

주파수 70 kHz를 이용한 보름달물해파리의 유영 자세각과 박동에 따른 초음파산란강도

윤은아 · 황두진* · 広瀬 美由紀 · 澤田浩一¹ · 福田美亮¹ · 向井 徹²

전남대학교 해양기술학부, ¹(獨)水産總合研究センター 水産工學研究所, ²北海道大學大學院 水産科學研究院

Ex situ acoustic target strength by tilt angle and pulsation of moon jellyfish (*Aurelia aurita*) using frequency 70 kHz

Eun-A YOON, Doo-Jin HWANG*, Miyuki HIROSE, Kouichi SAWADA¹, Yoshiaki FUKUDA¹ and Tohru MUKAI²

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

¹National Research Institute of Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency, Kamisu, Ibaraki 314-0408, Japan

²Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

Target strength (TS) information is an important parameter that estimates the detection, distribution, and abundance of *Aurelia aurita*. In order to investigate the biological TS of jellyfish, some factors such as size (bell diameter), tilt angle, pulsation, and symbiont should be known. In the *ex situ* TS measurements, the tilt angles and pulsation from synchronized swimming behavior of four live *A. aurita* (bell diameters in the air: 54.2 ~ 94.2 mm) were measured with the acoustic data at 70 kHz. The reduced target strength (RTS) of *A. aurita* was found to change ranged from 13.4 ~ 16.5 dB according to the incidence angles from -30° to 24°. When the change rate of bell diameter in the water was 0.2, the TS value showed a 7.2 dB change. These results could be utilized as an important data to understand the acoustic characteristic scattering of *A. aurita*.

Keywords: Target strength, Jellyfish, *Aurelia aurita*, Pulsation

서론

보름달물해파리는 전 세계의 연안에서 대량으로 출현하는 종으로 어업, 산업적, 경제적으로 많은 피해를 미치고 있다 (Toyokawa et al., 2000; Lucas, 2001; Mutlu, 2001; Uye et al., 2003; Dong et al., 2010; Albert, 2011; Aoki et al., 2012; Makabe et al., 2012). 보름달물해파리에 대한 피해를 줄이기 위해서는 보름달물해파리의 생활사, 서식환경, 행동 등의 생태학적

특성을 파악하는 것뿐만 아니라 분포 및 현존량의 평가도 필요하다.

해파리의 분포 및 현존량의 평가는 어구를 이용한 샘플 조사, 스킨스쿠버, 목시, 항공 관측, 음향 조사가 이루어지고 있다. 어구를 이용한 조사는 샘플 종과 샘플 종의 특성 (사이즈, 무게)을 바로 알 수는 있으나 이 특성 또한 채집시 샘플이 손상되는 경우도 발생하고, 일부 정점의 일부 수심에 대한 샘플 정보를 얻을 수 있어

*Corresponding author: djhwang@jnu.ac.kr, Tel: 82-61-659-7126, Fax: 82-61-659-7129

반 정량적인 방법으로 평가되고 있다. 스킨스쿠버, 목시, 항공 관측은 바로 눈으로 확인 할 수는 있으나 관측자의 개인적인 오차가 유입될 수 있고, 목시와 항공 관측은 표층, 스킨스쿠버 관측은 짧은 시간에 인력이 허용되는 수심에서만 조사가 이루어지고 있다 (Kang et al., 2010). 음향 조사는 조사 시간이 적게 드는 한편 넓은 해역의 전 수층에 대한 많은 자료를 얻을 수 있기 때문에 해파리의 모니터링 연구에 가장 효과적인 방법 가운데 하나이다 (Båmstedt et al., 2003; Brierley et al., 2004; Lee et al., 2007; Alvarez Colombo et al., 2009; Hirose et al., 2009; Graham et al., 2010). 하지만, 수중 음향을 이용하기 위해서는 물리학 및 생물학적인 여러 요인에 의해 변화하는 보름달물해파리의 음향산란특성을 명확하게 파악하여야 한다.

최근까지 보름달물해파리의 TS (target strength)에 관한 연구는 Mutlu (1996)가 120과 200 kHz를 이용하여 수조 내에서 자유 유영할 때 이루어졌고, Mukai et al. (2009)는 현수법으로 200 kHz에 대한 유영 자세각, 박동에 관한 측정이 이루어졌다. Alvarez Colombo et al. (2009)는 현장에서 120 kHz에 대한 TS를 측정하였고, Kang et al. (2010)은 한 개체 아닌 복수 개체를 현수시켜 120, 200, 420 kHz에 대한 TS를 계측하였다. 음향을 이용하여 보름달물해파리의 분포 및 현존량을 평가하기 위해서는 이보다 더 많은 TS 자료 구축이 필요하다.

본 연구에서는 보름달물해파리의 TS를 파악하기 위하여 현수법을 이용하여 주파수 70 kHz에 대한 보름달물해파리의 유영 행동 (유영 자세각, 박동)에 따른 TS의 변화를 알아보았다.

재료 및 방법

실험 샘플

2011년 1월 17~21일까지 일본 National Research Institute of Fisheries Engineering (NRIFE)의 해수음향 수조 (3.7 m(L)×2.2 m(W)×2.2 m(H))에서 현수법을 이용하여 보름달물해파리의 TS를 측정하였다. TS 측정에 사용된 보름달물해파리는 일본 Niigata 시티 수족관에서 사육하는 개체를 이용하였고, 샘플시 해파리에 기포가 들어가지 않도록 주의하며 해수와 함께 비닐주머니에 넣은 후 아이스박스에 보관하여 실험 장소로 이동하였다. 보름달물해파리는 실험 장소에 도착 한 후 보름달물해파리와 함께 샘플해 온 해수를 TS를 측정할 수

조 내에 있는 해수와 교환하여 순치한 후 실험을 실시하였다. 실험이 끝난 후에는 버니어캘리퍼스를 이용하여 공기 중 우산의 직경을 측정하였다.

보름달물해파리의 현수 방법

살아있는 보름달물해파리는 좋은 박동 형상을 유지하기 위하여 모노필라멘트 (0.8호) 줄을 이용하여 수평 방향과 수직 방향으로 해파리를 관통 시킨 후 진동자로부터 약 1.5 m에 떨어진 위치에 현수하였다. 수직 방향의 모노필라멘트 줄은 노이즈를 줄이기 위하여 비스듬하게 되도록 하였다 (Fig. 1). 또한, 레이저 포인터를 이용하여 해파리가 진동자의 중심에 위치하도록 하였다.

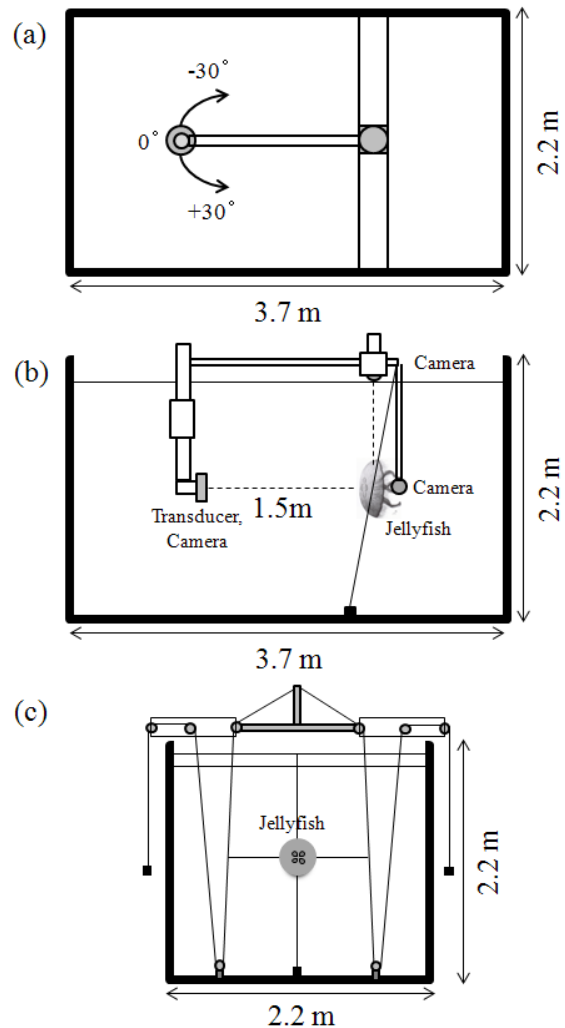


Fig. 1. Experimental tank with rotation transducer used to measure the target strength (TS) of *A. aurita*. Top view (a), side view (b), and cross-sectional view (c) of indoor tank. *A. aurita* was tethered in the vertical and horizontal directions using monofilament lines.

TS의 측정 장비 구성 및 해석

TS 측정에는 주파수 70 kHz를 이용하였고, 펄스폭은 0.6 ms이었다. 진동자는 Fig. 1과 같이 수직바에 고정되어 수평 방향으로 회전하는 것으로 PC-컨트롤러를 이용하여 ±30°까지 자동 회전시켰다. Table 1은 실험에 사용된 보름달물해파리의 4개체에 대한 펄스 간격, 펄스 수, 측정 각도를 나타내었다. 자료 분석시에 노이즈가 포함된 자료는 분석에 제외하였다.

Fig. 2는 실험 장비의 구성도를 나타낸 것이다. 신호 발생기 (5305, NF Electronic Instruments, Japan)에서 0.4-0.5 sec 간격의 신호를 송수신기 (SR-76, Kaijo Sonic Corp., Tokyo, Japan)에 발생시켜 보름달물해파리에 반사하여 오는 신호는 오실로스코프 (Wavepro 7300, LeCroy, USA)에 보여짐과 동시에 컴퓨터 수록하였다. 해파리의 유영 행동은 진동자 옆에 설치된 정면 카메라 (T-water-7000DX, WIRELESS TSUKAMOTO, Japan), 수조 측면의 측면 카메라 (HDR RD-S600, Sony, Japan), 수조 윗면의 상부 카메라 (HDR-HC9, Sony, Japan)로 관측함과 동시에 음향 신호와 마찬가지로

로 신호 발생기로 신호를 발생시켜 트리거 기능이 있는 비디오 캡처 카드 (VCE-pro, ImperX, USA)가 0.4-0.5 sec 간격으로 화상을 캡처하여 해파리의 유영 행동 화상과 TS 자료를 정확하게 동기화 시켰다.

측정된 TS의 해석은 Sawada (2002)의 연구 방법을 이용하였다. 먼저, 보름달물해파리와 배경 에코가 합쳐진 파형에서 배경 에코만의 파형을 가감하여 보름달물해파리의 에코를 얻을 수 있는데 이것을 식 (1)에 나타내었다.

$$TS = 20\log E_{RS}(t_p) + 40\log r_o + 20\alpha r_o - TR \tag{1}$$

여기서, $E_{RS}(t_p)$ 는 가감한 에코 파형에서 진폭의 최대치, r_o 은 송신할 때 에코의 입사하는데 걸리는 시간, α 는 감쇠계수, TR 은 교정 값인 송수신 계수이다. 교정치인 TR 은 매일 TS를 측정하기 전과 끝난 후에 교정구를 이용하여 측정하였다.

Table 1. Summary of bell diameter in air, pulse rate, pulse number, and measurement angle of *A. aurita*

No.	Bell diameter in air (mm)	Pulse rate (s)	Pulse number (n)	Measurement angle (°)
<i>A. aurita</i> 1	84.9	0.5	about 100 ~ 150	0° ~ +15° (5° step)
<i>A. aurita</i> 2	94.2	0.4	about 200 ~ 300	-30° ~ +30° (2° step)
<i>A. aurita</i> 3	54.2	0.4	about 200 ~ 300	-30° ~ +30° (5° step)
<i>A. aurita</i> 4	91.3	0.4	about 200 ~ 500	-30° ~ +30° (2° step)
<i>A. aurita</i> 4		0.4	about 300	-30° ~ +30° (2° step)

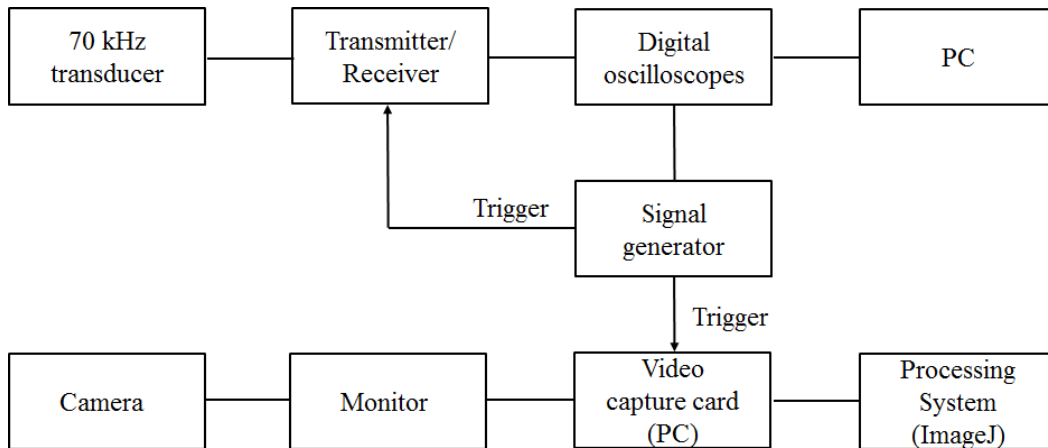


Fig. 2. Block diagram of experiment system to measure the TS of *A. aurita*.

보름달물해파리의 유영 행동 분석

보름달물해파리는 실험 중에서 박동에 의하여 우산의 직경이 변하는데 ImageJ 소프트웨어 (ImageJ, 2009)를 이용하여 수중에서 변화하는 보름달물해파리의 우산의 직경을 측정하였다. 우산의 직경은 수중에서 우산의 직경이 가장 클 때를 1이라고 하고 우산 직경의 변화율로 나타내었다. 측정 위치는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 캡처된 보름달물해파리의 유영 행동 화상이 측정 각도가 변하여도 우산의 직경의 변화가 나타나지 않는 수직 방향을 측정하였다.

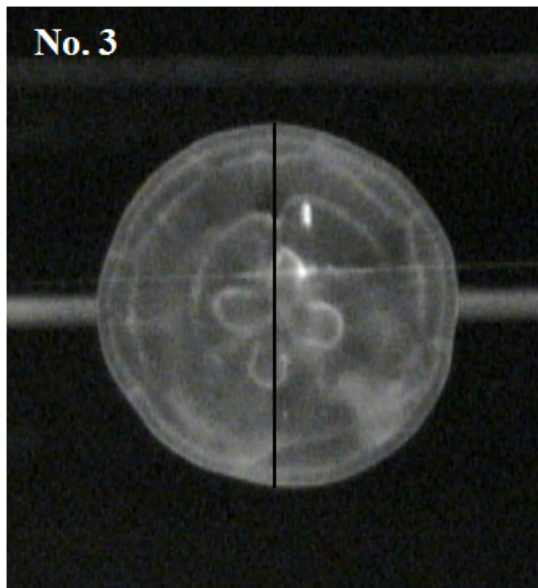


Fig. 3. Measurement location (black line) of the bell diameter changed with pulsation of *A. aurita*.

결 과

보름달물해파리의 입사각에 따른 기준화 TS

본 연구에 사용된 보름달물해파리는 4개체 (공기 중 우산의 직경: 54.2~94.2 mm)이었고, 보름달물해파리는 Fig. 4와 같이 박동이 활발할 때와 활발하지 않을 때가 있었다. 보름달물해파리의 TS는 입사각의 영향만을 평가하기 위하여 진동자 입사각별로 보름달물해파리가 박동을 하지 않는 20 pulse를 평균하였다. 또한, 측정된 4개체의 우산의 크기가 다르기 때문에 다음 식 (2)에 나타난 것과 같이 해파리의 면적을 기준화한 TS (reduced target strength, RTS)로 계산하였고 (Monger et al., 1998),

$$RTS = 10 \log \left(\frac{\sigma_{bs}}{\pi a^2} \right) \quad (2)$$

a 는 보름달물해파리 공기 중 우산의 반지름 (m)을 말한다.

진동자의 입사각에 따른 4개체 보름달물해파리의 RTS를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 진동자의 입사각에 따라 보름달물해파리의 RTS가 각기 다른 값을 보였다. 진동자 입사각 변화에 따른 No. 1 보름달물해파리의 RTS (진동자 입사각: 0~10°)는 -51.0~-44.3 dB으로 6.8 dB 차이를 보였고, No. 2 보름달물해파리의 RTS (진동자 입사각: -24~14°)는 -56.2~-41.4 dB으로 14.8 dB 차이가 나타났다. 또한, No. 3 보름달물해파리의 RTS (진동자 입사각: -30~22°)는 -45.2~-28.7 dB, No. 4 보름달물해파리의 RTS (진동자 입사각: -30~24°)는 -55.0~-41.6 dB으로 각각 16.5 dB 과 13.4 dB의 차이를 보였다.

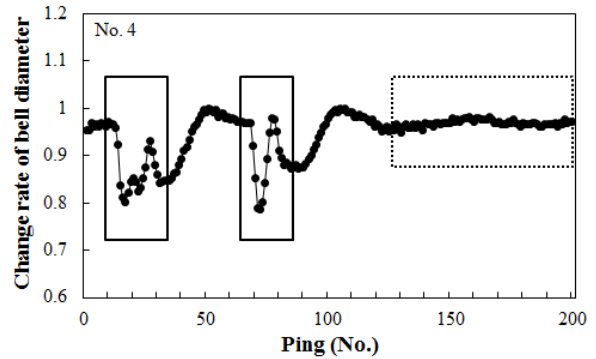


Fig. 4. Variations in bell diameter of *A. aurita* (No. 4) used in seawater during the TS measurements. The line boxes and dotted box indicate during pulsation and no pulsation of *A. aurita*, respectively.

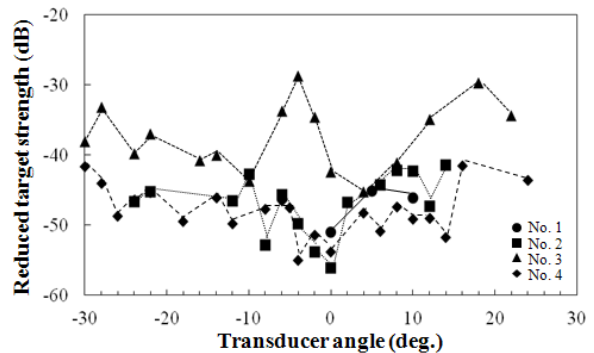


Fig. 5. Relationship between reduced target strength (RTS) and transducer angle.

보름달물해파리의 박동에 따른 TS

Fig. 6은 No. 3 보름달물해파리가 박동을 할 때와 하지 않을 때의 우산 직경과 TS의 변화를 나타낸 것이다 (진동자 입사각 0°). 보름달물해파리가 박동을 할 때 (a) 우산 직경의 변화율은 0.20이었고, TS는 -70.0~-62.8 dB으로 7.2 dB의 차이가 났다. 박동을 하지 않을 때 (b) 우산 직경의 변화율은 0.02였고, TS는 -67.9~-67.4 dB으로 0.5 dB의 변화가 일어났다. 박동을 할 때 우산의 직경과 TS 변화와의 상관계수 (R)는 0.67으로 높은 상관성을 보였다.

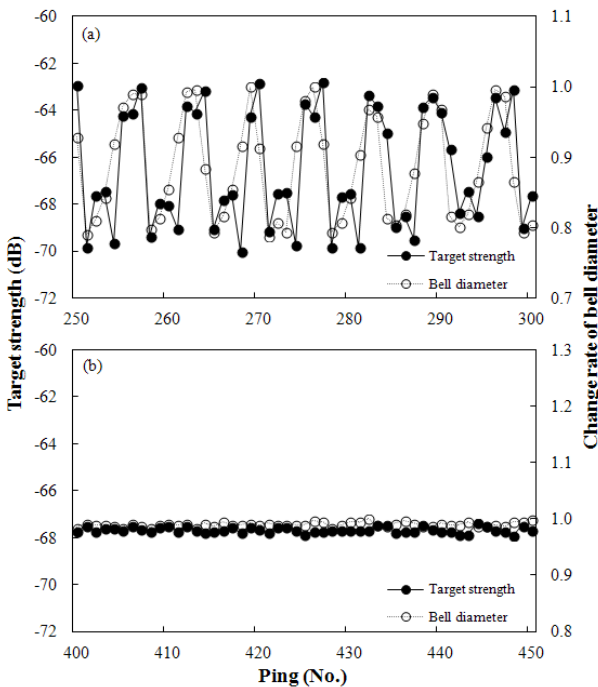


Fig. 6. Relationship between variations in TS and bell diameter to pulsation (a) and no pulsation (b) of *A. aurita* (No. 3).

고찰

해파리의 입사각에 따른 TS의 차이

No. 3 보름달물해파리의 RTS는 입사각이 0° 부근에서 가장 높은 값을 나타내었으나, 그 외의 보름달물해파리의 RTS는 0°에서 벗어난 각도에서 높은 RTS를 보였다. Hirose et al. (2010)은 38 kHz로 노무라입깃해파리를 0~10°, 30~60°, 60~120°사이의 유영 자세각별 TS를 측정하였는데 TS의 분포 범위는 대부분 비슷하였으나, 상대적으로 0~10°부근에서 다른 각도에 비하여

높은 TS에서 최대 빈도수를 보였다. 또한, Hirose et al. (2007)는 음향 모델에서 유영 자세각이 수직인 0°일 때 TS가 가장 높은 값을 나타낸다고 보고하였다. 하지만, Mukai et al. (2009)는 120 kHz에 대한 보름달물해파리의 유영 자세각에 따른 TS를 측정한 결과 30°에서 가장 높은 TS를 보였다. 본 연구에서 보름달물해파리의 RTS는 진동자의 각도를 기준으로 측정한 것이고, 보름달물해파리를 고정할 때 레이저 포인터로 해파리가 진동자 중심에 오도록 확인하였으나, 해파리가 앞쪽이나 뒤쪽으로 기울어져있을 가능성과 해파리가 박동을 하면 움직이면서 나타나는 각도 변화로 입사각 0°에서 높은 값을 나타내지 않은 것으로 사료된다.

Table 2는 이전에 연구된 해파리의 유영 자세각 변화에 따른 TS 또는 RTS 차이를 정리하였다. 본 연구에서 보름달물해파리는 입사각 -30~24°사이에서 최대와 최소의 RTS는 13.4~16.5 dB 차이가 나타났다. 200 kHz로 측정한 보름달물해파리의 ±30°사이에서 최대 TS와 최소 TS의 차이는 12.1 dB으로 본 연구에서 사용된 70 kHz보다 약간 적은 차이를 나타내었다 (Mukai et al., 2009). 또한, DWBA (distorted-wave Born approximation) 모델을 이용하여 노무라입깃해파리의 유영 자세각 0~180°사이의 유영 자세각 변화에 따른 TS는 38 kHz에서는 약 15.0 dB, 120과 200 kHz에서는 약 30.0 dB의 차이를 보였고 (Hirose et al., 2007), 현수법을 이용한 38 kHz에서는 약 10.0 dB의 차이를 나타내었다 (Hirose et al., 2010).

해파리의 박동에 따른 TS의 차이

Table 3은 해파리의 종류와 주파수별로 박동에 따른 우산 직경의 변화율과 TS 또는 RTS의 변화를 나타낸 것이다. Table 3에서 보는 바와 같이 본 연구에서 70 kHz에 대한 보름달물해파리의 우산 직경 변화율은 0.20이었고, RTS는 7.2 dB의 변화를 보였다. 본 연구와 같은 대상 종으로 측정한 Mutlu (1996)와 Mukai et al. (2009)의 연구 결과 120 kHz에서는 13.0 dB, 200 kHz에서는 10.0~16.0 dB의 차이가 나타나 본 연구보다 약 3.0~9.0 dB 높게 나타났다. 노무라입깃해파리는 박동에 의한 실측 TS는 38과 120 kHz에서 7.8~11.7 dB의 차이가 나타났고, 보름달물해파리와 노무라입깃해파리의 박동에 의한 TS의 차이는 크지 않았지만 보름달물

Table 2. Comparison of variations in TS or RTS of jellyfish by tilt angle

Species	Experiment method	Frequency (kHz)	Tilt angle (°)	Variation of TS or RTS (dB)	Reference
<i>A. aurita</i>	<i>Ex situ</i>	70	-30 ~ 24	13.4 - 16.5	This study
<i>A. aurita</i>	<i>Ex situ</i>	200	-30 ~ 30	12.1	Mukai et al. (2009)
<i>N. nomurai</i>	Model	38	0 ~ 180	about 15.0	Hirose et al. (2007)
		120	0 ~ 180	about 30.0	
		200	0 ~ 180	about 30.0	
<i>N. nomurai</i>	<i>Ex situ</i>	38	0 ~ 180	about 10.0	Hirose et al. (2010)

Table 3. Comparison of change rates of TS or RTS and bell diameter of jellyfish by pulsation

Species	Experiment method	Frequency (kHz)	Change rate of bell diameter	Variation of TS or RTS (dB)	Reference
<i>A. aurita</i>	<i>Ex situ</i>	70	0.20	7.2	This study
<i>A. aurita</i> *	<i>Ex situ</i>	120	0.20	13.0	Mutlu (1996)
		200	-	10.0	
<i>A. aurita</i>	<i>Ex situ</i>	200	0.20	16.0	Mukai et al. (2009)
<i>N. nomurai</i> *	<i>In situ</i>	120	-	11.7	Lee et al. (2007)
<i>N. nomurai</i>	Model	38	0.30	8.5	Lee and Hwang (2009)
		70	0.30	13.8	
		120	0.30	15.1	
<i>N. nomurai</i>	<i>Ex situ</i>	38	0.28	7.8	Yoon et al. (2010)
		38	0.35	10.3	
<i>A. victoria</i>	Model	-	0.40	10.0	Monger et al. (1998)
<i>C. hysoscella</i>	<i>In situ</i>	38	-	15.0	Brierley et al. (2004)

*Free swimming

해파리가 노무라입깃해파리에 비하여 약간 큰 차이를 나타내었다 (Lee et al., 2007; Lee and Hwang, 2009; Yoon et al., 2010). 노무라입깃해파리를 DWBA 모델로 계산한 TS는 38, 70, 120 kHz에서 8.5~15.1 dB의 변화를 보였다 (Lee and Hwang, 2009). 또한, *Aequorea victoria*와 *Chrysaora hysoscella*의 RTS 또는 TS는 각각 10.0, 15.0 dB 차이가 나타났다고 (Monger et al., 1998; Brierley et al., 2004). 이것으로 해파리의 종류와 주파수에 따라 박동에 의한 TS 변화가 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다.

결론

본 연구에서는 현수법을 이용하여 주파수 70 kHz에 대한 보름달물해파리의 유영 행동 (유영 자세각, 박동)에 따른 TS의 변화를 알아보았다. 본 연구에 사용된 보

름달물해파리는 4개체 이었고, 공기 중 우산의 직경은 54.2~94.2 mm이었다. 진동자 입사각 (-30~24°)에 따른 보름달물해파리의 RTS는 13.4~16.5 dB의 차이를 보였고, 박동에 의한 우산 직경의 변화율이 0.2일 때 TS는 7.2 dB의 변화를 나타내었다. 본 연구에서는 소수 개체에 대한 보름달물해파리의 유영 행동에 따른 TS를 파악하였고, 향후에는 개체수를 증가시켜 실험을 실시할 필요가 있을 것으로 판단된다.

References

- Albert DJ. 2011. What's on the mind of a jellyfish? A review of behavioural observations on *Aurelia* sp. jellyfish. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 35, 474-482. (doi: 10.1016/j.neubiorev.2010.06.001)
- Alvarez Colombo G, Benović A, Malej A, Lučić D, Makovec T, Onofri V, Acha M, Madirolas A and Mianzan H. 2009.

- Acoustic survey of a jellyfish-dominated ecosystem (Mljet Island, Croatia). *Hydrobiologia* 616, 99-111. (doi: 10.1007/s10750-008-9587-6)
- Aoki K, Yamada S, Toyokawa M, Yasuda A and Kikuchi T. 2012. Horizontal distribution and growth of jellyfish, *Aurelia aurita* (Linnaeus 1758) sensu lato, in Mikawa Bay, Japan. *Coastal marine science* 35, 103-111.
- Båmstedt 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)
- Brierley AS, Axelsen BE, Boyer DC, Lynam CP, Didcock CA, Boyer HJ, Sparks CAJ, Purcell JE and Gibbons MJ. 2004. Single-target echo detections of jellyfish. *ICES J Mar Sci* 61, 383-393. (doi: 10.1016/j.icesjms.2003.12.008)
- Dong Z, Liu D and Keesing JK. 2010. Jellyfish blooms in China: Dominant species, causes and consequences. *Mar Pollut Bull* 60, 954-963. (doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.04.022)
- Graham TR, Harvey JT, Benson SR, Renfree JS and Demer DA. 2010. The acoustic identification and enumeration of scyphozoan jellyfish, prey for leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*), off central California. *ICES J Mar Sci* 67, 1739-1748. (doi: 10.1093/icesjms/fsq112)
- 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 (in Japanese with English abstract).
- Hirose M, Mukai T, Hwang DJ and Iida K. 2009. The acoustic characteristics of three jellyfish species: *Nemopilema nomurai*, *Cyanea nozakii*, and *Aurelia aurita*. *ICES J Mar Sci* 66, 1233-1237. (doi: 10.1093/icesjms/fsp126)
- Hirose, M, Mukai T and Hwang DJ. 2010. Effect of swimming angle on acoustic characteristics of *Nemopilema nomurai*. Proceedings of meeting of the Marine Acoustic Society of Japan 2010, Tokyo, Japan, 27-28 May 2010, pp. 65-68.
- ImageJ. 2009. Open source software, developed by W. S. Rasband, Research Services Branch National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA.
- Kang DH, Kim JH and Lim SH. 2010. Acoustic target strength characteristics of two species of multiple jellyfishes, *Aurelia aurita* and *Cyanea nozakii*, in the Southern Coast of Korea. *Ocean and Polar Research* 32, 113-122.
- 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 (doi: 10.3796/KSFT.2007.43.4.355)
- 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.
- Lucas CH. 2001. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, *Aurelia aurita*, in relation to its ambient environment. *Hydrobiologia* 451, 229-246. (doi: 10.1023/A:1011836326717)
- Makabe R, Kurihara T and Uye S. 2012. Spatio-temporal distribution and seasonal population dynamics of the jellyfish *Aurelia aurita* s.l. studied with Dual-frequency IDentification SONar (DIDSON). *J Plankton Res* 34, 936-950. (doi: 10.1093/plankt/fbs057)
- Monger BC, Chinniah-Chandy S, Meir E, Billings S, Greene CH and Wiebe PH. 1998. Sound scattering by the gelatinous zooplankters *Aequorea victoria* and *Pleurobrachia bachei*. *Deep-Sea Res Part II* 45, 1255-1271. (doi: 10.1016/S0967-0645(98)00029-0)
- Mukai T, Hirose M, Sawada K, Takahashi H and Iida K. 2009. Target strength of moonjelly -Variations with pulsation and posture-. Proceedings of meeting of the Marine Acoustic Society of Japan 2009, Tokyo, Japan, 18-19 May 2009, pp. 19-22.
- Mutlu E. 1996. Target strength of the common jellyfish (*Aurelia aurita*): a preliminary experimental study with a dual-beam acoustic system. *ICES J Mar Sci* 53, 309-311. (doi: 10.1006/jmsc.1996.0040)
- Mutlu E. 2001. Distribution and abundance of moon jellyfish (*Aurelia aurita*) and its zooplankton food in the Black Sea. *Mar Biol* 138, 329-339. (doi: 10.1007/s002270000459)
- Sawada K. 2002. Study on the precise estimation of the target strength of fish. *Bull Fish Res Agen* 11, 47-122.
- Toyokawa M, Furota T and Terazaki M. 2000. Life history and seasonal abundance of *Aurelia aurita* medusae in Tokyo Bay, Japan. *Plankton Biol Ecol* 47, 48-58.
- Uye S, Fujii N and Takeoka H. 2003. Unusual aggregations of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in coastal waters along western Shikoku, Japan. *Plankton Biol Ecol* 50, 17-21.
- Yoon EA, Hwang DJ, Hirose M, Kim EH, Mukai T and Park BS. 2010. Characteristics of acoustic scattering according to pulsation of the large jellyfish *Nemopilema nomurai*. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 551-556. (doi: 10.5657/kfas.2010.43.5.551)

2015. 5. 11 Received

2015. 8. 24 Revised

2015. 8. 28 Accepted