

음향 및 광학기법을 이용한 노무라입깃해파리 (*Nemopilema nomurai*)의 수층별 분포 관찰에 관한 연구

이경훈* · 김인옥 · 윤원득¹ · 신종근 · 안희춘
국립수산과학원 수산공학팀, ¹국립수산과학원 해양연구팀

A study on vertical distribution observation of giant jellyfish (*Nemopilema nomurai*) using acoustical and optical methods

Kyoung-Hoon LEE*, In-Ok KIM, Won-Duk YOON¹, Jong-Keun SHIN and Heui-Chun AN

Fisheries Engineering Team, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea

¹Marine Research Team, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea

A giant jellyfish (*Nemopilema nomurai*), which is presumed developing in the East China Sea, is recently one of major issues in the Northeast Asia region due to its fatal damage to the fishery. The biomass estimates have generally been conducted by trawl sampling and sighting survey methods. The biological research is also needed to clarify such environmental origin or diurnal migration patterns. While trawl sampling or sighting survey methods are effective to investigate its density estimates in its distributed community of near bottom or surface, they have a problem in investigation on the vertical distribution of jellyfishes. In this case, an echo sounding detection would have an advantage to survey it more extensively and effectively. This trial was conducted to observe the vertical distribution of giant jellyfish, where thermocline strongly formed, during mooring at each station of the East China Sea and southern coastal area using acoustical and optical methods. By the results, they were observed to exit and move at the water column under the thermocline using the optical camera and echo sounder system, and the information was analyzed to find out the acoustical sound scattering characteristics relatives to 120kHz frequency. These results can be utilized effectively to estimate the vertical distribution and biomass of Giant jellyfish with comparing results from trawl sampling and sighting survey methods, hereafter.

Key words : Giant jellyfish, *Nemopilema nomurai*, Vertical distribution, East China Sea, Target strength

*Corresponding author: khlee71@nfrdi.re.kr, Tel:82-51-720-2574, Fax:82-51-720-2586

서 론

최근 동중국해에서 발생하는 것으로 추정하고 있는 대형해파리(노무라입깃해파리, *Nemopilema nomurai*)는 한·일 양국 어업에 피해를 입히는 해파리로서, 최근 동북아시아해역에서 주요 관심의 대상이 되고 있다. 일본을 비롯한 우리나라에서도 트롤 및 목시관측에 의한 대형해파리의 분포량 조사를 수행하고 있으며, 발생지 근원 및 주야이동패턴 등에 관한 생태학적인 연구 분야를 비롯한 어업에 피해를 줄일 수 있는 해파리분리배출장치와 관련된 다양한 분야의 연구가 진행되고 있다(Uye et al., 2005; Matsushita et al., 2005; Kim et al., 2006).

현재까지 연구되고 있는 저층트롤망에 의한 채집조사 및 목시관측에 의한 조사방법은 대형해파리의 분포밀도를 측정하는 방법으로 효과적이지만, 해저면에 밀집된 해파리 계군이나 표층에 이동하고 있는 해파리 계군에 관한 정보를 제외하고 전 수층에 대한 분포를 파악하는 것에 어려움이 있다.

이러한 전 수층에 대한 정보를 보다 다양하게 파악할 수 있는 음향기법을 이용하기 위하여, 수층에 분포하고 있는 해파리의 음향산란특성을 규명하기 위한 후방산란강도(반사강도, Target Strength) 측정과 음향산란층(Sound Scattering Layer)에 동물플랑크톤과 혼재되어 있는 해파리를 분리하는 기법 등에 관한 연구가 진행되고 있다(Alvarez et al., 2003 ; Brierley et al., 2004 ; Hirose et al., 2005 ; Lee et al., 2006).

본 연구에서는 대형해파리가 분포하는 해역에서 수층별 분포를 관찰하기 위한 시도로서, 수온약층이 강하게 형성되는 하절기의 해파리 발생해역으로 추정되는 동중국해의 한 정점에서 27시간동안 계류하면서 음향 및 광학기법을 이용하여 주, 야간 분포상황을 관찰하였으며, 수층별 해양환경정보와 관련하여 대형해파리의 수직분포현황을 확인하였다. 또한, 수온약층이 형성되어 있지 않은 우리나라 남해안 연안에서 측

정된 음향데이터의 정보를 이용하여 수층별 분포 및 음향산란특성에 대한 기초적인 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구의 해상시험은 동중국해와 우리나라 연안에서 주로 대량으로 발견되는 하절기에 국립수산물과학원 탐구1호(R/V 2,180G/T)와 탐구3호(R/V 369G/T)를 이용하여 Fig. 1의 정점에서 실시하였다. 동중국해에서는 2006년 8월 8일 - 9일 양일간에 걸쳐 27시간동안 정점에서 해파리의 유영행동 및 분포수층을 관찰하기 위해, 수중카메라(DCR-HC42, Sony)를 CTD(SBE-911, SeaBird)에 설치하여 수온·염분정보와 함께 일 정시간대에 수심 5m 간격으로 10분 동안 정지한 상태에서의 수층별 분포상황을 관찰하였다. 또한, 연안해역에서는 동일시기에 많은 해파리가 발견되는 해역으로 전남 여수 연안해역에 정박한 상태에서 해파리 분포상황을 관찰하기 위해, 야간의 선박 주변에서 확인이 가능한 표층에서 최초 발견된 시점(22:00)으로부터 약 8시간동안 광학카메라 및 계량어군탐지기(EK60, Simrad)를 이용하여 수중모니터링을 지속적으로 수행하였다.

이렇게 수집된 자료들은 향후 실험실에서 해파리의 1차적인 식별이 가능한 수중카메라 영상정보를 확인하면서 분포하고 있는 수층에 대한 분포상황을 분석하였고, 2차적으로 영상정보를

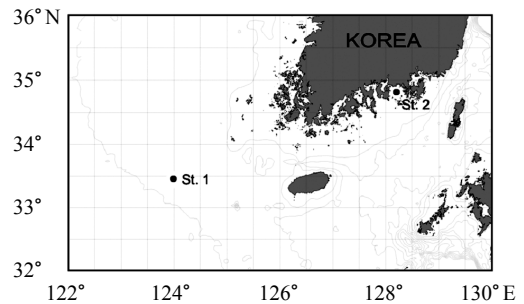


Fig. 1. Mooring sites of the East China Sea and southern coastal area of Korea.

기본으로 해파리로 추정 가능한 음향신호로 분포수층을 확인하였다.

결과 및 고찰

광학기법에 의한 동중국해 수층별 분포

Fig. 2는 동중국해 하절기의 전형적인 수층별 형상으로 주, 야간에 따라 수온약층이 형성되는 수심범위는 다르지만, 전반적으로 수심 10m부터 20m까지 최대 18° 이상의 수온차가 있는 강한 수온약층대가 형성되어 있으며, 염분정보에 의하면 표층부근에 강한 저염분수가 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

또한, 조사정점에서 CTD에 부착한 수중카메라를 이용하여 해양환경정보를 수집하는 동시에 각 수층별 해파리의 분포를 확인한 결과, 수층별 분포상황을 Fig. 3과 같이 나타내었다. 동중국해 조사정점(St. 1)에서의 쿠로시오해류에 의해 북쪽방향으로 우리나라 서해와 동해, 일본

연안으로 이동하고 있는 노무라입깃해파리는 조사기간의 주, 야간에 표층으로부터 수심 30m까지 이동하고 있는 개체수가 확인되었으며, 수심 30m보다 깊은 수심, 즉 수온 및 염분의 변동이 안정되어 있는 수심에서는 해류에 의해 이동하는 노무라입깃해파리의 개체수가 확인되지 않았다.

따라서, 조사 기간동안 표층에서 수온약층이 강하게 형성되는 수심 10m까지 노무라입깃해파리의 개체수는 28마리로서 관측된 총 개체수의 약 80%를 차지하고 있었다. 또한, 정박 상태에서 27시간동안 주, 야간 수층별 분포상황을 분석한 결과, 주간에는 수심 10m까지 주로 분포하고 있으며, 야간에는 수심 30m까지 분포하는 것으로 다양한 수층에서 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이것은 강한 수온약층대가 형성되어 있음에도 불구하고, 10-28°C의 넓은 수온분포대에 분포하는 것으로 확인되었다. 일반적인 대상생

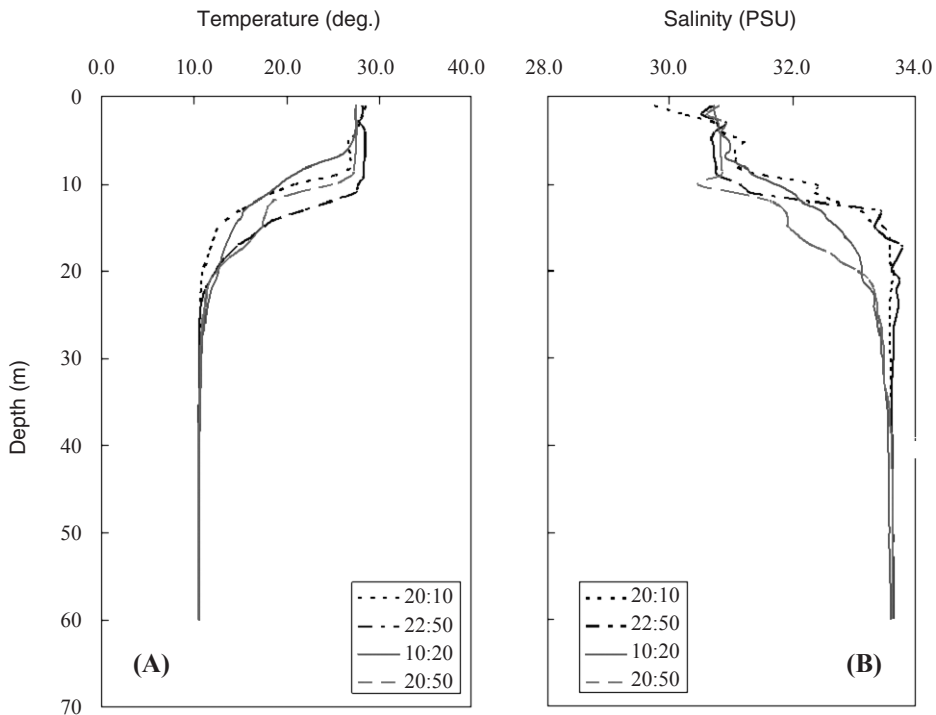


Fig. 2. Temperature (A) and salinity (B) of water column at mooring site of East China Sea(St. 1: 32° 23.70'N, 124° 00.33'E).

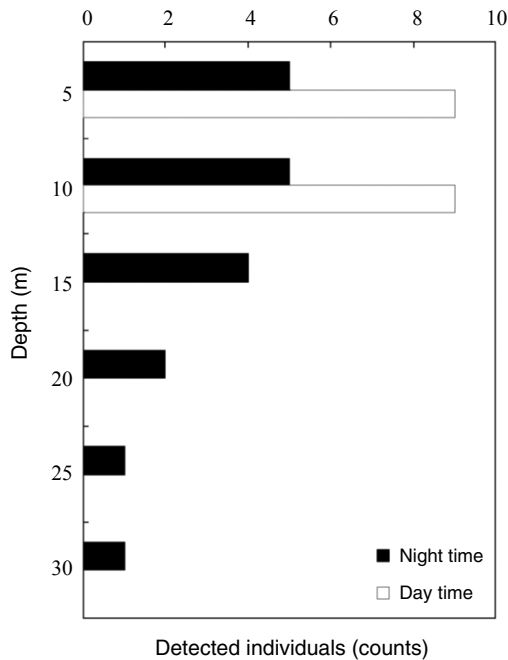


Fig. 3. Vertical distribution of giant jellyfish measured by optical method.

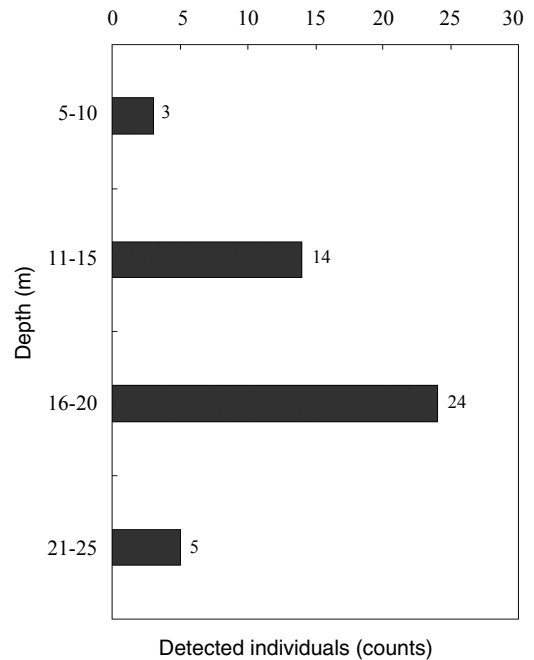


Fig. 4. Vertical distribution of giant jellyfish measured by acoustical method.

물의 생태적인 관점에서 수온이 급변하는 수층에서는 대상생물의 분포수층이 분리되거나 좁은 범위에 분포하는 것으로 추정하고 있는 것에 비해, 노무라입깃해파리는 강하게 형성되어 있는 수온약층을 통과하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 현재 우리나라 주변해역에 출현중인 대형해파리가 낮은 수온대의 해파리 출현 밀도가 급속히 떨어지는 12°C이하에 소멸되는 추정 결과(NFRDI, 2005)와 비교해 볼 때, 낮은 수온대에서도 노무라입깃해파리가 분포하는 것을 확인하였으며, 수층별 분포특성에서 수온의 영향은 크지 않은 것으로 추정된다. 따라서, 대부분의 해파리의 주요 먹이생물은 동물플랑크톤이라는 점을 고려할 때, 동물플랑크톤의 일주연직운동과 관련된 수층별 분포를 규명할 필요가 있으며, 추정할 수 있는 다양한 다른 요인을 고려하여 해저 또는 표, 중층의 넓은 수층에서의 분포를 규명할 수 있는 추가적인 실험이 병행되

어야 할 것으로 사료된다.

음향기법에 의한 연안해역 수층별 분포

우리나라 남해 여수연안에서 계량어군탐지기(EK60, Simrad) 120kHz를 이용하여 해파리의 수층별 분포를 파악한 결과는 다음과 같다. 조사정점에서 측정된 음향신호에 있어서, 해수면으로부터 수심 약 5m까지의 음향신호는 조사선박의 흘수부분과 근거리음장영역을 고려하여 분석에서 제외하였다. Fig. 4에 나타난 바와 같이, 연안에서의 노무라입깃해파리의 수층별 분포는 전 수층에서 분포하는 것으로 나타났으며, 특히 수심 16-20m 부근에서 총 측정된 개체수(46마리)의 약 52%정도(24마리)가 확인되었다.

해파리의 유영자세각 및 TS에 영향을 미치는 요소

수중정보를 파악하기 위해서 전 세계적으로 적용되고 있는 음향기법에서는 음파가 전달되

는 과정에 대상 산란체에 음파가 산란되는 신호를 측정하게 되는데, 빔내 대상생물의 음향산란 신호는 후방산란단면적이라고 하는 요인에 크게 영향을 받는다. 즉, 음파가 수신되는 산란면적에 따라서 음향산란강도가 달라진다. 따라서, 후방

산란강도를 측정하는 수조실험에서 대상생물의 유영행동에 따른 자세각을 확인하기 위해서 광학기법을 이용하여 대상생물의 정보를 수집하고 있다. 여기에서도 동중국해 정점에서 수중카메라를 이용하여 해파리의 유영자세각을 모니터링

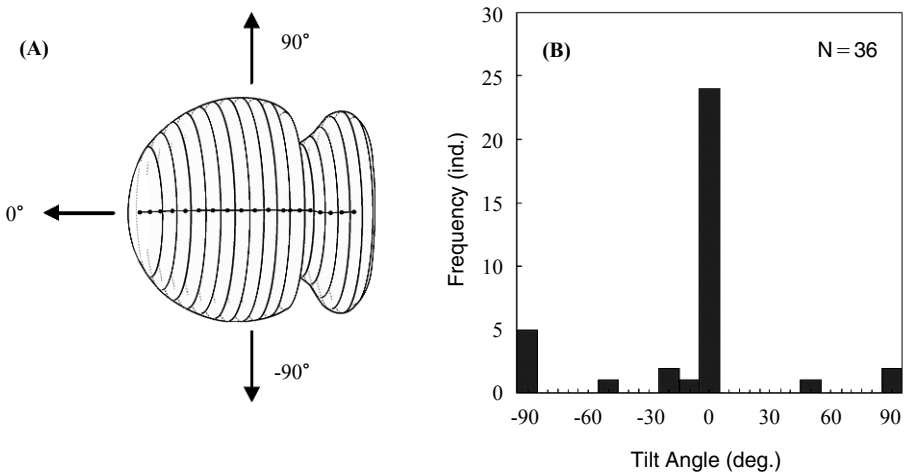


Fig. 5. Swimming tilt angle distribution of giant jellyfish at the East China Sea.

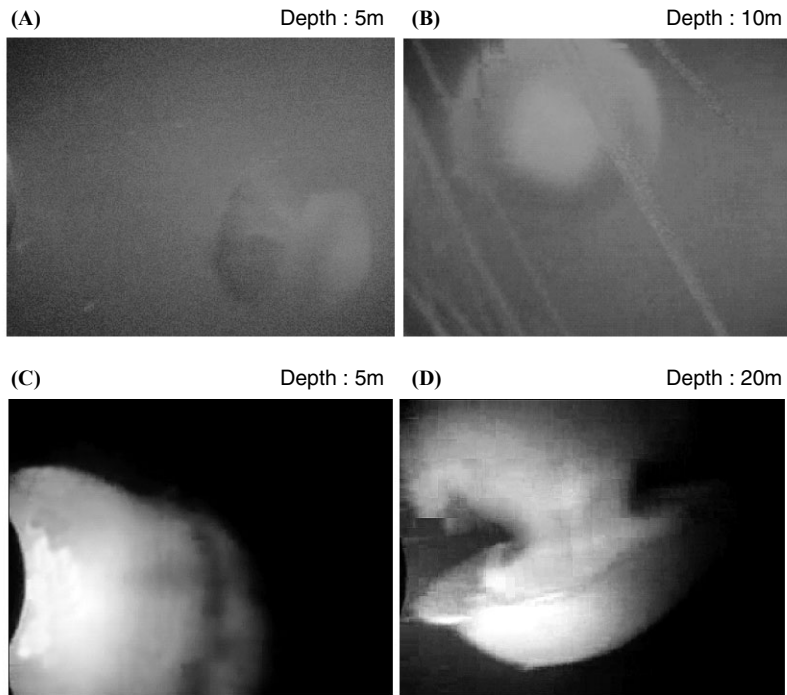


Fig. 6. Swimming tilt angle captured at mooring site of the East China Sea.

한 결과를 Fig. 5 및 6과 같이 나타내었다.

노무라입깃해파리의 유영자세각은 Fig. 5(A)와 같이 해파리의 갯이 옆으로 향할 때를 0° 로 하고 정 상향일 때를 $+90^\circ$, 정 하향일 때를 -90° 로 하여 자세각을 표시하였다. 본 연구의 동중국해 27시간 정점조사에서 광학기법에 의해 수집된 자료 중에서 가시거리 내에서 해류의 이동방향에 따라 관찰된 36개체를 대상으로 유영자세각을 파악한 결과, Fig. 5(B)와 같이 자세각이 0° 인 해파리가 25마리로 가장 많이 확인되었으며, 이외에도 서식 수심에 따라 유영자세각은 -90° 에서 $+90^\circ$ 까지 다양한 자세로 유영하고 있는 것으로 관찰되었다. 또한, Fig. 6과 같이 수심의 상하 수온층이 급격하게 변하는 수온약층대보다 깊은 수심층에서는 아랫방향(-90°)으로 이동하는 해파리의 발견 빈도가 높았다. 이러한 원인으로 주변 수온의 이상현상에 따른 행동반응이 가장 큰 요소라고 추정할 수 있으나, 실험에서 관찰된 개체수의 빈도가 낮으므로 전반적인 해파리의 생리학적인 특성으로 규정할 수는 없다. 따라서, 유영자세각의 추가실험을 통한 확실적인 검증과 대상 해파리 행동패턴의 생리학적 특성에 관한 증거가 필요한 것으로 판단된다.

또한, 해파리의 유영특성은 갯 부분이 수축과 팽창의 반복에 의해 유영행동이 이루어지는데, 이 경우, 음파가 산란되는 면적에 따라 음향산란

강도가 다르게 된다.

따라서, 연안에 내유한 해파리를 대상으로 다른 산란체가 혼재되어 있지 않은 수층에 대한 음향장비에 의해 확인된 해파리의 에코그램과 single target detection기법에 의한 후방산란강도의 변동폭을 Fig. 7 및 8과 같이 나타내었다.

Fig. 8과 같이 음파에 수집된 해파리 유영행동시의 개체별 음향신호의 차이는 약 11.7dB의 변동이 있을 정도로 다른 생물체에 비해서 상당히 큰 변동이 나타났다. 물론 연안에서는 수층별 수온의 변화가 그다지 크지 않으므로 유영자세각의 변동은 큰 변화가 없을 것으로 추정되지만, 해파리의 유영특성상 갯부분을 수축과 팽창의 반복에 의해 이동하여 음파에 산란되는 단면적의 변동이 큰 요인이다. 따라서, 음향기법을 이용한 방법을 적용하기 위해서는 이러한 결과를 바탕으로 해파리 크기에 따른 음향산란특성 분석뿐만 아니라, 생태학적인 부분의 유영행동특성 및 갯부분의 진동폭에 대한 특성도 반드시 규명되어야 할 필요가 있다고 사료된다.

물론, 현재까지 분석된 자료는 해파리가 분포하고 있는 수층에 대한 자료가 많은 양의 정보는 아니었으므로, 2007년도 하절기에 동중국해 해역의 정보를 추가적으로 수집하여, 분포하고 있는 동물플랑크톤의 분포 및 시간대별 분포 상황의 차이를 확인하면서 수층별 행동패턴에 대한

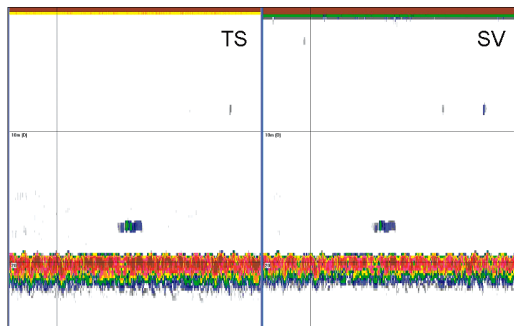


Fig. 7. The example of target strength(TS) and volume backscattering strength(SV) of free swimming jellyfish using EK60 system (120kHz) at mooring site (Max. depth : 25m) from 22:00 to 06:00.

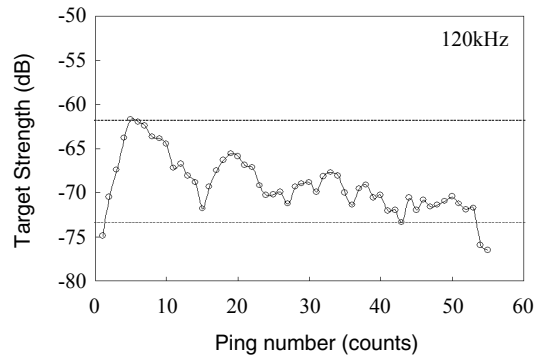


Fig. 8. Fluctuation of *in situ* TS at free swimming state using single target detection.

주요 원인을 규명할 예정이다. 또한, 음향기법에 의한 노무라입깃해파리의 수층 탐지 알고리즘은 해파리의 분포해역을 모니터링하는 주요 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

결 론

본 연구에서는 대형해파리의 수층별 분포 밀도를 파악하기 위하여, 수온약층이 강하게 형성되는 하절기에 동중국해의 해파리 발생해역으로 추정되는 한 정점에서 27시간동안 계류하면서 계량어군탐지기의 2 주파수를 이용하여 주, 야간 음향데이터를 수집하였으며, CTD 및 광학카메라를 이용하여 수층별 해양환경정보 및 대형해파리의 수직분포상태를 관찰하였다. 또한, 수온약층이 형성되어 있지 않은 우리나라 남해안 연안에서 측정된 음향데이터의 정보를 이용하여 수층별 분포 및 음향산란특성에 대한 기초적인 실험을 수행하였다. 일반적으로 분포하고 있는 것으로 추정되는 수심영역보다 비교적 낮은 수온 10°C이하의 수온약층 아래에서도 대형해파리는 존재하는 것으로 나타났으며, 연안에서는 다양한 수층대에 존재하는 것으로 나타났다. 또한, 주파수별 음향산란특성을 추정하기 위한 기초단계로서, 광학카메라에 의한 수층별 유명 이동 자세각을 확인하였다. 이러한 연구를 바탕으로 트롤조사 및 목시관측 정보와 비교하여, 향후 보다 정도 높은 수층별 분포 및 해역별 분포량을 추정하기 위한 자료로 활용될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원(해파리분리배출장치 개발, RP-2007-FE-006)의 지원에 의해 수행되었으며, 조사가 원활하게 진행될 수 있도록 적극적으로 협조해 주신 탐구1호 우병하 선장님과 김영준 항해장님을 비롯한 선박직원 분들께 감사드립니다. 끝으로 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

참고문헌

- Alvarez, C., G.H. Mianzan and A. Madirolas, 2003. Acoustic characterization of gelatinous-plankton aggregations: four case studies from the Argentine continental shelf. *ICES Journal of Marine Science*, 60, 650 – 657.
- Brierley, A.S., B.E. Axelsen, D.C. Boyer, C.P. Lynam, C.A. Didcock, H.J. Boyer, C.A.J. Sparks, J.E. Purcell and M.J. Gibbons, 2004. Single-target echo detections of jellyfish. *ICES Journal of Marine Science*, 61, 383 – 393.
- Hirose, M., T. Mukai, D.J. Hwang and K. Iida, 2005. Target strength measurements on tethered live jellyfish *Nemopilema nomurai*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 71(4), 571 – 577.
- Kim, I.O., J.K. Shin, B.J. Cha, K.H. Lee, H.C. An and S.W. Park, 2006. Development of the jellyfish separation and jellyfish crusher in Korea. 3th Nomurai Jellyfish international workshop Oct. 2006 in Yokohama, Japan. pp. 24.
- Lee, K.H., W.D. Yoon, I.O. Kim, H.C. An and J.K. Shin, 2006. Echosounding detection of *Nemopilema nomurai*. 3th Nomurai Jellyfish international workshop Oct. 2006 in Yokohama, Japan. pp. 24.
- National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI), 2005. Annual report of Jellyfish research. pp. 117.
- Matsushita, Y. and K. Honda, 2005. Method of designing and manufacturing JET (Jellyfish Excluder for Towed fishing gear) for various towed fishing gears. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 71(6), 965 – 967.
- Uye, S., S. Ueno, J. Hiromi and K. Shiomi, 2005. Jellyfish blooms-ecology, biochemistry and food science for utilization. *Nippon Suisan Gakkaishi* 71(6), 968 – 994.

2007년 8월 27일 접수

2007년 10월 29일 수리