

## 수중음향을 이용한 노무라입깃해파리의 행동 및 음향산란특성

윤은아 · 황두진\* · 신형호  
전남대학교 해양기술학부

### *In situ* behavioral and acoustic characteristics of the large jellyfish *Nemopliema nomurai* by target tracking

Eun-A YOON, Doo-Jin HWANG\* and Hyeong-Ho SHIN

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

The aim of this study is to find out the behavior and acoustic backscattering of the large jellyfish *Nemopliema nomurai* using hydroacoustics *in situ*. *N. nomurai* was distributed at depths ranging from 10~15 m during the day. Regarding the behavior of *N. nomurai*, there was no significant change in depth, and 3D tortuosity was not high. The vertical direction was  $\pm 10^\circ$  from the horizontal, and moving speed was 0.9~1.5 m s<sup>-1</sup>. With regard to hydro-acoustical characteristics, the mean TS of *N. nomurai* ranged from -69.6~-56.0 dB at 38 kHz and -69.4~-54.5 dB at 120 kHz. TS variation (Max TS-Min TS) at 38 and 120 kHz was 0~10.2 dB and 0.2~16.0 dB, respectively. Mean TS and TS variation (Max TS-Min TS) of *N. nomurai* were higher at 120 kHz than at 38 kHz. The results showed that the use of hydroacoustics was effective in estimating the distribution depth, behavior, and acoustic characteristics of the target.

Keywords: Acoustic, Target strength, Single target, *Nemopliema nomurai*

#### 서론

수중음향을 이용하여 노무라입깃해파리의 밀도 및 현존량을 추정하기 위해서는 음향산란특성 (target strength, TS)가 중요한 적용 계수이며, 이 TS는 노무라입깃해파리의 행동 특성에 의존하기 때문에 이것 또한 파악되어야 한다. 전통적으로 대상 생물의 행동을 파악하기 위해서는 어구나 스킨 스쿠버의 관측 방법 등이 이용되었으나, 최근에는 전자, 통신, IT 기술의 발달로 어군탐지기, DIDSON (Dual-frequency IDentification SONar) 등

의 수중음향 장비를 이용하여 계측하는 방법이 널리 사용되어지고 있다.

이와 관련된 연구는 주로 어류를 대상으로 이루어졌지만, 최근에는 Krill이나 해파리와 같이 음향에 약한 산란을 가지는 생물로 확대되어지고 있다. 특히, 체내가 젤라틴으로 구성된 해파리는 음향을 이용하면 샘플의 손상과 외부자극 없이 행동학적 특성을 파악할 수 있기 때문에 유용한 방법 중의 하나이다 (Båmstedt et al., 2003; Chu et al., 2003; Klevjer and Kaartvedt,

\*Corresponding author: [djhwang@jnu.ac.kr](mailto:djhwang@jnu.ac.kr) Tel: 82-61-659-7126, Fax: 82-61-659-7129

2003; Klevjer and kaartvedt, 2006; Kaartvedt et al., 2007; Dupont et al., 2009; Klevjert et al., 2009)

최근까지 우리나라에 대량 출현하는 노무라입깃해파리에 대한 행동 특성은 Lee et al. (2007), Lee et al. (2010), Honda and Watanabe (2007), Honda et al. (2009), Hirose et al. (2012)에 의해 카메라, tag, pinger, 음향, 네트 등을 이용한 연구는 일부 이루어졌지만, *in situ*에 수중음향을 이용한 행동 및 이에 결합한 음향학적 특성에 관한 연구는 아직 이루어지지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 주파수 38과 120 kHz를 이용하여 노무라입깃해파리의 분포 수심, 행동 특성을 파악할 뿐만 아니라 현장 TS도 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 조사 해역

본 조사는 2010년 6월 26일 동중국해에서 전남대학교 실습선 동백호 (GT: 1,050, HP: 2,200)를 이용하여 수행하였다. 음향 조사가 수행된 해역은 노무라입깃해파리가 대량으로 출현했던 해역을 중심으로 선박을 drifting하여 약 50분 (14:30~15:20)동안 노무라입깃해파리의 에코를 관측하였고, 에코 관측 전에 CTD (SBE 19, Sea-bird)를 이용하여 조사 정점의 해양환경을 파악하였다.

### 음향 조사 장비

음향 조사 시스템은 실습선의 선저에 설치된 주파수 38과 120 kHz split-beam 방식의 계량어군탐지기 (EK-500, Simrad)를 이용하였으며, GPS (GP-50 Mark3, Furuno)의 수신기에서 연속적으로 위치 정보를 수신하여 계량어군탐지기의 시스템에 입력하였다. 또한, RS-232C 인터페이스를 통하여 계량어군탐지기의 음향 자료와 위치 정보를 노트북에 연속적으로 화면에 나타냄과 동시에 하드디스크에 수록하였다.

### 샘플링

본 연구에서 사용된 FMT는 프레임 입구가 가로 2.0 m × 세로 2.0 m (4.0 m<sup>2</sup>)로 이루어져 있고, 그물코는 0.3 mm이었다. FMT의 입구 상부에는 양망 후 예망 수심 궤적을 알 수 있는 자기 기록식 수온 수심계 (Temperature and Depth Recorder, TDR)를 부착하였고, 입구 하부에 FMT를 해상에 투망한 즉시 예망 수심을

관독할 수 있는 어구입망모니터링시스템 (PI32, Simrad)도 추가로 부착하여 에코가 나오는 층별로 나누어 그 수심에 예망되도록 끌줄의 길이로 네트의 예망 수심을 조절하였다.

먼저, 선박을 drifting하여 에코그램을 관측한 후 에코가 나타나는 수심 (12, 19, 26 m)을 FMT를 이용하여 샘플을 채집하였다. 여기서 수심별 샘플 채집은 12 m 수층의 경우 2회 (St. 1, 2), 19 m (St. 3)와 26 m (St. 4) 수층은 각각 1회씩 이루어졌다 (Fig. 2). 또한, FMT는 약 2-4노트의 선속을 유지하며, 약 10분간 예망하였다 (Table 1). FMT에 의해 어획된 노무라입깃해파리는 개체수 (n)로 계수하였고, 구완을 제거한 후 공기 중 우산의 직경 (Bell diameter, BD)을 측정하였다.

### 음향 자료 분석

Single 에코는 TS 에코그램에서 40logR로 설정하여 관측하였으며, 주파수 38과 120 kHz의 threshold는 약한 산란체와 노이즈의 강도가 포함되는 것을 최소화하기 위해서 -70 dB로 설정하였다.

Split-beam은 진동자의 음축으로부터 떨어진 target의 위치, 이동 패턴 등의 행동학적인 특성을 명확히 알 수가 있다. 따라서, drifting 조사에서 수집된 자료 중 노무라입깃해파리만 분포하는 수심의 single 에코를 분석하여 노무라입깃해파리의 행동 및 음향학적 특성을 파악하였다.

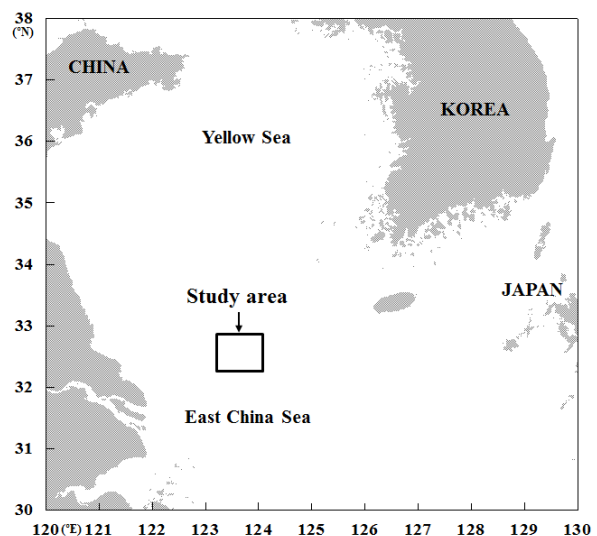


Fig. 1. Survey area for measuring behavioral characteristics and target strength (TS) of *N. nomurai* *in situ*.

**Table 1. Time, location, and depth of FMT survey to know depth of *N. nomurai* distribution**

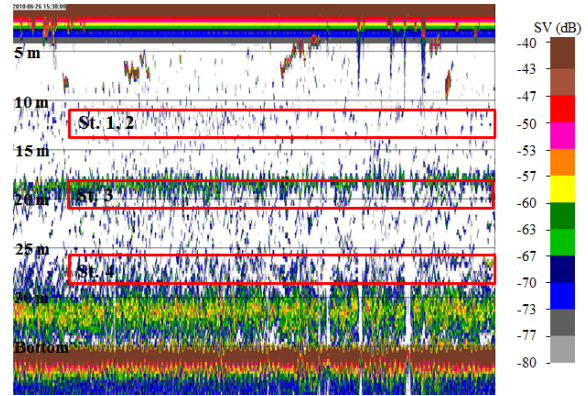
	Station			
	1	2	3	4
Time	15:44-15:55	16:05-16:15	16:25-16:34	16:42-16:53
Latitude (N)	32°40.88′	32°40.22′	32°39.41′	32°38.67′
Longitude (E)	123°47.35′	123°47.84′	123°48.10′	123°48.35′
Towing depth (m)	12	12	19	26

**Table 2. Setting parameters for the detection of tracks of *N. nomurai* using acoustic data at 38 and 120 kHz (Echoview ver. 3.0, Myriax)**

Item	Parameter	Value
Track detection	Alpha for major and minor axes and range	0.7
	Beta for major and minor axes and range	0.5
Target gates (m)	Exclusion distance for major and minor axes	2.0
	Exclusion distance for range	0.2
Weights (%)	Major axis	30
	Minor axis	30
	Range	40
Track acceptance	Minimum number of single targets and pings in a track	3
	Maximum gap between single targets	2

**Table 3. Explanation of target track analysis variables (Echoview ver. 3.0, Myriax)**

Variable	Unit	Explanation
Mean TS	dB re 1m <sup>2</sup>	The mean in the linear domain of the TS values of the single targets in the target track
TS variation	dB re 1m <sup>2</sup>	The maximum TS minus the minimum TS of the single targets in the target track
Depth change	m	The depth of the first target minus the depth of the last target in a track
3D tortuosity	-	The sum of the distances in a track divided by the distance from the first to last targets in the track, measured in 3 dimensional space, using angle data
Vertical direction	degrees	Calculated from a straight line drawn between the first and last target in a track
Moving Speed	m s <sup>-1</sup>	The accumulated disatance between targets in the track over the total time, measured in 3 dimensional space, using angle data



**Fig. 2. Examples of echogram at 38 kHz. Sampling was conducted at depths of 12 m in St. 1 and 2, at 19 m in St. 3, and at 26 m in St. 4.**

노무라입깃해파리의 행동 특성은 음향분석소프트웨어 (Echoview ver. 3.0, Myriax)의 single target detection에서 detect fish tracks 기능을 이용하여 파악하였다. 노무라입깃해파리의 tracks를 탐지하기 위한 파라미터는 Table 2에 나타낸 바와 같다. Table 2의 파라미터로 설정하여 노무라입깃해파리의 행동 특성은 이동 수심, 3D tortuosity, 수직이동 방향, 유영 속도를 알아보고, 이것을 계산한 방법을 Table 3에 표현하였다.

## 결 과

### 해양환경

Fig. 3은 drifting 조사 정점에서 관측된 수온과 염분의 수직 분포를 나타낸 것이다. 수온은 15.4~21.0℃의 범위이었고, 수심 12~17 m에서 19.2℃에서 15.9℃로 급격히 감소하는 수온약층을 나타내었다. 염분은 29.9~30.9 psu범위이었고, 표층에서 수심 12 m까지는 약 30.0 psu로 비슷하게 나타나다가 수심 17 m에서는 30.8 psu 이상으로 증가하였다.

### 수층별 FMT의 샘플링

Fig. 2의 에코그램을 통하여 FMT로 수심 12, 19, 26 m를 예망하여 어획된 샘플을 Fig. 4에 나타내었다. 어획된 샘플을 보면 St. 1과 St. 2 (12 m)에서는 노무라입깃해파리만 어획되었고, 어획 개체수는 각각 25, 30개 체이었다. St. 3 (19 m)과 St. 4 (26 m)는 대부분 살파류가 우점하였고, 노무라입깃해파리는 각각 2, 3개체가 어획되었다. 따라서, 수심 12 m층은 노무라입깃해파리가 우점하여 분포하는 층임을 파악하였다. 이 층에서

어획된 노무라입깃해파리의 공기 중 우산의 직경은 St. 1에서 13.0~28.0 cm (평균 19.4 cm), St. 2에서 11.0~50.5 cm (평균 21.1 cm)이었다 (Fig. 5).

**노무라입깃해파리의 행동 특성**

노무라입깃해파리의 행동은 노무라입깃해파리만 분포하는 수심 10~15 m를 분석하였고, 그 때 설정된 tracks은 38 kHz에서 285 tracks, 120 kHz에서 148 tracks이었다.

노무라입깃해파리의 상대이동 수심은 중간값 0 m를 기준으로 -0.7~0.6 m의 변화를 보였고, 3D tortuosity는 1.0~7.7이었지만, 25~75% 범위는 1.0~1.6을 나타내었다. 또한, 수직이동 방향은 -61.6~67.2°로 이동 방향이 다양하게 나타났으나, 25%는 하강하는 마이너스 (-)이동을 보였고, 50%이상은 상승하는 플러스 (+)로 이동하였으며, 대부분 ±10°의 수평으로 이동함을 알 수 있었다. 유영 속도는 25~75% 범위가 0.9~1.5 m s<sup>-1</sup>이었고, 중간값은 1.2 m s<sup>-1</sup>를 나타내었다 (Fig. 6).

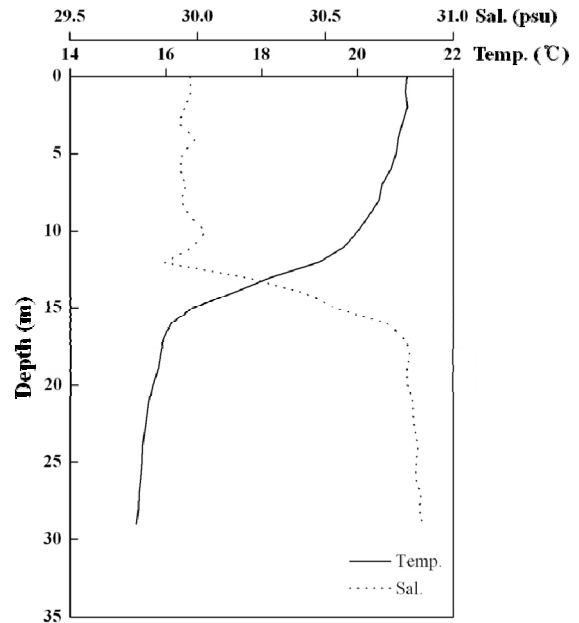


Fig. 3. Vertical distribution of temperature (°C) and salinity (psu) at drifting station.

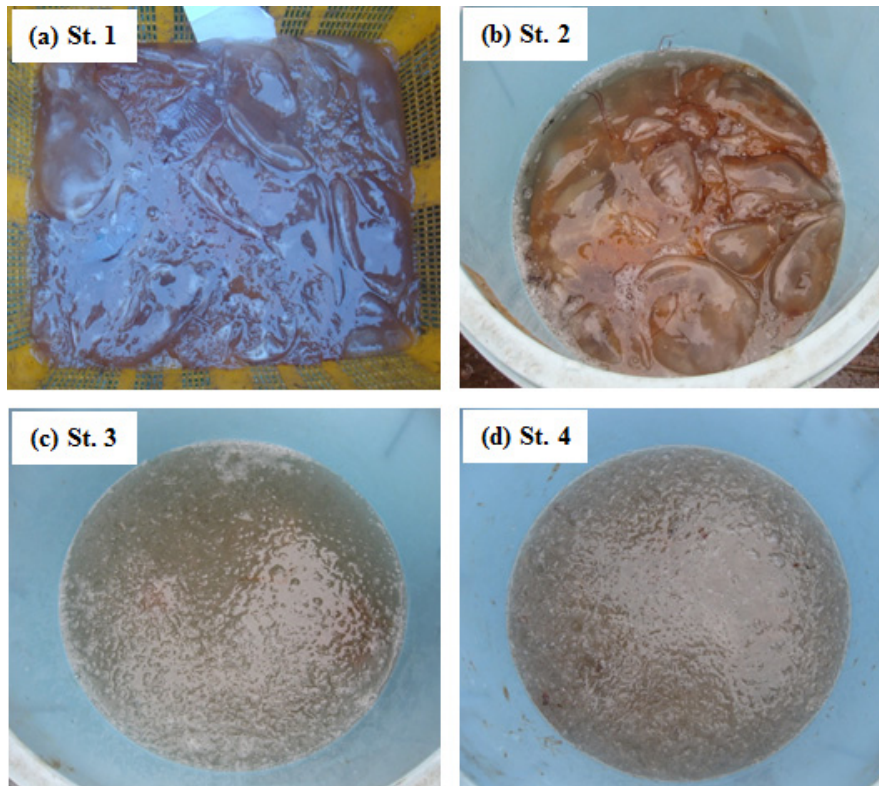


Fig. 4. Pictures of sample caught at St. 1 (12 m), St. 2 (12 m), St. 3 (19 m) and St. 4 (26 m) by FMT. St. 1 and 2 caught *N. nomurai* only.

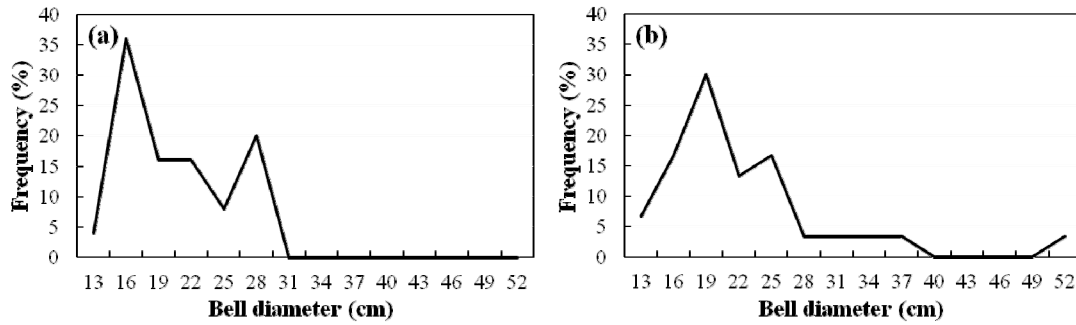


Fig. 5. Bell diameter in air of *N. nomurai* caught by FMT at (a) St. 1 and (b) St. 2.

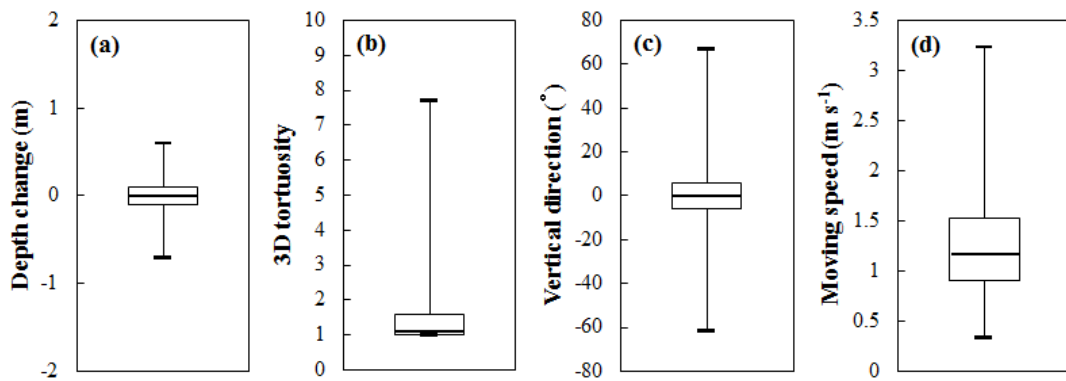


Fig. 6. Behavioral characteristics in (a) depth change, (b) 3D tortuosity, (c) vertical direction, and (d) moving speed of *N. nomurai* at 38 kHz. Box plot indicates 25~75 percentiles of values, the centerline is the median, and the vertical line extends to the maximum and minimum values.

Tracks에서 노무라입깃해파리의 TS

Fig. 7은 수심 10~15 m에서 주파수 38과 120 kHz에 탐지된 모든 track의 평균 TS와 TS (max-min)의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 7a에서 보는 바와 같이 평균 TS는 38 kHz에서 -69.6~-56.0 dB, 120 kHz에서 -69.4~-54.5 dB의 범위를 보였고, 각각 -67과 -66 dB에서 최대 모드를 나타냈다. 최대 TS와 최소 TS의 차이는 38kHz에서 0~10.2 dB, 120kHz에서는 0.2~16.0 dB으로 최대 모드는 각각 2, 3 dB이었다 (Fig. 7b). 평균 TS와 TS의 변화는 38 kHz보다 120 kHz에서 더 높게 나타났고, 분포 모드는 38 kHz와 120 kHz 모두 비슷한 형태를 보였다.

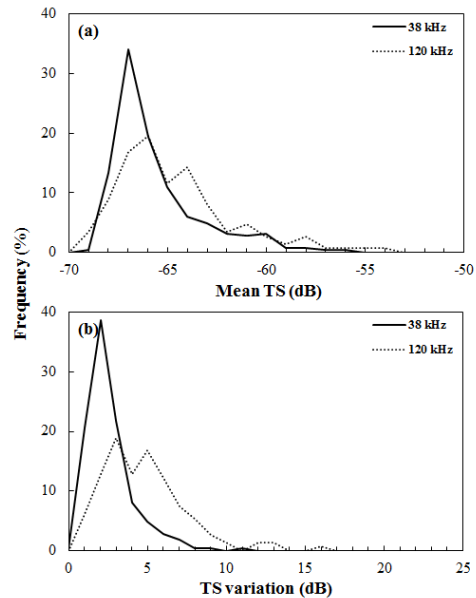


Fig. 7. Distribution of (a) mean TS and (b) TS variation (max-min) in all tracks detected at 38 and 120 kHz *in situ*.

## 고찰

### 노무라입깃해파리의 분포 수심

노무라입깃해파리는 수온약층이 형성되는 10~15 m 사이에서 다른 종과 혼합되어 있지 않고 개체로 분포하였고, 분포하는 층의 수온은 16.6~20.0°C, 염분은 29.9~30.4 psu를 나타내었다. Lee et al. (2007)은 2006년 8월 동중국해에서 광학 카메라를 이용하여 노무라입깃해파리의 분포 수심을 파악하였는데, 주간에는 0~10 m인 수온약층의 상층, 야간에는 30 m인 수온약층까지 분포하였고, 분포 수심의 수온은 10~28°C이었다. 또한, Lee et al. (2010)은 2007년 7월 동중국해에서 계량어군탐지기로 노무라입깃해파리가 수심 0~60 m까지 분포하는 것을 계측하였고, 대부분 수심 0~50 m (98.6%)에서 관측되었으며, 분포한 수온은 8~26°C를 나타내었다. Honda and Watanabe (2007)는 중층트롤 어구에 카메라를 부착하여 노무라입깃해파리의 분포 수심을 관측하였고, 주로 약층보다 상층의 고수온, 저염분에 분포하였다. Pop-up archival transmitting tag와 pinger를 부착한 노무라입깃해파리는 최소 0 m에서 최대 176 m까지 이동하였으나 대부분 평균 40 m 이하에서 관측되었으며, 수온은 7.5~23.4°C이었다 (Honda et al., 2009).

### 노무라입깃해파리의 행동 파악

노무라입깃해파리의 이동 수심은 -0.7~0.6 m로 수심의 변화가 크게 나타나지 않았고, 그 때의 수직이동 방향은 대부분 약  $\pm 10^\circ$ 의 수평 이동을 보였다. Lee et al. (2010)은 광학 카메라로 관측된 노무라입깃해파리의 유영 자세각은  $-15.8 \sim 11.0^\circ$ 사이로 대부분 우산을 수평 방향으로 움직였다. Honda et al. (2009)는 노무라입깃해파리의 유영 방향은 해류의 방향과 동일한 수평 이동을 보인다고 보고하였다. 또한, 본 연구에서 측정된 노무라입깃해파리의 유영 속도는 대부분  $0.9 \sim 1.5 \text{ m s}^{-1}$ 이었으나, PTV (Particle Tracking Velocimetry) 기술로 유속의 영향을 고려하여 계측한 노무라입깃해파리의 유영 속도는 약  $0.1 \sim 0.5 \text{ m s}^{-1}$ 로 우산 직경과의  $0.46 \sim 0.89BD$ 로 나타났다 (Lee et al., 2010). St. 1과 St. 2에서 채집된 해파리의 우산 직경은 11.0~50.5 cm로 이것을 Lee et al. (2010) 연구 결과 식에 대입하면 노무라입깃해파리의 유영 속도가  $0.05 \sim 0.4 \text{ m s}^{-1}$ 가 되어야 하지만 본

연구 결과는 Lee et al. (2010) 결과보다 유영 속도가 빠르게 나타난 것으로 이것은 현장에서의 유속 영향은 고려하지 않았기 때문으로 생각된다. 현장에서 노무라입깃해파리의 속도는 유속의 영향을 크게 받는 것으로 추후에는 유속의 영향을 고려하여 음향학적으로 유영 속도를 파악할 필요가 있을 것으로 사료된다.

### 노무라입깃해파리의 *in situ* TS

현장에서 echo tracking에 의한 노무라입깃해파리의 평균 TS는 38 kHz보다 120 kHz에서 높게 나타났다. Hirose et al. (2007)의 연구 결과 음향 모델에 의한 노무라입깃해파리의 주파수 특성이 38 kHz 보다는 120 kHz에서 높게 나타났다. Yoon et al. (2012)는 현장에서 계측한 노무라입깃해파리의  $\Delta MVBS_{120-38}$ 은  $-2.2 \sim 5.6 \text{ dB}$ ,  $\Delta TS_{120-38}$ 은 0.1 dB과 0.6 dB으로 120 kHz에서 높게 나타났으나 큰 차이를 보이지는 않았다. 또한, 노무라입깃해파리의 평균 TS와 TS의 변화는 38 kHz 보다는 120 kHz에서 더 높은 차이가 나타났고, 평균 TS가 높아질수록 TS의 변화가 더 커지는 경향을 보였다. Hirose et al. (2007)은 노무라입깃해파리의 유영 자세각에 따라 TS의 변화가 38 kHz에서는 약 15 dB, 120 kHz에서는 약 30 dB의 차이를 나타내었고, Lee and Hwang (2009)는 박동에 따라 38 kHz에서는 8.5 dB, 120 kHz에서 15.1 dB의 차이로 유영 자세각 및 박동의 유영 행동 변화에 따른 TS는 38 kHz 보다는 120 kHz에서 더 크게 나타났기 때문에 현장에서 TS의 변화는 38 kHz 보다 120 kHz에서 더 높게 나타난 것으로 사료된다.

## 결론

본 연구에서는 음향과 네트를 이용하여 노무라입깃해파리의 분포 수심을 알아보았고, echo tracking을 통한 현장에서 노무라입깃해파리의 행동과 음향학적 특성을 파악하였다. 노무라입깃해파리는 낮 시간대에 수온약층이 형성되는 수심 10~15 m 부근에서 다른 개체와 혼합하지 않고 단일 개체로 분포하였다. 행동 특성 가운데 이동수심과 3D tortuosity의 변화는 크지 않았고, 수직이동 방향은 대부분  $\pm 10^\circ$ 의 수평 방향으로 이동하였으며, 유영 속도는 대부분  $0.9 \sim 1.5 \text{ m s}^{-1}$ 인 것을 알 수 있었다. 또한, 노무라입깃해파리의 평균 TS 및



최대 TS와 최소 TS의 차이는 38 kHz보다 120 kHz에서 높게 나타났다. 이와 같이 수중음향은 에코그램을 통하여 대상 생물의 분포 수심뿐만 아니라 행동 및 음향학적 특성을 파악하는데 유용하게 이용되어 질 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- Bämstedt U, Kaartvedt S and Youngbluth M. 2003. An evaluation of acoustic and video methods to estimate the abundance and vertical distribution of jellyfish. *J Plankton Res* 25, 1307-1318. (doi: 10.1093/plankt/fbg084)
- Chu D, Jech JM and Lavery A. 2003. Inference of geometrical and behavioural parameters of individual fish from echo-trace-analysis. *Deep-Sea Res Part I* 50, 515-527. (doi: 10.1016/S0967-0637(03)00035-9)
- Dupont N, Klevjer TA, Kaartvedt S and Aksnes DL. 2009. Diel vertical migration of the deep-water jellyfish *Periphylla periphylla* simulated as individual responses to absolute light intensity. *Limnol Oceanogr* 54, 1765-1775.
- Hirose M, Hwang DJ and Mukai T. 2012. Acoustic characteristics of *Nemopilema nomurai*. *J Marine Acoust Soc Jpn* 39, 34-38.
- Hirose M, Mukai T, Shimura T, Yamamoto J and Iida K. 2007. Measurements of specific density of and sound speed in Nomura's jellyfish *Nemopilema nomurai* to estimate their target strength using a theoretical scattering model. *J Marine Acoust Soc Jpn* 34, 109-118.
- Honda N and Watanabe T. 2007. Vertical distribution survey of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* by an underwater video camera attached to a midwater trawl net. *Nippon Suisan Gakkaishi* 73, 1042-1048.
- Honda N, Watanabe T and Matsushita Y. 2009. Swimming depths of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* investigated using pop-up archival transmitting tags and ultrasonic pingers. *Fish Sci* 75, 947-956. (doi: 10.1007/s12562-009-0114-0)
- Kaartvedt S, Klevjer TA, Torgersen T, Sørnes TA and Røstad A. 2007. Diel vertical migration of individual jellyfish (*Periphylla periphylla*). *Limnol Oceanogr* 52, 975-983.
- Klevjer TA and Kaartvedt S. 2003. Split-beam target tracking can be used to study the swimming behaviour of deep-living plankton in situ. *Aquat Living Resour* 16, 293-298. (doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00013-5)
- Klevjer TA and Kaartvedt S. 2006. *In situ* target strength and behaviour of northern krill (*Meganyctiphanes norvegica*). *ICES J Mar Sci* 63, 1726-1735. (doi: 10.1016/j.icesjms.2006.06.013)
- Klevjer TA, Kaartvedt S and Bämstedt U. 2009. *In situ* behaviour and acoustic properties of the deep living jellyfish *Periphylla periphylla*. *J Plankton Res* 31, 793-803. (doi: 10.1093/plankt/fbp036)
- Lee KH, Bae BS, Kim IO and Yoon WD, 2010. Measurement of swimming speed of giant jellyfish *Nemopilema nomurai* using acoustics and visualization analysis. *Fish Sci* 76, 893-899. (doi: 10.1007/s12562-010-0294-7)
- Lee KH, Kim IO, Yoon WD, Shin JK and An HC, 2007. A study on vertical distribution observation of giant jellyfish (*Nemopilema nomurai*) using acoustical and optical methods. *J Kor Soc Fish Tech* 43, 355-361.
- Lee YW and Hwang BK, 2009. Theoretical examination of the effects of fluctuation of acoustic scattering on the swimming behavior of giant jellyfish. *J Kor Fish Soc* 42, 165-170.
- Yoon EA, Hwang DJ, Shin HH, Gwak DS and Cha CP, 2012. *In situ* acoustic characteristics of the large jellyfish *Nemopilema nomurai* in the East Chan Sea. *J Kor Fish Soc* 48, 256-268.

---

2015. 1.29 Received

2015. 5.30 Revised

2015. 5.31 Accepted