

살오징어 (*Todarodes pacifica*)의 음향 반사강도 측정

강돈혁¹ · 황두진^{2*} · Tohru MUKAI¹ · Kohji IIDA¹ · 이경훈¹

¹북해도대학 수산과학연구과, ²여수대학교 수산해양대학

Acoustic Target Strength of Live Japanese Common Squid (*Todarodes pacifica*) for Applying Biomass Estimation

Donhyug KANG¹, Doojin HWANG^{2*}, Tohru MUKAI¹, Kohji IIDA¹ and Kyounghoon LEE¹

¹Laboratory of Marine Environment and Resource Sensing, Hokkaido University, Japan

²School of Fisheries and Ocean Science, Yeosu National University, Yeosu 550-749, Korea

Target strength (TS) of Japanese common squids (*Todarodes pacificus*) were measured using 38 and 120 kHz split beam scientific echosounders under the live condition. For the TS measurement of an individual, a total of 3 squids (mantle length (ML): 22.8, 25, and 27 cm) were used using small fishhook method, whereas for measurement of swimming angle, a total of 8 squids (ML: 21-27 cm) were used under live condition, confined with net cage with 2 m diameter. At the same time, two underwater video cameras enabled continuous monitoring of squid behavior. Considering normal behavior, the mean TS at 38 and 120 kHz varied from -48.6 to -45.9 dB, and from -46.5 to -44.6 dB, respectively. In both frequencies, mean TS at 120 kHz is relatively higher than that of 38 kHz, approximately 1.3-2.5 dB. From free living condition, the mean swimming angle of the squids was -24°. The results of the measurement will be provided basic information for conducting acoustic surveys of the squid.

Key words: Echosounder, Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, Swimming angle, Target strength (TS)

서 론

해양 생물의 반사강도 (target strength, TS) 실험 및 모델 예측의 대부분은 수산 자원, 혹은 생태계의 미치는 중요도에 따라 중요 상업 어종과 동물 플랑크톤에 한정되어 왔다. 어류는 분포하는 자원량이 일정 규모 이상으로 자원으로 가치 있어야 함을 의미하는데, 1990년 이후, 우리나라 주변 해역에서는 이러한 기준을 충족시키는 어류는 살오징어, 멸치, 고등어 등 극소수 어종에 한정되어 있다. 살오징어 (Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, 이하 오징어)는 1991년 이후 매년 20만 톤 내외가 어획되는 중요한 수산 자원으로 부각되고 있다. 오징어는 우리나라뿐만 아니라 1998년부터 TAC (Total Allowable Catch) 어종으로 채택하고 있는 일본, 그리고 대만, 중국 등 북서 태평양 연안 국가들에게는 중요한 수산 자원이다 (Kim, 2001).

오징어 자원량은 1년의 짧은 수명과 광범위한 분포 해역으로 인한 현장 조사의 어려움 때문에 전적으로 어선에 의한 어획량에 의존하고 있는 실정이다. 만일 음향을 이용한 오징어 자원량 파악이 가능하다면, 음향 조사의 장점인 신속성으로 인해 분포 200 m 내외의 수 층 전체와 넓은 조사 해역에 대해 자원량 조사가 가능하며, 또한 반복성으로 인해 정확도를 증가시킬 수 있을 것이다. 특히, 산란 시기의 성체 오징어에 대한 광범위한 조사는 다음 년도에 새로 가입되는 오징어의 자원량을 예측할 수 있으므로 기존의 조사 방법과 음향 조사

방법을 병행하면 오징어 자원량 예측에 정확도를 높일 수 있다.

오징어류는 어류와는 달리 강한 음향 산란을 일으키는 체내 부레가 없이 부드러운 피부 조직으로 구성되어 있고, 죽은 후에 체형이 변형되므로 음향 실험을 하는데 많은 어려움이 있다. 특히 북서 태평양에 분포하는 살오징어에 대한 음향 실험은 일부에서만 실시되어 왔다. 1980년대에 실시된 음향 실험은 단일 빔을 이용하여 죽은 상태의 단일 오징어와 (Arnaya et al., 1988), 작은 그물 망에 넣은 살아 있는 단체 오징어를 대상으로 하였으며 (Mukai et al., 2000), 1990년 이후에는 마취된 상태의 오징어를 split 빔을 이용하여 단일 개체에 대한 음향 특성을 측정하였다 (Yoon and Ha, 1998; Kawabata, 1999).

입의의 해역에서 관측한 음향 신호가 모두 오징어로부터 수신되었다면 기존의 음향 자료로부터 부분적으로 오징어 자원량을 예측할 수 있을 것이다. 그러나 오징어는 일주기 특성을 가지고 있으며, 특히 소형 어류 혹은 동물플랑크톤과 유사한 수직이동 경향을 가지고 있으므로 정확한 자원량 예측을 위해서는 수신된 음향 신호에서 다른 음향 산란체들의 신호를 분리하는 어종 분리 방법이 필요하다. 1990년 중반 이후에 제안되고 있는 다중 주파수의 음향 특성을 이용한 어종 분리 기법을 오징어에 적용하려면 동일한 오징어에 대해 최소 두 개의 주파수에 대한 음향 특성을 고려해야만 한다 (Miyashita et al., 1997; Higginbottom et al., 2000; Kang et al., 2003). 그러나, 기존의 실험들은 모두 단일 주파수를 이용하여

*Corresponding author: djhwang@yosu.ac.kr

얻어졌으므로 주파수 특성을 이용한 방법을 사용하기 위해서는 동일한 오징어에 대한 복수의 주파수에 대한 음향 실험이 요구되고 있다.

본 연구는 음향을 이용한 오징어 자원량 조사에서 수신된 음향 자료를 실제 자원량으로 환산하는데 필요한 TS 특성을 파악하기 위하여 실시하였다. 이를 위하여 해수 수조 내에서 살아 있는 오징어를 대상으로 TS 실험을 하였다. 특히, 현장에서 관측한 음향 신호에서 오징어 신호만을 분리하는데 적용하기 위하여 두 개의 주파수를 이용하였다. 또한 TS 특성에서 오징어 자세각이 중요한 변수이므로 자유 유영 상태에서의 자세각 특성을 측정하였다.

재료 및 방법

TS 측정 시스템

오징어 TS 측정은 2002년 12월 19-22일에 여수대학교 중앙식 센터 내에 있는 해수 수조에서 실시하였다. 해수 수조는 가로×세로×높이가 모두 5 m로 125 m³의 여과 해수로 채워졌으며, 실험 기간 내내 수온은 12°C, 염분은 33.0 psu였다. 음향 시스템은 1990년 이후, 많은 연구선과 실습선에서 사용하고 있는 과학어군탐지기 (EK500)의 음향 센서와 동일한 형태와 주파수인 38 kHz (ES38B), 120 kHz (ES120_7) split 빔 센서를 사용하였다 (SIMRAD, 1997). 두 개의 음향 센서는 수심 0.3 m의 수면 부근에 설치되었으며, TS 측정 전에 각각의 구리 보정구를 이용하여 보정을 실시하였다. TS 측정을 위한 각 센서의 변수들은 표 1과 같다. 자료 분석을 위한 음향 자료는 EK500의 “single echo detection data (TS, dB)”과 “volume backscattering data (Sv, dB)”로 구분하여 저장하였으며, 이때 ping 간격은 1초였다.

Table 1. Main settings of the two echosounders for TS measurement of the Japanese common squid

System parameters	38 kHz	120 kHz
Beam type	ES38B	ES120_7
Absorption coef.	9 dB/Km	40 dB/Km
Pulse length	0.3 ms	0.3 ms
Bandwidth	Auto	Auto
2-Way beam angle (dB)	-20.6	-20.8
Sv transducer gain (dB)	26.5	26.1
TS transducer gain (dB)	26.15	24.41
Angle sensitivity	21.9	21.0

실험 방법

본 실험에서는 살아있는 상태의 오징어를 대상으로 실험을 계획했으므로 자유 유영 상태의 단일 오징어로부터 수신되는 음향 자료의 수에 대한 점검이 필요하였다. 두 주파수 모두 ±3.5°의 좁은 빔 폭이므로 수조 전체를 고려한 자유 유영 상태에서 탐지되는 음향 자료의 수는 극히 한정적이었다. 그러므로 오징어의 자유 유영 상태는 충족시키면서 수신되는 자료의 수를 증가시키기 위하여 센서 중심을 기준으로 지름 2 m의

그물 망을 설치하였다. 이때 센서를 그물 망 가운데에 두었을 때, 그물에 의한 반사 효과는 좁은 빔 폭으로 인해 TS 및 Sv에 영향을 주지 않았다. 한편, 실험에 앞서 5 m의 얇은 수조에서 해수면과 수조 바닥을 고려한 오징어의 최적 분포 수심을 알아보기 위하여 두 개의 센서를 각각 그물 망의 중간에 두고 Sv를 측정한 결과 3.5-4.2 m 수심에서 -66~-71 dB로 최소치를 보였다.

수조 내에서 오징어가 살아 움직이는 지속 시간의 불확실성과 좁은 빔 폭은 실험의 제한 요소로 작용하고 있다. 이러한 제한 요소를 최소화하기 위하여 완전한 자유 유영 상태가 아닌 작은 낚시를 오징어의 fin 부근에 연결하는 한정된 자유 유영 방법을 채택하였다. 즉 38, 120 kHz에 영향을 주지 않는 약 50 cm의 미세 낚시 줄을 오징어에 연결 한 후, 보조 줄과 추를 이용하여 수심 3.8 m 부근까지 오징어를 내리는 방법을 사용하였다. 이러한 방법은 단일 개체 오징어에 대한 음향 실험에서 사용하였다 (Fig. 1a).

한편, 미세 낚시줄로 오징어의 움직임에 제한시키는 방법에 의한 음향 자료와 완전 자유 유영 상태에 의한 자료를 비교하고, 또한 오징어의 유영 자세각을 측정하기 위하여 그물 망 내에 복수의 오징어를 자유 유영시킨 상태에서 군체 실험을 추가로 실시하였다 (Fig. 1b).

살아 있는 오징어를 대상으로 한 기존의 실험 결과 (Kawabata, 2001)가 입사파와 오징어가 수직인 0°의 각도만을 고려하였다. 그러나, 본 실험에서는 살아있는 오징어의 평균 TS 산출 이외에도 다양한 자세각에 따른 TS 특성을 파악하기 위하여 음파에 영향을 주지 않는 측면과 수조 바닥에 수중카메라를 설치한 후, 두 실험 모두에서 오징어의 움직임을 아날로그 방식의 VHS 테이프에 저장하였다. 한정된 자유 유영 상태에서 단일 개체 오징어의 TS 측정 시간은 1.0-1.5시간, 자유 유영시킨 군체 실험은 4시간 동안 실시하였다.

실험에 사용한 오징어

TS 측정을 위한 오징어는 활어 상태로 실험 수조까지 운반한 후, 보조 수조에서 약 24시간을 적응시켰다. 적응 후, 건강 상태가 양호한 오징어만을 대상으로 실험에 사용하였다. 수조 내에서 이동 도중 공기 중에 노출은 하지 않았으며, 실험 시작 전에 오징어 표피에 붙어 있을 미세 공기 방울을 수중에서 제거하였다. 실험에 사용한 살아 있는 오징어 개체수는 총 11개체로 외투장 길이 (mantle length, ML)는 21-27 cm (평균 ML: 24.2 cm)로 성체 오징어에 해당하였으며, 습중량은 221-515 g (평균 습중량: 380.6 g) 이었다. 이 가운데 단일 개체 실험에는 외투장 길이가 22.8, 25, 27 cm인 건강한 오징어를 대상으로 하였으며, 8개체는 (평균 ML: 24.2 cm) 군체 실험에 사용하였다.

TS 및 영상 자료 처리

과학어군탐지기 EK500의 TS 자료는 split 빔 특성상 빔 축에 대한 오징어의 위치를 파악할 수 있는 alongship 각도와 athwartship 각도가 출력되게 된다. 수신된 TS 자료는 모두

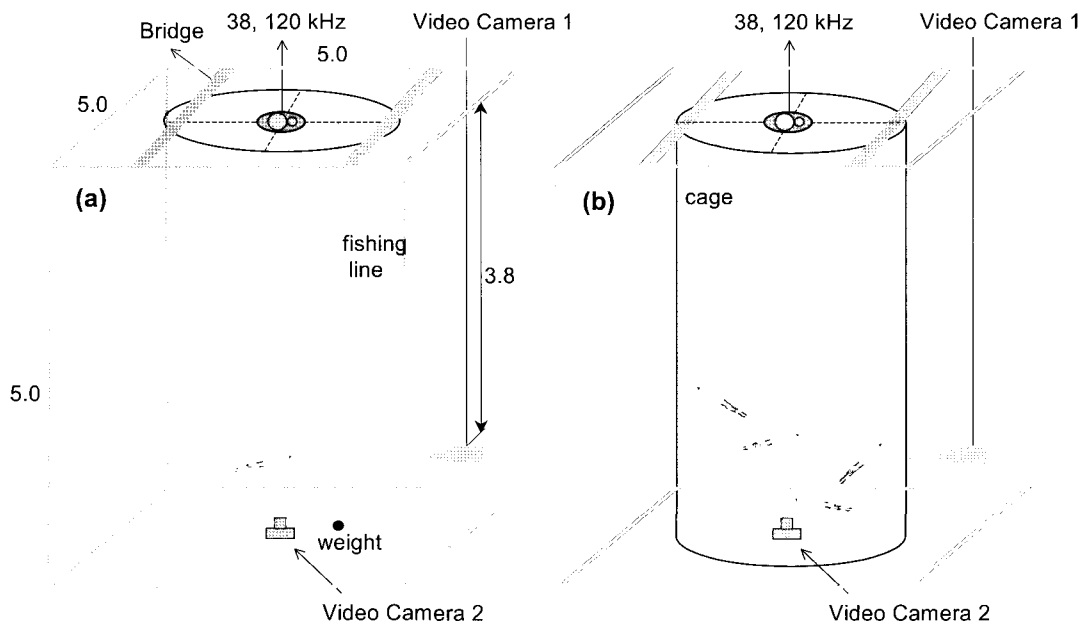


Fig. 1. Apparatus for target strength measurements of the Japanese common squid under live condition. (a) for individual squid, (b) for multiple squids.

사용하지 않고 다음의 두 가지 기준—(1) 38, 120 kHz의 3 dB 빔 폭이 각각 7°, 7.1°이므로 빔 폭 내에 오징어가 위치하는 alongship 각도와 athwartship 각도가 ±3.5°, ±3.55° 이내인 자료, (2) 단일 개체와 군체 측정에서 오징어는 다양한 분포 수심을 가질 수 있으므로 이 가운데 탐지 수심이 3.5-4.2 m의 범위 내에 있는 자료—을 동시에 만족하는 자료를 선택하였다. 선택된 자료를 이용한 개체 및 군체 오징어의 평균 TS는 후방산란 단면적 (σ , m²)의 평균으로부터 계산하였다 (MacLennan and Simonds, 1992). 계산된 평균 TS는 오징어의 모든 자세각으로부터 만들어지는 TS의 특성을 의미하게 된다.

실제 해양 환경에서 오징어는 일주기 경향을 강하게 가지고 있으므로, 자세 특성은 크게 일출-일몰 때의 이동 시기와 낮 시간 동안의 중층 이하, 밤 시간 동안의 표층 부근으로 구분될 수 있다 (Lee and Kim, 2001). 낮과 밤 시간 동안에 관측된 오징어의 음향 자료는 평균 자세 특성이 포함된 TS 특성을 사용할 수 있으나, 일출-일몰 때의 자료는 자세각 변동이 크므로 이에 대한 고려가 필요하다. 따라서, 수신된 음향 자료와 수중 카메라에 의한 영상 자료로부터 자세각에 따른 TS 특성을 분리하고자 하였다. 매초 당 수신된 음향 자료와 영상 자료의 동기화를 위해 Matlab을 이용한 Graphic User Interface (GUI) 프로그램을 구성하였다. 이 프로그램에는 수조 바닥과 측면에 설치한 카메라의 아날로그 영상을 디지털 영상으로 만든 자료와, TS 자료, 실험 정보가 입력되며, TS 계산 영역이 포함되어 있다 (Fig. 2). 이때 프로그램 내에서 영상과 음향 자료의 동기화를 위하여 디지털 영상으로의 변환은 관측 당시 입력한 음성 신호를 이용하여 음향 관측 시간과 동일한 시간대부터 시작하였다. 따라서, 프로그램 내에서 두

개의 영상 자료는 TS 관측 시간과 일치한 상태로 작동하게 된다.

오징어의 자세각은 측면 영상을 ping 간격과 동일한 1초 간격으로 진행시킨 후, 오징어의 자세각이 시각적으로 뚜렷이 나타나는 화면을 정지시킨 후, 화면에서 자세각을 계산하여 해당되는 TS 자료와 영상 자료를 출력하게 된다. 오징어의 자세각은 수평축을 기준으로 머리 부분이 아래로 향하고, fin 부분이 위쪽에 위치할 때를 음의 자세각으로, 반대인 경우는 양의 자세각으로 정의하였다.

자유 유연 상태에서의 오징어 자세각

단일 개체 실험에서 오징어는 계속 유연하지 않고 때로는 줄에 매달려 있으므로 이러한 자세각에서 만들어지는 낮은 TS는 평균 TS 계산에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 오징어의 유연 각도의 측정으로부터 TS에 영향을 주는 정상적인 자세각을 측정해야 한다. 단일 개체 실험에서는 미세 줄을 이용하였으므로 한정된 움직임이 나타날 수 있기에 2 m 지름의 망 내에 자유롭게 유영시킨 군체 실험의 영상 자료로부터 오징어의 유연 각도를 측정하였다. 이때 각도 측정은 앞에서 설명한 GUI 프로그램을 이용하였으며, 자세각의 정의 또한 동일하게 적용하였다.

결 과

모든 자료를 이용한 오징어의 TS 분포

성체 오징어 가운데 3개의 다른 외투장 길이를 (22.8, 25, 27 cm) 갖는 살아있는 오징어로부터 38, 120 kHz에서 수신된 모든 TS 값을 빈도수로 나타냈다 (Fig. 3). 3개체 모두를 고려했

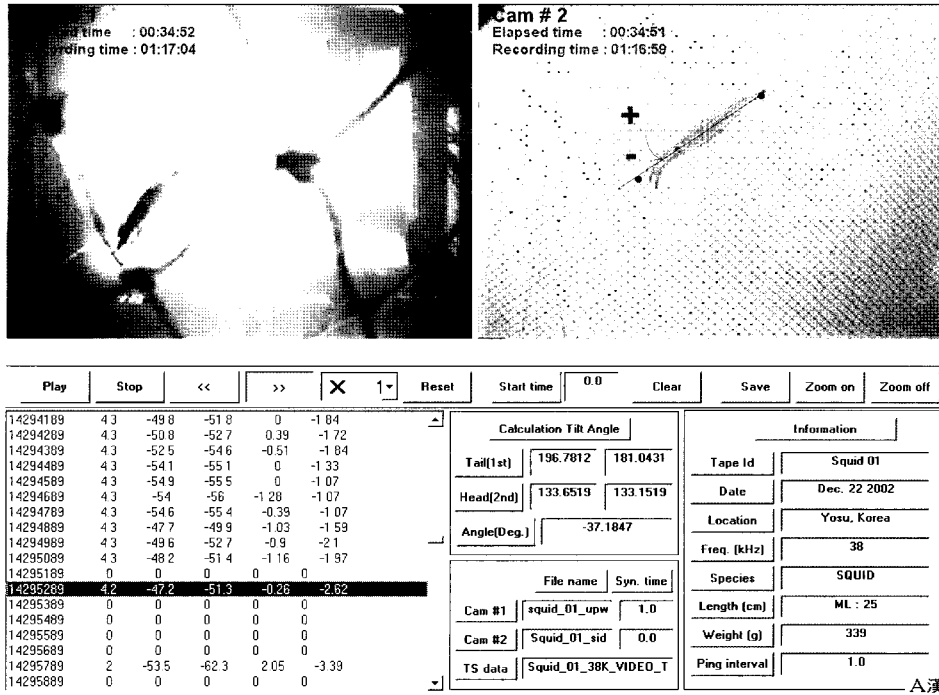


Fig. 2. Conventional graphic user program (GUI) to determine TS with tilt angle and to synchronize between TS and video data. (left up: upward video, right up: side video, left down: TS data, and right down: system information)

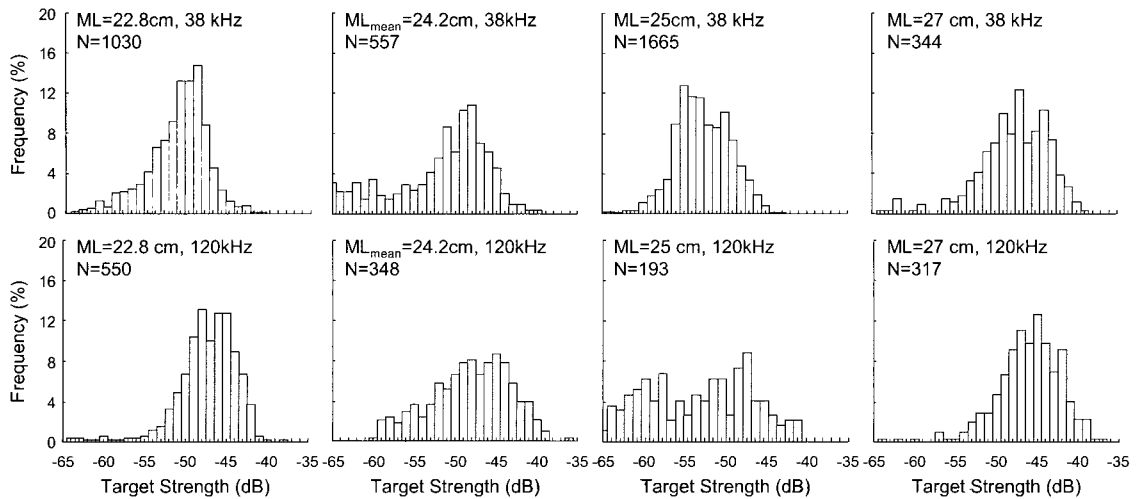


Fig. 3. TS distribution of the Japanese common squid under live condition. The data were obtained from 38, and 120 kHz.

을 때, 38 kHz에서 TS의 범위는 -64 - -39 dB, 120 kHz는 -65 - -36 dB로 분포 범위가 넓게 나타나고 있다. 이러한 넓은 TS의 분포는 오징어의 자세각이 다양하게 변함으로써 나타남을 알 수 있다. 평균 TS는 38 kHz에서 각각 -50.4, -51.8, -46.4 dB, 120 kHz에서는 -46.6, -50.4, -45.1 dB이다. 두 주파수에서 평균 TS는 120 kHz에서 1.3-3.8 dB 높게 나타나 부레를 가지지 않은 오징어의 경우 120 kHz에서 TS가 더 높게 나타나는 특성

을 보여주고 있었다.

8개체를 (평균 ML: 24.2 cm) 동시에 넣어 자유 유행시킨 군체 실험에서 TS 범위는 38 kHz에서 -65 - -40 dB, 120 kHz에서는 -60 - -36 dB로 나타났으며, 평균 TS는 각각 -49.5 dB, -46.4 dB 였다. 단일 개체에서와 동일하게 120 kHz에서 평균 TS는 높게 나타나고 있다.

이들 결과는 오징어의 자세각에 따른 TS 변동은 고려하지

않고 수신된 자료 가운데 송수파기와 오징어와의 거리 및 3 dB 빔 폭을 만족하는 자료만을 선택한 것이다. 따라서, 빈도 수 분포에는 단일 개체 오징어가 움직이면서 만드는 모든 자세각에 따른 TS가 포함된 것이다. 특히, 단일 개체 실험의 경우, 오징어가 실험 기간 내내 정상적인 유평을 하지 않고 일정 시간은 fin에 연결된 줄에 매달려 비정상적인 자세각을 만드는 경우가 있었다 (Fig. 4). 따라서, 단일 개체 실험에서 얻어진 TS 자료 가운데 비정상적인 자세각으로 만들어진 TS 값을 제외시키는 과정이 필요하다.

자유 유평 상태에서 오징어의 유평 각도

기존의 연구에서 오징어의 평균 유평 자세 특성은 해류와의 관계, 포식자로부터의 회피성, 먹이 섭취 단계 등 다양한 조건으로 인해 거의 알려지지 않았다. 본 실험에서 2 m의 그물망으로 활발한 움직임을 제한시켰지만 해수보다 큰 밀도를 가진 오징어가 임의의 수심에서 머물기 위한 유평 자세각 특성은 파악할 수가 있었다. 8개체를 자유 유평시키면서 4시간 동안 관측한 오징어 유평 자세각은 전체적으로 머리 부분이 아래쪽으로 향하는 음의 유평 자세를 나타내고 있었다 (Fig. 5). -45°-0° 사이의 유평 자세각은 전체 자료의 약 82%를 차지하고 있었으며, 상대적으로 높은 빈도 분포를 보이고 있는 유평 자세각은 -35°- -5°로 약 63%를 차지하고 있었다. 전체 자료를 고려한 유평 자세각의 평균 및 표준편차는 각각 -24°, 18.8°로 계산되었다. 따라서, 관측 결과로부터 오징어의 유평 자세각은 약 -42.8° - -5.2°의 범위를 가짐을 알 수 있다.

정상 자세각을 가진 오징어의 TS

앞에서 나타낸 오징어 유평 자세각의 분포 범위에서 최대 각도는 -42.8°로, 이 값보다 큰 유평 자세각은 비정상적인 움직임으로 볼 수 있다. 한편, 해양에서 오징어는 일정 수심에 존재하기 위해 음의 값을 가지는 정지 자세각 이외에도, 먹이를 잡거나 혹은 일주기 이동에서 양의 자세각을 가질 수 있다. 수조 내의 안정된 환경 속에서도 정지 자세각에서 임의의 움직임을 가질 때 오징어는 양의 유평 각도를 가지는 경우가 있는데, 본 연구의 자세각 측정에서 양의 분포는 전체 자료의 약 11%였다. 이러한 양의 유평 자세각 또한 고려해야 정상적인 유평 범위를 나타낼 수 있다. 따라서, 정상적인 유평 범위를 위한 양의 최대 유평 자세각을 음의 최대 각도와 동일하게 적용하였다. 일반적인 어류의 음향 모델에서 어체의 기울기에 대한 TS 측정은 ±50°까지 적용하고 있으므로 (Sawada et al., 1999), 관측된 최대 오징어 각도가 -42.8°이지만 ±50°까지 오징어의 유평 범위를 확대하였다. 따라서 단일 개체 오징어에 의한 TS와 그에 해당하는 유평 자세각에서 ±50° 이내의 범위에 포함되는 TS 자료만을 추출하여 평균 TS를 계산하였다 (Table 2).

수정된 평균 TS는 38 kHz인 경우 외투장이 22.8, 24.2, 25, 27 cm에서 -48.6, -47.6, -48.2, -45.9 dB, 120 kHz에서는 -46.3, -45.1, -46.5, -44.6 dB로 계산되었다. 이러한 평균 TS는 수신된 모든 자료의 평균 TS보다 0.3-3.9 dB 높은 분포이다. 수정된 평균 TS에서 120 kHz는 38 kHz에 비해 약 1.3-2.5 dB 높은

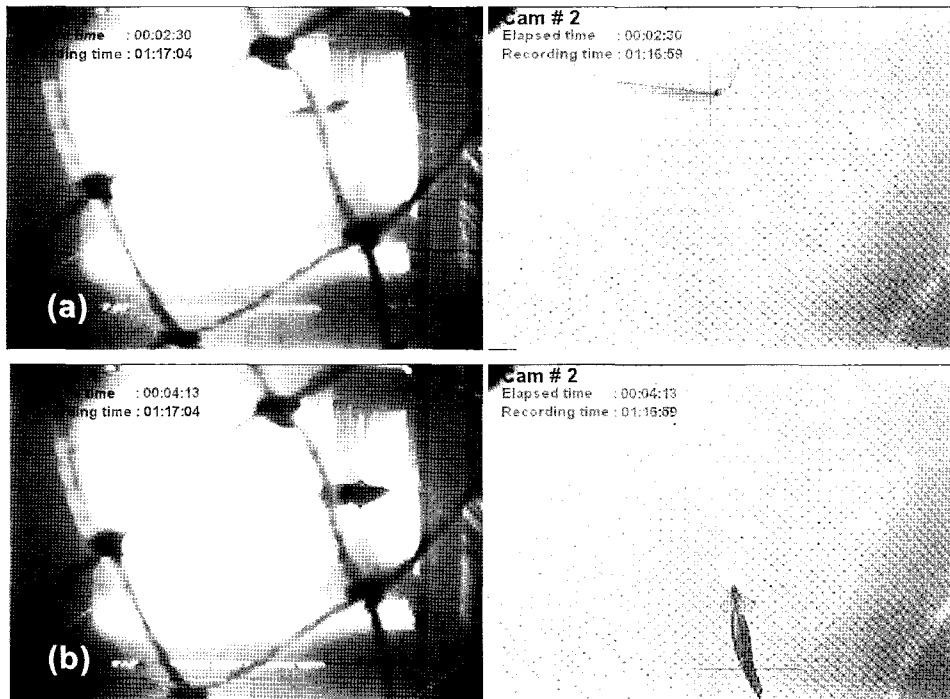


Fig. 4. Squid behaviors during TS measurement using fishhook method. (a) normal behavior, and (b) abnormal behavior. The left and right images represent upward and side view camera, respectively.

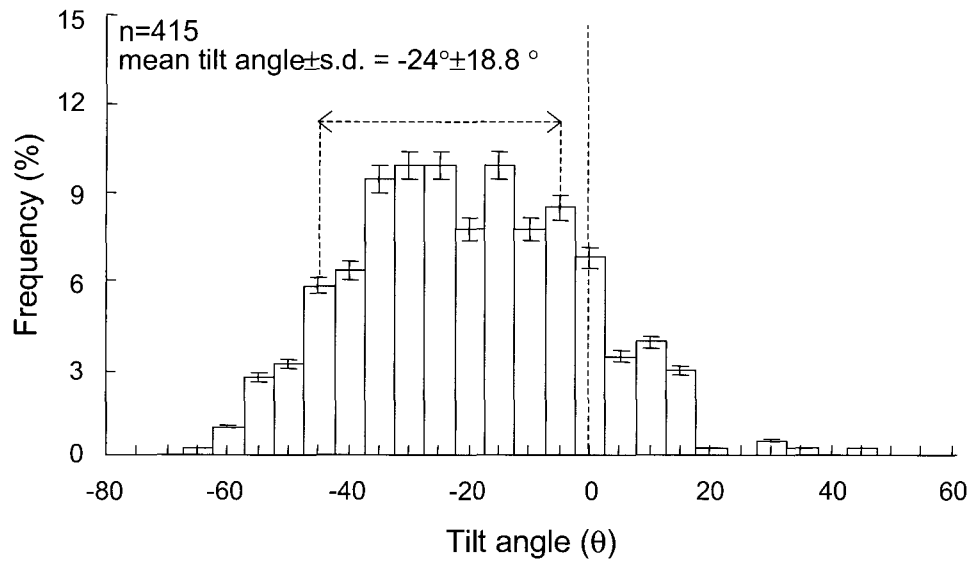


Fig. 5. Distribution of the Japanese common squid's swimming angle. The data were obtained from free swimming condition. Mean swimming angle was about -24° .

Table 2. Mean TS value of the Japanese common squid at 38, and 120 kHz

Squid size	38 kHz (dB)		120 kHz (dB)		ΔTS_{120-38} (dB)
	all data	within $\pm 50^\circ$	all data	within $\pm 50^\circ$	
ML, 22.8 cm	-50.4	-48.6	-46.6	-46.3	2.3
Multiple, mean ML, 24.2 cm	-49.5	-47.6	-46.4	-45.1	2.5
ML, 25 cm	-51.8	-48.2	-50.4	-46.5	1.7
ML, 27 cm	-46.4	-45.9	-45.1	-44.6	1.3

분포를 나타내고 있다. 이러한 주파수 차이는 현장 자료에서 주파수 차이에 의한 어군 식별에서 오징어를 분리해 내는 판별 기준으로 사용될 수가 있다.

자세각에 따른 TS 분포

강한 음향 반사를 일으키는 어류의 부레는 몸 축에 대해 일정한 기울기를 가지고 있으므로 어류에 도달하는 입사파와 부레 사이에서 만들어지는 각도가 직각일 때, 최대 TS를 가지게 된다. 그러나, 체내에 음향 산란을 일으키는 부레를 가지고 있지 않은 오징어는 음파 산란 면적이 최대가 되는 0° 의 유영 자세각에서 최대 TS를 나타내며, 유영 각도가 클수록 TS는 감소함을 보여주게 된다. Fig. 6은 38, 120 kHz에 대해 오징어의 유영 자세각에 따른 TS의 변위를 보여주고 있다. 결과에서 대부분의 유영 자세는 음의 각도를 나타내고 있으며 양의 각도는 일부만 관측되었으며, 최대 TS는 오징어의 자세각이 수평을 이루는 0° 부근에서 나타나고 있다.

평균 유영 각도인 -24° 에서 TS는 38 kHz에서는 -48 dB, 120 kHz에서는 -45 dB 부근에서 분포를 나타내고 있다. 유영 각도에 따라 TS가 변위가 다르게 나타나므로 임의의 유영 각도에서 평균 TS는 일출-일몰 때의 음향 자료를 계산할 때 적절한 TS를 선택해야 함을 알 수 있다.

고찰

오징어류는 전 세계 해양에 고루 분포하고 있으나 부어류에 비해 낮은 중요성 때문에 음향을 이용한 자원 조사는 일부 지역에 한정되어 실시되었다 (Jefferts et al., 1987; Goss et al., 2001). 특히, 북서태평양 해역에서 오징어는 중요한 수산 자원이나 모든 조사는 채집 자료에 의존하고 있다. 오징어에 대한 음향 조사가 어려운 이유는 TS가 낮고, 음향 산란층과 함께 이동하는 특성 때문이었다. 또한 오징어의 TS 측정을 위해 살아있는 상태를 유지해야 어려움도 있다. 그러나, 최근에 오징어보다 더 낮은 TS를 가지고 있는 동물 플랑크톤 연구에서 음향의 이용 가능성에 대한 효용성이 검증되고 있고, 다중 주파수에 의한 종 분리 기법의 가능과 해수 수조에서의 실험 등으로 이러한 어려움이 해결될 수 있음을 보여주고 있다. 따라서, 오징어에 대한 음향 특성이 규명된다면 자원량 조사 및 분포 연구에 음향을 이용하는 것이 가능할 것이다.

기존의 오징어류 자원량 조사에서는 주로 현장 TS를 많이 사용하였다. 현장 TS의 경우 다른 어종의 유영 자세에 의한 자료가 포함될 가능성과 오징어라 할지라도 활동 상황에 따라 다양한 TS가 나올 수 있어 정확한 TS 함수를 이끌어 내는 것은 한계가 있다. 그러나, 최근까지도 실험 상황과 개개 오징

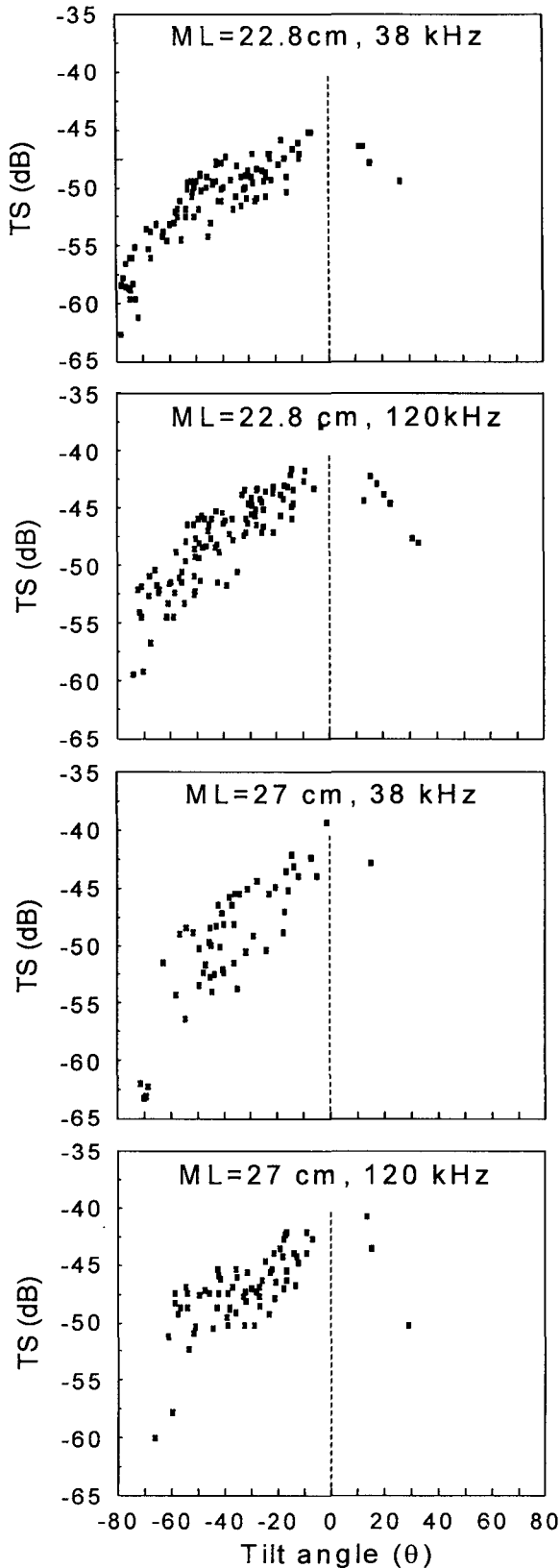


Fig. 6. TS distributions of the Japanese common squid, as a function of tilt angle.

어의 특성이 파악 가능한 조건에서 TS 실험은 제한적으로만 이루어져 외투장과 유영 자세각이 포함된 TS 함수의 사용에는 한계가 있었다.

오징어의 TS는 죽은 개체에 대한 실험 (Amaya et al., 1988, 1989), 마취한 상태로 0°의 유영 각도에서만 실험 (Yoon and Ha, 1998; Kawabata, 1999), 살아 있지만 좁은 망 속에 여러 마리의 오징어를 넣은 실험 (Amaya et al., 1989; Mukai et al., 2000) 등으로 측정해 왔다. 외투장이 15-30 cm인 죽은 개체 오징어에 의한 TS는 50, 200 kHz에서 -42 - -29 dB로 본 연구 결과와 비교했을 때 매우 높은 분포를 보이고 있다. 이러한 높은 TS는 오징어가 죽으면서 공기 중에 노출되어 외투장 내부에 공기가 들어갈 가능성을 생각할 수 있다. 좁은 망 속에 여러 마리를 넣어 평균한 TS (28, 39, 50, 98, 120, 198 kHz)는 -65 - -50 dB로 낮은 분포를 보여주고 있는 데, 이는 망 내의 오징어가 다양한 각도로 존재하기 때문이다.

한편, 마취를 하여 오징어의 상태가 양호한 실험에서 TS는 38 kHz에서 -51 - -42 dB의 분포를 보여 본 실험 결과와 가장 유사한 분포를 보여주고 있으나, 관측 방법이 본 연구의 방법과 다르기에 유사한 결과라고 비교하기는 어렵다. 즉, Yoon and Ha (1998)는 마취된 오징어 (ML: 14.6, 23.5, 27.2, 30.5 cm) 를 대상으로 0°에 대한 TS를 측정 한 결과, 평균 TS는 -51.7, -47.8, -44.2, -42.1 dB로 외투장 길이에 비례하여 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그러나, 실로 고정시킨 일정한 조건에서 TS 범위가 일관되게 나오지 않고 -65 - -40 dB까지 폭 넓게 나오고 있어 0°만을 고려한 실제 평균 TS는 계산치보다 높을 것으로 판단된다. 이와 같은 원인은 실험이 수조와 같이 안정된 상태가 아니라 선상에서 관측한 결과로 실험선의 작은 움직임이 있을 때 상대적으로 크기가 작은 오징어와 송수파기 면의 움직임이 크게 나타나기 때문으로 판단된다.

38 kHz에서 개체 오징어의 평균 TS를 이용한 TS_{cm} 는 $\pm 50^\circ$ 이내의 유영 자세각을 고려한 본 연구에서는 -75.4로 나타났고, 마취된 상태에서 0°만을 고려한 조건에서 Yoon and Ha (1998)는 -75.8, Kawabata (1999)는 -73.7이었다. 본 실험에서 관측된 0°만의 TS 자료를 이용한 TS_{cm} 는 -69.4로 마취된 오징어를 선상에서 관측한 자료와는 4-5 dB 높게 나타나고 있다. 이러한 차이는 TS 함수를 위한 평균 TS 측정 단계에서 안정된 실험 조건이 필요함을 간접적으로 나타내고 있다.

이상적으로 평균 TS는 오징어가 모든 유영 각도에서 만들어 내는 TS로부터 계산되어야 한다. 본 연구에서는 오징어의 평균 TS를 위해 다양한 유영 각도에서 측정을 시도하였으나 죽은 개체가 아니기 때문에 다양한 유영 각도에서 TS를 측정할 수는 없었다. 특히 실험에서 오징어가 주로 음의 유영 각도를 가지는 경우가 많아 결과적으로 평균한 TS는 편향될 가능성을 내포하고 있으므로 음향 이론 모델을 이용하여 모든 유영 각도를 고려한 평균 TS와 비교하였다.

이론적인 평균 TS와 실측치의 차이를 비교하기 위하여 22.6 cm의 외투장 길이를 가진 오징어를 음향 산란 모델에 적용하였다. 이때, 오징어의 물리적 특성인 밀도비 (g)는

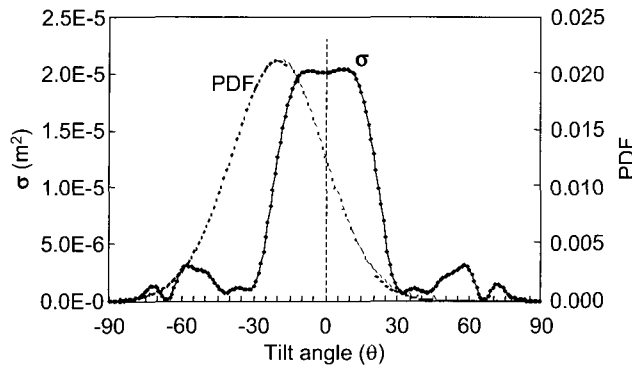


Fig. 7. Backscattering cross-section (σ) of 22.6 cm Japanese common squid in mantle length, at 120 kHz using Kirchoff ray mode model. Probability density function (PDF) was calculated from mean swimming angle and its standard deviation.

1.025, 음속비 (h)는 1.007을 사용하였으며 (Mukai et al., 2000), 음향 산란 모델은 Kirchoff ray mode (KRM) model에서 해수와 의 밀도비가 작은 어체 모델식을 이용하였다 (Clay and Horne, 1994; Medwin and Clay, 1998). 주파수는 38, 120 kHz, 유평 각도는 $\pm 90^\circ$ 까지 1° 간격, 외투장은 0.25 cm 등간격으로 격자를 나누어 이론 TS 모델식을 계산하였다. 계산된 각 유평 각도의 TS는 산란 단면적으로 바꾼 후, 본 실험에서 측정된 평균 유평 자세각의 확률밀도함수 (probability density function)와 각각의 곱을 취한 후 그 합으로 평균 TS를 계산하였다 (Fig. 7; Foote, 1980). 계산된 평균 TS는 38 kHz에서 -53.6 dB, 120 kHz에서 -50.3 dB로 나타났고, 평균 TS의 주파수 차이는 약 3.3 dB로 나타나 본 실험의 실측치에서 나타난 범위 내에 들어옴을 알 수 있다. 모델로 계산된 평균 TS 값은 본 연구에서 실측한 38 kHz과는 5.0 dB, 120 kHz과는 4.0 dB 낮은 결과이다. 이 같은 차이의 가능성은 음향 산란 모델에서 중요한 변수인 g 와 h 가운데 낮은 h 와 실측에서 나타나지 않은 양의 유평 각도의 TS 값으로 설명할 수 있다. 따라서, 이러한 차이를 좀 더 정확히 비교하고 음향 모델로 오징어의 TS를 예측하기 위해서는 정확한 g 와 h 측정과 양의 유평각도에 따른 TS 분포가 추가되어야만 한다.

본 연구는 살아있는 상태의 오징어를 대상으로 연구선 혹은 조사선에서 많이 사용되고 있는 동일한 주파수 (38, 120 kHz)에 대해 TS 특성을 측정하였으며, 주파수간 차이를 파악하였다. 이러한 TS 자료는 실제 음향 자료에서 오징어군을 구별하고, 자원량을 예측하는 중요한 함수로 쓰일 것이다. 사용된 오징어의 수가 한정되었으므로 자료의 신뢰도를 증가시키기 위해 실험 개체 수를 증가시켜야 하며, 20 cm 미만의 TS 자료가 없으므로 이에 대한 추가 실험이 뒤따라야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Amaya, I.N., N. Sano and K. Iida. 1988. Studies on acoustic target strength of squid, I. Intensity and energy target strength. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 39, 187-200.
- Amaya, I.N., N. Sano and K. Iida. 1989. Studies on acoustic target strength of squid, II. Effect of behaviour on averaged dorsal aspect target strength. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 40, 83-99.
- Clay, C.S. and J.H. Horne. 1994. Acoustic models of fish: Atlantic cod (*Gadus morhua*). J. Acoust. Soc. Am., 96, 1661-1668.
- Foote, K.G. 1980. Averaging of fish target strength functions. J. Acoust. Soc. Am., 67, 504-515.
- Goss, C., D. Middleton and P. Rodhouse. 2001. Investigations of squid stocks using acoustic survey methods. Fish. Res., 54, 111-121.
- Higginbottom, I.R., T.J. Pauly and D.C. Heatley. 2000. Virtual echograms for visualization and post-processing of multiple-frequency echosounder data. Proceedings of the Fifth European Conference on Underwater Acoustics, ECUA 2000, M.E. Zakharia, ed., 1497-1502.
- Jefferts, K., J. Burczynski and W.G. Pearcy. 1987. Acoustical assessment of squid (*Loligo opalescens*) off the central Oregon coast. Can. J. Fish. Aqua. Sci., 44, 1261-1267.
- Kang, D.H., H.C. Shin, S.A. Kim, Y.H. Lee and D.J. Hwang. 2003. Species identification and noise cancellation using volume backscattering strength difference of multi-frequency. J. Kor. Fish. Soc., 36, 541-548. (in Korean)
- Kawabata, A. 1999. Measurement of the target strength of live squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup. Bull. Tohoku Natl. Fish. Res. Inst., 61, 29-40.
- Kawabata, A. 2001. Measurement of the target strength of live squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup, in controlled body tilt angle. Bull. Tohoku Natl. Fish. Res. Inst., 64, 61-67.
- Kim, D.Y. 2001. Reorganization of the international fisheries regime in the East Sea - Case by Korea and Japan squid angling fisheries. Kor. J. Fish. Busan. Admin., 32, 51-71. (in Korean)
- Lee, D.J. and S.G. Kim. 2001. A study on the diel distribution and activity patterns of fishes in the Korean Eastern Sea. Bull. Kor. Soc. Fish. Technol., 37, 85-94. (in Korean)
- MacLennan, D.N. and E.J. Simmonds. 1992. Target strength. In: Fisheries Acoustics, Fish and Fisheries Series 5. Chapman and Hall, London, U.K., pp. 164-200.
- Medwin, H. and C.S. Clay. 1998. Biomass echoes, reverberation, and scattering models. In: Fundamentals

- of Acoustical Oceanography, Academic Press, San Diego, USA, pp. 348-404.
- Miyashita, K., I. Aoki, K. Seno, K. Taki and T. Ogishima. 1997. Acoustic identification of isada krill, *Euphausia pacifica* Hansen, off the Sanriku coast, north-eastern Japan. Fish. Oceanogr., 6, 266-271.
- Mukai, T., K. Iida, K. Sakaguchi and K. Abe. 2000. Estimations of squid target strength using a small cage and theoretical scattering models. The Proceedings of the JSPS-DGHE International Symposium on Fisheries Science in Tropical Area, Bogor, Indonesia, 135-140.
- Sawada, K., Z. Ye, R. Kieser, A. McFarlane, Y. Miyano-hana and M. Furusawa. 1999. Target strength measurements and modeling of walleye pollock and Pacific hake. Fish. Sci., 65, 193-205.
- SIMRAD. 1997. Operation manual, Simrad EK500 scientific echo sounder. Base version, P2170. A Kongberg Company.
- Yoon, G.D. and K.L. Ha. 1998. Acoustic target strength of pelagic fish species to echo integration in Korea waters. II. Measurement of target strength of squid (*Todarodes pacificus*). Bull. Kor. Soc. Fish. Technol., 34, 372-376. (in Korean)
-
- 2004년 5월 15일 접수
2004년 8월 27일 수리