

해양목장 대상어류인 조피볼락의 청각역치 및 임계비 산출

Auditory Threshold and Critical Ratio of Rock Fish for Marine Ranching

주관연구기관	제주대학교
연구책임자	서두옥
발행년월	1999-04
주관부처	과학기술부
사업관리기관	제주대학교
NDSL URL	http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO200200019248
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/03 11:45:35

저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.

KOSEF 971-0608-057-2

해양목장 대상어류인 조피볼락의 청각역치 및 임계비 산출

Auditory Threshold and Critical Ratio of Rock Fish for Marine Ranching

1999. 04. 28.

(총괄) 연구책임자 : 소속 제주대학교 해양과학대학
성명 서 두 욱

한국과학재단

- 목 차 -

1. 제출문	-----	1
2. 연구계획서 요약문(국문)	-----	2
3. 연구내용	-----	4
가. 연구결과 요약문(국.영문)	-----	6
나. 서론	-----	8
다. 연구방법 및 이론	-----	12
라. 결과 및 고찰	-----	17
마. 결론	-----	17
바. 인용 문헌	-----	19
4. 논문발표목록서 및 자체평가서	-----	20

제 출 문

한국과학재단 사무총장 귀하

본 보고서를 해양목장 대상어류인 조피볼락의 청각역치 및 임계비 산출
연구의 연구결과보고서로 제출합니다.

1999년 4월 28일

(총괄)연구책임자 : 소속 제주대학교 해양과학대학
성명 서 두 욱



연구 계획서 요약문

어류가 어떠한 수중음을 감지할 수 있는 소리의 세기의 하한을 일반적으로 역치라는 용어로 표기하고 있는데, 어류가 수중음에 특정한 행동으로 반응을 나타내는 소리의 세기를 음압레벨이라고 정의하고 있다. 현재, 각각 다른 주파수의 수중음에 대한 약 20여종의 어류의 청각역치를 나타내는 오디오그램이 보고되고 있다.

해양구조물의 공사, 발파, 선박의 기관음 등으로부터 발생하는 자극음 또는 진동음은 여러 가지 방법으로 어류의 청각에 영향을 끼치고 있는데, 어류의 청각자극에 미치는 영향을 판단하기 위해서 감지음압의 하한인 청각역치와 가청주파수의 유효범위를 파악해둘 필요가 있다. 전기자극 학습에 의해서 조건반사가 일어나는 것을 생리학적으로 관찰하므로써, 조피볼락의 행동에 제약을 미치는 에너지선속밀도의 최소의 지각음압레벨을 연구할 예정이다. 이 어종에 대해서는 최소감지 음압과 또한 음압이 영향을 끼치는 유효범위의 시작점이 아직 규명되지 않은 상태이다.

배경잡음이 있는 해양목장에서 조건학습 혹은 행동제어의 수단을 이용하는 자동급이기 쪽으로 조피볼락이 군집한다고 가정하여, 음원을 탐지하는 유효거리를 조사할 때, 이들 어종의 청각특성을 사전에 조사해둘 필요가 있다. 주변해역에서의 잡음의 음압이 미약한 상태에서 청각역치는 그 어종의 청각특성을 지칭하는 것으로써 중요하지만, 실제의 해역에 서식하고 있는 어종의 청각역치는 자연적 또는 인위적인 환경소음에 기인하는 매스킹현상 때문에 더 높아질 것이다. 어류가 일정 주파수의 신호음을 들을 때, 어류의 청각기관은 인간의 경우와 마찬가지로 주변의 소음 구성 요인들로 인하여 방해받을 것이므로, 임계폭도 구할 필요가 있을 것이다.

그렇지만, 실제로 소음이 명백히 영향을 미치는 범위에 있어서, 청각역치(AT dB)와 배경잡음의 스펙트럼레벨(NS dB) 사이의 비(임계비; $CR=AT-NS$) 뿐만이 아니라, 소음이 영향을 끼치기 시작하는 배경잡음의 스펙트럼레벨을 평가하기 위해서 배경잡음의 스펙트럼레벨과 청각역치와의 사이의 관계를 조사해둘 필요가 있다. 본 연구과제에서는 어류의 심박간격과 조건학습이라는 방법으로 조피볼락의 오디오그램을 구할 계획이다. 심박간격의 반응으로 판단하는 조건학습이 단기간에 쉽게 이루어지고, 대부분의 경골어류에 유용하고 또한 조피볼락에게도 유용하기 때문에 이 방법을 선정할 예정이다.

조피볼락의 심박간격과 학습음의 방성 후에 지연시간을 둔 전기자극의 조합으로 조건학습시켜서, 청각역치 및 임계비를 산출할 계획이다. 조피볼락이 지각할 수 있는 최소한의 음압 및 배경잡음으로부터 학습음을 변별해 낼 수 있는 청각능력을 파악하기 위해서 충분히 주의를 기울일 것이다. 방음 장치가 되어 있는 컨테이너 안에 스폰지와 스프링으로 실험수조를 받쳐 놓고 그 측면에 공중스피커를 설치하여 학습음을 방성한다. 조건학습이 완료된 조피볼락은 학습을 받지 않은 주파수의 음을 변별할 수 있을 것이다.

신호음 다음에 전기자극을 몇 번간에 걸쳐서 연속적으로 공시어에게 주므로써, 조건학습이 완료된다. 학습음을 공시어가 감지할 때, 심박간격이 벌어지므로, 어류가 학습음의 감지 여부를 판단하는데 이 현상을 이용할 수 있다. 특정한 공시어에게 지속시간이 0.1 sec인 직류 12 V의 전기자극을 140 dB의 세기를 갖는 학습음의 방성 후 3초간 지연시킨 후 5초 동안 방성한다. 이 과정을 조건학습이 완료될 때까지 5분 간격으로 반복한다. 1시간정도 경과한 후, 심전도가 안정되었다고 판단되면, 청각역치와 임계비를 구하는 실험을 지속한다.

조건학습이 완료된 실험어를 대상으로 방성 중의 심전도의 심박간격과 방성 전후의 심박간격의 차이로부터 학습음의 지각 여부를 판정하여 청각역치를 구한다. 지각 여부에 따라서 방성음압을 각각 약 3 dB씩 내리고 올리는 방법을 취하면서, 해당주파수에 대해서 최소한의 음압을 감지할 때를 그 주파수에 대한 청각역치로 결정하고 그 다음 주파수에 대한 역치를 구할 예정이다. 백색잡음의 배경잡음의 스펙트럼 레벨을 평탄하게 설정한 후에 청각역치를 구한 다음 해당 주파수에 대한 청각역치에서 그 주파수에 근접한 배경잡음의 스펙트럼레벨을 감하여 임계비를 구할 계획이다.

연구결과 요약문

분 야	생명과학·농수산·수산	성 명	서 두 옥
과제번호	971-0608-057-2	소 속	
중 심 어	조피볼락, 심전도, 조건학습, 청각역치, 임계비, 해양목장, 수중음, 배경잡음, 어군행동제어		
연구과제명	해양목장 대상어류인 조피볼락의 청각역치 및 임계비 산출		

해양목장 해역에서 수중음향과 이료를 사용하여 유용한 어종을 음향순치 후 방류한 어종을 자동 음향급기에 위집하기 위해서는 이들 어종의 청각특성을 미리 파악해 두는 것이 무엇보다도 중요하다.

정온시 수중에서의 청각역치는 어류의 음향생태를 나타내는 것으로서 아주 중요하며, 실험해역에서 식하고 있는 어류의 청각역치는 인위적인 환경 및 자연적인 배경잡음의 영향으로 인하여 매스킹 현상이 발생하기 때문에 현저하게 높아진다. 즉, 어류가 일정한 주파수의 수중음을 지각할 때, 어류의 청각기관은 인간과 마찬가지로 배경잡음의 성분으로 인하여 방해받는다. 실제로는 잡음의 영향이 나타나기 시작하는 잡음스펙트럼 레벨을 측정하기 위해서 뿐만 아니라 잡음이 명확하게 어류의 청각에 영향을 미치는 범위 안에서 청각역치와 배경잡음 스펙트럼 레벨 사이의 비율 즉, 임계비를 구명하는 것이 무엇보다도 중요하다.

아직까지 조피볼락에 대한 청각역치 및 임계비가 상세하게 측정되지 않은 상황이며, 또한 음향순치형 해양목장에서 수중음으로 조피볼락의 행동을 제어할 목적으로 청각역치와 임계비를 측정하였다. 측정할 때 실험어의 심박간격을 이용하는 고전적인 방법을 채택하였다.

본 연구에서 얻어진 조피볼락의 평균 청각역치는 학습음의 주파수가 80, 100, 200, 300, 500, 800 Hz에서 각각 97.9, 90.5, 91.1, 101.1, 124.6, 125.1 dB이었으며, 가장 지각하기 쉬운 주파수는 100 Hz였다. 청각역치는 주파수가 300 Hz에서 500 Hz로 변화할 때 현저하게 증가하였다. 실험에 사용한 각 주파수에서 학습음에 대한 조피볼락의 반응과 비학습음에 대한 반응은 주파수와 관계가 없는 것으로 나타났다.

한편, 배경잡음의 스펙트럼 레벨이 75 dB 이하일 때는 청각역치에 영향이 나타나지 않았지만, 잡음의 스펙트럼 레벨이 증감함에 따라서 청각역치도 증가하였으므로, 잡음 때문에 명확하게 매스킹 현상이 발생하였다. 매스킹 현상을 일으키는 배경잡음의 스펙트럼 레벨과 청각역치로부터 임계비를 산출하였으며, 그 값은 80 Hz에서 17.0 dB, 100 Hz에서 31.0 dB, 200 Hz에서 35.5 dB, 300 Hz에서 38.5 dB, 500 Hz에서 57.0 dB, 800 Hz에서 56.3 dB이었다.

본 연구에 사용된 수조 안에서 조피볼락은 가장 낮은 방성음압보다 낮은 수중음을 지각할 수 없었으며, 이번에 구한 청각역치는 유수 중에서 측정하였으며, 최소 한계의 역치를 보였으므로, 실험 수조 안의 배경잡음에 매스킹되는 현상이 발생하지 않았다.

인간의 임계비가 주파수 350 ~ 2,000 Hz에서 16 ~ 22 dB이라는 사실은 어류도 포유동물처럼 주

파수 변별 능력이 있다는 것을 의미한다. 조피볼락이 배경잡음으로부터 신호음을 변별해 낼 수 있는 청각능력은 대구와 대서양산 연어와 비슷하였지만 무지개송어보다는 현저하게 우수하였다. 조피볼락의 임계비는 500 Hz에서 57.0 dB이었으며, 청각능력이 저하하기 시작하는 주파수가 높아짐에 따라서 임계비도 높아지는 경향을 보였다. 이러한 경향은 대구와 명태에서 얻어진 실험 결과와 유사하였다.

조피볼락에게 매스킹 현상을 일으키는 배경잡음의 스펙트럼 레벨은 약 70.5 dB인 데, 이 값은 참돔, 명태, 대서양산 연어, 무지개송어의 실험 결과와 거의 일치하였다. 해수중에서의 잡음의 스펙트럼은 선박과 강우에 의해 발생하는 잡음을 포함하여 주파수 범위가 80 ~ 800 Hz일 때 70.5 dB 이상인 뷰포트풍력계급 6 이상과 동등하다.

이 같이 본 연구의 연구 결과는 해양목장에서의 조피볼락의 어군 행동 제어 및 음향순치에 연계하여 사용할 수 있는 기초적인 자료로서 기능을 발휘할 뿐만 아니라, 인공어초 안과 인초어초 사이의 간극에 서식하고 있는 다른 어종을 수증음으로 구집, 위척, 또는 위집하여 어획하는 음향어법의 기초적인 자료로서도 활용이 기대된다.

PROJECT SUMMARY

Field	Materials/Minerals	Author	SEO, Du Ok
Project No.	971-0608-057-2	Organization	
Keywords	Rock Fish, Electrocardiograms, Auditory Threshold, Critical Ratio, Conditioning, Marine Ranching, Underwater Sound, Background Noise, Control of Fish Behaviour		
Title	Auditory Threshold and Critical Ratio of Rock Fish for Marine Ranching		

When we investigate the effective distant of detection of sound waves by rock fish in crowding toward an automatic feeding system taking advantage of acoustic conditioning in a sea area like noisy marine ranch, it is necessary to know more about the auditory characteristics of these fishes.

As auditory threshold of fishes in quiet environment indicates the species of fishes, it is very important. And the auditory threshold of fishes living actually in a sea area is higher than that in quiet environment because of masking effects caused by natural and artificial environmental noises. That is, when fishes hear a signal tone of a fixed frequency, they are disturbed in sound hearing owing to the noise elements in the neighborhood like the case of the human. Therefore, it is essential to measure the noise spectrum levels showing the start of noise effects.

In practice, however, it is more important to investigate the relationship between noise spectrum levels and auditory thresholds within the noise range that fishes are disturbed in hearing, namely, critical ratio.

We measured auditory threshold and critical ratio in order to control the behavior of rock fish with underwater sound around acoustic conditioning type marine ranching. In this experiment, we used the classical method using a sound coupled with a delayed electric shock.

The mean auditory thresholds of 80, 100, 200, 300, 500 and 800 Hz were 97.9, 90.5, 91.1, 101.1, 124.6 and 125.1 dB respectively, and were most sensitive at 100 Hz. The auditory threshold increased rapidly as the frequency increased from 300 Hz to 500 Hz. In this experiment, we can't find any difference between the responses of the fish to the trained pure tone and other non-trained tones.

When the noise spectrum level was less than 75 dB, the auditory threshold was not changed. But, as the noise spectra level increased, the increase of auditory thresholds showed. therefore, masking caused by noises occurred apparently. The critical ratio was obtained from auditory thresholds and noise sound spectrum level that caused masking, They were 17.0 dB at 80 Hz, 31.0 dB at 100 Hz, 35.5 dB at 200 Hz, 38.5 dB at 300 Hz, 57.0 dB at 500 Hz and 56.3 dB at 800 Hz, respectively.

Rock fishes can't hear below the lowest sound used in a water tank used for the current experiments. Therefore, they were not masked with the ambient noise in an experimental water tank.

The fact that the CR of human beings is 16 ~ 22 dB in the frequency range of 350 ~ 2,000 Hz indicates that fishes also have a frequency resolving power comparable with that of mammals. As for rock fish, the hearing ability of signals among the noises is similar to that of cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo salra*), but considerably better than that of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). The CR of rock fish is 57.0 dB at 500 Hz, the higher frequencies are, the larger the CR tend to be. Such a tendency is similar to the experimental results obtained from cod and walleye pollock.

The noise spectrum level that causes rock fish to mask is approximately 70.5 dB, which is almost identical with the experimental results from red sea bream, walleye pollock, Atlantic salmon and rainbow trout. In seawater, the noise spectrum exceeding 70.5dB in the frequency range of 80 ~ 800 Hz is attributable to a wind force above 6 on the Beaufort scale, including noises caused by vessels and rainfall.

It became evident from the results of our current study that the CR of the auditory sense of rock fish was approximately 17 dB, the noise spectrum level that starts masking was roughly 70.5 dB and this was well comparable with the data of other fishes whose measurements were made and calculated under simple conditions, concerning the auditory sense.

나. 서론

해양에서 수중음은 감쇠가 적고 또한 전반속도가 빠른 자극 정보 수단이므로, 어류는 소리를 내거나 들으면서 수중음에 반응하고 있는데, 어류는 그 생식환경인 수중에서 각종 자극 정보를 감지해서, 동족의 생존과 번영을 위해서 최적의 행동을 선택하고 있다. 그 중에서 수중음을 감지하는 어류의 청각은 생태와 관련된 어구어법의 개량 및 어군행동 제어 연구에 아주 중요한 감각이라고 할 수 있다.¹⁾

한편, 일본에서는 오래 전부터 음향을 이용한 전통어법으로 어류를 워집 또는 구집하고 있으며, 또한, 해양목장에서 방류사업을 크게 좌우하는 종묘의 감모와 일산을 억제하기 위해서, 중간육성시와 방류 후에도 가두리와 인공어초 설치 해역 등에 장착한 음향급이기로 조건학습 먹이 공급형 해양목장 기술을 개발해서 전국에 보급하여 친환경적인 자원관리형 어업을 적극적으로 추진하고 있다.²⁾

최근에 우리 나라에서도 어구어법적인 관심과 해양목장에서 어류를 음향순치시켜서 그 행동을 제어하여 일정해역에 체재하도록 시도하고 있으므로, 어류의 청각과 수중음에 대한 반응행동을 적극적으로 해명할 필요가 대두하게 되었다. 수중음을 사용해서 이러한 목적을 성공적으로 완수하려면 보다 효율적으로 종묘방류를 육성·관리하면서 대상어종의 청각능력을 사전에 충분히 파악할 필요가 있다.

조피블락 *Sebastes schlegeli* 은 우리 나라의 전 연해 및 일본의 홋카이도 이남의 각지 연해, 중국에 분포하며 수심 100m 이천의 암초에 생식하는 어류이다. 조피블락은 방류 후 1~2년 동안은 거의 이동하지 않고, 외양의 깊은 곳으로 이동하더라도 출산시기에는 얕은 곳으로 되돌아오는 특성을 가진 연안정착성 어종이다. 또한, 본 종은 블락류 중에서도 시장 가격이 높고 성장이 빠르므로 한국의 전 연안에서 적극적으로 종묘생산 및 방류 사업이 진행되고 있으며, 통영해역에서 추진되고 있는 해양목장의 음향순치 대상 어종으로 선정되어 있는 아주 유용한 어종이다. 더욱이 조피블락의 어군을 성장 단계에 맞춰서 그 생식장소를 대규모적인 해역 안에서 자유롭게 유도·제어기술을 개발하는 데 있어서도 수중음 등의 물리적인 자극을 이용하는 것이 고안되고 있다. 수중음향으로 조피블락 어군을 유도·제어하려면 대상어가 수중음을 감지하는 능력이 있는지 없는지 또는 방향감각 등 각종 청각능력을 명확히 하는 것이 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 통영해역의 해양목장의 음향순치 대상어종으로써 아주 유망한 조피블락의 청각특성을 명확하게 구하는 것을 목적으로 하였다. 수중음과 전기자극으로 조건학습한 실험어의 심박간격의 변화로부터 실험어가 지각할 수 있는 최소음압을 판단해서 주파수별로 청각역치 및 임계비를 구하였다.

다. 재료 및 방법

실험어 1996년 2월에 제주도 남제주군 표선면에 소재한 전원수산에서 부화시킨 조피블락의 성어를 1997년 4월에 약 50여 마리를 입수하여, 청각역치 산출용 실험어 12마리를 사용하였다. 또한,

임계비 산출용 실험어는 제주도 남제주군 표선면 위미항 안의 가두리에서 양식하고 있는 것을 입수하여 6마리를 사용하였다. 이들 실험어를 제주대학교 해양연구소의 사육실에 설치한 5 ton 용량의 FRP제 수조에 넣어서 자연해수를 사용해서 사육하였다. 실험 종료 후에 측정된 실험어의 전장은 283~331cm이었으며, 청각역치의 실험 기간은 1998년 1월 초순부터 2월 초순이었으며, 임계비의 실험 기간은 1999년 1월 초순부터 2월 하순 사이였다. 실험 기간 중의 수온은 16.0~16.5℃였다.

심전도의 도출방법 실험 전날에 실험어를 0.02%의 안식향산에틸 용액 안에 넣어서 가볍게 마취하여, 박 등³⁾의 방법을 참고로 해서 전극을 부착하였다. 상용 판매하고 있는 7~8호의 낚시 바늘을 열수축튜브로 절연시킨 후에 낚시 바늘 끝을 4mm 정도 노출시켰으며, 낚시 폭지에는 피막을 벗긴 직경 0.8mm의 코드를 전선으로 사용하였다. 어류의 배지느러미 기부로부터 어체 안의 위심강에 가까운 곳에 두 개의 낚시 끝을 삽입해서 쌍극도출법으로 노출한 전극부가 심장 부근에 위치하도록 조절하였다. 전극을 장착한 실험어를 후방이 개방되게 원통형으로 만든 플라스틱제 케이지(길이 300mm, 폭 170mm, 높이 200mm) 안에 위치시켜서, 실험 기간 중에 어체가 요동하면서 위치가 변화하여 그에 따른 음압차가 발생하지 않도록 즉, 일정한 음압을 감지할 수 있도록 케이지를 고정하였다. 그리고 나서 실험수조 안에 넣어서 마취로부터 회복시켰다. 회복 후에 생체용 오실로스코프(日本光電, VC-11)로부터 출력된 미소 전압을 본체에 내장되어 있는 증폭기로 증폭시킨 다음 이 전압을 디지털스토리지 오실로스코프에 입력하여 툴링 모드에 맞춰서 심전도를 관찰하면서 전극이 정확하게 장착되었는지의 여부를 확인하였다. 또한 심전도는 실험어의 전압을 기준전압으로서 어체에 장착한 두 가닥의 전극으로부터 도출하였다.

실험장치와 방성방법 실험에 사용된 유리제 수조의 크기는 길이 600 mm, 폭 300 mm, 높이 360 mm였다. 바닥으로부터 전달되는 진동을 저감시키기 위해서 수조를 놓은 바닥면에 두께 20 mm의 고무판을 깔고, 수조 아래의 네 모서리에 방진스프링을 놓아서 수조를 떠받치면서 주변의 진동음을 차단하도록 고안하였다. 실험어가 수용된 케이지를 수조 안에 고정하여 실험어의 두부가 스피커의 음축의 중심 위치에 오도록 고정하였다.

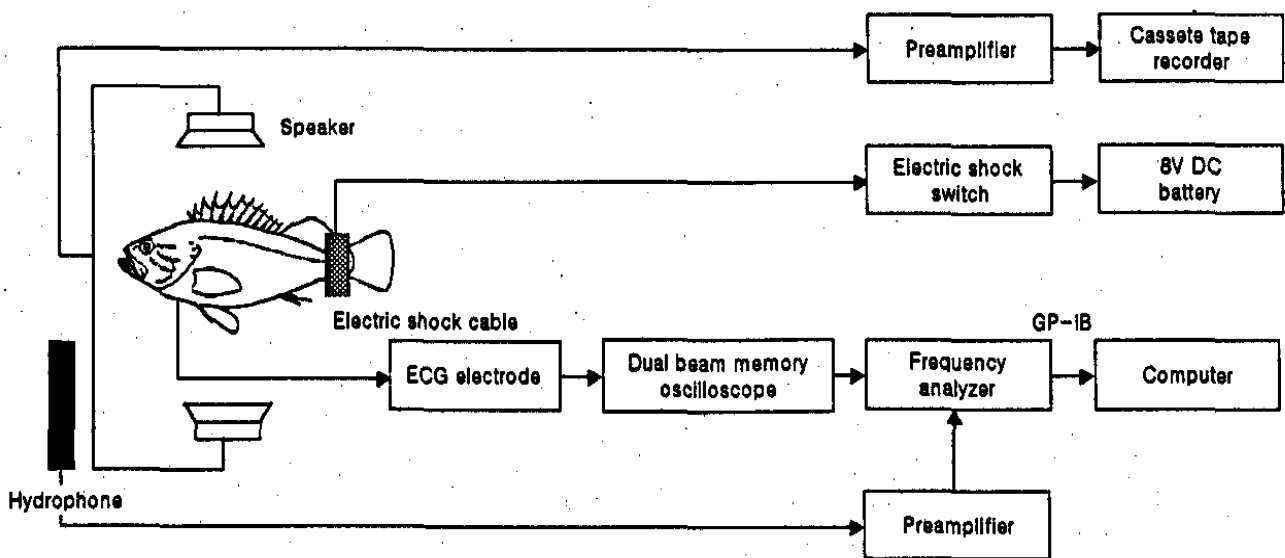


그림 1. 청각역치 산출용 블록다이어그램

청각역치 및 임계비를 측정하는 소리 자극으로는 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800 Hz의 6종류의 순음을 사용했다. 그림 1은 조피볼락의 청각역치를 구하기 위하여 구한 것이고, 그림 2는 임계비를 구하기 위한 블록다이어그램이다. 청각역치를 산출할 때에는 신호발생기로 제작한 순음신호를 카세트테이프레코더로 녹음하여, 이것을 케이지 안의 실험어의 두부에서 필요한 음압이 얻어지도록 일반 오디오용 앰프로 증폭해서 공중스피커로부터 방사하였다.

임계비를 구할 때에는 백색잡음을 그래픽 이퀄라이저를 사용해서 1/3옥타브마다 출력 레벨을 가감하여 주파수 특성이 평탄하게 출력되도록 조정하였다. 오실레이터로 제작한 화습음과 노이즈발생기로 제작한 백색잡음은 음축방향을 일치시키기 위하여, 오디오용 믹서로 혼합하여 같은 스피커로부터 방사하였다.

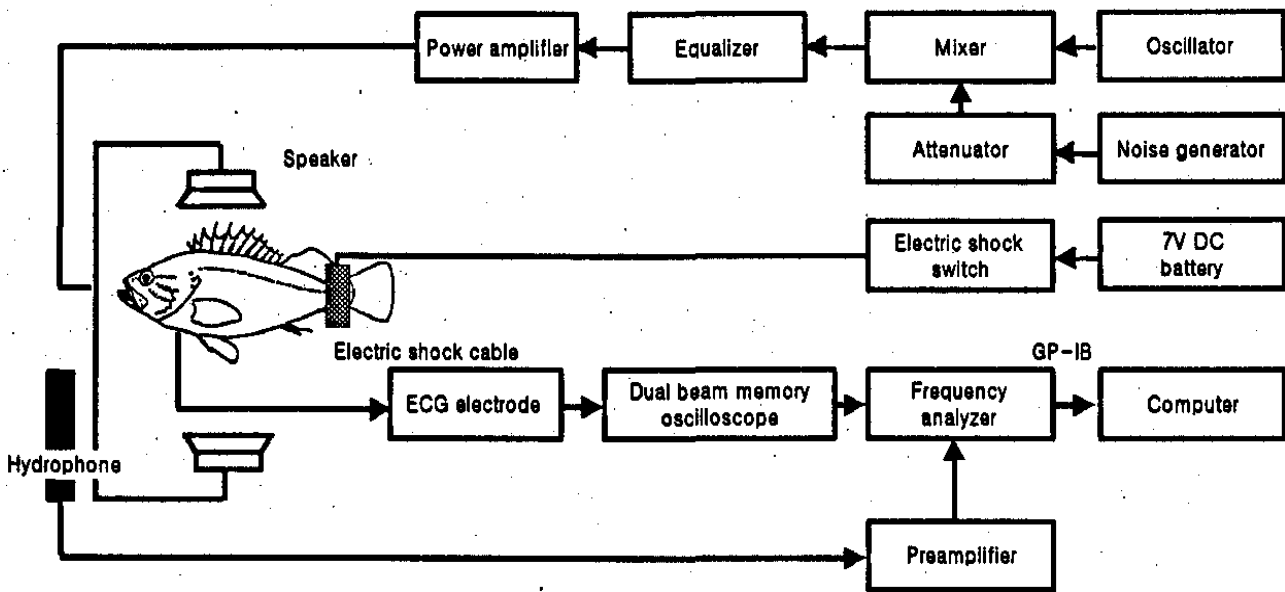


그림 2. 임계비 산출용 블록다이어그램

원거리음장 성분의 음압만 존재하고 입자변위에 의한 근거리음장 성분의 음압은 무시하여도 좋을 정도로 설정하였다. 순음에 대한 조피볼락의 청각역치를 구하기 위해서 수조의 두 측면으로부터 각각 50 mm 떨어지도록 위치시킨 두 개의 공중스피커를 수조를 사이에 두고, 서로 대향시켜서 설치하여 두 개의 음원으로부터의 신호음의 진폭과 위상이 일치하도록 방음하였다.

본 측정에서는 실험수조 안의 압잡음과 바닥으로부터의 진동음을 될 수 있는 한 저감시키기 위하여 W245 × L300 × H250 mm인 철제 컨테이너로 만든 방음실을 제작하여 그 안에 실험수조를 넣었다. 방음실의 옆판과 천정의 안쪽에는 두께 25mm의 스티로폼을 부착하여 주변잡음을 차단하도록 하였다.

방음실과 배경잡음의 해석방법 실험수조 안의 방사음과 배경잡음은 하이드러폰을 실험어의 두부의 위치에 설치해서 먼저 측정해 두었다. 수중음압계로부터의 신호를 FFT로 A/D변환해서, 방사음압의 교정과 배경잡음을 분석하였다. 배경잡음을 측정할 때에는 청각역치를 산출하기 위해서 상정한 정은시와 임계비 측정을 상정한 노이즈 발생시에 대해서 스펙트럼 레벨을 64회 평균하였다.

조건학습 방법 조건학습은 전극을 장착하고 나서 약 10시간 이상 경과한 후 소리와 전기자극을 병용해서 개시하였다. 그림 3에 나타내는 것과 같이 청각역치 측정과 동일한 주파수의 수중음압이

129~133dB인 순음을 5초 동안 방성하면서 방성 개시로부터 3초 경과한 후에 DC 8V, 펄스폭 0.1초의 전기자극을 케이지 안쪽의 양측면에 부착한 동선 전극으로 실험어의 꼬리 부분에 전기자극을 주었다. 첫 번째 주파수를 사용해서 3~5분 간격으로 반복하여 조건학습을 할 때, 명확하게 연속해서 5회 이상 심박간격이 억제되면 조건학습이 완료된 것으로 간주하여 학습을 종료하였다.

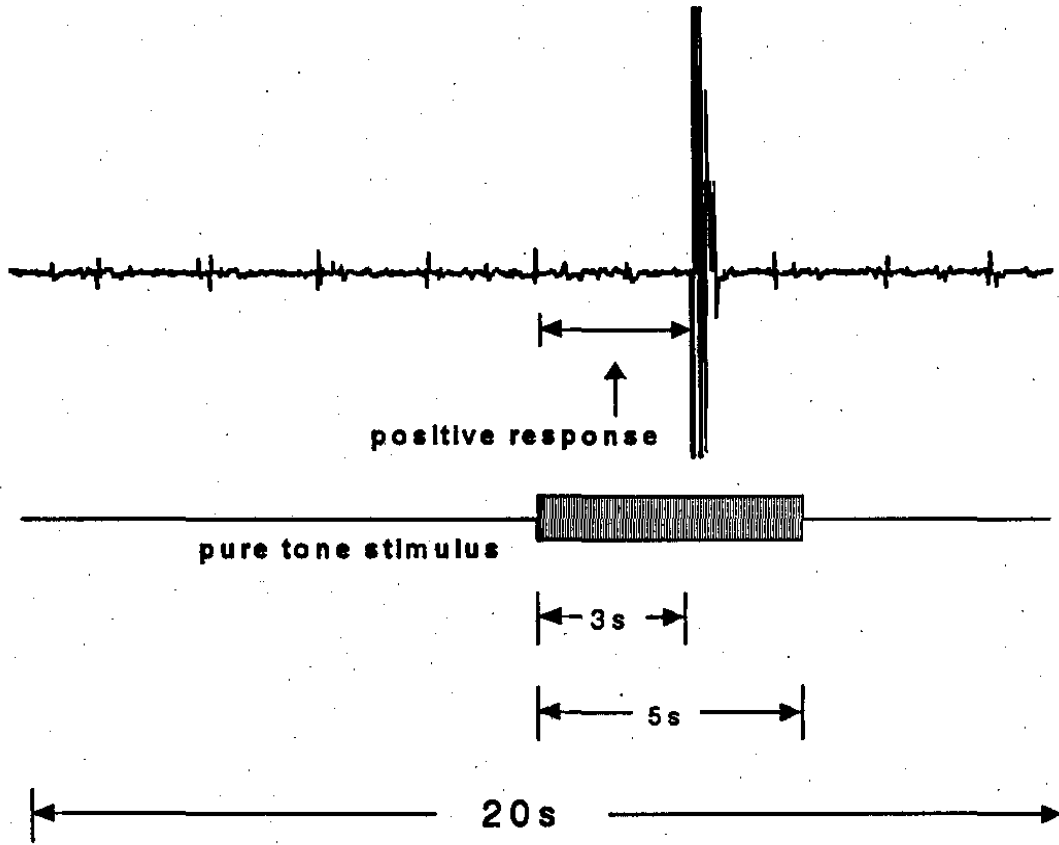


그림 3. 조건학습 방법

청각역치의 측정방법 조건학습을 완료하고 나서 약 10여분 동안 휴식한 후, 청각역치와 임계비를 측정하기 시작하였다. 명태 및 대구류의 청각역치를 기준으로 방성음압을 설정하여 측정하였으며, 방성음압을 약 3 dB씩 증감시켜가면서 방성 전후 약 20초 동안의 전부터 심전도를 오실로스코프에 입력하여 기록하면서 방성 전과 방성 중의 심박간격을 측정하여 비교하였다. 그림 4에 청각역치 측정시 심전도를 기록한 대표적인 결과를 예를 들어서 부분적으로 나타내었다. 오실로스코프에 기록된 20초 동안의 심전도로부터 방성 전의 약 12~15초 동안의 심박간격과 방성 중의 5초 동안의 심박간격을 서로 비교하였다. 방성 전의 심박간격의 최대값보다 방성 중의 심박간격의 최대값이 크면 해당 주파수의 순음을 지각하는 것으로 판정하였으며, 그 반대의 경우는 지각하지 않는 것으로 판정하였다. 순음을 지각하였을 때에는 약 3dB 높이고, 지각하지 않을 때에는 약 3dB 내리는 계단법

을 사용하여 청각역치를 구하는 실험을 수행하였다. 그리고, 방성 중에 실험어의 심박간격이 우연히 벌어지는 오차를 줄이기 위해서 연속해서 2번 이상 방성음을 지각하였을 때를 청각역치의 기준으로 삼았으며, 최소로 감지하는 음압을 방성주파수의 청각역치로 하였다.

임계비의 측정방법 어류가 서식하고 있는 실험에서는 자연 발생적인 해중소음과 인위적으로 발생한 해중소음이 혼재하고 있으며, 어류의 청각은 주변 잡음의 영향을 받아서 작은 소리가 청취하기 어렵게 되어서, 역치가 증가하는 매스킹이라고 불리는 현상이 발생한다. 실험에서의 청각능력을 파악하기 위해서는 잡음에 의한 매스킹에 대해서 조사하는 것이 중요하며, 측정방법으로는 몇 가지가 있지만, 본 연구에서는 측정이 비교적 용이한 것을 사용해서 조피볼락의 임계비를 측정하였다. 인위적으로 노이즈를 발생시켜서 수조 안의 배경잡음을 백색잡음으로 한 상태에서 매스킹된 조피볼락의 청각역치를 청각역치 측정과 동일한 방법으로 계측하고, 구한 청각역치(0 dB re 1 μ Pa)로부터 배경잡음의 스펙트럼레벨(0 dB re 1 μ Pa/ \sqrt{Hz})를 감해서 임계비를 산출하였다. 임계비를 측정할 때에는 백색잡음의 스펙트럼레벨을 너무 높게 설정하면 청각역치가 상승해서, 본 연구에서 방성 가능한 음압레벨보다 역치가 높아져서, 측정할 수 없게 될 가능성이 있다. 그래서 임계비를 측정하는 주파수 80~800 Hz의 배경잡음의 스펙트럼 레벨이 대략 일정하게 되도록 또한 그 스펙트럼 레벨이 가능한 한 낮아지도록 배려하여 노이즈를 발생시켰다. 노이즈는 측정개시 약 2분 전부터 심전도의 기록을 보면서 실험어의 상태가 안정되어 계측이 용이할 때까지 항상 일정한 스펙트럼레벨로 계속 방성하였다.

라. 결과 및 고찰

조피볼락의 상태에 따라서 다소 다르지만, 실험어의 심박간격은 약 1.7~2.3 s였다.

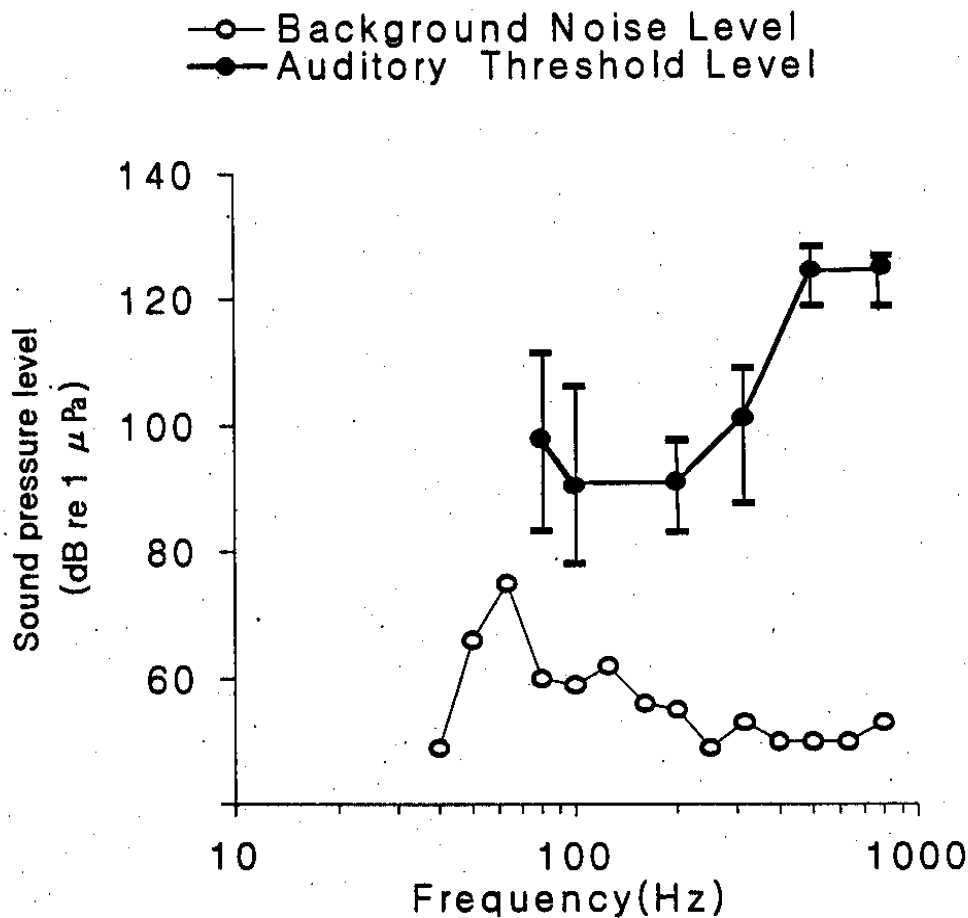


그림 4. 조피블락의 청각역치 곡선

본 실험에서 측정한 80~800 Hz의 각 주파수에서 대해서 정은사와 백색잡음의 배경잡음 방성시에 도 모든 실험어가 반응을 보였다. 각 주파수에서 청각역치의 평균치 및 표준편차를 사용해서 구한 조피블락의 청각역치 곡선을 그림 4에 나타내었다. 그림 4로부터 조피블락의 청각역치는 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800 Hz에서 각각 97.9, 90.5, 91.1, 101.1, 124.6, 125.1 dB이었으며, 주 파수 80~800 Hz의 순음에 대해서 2차곡선 모양의 청각역치 곡선 형상을 보이면서 100~200 Hz의 순음에 대해서 감도가 가장 좋고, 그 역치는 91.0 dB로 최소가 되었다. 주파수가 500 Hz일 때 청각 감도도 급격하게 아주 나빠졌지만, 800 Hz에서는 500 Hz에서 보다 청각역치가 낮아지는 것이 관찰 되었다. 이와 같이 높은 주파수 대역의 순음에 대한 청각역치가 높은 현상은 조건학습 과정에서도 나타났다. 즉, 80~200 Hz의 순음에 대해서는 순음과 전기자극에 대한 조건학습으로부터 순음을 지 각하면 청음과 동시에 심박간격이 현저하게 벌어지는 현상이 나타났다. 반면에 300 Hz 이상의 순음 에서는 여러 번의 방성과 전기자극에 의한 조건학습도 쉽게 이뤄지지 않았으므로, 조피블락의 청각 은 200 Hz 이하의 저주파수의 순음에 민감하다는 사실이 명확해졌다. 그렇지만, 조건학습을 시킬 때 음압이 130~140 dB인 500, 800 Hz의 학습음에는 반응을 나타내지 않는 경우도 나타났으므로, 500 Hz 이상의 순음을 지각하는 능력이 현저하게 저하한다는 사실이 학습과정에서도 확인되었다.

실험시간대에 계속한 실험수조 안의 배경잡음의 스펙트럼레벨(0 dB re $1 \mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$)의 평균값과 표준편차도 청각역치곡선과 함께 그림 4에 나타내었다. 배경잡음의 평균 스펙트럼레벨은 50~60 Hz에서 66~75 dB로 주파수가 높은 대역에 비해서 현저하게 높았다. 이것은 전기의 유도잡음에 의해서 60 Hz대의 배경잡음이 증가하였기 때문이다. 정온시에 주파수가 높아질수록 배경잡음의 스펙트럼레벨이 저하하는 데에도 불구하고 청각역치는 증가한다는 사실로부터 조피볼락의 청각은 배경잡음에 관계없이 500 Hz 이상의 수중음에 둔감하다는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로, 조피볼락을 수중음으로 그 행동을 제어한다든지 해양목장에서 음향순치 시키기 위해서는 300 Hz 이하의 수중음을 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 본 연구에 사용한 수중음의 주파수에 대해서 학습음과 비학습음에 조건반사 행동을 보였을 때의 조피볼락의 청각역치에는 차이가 없는 것으로 판명되었다. 즉, 동일한 주파수와 음압으로 방성하였을 때의 비학습음보다 학습음에 더 민감하게 반응하여 청각역치가 낮아지지 않았다.

잉어, 금붕어, 메기 등은 부레와 내이의 소낭인 청각기관이 웨버소플이라고 하는 4개의 뼈에 연결되어 있는 골표류이며⁴⁾ 본 연구에서 사용된 조피볼락은 부레와 청각기관이 연결되어 있지 않은 비골표류이다. 골표류는 수중음을 부레로 진동 및 증폭시켜서 청각기관에 전달하므로, 청각감도가 우수하고 가청주파수 범위도 넓지만, 조피볼락의 청각감도와 주파수 범위가 골표류에 비해서 나쁘다. 잉어 *Cyprinus carpio*는 수중음을 수용하는 주파수 상한이 높아서 13 kHz정도라고 알려져 있으나,⁶⁾ 조피볼락의 경우 400 Hz이상에서는 명확하게 음감수성이 저하하고 있다. Enger and Andersen⁷⁾은 비골표류인 대구의 구형낭의 마이크로폰전위를 도출하여 청각능력을 조사한 결과, 200 Hz 이상의 수중음에 대해서는 주파수가 높아질수록 그 전위가 급격하게 저하하고, 1,000 Hz 이상에서는 검출되지 않았다는 것을 보고하고 있다. 차 등⁸⁾도 명태의 청각능력 실험으로부터 조건학습 과정 중 실험어가 학습음에 반응하는 정도와 주파수가 높아질수록 학습음을 지각하는 능력이 저하하는 것로부터 가청주파수의 상한이 약 1 kHz라고 추정하고 있으며, 본 연구에서도 유사한 경향이 나타났으므로, 가청주파수의 상한은 1 kHz 전후라고 생각된다.

그런데, 일반적으로 이와 같은 청각역치 측정에 제공되는 실험어는 입수하는 곳이 동일하며, 그 생육장소에서의 소리 환경도 모두 같은 이력을 거치는 것으로서 취급되고 있다. 그러나, 동일 어종에서도 소음이 큰 환경 속에서 장기간에 걸쳐서 생육한 실험어와 정온한 환경 속에서 생육한 어류 사이에는 음감수성이 다르다고 생각되며, 음향순치로 어군을 제어할 때에도 방류 전의 생육 이력과 방류해역의 잡음 레벨에 의한 감지능력이 떨어지면 행동제어 가능한 거리가 짧아질수도 있다. 小島⁹⁾가 부화 후부터 실내의 좁은 사육수조에서 생육한 참돔과 부화 후부터 해중의 가두리에서 생육한 참돔을 각각 실험어로 사용하였을 때의 청각역치를 조사한 결과로부터 전자에서 전반적으로 역치가 낮아지는 주파수가 명료하지 않고, 감지능력이 높아지는 주파수를 특정할 수 없는 반면에, 후자에서는 주파수 100~400 Hz 부근에 역치가 상대적으로 낮아져서 아래로 볼록한 오디오그램이 나타난다는 것을 보고하고 있다. 본 연구에서 사용한 실험어는 양식장에서 부화시켜서 인위적인 환경 속에서 생육되었으므로, 해중소음이 적은 자연적인 환경 속에서 생육한 자연어보다도 청각역치가 높아졌을 가능성도 배재할 수 없는 문제로 남아 있다.

저주파수에 대한 청각역치는 배경잡음에 좌우되며, 특히 배경잡음과 학습음의 주파수가 주파수변별역보다도 근접하면 매스킹현상이 발생한다.⁵⁾ 본 실험에 사용한 수조의 배경잡음도 저주파수 성분이 탁월해 있는 것으로부터 매스킹현상이 일어나서 청각역치가 증가하였다고 생각된다.

청각역치실험에서는 배경잡음을 최소한 억제하여 실시하였지만, 해산어는 자연발생적 또는 인위적으로 발생한 해중소음이 존재하는 환경에서 생식하고 있으므로, 어류의 청각은 주변잡음의 영향을 받아서, 작은 소리를 청취할 수 없게 되어서 청각역치가 증가하는 매스킹현상이 일어난다.⁶⁾ 따라서, 조피블락을 대상으로 음향어법, 또는 해양목장에서 음향순치시켜서 그 행동을 제어하려면 현상에서의 해중소음을 상정한 매스킹효과를 해석할 필요가 있다.

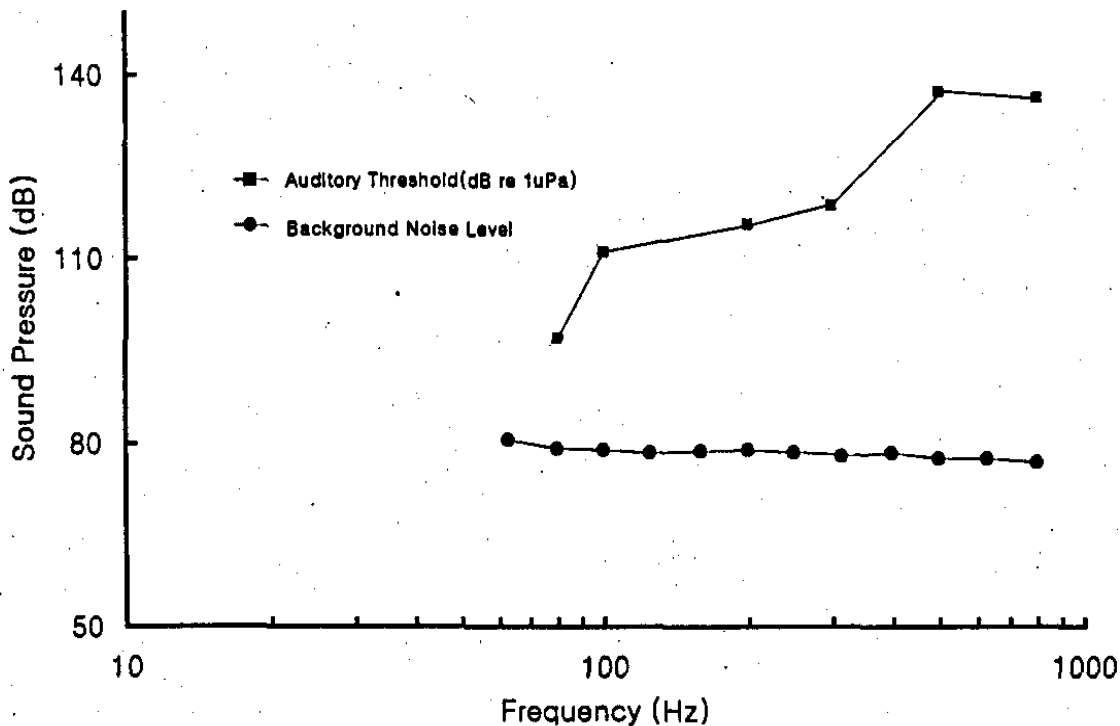


그림 5. 백색잡음 발생시 청각역치 곡선

백색잡음을 수조 안에 발생하였을 때 각 주파수에서의 배경잡음의 스펙트럼 레벨 및 조피블락의 평균 청각역치곡선을 그림 5에 나타내었다. 그림 5로부터 조피블락의 청각역치는 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800 Hz에서 각각 97.0, 111.0, 115.5, 118.5, 137.0, 136.3 dB이었으며, 주파수 80 Hz의 순음을 가장 잘 지각하는 것으로 나타났다. 주파수가 높아질수록 청각능력이 저하하였고, 주파수가 300 Hz 이상이 되면서 청각감도가 현저하게 나빠졌으며, 주파수 500 Hz에서 청각역치가 가장 높게 나타났다.

그림 5에서 구한 청각역치와 백색잡음의 배경잡음의 차로부터 구한 임계비곡선을 그림 6에 나타내었다. 조피블락의 임계비는 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800 Hz에서 각각 17.0, 31.0, 35.5, 57.0, 56.3 dB인 것으로부터, 백색잡음의 배경잡음으로부터 주파수 80 Hz의 순음을 가장 잘 변별해 내는 것으로 나타났다. 배경잡음의 스펙트럼 레벨을 주파수에 관계없이 거의 일정하게 설정하였을 때 주파수 80 Hz에서는 정음시의 청각역치와 비슷한 값을 보였으므로, 조피블락의 청각은 이 주파수대에 매스크되지 않았다. 즉, 조피블락은 주변잡음의 영향을 받지 않고 작은 소리를 잘 청취한다는 것

을 의미한다. 그러나, 주파수가 100 Hz대 이상이 되면서 임계비가 급격하게 증가하여 조피블락의 청각은 배경잡음의 영향을 받아서 감도가 떨어지는 것으로 판단되었다.

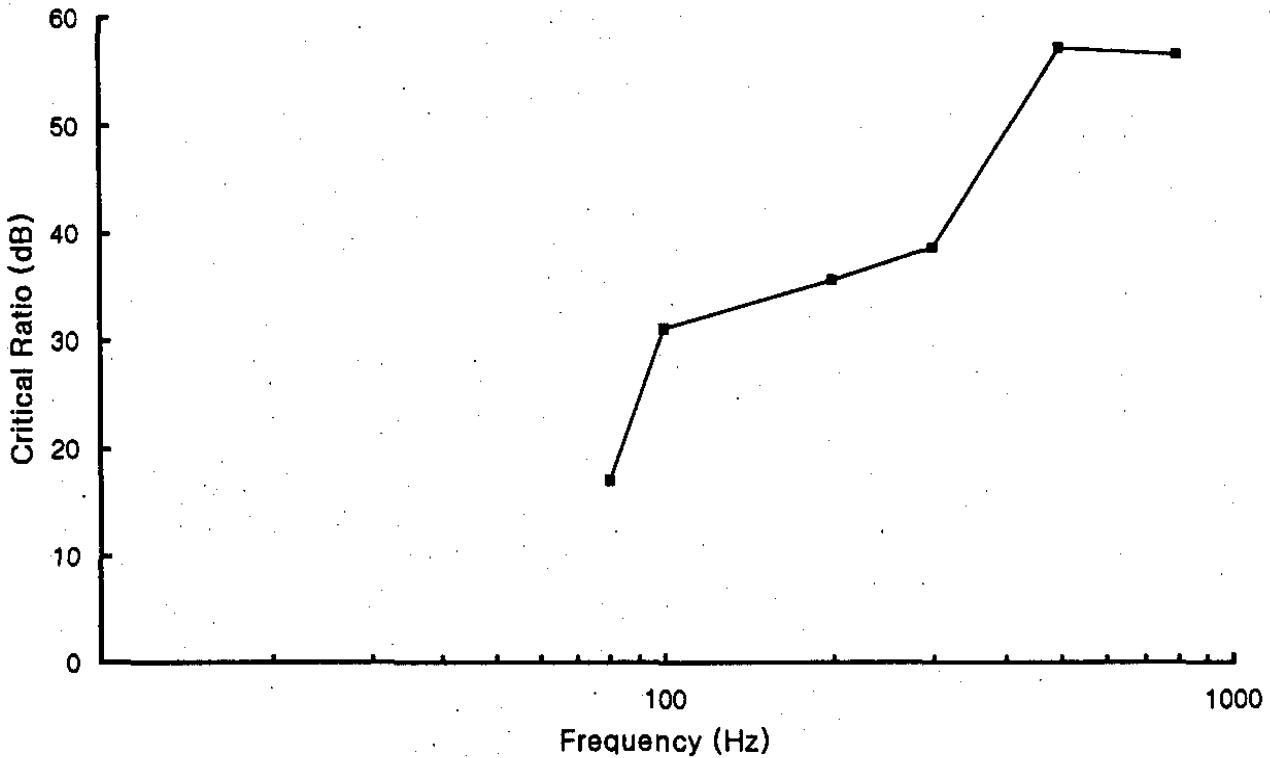


그림 6. 임계비 곡선

Buerkle^{10,11)}이 측정한 대구의 임계비는 35 Hz에서 17 ~ 19 dB, 71 Hz에서 19 ~ 25 dB, 141 Hz에서 21 ~ 25 dB이 되어서, 주파수의 증가와 더불어서 임계비도 약간씩 증가하는 경향을 보이고 있다. 또 청각감도가 나빠지기 시작하는 283 Hz에서의 임계비는 28 ~ 40 dB, 청각감도가 완전히 저하하는 400 Hz에서 47 ~ 62dB이 되어서, 청각감도가 양호한 주파수 범위에 비해서 임계비가 급격하게 증가하고 있어서 조피블락의 임계비는 대구와 거의 유사한 경향을 보였다.

한편, Hatekeyama¹²⁾가 측정한 참돔의 임계비는 100 Hz에서 18 dB, 200 Hz에서 16 ~ 22 dB, 300 Hz에서 18 ~ 29 dB, 500 Hz에서 42 ~ 46 dB로서, 조피블락의 임계비가 전반적으로 높았지만, 학습음의 주파수가 증가함에 따라서 임계비가 높아지는 경향은 서로 유사하였다.

Hawkins and Chapman¹³⁻¹⁵⁾은 대구를 실험어로 사용한 실험 결과에서 백색잡음이 순음을 마스크할 때 매스킹현상을 일으키는 대역에 걸쳐서 적분된 순음의 파워는 순음의 파워와 같지 않고 이것보다 약 1 dB 높은 값과 같다고 하였다. 또한, 백색잡음에 대해서 60 Hz의 순음을 감지하기 위해서는 청각역치대 잡음의 비가 15.9 dB일 때, 임계대역에 걸쳐서 적분된 유효한 파워는 16.9 dB이 되었으며, 이 값은 48.9 Hz의 대역폭에 상당한다고 보고하고 있다. 조피블락의 임계비는 80 Hz에서 17.0 dB로서, 임계대역폭을 고려하였을 때의 대구의 임계비와 거의 동등한 값을 나타낸 것으로부터 조피블락의 임계대역폭이 대구와 유사한 것으로 추정된다.

이상의 결과로부터 수중 가청음을 사용하여 해양목장에서 조피블락을 음향순치시켜서 일정한 해역 안에서 그 행동을 제어하려면 배경잡음으로부터 학습음을 잘 변별할 수 있는 300 Hz이하의 수중

음을 사용할 필요가 있다고 생각된다. 그 중에서도 배경잡음 속에서 60 - 120 Hz의 수중음을 조피볼락이 지각하는 능력이 우수하다고 생각되지만, 수중의 소음은 일정하지 않고 상황에 따라서 시시각각 변화한다. Wenz¹⁶⁾의 보고에 의하면 생물음과 선박의 항행음, 강우, 바람에 의한 비달 등에 의하여 여러 가지 소리가 합성되어서, 특징적인 스펙트럼을 나타내고 있다. 이러한 잡음은 100 Hz 전후에 최대 스펙트럼을 보이고 있다.

조피볼락을 수중음으로 제어할 경우에는 그 청각특성으로부터 판단하면, 저주파수의 수중음이 이상적이라고 생각된다. 그러나, 해중의 배경잡음을 고려하면, 약 150 Hz 이상의 수중음이 바람직하다. 배경잡음의 영향을 감소시키려면 높은 주파수의 학습음을 사용해서 음압레벨을 올려서 방성하는 것도 생각할 수 있다. 이 경우에는 방성기의 전력소모가 상당히 커서 막대한 비용을 요하므로 바람직 하지 않다. 따라서 수중음을 사용해서 조피볼락을 제어할 경우에는 임계대역폭과 임계비를 고려해서 이 주파수대를 피할 필요가 있다. 실제의 해양목장 해역에서 청각역치, 임계비, 임계대역폭을 고려해서 조피볼락의 행동을 제어하려면 200 ~ 300 Hz의 학습음이 가장 적당하다고 생각되며, 200 Hz의 순음을 사용할 경우에는 배경잡음보다 최저 35.5 dB, 300 Hz의 경우에는 38.5 dB 이상 학습음의 음압이 높게 해서 사용하지 않으면 안된다.

박 등¹⁷⁾도 음향생태, 청각역치 및 임계비 등을 고려해서 방성 주파수 및 음압을 설정한 형태의 학습실험에서 양호한 결과가 도출되었음을 보고하고 있다.

마. 결론

조피볼락의 내이는 100-200 Hz의 수중음에 가장 민감하게 반응하여 청각역치가 91.0 dB였으며, 반면에 백색잡음의 배경잡음 하에서는 80 Hz의 순음을 배경잡음으로부터 변별해 내는 능력이 우수하여 그때의 임계비는 17.0 dB이었다. 매스킹현상이 나타나기 시작하는 잡음의 스펙트럼레벨은 대략 70 dB로서 과거에 실험한 다른 어종의 실험 결과와 잘 일치하였다.

음향급이형 해양목장에서 조피볼락의 행동을 수중음을 사용해서 인위적으로 제어하거나 또는 음향어법 등에서 어류를 위집 또는 구집, 위척하여 어획하기 위해서는 200 ~ 300 Hz 범위의 순음이 효과적이라는 것이 판명되었다. 해양목장 해역에서 조피볼락을 음향순치하여 그 행동을 제어하거나 또는 인공어초 주변에 위집해 있는 어군을 수중음으로 위척 또는 유집하기 위해서 사용해야 할 주파수와 음압은 200 Hz의 경우 35.5 dB, 300 Hz의 경우 38.5 dB 보다 최소한 높은 음압으로 방성하여 배경잡음으로부터 자극음을 감지할 수 있도록 해야 한다.

바. 참고문헌

- 1) 三宮信夫 : 海洋水産におけるこれからの制御技術. 計測と制御, 31, 166-169 (1992).
- 2) 上城義信 : 音響馴致システムによる魚群制御. 水産工学, 28, 65-70 (1991).
- 3) 박용석, 이창현, 이유철, 서두옥 : 명태의 행동제어용 심전도 도출에 관한 연구. 제주대 해양연구논문집, 175-179 (1997).
- 4) 島山良己 : 魚聽覺能力. 水産工学, 28, 111-119 (1992).

- 5) W. N. Tavolga and J. Wodinsky : Auditory capacities in fishes. Pure tone thresholds in nine species of marine teleosts. *Bull. Am. Museum Nat. Hist.* 126, 177-240 (1963)
- 6) 落合明 : 魚類解剖圖鑑. 緑書房, 東京, 1987, pp. 27-28.
- 7) P. S. Enger and R. Andersen : An electrophysiological field study of hearing in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 22, 517-525 (1967).
- 8) 朴容石, 飯田浩二, 向井徹, 櫻井泰憲 : スケトウダラの聴覚特性. 日水誌, 61, 159-163 (1995).
- 9) 小島隆人 : マダいの周波数別および方向別聴覚閾値. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 63, 112-113 (1997).
- 10) U. Buerkle : An audiogram of the Atlantic cod, *Gadus morhua* L.. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 24, 2309-2319 (1967).
- 11) U. Buerkle : Relation of pure tone thresholds to background noise level in the Atlantic cod (*Gadus morhua*). *J. Fish. Res. Bd. Canada* 25, 1155-1160 (1968).
- 12) Y. Hataketama : Masking effect on the hearing of red sea bream, *Pagrus major*, by ambient noise. *Int. J. Aq. Fish. Technol.* 1, 271-277 (1989).
- 13) C. J. Chapman and A. D. Hawkins : A field study of hearing in the cod, *Gadus morhua* L.. *J. comp. Physiol.*, 85, 147-167 (1973)
- 14) C. J. Chapman and A. D. Hawkins : Field studies of hearing in teleost fish. *Helgolander wiss. Meeresunters.* 24, 371-390 (1973)
- 15) A. D. Hawkins and C. J. Chapman : masked auditory thresholds in the cod, *Gadus morhua* L.. *J. comp. Physiol.*, 103, 209-226 (1975).
- 16) G. M. Wenz : Acoustic ambient noise in the ocean : Spectra and source. *J. Acoustic. Soc. Am.* 34, 1936-1956 (1962).
- 17) 朴容石, 飯田浩二, 櫻井泰憲, 梨本勝昭, 徐斗玉 : 音響馴致에 의한 명태의 행동 특성, 한국어업기술회지, 32, 331-339 (1996).

논문발표 목록서

과 제 번 호	소 속	성 명
971-0608-057-2		서 두 욱

가. 논 문

저 자 명 First Author (총저자수)	제 목	게재지명 (Full Name)	집, 권, 호 (Vol., No)	수록면 PP. ~PP.	출판 년도	출판국가 또는 기관	출판 여부
서두욱 (4명)	해양목장 대상어류의 청각특성에 관한 연구 1. 조피 불라의 청각문턱치	수산해양교육 연구	제 10권 1호		1999. 6	한국수산 해양교육 학회	4
서두욱 (4명)	2. 조피불라의 청각임계비	수산해양교육 연구	제 10권 2호		1999. 12	한국수산 해양교육 학회	4

나. Proceedings

저 자 명 First Author (총저자수)	제 목	회의명/게재지명	집, 권, 호 (Vol., No)	수록면 PP. ~PP.	발표 년/ 월/일	발표장소/ 출판국가/ 기 관
3	조피불라의 청각능력	한국어업기술학회	1998년 도 춘계	31~32	1998/5/ 22	부경대학교/ 한국/부경대 학교

자 체 평 가 서

과제 번호	971-0608-057-2	소 속		성 명	서 두 목
연구과제명	해양목장 대상어류인 조피볼락의 청각역치 및 임계비 산출				
평 가 항 목	우 선 순 위	* 좌측 평가항목 우선순위는 예시와 같이 1, 2, 3으로 표시함.			
연 구 수 행	3				
연 구 결 과	2				
연 구 효 과	1				
▣ 자체 평가내용					
<p>해양과 인접한 세계 각국이 200해리 배타적경제수역을 선포하기 시작하면서 조업 가능한 해역이 축소되고 있다. 우리 나라에서도 필요로 하는 수산단백질을 자국의 연해 안에서 조달해야 하는 문제가 대두하게 됨에 따라서, 연안역에서 길러서 잡는 자원관리형 어업의 하나인 음향순치형 해양목장을 시급히 도입할 단계에 접어들었다. 연안 정착성 어종을 수증음으로 음향순치하기 위해서는 연안 해역에 서식하는 어종의 청각 특성을 우선 파악해 놓을 필요가 있다. 음향순치 대상어종의 하나인 조피볼락의 청각 특성이 아직 명확하게 해명되지 않은 상황에서 본 연구에서는 조피볼락의 청각 특성을 파악할 수 있었다.</p> <p>조피볼락의 청각역치는 100~200Hz의 수증음에 민감하게 반응하였으나, 백색잡음의 배경잡음을 고려하였을 때에는 저주파수일수록 배경잡음으로부터 수증의 신호음을 변별해 낼 수 있는 능력이 우수하였으며, 주파수가 높아질수록 그 능력이 저하하였다. 이 자료는 해수중의 잡음을 고려해가면서 해양목장에서의 음향순치 및 어군 행동제어에 유용하게 활용할 수 있게 되었다.</p>					
▣ 연구결과의 향후 기대효과					
<p>수중에서 어류의 행동을 광범위하게 제어하는 수단은 수증음을 사용하는 것인데, 조피볼락도 수증음과 전기쇼크에 의한 조건학습으로 훈련시켰을 때 수증음에 민감하게 반응하였다. 여기에서 얻어진 결과는 어류의 청각과 조건학습을 이용한 대규모적인 어군 행동 제어의 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다. 특히, 본 연구에서는 어류의 청각역치만을 파악한 것이 아니라 수증의 배경잡음을 고려한 청각역치 즉 임계비까지 측정하였으므로, 해양목장에서 주변 해역의 소음원의 종류와 음압의 변화를 고려해 가면서 조피볼락을 학습시켜서 그 행동을 제어할 때 효율적으로 음향순치 및 관리에 활용할 수 있다. 또한, 자동음향급이기를 설계할 때에는 여기에서 얻어진 청각역치 및 임계비가 아주 필수적인 자료가 되므로, 현재 경남의 통영해역에서 추진하고 있는 해양목장에서의 조피볼락의 행동 제어용 음향자동급이기를 제작할 때 즉시 도입할 수 있을 것이다. 앞으로 음향어법의 연구 개발이 진전되면, 인공어초의 내부 공간과 간극에 체류하고 있는 어류를 수증음으로 위집하여 생력화한 방법으로 어획할 때에도 청각에 관한 자료가 필수적이므로, 인공어초 어장 및 해양목장에서의 방류어종을 포획하는 데에도 활용될 것이다.</p>					