

음향과 저층 트롤 기법을 이용한 남해 저층 어군의 주·야 밀도분포 조사

이형빈 · 서영일* · 오택윤 · 최정화 · 조현수¹ · 최광호

국립수산과학원 자원관리과, ¹군산대학교 해양생산학과

Distribution of Demersal Fish Based on a Combined Acoustic and Trawl Survey during Day and Night in Coastal of the South Sea, Korea

Hyungbeen Lee, Young Il Seo*, Taeg Yun Oh, Jung Hwa Choi, Hyun-Su Jo¹ and Kwang Ho Choi

Fisheries Resources Management Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 46083, Korea

¹Development of Marine Science and Production, Kusan National University, Gunsan 54150, Korea

The distributions of demersal fish along the coast of the South Sea, Korea, were estimated from a hydroacoustic survey and bottom trawl catches in April of 2015. Acoustic data were collected at 38 kHz, and converted into the nautical area scattering coefficient (NASC, $m^2/n \cdot \text{mile}^2$) for 0.1 n-mile along eight transects during day and nighttime. Various demersal fish species were collected and the dominant species comprised no more than half of the catch. The estimated acoustic density of demersal fish compared well with the cumulative catch weight from bottom trawl catches in daytime, but showed a low correlation at nighttime. The NASC of pelagic fish determined for anchovy was correlated with water temperature. The combined hydroacoustic and trawl method can be used to understand the spatial/temporal structure and estimate the density of demersal fish in coastal areas.

Key words: Hydroacoustic survey, Trawl catches, Demersal fish, Acoustic density

서론

남해 연안은 연근해에 서식하거나 내유하는 다양한 어종의 서식장 및 산란장으로 어족 자원의 관리를 위해 주요 어종에 대한 생태와 회유 및 분포에 대한 다양한 과학적인 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 이러한 수산 자원의 시·공간 분포 및 자원량 파악을 위한 조사는 1960년 이후 주로 어구 어업을 이용한 연구가 진행되고 있다(Choi, 1972; Huh, 1986; Cha et al., 2004). 어구를 이용한 자원 조사는 어류 자치어 및 성어에 대해서 중층 및 저층 트롤과 같은 대형 어구로 어획 후 종조성 및 체장 특성을 파악하는 것이 일반적이다(Cha and Park, 1997; Huh and Kwak, 1998). 그 중 저서 어종의 특성에 관한 연구는 일반적으로 저층 트롤(bottom trawl) 기법이 널리 활용되고 있다(Lee and Kim, 1992; Lee et al., 1993). 저층 트롤은 타 어구에 비해서 어획성능이 뛰어나고 조업의 주 대상이 되는 어종은 물론 비대상 어종과 소형 어종들에 대해서 선택성 없이 어획되는 장점 때문에 저층어종의 분포 및 자원량을 조사하는데 적합한

한 기법이다.

어구를 이용한 조사는 정성적인 측면에서는 많은 장점이 있지만, 어획 면적 및 어획 수층의 제한성과 작업시간에 대한 비용 증가요인이 높기 때문에 효율성 측면에서 단점이 존재한다. 정성 분석에 치우친 기존 어획 방법의 문제점을 극복하기 위한 방법 중 하나로 1980년 초부터 제시되어 최근에 생물의 분포 및 자원량 조사에 활발히 적용하고 있는 생물 음향을 이용하는 방법이 대두되고 있다(Abad et al., 1998; Simmonds and MacLennan, 2005). 생물 음향 기법의 특징은 연구자의 주관을 배제시키고 사전에 설정된 음향 조사 정선으로부터 연속적이며 전 수층에 대한 객관적인 자료를 얻을 수 있는 장점이 있고, 우점 어종의 음향 반사강도(acoustic target strength, TS) 특성이 제공된다면 조사 해역의 어류 밀도 및 현존량까지 산정이 가능하다. 따라서 종 조성이나 다양도 조사 연구는 어구를 이용한 방법이 효과적이며, 음향 조사 기법은 수산자원의 시·공간 분포 특성 파악 및 자원량 산정에 응용이 가능하므로 이들 두 가지 방법들의 효과적인 결합을 통한 조사가 진행되고 있는 추세이다.

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0798>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<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.

Korean J Fish Aquat Sci 48(5) 798-804, October 2015

Received 7 August 2015; Accepted 1 September 2015

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2296 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: seoyi@korea.kr

두 기법을 결합하여 수중 음향을 이용한 수산생물 조사는 북태평양에서 정어리 자원량 조사(Zwolinski et al., 2012), 베링해에서 명태 자원량 조사(Honkalehto et al., 2011), 알래스카 부근에서 볼락 자원량 조사(Hanselman et al., 2012) 등 표층 및 중층 어류를 대상으로 수산자원 분포 및 자원량 조사를 통해서 유용 수산자원의 현존량 파악 및 자원의 평가의 기초로 활용되고 있다. 국내에서는 동중국해, 서해, 통영 연안에서 동물플랑크톤, 남해 연안의 멸치의 자원량 산정에 활용하면서 생물음향 기법의 활용도가 증가하고 있다(Kang et al., 2003; Kim et al., 2008; Lee et al., 2012).

기존의 생물음향 기법을 이용한 다양한 연구는 주로 중층어류에 집중되어 있는 반면 저서어류에 대한 음향 자원 조사는 극히 제한적으로 이루어지고 있다(Everson et al., 1996; Hjellvik et al., 2007). 이는 저서어류의 분포가 음향 탐지를 하기에 수심이 깊거나 혹은 분포 위치가 해저면 부근이므로 음파의 dead zone 영역에 포함되기 때문이다. 따라서 음향 탐지가 가능한 수심에 저서어류가 존재하거나 혹은 해저면 부근이지만 사용 주파수의 고분해능으로 인하여 해저면과 분리가 가능한 조건에서는 연안 저서 어류의 시·공간 구조 및 자원량 조사가 제한적으로 진행되고 있다. 국내에서는 다양한 저서어종으로 인하여 저층어류의 시·공간적인 분포 및 자원량 예측이 불가능하다고 판단되었으나, 제주 연안의 저서 어류에 대한 현존량 평가의 가능성을 확인하였다(Kang et al., 2008; Lee et al., 2012). 하지만 제주 해역의 음향 조사시 활용한 어구는 삼중 자망(trammel net) 또는 통발(trap)로 음향 자료 분석시 활용 및 음향 결과와의 간접적인 비교 만이 연구되었다.

본 연구가 진행된 해역은 남해안 어류의 다양성 및 어족 관리를 위해서 저인망어업의 조업을 금지시킨 구역과 인접한 해역으로 다른 남해 연안에 비해 상대적으로 수산 생물이 풍부하여 자원 생물학 및 다양성으로 가치가 높다. 이 해역에서 수산 음향 기법이 가지는 장점을 이용하여 남해 어류 자원 중 저층 부근에 형성되는 어군을 중심으로 수직 분포 특성을 파악하였고, 동시에 저층 트롤 조사를 통해 저서 우점 어류의 어획자료를 이용하여 저층 어류의 밀도 산정 및 비교 검증하였다.

재료 및 방법

조사 지역 및 방법

음향 및 저층 트롤 조사가 실시된 해역은 여수와 거제 사이 남해안 연안으로 육지로부터 약 40 km 떨어진 지역이다(Fig. 1). 본 조사는 남해 연안의 저층 어군의 주·야의 분포 밀도를 파악하기 위해서 음향 및 저층 트롤 조사를 2015년 4월 9일부터 12일까지 실시하였다(Table 1). 조사 방식은 조업금지구역 인접 해역에서 집중적인 조사 및 주·야 변동 차이 확인을 위해 조사 구역 내 자유 정선(random transects) 형태로 실시하였다. 저층 트롤조사는 주간과 야간 각각 4회씩 총 8회에 걸쳐 실시하였고, 1회 조사시 약 2-3시간 동안 예망하였다. 어획 실험에 사용한 트롤 어구의 규격은 중형 기선저인망어선에 사용하는 저인망 어구의 기준(34 mm)과 유사한 33 mm 그물코를 사용하였고,

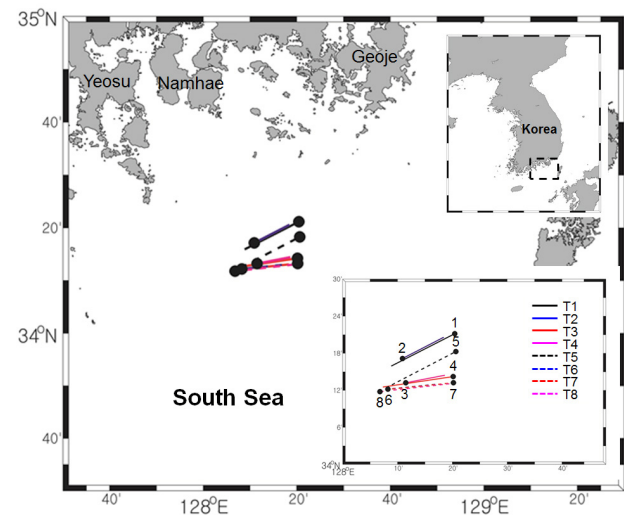


Fig. 1. Study area for acoustic and trawl survey of demersal fish in the coastal area, especially within the southern waters of Korea. The lines are transects, and black circles represent CTD stations.

Table 1. Detail on the acoustic and bottom trawl surveys

Transect	Acoustic & Trawl locations		Depth (m)	Range (n-mile)	Duration time (min)	Remark
	Start	End				
1	34° 16.9', 128° 08.9'	34° 21.2', 128° 20.4'	79	10.44	180	Day
2	34° 20.6', 128° 18.4'	34° 17.2', 128° 10.9'	61	6.99	120	Night
3	34° 12.5', 128° 07.3'	34° 14.2', 128° 20.2'	83	10.61	180	Day
4	34° 14.5', 128° 18.6'	34° 13.2', 128° 11.5'	88	9.40	180	Day
5	34° 12.4', 128° 07.9'	34° 18.3', 128° 20.6'	82	10.34	180	Night
6	34° 13.0', 128° 16.9'	34° 12.9', 128° 19.8'	80	10.50	180	Day
7	34° 12.1', 128° 07.8'	34° 13.2', 128° 20.2'	83	10.56	180	Night
8	34° 13.1', 128° 19.5'	34° 11.8', 128° 06.8'	83	10.41	180	Night

그물폭, 그물높이, 그물길이가 각각 10.0 m, 3.5 m, 10.0 m이었다. 어구 운영시 트롤어구의 안정성 확보를 위해서 Scanmar 시스템(TrawlEye TE40 & TrawlSounder HC4; Scanmar AS, Norway)을 설치하여 트롤 수심 및 그물높이를 실시간으로 확인하였다. 저층 트롤조사를 통해 획득한 어획물은 어종 별로 분류 후, 체장과 체중을 측정하여 조사 정점 별 어획정보를 수집하였다. 어류의 동정은 Kim et al. (2005)의 기준을 따랐고, 어획량이 많은 어종에 대해서 부표본하여 측정 후, 전량으로 환산하였다. 환경 조사는 트롤조사 후 양망 된 8개의 정점에 대해서 CTD (conductivity-temperature-depth; Sea-Bird, SBE 911plus)를 이용하여 실시하였다.

음향 시스템

저층 어류 분포 조사를 위한 음향 시스템은 국립수산물연구원 탐구20호의 선저형 과학어군 탐지기(이하 과학어탐; EK60 scientific echosounder; Simrad, Norway)를 이용하였다. 본 조사에서 분할빔(split-beam) 방식을 사용하는 18, 38, 70, 120, 200 kHz 주파수의 음향 센서를 사용하였고, 음향 자료 획득시 신호 길이(pulse length)와 송신 간격(pulse duration)은 각각 0.5 ms와 2 pings/s로 설정하여 운영하였다. 음향 조사 전 음향 시스템은 교정구(calibration sphere)를 이용하여 교정을 실시하였고, CTD를 통해서 획득한 환경요소(수온, 염분)를 음향 시스템 변수에 설정하여 음향 자료를 송·수신하였다.

음향 자료 처리

조사 해역의 어류 자원의 분포 특성은 과학어탐으로부터 출력되는 조사 정선 내 전 수층에 대한 획득한 체적산란강도(Volume backscattering strength, SV dB re 1 m³)의 분석을 통해 진행하였다. 본 조사에서 음향자료는 조사선이 이동한 모든 정선에 대해서 음향 자료를 획득하였으나, 분석시 어획 자료와 비교를 위해서 저층 트롤조사가 이루어진 음향 정선에 대해서 분석을 실시하였다. 또한 수신된 음향 자료 어류의 분포 파악을 위해서 획득한 음향 신호 중 38 kHz 주파수에 대해서만 분석을 실시하였다. 자료 처리는 획득한 음향 자료(raw data)를 가상 에코그램 기법을 활용하여 자료의 질이 불량한 영역에 대한 잡음 제거(Mask bad data), 거리 및 수심에 대한 자료의 압축(Resample by time & depth)하는 과정을 거쳐 최종적으로 새로운 에코그램(New echogram & SV)을 생성하였다. 생성된 에코그램에 대해서 본 연구의 목적인 해저면 부근의 어류 분포 및 어획 자료와 비교를 위해서 (1) 해저면 위 0.5 m~해저면 위 3.5 m 수층과 (2) 해저면 위 3.5 m~선저형 센서 수심(4.7 m)으로 분리되는 2개의 수층으로 분리하여 추출하였다. 추출시 생성된 비선형 형태의 SV 자료는 어군의 시·공간적인 분포 특성 및 현존량 분석을 위해 선형 형태인 면적 산란계수(Nautical Area Scattering Coefficient, NASC, m²/n·mile²)로 자료를 변환 후 0.1 마일의 EDSU (Elementary Distance Sampling Unit) 간격으로 음향자료를 추출하였다(Myriax, 2008).

어획 자료에 대해서 음향 자료와 비교를 위해 음향 자료 처리가 불가능한 구역(dead zone) 인 해저면에 접촉하여 생활하는 가자미목(Pleuronectiformes) 및 아귀목(Lophiiformes)과 저주파에서 어류에 비해서 상대적으로 약한 음향산란강도가 나타나는 살오징어(*Todarodes pacificus*)와 반원니꼴뚜기(*Loligo japonica*)는 제외하였다.

저층어류에 대한 음향자료와 어획자료와의 상대적인 상관성 비교를 위해서 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 이용하여 상관분석을 실시하였다.

음향 자료 분석시 조사해역에 탐지된 각각의 어류의 음향 표적 강도 함수(TS=20·log₁₀ [fish length, cm] + b₂₀)는 밀도 계산시 중요한 변수이다(Simmonds and MacLennan, 2005). 하지만 본 연구 지역에 존재하는 다양한 어종 및 체장에 대한 b₂₀ 값을 측정하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 저층 부근에 존재하는 다양한 저층 어류의 총 밀도를 산정하기 위해 경골어류의 일반적인 b₂₀ 값을 사용하였다. 이는 연안 저층 부근에 존재하는 어류의 우점어종은 경골어류이고, b₂₀ 값을 이끌어내기 위한 실험 또한 다양한 체장을 가진 경골어류를 대상으로 진행 됐기 때문이다. 일반적으로 부레를 가진 경골어류의 38 kHz에 대한 TS 함수에서 b₂₀ 값은 -67 ~ -68 dB 범위를 가지고 있다(Simmonds and MacLennan, 2005). 따라서 본 연구의 38 kHz 음향 자료를 이용한 어류 밀도 산정시 b₂₀값은 -68 dB로 설정하였다.

정선 별 음향어류 밀도(ρ)의 산정은 식(1)과 식(2)를 이용하여 조사 정선에 대한 저서 생물의 밀도를 계산하였다.

$$\rho = (\text{NASC} / \sigma) \cdot w \quad (1)$$

$$\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{\rho}_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (2)$$

여기서 식(1)에서 정선 별 표준체장에 대한 어류의 상대 빈도를 고려하여 어류의 TS 특성과 체장-체중을 고려한 부분으로, 음향 추정치를 통하여 어류의 분포 밀도로 변환하는 변환 계수(conversion factor, CF)를 계산하였고, 음향과 트롤 조사를 통한 저층 부근의 밀도 계산을 위해 식(2)를 통해서 조사 정선에서 취득한 0.1 마일 간격의 NASC 값과 체장에 따른 어류의 TS 및 후방산란단면적($\sigma = 4\pi \cdot 10^{-6.8} \cdot L^{2.0}$)과 저층 부근에 분포하는 우점어류 전체의 체장(L, cm) - 체중(w, g) 관계식을 정선 별로 계산하여 조사 정선 별 저층어군의 가중 평균 밀도(weighted mean)를 계산하였다.

결 과

남해 연안 해역에서 실시한 음향 및 채집조사를 이용하여 해저면 위 0.5 m와 3.5 m 사이의 저층 부근에 분포하는 어군의

분포 특성을 파악하였다. 트롤 어획 조사 및 음향 자료 처리 분석 정선의 거리는 8개의 정선에 대해서 6.99-10.61 n·mile이다 (Table 1). 저층 트롤에 의한 어획 자료로부터 저서 어류는 총 51 종으로 분류되었으며, 이 가운데 습중량 밀도 분포는 상위 3종에 대해서 40-75%를 차지했다(Table 2). 저층 트롤 조사는 4일 동안 8회에 걸쳐 약 10 n·mile² 범위 내에서 모두 진행되었으나, 정선 별 우점종의 변동을 보였다. 음향 자료와 비교를 위해서 가

Table 2. Number (No.) of demersal trawl net caught with each fish species; their relative proportion of individuals (caught rate; %) in catches species; total cumulative catch weight (kg)

Transect	Species	Catch rate (%)	Weight (kg)	Remark
T1	Ponyfish	45.53	34.20	Day
	Korean pomfret	19.12	14.36	
	Gizzard shad	10.72	8.06	
	Other species	24.63	18.50	
T2	Ponyfish	31.58	15.75	Night
	Searobin Gurnard	19.45	9.70	
	Korean pomfret	13.90	6.93	
	Other species	35.07	17.50	
T3	Mirror dory	16.81	3.00	Day
	Ponyfish	11.82	2.11	
	Red seabream	11.31	2.02	
	Other species	60.06	10.72	
T4	Korean pomfret	25.29	2.31	Day
	Yellow croaker	21.21	1.94	
	Mirror dory	18.53	1.69	
	Other species	34.97	3.20	
T5	Korean pomfret	36.17	6.58	Night
	Silver pomfret	18.59	3.38	
	Searobin Gurnard	10.62	1.93	
	Other species	34.61	6.29	
	Mirror dory	19.56	3.22	
T6	Mirror dory	19.56	3.22	Day
	Anchovy	17.44	2.86	
	Hairtail	12.30	1.37	
	Other species	33.08	3.68	
	Korean pomfret	33.79	5.57	
T7	Searobin Gurnard	13.93	2.31	Night
	Seaperch	6.82	1.24	
	Other species	45.46	7.49	
	Korean pomfret	36.27	5.88	
T8	Searobin Gurnard	15.00	2.43	Night
	Red seabream	8.53	1.38	
	Other species	40.20	6.51	

자미목과 아귀목 그리고 살오징어, 반원니꼴뚜기를 제외한 정선 별 주요 어류는 주동치(Pony fish)와 병어(Korean pomfret) 등으로 확인되었다. 조사 기간 동안 수온약층은 약 30 m 부근에 형성되었고, 표층 수온과 저층 수온은 각각 12-15°C와 11-13°C의 범위로 나타나 정선 별로 차이를 보였고, 염분 또한 33.7-34.2 psu 범위 내에서 분포하였다(Fig. 2). 특히 1번 정점에 경우 다른 정점에 비해서 표층 수온이 1°C 이상 낮았다.

음향 에코그램에 나타난 저층 부근 어류의 분포는 정선 별로 차이를 보였다(Fig. 3). Fig. 3는 모두 주간시기에 진행된 정선으로, 1번 정선의 음향 에코그램은 저층 부근에 어류로 판단되는 신호가 거의 수신되지 않았다(Fig. 3a). 반면 3번 정선은 1번 정선과 비교시 상대적으로 저층 부근에 강한 음향 산란신호가 확인되었다(Fig. 3b). 저층 트롤로 동일한 시간 동안 어획한 결과 총 어획량은 1번 정점과 3번 정점이 각각 17.85 kg과 75.12 kg으로 약 4.2 배 차이를 보였다(Table 2). 1번과 3번 정점의 음향 에코그램 상에 중층 부근에 강한 어군 신호가 탐지되었고, 특히 6번 정점의 경우 중층의 강한 어군 신호가 해저면 부근에서 탐지되었다(Fig. 3c). 6번 정점에서 저층 트롤에 의해서 어획 결과 망목보다 작은 체고(height)를 가진 부어류인 멸치(Anchovy, *Engraulis japonicus*)는 약 2.86 kg가 어획되었다(Table 2).

음향 및 저층 트롤 조사가 실시된 정선에 대해서 음향 자료는 저층 트롤 어구가 운영된 수심으로 판단되는 해저면 부근부터 해저면 위 3.5 m까지의 NASC와 저층 트롤을 통해 어획된 저층어류의 총 어획량(kg)을 상대적으로 비교하였다(Fig. 4). 그 결과 주간시기의 경우 음향 산란강도와 어획된 어류의 양의 상관성($r=0.88$)을 보였다. 반면 야간 시기의 경우 상관성을 찾아볼 수 없었다.

저층 트롤을 이용하여 채집된 어획자료와 음향 조사를 통해서 획득한 음향자료를 이용하여 저층어류의 밀도를 산정하였

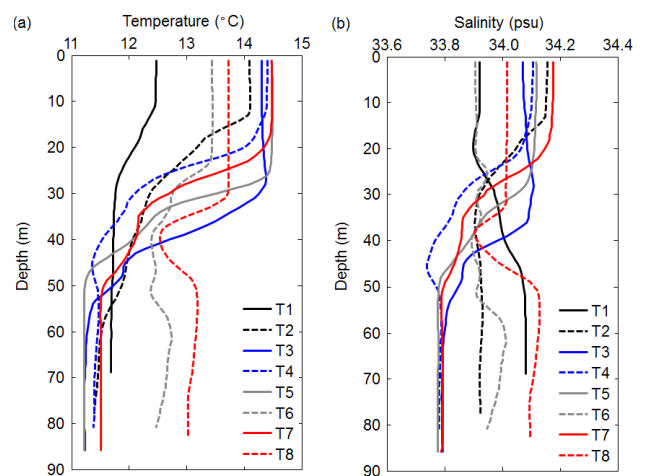


Fig. 2. Temperature (a) and salinity (b) water column profiles from stations.

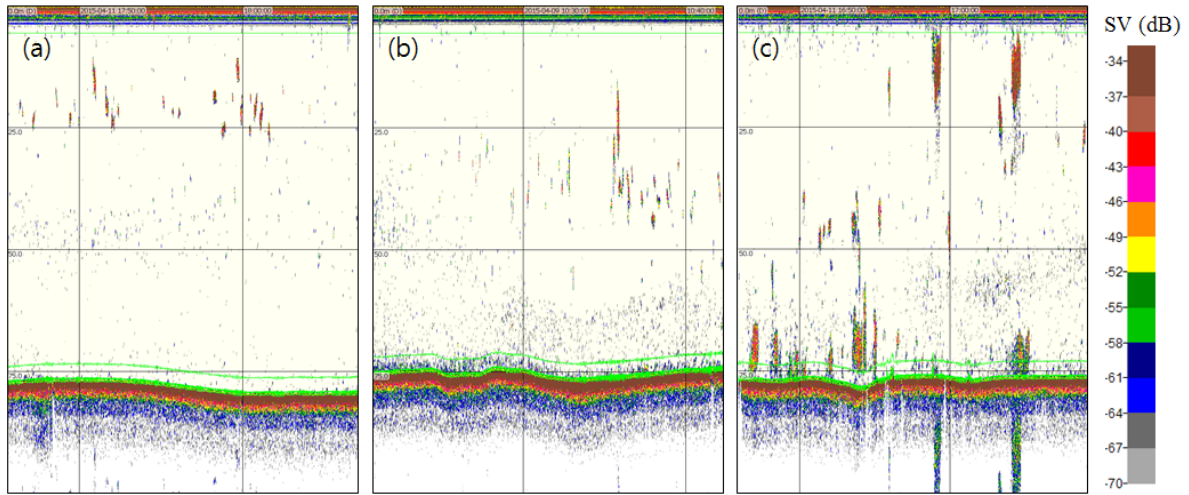


Fig. 3. Example echogram from 38 kHz volume backscattering strength (SV, dB) in T1 (a), T3 (b), and T6 (c). Separation of acoustic layer for extracting fish aggregations around the bottom. The two layers were divided into (1) from surface to 3.5 m above bottom, and (2) up to 3.5 m above bottom (green line).

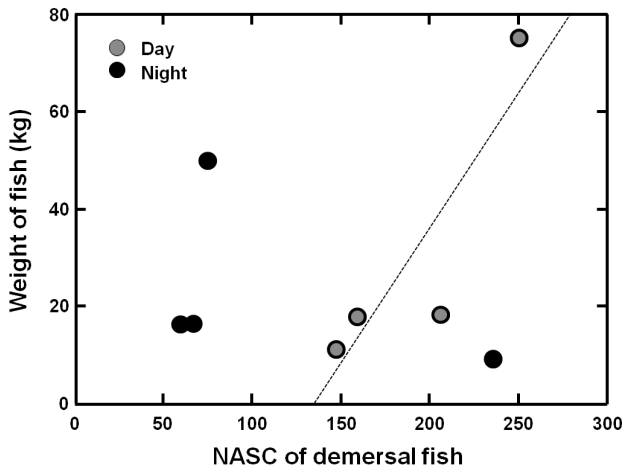


Fig. 4. Relationship between NASC of demersal fish and bottom trawl sampled weighted of fish during day (gray circle) and night time (black circle) [Weight of fish = 0.56×NASC of demersal fish in day time - 75.89, $r^2 = 0.78$].

다. 추출된 NASC를 단위 어군 밀도(ρ)로 변환시켜 CF를 계산하였다. CF는 경골어류의 후방산란단면적(σ)과 어획자료의 길이-무게 함수 및 체장 비율을 고려하여 계산한 결과 0.0261-0.0604 범위로 나타났고(table 3), 주-야간의 저층어군 밀도는 각각 0.0357과 0.0245 g/m^2 로, 주간시기 약 1.45배 높은 밀도로 분포하였다.

고 찰

본 연구는 어류의 TS 함수, 체장-길이 함수, 어류의 길이 분

Table 3. Standing density estimation of fish aggregations around bottom using acoustic and trawl survey in South Sea, Korea. The n_i is the number of 0.1 EDSU and the NASC is mean value of the nautical area scattering coefficient ($m^2/mile^2$) along i -th transects

Transect	n_i	NASC	Conversion Factor (CF)	Mean density (ρ , g/m^2)	Remark
1	104	1.02	0.0261	0.0266	Day
2	68	0.63	0.0341	0.0215	Night
3	103	0.86	0.0504	0.0433	Day
4	93	1.17	0.0432	0.0505	Day
5	104	0.61	0.0604	0.0368	Night
6	105	0.92	0.0243	0.0224	Day
7	106	0.35	0.0396	0.0139	Night
8	96	0.67	0.0385	0.0258	Night

포를 이용한 변환 계수 (CF), 그리고 음향 조사를 통해 측정된 NASC 값을 이용하여 조사 해역 내 저층 어류의 밀도를 음향학적인 기법을 활용하여 산정하였다. 음향 자료를 이용하여 어류의 밀도 산정시 어획자료에 다양한 어종이 어획되었고, 우점종의 비율도 높지 않기 때문에 단일 어종이 아닌 저층어종의 총 밀도를 산정하였다. 또한 다양한 어종임에도 불구하고 경골어종의 일반적인 음향학적인 특성을 활용하였다. 이는 저층 어류에 대한 음향학적인 조사는 거의 진행되지 않았기 때문에, 차후 주요 우점종에 대한 음향 특성에 대한 연구 결과를 고려하면 우점종에 대한 밀도 산정이 가능할 것으로 판단된다.

멸치, 대구 등과 같은 국내 주요 중층 어종에 대해서는 음향학적으로 다양한 연구가 진행되어 분포 시공간적인 분포 특성

뿐만 아니라 음향 밀도 및 현존량 산정이 진행되고 있다(Oh et al., 2009; Kim et al., 2013; Lee et al., 2014). 반면 저층 어종에 대해서는 음향학적인 연구가 거의 진행되지 않고 있다. 기존 Kang et al. (2008)과 Lee et al. (2014) 이 음향 기법을 통해서 제주 저층어군의 자원량 조사를 진행하였으나, 분석시 사용된 어류 자료는 저층 트롤을 이용한 어획자료가 아닌 자망 또는 통발로 어획된 어류를 이용하여 현존량을 계산하였다. 본 연구에서는 저층 트롤 정선과 동일한 음향 정선에 대한 결과를 이용하여 비교하였기 때문에 좀 더 합리적인 음향 밀도의 산정 결과로 판단된다.

저층 부근의 음향 밀도에 대한 주·야간 비교시 주간시기가 야간시기에 비해서 상대적으로 높게 측정되었다(Table 3). 일반적으로 저층 트롤의 특성상 저어류에 대해서 효과적으로 어획되는 반면에 표층 또는 중층에 분포하는 부어류의 채집율은 떨어진다(Huh and An, 2000). 하지만 본 조사에서 주간시기 주둥치, 멸치 등의 비 저서성 어류가 저층 트롤에 의해 채집되었다(Table 2). 이는 비저서성 어류의 경우 섭식활동에 의한 주·야 이동을 하기 때문에 주간시기 저층트롤을 통해 채집된 것으로 판단된다. 따라서 조사해역 조사수심대에서 야간시기에 비해 상대적으로 주간시기의 저층어류 밀도가 높은 것으로 판단된다(Ferno and Olsen, 1994).

음향 자원 조사의 장점 중 하나는 조사선이 이동하는 정선에 대한 전 수층의 정보를 동시에 얻을 수 있다. 본 연구에서는 중층에 비해 상대적으로 연구가 적게 이루어진 해저면 근처의 음향 자료와 저층 트롤 결과와 비교하였고, 센서 수심부터 해저면 위 3.5 m 수 층 사이의 정보를 이용하여 중층에 존재하는 어류의 시·공간 분포를 분석 및 고찰 하였다. 중층에 대한 음향 자료 분석 결과 저층어류 분포와 달리 주간시기에 비해서 야간시기 상대적으로 강한 음향 산란강도가 측정되었다(Fig. 5). 이 결과

또한 부어류의 주·야 이동에 의한 영향으로 판단된다. 조사 정선 별로는 주간시기의 경우 정점1과 정점6이 상대적으로 약한 NASC를 보였다. 이 지역은 다른 조사 정선에 비해서 상대적으로 낮은 수온과 높은 염분이 나타났다(Fig. 2). 음향 조사시 중층 어류의 채집은 실시하지 않았기 때문에 획득한 음향 신호에 대한 정확한 어종 식별은 불가능하다. 하지만 기존의 연구 및 Fig. 3c에서 확인되는 어류의 수직 이동을 통해서 본 어종은 멸치가 우점 할 것으로 판단된다(Kang et al., 2015). 멸치의 경우 공간 이동성이 크고, 환경 변화에 민감한 어종 중 하나로 13-23°C를 최적수온으로 하는 어종으로 알려져 있고(NFRDI, 2013), 본 조사 결과 중층 어류의 음향 산란강도와 수온 자료와 비교시 높지는 않지만 양의 상관성($r=0.45$)을 보였다(Fig. 5). 따라서 차후 본 조사해역에서 중층 어획조사를 통해 음향 자료와의 검증이 필요하다.

본 연구를 통해서 중층 어류의 분포는 저층 어류의 공간 분포와는 전혀 다른 분포 특성을 보여 동일한 해역이고 연안임에도 불구하고 저층 부근과 중층에서의 분포형태가 다를 수 있음을 직접적으로 보여주고 있다. 국내 연안 주요 어종들의 관리와 지속적이고 효율적인 이용을 위해서는 과학적인 조사를 통해 분포 특성 및 더 나아가 현존량에 관한 연구자 뒷받침 되어야 한다. 현존량 산정을 위한 자료 처리 과정에서 사용한 NASC 값은 현장에서 관측한 값으로 조사 당시 어류 분포 특성 정보를 가지고 있음으로 변하지 않은 관측 값이다. 그러나 현존량 조사를 위해서는 우점 어종에 대한 TS함수와 체장-체중 함수를 사용해야 한다. 따라서, 어종 별 음향 자료에 대한 TS 자료가 추가 되어야만 국내 주요 해역 내 저층 어종에 대한 음향학적 현존량 산정 및 변동에 대한 연구가 가능할 것으로 판단된다.

조사 해역은 남해안 저인망어업 조업 금지 구역에 근접하여 어류 다양성 및 자원학적으로 의미가 있는 해역이다. 기존의 조사들이 멸치 등 중층 어류 등에 초점이 맞추어 연구되었으나(Lee et al., 2014; Kang et al., 2015), 중요한 수산자원인 해저면 부근의 어류에 대한 분포 특성 연구는 상대적으로 부족한 상황이다. 따라서 저층어류에 대한 음향학적 특성 조사가 필요하고, 그 결과를 이용하여 저층어류에 대한 객관적인 음향 현존량 조사가 필요한 실정이다. 또한 우리나라와 같이 다양한 어종이 혼재된 해역에서 현존량 변동을 파악하기 위해서는 수층음향기법과 어구를 활용한 직접적인 조사의 장점을 상호 보완적으로 활용하여 장기적인 계획을 가지고 지속적이고 반복적인 조사가 유효할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 남해안 저인망어업 조업금지 구역 인접해역에서 음향 조사를 통하여 해저면 부근에 서식하는 어류의 주·야 분포 특성과 저층 트롤 자료와의 비교·검증을 실시하였다. 기존의 어구 어업을 이용한 시·공간 분포 연구에 어려움을 극복하기 위한 음향 조사 기법의 적용은 저층 어류뿐만 아니라 중층어류에 대한 분포를 직접적으로 보여줄 수 있으며, 또한 우점 어류의 정보가 주어진다면 현존량 산정까지 가능함을 보여주고 있다. 본

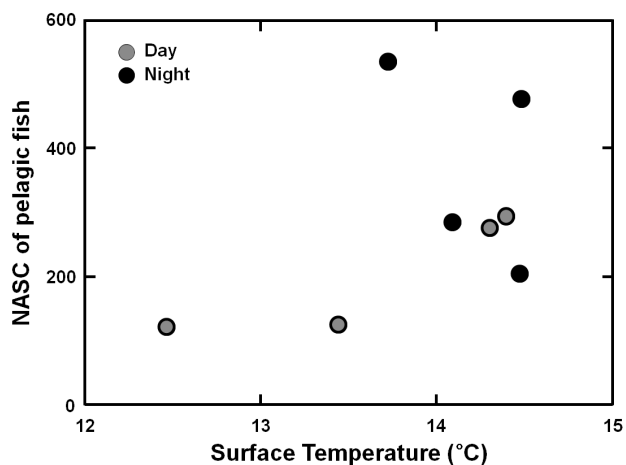


Fig. 5. Relationship between temperature and NASC of pelagic fish during day (gray circle) and night time (black circle). Note that temperature is the near surface temperature at 5 m.

조사 결과는 향후 생태계의 먹이 사슬에서 최상의 위치를 차지하고 있는 어류의 연구에 기본적인 자료로 제공될 것이며, 수산 자원의 현 상황을 파악하는 기초 자료로 이용될 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 과학어탐을 이용하여 남해안 여수와 거제 연안 저층어군의 분포를 측정하여 지속적인 분포와 자원량 모니터링을 위한 기초적인 정보를 제공하고자 한다.

사 사

이 논문은 2015년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2015024)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Cha BY, Chang DS and Kim BY. 2004. Seasonal variation of fish catch by a set bet in Hamdeuk fishing ground off Jeju Island. *J Kor Fish Soc* 37, 65-72.
- Choi KC. 1971. Comparative studies on the fish population dynamics in the Choon Chun, Uiam impoundments and on the Achim reservoir. *Korean J Limnal* 4, 43-62.
- Cha SS and Park KJ. 1997. Seasonal changes in species composition of fish collected with a bottom trawl in Kwangyang Bay, Korea. *Korean J Ichthyol* 9, 235-243.
- Everson I, Bravington M and Goss C. 1996. A combined acoustic and trawl survey for efficiently estimating fish abundance. *Fish Res* 26, 75-91. [http://dx.doi.org/10.1016/0165-7836\(95\)00404-1](http://dx.doi.org/10.1016/0165-7836(95)00404-1).
- Ferno A and Olsen S. 1994. Marine fish behaviour in capture and abundance estimation. Fishing News Books, Oxford, 221.
- Hanselman DH, Spencer PD, McKelvey DR, Martin MH. 2012. Application of an acoustic-trawl survey design to improve estimates of rockfish biomass. *Fish Bull* 110, 379-396.
- Hjellvik V, Tjøstheim D and Godø OR. 2007. Can the precision of bottom trawl indices be increased by using simultaneously collected acoustic data? The Barents Sea experience. *Can J Fish Aquat Sci* 64, 1390-1402.
- Honkalehto T, Ressler PH, Towler RH and Wilson CD. 2011. Using acoustic data from fishing vessels to estimate walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) abundance in the eastern Bering Sea. *Can J Fish Aquat Sci* 68, 1231-1242.
- Huh SH. 1986. Species composition and seasonal variations in abundance of fishes in eelgrass meadows. *Bull Korean Fish Soc* 19, 509-517.
- Huh SH and SM Kwak. 1998. Seasonal variation and species composition of fishes collected by otter trawl in the coastal water off Namhae Island. *Kor J Ichthyol* 10, 11-23.
- Huh SH and YR An. 2000. Seasonal composition and seasonal variation of fish assemblage in the coastal water off Gadeokdo, Korea. *J Korean Fish Soc* 33, 288-301.
- Kang DH, Im YJ, Lee CW, Yoo JT and Myoung JG. 2008. Hydroacoustic survey of spatio-temporal distribution of demersal fish aggregations near the West Coast of Jeju Island, Korea. *Ocean Polar Res* 30 181-191.
- Kang MH, Seo YI, Oh TY, Lee KH, and 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 Technol* 51, 86-93. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.1.086>.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyo-hak Pub. Ltd., Seoul, Korea, 1-615.
- Lee JB, Oh TY, Yeon IJ, Kim BY, Shin HO, Hwang BK, Lee KH and Lee YW. 2012. Estimation of demersal fish biomass using hydroacoustic and catch data in the marine ranching area (MRZ) of Jeju. *J Kor Soc Fish Tech* 48, 128-136. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.2.128>.
- Kim JI, Yang WS, Oh TY, Seo YI, Kim ST, Hwang DJ, Kim EH and Jeong SB. 2008. Acoustic estimates of anchovy biomass along the Tongyoung-Namhae coast. *J Kor Fish Soc* 41, 61-67.
- 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. *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 671-681. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0671>.
- Lee TW. 1993. The demersal fishes of Asan Bay III. Spatial variation in abundance and species composition. *Bull Kor Fish Soc* 26, 438-445.
- Lee TW and Kim GC. 1992. The demersal fishes of Asan Bay II. temporal variation in abundance and species composition. *Bull Kor Fish Soc* 25, 103-114.
- Myriax. 2008. Echoview 4.50.50. Myriax software Pty Ltd., Tasmania, Australia.
- NFRDI. 2013. Ecology and fishing ground of major commercial species in the Korean waters. National Fisheries Research and Development Institute. Ye-Moon-Publishing, Busan, Korea, 1-401.
- Oh TY, Kim JI, Seo YI, Lee SK, Hwang DJ. 2009. Comparison of geostatistic and acoustic estimates of anchovy biomass around the Tongyeong Inshore Area. *Korean J Fish Aquat Sci* 42, 290-296.
- Simmonds EJ and MacLennan DN. 2005. Fisheries acoustics: Theory and Practice, 2nd ed. Blackwell Science, Oxford, 1-437.
- Zwolinski JP, Demer DA, Byers KA, Cutter GR, Renfree JS, Sessions TS, Macewicz BJ. 2012. Distributions and abundances of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and other pelagic fishes in the California Current Ecosystem during spring 2006, 2008, and 2010, estimated from acoustic-trawl surveys. *Fish Bull* 110, 110-122.