

제주도 마라도 연안해역의 어업생물자원에 대한 분포밀도의 음향학적 조사

서영일 · 오택윤 · 차형기 · 이경훈¹ · 윤은아¹ · 황보규² · 이유원³ · 김병엽^{4*}
국립수산과학원 연근해자원과, ¹전남대학교 해양기술학부, ²군산대학교 해양생산학과,
³한국해양수산연수원 교육연구팀, ⁴제주대학교 해양산업경찰학과

Hydroacoustic survey on distribution and density of fisheries resources in the Marado coastal area of Jeju, Korea

Young-Il SEO, Taeg-Yun OH, Hyung-Kee CHA, Kyounghoon LEE¹, Eun-A YOON¹, Bo-Kyu HWANG²,
Yoo-Won LEE³ and Byung-Yeob KIM⁴

Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

²Department of Marine Production, Kunsan National University, Kunsan 54150, Korea

³Education and Research Team, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 49111, Korea

⁴Department of Marine Industrial and Maritime Police, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

The survey was conducted to investigate biomass and distribution of fisheries resources using a quantitative echo sounder and a fixed gillnet around Marado coast of Jeju to obtain the scientific basic data for dispute resolution with a large purse seine fishery and coastal fishing and policy establishment of reasonable fisheries resources. Hydroacoustic surveys were conducted six times (November 28~29, 2015 (night), February 23~24, 2016 (night) and March 3~4, 2016 (night/day), March 30~31, 2016 (night/day)) using a quantitative echo sounder. The pelagic fish densities were relatively higher around Marado in November 2015, February 2016 and March 3~4, 2016. However, demersal fish densities were relatively higher in Jeju coastal waters on March 30~31, 2016. Catch data using fixed gill net were used to calculate biomass. Based on the hydroacoustic data, fish length-weight function and target strength information of dominant fish, the biomass of fishes were estimated as follow: 5.64 ton CV = 70.2% at night on November 28~29 2015, 7.14 ton CV = 35.8% of pelagic fish and 530.77 ton CV = 34.6% of demersal fishes at night on February 23~24 2016, 2.34 ton CV = 56.7% of pelagic fish and 571.93 ton CV = 40.3% of demersal fish at daytime, 1.39 ton CV = 48.4% of pelagic fish and 194.59 ton CV = 54.3% of demersal fish at night on March 3~4 2016, 0.37 ton CV = 72.9% of pelagic fish and 338.79 ton CV = 99.7% of demersal fish at daytime, 0.24 ton CV = 21.3% of pelagic fish and 68.61 ton CV = 53.8% of demersal fish at night on March 30~31 2016.

Keywords : Fisheries resources, Quantitative echo sounder, Gillnet, Marado, Pelagic fish, Demersal fish

*Corresponding author: kimby@jeju.ac.kr, Tel: +82-64-754-3493, Fax: +82-64-756-3483

서론

우리나라는 200해리 배타적 경제수역 설정, 연안 해역의 환경오염, 어민들의 남획 등으로 인하여 연근해 수산자원을 효율적으로 이용하기 위하여 어구 제한, 어체 크기 및 성별 제한, 어장과 어기 제한, 보호 수역 및 보호수면의 설정과 같은 기술적 수단에 의한 관리, 총허용어획량 (Total Allowable Catch: TAC) 관리, 바다목장 조성과 인공어초 사업 및 수산종묘방류사업을 통한 인위적인 자원조성 관리, 자율관리어업에 의한 자율적 관리가 이루어지고 있다.

해면어업은 보통 연안어업, 근해어업, 원양어업으로 나눈다. 연안어업이란 근거지나 육지로부터 하루 만에 돌아올 수 있을 정도로 가까운 바다에서 하는 어업이고, 수심 일이 걸리는 먼 바다에서 하는 어업을 원양어업이라 하며, 그 중간 정도의 곳에서 하는 어업을 근해어업이라 한다. 그러나 이 기준은 항해·운용술의 발달에 따라 달라질 수 있으므로 대단히 모호하다.

최근에는 이러한 기준으로 업종별 조업구역에 따른 분쟁이 많이 일어나고 있고, 우리나라 남쪽 마라도 주변 수역에서 조업구역 조정과 제주 연안어업 및 대형선망어업과의 어업분쟁이 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 해당수역에서의 어획실태 및 자원분포 조사를 먼저 실시하여 자원 관리 정책 수립의 과학적인 기초자료 수집이 필요하다.

수산자원을 평가하는 직접적인 방법에는 어구, 잠수, 수중 카메라, 수중 음향 등의 방법이 이용되고 (Hwang et al., 2004; Hwang et al., 2015; Kang et al., 2008; Kim et al., 2010; Kim et al., 2011; Lee, 2011; Lee et al., 2012; Lee, 2013; Oh et al., 2010; Yoon et al., 2011), 이 가운데 어구 조사는 수산자원의 종조성을 명확하게 규명할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 많은 조사 정점에 따른 조사 시간이 많이 소요되기 때문에 전체 해역에 대한 수산 자원의 분포 특성을 파악하여 현존량을 추정하는 것은 한계점이 뒤따른다. 잠수 및 수중카메라 조사는 수심의 한계와 탁도 등의 환경 요소뿐만 아니라 어류 가까이 접근하면 회피반응을 자극시키기 때문에 정량적인 데이터를 얻기 어려운 상황이 된다 (Kang et al., 2008; Hwang et al., 2004). 이러한 어려움을 해결하기 위한 방안 중 하나로 수중 음향을 이용한 방법은 짧은

시간 동안 넓은 해역의 전 수층에 대한 정보를 알 수 있기 때문에 이미 노르웨이, 미국, 캐나다 등의 선진국에서 수산자원을 평가하는 도구로 활발하게 이용되어지고 있다 (Simmonds and MacLennan, 2005).

따라서 본 연구에서는 마라도 주변수역의 합리적 자원관리 정책수립의 과학적 기초자료로 활용하기 위하여 음향과 자망을 이용하여 마라도 주변 해역에서 식하고 있는 수산자원의 분포 및 현존량을 파악하였다.

재료 및 방법

조사 해역 및 시기

음향 조사가 실시된 해역은 제주도 남쪽인 모슬포항의 수평방향 동쪽으로 약 8 km, 서쪽으로 약 12 km, 수직방향 남쪽으로 약 18~22 km이다. 조사는 Table 1과 같이 2015년 11월 28~29일 (야간), 2016년 2월 23~24일 (야간), 2016년 3월 3~4일 (야간/주간), 2016년 3월 30~31일 (야간/주간)으로 총 6회에 걸쳐 실시하였다. 조사 정선 설계는 Algen (1983)의 DOC (degree of coverage) 즉 $DOC = N / \sqrt{A}$ 을 이용하여 값이 6 이상이 되도록 설정하였다. 여기에서 N은 조사 정선의 길이, A는 조사 해역의 면적이다.

위 식을 이용하여 Fig. 1과 같이 정점 1에서 12까지 설정하여 남쪽방향으로 총 6개의 조사정선을 설계하였다. 조사 정선 길이 및 면적은 2015년 11월 28~29일은 약 100 n.mile, 약 460 km², 2016년 2월 23~24일, 2016년 3월 3~4일, 2016년 3월 30~31일은 2015년 11월에 수행한 조사 정선별로 각각 3 n.mile을 줄여 약 83 n.mile, 약 350 km²이었다. 한편, 2016년 3월 31일 주간 조사는 기상악화로 조사 정점 9번까지만 수행하였다.

음향 자료 수집 및 분석

음향조사에 사용된 장치는 split beam 방식의 계량어군 탐지기 (EK-60, Simrad, Norway) 주파수 38, 70, 120 kHz를 사용하였다. 또한 DGPS (SPR-1400, Samyoung, Korea) 수신기로부터 연속적으로 위치정보를 수신하여 계량어군탐지기에 입력하여 노트북에는 DGPS의 위치정보가 입력된 음향 자료를 LAN과 RS-232C 인터페이스를

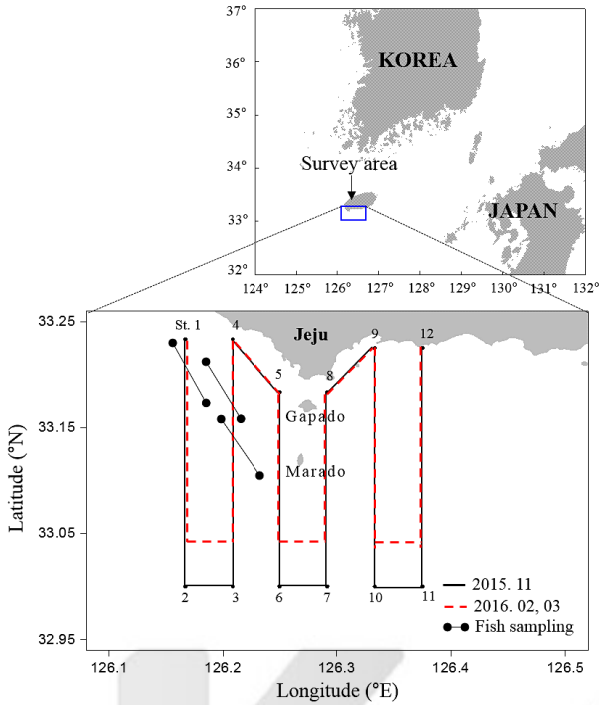


Fig. 1. Geographical area and transect lines for hydroacoustic surveys in the Marado coastal area of Jeju.

Table 1. Summary of survey date, time and distance

| No. survey | Survey date | Survey time | Survey line distance (n.mile) |
|------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| 1 | November 28~29, 2015 | 18:00~09:00 (night) | 100 |
| 2 | February 23~24, 2016 | 17:00~05:00 (night) | 83 |
| 3 | March 3~4, 2016 | 17:00~04:30 (night) | 83 |
| 4 | March 3~4, 2016 | 04:30~14:00 (day) | 83 |
| 5 | March 30~31, 2016 | 18:30~04:30 (night) | 83 |
| 6 | March 30~31, 2016 | 04:30~12:00 (day) | 56 |

통하여 연속적으로 컴퓨터 하드디스크에 수록하였다. 유용한 음향 자료 수집을 위하여 펄스폭은 0.512 ms, 펄스 반복주기 1 sec로 설정하였다. 여기서, 2015년 11월 조사에는 주파수 38 kHz, 2016년 2월 조사에는 주파수 120 kHz, 2016년 3월 조사에는 주파수 70 kHz를 이용하였다. 계량어군탐지기의 송수파기는 예인체에 부착한 후 선박

의 현측에 지지대를 이용하여 수심 1 m에 설치하였고, 선속은 6.0~7.0 knots로 조절하면서 데이터를 수집하였다.

현장에서 수록한 음향 데이터는 차후에 실험실에서 재생하여 분석 소프트웨어 (Echoview ver. 4.7, Myriax, Australia)를 이용하여 처리하였다. 데이터 처리를 할 때 표층에서 발생하는 모든 잡음을 음향 자료에서 제거하였고, 조사 정선별로 해저로부터 어류의 에코를 분리하였다. 어류의 공간적 분포 및 밀도는 2015년 11월에는 저층 어군이 탐지되지 않아 해수면~해저면까지 전 수층, 2016년 2월과 3월은 표층 어군과 저층 어군이 함께 탐지되어 Fig. 2와 같이 해수면~해저면 위 5 m 수층 (표층 어류)과 해저면 위 5 m~해저면까지 2개의 수층 (저층 어류)으로 분리하여 분석하였다. 어류의 밀도는 0.5 n.mile의 EDSU (elementary distance sampling unit) 간격으로 적분하여 추출된 면적산란계수 (nautical area scattering coefficient, NASC, $m^2/n.mile^2$) 값을 이용하여 어군의 시·공간분포 특성을 파악하였다.

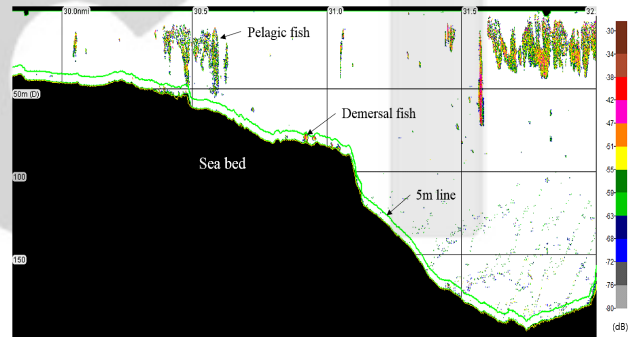


Fig. 2. Separation zones of acoustic echogram to estimate spatial distribution and density of fishes.

현장에서 얻은 NASC 값은 체적 내 수중 서식생물로부터 수신되는 신호의 선형적인 합이므로 음향 빔 내에 탐지되는 대상 어류의 음향반사강도 함수 (Target strength, $TS = 20 \log_{10} L(\text{fish length, cm}) + TS_{cm}$)을 이용하여 분포밀도로 변환할 수 있다 (Simmonds and MacLennan, 2005). 그래서 음향조사와 비슷한 시기에 고정자망을 이용하여 어획된 어획 자료를 이용하여 우점종의 TS_{cm} 값을 사용하여 Lee et al. (2012)과 동일한 방법으로 마라도 연안의 현존량을 계산하였다 (Furusawa et al., 1989; Simmonds and MacLennan, 2005).

어획 조사

조사 해역에 서식하는 어류의 종조성 및 우점종의 체장-체중을 파악하기 위하여 Fig. 1과 같이 음향 조사 해역의 3개 지점에서 음향 조사가 이루어 비슷한 시기, 즉 2015년 11월 19일, 2016년 2월 20일, 2016년 3월 5일, 2016년 3월 31일 총 4회 어획조사를 실시하였다.

어획 조사에 사용된 어구는 고정자망으로 총 30폭을 사용하였고, Fig. 3과 같이 1폭당 길이가 60 m, 그물코의 크기가 80 mm (Knot NY Td 210)이었다. 고정자망 어구는 새벽 5시에 투망 후 약 5시간 후 오전 10시에 양망하여 어종별 체장 (cm) 및 체중 (g)을 조사하였다. 종조성 분석에서 5미 이하의 어종은 기타로 분류하였다.

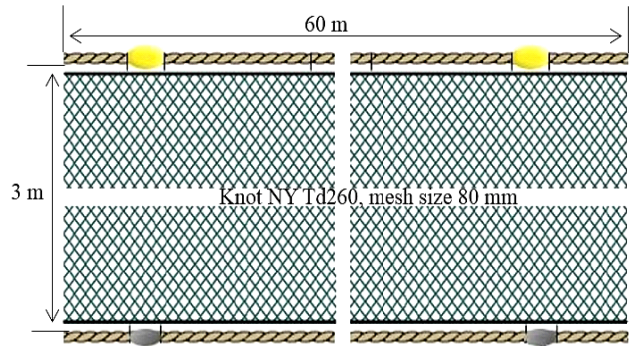


Fig. 3. Fishing gear characteristics for fish sampling.

결과 및 고찰

어류의 공간 분포

표·저층어군의 음향학적 밀도의 공간적 분포를 나타

낸 결과는 Fig. 4와 같다. Fig. 4의 (a)는 2015년 11월 28~29일 야간의 조사 결과로 저층 어군은 탐지되지 않았고, 표층 어군도 $50 \text{ m}^2/\text{nmi}^2$ 미만이 96.8%로 높은 어류의 밀도는 출현하지 않았다.

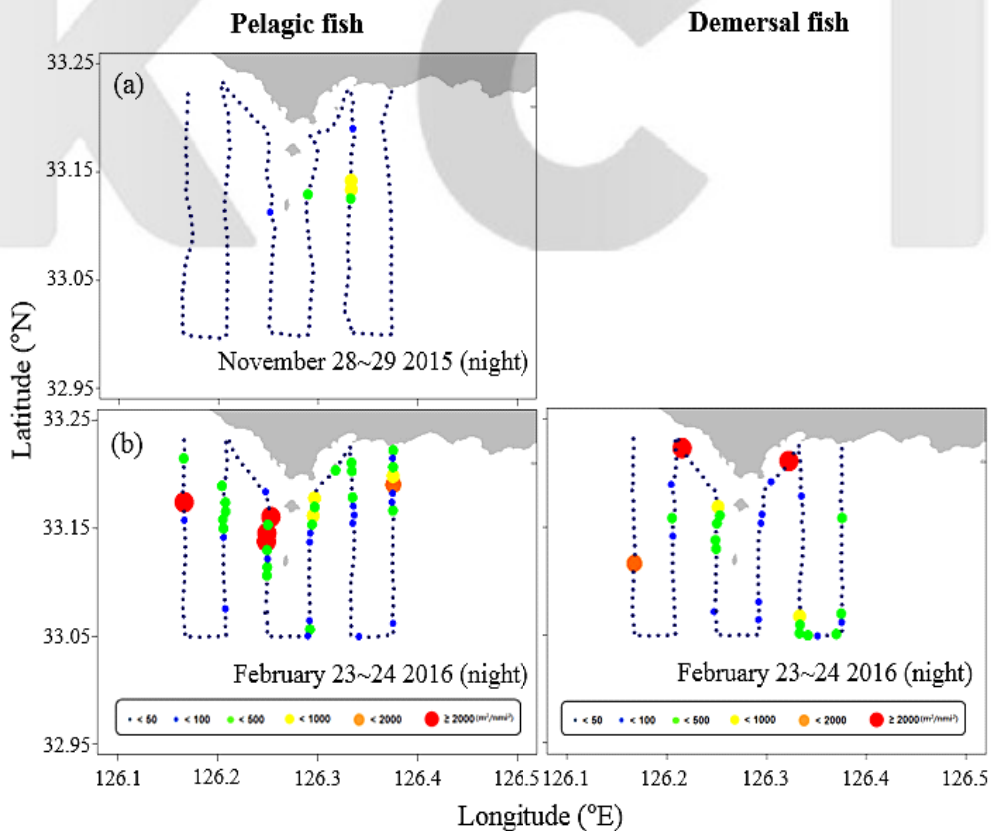


Fig. 4. Spatial distribution of pelagic fish and demersal fish aggregations detected by the hydroacoustic survey in the Marado coastal area of Jeju.

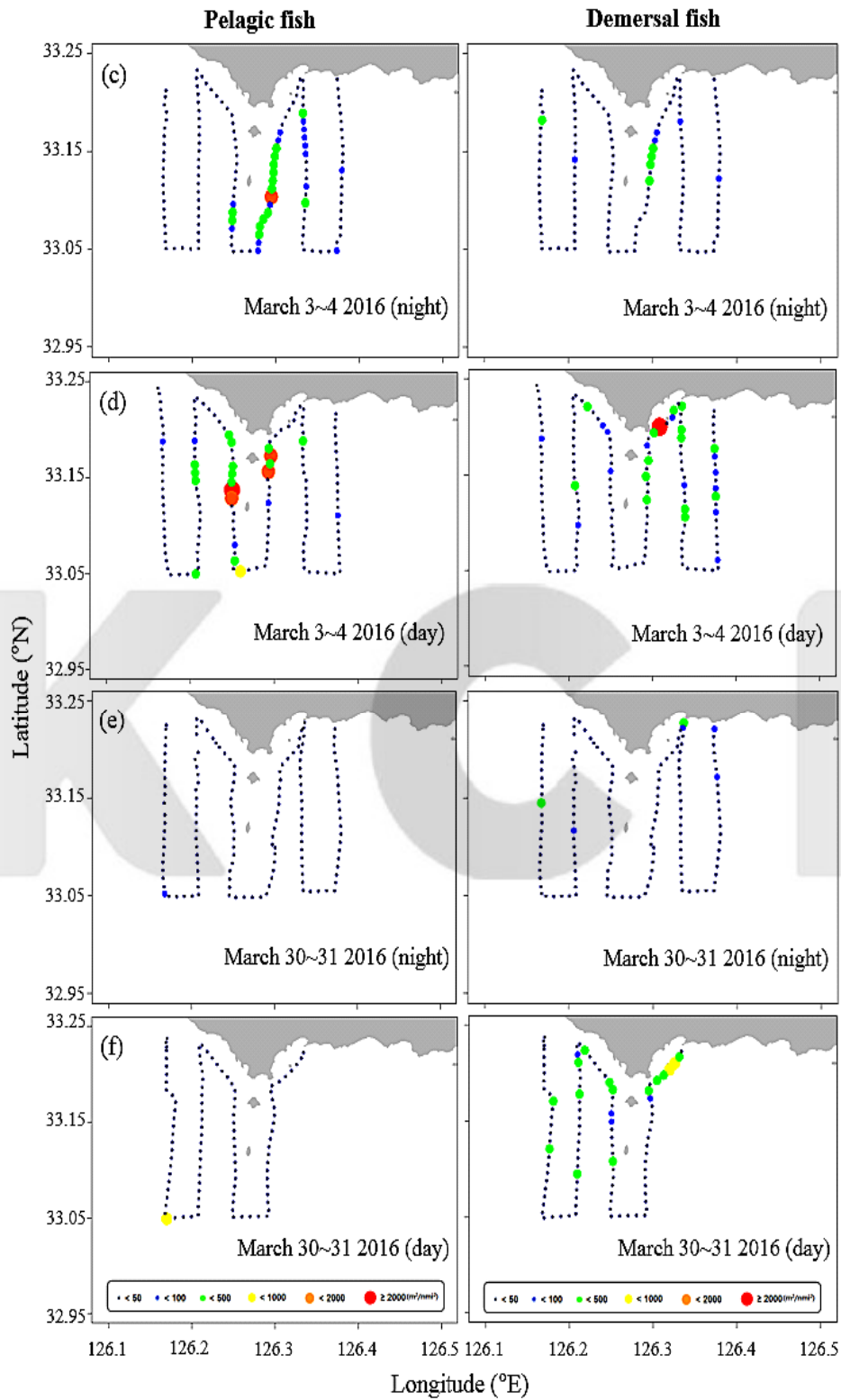


Fig. 4. Continued.

Fig. 4의 (b)는 2016년 2월 23~24일 야간의 조사 결과로, 왼쪽의 표층 어군의 밀도는 11월에 비하여 2000 m²/nmi² 이상이 2.6%로 상당히 높은 어군 밀도를 보였고, 특히 St. 5~6인 마라도 주변에서 높은 밀도를 보이는 어군이 대량 출현하였다. 오른쪽에 나타난 저층 어군의 밀도도 St. 4~5, St. 8~9 사이의 연안에서 2000 m²/nmi² 이상의 높은 어군 밀도를 나타내었으며, 주·야 모두 조사 해역의 외해에 비하여 연안에서 높은 밀도를 나타내었다.

Fig. 4의 (c)는 2016년 3월 3~4일 야간의 조사 결과로, 왼쪽의 표층 어군의 밀도는 (d)의 주간의 어군 밀도보다는 상대적으로 낮았고, 2000 m²/nmi² 이상의 높은 밀도의 어군은 나타나지 않았다. 그러나 St. 7~9는 상대적으로 다른 조사 정선에 비하여 높은 밀도를 나타내었다. 오른쪽에 나타난 저층 어군의 밀도는 마라도 동쪽 일부 해역에서 상대적으로 높은 밀도를 나타내었을 뿐, 높은 밀도의 어군은 출현하지 않았다.

Fig. 4의 (d)는 2016년 3월 3~4일 주간의 조사 결과로, 왼쪽의 표층 어군의 밀도는 11월보다 높았고, 2월보다는 낮게 나타났다. 어군의 공간 분포는 2월과 유사하게 St. 5~6인 마라도 주변에서 높은 밀도를 보이는 어군이 대량 출현하였다. 오른쪽에 나타난 저층 어군의 밀도는 St. 8~9의 연안에서 높은 밀도의 어군이 탐지되었으나, 전체적인 어군의 밀도는 높지 않았다. Fig. 5의 (b) 2월 조사 때와 마찬가지로 조사 해역의 외해에 비하여 연안에서 높은 밀도를 나타내는 경향이 있음을 알 수 있었다.

Fig. 4의 (e)는 2016년 3월 30~31일 야간의 조사 결과로, 왼쪽의 표층 어군의 밀도는 50 m²/nmi² 미만이

99.3%이고, 오른쪽에 나타난 저층 어군의 밀도는 50 m²/nmi² 미만이 95.2%로 표·저층 모두 아주 낮은 어군 밀도를 나타내었다.

Fig. 4의 (f)는 2016년 3월 30~31일 주간의 조사 결과로, 왼쪽의 표층 어군의 밀도는 St. 2~3에서 한 개의 어군이 탐지되어 다른 해역에 비하여 상대적으로 높은 밀도를 보였으나, 50 m²/nmi² 미만이 99.0%로 아주 낮은 어군 밀도를 나타내었다. 오른쪽의 저층 어군의 밀도는 50 m²/nmi² 미만이 81.4%로 표층 어군의 밀도보다는 상대적으로 높았고, 특히 St. 8~9의 연안에서 높게 나타났다.

어획물 조성

고정자망을 이용한 어획 조사 결과는 Table 2와 같다. 어획 조사 결과, 고등어, 눈볼대, 볼락, 민어 등 10여종이 어획되었으며, 우점종은 2015년 11월 19일에는 고등어, 2016년 2월 20일에는 눈볼대, 3월 5일에는 민어, 3월 31일에는 독가시치로 나타났다.

우점종의 체장-체중 관계 및 현존량의 추정

음향자료로부터 현존량 (ton)을 산출하기 위해 측정된 우점종의 고등어, 눈볼대, 멸치, 민어, 독가시치의 체장-체중 관계식 및 체장빈도 분포도는 Fig. 5와 같다. 여기서, 독가시치의 샘플이 적어 체장-체중 관계식이 명확하지 않아 본 연구에서 독가시치의 CF를 구하는 체장-체중 관계식은 이전 연구 결과인 수컷에 대한 체중-체중 관계식인 $w = 0.0215L^{2.8908}$ (R²=0.95)을 인용하였다 (Lee et al., 2014).

Table 2. Weight ratio with season and dominant fish species by the catch date

| Scientific name | November 19 2015 | | February 20 2016 | | March 5 2016 | | March 31 2016 | |
|--------------------------------|------------------|------|------------------|------|---------------|------|---------------|------|
| | Abundance (g) | % | Abundance (g) | % | Abundance (g) | % | Abundance (g) | % |
| <i>Scomber japonicus</i> | 1,016,000 | 77.0 | | | | | | |
| <i>Doederleinia berycoides</i> | 243,000 | 18.4 | 32,000 | 48.5 | 50,000 | 1.6 | | |
| <i>Sebastes marmoratus</i> | 21,000 | 1.6 | 10,000 | 15.2 | 10,000 | 0.3 | | |
| <i>Müchthys müuy</i> | 11,000 | 0.8 | | | 2,929,000 | 95.2 | | |
| <i>Pennahia argentata</i> | 19,000 | 1.4 | 4,000 | 6.1 | | | | |
| <i>Nibea albiflora</i> | | | | | 66,000 | 2.1 | | |
| <i>Lateolabrax japonicus</i> | | | | | 21,000 | 0.7 | | |
| <i>Siganus fuscescens</i> | | | | | | | 9,000 | 28.9 |
| <i>Goniistius zonatus</i> | | | | | | | 8,000 | 32.5 |
| <i>Girella punctata</i> Gray | | | | | | | 5,300 | 19.1 |
| Others | 10,000 | 0.8 | 20,000 | 30.3 | | | 5350 | 19.5 |

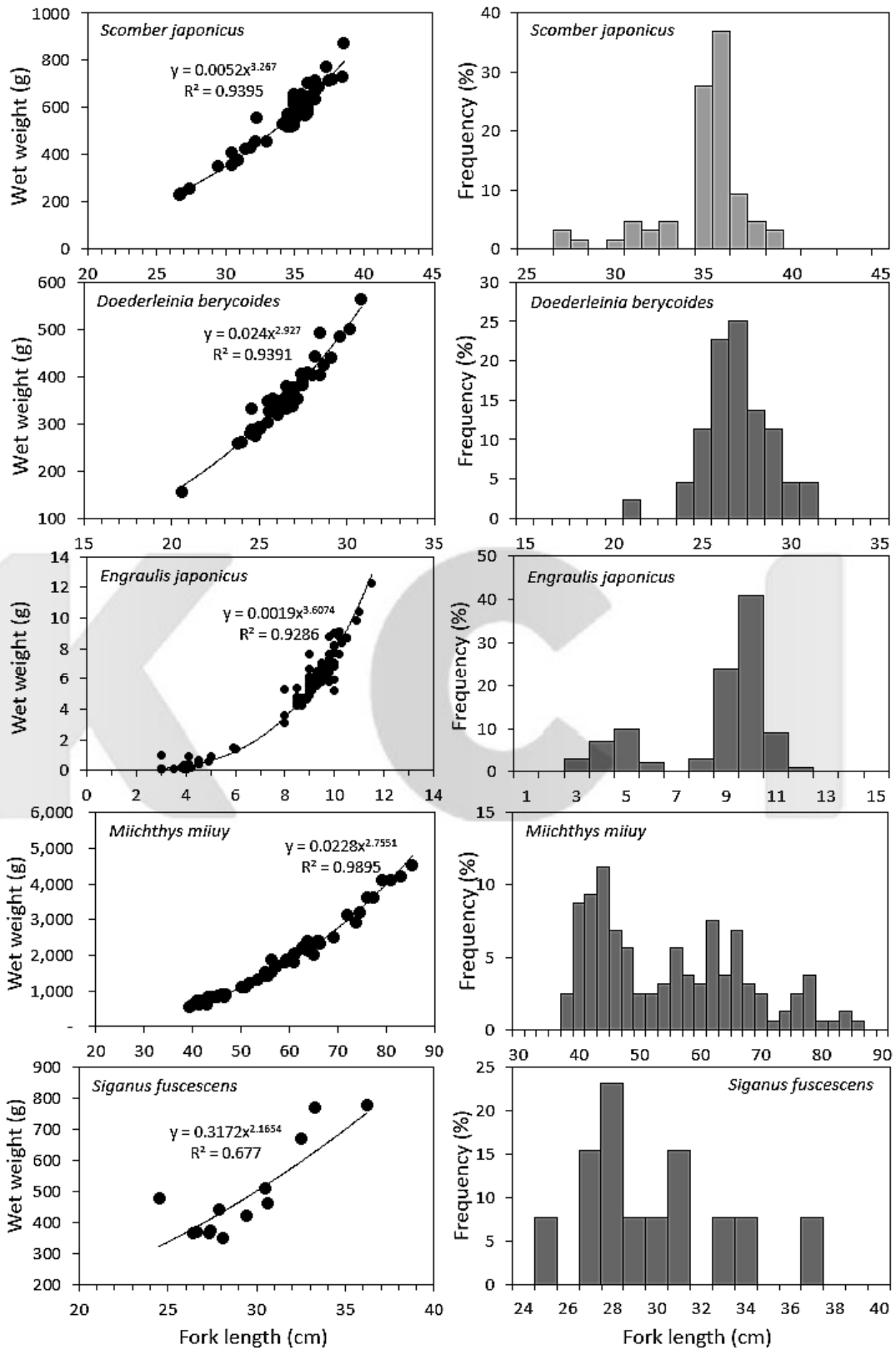


Fig. 5. Relationship between fork length and body weight of dominant fish in the Marado coastal area of Jeju.

고정자망에 어획된 어종 가운데 우점종의 TS는 이전에 연구된 연구 결과를 인용하였다. 어획 시기별 고정자망에 어획된 우점종은 Table 2에서 고등어, 눈볼대, 민어, 독가시치로 나타났다. 고정자망에서 2월과 3월은 저층 어류만 어획되었는데, 2월 음향 조사 시 조사해역에 다수의 멸치 조업선이 조업 중이었고, 표층에는 다량의 멸치어군이 탐지되었으며, 3월에도 표층에는 멸치 어군 형태를 보이는 어군이 탐지되어 2월과 3월은 표층 어류의 밀도 및 현존량을 파악하기 위해서 멸치의 TS 값을 이용하였다. 또한 2월, 3월에 어획된 눈볼대, 민어, 독가시치에 대한 TS 정보가 없기 때문에 각각 체형과 분류학상이 유사한 불볼락, 부세, 감성돔의 TS 값을 이용하였다. 눈볼대, 민어, 독가시치는 조기강 농어목에 속하는 어종이고, TS 값을 인용한 어류인 불볼락은 조기강 썸뱅이목에 속하며, 부세, 감성돔은 조기강 농어목이다.

우리나라 해양에는 한 어종이 우점하지 않고 여러 어종이 함께 서식하고 있다. 채집된 모든 어류의 현존량을 평가하는데 어려움이 따르기 때문에 우점하는 어류의 TS를 이용하여 우점하는 어류의 현존량을 평가하고 있는 실정이다 (Kang et al., 2008; Lee et al., 2012; Kim et al., 2013). 본 연구에서도 단일 주파수만 사용하여 다수 종의 식별은 어렵지만, 추후에는 다주파수를 이용하고 대상 어종의 주파수 특성을 명확히 파악한다면 다수 어종별 현존량 평가도 가능할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 우리나라에 서식하는 다양한 어류의 대한 TS 값이 부족하기 때문에 다양한 어류에 대한 지속적인 TS 연구가 필요하다. 어류의 TS는 사용 주파

수, 사이즈, 유영 자세각, 부레 등에 따라 변화하고, 부레는 가진 어류는 부레의 크기나 형태에 따라 90~95% 영향을 받는다 (Foote, 1980). 일반적으로 경골어류의 경우 TS 함수에서 TS cm는 주파수 38 kHz에서 -68~-67 dB, 주파수 200 kHz에서 -73~-72 dB의 범위를 가진다고 보고하였다 (Kang et al., 2008). 또한 본 연구에서 적용한 멸치의 TS는 주파수 70과 120 kHz에서 TS cm가 각각 -67.1 dB과 -68.4 dB로 주파수의 특성이 유사하다는 것을 알 수 있었다. 전갱이를 대상으로 음향모형을 이용하여 주파수 특성을 파악한 결과, 주파수마다 TS cm도 큰 차이를 나타내지 않고 유사하다는 것을 알 수 있었다 (Hwang et al., 2015).

그래서 현존량 추정에 사용된 주파수별 어종의 TS 값을 정리한 결과는 Table 3과 같고, 현존량 추정에서는 이전에 연구된 TS-length 회귀선과 고정자망에 어획된 우점종의 체장-체중 회귀선을 이용한 변환계수 (conversion factor: CF)를 계산하였다.

우점종의 CF 값을 이용하여 평균 밀도를 구한 결과는 Table 4와 같다. Table 4에서 11월 28~29일 야간에는 0.11 g/m², 2월 23~24일 야간 표층 어군에서는 0.02 g/m²과 저층 어군에서는 1.52 g/m², 3월 3~4일 주간 표층 어군에서는 0.01 g/m²과 저층 어군에서는 1.63 g/m², 3월 3~4일 야간 표층 어군에서는 0.004 g/m²과 저층 어군에서는 0.56 g/m², 3월 30~31일 주간 표층어군에서는 0.001 g/m²과 저층 어군에서는 0.97 g/m², 3월 30~31일 야간 표층 어군에서는 0.001 g/m²과 저층 어군에서는 0.20 g/m²이었다.

Table 3. TS-length with season and dominant fish species

| Survey date | Species | Frequency (kHz) | TS-length | Reference |
|-------------------|--|-----------------|----------------|----------------------|
| November 19, 2015 | Chub mackerel (<i>Scomber japonicus</i>) | 38 | 20log(L)-66.29 | Kang et al. (2002) |
| February 20, 2016 | Japanese anchovy (<i>Engraulis japonicus</i>) | 120 | 20log(L)-68.4 | Kang et al. (2009) |
| | Goldeye rockfish (<i>Sebastes thompsoni</i>) | 120 | 20log(L)-67.68 | Moon et al. (2006) |
| March 5, 2016 | Japanese anchovy (<i>Engraulis japonicus</i>) | 70 | 20log(L)-67.1 | Sawada et al. (2008) |
| | Yellow croaker (<i>Pseudosciaena crocea</i>) | 75 | 20log(L)-67.35 | Kang and Lee (2003) |
| March 31, 2016 | Japanese anchovy (<i>Engraulis japonicus</i>) | 70 | 20log(L)-67.1 | Sawada et al. (2008) |
| | Sea bream (<i>Acanthopagrus schlegelii</i>) | 70 | 20log(L)-69.46 | Lee (2012) |

Table 4. Estimated biomass of pelagic and demersal fish aggregations with season and by day and night time

| Transect Station | November 28-29, 2015 | | | February 23-24, 2016 | | | March 3-4, 2016 | | | March 30-31, 2016 | | | | | | | | |
|------------------|----------------------------------|--------------------|--------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|-------|----|------|------|
| | Night | | Night | | Day | | Night | | Day | | Night | | | | | | | |
| | Pelagic fish | | Pelagic fish | Demersal fish | Pelagic fish | | Demersal fish | Pelagic fish | | Demersal fish | Pelagic fish | | Demersal fish | | | | | |
| | ni ¹⁾ | NASC ²⁾ | ni | NASC | NASC | ni | NASC | NASC | ni | NASC | NASC | ni | NASC | NASC | | | | |
| 1 | 1-3 | 33 | 2.0 | 27 | 229.9 | 78.6 | 27 | 12.0 | 8.3 | 24 | 11.4 | 12.3 | 29 | 36.1 | 28.8 | 26 | 14.8 | 14.7 |
| 2 | 3-5 | 37 | 1.3 | 30 | 58.4 | 288.9 | 30 | 37.3 | 29.3 | 29 | 7.3 | 7.3 | 29 | 2.6 | 46.3 | 29 | 4.3 | 10.8 |
| 3 | 5-7 | 27 | 7.4 | 22 | 497.4 | 91.4 | 20 | 327.2 | 11.3 | 20 | 34.7 | 5.7 | 21 | 4.0 | 30.7 | 21 | 10.9 | 7.2 |
| 4 | 7-9 | 31 | 5.2 | 23 | 126.3 | 320.7 | 23 | 126.4 | 141.2 | 23 | 157.5 | 41.9 | 23 | 2.5 | 135.9 | 23 | 4.6 | 7.7 |
| 5 | 9-11 | 32 | 46.9 | 27 | 54.0 | 58.9 | 25 | 16.4 | 53.1 | 25 | 50.4 | 14.0 | | | | 25 | 7.1 | 12.5 |
| 6 | 11-13 | 29 | 1.3 | 22 | 163.9 | 35.0 | 21 | 8.4 | 46.5 | 22 | 28.9 | 18.9 | | | | 21 | 7.9 | 17.9 |
| | $\sum_{i=1}^n n_i$ | 189 | | 151 | 151 | 146 | 146 | 143 | 143 | 102 | 102 | 145 | 145 | | | | | |
| | Conversion factor (CF) | 0.0115 | | 0.0011 | 0.1016 | 0.0008 | 0.3382 | 0.0008 | 0.3382 | 0.0008 | 0.1659 | 0.0008 | 0.1659 | | | | | |
| | Mean density (g/m ²) | 0.01 | | 0.02 | 1.52 | 0.01 | 1.63 | 0.004 | 0.56 | 0.001 | 0.97 | 0.001 | 0.20 | | | | | |
| | Survey area (A, m ²) | 46×10 ⁷ | | 35×10 ⁷ | 35×10 ⁷ | 35×10 ⁷ | 35×10 ⁷ | 35×10 ⁷ | 35×10 ⁷ | 35×10 ⁷ | 35×10 ⁷ | 35×10 ⁷ | 35×10 ⁷ | | | | | |
| | Estimated biomass (B, ton) | 5.64 | | 7.14 | 530.77 | 2.34 | 571.93 | 1.39 | 194.59 | 0.37 | 338.79 | 0.24 | 68.61 | | | | | |
| | Coefficient of variation (%) | 70.2 | | 35.8 | 34.6 | 56.7 | 40.3 | 48.4 | 54.3 | 72.9 | 99.7 | 21.3 | 53.8 | | | | | |

1) The number of 0.5 n.mile averaging intervals on ith transect
 2) NASC: mean backscattering area per 0.5 n.mile²

이 평균 밀도로부터 추정된 제주도 마라도 해역에 분포하는 어류의 현존량은 11월 28~29일 야간에 5.64톤 (CV=70.2%), 2월 23~24일 야간 표층 어군 7.14톤 (CV=35.8%)과 저층 어군 530.77톤 (CV=34.6%) 3월 3~4일 주간 표층 어군 2.34톤 (CV=56.7%)과 저층 어군 571.93톤 (CV=40.3%), 3월 3~4일 야간 표층 어군 1.39톤 (CV=48.4%)과 저층 어군 194.59톤 (CV=54.3%), 3월 30~31일 주간 표층 어군 0.37톤 (CV=72.9%)과 저층 어군 338.79톤 (CV=99.7%), 3월 30~31일 야간 표층 어군 0.24톤 (CV=21.3%)과 저층 어군 68.61톤 (CV=53.8%)으로 평가되었다.

본 연구에서는 음향을 이용하여 제주도 마라도 주변 해역에 서식하는 어류의 밀도 및 현존량을 파악하였다. 조사 시기별 어획종 및 어류의 분포 해역 및 서식 수심이 다르게 나타났다. 2015년 11월 28~29일은 저층 어류 보다는 표·중층 어군이 많이 탐지되었고, 2016년 2월 23~24일은 저층 어군보다는 표층 어군이 많이 출현하였으며, 2016년 3월 3~4일도 표층 어군의 출현이 높았다.

한편, 2016년 3월 30~31일은 표층 어군은 거의 탐지되지 않았고, 저층 어군이 많이 탐지되었다. 이것으로 제주도 마라도 주변 해역에는 표·중·저층의 다양한 어류가 출현하고 시기에 따라 출현하는 어종 및 분포 해역이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 어류의 출현 및 분포는 해양환경의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 또한 표·중층 어군은 마라도 주변 해역에서 높게 나타났고, 저층 어군은 외해보다는 연안에서 높게 나타났다.

음향을 이용한 어류의 현존량을 평가할 때에는 CF가 중요한 요소이며, 이 값은 대상 생물의 TS, 체장, 체중에 따라 달라지는데, 어류의 음향학적 밀도는 표층이 높았음에도 불구하고 현존량은 저층에서 높은 것은 대상 어류의 TS는 유사하였으나 표층에 서식하는 어류는 체장, 체중이 저층에 서식하는 어류와 큰 차이를 나타내었고, 저층에는 대부분 체장, 체중이 큰 어류들이 많이 서식하였기 때문이다. 표층에 서식하고 있는 멸치의 평균 가랑이체장 (±표준편차)은 8.3±2.3 cm, 평균 중량 (±표준편

차)은 5.2 ± 2.9 g, 저층에 서식하는 눈볼대의 평균 가랑이 체장 (\pm 표준편차)는 26.5 ± 1.8 cm, 평균 중량 (\pm 표준편차)은 357.5 ± 71.5 g, 민어의 평균 전장 (\pm 표준편차)은 56.5 ± 12.5 cm, 평균 중량 (\pm 표준편차)은 $1,714.0 \pm 1040.8$ g, 독가시치의 평균 가랑이체장 (\pm 표준편차)는 29.3 ± 1.3 cm, 평균 중량 (\pm 표준편차)은 489.0 ± 147.3 g으로 표층 어류와 저층 어류의 체장과 체중이 차이를 보였고, 특히, 체중의 차이가 크게 나타내었다. 또한 어종마다의 체장-체중의 관계식의 차이도 다르게 나타났다. 2015년 3월 3~4일 주간 조사와 면적을 이용하여 CF 값의 차이 따른 어류의 밀도와 현존량을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에 나타낸 바와 같이 CF 값에 따라 밀도와 현존량의 차이가 크다는 것을 알 수 있다.

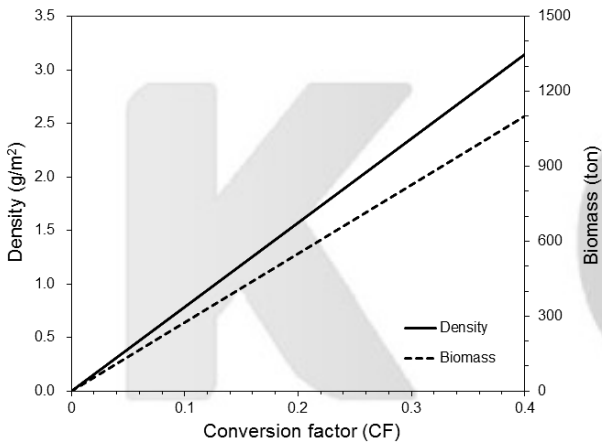


Fig. 6. Difference of density (g/m^2) and biomass (ton) according to conversion factor (CF).

더욱이 어군의 밀도 및 현존량은 야간보다 주간에 약 3배 이상 높게 나타났다. 주간에는 어류들이 군을 이루지만, 야간에는 섭이활동으로 인하여 개체어로 흩어지는 경향을 나타내어 강도가 약해지기 때문에 차이가 나타난 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 음향을 이용하여 마라도 주변 해역에 서식하고 있는 수산자원의 분포 및 현존량을 파악한 결과, 2015년 11월 28~29일과 2016년 2월 23~24일, 2016년 3월 3~4일은 표·중층 어류가 많이 출현하였고, 2016년 3월 30~31일은 저층 어류가 많이 탐지되었다. 또한 표

·중층 어류는 마라도 해역 주변에서 높은 밀도를 보였고, 저층 어류는 연안 해역에서 많이 출현하였다.

조사 시기별 어류의 현존량은 11월 28~29일 야간에 표층 어군 5.64톤 (CV=70.2%), 2월 23~24일 야간에 표층 어군 7.14톤 (CV=35.8%)과 저층 어군 530.77톤 (CV=34.6%), 3월 3~4일 주간에 표층 어군 2.34톤 (CV=56.7%)과 저층 어군 571.93톤 (CV=40.3%), 3월 3~4일 야간에 표층 어군 1.39톤 (CV=48.4%)과 저층 어군 194.59톤 (CV=54.3%), 3월 30~31일 주간에 표층 어군 0.37톤 (CV=72.9%)과 저층 어군 338.79톤 (CV=99.7%), 3월 30~31일 야간에 표층 어군 0.24톤 (CV=21.3%)과 저층 어군 68.61톤 (CV=53.8%)으로 평가되었다.

사사

본 연구는 2016년도 국립수산과학원 수산과학연구소 (연근해어업 자원평가 및 관리연구, R2016027)의 일환으로 수행되었습니다.

References

Aglen A. 1983. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to survey grid density applied. *FAO Fish. Rep.* 300, 293-298.

Footo KG. 1980. Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strengths. *J Acoust Soc Am* 67(6), 2084-2089. (DOI:10.1121/1.384452)

Furusawa M, Suzuki H and Miyanohana Y. 1989. A multipurpose quantitative echo sounding system. *J Mar Acoust Soc Jp* 16, 82-93. (DOI:doi.org/10.11489/jmasj1986.16.82)

Hwang BK, Lee YW, Jo HS, Oh JK and Kang M. 2015. Visual census and hydro-acoustic survey of demersal fish aggregations in Ulju small scale marine ranching area (MRA), Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 51(1), 16-25. (DOI:10.3796/KSFT.2015.51.1.016)

Hwang D, Park JS and Lee YW. 2004. Estimation of fish school abundance by using an echo sounder in an artificial reef Area. *J Korean Fish Soc* 37(3), 249-254.

Hwang KS, Yoon EA, Lee KH, Lee HB and Hwang DJ. 2015. Multifrequency acoustic scattering characteristics of jack mackerel by KRM model. *J Korean Soc Fish Technol*

- 51(3), 424-431. (DOI:10.3796/KSFT.2015.51.3.424)
- Kang D, Cho S, Lee C, Myoung JG and Na J. 2009. Ex situ target strength measurements of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) in the coastal Northwest Pacific. *ICES Journal of Marine Science* 66, 1219-1224. (DOI:10.1093/icesjms/fsp042)
- Kang D, Im Y, Lee C, Yoo J and Myoung JG. 2008. Hydroacoustic survey of spatio-temporal distribution of demersal fish aggregations near the west coast of Jeju island, Korea. *Ocean and Polar Research* 30(2), 181-191.
- Kang D and Hwang D. 2003. Ex situ target strength of rockfish (*Sebastes schlegeli*) and red sea bream (*Pagrus major*) in the Northwest Pacific. *ICES Journal of Marine Science* 60(3), 538-543. (DOI:10.1016/S1054-3139(03)00040-7)
- Kang D, Hwnag DJ and Choi SK. 2002. Acoustic target strength for Chub mackerel, *Scomber japonicus*. 2002 Spring meeting of the Korean Society of Fisheries Technology, 396-397.
- Kang HY and Lee DJ. 2003. Fish length dependance of acoustic target strength for large yellow croaker. *J Korean Soc Fish Technol* 39(3), 239-248.
- Kim HY, Hwang BK, Lee YW, Shin HO, Kwon JN and Lee K. 2011. Hydro-acoustic survey on fish distribution and aggregated fish at artificial reefs in marine ranching area. *J Korean Soc Fish Technol* 47(2), 139-145. (DOI:10.3796/KSFT.2011.47.2.139)
- Kim JI, Hwang BK, Lee YW, Lee KH, Shin HO and Kim JN. 2013. Application of hydro-acoustic survey technique for abundance estimation of juvenile cod (*Gadus macrocephalus*) in Jinhae bay, Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 49(3), 270-281. (DOI:10.3796/KSFT.2012.49.3.270)
- Kim YS, Choi JH, Kim JN, Oh TY, Choi KH, Lee DW and Cha HK. 2010. Seasonal variation of fish assemblage in Sacheon marine ranching, the southern coast of Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 46(4), 335-345. (DOI:10.3796/KSFT.2010.46.4.335)
- Lee DJ. 2011. Performance characteristics of a multi-directional underwater CCTV camera system to use in the artificial reef survey. *J Korean Soc Fish Technol* 47(2), 146-152.
- Lee DJ. 2012. Fish length dependence of target strength for black porgy and fat greenling at two frequencies of 70 and 120kHz. *J Korean Soc Fish Technol* 48(2), 137-146. (DOI:10.3796/KSFT.2012.48.2.137)
- Lee DJ. 2013. Monitoring of fish aggregations responding to artificial reefs using a split-beam echo sounder, side-scan sonar, and an underwater CCTV camera system at Suyeong Man, Busan, Korea. *J Korean Fish Soc* 46(3), 266-272.
- Lee JB, Oh TY, Yeon I, 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 (MRA) of Jeju. *J Korean Soc Fish Technol* 48, 128-136. (DOI:10.3796/KSFT.2012.48.2.128)
- Lee SJ, Kim JB, Kim MJ and Jung SG. 2014. Age and growth of rabbit fish, *Siganus fuscescens* in the coast of Jeju island, Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 50(2), 169-175. (DOI:10.3796/KSFT.2014.50.2.169)
- Moon JH, Lee DJ, Shin HI and Lee YW. 2006. Fish length dependence of target strength for black rockfish, goldeye rockfish at 70kHz and 120kHz. *J Kor Soc Fish Technol* 42(1), 30-37.
- Oh TY, Cha HK, Chang DS, Hwnag CH, Nam YJ, Kwak SN and Son MH. 2010. Seasonal variation and species composition of fishes communities in artificial reef unit at marine ranching area in the coastal waters off Jeju island, Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 46(2), 139-147. (DOI:10.3796/KSFT.2010.46.2.139)
- Sawada K, Takahashi H, Abe K, Ichii T, Watanabe K and Takao. 2008. Target strength, length, and tilt angle measurements of Pacific saury (*Cololabis saira*) and Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) using acoustic-optical composite system. *Proceedings of the International Symposium on Ecosystem Approach with Fisheries Acoustics and Complementary Technologies (SEAFACETS)*, Bergen, Norway, 53-54.
- Simmonds J and MacLennan D. 2005. *Fisheries Acoustics*, second edition. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, 1-437.
- Yoon BS, Yoon SC, Lee SI, Kim JB, Yang JH, Park JH, Choi YM and Park JH. 2011. Community structure of demersal organisms caught by otter trawl survey in the Uljin marine ranching area, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 44(5), 506-515. (DOI:10.5657/KFAS.2011.0506)

2016. 06. 13 Received

2016. 08. 10 Revised

2016. 08. 12 Accepted