

연안정치망 주요대상어종의 청각역치와 유집방음에 대한 행동반응(Ⅱ) - 방어(*Seriola quinqueradiata*)의 임계비 -

안장영 · 이창현 · 김용주* · 박용석**

제주대학교, *여수대학교, **제주도

(1998년 11월 20일 접수)

The auditory thresholds and fish behaviors to the underwater sounds for luring of target species at the set-net in the coast of Cheju(Ⅱ) - Critical ratios of the yellow tail(*Seriola quinqueradiata*) -

Jang-Young Ahn, Chang-Heon Lee, *Yong-Ju Kim and **Yong-Seok Park
Cheju National University, *Yosu National University, **Cheju Province

(Received November 20, 1998)

Abstract

This paper is second part on the auditory thresholds and fish behaviors to the underwater sounds for luring of target species at the set-net in the coast of Cheju. In order to obtain the critical ratio of yellow tails(*Seriola quinqueradiata*) and the emission level of underwater sound for luring of them, we make experiments to measure the auditory threshold of them using conditioning with electric shock.

In state that the white noise with 10dB higher sound pressure level than ambient noise is emitted, the auditory thresholds of yellow tails are measured with 100~ 116.5dB and they are higher than those in state of no emission of white noise by the masking effects of it. Although sound pressure level of background noise go down, the auditory thresholds go up with frequency above than 300Hz.

The critical ratio of yellow-tails in frequency of 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz are 46dB, 40dB, 50dB, 52dB, 60dB, 70dB respectively. The sound pressure level of which the signal sound is recognized by yellow tails under the ambient noise is above 100dB and the critical ratio of them is above 40dB.

서 론

수중음에 의한 어류의 유집, 위력, 어류양식을 위한 치자어의 수중음 학습, 등 다방면의 연구가 이루어지고 있다. 어류는 음에 민감한 행동반응을

최근 수중음의 응용기술이 발전하면서 저주파

이 논문은 1997년도 교육부 학술연구 조성비에 의한 연구결과임.

나타내고 있다는 것이 확인되면서, 가청 저주파 음을 이용한 어류의 음향 순치 등이 해양목장화 사업의 기본과제로 대두되고 있고 많은 연구자들이 수중음을 이용한 어군의 행동제어를 시도하고 있다.

이러한 노력들은 어류의 청각 역치를 통하여 가장 예민하게 반응하는 음의 주파수를 찾아내고, 또한 어류를 일정한 음으로 순치를 시킨 후 특정 해역에 방류하여 성장소요기간이 경과한 다음, 순치에 사용한 음을 다시 방성하여 재포획하는 해양목장사업에서는 가시적 성과가 나타나고 있으며, 순치어류의 재포획 조사(上城, 1991), 정치망내에서의 음향잡어기를 이용한 어군의 유집, 식이음 및 생식음을 이용한 어군의 유집(장, 1986; 閻庭 등, 1970; 閻庭, 1972) 등에도 유효하리라 생각된다. 더욱이 회유성 어류를 음향 순치시킴 없이 실제 어장에서의 수중음향에 의한 유집은 실험결과에 따라서는 어법의 변화를 가져올 수 있는 중요한 문제이나, 실질적으로 어업에 수중음을 이용하여 어군을 유집하는 사례는 거의 없고 유집대상 어군에 대한 청각특성조차 파악되어 있지 않다.

어류의 청각은 주위의 잡음에 의해서 영향을 받으며, 잡음이 클 경우는 작은 음을 듣기 어렵게 되는 마스킹 현상이 발생한다. 실제로 어류는 자연 발생적인 수중 잡음과 인위적으로 발생하는 수중 잡음이 존재하는 환경에서 서식한다. 따라서 수중에는 각각의 요인에 의해서 발생하는 잡음들이 항상 혼합되어 있고, 그 잡음의 음압레벨도 변동하기 때문에 수중음을 이용한 어군의 유집에 있어서는 수중잡음에 의한 마스킹 현상의 조사가 대단히 중요하다.

이 연구는 어업에 있어서 저주파 수중음을 이용함으로써 효율적인 어획을 꾀하고, 정치망 어장에서의 주요 어획대상 어류인 방어류의 유집을 목적으로, 정치망어장의 환경잡음에 대한 임계비의 조사와 함께 수중 방성음을 이용한 유집 가능성을 조사하고 방성음의 음압강도를 추정하였다.

재료 및 방법

1. 실험어 및 실험수조

실험어는 제주도 남쪽 연안어장에서 어획하여 가두리에서 사육중이던 방어 8마리를 이용하였으며, 제주대학교 해양연구소의 사육수조로 옮겨 3~4일 축양시킨 후 실험에 사용하였다. 실험어는 체장이 50~55cm 이고 체중은 1~1.5kg 인 것을 사용하였다. 실험어의 청각특성 실험은 연구소에 설치된 가로, 세로 각각 2 m인 컨테이너 속에서 실험용 사각수조(L118cm×W48cm×H62cm)를 설치하여 실시하였다. 실험어는 수조내에서 움직이지 않게 고정시켜야 하나, 이 수조는 실험어의 체장에 비해 규모가 작아서 수조내에서 실험어가 거의 움직일 수 없는 상태이어서 따로 구속장치를 하지 않았다. 실험수조내의 해수는 바다에서 직접 끌어들이는 물을 실험수조의 밑바닥으로 강제 유입시킨 후 위쪽 모서리에 있는 배출구를 통하여 배출되도록 하였다.

2. 방성장치 및 어류의 학습

백색잡음하에서 순음방성 및 전기자극에 의한 조건학습으로 어류의 심전도를 측정하여 청각역치와 임계비를 구하기 위한 블록 다이어그램은 Fig. 1과 같다.

조건학습을 위한 방성은 신호발생기(NF, 1942)에서 공중음의 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz의 순음을 발생시켜 증폭기(NF, 4500)에서 증폭시킨 후 수조 양쪽에 설치된 공중스피커(LG, FE-585K)로 방성하였으며, 순음방성시의 백색잡음은 신호발생기(NF, 1915)를 통해 임의의 음압으로 발생시켜 증폭기에서 증폭시킨 후 수조 앞쪽에 설치한 공중스피커(LG, TSP-153B)로 방성하였다. 이때 방성한 각 주파수에 대한 순음의 음압과 백색잡음의 음압 및 주위환경잡음은 수조내에 설치한 hydrophone(B&K, 8100)으로 수신하여 증폭기(NF, 5305)에서 증폭한 후 FFT(AND, AD-3525)로서 측정하여 분석·확인하였다.

어류의 심전도 파형을 도출하기 위한 준비로서,

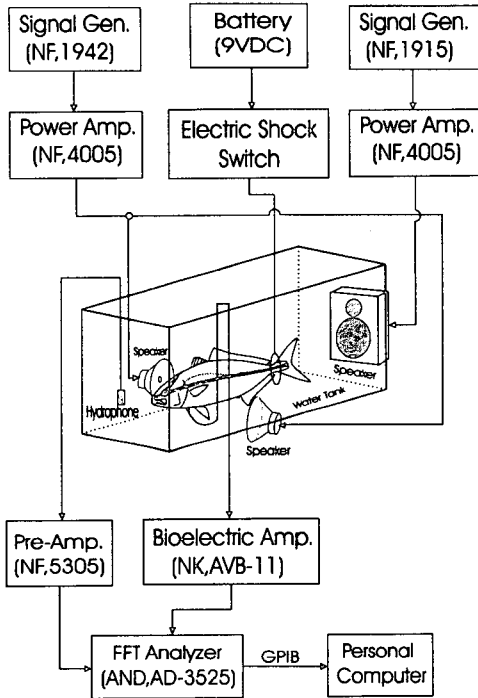


Fig. 1. Block diagram of the instruments for measuring of auditory thresholds and critical ratios of yellow tails.

학습실험을 시작하기 하루전에 실험어를 100ppm 농도의 MS-222 용액에 넣어 마취시킨 후 낚시 바늘로 만든 전극침을 실험어의 위심강 부위에 꽂은 다음, 방성음에 대한 조건학습으로 전기자극을 가하기 위하여 직류 전원장치(Tektronix, PS 2520G)와 연결된 전선을 실험어의 꼬리주위에 감아, 실험수조로 옮겨 안정·순응시켰다. 어류의 위심강부위에 꽂은 전극침을 통해 전달된 생체전압은 생체용 증폭기 겸 오실로스코프(NK, AVB-11)를 거쳐 FFT에서 어류의 심전도 파형 및 심박 간격을 측정하였으며, 그 결과를 GPIB 보드를 통하여 컴퓨터에 입력한 후 해석에 이용하였다.

어류의 청각역치 측정을 위한 조건 학습은 Fig. 2에서와 같이 5초간의 연속순음을 120dB이상의 음압으로 방성한 후, 방성개시 3초 후에 지속시간 0.1초, 전압 DC 9V의 펄스형 전기자극을 가하면서 방성음에 대한 조건학습을 시켰다. 그 결과, 순음 120~125dB의 음에 3회 연속반응이 나타나는 것을 확인한 후 점차 방성음압을 3~5dB간격으로

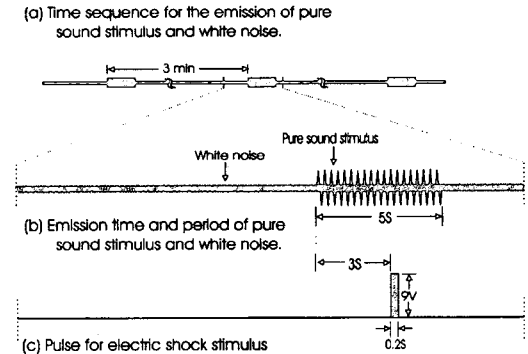


Fig. 2. The time sequences for sound emissions of the white noise, the pure tone and electric shocks.

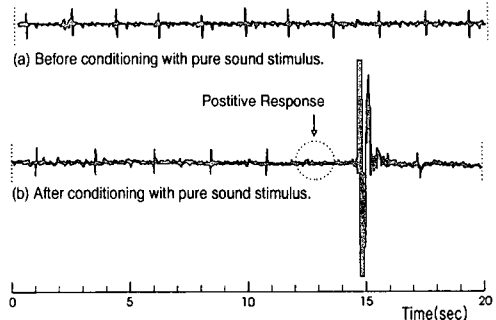


Fig. 3. Electrocardiogram of which yellow-tail was not conditioned and conditioned by pure sound stimulus.

낮추어 가면서 동시에 전기 자극을 가하여 3회 연속으로 반응이 나타나면 음에 대한 학습이 완료된 것으로 간주하였다. 이들 모두 전기자극 후 어류의 심박이 정상적으로 될 수 있도록 약 5분 이상의 시간 간격을 두어 학습을 시켰다. 실험어의 반응으로 학습의 성공 여부에 관한 판정은 Fig. 3과 같이 순음 방성자극을 주기 전후의 심박간격으로 하였는데, 음자극을 주기 전에 거의 일정하던 심박간격이 음자극 후 갑자기 넓어졌을 때 학습효과에 의한 것으로 보았다.

3. 임계비

이와 같이 순음에 학습이 완료된 후 수조 앞쪽에 설치한 스피커를 통하여 가청 주파수대에서 각

단위 주파수별 음압이 일정한 백색잡음을 발생시킨 상태에서 실험어의 청각역치를 구하여 임계비의 계산에 이용하였다.

백색잡음의 방성은 Fig. 2와 같이 각 실험주파수의 순음방성 전후에 1~2분 지속되었으며, 백색잡음 방성전의 환경소음에 대한 스펙트럼 레벨보다 각 주파수에서 약 10dB 정도 높게 방성되었다. 조건학습용 순음방성은 백색잡음의 방성을 시작한 후 어류의 심박간격을 확인하여 정상적인 상태라고 판단되었을 때 하였으며, 이러한 과정은 약 3분 간격으로 반복되었다. 임계비의 측정은 조건학습 때와 마찬가지로 각 실험 주파수의 순음을 125dB이상의 높은 음압에서부터 3~5dB 간격으로 음압을 낮추어 가면서 연속 2회 이상 학습반응을 나타내는 최소음압을 측정하여 어류의 임계비를 계산하였다. 임계비 산출은 어류의 청각역치가 되는 각 주파수의 방성음압을 T(dB re 1μPa), 백색잡음의 스펙트럼 레벨을 S(dB re 1μPa/Hz)라 할 때, 임계비(CR)는 T-S로 나타내었다.

결 과

실험어 8마리에 대한 임계비 측정을 위하여 백색잡음의 방성하에서 측정된 각 방음주파수에서의 청각역치는 Table 1과 같다. 측정 주파수별 청각역치는 54.5cm의 방어 1마리를 제외하고는 100Hz에서 최소값을 나타내었으며, 100Hz보다 주파수가 높아질수록 청각역치는 점점 높아지는 경향을 보였다. 그러나 이와 반대로 3마리의 방어는 300Hz보다 오히려 500Hz에서의 청각역치가

더 낮게 측정되었다. 각 주파수에서 측정된 청각역치의 표준편차는 200Hz에서 가장 적었고, 800Hz, 500Hz, 300Hz, 80Hz, 100Hz 순으로 나타났다는데, 200Hz에서의 표준편차는 다른 주파수의 표준편차보다 월등히 적은 값이었다.

Fig. 4는 수조내에서 백색잡음을 방성하지 않았을 때 및 방성하였을 때의 환경잡음에 대한 스펙트럼 레벨과, 백색잡음을 방성하면서 측정된 실

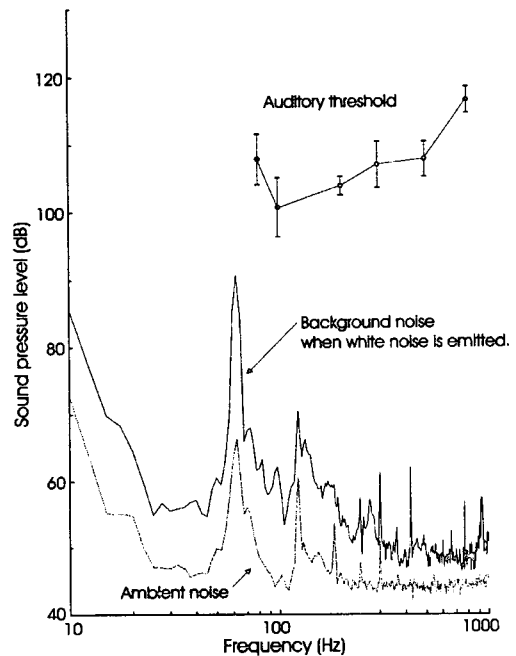


Fig. 4. Auditory threshold of yellow-tails and spectrum of Background noise at white noise with 10dB higher sound pressure level than the ambient noise is emitted.

Table 1 Auditory threshold level of yellow-tails when white noise with 10dB higher sound pressure level than ambient noise is emitted

| Frequency(Hz) | Auditory Threshold Level (dB) | | | | | | | | Total values | |
|---------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|------|
| | Body Length(cm) | | | | | | | | Avg. | S.D. |
| | 52.0 | 53.5 | 54.0 | 54.5 | 54.5 | 55.0 | 55.5 | 56.0 | | |
| 80 | 107.2 | 111.6 | 104.4 | 109.2 | 104.4 | 111.6 | 102.3 | 111.6 | 107.8 | 3.76 |
| 100 | 97.8 | 97.8 | 100.2 | 111.1 | 100.2 | 100.2 | 100.2 | 97.8 | 100.7 | 4.38 |
| 200 | 105.1 | 102.5 | 102.5 | 102.5 | 105.1 | 105.1 | 102.5 | 105.1 | 103.8 | 1.38 |
| 300 | 106.0 | 110.8 | 106.0 | 112.8 | 106.0 | 106.0 | 106.0 | 101.7 | 106.9 | 3.40 |
| 500 | 102.0 | 109.7 | 109.7 | 107.2 | 107.2 | 107.2 | 109.0 | 109.7 | 107.7 | 2.59 |
| 800 | 114.3 | 114.3 | 117.3 | 117.3 | 114.3 | 117.3 | 117.3 | 119.5 | 116.5 | 1.93 |

(Aavg. : Average, S.D. : Standard deviation)

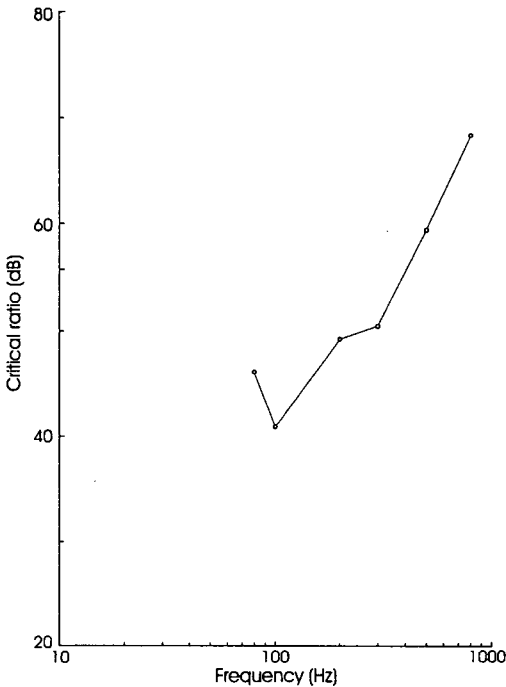


Fig. 5. Critical ratios of yellow tail.

협어의 청각역치를 동시에 나타낸 것이다. Fig. 4에서 주파수 300Hz 이상에서 백색잡음의 방성 전후의 스펙트럼 레벨의 차가 적어진 것은 백색잡음을 방성하지 않았을 때의 환경잡음의 음압레벨이 측정시스템의 내부잡음보다 낮았기 때문이다. 백색잡음을 환경 잡음보다 약 10dB 정도 높게 방성하였을 때 방어의 청각은 주파수 80Hz - 500Hz에서 민감한 반응을 나타내었고, 100Hz의 실험 주파수에서 가장 낮은 청각역치를 나타내었다. 300Hz 이상의 주파수에서는 백색잡음의 음압이 낮아짐에도 불구하고 청각 역치가 증가하였으며, 주파수가 높아질수록 청각능력이 급격히 나빠졌다.

Fig. 5는 환경잡음과 방어의 청각역치와의 관계인 임계비(CR)을 나타내고 있다. Fig. 5에서 각 측정 주파수에서의 임계비는 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 각각 46dB, 40dB, 50dB, 52dB, 60dB, 70dB를 나타내었으며, 100Hz에서 가장 낮았다. 즉 80Hz와 100Hz에서는 백색잡음 방성중 신호음을 변별하는 능력이 다른 주파수에 비하여 우수하였지만, 측정 주파수가 높아질수록 청각역치가 증가함과 동시에 임계비도 급격

히 증가하고 있어 높은 주파수에서는 청각능력이 아주 떨어짐을 나타내고 있다.

고 찰

본 실험의 결과에서, 측정 주파수 200Hz에서 비교적 낮은 청각역치와 가장 적은 편차를 나타내었는데, 이는 체장의 크기에 관계없이 200Hz의 음에는 쉽게 반응할 수 있음을 나타낸다. 이는 음압 120dB의 음을 방어에 방성하였을 때 그 방어의 뇌파기록에 의한 응답강도가 200Hz, 400Hz, 700Hz에서 피크치를 나타내었다는 보고(添田 등, 1998)와도 일치하고 있다.

어류의 주변서식지에 산재하는 주변 환경잡음은 어류가 섭이행동 등 생물학적 의미를 갖는 중요한 음정보를 취할 때에 장애가 된다. 해상에서는 주로 바람이 잡음을 발생시켜 마스킹이 일어나고, 이때 어류는 약한 생물학적 음정보를 감지하기 어렵게 된다. 이렇듯 어류의 청각능력은 음압의 강도와 마스킹 방법에 따라 달라질 수 있는데, 일반적으로 어류는 주변 잡음의 스펙트럼보다도 15 - 25dB 이상 큰 신호에서 인지할 수 있다고 한다(Buerkle, 1968). 그러나 방어는 백색잡음이 없을 때(안 등, 1998)와 있을 때의 청각역치가 92.8 - 110.3dB과 100 - 116.5dB로 나타나 백색잡음이 방성될 때 실험주파수가 마스킹되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 어군의 유집에 수중음을 이용할 경우 어류가 환경잡음에서 자극음을 구분할 수 있도록 방음레벨을 설정할 필요가 있다.

이상에서, 수중음향에 의한 방어의 유집 등을 시도한다면 청각능력을 고려하여 100~200Hz를 선택하고 이 주파수의 음을 방어가 인식하기 위해서는 최저 100dB 이상의 음압강도가 필요하며 잡음스펙트럼이 존재하는 환경에서는 잡음보다도 약 40dB 이상 크게 방성할 필요가 있는 것으로 사료된다.

요 약

어업에 있어서 저주파 수중음을 이용하여 어획의 효과를 높이기 위한 기초자료를 제공할 목적으

로 정치망 어장의 주 어획대상인 방어의 환경잡음에 대한 임계비와 음향유집을 위한 방성 음압강도를 조사하였다.

백색잡음을 방성하였을 때 방어의 청각 역치는 100~116.5dB로서 백색잡음을 방성하지 않았을 때보다 높게 나타나 마스킹효과를 보였으며, 가장 낮은 음압에서 반응한 음의 주파수는 100Hz이었다. 300Hz 이상의 주파수에서는 백색 잡음의 레벨이 감소함에도 불구하고 청각역치는 급격히 증가하였다. 또한 방어의 임계비는 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 각각 46dB, 40dB, 50dB, 52dB, 60dB, 70dB를 나타내었으며 100Hz에서 가장 낮았다. 방어가 환경잡음하에서 음을 인식하기 위해서는 100dB이상의 음압이 필요하며 주위 환경잡음레벨보다 약 40dB이상 높은 음압이 요구되어졌다.

참고문헌

- 안장영, 이창현, 김용주, 박용석(1998) : 연안정치망 주요대상어종의 청각역치와 유집방음에 대한 행동반응, 한국어업기술학회지 34(4), pp.386~392.
- 張善德, 尹甲東, 辛亨鎰, 李珠熙, 申鉉玉(1986) : 音響集魚器의 集魚效果, 韓國漁業技術學會誌 22(4), pp.75~83.
- 間庭愛信, 山良巳(1970) : 音響による魚群の誘致に関する研究(3), 漁船研究技報 24(2), pp. 1~5.
- 間庭愛信(1972) : 音響による魚群の誘致威の研究, 水中音響應用研究會 1, pp. 3~11.
- 添田秀男, 山良巳, 川村軍(1998) : 魚類の聽覺能力-ブリ. 魚類の聽覺生理, 恒星社厚生閣, pp. 239~47.
- 上城義信(1991) : 音響馴致システムによる魚群制御, 水産工學 28(1), pp. 65~70.
- U. Buerkle (1968) : Relation of pure tone thresholds to background noise level in the atlantic cod(*Gadus morhua*), J. Fish. Res. Bd. Canada, 25, pp. 1155~1160.