

석사학위논문

제주 연안산 잿방어의 청각특성에 관한
기초적 연구



제주대학교 대학원
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
어업학과

서 익 조

2002년 12월

제주 연안산 잿방어의 청각특성에 관한 기초적 연구

지도교수 서 두 옥

서 익 조

이 논문을 수산학 석사학위 논문으로 제출함

2002년 12월



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

서익조의 수산학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 안 장 영
위 원 김 석 종
위 원 서 두 옥

제주대학교 대학원

2002년 12월

A FUNDAMENTAL STUDY ON THE AUDITORY
CHARACTERISTICS OF AMBERJACK, *Seriola dumerili*,
INHABITING AROUND THE COAST OF JEJU ISLAND

Yik-Jo Seo

(Supervised by professor Du-Ok Seo)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER
OF FISHERIES SCIENCE

DEPARTMENT OF FISHERY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2002. 12.

목 차

LIST OF FIGURES	i
LIST OF TABLES	iii
SUMMARY	1
I. 서 론	3
II. 실험어의 청음기구	5
III. 재료 및 방법	7
1. 청각문턱치 측정	7
1) 실험어	7
2) 실험수조 및 실험 장치	7
3) 실험수조내의 배경잡음 측정	8
4) 음향 학습 방법	9
5) 청각문턱치 측정	12
2. 청각임계비 측정	16
3. 청각 능력 지수	23
IV. 결 과	24
V. 고 찰	37
VI. 요 약	41
VII. 참 고 문 헌	43
감사의 글	

LIST OF FIGURES

Fig. 2-1. The bodily appearance of amberjack.	6
Fig. 2-2. The structure of the inner ear of amberjack.	6
Fig. 2-3. The otolith of amberjack.	6
Fig. 3-1. Block diagram of the instruments for measuring auditory threshold of amberjack.	11
Fig. 3-2. Photo of amberjack with electrodes inserted by precordial leads method.	11
Fig. 3-3. The time sequences for emissions of pure sound and electric shocks.	14
Fig. 3-4. Electrocardiogram of which amberjack was not conditioned and conditioned by pure tone sound stimulus.	15
Fig. 3-5. Blockdiagram of the instruments for measuring auditory critical ratio of amberjack.	19
Fig. 3-6. The time sequences for emissions of pure sound and electric shocks under the white noise.	21
Fig. 3-7. Electrocardiogram of which amberjack was not conditioned and conditioned by pure tone sound stimulus under the white noise.	22
Fig. 4-1. Noise spectrum level in the experimental tank.	28
Fig. 4-2. Audiogram of amberjack with ambient noise spectrum level. ·	29
Fig. 4-3. Audiogram of amberjack with white noise spectrum level.	30
Fig. 4-4. Auditory critical ratio of amberjack in the measurement	

frequencies.	31
Fig. 4-5. Audiogram of amberjack with noise spectrum level.	32
Fig. 4-6. Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels of amberjack at measurement frequencies of 80Hz and 100Hz.	33
Fig. 4-6. Continued.	34
Fig. 4-6. Continued.	35
Fig. 4-6. Continued.	36
Fig. 5-1. Comparison of the critical ratios of amberjack and those of other species.	39



LIST OF TABLES

Table 3-1. Specifications of instruments used for measurement and analysis of auditory thersholds.	13
Table 3-2. Specifications of instruments used for measurement and analysis of auditory critical ratios.	20



SUMMARY

In order to obtain the fundamental data about method of luring fish schools by sound, this experiment was carried out to investigate the auditory threshold of amberjack (*seriola dumerili*).

The auditory threshold level, critical ratio and hearing index of amberjack were determined by conditioning method using a sound coupled with electric shock on the condition of ambient noise or white noise in an experimental water tank. The audio-signals of pure tone sound and electric shock in the experiment were from 80 Hz to 800 Hz and DC7V, respectively.

Values for the critical ratios were calculated in terms of the masked thresholds using the noise projected to stable spectrum levels at all measurement frequencies of background noise.

Auditory masking was determined by using white noise as masking stimuli with spectrum levels of about 65 dB, 70 dB and 75 dB(re 1 $\mu Pa\sqrt{Hz}$).

1. The amberjack could hear a sound in the frequency range from 80 Hz to 800 Hz. The mean auditory thresholds of amberjack at the frequencies of 80 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, 500 Hz and 800 Hz were 118.1 dB, 116 dB, 105.3 dB, 94.5 dB, 103.1 dB, 104.5 dB and 108.2 dB, respectively. As the frequency became lower than 300 Hz, the auditory threshold increased rapidly.
2. The critical ratios of the measurement frequencies were 45.9 dB, 52.8 dB, 42.5 dB, 36.4 dB, 38.6 dB, 39.4 dB, 44.4 dB, respectively. From 300 Hz, the critical ratio increased almost linearly with decreasing

frequency.

3. The noise spectrum level that started masking was about 65 ~ 75 dB within frequency range of 80 ~ 800 Hz. This suggests that hearing of amberjack is masked in the natural environment with the noise spectrum level above 65 dB.



I. 서 론

최근 세계자원연구소(WRI)의 보고에 의하면 전세계 주요 수산생물자원의 25%는 남획상태, 44%는 보존의 위험수준에 이른 것으로 보고하고 있고, 1990년대 들어서면서부터 유엔해양법의 발효, 수산자원의 감소방지와 자원의 지속적 이용을 도모하기 위하여 책임있는 수산업의 행동규범, 환경친화적 어업경영 및 공해어업자원에 대한 국제적 규범, 그리고 과잉어획능력의 감축을 위한 권고사항 등 국제적 어업여건의 변화가 급속히 이루어져 왔다.

지난 30년간 우리나라의 수산물 소비량은 인구 증가와 소득향상으로 인해 지속적인 증가를 보였으나 수산생물자원은 근래에 들어 연안 어장의 오염, 어족자원의 남획 등으로 생산량이 대폭 감소하는 경향을 보이고 있다. 유엔 해양법의 발효로 배타적 경제수역으로 인한 한·중·일 3국간에 어업협정이 체결됨으로써 연근해 조업어장이 감소하여 어업생산량 및 어민소득의 감소가 불가피하게 되었다.

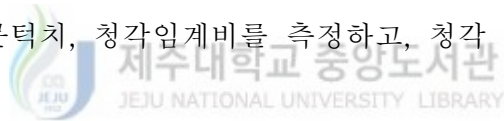
따라서 수산생물 자원감소와 오염 등으로 황폐화 된 연안어장을 살리고 매년 늘어나고 있는 수산물의 수요를 충족시키기 위해서는 새로운 어업자원 관리 방안이 모색되어지고 있으며, 그 대안으로서 어장환경개선기술, 자원조성기술, 양식기술, 어로기술이 종합된 바다목장 조성 사업이 대두되고 있다.

바다목장은 일정한 범위의 수역에 자연해양 생태계의 조성을 포함하여 수산생물 종묘생산에서부터 어획에 이르기까지 인위적으로 통제 관리하는 과학적인 생산관리 시스템이다. 수중 가청음파 기술은 어류의 유집, 위협 등에 이용되고 있으며, 길러서 잡는 어업인 바다목장 조성을 위한 어군행동 제어, 음향순치 등 음향을 이용한 어군 관리, 사육, 어획기술에 활용되고 있다.

어류에 있어서 음을 수용하는 기관은 내이, 측선, 부레 등이 있다. 어류의 가청주파수는 16 ~ 5,000 Hz 범위이나 주파수 100 ~ 1,000 Hz 범위에서 예민한 반응을 나타내고 있으며(古河, 1970), 어류의 청각 능력을 측정하는 방법에는 청각문턱치, 청각임계비, 청각 능력지수, 주파수 변별능력, 음압강도 변별능력, 음원정위 능력 등이 있다.

청각문턱치에 관한 연구는 Jacobs and Tavalga(1967)와 Popper and Clarke(1976)의 금붕어, Popper(1972)의 잉어, Chapman and Sand(1974)의 가자미, Ishioka 등(1988)의 참돔, 박 등(1999)의 조피볼락, 이 등(1999a)의 쏨뱅이 등이 있고, 청각임계비에 관한 연구는 Buerkle(1969)과 Chapman and Hawkins(1973)의 대구, Fay(1989a)의 금붕어, Hatakeyama(1989)의 참돔, 山川(1997)의 무지개 송어, 이 등(2000) 자리돔 등이 있으며, 주파수 변별능력 및 음압강도 변별능력에 관한 연구는 Fay(1989b)의 금붕어 등이 있다. 그리고, 음원정위 능력에 관한 연구는 Schuijf and siemelink(1974)와 Hawkins and Sand(1977)의 대구, Aoki(1987)의 잉어 등이 있다.

이 연구에서는 음향을 이용한 어군행동 제어, 음향순치 등 바다목장 조성을 위한 어군의 관리, 사육, 어획기술에 이용할 기초자료를 제공할 목적으로 여름철 제주도 연안 정치망의 주 어획대상인 잿방어를 실험어로 하여, 육상 수조에서 수중 가청 저주파음과 전기충격을 이용하여 음향 학습 시킨 후, 주파수와 음압을 변화시켜가면서 실험어의 심전도를 도출 하여 심박간격의 변화로부터 청각문턱치, 청각임계비를 측정하고, 청각 능력지수를 조사하였다.



II. 실험어의 청음기구

어류는 인간의 청각에 있는 외이와 중이는 없고 내이만 있으며, 이것은 상하로 나뉘어 상부는 평형감각을 담당하고, 하부는 다시 3개의 자루모양인 통낭, 호낭, 소낭으로 나뉜다. 이 중 청음기구에 관련된 것은 소낭이며 소낭 속에 있는 이석은 내이와 연결된 부레의 진동으로 내이에 채워져 있는 림프액의 압력으로 인하여 움직이게 되고 이때 소낭 내벽에 있는 감각세포를 자극하여 어류가 음을 인식하게 된다(畠山, 1985).

젯방어(*Seriola dumerili*, Risso)는 경골어류(Osteichthyes) 진구아강(Teleostomi) 농어목(Order Perciformes) 전갱이과(Family Carangidae)에 속하는 열대, 온대성 어류로서 영명은 Amberjack, Greater amberjack, 일명은 칸파치(Kanpachi)이다(Fig. 2-1). 경골어류는 청각에 관여하는 것으로 소낭, 호낭 등이 있으며, 각각의 이석 기관을 가지고 있으나 그 모양에 큰 차이가 있는데, 호낭은 음에 직접자극이 되는 반면 소낭은 부레를 통하여 음 수용이 이뤄진다. 그러나 호낭은 음압의 수용보다는 진동 수용기로 나타나고 있어서 소낭과는 그 역할에 차이를 나타내고 있다(古河, 1970).

실험어의 이석 촬영은 디지털 카메라(Olympus, C-2000Z)와 실체현미경(Zeiss, Stemi SVII)을 이용하여 행하였다.

실험어의 뇌의 구조는 Fig. 2-2와 같이 (a) 중뇌(Mesencephalon), (b) 소뇌(Cerebellum), (c) 연수(Medulla oblongata)로 이루어져 있고, 연수 뒤쪽으로 척수 밑에 청음기구인 좌우 1쌍(d_1 , d_2)의 소낭(Sacculus)속에 이석(otolith)이 있다.

실험어의 이석 자체는 소낭의 내벽에 있는 감각 세포를 자극 하는데 감각 기능은 없으며 크기와 형태는 Fig. 2-3에 나타냈으며 어류의 분류와 함께 연령 조사도 할 수 있다. 실험어의 이석의 크기는 장경 4.6 mm, 단경 1.7 mm 정도이다.



Fig. 2 - 1. The bodily appearance of amberjack.

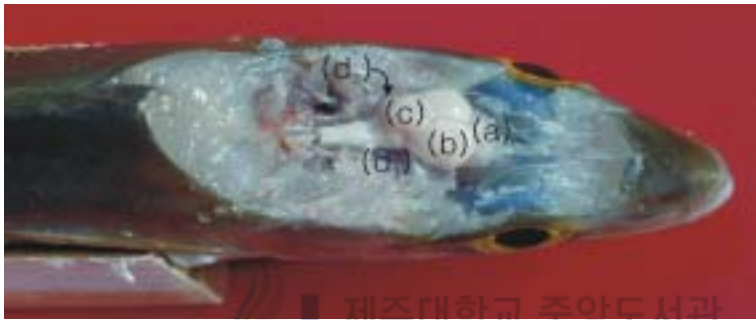


Fig. 2 - 2. The structure of the inner ear of amberjack.

- (a) Mesencephalon (b) Cerebellum
(c) Medulla oblongata (d₁), (d₂) Saccule



Fig. 2 - 3. The otolith of amberjack.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 청각문턱치 측정

1) 실험어

청각문턱치 측정 실험에 사용된 실험어는 제주 연안 정치망에서 어획된 갯방어를 제주대학교 해양과환경연구소 내에 있는 사육수조(D 160 × H 94 mm)로 이송한 후 약 1개월간 넙치용 10호 사료로서 사육 순응 시킨 것 중 14마리를 무작위 추출하여 실험에 사용하였다. 실험어의 전장은 평균 26.9 cm, 체중은 평균 211 g이었다.

실험기간은 2002년 8월 11일부터 9월 6일까지 행하였고, 실험기간 중 실험수조내의 수온은 21.2 ~ 27.8 °C였으며, 청각문턱치 측정은 실험어를 사육수조에서 실험수조로 옮긴 후 3 ~ 6시간 경과한 후에 실시하였다.

Fig. 3 - 1은 실험어의 청각문턱치 측정을 위한 장치의 블록다이어그램으로, 아크릴제 실험수조를 사용하였고, 해수가 자동적으로 교환되도록 실험수조의 밑에서 주입하여 위쪽으로 배출하였으며, 이 때의 수심은 55 cm가 유지되도록 하였다. 그리고 실험어를 수용하기 위해 직사각형 모양의 긴 통(L 300 × B 60 × H 120 mm, 합성수지)을 제작하였으며, 여기에 실험어를 고정 한 후 실험수조 안에 넣어 실험어의 머리부분이 스피커의 음축선상의 중심 위치에 오도록 설치하였다.

2) 실험수조 및 실험 장치

실험수조는 측정시 수조내의 환경 소음과 바닥으로부터의 진동음을 최대한 저감시키기 위하여 철제 컨테이너로 만든 간이 방음실 (L 300 × B 250 × H 250 cm)을 만들고, 이 방음실 내부에 실험용 수조 (L 118 × B 48 × H 62 cm, 아크릴 수조)를 제작, 설치하여 사용했다. 주변의 진동음을 최대한 적게

하기 위해서는 실험수조 밑바닥에 방진 고무 (L 20 × B 20 × H 5 cm)와 함께 방진 스프링을 수조의 네 모퉁이에 설치하여 마루로부터 전해오는 진동을 저감시키도록 하였다. 실험어는 머리부분이 스피커 음축의 중심에 위치하도록 고정하였으며, 실험어가 청각 특성 측정 동안에 움직이는 물체에 대한 반응을 줄이기 위하여 수조 사방 벽면을 검정색 씬팅지로써 붙임과 동시에 실험 장치와 실험 수조사이에 검정색 암막을 설치하여 외부로터의 영향을 최소한으로 줄였다.

수중에서 넓은 범위에 걸쳐 어군의 유집 및 제어를 하려면 수중음이 먼 거리까지 전달되어야 하므로 원거리 음장 성분의 음압만 존재하고 입자변위에 의한 근거리 음장 성분의 음압은 무시할 수 있도록 수조내의 물입자의 이동에 의한 성분을 상쇄시켜야 한다. 따라서 수조의 두 측면으로부터 각각 7cm떨어진 두 개의 공중스피커를 서로 마주보도록 설치하여 방성하였다. 실험장치의 개요를 Fig. 3-1에 나타내었으며, 측정 기구에 대한 규격은 Table 3-1에 나타내었다.

청각문턱치 측정을 위하여 사용한 음향자극은 신호발생기 (NF, 1915)를 이용하여 주파수 80, 100, 200, 300, 400, 500, 800 Hz의 7종류의 측정주파수의 순음을 발생시켜 증폭기 (Inkel, PSR - 2000, 8Ω)로 증폭시킨 후 실험수조의 양측면에 서로 마주보도록 설치한 공중스피커 (Promann, CB38)를 통하여 동진폭, 동위상으로 방성하였다.

3) 실험수조내의 배경잡음 측정

청각문턱치 측정을 위한 각 측정 주파수의 음압과 환경소음 음압레벨의 측정은 수중 청음기(B&K, 8104)를 실험수조내의 실험어의 머리부분의 위치에 설치한 후 전치증폭기(B&K, 2635)로 증폭하여 그 신호를 주파수 분석기 (B&K, 2143)와 컴퓨터로 A/D변환해서 해석하였으며, 이때 실험 수조의 배경잡음 레벨은 주파수 분석기로 1/3옥타브 분석하여 실험 시간대의 정온시에 반복 측정하여 평균하였다.

4) 음향 학습 방법

음향 학습음인 순음을 방성하였을 때 실험어의 심박간격으로부터 학습음의 감지여부를 판단하기 위하여 실험어를 실험개시 3 ~ 6시간 전에 사육수조에서 꺼내 100 ppm의 마취제 (MS - 222, SIGMA CHEMICAL) 용액에 넣어 마취시킨 후 낚시 바늘 (20호)로 만든 전극 침을 실험어의 위심강에 꽂고 어류의 움직임이 최대한 억제하기 위하여 실험어 고정장치 (L 300 × B 60 × H 120 mm, 합성수지) 안에 고정시켜서 실험시 어체의 요동에 의한 음압차가 발생하지 않도록 하여, 실험수조에서 마취에서 회복시켰다.

이때 전극 침은 상용 판매되고 있는 20호의 낚시바늘을 열 수축튜브로 절연시킨 후에 낚시 바늘 끝을 3 mm 정도 노출시켰으며, 낚시 꼭지에는 직경 0.8 mm 의 전선을 연결하였다. 전극 삽입은 Fig. 3-2와 같이 실험어의 배지느러미 기부 약 2 mm, 4 mm 부근으로 전극을 꽂아 넣어 어체의 위심강에 두 개의 낚시 끝을 삽입하는 쌍극 도출법으로 낚시 바늘 끝의 전극부위가 심장 부근에 위치하도록 조절하여 심전도를 측정하였다.

위심강에 꽂힌 전극 침으로부터 발생하는 전기신호는 생체용 오실로스코프 겸 증폭기 (NK, VC - 11)를 통하여 디지털 오실로스코프 (Tektronix, TDS - 340) 에 입력시켜 심전도를 관찰하면서 전극이 정확하게 장착되었는지의 여부를 확인하였으며, 직류 전원장치 (Tektronix, PS 2520 G)를 이용하여 실험어의 몸통 뒤쪽부분에 전기충격을 가할 수 있도록 실험어 고정장치 옆쪽에 동선 전극(Ø 2 mm)을 설치하였다.

음향 학습은 심전도 측정용 전극을 장착하고 나서 약 3 ~ 6시간 이상이 경과한 후에 측정 주파수 중에서 300 Hz 음압 110 dB 음을 학습음으로 하였다.

학습음 방성과 전기 충격을 주는 음향학습 과정을 반복하는 모습을 Fig. 3-3에 나타내었다. Fig. 3-3(a)는 학습음 및 전기충격을 반복하는 과정을 나타내고 있으며, Fig. 3-3(b)는 학습음을 5초 동안 공중스피커로 방성하는 파형을 나타내며, Fig. 3-3(c)는 학습음 방성 3초 후에 직류 전압 7 V의 전

기 충격을 약 0.1초간 준 것인데, 이는 학습음 방성 도중에 전기 충격이 올 것이라는 것을 인식시키는 음향 학습 과정이다. 음향학습 과정에서의 실험어의 심박파형은 생체용 오실로스코프 겸 증폭기 (NK, VC - 11)를 통하여 디지털 오실로스코프 (Tektronix, TDS - 340)에 실험어의 심전도 파형 및 심박간격을 측정·저장하였으며, 저장된 자료는 GPIB 보드를 통하여 컴퓨터에 입력한 후 심박파형 해석에 이용하였다.

Fig. 3 - 4는 음향 학습을 실시하기 전·후의 실험어의 심전도를 나타내고 있다. Fig. 3 - 4(a)는 음향 학습을 실시하기 전의 심전도로 심박간격이 일정하고, Fig. 3 - 4(b)는 음향학습이 완료된 후의 심전도로서 학습음을 방성하기 전보다 방성한 후에 심박간격이 길어진 모습을 나타내고 있으며, 이 경우 학습음을 인식하였다고 판단하였다. 이와 같이 각 실험어를 측정 주파수에서 3분 간격으로 반복하여, 명확하게 심박 간격이 연속해서 5회 이상 길어지면 음향 학습이 완료된 것으로 간주하였다.



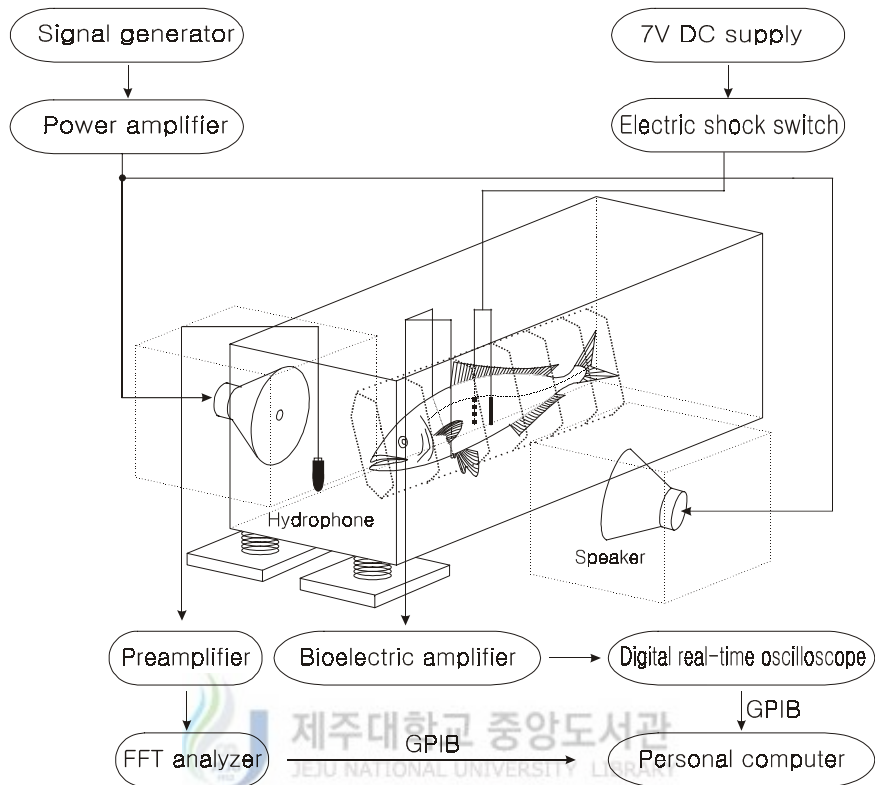


Fig. 3 - 1. Block diagram of the instruments for measuring auditory threshold of amberjack.

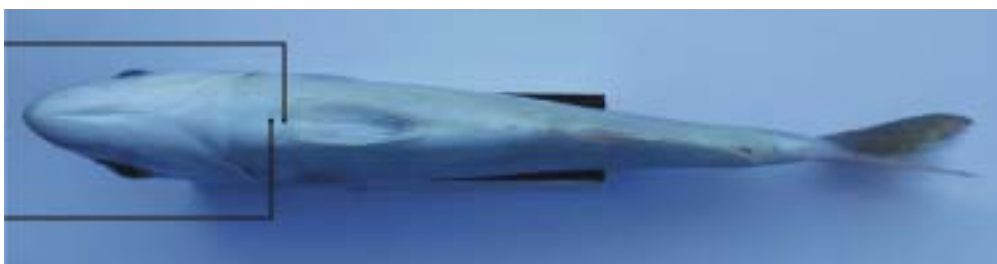


Fig. 3 - 2. Photo of amberjack with electrodes inserted by precordial leads method.

5) 청각문턱치 측정

음향 학습을 완료하고 나서 약 10분간의 휴식을 취한 뒤 청각문턱치 측정을 시작하였다. 방어의 청각문턱치(안 등, 1998) 연구결과를 토대로 각 측정 주파수에서 최초의 방성음압을 결정하였으며, 방성음압을 3 dB씩 감소시켰는데, 청각문턱치 부근이라고 판단되는 곳에서는 측정음을 인식하였을 때에는 약 3 dB 내리고, 인식하지 않을 때에는 약 3 dB 올리면서 계단법(Staircase method)으로 측정하였고, 방성 중 실험어의 심박간격이 우연히 벌어지는 오차를 줄이기 위해서 연속해서 2번 이상 방성음을 인식하였을 때를 측정 주파수에 대한 실험어의 청각문턱치로 하였다.

실험어의 심전도는 방성 개시 약 20초 전부터 디지털 오실로스코프에서 측정하였으며, GPBI 보드를 통하여 컴퓨터에 입력해서 데이터를 20초 동안 기록하였고, 방성 중 5초 동안의 심박간격이 방성 전 약 12 ~ 15초 동안의 심박 간격보다 길면 측정 주파수의 음을 인식하는 음향 반응으로 판정하였다.



Table 3 – 1. Specifications of instruments used for measurement and analysis of auditory thresholds.

Equipment	Specification
Hydrophone (B&K, 8104)	Voltage sensitivity : -205dB re 1V/ μ Pa Frequency range : 0.1Hz to 120kHz Horizontal directivity 100kHz : \pm 2dB
Preamplifier (B&K, 2635)	Amplifier sensitivity : 0.01mV to 10V/pC corresponding to -40 to +80dB Frequency range : 2Hz to 100kHz
FFT analyzer (B&K, 2143)	Frequency range : 0.7Hz to 22.4kHz Averaging time : 1ms to 1hour with a resolution of 1ms Maximum rating : 7.5V peak, 50V DC
Bioelectric amplifier (NK, VC-11)	Sensitivity : AC 10 μ V to 20mV/DIV, DC 2mV to 5V/DIV Internal noise level : 5 μ Vpp or less
Digital real-time oscilloscope (Tektronix, TDS-340)	Resolution : 8bit Maximum sampling velocity : 500M samples/s Analog bandwidth : 100MHz
Power supply (Tektronix, PS2520G)	Output rating : 0V to 72V, 0A to 1.5A Resolution : Voltage 10mV, Current 1mA
Signal generator (NF, 1915)	Frequency range : 1 μ Hz to 2MHz Output rating : 2V or 20V switchable Resolution ; 2V range AC 0.01mVpp, 20V range AC 0.1mVpp
Power amplifier (Inkel, PSR-2000)	Frequency range : 20Hz to 20kHz, \pm 0.5dB Output rating : 500W per channel with 8 Ω

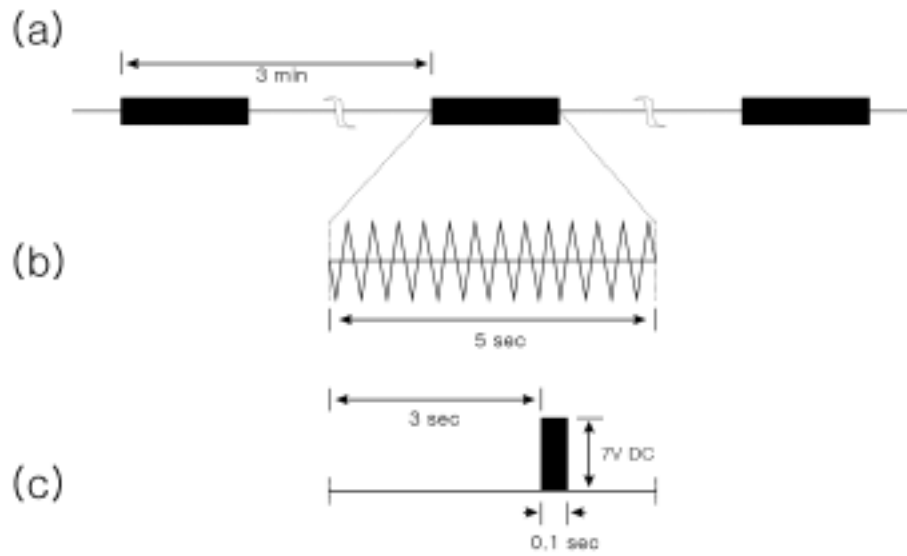


Fig. 3-3. The time sequences for emissions of pure sound and electric shocks.
 (a) Time sequence for the emission of pure sound stimulus
 (b) Emission time and period of pure sound stimulus
 (c) Pulse of electric shock stimulus

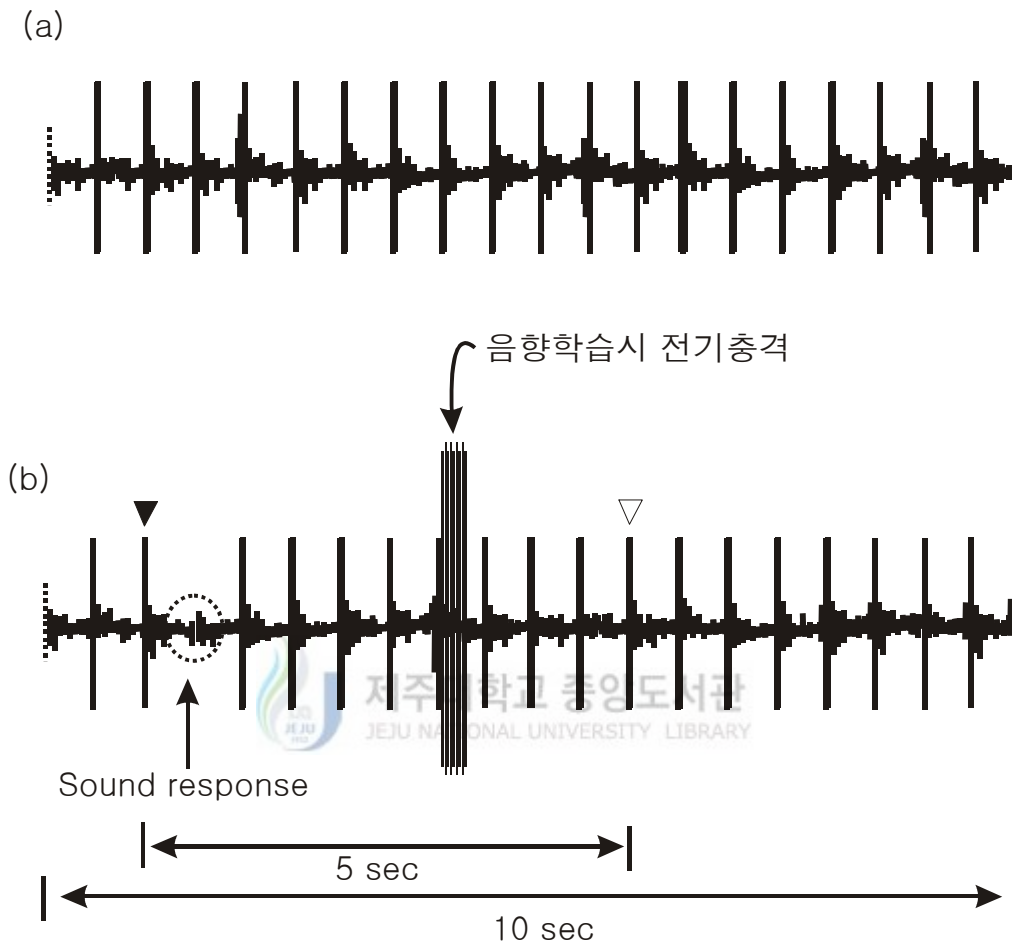


Fig. 3 - 4. Electrocardiogram of which amberjack was not conditioned and conditioned by pure tone sound stimulus.

(a) Before conditioning with pure sound stimulus

(b) After conditioning with pure sound stimulus

(▼ : Sound projection, ▽ : Sound projection is over).

2. 청각임계비 측정

어류가 서식하고 있는 공간은 자연소음 및 인공소음이 혼재하는 환경이다. 어류의 청각은 이러한 환경소음의 영향을 받아서 작은 소리를 듣기 어렵게 되는 마스킹(Masking)현상이 발생하여 청각문턱치가 증가한다. 어류의 환경소음 속에서의 청각 능력, 주파수 분해능력 등 기본적인 청각특성 조사에 있어 마스킹에 의한 청각능력의 저하를 측정하는 것이 중요하다.

환경 소음에 의한 어류의 마스킹 현상을 측정하는 방법으로는 세가지 방법이 적용되고 있는데 (畠山, 1992), 첫 번째 방법은 측정음을 마스킹하는 광대역 소음의 대역폭을 서서히 좁혀서 측정음의 청각문턱치를 조사하면, 넓은 대역폭에서는 청각문턱치가 일정하지만 일정 대역폭 이하에서는 청각문턱치가 감소한다. 이는 일정 주파수의 신호음을 들을 경우 그 주파수에 가까운 소음 성분만이 청각에 영향을 주는 것을 의미하고, 이 때의 영향을 주는 대역폭을 임계대역폭이라 하여, 이 임계대역폭을 측정하는 방법이다.

두 번째 방법은 마스킹하는 음을 단일 주파수나 협대역 소음으로 하여, 이들의 중심주파수를 바꿔서 측정음의 청각문턱치를 측정하거나, 환경 소음의 중심주파수를 일정하게 하고 측정음의 주파수를 바꿔서 청각문턱치를 측정하여 청각 필터를 조사하는 방법이다.

마지막으로 세 번째 방법은 마스킹하는 음을 백색잡음(White noise)으로 하여서, 백색잡음 속에서 마스킹에 관여하는 부분의 파워는 청각문턱치가 되는 측정음의 파워와 같다고 하는 가정 하에, 아래 식으로부터 청각임계비(Auditory critical ratio, CR)를 계산한다.

청각문턱치를 T (dB re 1 μ Pa), 백색잡음의 스펙트럼 음압 레벨을 S (dB re 1 μ Pa/ \sqrt{Hz}), 마스킹에 관여하는 대역폭을 Δf (Hz)라 하면, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$CR = 10 \log \Delta f = T - S \text{-----} (1)$$

식 (1)의 청각임계비 (CR)는 청각문턱치와 백색잡음 스펙트럼 음압레벨의 비를 의미한다. 이 연구에서는 실험어의 마스킹현상을 측정하는 세 번째의 방법을 이용하였고, 측정음과 백색잡음을 동시에 방성하여 청각임계비를 구하여 주파수별로 분석한 것을 그림으로 나타내면 청각임계비 곡선이 된다.

청각임계비 측정 실험에 사용된 잿방어 9마리의 전장은 평균 27.5 cm, 체중은 평균 251 g이었고, 실험기간은 2002년 9월 7일부터 9월 25일까지였으며, 실험기간 중의 실험수조의 수온은 21.5 ~ 26.0 °C이었으며, 실험어는 사육수조에서 실험수조로 옮긴 후부터 3 ~ 6시간 이상 경과한 후에 청각임계비 측정 실험에 사용하였다.

실험장치의 배치를 Fig. 3-5에 나타내었으며, 측정 기구에 대한 규격은 Table. 3-2와 같다. 청각임계비 측정 실험에 사용된 실험수조 및 실험어의 설치 방법, 학습방법은 환경소음시의 청각문턱치 측정방법과 동일하였다.

백색잡음 발생시의 청각문턱치 측정은 Fig. 3-5의 점선부분에 나타내는 바와 같이 신호 발생기의 신호음과 함께 백색 잡음 발생기에서 백색 잡음을 발생시켜 혼합기에서 혼합한 후 동시에 방성할 수 있도록 하였다. 또한, 백색 잡음은 수중에서 주파수가 높아짐에 따라 감쇄가 많아지므로 측정 주파수 범위의 백색잡음 음압레벨이 일정하게 유지될 수 있도록 그래픽 이퀄라이저를 통하여 공중 스피커에 연결하여 방성하였다.

Fig. 3-6은 백색잡음 방성과 동시에 학습음을 방성하면서 전기 충격을 주는 음향학습 과정을 반복하는 모습을 나타내고 있다. Fig. 3-6(a)는 백색잡음을 음향학습 전 과정에서 방성함과 동시에 학습음 및 전기충격을 반복하는 과정을 나타내고 있으며, Fig. 3-6(b)는 학습음을 5초 동안 공중스피커로 방성하는 파형이다. Fig. 3-6(c)는 학습음 방성 3초 후에 직류 전압 7 V의 전기 충격을 약 0.1초간 주는 것을 나타내고 있다.

실험어의 음향 학습에 있어서 학습음은 신호 발생기로부터 발생시킨 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 400, 500, 800 Hz의 7종류의 순음을 사용하였으며, 마스킹 현상을 조사하기 위하여 백색잡음 발생기 (B&K, 1405)로부터 음압 65, 70, 75 dB의 3단계로 변화시켜 발생시킨 백색잡음을 사용하였다.

Fig. 3-7은 음향 학습을 실시하기 전·후의 실험어의 심전도를 나타내고 있다. Fig. 3-7(a)는 음향 학습을 실시하기 전의 심전도로 심박간격이 일정하고, Fig. 3-7(b)는 음향학습이 완료된 후의 심전도로서 학습음을 방성하기 전보다 방성한 후에 심박간격이 길어진 모습을 나타내고 있으며, 이 경우 학습음을 인식하였다고 판단하였다. 이와 같이 각 실험어를 측정 주파수에서 3분 간격으로 반복하여, 명확하게 심박 간격이 연속해서 5회 이상 길어지면 음향 학습이 완료된 것으로 간주하였다.

실험수조 안의 방성음과 백색잡음의 해석은 수중 청음기를 실험어의 머리 부분에 설치하여 측정하였다. 수중 청음기 및 전치증폭기로부터의 신호를 주파수 분석기를 사용하여 1/3 Octave로 20초 동안 평균하여 측정하였으며, 방성음의 음압과 백색잡음의 스펙트럼 음압 레벨은 실험 전에 미리 분석하였다. 실험어의 청각임계비의 측정은 음향 학습을 완료시키고 약 10분 경과 후에 측정하기 시작하였다.



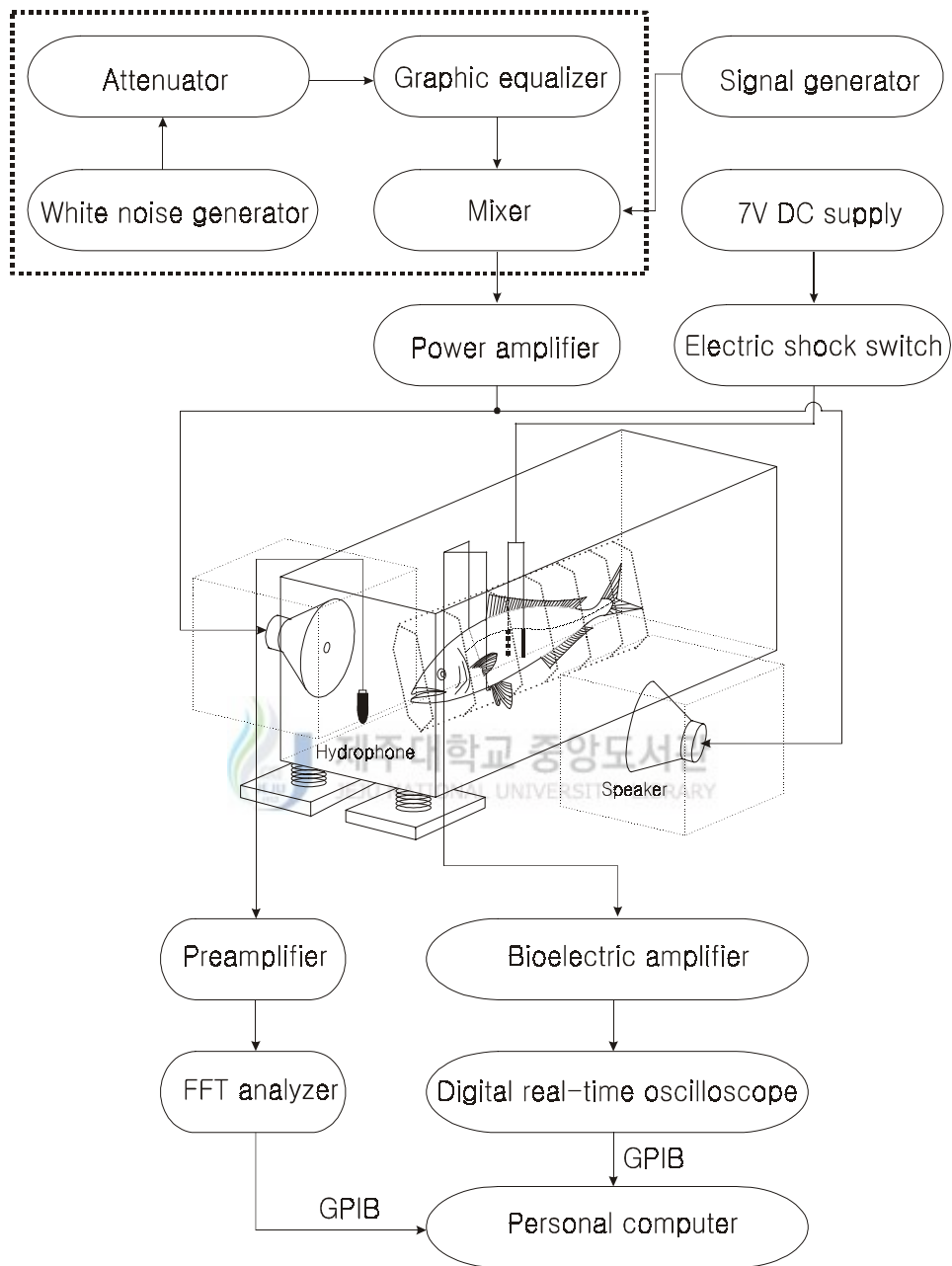


Fig. 3 - 5. Blockdiagram of the instruments for measuring auditory critical ratio of amberjack.

Table 3-2. Specifications of instruments used for measurement and analysis of auditory critical ratios.

Equipment	Specification
White noise generator (B&K, 1405)	Frequency range : White noise 20Hz to 100kHz, Pink noise(White noise decreasing 3dB/Octave) 20Hz to 50kHz Output load impedance : $\geq 5k\Omega$
Attenuator (Kenwood, RA-920)	Frequency range : DC to 1MHz Attenuation range : 0 to 121dB, 0.1dB step Maximum input level : 17Vrms
Mixer (Inkel, MX-642)	Frequency range : 20Hz to 20kHz Maximum Output level : +20dB Maximum voltage gain : 84dB
Graphic equalizer (Inkel, EQ-9231)	Frequency range : 20Hz to 20kHz Equalizer level : ± 12 dB S/N ratio : upper 80dB

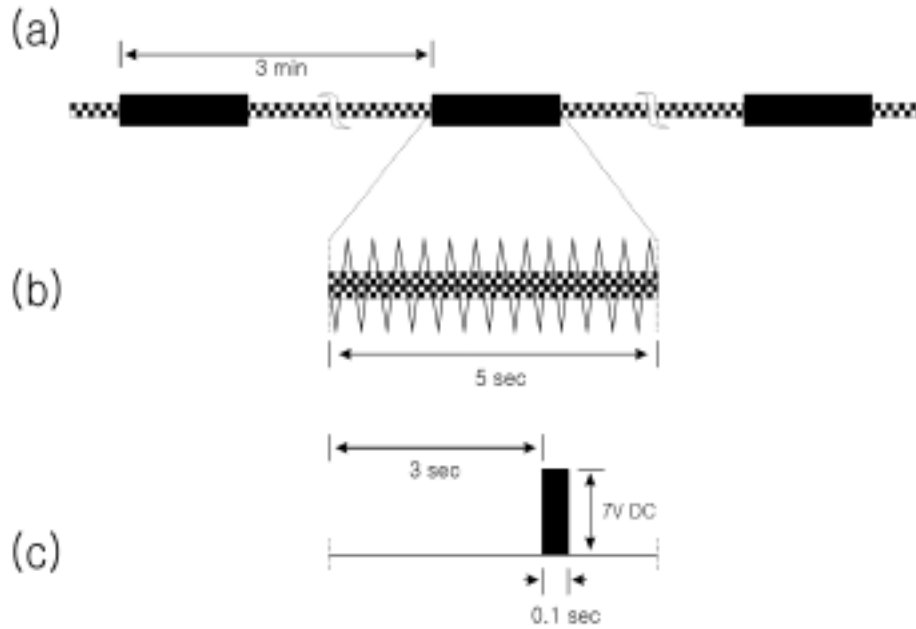
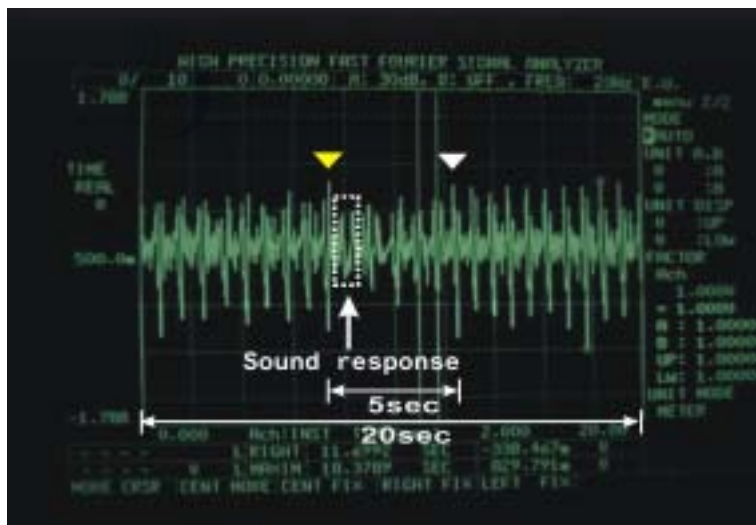


Fig. 3 - 6. The time sequences for emissions of pure sound and electric shocks under the white noise.

- (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.



(a) Before conditioning with pure sound stimulus.



(b) After conditioning with pure sound stimulus.

(▼ : Sound projection, ▽ : Sound projection is over)

Fig. 3-7. Electrocardiogram of which amberjack was not conditioned and conditioned by pure tone sound stimulus under the white noise.

3. 청각 능력 지수

어류의 상호간 청각 능력을 쉽게 비교하기 위하여 Schellat and Popper (1992)는 청각 능력 지수 (Hearing Index, HI)를 산출하는 방법을 (2)식과 같이 제안하였다. 이 방법으로 잿방어의 청각 능력 지수를 산출하였다. 청각 능력 지수의 산출은 이미 구해진 실험어의 배경 잡음과 백색잡음의 청각문턱치를 기준으로 하여 구하였다. 또한, 청각문턱치에서 구할 수 없는 계수는 각 측정 주파수에서의 청각문턱치를 기준으로 하여 추정하였다. 이렇게 구해진 계수로 (2)식에 대입하여 실험어의 청각 능력 지수를 구하였다.

$$HI = \left(\frac{f_b}{Q_{10dB}} \right)^{0.5} \times 10^{\left(\frac{-S_{fb}}{20} \right)} \text{-----} (2)$$

여기서 f_b 는 청각문턱치가 가장 낮은 주파수, $Q_{10dB} = \frac{f_b}{f_1 - f_2}$ 으로 ($f_1 - f_2$)는 가장 낮은 청각문턱치를 나타내는 주파수 보다 10 dB 더 높은 청각문턱치를 나타내는 전(f_1) · 후(f_2)주파수의 차를 나타낸다.

또한, S_{fb} 는 가장 낮은 청각문턱치를 갖는 주파수에서의 음압을 CGS 단위로 나타낸 청각문턱치를 나타낸다. 이상에서와 같이 (2) 식에서, 전항 $\left(\frac{f_b}{Q_{10dB}} \right)^{0.5}$ 은 해당 어류의 가청 주파수 범위, 후항 $10^{\left(\frac{-S_{fb}}{20} \right)}$ 은 청각감도를 표현하는 무차원 함수이다.

IV. 결 과

실험어의 청각문턱치 측정시 실험수조의 환경 소음과 백색잡음을 주파수 분석기를 사용하여 1/3 Octave로 주파수 63 ~ 1,000 Hz까지의 스펙트럼 음압 레벨을 분석한 결과를 Fig. 4-1에 나타내었다.

실험수조의 환경 소음 스펙트럼 음압 레벨은 56.0 ~ 92.4 dB의 범위로, 낮은 주파수대에서 높은 주파수대로 갈수록 스펙트럼 음압레벨이 점차 낮아지는 경향을 나타내었고, 잿방어의 청각문턱치 곡선을 Fig. 4-2에 나타내었는데, 청각문턱치의 평균은 각각 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 400, 500, 800 Hz에서 음압 118.1, 116, 105.3, 94.5, 103.1, 104.5, 108.2 dB이었고 측정주파수 300 ~ 500 Hz에서 청각 감도가 양호하였으며, 측정주파수 300 Hz에서 가장 낮은 청각문턱치를 보였고, 측정 주파수 300 Hz를 중심으로 300 Hz이하 주파수와 300 Hz이상의 주파수에서 주파수가 멀어짐에 따라 청각문턱치가 증가하여 청각감도가 떨어짐을 나타내고 있으며, 이때의 청각문턱치 곡선은 300 Hz를 중심으로 V자 모양을 하고 있다.

백색잡음을 평균음압 65, 70, 75 dB로 방성시 측정한 실험어의 청각문턱치 곡선은 Fig. 4-3에 나타내었고, 청각문턱치는 측정 주파수 80 Hz에서 121, 124, 126 dB, 100 Hz에서 121, 125, 127 dB, 200 Hz에서 108, 113, 116 dB, 300 Hz에서 98, 105, 114 dB, 400 Hz에서 104, 110, 116 dB, 500 Hz에서 107, 109, 112 dB, 800 Hz에서 113, 115, 116 dB이었으며, 백색잡음의 평균음압이 상승함에 따라 청각문턱치도 증가하는 경향이 보였으며, 청각 감도가 양호한 측정주파수 300 ~ 400 Hz에서 명확하게 마스킹이 일어나고 있지만, 청각 감도가 나쁜 주파수대에서는 마스킹현상이 잘 일어나지 않는 경향을 보였다.

Fig. 4-4는 측정 주파수의 음과 백색잡음 방성시 청각임계비를 나타내고 있다. 청각임계비의 평균은 각각 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 400, 500, 800 Hz에서 각각 음압 45.9, 52.8, 42.5, 36.4, 38.6, 39.4, 44.4 dB이었고 측정 주파수 300 Hz, 400 Hz 그리고 500 Hz에서는 백색잡음 중에서 측정음을 식별하는 능력이 다른 측정 주파수에 비하여 우수하였으며, 측정 주파수 300

Hz를 중심으로 300 Hz이하 주파수와 300 Hz이상의 주파수에서 주파수가 멀어짐에 따라 청각문턱치가 증가함과 동시에 청각임계비도 급격히 증가하고 있어 청각 감도가 떨어짐을 나타내고 있다.

Fig. 4-5는 실험시의 백색잡음의 스펙트럼 레벨을 65, 70, 75 dB로 단계적으로 변화시켰을 때 잿방어의 청각문턱치와 환경소음시의 청각문턱치의 값을 비교한 것으로, 백색잡음의 음압강도가 상승함에 따라 청각문턱치의 값도 증가하는 경향을 보여 각각의 백색잡음 스펙트럼 레벨에서 모든 측정 주파수에 대해 백색잡음 발생전보다 청각문턱치가 증가하여 명확히 마스킹이 일어나고 있다.

특히 주파수 300 Hz에서 마스킹 현상이 뚜렷이 나타났으며 백색잡음의 음압을 75 dB로 방성하여을 때 자연 환경소음 중에 측정한 값에 비하여 음압이 8 ~ 20 dB 정도 증가하여 전체 측정 주파수에서 백색잡음에 의한 영향이 현저하였다.

잿방어의 청각문턱치와 백색잡음 스펙트럼 레벨과의 관계를 측정 주파수마다 정리한 것이 Fig. 4-6이다. 잿방어는 전체측정 주파수에 있어서 일정 음압레벨 이상에서는 백색잡음의 스펙트럼 레벨 상승에 따라 청각문턱치도 증가하는 모양을 나타내었다. 잿방어의 청각이 백색잡음에 마스킹 되는 경우 청각문턱치와 백색잡음 스펙트럼 레벨과의 변화량(dB)의 사이에는 비례 관계가 되므로 dB로 표시한 양자의 관계는 회귀직선으로 나타낼 수 있으며 이 직선의 기울기는 보통 1에 가깝다.

Fig. 4-6에 나타내는 바와 같이 청각문턱치가 증가하는 소음스펙트럼 음압레벨은 각각의 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 400, 500, 800 Hz에서 음압은 72.06, 63, 62.4, 58.1, 64.2, 65.2, 63.4 dB이었다.

잿방어의 청각능력지수를 산출하기 위한 각 계수는 Table 4-1에서와 같이 환경소음시에 f_1 은 500 Hz, f_2 는 100 Hz로 나타나므로 가청범위를 나타

내는 ($\frac{f_b}{Q_{10dB}}$)은 400 Hz가 된다.

또한 잿방어는 환경소음 방성시 f_b 는 300 Hz에서 94.5 dB일 때 가장 낮은

청각문턱치를 나타내므로, 앞에서 구한 것과 같이 S_{fb} 는 $-5.5 \text{ dB(re } 1\mu\text{bar)}$ 이 된다. 따라서 환경소음시 잿방어의 청각능력지수(HI)는 21.8로 나타났다.

이와 함께 동일한 방식으로 백색소음 방정시에는 f_1 은 504 Hz, f_2 는 269 Hz로 나타나므로 가청범위를 나타내는 $(\frac{f_b}{Q_{10dB}})$ 은 300 Hz가 되며, S_{fb} 는 $-2 \text{ dB(re } 1\mu\text{bar)}$ 가 되어 청각능력지수가 16.58로 나타났다.



Table 4-1. The hearing index of amberjack.

Condition	f_b	f_1	f_2	$\frac{f_b}{Q_{10dB}}$	S_{fb}	Q_{10dB}	HI
Ambient noise	300	500	100	400	-5.5	0.75	21.8
White noise	300	504	269	235	-2	1.27	16.58

f_b : Frequency correspond to the most sensitive auditory threshold(Hz).

f_1 : Higher frequency correspond to the point of higher 10 dB than most sensitive auditory threshold(Hz).

f_2 : Lower frequency correspond to the point of higher 10 dB than most sensitive auditory threshold(Hz).

$\frac{f_b}{Q_{10dB}}$: Frequency range on hearing(Hz), $f_1 - f_2$.

S_{fb} : Sound pressure level at most sensitive auditory threshold(dB re 1μbar).

Q_{10dB} : $\frac{f_b}{f_1 - f_2}$.

HI : Hearing index.

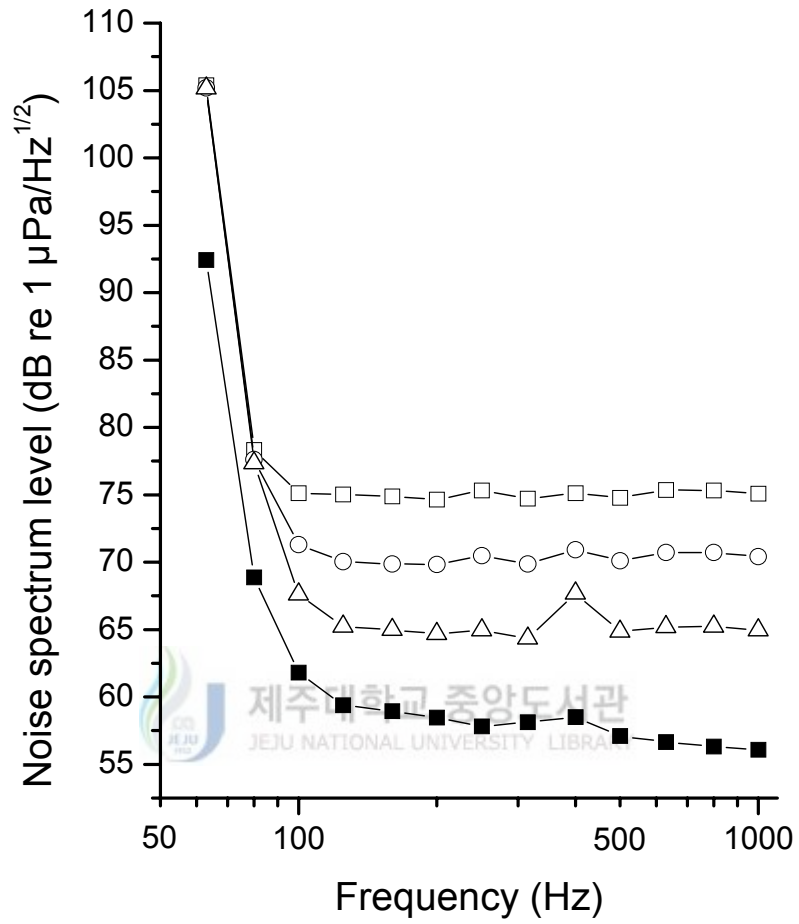


Fig. 4-1. Noise spectrum level in the experimental tank.
 (□ : Mean white noise spectrum level of 75dB,
 ○ : Mean white noise spectrum level of 70dB,
 △ : Mean white noise spectrum level of 65dB,
 ■ : Ambient noise spectrum level)

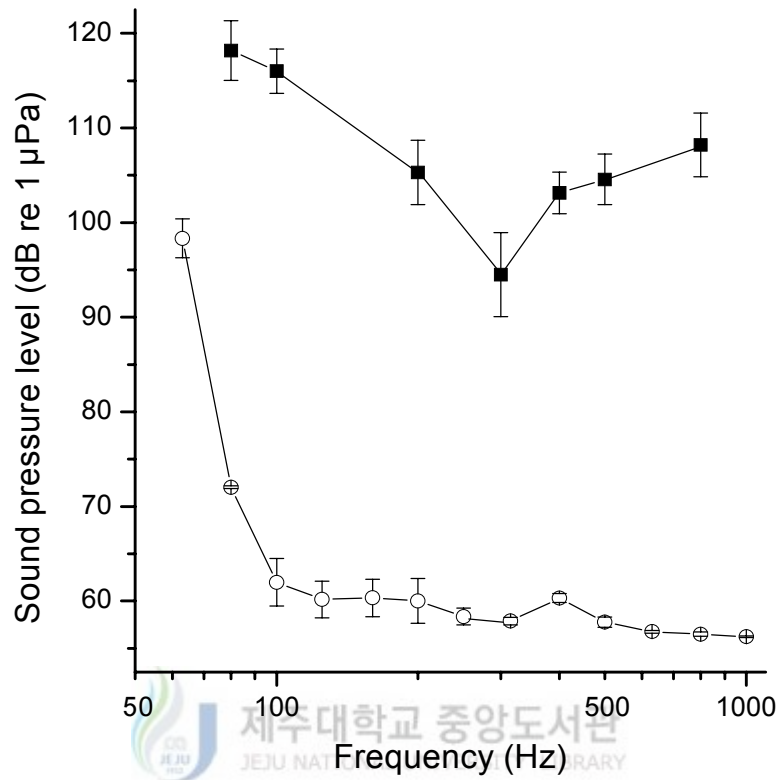


Fig. 4 - 2. Audiogram of amberjack with ambient noise spectrum level.

(■ : Auditory threshold level (dB re 1μPa)

○ : Ambient noise spectrum level(dB re 1μPa/√Hz)

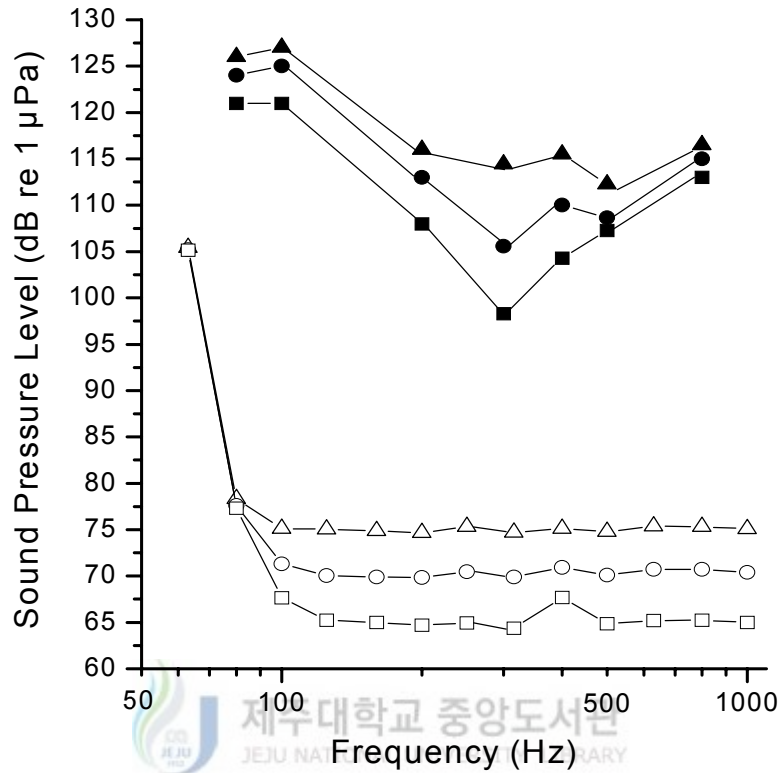


Fig. 4-3. Audiogram of amberjack with white noise spectrum level.

(▲ : Auditory threshold level under mean white noise spectrum level of 75dB, ● : Auditory threshold level under mean white noise spectrum level of 70dB, ■ : Auditory threshold level under mean white noise spectrum level of 65dB, △ : Mean white noise spectrum level of 75dB, ○ : Mean white noise spectrum level of 70dB, □ : Mean white noise spectrum level of 65dB)

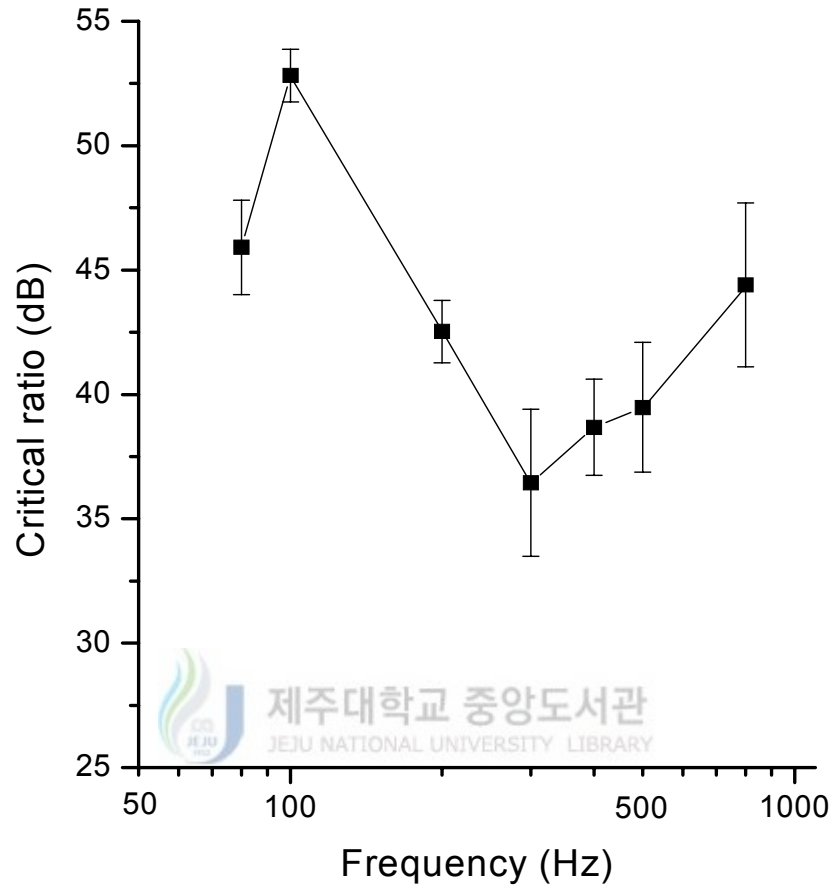


Fig. 4 - 4. Auditory critical ratio of amberjack in the measurement frequencies.

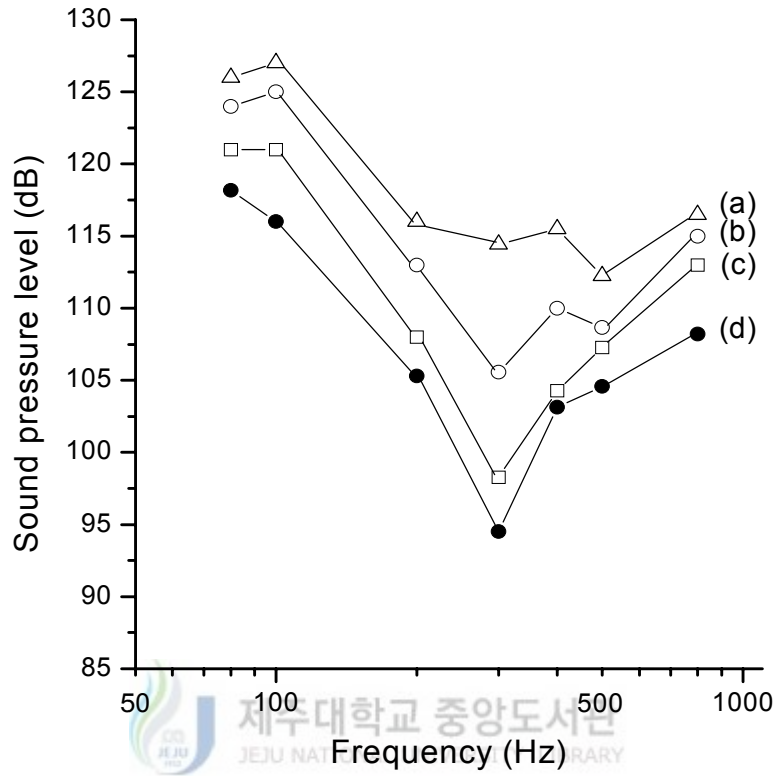


Fig. 4 - 5. Audiogram of amberjack with noise spectrum level.

- (a) With white noise spectrum level of 75dB(△)
- (b) With white noise spectrum level of 70dB(○)
- (c) With white noise spectrum level of 65dB(□)
- (d) With Ambient noise(●)

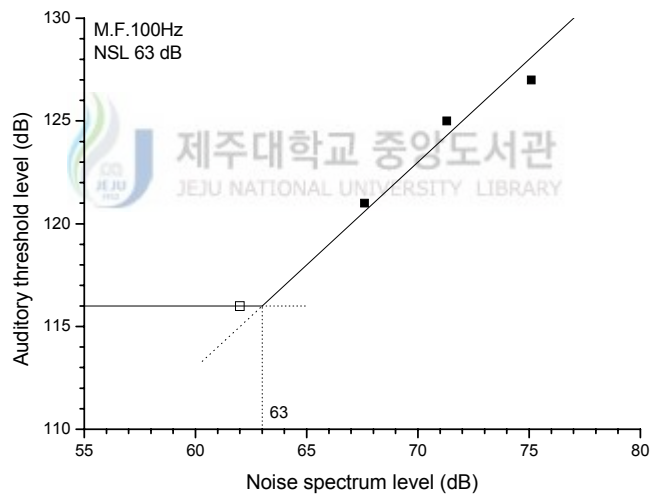
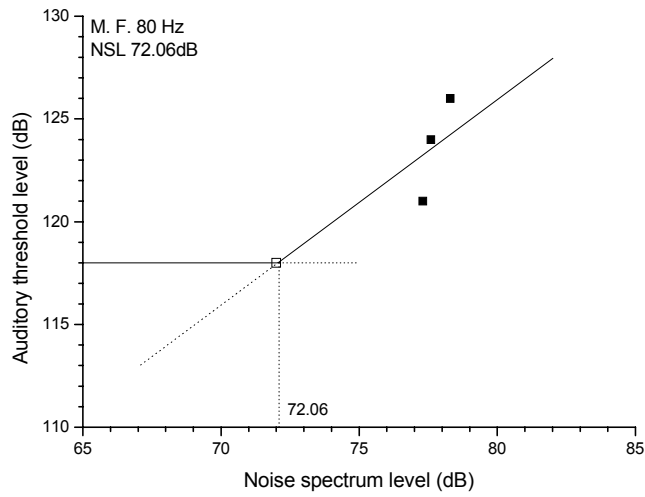


Fig. 4 - 6. Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels of amberjack at measurement frequencies of 80Hz and 100 Hz.

□ : Without white noise.

■ : With white noise.

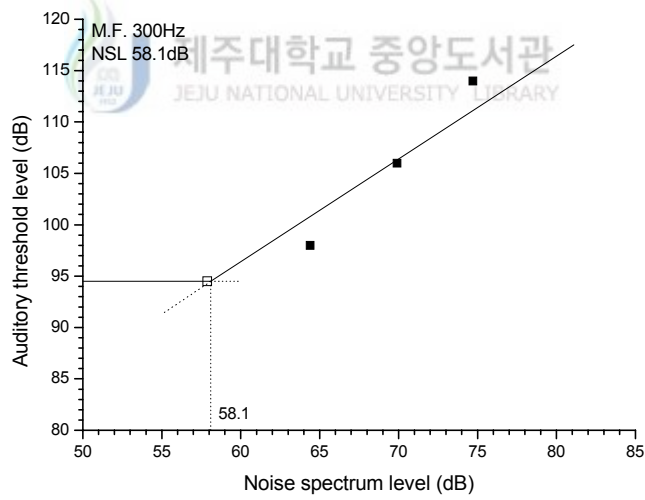
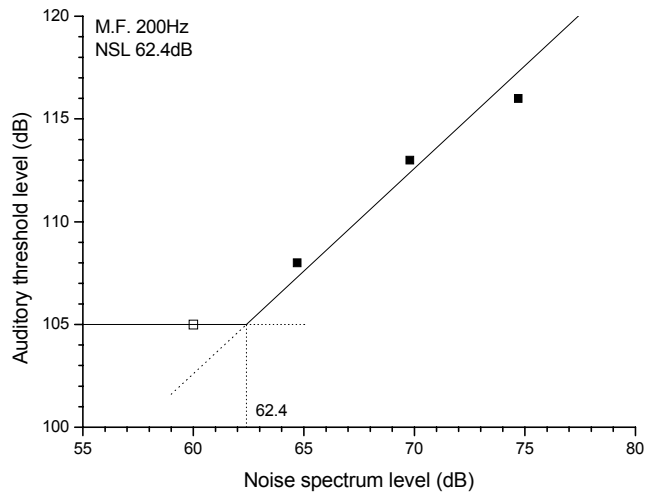


Fig. 4 - 6. Continued.

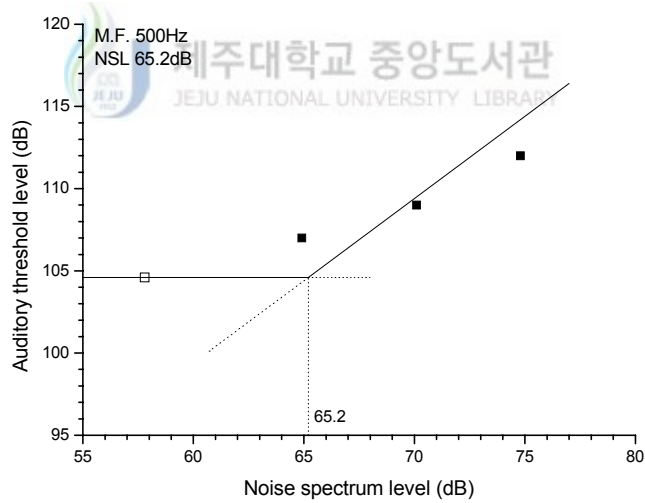
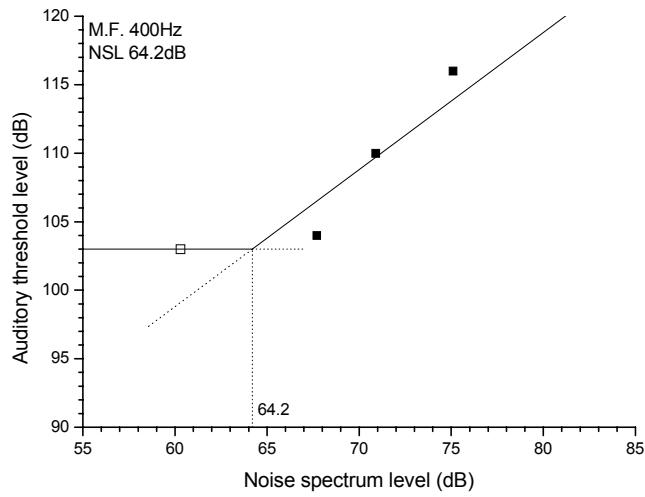


Fig. 4 - 6. Continued.

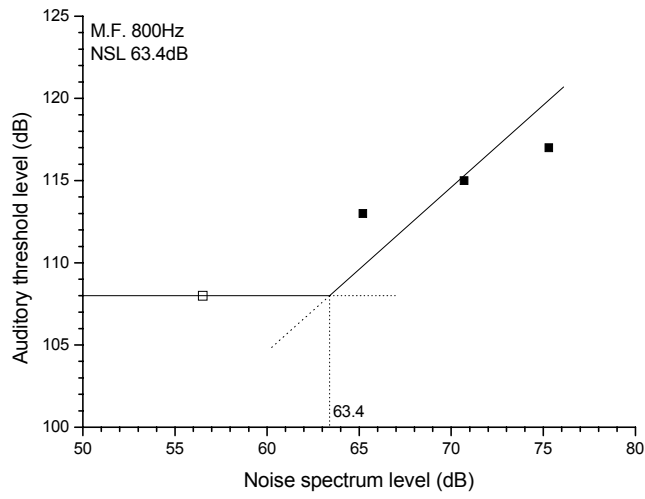


Fig. 4 - 6. Continued.



V. 고 찰

젯방어의 청각문턱치 및 청각임계비 실험 결과에서, 측정 주파수 300 Hz의 청각감도가 다른 측정 주파수에서 보다 우수하게 나타나는데, 이는 음향 학습 과정에 있어서도 측정 주파수 300 Hz에서 학습음과 전기충격에 대한 음향 학습이 쉽게 이루어진 반면 80 ~ 100 Hz와 500 Hz이상의 측정 주파수 대에서는 음향학습이 쉽게 이루어지지 않아, 실험어의 청각 감도는 300 Hz에서 민감하다는 사실이 명확해졌다.

어류의 청각 감도는 부레의 존재에 따라서도 측정치가 크게 달라진다. 넙치와 같이 부레가 없는 어류는 측정 주파수 100 Hz에서 감도가 좋지만 수중음의 인식폭은 주파수 400 Hz미만으로 보고되어 있고, 조피볼락, 쏨뱅이, 방어, 참돔과 내수면 양식 어류인 틸라피아의 경우, 감도가 좋은 주파수대는 대략 주파수 100 ~ 300 Hz 부근이며 주파수 500 Hz 이상에서 감도가 낮아지기는 하지만 측정 주파수 1,000 ~ 1,500 Hz 부근까지 수중음을 인식한다고 보고되어 있다. 또한, 잉어와 금붕어 등과 같이 부레와 내이의 소낭이 웨버소골이라고 하는 4개의 뼈로 연결이 되어 있는 어류를 골표류라 하고, 참돔과 대구 등과 같이 부레와 내이가 연결되어 있지 않은 어류를 비골표류라 하는데, 골표류의 경우는 수중음에 대한 부레의 진동이 웨버소골에 의해 증폭되어 내이에 전달되므로 비골표류에 비해서 청각 감도가 우수하고 가청 주파수 범위도 넓다(畠山, 1992).

이 연구에서 사용된 젯방어는 비골표류이며 부레를 갖고 있는데, 청각문턱치 및 청각임계비 실험 결과에서 측정 주파수 80 ~ 800 Hz의 수중 가청음을 인식하였고, 측정 주파수 300 Hz의 수중 가청음에 대하여 가장 민감한 반응을 보였으며 그때의 음압은 94.5 dB이며, 청각문턱치의 곡선은 300 Hz를 중심으로 V자 모양을 하고 있다. 또한, 300 Hz 보다 낮은 측정 주파수에서는 청각 감도가 급격히 저하하였으며, 주파수가 400 Hz보다 높아짐에 따라 청각문턱치는 완만한 상승을 보였다. 수중가청음에 대한 젯방어 어군의 유집반응(김, 1994)에서는 300 Hz와 400 Hz에 민감한 반응을 보였으며, 이는

이 연구와 일치하는 결과를 보여 잿방어는 300 Hz와 400 Hz의 순음에 가장 민감하다고 여겨진다.

제주 연안산 자리돔의 청각문턱치는 300 Hz에서 88 dB(이, 2000), 방어는 측정 주파수 100 Hz에서 음압 95.1 dB(안 등, 1998), 조피볼락은 측정 주파수 100 Hz에서 음압 90.5 dB(박 등, 1999), 쏨뱅이는 측정 주파수 100 Hz에서 음압 90.4 dB(이 등, 1999)로 가장 민감한 주파수에서 각각 88 ~ 95.1 dB로 잿방어의 연구결과도 이와 비슷한 청각문턱치를 나타내었다.

제주 연안에 서식하고있는 조피볼락, 쏨뱅이, 볼락, 자리돔과 이 연구에서 얻어진 잿방어의 청각임계비를 비교하여 Fig. 5-1에 나타내었다. 잿방어는 측정 주파수 300 Hz에서 음압 36.4 dB로 가장 낮은 청각임계비를 보였는데, 볼락은 측정 주파수 200 Hz에서 음압 26 dB, 자리돔은 측정 주파수 300 Hz에서 음압 23 dB, 조피볼락은 측정 주파수 100 Hz에서 음압 19 dB, 쏨뱅이는 측정 주파수 80 Hz에서 음압 20 dB로 각각 가장 낮은 청각임계비를 보여 측정 주파수 100 Hz ~ 300 Hz 부근의 수중 가청음에 대하여 가장 민감한 청각 반응을 나타내고 있다. 이 연구에서 사용된 잿방어는 제주연안산 정착성어류와는 다른 임계비 곡선모양을 보이며, 연안 정착성어류에 비해 저주파음에서 다소 높은 청각임계비를 나타낸 반면, 고주파음에서는 비슷하거나 다소 낮은 청각임계비를 나타내었다.

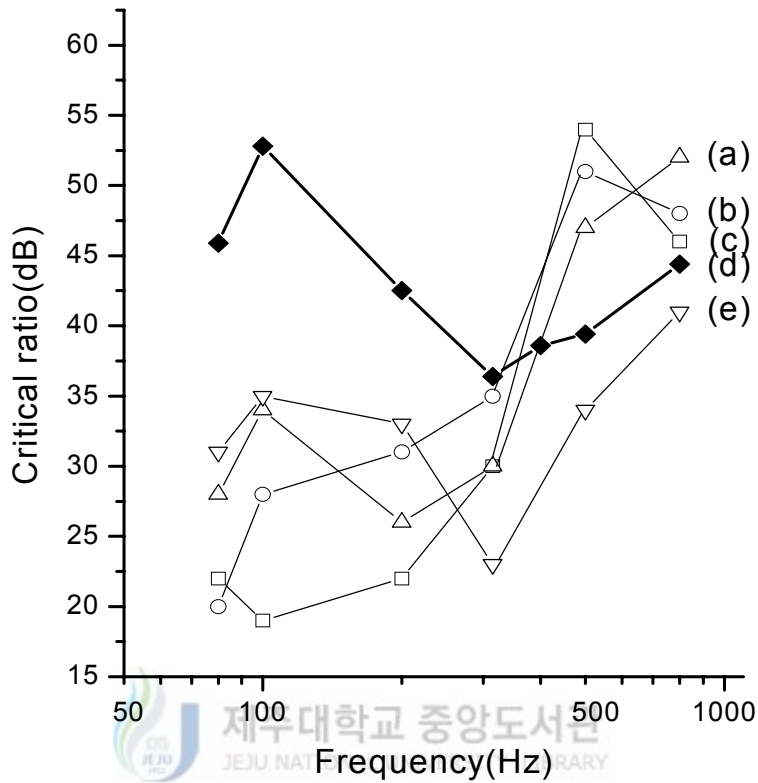


Fig. 5 - 1. Comparison of the critical ratios of amberjack and those of other species.

- (a) \triangle : black rockfish
- (b) \circ : scorpion fish
- (c) \square : jacobever
- (d) \blacksquare : amberjack
- (e) ∇ : coralfish

어류가 서식하는 수중은 파랑, 강우 등 자연 발생적인 수중 소음과 선박, 항공기 등의 인위적인 수중 소음 등이 혼재하는 환경이다. 어류는 서식지에 산재하는 이러한 환경 소음의 영향을 받아서 섭이행동 등의 생물학적 의미를 갖는 중요한 음 정보를 취할 때에 장애를 받게 된다. 즉, 어류의 청각은 이러한 주위 소음의 영향을 받아서 작은 소리를 듣기 어렵게 되는 마스킹 현상이 발생하여 청각문턱치가 증가하는데, 이때 어류는 약한 음정보를 감

지하기 어렵게 된다. 이렇듯 어류의 청각 감도는 음압의 강도와 마스킹 현상에 따라 달라질 수 있는데, 일반적으로 어류는 청각문턱치와 환경 소음의 스펙트럼 음압레벨과의 차인 청각임계비가 거의 음압 15 ~ 25 dB 이상이면 소음과 구별하여 신호음을 감지하는 것이 가능하다고 한다(畠山, 1989).

이 연구에서 사용한 잿방어의 청각문턱치가 환경소음시에는 음압 94.5 ~ 118.1 dB이었고, 평균 스펙트럼 음압 레벨을 65 dB, 70 dB, 75 dB로 변화시킨 백색잡음 방성시의 청각문턱치는 300 Hz에서 음압이 각각 98, 105, 114 dB로 가장 낮게 나타나 백색잡음이 방성될 때, 측정 주파수에 대하여 실험어의 청각 감도가 마스킹되고 있는 것으로 나타났으며, 이때 각각의 청각임계비의 평균은 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 400, 500, 800 Hz에서 각각 음압 45.9, 52.8, 42.5, 36.4, 38.6, 39.4, 44.4 dB이었다.

따라서, 어군의 유집을 위하여 수중 가청음을 사용할 경우에는 어류가 환경 소음에서 학습음을 충분히 식별해 낼 수 있도록 방성 음압 레벨을 설정할 필요가 있다. 이상으로부터 수중 가청음을 이용하여 잿방어의 유집을 시도한다면 이 실험을 통하여 알아낸 청각문턱치 및 청각임계비를 고려하여 주파수 300 ~ 400 Hz의 음을 선택하고, 이 주파수의 수중 가청음을 잿방어가 충분히 인식하기 위해서는 최저 100 dB 이상의 음압 강도가 필요하며 환경 소음이 존재하는 환경에서는 소음 스펙트럼 음압 레벨보다 약 35 dB 이상 크게 방성할 필요가 있는 것으로 여겨진다.

VI. 요약

바다목장 조성을 위한 어군의 관리, 사육, 어획기술에 이용할 기초자료를 제공할 목적으로 여름철 제주도 연안 정치망의 주 어획대상인 잿방어를 실험어로 하여, 육상수조에서 수중 가청 저주파음과 전기충격을 이용하여 음향 학습 시킨 후, 주파수와 음압을 변화시켜가면서 실험어의 심전도를 도출 하여 심박간격의 변화로부터 청각문턱치, 청각임계비를 측정하고, 청각능력지수를 조사하였다.

1. 자연환경소음 중에서의 실험어의 청각문턱치를 측정한 결과, 측정 주파수 80 ~ 800 Hz의 수중 가청음을 모두 인식하였고, 측정 주파수 200 ~ 500 Hz에서 청각 감도가 양호하였으며, 측정 주파수 300 Hz에서 평균 음압 94.5 dB, 표준편차 4.5 dB로 가장 낮은 청각문턱치를 보였고, 측정 주파수 300 Hz를 중심으로 300 Hz이하 주파수와 300 Hz이상의 주파수에서 주파수가 멀어짐에 따라 청각문턱치가 증가하여 청각감도가 떨어짐을 나타내고 있다.
2. 평균 음압을 65 dB, 70 dB, 75 dB의 3단계로 변화시킨 백색잡음 방성중의 실험어의 청각문턱치를 측정한 결과, 백색잡음의 상승에 따라 청각문턱치도 증가하는 경향을 보여, 명확하게 마스킹 현상을 나타내었다. 측정주파수 200 ~ 500 Hz에서 청각 감도가 양호하였는데, 측정 주파수 300 Hz에서 각각 음압 98, 105, 114 dB로 가장 낮은 청각문턱치를 보였고, 측정 주파수 300 Hz보다 낮아질수록 청각문턱치가 급격히 상승하는 경향을 보여, 낮은 주파수에서는 청각 감도가 떨어짐을 나타내고 있다.
3. 백색잡음 방성시 실험어의 청각임계비를 측정한 결과, 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 400, 500, 800 Hz에서 각각 평균 음압 45.9, 52.8, 42.5, 36.4, 38.6, 39.4, 44.4 dB이었고 측정 주파수 300 Hz, 400 Hz 그리고 500 Hz에서는 백색잡음 중에서 측정음을 식별하는 능력이 다른 측정 주파수에 비하여 우수하였으며, 측정 주파수 300 Hz를 중심으로 300 Hz이하 주파수와 300 Hz이상의 주파수에서 주파수가 멀어짐에 따라 청각문턱치가 증가함과 동시에 청각임계비도 급격히 증가하고 있어 저주파음과 고주파음에서 청각 감도가 떨어짐을 나타내고 있다. 실험어의 청각능력지수는 환경소음시에 21.8, 백색잡음 방성시에

16.58로 나타났으며, 마스킹이 발생하기 시작하는 잡음의 스펙트럼 음압 레벨을 추산한 결과 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 400, 500, 800 Hz에서 각각 음압 72.06, 63, 62.4, 58.1, 64.2, 65.2, 63.4 dB이었다.



VII. 참고 문헌

- 안장영, 이창현, 김용주, 박용석. 1998. 연안정치망 주요대상어종의 청각역치와 유집 방음에 대한 행동반응(I) - 방어의 청각역치 -. 한국어업기술학회지 34(3), 386 ~ 392.
- Aoki I. 1987. Control of orientation response by auditory discriminative stimuli in the carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53(1), 1933 ~ 1941.
- 有元貴文, 難波憲二, 1996. 魚の行動心理學と 漁法, 恒星社厚生閣, 74 ~ 106.
- Buerkle U. 1969. Auditory masking and the critical band in atlantic cod(*Gadus morhua*). *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 26, 1113 ~ 1119.
- 장계남. 2002. 어류양식. 282 ~ 284.
- Chapman. C. J. and A. D. Hawkins. 1973. A field study of hearing in the cod, *Gadus morhua* L.. *J. comp. Physiol.*, 85, 147 ~ 167.
- Corwin. J. T.. 1983. Postembryonic growth of the macula neglecta auditory detector in the ray, *Raja clavata* -continual increase in hair cell number, neural convergence and physiological sensitivity-. *J. Comp. Neurol.*, 217, 345 ~ 356.
- Fay R. R 1989a. Intensity discrimination of pulsed tones by the goldfish(*Carassius auratus*). *J. Acoust. Soc. Am.*, 85, 500 ~ 502.
- Fay. R. R.. 1974. Masking of tones by noise for the goldfish(*Carassius auratus*). *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 87, 708 ~ 716.
- 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.
- 古河太郎. 1970. 魚類生理 - 聽覺 -. 恒星社厚生閣, 東京, 462 ~ 481.
- Hatakeyama. Y.. 1989. Masking effect on the hearing of red sea bream, *Pagrus major*, by ambient noise. *Int. J. Aq. Fish. Technol.*, 1, 271 ~ 277.
- 畠山良己. 1985. 水中音に對する魚の反應. 日本騒音制御工學會, 9(2), 48 ~ 52.
- 畠山良己. 1992. 魚の聽覺能力. 水産工學, 28, 111 ~ 119.
- Hawkins A. D. and Sand O.. 1977. Directional hearing in the median vertical plane by the cod. *J. Comp. Physiol.*, 122, 1 ~ 8.
- Hawkins A. D. and A. D. F. Johnstone. 1978. The hearing of the Atlantic

- Salmon, *salmo salar*.. *J. Fish. Biol.*, 13, 655 ~ 673.
- Ishioka. H, Y. Hatakeyama, and S. Sakaguchi. 1988. The hearing ability of the red sea bream, *pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54, 947 ~ 951.
- Jacobs D. W. and Tavalga W. N.. 1967. Acoustic intensity limens in the goldfish. *Anim. Behav.*, 15. 324 ~ 335.
- 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), 65 ~ 70.
- Kenyon. T. N.. 1996. Ontogenetic changes in the auditory sensitivity of the bicolor damselfish, *Pomacentrus Partitus*(Poey). *J. Comp. Physiol. A.*, 179, 553 ~ 561.
- Kenyon. T. N., F. Ladich and H. Y. an.. 1998. A comparative study of hearing ability in fishes - the auditory brainstem response approach-. *J. Comp Physiol A.*, 182, 307 ~ 318.
- 김병엽. 1994. 수중가청음에 대한 잿방어 어군의 유집반응. 석사학위논문, 제주대학교.
- 김용억, 명정구, 김영섭, 한경호, 강충배, 김진구. 2001. 한국해산어류도감. 103.
- 국립수산진흥원. 2000. 총허용어획량 운영을 위한 과학 오피서버 지침서.
- 이창현, 박용석, 문종욱, 김석중, 안장영, 서두욱. 1999a. 수중가청음에 의한 썸뱅이의 청각능력 -1. 청각 문턱치-. *한국어업기술학회지*, 35(2), 156 ~ 160
- 이창현, 박용석, 문종욱, 강창익, 김고환, 서두욱. 1999b. 수중가청음에 의한 썸뱅이의 청각능력 -2. 청각 임계비-. *제주대학교 해양연구소 연구논문집*, 23, 73 ~ 79.
- 이창현, 서두욱. 2000. 수중가청음에 의한 볼락의 청각능력, 1. 청각문턱치. *한수지*, 33(6), 581 ~ 584.
- 이창현, 김고환, 서두욱. 2000. 자리돔과 볼락의 청각능력지수. *제주대학교 해양연구소 연구논문집*, 24, 43 ~ 48.
- 이창현, 서두욱. 2000. 저주파음에 의한 자리돔의 청각 능력, 2. 청각임계비 및 청각 능력지수. *한국어업기술학회지*, 36(4), 314 ~ 321.
- 이창현. 2000. 한국 제주도 연안산 어류의 청각 특성에 관한 기초적 연구. 박사학위 논문, 제주대학교.
- 이창현, 서두욱. 2001. 수중가청음에 의한 볼락의 청각능력, 2. 청각임계비. *한수지*, 34(2), 151 ~ 155.
- 문종욱. 1999. 독가시치의 청각문턱치와 임계비에 관한 연구. 석사학위논문, 제주대학교.

- 落合 明. 1996. 魚類解剖學. 綠書房, 297 ~ 299.
- Parker. T. H.. 1918. Hearing in fishes. *Copeia*, 53, 11 ~ 12.
- 박용석, 이창현, 문종욱, 안장영, 서두욱. 1999. 조피볼락의 청각문턱치. *수산해양교육 연구*, 11(1), 88 ~ 97.
- 박용석, 이창현, 김고환, 서두욱. 2000. 조피볼락의 청각임계비. 2000년도 춘계학술대회, 한국수산해양교육학회, 39 ~ 48
- Popper. A. N.. 1972. Pure-tone auditory thresholds for the carp, *Cyprinus carpio*. *H. Acoust. Soc. Am.*, 52, 1714 ~ 1717.
- Popper. A. N., Chan and N. L. Clarke. 1973. An evaluation of methods for behavioral investigations of teleost audition. *Behav. Meth. and Instru.*, 5, 470 ~ 472.
- Sawa. M.. 1976. The audiogram of the goldfish determined by a heart rate conditioned method. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 27, 129 ~ 136.
- Schellart. N. A. M. and A. N. Popper. 1992. The Evolutionary Biology of Hearing. - Functional Aspects of the Evolution of the Auditory System of Actinopterygian Fish -. Springer-Verlag, New York, 295 ~ 322.
- Schuijf. A and R. J. A. Buwalda. 1975. On the mechanism of directional hearing in cod(*Gadus morhua*). *J. Comp. Physiol.*, 122, 1 ~ 8.
- Tavolga. W. N.. 1974. Signal/noise ratio and the critical band in fishes. *J. Acoust. Soc. Am.*, 55, 1323 ~ 1333.
- 山川 正巳. 1997. ニジマスの聴覺特性. ミニシンポジウム 魚類の聴覺特性 -内耳と側線-. *日本水産學會誌*, 63, 108 ~ 109.
- 양용수. 1999. 수중 저주파음에 의한 능성어의 행동 제어에 관한 기초적 연구. 박사학위논문, 제주대학교.

감사의 글

여러모로 부족한 제가 석사학위라는 자그마한 결실을 얻을 수 있기까지 많은 분들의 관심과 격려, 도움이 있었습니다. 이 논문이 나오기까지 부족한 저를 끊임없는 지도와 격려, 충고로 이끌어주신 서두옥 교수님께 머리숙여 깊은 감사를 드립니다.

그리고 이 논문이 완성되기까지 자상함과 세심한 배려로 지도해 주신 안장영 교수님과 김석종 교수님께 깊은 감사를 드리며, 학위 이수과정 동안 항상 깊은 관심과 격려로 지도해 주신 노홍길 교수님, 안영화 교수님께도 감사를 드립니다.

이 논문의 시작부터 끝까지 많은 조언을 주신 이창현 선배님과 항상 함께하면서 격려와 도움을 주신 김병엽 선배님께 감사를 드립니다. 또한, 이 연구를 원활히 수행할 수 있도록 배려해 주신 제주대학교 해양과환경연구소의 여러 선생님들께도 고마움을 전하고자 합니다.

이 논문이 완성되기까지 많은 조언과 배려를 해주신 국립수산과학원 자원조성연구소 공용근 소장님을 비롯하여 읍서버 담당 차병열 연구사님, 그리고, 이창훈, 하동수, 조성환, 김대연, 윤장택 연구사님과 행정실 선생님들의 도움이 있어, 오늘의 이 결실이 있기에 깊은 감사를 드립니다.

우리 어구공학실험실에서 대부분의 시간을 보내며 아낌없는 도움을 준 오승훈, 김성호를 비롯한 여러 선배, 후배들께도 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 변함없는 사랑과 헌신으로 자신의 길을 가게 해주신 아버지, 어머니 그리고 형제들에게 이 작은 결실을 드립니다.