

## 북서 태평양 멸치 (Japanese anchovy)에 대한 측면 음향 반사강도 특성

이형빈 · 강돈혁\*

한국해양연구원 해양생물자원연구부

### **In situ side-aspect target strength of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) in northwestern Pacific Ocean**

**Hyungbeen LEE and Donhyug KANG\***

*Marine Living Resources Research Department, KORDI, Ansan 425-600, Korea*

Acoustic side-aspect target strength (TS) of living Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) was measured at 120kHz during *in situ* experiments. The data were collected by lowering and horizontally projecting the split-beam transducer into the anchovy school. For analysis and interpretation of the side-aspect TS data, acoustic theoretical model, based on the fish morphology, and dorsal-aspect TS data were used. Total length of the anchovy ranged from 6.6 to 12.8cm (mean length 9.3cm). The side-aspect TS distributed between -40 and -55dB, has an obvious length dependency. The mean side-aspect TS of the anchovy was -47.8dB, and the TS was about 2dB higher than mean TS generated from dorsal-aspect measurements. With reference to maximum TS, the results of the side-aspect TS were distributed within the range of the theoretical and dorsal-aspect TS. Apparently these tendency indicates that side-aspect TS measured from the study is useful data. These *in situ* measurements of side-aspect TS can be applied to improve acoustic detection and estimates of the anchovy, and is necessary to measure with a various frequency and length for making enhance data.

Keywords: Acoustic model, Anchovy (*Engraulis japonicus*), In situ measurement, Side-aspect Target strength

### 서 론

멸치 (anchovy)는 극 지방이나 적도 지방을 제외한 온대 기후에 속하는 대부분의 연안에 분포하는 소형 어류로 동물플랑크톤이나 치어의 포

식자로서 기능과 대형 어류의 먹이로서의 기능을 가지며 연안 해양생태계 먹이 사슬에서 중요한 역할을 하고 있다 (Shelton et al., 1993). 또한 전 세계 해역별로 매년 일정량 이상 어획되어 연

\*Corresponding author: dhkang@kordi.re.kr, Tel: 82-31-400-7730, Fax: 82-31-406-2882

안 수산자원으로서의 중요성을 가지고 있다. 칠레의 경우 1990 - 2006년 시기에 평균 143만 톤의 멸치(Peruvian anchovy)가 어획되었으며, 우리나라와 인접한 중국의 경우 1992 - 2007년 시기에 평균 81만 톤의 멸치(Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*)가 어획되어 가장 중요한 수산자원으로 관리되고 있다(FAO, 2010).

북서 태평양에 속해 있는 우리나라에서 멸치는 1992 - 2007년 사이의 연 평균 22만 톤이 어획되어 오징어, 고등어와 함께 가장 대표적인 연안 어종이다(Statistics Korea, 2010). 생태계 측면의 중요성과 수산자원 측면에서의 중요성으로 인해 멸치는 생태계 구조 파악과 지속적인 연안 수산자원 관리를 위해 과학적인 현존량 파악의 필요성이 대두되고 있다.

현재 멸치의 자원량 파악은 어획량과 어란 및 환경 자료를 이용한 자원 모델 접근법을 주로 이용하고 있으며, 특정 지역의 경우 채집 자료와 음향 조사 기법을 혼용하고 있다(Hampton, 1996; Kim and Lo, 2001). 자원 모델을 이용한 방법은 전체 자원량 추정 및 경향을 파악할 수 있는 장점이 있는 반면 추정 결과의 검증에 대해 현장 조사 자료를 활용한 퍼드백이 수반되어야 한다. 이를 위하여 조사 해역에서 과학적인 채집 및 음향 조사 등을 통해 대상 종의 자원량을 추정하여 모델 결과와의 차이점 분석 및 수정 절차를 거치게 된다.

일반적으로 음향자원 조사는 수직 방향의 과학어군탐지 시스템을 기반으로 실시되고 있으며, 음향 자료의 질적 측면에서 양호한 좁은 송수신 빔폭 방식을 채택하고 있다(MacLennan and Simmonds, 1992). 이러한 음향 시스템은 탐지 면적 측면에서 중층 어류 자원 탐사에 많은 장점을 주고 있으나 표층성이 강한 종에 대해서는 탐지 면적의 제한으로 인해 많은 약점을 가지고 있다. 이러한 표층에서의 좁은 탐지 면적에 대한 제한점을 극복하기 위하여 최근에는 탐지 면적이 넓은 전 방향 소나 시스템의 활용 필요

성이 증가하고 있다(Berger et al., 2009). 수직 방향의 과학어군탐지 시스템과 소나 시스템 등 어떤 형태의 음향 시스템이든 음향 반사강도(target strength, TS) 자료는 자원량 변환에서 가장 중요한 정보로 활용된다(Zhao et al., 2008).

수직 방향의 과학어군탐지 시스템에 적용 가능한 북서 태평양 멸치의 음향 TS 정보는 현장(in situ) 혹은 현수법(ex situ)을 사용하여 체장 혹은 주파수 함수 형태로 일부 제시되어 음향 자원량 추정에 활용하고 있다(Kang et al., 2009). 그러나 탐지 측면에서 장점이 있는 소나 시스템 혹은 수평 방향의 음향 시스템에 필요한 북서 태평양 멸치의 측면 방향의 음향 반사강도(side-aspect TS, 이하 측면 TS) 정보는 없는 상태로 향후 다양한 음향 시스템의 활용을 위한 과학적인 자료 축적 면에서 이에 대한 준비가 필요한 상황이다.

본 연구에서는 북서 태평양 멸치의 음향 자원량 평가 방법 개선 및 생태계 구조 파악을 위한 소나 혹은 수평 방향의 음향 시스템 활용에서 기본 자료로 활용될 멸치의 측면 TS 특성을 알아보고자 하였다. 이를 위하여 살아있는 멸치를 대상으로 해상 실험을 실시하였으며, 자료 해석을 위하여 음향 모델 접근법과 등쪽 방향의 TS(dorsal-aspect TS) 특성을 활용하였다.

## 재료 및 방법

### 대상 생물 채집

대상 생물인 북서태평양 멸치에 대한 측면 TS 실험은 2008년 9월 3 - 5일에 한국해양연구원 통영 해양생물자원연구·보존 센터(이하 통영 MRC)에서 실시되었다.

멸치는 채집 단계에서 생존시간이 짧아 실험 목적의 살아있는 개체 확보에 많은 어려움이 있는 종이다. 따라서 본 연구에서는 살아있는 멸치 시료 확보를 위해 2007년 추계 - 동계 시기에 통영 MRC에서 야간 점등 방법을 이용하여 멸치 치어를 유집하였다. 유집된 멸치 치어를 미세망

의 대형 가두리에서 해수 유동이 활발한 자연 먹이 섭식 조건을 만들어 2008년 9월 까지 자연 조건에서 성체로 성장시켰다.

실험을 위해 가로×세로×깊이가 각각 6×3×4 m의 대형 그물을 해상 가두리에 설치하였다 (Fig. 1). 설치된 그물망은 외부 소형 어류들의 그물 내 이동을 방지하기 위하여 좁은 망목으로 이루어져 있으며, 설치된 그물망 내부로 성장한 멸치를 옮겼다.

실험에 사용된 멸치의 개체수는 계수 과정으로 인한 시료의 손상을 없애기 위해 전체 개체수를 계수하지 않았으나 대략 수 백 개체 이상이였다. 본 연구의 주된 목적이 개체수 파악이 아니라 멸치 성체의 측면 TS 파악임을 고려하여 임의의 개체수를 대상으로 측정된 멸치의 평균적인 길이 및 무게를 측정하였다. 실험에 사용된 멸치의 평균 길이는 전장 (total length) 9.3cm (6.6 - 12.8cm) 였으며, 평균 습중량은 5.78g (1.32 - 18.24g) 이었다.

시스템 설치 및 측면 TS 측정

멸치의 측면 TS 측정을 위해 과학어군탐지 시스템에서 활용하고 있는 주파수 중 하나인 120 kHz 음원을 이용하였다. 사용한 송·수파기는 노르웨이 SIMRAD 제품으로 음축에 대한 대상 생물체의 위치 파악이 가능한 분할빔 (split-beam) 형태이다 (Simrad, 1997). 송·수파기는

대형 그물의 한쪽 끝 부분의 수심 2m 부근에 설치하였으며, 이때 방향은 수평 방향을 향하도록 하였다 (Fig. 1). 실험 기간 동안의 환경 변수에서 수온은 24.6 °C, 염분은 29.7 psu 분포였다.

실험에 사용한 멸치의 최대 길이가 약 13cm 인 것을 고려하여 송·수파기의 펄스 길이 ( $\tau$ )는 수평 분해능을 만족하는 0.3ms ( $c\tau/2=22.9\text{cm}$ , 음속  $c=1527\text{m/s}$ )로 설정하였으며, 이때 ping 간격은 1 초였다. 음향 센서의 하드웨어 정보로 표현되는 3dB 빔 폭, two-way 빔 angle, 송·수파기 gain 은 각각 7.1°, -20.6dB, 26.5dB 였다. 사용된 송·수파기의 변수와 개체어 검출을 위한 변수 들을 Table 1 에 자세히 기술하였다.

음향 자료 취득 시간에 수중에서의 멸치 형상을 보기 위해 동일한 수심에 수평 방향의 수중 카메라를 설치하였다. 이때 수중영상 저장 시스템과 음향자료 저장 시스템은 자료 분석을 위하여 시간 동기화를 시켰다.

본 연구에 사용된 음향 시스템은 송·수파기 탐지 영역에 존재하는 대상 생물의 개개 음향 특성인 TS 자료와 임의의 해수 체적에 대한 수신 신호의 합인 체적산란강도 (volume backscattering strength, SV)를 매 ping마다 계산하는 알고리즘을 내장하고 있다. 계산된 TS 자료는 serial 포트를 이용하여 외부 컴퓨터로 영상 자료와 함

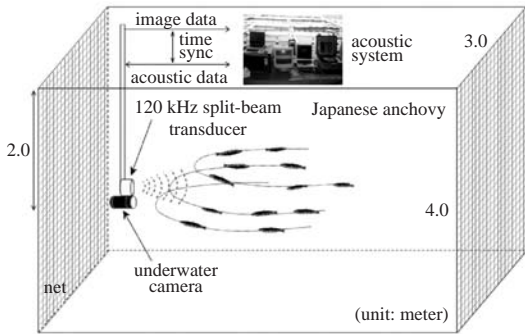


Fig. 1. Experimental scheme for *in situ* side-aspect target strength measurement of Japanese anchovy.

Table 1. System parameters for side-aspect target strength measurement of Japanese anchovy

System parameter	Value	Comment
Frequency	120kHz	
Beam type	split beam	
Pulse length	0.3ms	
3 dB beam width	7.1deg	
Ping rate	1 ping/s	
2-way beam angle	- 20.6dB	Hardware parameter
Transducer gain	26.5dB	
TS detection parameter		
Min. threshold	- 55dB	
Min. echo length	0.8	
Max. echo length	1.8	
Max. gain Comp.	6.0dB	
Absorption coefficient	0.0412dB/m	·Temperature: 24.6 °C
Sound speed	1527m/s	·Salinity: 29.7psu

계 실시간으로 저장하였다. 동시에 측면 TS 자료의 에코그램과 SV 값은 음향자료 처리 프로그램인 호주의 SonarData사의 Echolog 프로그램을 이용하여 자료 해석에 활용하였다 (SonarData, 2000).

수신된 측면 TS 자료는 ping time (hh:mm:ss), 멸치까지의 거리 (meter), 측면 TS (dB), 음향축에 대한 멸치의 위치 정보 (degree)를 포함하고 있다. 그물망 내에서 진행된 측면 TS 실험이므로 해류에 의해 그물망과 송·수파기 사이의 거리가 일정하지 않고 변하는 조건이었다. 따라서 자료의 질적 확보를 위하여 수신된 모든 자료를 활용하지 않고 ① 송·수파기와 멸치까지의 거리 정보 ② 음향축에 대한 위치 정보 자료를 이용하여 안정된 조건에서의 자료만을 이용하였다.

음향 실험은 총 30 시간에 걸쳐 진행되었으며, 이 가운데 영상 자료는 2008년 9월 4일 17:04 - 20:18 까지 3시간 14분 동안 수신하였다. 따라서 멸치의 측면 TS 특성 파악은 모든 음향 자료 중 수중 영상 자료가 존재하는 시간대의 음향 자료만을 활용하였다. 관측된 전체 음향 자료 가운데 송·수파기 면 가까이 근접하거나 반대쪽 그물망에 근접한 자료를 삭제한 2.0 - 3.5m 사이의 자료와 3dB 빔폭내의 자료만을 선택하였고 이 두 가지 조건을 만족하는 측면 음향 TS 자료 수는 3,892개였다.

한편, 멸치 측면 TS의 최소 역치값 (threshold level)을 결정하기 위하여 등방향 TS의 값을 기준으로 하였다. Kang et al. (2009)이 측정한 120 kHz에 대한 북서 태평양 멸치의 평균 TS 함수에 본 연구에서 측정한 최소 길이 (전장 6.56cm)의 멸치를 대입하면 등방향 TS는 -51.7dB이다. 따라서 본 연구에서는 다양한 각도를 고려하여 이보다 낮은 -55dB를 최소 역치값으로 설정하였다.

#### 멸치의 측면 TS 예측을 위한 음향 모델 구현

본 연구에서 측정한 멸치의 측면 TS 자료 해석을 위하여 Kirchhoff ray mode (KRM) 모델을

이용하였다. KRM 모델은 음향 산란체를 실린더 모양으로 고려하여 음향 특성을 예측하는 방법이다. 어류의 음향 특성 파악에 많이 활용하는 방법으로, 어류를 몸체를 fluid-filled 실린더, 부레를 원통과 작은 gas-filled 실린더로 형상화시킨다 (Clay and Horne, 1994).

대상 멸치의 정확한 체형과 부레의 형태를 측정하기 위해, 음향 실험 후 급속 냉동으로 보관한 멸치를 대상으로 X-ray 촬영을 실시하였다. X-ray는 멸치의 측면쪽 (lateral aspect)과 배쪽 (ventral aspect)을 촬영하였고, 촬영 사진을 어류의 축을 기준으로 체형과 부레에 대해서 2mm 간격으로 디지털화 하였다.

대부분의 KRM 모델은 어류의 등쪽으로 입사되는 음파를 기준으로 구성되어 있다. 이때 몸체와 부레를 구성하는 개개 실린더의 축 방향 (axis)은 X로, 폭 (width)은 Y로, 높이 (height)는 Z로 구성되어 있다. 그러나 본 연구에서는 어류의 측면 음향 특성 파악이 목적이므로, KRM 모델을 적용하기 위하여 입력 좌표 변환을 실시하였다. 좌표값 변환에서 X 변수는 변하지 않았으나, 입사파를 기준으로 Y축 값과 Z축의 입력값을 서로 변환시켰다 (Clay and Horne, 1994; Cho et al., 2006).

모델에서 멸치의 자세각은 입사파와 몸체 측면의 각이 직각인 부분을 0°, 이 부분에서 어체의 머리 방향을 양의 각도, 꼬리 방향을 음의 각도로 정의하였다. 한편, 모델 입력변수인 해수, 어체, 부레에 대한 음속은 각각 1518, 1570, 345

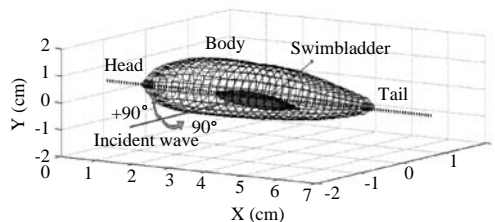


Fig. 2. 3-D coordinate to calculate side-aspect (yaw angle) target strength from theoretical acoustic model of Japanese anchovy.

m/s였으며, 밀도는 각각 1030, 1070, 1.24kg/m<sup>3</sup>으로 대입하였다 (Medwin and Clay, 1994).

변환된 KRM 모델을 이용하여 음향 실험 후 채집하여 냉동 보관된 체장 7.4, 8.9, 10.6cm인 멸치를 대상으로 몸체, 부레, 어류 전체에 대한 각각의 음향특성을 계산하였다. 각각의 모델 입력 변수를 이용하여 멸치의 몸체에 의한 TS, 부레에 의한 TS를 각각 나누어 계산하였으며, 계산된 두 부분을 Coherent 합으로부터 멸치 전체의 측면 TS 결과를 계산하였다.

### 결과 및 고찰

#### 대형 가두리 내에서의 멸치 유영 행동

측면 TS 측정 과정에서 가두리 외부에서 관찰한 멸치는 대부분 대형 가두리 그물면 근처를 따라 원형으로 유영하는 행동 양상을 보이고 있었

다. 수중 카메라 촬영 자료에 의하면 송·수파기가 설치되어 있는 가두리 한쪽 끝 중앙 부분에서 멸치는 송·수파기와 수중카메라에 측면을 보이며 반대쪽으로 이동하는 행동 패턴을 가지고 있었다 (Fig. 3). 주·야간에 관측한 멸치의 자유 유영 패턴은 본 연구의 목적인 멸치의 측면 TS 측정을 위한 다양한 측면 자세각을 형성하고 있음을 보여주고 있다.

#### 멸치의 측면 TS 분포

Fig. 4는 송·수파기로부터 2.5 - 3.5m 떨어진 지점에서 4분 동안 탐지된 멸치의 측면 TS 자료의 예를 보여주고 있다. 이 기간 동안 탐지된 멸치의 TS 자료 수는 55개로 측면 TS의 최대는 -41 dB, 최소는 -54dB였으며, 최대 빈도수는 -48 dB에서 탐지되었다.

실험에 사용된 멸치의 전장 9.3cm의 평균 길이 (6.6 - 12.8cm)를 고려할 때, 자유 유영 상태에서 측정한 멸치 측면 TS는 전체적으로 -54 - -40dB로 전체의 98%를 가지고 있었다. 이러한 분포 비율은 측면에서의 입사각에 대해 멸치가



(a) day



(b) night

Fig. 3. Example of free swimming anchovy at day and night in the large cage.

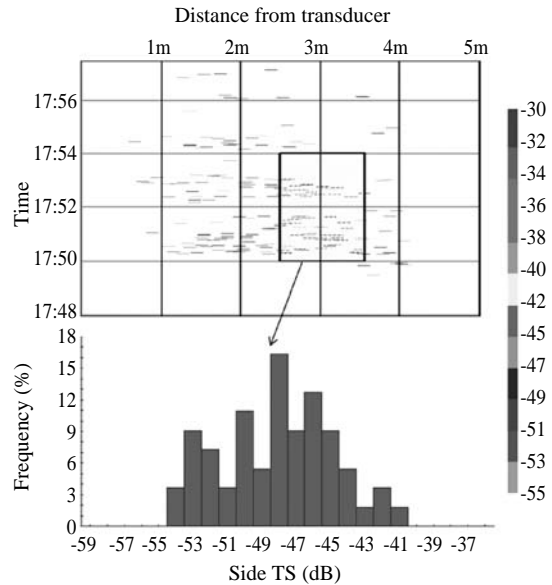


Fig. 4. Example of *in situ* side-aspect target strength of Japanese anchovy at 120 kHz.

다양한 측면 자세각을 유지한 것을 의미한다. 최대 빈도의 TS는 18.5%를 차지하는 -52dB이며, 전체 자료의 평균 TS는 -47.8dB였다 (Fig. 5). 이러한 평균 측면 TS 값은 동일한 주파수의 등방향 TS 평균값인 -49.8dB (Kang et al., 2009) 보다 약 2dB 높은 값이다.

최대 TS는 -41 - -40dB 분포로 전체 자료에서 약 1.4%의 작은 부분을 차지하고 있었다. 측정된 최대 TS를 가지는 조건은 유영하는 멸치가 가운데 체장이 가장 큰 멸치 측면과 송·수파기면 사이의 각도가 90° (즉 입사각이 0°)로 관측 기간 동안 이러한 조건은 매우 제한적으로 이루어졌음을 의미한다.

본 연구에서 측정한 연구 결과와 직접적으로 비교 가능한 북서 태평양 멸치에 대한 측면 TS 측정 연구 결과가 현재까지 없는 상태이다. 따라서 북아메리카 대서양 연안에 서식하는 Bay anchovy (*Anchoa mitchilli*)를 대상으로 본 연구와 유사하게 자유 유영 조건과 현수법으로 측면 TS를 측정한 연구 결과와 비교하였다 (Boswell and Wilson, 2008).

본 연구에서 사용된 북서 태평양 멸치의 체장 조성은 6.6 - 12.8cm인 반면, 자유 유영 상태의 Bay anchovy는 4.5 - 7.1cm로 상대적으로 작은 체장이었다. 자유 유영 조건에서의 420kHz에 대

한 Bay anchovy의 측면 TS는 최대 -42dB였으며, 대부분의 값이 -55dB 이상으로 본 연구에 사용된 체장보다 작아 TS 값은 상대적으로 낮지만 TS 분포 추세는 매우 유사하게 나타나고 있었다.

한편, 420kHz에 대한 현수법에서 Bay anchovy의 측면 TS는 체장 5.8cm의 경우 입사각이 0°인 경우 최대 -43.5dB로 측정되었으며, 전체 유영각을 고려했을 때 평균 -50.5dB였다. 이러한 TS의 최대 및 평균값은 본 연구에서 보다 상대적으로 낮은 TS 값으로 상대적으로 작은 체장에 의한 영향으로 판단된다.

자유 유영 조건에서의 북서 태평양 멸치와 Bay anchovy의 측면 TS는 최대 및 평균 분포에서 체장에 의한 영향이 있음에도 불구하고 매우 유사한 분포 경향을 보이는 것으로 보아 본 연구에서 측정한 북서 태평양 멸치의 측면 TS 측정이 유용함을 보여주고 있다.

#### 음향 모델을 이용한 멸치의 측면 TS

음향 모델을 이용하여 계산한 120kHz의 이론적인 측면 TS는 입사각이 0°인 경우 체장이 가장 큰 10.6cm에서 약 -42.2dB, 8.9cm는 -44.7dB, 7.4cm는 -45.6dB로 체장에 비례하는 것으로 나타났다. 입사각 변화에 대한 동일 체장의 멸치에서 측면 TS 분포는 입사각이 커질수록 측면 TS 값은 작아지는 경향이 각 체장의 멸치에서

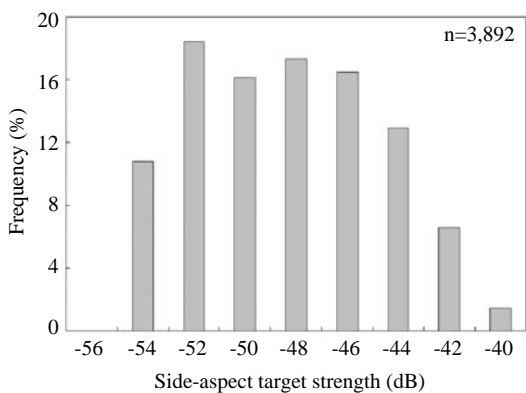


Fig. 5. Frequency distribution of *in situ* side-aspect target strength of Japanese anchovy at 120 kHz.

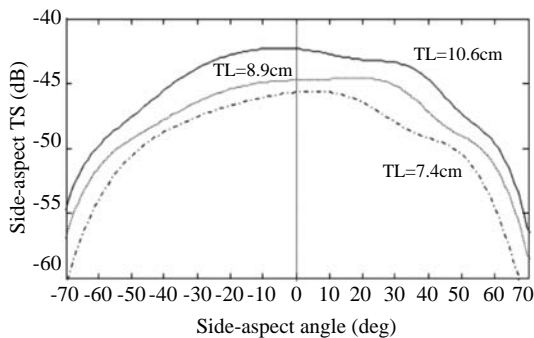


Fig. 6. Theoretical side-aspect target strength of Japanese with yaw angle at 120 kHz.

나타나고 있다(Fig. 6).

본 연구의 현장 실험 자료 분석에서 측면 TS의 최소값으로 설정한  $-55\text{dB}$ 는 체장이 가장 큰  $10.6\text{cm}$ 의 멸치의 경우  $-70^\circ - 70^\circ$ ,  $8.9\text{cm}$ 는  $-67^\circ - 66^\circ$ ,  $7.4\text{cm}$ 는  $-62^\circ - 61^\circ$ 이내의 입사 각도에서 나타났다.

각도에 따른 측면 TS는 일반적으로  $0^\circ$ 를 기준으로 Parabolic 함수로 표현된다 (Kubecka and Duncan, 1998). 모델로 계산한 개체 가운데 전체 실험 개체의 평균 길이인 체장  $9.3\text{cm}$ 에 가장 가까운 전장  $8.9\text{cm}$ 의 측면 TS를 Parabolic 함수로 근사한 결과 입사각도에 대한 함수는 다음의 함수로 근사되었다.

$$\text{TS}\theta(\text{dB}) = -0.0042 \cdot \theta^2 - 0.104 \cdot \theta - 44.7$$

$$(-80^\circ \leq \theta \leq 0^\circ)$$

#### 음향 모델과 실측치의 비교

본 연구에서는 멸치의 측면 TS를 계산하기 위하여 체장을 다양하게 변화시키면서 측정하지 않고 현장에서 살아있는 상태에서 직접 측정하였다. 따라서 현장에서 멸치 어군이 존재할 때 측면 TS의 값을 추정할 수 있는 장점이 있으나 개체 멸치에 멸치의 길이별, 각도별 측면 TS를 측정하기에는 한계가 있었다.

이에 대한 해석의 하나로 음향 모델의 적합성을 비교하기 위하여 음향 모델로 계산된 최대 측면 TS 결과를 북서 태평양 멸치의 등방향 TS 자료와 비교·분석하였다. 일반적으로 어류의 등방향(dorsal-aspect) TS는 부레의 기울기와 동일한 자세 각에서 최대 TS가 측정된다. 이러한 등방향 TS의 최대값 분포와 측면 TS를 비교하면 입사각  $0^\circ$  부근에서 만들어지는 측면 TS의 최대값과 큰 차이가 없는 것으로 알려졌다 (Simmonds and MacLennan, 2005).

Kang et al. (2009)은 북서 태평양 멸치 35개체(체장  $4.83 - 12.22\text{cm}$ )를 대상으로 등방향 TS를 측정하였다. 이 자료 가운데 본 연구의 모델에서 사용된 3가지 체장에 가장 근사한  $120\text{kHz}$ 의 등방향 TS 자료의 최대치를 이용하여 비교하였다(Fig. 7).

Fig. 7은 3가지의 각각 다른 길이를 가진 멸치에 대한 등방향 TS를 나타낸 것으로 체장은 각각  $7.4$ ,  $8.2$ ,  $10.5\text{cm}$ 이었다. 한편, 회색으로 표시한 부분은 KRM 음향 모델을 적용하여 계산한 측면 TS 중 입사각이  $0^\circ$ 인 최대값 분포 영역을 표시한 것으로 체장은 각각  $7.4$ ,  $8.9$ ,  $10.6\text{cm}$ 에 해당한다.

회색 영역의 음향 모델을 이용한 멸치 측면 TS는 체장이 큰  $10.5\text{cm}$ 의 실제 측정 신호와 이론 모

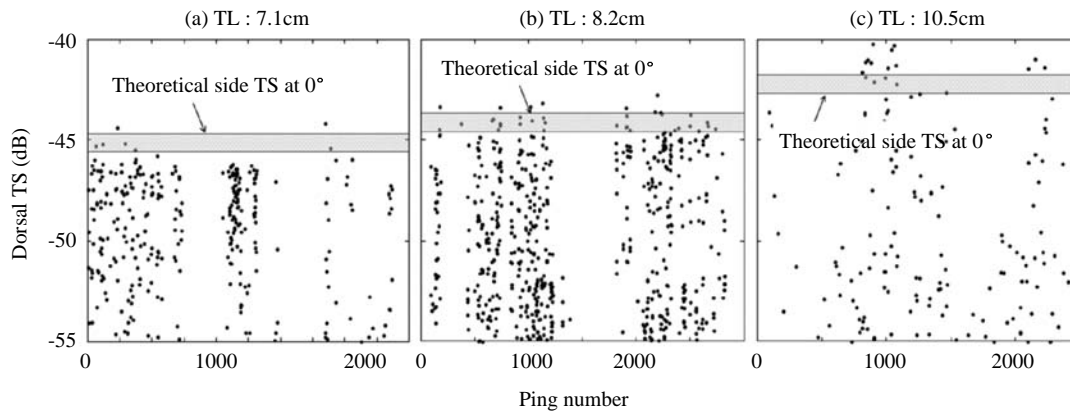


Fig. 7. Comparison dorsal-aspect TS with side-aspect maximum TS of Japanese anchovy at  $120\text{ kHz}$ . Gray color indicates maximum TS with respect to side aspect.

델 신호가 최대 2dB 정도 차이를 가지고 있으나 전체적으로 등방향 TS의 최대 값 영역에서 크게 벗어나지 않는 경향을 보이고 있다. 이러한 등방향 TS의 최대 분포 범위와 모델로 추정된 측면 TS의 최대와 유사한 분포 경향은 음향 모델을 통한 측면 TS 값의 합리성을 보여 주고 있다.

향후 소나와 같은 수평 음향 시스템을 통한 멸치 자원량 조사에서 기본 자료로 활용하기 위하여 본 연구에서는 살아있는 멸치를 대상으로 측면 TS 특성을 파악하였다. 실험에 사용한 평균 체장 9.3cm의 멸치 측면 TS는 평균 TS를 기준으로 -47.8dB로 등방향 평균 TS 보다 약 2dB 높게 나타났으며, 음향 모델을 통한 최대 TS를 등방향 TS의 최대값과 비교한 결과 음향 모델 결과의 유효성을 파악하였다.

본 연구에서 도출된 결과들은 북서 태평양 멸치의 측면 음향 특성을 파악할 수 있는 기초 자료를 제공하고 있으나, 소나 시스템 적용을 위한 3차원 측면 TS 자료 측면에서는 특정 각도만 고려한 제한 요소가 있다. 따라서 향후에는 다양한 각도에서의 측면 TS 측정을 통한 3차원 TS 특성 파악이 실시되어야 하며, 또한 종 관별을 위한 다중 주파수의 적용이 뒤따라야 할 것이다.

## 결 론

본 연구에서는 120kHz 송·수파기를 이용하여 살아있는 북서태평양 멸치를 대상으로 측면 음향 반사강도 (side-aspect TS)를 측정하였다. 측면 TS의 측정 자료 해석을 위하여 어류의 음향 반사 모델을 기반으로 한 이론적인 측면 TS를 계산하였으며, 등방향 TS 자료의 최대값을 이용하여 모델 결과를 비교·검증하였다. 실험에 사용된 멸치의 평균 체장은 9.3cm (6.6 - 12.8cm)였으며 측면 TS는 -55 - -40dB의 분포 내에 있었으며 길이에 따른 상관성을 가지고 있었다. 등방향 TS의 평균값은 -47.8dB로 등방향 TS 값보다 약 2dB 높게 나타나 측면에서의 음향 반사 강도가 높게 나타남을 알 수 있었다. 최대치를 기

준으로 할 때 음향 모델 결과와 등방향 TS 모두 실측치의 범위 내에 있어 본 연구에서 측정한 측면 TS 값의 효용성을 보여주고 있다. 본 연구의 자료는 연근해 중요 수산자원 가운데 하나인 북서 태평양 멸치의 음향자원 조사에 활용하기 위한 기초 자료로 활용 가능할 것이며, 향상된 자료 도출을 위해 주파수별, 길이별 측면 TS 측정이 뒤따라야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 한국해양연구원에서 수행하고 있는 “유비쿼터스 해양 유용/유해생물 관리기술 개발 (PE98474)” 과제와 “통영 MRC (해양생물 자원보존 연구센터)를 기반으로 한 남해 연안 해양생물자원 중 보존 및 활용 연구 (PK07780)”의 지원을 받아 수행되었음. 본 연구를 위해 한국해양연구원 통영 MRC에서 멸치 채집 및 현장 실험을 도와준 이영욱 부장님, 장석일님, 김미라님께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- Berger, L., C. Poncelet and V.M. Trenkel, 2009. A method for reducing uncertainty in estimates of fish-school frequency response using data from multifrequency and multibeam echosounder. ICES J. Mar. Sci., 66, 1155 - 1161.
- Boswell, K.M. and C.A. Wilson, 2008. Side-aspect target-strength measurements of bay anchovy (*Anchoa mitchilli*) and Gulf menhaden (*Brevoortia patronus*) derived from ex situ experiments. ICES J. Mar. Sci., 65, 1012 - 1020.
- Cho, S., D. Kang, J. Na, J-G. Myung and J. Kim, 2006. Side-aspect target strength measurement of swimbladdered fish using multi-frequencies system: Black sea bream (*Acanthopagrus schlegeli*). J. Acous. Soc. Kor., 15, 101 - 109.
- Clay, C.S. and J.H. Horne, 1994. Acoustic models of fish: Atlantic cod (*Gadus morhua*). J. Acous. Soc. Am., 96, 1661 - 1668.



- FAO, 2010. Fishery production statistics. Retrieved from <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/query/en>. on 10 Mar. 2010.
- Hampton, I., 1996. Acoustic and egg-production estimates of South African anchovy biomass over a decade: comparisons, accuracy, and utility. *ICES J. Mar. Sci.*, 53, 493 - 500.
- Kang, D., S. Cho, C. Lee, J-G. Myoung and J. Na, 2009. Ex situ target-strength measurements of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) in the coastal Northwest Pacific. *ICES J. Mar. Sci.*, 66, 1219 - 1224.
- Kim, J.Y. and N.C.H. Lo, 2001. Temporal variation of seasonality of egg production and the spawning biomass of Pacific anchovy, *Engraulis japonicus*, in the southern waters of Korea in 1983 - 1994. *Fish. Oceanogr.*, 10, 297 - 310.
- Kubecka, J. and A. Duncan, 1998. Acoustic size vs. real size relationships for common species of riverine fish. *Fish. Res.*, 35, 115 - 125.
- MacLennan, D.N. and E.J. Simmonds, 1992. *Fisheries Acoustics*. Chapman & Hall, London. pp. 124 - 163.
- Medwin, H., and C.S. Clay, 1994. *Fundamentals of acoustical oceanography*, Academic Press, San Diego, pp. 348 - 404.
- Shelton, P.A., M.J. Armstrong and B.A. Roel, 1993. An overview of the application of the daily egg production method in the assessment and management of anchovy in the Southeast Atlantic. *Bull. Mar. Sci.*, 53, 778 - 794.
- Simmonds, J. and D. MacLennan, 2005. *Fisheries acoustics: Theory and practice*, second edition. Blackwell, pp. 217 - 261.
- SIMRAD, 1997. Operation manual, Simrad EK500 Scientific Echo Sounder, Base version, P2170, A Kongsberg Company. pp. 1 - 104.
- SonarData, 2000. *SonarData EchoView User Guide*. Sonar Data Tasmania Pty. Ltd. pp. 47.
- Statistics Korea, 2010. Fishery production survey. Retrieved from <http://fs.fips.go.kr/main.jsp>. on 12 Mar. 2010.
- Zhao, X., Y. Wang and F. Dai, 2008. Depth-dependent target strength of anchovy (*Engraulis japonicus*) measured in situ. *ICES J. Mar. Sci.*, 65, 882 - 888.

---

2010년 5월 17일 접수

2010년 7월 14일 1차 수정

2010년 8월 9일 수리