ISSN 1225-827X (Print)
ISSN 2287-4623 (Online)
J Korean Soc Fish Technol, 53(2), 132-141, 2017
http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2017.53.2.132

FISHERIES TECHNOLOGY
www.fishtech.or.kr
〈Original Article〉

어류 추적 기법을 이용한 남해안 욕지도 해역에서 어류의 행동

최정화[1], 박준수[2], 박준성[2], 강명희[2*]
[1]국립수산과학원 수산자원연구센터, [2]경상대학교 해양경찰시스템학과/해양산업연구소

The behavioral properties of fish near Yokji Island in the South Sea of South Korea obtained using fish track technique

Jung Hwa Choi[1], Junsu Park[2], Junseong Park[2] and Myounghee Kang[2*]

[1]Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53064, Korea
[2]Department of Maritime Police and Production System/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

The objective of this study was to provide fundamental information on fish swimming behavioral properties. Acoustic data was collected at nighttime from the 10th to 12th March, 2016 near Yokji Island in the South Sea of South Korea, and was analyzed using the fish track technique. This technique is to identify groups of single targets, which shows a pattern of systematic movement. As a result, the differences of the behavioral properties such as depth, swimming speed, vertical direction, horizontal direction, tortuosity, and depth change among days were minor; however, statistical results (Welch analysis of variance) showed significant difference between days. Especially, the target strength (TS) of the 11th were significantly different from the 10th and 12th. It could be assumed that gizzard shad, which was the dominant species from the catch on the 11th March, might have affected this difference. The correlation between TS and other properties was very week. The significant difference seemed even small differences of average values because of the large data volume.

Keywords : Echosounder, Fish behavior, Fish tracking, South Sea

서 론

우리나라 남해안 동부에 위치한 통영은 어업 생산에 크게 기여하는 쓰시마 난류의 영향을 받으며 (Hattori, 1964; Senta, 1964) 일반적으로 조류의 유동이 원활하다. 욕지도와 연화도 사이에서는 북서류하면서 내만으로 창조류가 유입되고 일부는 욕지도를 경유하여 외해의 흐름과 합류되어 서류하며, 낙조류는 이와 반대방향으로 흐른다. 통영 연안은 리아스식 해안으로 해안선의 굴곡이 심하고 많은 섬들로 이루어져 있는데 욕지도는 이 많은 섬들 중 하나이다. 욕지도와 인근 해역에서 어업활동은 한때 어업전진기지가 될 만큼 활발하였으나 지금은 연안어업과 양식어업에 한정되고 있다. 남해안 해역을 대상으로 종 조성과 계절변동에 관한 많은 연구가 있으며, 특히 욕지도 인근 해역은 다양한 종이 분포하며 주위의 다른 섬들과 밀집되어 있어 자치어, 유어 단계의 어류들이 은신처 또는 먹이공급처로 이용하고 있는 중

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

요한 해역이라 할 수 있다 (Park et al., 2005). 이와 같이 생태학적으로 중요한 광범위한 해역에 서식하는 어류의 유영 행동을 파악하는 것은 매우 중요하다.

지금까지 넓은 해역에서 음향 기법을 이용하여 어류의 유영 행동을 조사하기 위한 연구방법은 음향표지를 부착하여 어류 유영 행동의 상세한 정보를 제공하는 방법과 과학어군탐지기 (이하, 과학어탐)를 이용한 어류 추적 기법이 있다. 국내에서 음향표지를 이용한 연구 사례는 2003년 7월과 10월에 통영바다목장 해역에서 인공어초 주변에 방류한 참돔의 공간이동특성을 파악하였고 (Shin et al., 2004), 과학어탐을 이용한 어류 추적 기법에 관련한 연구는 Lee and Shin (1999)이 주파수 38 kHz를 이용하여 여수 소리도, 거제도, 제주도 도암해역에서 조사선을 정선하고 어류의 유영 속도와 자세 및 *in situ* Target strength (TS)의 관계를 조사하였다.

한편, 국외에서는 어류 추적 기법을 이용하여 다수의 어류 개체를 대상으로 어류의 밀도, 공간적인 분포 특징 및 행동에 관한 연구는 해양 환경 뿐만 아니라 담수 환경에 활발히 수행되고 있다. 예를 들어 중국 진주강의 Changzhou댐의 상류 및 하류에 분포하는 어류의 밀도, 공간적인 분포 특징을 비교한 연구가 있다 (Tan et al., 2011). 캐나다의 boreal 저수지에서 2011과 2012년의 여름과 겨울에 어류의 밀도를 조사하였으며, 어류의 체장을 5그룹으로 나누어서 계수하였다 (Pollom and Rose, 2015). 영국 템스강에서 2개의 송수파기를 표층과 3 m 수심의 해수 중에 설치하여, 표층 상층, 표층, 중층, 심층으로 나누어서 어류의 밀도를 조사하였다 (Kubecka and Duncan, 1998). 또한 브라질 세인트 프란시스코강의 Tres Marias 수력발전소 댐의 방수로에서 정선 조사를 수행하며, 에코 계수법과 에코 적분법을 합쳐서 어류 밀도 (계수)를 구하고, 자망의 결과와 주야간, 건기 및 우기, 수심에 따른 어류 밀도 차이를 조사하였다 (Loures and Pompeu, 2015). 체코의 Želivka와 Římov 저수지에서 과학어탐을 중층그물에 부착하여 주야간 차이, 유영 속도와 어류의 크기 등이 그물 도피 반응에 영향을 주는지 파악한 연구 결과도 보고되었다 (Sajdlová et al., 2015).

어류의 유영 행동 특성은 담수어 환경 즉, 수력발전소 주변, 댐, 강 등의 어로의 설계 및 운영, 환경요인에 의한 어류의 생태학적인 변화뿐만이 아니라 해상환경에서 바다목장화, 양식장 설계 및 양식 기술 및 어구 어법에 관한 연구에 적용되고 있다. 이와 같이 어류의 유영 행동 특성은 다양한 수산 해양 연구 분야의 기초적인 자료로서 활용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 남해안 욕지도 주변해역에서 과학 어탐으로 수집된 데이터를 어류 추적 기법을 이용하여 어류 개체에 대한 유영행동 (분포수심, 유영 속도, 유영 각도 등)을 파악하고, 일별 어류 행동 차이를 분석하였다.

재료 및 방법

음향 조사

음향 조사는 2016년 3월 10일에서 13일까지 남해안 욕지도 부근에서 국립수산과학원 탐구 20호 (885 ton)의 선저에 부착된 과학어탐 EK60 split beam (18, 38, 70, 120, 200 kHz, Simrad, Norway)을 사용하여 수행하였다. 조사선의 조사 해역은 Fig. 1과 같으며, 3월 10일은 갈도의 남동쪽에서 11일과 12일은 갈도의 남서쪽에서 묘박하였다. 조사를 수행하기에 앞서 표준 교정구 방법 (Foote et al., 1987)을 이용하여 과학어탐의 모든 주파수에 대하여 펄스폭 1,024 μs를 선택하여 교정을 실시하였다. 핑의 횟수 (ping rate)는 2초에 한번으로 설정하였다. 주파수 18, 38, 70, 120, 200 kHz를 이용하여 수집한 자료 가운데 이 중 어류의 탐지 능력이 좋은 주파수 38 kHz의 음향자료를 분석하였다. 이 주파수의 명목상 빔 각도는 7°이지만, 교정시 획득한 결과를 보면 athwartship angle과 alongship angle은 각각 7.1°와 6.9°이었다.

트롤 조사는 야간에 묘박 조사로 음향자료가 수집된 부근에서 주간에 에코그램에 어류의 에코가 탐지된 해역에서 저층 트롤 어구를 사용하여 21회 수행하였다. 트롤 정점을 정하지 않고 조업을 실시하였다. 트롤 조사 시, 평균 예망 선속은 3.3 knots, 평균 예망 시간은 27분, 평균 망고는 3.3 m, 평균 수심은 45 m이었다. 어획물은 양망 후에 어류 도감을 참고로 하여 어종을 구분하고 어체 측정판과 선박용 정밀 저울을 사용하여 각 어종별 개체어의 체장 (cm)과 체중 (g)을 측정하였다. 또한 어종별 개체수와 어획 중량을 측정하였다. 이번 조사는 저층 트롤 어구를 사용하였으나 조사 해역의 수심이 비교적 낮아 트롤 어획물 중 부어류 어종이 어획되었으며, 이 트롤 결과는 결과 및 고찰 부분에 설명하였다.

Fig. 1. Study area. The bottom panel is the expanded map from the upper panel. The yellow circle indicates the location in 10th March and the green circle means that in 11th and 12th March. The red square is the area of trawling during daytime.

음향 자료 분석

어류 개체들의 행동을 조사하기 위하여 조사선이 묘박한 야간 음향데이터를 사용하였는데, 야간에는 거의 대부분이 개체로 분포하였으며 먼저 잡음을 소거하고 분석하였다. 음향데이터는 묘박 중인 선박에서 수집한 것으로 선박의 표류 속도를 배제할 필요가 있었다. 중층 표영대 어종인 앨퉁이 (*Maurolicus muelleri*)와 샛비늘치과의 어류 (*Benthosema glaciale*)의 유영 행동을 연구할 때, 각 트랙에서의 유영속도에서 선박의 표류 속도의 평균값을 뺀, 순수 유영 속도 (net swimming speed)를 이용한 연구 사례가 있다 (Torgersen and Kaartvedt, 2001). 이 연구에서도 이 방법을 이용하여 선박의 표류 속도는 야간 음향데이터에 수록되어 있는 GPS데이터를 일별로 추출하여 각각의 평균값을 구하였다. 탐지된 트랙에서 추출되는 어류의 유영 속도는 선박의 표류 속도를 포함하고 있으므로 트랙에서 구한 유영 속도에 선박의 표류 속도를 배제하여 어류의 순수 유영 속도 (이하, 유영 속도)를 구하여 사용하였다. 어류가 개체간에 분리될 수 있도록 개별적으로 분포할 경우 어류 추적 기법 (fish track technique)을 이용하여 어류의 행동 특성을 파악할 수 있다. 이 어류 추적 기법은 개별 표적 (single target)이 탐지된 후에 이용 가능하다. 개별 표적 탐지 및 어류 추적은 Echoview (ver. 7.1, Echoview Software, Australia)의 알고리즘을 이용하였다. 개별 표적 탐지법 (single target detection algorithm)은 과학어탐 EK60 소프트웨어 (ER60)에서 사용하고 있는 탐지 알고리즘 (Soule et al., 1997)과 동일한 것이다. 이 연구에서 개별 표적 탐지를 위하여 사용한 파라미터는 Table 1에 나타내었다. 이는 개별 표적이 최대한 많이 탐지되도록 하기 위한 설정이었다. 한편, 어류 추적 기법은 개별 표적의 그룹 (한 마리 어류, 즉 개체의 움직임)을 식별하고 그 움직임의 패턴을 추출하여 어류의 행동 연구 및 계수를 위한 목적으로 사용하고 있다. 이 추적 기법은 Blackman (Blackman, 1986)이 발표한 것을 근거로 개발한 알파 베타 어류 추적 알고리즘을 이용하였다. 이 어류 추적 알고리즘은 단위 시간에 대한 개별 표적의 이동량을 거리와 방향에 대하여 찾아 내는 것으로 초기값과 단위 시간 이후의 시간의 위치 (거리와 방향)를 신속하게 검색하여 그것이 동일한 개별 표적인지 확인하는 알고리즘이다. 이 어류 추적 기법은 4가지 단계 즉 1) 알파와 베타, 2) 게이트, 3) 가중치, 4) 트랙 허용 기준으로 나눌 수 있다. 각 트랙은 표적 후보의 위치를 예측할 때 알파와 베타를 사용하는데, 이 파라미터는 위치와 속도의 변화에 대한 감도에 관여한다. 그리고 관심 범위 (gate) 내에 있는 표적 후보자를 선택하는데, 이 게이트는 표적 후보가 다음 표적 후보와 어느 정도 가까운 범위 내에 존재하는지 결정하는 파라미터이다. 게이트 내의 표적 후보가 트랙 내 표적으로 할당하기 위하여 표적

Table 1. Parameter settings for single target detection and fish tracking

	Parameter name	Value
Single target detection	Target strength threshold	-65 dB
	Pulse length determination level	-6 dB
	Minimum normalized pulse length	0.3
	Maximum normalized pulse length	1.5
	Maximum beam compensation	10 dB
	Maximum standard deviation of minor-axis angle	1.2
	Maximum standard deviation of major-axis angle	1.2
Fish tracking	Major and minor-axes alpha	0.7
	Range alpha	0.7
	Major and minor-axes beta	0.5
	Range beta	0.5
	Major and minor-axes exclusion distances (m)	4
	Range exclusion distance (m)	0.4
	Major and minor-axes weighting (%)	30
	Range weighting (%)	40
	Minimum number of single targets in a track	3
	Minimum number of pings in a track	5
	Maximum gap between single targets	5

Table 2. Description of fish behavioral descriptors

Descriptor	Unit	Description
Target strength	dB re 1 m^2	Mean TS of the targets in a fish track.
Depth	m	Average depth over all targets in a fish track.
Swimming speed	m/s	The accumulated distance between targets divided by the total time.
Vertical direction	degree	It is calculated from a line drawn from the first to the last target in a fish track. The vertical direction of 0° describes a direction parallel to the X-Y (horizontal) plane (that is, no vertical direction), -90° means a downward direction, and 90° an upward direction.
Horizontal direction	degree	The horizontal direction is calculated from a line drawn from the first to the last target in a track. The horizontal directions is between 0° and 360° where 0° describes a direction either geographically northwards or towards the bow.
Tortuosity		It was calculated as the sum of the distances between adjacent targets in a detected track, divided by the straight line distance between the first and last targets in a track. A fish traveling in a straight line will have an index of tortuosity equal to 1. Fish traveling more circuitous paths will have index values greater than 1.
Depth change	m	The depth of the first target minus the depth of the last target in a fish track. The depth change with a plus sign means that the fish swims toward the water surface and the depth change with a minus sign shows that the fish swims toward the sea bottom.

후보의 alongship각, athwartship각, TS, 수심, 핑갭 (ping gap)의 값을 이용한다. 여기서, 이들 요소에 가중치를 줄 수 있는데, 예를 들어 표적 후보의 두 각을 각각 30%로, 수심을 40%로 사용할 경우 표적 후보를 할당할 때 두 각의 값을 각각 30%, 수심은 40% 비율로 표적의 할당을 결정한다. 트랙 내에 결정된 표적을 트랙 허용 기준을 통과해야 최종적으로 트랙으로 탐지된다. 여기서 트랙 허용 기준은 트랙 내에서의 최소의 표적수, 트랙 내 최소의 핑수, 표적 사이의 최대 핑갭 수이다. 이 연구에서 사용한 어류 추적 기법의 파라미터는 Table 1에 나타내었다. 이 기법으로 추출된 어류 행동 특성은 comma-separated values (CSV)형식으로 추출하였다. 이 연구에서 이용한 어류 행동 특성은 TS, 어류의 분포 수심, 유영 속도, 수직 변화 각도, 수평 변화 각도,

Tortuosity 및 수심 변화이며, 이들 특성의 상세한 설명은 Table 2에 기술하였다. 여기서 Tortuosity는 트랙 내에 인접하는 표적 사이의 거리의 총합에 첫번째 표적과 마지막 표적의 직선거리를 나누어 구한 값으로 어류 행동을 설명할 수 있는 파라미터이다. 예를 들어 어류가 직선으로 유영할 경우는 이 값은 1이 된다.

통계 검정

어류 행동이 일별로 차이가 있는지 확인하기 위해서 Welch 분산분석 (Analysis of Variance, ANOVA)을 이용하였다. 또한 TS와 다른 어류 행동 특성 사이의 상관관계를 알아보기 위하여 Kendall의 타우-b 방법을 이용하였다. TS는 어류의 체장과 큰 상관성을 가지고, 체장이 클수록 TS가 높아지는 경향을 보인다. 이것을 바탕으로 어류의 TS와 행동 특성 관계를 파악하고자 하였다.

결 과

음향 조사

어류 추적 기법을 이용하여 탐지된 어류 추적 에코그램을 Fig. 2에 나타내었다. 일별 탐지된 어류 추적 (fish track) 수는 각각 12,438, 12,376, 14,633이었으며, GPS 데이터에 의한 선박의 평균 표류 속도는 각각 0.18, 0.17, 0.15 m/s이었다.

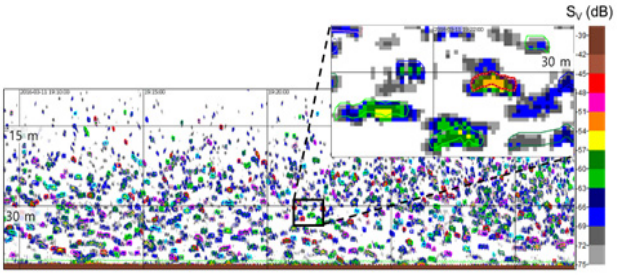

Fig. 2. Representative echograms including detected fish tracks. A number of fish tracks are expanded in the right upper panel. The color shows the volume backscattering strength (S_V, dB re m^{-1}).

일별 어류 행동 특성

3월 10, 11, 12일에서 TS 평균과 표준편차는 각각 -59.4±3.4 dB, -59.7±3.2 dB, -59.5±3.4 dB로 일별로 유사한 값이 관찰되었다. 유영 속도의 평균과 표준편차는 각각 0.4±0.2 m/s, 0.3±0.2 m/s, 0.3±0.2 m/s로 10일이 11일과 12일에 비하여 약간 더 빠른 것을 알 수 있으며, 또한 데이터의 중간 50%에 대한 범위는 각각 0.2~0.5 m/s, 0.2~0.4 m/s, 0.2~0.4 m/s의 범위에 있으며, 약 1 m/s 이상의 값도 관찰되었다. 수평 변화 각도의 최소와 최댓값은 거의 비슷하지만, 제1사분위수와 제3사분위수는 일별로 각각 101.7~271.8°, 69.0~273.8°, 115.1~278.0°로 3월 11일이 가장 다양한 수평 방향으로 유영하는 것

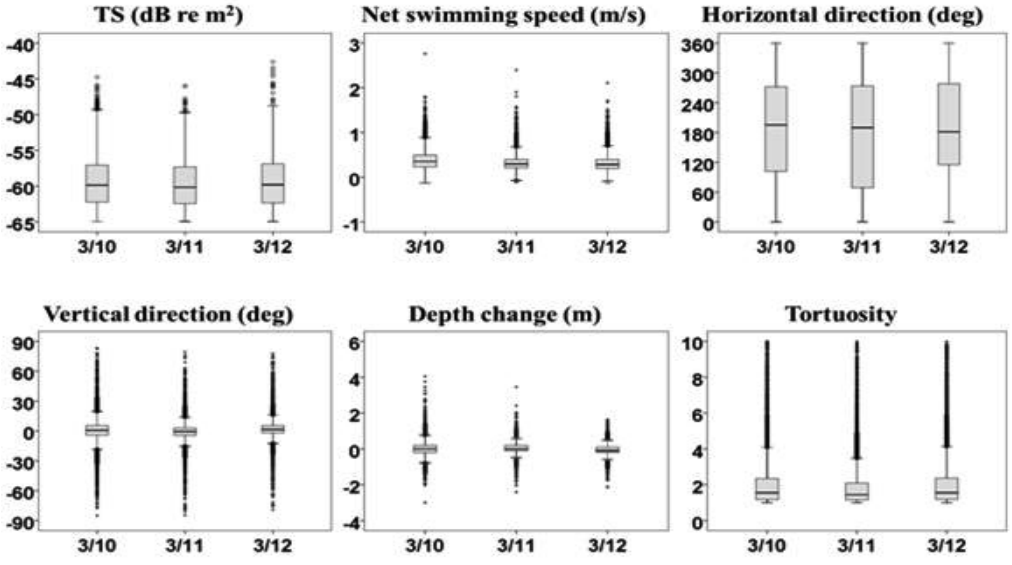

Fig. 3. Fish behavioral properties on 10th, 11th and 12th March using Box-and-Whisker Plots.

Table 3. Welch One-way ANOVA results on the behavioral properties

Behavioral properties	Grouping	SS	df	MS	F	p
TS	Between groups	766.8	2	383.4	34.6	0.000
	Within groups	436519.5	39,445	11.1		
	Total	437286.4	39,447			
Swimming speed	Between groups	33.7	2	16.9	498.1	0.000
	Within groups	1336.3	39,445	0.0		
	Total	1370.1	39,447			
Horizontal direction	Between groups	756,866.8	2	378,433.4	33.7	0.000
	Within groups	442,888,768.3	39,445	11,228.0		
	Total	443,645,635.0	39,447			
Vertical direction	Between groups	49,307.0	2	24,653.5	231.2	0.000
	Within groups	4,206,596.8	39445	106.6		
	Total	4,255,903.8	39447			
Depth change	Between groups	71.1	2	35.5	367.2	0.000
	Within groups	3,816.9	39,445	0.1		
	Total	3,888.0	39,447			
Tortuosity	Between groups	261.5	2	130.8	75.8	0.000
	Within groups	68,065.6	39,445	1.7		
	Total	68,327.1	39,447			
Target depth	Between groups	118,991.2	2	59,495.6	997.8	0.000
	Within groups	2,351,993.5	39,445	59.6		
	Total	2,470,984.7	39,447			

을 알 수 있다. 수직 변화 각도의 평균과 표준편차는 각각 0.51±2.0˚, -0.6±9.4˚, 2.1±9.5˚로 12일이 10일과 11일보다 다소 수면 쪽으로 향하고 있는 것을 알 수 있다.

일별 사분 범위는 각각 -4.1~5.4˚, -4.3~3.0˚, -1.7~5.4˚로 모든 어류의 반은 이 범위에 속해 있는 것을 알 수 있다. 삼일 간의 어류의 분포 수심의 평균과 표준편차는 각각 33.1±8.2 m, 29.7±7.3 m, 29.1±7.6 m로, 10일이 가장 깊고, 그 다음은 11일이며, 12일이 다소 분포 수심이 얕은 것을 알 수 있다. 수심 변화의 최소와 최댓값은 각각 -3.0과 4.0 m, -2.4와 3.5 m, -2.1과 1.6 m로 그 변화는 크지 않는 것을 알 수 있다. Tortuosity는 어류의 75%가 2.3 혹은 2.4를 나타내고, 10 이상의 값도 나타났다.

일별 어류 행동 특성의 통계 검정

일별 어류 행동 특성에 대한 Welch 통계량의 유의확률이 모두 0.05보다 작았다. 따라서 모든 어류 행동 특성들이 일별 유의하게 차이가 난다고 할 수 있다 (Table 3). 일별 어류 유영 행동 차이를 파악하기 위하여 사후 검정을 실시하였다. 등분산성이 만족되지 않아 사후 검정법의 Tamhane와 Games-Howell을 사용하였다. 사후 검정 결과는 수평 변화 각도에서 10일과 12일에는 유의한 차이는 없었고, Tortuosity도 10일과 12일에는 유의한 차이를 보이지 않았다. TS도 앞의 두 특성과 동일하게 11일이 10일과 12일에 비해 유의한 차이를 보였지만, 10일과 12일은 유의한 차이를 보이지 않았다.

Table 4는 트롤 조사를 수행한 결과로 정점별 어획된 어종, 평균 체장과 체중, 어획된 비율과 전체 중량을 나타내었다. 3월 11일은 평균 체장 13.6 cm의 전어가 23.6%의 어획 비율로 가장 많이 어획된 것을 알 수 있었고, 3월 11일이 10일과 12일보다 어획 우점종이 다르며, 특히 부어류 전어가 이 결과에 영향을 끼친 것으로 생각할 수 있다. 반면, 분포 수심, 유영 속도, 수직 변화 각도, 수심 변화는 일별 모두 유의한 차이가 있었다.

TS와 어류 행동 특성의 상관관계

TS와 어류 유영 행동 특성의 상관관계를 파악한 결과, TS와 유영속도는 매우 약한 양의 상관관계 ($r = 0.092$, $n = 39447$, $p < 0.05$)를 가졌다. TS와 수평 변화

Table 4. The catch results from the trawl survey

Date	Main species information				Total weight (kg)
	Species	Mean length (cm)	Mean weight (g)	Species weight/ Total weight (%)	
March 10	*Lophius litulon*	31.3	513.5	36.1	62.1
	Pseudopleuronectes yokohamae	27.1	225.5	17.9	30.9
	Liparis tanakai	56.2	2,116.9	11.1	19.1
	Konosirus punctatus	12.9(FL)	53.7	11.0	18.9
	Lepidotrigla microptera	22.5	121.6	5.9	10.2
	Pennahia argentata	17.7	67.2	5.3	9.1
	Okamejei kenojei	22.2(DW)	337.7	3.1	5.4
	Chelidonichthys spinosus	19.5	74.3	2.4	4.2
	Lateolabrax japonicus	75	3,200	1.9	3.2
	Pampus echinogaster	9.6(FL)	23.6	1.8	3.2
	Kareius bicoloratus	31.6	421.5	1.5	2.5
March 11	*Konosirus punctatus*	13.6(FL)	57.1	23.6	28.9
	Lophius litulon	32.7	624.1	17.9	21.8
	Pseudopleuronectes yokohamae	25.6	192.5	12.6	15.3
	Paralichthys olivaceus	58.0	2,456.6	10.0	12.3
	Lepidotrigla microptera	21.9	124.5	7.4	9.1
	Chelidonichthys spinosus	19.4	75.3	5.7	6.9
	Okamejei kenojei	25.2(DW)	383.1	4.1	5.0
	Pennahia argentata	19.0	82.2	4.0	4.8
	Kareius bicoloratus	31.4	347.5	3.7	4.5
	Liparis tanakai	56.2	2,225	3.6	4.5
	Pseudorhombus pentophthalmus gunther	18.4	60.4	1.5	1.9
March 12	*Lophius litulon*	32.1	554.8	24.0	31.1
	Pseudopleuronectes yokohamae	27.1	230.7	14.4	18.7
	Konosirus punctatus	13.5	47.7	13.1	17.0
	Liparis tanakai	53.5	2,015.6	10.9	14.1
	Paralichthys olivaceus	62.8	4,940.5	7.6	9.9
	Lepidotrigla microptera	23.0	151.7	5.6	7.3
	Kareius bicoloratus	32.6	404.4	5.3	6.9
	Chelidonichthys spinosus	18.9	69.3	5.0	6.4
	Thryssa kammulensis	8.7	16.0	3.0	3.9
	Pennahia argentata	18.2	67.3	2.8	3.6
	Pampus echinogaster	9.4	24.3	2.6	3.4

각도는 약한 양의 상관관계 ($r = 0.013$, $n = 39447$, $p < 0.05$), TS와 수직 변화 각도는 반대로 약한 음의 상관관계 ($r = -0.013$, $n = 39447$, $p < 0.05$)를 나타냈다. TS와 분포 수심은 양의 상관관계 ($r = 0.101$, $n = 39447$, $p < 0.05$)를 나타냈고, TS와 수심 변화 ($r = 0.008$, $n = 39447$, $p < 0.05$) 그리고 TS와 Tortuosity ($r = 0.079$, $n = 39447$, $p < 0.05$)도 약한 양의 상관관계를 나타냈다.

고 찰

국내에서 어류의 유영 속도에 관한 연구를 살펴보면, 통영 해상가두리에서 초음파 핑거 (50 kHz)를 이용하여 조피볼락 (25 cm)을 대상으로 조사한 유영 속도는 평균 0.6 m/s이었다 (Shin et al., 1997). 거제도 도장포 정치망 어장에서 부시리 (30 cm)를 대상으로 앞의 연구와 같은 핑거를 사용하여 조사한 결과, 시험어가 15 m 수심으로

잠수할 때의 유영 속도는 0.87 m/s, 수심 1~7 m에서는 0.52 m/s, 양망시의 유영 속도는 0.72 m/s (2.4 BL/s)의 변화를 보였다 (Shin and Lee, 1999). 홋카이도 분카만의 외부 해역에서 꽁치 (21.9 cm)를 대상으로 조사한 유영 속도는 0.73 m/s이었다 (Lee et al., 2010). 동해에서 어족 생물은 주간에는 전 수층에 고루 분포하다가 일몰 시간이 가까워질수록 평균 0.51 m/s의 속도로 상향 이동하였으며, 야간에는 표층과 중층에 분포하다가 일출이 다가오면 평균 0.41 m/s의 속도로 하향 이동하는 모습을 보였다 (Lee and Kim, 2001). 국외에서의 어류 유영 속도에 관한 연구를 보면, 농어류 어종 (yellow perch 와 Eurasian perch)의 유영 속도는 0.5~4 BL/s의 범위에 있다고 보고되었다 (Hergenrader and Hasler, 1967; Persson and Greenberg, 1990). 북미산 청어 (alewife)는 유영 속도가 1~4 BL/s의 범위를 가진다고 한다. 일반적으로 청어과 성어와 치어는 장기간 유영하는 속도의 상한치는 4~5 BL/s라고 한다 (Blaxter and Hunter, 1982). 그러나 먹이를 먹을 동안은 앞서 언급한 평상시보다 2.4~3.5배 증가한다고 한다 (Durbin et al., 1981). 그 외 어류의 유영 속도에 대한 연구에서는 1 BL/s 정도를 보고하고 있다 (Misund and Aglen, 1992; Huse and Ona, 1996). 다수의 문헌 조사를 통하여 여러 어종의 유영 속도는 1~19.4 BL/s으로 어종 및 어류가 처한 환경에 따라 상이한 차이를 보였다 (Bainbrideg, 1958). 이와 같이 국내외 연구에서 어류 유영 속도는 대상 어종, 해양환경, 상황 등에 따라 크게 다른 것을 알 수 있다. 본 연구에서 3일간의 평균 어류의 유영 속도는 33.3 cm/s이다. 이 연구에서 평균 TS는 -59.5 dB이고, 3일간의 트롤 어획 결과를 보면 전어가 우점종 중 하나인데, 전어는 Clupeidae과에 속하여 TS-체장식 ($TS_{38\ kHz}$ = 20 log L-71.9, Foote, 1987)을 이용하여 이 평균 TS에 해당하는 체장을 구할 수 있다. 이 식으로 계산된 체장은 약 4.2 cm로 계산된다. 앞서 언급한 청어과의 유영 속도인 4~5 BL/s 정도를 감안하면 16.8~21 cm/s가 된다. 이 연구의 평균 유영속도보다는 작지만, 현실적으로는 이 조사 해역에 서식하는 정확한 어종을 알 수 없는 점, 따라서 정확한 TS-체장식을 사용할 수 없으며, 여러 환경 요소에 의한 유영 속도가 바뀌는 점 등을 감안한다면 수용할 수 있는 유영 속도의 범위라고 생각한다.

일반적으로 TS는 대상 생물 종, 유영 자세각 등의 요인으로 가장 크게 변동한다. 이 연구에서 3월 11일에서의 TS가 10일과 12일의 TS와 차이를 보이는 원인을 해양 환경 요인 중 용승류와 플랑크톤의 움직임과 관련 있는 조수 세기에 있는지를 살펴보았다. 통영 (34˚50′, 128˚26′)에서 3월 10~12일의 물때는 각각 9, 10, 11물 (한사리, 목사리, 어깨사리)이었고, 해수면의 높이는 2번의 만조와 간조에서 10일은 294, 287 cm와 -30, -27 cm, 11일은 289, 284 cm와 -28, -26 cm, 12일은 273, 271 cm와 -14, -14 cm이었다 (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, 2016). 따라서 10일과 11일은 조수의 최대 세기를 보이지만, 12일은 그보다 약한 조수 세기임을 알 수 있다. 11일에서의 TS가 10과 12일에서의 TS와 차이가 용승류와 플랑크톤의 움직임으로 기인하는 조수 세기에 기인하는 것은 아니라는 것을 알 수 있다. 국지적인 해역일지라도 다각적인 해양 환경 요인이 어류 유영 행동에 영향을 미친다고 판단하여 보다 총괄적인 해양 환경 정보가 필요하다고 생각된다.

이 연구에서는 분산분석을 사용하여 일별 어류 행동 특성의 차이를 검정하였다. 이 분산분석은 집단의 비교와 차이, 관계성 등의 규명이 필요할 경우 유용하게 사용하고 있으며, 수산과학에도 자주 이용되고 있다. 지중해의 아드리아와 카탈로니아해에서 멀티빔소나 (Seabat 6012, 455 kHz)와 과학어탐 (Biosonics, 38 kHz)의 데이터를 처리하여, 다원배치 분산분석을 통하여 표층 어군 다양한 크기에 환경적인 변수의 기여를 평가하였다 (Soria et al., 2003). 우리나라 남해안에 서식하고 있는 멸치종을 대상으로 주파수차법을 이용하여 종 식별 결과를 통계적으로 검정한 연구도 있다 (Kang et al., 2016). 그리고 미국의 Superior 호수에 서식하는 어류의 생물량이 계절, 달의 형상, 수심에 따라 통계학적인 차이가 있는지를 조사하였다 (Yule et al., 2007). 해양 생물은 주야간, 날짜, 계절, 수온, 해류, 조석, 먹이 등의 다양한 해양환경요인에 의해서 그 행동 및 분포를 달리한다고 알려져 있다. 통계분석을 이용하여 이와 같은 다각적으로 수집한 데이터간의 상호관계를 조사할 수 있으며, 또한 어느 환경 요인이 해양 생물의 군집 형상 혹은 밀도에 더 큰 영향을 끼치는 지 등을 파악할 수 있다. 앞으로 이 연구에서 조사 해역의 대상 어류를 보다 총괄적인 이해를 위하여 위에서 언급한 다양한 정보를 취득하여 다원량 분석방법 등을 활용하고자 한다.

수산 자원의 과학 조사를 수행하기 위해서는 상당한 비용과 인력 등이 필요하므로, 과학 조사를 통하여 수집한 다양한 자료를 효율적이면서 충분히 활용하는 것은 매우 중요하다고 생각한다. 수산 자원의 음향 조사는 장기간 그리고 규칙적이고 지속적인 조사를 수행하는 것이 가장 이상적이지만, 여러 가지 상황상 이러한 모니터링 조사가 어려울 경우라도 수집한 데이터의 다양한 활용은 여러 가지 측면에서 가치있다고 판단하며, 이 연구와 같은 활용도 그 한 예라고 할 수 있다.

결 론

이 연구는 우리나라 남해안 욕지도 주변해역에서 과학어탐을 이용하여 수집한 음향데이터를 어류 추적 기법 (한 마리 어류가 이동하는 움직임을 추적하는 방법)으로 분석하여 어류 개체에 대한 유영 행동 특성, 특히 일별 어류 행동 차이를 파악하여, 이 조사해역에서 서식하는 어류의 기초적인 행동 정보를 제공하고자 하였다. 일별 어류 행동 특성을 보면 그 차이가 미소하지만, 분포 수심은 10, 11, 12일 순서로 깊으며, 유영 속도는 10일이 가장 빠르고 11일과 12일은 비슷하였다. 수직 변화 각도는 12, 11, 10일, 수평 변화 각도는 10, 12, 11일 순서로 높았으며, Tortuoisty는 10과 12일은 같고 그 다음이 11일, 수심 변화는 12, 11, 10일 순서로 높았다. 일별 어류 행동 특성에 대한 Welch 분산분석의 결과, 모든 어류 행동 특성들이 날짜 간에 유의하게 차이를 나타내었다. 사후 검정 결과는 TS는 11일이 10일과 12일에 비해 유의한 차이를 보였지만 10일과 12일은 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 3월 11일은 어획 비율이 가장 높은 전어가 이 결과에 영향을 끼친 것으로 생각할 수 있다. 분포 수심, 유영 속도, 수직 변화 각도, 수심 변화는 일별 모두 유의한 차이가 있었다. 한편, TS와 다른 행동 특성과는 매우 약한 상관관계를 가졌다.

사 사

본 연구는 2017년도 국립수산과학원 (R2017025)의 지원을 받았으며 경상대학교와 공동으로 수행되었습니다. 조사에 도움을 주신 국립수산과학원 탐구20호 직원 분들께 감사를 드립니다. 논문의 완성도를 높일 수 있도록 유익한 지적과 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님께 감사드립니다.

References

Bainbridge R. 1958. The speed of swimming of fish as related to size and to the frequency and amplitude of the tail beat. J Exp Biol 35, 109-133.

Blackman SS. 1986. Multiple-target tracking with radar applications. Artech House, Dedham, U.S.A., 463.

Blaxter JHS and Hunter JR. 1982. The biology of clupeiods fishes. Adv Mar Biol 20, 1-223.

Durbin AG, Durbin EG, Verity PG and Smayda TJ. 1981. Voluntary swimming speeds and respiration rates of a filterfeeding planktivore, the Atlantic menhaden. *Brevoortia tyrannus* (Pisces: Clupeidae). Fish Bull 78, 721-729.

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)

Foote KG, Knudsen HP, Vestnes G, MacLennan DN and Simmonds EJ. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. ICES Coop Res Rep 44.

Hattori S. 1964. Studies on fish larvae.in the Kuroshio and adjacent water. Bull Tokai Reg Fish Res Lab 40(1), 1-111.

Hergenrader GL and Hasler AD. 1967. Seasonal changes in swimming rates of yellow perch in Lake Mendota as measured by sonar. Trans Am Fish Soc 96(4), 373-382.

Huse I and Ona E. 1996. Tilt angle distribution and swimming speed of overwintering Norwegian spring spawning herring. ICES J Mar Sci 53(5), 863-873.

Kang M, Zhang H, Seo YI, Oh TY and Jo HS. 2016. Exploratory study for acoustical species identification of anchovies in the South Sea of South Korea. Thalassas 32(1), 1-10. (DOI:10.1007/s41208-016-0013-y)

Korea Hydrographic and Oceanographic Agency. 2016. Korea ocean observing and forecasting system. World wide web, electronical publication. http://www.khoa.go.kr/kcom/cnt/selectContentsPage.do?cntId=31080000

Kubecka J and Duncan A. 1998. Diurnal changes of fish behaviour in a lowland river monitored by a dual-beam echosounder. Fish Res 35(1), 55-63.

Lee DJ and Kim SG. 2001. A study on the diel distribution

and activity patterns of fishes in the Korean Eastern sea. Bull Korean Soc Fish Technol 37(2), 85-94.

Lee DJ and Shin HI. 1999. Fish tracking with a split beam echo sounder -measurements of swimming speeds-. Bull Korean Soc Fish Tech 35(3), 301-311.

Lee KH, Lee DJ, Kim HS and Park SW. 2010. Swimming speed measurement of Pacific saury (*Cololabis saira*) using acoustic Doppler current profiler. J Kor Soc Fish Tech 46(2), 165-172. (doi: 10.3796/KSFT.2010.46.2.165)

Loures RC and Pompeu PS. 2015. Seasonal and diel changes in fish distribution in a tropical hydropower plant tailrace: evidence from hydroacoustic and gillnet sampling. Fish Manag Ecol 22(3), 185-196. (DOI:10.1111/fme.12116)

Misund OA and Aglen FA. 1992. Swimming behaviour of fish schools in the North Sea during acoustic surveying and pelagic trawl sampling. ICES J Mar Sci 49(3), 325-334.

Park KD, Myoung JG, Kang YJ and Kim YU. 2005. Seasonal variation of abundance and species composition of ichthyoplankton in the coastal water off Tongyoung, Korea. J Kor Fish Soc 38(6), 385-392.

Persson L and Greenberg LA. 1990. Optimal foraging and habitat shift in perch (*Perca fluviatilis*) in a resource gradient. Ecology 71(5), 1699-1713.

Pollom RA and Rose GA. 2015. Size-based hydroacoustic measures of within-season fish abundance in a Boreal freshwater ecosystem. PLoS ONE 10(4), e0124799. (DOI : 10.1371/journal.pone.0124799)

Sajdlová Z, Dratk V, Jza T, Říha M, Frouzová J, Kratochvíl M, Vašek M, Muška M, Blabolil P, Tušer M, Kubečka M, Peterka J, Mrkvička T, Balk H and Kubečka J. 2015. Fish behaviour in response to a midwater trawl footrope in temperate reservoirs. Fish Res 172, 105-113.

Senta T. 1964. Study on the distribution of egg and larvae of fishes in adjacent water to western Japan. Bull Fish Exp Stn Okayama Pref Spec. 80.

Shin HI, An YW and Shin HO. 1997. A study on the telemetry system for the inhabitant environments and distribution of fish-1-Sea temperature, salinity and distribution of fish-. Bull Korean Soc Fish 33(4), 321-333.

Shin HO and Lee JH. 1999. Behavior of amber fish, *Seriola aureovittata* released in the setnet. Bull Korean Soc Fish Tech 35(2), 161-169.

Shin HO, Tae JW and Kang KM. 2004. Acoustic telemetric tracking of the response behavior of red seabream (*Chrysophrys major*) to artificial reefs. J Kor Fish Soc 37(5), 433-439.

Soria M, Bahri T and Gerlotto F. 2003. Effect of external factors (environment and survey vessel) on fish school characteristics observed by echosounder and multibeam sonar in the Mediterranean Sea. Aquat Living Resour 16(3), 145-157.

Soule M, Barange M, Solli H and Hampton I. 1997. Performance of a new phase algorithm for discriminating between single and overlapping echoes in a split-beam echosounder. ICES J Mar Sci 54(5), 934-938.

Tan X, Kang M, Tao J, Li X and Huang D. 2011. Hydroacoustic survey of fish density, spatial distribution, and behavior upstream and downstream of the Changzhou Dam on the Pearl River, China. Fish Sci 77(6), 891-901. (DOI:10.1007/s12562-011-0400-5)

Torgersen T and Kaartvedt S. 2001. *In situ* swimming behaviour of individual mesopelagic fish studied by split-beam echo target tracking. ICES J Mar Sci 58(1), 346-354.

Yule DL, Adams JV, Stockwell JD, Gorman OT. 2007. Using multiple gears to assess acoustic detectability and biomass of fish species in lake superior. N Am J Fish Manage 27(1), 106-126.

2016. 10. 13 Received
2017. 05. 08 Revised
2017. 05. 08 Accepted