

2013년-2014년 춘계와 동계에 대한 통영과 여수 연안역의 멸치 어군의 현존량 추정

강명희 · 서영일¹ · 오택윤¹ · 이경훈^{2*} · 장충식

경상대학교 해양경찰시스템학과/해양산업연구소, ¹국립수산과학원 자원관리과, ²전남대학교 해양기술학부

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

Myounghee KANG, Young Il SEO¹, Taeg Yun OH¹, Kyoungsoon LEE^{2*}, Choong-Sik JANG

Department of Maritime Police and Production System / Institute of Marine Industry, The institute of Maritime Industry,
Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

¹Fisheries Resources Management Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-705, Korea

²School of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu, 550-749, Korea

Anchovy (*Engraulis japonicus*) is one of the most important species in the South Sea of South Korea. In order to estimate the biomass of anchovy, acoustic surveys, concurrently with trawling, were conducted in April, July, and September of 2013 and February of 2014 off the coast of Tongyeong and Yeosu. However, anchovies were found only during spring (April) and winter (February) surveys. To display only anchovy species confirmed by trawls on empty spaced echograms, virtual echograms were created. Three target strength (TS) values of anchovy were used: $TS_z = 20 \log L - (20/3) \log (1+z/10) - 67.6$ (Zhao et al.), $TS_y = 20 \log L - 72.9$ (Yoon et al.), $TS_f = 20 \log L - 71.9$ (Foote). For anchovy schools combined with other species e.g., hairtail, squid, and Korean pomfret, their TS values were used to calculate an average TS. As a result, the anchovy biomass in the winter survey was approximately 75,000 tons (TS_z), 90,000 tons (TS_f), 114,000 tons (TS_y), respectively. The biomass in spring was 9,000 tons (TS_z), 9,200 tons (TS_f), 10,000 tons (TS_y). The sampling variance of spring was 70% and of winter was 30%. In order to manage anchovy resource sustainably, larvae and adult anchovy should be separately surveyed, the optimal area, date, and time for acoustic survey should be investigated, and the biomass survey should be done for relatively long and regular base.

Keywords: Anchovy, Biomass, Echosounder, Sampling variance

서론

한국의 남해 연안에서 멸치 (*Engraulis japonicus*)는

생태학적 및 어업적으로 매우 중요한 어종 중 하나이다. 멸치는 경골어류 청어목 멸치과에 속하는 물고기로, 최

*Corresponding author: khlee71@jnu.ac.kr, Tel: 82-61-659-7124, Fax: 82-61-659-7129

대 체장 15 cm까지 성장하며, 수명은 1년 반 정도이다. 먹이는 요각류, 작은 갑각류, 연체동물의 유생, 어류의 알 등이 있다 (Nizinski and Munroe, 1988). 전 세계적으로 멸치속 어류에는 8종이 알려져 있으며, 대부분의 종들은 연안에 서식한다 (Whitehead et al., 1988). 이 어종은 연안 회유성 어종으로 무리를 지어 우리나라 남해 전역, 특히 여수에서 거제도 남부 및 통영에서 육지도 부근에 주로 분포한다 (Choo and Kim, 1998).

과학어군탐지기 (이하 과학어탐)를 이용한 음향 조사는 음향학적으로 종 구성에 관한 정보를 추출하기가 어렵지만, 단기간에 적은 노동력으로 넓은 해역을 조사할 수 있으며, 전 수층에 대한 어류의 분포와 현존량 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한 트롤 조업을 통한 어종이 우점하고 있다고 조사된 해역에서는, 우점종의 분포와 어군 형상을 비교적 상세히 파악할 수 있다. 과학어탐을 이용한 음향 조사는 다양한 목적으로 사용될 수 있으며 국내에서 수행된 음향학적 연구는 크게 3가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 단일 어류의 음향반사강도 (Target Strength, 이하 TS)를 자연상태의 환경이나 (*in situ* TS, (Yoon et al., 1996)), 수조 등의 실험적 환경 (*ex situ* TS)에서 측정하였다 (Lee and Shin, 2005; Lee et al., 2010). TS는 음향학적으로 어류의 현존량을 계산할 시 필수적으로 사용되는 요소로 어류의 유영각도에 따라 크게 변동하므로 *ex situ* TS는 이 각도를 평균하여 사용하며, *in situ* TS는 자연스런 유영상태에서의 반사강도로 고려되고 있다. 두 번째는 음향데이터의 에코그램을 분석하여 어류의 분포와 현존량을 추정하였다 (Kang et al., 1996; Hwang et al., 2002; Hwang et al., 2004; Kim et al., 2008; Lee et al., 2012). 마지막으로 음향학적으로 어종을 식별하기 위한 연구가 수행되어왔다. 식별을 위해 형상학적 분석 방법 (Kim et al., 1998), 분포 수심을 고려하는 방법 (Lee et al., 2012), 다중 주파수의 MVBS (Mean Volume Backscattering Strength) 차이를 이용하는 방법 (Kang et al., 2003) 등 다양한 방법이 시도되었다.

멸치를 포함하는 국내 연안 주요 어종들의 관리와 지속적이고 효율적인 이용을 위해서는 과학적 조사를 통한 현존량과 분포 특성에 관한 연구가 뒷받침 되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 과학어탐을 이용하여 남해안 통영과 여수 연안역의 춘계와 동계 멸치 어군의 현존량을 추정하여 지속적인 멸치 자원량과 분포를 모니

터링하기 위한 기초적인 정보를 제공하고자 한다. 또한 현존량 계산에 관한 방법을 보다 상세히 기술하여 이후 중요 어종의 현존량 추정을 위한 전형적인 절차 방법으로 활용할 수 있다.

재료 및 방법

음향 및 트롤 조사

멸치 음향 조사는 2013년 춘계 (4월), 하계 (7월), 추계 (10월), 동계 (2014년 2월)에 남해안 통영에서 여수 사이의 해역 (Fig. 1)에서 국립수산과학원 탐구 20호를 이용하여 실시하였고, 조사 시기 등의 정보는 Table 1에 정리하였다. 과학어탐을 이용한 어군의 현존량을 추정하기 위해서 일반적으로 사용하는 트랜섹트 라인 (항적선 혹은 조사정선)법을 따라 음향 데이터를 수집하였다. 총 조사정선 8개를 설정하였으며 계절별로 멸치 음향 조사를 수행하고자 하였다. 춘계조사는 다른 계절의 조사보다 야간에 수행된 경우가 많았다. 트롤 조사에 사용된 그물종류는 4매식 중층 트롤 그물이며 그물의 망주는 504 m, 그물 총길이는 164 m, 끝자루의 그물코는 4 cm이었다. 트롤 조업으로 얻은 어획물은 어종별로 분류하여 체장과 체중 등을 측정하였다.

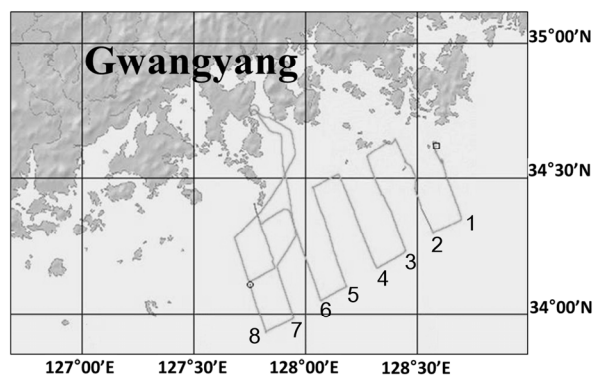


Fig. 1. Study area. The green line indicates the ship's cruise track. There are 8 transect lines displayed in numbers.

음향데이터 분석

각 계절별 조사에서 수집한 음향데이터는 Echoview (ver. 6, Myriax, Australia)를 사용하여 분석하였다. 음향데이터와 함께 기록된 GPS 좌표를 이용하여 항적도를 그린 후, 항적도의 항적선을 보면서 데이터를 조사정선별로 나누었다. 음향데이터는 많은 핑 (Ping)으로

Table 1. Details on four acoustic surveys. The mark “L” means transect line

	Spring survey	Summer survey	Autumn survey	Winter survey
Survey date	2013.4.16 ~ 4.19	2013.7.4 ~ 7.8	2013.9.30 ~ 10.3	2014.2.24 ~ 2.28
Survey time	Day	L 1, 7, 8	L 1, 3, 5, 6	L 1, 3-8
	Night	L 2-6	L 2, 4, 7, 8	L 2
Echosounder	Simrad EK60 (18, 38, 70, 120, 200 kHz)			
Vessel speed	Approximately 10 knots			

이루어져 있으므로 이 핑들 가운데 각 조사정선에 해당 하는 핑을 선별하여 조사정선별 에코그램을 작성하여 분석하였다. 멸치의 현존량을 구하기 위해서는 음향데이터 중에서 멸치어군을 식별하고 이를 어군 (영역, region)으로 정의할 필요가 있다. 에코그램상에서 멸치어군의 식별 (에코해석법)은 1) 트롤조업으로 얻은 어획물 중 멸치어군이 90% 이상인 에코의 형상, 2) 멸치어군으로 판단되는 에코신호의 공간분포 정보, 3) 에코그램의 전-후 상황 (명확하게 멸치어군으로 분류된 에코 주변의 에코는 멸치일 가능성이 높다)을 기준으로 하였다. 멸치어군으로 분류된 에코를 어군으로 정의하기 위하여 SHAPES 어군탐지 알고리즘 (Coetzee, 2000)을 이용하여 어군을 다각형으로 정의하였다. 멸치어군탐지 알고리즘에 사용한 파라미터는 Table 2와 같다. 일반적으로 멸치어군은 낮 동안 작은 크기로도 분포한다고 알려져 있으므로 (Fujino et al., 2010), 작은 크기의 어군도 탐지되도록 파라미터를 설정하였다.

멸치 어군탐지의 과정에서 가상에코그램 모듈 중 비트맵 연산자를 사용하여, 멸치 어군으로 정의된 영역만 “참”으로 설정하고, 그 외는 모두 “거짓”으로 정의하였다. “참”으로 설정된 멸치어군의 에코그램과 원래의 Sv (volume back-scattering strength) 에코그램을 대상으로 마스크 연산자를 이용하여, “참”으로 설정된 영역에만 Sv값이 표시되고 그 외 영역은 에코신호를 0으로 설정하여 어떤 생물도 존재하지 않는 상태로 만들었다 (Fig. 2). 이 최종적인 에코그램, 즉 조사해역에 멸치어군으로 식별하고 정의한 어군만이 존재하고 다른 어군은 존재하지 않는 조사영역을 만들어, 수평으로 0.1 nmi, 수직으로는 200 m (즉 전체수심) 간격으로 그리드를 긋고 이 범위 안의 평균 면적산란계수 (NASC, Nautical Area Scattering Coefficient) 등의 값을 추출하였다.

Table 2. Setting parameters for defining fish schools

Parameters	Value
Minimum total school length (m)	3.0
Minimum total school height (m)	1.6
Minimum candidate length (m)	3.0
Minimum candidate height (m)	1.6
Maximum horizontal linking distance (m)	2.0
Maximum horizontal linking distance (m)	5.0
Distance mode	GPS distance

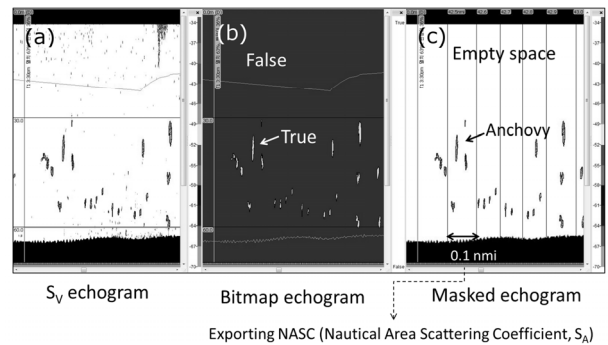


Fig. 2. Defined fish schools on Sv echogram (a), bitmap echogram (b) showing only anchovy schools as “True” in light gray, and other regions as “False” in charcoal, masked echogram (c) showing only regions set by “True” of Sv echogram after masking out regions determined as “False” of the bitmap echogram.

현존량 추정을 위한 정선별 면적

미리 계획한 조사정선을 유지하면서 음향조사를 수행하고자 하였으나, 날씨 등의 조사여건에 의해 계획한 조사정선과 똑같이 항해하지 못하였다. 따라서 정선별 면적을 구할 때 각 정선별 위도와 경도를 구하고 ArcGIS (ver. 9.3, ESRI, USA)를 이용하여 정선별 면적을 구하였다.

멸치의 target strength (TS)

멸치의 TS에 관해서 Zhao et al. (2008)는 황해에 서식하고 있는 평균 체장이 10.6 cm인 멸치를 대상으로

38 kHz 어군탐지기를 이용하여 *in situ* TS를 측정하였고, 수심에 따른 TS변화를 고려한 체장과 TS의 관계식 (1)을 발표하였다. 또한 Yoon et al. (1996)은 우리나라 남해안에서 평균 체장이 14.4 cm의 멸치를 대상으로 38 kHz 어군탐지기를 이용하여 *in situ* TS를 측정하여 체장과 TS의 관계식 (2)를 발표하였다. Foote (1987)은 청어과를 대상으로 38 kHz에서의 체장과 TS의 관계식 (3)을 구하였다. 멸치, 전어, 밴댕이 등의 어종은 이 청어과에 속한다.

$$TS_z = 20 \log L - (20/3) \log (1+z/10) - 67.6 \quad (1)$$

$$TS_y = 20 \log L - 72.9 \quad (2)$$

$$TS_f = 20 \log L - 71.9 \quad (3)$$

여기서 L은 전장 (cm), z는 분포수심 (m)을 말한다. 위의 식에서 알 수 있듯이, 멸치어종을 대상으로 구한 체장과 TS의 관계식은 상호간에 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 위의 3가지 식으로 구한 TS를 사용하여 각각의 멸치 현존량을 추정하였다. 2014년 2월 조사에서 멸치의 분포수심과 체장정보를 이용하여 구한 체장평균 TS는 각각 $TS_z = -51.1$ dB, $TS_y = -51.5$ dB, $TS_f = -52.5$ dB 이었다. 춘계 조사에서 트롤조업을 4회 실시하였는데 트롤정점 1은 멸치어종이 95%를 차지하였다. 하지만 이 외 정점에서는 멸치 외에도 갈치, 덕대, 오징어 등의 어종과 함께 어획되었으므로 이들 세 어종의 TS는 식 (4) ~ (6)을 이용하였다 (Mukai et al., 1994; Kang et al., 2005; Zhao, 2006).

$$TS_{\text{hairtail}} = 20 \log L_a - 68.3 \quad (4)$$

$$TS_{\text{Korean pomfret}} = 20 \log L - 72.7 \quad (5)$$

$$TS_{\text{squid}} = 20 \log (ML) - 75.4 \quad (6)$$

여기서 L_a 은 항문까지의 체장, ML은 동장을 의미한다. 춘계의 멸치 현존량을 구할 때는 이들 세 종 TS와 멸치 종의 TS와 함께 이들의 어획률을 고려하여 계산한 평균 TS를 사용하였다. 최종적인 멸치 현존량은 이 평균 TS와 조사정선별 NASC값 등으로 이용해서 구한 값에 멸치의 어획율을 적용하여 구하였다.

멸치어군의 현존량 및 샘플링분산

멸치어종의 현존량은 조사정선별 현존량을 구한 다음, 그 조사정선별 현존량의 합으로 계산하였다. 조사정선별 현존량은

$$Bt = \frac{\overline{S_{At}} \cdot \overline{W}}{\overline{TS}} \cdot A_t \quad (\text{ton}) \quad (7)$$

$$4 \cdot \pi \cdot 10^{10}$$

여기서 $\overline{S_{At}}$ (m^2/nmi^2)는 조사정선 t에서의 평균 음향 반사 신호 (NASC), A_t 는 조사정선의 면적 (nmi^2), \overline{TS} 는 멸치 어종의 평균 TS (dB re 1 m^2), \overline{W} 는 멸치 어종의 평균 체장 (kg)이다. 전 조사 해역에서 멸치 어종의 현존량을 추정하기 위해서 각 정선의 현존량을 아래의 식과 같이 합하였다.

$$\text{Biomass} = \sum_{i=1}^n Bt_i \quad (\text{ton}) \quad (8)$$

여기서 n은 조사정선의 수이다. 조사정선별 평균 NASC는 아래와 같이 계산하였다.

$$\overline{S_{At}} = \frac{\sum_{i=1}^m S_{Ati}}{m} \quad (9)$$

여기서 S_{Ati} 는 조사정선 t에서 적분의 간격에 대한 S_A (NASC)값이고, m은 조사정선 t에서 적분 간격의 수이다. 또한 멸치 어군의 정량적인 분포 현황, 즉 NASC값을 조사정선 위에 표시하였는데 이를 위하여, Google earth (Google, USA)로 부터의 지도와 ArcGIS ver. 9.3을 사용하였다.

조사 샘플링 분산은 식 (10)에서와 같이 조사의 반복성의 척도로서 조사정선 사이의 변동성을 보여준다 (Jolly and Hampton, 1990). 예를 들어 멸치 어군이 한 두개의 조사정선에만 고밀도로 분포할 경우, 샘플링 분산은 높게 나타날 것이다.

$$(\overline{S_A})_i = \frac{\sum_{i=1}^n (S_A)_i \cdot L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (10)$$

$$\text{Var}(\overline{S_A})_i = \frac{1}{n \cdot (n-1)} \frac{[\sum_{i=1}^n (L_i)^2 ((S_A)_i - \overline{S_A})^2]}{[\sum_{i=1}^n L_i]^2} \quad (11)$$

여기서 $(\overline{S_A})_i$ 는 조사정선 i에서의 평균 S_A , L_i 는 조사정선 i의 길이, n은 조사정선의 총수이다.

결과 및 고찰

트롤 조사 어획 결과

트롤 조업의 어획 결과는 Table 3에 표시하였다.

2013년 4월 (춘계)조사에서 멸치어종이 어획되었고, 7월 (하계)과 10월 (추계)에는 멸치가 전혀 어획되지 않았으며, 2014년 2월 (동계)조사에서 멸치 어종이 여러 정점에서 어획되었다. 따라서 멸치 어군의 현존량은 춘계와 동계에서 얻은 데이터를 이용하여 추정하였다.

Table 3. Results of four trawl surveys. Trawl location means the starting location of hauling

Survey name	Trawl No.	Trawl location	Species	Catch rate (%)	Average body length (cm)	Average body weight (g)
Spring Survey	T1	34° 09. 451' N 127° 43. 892' E	Anchovy	95	9.2	5.7
	T2	34° 11. 008' N 127° 51. 471' E	Hairtail	57		9.9
			Anchovy	37	9.6	6.4
	T3	34° 06. 965' N 128° 03. 191' E	Anchovy	60	11.0	10.1
Korean pomfret			13		18.7	
Chefoo thryssa			11		11.0	
T4	34° 33. 386' N 128° 15. 615' E	Anchovy	39	10.5	9.9	
		Japanese common squid	22			
Summer Survey	T1	34° 29. 840' N 128° 18. 952' W	Hairtail	88	15.0	60.0
	T2	34° 12. 950' N 128° 17. 849' W	Pearlsides	63	5.3	1.6
			Hairtail	35	19.8	131.3
T3	34° 17. 981' N 127° 48. 986' W	Hairtail	99	16.4	106.7	
Autumn Survey	T1	34° 22. 550' N 128° 20. 700' W	Nil			
	T2	34° 15. 716' N 127° 41. 532' W	Nemopilema nomurai	83		
			Japanese Spanish mackerel	16	38.5	446.7
	T3	34° 16. 160' N 127° 49. 610' W	Nemopilema nomurai	99		
	T4	34° 23. 092' N 127° 55. 363' W	Nemopilema nomurai	94		
T5	34° 37. 167' N 128° 04. 200' W	Jellyfish	99			
Winter survey	T1	34° 35. 492' N 128° 35. 250' E	Anchovy	63	8.8	4.4
			Large-eyed herring	36	9.4	9.4
	T2	34° 33. 384' N 128° 36. 775' E	Anchovy	71	9.3	5.7
			Large-eyed herring	26	10.6	12.0
	T3	34° 25. 635' N 128° 21. 284' E	Anchovy	99	8.9	5.6
	T4	34° 19. 922' N 128° 14. 323' E	Anchovy	100	9.9	7.9
T5	34° 14. 660' N 127° 50. 270' E	Anchovy	94	11.1	11.0	
		Large-eyed herring	3	10.4	9.7	
T6	34° 20. 449' N 127° 56. 848' E	Anchovy	54	11.2	12.2	
		Gizzard shad	37	16.5	60.3	
T7	34° 12. 495' N 127° 49. 794' E	Anchovy	89	11.6	12.5	
		File fish	5	27.3	2347.0	
		Gizzard shad	5	17.9	68.8	
T8	34° 47. 150' N 128° 48. 096' E	Anchovy	68	9.7	8.0	
		Large-eyed herring	30	11.6	23.9	

멸치어군의 현존량

춘계와 동계에서 계산한 멸치어군의 현존량은 Table 4, 5와 같다. TS_z를 사용한 경우 멸치어군의 현존량은 약 9,000톤, TS_f의 경우 현존량은 약 9,200톤, TS_y의 경우 멸치어군의 현존량은 약 10,000톤으로 추정되었다. Zhao식을 이용하여 계산한 현존량은 Foote식을 이용하였을 경우보다 1.03배, Yoon식을 이용하였을 경우보다 1.17배 높은 현존량을 보였다 (Table 4). 춘계 조사는 대부분이 밤에 수행되어 멸치어군을 탐지하지 못하였다. 따라서 이 조사해역에서 멸치어군이 분포하지 않았는지 또는 멸치어군을 탐지 못하였는지 알기가 어려운 실정이다. 반면, 동계에서는 TS_z를 사용한 경우 멸치어군의 현존량은 약 75,000톤, TS_f의 경우 현존량은 약 90,000톤, TS_y의 경우 멸치어군의 현존량은 약 114,000 톤으로 추정되었다. Zhao식을 이용하여 계산한 현존량은 Foote식을 사용하였을 경우보다 1.2배, Yoon식을 사용하였을 경우보다 1.5배 높은 현존량을 보였다. 동계의 조사정선 2는 밤에 조사가 수행되어 멸치어종을 식별할 수가 없었다.

조사샘플링의 분산 (혹은 변동계수)은 동계 조사에서는 30%를 보였으나, 춘계에서는 70%를 나타내었다. 이는 춘계 조사는 단지 4개의 조사정선에만 멸치어종이 분포하였기 때문이다.

한국 남해안에서 멸치 어종을 대상으로 현존량을 구한 연구사례가 있다. 멸치 치자어 (3-10 mm)를 대상으로 2005년 5월 24일~26일과 6월 20일~21일에 통영, 거제, 남해에서 200 kHz 듀얼빔 어군탐지기를 사용하여 현존량을 구하였다 (Oh et al., 2009). 또한 위의 데이터와 함께 2006년 6월 15~18일과 7월 27~30일에 같은 해역에서 같은 어군탐지기를 이용하여 멸치 치자어 (3-10 mm)의 현존량을 구하여 2005년과 비교한 사례가 있다 (Kim et al., 2008). 여기서 사용한 TS (-70 dB)는 치자어의 체장을 고려했을 때 약간 낮게 설정되어 멸치 치자어의 현존량이 과대평가했을 가능성이 있다고 생각된다. 멸치 성어를 대상으로 현존량을 구한 연구는 2000년 4월 27일에서 5월 6일, 2001년 3월 11일~3월 22일에 제주도 서쪽해역과 남해 동부해역에서 수행되었고, 이때 사용한 TS는 본 연구에서 이용한 TS 중 하나인 Yoon et al. (1996)의 TS-체장식을 이용하였다. 멸치 어종의 지속가능한 관리를 위해서 멸치 치자어와 성어를 구분하여 음향 조사의 최적의 해역, 날짜, 시간대

를 파악하여, 단발적인 현존량 조사에서 끝나는 것이 아니라 비교적 장기적이고 정기적인 조사를 수행할 필요가 있다. 본 연구에서 이용한 세 종류의 멸치 TS 중에서 Zhao et al. (2008)의 TS는 Boyle의 법칙을 고려한 멸치 수심 정보를 포함하여 계산하였다. 같은 크기의 멸치 종이라도 수심에 따라 TS가 다르기 때문에 최종적으로 추정된 멸치의 자원량은 상당한 차이를 보일 수 있다. 또한 멸치의 분포수심은 주야에 따라 변하는 것으로 알려져 있다. 따라서 현장 조사의 시간에 상관없이 분포수심을 고려하여 TS를 계산한다면, 보다 정확한 멸치종의 자원량을 추정할 수 있으므로 Zhao et al.의 TS를 이용하는 것이 바람직하다고 생각한다.

Table 4. Anchovy biomass for the 2013 spring survey

Transect line	Biomass _z (M/T)	Biomass _f (M/T)	Biomass _y (M/T)
1	2,856	2,934	3,351
2	-	-	-
3	495	504	551
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	-
7	3,580	3,642	3,966
8	2,062	2,155	2,682
Total	8,993	9,235	10,550

Table 5. Anchovy biomass for the 2014 winter survey.

Transect line	Biomass _z (M/T)	Biomass _f (M/T)	Biomass _y (M/T)
1	13,453	12,321	15,511
2	-	-	-
3	18,403	24,904	31,352
4	25,922	35,434	44,609
5	5,564	5,586	7,373
6	4,177	3,083	3,882
7	5,801	7,454	9,384
8	2,047	1,678	2,113
Total	75,367	90,791	114,224

멸치현존량 계산의 오차

멸치어종의 현존량을 계산할 때 발생할 수 있는 오차는 에코해석과정에서의 분석자의 판단, 조사 샘플링 변동, 멸치의 TS값, 멸치의 이동, 음향조사시간 등을 들 수 있다. 특히 춘계 조사는 대부분이 밤에 수행되어 멸치어군이 다른 생물종과 섞이면서 해수전체에 분산되어 멸치어종을 식별하기가 불가능하였다. 따라서, 멸치어군의 현존량 추정을 위한 음향조사는 트롤조업과 함

계 주간에 수행되도록 고려해야 한다. 같은 해역을 대상으로 반복적인 현존량 조사를 통해서 멸치 어종에 맞는 조사 및 분석법을 개발한다면 보다 정도 높은 멸치 자원량을 평가할 수 있을 것이다.

멸치 어군의 음향적 생물량 분포

NASC값은 음향 생물량을 나타내는 척도로 사용되고 있으므로 이 값을 통해 조사해역에서 멸치 어군의 분포 정도 즉 생물량을 알 수 있다. 춘계와 동계에서 멸치 어군의 NASC값을 조사정선에 따라 막대기로 표현하였다 (Fig. 3). 춘계와 동계에는 외해보다 연안쪽에서 대다수의 멸치어군이 분포함을 알 수 있으며, 수심 100 m 이상의 해역에서는 어군을 찾기 어려웠다. 또한 춘계에서는 여수 연안역에 멸치 어군의 밀도가 높고, 동계에서는 통영 부근 해역에 밀도가 높은 것을 알 수 있다.

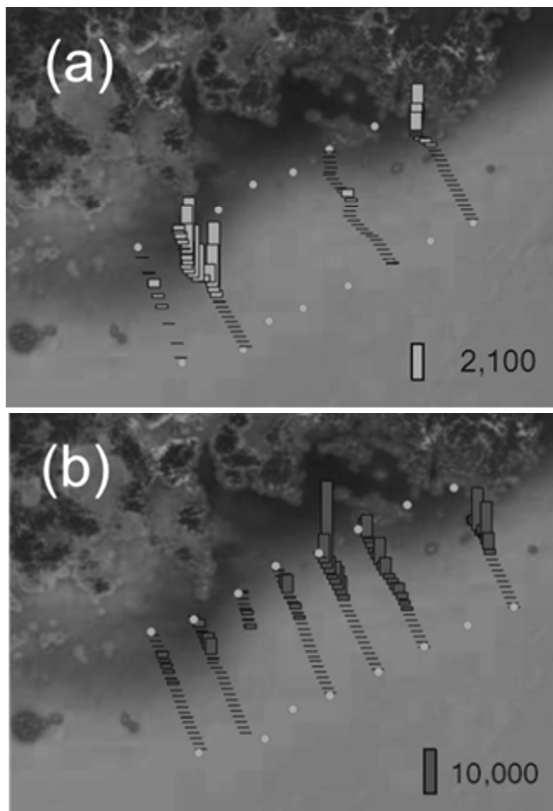


Fig. 3. Nautical Area Scattering Coefficient values (m^2/nmi^2) that is acoustic biomass on the survey tracks in spring (a) and winter (b). Note that scale is different in (a) and (b).

이상의 결과를 종합해보면 성어 멸치 (7-15 cm)는 2~4월경에는 산란을 위해 연안으로 회유하고 수심

60~80 m 수층에 주로 분포 및 서식하며, 7월에는 조사 해역 내에 멸치가 분포하지 않은 것을 알 수 있다.

결론

멸치 어종은 남해안에서 생태학적 및 상업적으로 중요한 어종으로, 지속 가능한 멸치 자원 관리를 위해 정량적인 정보가 필요하다고 할 수 있다. 남해안의 통영과 여수 연안역에서 멸치 음향조사와 트롤 조업을 2013년 4월 (춘계), 7월 (하계), 9월 (추계) 그리고 2014년 2월 (동계)에 각각 실시하였다. 중층 트롤조업 결과 멸치 어종이 확인된 춘계와 추계의 멸치 어군의 현존량을 추정하였다. 멸치 어종으로 선별된 에코만을 대상으로 해수중에 존재하는 가상 에코그램을 작성하여 수평 0.1 nmi과 수직 200 m의 범위내에 평균 면적산란계수 (NASC)를 추출하여 현존량을 계산하였다. 멸치의 TS는 Zhao et al. ($TS_z = 20 \log L - (20/3) \log (1+z/10) - 67.6$), Yoon et al. ($TS_y = 20 \log L - 72.9$), Foote ($TS_f = 20 \log L - 71.9$)의 3가지 식을 이용하여 구하였다. 멸치 어종 이외에 다른 어종, 예를 들면 갈치 (Zhao), 오징어 (Kang et al.), 덕대 (Mukai et al.)가 함께 분포할 경우, 평균 TS는 이들 어종의 TS도 고려하여 계산하였다. 그 결과, 동계에 수행한 멸치 어군의 현존량은 TS_z 를 사용한 경우 약 75,000톤, TS_f : 약 90,000톤, TS_y : 약 114,000톤으로 계산되었다. 춘계조사에서 멸치현존량은 TS_z : 약 9,000톤, TS_f : 약 9200톤, TS_y : 약 10,000톤이었다. 샘플링 분산은 동계 조사에서 30%를 보이는 반면에 춘계에는 70%를 보였다. 멸치 어종의 지속 가능한 관리를 위해서 멸치 치자어와 성어를 구분하여 이 어종의 음향 조사를 수행하기 위한 최적의 해역, 시기, 시간대를 먼저 파악하고 단발적인 현존량 조사가 아닌 장기적이고 정기적인 조사가 수행될 필요가 있다.

사 사

해상 조사에 도움을 준 탐구 20호 직원에게 감사드립니다. 본 연구는 해양수산부 정책과제인 "지속가능한 어업생산체계 구축 사업"의 일환으로 국립수산물자원관리과와 공동으로 수행한 연구결과입니다. 논문의 완성도를 높일 수 있도록 세심하게 심사를 해주신 심사위원님들께 감사드립니다.

References

- Choo HS and Kim DS. 1998. The effect of variations in the Tsushima warm currents on the egg and larval transport of anchovy in the southern sea of Korea. *J Korean Fish Soc* 31, 226-244.
- Coetzee J. 2000. Use of a shoal analysis and patch estimation system (SHAPES) to characterize sardine schools. *Aquat Living Resour* 13, 1-10. (doi: 10.1016/S0990-7440(00)00139-X)
- Foote KG. 1987. Fish target strength for use in echo integrator surveys. *J Acoust Soc Am* 82(3), 981-987. (doi: 10.1121/1.395298)
- Fujino T, Kawabata A and Kidokoro H. 2010. Echograms of aquatic organisms observed by a quantitative echosounder around JAPAN. Report of the Japan Sea Fisheries Research Institute (in Japanese), 1-221.
- Hwang DJ, 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, 249-254.
- Hwang DJ, Shin HH and Kang DH. 2002. Studies on fish distribution characteristics using a scientific echo sounder in the Yellow Sea. *J Korean Soc Fish Tech* 38, 140-148.
- Jolly GM and Hampton I. 1990. Stratified Random Transect Design for Acoustic Surveys of Fish Stocks. *Can J Fish Aquat Sci* 47, 1282-1291. (doi: 10.1139/f90-147)
- Kang D, Mukai T, Iida K, Hwang D and Myoung J. 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. (doi: 10.1016/j.icesjms.2005.02.002)
- Kang DH, Sin HC, Kim SA, Lee YH and Hwang DJ. 2003. Species identification and noise cancellation using volume backscattering strength difference of multi-frequency. *J Korean Fish Soc* 36, 541-548.
- Kang MH, Yoon GD, Choi YM and Kim JK. 1996. Hydroacoustic investigations on the distribution characteristics of the anchovy at the south region of East Sea. *Bull Korean Soc Fish Tech* 32(1), 16-23.
- 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. *Korean J Fish Aquat Sci* 41(1), 61-67.
- Kim ZG, Choi YM, Hwang KS and Yoon GD. 1998. Study on the acoustic behavior pattern of fish school and species identification. 1. Shoal behavior pattern of anchovy (*Engraulis japonicus*) in Korean waters and species identification test. *J Korean Soc Fish Tech* 34, 52-61.
- Lee DJ and Shin HI. 2005. Construction of a Data Bank for Acoustic Target Strength with Fish Species, Length and Acoustic Frequency for Measuring Fish Size Distribution. *J Kor Fish Soc* 38(4), 265-275.
- Lee DJ. 2010. Fish length dependence of target strength for striped beakperch, bluefin searobin and konoshiro gizzard shad caught in the artificial reef ground of Yongho Man, Busan. *J Korean Soc Fish Tech* 46, 239-247. (doi:10.3796/KSFT.2010.46.3.239)
- Lee JB, Oh TY, Yeon IJ, Kim BY, Shin HO, Hwang BK, Lee KH and Lee YW. 2012. Estimation of demersal fish abundance using hydroacoustic and catch data in the marine ranching area (MRA) of Jeju. *J Kor Soc Fish Tech* 48, 128-136. (doi:10.3796/KSFT.2012.48.2.128)
- Mukai T, Sano N, Iida K and Sasaki S. 1994. Relation between dorsal aspect target strength of fish caught in the East China Sea and their swimbladder. *Nippon Suisan Gakkaishi* 60, 215-222.
- Nizinski MS and Munroe TA. 1988. FAO species catalogue, vol 2: Clupeoid fishes of the world, *engraulidae*, anchovies. *FAO Fishs Synop* 125, 764-780.
- Oh TY, Kim JI, Seo YI, Lee SK, Hwang DJ, Kim EH, Yoon EA and Jeong SB. 2009. Comparison of geostatistic and acoustic estimates of anchovy biomass around the tongyeong inshore area. *Korean J Fish Aquat Sci* 42(3), 290-296.
- Whitehead PJP, Nelson GJ and Wongratana T. 1988. FAO Fish Synop 127, Vol 7. An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. Part 2 - *Engraulididae*. *Fish Synop* 127, 305-579.
- Yoon GD, Kim ZG and Choi YM. 1996. Acoustic target strength of the pelagic fish in the Southern waters of Korea. *J Korean Fish Soc* 29, 107-114.
- Zhao X, Wang Y and Dai F. 2008. Depth-dependent target strength of anchovy (*Engraulis japonicus*) measured in situ. *ICES J Mar Sci* 65, 882-888. (doi: 10.1093/icesjms/fsn055)
- Zhao X. 2006. *In situ* target-strength measurement of young hairtail (*Trichiurus haumela*) in the Yellow Sea. *ICES J Mar Sci* 63, 46-51. (doi: 10.1016/j.icesjms.2005.07.010)

2015. 1.27 Received

2015. 2.12 Revised

2015. 2.17 Accepted