

저주파음에 의한 자리돔, *Chromis notatus*의 청각 능력 - 청각 문턱치 -

이창현 · 서익조 · 오승훈 · 김병엽 · 서두옥 · 김동근*
제주대학교, *한국해양수산연수원

The Hearing Ability of Coralfish, *Chromis notatus* to Low Frequency Sound - The Auditory Threshold -

Chang-Heon Lee, Yik-Jo Seo, Seung-Hun Oh, Byoung-Youb Kim,
Du-Ok Seo and Dong-Geun Kim*

Division of Marine Production Engineering, Cheju National University, Jeju-Do, 690-756, Korea

*Korea Institute of Maritime and Fisheries, Pusan, 606-032, Korea

In order to obtain the fundamental data about method of luring fish schools by underwater sound, this experiment was carried out to investigate the auditory threshold of coralfish *Chromis notatus* which was on the coast of Jeju island by heartbeat conditioning technique using pure tones coupled with a delayed electric shock.

The coralfish could hear a sound in the frequency range from 80 Hz to 800 Hz. The mean auditory thresholds of coralfish at the frequencies of 80 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 500 Hz and 800 Hz were 100 dB, 99 dB, 91 dB, 88 dB, 96 dB and 114 dB, respectively. As the frequency became higher than 300 Hz, the auditory threshold increased rapidly.

Key words : Auditory threshold, Coralfish, Heartbeat

서론

수중에서의 정보의 전달은 광파, 전자파, 음파가 사용될 수 있는데 음파가 전달되는 과정에서 감쇄가 적어 전달 범위나 속도, 사용가능시간 등을 고려하면 빛, 전자파보다도 효과적인 제어수단이 될 수 있다. 이러한 수중 음향은 초음파를 이용한 해양 관측뿐만 아니라 가청음을 이용한 어군의 행동 제어, 특히 해양 목장에서 음향 순치의 주요 수단으로 활용되고 있으나, 어장에서 수중 음향을 이용하여 어군을 유집 및 어획하기 위해서

는 대상 어종의 청각 능력을 정확히 파악할 필요가 있으며, 이와 관련하여 Chapman and Hawkins (1973)의 대구, Ishioka et al. (1988)의 참돔, 박 등 (1999)의 조피볼락, 이 등 (2000)의 볼락, 솜뱅이 등 오래전부터 여러 어종의 청각 능력에 관련된 연구가 수행되었다.

이러한 연구들은 어류가 갖고 있는 청각 능력을 이용하여 행동 제어를 하는 것이고 이와 같이 수중 가청음을 이용한 어군 행동 제어를 하는 경우에도 어류의 청각 능력은 어종마다 다르기 때문에 대상 어류에 대한 기초적인 청각 능력을 명확히 하는 것이 필요하다. 이러한 청각 능력에는 청각 문턱치, 청각 임계비, 주파수

변별 능력, 음원 위치 확인 등 여러 가지 있으며 주로 전극 투입에 의한 심장의 심박수 변화 등을 표시하는 조건 반응 수법 이외에 어류의 호흡에 의한 측정 방법, 뇌파 측정에 의한 방법 등에 의해서 이루어지며, 어류는 가청 주파수가 16~5,000 Hz 범위이나, 주파수 100~1,000 Hz의 범위에서 가장 민감한 반응을 나타낸다고 한다(古河, 1970).

이 연구에서는 제주 연안 해역에 서식하는 자리돔의 청각 문턱치를 구하여 자리돔 들망 어업에 수중 저주파 음향을 이용한 어군 유집의 새로운 음향 어법 개발에 관한 기초 자료를 제공할 목적으로 수중음파 전기 자극으로 음향 조건 학습한 자리돔의 심박 간격의 변화를 이용하여 자리돔이 인식할 수 있는 최소 음압으로부터 청각 문턱치를 구하였다.

재료 및 방법

자리돔은 1999년 8월에 제주 연안에서 들망으로 어획한 것을 해양연구소의 사육 수조로 50미 옮겨 약 3~4개월 사육하였다. 실험 종료 후에 측정된 실험어의 전장은 8~11 cm로 실험에 9미를 사용하였다. 실험 기간은 2000년 1월이었으며 실험 기간 중의 실험 수조의 수온은 7~14°C였으며, 실험 수조에 설치 후 12시간이 경과한 후 청각 문턱치 측정 실험을 실시하였다.

방성음의 수중 음압과 수조 내의 배경 잡음은 수중 청음기(B&K, 8103)를 어류의 머리 위치에 설치한 후 전치 증폭기(B&K, 2635)와 휴대용 주파수 분석기(B&K, 2143)를 이용하여 1/3 옥타브 분석으로 각각 측정하였다. 방성음의 음압과 배경 잡음의 주파수 분석은 실험전에 실험 시간대에 있어서 반복 측정하였다.

실험어의 청각 특성을 조사하기 위하여 사용한 실험 장치는 이 등 (2000)과 같이 수조 벽면에서 5cm 떨어진 지점에 양쪽에 공중 스피커(Promana, CB38)를 설치하여 신호 발생기(NF, 4500)의 신호음이 동위상으로 방성될 수 있도록 설치하였으며, 어류의 심박 간격 관찰은 오실로스코프(Tektronix, TDS-340)를 이용하였다.

실험어의 음향 조건 학습 및 청각 문턱치를 측정하기 위하여 사용한 음향 자극은 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800 Hz의 순음을 이용하였으며, 측정 주파수 중 임

의 하나의 순음을 약 120 dB(0 dB re 1 μ Pa) 이상의 음압과 함께 직류 전압 8 V의 전기 자극을 실험어에게 주면서 음향 조건 학습시켰다.

실험어 음향 조건 학습의 음방성 방법은 실험어의 심박 간격이 안정 상태를 나타낼 때 지속 시간 5초간의 순음을 임의의 순서로 방성하였으며, 방성개시 3초 후에 지속 시간 0.1초의 전기 자극을 가하면서 음향 학습 조건을 시켰다. 이와 같은 음향 조건 학습에 대한 실험어의 음향 반응의 판정은 음자극을 주기전 및 주었을 때의 심박 간격을 측정하여 Fig. 1의 (a)와 같이 음자극을 주기 전보다 Fig. 1(b)와 같이 음자극을 주었을 때의 심박 간격이 넓었을 때를 음향 반응이 있는 것으로 하였다.

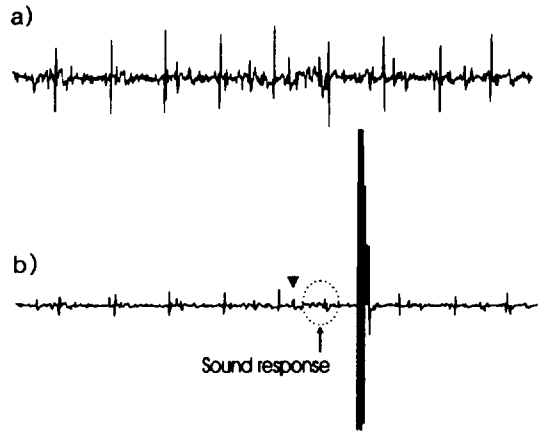


Fig. 1. Electrocardiograms showing typical cardiac responses to a pure sound stimulus. (a) Before conditioned with a pure sound stimulus. (b) After conditioned with a pure sound stimulus. (▼ Speaker on)

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

이와 같이 실험어에 대하여 음향 조건 학습을 완료시킨 후 30분 이상 경과한 후에 조건 학습에 사용한 순음을 포함한 측정 주파수를 임의의 순서로 선택하여 학습에 사용한 음압에서부터 3~5 dB씩 감소시켜 가면서

방성하였다.

순음에 대한 어류의 반응 유무는 심박 간격으로 관찰하여 실험어가 감지할 수 있는 가장 작은 음압을 청각 문턱치로 취하였으며, 실험어가 방성 음압에 반응을 나타낼 경우 음향 조건 학습을 유지시키기 위하여 전기 자극을 주었다. 실험 자료의 우연 오차를 줄이기 위하여 연속적으로 2회 이상 음향 반응을 보인 최소 음압을 청각 문턱치로 결정하였다.

결과 및 고찰

실험어의 청각 문턱치 측정시 실험 수조의 배경 잡음은 주파수 60 Hz에서 최대 약 70~80 dB의 레벨을 나타내어 비교적 강한 성분을 갖는 전기 잡음과 교류 기기에서 발생하는 진동음이 있었으나 주파수가 높을수록 감소하여 특히 고주파수대에서는 50 dB 이하의 낮은 배경 잡음 스펙트럼 레벨을 나타내었다. 또 측정 시각의 차이에 따른 배경 잡음 스펙트럼 레벨의 편차는 적게 나타났다.

자리돔의 청각 문턱치를 측정한 결과는 Table 1 및 Fig. 2와 같고 음향 조건 학습한 음압과 각 측정 주파수마다의 청각 문턱치 평균 및 표준 편차도 함께 나타내었다.

자리돔은 측정 주파수 80~800 Hz까지의 학습음을 인식하고 있었는데, Fig. 2에서 보는 바와 같이 자리돔의 평균 청각 문턱치는 측정 주파수가 80, 100, 200, 300, 500, 800 Hz일 때 음압이 각각 100, 99, 91, 88, 96, 114 dB이었으며, 측정 주파수 300 Hz에서 음압

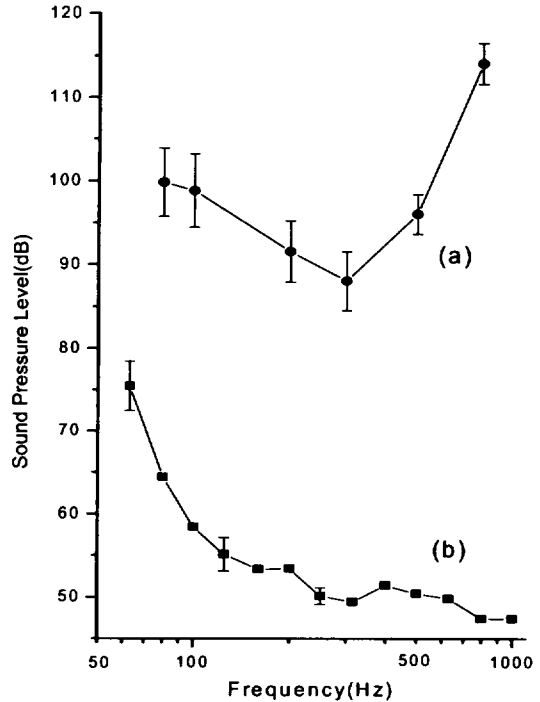


Fig. 2. Audiogram of coralfish and spectrum level of the background noise.

a) Auditory threshold (dB re 1 μ Pa).

b) Background noise spectrum level (dB re 1 μ Pa/ $\sqrt{\text{Hz}}$).

88 dB로 가장 낮고 측정 주파수 800 Hz에서 음압 114 dB로 가장 높게 나타나고 있었다. 측정 주파수 300 Hz를 피크로 하여 양쪽의 측정 주파수에서 청각 문턱치가 높아지는 청각 문턱치의 모양은 V자 모양을 나타내고 있으며 측정 주파수가 300 Hz에서 500 Hz

Table 1. Each measuring and medium value of auditory threshold of coralfish

Frequency (Hz)	Auditory threshold (dB)								Mean Value	Standard deviation
80	100	96	102	107	96	96	99	102	100	3.81
100	98	95	95	107	98	95	101	101	99	4.39
200	92	95	92	95	85	88	90	95	91	3.99
300	88	91	92	90	82	85	88	88	88	3.25
500	95	96	100	95	93	96	93	100	96	2.37
800	114	117	114	120	114	111	111	114	114	3.21

로 변화할 때 급격하게 나빠지고 있었다.

자리돔은 측정 주파수 200~300 Hz의 순음과 전기 충격에 대한 음향 학습으로부터 학습음을 인식하면 학습음 방성과 동시에 심박 간격이 현저하게 벌어지는 현상이 나타난 반면에, 그 외의 학습음에서는 여러번의 방성과 전기 충격에 의한 음향 학습도 쉽게 이루어지지 않았고, 또한 실험중 10°C 이하의 저수온에서는 실험어의 청각 문턱치를 구하는 것이 어려워서 어느 정도의 고수온에서 실험하는 것이 필요하였다. 따라서 실험어의 청각 문턱치 측정에 실험 수조의 수온에 의한 다소의 영향이 있을 것으로 판단되었으며, 측정 주파수 범위 내에서 자리돔은 대략 200~300 Hz의 저주파수의 순음에 민감하였다. 특히 순음에 대한 학습음의 인식은 주파수 300 Hz에서 다른 측정 주파수에 비하여 다소 높게 인식을 하고 있는 것으로 판단되며, 실험 결과에서 자리돔은 주파수 300 Hz에서 청각 문턱치가 가장 낮았으나 주파수 500 Hz 이상이 되면 청각 문턱치가 증가하였고 같은 농어목인 참돔의 청각 문턱치 (Ishioka et al., 1988)와 비교하면, 감도가 좋은 주파수가 다소 다르게 나타났으나 곡선의 모양은 V자 형태를 하고 있어, 특정 주파수 주변의 음에 대하여 감지 능력이 높다는 것이 나타나고 있으며, 청각 문턱치 값은 큰 차이가 없었다. 실험에 사용한 자리돔은 체장이 10 cm 내외의 것을 사용한 결과를 나타낸 것으로, 체장 및 온도에 따른 청각 문턱치의 변화도 차후 조사할 필요가 있는 것으로 판단된다.

이 실험 결과 어군을 유집하기 위한 음향 어법 개발 등 음향을 이용한 어군 행동 제어에서 자리돔의 행동 제어는 주파수 200~300 Hz의 수중음 특히 300 Hz의 수중음을 사용하는 것이 적당하리라고 생각된다.

그러나, 바다에서는 선박, 항공기 등의 인공 소음과 그곳에 서식하는 수산 동물 자신이 내는 소리 등 다종 다양한 소리가 포함되어 있기 때문에 실제의 어류는 자연 발생적인 수중 잡음과 인위적으로 발생하는 수중 잡음 둘다 존재하는 서식 환경에 생활하고 있다. 어류의 청각은 이들 배경 잡음의 영향을 받아서 적은 음이 듣기 어려운 상태가 되어 청각 문턱치가 증가하게 된다. 이와 같이 수중에는 여러 요인에 의해서 발생하는 배경 잡음이 항상 존재하고, 그 레벨도 변동하기 때문에 수중음을 이용하여 어군을 유

집하기 위해서는 배경 잡음에 대한 마스킹 효과 측정이 필요할 것이다.

요 약

제주 연안 해역에 서식하고 있는 자리돔의 수중음에 대한 청각 특성을 파악하여 수중음을 이용한 어군 행동 제어의 자극으로 이용도를 높일 수 있는 기초 자료를 제공할 목적으로 측정 주파수 80~800 Hz의 수중음과 8 V의 직류 전압의 전기 자극을 이용하여 음향 조건 학습을 시킨 후 측정 주파수와 음압을 임의로 변화시켜가면서 청각 문턱치를 구한 결과 자리돔은 측정 주파수 80~800 Hz의 음을 인식하고 있었고, 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800 Hz에 대한 청각 문턱치는 음압이 각각 100, 99, 90, 88, 96, 114 dB로 나타났고, 측정 주파수 300 Hz에서 가장 낮은 음압을 나타내었으며, 측정 주파수 800 Hz에서 가장 높은 청각 문턱치를 나타내었다.

참고문헌

- 박용석 · 이창현 · 문종욱 · 안장영 · 서두옥, 1999. 조피볼락의 청각문턱치. 수산해양교육연구, 11(1): 88-97.
- 이창현 · 서두옥, 2000. 수중 가청음에 의한 볼락의 청각 능력 - 1. 청각 문턱치 -. 한국수산학회지, 33(6): 581-584.
- 이창현 · 박용석 · 문종욱 · 김석종 · 안장영 · 서두옥, 1999. 수중 가청음에 의한 솜뱅이의 청각능력 - 1. 청각 문턱치 -. 한국어업기술학회지, 35(2): 156-160.
- Chapman, C. J. and A. D. Hawkins, 1973. A filed study of hearing in the cod. *Gadus morhua* L., J. com. Phys., 85: 147-167.
- 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.
- 古河 太郎, 1970. 魚類生理 - 聽覺 -. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 462-481.