

## 가청음에 의한 독가시치의 청각 능력

### 1. 청각 문턱치

이창헌 · 문종욱 · 서두옥

제주대학교

(2000년 11월 3일 접수)

## The Hearing Ability of Dusky Spinefoot *Siganus fuscescens* to Audible Sound

### 1. The Auditory Threshold

Chang-Heon LEE, Jong-Wook Moon and Du-Ok SEO

Cheju National University

(Received November 2, 2000)

#### Abstract

A experiment was carried out to measure the auditory threshold of dusky spinefoot *Siganus fuscescens*(Houttuyn) in the coast of Cheju Island by heartbeat conditioning technique using pure tones coupled with a delayed electric shock in order to investigate the hearing ability to audible sound.

The audible range of dusky spinefoot extended from 80Hz to 800Hz with a peak sensitivity at 200Hz. The mean auditory threshold levels of dusky spinefoot were 102dB, 96dB, 92dB, 95dB, 105dB and 121dB respectively in the range of measurement frequencies. As the frequency became higher than 300Hz, the auditory threshold increased rapidly.

#### 서 론

어업에서 수중음향을 이용하여 어군을 유집하고 어획하는 음향 어구 어법을 개발하기 위해서는 어류에 대한 청각 능력을 파악하는 것이 대단히 중요하고, 수중 가청음을 이용한 어군행동제어를 하는 경우에도 어류의 청각 능력은 어종마다 다르기 때문에 대상어류에 대한 기초적인 청각 능력을 명확히 하는 것이 필요하다.

이와 관련하여 Fay(1989)는 오래 전부터 여러 어종의 청각 능력에 관련된 연구를 수행하였다. 이

처럼 어류의 청각 능력을 파악하는 것은 음향을 이용한 어군의 유집뿐만 아니라 어획의 과정에 있어서 대상 어류의 행동반응을 추측할 수 있는 것 이외에 새로운 어구 어법 개발과 조업중의 어구에 대한 어류의 행동 양상을 해결하는 데도 필요하다.

어류의 청각능력을 측정하는 데에는 청각 문턱치, 청각 임계비, 주파수 변별 능력, 음원 위치 확인 등 여러 가지 있으며, 청각 문턱치를 측정하는 방법에는 어류의 심장부근에 전극 투입에 의한 심장의 심박수 변화 등을 표시하는 음향 조건 반응으로 측정하는 법, 어류의 호흡에 의한 측정 방법,

어류의 뇌파 측정에 의한 방법 등이 있으며, 일반적으로 어류는 주파수 100에서 1,000Hz의 범위에서 가장 민감한 반응을 나타낸다고 하며, 음압 90~110dB의 청각 문턱치를 나타내고 있다고 보고하고 있다(畠山, 1992).

이 연구는 제주도 연안해역에서 정치망에 의해서 많이 어획되는 독가시치의 청각능력의 하나인 청각 문턱치를 파악하여 음향어법의 기초적 자료를 제공할 목적으로 독가시치를 음향과 전기자극으로 조건학습을 하였으며, 주파수와 음압을 변화시켜가면서 심전도를 도출하여 청각 문턱치를 구하였다.

### 재료 및 방법

실험어인 독가시치의 전장은 230~260mm였으며, 1999년 7월에 제주연안에서 정치망으로 어획한 것을 제주대학교 해양연구소의 사육수조로 옮겨 약 2주이상 사육한 것으로 그 중 8미를 사용

하였으며, 사육 중 사육수조의 수온은 22~27°C 이었고, 실험어를 실험 수조에 설치후 12시간이 경과한 후 실험을 실시하였다.

방성음의 수중음압과 수조내의 배경잡음은 수중청음기(B&K, 8103)를 어류의 머리위치에 설치한 후 전치증폭기(B&K, 2635)와 휴대용 주파수 분석기(B&K, 2143)를 이용하여 1/3 옥타브 분석으로 각각 측정하였다. 방성음의 음압과 배경잡음의 주파수분석은 실험전에 실험시간대에 있어서 반복 측정하였다.

어류의 청각 특성을 조사하기 위하여 사용한 실험장치는 이 등(1999)와 같이 수조 벽면에서 5cm 떨어진 지점 양쪽에 공중 스피커(Promana, CB38)와 전력 증폭기(Inkel, PSR-2000)를 설치하여 신호 발생기(NF, 4500)의 신호음이 동위상으로 방성될 수 있도록 Fig.1과 같이 설치하였으며, 실험어의 심박간격 측정은 오실로스코프(Tektronix, TDS-340)를 이용하였다.

어류의 음향 조건학습 및 청각 문턱치를 측정하기 위하여 사용한 음향자극은 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz의 음을 이용하였으며, 측정 주파수 중 임의의 하나의 순음을 약 120dB(0 dB re 1μPa) 이상의 음압과 함께 직류 전압 7V의 전기 자극을 실험어에게 주면서 조건 학습시켰다.

어류의 음향 조건학습의 음방성 방법은 실험어의 심박간격이 안정상태를 나타낼 때 지속시간 5초의 순음을 임의의 순서로 방성하였으며, 방성개시 3초 후에 지속시간 0.1초의 전기 자극을 가하면서 학습을 시켰다. 이와 같은 조건학습에 대한 실험어의 반응 판정은 음자극을 주기전 및 주었을 때의 심박간격을 측정하여 음자극을 주기 전보다 주었을 때의 심박 간격이 넓었을 때를 반응이 있는 것으로 하였다.

측정 주파수중 임의의 한 주파수에 대해 방성하였을 때 3회 이상 연속반응이 나타나면 음에 대한 학습이 완료된 것으로 간주하였고, 각각의 음향 학습 실험 모두 전기 자극 후 실험어의 심박이 정상적으로 될 수 있도록 3~5분 이상의 시간 간격을 두어 음향학습을 시켰다.

이와같이 실험어에 대하여 음향 조건학습을 완료시킨 후 30분 이상 경과한 후에 조건 학습에 사

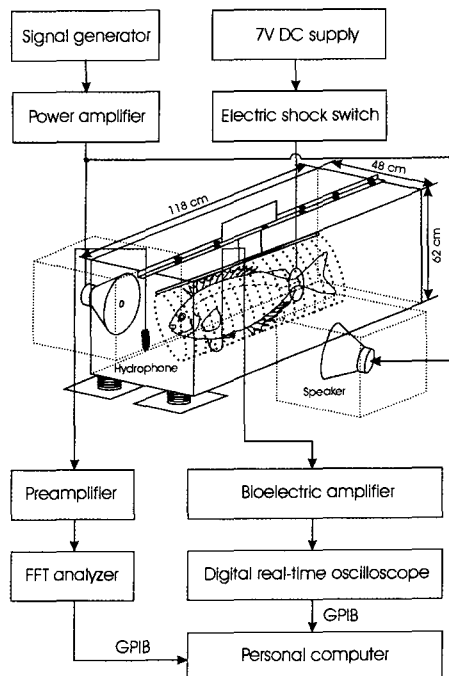


Fig. 1. Block diagram of the instruments for measuring auditory threshold of dusky spinefoot.

용한 순음을 포함한 측정주파수를 임의의 순서로 선택하여 학습에 사용한 음압에서부터 3~5dB 씩 감소시켜 가면서 방성하였다.

실험어의 청각문턱치는 심박간격으로 관찰하여 실험어가 감지할 수 있는 가장 작은 음압으로 취하였으며, 실험어가 방성음압에 반응을 나타낼 경우 음향 조건학습을 유지시키기 위하여 전기자극을 주었다. 실험 자료의 우연오차를 줄이기 위하여 연속적으로 2회 이상 음자극의 반응을 보인 최소 음압을 청각 문턱치로 결정하였다.

### 결과 및 고찰

실험실내에 설치된 실험수조의 배경잡음을 주파수 분석기를 사용하여 1/3 옥타브로 주파수 60~1,000Hz까지의 스펙트럼 음압 레벨을 분석한 결과 및 독가시치의 청각 문턱치 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

실험수조의 배경잡음은 음압 47~81dB의 범위로, 낮은 주파수대에서 높은 주파수대로 갈수록 스펙트럼 음압 레벨이 점차 낮아지고 있었고, 전원과 교류기기류에 의한 전기 유도 잡음 주파수 63Hz에서 다른 주파수의 스펙트럼레벨보다 높게 나타나고 있었으나 실험어의 청각 문턱치 측정에는 영향이 없는 것으로 판단된다.

배경잡음시 측정된 청각 문턱치 곡선을 Fig. 1에 나타낸 결과, 청각 문턱치의 평균은 각각 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz에서 음압 102, 96, 92, 95, 121dB이었고, 이때 표준편차는 각각 음압 3.2, 4.9, 4.5, 4.7, 5.5, 3.3dB이었으며, 실험어는 측정 주파수 80~800Hz의 수중 가청음을 모두 인식하였고, 측정 주파수 100~300Hz에서 청각 감도가 양호하였으며, 측정 주파수 200Hz에서 가장 낮은 청각 문턱치를 보였고, 300Hz보다 측정 주파수가 높아질수록 청각 문턱치는 급격히 상승하는 경향을 보여, 높은 측정 주파수에서는 청각 감도가 떨어짐을 나타내고 있었다.

독가시치의 청각 문턱치의 실험 결과에서, 측정 주파수 200Hz의 청각 감도가 다른 측정 주파수에서 보다 민감하게 나타났는데, 이는 음향 학습 과정에 있어서도 측정 주파수 200Hz에서 학습음과

전기 자극에 대한 음향 학습이 쉽게 이루어진 반면, 500Hz 이상의 측정 주파수대에서는 음향 학습이 쉽게 이루어지지 않아, 실험어의 청각 감도는 측정 주파수 200Hz의 저주파음에 민감하였다.

일반적으로 어류의 청각 감도는 부레의 존재에 따라서도 측정치가 크게 달라진다. 넙치와 같이 부레가 없는 어류는 측정 주파수 100Hz에서 감도가 좋지만 수중음의 인식폭은 주파수 400Hz 미만으로 보고 되어 있고, 참돔, 조피볼락, 방어, 송뱅이, 내수면 양식 어류인 틸라피아 등은 측정주파수 100~300Hz 부근에서 감도가 좋으나 측정주파수 500Hz 이상에서 감도가 낮아지기는 하지만 측정 주파수 1,000~1,500Hz 부근까지 수중음을 인식한다고 보고 되어 있다(藤枝 등, 1996; H. Ishioka 등, 1988; 박 등 1999; 안 등, 1998; 이 등, 1999). 또한, 잉어와 금붕어 등과 같이 부레와 내이가 웨버소골이라고 하는 4개의 뼈로 연결이 되어 있는 어류를 골표류라 하고, 참돔과 대구 등과 같이 부레와 내이가 연결되어 있지 않은 어류

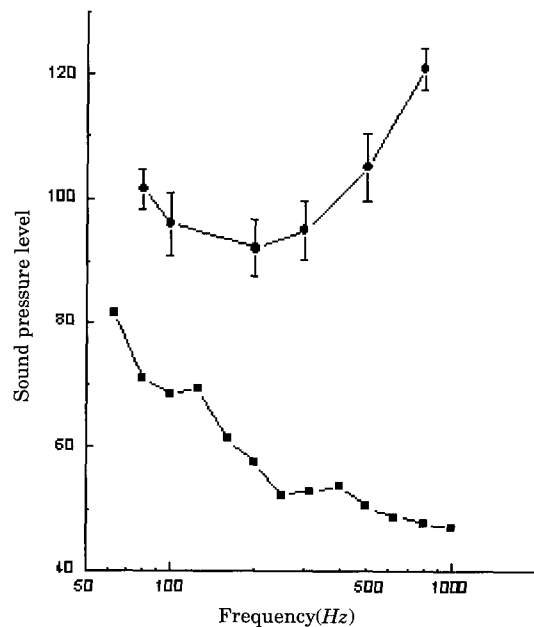


Fig. 2. Audiogram of dusky spinefoots with ambient noise spectrum level.

● : Auditory threshold level (dB re 1 μPa),  
 ■ : Background noise spectrum level (dB re 1 μPa/√Hz)

를 비골표류라고 하는데, 골표류의 경우는 수중음에 대한 부레의 진동이 웨버소골에 의해 증폭되어 직접 내이에 전달되므로 비골표류에 비해서 청각 감도가 우수하고 가청 주파수 범위도 넓다(崑山, 1992).

이 실험에서 사용된 독가시치는 비골표류이며 부레를 갖고 있는데, 청각 문턱치 실험 결과에서 측정 주파수 80~800Hz의 수중 가청음을 인식하였고, 측정 주파수 200Hz의 수중 가청음에 대하여 가장 민감한 반응을 보였으며, 500Hz 보다 높은 측정 주파수에서는 청각 감도가 급격히 저하하였다.

이 실험에서 얻어진 독가시치와 다른 연구자들에 의해서 얻어진 비골표류 어류의 청각 문턱치를 Fig. 2에 나타내어 비교하였다. 독가시치는 측정 주파수 200Hz에서 음압 92dB로 가장 낮은 청각 문턱치를 보였는데, 참돔은 측정 주파수 200Hz에

서 음압 85dB, 명태는 측정 주파수 200Hz에서 음압 97dB, 방어는 측정 주파수 100Hz에서 음압 95dB, 조피볼락은 측정 주파수 100Hz에서 음압 90dB, 쏜뱅이는 측정 주파수 100Hz에서 음압 90dB로 각각 가장 낮은 청각 문턱치를 보여 측정 주파수 100~200Hz의 수중 가청음에 대하여 가장 민감한 청각 반응을 나타내어, 이 실험에서 사용된 독가시치는 일반적인 비골표류이며 부레를 갖고 있는 다른 어류와 유사한 청각 감도를 갖고 있는 것으로 보이며, 수중 가청음을 이용한 독가시치의 유집을 시도한다면 이 실험을 통하여 구한 청각 문턱치를 고려하여 주파수 200Hz, 음압 92dB이상의 음을 이용하는 것이 필요하다고 판단된다.

수중에는 파랑, 강우 등 자연 발생적인 수중 잡음과 선박, 항공기 등의 인위적인 수중 잡음 등이 혼재하는 배경에서 서식하므로, 어류의 서식지에 산재하는 이러한 배경 잡음의 영향을 받아서 섭이 행동 등의 생물학적 의미를 갖는 중요한 음 정보를 취할 때에 장애가 된다. 즉, 어류의 청각은 이러한 배경 소음의 영향을 받아서 작은 소리가 들리기 어렵게 되는 마스킹 현상이 발생하여서 청각 문턱치가 증가하는데, 이때 어류는 약한 생물학적 음정보는 감지하기 어렵게 되어 어류의 청각 감도는 음압의 강도와 마스킹 현상에 따라 달라질 수 있다. 차후 이러한 마스킹에 의한 청각 문턱치 변화를 조사할 필요가 있다.

### 요 약

제주연안해역에 서식하고 있는 독가시치의 수중음에 대한 청각 특성을 파악하여 수중음을 이용한 음향 어법에 이용도를 높일 수 있는 기초자료를 제공할 목적으로 측정주파수 80~800Hz의 수중음과 7V의 직류 전압의 전기자극을 이용하여 음향 조건학습을 시킨후 측정주파수와 음압을 임의로 변화시켜가면서 청각 문턱치를 구한 결과 독가시치는 측정주파수 80~800Hz의 음을 인식하고 있었고, 측정주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에 대한 각각의 청각 문턱치는 102, 96, 92, 95, 105, 121dB로 나타났고, 측

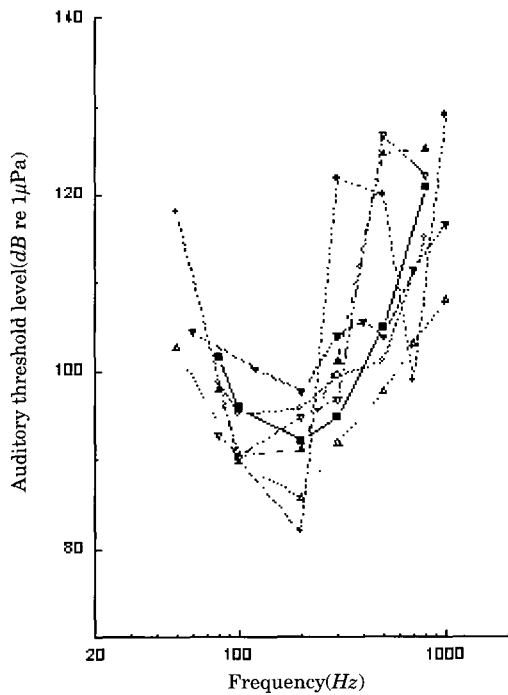


Fig. 3. Comparison of audiogram of dusky spine-foot(■) with those of red sea bream (Δ : Ishioka *et al.*, 1988), masu salmon(● : Kojima *et al.*, 1992), walleye pollock(▼ : Park *et al.*, 1995), yellow tail(○ : Ahn *et al.*, 1998), black rock fish(▲ : Park *et al.*, 1999) and scorpion fish(▽ : Lee *et al.*, 1999).

정주파수 200Hz에서 가장 낮은 음압 92dB를 나타내었으며, 측정주파수 800Hz에서 가장 높은 청각 문턱치를 나타내었다.

### 참고문헌

- 안장영 · 이창현 · 김용주 · 박용석(1998) : 연안정치망 주요대상어종의 청각역치와 유집방음에 대한 행동 반응(I) -방어의 청각역치-, 한국어업기술학회지, 34(4), 386-392.
- Fay, R. R.(1989) : Frequency discrimination in the goldfish(*Carassius auratus*) : Effects of roving intensity, sensation level and the direction of frequency change, J. Acoust. Soc. Am., 85, 503-505.
- 藤枝 繁 · 松野 保久 · 山中 有一(1996) : ヒラメの聴覚値, 日本水産學會誌, 62(2), 201-204.
- 崑山 良己(1992) : 魚の聴覚能力, 水産工學, 28(2), 111-119.
- Ishioka, H., Hatakeyama, Y. and Sakaguchi, S.(1988) : The hearing ability of the red sea bream *Pagrus major*, Nippon Suisan Gakkaishi, 54(6), 947-951.
- Kojima, T., Shimamura, T., Yoza, K., Okumoto, N., Hatakeyama, Y. and Soeda, H.(1992) : W-Shaped Auditory Threshold Curves of Masu Salmon *Oncorhynchus masou*, Nippon Suisan Gakkaishi, 58(8), 1447-1452.
- 이창현 · 박용석 · 문종욱 · 김석중 · 안장영 · 서두옥 (1999) : 수중 가청음에 의한 쏨뱅이의 청각능력 1. 청각 문턱치, 한국어업기술학회지, 35(2), 156-160.
- 박용석 · 이창현 · 문종욱 · 안장영 · 서두옥(1999) : 조피볼락의 청각문턱치, 수산해양교육연구, 11(1), 88-97.
- 朴容石 · 飯田 浩二 · 向井 徹 · 櫻井 泰憲(1995) : スケトウダラの聴覚特性, 日本水産學會誌, 61(2), 159-163.