

조업선에서 수집한 음향자료에 대한 잡음 제거 기법에 관한 연구

이형빈 · 최석관* · 이경훈¹ · 이재봉 · 이종희 · 최정화

국립수산과학원 자원관리과, ¹전남대학교 해양기술학부

A study on noise removal technique for acoustic data from a fishing boat

Hyungbeen LEE, Seok-Gwan CHOI*, Kyoungsoon LEE¹, Jae-Bong LEE, Jong-Hee LEE, Jung-Hwa CHOI

Fisheries Resources Management Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619–705, Korea

¹Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550–749, Korea

The Commission for Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR) is utilized to manage krill resources using acoustic data collection and a scientific observer program operating on the fishing boats. However, the acoustic data were contained seriously noise, example of background, spike, and intermittent noise, due to purpose of fish boats. In this study, the noise removal techniques were confirmed the potential of the acoustic data analysis. Acoustic system and frequency used in the survey were commercial echosounder (ES70, SIMRAD) and 200 kHz split beam transducer. Acoustic data were analyzed using Echoview software (Myriax), and general data analysis and new noise removal method was used. Although a variety of noise, most of the noises have been removed using the noise removal processing. We confirmed the possibility of analyzing the acoustic data obtained from fish boats. The results will be useful for analysis of the acoustic data acquired from krill fishing boats.

Keywords: Fishing boat, Acoustic survey, Noise removal, Antarctic krill, *Euphausia superba*

서론

남극 크릴 (Antarctic krill, *Euphausia superba*)은 남극해의 피식자인 식물플랑크톤과 포식자인 펭귄, 바다표범, 고래 등을 이어주는 매개체로 남극 생태계에 중요한 역할을 한다 (Everson, 2000). 또한 남극 크릴은 수산 자원의 중요한 종 중 하나로, 1970년 이후 상업적인 어획이 진행되고 있다. 크릴 어획량은 1980년 이전까지 매년 50만톤에 이르렀으나, 러시아 (구 소련)의 조업선 감소로 1990년대에는 10만톤 이내로 감소하였다 (CCAMLR, 2014). 2000년 이후 어획 도구의 발달 및

수중음향 기법을 활용으로 인한 효율적인 크릴 어획으로 전 세계적으로 어획량이 증가하는 경향 보이고 있다. 남극 크릴은 현재까지 조사 결과 남극해 전체에 분포하는 것이 아니라 일부 지역에 편중되어 분포한다 (Kang et al., 2005). 그 중 남쉐틀랜드 군도 (South Shetlands Islands, subarea: 48.1)와 남오르케니섬 (South Orkneys Islands, subarea: 48.2) 인근 해역은 크릴의 분포가 상대적으로 높은 해역으로, 특히 남쉐틀랜드 군도 해역의 어획량은 현재 약 20만톤으로 2010년부터 2012년까지 어획량이 3배 이상 증가하였다.

*Corresponding author: sgchoi@korea.kr, Tel: 051-720-2330; Fax: 051-720-2337

크릴 어업은 크릴 자원의 체계적인 관리를 위해서 1982년 이후 Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR)에서 관리한다. CCAMLR는 크릴 어획 국가에 대해서 연구조사선과 크릴 조업선에서 획득한 음향 및 어획자료를 관리하고, 특히 일부 크릴 조업선에 대해서 CCAMLR의 국제 과학 관측에 일환으로 과학적인 옵서버 프로그램을 통해서 교육된 옵서버가 직접 탑승하여 음향 및 어획자료를 수집하고 있다. 이 옵서버는 어획된 크릴의 크기 및 성숙도뿐만 아니라 어구에 의해 어획된 어류, 그리고 조류, 펭귄, 해표 등의 포유류에 대한 사망률까지 기록하여 CCAMLR에 제출하고 있다.

현재 남극해 크릴의 자원 관리를 위해서 남쉐틀랜드 군도와 남오크니섬 부근의 총 어획량은 각각 62만톤과 28만톤으로 제한하고 있다 (SC-CAMLR, 2014). 이러한 크릴의 총 어획량 제한은 연구조사선의 주기적인 남극 크릴 음향조사와 크릴 조업선의 어획자료를 통해서 정해진다. 하지만 전 세계적으로 남극 내 크릴 연구를 위한 연구조사선은 높은 운영비용으로 인하여 조사 횟수가 감소하고 있어 조업선에서 획득한 자료 활용에 대한 필요성이 대두되고 있다.

크릴 조업선은 효율적인 어획을 위해서 음향 시스템이 필수적으로 설치되어 있다. 이러한 조업선에 설치된 음향 시스템은 연구조사선에서 크릴의 정량적인 현존량을 추정하기 위해 사용되는 과학어군탐지기와 매우 유사하며, 조업선의 경우 연구조사선에 비해 상대적으로 장기간에 걸쳐 크릴 어장에 위치하게 된다. 따라서 크릴 조업선을 이용하여 양질의 음향자료를 수집할 수 있다면, 크릴 자원 관리 및 평가에 큰 도움을 줄 수 있다. CCAMLR에서는 크릴 자원관리에 대한 필요성을 인식하여 크릴 조업선에서 획득한 음향 및 어획자료를 활용하기 위해서 2011년 음향 조사 및 분석 방법에 대한 소그룹 (Subgroup on Acoustic Survey and Analysis Method, SG-ASAM)을 운영하고 있다. 한국 또한 SG-ASAM의 회원으로 남극 크릴 조업선의 조업과 동시에 옵서버가 탑승하여 크릴 음향 조사 활동을 진행하고 있다.

음향 기법을 이용한 크릴 또는 어류의 자원량 추정시 주변 환경 잡음, 시스템 잡음 등이 포함 될 경우 정확한 양 추정에 문제가 발생된다. 연구조사선에서 획득한 음향자료에 대한 자료 처리시 상용화된 후처리 소프트웨

어 (Echoview; Myriax Pty Ltd, Hobart, Tasmania, Australia)을 이용하여 잡음을 제거함으로써, 자원량 추정의 정확도를 향상시키고 있다 (Lee et al., 2009; Kang, 2011; Lee et al., 2014; Kang et al., 2015). 반면, 조업선에서 획득한 음향자료는 조업선의 목적상 어로장비 및 기타 음향 장비의 사용으로 연구조사선보다 더 많고 다양한 잡음이 유입되기 때문에 조업선으로 획득한 음향자료의 분석 결과에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 잡음 제거의 과정이 매우 중요하다. 따라서 조업선으로 획득한 음향자료의 정확한 분석을 위해서 잡음 제거 절차가 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 크릴 조업선에서 획득한 음향자료 중 주요 잡음인 배경 소음, 주기적 소음, 그리고 간헐적인 소음 신호가 존재하는 신호에 대해서 잡음 제거를 실시하여 분석 가능성을 검증하였다.

재료 및 방법

음향 조사 및 음향 시스템

CCAMLR는 남극 크릴의 분포와 자원량에 대한 정량 및 정성적인 정보를 획득하기 위해서 2011년부터 전 세계 13척의 조업선으로 음향조사 및 자료 공유를 진행하고 있다. 그 중 국내 조업선은 총 4척으로, CCAMLR에 기준에 적합한 음향 시스템을 보유하고 있는 조업선은 세종호와 광자호로 2척이다 (Table 1). 이 크릴 조업선들은 남극해 내 크릴이 대량으로 분포하는 해역인 남쉐틀랜드 군도와 남오크니섬 인근해역에서 2013/2014년에 처음으로 크릴 어획과 동시에 음향 조사를 진행하였다 (Fig. 1). 두 크릴 조업선 운영 시 국립수산과학원 내 옵서버 프로그램을 이수한 옵서버가 탑승하여 음향자료와 어획자료를 획득하였다.

크릴 조업선을 이용한 조사는 세종호의 경우 2013년 11월 5일~7일 남오크니섬 인근 해역과 2013년 12월 1일~12일 남쉐틀랜드 군도 인근해역에서, 광자호에 경우 2014년 1월 27일부터 3월 6일까지 남쉐틀랜드 군도 인근해역에서 크릴 어획과 동시에 음향자료를 획득하였다 (Fig. 1). 세종호 (Freq.: 38 kHz, 200 kHz)와 광자호 (Freq.: 38 kHz, 120 kHz)의 센서는 spilt-beam 타입이고, 음향 시스템은 과학어군탐지기인 EK60 (Simrad, A Kongsberg Company, Horten, Norway)과 유사한 ES70 (Simrad, A Kongsberg Company, Horten, Norway)

가 설치되어 있다 (Table 1). 음향 조사시 시스템 파라미터는 CCAMLR의 음향 조사 기준을 토대로 설정하여 자료를 저장하였고 (ICES, 2014; Table 2), 음향자료 저장 파라미터는 SG-ASAM 기준으로 설정하였다 (Table 2). 반면, 분석을 위한 잡음 처리 절차는 아직 논의 중에 있기 때문에, 본 연구에서는 일반적으로 과학어군 탐지기로 획득한 크릴 음향자료 처리시 활용하는 분석 기법으로 자료 및 잡음 처리를 진행하였다 (Fig. 2). 음향자료처리는 후처리 소프트웨어인 Echoview

(Ver. 6.1) 를 이용하여 가상 에코그램 기법으로 분석하였다. 잡음 처리는 반자동 분석이 가능한 배경 잡음 제거를 위해서 TVT (Time varied threshold) 보상과 주기적 및 간헐적인 신호 제거를 위한 median filter (3×3 convolution) 기법을 이용하였다. 또한, SG-ASAM-2015에서 토의된 잡음 제거 방법 (3×3 erosion filter, 5×5 dilation filter, 7×7 dilation filter)을 추가로 사용하여 기존의 잡음 제거 기법으로 분석한 결과와 비교하였다 (Fig. 2; Wang et al., 2015).

Table 1. Echosounders and frequencies, fishing activity of boats licensed to fish in the krill fishery from Korean krill fishing boats between 2011 and 2014 in Subarea 48.1 and 48.2

Boat name	Echosounder system	Frequency (kHz)	Fishing status		
			2011/12	2012/13	2013/14
Adventure	Simrad ES60	38, 120	-	-	
Sejong Ho	Simrad ES70	38, 200	-	-	Fished
Insung Ho	JRC JFV-130, Furuno FCV-161ET	28, 50	-	-	Fished
Kwang Jo Ho	Simrad ES70	38, 120	-	-	Fished

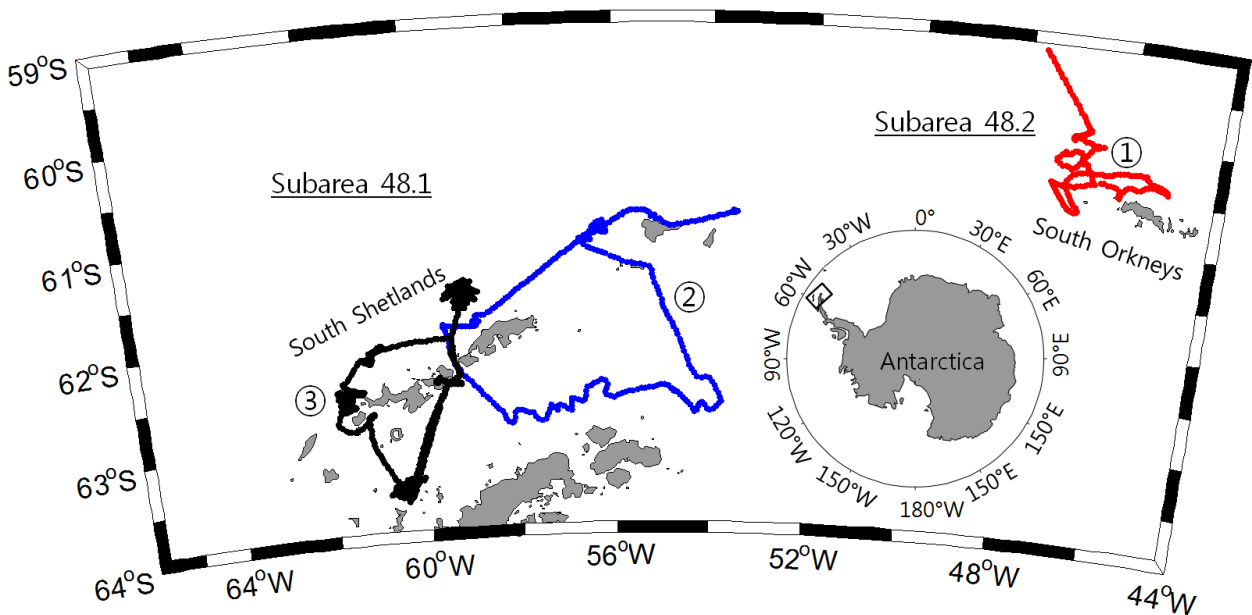


Fig. 1. Cruise tracks from the fishing boat of *Sejong Ho* and *Kwang Ja Ho* during krill fishing. The acoustic data were collected in Subarea 48.1 and 48.2 in 2013/14. The cruise track in red line was 5~7 Nov. 2013 from the *Sejong Ho*. The blue line was 1~12 Dec. 2013 from *Sejong Ho*. The black line was 27 Jan. ~6 Mar. 2014 from *Kwang Ja Ho*

Table 2. Echosounders setting for running specified transects acoustic survey from CCAMLR regulation

Parameters	Value		
Frequency (kHz)	38 kHz	120 kHz	200 kHz
Power settings (W)*	*Will change dependent on beam width		
Ping duration (microsecond)	1024	1024	1024
Ping interval (second)	2	2	2
Data collection range (m) (min. ~ max.)	0-1000	0-1000	0-1000
Data collection range (m) (min. ~ max.)	5-1000	5-1000	5-1000
Display range (m) (min. ~ max.)	0-1000	0-1000	0-1000



Fig. 2. The flow diagram of the data analyzing procedure using Echoview program

결과 및 고찰

Fig. 3과 Fig. 4는 남쉐틀랜드 군도 인근해역에서 2012년 12월 7일 5시 8분~18분 (UTC, 60° 49.724 'S, 56° 17.486 'W) 와 12월 8일 8시 4분~14분 (UTC, 61° 19.414 'S, 56° 50.261 'W) 에 주파수 200 kHz로 획득한 체적산란강도 (Volume backscattering strength, SV) 의 자료 분석 및 잡음 제거 과정의 예이다. Fig. 3 (a)는 음향자료처리 전 에코그램으로 수심 27~72 m와 119~191 m에 크릴 또는 어류로 예측되는 신호가 탐지되었다. 또한, 획득한 음향 신호 내 배경 소음 (< 200 m)과 주기적인 소음 신호가 공존하였다. 이 음향자료에 대해서 일반적인 잡음 처리 기법으로 자료 처리를 진행한 결과 배경 소음과 주기적인 소음 신호는 거의 제거되었으나, 수심 200 m 이하의 주기적인 잡음은 완벽하게 제거되지 않았다 (Fig. 3 (b)). 여기에 SG-ASAM-2015에 토의된 잡음 제거 절차 (3×3 erosion filter, 5×5 dilation filter, 7×7 dilation filter)를 진행하여 추가 잡음 제거 및 잡음 제거과정에서 손실된 크릴 및 어류 신호를 복구하였다. Fig. 3 (c)는 7×7 dilation filter를 통해 크릴 및 어류 신호 주변을 확장하여 실제 신호와 비교를 통해 잡음 제거로 인하여 손실된 음향 신호를 복구하는 자료 처리 과정이다. 자료 처리 결과 기존의 잡음 제거 기법에 비해서 잡음이 추가적으로 제거되었고 (Fig. 3 (d)), 크릴 또는 어류가 분포하는 신호에 대해서 잡음처리 전·후를 비교한 결과 약 1.8 dB에 해당하는 잡음 신호가 제거되었다 (Table 3).

Table 3. Example of volume backscattering strength (SV, dB) of analysis area by noise removal algorithm

Analysis area	Raw data	General noise procedure	New noise procedure
Area 1	-58.80 dB	-60.58 dB	-60.69 dB
Area 2	-55.57 dB	-59.53 dB	-63.99 dB

획득한 음향 신호 중 간헐적인 잡음이 존재하는 신호에 대해서 동일한 잡음 처리 기법을 이용하여 자료처리를 실시하였다 (Fig. 4). 기존 및 추가된 잡음 제거 절차를 이용하여 자료 처리를 진행한 결과, 자료 처리 전에 비해서 각각 4.0 dB와 8.4 dB 씩 잡음이 제거되었으나 완벽히 잡음이 제거 되지는 않았다 (Table 3, Fig. 4 (d)). 제거되지 않은 잡음에 대해서는 음향신호에 대한 직접적인 확인으로 제거가 가능하지만, 효율적인 분석

을 위해서는 반자동으로 실행되는 잡음에 대한 추가적인 제거 기법의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

음향조사를 통한 수산 자원량 예측 과정 및 생태계 연구는 조사의 반복성, 한정된 시간에서 연구지역의 확장성 그리고 어획자료와의 상관성 등을 고려하여 광범위하게 사용되고 있다. 하지만 관측 당시의 시스템의 안정성, 센서 교정 여부, 해상 상태, 유사한 음향 장비와의 간섭현상, 대상해역에서의 생물 어획 등과 같은 일차적인 요소들과 자료 취득 후의 처리 과정 등에 대한 정확도가 자원량 산출에 큰 영향을 준다 (Kang et al., 2003). 남극 조업선의 본래 목적은 크릴 어획이기 때문에 획득한 음향자료는 일반적인 연구조사선에서 획득한 음향자료에 비해서 강한 잡음이 포함될 가능성이 높다. 따라서 음향자료 처리 및 잡음 제거는 자료 분석 간에 중요한 역할을 차지한다. 하지만 남극 조업선은 장기간 동안 획득한 음향자료이기 때문에 자료 처리 시 후처리 소프트웨어를 이용하여 반자동 분석을 진행해야 하고, 모든 자료에 대해서 직접적인 확인을 통한 분석은 실질적으로 불가능하다. 현재 남극 크릴 조업선에서 음향 저장은 CCAMLR의 권고를 통해 실시되는 반면에 자료 처리 및 잡음 제거에 대한 규정 설정은 진행 중이다. 따라서 자료 처리에 대한 반복적인 회의를 통한 규정 설정 및 정립 이후 자료 처리를 진행해야 할 것으로 판단된다.

크릴 조업과 동시에 획득하는 음향 신호에 고품질 자료획득을 위해서 국내·외 크릴 어업 조합뿐 만 아니라 국가적으로 본 프로그램의 증명을 위해서 노력하고 있다. 따라서 크릴 조업선 내 음향 장비를 과학어탐과 유사한 형태로 교체가 진행되었고, 획득한 음향자료에 대해서 통합적인 크릴 자원량 관리에 사용하기 위해서 과학자, 관련 어업협동조합, 그리고 관련 국가가 힘을 합쳐 노력하는 중이다.

남극 크릴 조업선 사용한 음향 시스템은 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 일반적으로 특정회사 제품의 ES70 시스템을 활용하고 있다. 이 시스템은 대부분 과학어탐 장비인 EK60과 비교시 센서는 동일하나, 센서감도의 교정기능이 제거되어 있다. 따라서 크릴 조업선을 보유한 국가들은 획득한 음향자료를 과학적으로 활용하기 위해서 센서 교정에 대한 방법을 협의하고 있다. 현재까지 협의된 교정 방법은 교정구 신호 획득 후, 역산하여 음향자료 프로그램의 후처리 기법을 통해 센서를 교

정하는 방법과 해저면 신호의 차이를 통해 교정하는 방법으로 2011년 이후 현재까지 계속적으로 협의가 진행되고 있다 (Demer, 2004; Everson et al., 2013). 또한 CCAMLR의 국제적인 협의를 통한 음향 센서 교정 규

정의 선정 이후 조업선 음향자료를 이용한 크릴의 분포 및 자원량 산출 등에 대한 분석을 진행하고 있는 실정이다.

조업선을 활용한 남극 크릴 음향 조사는 크릴의 식

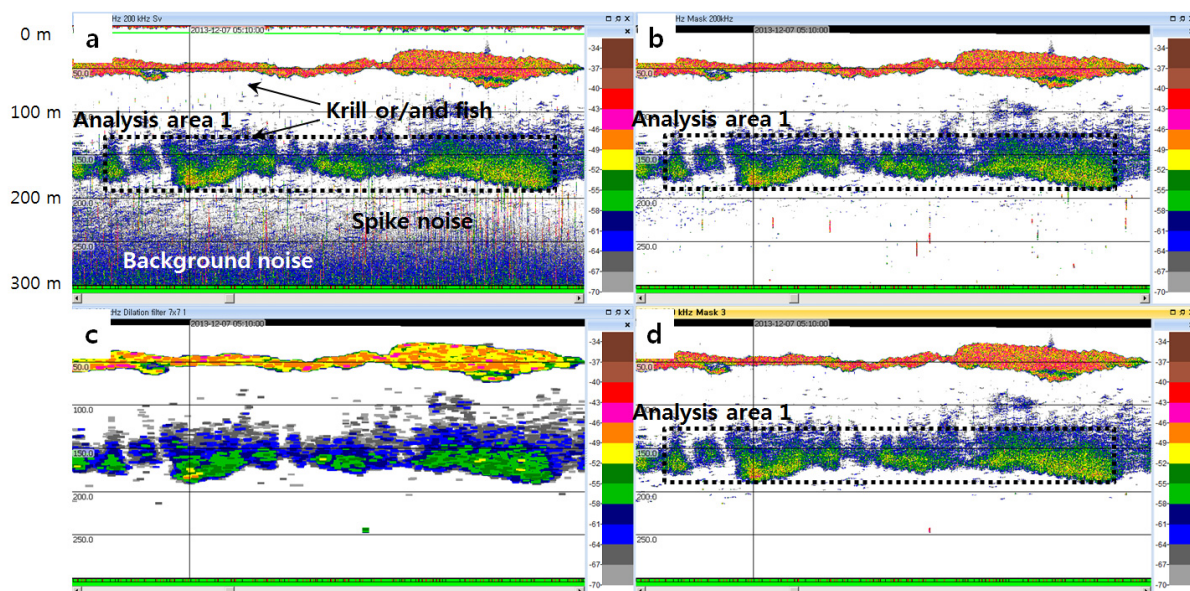


Fig. 3. Exemplified echograms from ES70 echosounder operating at 200 kHz from *Sejong Ho*. (a) raw data with general background and spike noise, (b) echogram after removing noise remove using TSV compensation and 3×3 convolution filter, (c) echogram used by 7×7 dilation filter, and (d) echogram used by new noise elimination. Black dot area is analysis area

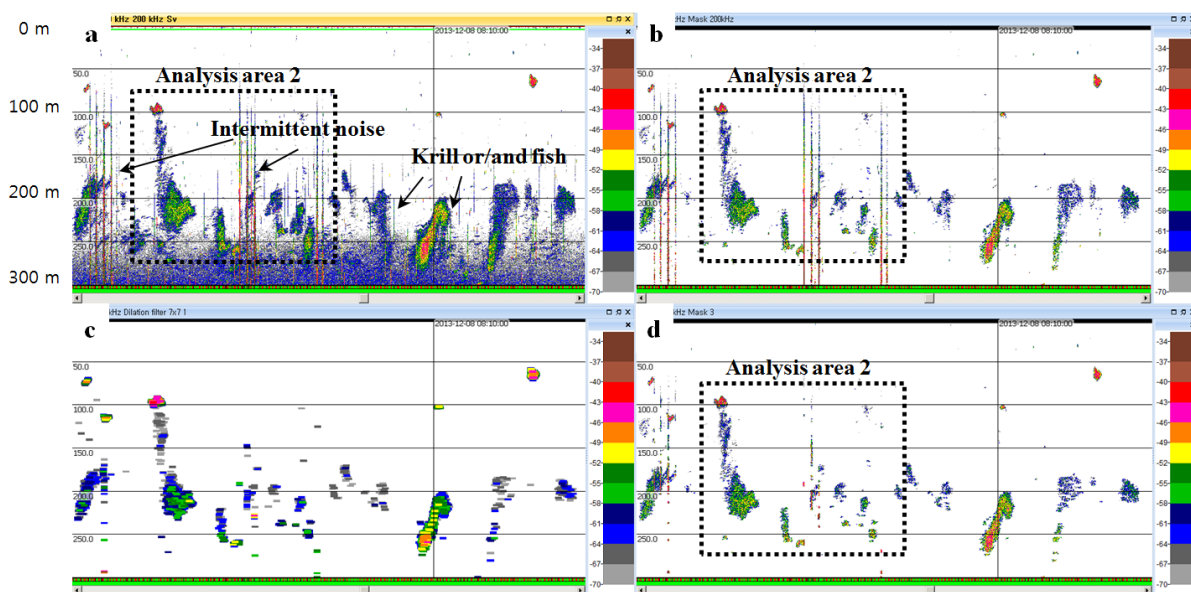


Fig. 4. Exemplified echograms from ES70 echosounder operating at 200 kHz from *Sejong Ho*. (a) raw data with general background and intermittent noise, (b) echogram after removing noise remove using TSV compensation and 3×3 convolution filter, (c) echogram used by 7×7 dilation filter, and (d) echogram used by new noise elimination. Black dot area is analysis area

별, 분포, 밀도 및 생리에 대한 중요한 정보를 제공할 뿐만 아니라, 연구조사선에 비해서 상대적으로 적은 비용으로 장기간 동안 연속적인 음향자료를 획득할 수 있는 장점이 있다. 또한, 과학조사를 수행하는 조업선 자료에 대해서 연구조사선의 결과와 비교 분석을 통한 검증이 가능하다. 따라서 조업선을 이용한 음향조사는 잠재적으로 과학 연구 선박의 요구사항을 통합하는 새로운 조업선의 디자인이다. 본 논문에서 사용된 국내 크릴 조업선을 이용하여 획득한 크릴 음향자료로 SG-ASAM 회의를 통해 안정된 음향자료 및 분석 방법, 그리고 잡음 제거로 회원국들 음향 전문가들에서 호평을 받아 남극 크릴 조업선의 음향자료 분석의 가능성을 제시하였다. 따라서 남극해에서 조업선을 이용하는 음향조사 방법은 잠재적으로 지속적인 크릴 자원을 이용하기 위한 국제 과학적 관리 수단을 목표로 하는 새로운 시대적인 흐름에 부합하는 기본적인 요구 사항으로 판단된다.

결론

남극해역 내 연구조사선보다 상대적으로 적은 비용으로 장기간 동안 연속적인 음향자료를 획득할 수 있는 크릴 조업선으로 획득한 음향자료에 대해서 잡음 제거를 통해 자료 처리 가능성을 확인하였다. 본 연구는 크릴이 고밀도로 분포하여 어획 활동이 많은 해역 중 하나인 남쉐틀랜드 군도지역에서 획득한 음향자료 중 생성되는 주요 잡음인 배경 소음, 주기적 소음, 간헐적인 소음 신호가 존재하는 신호를 선택하여 잡음 제거 자료 처리를 실시하였다. 자료 처리는 일반적으로 과학 어군 탐지기로 획득한 크릴 음향자료 처리시 활용하는 분석 기법과 SG-ASAM-2015에서 토의된 잡음 제거 기법을 이용하여 진행하여 비교 분석하였다. 분석 결과 음향 신호 내 배경 소음과 주기적 소음은 제거되었으나 간헐적인 소음 신호는 완벽히 제거 되지 않았다. 남극 조업선은 장기간 동안 획득한 음향자료이기 때문에 자료 처리시 Echoview 프로그램을 이용한 반자동 분석으로 진행해야 한다. 하지만 완벽히 제거 되지 않은 잡음에 대해서 직접적인 확인을 통해 잡음을 제거할 경우 크릴 조업선으로 획득한 음향자료는 조업한 해역 내의 크릴 분포 및 자원량 조사에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 국립수산물과학원 원양어업자원평가 및 관리연구 (RP-2015-FR-016)의 지원에 의해서 수행되었습니다.

References

- Everson I. 2000. Distribution and standing, The Southern Ocean. Blackwell Science, London., UK, 63-79.
- Everson I, Kayanda R and Taabu-Munyaho A. 2013. Comparing echosounder efficiency using field observations. Lake Resev Manage 18, 167-177 (DOI:10.1111/lre.12026).
- CCAMLR. 2014. CCAMLR Statistical Bulletin. Volume 26 (Database Version; www.ccamlr.org). CCAMLR, Hobart, Australia. Accessed 25/06/2015.
- Demer DA. 2004. An estimate of error for the CCAMLR 2000 survey estimate of krill biomass. Deep-Sea Res II 51, 1237-1251 (DOI:10.1016/j.dsr2.2004.06.012).
- ICES. 2014. A metadata convention for processed acoustic data from active acoustic systems. Document SISP 4-TG-AcMeta, ICES WGFASD Topic Group, TG-ASMeta. Copenhagen, Denmark, ICES, pp. 44.
- Kang D, Shin HC, Kim S, Lee YH and Hwang DJ. 2003. Species identification and noise cancellation using volume back-scattering strength difference of multi-frequency, J Kor Fish Soc 36, 541-548 (DOI: http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2003.36.5.541).
- Kang D, Shin HC, Lee YH, Kim YS and Kim S. 2005. Acoustic estimated of the krill (*Euphausia Superba*) density between South Shetland Islands and South Orkney Islands, Antarctica, during 2002/2003 austral summer, Ocean Polar Res 27, 75-86 (DOI: 10.4217/OPR.2005.27.1.075).
- Kang MH. 2011. Semiautomated analysis of data from an imaging sonar for fish counting, sizing, and tracking in a post-processing application, Fish Aquat Sci 14 (3), 218-225 (DOI: http://dx.doi.org/10.5657/FAS.2011.0218).
- Kang MH, Seo YI, Oh TY, Lee KH, Jang CS. 2015. Estimating the biomass of anchovy species off the coast of Tongyeong and Yeosu in South Korea in the spring and winter of 2013 and 2014. J Kor Soc Fish Tech 51 (1), 86-93 (DOI: http://dx.doi.org/10.3796/ KSFT.2015.51.1.086).
- Lee HB, Kang DH, Im YJ and Lee KH. 2014. Distribution and Abundance of Japanese Anchovy *Engraulis japonicus* and Other Fishes in Asan Bay, Korea, estimated Hydroacoustic Survey, Kor J Fish Aquat Sci 47 (5), 1055-1062 (DOI: http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0103).
- Lee KH, Choi JH, Shin JK, Chang DS and Park SW. 2009. Acoustical backscattering strength characteristics and density estimates of Japanese common squid distributed in Yellow

Sea. J Kor Soc Fish Tech 45 (3), 157-164 (DOI: 10.3796/KSFT.2009.45.3. 157).

Wang X, Zhao X and Zhang J. 2015. A noise removal algorithm for acoustic data with strong interference based on post-processing techniques. Document SG-ASAM-15. Hobart, Australia, CCAMLR, pp. 1-11.

2015. 6.29 Received

2015. 8.23 Revised

2015. 8.27 Accepted