Article

수산 음향 기법을 이용한 연안 저서 어군의 시·공간 분포 및 안정성 조사

강돈혁^{1*} · 이창원¹ · 조성호² · 명정구¹

¹한국해양연구원 해양자원연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29
²한양대학교 과학기술대학 해양환경과학부
(426-791) 경기도 안산시 사 1동 1271

Hydroacoustic Survey of Spatiotemporal Stability and Distribution of Demersal Fish Aggregations in the Coastal Region

Donghyug Kang^{1*}, Changwon Lee¹, Sungho Cho², and Jung-Goo Myoung¹

¹Marine Resources Research Division, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

²Major in Earth and Marine Sciences, College of Science & Technology
Hanyang University, Ansan 426-791, Korea

Abstract : Hydroacoustic technique was used to analyze spatiotemporal stability and distribution of demersal fish aggregations in the coastal region to overcome some limitations of the existing methods such as net and diving. The survey was carried out in the Baekeum Bay on the south coast of Korea in January 2007. The bottom depth in the study site ranges from 7 to 25 m. In order to outline aggregations of demersal fish initial scanning using 200 kHz split-beam transducer was randomly conducted over the large area. Having detected fish aggregation in the specific region, intensive acoustic survey of irregular star pattern was carried out along 14 transects across the area in question. The results of the acoustic survey show that all demersal fish aggregations are concentrated about 5 m from sea bottom having a slight slope and remain steady with no spatial or temporal variations during acoustic survey. The hydroacoustic method used in this study offers a new approach to understand vertical and horizontal distribution, spatiotemporal stability, and biomass estimate of demersal fish aggregations in coastal regions. Additionally, the number of individual fish estimated from *in situ* acoustic target strength data can be used to understand the standing stock of demersal fish aggregation.

Key words : demersal fish, fisheries acoustics, irregular star pattern survey, spatiotemporal stability

1. 서 론

수중 음향학은 해수 내에서 감쇠(attenuation)가 적은 수중 음파의 전달 특성을 이용하여 해양 물리, 해양 기상, 해양 생물 분야 및 국방 분야에 다양하게 적용되고 있다(Medwin and Clay 1998). 해양에서 다양한 수중음향의

적용 가운데 연구 대상을 해양 생물로 한정시킨 수산 음향학(Fisheries Acoustics) 혹은 생물 음향학(Bioacoustics)으로 세분화 되었으며 이들 분야에서는 주로 동물 플랑크톤, 치어, 어류 등의 시·공간 분포, 자원량 추정 등 기존의 해양 생물학 분야에서 나타난 한계점을 상호 보완하는 연구 영역을 포함하고 있다(MacLennan and Simmonds 1992). 최근에는 해초류 서식지 조사, 식물 플랑크톤 생태 분야로 연구 대상 영역을 확대하고 있다(Sabol *et al.*

*Corresponding author. E-mail : dhkang@kordi.re.kr

1997; 강 등 2006).

수산 음향의 대상이 되는 해양 생물 가운데 주된 연구 대상은 해양 생물 자원 이용과 직접적으로 연결된 어류 자원이며, 이 가운데 부어류(pelagic fish) 자원을 들 수 있다. 이를 위하여 1980년 이후 다양한 계량 어군탐지 시스템을 이용하여 조사 해역에서 부어류 자원의 시·공간 분포 및 자원량을 조사하였다(Petitgas and Levenez 1996; Abad *et al.* 1998; Reid *et al.* 2000). 특히 일부 상업 어종에 대해서는 대상 어류의 음향 표적강도(acoustic target strength, TS) 자료를 이용하여 자원량 예측 단계까지 발전되어 왔다(Steig and Iverson 1998; Ohshimo 2004).

계량 어군탐지 시스템을 이용한 많은 연구가 중층 어류에 집중되어 있는 반면 저서 어류에 대한 음향 자원 조사는 극히 제한적으로 이루어지고 있다(Everson *et al.* 1996). 이러한 이유는 저서 어류의 분포가 음향 탐지를 하기에 수심이 깊거나 혹은 분포 위치가 해저면 근처이므로 음파의 shadow zone 영역에 포함되기 때문이었다. 따라서 음향 탐지가 가능한 수심에 저서 어류가 존재하거나 혹은 해저면 부근이지만 사용 주파수의 고분해능으로 인해 해저면과 분리가 가능한 조건에서는 연안 저서 어류에 대한 시·공간 구조 및 자원량 조사가 제한적으로 진행되고 있다(NOAA 2003).

우리나라는 수심 50 m보다 얕은 연안 지역에 많은 수의 인공 어초가 투입되어 있고 주요 대상 어종은 정착성 저서 어종이다. 특히 이들 어종들은 계절적으로 동계 시기에는 움직임이 적으며 특정 지역에서 어군을 형성하고 있다(해양수산부 2005). 1990년 후반부터 시작된 바다목장화 사업 등에서 연안역 자원 조사를 위해 많은 양의 정착성 저서 어류를 방류하고 있으며 이에 대한 효과 조사를 실시하기 위하여 대부분 자망이나 잠수 등의 방법을 이용하고 있다.

그물을 이용한 자망 조사는 설치 조사 지역의 제한 요소가 있으며, 잠수 조사는 조사 심도 및 시간의 제약으로 인해 한정된 자료만을 제공하고 있다(해양수산부 2006). 특히, 어류의 회피 본능을 자극하는 두 가지 방법은 현재 사용 가능한 효율적인 방법임에도 불구하고 두 가지 제한 요소를 가지고 있다. 첫 번째는 넓은 조사 지역에 대해 어류가 분포하지 않는 지역이 선정될 경우 자료의 심한 편차를 가질 수 있다. 두 번째는 어류의 분포 수심이 깊을 경우 잠수를 통한 방법으로는 자료 산출 자체가 불가능하다. 이러한 제한 요소는 분포 위치가 불규칙적이며, 특히 성장을 하면서 수심이 깊은 곳으로 이동하는 저서 정착어일 경우 자원량 추정 및 군집 구조 파악에 더 큰 오차를 가지게 된다. 따라서 기존에 사용되는 두 가지 방법은 종 식별을 육안으로 확인할 수 있는 장점에도 불구하고 저서 어군의 군집 크기, 분포 특성 및 군집의 안정성 파악에는

한계를 가지고 있으므로 다른 방법의 적용이 필요한 상황이다.

본 연구에서는 연안의 저서 어류 자원 조사에 사용되는 기존의 방법이 가지는 한계 요소를 보완하기 위한 새로운 방법의 하나로 음향 조사 기법을 사용하였다. 즉, 음향 기법을 통하여 연안 저서 어류의 시·공간에 따른 군집의 안정성 및 분포 특성 파악을 위해 기존의 부어류 자원량 조사에 광범위하게 사용하고 있는 수산 음향 기법을 사용하여 그 효용성을 알아보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

연구 지역 및 현장 조사

음향 기법을 이용한 저서 어류의 시·공간 구조 및 어군의 안정성 파악을 측정하기 위하여 전라남도 여수시 남면 안도리 동쪽 해안인 백금만을 조사 지역으로 선정하였다(Fig. 1). 이 지역은 해양수산부가 실시하고 있는 전남바다목장 해역 가운데 한 곳으로 2005년 이후 매년 대량의 어류를 방류하는 해역으로 연안 저서 어류가 분포하는 것으로 알려지고 있다(해양수산부 2007). 연구 지역의 수심은 7~25 m의 수심 분포를 가지며 동쪽 및 남동쪽은 남해 외양과 연결되어 있고 나머지 지역은 육지로 둘러싸인 만 형태의 지형 구조를 가지고 있다. 만의 동-서 방향으로로는 완만한 경사를 이루며 모래로 이루어진 해저 특성을 가지고 있으며, 남-북 방향으로로는 상대적으로 급한 경사를 형성하고 있으며 북쪽으로는 암반 구조를 형성하고 있었다.

Fig. 1. Study area for acoustic survey of demersal fish aggregation. The black circle indicates acoustic survey area. The area is Baekjeum bay, on the southeast of Geumdo, Yeosu, Korea.

동계 시기에 우리나라 남해 연안의 중층 부어류는 적정 수온대인 동중국해 혹은 남해 외양쪽으로 회유를 하고 정착성 저층 어종만이 우점하는 생태학 특성을 보이고 있다. 따라서 본 연구의 목적이 저서 어류의 음향 탐지를 위한 조사였으므로 부어류의 음향 탐지 가능성을 배제시키기 위하여 음향 조사는 동계 기간인 2007년 1월 18일 09:00~12:30에 실시하였으며 이때 수온은 9.9 °C의 분포를 보였다.

음향 시스템 및 음향 자료 수집

현장 조사에 사용된 음향 장비는 입력 변수 제어 및 음향 자료 송·수신을 유·무선으로 할 수 있는 통합 계량 어군탐지 시스템이다(BioSonics 2005; Fig. 2a). 음향 조사에 앞서 송·수파기는 절대 보정구를 이용하여 보정을 실시하였다. 저서 어류 탐지를 위해 분할 빔(split-beam) 방식을 사용하는 200 kHz 송·수파기를 사용하였으며 빔 폭은 6.6°, 수신 신호의 최소 역치는 -130 dB, 송신 신호의 폭(pulse width)은 0.1 ms, 송신 간격(ping interval)은 0.5 초이다. 한편, 조사 시기의 현장 수온, 염분을 고려한 수중 음속이 1488.87 m/s이므로 음향 조사에 사용된 200 kHz 송·수파기의 개개 음향 산란체에 대한 수직 분해능은 약 7.4 cm였다.

현장 조사는 예인체(towed body)에 송·수파기를 설치한 후(Fig. 2b), 소형 선박의 측면에 고정된 후에 해수면으로부터 약 0.5 m의 심도를 일정하게 유지하며 실시하였다. 200 kHz 송·수파기의 내부에는 기울기 및 방위각 측정 장치가 독립적으로 내장되어 있어 예인체의 안정성을 실시간으로 파악하면서($\pm 7^\circ$ 이내) 예인 속도를 결정하였다. 예인 속도는 예인체의 안정성 정도와 예인체 주변에 형성되는 기포의 영향을 고려하여 3~4 노트로 일정하게 유지하였다. 조사 지역이 좁은 만이므로 음향 자료의 정확한 위치 정보를 위하여 GPS 보다 해상도가 높은 DGPS(Differential Global Positioning System)를 이용하여 매 1 초 간격으로 음향 자료와 함께 위치 정보를 저장하였다.

Fig. 3. Acoustic transects and bathymetry to survey demersal fish aggregations.

저서 어군에 대한 집중적인 음향 조사에 앞서 저서 어류가 분포하는 위치를 찾기 위하여 전체 조사 지역에 걸쳐 사전 음향 조사를 실시하였다. 사전 음향 조사를 통해만 전체 해역에서 저층 어군이 존재하는 위치를 파악한 후, 일반적인 어류의 음향 자원 조사에서 사용되는 정선 방법과는 다른 “스타 패턴 조사(star pattern survey)” 방법을 사용하였다(Josse *et al.* 1999; Doray *et al.* 2006). 이 조사 방법은 (1) 한정된 지역에서의 집중 조사 (2) 어류의 3차원 구조 파악 (3) 어군의 안정성 파악을 위해 최근에 시도되는 방법이다. 탐지된 저서 어군의 주변에 대해 총 14개의 정선에 대한 음향 조사를 실시하였다(Fig. 3). 총 조사 거리는 약 4.3 mile이었으며, 어군 형성 주변을 가로지르며 남-북 방향으로 350 m, 동-서 방향으로 245 m의 면적에 대해 집중 조사를 실시하였다.

음향 자료 처리

음향 조사를 통해 개개 어류의 음향 특성을 나타내는 현장 음향 표적강도(*in-situ* TS, dB)와 어군 전체의 음향 특성 정보를 제공하는 체적 후방산란 강도(volume backscattering strength, S_v , dB) 자료를 위치 자료와 함께

Fig. 2. Embedded acoustic system (a) & towed body (b) to be installed split beam transducer.

저장하였다.

음향 조사를 통해 저장된 현장 TS는 음파에 탐지된 개개 어류에 의한 음향 산란 특성을 나타낸다. 앞에서 기술한 대로 본 연구에 사용된 음향 시스템의 수직 분해능은 약 7.4 cm로 개개 어류간 간격이 이와 같은 조건을 만족할 때 개개 어류의 현장 음향 표적강도 값을 산출하게 된다. 각각의 송신 음에 대해 탐지된 어류의 음향 표적강도 자료에는 수신된 개개 어류의 탐지 수심, 시간 및 위치 정보, TS 값, 빔 축에 대한 어류의 위치 정보를 가지고 있으며, 이들 자료로부터 조사 지역에서 스타 패턴 조사(star pattern survey)에 따른 개개 어류의 수직 분포 특성과 탐지된 어군의 개체수를 파악하였다. 이때 탐지된 어류의 개체수는 모든 수 층에 대한 정보를 이용하였으며, 200 kHz에 대한 저서 어류의 TS-깊이 관계식으로부터 -58 dB 보다 작은 TS 값은 5 cm 보다 작은 소형 어류이므로 제외시켰다(Kang and Hwang 2003).

한편, 개개 음파에 대한 수 층 전체의 어군 분포 특성은 층별 체적 후방산란 강도를 나타내는 S_v 자료를 이용하였다. 이러한 S_v 자료로부터 집중 조사 지역에서 실시한 각 정선에서 어군의 시·공간 분포 특성과 어군의 안정성을 표시하였다. 본 연구의 목적이 음향을 이용한 저서 어류의 특성 파악임을 고려하여 수신된 음향 자료 가운데 해저면-해저면 위 5 m 사이의 해저면 부근 자료만을 이용하여

저서 어류의 시·공간 분포 특성을 알아보았다.

3. 결 과

연안 지역에 서식하는 저서 어류의 시·공간 분포 및 어군의 안정성 파악을 위하여 음향 조사 기법을 사용하였다. 예비 음향 조사를 통해 탐지된 저서 어류의 분포 지역에서 집중적인 음향 조사를 위해 14개의 음향 정선에 대해 불규칙 스타 패턴(irregular star pattern) 방법을 이용하였다.

저서 어류 군집의 수직 및 공간 분포

조사 지역은 북쪽 지역에 수심 6.5 m의 능선이 형성되어 가장 얇은 수심을 보이고 있으며, 동-서-남쪽 세 방향으로 수심이 증가하는 해저 지형 특성을 가지고 있다. 특히 남쪽으로는 수심이 급격히 증가하는 경사면 이후에는 조사 지역 끝까지 완만한 경사면을 형성하고 있다. 최대 수심은 약 23 m로 조사 지역의 남동쪽에 위치하고 있었다(Fig. 3).

어군의 수직 분포는 집중 조사 지역 전체에서 수심 20 m 부근의 해저면 근처에 강하게 분포하는 특성을 나타내고 있었다(Fig. 4). 일반적으로 -50 dB 이상의 S_v 값은 어류의 음향 특성을 나타내므로 본 연구에서 탐지된 최대

Fig. 4. Example echogram of demersal fish aggregations along transect 1. The green line in the echogram indicates integrated S_v layer between bottom and above 5 m from bottom.

-35 dB의 S_v 값은 해저면에 강한 저층 어군이 분포함을 보여주고 있다. 반면 표층과 중층 사이에는 어군 신호가 전혀 탐지되지 않아 해저면 부근의 고밀도 어군과 큰 대조를 보여주고 있다. 일반적으로 봄-가을 시기 동안 표층 및 중층에 분포하는 경향이 강한 계절 회유어의 특성을 고려한다면 동계 시기에 해저면 부근에서 탐지된 이러한 어군은 정착성이 큰 저서 어류를 보여주고 있다. 이러한 수직 분포 특성은 전체 음향 정선에서 관측된 개개 어류의 음향 산란 신호인 현장 TS 자료에서 뚜렷하게 보여주고 있다(Fig. 5). 대부분의 개개 어류는 수심 13~15 m와 해저면 사이에서 집중적으로 탐지되고 있으며, 탐지 위치는 급격한 경사면의 끝 지점에서 완만한 경사면이 형성된 지점까지 골고루 분포하고 있다. 한편, 조사 지역에서 저서 어군은 해저면으로부터 2.5~7.2 m의 상층부에 분포하였으며 대부분은 5 m 이내의 수 층에서 강한 음향 강도를 가지며 집중적으로 분포하는 것으로 나타났다. 분포 어군의 높이는 3~7 m 사이의 분포를 보이며 저서 어류의 분포 특성을 보여주고 있었다.

해저면~해저면 위 5 m 수 층 사이에서 얻어진 S_v 자료를 0.1 n mile 간격으로 표시하여 저서 어류의 시·공간

Fig. 5. Vertical distribution of individual demersal fish using *in situ* acoustic target strength data.

Fig. 6. Spatial distribution of demersal fish aggregations using irregular star pattern survey. The S_v data were averaged with 0.1 n mile between bottom and above 5 m from bottom.

분포 특성을 파악하였다(Fig. 6). S_v 값은 어군이 약한 지역에서는 -60 dB 정도, 강한 어군이 존재하는 곳에서는 -50 dB 이상의 분포를 보여주고 있었다. 연구 지역에서 실시한 집중 음향 조사에 의한 저서 어군은 북쪽의 경사면 지역보다는 경사면이 끝나는 지점과 완만한 경사진 사면에서 강하게 분포하는 특성을 보였으며, 특히 완만한 경사면이 시작되는 부분에서 강한 어군 분포를 형성하고 있었다.

분포 밀집도가 강한 연안 저서 어류의 수직 및 시·공간 분포 특성을 알아보기 위한 방법의 하나로 광범위한 조사 지역에 분포하는 부어류의 분포 및 자원량 추정에 다양하게 적용하고 있는 음향 조사 기법을 사용하였다. 일반적으로 연안 어류 자원 조사에 적용하고 있는 그물이나 잠수 조사 방법으로는 서식처 특성에 따라 시·공간 분포의 불규칙성이 큰 저서 어류의 자원량 추정 및 분포 특성 파악에 큰 오류를 일으킬 가능성이 있다. 따라서 음향을 이용하여 일정 크기 이상의 어군을 탐지한 후, 탐지된 지역에서 집중적인 음향 조사를 실시하는 본 연구의 방법은 연안 저서 어류의 시·공간 구조 파악 및 자원량 평가 측면에 새로운 접근 방법을 제공할 수 있을 것이다.

저서 어군의 안정성

저서 어군의 최초 탐지는 09:50분 경이었으며 위치는 집중 음향 조사 지역의 북쪽 부근이었다. 이때 탐지된 저서 어군의 시간에 따른 분포의 안정성 파악을 위하여 근처 지역에서 14개의 정선에 대해 집중적인 음향 조사를 실시하였다. 이 가운데 5개의 동-서 방향 정선과 3개의 남-북 방향 정선을 분리하여 저층 부근의 S_v 값으로부터 시간에 따른 저서 어군 군집의 변화 양상을 알아보았다.

일반적으로 회유 어류는 한 지점에 일정 시간 동안 체류하지 않고 다양한 공간 이동 특성을 가지고 있으나 저서 어류는 상대적으로 작은 공간 이동을 하는 특성을 가지고 있다. 따라서 본 음향 조사에서 최초 탐지된 어군이 저층 어류인지 확인하기 위하여 01:40이 지난 11:30부터 12:30까지 집중 조사를 실시하였다. 총 8개의 음향 정선에서 저층 부근의 저서 어류는 15~20 m 수심대에서 골고루 분포하는 특성을 보여주고 있었다(Fig. 7). 조사 지역의 남쪽에 위치한 정선 3, 4번에서 상대적으로 분포 강도가 약할 뿐 전체적으로 강한 어군을 유지하고 있었다.

시간에 따른 어군 분포는 최초 발견된 시점에서 02:40 분이 지난 12:30분 까지 해저면 위 5 m 부근에서 어군 분포가 일정하게 유지되어 본 연구에서 탐지된 저층 어군은 안정된 어군 형성임을 보여주고 있다. 해저면에서 해저면 위 5 m 수 층까지 탐지된 저서 어군의 평균 S_v 값은 3번과 4번 정선에서 -55 dB로 상대적으로 낮게 나타날 뿐

Fig. 7. Time series distributions of demersal fish aggregations between 09:59 AM and 12:20 AM along north - south and east - west direction.

Table 1. Information of mean S_v , mean height and mean depth with time series

Direction	Transect	Time (hh:mm:ss)	Mean S_v (dB)	Mean height (m)	Mean depth (m)	Beam volume (m^3)
E-W	1	09:59:20 - 10:02:21	-50.2	4.96	17.8	4,993
	2	11:49:30 - 11:51:00	-50.4	4.98	16.9	2,258
	3	11:31:57 - 11:36:46	-55.4	4.99	17.1	7,587
	4	11:37:50 - 11:39:23	-55.6	4.97	18.8	2,857
	5	12:17:45 - 12:20:01	-50.3	5.01	16.6	3,317
N-S	6	11:51:30 - 11:53:16	-50.2	5.07	17.2	2,681
	7	11:44:04 - 11:45:45	-50.3	5.04	17.7	2,807
	8	11:40:00 - 11:42:22	-52.7	5.03	17.5	4,046

6개 정선에서 -50.2~-52.7 dB의 안정된 값을 보여주고 있었으며, 분포하는 평균 수심은 16.6~18.8 m였다(Table 1).

분포하는 어군의 안정성 파악을 위한 어구나 잠수를 이용하는 방법은 서식처에 대해 외부 혼란을 일으키는 어구 설치 및 회수 작업과 직접 다이빙에 의한 어류의 회피 본능에 의해 파악하기 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 본 음향 조사에서 사용한 조사 기법은 서식처에 대한 외부 혼란을 최소화하며 넓은 공간에 걸쳐 빠른 시간 내에 반복 조사를 할 수 있는 장점을 제공할 것이다.

4. 고 찰

일반적인 음향 자원 조사에서 사용되는 정선 방식은 조사 해역의 지형, 수심 및 대상 어류의 생태 특성에 맞추어 체계적인 평행 정선(systematic parallel transect), 불규칙 평행 정선(random parallel transect) 및 체계적인 지그재그 정선(systematic zig-zag transect) 방식을 선택한다(MacLennan and Simmonds 1992). 현재 사용되고 있는 계량 어군탐지 시스템은 좁은 빔 폭 때문에 대상 해역에서 조사선이 지나가는 좁은 체적 내에서만 어군의 분포를

파악할 수 있는 한계점을 가지고 있지만 2차원 TS 자료를 이용하여 자원량 추정이 가능하므로 다양하게 적용하고 있다(Kang and Hwang 2003; Didrikas and Hansson 2004; Kang *et al.* 2005). 최근 소나를 이용한 어군 조사는 어군의 3차원 구조 파악에는 큰 장점을 제공하고 있으나 탐지된 어류의 3차원 TS 자료의 부족으로 자원량 추정이 어려운 상태이다(Mayer *et al.* 2002).

따라서, 3차원 TS 자료가 없는 조건에서 소나 시스템을 이용한 자원량 추정보다는 축적된 실험 자료가 있는 2차원 TS 자료를 이용하는 계량 어군탐지 시스템의 적극적인 활용이 많은 장점을 제공할 수 있다. 즉, 기존의 계량 어군탐지 시스템을 이용하여 특정 지역에서 어군이 탐지되면 본 연구에서 시도한 방법인 탐지된 어군의 주변 해역에 대한 반복 조사를 함으로써 어군의 시·공간 구조를 파악하고 수신된 음향 자료로부터 자원량 추정을 시도하는 것이다.

자망이나 잠수 방법 등을 이용하여 제한된 지역만을 대상으로 한 조사에서 연안 저서 어류는 수심 변화가 심한 암반 지대에 주로 분포하는 것으로 알려져 왔다(해양수산부 2005). 그러나 연속적이며 수 층 전체의 어군 특성을 보여주는 본 연구의 집중 음향 조사에서는 또 다른 분포 특성을 보여주고 있다. 즉, 암반이 발달한 급경사 지역에서는 저서 어군 형성이 안되고 완만한 경사면 지역에서 집중적으로 저서 어군이 형성되는 것으로 나타나고 있어 저서 어류의 분포 지역이 연안 암반 지대에 한정되어 있지 않음을 보여주고 있다. 이러한 조사 결과는 기존 연구 결과와는 다른 분포 특성을 나타내고 있으므로 연안 저서 어류의 시·공간 분포 연구에 빠른 조사 방법의 장점을 가진 음향 기법이 추가되어야 함을 보여주고 있다.

음향 조사에서 시·공간 및 수직 분포를 파악하기 위해 사용하는 S_v 값 이외에 개개 어류의 음향 특성 정보인 현장 TS 자료는 음향 탐지된 어류의 길이 특성을 간접적으로 나타내고 있다. 음향 조사 지역에 서식하는 연안 저서 어류의 어종 정보가 존재하고, 대상 어종의 길이에 따른 평균 TS 함수가 존재한다면 수신된 현장 TS 자료로부터 역으로 체장 분포 추정이 가능하게 된다.

음향 조사가 실시된 근처에서 1월 동계 기간에 실시한 수중 잠수 조사에서 수심 18m 부근에 볼락(*Sebastes inermis*)이 우점하는 것으로 나타났다(Fig. 8). 볼락은 쏘뱅이목 양볼락과의 어류로 최대 체장이 약 35 cm로 암초로 된 연안에 서식하며 밤에는 표층이나 중층에서 별로 움직임이 없으나 낮에는 무리를 이루어 중층 아래에서 활발히 움직인다고 알려져 왔다(명 2002). 탐지된 현장 TS 자료로부터 어류의 체장을 계산하기 위한 볼락의 평균 표적강도 함수는 연구 자료가 없는 상황이다. 따라서 비슷한 체형으로 동일한 쏘뱅이목 양볼락과인 조피볼락

Fig. 8. Photography of *Sebastes inermis* around survey area in January 30 2007.

Table 2. Estimation of acoustic detected fish number at each fish length class using *in situ* target strength data

Fish length class (cm)	Acoustic detected fish number	Ratio (%)
5~10	3	0.2
10~15	389	24.6
15~20	478	30.2
20~25	344	21.8
25~30	182	11.5
30~35	185	11.7

(*Sebastes schlegeli*)에 대한 200 kHz의 음향 표적강도 함수를 이용하였다(Kang and Hwang 2003).

$$TS_{200kHz} = 20 * \log_{10}(\text{fish length, cm}) - 72.79 \quad (1)$$

14개의 음향 정선에서 실시한 음향 조사에서 현장 TS는 해저면과 해저면 위 5 m 수 층 사이에서 총 1,824개의 어류 신호가 탐지되었으며, 탐지된 TS 자료를 식 (1)을 이용하여 어류의 체장을 계산하였다. 볼락의 최대 성장 길이가 약 35 cm인 것을 고려하였을 때 탐지된 개체수는 약 1,580개체로 추정되었다(Table 2). 15~20 cm의 체장 분포가 전체 개체수의 30%로 최대 분포 비율을 보이고 있었으며, 10~15 cm는 24.6%, 20~25 cm는 21.8%를 차지하였다. 일반적으로 음향 조사에서 자원량 추정은 각 정선의 평균 S_v 값과 대상 어종의 평균 TS 함수로부터 정선에 대해 평균 생체량을 추정된 후 조사 면적에 대비하여 자원량을 추정한다. 그러나 본 연구에서는 저서 어류의 자원량 추정이 주된 목적이 아니라 현장 TS 자료만으로 탐지 개체수를 추정하였다.

본 연구에서는 총 85,750 m²의 조사 면적에 대한 저서

어군의 시·공간 분포 특성 및 어군의 안정성 파악을 위해 02:40분 동안 불규칙 스타 패턴(irregular star pattern) 정선 방식을 이용한 집중적인 음향 조사 기법을 통하여 저서 어군 군집에 대한 외부 혼란을 최소화하며 하여 반복 조사를 실시하였다. 적용한 음향 조사 방법과 음향 정선 구성 방식으로부터 짧은 시간 내에 어군의 수직 및 공간 구조를 파악할 수 있는 장점을 제공할 수 있음을 직접적으로 보여주고 있다. 또한 조사 면적이나 잠수 시간의 한정성으로 인해 연안 저서 어류의 시·공간 및 수직 구조 파악에는 한계를 가지고 있는 기존의 자망이나 잠수 방법을 보완할 수 있을 것이다.

기존의 직접적인 방법이 가지는 한계점을 보완하기 위한 새로운 접근 방법으로 제시한 음향 조사 기법을 현장 조사에 사용하였으나 본 연구는 주간에 조사를 실시한 한계점이 있다. 연안 저서 어군의 안정성 평가를 위해서는 특정 시간대 보다는 주·야간 일주 변동을 통한 어군의 형성, 분산 및 이동에 대한 고찰이 뒤따라야 하므로 이에 대한 현장 음향 조사가 향후 필요할 것이다(Fréon et al. 1993; Nilsson et al. 2002).

5. 결 론

본 연구에서는 연안 저층의 정착성 어류 자원의 분포 및 시·공간에 따른 군집의 안정성 파악을 위해 자망 및 잠수 방법을 이용하는 기존의 방법이 가지는 한계 요소를 보완하기 위한 새로운 방법의 하나로 음향 조사 기법을 사용하였다. 이를 위하여 200 kHz 송·수파기를 장착한 소형 예인체를 이용하여 저서 어군이 존재하는 지역에서 14 개의 정선에 대해 불규칙 스타 패턴(irregular star pattern) 조사 방법을 이용하였다. 음향 조사 결과 저층 어군은 대부분 해저면과 해저면 위 5 m 사이의 수 층에 밀집되어 분포하고 있었으며, 시·공간 변동성 없이 안정된 어군 형성을 유지하고 있었다. 음향 기법을 이용하여 특정 지역 연안에 분포하는 어군을 탐지한 후, 탐지된 지역에서 집중적인 음향 조사를 실시하는 본 연구의 방법은 연안 저서 어류의 시·공간 구조 파악 및 자원량 평가 측면에 새로운 접근 방법을 제공할 수 있을 것이며, 또한 분포하는 어군의 안정성 파악을 위한 장점을 제공할 것이다. 또한 현장 TS 자료를 이용하여 음향 탐지된 어류의 개체수를 추정함으로써 연안 저서 어류의 현존량 파악을 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원이 수행하고 있는 해양수산부의 “전남 바다목장화 개발 연구 용역 사업(BSPM42200-

1896-3)”의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

- 강돈혁, 조성호, 라형술, 김종만, 나정열, 명정구. 2006. 수중 음향을 이용한 해초 서식처(Seagrass Habitats)의 공간 및 수직 분포 추정. *Ocean and Polar Res.*, **28**, 225-236.
- 명정구. 2002. 우리바다 어류도감. 다락원. 287 p.
- 해양수산부. 2005. 통영해역의 바다목장화 개발 연구용역 보고서. 한국해양연구원, BSPM 33900-1717-3. 552 p.
- 해양수산부. 2006. 전남 다도해형 바다목장화 개발 연구용역 보고서. 한국해양연구원, BSPM 35300-1745-3. 640 p.
- 해양수산부. 2007. 전남 다도해형 바다목장화 개발 연구용역 보고서. 한국해양연구원, BSPM 42200-1896-3. 622 p.
- Abad, R., J. Miquel, M. Iglesias, and F. Alvarez. 1998. Acoustic estimation of abundance and distribution of sardine in the northwestern Mediterranean. *Fish. Res.*, **34**, 239-245.
- BioSonics. 2005. X-Series Echosounder and Visual Acquisition 5.0 User Guide. BioSonics Inc., Seattle, USA.
- Didrikas, T. and S. Hansson. 2004. *In situ* target strength of the Baltic Sea herring and sprat. *ICES J. Mar. Sci.*, **61**, 378-382.
- Doray, M., E. Josse, P. Gervain, L. Reynal, and J. Chantrel. 2006. Acoustic characterization of pelagic fish aggregations around moored fish aggregating devices in Martinique (Lesser Antilles). *Fish. Res.*, **82**, 162-175.
- Everson, I., M. Bravington, and C. Goss. 1996. A combined acoustic and trawl survey for efficiently estimating fish abundance. *Fish. Res.*, **26**, 75-91.
- Fréon, P., M. Soria, C. Mullon, and F. Gerlotto. 1993. Diurnal variation in fish density estimates during acoustic surveys in relation to spatial distribution and avoidance reaction. *Aquat. Living Res.*, **6**, 221-234.
- Josse, E., A. Bertrand, and L. Dagorn. 1999. An acoustic approach to study tuna aggregated around fish aggregating devices in French Polynesia: Methods and validation. *Aquat. Living Res.*, **12**, 303-313.
- Kang, D. and D. Hwang. 2003. *Ex situ* target strength of rock fish (*Sebastes schlegeli*) and red sea bream (*Pagrus major*) in the Northwest Pacific. *ICES J. Mar. Sci.*, **60**, 538-543.
- Kang, D., T. Mukai, K. Iida, D. Hwang, and J.G. Myoung. 2005. The influence of tilt angle on the acoustic target strength of the Japanese common squid (*Todarodes pacificus*). *ICES J. Mar. Sci.*, **62**, 779-789.
- MacLennan, D.N. and E.J. Simmonds. 1992. Fisheries acoustics. Chapman & Hall, London. 325 p.
- Mayer, L., Y. Li, and G. Melvin. 2002. 3D visualization for

- pelagic fisheries research and assessment. *ICES J. Mar. Sci.*, **59**, 216-225.
- Medwin, H. and C.S. Clay. 1998. Fundamentals of acoustical oceanography. Academic Press, San Diego. 712 p.
- Nilsson, F., B.F. Nielsen, U.H. Thygesen, B. Lundgren, R. Nielsen, and J. Beyer. 2002. Modelling the process of dispersion of schools in relation to diurnal migration of herring and sprat in the Baltic based on acoustic observations. Paper ID 253. In: *Proc. 6th ICES Symp. acoustics in fisheries and aquatic ecology*, Montpellier, France, June 10-14.
- NOAA. 2003. Results of the March 2003 echo integration-trawl survey of Walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) conducted in the Southeastern Aleutian Basin Near Bogoslof Island. Alaska Fisheries Science Center Processed Report Number 2003-09. 28 p.
- Ohshimo, S. 2004. Spatial distribution and biomass of pelagic fish in the East China Sea in summer, based on acoustic surveys from 1997 to 2001. *Fish. Sci.*, **70**, 389-400.
- Petitgas, P. and J.J. Levenez. 1996. Spatial organization of pelagic fish: Echogram structure, spatio-temporal condition, and biomass in Senegalese waters. *ICES J. Mar. Sci.*, **53**, 147-153.
- Reid, D., C. Scalabrin, P. Petitgas, J. Masse, R. Aukland, P. Carrera, and S. Georgakarakos. 2000. Standard protocols for the analysis of school based data from echo sounder surveys. *Fish. Res.*, **47**, 125-136.
- Sabol, B.M., E. McCarthy, and K. Rocha. 1997. Hydroacoustic basis for detection and characterization of eelgrass (*Zostera marina*). p. 679-693. In: *Proc. 4th Conference on remote sensing of marine environments*, Florida, USA, March 17-19.
- Steig, T.W. and T.K. Iverson. 1998. Acoustic monitoring of salmonid density, target strength, and trajectories at two dams on the Columbia River, using a split-beam scanning system. *Fish. Res.*, **35**, 43-53.

Received Feb. 15, 2008

Accepted Mar. 6, 2008