transducer gain은 각각 26.82 dB, 27.64 dB로 확인 되었다. 흡수계수는 각각 9.8 (dB/km), 24.7 (dB/km)이었으며, 수온과 염분의 영향을 받는 음속은 두 주파수 모두 1448.9 m/ s로 나타났다.

#### 남극크릴의 채집어구

조사 대상인 남극크릴은 중층트롤을 이용하여 채집하였다. 트 롤 조업에 사용된 그물의 설계도를 Fig. 2과 같이 나타내었다. 중층트롤의 총 그물의 길이는 167.6 m이었으며, 그물의 높이와 그물의 폭은 각각 40 m, 72 m 어구를 사용하였다. 중층트롤의 끝자루 길이는 32 m이었으며, 끝자루의 높이는 1.5 m, 끝자루 폭은 3 m이었다. 그물의 안쪽에서 그물코의 크기는 15 mm 이 었으며, 바깥쪽 그물코 크기는 100 mm로 구성되었다. 남극해 크릴새우의 트롤그물의 구조는 일반 중층 트롤그물과 비슷하 지만, 외망과 내망으로 이중으로 구성되어 있다는 것이 특징이 다. 외망은 그물을 일정 형태로 유지하면서 그물강도를 유지하 는 역할이고, 내망은 작은 그물코를 구성하여 입망한 크릴새우 의 탈출을 막는 역할을 한다. 또한, 내망의 규모를 설정하여 일 정량만 어획하여 갑판에서 어획물 처리가 용이하도록 사용하고 있다. 전개판은 횡형으로 된 날개형이다.

현용 중층트롤 어구의 로프 부분은 PP재질의 꼬은 밧줄인 Super Danline 3st. 로프(Danlin로프보다 인장비를 높게 하여



Fig. 2. Arrangement of the Antarctic krill Euphausia superba trawl net used in this study.

강도가 일반로프에 비해 1.3배정도 더 우수함)를 사용하였으 며, 그물 부분은 PE재질의 결절 그물감과 무결절 그물감으로 제작되었다 (Fig 2). PP Danline 8st은 헤드라인과(91.3m), 사 이드라인(86.1 m), 힘줄이다. 뜸줄의 부분은 로프 가운데에 와 이어 심이 들어가 있고, PP재질의 밧줄로 감싸진 컴파운드로 프(Compound rope)를 사용되었다. 로프부분은 나일론 재질의 Super 12st. 로프와 PP재질 로프를 사용하고 있으며, 나일론 재 질의 Eurofix br. netting을 사용하였다. Dyneema SK75 12st 로 프는 헤드라인(88.0 m)에 구성되며, 사이드라인(64.4 m)과 힘 줄의 재질은 나일론으로 구성되었다. 각 정점별로 채집하였으 며, 크릴의 트롤 어획 횟수는 4월 14일부터 4월 23일까지 약 10 일동안 7번의 채집이 이루어졌으며, 예망 시간은 평균적으로 1 시간 기준으로 하였으며, 최저 예망 수심은 30, 최고 예망 수심 은300 m으로 조사 정점의 수심에 따라 다르게 나타났다. 남극 크릴의 트롤 채집 예망속도는 약 2.0-3.0 knot로 유지하였다.

#### 잡음 제거

음향조사의 자료 분석은 후처리소프트웨어(Echoview Ver. 4.7, Echoview Software Pty. Ltd, Australia)를 이용하여 분석 하였다. 선박에서 음향조사를 진행하면서 발생하는 배경잡음, 전기신호에 의한 잡음, 기계적인 잡음 등 다양한 잡음이 발생하 게 되는데, 음향자료의 정확한 분석을 위해서는 이러한 잡음을



Fig. 3. Flow chart for the noise removal using acoustic data analysis software.

제거하는 것이 매우 중요하다. De Robertis and Higginbottom (2007)의 의해 제안된 방법으로 기본적인 잡음을 제거하고, Wang et al. (2015)의 의해 제안된 방법으로 다양하게 개발된 노이즈 필터를 이용하여 잡음을 제거하였으며 잡음처리 과정 의 흐름도를 Fig. 3과 같이 나타내었다. 또한, De Robertis and Higginbottom (2007)의 제안된 방법과 Wang et al. (2015)의



Fig. 4. Example of echogram for the noise removal based on acoustic data.



Fig. 5. Flow chart of acoustic data processing using dB difference method at 38 kHz and 120 kHz.

의해 제안된 방법을 사용해서 잡음제거의 정도를 비교하였다.

먼저, 잡음처리는 raw data에 인위적인 잡음을 만들고 가감하는 TVT (Time Varied Threshold) 방법을 적용하여 배경잡음을 제거하였다. 이후에도 잔존하고 있는 잡음을 제거하기 위해 data range bitmap의 기능으로 에코의 최대  $S_v$  (volume back-scattering strength) 값보다 크고 최소  $S_v$  값보다 작은 잡음을 소 거해 이에 따른 잡음을 제거한 후에 mask 처리를 하였다. 이 때, data range bitmap의 범위에 설정된 값들 중 생물은 참값, 그 외는 거짓값으로 설정하였다.

위의 과정을 거쳐 잡음은 상당수 제거되었지만, 아직 남아있 는 잡음을 제거하기 위해 주변의 셀 자료 가운데 최솟값으로 변 경하여 잡음의 주변 셀들의 값이 공백처리가 되도록 Erosion filter  $3 \times 3$  기능을 사용하였다. Erosion filter의 기능으로 잡음 은 확실히 제거가 되었지만 원래 존재하는 빈 공간으로 에코 의 형태가 손상되거나 에코가 약해짐을 볼 수 있는데, 이때 Dilation filter  $5 \times 5$ , Dilation filter  $7 \times 7$  기능을 이용하여 셀 자 료 가운데 최댓값으로 변경하여 손상된 에코의 빈 공간을 다 시 채워주었다. Dilation filter 가 적용된 에코그램에 다시 data range bitmap 기능을 이용하여 대상 에코의  $S_{\nu}$  범위를 설정하 고, mask 를 생성하였다. 주변 셀 자료의 가운데 중간 값으로 변 경되는 Median filter  $7 \times 7$  기능을 적용 후, Select 연산자를 이 용하여 생성된 mask 와 Median filter 기능이 적용된 에코그램, 에코의 범위를 설정한 data range bitmap 을 생성하여 잡음에 제 거된 남극크릴의 에코그램을 취득하였다(Fig. 4).

#### 주파수 차이를 이용한 남극크릴의 신호 추출

남극크릴의 에코를 추출하기 위해서는 38 kHz와 120 kHz 에 대한 주파수의 특성과 차이를 파악해야 한다. 주파수 차이 를 이용하는 방법은 다중 주파수에서 평균 체적후방산란강도

(mean volume backscattering strength, △ MVBS)의 차이를 나 타낸 것으로 본 논문에서는 다른 해양생물과 혼합된 남극크릴 의 종 식별을 위해 주로 사용하는 주파수 차이를 이용한 방법으 로 Fig. 5와 같이 흐름도로 나타내었다.

해수면 및 해저면, 그 밖의 잡음을 제거한 후 적분구간을 설정 하여 주파수별 행렬로 구성하면 새로운 에코그램이 형성된다. CCAMLR의 음향조사 기준으로 조사를 진행하여 ping interval의 파라미터가 2초로 설정 되어있기 때문에 에코그램이 수 평적으로 길어지게 된다. 이 때, resampled 기능을 이용하여 에 코그램을 한눈으로 볼 수 있게 압축하였다. 크릴의 주파수 차 이가 명확하게 결정되면, 그 값에 대한 범위를 설정하여 data range bitmap을 만들어 이 범위에 설정된 에코와 주파수 120 kHz의 셀의 크기와 일치하는 에코그램 mask를 만들고, 이것을 다시 ping 간격으로 나누고 잡음이 제거된 120 kHz의 에코그램 과 일치되는 에코그램을 대상 생물의 에코그램으로 간주한다.

음향을 이용하여 음향산란층에 존재하는 남극크릴의 밀도를 추정하기 위해서는 채집된 표본에 대한 후방산란강도(target strength)를 결정해야 한다. 그러나 남극크릴 또는 동물플랑크 톤과 같은 작은 어류 및 부레가 형성되지 않는 치어들은 크기가 작을 뿐만 아니라, 후방산란특성이 미약하여 현장에서는 후방 산란강도를 측정하는 것이 매우 어렵다. 이러한 미세한 크기의 경우 음향산란 이론모델을 이용하여 특정 플랑크톤에 대한 후 방산란강도를 추정하는데, 최근 남극크릴의 이론모델로 검증 한 distorted wave Born approximation (DWBA) 와 stochastic distorted wave Born approximation (DWBA)으로 추정한다. 본 논문에서는 SDWBA 음향산란 모델을 적용하여 남극크릴 을 디지타이저 처리한 윤곽 데이터로부터 3차원 물체의 음향 산란을 변형 실린더 형태로 가정하여 식 (1)과 같이 체적 적분 식을 계산하였다(Stanton et al., 1996; McGehee et al., 1998).

여기서, k는 해수 주변 매질에서의 음파의 파수( $m^{l}$ ,  $k=2\pi/\lambda$ ),  $\lambda$ 는 파장( $m, \lambda=c/f$ ); c는 주파수 (m/sec), f는 주파수 (Hz)이다. 아랫 첨자 1은 주변 매질을, 아랫 첨자 2 는 산란체의 매질을 나 타낸다.  $\gamma_{\kappa}$ 와  $\gamma_{\rho}$ 는  $\gamma_{\kappa}=(\kappa_{2}-\kappa_{1})/\kappa_{1} \downarrow \gamma_{\rho}=(\rho_{2}-\rho_{1})/\rho_{1}$ 로 나타내는데, 여기서  $\kappa$ 은 매질에 대한 압축률( $\kappa=1/\rho c^{2}$ )로서,  $\rho$ 는 체내 밀도 (kg/m<sup>3</sup>), c는 체내 음속(m/s) 이다. *a*는 실린더 단면의 반경(m) 을,  $r_{\rho os}$ 는 남극크릴을 디지타이저할 때의 중심선상의 위치벡터 (좌표),  $\beta_{uh}$ 는 입사각과 실린더 간의 각도(degree),  $J_{1}$ 은 제 1종 제 1차 베셀 함수이다.  $f_{bs}$ 는 각 실린더의 후방산란단면적( $\sigma_{bs}$ )에 대한 체적적분 계산된 후방산란 진폭을 나타내며, 단일 개체에 대한 후방산란강도는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$TS = 10 \log_{bs} = 10 \log |f_{bs}|^2 \quad \dots \quad (2)$$

DWBA 모델에 대해서 대상생물 내의 축 변형과 움직임에 의

한 몸체변형을 확률적(stochastic)으로 고려한 모델이 SDWBA 모델이며, 두 주파수의 음향 산란층 내의 남극크릴의 신호를 분

리하기 위해서 먼저 SDWBA 모델로 주파수 별 크릴의 산란강

도를 분석하였다(Demer and Conti, 2005; Conti and Demer, 2006; CCAMLR, 2010). SDWBA 모델을 이용하여 채집된 남

극크릴의 최소, 최대길이에 대해 38과 120 kHz의 산란강도 차

이를 계산하였으며, 계산시 모델의 매개변수인 크릴의 체장길

이와 기존연구를 통한 밀도비(g=1.0357), 음속비(h=1.0279)

와 평균유영각(0)인 N (0°, 40.5°)값을 적용(Conti and Demer,

2006)하여 실험에 사용된 각 주파수(38, 120 kHz)에 있어서의 체장 (L)에 대한 평균 TS 값을 Fig. 7에 나타내었다. 크릴을 식 별하기 위한 주파수차 범위를 나타낸 것으로, 2010년 현존량 평

7] (SC-CCAMLR-XXIX, Annex 5, CCAMLR 2010; Field-

ing et al., 2011)에 사용된 SDWBA 모델로 계산된 TS 체장 관

계식 회귀선이다. 실선은 38 kHz의 체장 관계식이며, 점선은

120 kHz이다. 파선은 120 kHz와 38 kHz의 평균값을 나타내

었다. 본 논문에서의 크릴의 체장은 25-60 mm으로 설정하였으

과학어군탐지기로부터 음향산란층 내에 존재하고 있는 남극

크릴과 다른 생물 간의 종식별을 위해, 2개의 주파수 38 kHz와

120 kHz에 의한 주파수 차를 계산해야 하므로, 음향이론모델에

의해 추정된 남극크릴의 TS 주파수 특성을 이용하였다. 두 주파 수 차에 의한 종 식별 방법은 대상 생물의 평균 체장(L)에 평균

TS의 주파수 차에 대한 비율이 임의의 체적에 대한 평균체적산

며, 그 결과 주파수차 범위는 0.36-13.17 dB로 나타났다.

란강도의 비율과 동일하다는 것으로, 식 (3)에 의해 설명된다.

#### $\triangle MVBS=TS(120kHz, \overline{L})-TS(38kHz, \overline{L})$ =SV(120kHz, \overline{L})-SV(38kHz, \overline{L}) .....(3)

크릴을 식별하기 위한 주파수차 범위는 2010년 현존량 평가에 사용한 SDWBA (Stochastic distorted-wave Born approximation) 모델로 계산된 TS-체장 관계(Fig. 6)와 크릴의 분포 사이  $= S_v$ 주파수 차의 범위(min-max)를 이용하였다 (Table. 3, SC-CCAMLR-XXIX, Annex 5, CCAMLR 2010; Fieding et al.,



Fig. 6. Relationship between TS and body length calculated by SDWBA model (SC-CCAMLR-XXIX, Annex 5, CCAMLR 2010; Fieding et al., 2011).



Fig. 7. Comparison of De Robertis and Higginbottom's method and Wang's method using the noise removal of 38 kHz and 120 kHz.

Table 3. The recommended ranges (min-max) of  $S_V$  values (in dB) used to classify different size distributions of Antarctic krill *Euphausia superba* during the 2010 B0 assessment (CCAMLR 2010 (SC-CCAMLR-XXIX, Annex5), Fielding et al, 2011). The values shown on the upper and lower lines of each cell represent the  $S_V$  ranges for 120-38 kHz and 200-120 kHz, respectively

Minumum	Maximum krill length (mm)					
krill length (mm)	20	30	40	50	60	
10	14.3-16.9	12.0-16.9	8.7-16.9	4.5-16.9	0.4-16.9	
	3.9-7.0	2.2-7.0	5.3-7.0	5.3-7.0	5.3-7.0	
20	-	12.0-14.3	8.7-14.3	4.5-14.3	0.4-14.3	
	-	2.2-3.9	5.3-3.9	5.3-3.9	5.3-3.9	
30	-	-	8.7-12.0	4.5-12.0	0.4-12.0	
	-	-	5.3-2.2	5.3-0.7	5.3-1.4	
40	-	-	-	4.5-8.7	0.4-8.7	
	-	-	-	3.9-0.7	3.9-1.4	
50	-	-	-	-	0.4-4.5	
	-	-	-	-	0.7-1.4	

2011). 채집된 남극 크릴의 적용 체장은 최소 크기와 최대 크기 를 적용하였다.

### 잡음 제거 결과

연구 조사선은 높은 운영비용 많은 인력으로 인해 조업선에 서 음향조사 진행후 획득한 음향자료 분석하는 방법이 중요시 되고 있다. 그러나 조업선에서 연구 조사선보다 다양하고 많은 잡음이 들어오기 때문에 정량적인 분석을 위해서는 잡음 제거 법이 매우 중요하다. 음향조사 중 남극크릴의 잡음제거 방법으 로 기본적인 잡음을 제거하는 방법을 제안한 De Robertis and Higginbottom (2007)의 제안된 방법과 Wang et al. (2015)의 의해 제안된 방법을 비교해서 잡음제거의 정도를 비교하였다 (Fig. 7). 조업선의 S<sub>v</sub> raw data에서 38과 120 kHz 모두 배경잡 음, 전기적인 신호 및 기계적인 잡음으로 인한 에코그램이 많이 나타나 있었다. 일반적인 잡음제거 방법으로 De Robertis and Higginbottom (2007)의 제안된 방법으로 배경잡음 및 주기적 으로 들어오는 신호들이 많이 사라지는 것을 볼 수 있었다. 그러 나 이 과정을 거쳐도 상당수의 잡음이 존재하는 것을 알 수 있었 는데, Wang et al. (2015)의 제안한 노이즈 필터 처리 과정으로 erosion filter과 dilation filter를 사용하였다. erosion filter 사용 시 잡음은 확실히 제거가 되었으나, 에코의 손상이 심했으며, 이 를 방지하기 위해 dilation filter 사용 후 에코의 빈 공간을 채워 손상된 음향신호 복구하였다. 잡음 처리 결과 기존의 제거 기법 에 비해서 잡음이 추가적으로 제거 되었으며, 어군의 형태는 최 대한 유지하면서 어군 주변의 잡음을 효과적으로 소거하여 깨 끗하고 정량적인 음향자료를 분석하였다.

#### 결 과

#### 주파수 특성



Fig. 8. Example of echogram as to the volume of cell according to the characteristics of the frequency of Antarctic krill Euphausia superba.



Fig. 9. A difference and comparison in frequency between 7 trawl stations. T3 only detected *Electrona carlsbergi*, the rest was Antarctic krill *Euphausia superba*.

남극크릴의 주파수 특성을 파악하기 위해서 셀의 크기를 여 러 개로 적용하여 크릴 군의 형상과 평균 체적후방산란강도를 파악 하였다. Fig. 8에서는 가로×세로를 각각 5 ping×2 m, 10 ping  $\times$  2 m, 20 ping  $\times$  2 m, 30 ping  $\times$  2 m, 40 ping  $\times$  2 m, 50 ping × 2 m로 적용하여 주파수 특성을 잘 나타낼 수 있는 셀 의 크기를 선별하였다. 대상어군과의 경계가 확실하며 어군의 형상이 최대한 유지되어야 한다. 또한 평균체적후방산란강도 의 변화가 크릴 어군의 특성을 잘 나타낼 수 있어야 한다. 20 ping × 2 m 이후로는 대상어군이 하나라 합쳐지거나 작은 어군 도 사라져 원래의 형상에서 변화가 많이 일어나는 것을 볼 수 있 다. 5 ping × 2 m 의 경우에는 해상도가 너무 높아 에코그램 분 석 시 시간이 오래 걸리고 원활한 분석을 진행하기 어렵다. 또 한 크릴 군 외에도 다른 생물도 포함 될 수 있기 때문에 이러한 것을 평균화 시킨 셀의 크기로 10 ping × 2 m로 결정하였다. 20 ping 과 30 ping, 40 ping, 50 ping에 대한 평균체적후방산란강 도의 dB 값은 비슷한 양상을 보였으나 셀의 크기가 커질수록 평 균과 표준편차가 작아지는 경향을 보였으며, 셀의 크기가 클수 록 평균체적후방산란강도의 값도 작아졌다.

따라서, 남극크릴 밀도를 추정하기 위한 에코그램의 적절한 적분층의 크기는 10 ping × 2 m로 5-95% 범위의 dB값을 설정 하였다. 에코그램에서 남극크릴을 다른 생물과의 종 식별을 위 하여 2개의 주파수 차이를 이용한 방법을 사용했는데(Hewitt et al., 2002; Conti and Demer, 2006), 크릴의 채집 데이터를 기본 으로 하는 크릴의 체장분포는 25-60 mm로서, 주파수 38 kHz 와 120 kHz의 차(*TS*<sub>120kHz-38kHz</sub>)는 0.36-13.17 dB로 나타났다. 트롤 정점별 MVBS 주파수 차이 값은 Fig. 9와 같다.

채집된 데이터를 기준으로 10 ping × 2 m의 셀의 크기에 따른 남극크릴의 주파수 차이 값은 4.7 dB 에서 12.0 dB로 결정되었 다. 남극발광샛비늘치만 어획된 3번 정점에서의 주파수 차이 값



Fig. 10. Relationship between NASC values and catch data.

은 -4.1~0 dB로 3번 정점을 제외한 나머지 6개의 정점에서 어 획된 남극크릴과 남극발광샛비늘치만 어획된 해역은 다르게 나 타나므로, 주파수 차이에 의한 에코그램의 명확한 분리가 가능 한 것을 알 수 있었다. 평균체적후방산란강도의 주파수 차이 범 위는 남극크릴의 99.9% 이상 어획된 해역에서 주파수 차이 범 위는 4.7-12.0 dB로서, 본 논문에서 적용한 주파수 차이 값에 포 함되는 것을 확인하였다.

#### 남극크릴의 채집 결과

조사 기간 중 7개의 조사 정점에서 어획된 조사 결과를 Table. 4에 나타내었다. 1번 정점에서는 남극크릴(*Euphausia superba*) 10,149 kg, 가시빙어(*Chaenodraco wilsoni*) 0.52 kg, 긴지느러 미빙어(*Crydraco antarcticus*) 0.03 kg, 2번 정점에서는 남극 크릴 357 kg, 가시빙어 0.42 kg, 얼음오징어(*Psychroteuthis glacialis*) 0.01 kg이었으며, 3번 정점에서는 남극발광샛비늘 치(*Electrona carlsbergi*) 만 0.01 kg이 어획되었다. 4번 정점 에서는 남극크릴 179 kg, 긴지느러미빙어 0.1 kg, 남극발광샛 비늘치 0.54 kg, 5번 정점에서는 남극크릴 7,925 kg, 점무늬빙 어(*Chionodraco rastrospinosus*) 0.64 kg, 6번 정점에서는 남극 크릴 10,308 kg, 가시빙어 0.44 kg, 점무늬빙어 0.01 kg, 7번 째 정점에서는 남극크릴 2,514 kg, 가시빙어 0.03 kg, 점무늬 빙어 0.04 kg이 어획되어 정점 3번을 제외한 모든 곳에서 크릴 이 99%이상 어획되었고, 3번 정점에서만 남극발광샛비늘치만 어획되었다.

각 정점에서 채집된 남극크릴의 단위시간노력당어획량(catch per unit effort, kg/hour)은 1번 정점에서는 11,489 kg/h, 2번 정 점에서는 357 kg/h, 3번 정점에서는 0.2 kg/h, 4번 정점에서는 767 kg/h, 5번 정점에서는 19,813 kg/h, 6번 정점에서는 14,383 kg/h, 7번 정점에서는 4,077 kg/h로 나타났다. 한편, 과학어군 탐지기의 120 kHz에 의해 추정된 남극크릴의 면적산란계수 (nautical area scattering coefficient, NASC)값과 남극크릴의 채집량과의 상관관계를 Fig. 10과 같이 나타내었다. 그 결과, NASC값과 정점별 채집된 남극크릴의 채집량과의 상관관계 (R=0.66)는 어느 정도 일치하는 것을 알 수 있었다.

#### 고 찰

음향을 이용하는 자원조사방법은 짧은 시간 내에 넓은 해역 과 전 수층에 대한 분포를 파악할 수 있으며, 대상생물의 자원 량 추정과 생태 관련 연구를 위해서 어획자료를 이용한 추정법 등과 함께 광범위하게 활용되고 있다. 그러나 관측 당시의 시 스템에 대한 안정 유무, 해상기상 상태, 센서의 교정 여부, 주변 장비와의 간섭현상 등의 다양한 요소를 비롯한 음향자료 후처 리과정의 정밀도 등은 대상생물의 현존량 산출에 많은 영향을 준다(Kang et al., 2003). 상업어선의 경우, 해양조사선과 달리 해양생물의 어획을 목적으로 하기 때문에, 조사선에 비해 다양 한 배경잡음이 포함될 가능성이 높다. 이러한 잡음을 제거하기 위해서는 후처리소프트웨어를 사용하여 분석을 진행하고 모든 자료에 대해서 모두 검증을 거쳐야만 한다. 또한, 장기간의 음 향자료를 수집하고 분석하는 경우에는 시간적으로 많은 노력 이 필요하다.

현재 남극크릴의 조업선에 음향자료 수집에 관한 규정은 CCAMLR 내부 과학위원회에서 권고를 통해 실시되고 있지만 정확하고 정량적인 분석을 위한 잡음처리 방법에 대해서는 아 직도 내부 회의가 진행 중이다. 현재 가장 권고 되고 있는 후처 리 분석방법인 De Robertis and Higginbottom (2007)의 제안 된 방법과 Wang et al. (2015) 의 노이즈 필터를 이용한 잡음제 거 방법을 본 논문에 적용하여 데이터 분석 결과 정량적이고 정 확한 데이터를 받을 수 있었다. 그러나 이 두 가지 잡음제거 방 법을 모두 적용하기에는 방대하고 넓은 남극해의 많은 데이터 를 분석하는데 원활한 분석이 어렵고 많은 시간이 걸릴 것으로 판단되어 지속적인 과학회의를 통해 데이터 분석의 규정 및 설 정 등 보다 효율적인 방법의 확립이 필요하다.

본 논문에서 다른 해양생물과 혼합된 크릴군의 종 식별을 위해 S, 주파수 차이를 이용하였다. 7개의 조사 정점에서 채 집된 데이터를 바탕으로 각 트롤정점별 주파수 차이 값(평균 ±표준편차)은 1번 정점에서는 8.1±2.0 dB, 2번 정점에서는 9.7±1.4 dB, 3번 정점은 -2.1±1.4 dB, 4번 정점은 9.6±1.2 dB, 5번 정점은 7.0±1.5 dB, 6번 정점은 7.9±1.6 dB, 7번 정 점은 7.7±1.9 dB로 나타났다. 3번 정점에서는 남극발광샛비늘 치만 어획되어 남극발광샛비늘치의 S<sub>V</sub>주파수 범위는 -4.1 dB ~0 dB로 나타났고 남극크릴의 S<sub>v</sub> 주파수 범위는 4.7 dB-12.0 dB로 나타났다. S<sub>v</sub>주파수 차 값은 크릴의 체장의 크기와 큰 연 관성을 보이는데(Hewitt et al., 2002; Conti and Demer, 2006; Fielding et al., 2011), 본 논문에서도  $S_{\nu}$  주파수 차이와 각 조 사 정점별 크릴의 체장 크기를 비교 분석한 결과, 남극크릴의 체장이 클수록 Su 주파수 차 값이 작게 나타나고, 크릴 체장이 작을수록 S<sub>v</sub>주파수 차 값이 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이와 같이 크릴의 체장에 따라 적용되는 주파수의 차이의 범위 가 다르므로 현장에 분포하는 크릴의 체장을 명확히 파악해야 할 것으로 판단된다. 또한, 남극크릴 조업에 사용되는 그물은 다른 일반 중층 트롤 그물과는 다르게 외망과 내망인 이중으로 구성되어 외망은 그물을 일정 형태로 유지하고 강도를 유지하 며, 내망은 작은 그물코를 구성하여 입망한 크릴의 탈출을 막는 역할을 하면서 내망 규모를 설정하여 일정량만 어획하여 사이

Station (date)	Latitude(S) Longitude(W)	Towing time (min.)	Towing depth (m)	Depth (m)	Catch (kg)
T01 (2016/4/14)	63°03.1′S 58°35.8′W	53	60-90	180	- KRI: 10,149 - WIC: 0.52, FIC: 0.03
T02 (2016/4/16)	62°55.2′S 61°35.7′W	60	30-60	178	- KRI: 357 - WIC: 0.42, PSG: 0.01
T03 (2016/4/17)	61°40.4′S 61°53.9′W	32	180-210	<3,000	- ELC: 0.1
T04 (2016/4/20)	61°01.5′S 55°45.4′W	14	90-120	140	- KRI: 179 - FIC: 0.1, ELC: 0.54
T05 (2016/4/22)	62°37.7′S 56°18.1′W	24	240-270	300	- KRI: 7,925 - KIF: 0.64
T06 (2016/4/23)	62°56.2′S 57°20.6′W	43	90-120	143	- KRI: 10,308 - WIC: 0.44, KIF: 0.01
T07 (2016/4/23)	62°59.2′S 57°55.6′W	37	110-140	490	- KRI: 2,514 - WIC: 0.03, KIF: 0.04

Table 4. Stations and time of trawl, area, hauling time, depth, amounts of fish caught and rate of Antarctic krill Euphausia superba

KRI, Antarctic krill *Euphausia superba*; WIC, Spiny icefish *Chaenodraco wilsoni*; FIC, Long-fingered icefish Crydraco antarcticus; PSG, Glacial squid *Psychroteuthis glacialis*; ELC, Lanternfish Electrona carlsbergi; KIF, Ocellated icefish. *Chionodracorastrospinosus*.

즈가 작은 생물은 채집되지 않았기 때문에 크기분포의 명확성 을 위해서 향후 동물플랑크톤의 채집도구를 사용할 필요가 있 다고 판단된다.

SDWBA 음향산란이론모델 값을 본 논문의  $S_V$ 주파수차 값을 비교한 결과 Fielding et al., (2011)의 음향산란모델에서는 0.36 dB  $\leq$  TS<sub>120-384Hz</sub>  $\leq$  13.17 dB로 나타났으며, 본 논문의 dB difference 값인 4.7 dB-12.0 dB 값으로 나타났다. 이러한 결과는 실 제 어획시기의 100% 에코그램의 확인한 결과, dB difference 값이 큰 개체의 주파수 특성이 나왔는데, 그 이유로는 정점별 표 본 채집 자료의 체장 조성에 대한 오류, 혹은 유영자세각 함수의 편차 등에 의한 결과로 고려해 볼 수 있다.

동일한 지역이더라도 남극크릴의 분포는 다양한 해양환경에 따라 큰 변동을 나타내고(Hewitt et al., 2003), 4-5년 주기로 변동성을 나타내는 것으로 연구되었다(Feilding et al., 2014). 본 연구에서 남극크릴은 수심 20-70 m와 200 m 부근, 최대 320 m 까지 탐지가 되었는데, 남극크릴은 낮에는 하층에서 서식하고 먹이사슬의 상위포식자들을 피해 밤에 상층으로 이동하여 섭이 활동을 하여 일주 연직 이동을 하는 것으로 알려져 있다(Gaten et al., 2008; Zhou and Dorland, 2004). 향후에는 남극크릴의 이동 경로와 주·야간에 따른 크릴의 수심 분포 변동성을 정확히 예측하기 위해 상업어선을 이용한 장기적이고 지속적인 모니터링과 추가 조사가 필요하다고 사료된다.

### 사 사

본 연구는 국립수산과학원 원양어업자원평가 및 관리연구 (R2017027)의 지원에 의해서 수행되었으며, 본 논문을 사려 깊 게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

#### References

- Atkinson A, Siegel V, Pakhomov EA, Jessopp MJ and Loeb V. 2009. A re-appraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill. Deep Sea Research Part I: Oceanogr Res Papers 56, 727-740. https://doi.org/10.1016/j. dsr.2008.12.007.
- CCAMLR (Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources). 2010. Report of the twenty-ninth meeting of the Scientific Committee. Hobart, Australia, Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources. SC-CAMLR-XXIX: 1-426.
- CCAMLR (Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources). 2011. Scientific Observers Manual - 2011. Observation guidelines and reference material. CCAMLR, Hobart, 1-71.
- Conti SG and Demer DA. 2006. Improved parameterization of the SDWBA for estimating krill target strength. ICES J Mar Sci 63, 928-935. https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.02.007.

- Cox MJ, Watkins JL, Reid K and Brierley AS. 2011. Spatial and temporal variability in the structure of aggregations of Antarctic krill (*Euphausia superba*) around South Georgia, 1997-1999. ICES J Mar Sci 68, 489-498. https://doi. org/10.1093/icesjms/fsq202.
- Demer DA and Conti SG. 2005. New target-strength model indicates more krill in the Southern Ocean. ICES J Mar Sci 62, 25-32. https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.07.027.
- De Robertis A and Higginbottom I. 2007. A post-processing technique to estimate the signal-to noise ratio and remove echosounder background noise. ICES J Mar Sci 64, 1282-1291. https://doi.org/10.1093/icesjms/ fsm112.
- Everson I. 2000. Distribution and standing, The Southern Ocean. Krill Biology, Ecology and Fisheries. by I. Everson Blackwell Science, 63-79.
- Fielding S, Watkins JL, Trathan PN, Enderlein P, Waluda CM, Stowasser G, Tarling GA and Murphy EJ. 2014. Interannual variability in Antarctic krill (*Euphausia superba*) density at South Georgia, Southern Ocean: 1997-2013. ICES J Mar Sci 71, 2578-2588. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu104.
- Fielding S, Watkins J, Cossio A, Reiss C, Watters G, Calise L, Skaret G, Takao Y, Zhao X, Agnew D, Ramm D and Reid K. 2011. The ASAM 2010 assessment of krill biomass for area 48 from the Scotia Sea. CCAMLR 2000 synoptic survey. CCAMLR WG-EMM-11/20.
- Foote KG. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. International Council for the Exploration of the Sea.
- Gaten E, Tarling G, Dowse H, Kyriacou C and Rosato E. 2008. Is vertical migration in Antarctic krill (Euphausia superba) influenced by an underlying circadian rhythm?. J Genet 87, 473. https://doi.org/10.1007/s12041-008-0070-y.
- Han I. 2017. A study on the density estimation of Antarctic krill using 2-frequency difference method. Master Dissertation, Chonnam National University, Yeosu, Korea.
- Hewitt RP and Low EHL. 2000. The fishery on Antarctic krill: defining an ecosystem approach to management. Rev Fish Sci 8, 235-298. http://dx.doi.org/10.1080/10641260091129224.
- Hewitt RP, Demer DA and Emery JH. 2003. An 8-year cycle in krill biomass density inferred from acoustic surveys conducted in the vicinity of the South Shetland Islands during the austral summers of 1991-1992 through 2001-2002. Aqua Living Resour 16, 205-213. https://doi.org/10.1016/ S0990-7440(03)00019-6.
- Hewitt RP, Watkins JL, Naganobu M, Tshernyshkov P, Brierley AS, Demer DA, Kasatkina S and Brandon M A. 2002. Setting a precautionary catch limit for Antarctic krill. Oceanogr 15, 26-33.
- Hewitt RP, Watkins JL, Naganobu M, Tshernyshkov P, Brierley AS, Demer DA, Kasatkina S and Brandon M. 2004. Biomass of Antarctic krill in the Scotia Sea in January/February 2000 and its use in revising an estimate of precautionary

yield. Deep Sea Res II: Topical Studies in Oceanography 51, 1215-1236. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.06.011.

- Hewitt R and Demer DA. 1993. Dispersion and abundance of Antarctic krill in the vicinity of Elephant Island in the 1992 austral summer. Mar Eco Progr ser 99, 29-39.
- Jarvis T, Kelly N, Kawaguchi S, Wijk E and Nicol S. 2010. Acoustic characterisation of the broad-scale distribution and abundance of Antarctic krill (*Euphausia superba*) off East Antarctica (30-80 E) in January-March 2006. Deep Sea Res II: Topical Studies in Oceanography 57, 916-933. https:// doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.06.013.
- Kang D, Shin HC, Kim S, Lee Y and Hwang D. 2003. Species identification and noise cancellation using volume backscattering strength difference of multi-frequency. Korean J Fish Aqua Sci 36, 541-548. https://doi.org/10.5657/ kfas.2003.36.5.541.
- Kang, MH, Furusawa M and Miyashita K. 2002. Effective and accurate use of difference in mean volume backscattering strength to identify fish and plankton. ICES J Mar Sci 59, 794–804. https://doi.org/10.1006/jmsc.2002.1229.
- La HS, Lee H, Kang D, Lee S and Shin HC. 2016. Volume backscattering strength of ice krill (*Euphausia crystallorophias*) in the Amundsen Sea coastal polynya. Deep Sea Res II: Topical Studies in Oceanography 123, 86-91. https://doi. org/10.1016/j.dsr2.2015.05.018.
- Lawson GL, Wiebe PH, Stanton TK and Ashjian CJ. 2008. Euphausiid distribution along the western Antarctic Peninsula. A. Development of robust multi-frequency acoustic techniques to identify euphausiid aggregations and quantify euphausiid size, abundance, and biomass. Deep Sea Res II 55, 412–431. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2007.11.010.
- McGehee DE, O'Driscoll RL and Traykovski LM. 1998. Effects of orientation on acoustic scattering from Antarctic krill at 120 kHz. Deep Sea Res II: Topical Studies in Oceanography 45, 1273-1294. https://doi.org/10.1016/S0967-0645(98)00036-8.
- Miyashita K, Aoki I, Seno K, Taki K and Ogishima T. 1997. Acoustic identification of isada krill, Euphausia pacifica Hansen, off the Sanriku coast, north-eastern Japan. Fish Oceanogr 6, 266-271. https://doi.org/10.1046/j.1365-2419. 1998.00042.x.
- Stanton TK, Chu D and Wiebe PH. 1998. Sound scattering by several zooplankton groups. II. Scattering models. J Acoust Soc Am 103, 236-253. http://dx.doi.org/10.1121/1.421110.
- Wang X, Zhao X and Zhang J. 2015. A noise removal algorithm for acoustic data with strong interference based on postprocessing techniques. CCAMLR SG-ASAM-15/02: 1-11.
- Zhou M and Dorland RD. 2004. Aggregation and vertical migration behavior of Euphausia superba. Deep Sea Res II: Topical Studies in Oceanography 51, 2119-2137. https://doi. org/10.1016/j.dsr2.2004.07.009.