

춘계와 동계에 남해안 멸치어군의 주파수 반응 특성

박준성·서영일¹·장충식·박병수·박상식·안영수·박준수²·강명희*

경상대학교 해양경찰시스템학과 / 해양산업연구소, ¹국립수산과학원 연근해자원과, ²경상대학교
해양경찰시스템학과 / 국립수산과학원 남동해연구소

Frequency responses of anchovy schools in the South Sea of South Korea in spring and winter

Junseong PARK, Young-II SEO¹, Choong-Sik JANG, Byung-Soo PARK, Sang-Sik PARK, Young-Su AN,
Junsu PARK² and Myounghee KANG^{1*}

*Department of Maritime Police and Production System / The institute of Marine Industry,
Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea*

¹*Coastal Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083 Korea*

²*Department of Maritime Police and Production System, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064 South Korea / Southeast
Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53085, Korea*

Acoustic surveys using a scientific echosounder and trawl surveys were concurrently carried out in between Geoje and Tongyeong of the South Sea by season. The anchovy schools were identified by trawling in each station and used for frequency response analysis. Frequency responses of anchovy schools by season and species composition ratio were examined using multi-frequencies (18, 38, 70, 120 and 200 kHz). The frequency response $r(f)$, is one of the acoustic characteristics which means the volume back-scattering strength ratio between a reference frequency and other frequencies. In spring, the $r(f)$ of anchovy schools decreased with increased frequency, with the exception of 120kHz. While, in winter, the $r(f)$ continuously decreased inversely proportional to the increase in frequency. Frequency response of anchovy schools presented a distinctive difference between spring and winter, however it did not differ in spite of different species composition ratios in schools.

Keywords : Frequency response, Multi-frequency, Anchovy, South Sea

*corresponding author: mk@gnu.ac.kr, Tel: +82-55-772-9187, Fax: +82-55-772-9189

서론

한국의 남해 연안은 대마난류수와 남해 연안수 등 다양한 특성을 가진 수괴들이 만나는 곳으로 해양생물의 산란 및 서식을 위한 최적의 환경을 가지고 있다 (Choo and Kim, 1998). 또한 암초와 해초지대가 고르게 잘 발달되어 있고, 시니질의 저층부에는 잘피류가 존재하여 다양한 어류들의 서식처가 되고 있다 (Cha et al., 2007). 따라서 남해안은 국내 연근해의 주요 어종인 갈치, 멸치, 고등어, 전갱이 등의 조업장소로 많이 활용되고 있다 (Kim and Pang, 2005).

그중에서도 멸치는 국내 어획량의 가장 많은 비중을 차지하고 있어 상업적으로 매우 중요한 어종이라고 할 수 있다. 2010년도 이후로 연 평균 20만톤 이상 어획되고 있으며, 연도별 생산량은 2010년 249,636톤, 2011년 292,730톤, 2012년 221,980톤, 2013년 209,102톤, 2014년 220,954톤이었다 (Statistics Korea, 2015). 또한 멸치는 해양 생태계의 먹이사슬의 중심에서 매우 중요한 역할을 하고 있으므로 (Shelton et al., 1993) 생태학적으로도 매우 중요한 어종이라고 할 수 있다. 국내에서 수행된 멸치에 관한 연구를 살펴보면 트롤조사 및 음향조사를 통해 멸치의 분포 및 현존량을 파악하고 월별 또는 계절별 변동을 분석하였다 (Shin et al., 2002; Han and Oh, 2007; Kim et al., 2010). 트롤 조사는 조사 해역의 종 조성을 비교적 정확하게 파악할 수 있다는 장점이 있으나, 조사 시간과 노동력이 많이 소요되며 한정적인 수심층만 조사가 가능하다. 국내에서 멸치의 분포나 초기 생활기를 연구할 때는 정치망 (Cha, 1990), RN-80 네트 (Ko et al., 2010), bongo 네트 (Ko et al., 2007) 등을 이용하였다.

이에 반해 음향조사는 비교적 적은 시간과 노동력으로 넓은 범위를 조사할 수 있는 장점이 있다. 음향조사 기법 중 하나인 음향적분 (Echo integration)법을 이용하여 수산생물의 자원량을 추정하며, 음향학적으로 어종을 식별하기 위한 시험적인 연구가 진행 중이다. 국내에서 사용된 음향학적 어종식별 방법은 형상학적 분석 방법 (Kim et al., 1998), 분포 수심을 고려하는 방법 (Lee et al., 2012), 복수주파수의 체적산란강도 (MVBS, mean volume back scattering strength) 차이를 이용하는 방법 (Kang et al., 2002) 등이 있었다. 하지만 국외에서는 이러한 방법들 이외에도 주파수 특성 중 하나인 주파수

반응 (frequency response)을 활용하여 수산 자원 조사 동안 음향신호를 분류하여 조사 대상종의 음향적 특징을 파악하였다. 구체적인 예로서 Korneliussen and Ona (2003)은 복수주파수 (18, 38, 120, 200 kHz)에서 수집한 음향데이터들을 통합하여 합성 에코그램 (synthetic echogram)을 생성하고 2종의 어류 (빙어와 대구)와 동물 플랑크톤 (소형, 대형, 혼합)의 주파수 반응을 비교하였으며, Kaltenberg and Benoit-bird (2013)은 복수주파수 (70, 120, 200, 333, 710 kHz) 어군탐지기와 샘플링 조사를 통해 체장에 따른 보리새우의 주파수 반응을 분석하였다. 또한 Benoit-bird (2009)는 소형유영동물로 구성된 중층 음향산란층의 형상 (종조성, 개체의 크기, 밀도)이 주파수 반응에 미치는 영향을 조사하였다.

이 연구에서는 계절별로 과학어군탐지기 (이하 과학어탐)를 이용한 음향조사와 트롤 조사를 동시에 수행하였으며, 트롤조사 결과에서 멸치로 어종이 식별된 데이터만을 추출하여 분석에 사용하였다. 복수주파수로부터 수집한 음향데이터를 이용하여 멸치 어군의 주파수 반응을 파악하였으며, 계절별 차이를 비교 및 분석하였다. 이 논문은 국내에서 처음으로 어류의 주파수 반응을 파악한 것으로, 이 특성이 음향학적으로 어류를 판별하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

재료 및 방법

데이터 수집

남해안 (거제-여수 해역)에서 멸치의 분포 밀도 및 특성을 파악하기 위하여 과학어탐 및 트롤어획시험조사를 2013년 4월 (춘계), 7월 (하계), 10월 (추계) 및 2014년 2월 (동계)에 계절별로 수행하였다 (Fig. 1). 조사 수행 전에 표준교정구 방법 (Foote et al., 1987)을 이용하여 어군탐지기 (EK60, Simrad, Norway)를 교정하였으며, 조사정선 (transect line)을 미리 설정하고, 이 정선을 따라 항해하며 과학어탐을 통해 음향데이터를 수집하였다. 또한 트롤 예망 완료 지점에서 CTD (Conductivity Temperature Depth) 센서 (Ocean seven 304 Plus, Idronaut, Italy)를 해수 중에 투하하여 해양환경 데이터를 수집하였다. 계절별로 수행된 조사에서는 모두 동일한 8개의 트랜섹트 라인을 사용하였으며, 조사에 관한 세부 사항은 Table 1에 나타내었다. 조사 시간대를 보면 춘계와 하계조사에서는 야간에 조사가 수행된 경우가

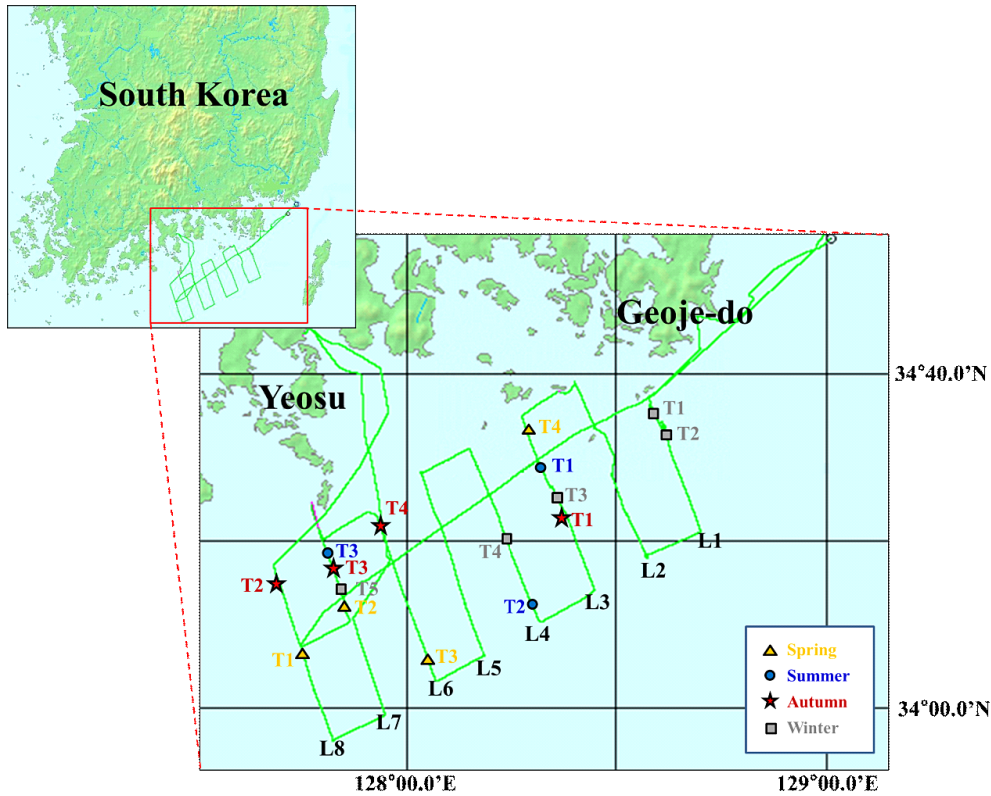


Fig. 1. Study Area. The green line is the cruise track of the research vessel. Eight transect lines (L1-L8) are marked. The trawling stations (T1-T5) are indicated using four colors and symbols. The time duration of each trawling was approximate 30 minutes.

많았는데, 야간에는 멸치가 어군을 형성하지 않고 분산되어 분포하는 경향이 있었다. 이 연구는 멸치어군의 주파수 특성을 파악하고자 하였으므로, 멸치가 어군으로 형성된 주간 데이터만을 선별하여 분석하였다.

멸치의 존재 유무 및 분포밀도를 확인하기 위해 중층 트롤 그물을 사용하여 어획시험조사를 수행하였으며, 사용된 어구의 크기는 길이가 104 m, 둘레 504 m, 끝자루 망목은 40 mm이다. 끝자루 망목의 크기가 다소 크지만, 커버네트(망목 14 mm)가 끝자루 뒤에 추가로 설치된 상태로 조사가 수행되었다. 양망 후에는 선상에서 어류도감을 활용하여 어종을 판별하고, 각 어종별 개체 수와

어획량 (kg)을 측정하였다. 다시 말해, 멸치는 200마리까지, 다른 어종은 30마리까지 어체측정판과 선박용 정밀저울을 이용하여 개체어의 체장 (cm)과 체중 (g)을 측정하였다.

주파수 반응

주파수 반응이란 기준 주파수 (일반적으로 38 kHz)에서의 체적후방산란강도 (S_v)와 상대주파수에서 후방체적산란강도의 비, 즉 복수주파수에서 S_v 값이 기준으로 설정한 주파수의 S_v 값보다 얼마나 크게 혹은 작게 나타나는가를 파악하는 것으로 식 (1)과 같다 (Korneliussen

Table 1. The seasonal acoustic survey. The L1-L8 means the transect line number

Survey name	Surveyed date	Lines surveyed in daytime	Lines surveyed at night
Spring survey	2013.4.16-4.19	L1, 7, 8	L2-L6
Summer survey	2013.7.4-7.8	L1, 3, 5, 6	L2, 4, 7, 8
Autumn survey	2013.9.30-10.3	L1, L3-L8	L2
Winter survey	2014.2.24-2.28	L1, 3, 4, 5, 7, 8	L2, 6

and Ona, 2003; Pedersen et al., 2004).

$$r(f) = SV(f)/S_{Vref} \quad (1)$$

여기서 S_{Vref} 는 기준주파수에서 후방체적산란강도, $S_V(f)$ 는 주파수 f 에서 후방체적산란강도이다. 주파수 반응은 어종, 주파수, 개체크기, 부레의 유무, 유영각도 등에 영향을 받아 다르게 나타난다 (Korneliussen and Ona, 2003). 주파수 반응은 복수주파수를 사용하여 조사 대상 어종의 음향학적 특징을 파악하기 위해 사용되며, 이러한 특징은 음향학적으로 어종을 식별하는데 도움을 줄 수 있다. 이 연구에서는 복수주파수를 사용하여 수집한 멸치종으로 확인된 음향데이터를 활용하여 멸치어군의 주파수 특성, 특히 계절별 멸치어군의 주파수 특성을 조사하고자 한다.

음향데이터 분석

복수주파수 (18, 38, 70, 120, 200 kHz) 어군탐지기를 사용하여 수집한 음향데이터를 Echoview 소프트웨어 (Echoview version 6.0, Echoview Software Pty Ltd, Australia)를 통해 분석하였다. 멸치 어군의 주파수 반응을 파악하기 위해서, 트롤조업 결과 멸치 어종이 확인된 트롤 구간만 선별하여 분석을 수행하였으며, 에코그램 상에서 어군이 확인되지 않은 트롤 구간은 분석에서 제외하였다. 먼저, 해저 아래 데이터를 제외하기 위해 해저선을 설정하고 해저선 아래의 데이터를 제외한 가상의 에코그램을 생성하였다. 다음으로 가상의 에코그램에서 school detection 알고리즘을 이용하여 어군을 정의하였으며, 설정된 파라미터는 Table 2와 같다. 이 알고리즘을 사용할 때, 최소 역치값 선정이 매우 중요하다. 이 값을 적절하게 선정하지 않으면 모든 음향신호가 한 덩어리로 탐지되어 거대한 한 개의 어군으로 정의되어 버린다. 이 역치값보다 강한 신호만을 대상으로 수직 및 수평 연결 거리 (max. vertical and horizontal linking distances, 타원의 형태)를 형성하고 이 신호 가장자리를 따라 연결거리, 즉 타원이 움직인다. 이때 이 타원 내에 들어가는 어군후보 (school candidate)가 최소 길이와 높이 (min. candidate length and height)보다 클 경우 이들은 한 개의 어군으로 연결된다. 최종적으로, 연결된 어군들이 최소 어군 길이나 높이를 만족하지 못하면

어군으로 탐지되지 않는다.

Table 2. Setting parameters for the school detection algorithm

Parameter	Value
Min. total length of a school	3.0 m
Min. total height of a school	1.6 m
Min. length of a candidate school	3.0 m
Min. height of a candidate school	1.6 m
Max. vertical linking distance	2.0 m
Max. horizontal linking distance	5.0 m

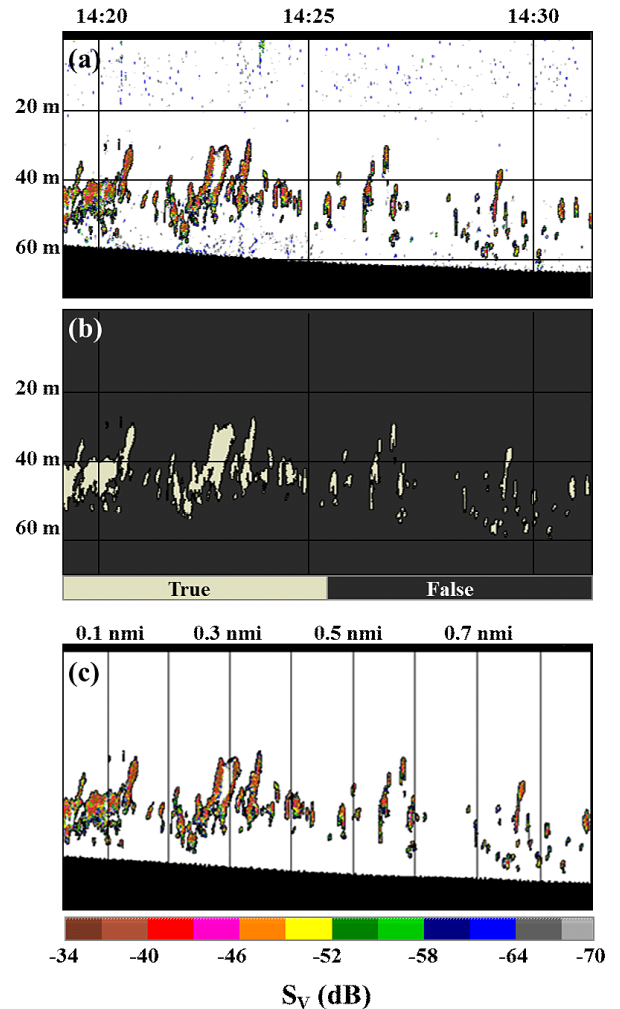


Fig. 2. Processed echograms (defined fish schools) using the T1 in winter. The bitmap echogram shows the fish schools as “True” and others as “False” (b). Horizontal lines and vertical lines indicate time and water depth, respectively (a and b). Masked echogram shows only fish schools after masking out non defined schools (c).

다음 단계로, 정의한 어군 이외의 음향신호를 제외하기 위해 비트맵 연산자를 이용하여 마스크 에코그램을 생성하였다. 비트맵 에코그램 (Fig. 2b)에서는 S_V 에코그램 (Fig. 2a)에서 멸치 어군으로 정의된 구역만 “True”로 표시하고 나머지 구역은 “False”로 처리하는데, 이 결과를 마스크 에코그램 (Fig. 2c)에 적용하면 “True”로 표시한 구역만 S_V 값이 표시되고, “False”로 처리된 나머지 구역은 에코신호가 0으로 나타난다. 즉 해수중에 정의된 어군 이외에 다른 음향신호는 존재하지 않는 에코그램이 생성된다. 이 에코그램 위에 수평 간격 0.1 nmi, 수직 간격 200 m (전체수심)의 그리드 (grid)를 그어 셀을 설정하였다. 마지막으로 5개 주파수 각각의 마스크 에코그램에서 셀 별로 NASC (Nautical Area Scattering Coefficient, 해리면적산란계수) 값을 추출하고 주파수

반응 그래프를 작성하였다.

주파수 반응 그래프

멸치의 주파수 반응을 비교 및 분석하기 위해, 5개 주파수 각각의 에코그램에서 추출한 어군의 NASC 값의 평균값을 구하고, 38 kHz에서 평균 NASC 값을 기준으로 18, 70, 120, 200 kHz에서 NASC 값을 이용하여 $r(f)$ 를 구하고 그래프로 나타내었다.

결과 및 고찰

트롤조사 결과

계절별로 수행된 트롤조업의 결과는 Table 3과 같다. 하계와 추계의 조사에서는 멸치가 전혀 어획되지 않았으며, 춘계조사와 동계조사에서는 멸치가 높은 비율로 어

Table 3. Catch results from the seasonal trawl surveys

Season	Trawl station	Species	Caught Ratio (%)	Average body length (cm)	Average body weight (g)	Total catch weight (kg)
Spring	T1	Anchovy	95	9.2	5.7	32.0
	T2	Hairtail	57	-	9.9	78.2
		Anchovy	37	9.6	6.4	
	T3	Anchovy	60	11.0	10.1	17.3
		Korean pomfret	13	-	18.7	
		Chefoo thryssa	11	-	11.0	
	T4	Anchovy	39	10.5	9.9	103.9
		Japanese common squid	22	-	-	
Summer	T1	Hairtail	88	15.0	60.0	61.7
	T2	Pearlsides	63	5.3	1.6	33.2
		Hairtail	35	19.8	131.3	
	T3	Hairtail	99	16.4	106.7	110.0
Autumn	T1	Nil				
	T2	<i>Nemopilema nomurai</i>	83	-	-	120.0
		Japanese Spanish mackerel	16	38.5	446.7	
	T3	<i>Nemopilema nomurai</i>	99			47.8
	T4	<i>Nemopilema nomurai</i>	94			11.7
T5	Jellyfish	99				
Winter	T1	Anchovy	63	8.8	4.4	62.1
		Large-eyed herring	36	9.4	9.4	
	T2	Anchovy	71	9.3	5.7	371.4
		Large-eyed herring	26	10.6	12.0	
	T3	Anchovy	99	8.9	5.6	67.6
	T4	Anchovy	100	9.9	7.9	408.0
	T5	Anchovy	94	11.1	11.0	197.5
		Large-eyed herring	3	10.4	9.7	
	T6	Anchovy	54	11.2	12.2	100.1
		Gizzard shad	37	16.5	60.3	

획되었으나 일부 트롤 구간 (춘계의 T3, T4와 동계의 T6)에서는 어류가 어군을 형성하지 않았다. 따라서 어류가 어군을 형성하며 분포하였던 춘계와 동계의 트롤구간만을 선별하여 분석하였으며, 어획 비율에 따라 멸치 95% 이상 (춘계 T1, 동계 T3, T4, T5), 멸치 60% 이상 (동계 T1, T2), 멸치 40% 이하 (춘계 T2)의 3그룹으로 분류하여 분석하였다.

춘계와 동계 멸치 어군의 주파수 반응

트롤조사결과 멸치가 95%를 차지한 트롤구간은 춘계

의 T1과 동계의 T3, T4, T5이었다. 해당 주파수 반응 그래프 및 에코그램 (Fig. 3)을 살펴보면, 춘계의 멸치어군은 고주파로 갈수록 $r(f)$ 값이 감소하다가 120 kHz에서만 증가하는 경향을 보였다. 최고 $r(f)$ 값은 18 kHz에서 1.47이었으며, 최저 $r(f)$ 값은 0.04로 200 kHz에서 나타났다. 반면에, 동계의 멸치어군은 주파수반응 $r(f)$ 가 18 kHz에서 가장 크고, 고주파로 갈수록 작아지는 경향을 보였다. 18 kHz에서 평균 $r(f)$ 값은 1.56이었으며, 이 평균 $r(f)$ 값은 T3에서 가장 크고 (2.18), T5에서 가장 작았다 (1.06). 또한 200 kHz에서 평균 $r(f)$ 값은 0.2였으

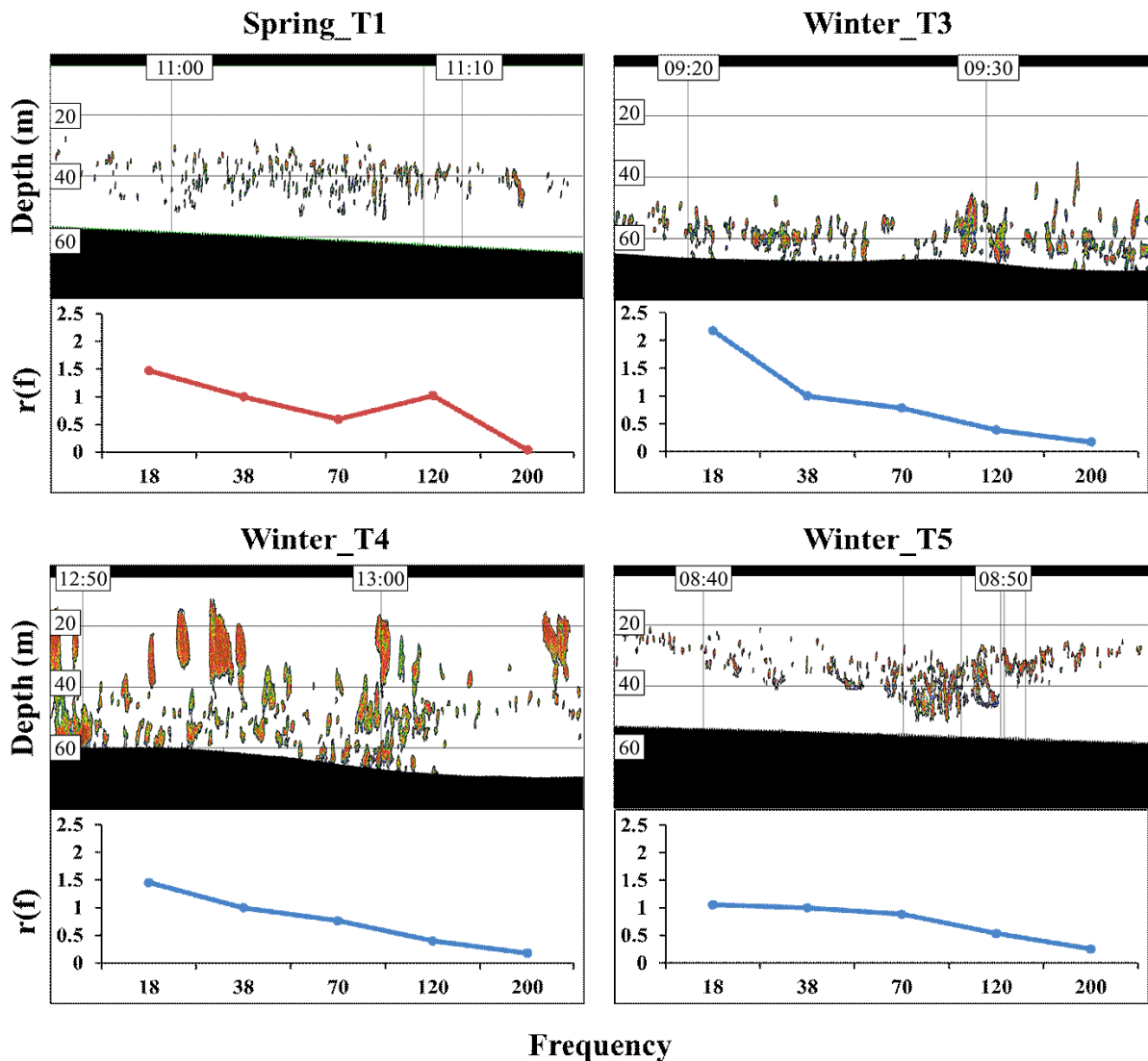


Fig. 3. Masked echograms and frequency response graphs of anchovy schools which were caught more than 95% by trawling. The season and trawl station is shown in each subfigure.

며, 이 값은 T5에서 가장 작고 (0.25), T3에서 가장 작았다 (0.17).

멸치가 60% 이상 어획된 트롤구간은 동계에만 존재하였으며, T1 (멸치 64%, 밴댕이 36%)과 T2 (멸치 71%, 밴댕이 26%)가 이에 해당한다. 주파수반응 그래프를 보면 동계의 멸치 95% 이상인 구간의 주파수 반응과 유사하게 고주파로 갈수록 r(f) 값이 작아지는 경향을 보였다 (Fig. 4). 가장 큰 값을 가지는 18 kHz에서 r(f) 값의 평균 1.56 이었으며, T1이 T2보다 작은 값을 가졌고 (1.29<1.83), 가장 작은 값을 보이는 200 kHz에서 평균 r(f)는 0.21로 T1보다 T2에서 작게 나타났다 (0.23>0.19).

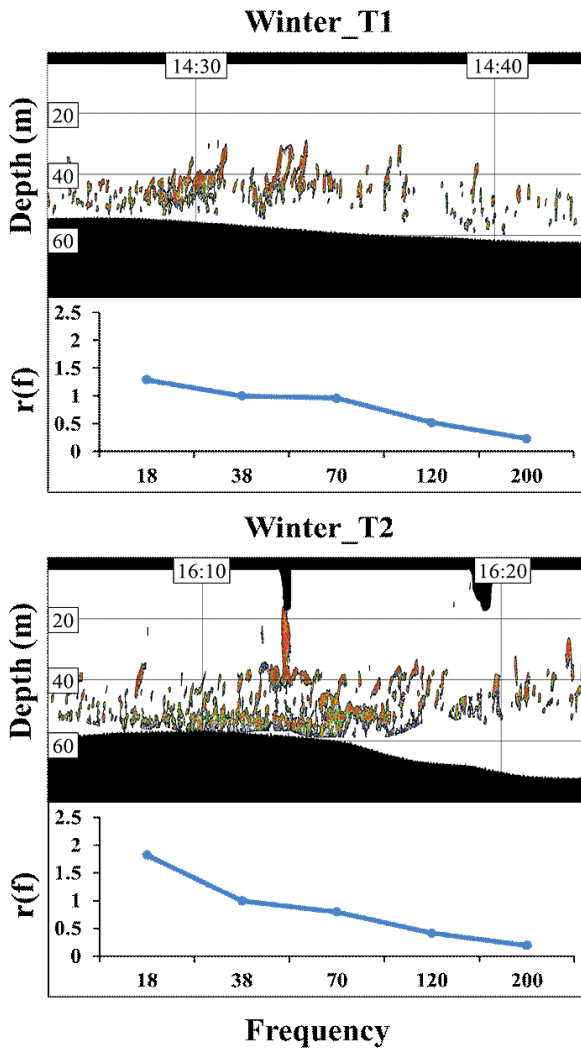


Fig. 4. Masked echograms and frequency response graphs of anchovy schools which were caught over 60% by trawling.

멸치가 40% 이하를 차지한 트롤 구간은 춘계의 T2 (멸치 37%, 갈치 57%)만 해당하며 주파수 반응 그래프는 멸치가 95% 이상을 차지한 춘계의 T1라인과 유사한 경향을 보여 120 kHz를 제외하고 고주파로 갈수록 r(f) 값이 감소하였다 (Fig. 5). 최대 r(f) 값은 18 kHz에서 1.30이었고, 최소 값은 200 kHz에서 0.02였다.

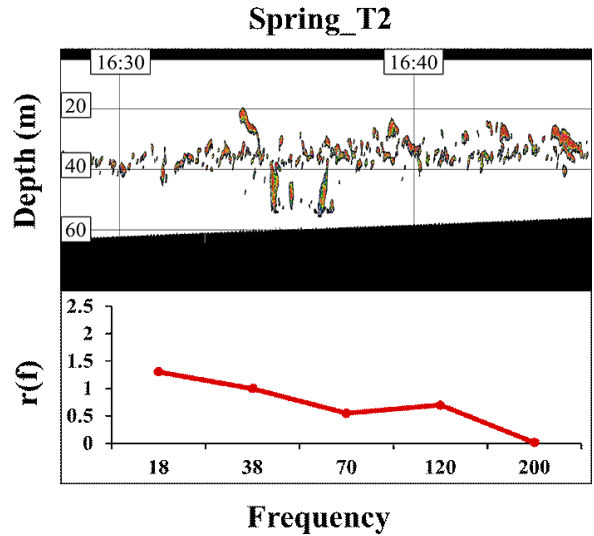


Fig. 5. Masked echogram and frequency response graph of anchovy schools which were caught less than 40% by trawling.

해양환경 관측

멸치어군의 주파수 반응은 춘계와 동계 사이에 확연한 차이를 보였다. 그 원인을 파악하기 위해 조사 기간 동안 CTD를 통해 관측된 수온과 염분 정보를 그래프로 나타내었다 (Fig. 6). 염분은 계절에 따른 변화가 거의 없었으나 (32.9~34.4 %), 수온은 춘계와 동계보다 하계와 추계에 평균적으로 높은 값으로 나타났다. 멸치가 어획된 춘계와 동계의 수온과 염분을 비교해보면, 춘계 조사 동안 평균 수온은 13.7℃, 평균 염분은 34.1 %이었으며, 동계 조사에서는 평균 수온은 12.7℃, 평균 염분은 34.4 %이었다. 즉 평균 수온은 춘계에서 1.0℃도 높았으나, 평균 염분은 거의 차이가 없었다. 해양환경과 멸치의 관계를 분석한 기존의 연구 결과에 따르면 수온의 변동은 멸치의 생산량 및 분포에 큰 영향을 주었다. 여수 아래의 가막만에서 1997년 7월과 8월에 수행된 조사는 수온과 염분의 변동이 멸치의 분포에 미치는 영향을 조사하였다. 조사 결과, 평균적으로 수온이 21.0~24.0℃

인 곳에서 어군의 분포 밀도가 높고 이 수온대를 따라 어군이 이동하였으며, 염분은 어군의 분포 및 이동에 큰 영향을 미치지 않았다 (Seo and Kim, 1999). Lee and Kim (2007)의 연구 결과에 따르면, 멸치의 생산량이 많았던 1995년과 1998년에는 2월과 12월에 남해 동부해역의 12.0~13.0℃의 수온대를 중심으로 멸치 어군의 체류량이 많았다. 반면 남해 동부해역의 수온이 평년보다 1.0~3.0℃ 낮았던 1993년에는 멸치의 생산량이 적었다. 또한 남해도와 거제도 주변 해역의 수온이 평년보다 0.6~1.6℃ 낮아서 산란을 위해 내유하는 멸치의 양이 적었다. 즉 멸치는 수온에 민감하게 반응하며, 계절별로 최적의 수온을 따라 회유하는 특성이 있다. 따라서 수온에 따른 멸치어군의 군집특징, 예를 들어 어군 내에서 멸치의 유영각도와 군집 정도 등이 계절별 주파수 반응에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 향후, 주야, 계절 및 연도별의 시간 및 다양한 행동에 따른 멸치의 유영 특성을 조사한다면 멸치 어군의 주파수 반응에 대한 원인을 규명할 수 있을 것으로 생각한다.

멸치의 구성 비율

멸치의 주파수 반응은 춘계와 동계에 큰 차이를 보였으나, 멸치의 구성 비율에 따른 주파수 반응의 차이는 크지 않았다. 멸치가 60% 이상인 구간에서 나머지 비율을 차지한 어류는 밴댕이로 멸치와 체장이 유사하고

부레가 존재하며, 군집을 형성하는 등 멸치와 유사한 특징을 가져 음향학적인 특징도 비슷하게 나타난 것으로 추정된다. 또한 멸치의 비율이 적은 40% 이하의 구간은 봄철의 T2 한 곳밖에 없었기 때문에 이 결과의 신뢰성이 낮다고 할 수 있다.

주파수 반응은 동일한 어종이라 할 지라도 개체의 체장 (Kaltenberg and Benoit-bird, 2013), 유영각도 (Benoit-Bird, 2009), 분포 또는 어류간의 거리 (Jech and Home, 2001)에 영향을 받아 다르게 나타난다. 또한 어군 탐지기의 빔폭과 측엽 (side lobe)의 크기, 작동 범위 (dynamic range)도 주파수반응에 영향을 미치는 요인이다 (Berger et al., 2009). 즉 생물학적인 원인이 아닌 부분은 같은 빔폭과 음향 탐지거리를 사용하여 주파수반응에 대한 영향을 줄일 수 있다. 향후, 고정된 정점에서 네트채집 조사, 비디오 카메라 및 과학어탐을 이용한 24시간 관측을 통해 멸치종의 주파수 반응과 행동특성을 동시에 파악하여 유영행동에 따른 주파수반응 특징을 살펴보고자 한다. 이 연구의 결과는 주파수 반응 특성이 음향학적 어종식별의 방법 중 하나로 활용될 수 있도록 기초자료를 제공하였다고 생각한다.

결론

남해안의 거제와 여수 사이의 연안 수역에서 과학어탐 및 트롤조사를 계절별로 1회씩 수행하였다. 중층트롤

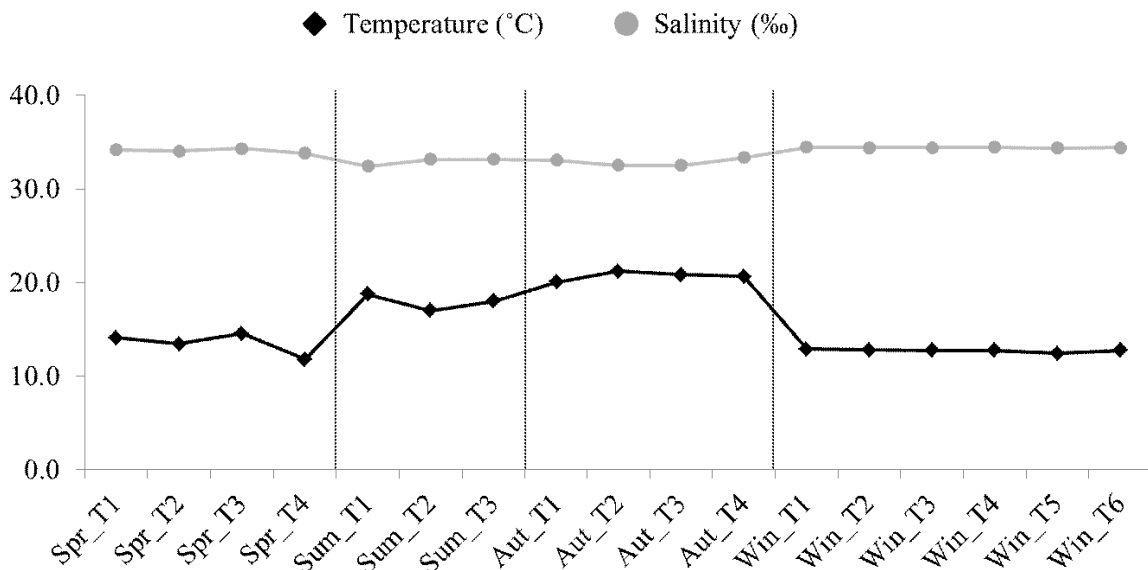


Fig. 6. Average temperature and salinity of each trawl station.

망을 사용하여 채집한 어획물을 조사하여 종 조성을 파악하였으며, 과학어탐의 복수주파수 (18, 38, 70, 120, 200 kHz)를 통해 수집한 음향데이터를 분석하여 멸치어군의 계절별 (층계, 동계) 주파수 반응을 파악하였다. 여기서 주파수 반응이란 해양 유기체를 대상으로 기준 주파수 (일반적으로 38 kHz)의 체적후방산란강도와 상대주파수의 체적후방산란강도의 차이를 의미한다. 주파수 반응을 분석한 결과, 층계에는 멸치의 주파수 반응 $r(f)$ 값이 고주파로 갈수록 감소하다가 120 kHz에서 증가하고, 200 kHz에서 다시 작아지는 경향을 보였으며, 동계에는 멸치의 $r(f)$ 값이 고주파로 갈수록 꾸준히 작아졌다. 이 연구에서 멸치의 주파수 반응 특성은 층계와 동계에는 차이를 보였으나, 멸치의 구성 비율에 따른 차이는 크지 않았다. 향후, 시간 및 행동에 따른 멸치의 유영 특성을 조사한다면 멸치 어군의 주파수 반응에 대한 원인을 규명할 수 있을 것으로 판단한다.

사 사

본 연구는 2016년도 국립수산물품질관리원 수산과학연구소 연구사업 (R2016027)지원에 의해 경상대학교와 공동으로 수행되었습니다.

References

- Benoit-Bird KJ. 2009. The effects of scattering-layer composition, animal size, and numerical density on the frequency response of volume backscatter. *ICES J Mar Sci: Journal du Conseil* 66(3), 582-593. (DOI:10.1093/icesjms/fsp013)
- Berger L, Poncet C and Trenkel VM. 2009. A method for reducing uncertainty in estimates of fish-school frequency response using data from multifrequency and multibeam echosounders. *ICES J Mar Sci: Journal du Conseil*, fsp 113, 7. (DOI:10.1093/icesjms/fsp113)
- Cha BY, Kim DK and Seo SH. 2007. Species and abundance variation of fish by a gill net in coastal waters of southern sea, Korea, 2006. *Koeran J Ichthyol* 19(3), 210-224.
- Cha SS. 1990. Age and growth of anchovy (*Engraulis japonica*) juvenile in the coastal waters of Chonnam, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 23, 385-393.
- 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. *Korean J Fish Aquat Sci* 31, 226-244.
- Footo KG, Knudsen HP and Vestnes G. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. *ICES Cooperative research report*, 69.
- Han KH and Oh YS. 2007. Fluctuation in abundance and species composition of fishes by bottom otter trawl in coastal waters of Geumdo, Yeosu. *J Kor Soc Fish Technol* 43, 251-260. (DOI:10.3796/ksft.2007.43.4.251)
- Jech JM and Horne JK. 2001. Effects of in situ target spatial distributions on acoustic density estimates. *ICES J Mar Sci* 58, 123-136. (DOI:10.1006/jmsc.2000.0996)
- Kaltenberg AM and Benoit-bird KJ. 2013. Intra-patch clustering in mysid swarms revealed through multifrequency acoustics. *ICES J Mar Sci* 70(4), 883-891. (DOI:10.1093/icesjms/fst034)
- Kang M, Furusawa M and Miyashita K. 2002. Effective and accurate use of difference in mean volume backscattering strength to identify fish and plankton. *ICES J Mar Sci* 59, 794-804. (DOI:10.1006/jmsc.2002.1229)
- Kim JG, Choi YM, Hwang GS and Yoon GD. 1998. Study on the acoustic behaviour pattern of fish school and species identification 1. Shoal behaviour pattern of anchovy (*Engraulis japonicus*) in Korean waters and species identification test. *J Korean Soc Fish Technol* 34, 52-61.
- Kim MS, Kim DS, Kim MS and Lee JG. 2010. A variation of fishes caught by the bottom trawl in the boundary zone between Busan and Tsushima. *J Fish Mar Sci Edu* 22, 341-353.
- Kim SH and Pang IC. 2005. Distribution and characteristic of transport mechanism of eggs and larvae of anchovy, *Engraulis japonica*, in the southwestern sea of Korea in July and November, 2001. *Korean J Fish Aquat Sci* 38, 331-341.
- Ko JC, Seo YI, Kim HY, Lee SK, Cha HK and Kim JI. 2010. Distribution characteristics of eggs and larvae of the anchovy *Engraulis japonica* in the Yeosu and Tongyeong coastal waters of Korea. *Korean J Ichthyol* 22, 256-266.
- Ko JC, Yoo JT and Rho HK. 2007. Environmental factors and the distribution of eggs and larvae of the anchovy (*Engraulis japonica*) in the coastal waters of Jeju Island. *Korean J Fish Aquat Sci* 40, 394-410. (DOI:10.5657/kfas.2007.40.6.394)
- Korneliussen RJ and Ona E. 2003. Synthetic echograms generated from the relative frequency response. *ICES J Mar Sci* 60, 636-640. (DOI:10.1016/s1054-3139(03)00035-3)

- Lee CI and Kim HJ. 2007. Effect of temperature on anchovy catch and laver production in the eastern part of the South Sea of Korea. *J Environ Sci* 16(8), 897-906.
- 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)
- Pedersen G, Korneliussen RJ and Ona E. 2004. The relative frequency response, as derived from individually separated targets on cod, saithe and Norway pout. ICES CM documents 2004/R:16.
- Seo YJ and Kim DS. 1999. Distribution of anchovy school caught by the lift net and environmental factors in the Kamak Bay. 1. Relation between distribution of anchovy school and temperature and salinity. *Bull Korean Soc Fish Tech* 35(3), 267-276.
- Shelton PA, Armstrong MJ and Roel BA. 1993. An overview of the application of the daily egg production method in the assessment and management of anchovy in the Southeast Atlantic. *Bull Mar Sci* 53, 778-794.
- Shin HH, Hwang DJ and Kim YJ. 2002. Studies on the distribution of fisheries resources by bottom trawling in the Yellow Sea. *J Korean Soc Fish Technol* 38, 129-139.
- Statistics Korea. 2015. Fishery Production Survey. Statistical data base.
-
2016. 03. 17 Received
2016. 05. 03 Revised
2016. 05. 20 Accepted