

## 조피볼락의 청각 임계비†

박용석\* · 이창현 · 김고환 · 서두옥

(제주해양수산자원연구소\*, 제주대학교)

### I. 서론

수중 가청음은 어군의 행동을 제어하는 방법과 해양목장화에서 음향 순치 기술로 많이 응용되고 있다. 수중 가청음에 의한 어류반응 해석을 하기 위해서는 물고기의 청각능력을 정확히 파악할 필요가 있으며, 이와 관련하여 오래 전부터 여러 물고기의 청각 능력에 관련된 연구가 수행되었다(Chapman·Hawkins, 1973 ; Ishioka et al., 1998). 이처럼 물고기의 청각 능력을 파악하는 것은 음향순치를 이용한 어군의 유집뿐만 아니라 어획의 과정에 있어서 대상 물고기의 행동반응을 추측할 수 있는 것 이외에 새로운 어구, 어법 개발과 조업중의 어구에 대한 물고기의 행동 양상을 해결하는 데도 필요하다(이 등, 1999).

따라서 해양목장에 있어서 대상 물고기의 음향 순치 뿐만 아니라 양식장 등에서의 음향을 이용한 자동급이기 사용을 위해서는 물고기에 대한 청각 능력을 파악하는 것이 대단히 중요하고, 수중 가청음을 이용한 어군 행동 제어를 하는 경우에도 물고기의 청각 능력은 어종마다 다르기 때문에 대상 물고기에 대한 기초적인 청각 능력을 명확히 하는 것이 필요하다(박 등 1997, 1999).

어류는 바다에서 자연 발생적인 수중 잡음과 인위적으로 발생하는 수중 잡음이 존재하는 환경에서 서식하기 때문에 어류의 청각은 수중에서 발생하는 배경 잡음에 의해서 영향을 받으며, 잡음이 클 경우는 작은 음이 듣기 어렵게 되는 마스킹 현상이 발생한다. 따라서 수중에는 각각의 요인에 의해서 발생하는 잡음들이 언제나 혼합되어 있고, 그 음압의 레벨도 변동하기 때문에 수중음을 이용하여 어류를 순치시키고, 행동을 제어하기 위해서는 대상 어종에 대한 청각 문턱치 뿐만 아니라 배경 잡음에 의한 마스킹 효과를 충분히 조사하는 것이 중요하다(Hatakeyyama, 1992).

이 연구에서는 제주 연안해역에 있어서 해양목장의 음향 순치 대상 물고기로 이용할 수 있는 연안 정착성 어종인 조피볼락의 청각 문턱치 실험결과를 기본으로 순음을 마스

† 이 논문은 1997년 한국과학재단(971-0608-057-2)지원에 의해 연구되었음.

킹하는 백색잡음 스펙트럼레벨을 단계별로 변화시켜가면서 조피볼락의 청각 문턱치를 측정하여 청각 임계비를 계산함과 동시에 마스킹이 발생하는 백색잡음의 스펙트럼레벨에 관해서 조사 분석하였다.

## II. 재료 및 방법

실험어인 조피볼락 *sebastes schlegeli*의 전장은 270 ~ 300mm였으며, 가두리에 사육중인 것을 연구소 수조로 옮겨 일정기간 이상 사육중인 것을 10여마리 실험에 사용하였고, 실험 기간은 1~2월과 9월에 실시하였으며, 실험중의 수온은 12~21°C였다. 실험 수조에 설치후 12시간이 경과한 후 실험을 실시하였다.

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

어류의 청각 특성을 조사하기 위하여 사용한 실험장치는 박(1999)과 같이 수조 벽면에서 5cm 떨어진 지점에 양쪽에 공중 스피커(Promana, CB38)를 설치하고 신호 발생기(NF, 4500)의 신호음이 동위상으로 방성될 수 있도록 한 후 잡음발생기(B&K, 1405)와 함께 믹서(INKEL, MX-642)에 연결하여 신호음과 백색잡음을 동시에 방성할 수 있도록 하였으며, 이때 백색잡음은 수중에서 주파수가 높아짐에 따라 감쇄가 많아 지므로 주파수 1KHz까지 음압분포가 일정하도록 이퀄라이저(INKEL, EQ-9231)를 통하여 스피커에 연결하였으며, 심전도 도출용 낚시바늘로 마취시킨 물고기의 위심강 부근에 낚시 끝 부분을 삽입한 후, 실험어의 심전도를 관찰하였다.

어류의 음향 조건 학습 및 청각 임계비를 측정하기 위하여 사용한 음향자극은 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz의 순음을 이용하였으며, 주파수 200Hz의 순음을 약 120dB(0 dB re 1  $\mu$ Pa)의 음압과 함께 직류 전압 7V의 전기 자극을 실험어에게 주면서 음향 조건 학습을 시켰다.

실험어 음향 조건학습의 음방성 방법은 실험어의 심박간격이 안정상태를 나타낼 때 지속시간 5초간의 순음을 임의의 순서로 방성하였으며, 방성개시 3초 후에 지속시간 0.1초의 전기 자극 직류 전압 7V를 가하면서 학습을 시켰다. 이와 같은 음향과 전기자극 조건학습에 대한 실험어의 반응의 판정은 음향자극을 주기전 및 주었을 때의 심박간격을 측정하여 음향자극을 주기 전보다 주었을 때의 심박 간격이 넓었을 때를 반응이 있는 것으로 하였다(Fig. 1). 실험 주파수중 임의의 한 주파수에 대해 방성하였을 때 3회 이상 연속반응이 나타나면 음향에 대한 학습이 완료된 것으로 간주하였고, 각각의 음향학습 실험 모두 전기 자극 후 실험어의 심박이 정상적으로 될 수 있도록 3 ~ 5분 이상의 시간 간격을 두어 음향학습을 시켰다. 이와같이 실험어에 대하여 조건 학습을 완료시킨 후 30분 이상 경과한 후에 백색잡음에 대한 조피볼락의 청각특성을 측정하기 위하여 순음방

성 1 - 2분전에 방성하면서 측정주파수를 방성하였다.

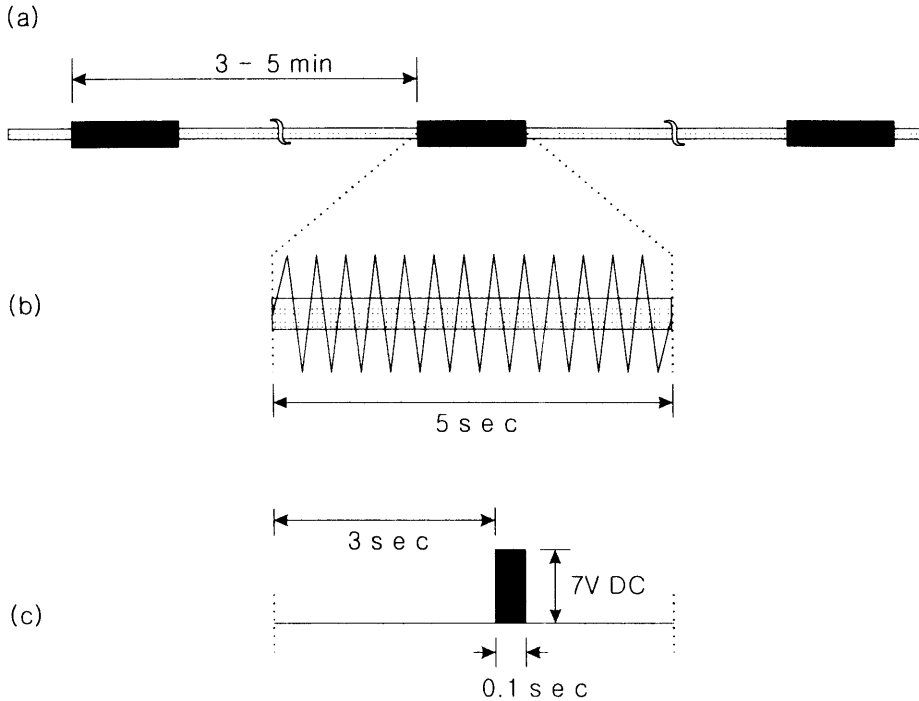


Fig. 1. The time sequences for sound emissions of white noise, pure sound and electric shocks.

- (a) Time sequence for the emission of pure sound stimulus under white noise.
- (b) Emission time and period of pure sound stimulus under white noise.
- (c) Pulse for electric shock stimulus.

백색잡음의 방성은 잡음방성 전의 배경소음의 주파수 60Hz의 음압을 기준으로 일정한 레벨을 유지하였으며, 배경잡음의 변화에 따른 청각 특성을 조사하기 위하여 감쇄기 (KENWOOD, RA-920)를 이용하여 주파수 60Hz를 중심으로한 음압 5dB 간격씩 배경 잡음을 가감하여가면서 73, 78, 83dB의 3단계로 설정하여 백색잡음을 방성하였다. 이때 실험어의 청각 문턱치 측정은 순음에 대한 조건학습이 완료된 실험어를 대상으로 조건학습에 사용한 음을 포함한 측정 주파수를 임의의 순서로 선택하여 청각 문턱치 이상이라고 판단되는 높은 음압에서부터 순음의 방성음압을 3 ~ 5dB씩 감소시켜 가면서 방성하였다. 순음에 대한 실험어의 반응 유무는 심박간격으로 관찰하여 실험어가 감지할 수 있는 가장 작은 음압을 청각 문턱치로 취하였으며, 실험어가 방성음압에 반응을 나타낼 경우 음향 조건학습을 유지시키기 위하여 전기자극을 주었다. 실험 자료의 우연 오차를 줄이기 위하여 연속적으로 2회 이상 학습음을 방성하기 전보다 방성한 후에 심박간격이 길어졌을 때 학습음을 인식한 반응을 보인 최소 음압을 청각 문턱치로 결정하였으며, 측정 결과값중 다소 의외의 값은 청각문턱치에서 제외시켰다. 청각 임계비

(critical ratio : CR) 측정은 청각문턱치에 사용한 신호음의 주파수 음압을 T, 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 S라 할 때 T-S로 나타내었다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

실험시에 측정된 실험수조내의 배경잡음과 백색 잡음 발생시에 측정된 실험수조내의 잡음스펙트럼 레벨의 평균치를 작성한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 정숙시의 배경잡음 평균 스펙트럼레벨은 전원의 영향을 많이 받는 주파수 60Hz에 피크를 보였으나 주파수가 높아질수록 완만하게 감소하고 있었다. 실험어의 청각 임계비 측정에 사용한 백색 잡음을 감쇄기를 이용하여 5dB씩 가감하여 측정된 평균음압은 73, 78, 83dB의 스펙트럼 레벨로 발생되고 있으며 이때의 백색잡음 스펙트럼레벨은 전기 노이즈가 포함된 주파수 60Hz를 제외하고 거의 일정하게 나타나고 있었다.

배경잡음의 스펙트럼레벨을 73, 78, 83dB로 단계적으로 변화시켰을 때의 청각문턱치를 정리한 음발생전과 잡음발생후의 청각 문턱치를 비교하면 배경잡음의 상승에 따라 청각 문턱치의 값도 증가하는 경향이 보여 각각의 잡음스펙트럼레벨에서 모든 측정주파수대에 대해 잡음발생전 보다도 청각 문턱치가 증가하여 명확히 마스크가 일어나고 있었다. 특히, 주파수 300Hz에서 마스킹현상이 뚜렷이 나타나고 있었다.

이 등(1999)이 구한 16℃ 이하의 배경잡음하에서의 청각 문턱치 Fig. 3과 이 실험에서 구한 Fig. 2의 청각 문턱치의 오디오 그래프는 비슷한 양상을 나타내고 있었으나 청각 문턱치를 비교했을 경우 배경잡음하에서 구한 오디오 그래프는 비슷한 모양의 곡선을 나타내고 있었고, 이들을 비교했을 경우 각 주파수에 대한 차이가 다소 나타나고 있었지만 어떠한 의미가 있는 것으로 판단되지는 않는다. 따라서 이 청각 문턱치는 온도의 차이에 의한 현상은 보이지 않았다. 그러나 Fig. 3과 같이 16℃ 이하에서 백색잡음하에서의 청각 문턱치는 Fig. 2의 20℃ 이상에서 구한 청각 문턱치와 전반적으로 차이가 있는 것으로 판단된다. 이것은 어류 개체의 청각능력에 대한 차이를 배제할 수는 없지만, 심박측정시에 온도 저하에 의하여 심전도의 심박간격이 일정함에도 불구하고 음자극의 효과가 민감하게 나타나지 않은 것도 한 원인으로 추론되었다.

따라서 어류의 심박간격을 이용한 청각특성을 측정하기 위해서는 무엇보다도 심전도 도출을 위한 바늘을 정확한 위치에 삽입하는 것이 중요하다고 판단되지만 온도에 따른 청각 문턱치 변화를 명확히 구할 필요가 있으며, 또한 500~800Hz 사이의 음압에 대한 이들 어류의 반응은 100~300Hz의 음압에 대한 학습 반응의 효과보다 다소 느리게 나타나는 경향도 이들 온도의 영향이 다소 포함되어 있는 것으로 판단되며, 80Hz에서는 음압변화보다도 입자변위의 감도 증가, 수조 저면에서 전달되는 환경잡음에 의한 반응의 발생도 예상되며, 또한 해수 배출량의 변화에 따라 60~80Hz 주파수대의 스펙트럼레벨에 다소 영향이 나타나고 있는 것이 어류에 어떠한 영향을 주었는지도 조사할 필요가 있다.

조피볼락의 청각 임계비

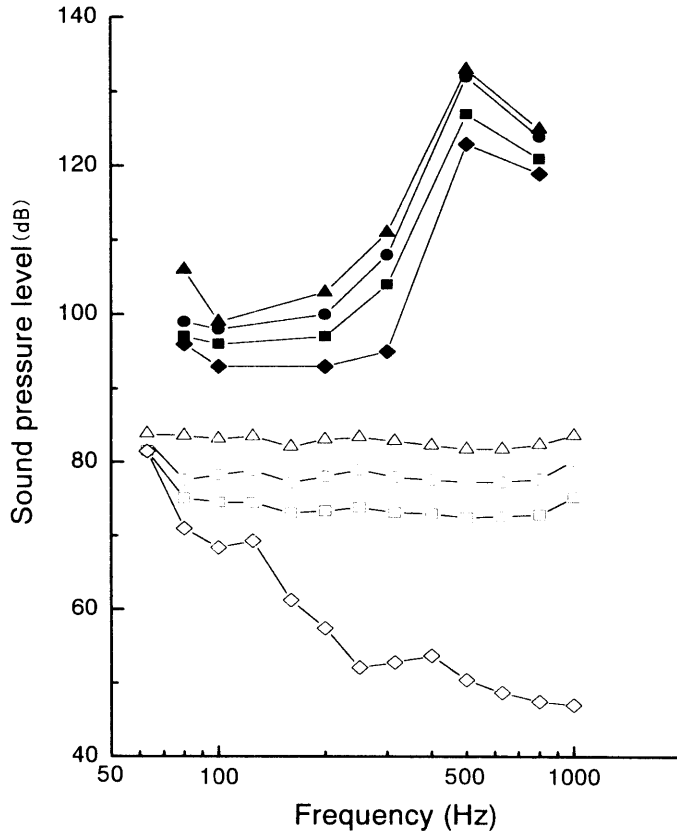


Fig. 2. Audiogram of dusky spinefoots under white noise spectrum level.  
 (▲ : Auditory threshold level under mean white noise spectrum level of 83dB,  
 ● : Auditory threshold level under mean white noise spectrum level of 78dB,  
 ■ : Auditory threshold level under mean white noise spectrum level of 73dB,  
 ○ : Mean white noise spectrum level of 83dB, △ : Mean white noise spectrum level of 78dB, □ : Mean white noise spectrum level of 73dB)

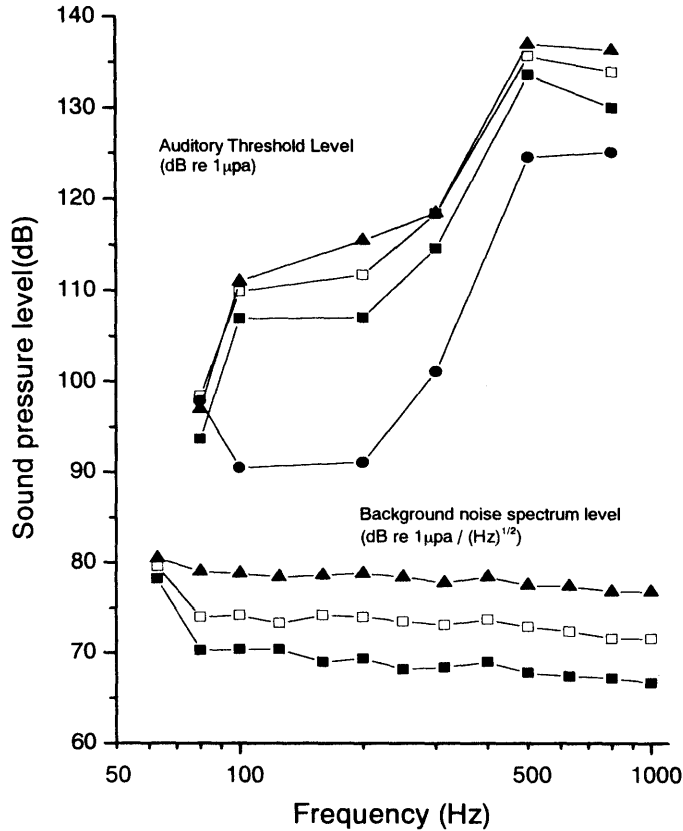


Fig. 3. The Audiogram of the jacopever under white noise in January and February.

- (▲ : Mean white noise spectrum level of 80dB,
- : Men white noise spectrum level of 75dB,
- : Mean white noise spectrum level of 70dB)

Fig. 4는 각각의 백색잡음 발생시에 측정된 청각문턱치에서 각각의 잡음 스펙트럼레벨을 뺀 청각임계비를 평균으로 나타낸 것으로 조피볼락의 청각임계비는 주파수 80Hz에서 음압이 약 19dB, 주파수 500Hz에서 음압 50dB까지 나타나고 있었다.

주파수 특성이 평탄한 백색잡음으로 마스킹된 청각문턱치와 잡음의 스펙트럼레벨로부터 구한 청각임계비 CR는 청각 문턱치와 백색잡음의 비를 의미하며, 백색잡음이 청각에 미치는 영향을 평가하기 위한 자료가 되는 것으로 조피볼락의 경우 측정주파수의 음을 인식하기 위해서는 음압이 Fig. 4에서 처럼 각 백색잡음 스펙트럼 레벨에서 청각 임계비 이상 높지 않으면 어려운 것으로 판단되며, 주파수가 높을수록 청각문턱치와 백색잡음 스펙트럼레벨의 차가 크게 나타났다. 또한 本松 등(1996)이 발표한 조피볼락의 청각 임계비와 비교하였을 때 측정범위가 같은 100~500Hz까지의 측정주파수에 대해서는 전

조피볼락의 청각 임계비

체적으로 유사한 곡선 형태를 나타내고 있었으나 이 실험에서 구한 청각임계비가 전체적으로 음압 1 - 14dB정도 적게 나타나고 있었다. 이러한 이유는 실험에 사용한 배경잡음의 특성 및 설정이나 실험방법 등의 차이에 의한 것으로 판단되지만 명확한 사유는 확실치 않다.

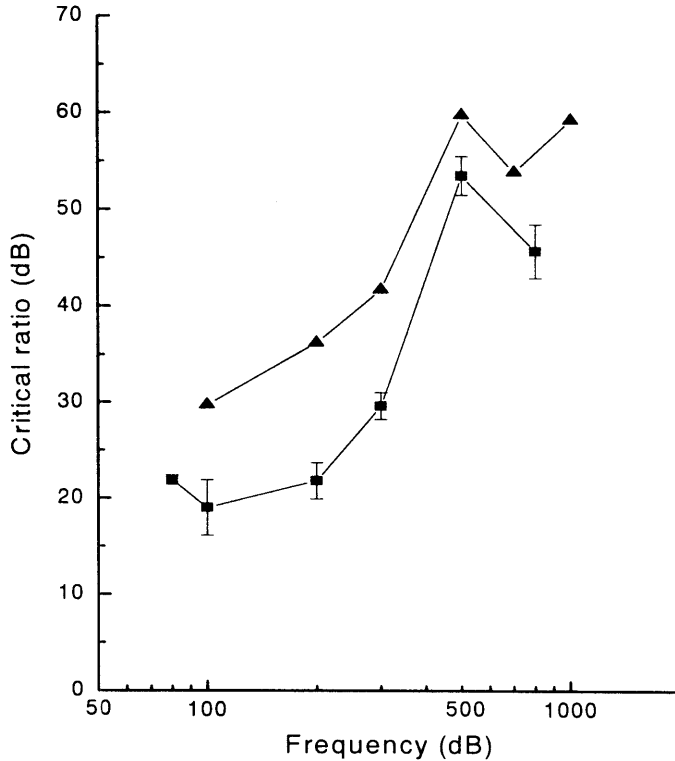


Fig. 4. Comparison of the auditory critical ratio of the black Rockfish(■) with Black Rockfish(▲ : K. Motomatsu).

9월에 구한 조피볼락의 청각특성의 결과를 백색잡음 스펙트럼레벨과 청각문턱치와의 관계에 관하여 측정주파수마다 정리한 것이 Fig. 5이다. 백색잡음이 발생되지 않을 때로 함께 포함하여 4단계의 잡음레벨로 측정한 문턱치를 종축, 백색잡음의 스펙트럼레벨을 횡축으로 하여 각각의 관계를 기울기 1인 회귀직선으로 나타내었을 때 조피볼락의 청각은 측정주파수대에 있어서는 대략 음압 65dB이하일 경우에는 백색잡음에 의한 영향이 보이지 않았지만 백색잡음 스펙트럼 레벨이 73~83dB로 높아지면 확실히 백색잡음에 의한 마스킹이 발생하여 청각문턱치가 증가하고 있었다.

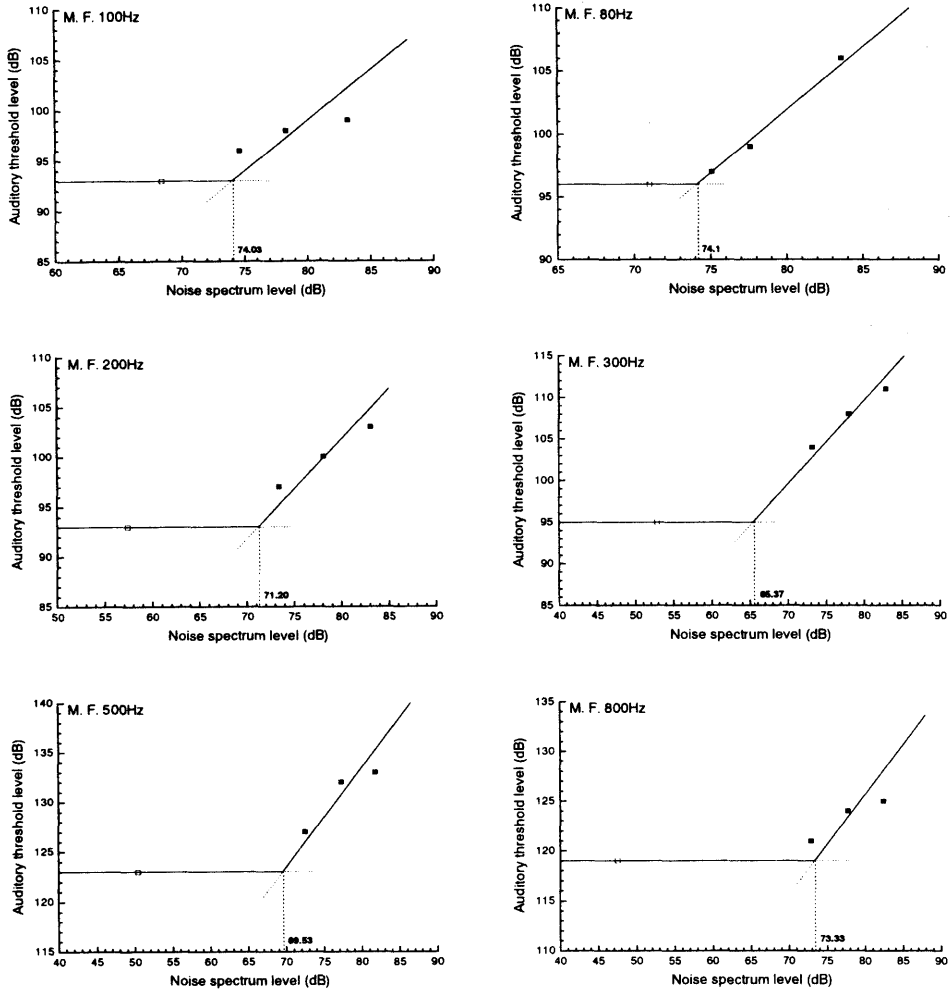


Fig. 5. Relation between noise spectrum level and auditory threshold level.  
 ( M.F. : Measurement frequency, □ : Auditory threshold level under the quite condition, ■ : Auditory threshold level under the white noise)

Fig. 6은 Fig. 5에서 구한 주파수마다 마스킹이 발생하는 시점의 잡음스펙트럼을 나타낸 것이다. 마스킹 발생시의 잡음스펙트럼 레벨은 300Hz의 주파수대에서는 음압이 약 65dB, 그리고 그외의 주파수대에서는 음압 70dB이상의 백색잡음 스펙트럼레벨에서 조피볼락의 백색잡음에 의한 마스킹 현상이 나타나기 시작했다.

이상의 결과에서 청각문턱치와 임계비에서 조피볼락에 사용하는 음의 주파수를 청각감도가 좋은 주파수 100~200Hz로 가정하면 이 주파수대의 수중음을 조피볼락이 듣기 위해서 적어도 90dB이상의 음압이 필요하며, 주파수에 따라 다소의 차이는 있지만 스펙



### 조피볼락의 청각 임계비

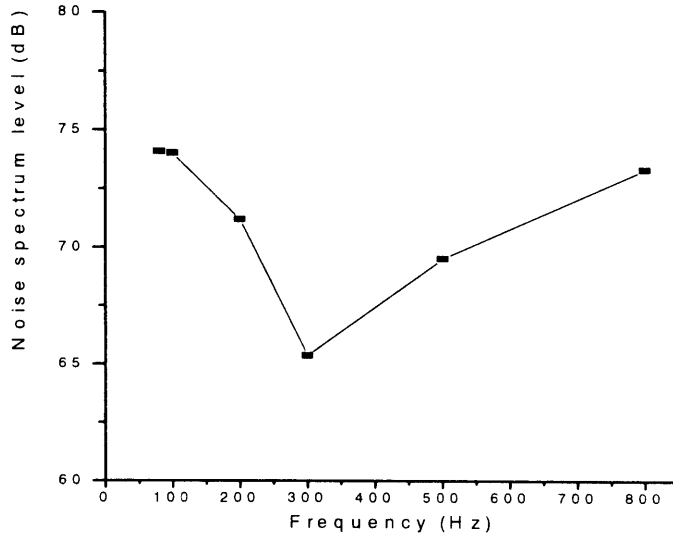


Fig. 6. Minimum noise spectrum level (0 dB re  $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$ ) of masking at frequencies of 80 - 800 Hz.

트림레벨이 약 70dB이상의 잡음이 존재하는 환경에서는 조피볼락의 청각능력이 마스킹 되기 때문에 실제 해석에 있어서 수중음향을 이용하여 어군 행동을 제어할 경우에는 배경소음이나 방성음의 감쇄등의 음향특성뿐만 아니라 배경 잡음에 의한 청각의 영향이나 음원정위능력등 대상 어류에 대한 청각특성도 충분히 파악하여 학습이나 기억등 많은 요인에 관한 검토가 필요할 것이다.

### IV. 요약

해양목장에서 음향순치 대상 어종으로 사용할 수 있는 조피볼락의 청각능력을 파악하여 해양목장화의 기초자료를 제공할 목적으로 조피볼락의 백색잡음에 대한 청각 임계비와 학습 및 유집을 위한 방성음압 강도를 조사한 결과는 다음과 같다.

음압 74, 78, 83의 3단계 백색잡음을 방성하였을 때 조피볼락의 청각문턱치는 백색잡음이 없을 때보다 높게 나타나 마스킹 효과가 나타났고, 주파수 300Hz에서 보다 높게 나타났었다. 조피볼락의 청각임계비는 측정주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz에서 음압이 대략 21, 19, 22, 30, 54, 46dB이고 마스킹 현상은 주파수 300Hz에서 음압 65dB의 잡음레벨에서 나타나기 시작하였고 그외의 주파수에서는 음압 70dB이상에서 나타났으며 주파수 100 - 200Hz에서 신호음을 인식하기 위해서는 음압 90dB이상, 잡음레벨보다 약 20dB이상의 높은 음압이 요구되었다.

## V. 참고문헌

- Chapman, C. J. and A. D. Hawkins, A field study of hearing in the cod. *Gadus morhua* L., *J. com. Phys.*, 85, 1973, pp.147~167.
- Hatakeyama, Y., The Hearing Abilities of Fish. *Fisheries Engineering*, 28(2), 1992, pp.111~119.
- Ishioka, H., Y. Hatakeyama, and S. Sakaguchi, The hearing ability of the red sea bream *Pagrus major*. *日水誌*, 54, 1988, pp.947~951.
- 本松敬一郎 · 平石智徳 · 山本勝太郎 · 梨本勝昭, クロソイ聴覚閾値と臨界比. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 62(5), 1996, pp.785~853.
- 이창현 · 박용석 · 문종욱 · 김석중 · 안장영 · 서두옥, 수중 가청음에 의한 쏜뱅이의 청각능력 - 1. 청각 문턱치 -, *한국어업기술학회지*, 35(2), 1999, pp.156~160.
- 박용석 · 이창현 · 이유철 · 서두옥, 명태의 행동제어용 심전도 도출에 관한 연구, *제주대학교 해양연구소 연구논문집*, 21, 1997, pp.175~179.
- 박용석 · 이창현 · 문종욱 · 안장영 · 서두옥, 조피볼락의 청각문턱치, *수산해양교육연구*, 11(1), 1999, pp.88~97.

## The Auditory Critical Ratio of the Black Rock Fish *Sebastes Schlegeli*

Yong-Seok PARK\*, Chang-Heon LEE, Ko-Hwan KIM and Du-Ok SEO

(Cheju Province Fisheries Resources Research Institute\* · Cheju National University)

### Abstract

In order to obtain the fundamental data on the auditory thresholds of fishes for marine ranching, the auditory thresholds of black rock fish *Sebastes Schlegeli* were measured in the presence of masking noise in the spectrum level range of 73 - 83dB (0dB re  $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$ ) with a classical cardiac conditioning technique. Critical ratios were about 19 - 30dB at 80 - 300Hz and 46 - 54dB at 500 - 800Hz. The ratio increased almost linearly with increasing frequency to 500Hz. The noise spectrum level at the start of masking was about 70dB within the frequency range of 80 - 800Hz excepting 65dB at 300Hz. This suggests that hearing of the black rock fish is masked in the natural environment with the noise spectrum level above 65dB. The sound pressure level of which the signal sound of 100 - 200Hz is recognized by black rock fish under the ambient noise is above 90dB and the critical ratio of them is above 20dB.