

박사학위논문

한국 제주도 연안산 어류의 청각
특성에 관한 기초적 연구



제주대학교 대학원

제주대학교 중앙도서관
어업학과

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이 창 현

2000년 6월

한국 제주도 연안산 어류의 청각 특성에 관한 기초적 연구

지도교수 서 두 옥

이 창 현

이 논문을 수산학 박사학위 논문으로 제출함

2000년 6월

이창현의 수산학 박사학위 논문을 인준함



제주대학교 대학원

2000년 6월

**A STUDY ON AUDITORY
CHARACTERISTICS OF FISHES AROUND
THE COAST OF CHEJU ISLAND IN KOREA**

Chang-Heon Lee

(Supervised by professor Du-Ok Seo)



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

**DEPARTMENT OF FISHERY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

2000. 6

목 차

LIST OF FIGURES	i
LIST OF TABLES	iv
SUMMARY	1
I. 서 론	5
II. 실험어의 청음기구	8
1. 조피블락	9
2. 솜땀이	11
3. 블락	13
4. 자리돔	15
5. 방어	17
III. 재료 및 방법	19
1. 실험어	19
2. 실험 수조 및 실험 장치	20
3. 음향 학습 방법	25
4. 청각 문턱치	28
5. 청각 임계비	29
6. 청각 능력 지수	29
IV. 결 과	31
1. 청각 문턱치	31
1) 조피블락	31

2) 솜뽕이	34
3) 불락	37
4) 자리돔	40
5) 방어	43
2. 청각 임계비	47
1) 조피불락	47
2) 솜뽕이	57
3) 불락	65
4) 자리돔	73
3. 청각 능력 지수	81
V. 고 찰	85
VI. 요 약	100
VII. 참 고 문 헌	104
감사의 글	

LIST OF FIGURES

Fig. 2-1.	The bodily appearance of jacopever.	9
Fig. 2-2.	The structure of the inner ear of jacopever.	10
Fig. 2-3.	The sagittas of jacopever.	10
Fig. 2-4.	The bodily appearance of scorpion fish.	11
Fig. 2-5.	The structure of the inner ear of scorpion fish.	12
Fig. 2-6.	The sagittas of scorpion fish.	12
Fig. 2-7.	The bodily appearance of black rockfish.	13
Fig. 2-8.	The structure of the inner ear of black rockfish.	14
Fig. 2-9.	The sagittas of black rockfish.	14
Fig. 2-10.	The bodily appearance of coralfish.	15
Fig. 2-11.	The structure of the inner ear of coralfish.	16
Fig. 2-12.	The sagittas of coralfish.	16
Fig. 2-13.	The bodily appearance of yellow tail.	17
Fig. 2-14.	The structure of the inner ear of yellow tail.	18
Fig. 2-15.	The sagittas of yellow tail.	18
Fig. 3-1.	Block diagram of equipments used in the experiment.	22
Fig. 3-2.	The time sequences for emissions of pure sound and electric shocks.	26
Fig. 3-3.	Electrocardiograms showing typical cardiac responses to a pure sound stimulus.	27
Fig. 4-1.	Audiogram of jacopever and spectrum level of the background noise.	33
Fig. 4-2.	Audiogram of scorpion fish and spectrum level of the background noise.	36
Fig. 4-3.	Audiogram of black rockfish and spectrum level of the background noise.	39

Fig. 4-4.	Audiogram of coralfish and spectrum level of the background noise.	42
Fig. 4-5.	Audiogram of yellow tail and spectrum level of the background noise.	45
Fig. 4-6.	Auditory thresholds in case that sound emission levels are raised gradually to 6 fishes of yellow tails(○), and in case that are lowered down gradually to 7 fishes of yellow tails(●).	46
Fig. 4-7.	Spectrum level of noise in the experimental tank.	48
Fig. 4-8.	Audiogram of jacopever with white noise spectrum level.	49
Fig. 4-9.	Critical ratio of jacopever.	51
Fig. 4-10.	Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels of jacopever at measurment frequencies of 80Hz(a) and 100Hz(b):	52
Fig. 4-11.	Minimum noise spectrum levels(0dB re $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$) of masking of jacopever at measurement frequency of 80~800Hz.	56
Fig. 4-12.	Aaudiogram of scorpion fish with white noise spectrum level.	58
Fig. 4-13.	Critical ratio of scorpion fish.	59
Fig. 4-14.	Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels of scorpion fish at measurment frequencies of 80Hz(a) and 100Hz(b).	60
Fig. 4-15.	Minimum noise spectrum levels(0dB re $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$) of masking of scorpion fish at frequency of 80~800Hz.	64
Fig. 4-16.	Audiogram of black rockfish with white noise spectrum level.	66
Fig. 4-17.	Critical ratio of black rockfish.	67

Fig. 4-18. Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels of black rockfish at measurement frequencies of 80Hz(a) and 100Hz(b).	68
Fig. 4-19. Minimum noise spectrum levels(0dB re $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$) of masking of black rockfish at frequency of 80~800Hz.	71
Fig 4-20. Audiogram of coralfish with white noise spectrum level.	74
Fig. 4-21. Critical ratio of coralfish.	75
Fig. 4-22. Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels of coralfish at measurement frequencies of 80Hz(a) and 100Hz(b).	77
Fig. 4-23. Minimum noise spectrum levels(0dB re $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$) of masking of coralfish at frequency of 80~800Hz.	80
Fig. 5-1. Comparison of the auditory thresholds of five species used in the experiment.	86
Fig. 5-2. Comparison of the critical ratio of four species used in the experiment.	89
Fig. 5-3. Comparison of the auditory thresholds of jacopever.	93
Fig. 5-4. Audiogram of jacopever with white noise in January and February.	94

LIST OF TABLES

Table 3-1. Specifications of instruments used for measurement and analysis of auditory characteristics.	23
Table 4-1. Each measuring and medium value of auditory threshold of jacobever.	32
Table 4-2. Each measuring and medium value of auditory threshold of scorpion fish.	35
Table 4-3. Each measuring and medium value of auditory threshold of black rockfish.	38
Table 4-4. Each measuring and medium value of auditory threshold of coralfish.	41
Table 4-5. Each measuring and medium value of auditory threshold of yellow tail.	44
Table 4-6. The hearing index of experimental fishes.	84

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 jacobever *Sebastes schlegeli*, scorpion fish *Sebastiscus marmoratus*, black rockfish *Sebastes inermis*, coralfish *Chromis notatus* and yellow tail *Seriola quinqueradiata* which were on the coast of cheju island by heartbeat conditioning technique using pure tones coupled with a delayed electric shock.

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 73dB, 78dB and 83dB re $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$.

The results are as follows ;

1. The jacobever could hear a sound in the frequency range from 80Hz to 800Hz. The mean auditory thresholds of jacobever at the frequencies of 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz and 800Hz were 95dB, 89dB, 93dB, 99dB, 125dB and 125dB, respectively. As the frequency became higher than 300Hz, the auditory threshold

increased rapidly.

The critical ratios of the measurement frequencies were 22dB, 19dB, 22dB, 30dB, 54dB and 46dB, respectively. From 100Hz, the critical ratio increased almost linearly with increasing frequency.

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

2. The scorpion fish could hear a sound in the frequency range from 80Hz to 800Hz. The mean auditory thresholds of scorpion fish at the frequencies of 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz and 800Hz were 93dB, 92dB, 93dB, 96dB, 127dB and 123dB, respectively. As the frequency became higher than 300Hz, the auditory threshold increased rapidly.

The critical ratios of the measurement frequencies were 20dB, 28dB, 31dB, 35dB, 51dB and 48dB, respectively. The ratio increased almost linearly with increasing frequency to 500Hz.

The noise spectrum level that started masking was about 64~74dB within frequency range of 80~800Hz. This suggests that hearing of scorpion fish is masked in the natural environment with the noise spectrum level above 63dB.

3. The black rockfish could hear a sound in the frequency range

from 80Hz to 800Hz. The mean auditory thresholds of black rockfish at the frequencies of 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz and 800Hz were 102dB, 103dB, 99dB, 96dB, 116dB and 122dB, respectively. As the frequency became higher than 300Hz, the auditory threshold increased rapidly.

The critical ratios of the measurement frequencies were 28dB, 34dB, 26dB, 30dB, 47dB and 52dB, respectively. From 200Hz, the critical ratio increased almost linearly with increasing frequency.

The noise spectrum level that started masking was about 65~74dB within frequency range of 80~800Hz. This suggests that hearing of black rockfish is masked in the natural environment with the noise spectrum level above 65dB.



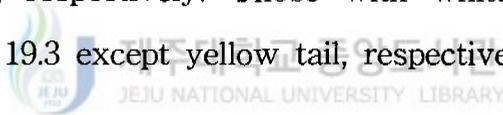
4. The coralfish could hear a sound in the frequency range from 80Hz to 800Hz. The mean auditory thresholds of coralfish at the frequencies of 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz and 800Hz were 100dB, 99dB, 91dB, 88dB, 96dB and 114dB, respectively. As the frequency became higher than 300Hz, the auditory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

The critical ratios of the measurement frequencies were 31dB, 35dB, 33dB, 23dB, 34dB and 41dB, respectively.

The noise spectrum level that started masking was about 58~73dB within frequency range of 80~800Hz. This suggests that hearing of coralfish is masked in the natural environment with

the noise spectrum level above 57dB.

5. The yellow tail could hear a sound in the frequency range from 80Hz to 800Hz. The mean auditory thresholds of yellow tail at the frequencies of 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz and 800Hz were 99dB, 95dB, 96dB, 100dB, 101dB and 115dB, respectively. As the frequency became higher than 500Hz, the auditory threshold increased rapidly.
6. The hearing indices of jacobever, scorpion fish, black rockfish, coralfish and yellow tail without white noise were 51.0, 42.9, 29.1, 81.0 and 40.0, respectively. Those with white noise were 21.0, 10.4, 10.0 and 19.3 except yellow tail, respectively.



I. 서 론

우리나라의 수산업은 국내외적으로 많은 변화를 맞게 되었는데, 12해리 영해 수역, 200해리 배타적 경제 수역이 선포되면서 원양 어업이 위축되었고, 주변국과의 어업 협정에 의한 어장 축소, 과도한 남획으로 인한 연근해 어업 자원의 고갈로 어업 생산이 감소되었으며, 연안해역은 산업 폐수 및 생활 폐수 유입 등에 의한 적조 발생으로 해상 가두리 양식장의 피해가 수산물 생산을 더욱 저하시키고 있다.

따라서 어업 생산성을 높이는 방법중의 하나는 새로운 어법의 개발이다. 어장에 있어서 어류를 유집하는 어법에는 여러 가지가 있지만 집어등, 미끼 등을 이용하고 있다. 집어등은 유류비 증대, 주간이나 달이 보이는 야간에 이용할 수가 없고, 미끼는 어류의 선도를 유지, 노동력의 증가 등의 어려운 단점이 있다. 그러나 음파를 이용한 어법이 개발된다면 시간에 제약없이 사용할 수 있으며 집어등 및 미끼를 이용한 어법보다 유류비와 노동력의 절감 등의 장점이 있을 것이다. 특히, 수중에서의 정보 전달 신호로서는 음파가 다른 매체보다 그 이용 범위가 넓다는 장점을 갖고 있어 음파의 전달 범위나 속도, 사용 가능 시간 등을 고려하면 빛, 전자파보다도 효과적인 제어 수단이 될 수도 있다.

제 1, 2차 세계대전으로 인하여 비약적인 발전을 이룬 수중 초음파 기술이 어업에 응용되면서 첨단 어군 탐지기가 개발되어 어군량 추정, 개체의 크기 및 생태 조사 등이 가능하게 되었다. 동시에 수중 가청음파 기술은 어류의 유집, 위협 등에 이용되는 어획 목적과 치자어의 육성 단계에서 수중 음향 학습에 의한 어류의 양식의 목적으로 이용되고 있는데, 특히 어류를 길러서 잡는 어업인 해양 목장화를 위한 어군 행동 제어 및 음향 순치의 주요 수단으로도 활용되고 있다. 어류의 청각 기관에는 내이, 부레, 측선 등이 있는데

그 중 주로 내이에 의해서 어류의 식이음, 구애음, 유영음 등에 의한 유집 반응이 일어나는 것으로 알려지고 있다.

수중 가청음으로 어군의 행동을 제어하기 위해서는 대상 어류의 청각 특성을 정확히 파악할 필요가 있으며, 이와 관련하여 많은 연구자들에 의해 오래 전부터 다각적인 연구가 수행되고 있다.

古河(1970)는 어류의 가청 주파수 범위가 16~5,000Hz 범위이나 주파수 100~1,000Hz 범위에서 예민한 반응을 나타낸다고 보고하고 있다. 어류의 청각 특성에는 청각 문턱치, 청각 능력 지수, 청각 임계비, 주파수 변별 능력, 음원 위치 확인, 음압 강도 변별 능력 등이 있다. 청각 문턱치에 관한 연구는 잉어(Popper, 1972), 참돔(Ishioka, 1988), 전갱이(鄭, 1998), 털라피아와 넙치(藤枝, 1995, 1996a), 방어(안 등, 1998), 명태, 조피볼락(박 등, 1995, 1999), 쏨뱅이, 볼락(이 등, 1999, 2000), 능성어(양, 1999), 독가시치(문, 1999) 등이 있으며, 청각 임계비에 관한 연구는 붕어류(Tavolga, 1974 ; Fay, 1974), 대서양 연어(Hawkins 등, 1978), 대구(Chapman 등, 1973), 방어(안 등, 1999), 조피볼락(박 등, 2000), 쏨뱅이, 자리돔(이 등, 1999, 2000), 능성어(양, 1999), 독가시치(문, 1999) 등이 있으며, 능성어(양, 1999)의 청각 능력 지수에 관한 연구와 함께, 주파수 변별 능력에 관한 연구로 금붕어(Fay, 1989), 음원 위치 확인에 관한 연구는 대구류(Schuijf 등, 1975; Hawkins 등, 1977) 등이 있으며, 이들 청각 특성 측정은 주로 어류의 흉부강에 전극을 투입하여 심장의 심박수 변화 등을 나타내는 음향·전기자극의 조건 반응 수법 이외에도 어류의 호흡에 의한 측정 방법 등(Fay, 1974 ; 藤枝 등, 1996)이 있고 최근에는 심박 간격 측정 이외에도 어류의 뇌파를 이용한 청각 특성 측정 등이 이용되고 있다(Kenyon, 1998). 이와 같이 어류의 청각 문턱치에서 골표류는 주파수 100~1,000Hz에서 음압 60~80dB, 비골표류는 주파수 100~500Hz에서 음압 90~110dB를 나타내고 있다(畠山, 1992). 그러나 우리나라 연근해에서 어획되는 어류의 청각 특성에 관한 연구는 적은 편이다.

이처럼 어류의 청각 특성을 파악하는 것은 어획의 과정에 있어서 대상 어류의 행동 반응을 추측할 수 있는 것 이외에 새로운 어구·어법을 개발하는 과정에 있어서도 중요할 뿐 아니라 조업중의 어구에 대한 어류의 행동 양상을 해결하는 데도 필요하다. 이와 같은 청각 문턱치를 기초로 하여 여러 가지 가청 저주파수음을 발생시켜 어류를 유집하거나 위협을 이용하면 보다 효율적인 어획을 할 수가 있을 것이다.

따라서 이 연구에서는 수중 가청 저주파수음을 이용한 자원관리형 어업, 어장에서 음향을 이용하여 어류를 유집할 수 있는 음향 어법 개발 및 길러서 잡는 어업인 해양목장에 있어서 음향 순치 기술 개발에 관한 기초 자료를 제공할 목적으로 연안 정착성 어류인 조피볼락, 솜뱅이, 볼락과 함께 제주 연안에서 어획되는 자리돔 그리고 회유성 어류인 방어 등 실험어의 청각 특성을 가청 저주파수음과 전기 자극을 이용하여 음향 학습을 시킨 후 학습음 방음시의 심전도의 심박 간격 변화에 의해 청각 문턱치를 정량적으로 나타내고, 학습음을 마스킹하는 백색 잡음 레벨을 3단계로 변화시켜 실험어의 청각 문턱치를 측정함과 동시에 마스킹이 발생하는 백색 잡음의 레벨을 조사하여 청각 임계비, 청각 능력 지수 등을 산출하여 실험어의 청각 특성을 분석하였다.

II. 실험어의 청음 기구

어류는 외이, 내이, 중이가 있는 인간의 청각과는 다르게 내이만 있고 이러한 내이는 상하로 나뉘어 상부는 평형 감각을 담당하며, 하부는 다시 통낭, 소낭, 호낭의 3개의 자루 모양으로 나뉜다. 이 중 청음 기구에 관련된 것은 소낭이며 소낭 속에 있는 이석은 내이와 연결된 부레의 진동을 내이에 채워져 있는 림프액의 압력으로 인하여 움직이게 되고 이때 소낭 내벽에 있는 감각 세포를 자극하므로써 어류가 음을 인식하게 된다(畠山, 1985).

실험어는 경골어류 진구아강에 속하는 어류들로서 경골 어류는 청각에 관여하는 것은 소낭, 호낭 등에 의해 이루어지며, 각각의 이석 기관을 가지고 있지만 그 모양에 큰 차이가 있으며, 호낭은 음에 직접 자극이 되는 반면 소낭은 부레를 통하여 음 수용이 이루어진다. 그러나 호낭은 음압의 수용보다는 진동 수용기로 나타나고 있어 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 이석 자체는 소낭의 내벽에 있는 감각 세포를 자극하는 것으로 감각 기능은 없으며 크기와 형태는 어종에 따라 다르고 어류의 분류와 함께 어류의 연령 조사도 할 수 있다.

1. 조피볼락

조피볼락(*Sebastes schlegeli*)은 Fig. 2-1과 같이 몸 빛깔은 짙은 회갈색으로 몸 옆에는 분명치 않은 흑갈색 가로띠가 있으며, 눈에서 뒤쪽으로 비스듬하게 2개의 흑색띠가 있다. 우리나라의 연근해 및 일본의 북해도 이남해역, 중국 연근해 등의 수심 100m 이내의 암초에 서식하며, 활동성이 적은 정착성 어류이다. 저수온에 강하여 우리나라 모든 연안 수역에서 겨울철 월동이 가능하고 성장이 빠르기 때문에 우리나라에 적합한 양식 어종이다. 주로 서·남해안 지역에서 양식이 이루어지고 있다. 천연 종묘는 주로 정치망, 통발에서 어획되어 해상 가두리에서 양식이 이루어진다(국립수산물진흥원, 1994).

조피볼락의 뇌의 구조는 Fig. 2-2와 같이 (a) 중뇌(Mesencephalon), (b) 소뇌(Cerebellum) (c) 연수(Medulla oblongata)으로 이루어져 있고, 연수 뒤쪽으로 척수 밑에 청음 기구인 좌우 1쌍의 (d) 소낭(Sacculus)속에 이석(Sagitta)이 있다. 이석은 Fig. 2-3과 같이 모양은 타원형이면서 부채 모양을 띠고 있으며 그 크기는 장경 8mm, 단경 5mm 정도이다.



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

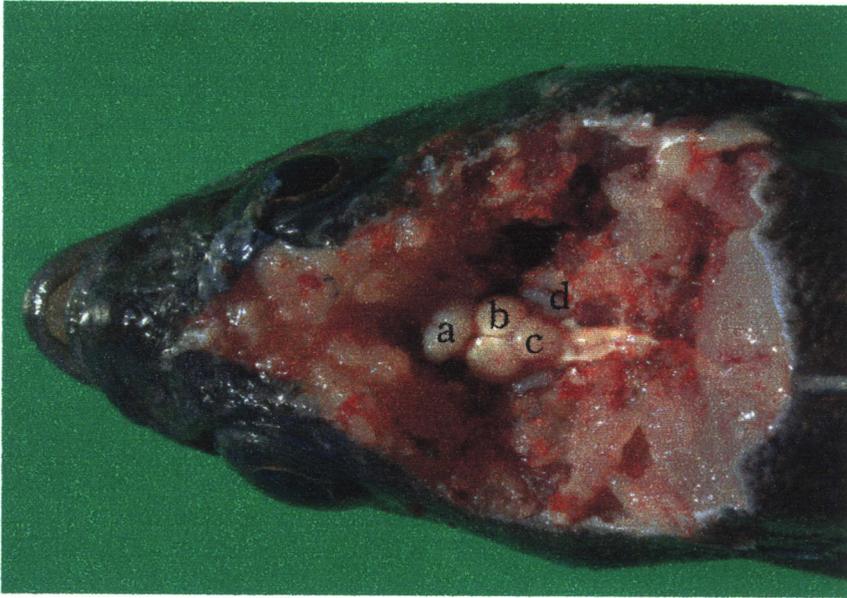


Fig. 2-2. The structure of the inner ear of jacopever.
 (a) Mesencephalon (b) Cerebellum
 (c) Medulla oblongata (d) Sacculus

제주대학교 중앙도서관



Fig. 2-3. The sagittas of jacopever.

2. 썸뱅이

썸뱅이(*Sebastiscus marmoratus*)는 Fig. 2-4와 같이 몸 빛깔은 서식 장소에 따라 여러 가지 모양이나 일반적으로 연안에 서식하는 것은 흑갈색을 띠고 더욱 깊은 곳에 서식하는 것은 붉은 색을 많이 띤다. 옆구리에는 5개 전후의 불규칙한 암갈색 가로띠가 있으며, 등지느러미 기저를 따라 약 5개의 담색 반점이 배열되어 있다. 주로 우리나라의 연안, 일본의 연안, 동중국해에 분포하며, 연안성 저서 어류로서 수심 80m 이내의 조류가 빠른 암초 지대에 서식하며, 큰 이동은 없고 성장에 따라 깊은 곳으로 이동하거나 또 겨울에는 깊은 곳으로 봄에는 얕은 곳으로 이동하는 계절적 이동을 하는 어종이다(국립수산진흥원, 1994).

썸뱅이의 뇌의 구조는 Fig. 2-5와 같이 (a) 중뇌, (b) 소뇌, (c) 연수로 이루어져 있고, 연수 뒤쪽으로 척수 밑에 청음 기구인 좌우 1쌍의 (d) 소낭 속에 이석이 있다. 이석은 Fig. 2-6과 같이 모양은 긴 타원형 모양을 띠고 있으며 그 크기는 장경 7.5mm, 단경 3mm 정도이다.



Fig. 2-4. The bodily appearance of scorpion fish.



Fig. 2-5. The structure of the inner ear of scorpion fish.

- (a) Mesencephalon
- (b) Cerebellum
- (c) Medulla oblongata
- (d) Sacculus



Fig. 2-6. The sagittas of scorpion fish.

3. 불락

불락(*Sebastes inermis*)은 Fig. 2-7과 같이 몸 빛깔은 서식 장소나 깊이에 따라 변화가 심하지만 보통 회갈색이며, 몸은 타원형으로 측편되어 있고, 주둥이는 뾰족하고 눈은 크며 몸 옆구리에는 불분명한 흑색의 가로띠가 5~6줄 희미하게 있다. 두 눈 사이는 폭이 좁고 다소 불룩 나와 있다. 우리나라의 연안, 일본의 북해도 이남에 분포하여 있고 연안 정착성 어류로서 암초가 많은 연안 해역에 주로 서식하며 어중에 따라 전장 10mm 이하의 것은 물밑 바다풀 사이에 숨어지내고, 30mm 정도의 것은 바다 표면에 떠다니는 해조류 그늘 아래에서 서식하며, 60mm 이상은 얕은 바다의 암초 사이에서 저서 생활을 한다. 난태생 어류로서 11월 하순에서 12월 초순경 교미하여 다음해 1월에서 2월경에 크기 4~5mm되는 어린 새끼를 물속에 낳는다(국립수산진흥원, 1994).

불락의 뇌의 구조는 Fig. 2-8과 같이 (a) 중뇌, (b) 소뇌, (c) 연수로 이루어져 있고 연수 뒤쪽으로 척수 밑에 청음 기구인 좌우 1쌍의 (d) 소낭 속에 이석이 있다. 이석은 Fig. 2-9와 같이 모양은 둥근 타원형 모양을 띠고 있으며 그 크기는 장경 10mm, 단경 5mm 정도이다.

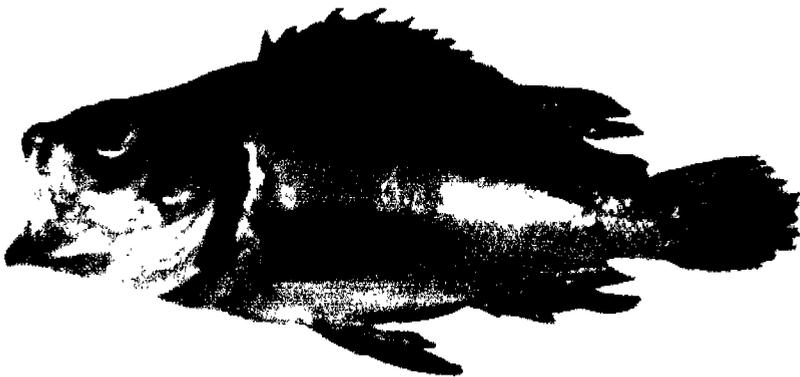


Fig. 2-7. The bodily appearance of black rockfish.



Fig. 2-8. The structure of the inner ear of black rockfish.

- (a) Mesencephalon (b) Cerebellum
(c) Medulla oblongata (d) Sacculus



제주대학교 중앙도서관

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



Fig. 2-9. The sagittas of black rockfish.

4. 자리돔

자리돔(*Chromis notatus*)은 Fig. 2-10과 같이 몸 빛깔은 흑갈색으로 배 부분은 연하며, 꼬리지느러미 위쪽과 아래쪽에 각각 흑갈색의 세로줄이 그어져 있고, 가슴지느러미 기저 부분에는 큰 흑색 반점이 있으며, 또 살아있을 때에는 등지느러미 가장 뒤쪽 연조의 아래 부분에 눈 크기의 백색 반점이 1개 있다. 체고는 높고 주둥이는 짧으며, 우리나라의 남해, 제주도 및 일본의 중부 이남, 동지나해 등의 수심 5~15m 전후되는 암초 지대에서 큰 무리를 지어 다니면서 서식한다(국립수산진흥원, 1994).

자리돔의 뇌의 구조는 Fig. 2-11과 같이 (a) 중뇌, (b) 소뇌, (c) 연수로 이루어져 있고 연수 뒤쪽으로 척수 밑에 청음 기구인 좌우 1쌍의 (d) 소낭 속에 이석이 있다. 이석은 Fig. 2-12와 같이 모양은 둥근 타원형 모양을 띠고 있으며 그 크기는 장경 10mm, 단경 5mm 정도이다.



Fig. 2-10. The bodily appearance of coralfish.

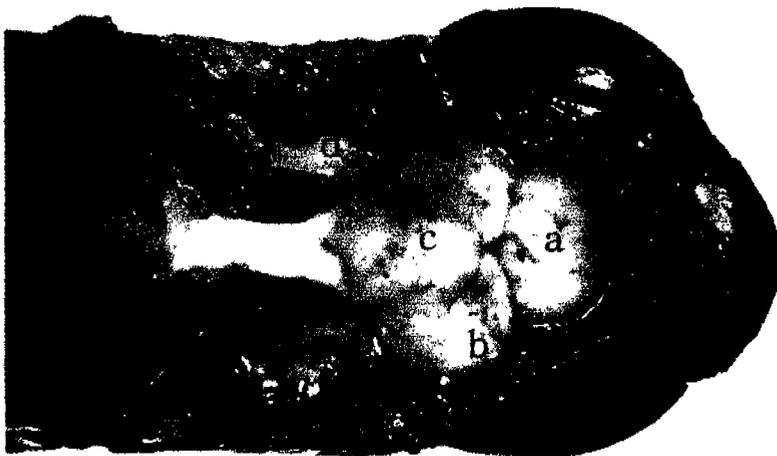


Fig. 2-11. The structure of the inner ear of coralfish.

- (a) Mesencephalon (b) Cerebellum
 (c) Medulla oblongata (d) Sacculus



Fig. 2-12. The sagittas of coralfish.

5. 방어

방어(*Seriola quinqueradiata*)는 Fig. 2-13과 같이 몸 빛깔은 등쪽은 어두운 청색, 배 부분은 은백색이며, 몸의 중앙부에는 희미한 황색의 세로띠가 있다. 몸은 긴 방추형으로 약간 측편되어 있고, 가슴지느러미와 배지느러미는 거의 같은 크기이며, 제1등지느러미는 작은 편이다. 우리나라의 동해와 남해 그리고 일본 등지에 분포하며 온대성 어류로 봄부터 여름까지는 북쪽으로, 가을부터 겨울까지는 남쪽으로 이동하는 남북회유 어종이다. 방어는 우리나라에서 겨울철을 지내기가 힘들어 가을이나 초겨울에 주로 중간 종묘로서 외국으로 수출하거나 국내시장으로 판매되며, 주로 우리나라의 남해안에서 해상 가두리로 양식하며 봄철 자연에서 산란, 부화되어 자란 어린 치어를 수집하여 종묘로 사용한다(국립수산진흥원, 1994).

방어의 뇌의 구조는 Fig. 2-14와 같이 (a) 중뇌, (b) 소뇌, (c) 연수로 이루어져 있고 연수 뒤쪽으로 척수 밑에 청음 기구인 좌우 1쌍의 (d) 소낭 속에 이석이 있다. 이석은 Fig. 2-15와 같이 모양은 뾰족한 삼각형 모양을 띠고 있으며 그 크기는 장경 4.5mm, 단경 2mm 정도이다.

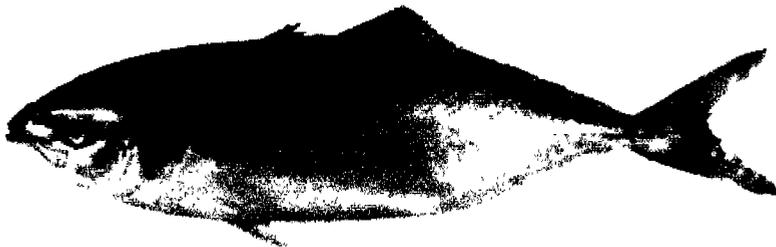


Fig. 2-13. The bodily appearance of yellow tail.

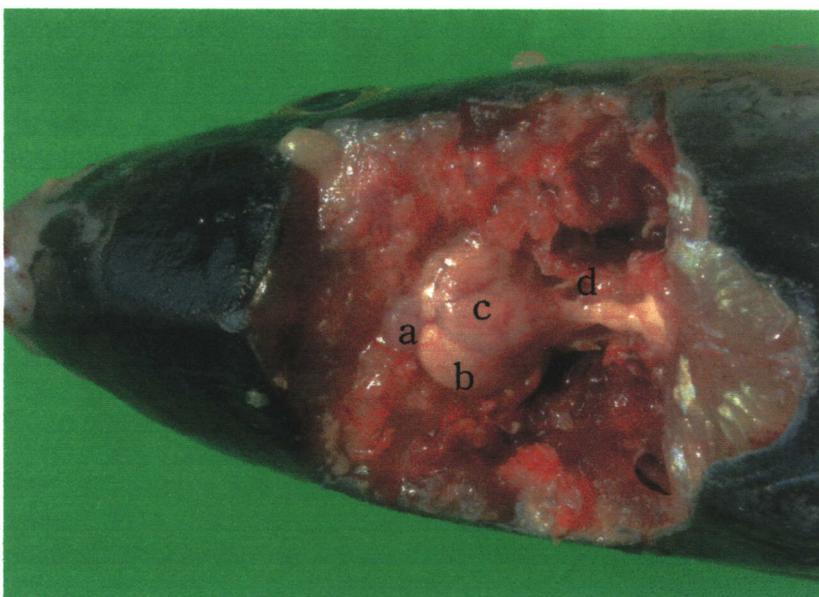


Fig. 2-14. The structure of the inner ear of yellow tail.

- (a) Mesencephalon (b) Cerebellum
 (c) Medulla oblongata (d) Sacculus

제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



Fig. 2-15. The sagittas of yellow tail.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 실험어

조피볼락은 1996년 2월에 제주도 남제주군 표선면에 소재한 전원수산에서 인공 부화한 조피볼락 성어를 1997년 4월에 50미를 입수하여 제주대학교 해양연구소(이하 해양연구소)의 사육실에 설치한 원통형(D160×H94cm) FRP제 수조에 넣어 사육하였다. 청각 문턱치 측정 실험에 10미를 사용하였고, 실험 종료 후에 측정한 실험어의 전장은 28~35cm로 실험 기간은 1998년 1~2월이었으며 실험 기간 중의 수온은 12~16℃였다. 청각 임계비 측정에는 9미를 사용하였고 실험 종료 후에 측정한 실험어의 전장은 27~30cm로 실험 기간은 1999년 1~2월, 1999년 9월이었으며 실험 기간 중의 수온은 13~20℃였다.

쏨뱅이는 1997년 9월에 제주 연안에서 손줄 낚시로 어획한 후 해양연구소의 사육 수조로 옮겨 약 3~4개월 사육하였다. 전장은 21~28 cm였으며, 청각 문턱치 측정 실험에 12미를 사용하였다. 실험 기간은 1998년 2월~3월이었으며 실험 기간 중의 수온은 12~16℃였다. 청각 임계비 측정 실험에는 9미를 사용하였으며 쏨뱅이의 전장은 17~24cm였다. 실험 기간은 1999년 1월~2월이었으며 1999년 9월 실험 기간 중의 수온은 13~20℃였다.

볼락은 1998년 6월에 제주 연안에서 손줄 낚시로 어획하여 해양연구소로 옮겨 사육한 것으로 그 중 6미를 실험에 사용하였다. 전장은 15~30cm로 실험 기간은 1999년 6월, 2000년 2월이었으며 실험 기간 중의 수온은 12~22℃다.

자리돔은 1999년 8월에 제주 연안에서 들망으로 어획한 것을 해양연구소의 사육 수조로 50미 옮겨 약 3~4개월 사육하였다. 실험 종료 후에 측정한 실험어의 전장은 8~11cm로 실험에 9미를 사용하였다. 실험 기간은 2000년 1월이었으며 실험 기간 중의 수온은 7~15℃였다.

방어는 1998년 12월에 제주 연안에서 끌줄 낚시로 어획하여 해상 가두리에서 사육되었던 것을 해양연구소의 사육 수조에서 약 1개월간 사육하였다. 그중 13마를 실험에 사용하였다. 전장은 42~56cm로 실험 기간은 1998년 2월~5월이었으며 실험온도는 11~21℃이었다.

이들 실험어는 사육 수조에서 실험 수조로 옮긴 후 약 12시간 이상 지난 후 청각 특성 측정 실험을 하였다. 청각 특성 측정 실험전에 사육 수조에서 꺼낸 실험어를 200ppm의 MS-222 마취 용액에 넣어 마취시킨 후, 흉부강에 전극을 부착시켰다. 전극은 상용 판매하고 있는 10~15호의 낚시 바늘을 열수축 튜브로 절연시킨 후에 낚시 바늘 끝을 0.3cm 정도 노출시킨 것으로, 낚시 꼭지에는 직경 0.08cm의 전선을 연결하였다. 어류의 흉부강에 두 개의 낚시 끝을 삽입하는 쌍극 도출법으로 낚시 바늘 끝의 전극 부위가 심장 부근에 위치하도록 조절한 후 실험 수조 안에 넣어 마취로부터 회복시켰다.

2. 실험 수조 및 실험 장치



청각 특성 측정 실험은 배경 잡음을 줄이기 위해 방음실(L300×W250×H250cm)을 해양연구소에 설치하여 실시하였으며, 이 실내에 실험용 수조인 직육면체형(L118×W48×H62cm) 아크릴 수조를 사용하였는데, 수조 밑바닥에는 각각 30×30×5cm의 방진 고무와 함께 방진 스프링을 수조의 네 모퉁이에 설치하였다. 실험 수조의 해수는 실험 수조의 밑에서 해수가 유입되도록 한 후 위쪽으로 배출되도록 하였다. 실험어의 머리부분은 스피커의 음축 중심에 위치하도록 고정하였다. 실험어가 청각 특성 측정 동안에 움직이는 물체에 대한 반응을 줄이기 위하여 수조 벽면을 검정색 비닐로 붙임과 동시에 실험 장치와 실험 수조사이에 검정색 암막을 설치하여 외부로부터의 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 5cm 떨어진 두 개의 공중 스피커를 서로 대향하도록 설치하여 방성하였다. 실험 장치의 개요를 Fig. 3-1에 나타내었으며, 측정 기구에 대한 규격은 Table 3-1에 나타내었다.

청각 문턱치 측정을 위하여 사용한 음향 자극은 신호발생기(NF, 4500)를 이용하여 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz의 6종류의 측정 주파수의 순음을 발생시킨 후 증폭기(Inkel, PSR-2000)로 증폭하여 공중 스피커(Promann, CB38)로 방성하였다.

이때 방성한 각 측정 주파수의 음압과 배경 잡음 레벨의 측정은 수중 청음기(B&K, 8104)를 실험어의 머리부분의 위치에 설치한 후 전치증폭기(NF, 5305)로 증폭하여 그 신호를 주파수 분석기(B&K, 2143)와 컴퓨터로 A/D 변환해서 해석하였으며, 이 때 실험 수조에서의 배경 잡음 레벨은 주파수 분석기로 1/3옥타브 분석을 반복 행하면서 실험 시간대의 정온시에 반복 측정하여 평균하였다.

청각 임계비 측정은 배경 잡음에 의한 어류의 청각 특성을 조사하기 위하여 Fig 3-1의 점선부분과 같이 신호 발생기의 신호음과 함께 백색 잡음 발생기(B&K, 1405)에서 백색 잡음을 연속적으로 발생시켜 혼합기(Inkel, MX-642)에 연결한 후 동시에 방성할 수 있도록 하였으며, 이때 백색 잡음은 수중에서 주파수가 높아짐에 따라 감쇄가 많아지므로 측정 주파수 범위의 1kHz까지 백색 잡음 레벨이 일정하게 유지될 수 있도록 그래픽 이퀄라이저(Inkel, EQ-9231)를 통하여 공중 스피커에 연결하여 방성하였다. 청각 임계비를 측정할 때 백색 잡음의 레벨을 높게 설정하면 청각 문턱치가 상승하여 실험에서 방성 가능한 음압보다 높게 되어 청각 문턱치 측정이 어려워질 가능성이 있고, 또한 어류가 배경 잡음 레벨의 변화에 의한 마스킹이 어느 정도부터 발생하는지를 조사하기

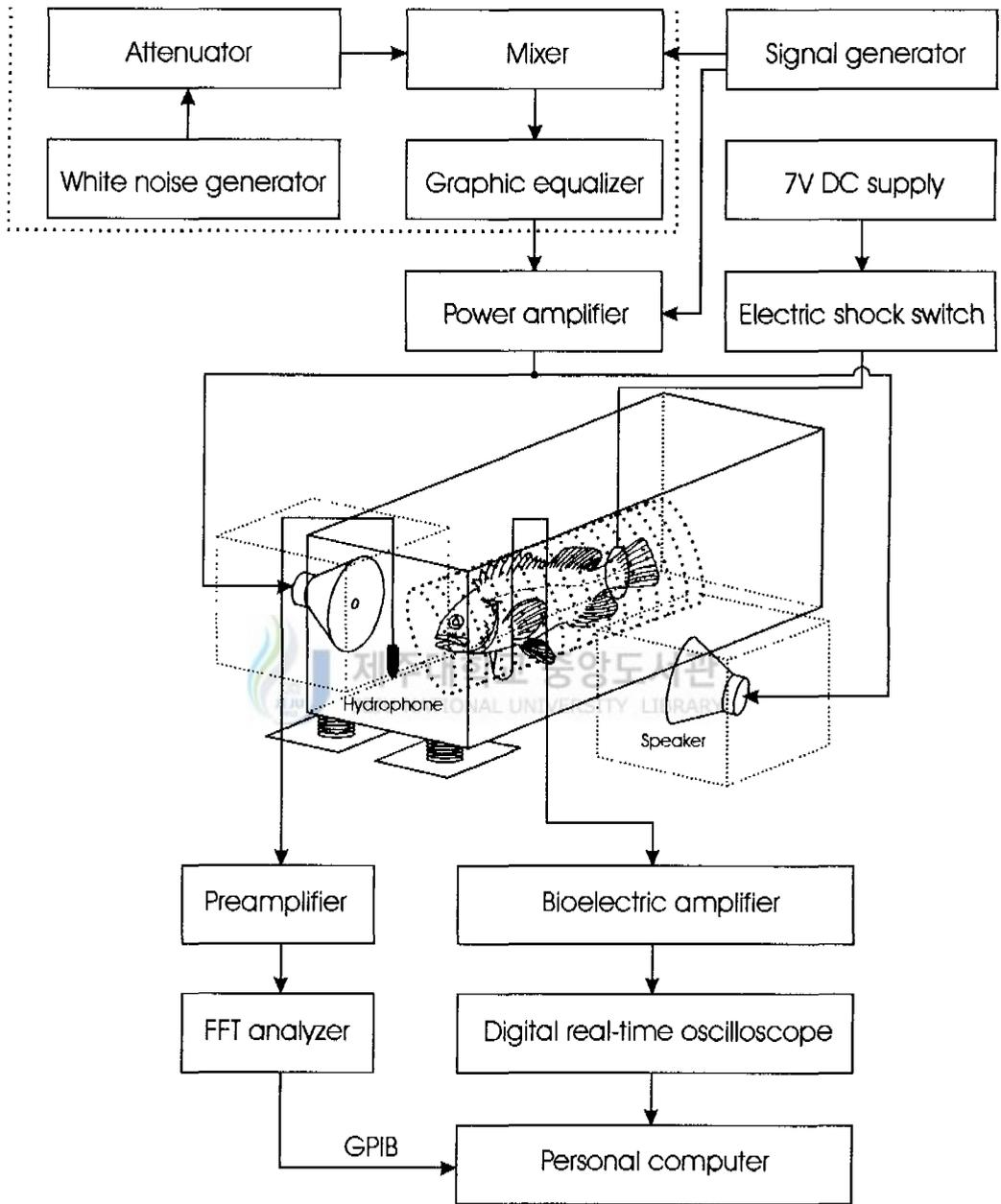


Fig. 3-1. Block diagram of equipments used in the experiment.

Table 3-1. Specifications of instruments used for measurement and analysis of auditory characteristics.

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

Table 3 1. Continued.

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 : ± 20 dB Maximum voltage gain : 84dB
Graphic equalizer (Inkel, EQ-9231)	Frequency range : 20Hz to 20kHz Equalizer level : ± 12 dB S/N ratio : upper 80dB

위하여 백색 잡음 레벨을 각각 73dB, 78dB, 83dB의 3단계로 설정하여 방성할 수 있도록 감쇄기(Kenwood, RA-920)를 백색 잡음 발생기와 함께 연결하여 백색 잡음을 단계별로 발생시켰다.

3. 음향 학습 방법

조피블락, 블락, 썸뱅이, 자리돔은 실험어 고정 장치 안에 위치시켜서, 실험 기간 중에 어체의 요동에 의한 음압차가 발생하지 않고 일정한 음압을 감지할 수 있도록 실험 수조내에 고정하였으며, 음향 학습은 전극을 삽입하고 나서 약 12시간 이상 경과한 후 음향과 전기 자극을 병용해서 실시하였다. Fig. 3-2와 Fig. 3-3에 나타낸 것과 같이 측정 주파수 중 하나의 학습음을 음압 약 120~130dB(0dB = 1 μ Pa)의 크기로 5초 동안 방성하면서 방성 개시부터 3초 경과한 후에 직류 전압 7V를 펄스폭 0.1초의 전기 자극을 실험어 고정 장치 안쪽의 양측 면에 부착한 동선 전극으로 실험어의 꼬리 부분에 전기 자극을 가할 수 있도록 하였다. 이 전기 자극은 직류 전원 장치(Tektronix, PS2520G)를 사용하여 고정 상자 뒤쪽에 전선을 감아 이용하였으며, 방어의 경우 실험 수조의 크기가 실험어의 체장의 2배 정도밖에 되지 않는 좁은 공간인데 비하여 실험어의 행동 범위가 광범위한 특성을 감안하여 수조안에 실험어 고정 장치와 같은 별도의 행동 구속 장치는 사용하지 않고 꼬리에 전기 자극이 가해지도록 직접 꼬리에 전선을 감은 후 어느 정도의 유연이 가능하도록 하였다. 이들 실험어 모두 흉부강에 꽂은 전극침으로부터 생체용 증폭기(NK, VC-11)를 통하여 주파수 분석기(B&K, 2143)에서 실험어의 심전도 파형 및 심박 간격을 측정·저장하였으며, 저장된 자료는 GPIB 보드를 통하여 컴퓨터에 입력한 후 심박 파형 해석에 이용하였다.

학습음 방성 및 전기 자극에 대한 반복 과정은 Fig. 3-2와 같은데, Fig. 3-2(b)는 학습음을 5초 동안 공중 스피커로 방성한 파형으로 Fig. 3-2(a)와

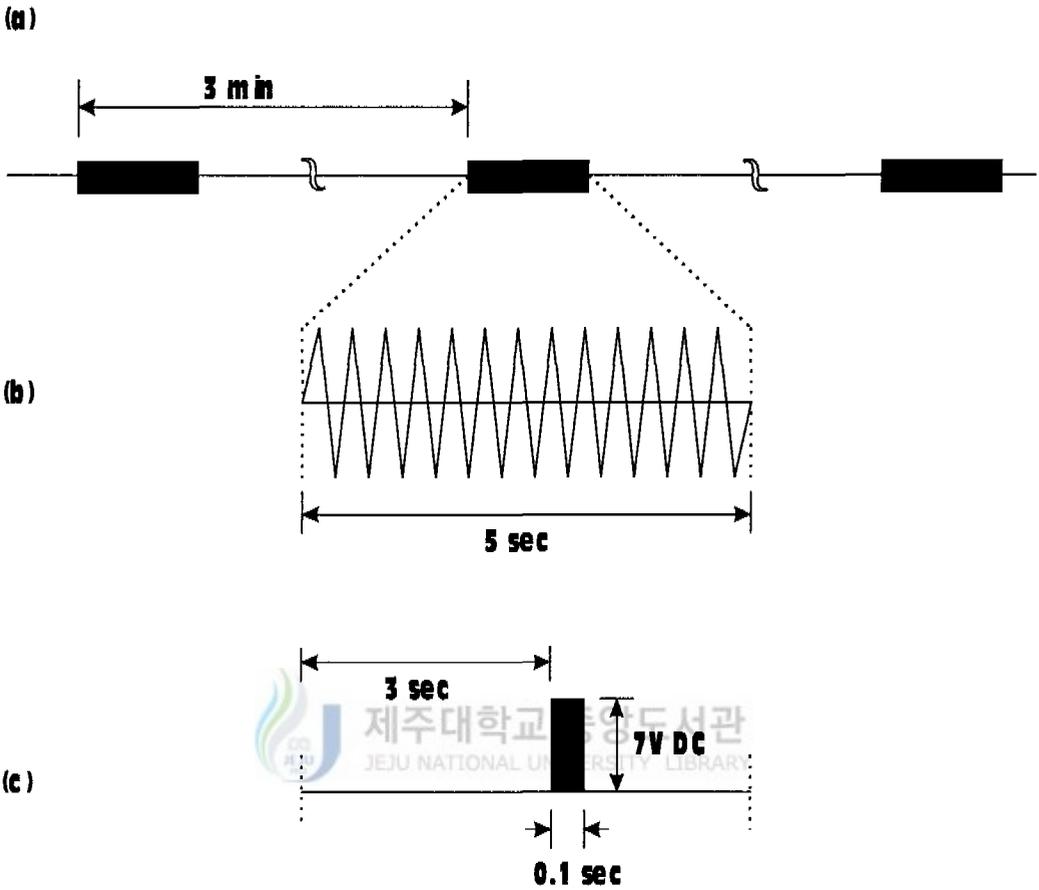


Fig. 3-2. The time sequences for emissions of pure sound and electric shocks.

(a) Time sequence for the emission of pure sound stimulus.

(b) Emission time of pure sound stimulus.

(c) Pulse for electric shock stimulus.

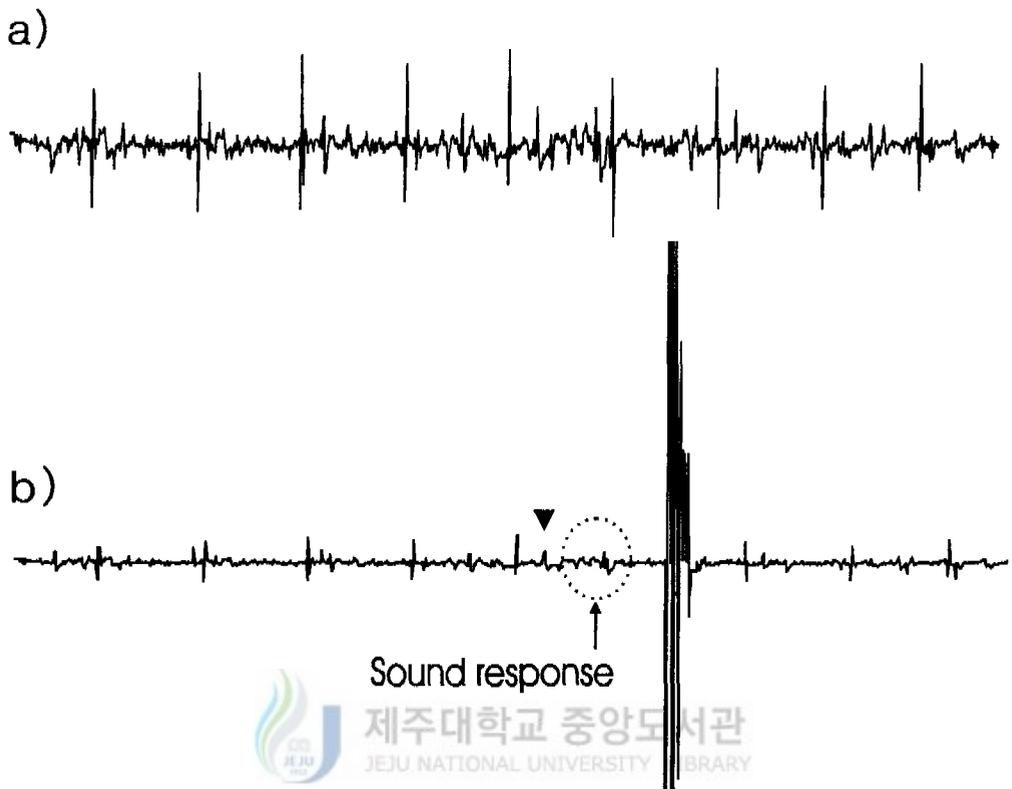


Fig. 3-3. Electrocardiograms showing typical cardiac responses to a pure sound stimulus.

(a) Before conditioned with a pure sound stimulus.

(b) After conditioned with a pure sound stimulus.

(▼ Speaker on).

같이 3분마다 학습음을 방성하였다. Fig. 3-2(c)는 학습음 방성 3초 후에 직류 전압 7V의 전기 자극을 약 0.1초 동안 준 것으로, 이는 학습음 방성 도중에 전기 충격이 올 것이라는 것을 인식시키는 음향 학습 과정이다.

음향 학습 확인은 실험어의 심전도를 이용하였으며 Fig. 3-3은 음향 학습을 실시하기 전·후의 실험어의 심전도로서, Fig. 3-3(a)는 음향 학습을 실시하기 전의 심전도이며, 심박 간격이 일정한데 비하여 Fig. 3-3(b)는 음향 학습이 완료된 후의 심전도로서 학습음을 방성하기 전보다 방성한 후에 심박 간격이 길어졌을 때 학습음을 인식하였다고 판단하였다. 이와 같이 각 실험어를 측정 주파수에서 3분 간격으로 반복하여 명확하게 심박 간격이 연속해서 5회 이상 길어지면 음향 학습이 완료된 것으로 간주하였다.

4. 청각 문턱치

청각 문턱치 측정은 음향 학습이 완료된 실험어를 약 30여분 동안 휴식한 후 청각 문턱치를 측정하기 시작하였다. 방성음의 음압은 130dB를 기준으로 증감시켜 가면서 심전도를 오실로스코프에 기록한 후 음향 자극에 대한 어류의 반응 유무를 조사하였다. 심전도는 학습음 방성 개시 약 50초 이전부터 오실로스코프에 입력해서 함께 20초 동안의 데이터를 기록하였으며, 그 중에서 방성 전과 방성 후의 심박 간격을 관찰하였다. 방성 전의 심박 간격의 최대값을 중심으로 방성 중의 심박 간격에 변화가 있으면 측정 주파수의 음을 인식하는 것으로 판정하였으며, 그 반대의 경우는 인식하지 못한 것으로 판정하였다. 방성음을 인식하였을 때에는 약 3dB 내리고 인식하지 않을 때에는 약 3dB 올리는 계단법으로 청각 문턱치를 구하였다. 이때 음향 학습 완료 후에는 전기 충격을 가하지 않았다. 방어는 조건 학습이 완료되면 학습시간과 같은 시간 간격으로, 6피는 각 주파수별 순음을 들을 수 없다고 판단되는 낮은 음압에서부터 점점 음압을 높이면서 주파수의 순음을 방성하였고 이때 전기

충격을 가하지는 않았다. 그리고 7미는 학습음의 음압에서부터 측정 주파수의 방성 음압을 3~6dB씩 낮추면서 측정음을 인식하였을 때 전기 충격을 주었다. 이때 실험어가 반응을 일으키는 그 최소 음압을 청각 문턱치로 하였다.

실험어들 모두 방성 중에 실험어의 심박 간격이 우연히 벌어지는 오차를 줄이기 위해서 연속해서 2번 이상 방성음을 인식하였을 때 청각 문턱치의 기준으로 삼았고, 오실로스코프에 기록된 20초 동안의 심전도로부터 방성 전의 약 12~15초 동안의 심박 간격과 방성 중의 5초 동안의 심박 간격을 서로 비교하였다.

5. 청각 임계비

청각 임계비 산출은 단위 주파수 대역에 포함되어 있는 성분의 크기가 주파수와 관계없이 일정한 백색 잡음을 마스킹음으로 하고, 또 백색 잡음 중 마스킹에 관여하는 부분의 power는 청각 문턱치가 되는 신호음의 power와 같다는 가정으로, 청각 임계비(Critical ratio, CR)측정은 청각 문턱치에 사용한 학습음의 음압을 T, 백색 잡음의 스펙트럼의 레벨을 S라 할 때 $CR = T - S$ 로 나타내었다. 청각 문턱치(T)는 앞에서와 같은 방법으로 측정하였는데, 음향 학습에 있어서 조피볼락과 솜뱅이는 주파수 200Hz의 순음, 볼락과 자리돔은 주파수 300Hz의 순음을 학습음으로 사용하였다. Hatakeyama(1989)는 참돔의 청각 문턱치에 영향을 미치는 배경 잡음의 스펙트럼 레벨을 약 70dB 이상으로 보고한 것을 근거로 하여 이 실험에서는 백색 잡음의 스펙트럼 레벨(S)을 음압 73, 78, 83dB의 3단계로 설정하여 사용하였다.

6. 청각 능력 지수

어류의 상호간 청각 능력을 쉽게 비교하기 위하여 Schellart and Popper

(1992)는 청각 능력 지수(Hearing Index, HI)를 산출하는 방법을 (1)식과 같이 제안하였다. 이 방법으로 조피불락, 솜뿔이, 불락, 자리뚝, 방어에 대하여도 청각 능력 지수를 산출하였다. 청각 능력 지수의 산출은 이미 구해진 실험어의 배경 잡음과 백색 잡음의 청각 문턱치를 기준으로 하여 구하였다. 또한 청각 문턱치에서 구할 수 없는 계수는 각 측정 주파수에서의 청각 문턱치를 기준으로 하여 추정하였다. 이렇게 구해진 계수로 (1)식에 대입하여 실험어의 청각 능력 지수를 구하였다.

$$HI = \left(\frac{f_b}{Q_{10dB}} \right)^{0.5} \times 10^{\left(\frac{-S_b}{20} \right)} \quad \text{----- (1)}$$

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

또한 S_b 는 가장 낮은 청각 문턱치를 갖는 주파수에서의 음압을 CGS 단위로 나타낸 청각 문턱치를 나타낸다. 이상에서와 같이 (1) 식에서 전항

$\left(\frac{f_b}{Q_{10dB}} \right)^{0.5}$ 은 해당 어류의 가청 주파수 범위를, 뒤쪽 항 $10^{\left(\frac{-S_b}{20} \right)}$ 은 청각 감도를 표현하는 무차원 함수이다.

IV. 결 과

1. 청각 문턱치

실험어의 청각 문턱치 측정시 실험 수조의 배경 잡음은 주파수 60Hz에서 최대 음압 70~80dB의 레벨을 나타내어 비교적 강한 성분을 갖는 전기 잡음과 교류기기에서 발생하는 진동음이 있었으나 주파수가 높을수록 감소하였다. 특히 고주파수대에서는 음압 50dB 이하의 낮은 배경 잡음 스펙트럼 레벨을 나타내었다. 또 측정 시각의 차이에 따른 배경 잡음 스펙트럼 레벨의 변동은 측정 주파수 200Hz 이상에서는 거의 없었고, 측정 주파수 200Hz 이하에서도 편차는 적게 나타났다.

1) 조피블락

청각 문턱치를 측정한 조피블락의 결과는 Table 4-1 및 Fig. 4-1과 같고, 음향 조건 학습한 음압과 각 측정 주파수마다의 청각 문턱치의 평균 및 표준편차도 함께 나타내었다. 조피블락은 측정 주파수 80~800Hz까지의 학습음을 인식하고 있었는데, Fig. 4-1에서 보는 바와 같이 조피블락의 평균 청각 문턱치는 측정 주파수가 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz일 때 음압이 각각 95dB, 89dB, 93dB, 99dB, 125dB, 125dB이었으며, 측정 주파수 100Hz에서 음압 89dB로 가장 낮고 측정 주파수 500Hz, 800Hz에서 음압 125dB로 가장 높게 나타났다. 측정 주파수가 300Hz에서 500Hz로 변화할 때 현저하게 증가하였으며, 측정 주파수 500Hz에서 800Hz에서 청각 문턱치가 다소 비슷한 경향을 나타냈다. 실험에 사용한 측정 주파수에서 학습음에 대한 조피블락의 반응과 비 학습음에 대한 반응은 주파수와 관계가 없는 것으로 나타났다.

조피블락은 측정 주파수 80~200Hz의 순음과 전기 충격에 대한 음향 학습

Table 4-1. Each measuring and medium value of auditory threshold of jacopever.

Frequency(Hz)	Auditory threshold (dB)								Mean Value	Standard deviation
80	97	107	93	83	93	93	102	93	95	7.20
100	93	93	93	83	93	83	93	83	89	5.10
200	83	93	93	93	98	93	98	93	93	4.47
300	88	102	102	97	97	102	102	102	99	5.01
500	119	123	123	128	123	128	128	123	125	3.43
800	119	127	127	127	127	121	127	127	125	3.25

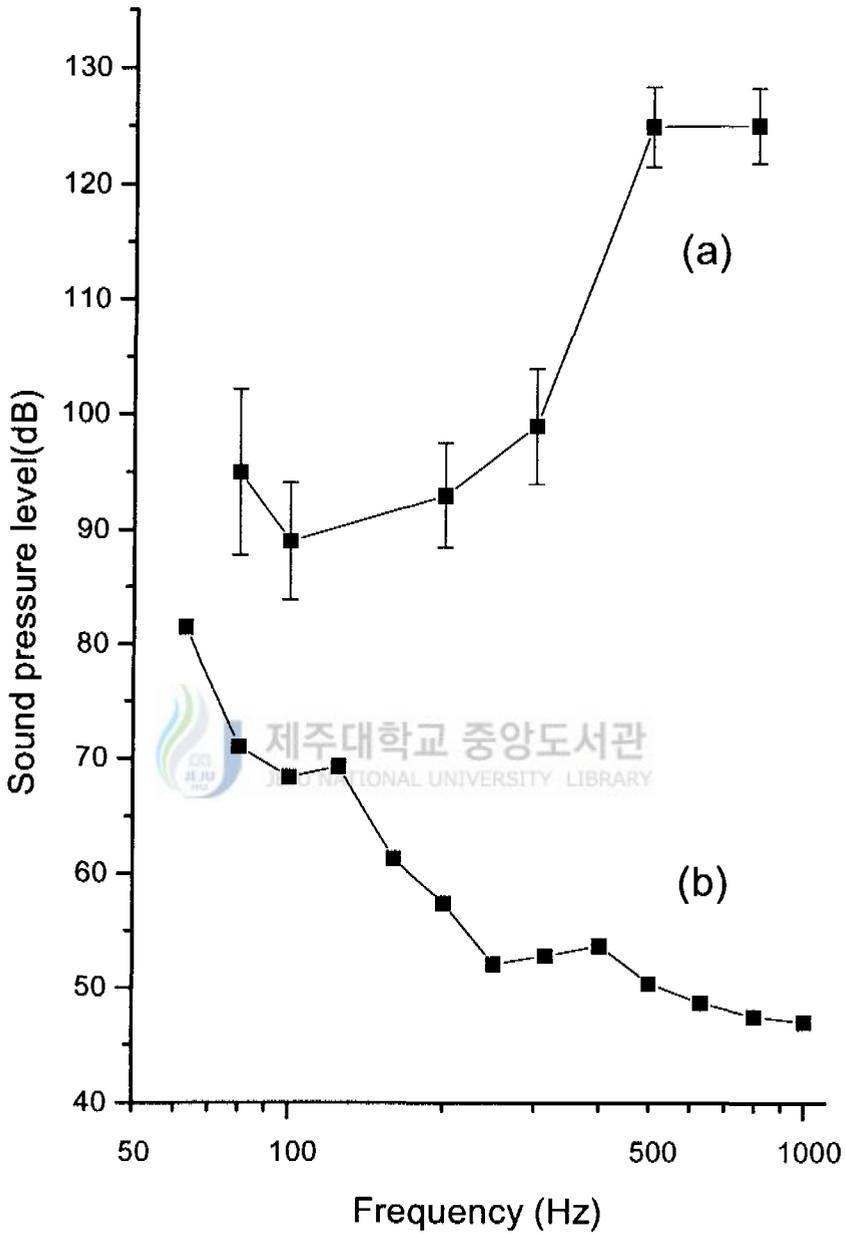


Fig. 4-1. Audiogram of jacopever and spectrum level of the background noise.
 a) Auditory threshold(dB re $1 \mu Pa$).
 b) Background noise spectrum level(dB re $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$).

으로부터 학습음을 인식하면 학습음 방성과 동시에 심박 간격이 현저하게 벌어지는 현상이 나타난 반면에 측정 주파수 300Hz 이상의 학습음에서는 여러 번의 방성과 전기 충격에 의한 음향 학습도 쉽게 이루어지지 않았다.

2) 쏘뱅이

청각 문턱치를 측정한 쏘뱅이의 결과는 Table 4-2 및 Fig. 4-2와 같고 음향 조건 학습한 음압과 각 측정 주파수마다의 청각 문턱치 평균 및 표준편차도 함께 나타내었다. 쏘뱅이는 측정 주파수 80~800Hz까지의 학습음을 인식하고 있었는데, Fig. 4-2에서 보는 바와 같이 쏘뱅이의 평균 청각 문턱치는 측정 주파수가 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz일 때 음압이 각각 93dB, 92dB, 93dB, 96dB, 127dB, 123dB이었으며, 측정 주파수 100Hz에서 음압 92dB로 가장 낮고 측정 주파수 500Hz에서는 음압 127dB로 다른 측정 주파수에 비하여 높게 나타나고 있었다. 측정 주파수가 300Hz에서 500Hz로 변화할 때 급격하게 나빠지고 있었으며, 측정 주파수 800Hz에서 청각 문턱치가 약간 감소하는 경향을 나타냈다. 실험에 사용한 측정 주파수에서 학습음에 대한 쏘뱅이의 반응과 비 학습음에 대한 반응은 측정 주파수와 관계가 없는 것으로 나타났다.

쏘뱅이는 조피볼락과 마찬가지로 측정 주파수 80~200Hz의 순음과 전기 충격에 대한 음향 학습으로부터 학습음을 인식하면 학습음 방성과 동시에 심박 간격이 현저하게 벌어지는 현상이 나타난 반면에, 측정 주파수 300Hz 이상의 학습음에서는 여러 번의 방성과 전기 충격에 의한 음향 학습도 쉽게 이루어지지 않았다.

Table 4-2. Each measuring and medium value of auditory threshold of scorpion fish.

Frequency(Hz)	Auditory threshold (dB)										Mean Value	Standard deviation
80	93	88	88	97	93	93	93	88	104	97	93	5.20
100	93	83	93	93	98	83	93	88	98	98	92	5.64
200	98	88	88	103	88	83	93	93	98	103	93	6.61
300	97	93	88	102	102	97	93	93	93	102	96	4.90
500	128	126	131	131	128	128	121	123	126	126	127	3.14
800	129	120	119	121	120	129	124	120	120	127	123	4.13

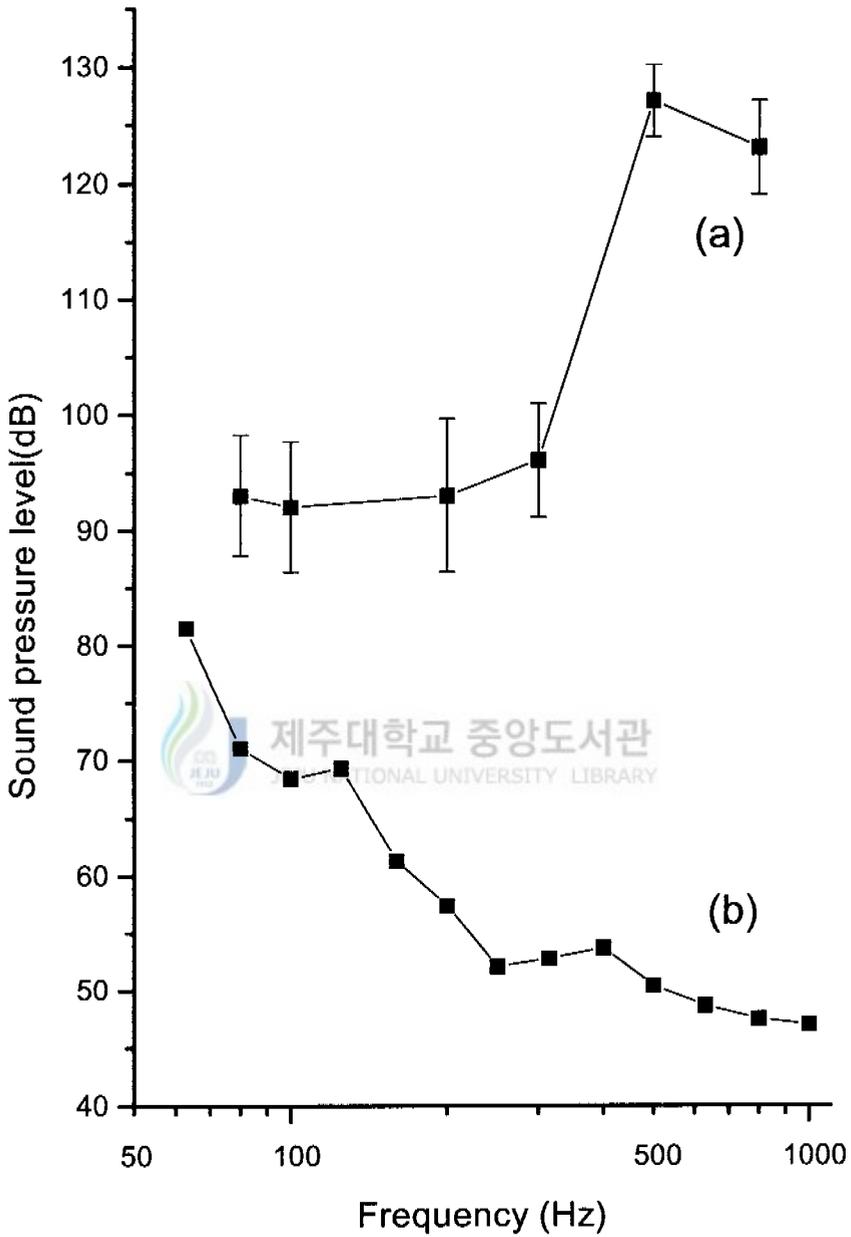


Fig. 4 2. Audiogram of scorpion fish and spectrum level of the background noise.

a) Auditory threshold(dB re $1 \mu Pa$).

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

3) 불량

청각 문턱치를 측정한 불량자의 결과는 Table 4-3 및 Fig. 4-3과 같고, 음향 조건 학습한 음압과 각 측정 주파수마다의 청각 문턱치 평균 및 표준편차도 함께 나타내었다. 불량자는 측정 주파수 80~800Hz까지의 학습음을 인식하고 있었는데, Fig. 4-3에서 보는 바와 같이 불량자의 평균 청각 문턱치는 측정 주파수가 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz일 때 음압이 각각 102dB, 103dB, 99dB, 96dB, 116dB, 122dB이었으며, 측정 주파수 300Hz에서 음압 96dB로 가장 낮고 측정 주파수 800Hz에서 음압 122dB로 가장 높게 나타내고 있었고, 측정 주파수 300Hz를 피크로 하여 양측의 청각 문턱치의 모양은 V자 모양을 나타내고 있었다. 측정 주파수 300Hz에서 500Hz로 변화할 때 급격하게 나빠지고 있었고 측정 주파수 500Hz에서의 문턱치가 800Hz보다 감소하는 경향을 나타냈다. 실험에 사용한 각 주파수에서 학습음에 대한 불량자의 반응과 비 학습음에 대한 반응은 주파수와 관계가 없는 것으로 나타났다.

불량도 솜뎡이와 마찬가지로 측정 주파수 200~300Hz의 순음과 전기 충격에 대한 음향 학습으로부터 학습음을 인식하면 학습음 방성과 동시에 심박 간격이 현저하게 벌어지는 현상이 나타난 반면에, 측정 주파수 300Hz 이상의 학습음에서는 여러 번의 방성과 전기 충격에 의한 음향 학습도 쉽게 이루어지지 않았다.

Table 4-3. Each measuring and medium value of auditory threshold of black rockfish.

Frequency(Hz)	Auditory threshold (dB)						Mean Value	Standard deviation
80	106	103	103	93	105	103	102	4.67
100	103	98	98	101	106	109	103	4.24
200	95	98	98	102	96	102	99	3.00
300	94	95	97	97	94	94	96	2.27
500	118	121	112	123	108	.	116	6.27
800	118	124	124	126	117	123	122	3.63

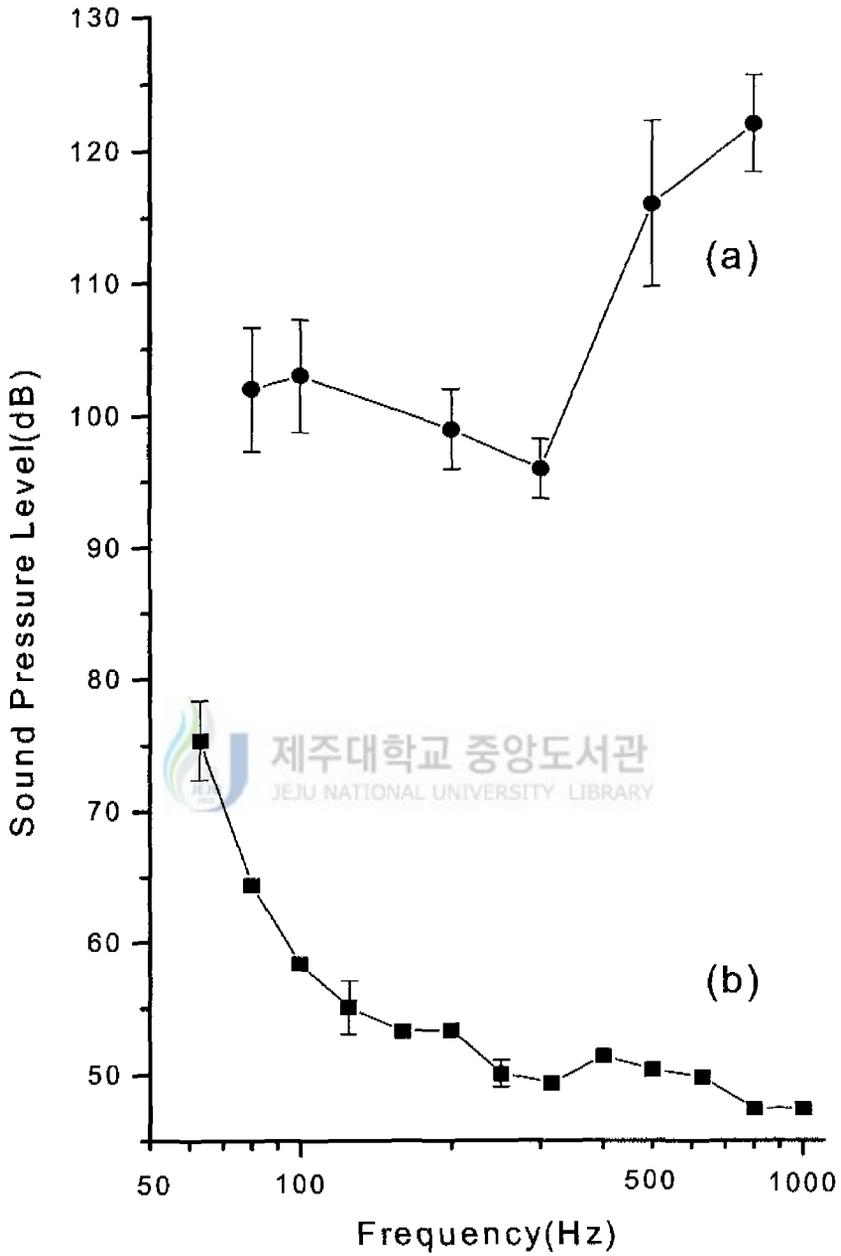


Fig. 4-3. Audiogram of black rockfish and spectrum level of the background noise.

a) Auditory threshold(dB re 1 μ Pa).

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

4) 자리돔

청각 문턱치를 측정된 자리돔의 결과는 Table 4-4 및 Fig. 4-4와 같고 음향 조건 학습한 음압과 각 측정 주파수마다의 청각 문턱치 평균 및 표준편차도 함께 나타내었다. 자리돔은 측정 주파수 80~800Hz까지의 학습음을 인식하고 있었는데, Fig. 4-4에서 보는 바와 같이 자리돔의 평균 청각 문턱치는 측정 주파수가 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz일 때 음압이 각각 100dB, 99dB, 91dB, 88dB, 96dB, 114dB이었으며, 측정 주파수 300Hz에서 음압 91dB로 가장 낮고 측정 주파수 800Hz에서 음압 114dB로 가장 높게 나타나고 있었다. 측정 주파수 300Hz를 피크로 하여 양측의 측정 주파수에서 청각 문턱치가 높아지는 청각 문턱치의 모양은 V자 모양을 나타내고 있으며 측정 주파수가 300Hz에서 500Hz로 변화할 때 급격하게 나빠지고 있었다.

자리돔도 불락과 마찬가지로 측정 주파수 200~300Hz의 순음과 전기 충격에 대한 음향 학습으로부터 학습음을 인식하면 학습음 방성과 동시에 심박 간격이 현저하게 벌어지는 현상이 나타난 반면에, 그 외의 학습음에서는 여러 번의 방성과 전기 충격에 의한 음향 학습도 쉽게 이루어지지 않았다.

Table 4-4. 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

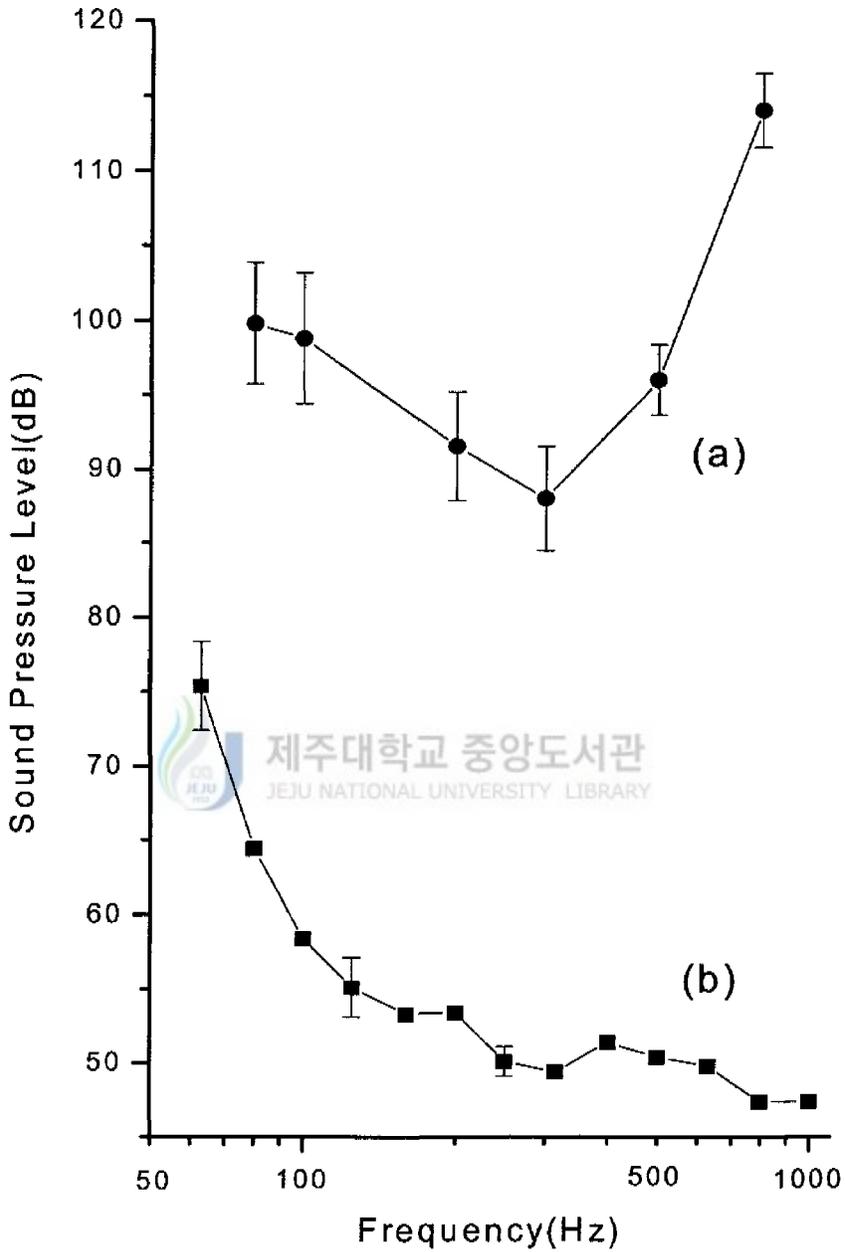


Fig. 4-4. Audiogram of coralfish and spectrum level of the background noise.
 a) Auditory threshold(dB re 1 μ Pa).
 b) Background noise spectrum level(dB re 1 μ Pa/ \sqrt{Hz}).

5) 방어

청각 문턱치를 측정된 방어의 결과는 Table 4-5 및 Fig. 4-5와 같고 음향 조건 학습한 음압과 각 측정 주파수마다의 청각 문턱치 평균 및 표준편차도 함께 나타내었다. 방어는 측정 주파수 80~800Hz까지의 학습음을 인식하고 있었으며 Fig. 4-5에서 보는 바와 같이 방어의 평균 청각 문턱치는 측정 주파수가 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz일 때 음압이 각각 99dB, 95dB, 96dB, 99dB, 101dB, 115dB이었으며, 측정 주파수 100Hz에서 음압 95dB로 가장 낮고 측정 주파수 800Hz에서 음압 115dB로 가장 높게 나타났다.

학습음 방성에 의한 조건 학습 완료 후 측정 주파수에서 방성 음압을 낮은 쪽에서 점점 강도를 높여 측정된 6미와 계속 낮추면서 측정된 7미의 청각 문턱치에 대하여 측정 주파수별로 나타낸 것이 Fig. 4-6이다. 방어의 체장과 측정 주파수와의 상관관계는 없는 것으로 나타났다. 측정 방법을 달리하여, 학습 완료 후 전기 충격을 가하지 않고 낮은 음압에서부터 방성 음압을 올리면서 측정된 결과 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 음압이 각각 98dB, 97dB, 99dB, 104dB, 105dB, 121dB이었고, 전기 충격과 함께 높은 음압에서 점점 낮은 음압으로 방성하여 심박변화가 없을 때까지 실시하여 구한 청각 문턱치는 음압이 각각 99dB, 93dB, 93dB, 96dB, 98dB, 110dB로 측정 주파수 80Hz를 제외한 전 측정 주파수에서 음압을 높이면서 측정된 값보다 음압이 약 4~11dB 정도 낮게 나타나고 있었다. 또한 표준편차 역시 올리면서 구한 값보다 내리면서 구한 값이 음압 1~4dB 정도 낮게 나타났다.

Table 4-5. Each measuring and medium value of auditory threshold of yellow tail.

Frequency(Hz)	Auditory threshold (dB)														Mean Value	Standard deviation
80	97	104	92	107	92	97	97	92	97	97	104	102	102	99	4.83	
100	97	100	92	97	100	92	92	92	92	92	92	92	97	95	3.12	
200	92	105	88	105	102	102	92	88	92	97	88	97	92	96	6.37	
300	106	101	101	110	101	101	92	92	96	96	96	96	96	100	5.16	
500	107	102	93	107	112	107	97	97	93	97	97	102	97	101	5.93	
800	120	120	120	118	123	120	114	109	107	107	109	114	109	115	5.98	

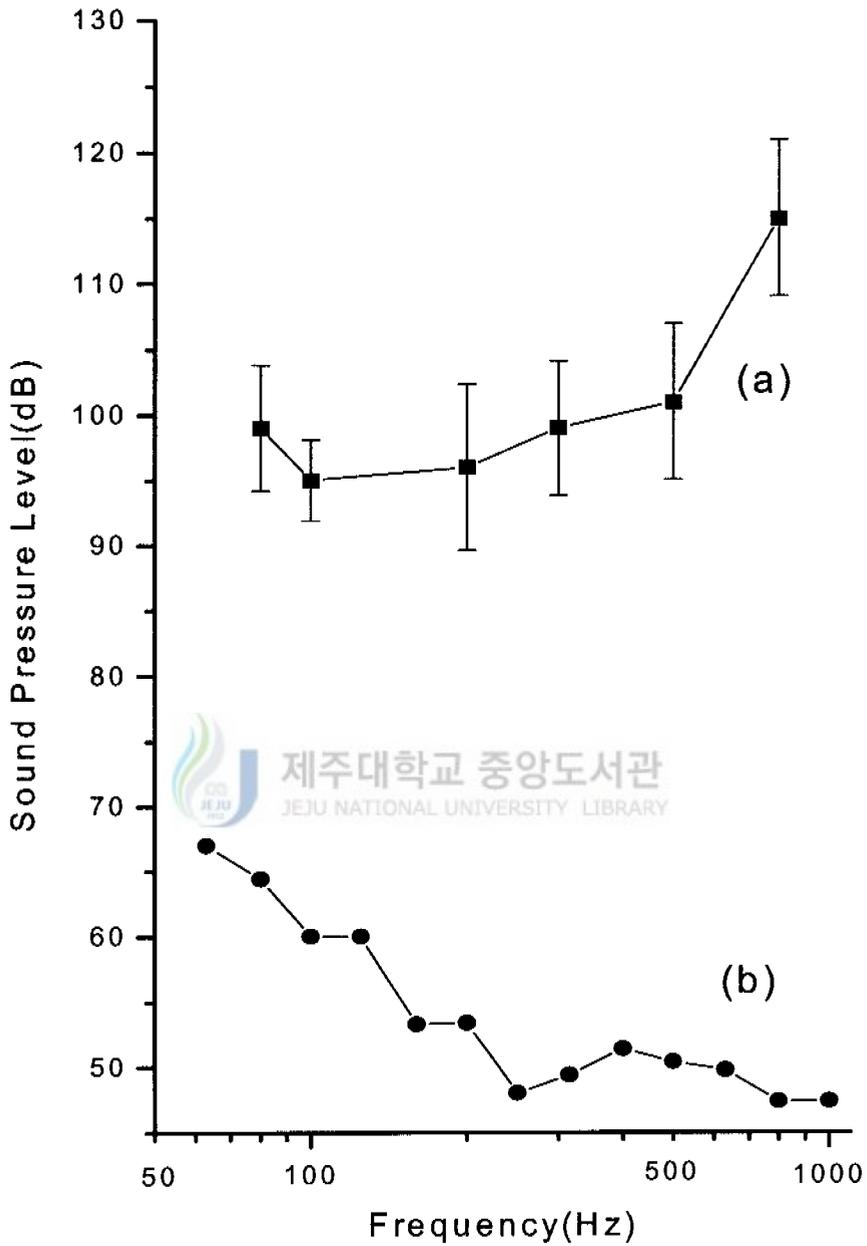


Fig. 4-5. Audiogram of yellow tail and spectrum level of the background noise.

a) Auditory threshold(dB re 1 μ Pa).

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

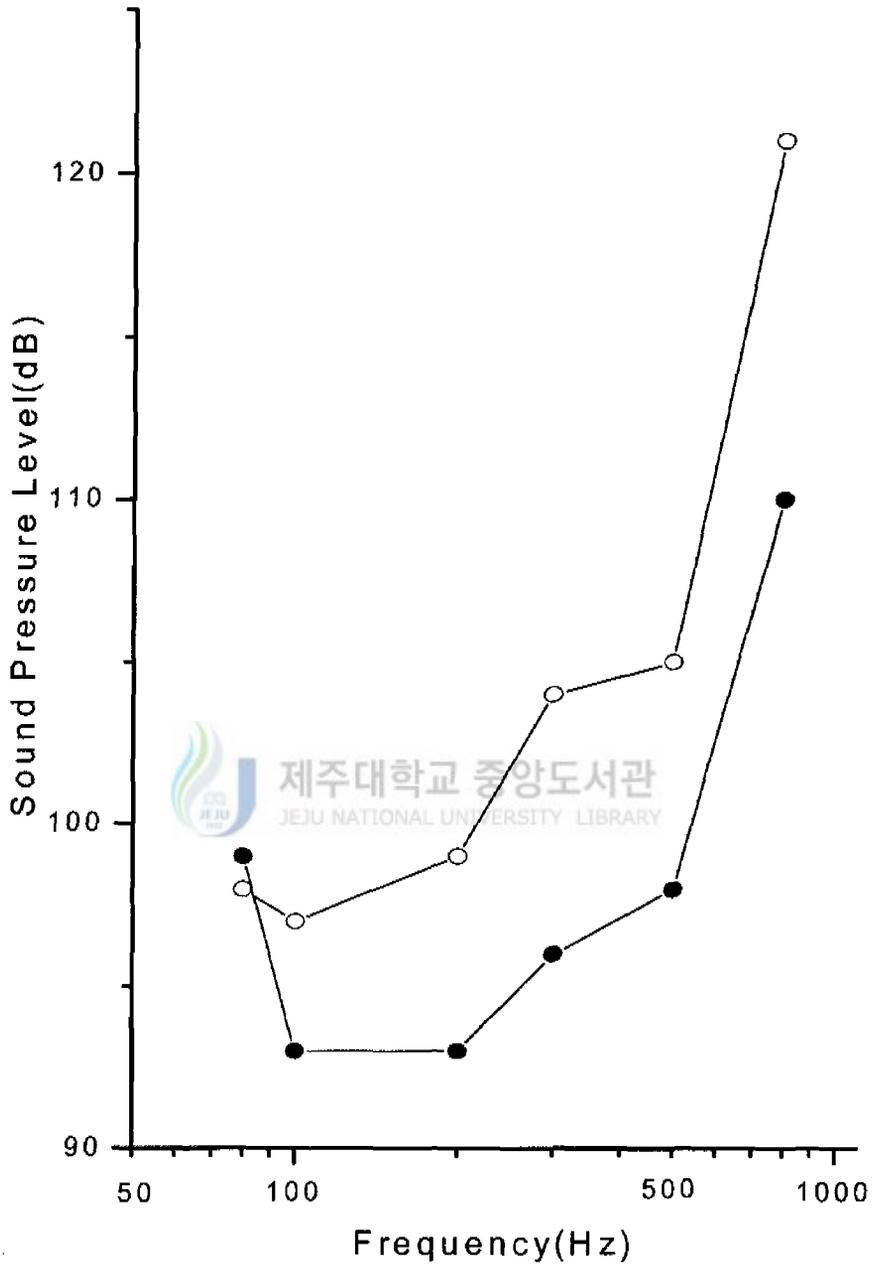


Fig. 4-6. Auditory thresholds in case that sound emission levels are raised gradually to 6 fishes of yellow tails(○) and in case that sound emission levels are lowered down gradually to 7 fishes of yellow tails(●).

2. 청각 임계비

실험시에 측정된 실험 수조 안의 배경 잡음과 청각 임계비 측정을 위한 백색 잡음 발생시에 측정된 실험 수조내의 백색 잡음 레벨은 Fig. 4-7과 같다. 배경 잡음 레벨은 전원의 영향을 많이 받는 주파수 60Hz에 피크를 보였으나 주파수가 높아질수록 감소하고 있었다. 백색 잡음 레벨의 변화에 따른 실험어의 청각 문턱치를 측정하기 위하여 감쇄기를 이용한 백색 잡음 평균 음압은 73dB, 78dB, 83dB이었고, 백색 잡음 스펙트럼 레벨은 전기 잡음이 포함된 주파수 60Hz를 제외하고 거의 평평한 주파수 특성을 나타내고 있었다.

1) 조피블락

백색 잡음에서 조피블락의 청각 문턱치를 측정된 결과를 Fig. 4-8, 4-9, 4-10, 4-11에 나타내었다. Fig. 4-8은 실험시의 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 73dB, 78dB, 83dB로 단계적으로 변화시켰을 때 조피블락의 청각 문턱치를 나타낸 것으로 백색 잡음 발생전과 백색 잡음 발생후의 청각 문턱치를 비교하면 백색 잡음의 음압 상승에 따라 청각 문턱치의 값도 증가하는 경향이 보여 각각의 배경 잡음 스펙트럼 레벨에서 모든 측정 주파수대에 대해 배경 잡음 발생전보다도 청각 문턱치가 증가하여 명확히 마스킹이 일어나고 있었다. 특히, 측정 주파수 300Hz에서 마스킹 현상이 뚜렷이 나타나고 있었다. 백색 잡음을 음압 83dB로 방성하였을 때 정숙시에 비해 음압 7~20dB 증가하여 전체 측정 주파수에서 백색 잡음에 의한 영향이 현저히 나타나고 있고, 가장 낮은 음압 73dB의 백색 잡음 발생시에도 측정 주파수 80Hz를 제외한 청각 문턱치는 정숙시와 차이를 보이고 있었다. 정숙시에 비해서 청각 문턱치가 큰 차이로 증가한 것은 측정 주파수 300Hz에서 음압 73dB의 백색 잡음 발생시였으며, 백색 잡음으로 학습음을 마스킹하였을 때의 청각 문턱치에서 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 뺀 청각 임계비는 Fig. 4-9에 나타내었다. 조피블락

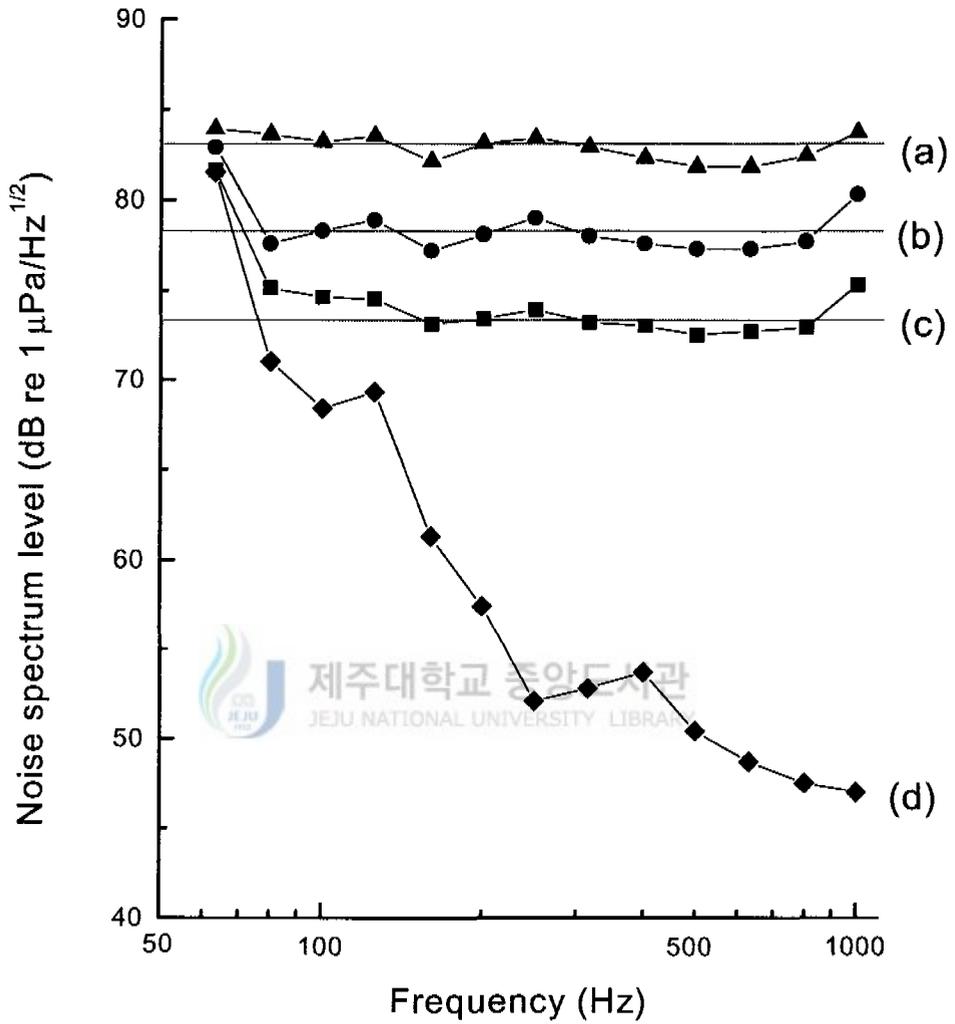


Fig. 4-7. Spectrum level of noise in the experimental tank.

- a) White noise spectrum level of 83dB.
- b) White noise spectrum level of 78dB.
- c) White noise spectrum level of 73dB.
- d) Ambient noise spectrum level.

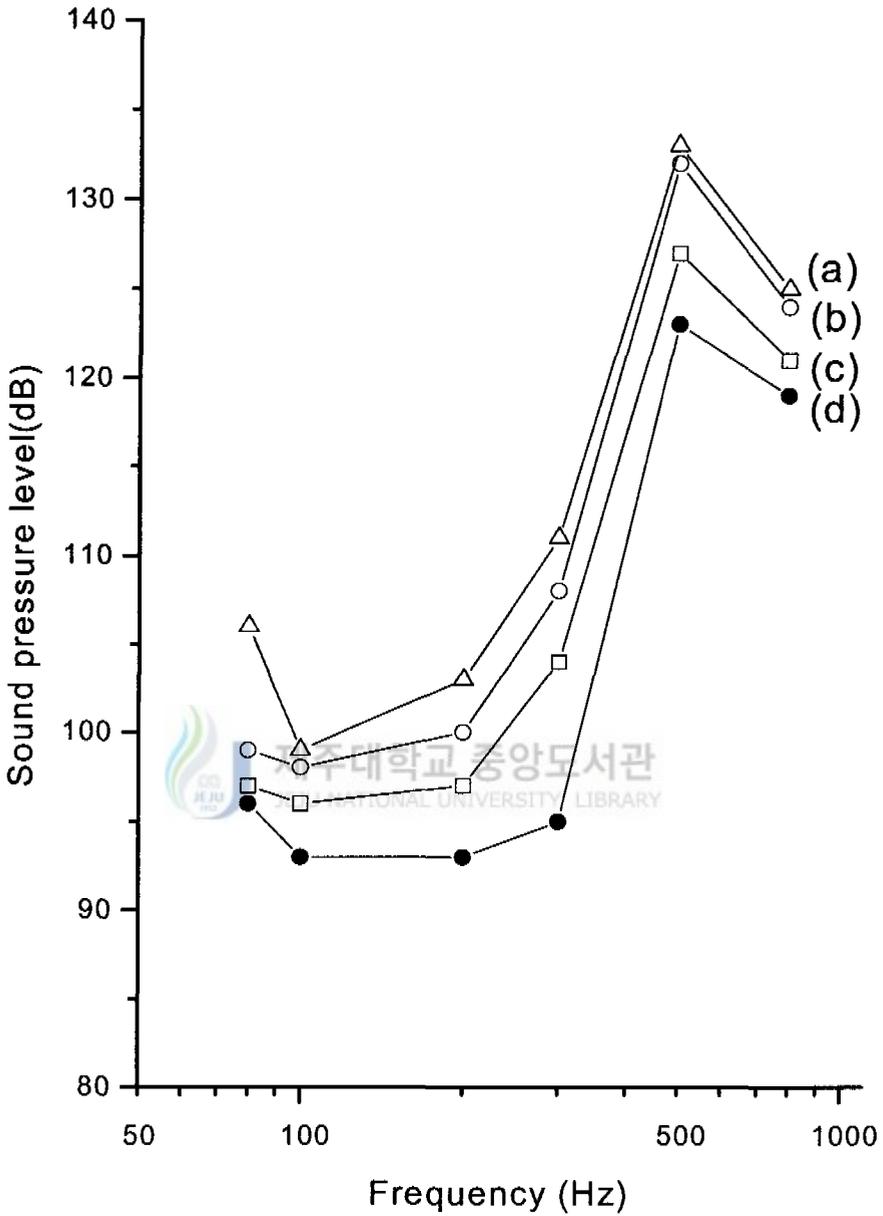


Fig. 4-8. Audiogram of jacobever with white noise spectrum level
 a) With white noise spectrum level of 83dB(△).
 b) With white noise spectrum level of 78dB(○).
 c) With white noise spectrum level of 73dB(□).
 d) With ambient noise(●).

의 청각 임계비는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 음압이 각각 22dB, 19dB, 22dB, 30dB, 54dB, 46dB로 되어 대체로 주파수가 높을수록 크게 나타나고 있었고, 조피볼락의 청각이 백색 잡음에 의해서 마스킹된 상태에서는 각각의 백색 잡음 스펙트럼 레벨보다도 약 19~54dB 이상 큰 음압으로 학습음을 방성하는 것이 필요하였다.

조피볼락의 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨과의 관계를 측정 주파수마다 정리한 것이 Fig. 4-10이다. 조피볼락은 전체 측정 주파수에 있어서 일정 음압 레벨 이상에서는 백색 잡음의 스펙트럼 레벨 상승에 따라 청각 문턱치도 증가하는 모양을 나타내었다. 조피볼락의 청각이 백색 잡음에 마스킹되는 경우 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨과의 변화량(dB)의 사이에는 비례관계가 되므로 dB로 표시한 양자의 관계는 회귀직선으로 나타낼 수가 있으며 이 직선의 기울기는 보통 1에 가깝다. 이것은 청각 임계비가 백색 잡음 레벨에 관계없이 같은 값으로 되는 것을 의미하는 것이다. 따라서, Fig. 4-8에서 백색 잡음이 발생되지 않을 때의 청각 문턱치와 Fig. 4-9에 나타낸 각 측정 주파수의 청각 임계비를 함께 포함할 수 있도록 그래프상에 2개의 직선으로 표시할 경우 청각 문턱치를 종축, 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 횡축으로 하여 각각의 관계를 기울기 1인 회귀직선으로 나타낼 수 있다. 그 결과 측정 주파수 100Hz와 같은 일부 측정 주파수에서 청각 문턱치가 청각 임계비 직선에서 이탈한 것이 보이지만 대략적으로 거의 직선에 가까이 있으며 조피볼락은 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨의 관계에서는 어느 정도의 백색 잡음 레벨까지는 청각 문턱치가 변하지 않고 일정하게 되지만 그 이상의 백색 잡음 레벨에서는 백색 잡음 증가분만큼 청각 문턱치도 증가하였다. 2개의 직선의 교점에서 조피볼락의 청각 특성에 영향을 미치기 시작하는 백색 잡음 스펙트럼 레벨을 구하면 Fig. 4-10의 측정 주파수 300Hz에 있어서는 음압이 대략 65dB 이상일 경우에는 백색 잡음에 의한 영향이 나타났으나 그 외 측정 주파수에 있어서는 백색 잡음 레벨이 70dB 이상으로 높아지면

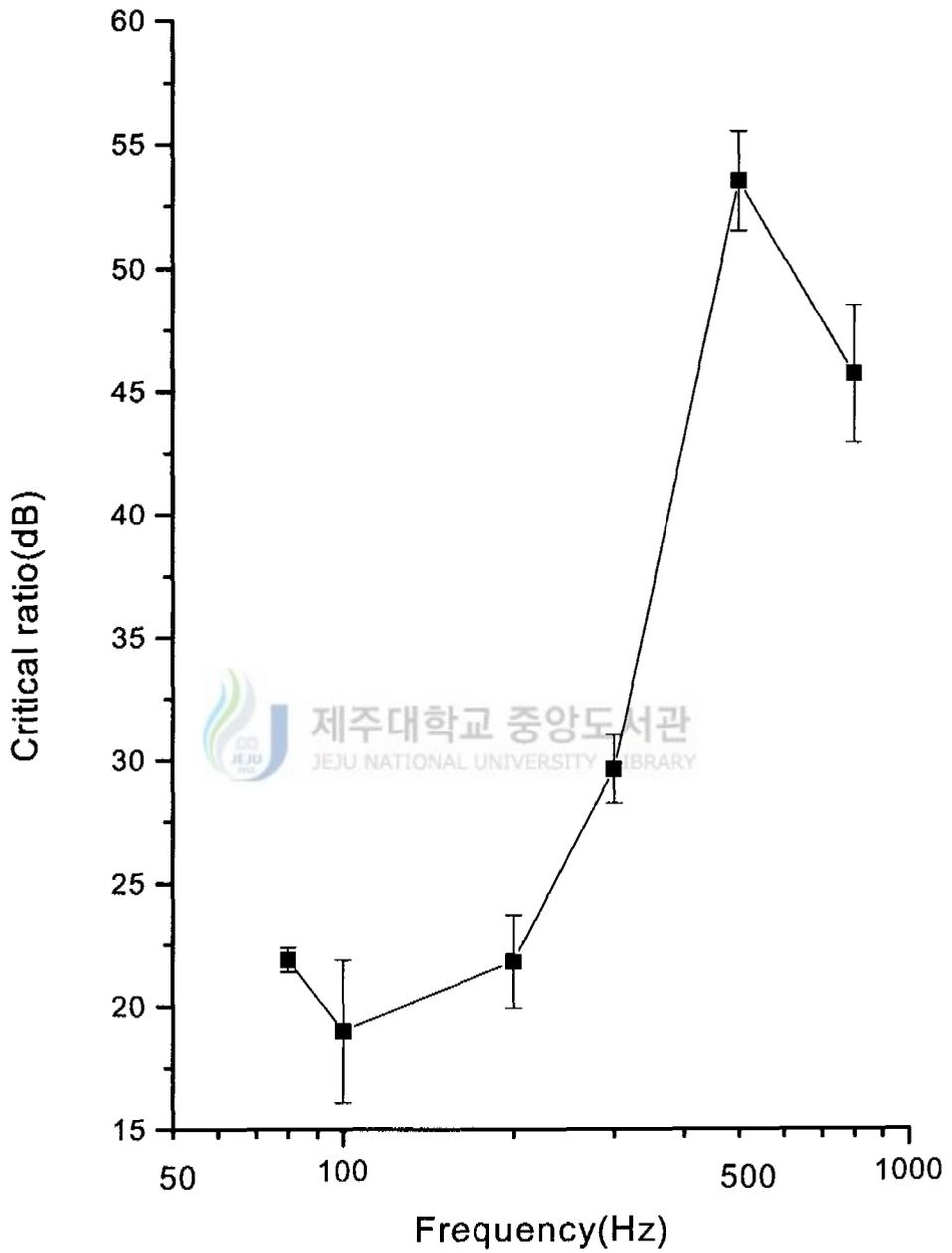


Fig. 4-9. Critical ratio of jacobever.

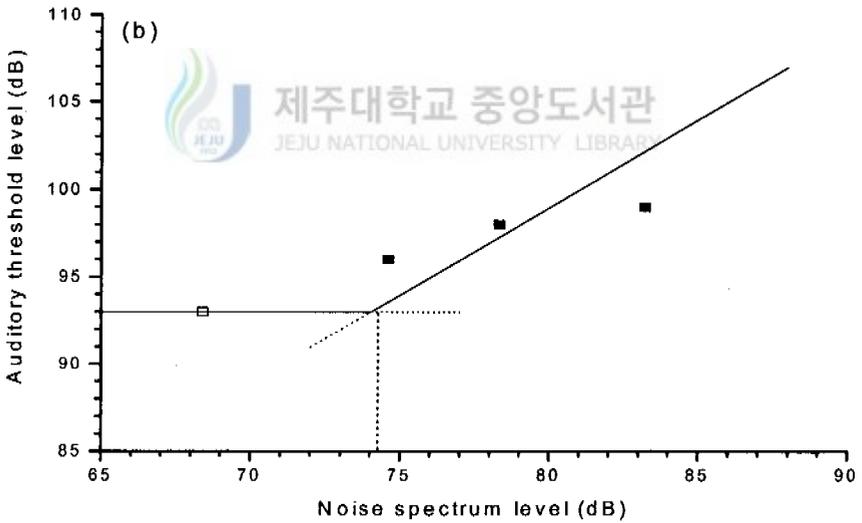
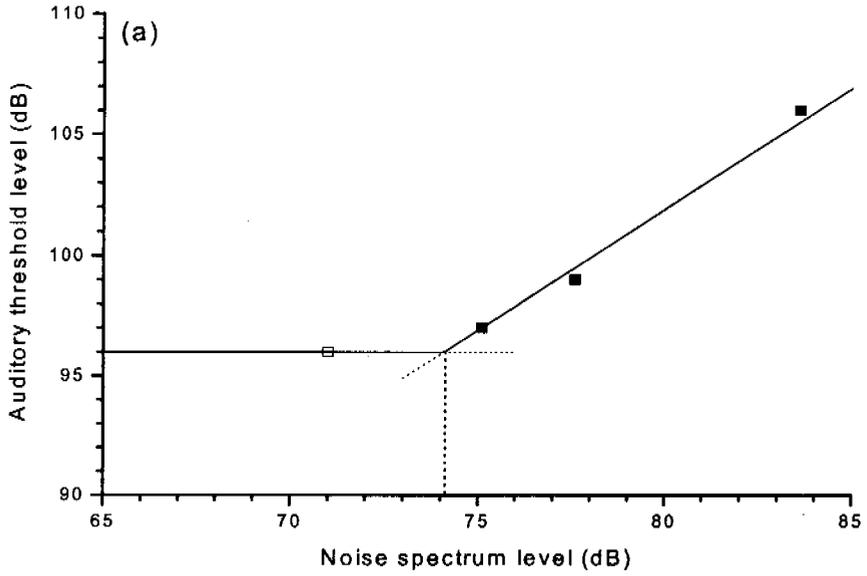


Fig. 4-10. Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels of jacobever at measurement frequencies of 80Hz(a) and 100Hz(b).

□ : Without white noise.

■ : With white noise.

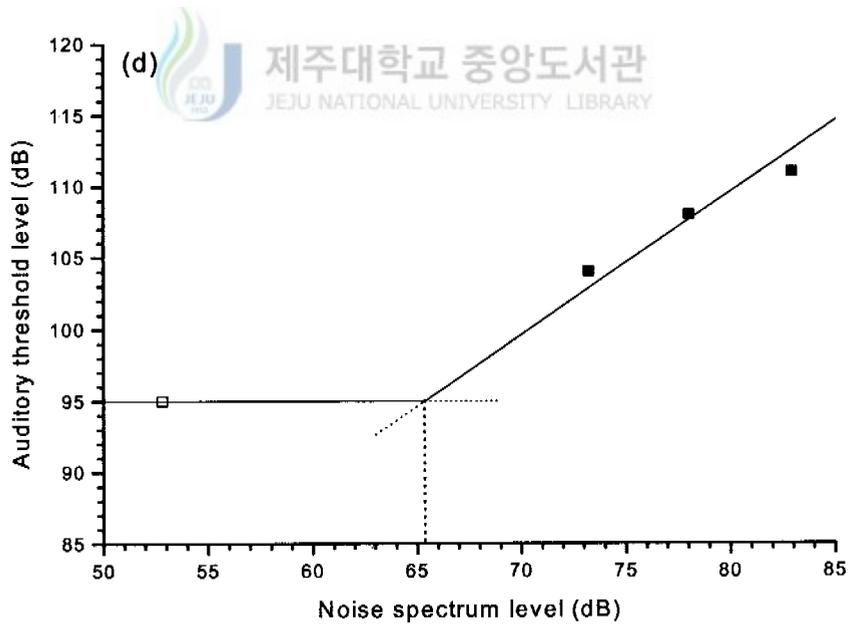
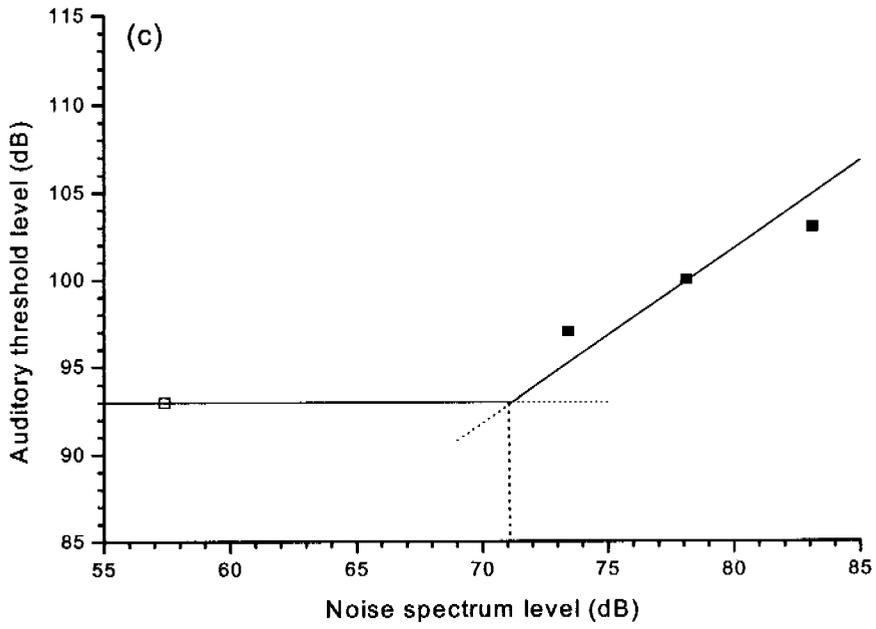


Fig. 4-10. Continued.
 200Hz(c) and 300Hz(d).

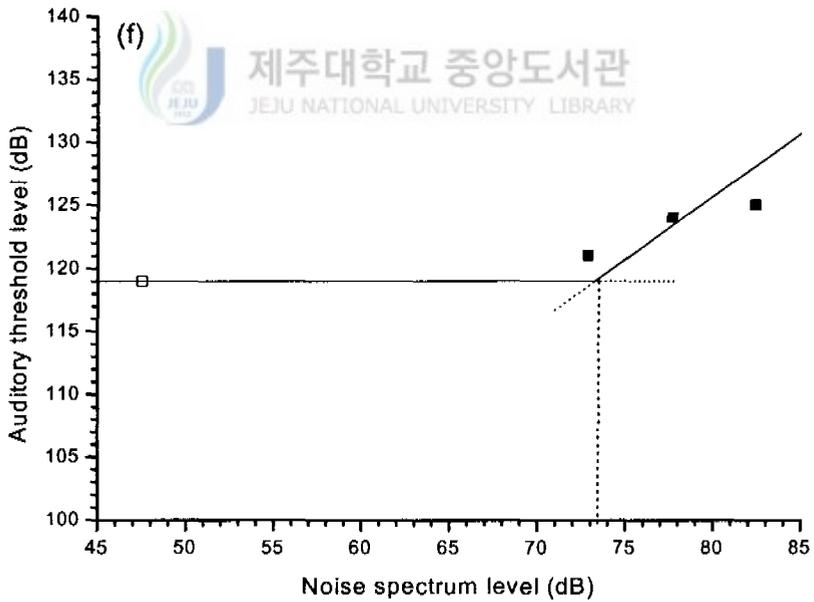
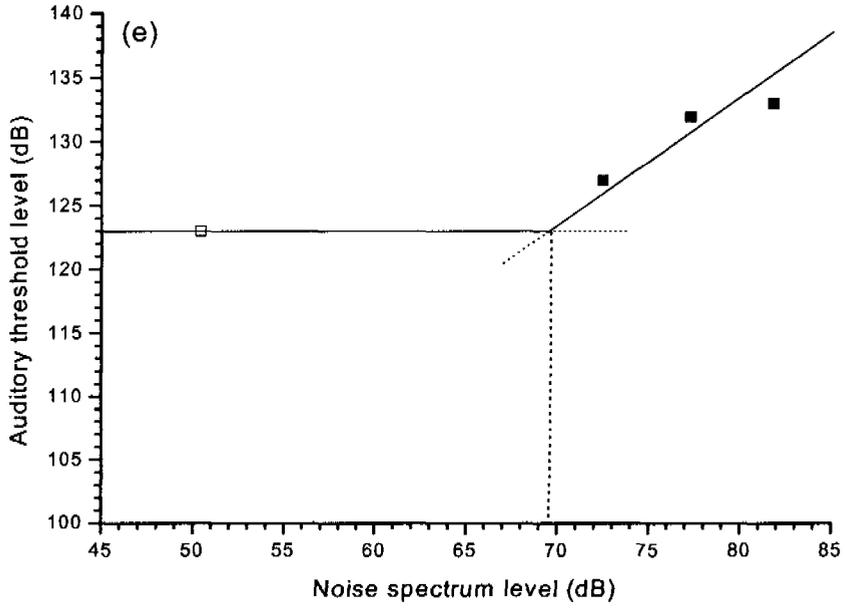


Fig. 4-10. Continued.

500Hz(e) and 800Hz(f).

백색 잡음에 의한 마스킹이 발생하여 청각 문턱치가 증가하고 있었다.

Fig. 4-11는 Fig. 4-10에서 구한 조피볼락의 측정 주파수마다 마스킹이 발생하는 시점의 백색 잡음 스펙트럼 레벨을 나타낸 것이다. 조피볼락은 음압 약 65~70dB 이상에서 백색 잡음에 의한 마스킹 현상이 나타나기 시작했으며, V자형의 곡선형태를 취하고 있었다.



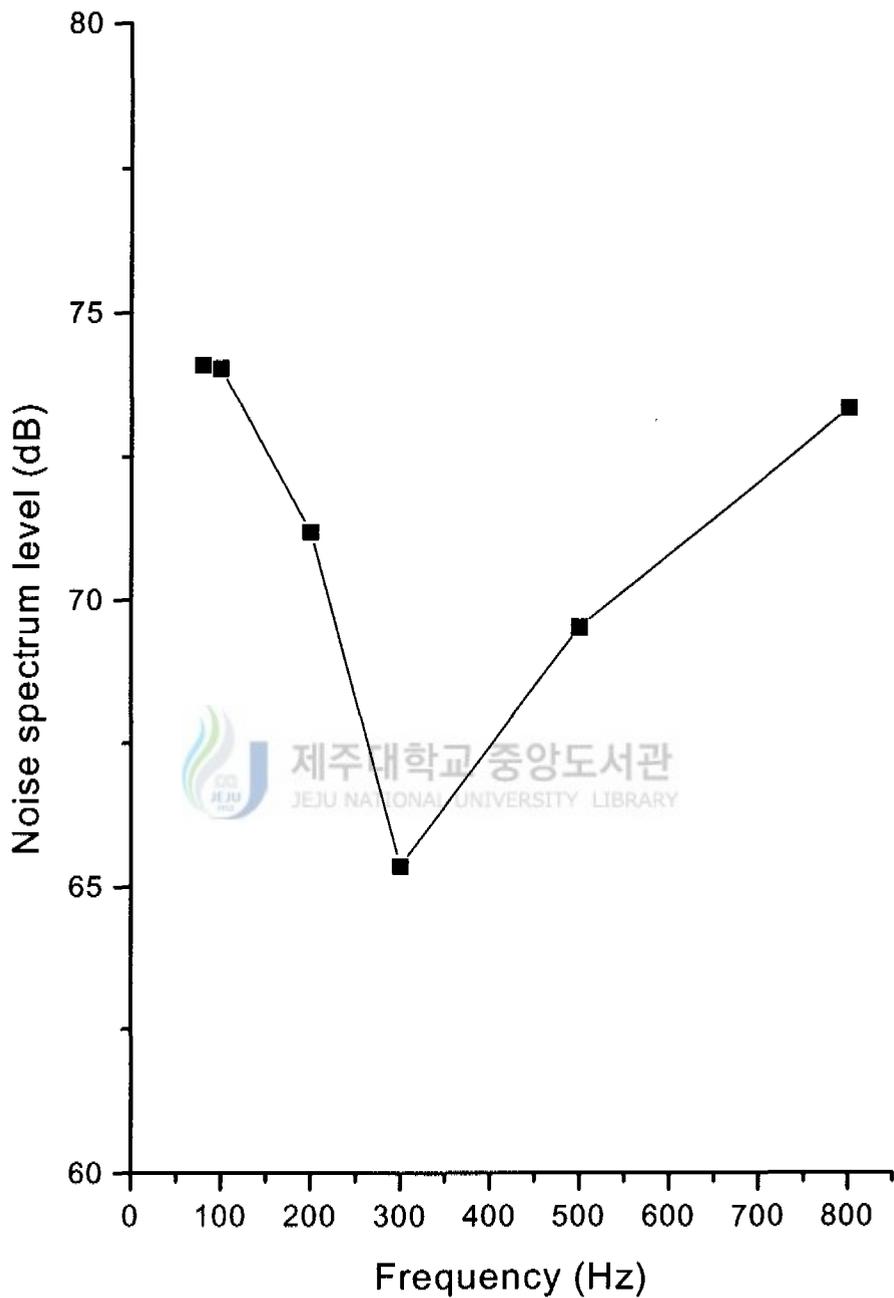


Fig. 4-11. Minimum noise spectrum levels(0dB re $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$) of masking of jacoever at measurement frequency of 80~800Hz.

2) 솜뽕이

백색 잡음에서 솜뽕이의 청각 문턱치를 측정된 결과를 Fig. 4-12, 4-13, 4-14, 4-15에 나타내었다. Fig. 4-12는 실험시의 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 73dB, 78dB, 83dB로 단계적으로 변화시켰을 때 솜뽕이의 청각 문턱치를 나타낸 것으로, 백색 잡음 발생전과 백색 잡음 발생후의 청각 문턱치를 비교하면 백색 잡음의 음압 상승에 따라 청각 문턱치의 값도 증가하는 경향이 보여 각각의 백색 잡음 스펙트럼 레벨에서 모든 측정 주파수대에 대해 백색 잡음 발생전보다도 청각 문턱치가 증가하여 명확히 마스킹이 일어나고 있었다. 특히 측정 주파수 100~300Hz에서 마스킹 현상이 뚜렷이 나타나며 백색 잡음이 음압 83dB로 방성하였을 때 정숙시에 비하여 음압 6~20dB 정도 증가하여 전체 측정 주파수에서 백색 잡음에 의한 영향이 현저하였다. 음압 레벨이 가장 적은 73dB의 백색 잡음 발생시에도 차이를 보이고 있었으나 측정 주파수 80Hz, 500Hz, 800Hz에서는 그 차이가 크지는 않았다. 정숙시에 비해서 청각 문턱치는 음압 73dB의 백색 잡음 발생시 측정 주파수 200~300Hz에서 크게 증가하였다.

Fig. 4-13은 백색 잡음으로 학습음을 마스킹하였을 때의 청각 문턱치에서 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 뺀 청각 임계비이다. 솜뽕이의 청각 임계비는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 음압이 각각 20dB, 28dB, 31dB, 35dB, 51dB, 48dB로 되어 측정 주파수가 높을수록 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨의 차가 크게 나타나고 있었고, 솜뽕이의 청각 문턱치가 백색 잡음에 의해서 마스킹된 상태에서는 각각의 백색 잡음 스펙트럼 레벨보다 20~51dB 이상의 큰 음압으로 학습음을 방성하는 것이 필요하였다.

솜뽕이의 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨과의 관계를 측정 주파수마다 정리한 것이 Fig. 4-14이다. 솜뽕이는 전체 측정 주파수에 있어서 일정 레벨 이상에서는 백색 잡음의 스펙트럼 레벨 상승에 따라 청각 문턱치도 증

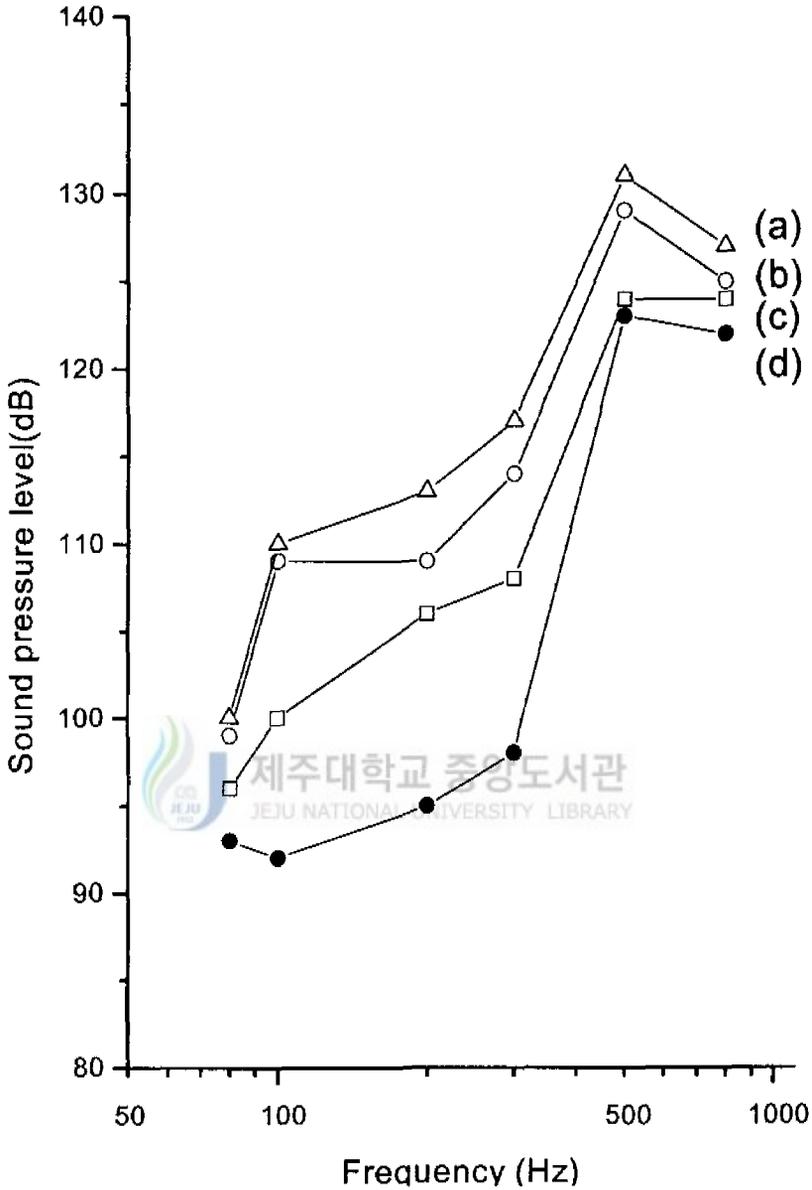


Fig. 4-12. Audiogram of scorpion fish with white noise spectrum level.

- a) With white noise spectrum level of 83dB(△).
- b) With white noise spectrum level of 78dB(○).
- c) With white noise spectrum level of 73dB(□).
- d) With ambient noise(●).

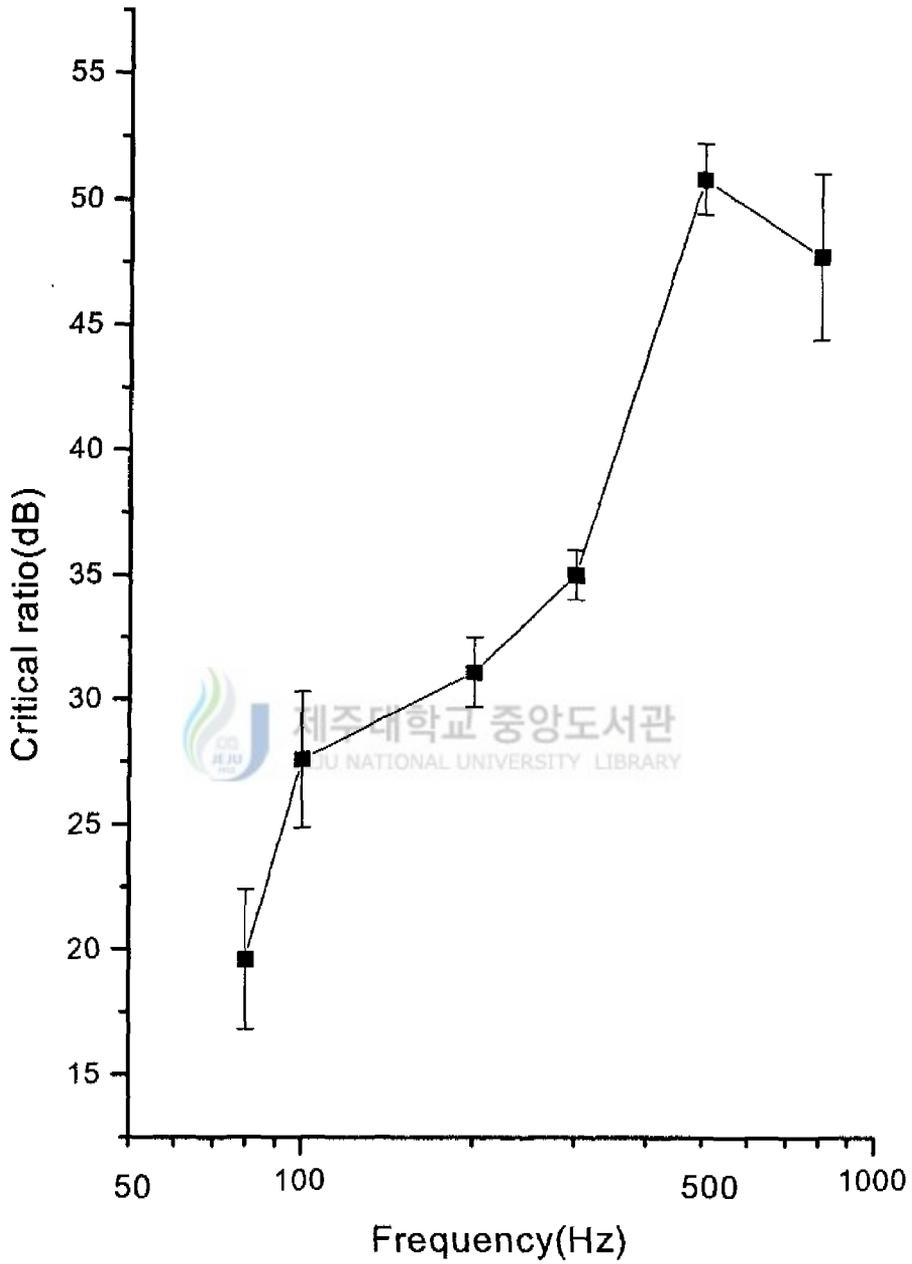


Fig. 4-13. Critical ratio of scorpion fish.

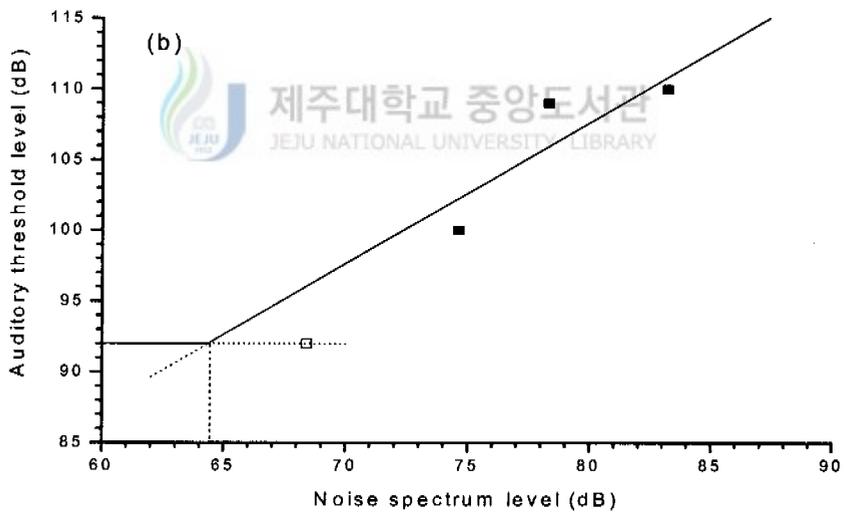
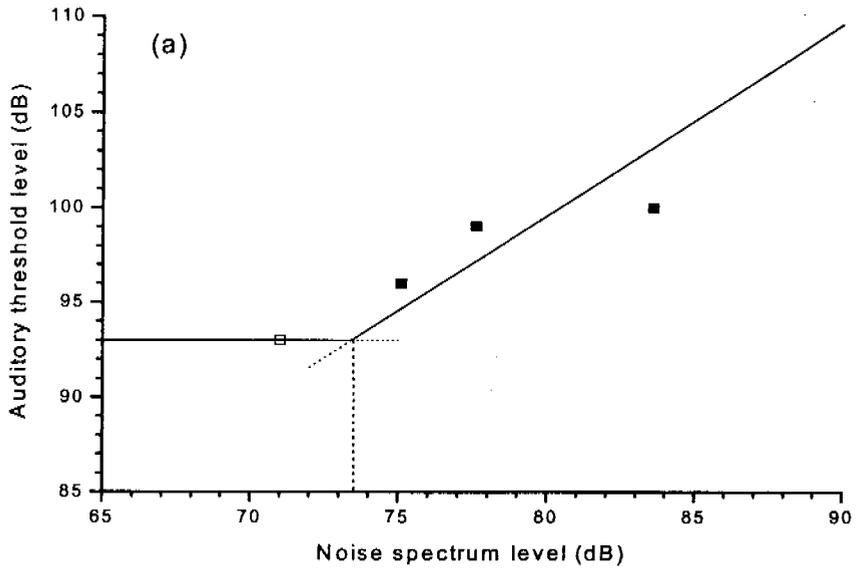


Fig. 4-14. Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels of scorpion fish at measurement frequencies of 80Hz(a) and 100Hz(b).

□ : Without white noise.

■ : With white noise.

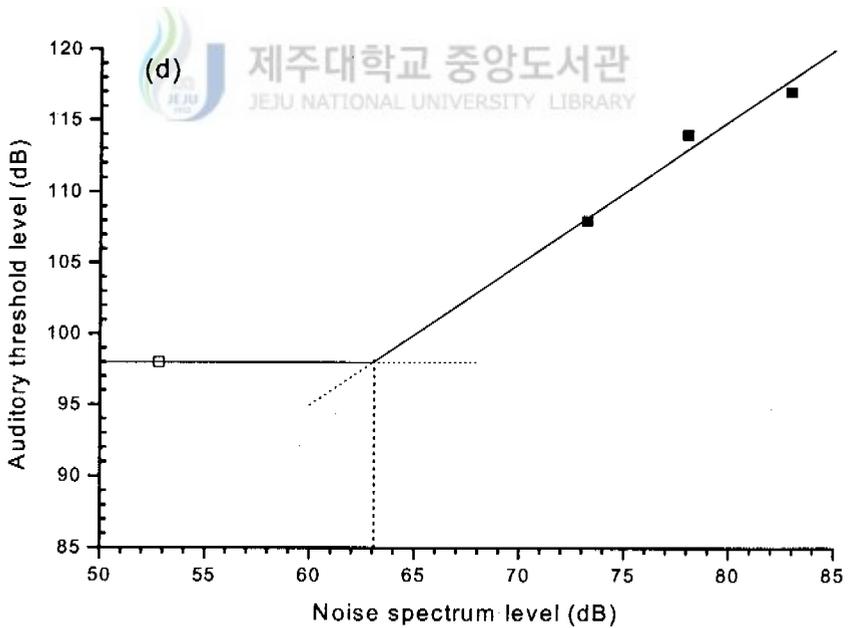
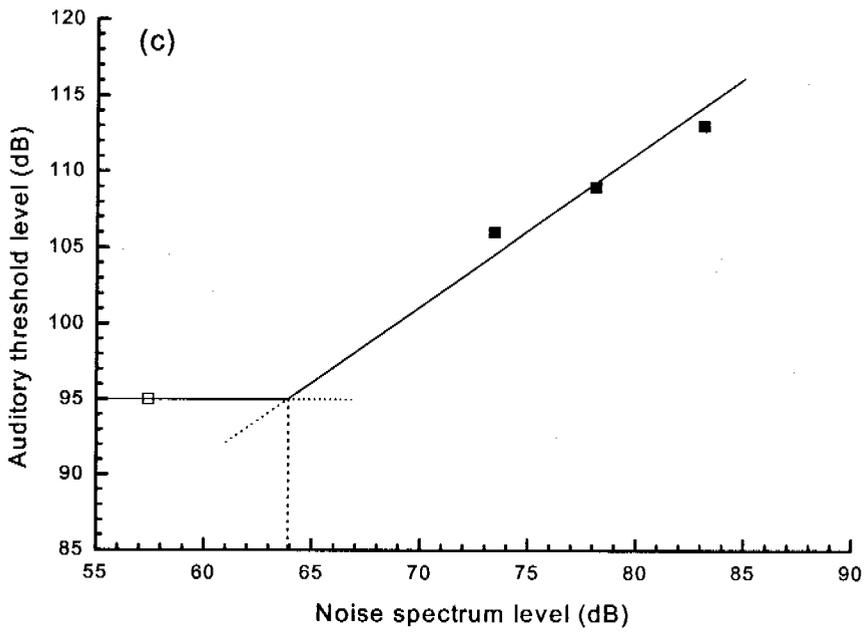


Fig. 4-14. Continued.
200Hz(c) and 300Hz(d).

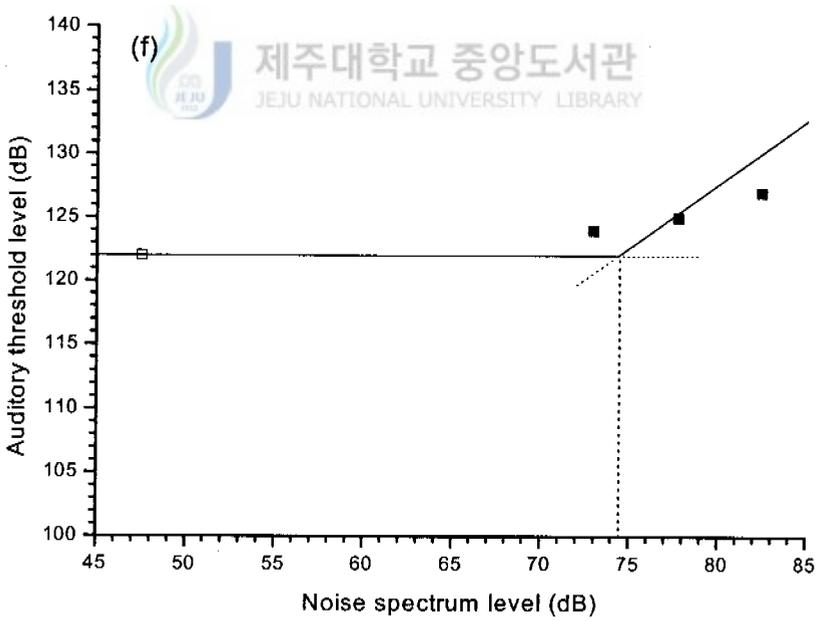
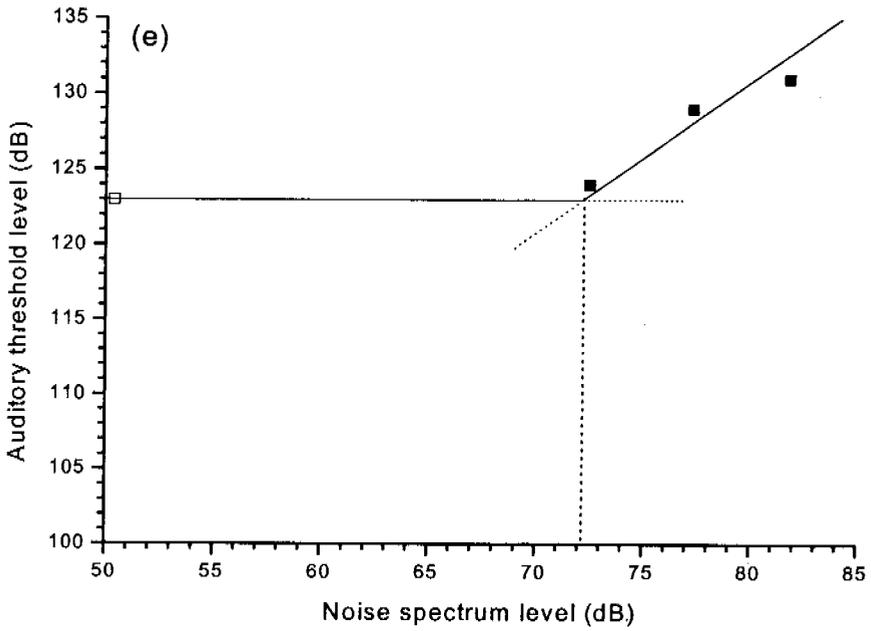


Fig. 4-14. Continued.
500Hz(e) and 800Hz(f).

가하는 모양을 나타내었다. Fig. 4-14에서 백색 잡음이 발생되지 않을 때의 청각 문턱치와 Fig. 4-13에 나타낸 각 측정 주파수의 청각 임계비를 함께 포함할 수 있도록 그래프상에 2개의 직선으로 표시할 경우 청각 문턱치를 종축, 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 횡축으로 하여 각각의 관계를 기울기 1인 회귀직선으로 나타낼 수 있다. 그 결과 측정 주파수 80Hz, 100Hz와 같은 일부 측정 주파수에서의 청각 문턱치가 청각 임계비의 직선에서 이탈한 것이 보이지만 대략적으로 직선에 가까이 있었다. 솜뱅이는 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨의 관계에서는 어느 정도의 백색 잡음 레벨까지는 청각 문턱치가 변하지 않고 일정하게 되지만 그 이상의 백색 잡음 레벨에서는 백색 잡음 증가분만큼 청각 문턱치도 증가하였다. 2개의 직선의 교점에서 솜뱅이의 청각 문턱치에 영향을 미치기 시작하는 백색 잡음 스펙트럼 레벨을 구하면 Fig. 4-14에서 솜뱅이는 측정 주파수 100~300Hz에서 음압 63~64dB 이상일 경우에 백색 잡음에 의한 영향이 나타났고, 그 외의 측정 주파수에서는 음압 대략 70dB 이상의 백색 잡음 레벨에서 마스킹이 발생하고 있어 청각 문턱치가 증가하고 있었다. Fig. 4-15는 Fig. 4-14에서 구한 솜뱅이의 측정 주파수마다 마스킹이 발생하는 시점의 백색 잡음 스펙트럼 레벨을 나타낸 것이다. 솜뱅이는 음압 약 64~70dB 이상에서 백색 잡음에 의한 마스킹이 발생하였고, 대략 U자형의 곡선형태를 취하고 있었다.

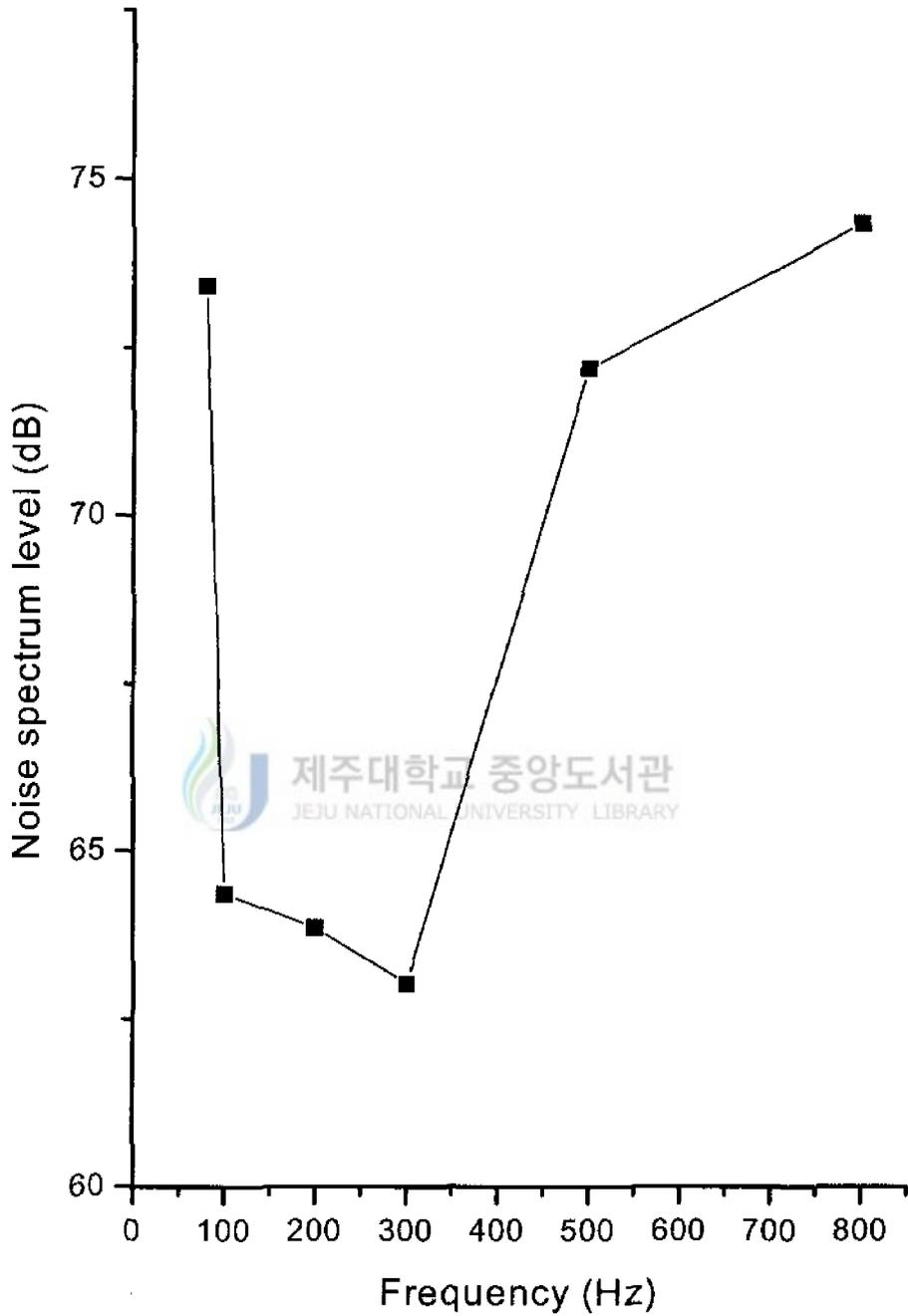


Fig. 4-15. Minimum noise spectrum levels(0dB re $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$) of masking of scorpion fish at frequency of 80~800Hz.

3) 불락

백색 잡음에서 불락의 청각 문턱치를 측정된 결과를 Fig. 4-16, 4-17, 4-18, 4-19에 나타내었다. Fig. 4-16은 실험시의 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 73dB, 78dB, 83dB로 단계적으로 변화시켰을 때 불락의 청각 문턱치를 나타낸 것으로 백색 잡음 발생전과 백색 잡음 발생후의 청각 문턱치를 비교하면 백색 잡음의 음압 상승에 따라 청각 문턱치도 증가하는 경향이 보여 각각의 백색 잡음 스펙트럼 레벨에서 모든 측정 주파수대에 대해 백색 잡음 발생전보다도 청각 문턱치가 증가하여 명확히 마스킹이 일어나고 있었다. 특히, 측정 주파수 100Hz, 300Hz에서 마스킹 현상이 뚜렷이 나타나며 백색 잡음의 음압 83dB로 방성하였을 때 정숙시에 비하여 음압 10~20dB 정도 증가하여 전체 측정 주파수에서 백색 잡음에 의한 영향이 현저하였다. 음압 레벨이 가장 적은 73dB의 백색 잡음 발생시에도 차이를 보이고 있었으나 측정 주파수 80Hz, 200Hz에서는 그 차이가 크지는 않았다. 정숙시에 비해서 청각 문턱치가 큰 차이로 증가한 것은 음압 73dB의 백색 잡음 발생시 측정 주파수 100Hz, 300Hz에서 크게 증가하였다.

Fig. 4-17은 백색 잡음으로 학습음을 마스킹하였을 때의 청각 문턱치에서 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 뺀 청각 임계비이다. 불락의 청각 임계비는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 음압이 각각 28dB, 34dB, 26dB, 30dB, 47dB, 52dB로 되어 측정 주파수 300Hz 이상부터 측정 주파수가 높을수록 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨의 차가 크게 나타나고 있었고, 불락의 청각 문턱치가 백색 잡음에 의해서 마스킹된 상태에서는 각각의 백색 잡음 스펙트럼 레벨보다 26~52dB 이상의 큰 음압으로 학습음을 방성하는 것이 필요하였다.

불락의 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨과의 관계를 측정 주파수마다 정리한 것이 Fig. 4-18이다. 불락은 전체 측정 주파수에 있어서 일정 레벨 이상에서는 백색 잡음의 스펙트럼 레벨 상승에 따라 청각 문턱치도 증가

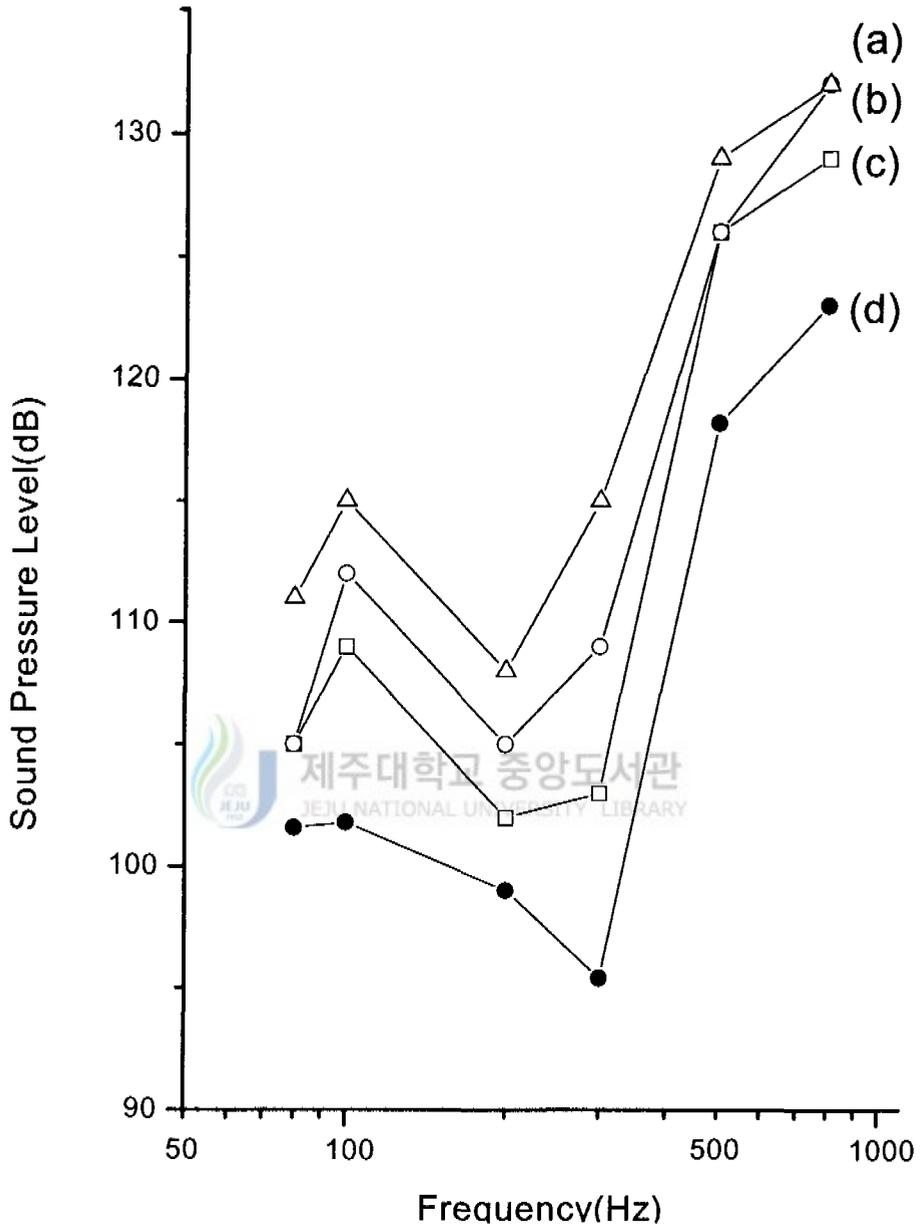


Fig. 4-16. Audiogram of black rockfish with white noise spectrum level.
 a) With white noise spectrum level of 83dB(△).
 b) With white noise spectrum level of 78dB(○).
 c) With white noise spectrum level of 73dB(□).
 d) With ambient noise(●).

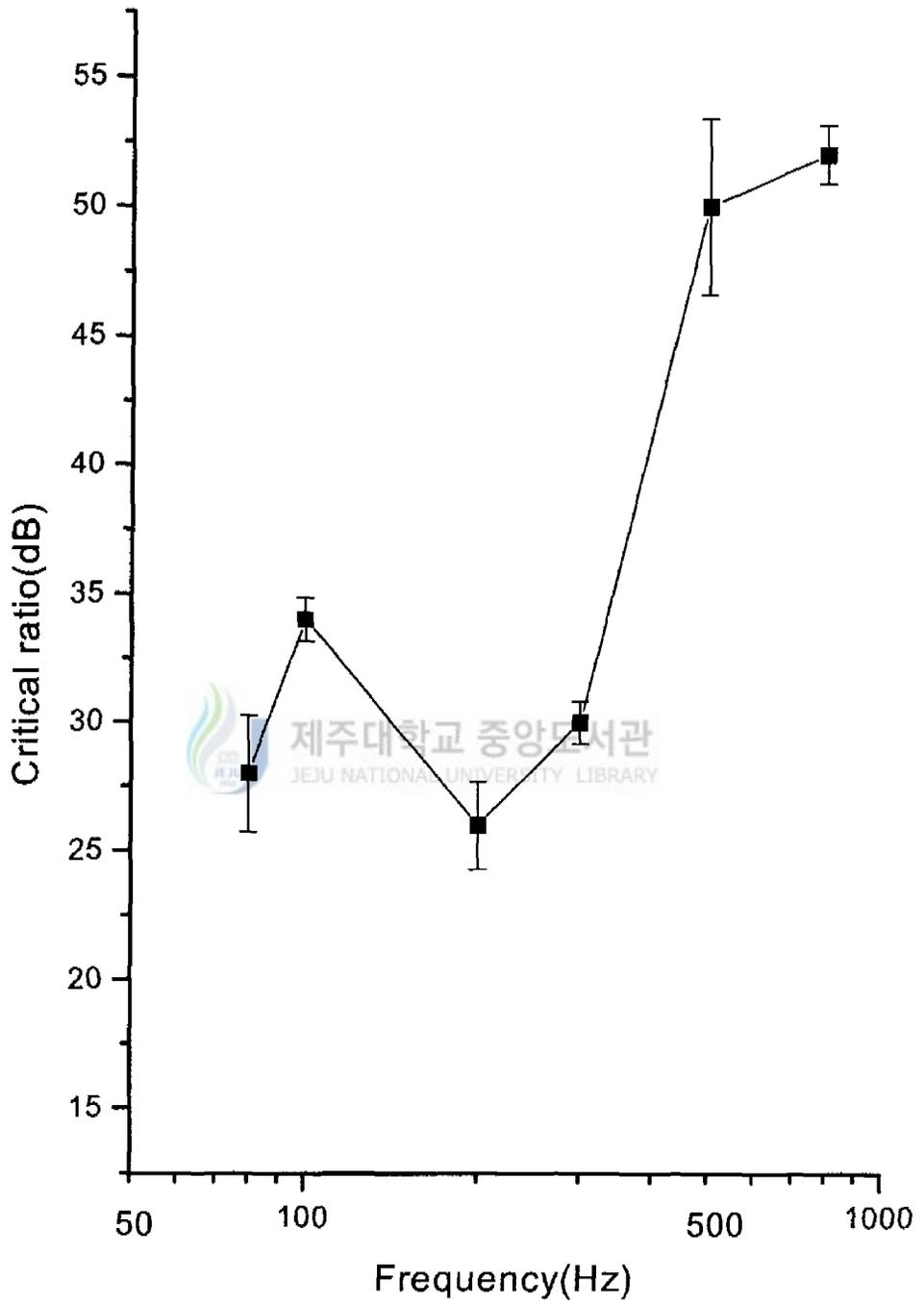


Fig. 4-17. Critical ratio of black rockfish.

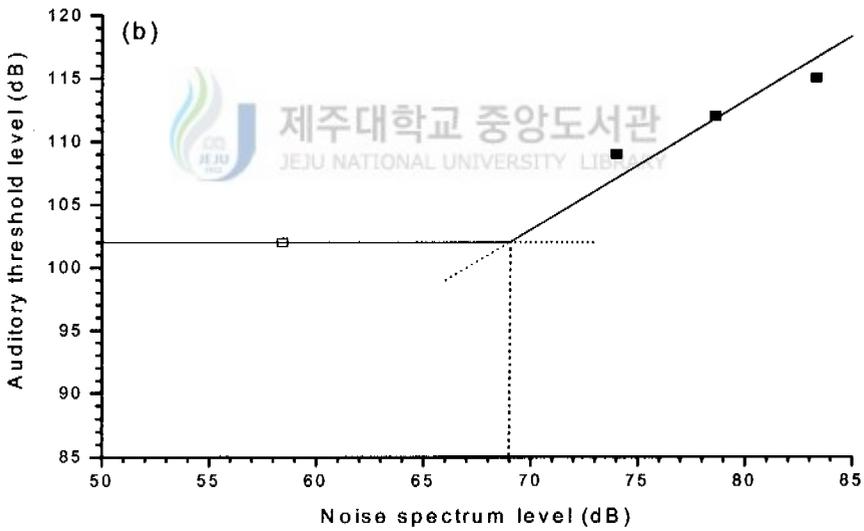
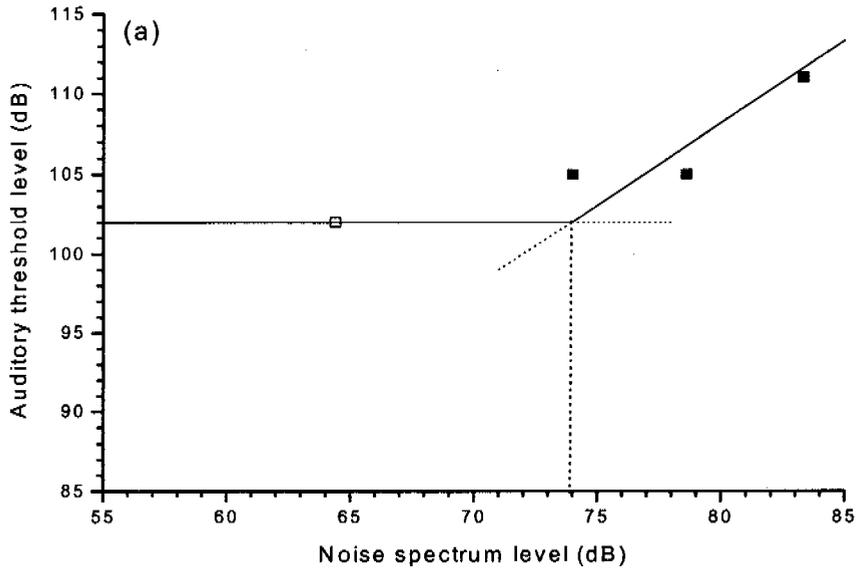


Fig. 4-18. Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels of black rockfish at measurement frequencies of 80Hz(a) and 100Hz(b).

□ : Without white noise.

■ : With white noise.

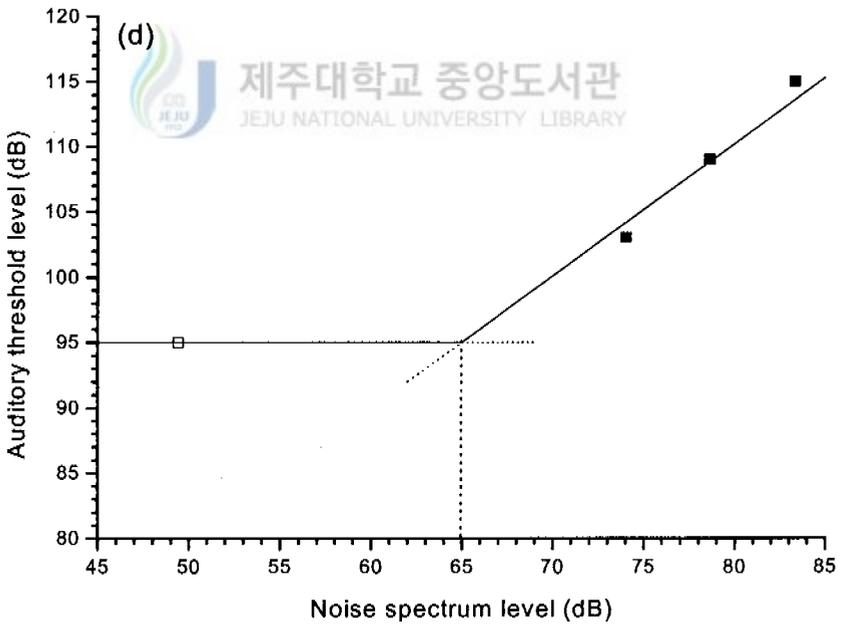
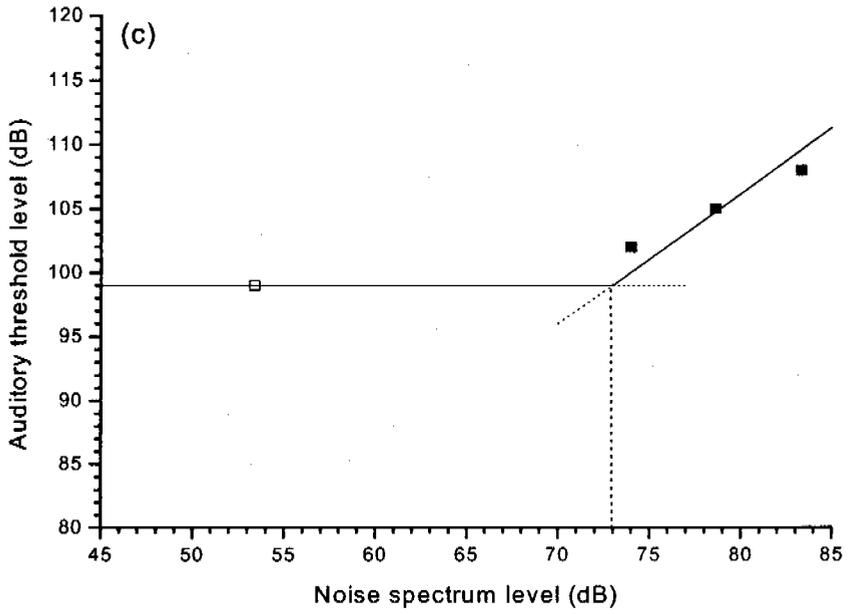


Fig. 4-18. Continued.
200Hz(c) and 300Hz(d).

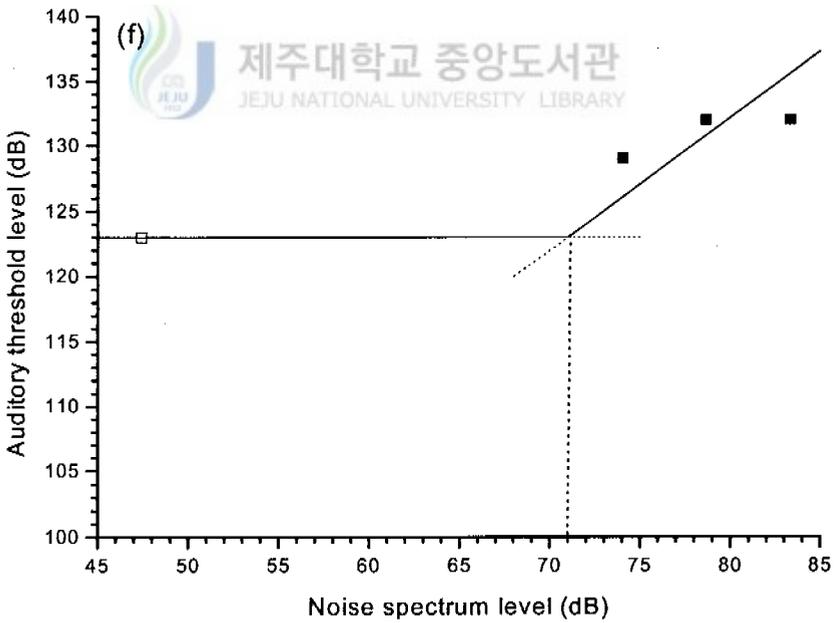
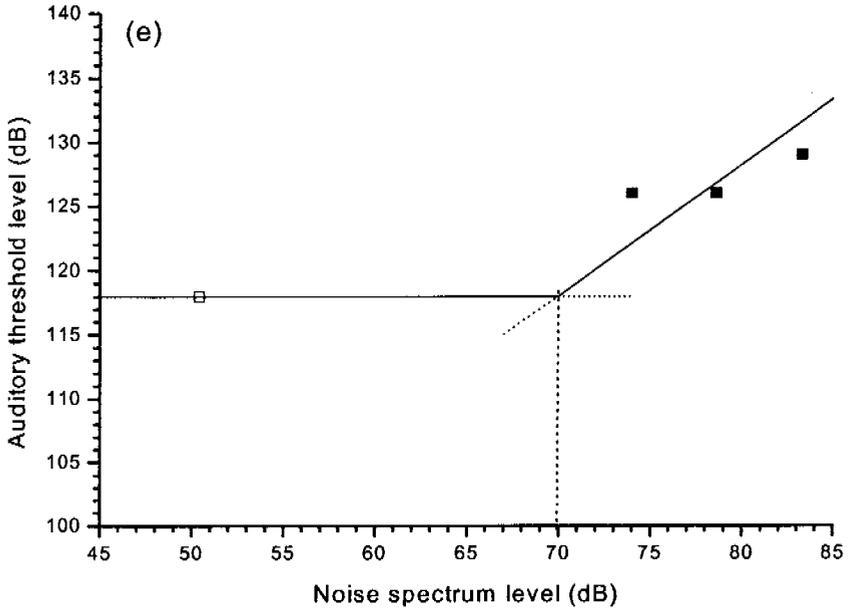


Fig. 4-18. Continued.
500Hz(e) and 800Hz(f).

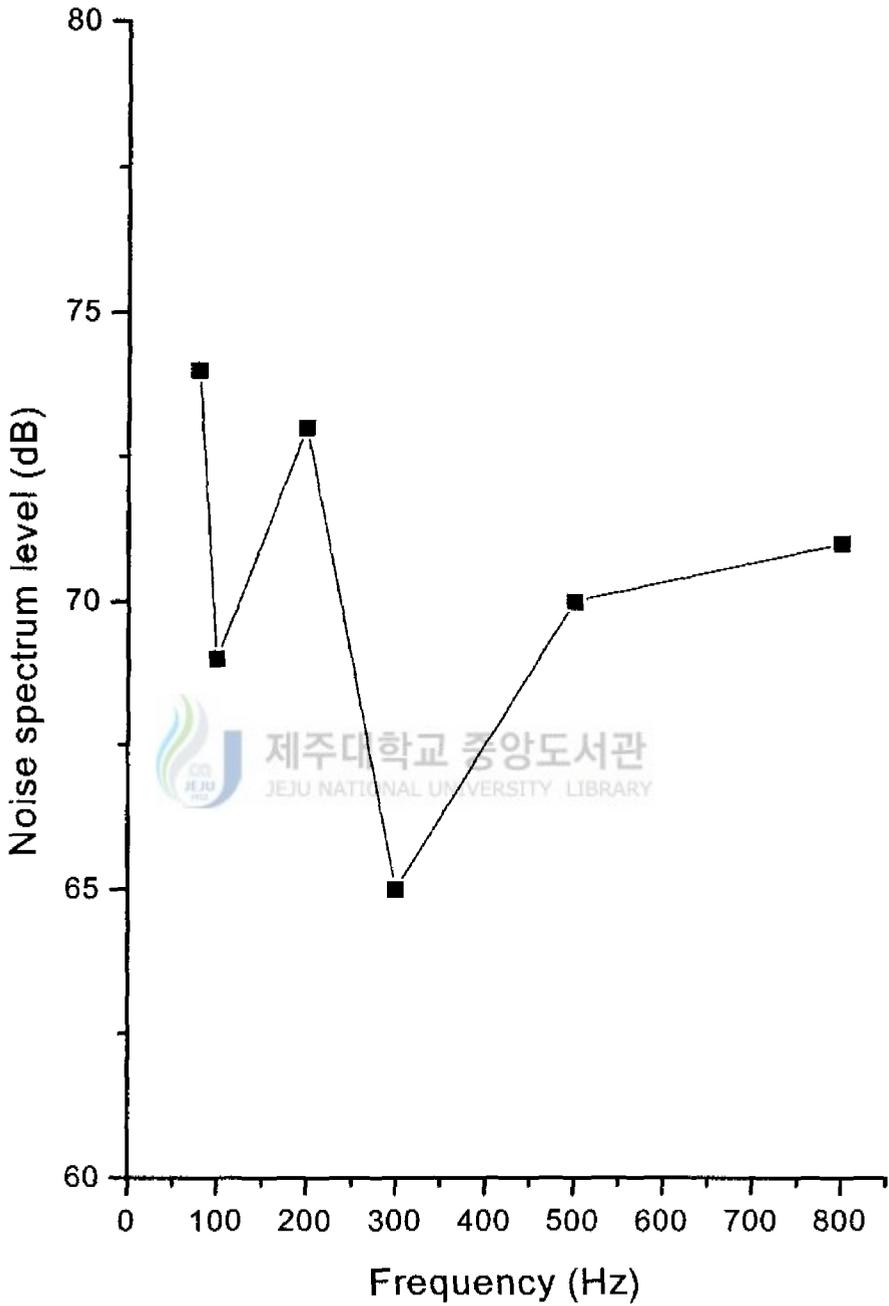


Fig. 4-19. Minimum noise spectrum levels(0dB re $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$) of masking of black rockfish at frequency of 80~800Hz.

하는 모양을 나타내었다. Fig. 4-18에서 백색 잡음이 발생되지 않을 때의 청각 문턱치와 Fig. 4-17에 나타난 측정 주파수의 청각 임계비를 함께 포함할 수 있도록 그래프상에 2개의 직선으로 표시할 경우 청각 문턱치를 종축, 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 횡축으로 하여 각각의 관계를 기울기 1인 회귀직선으로 나타낼 수 있다. 그 결과 측정 주파수 80Hz, 800Hz와 같은 일부 측정 주파수에서의 청각 문턱치가 청각 임계비의 직선에서 이탈한 것이 보이지만 대략적으로 직선에 가까이 있으며 불락은 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨의 관계에서는 어느 정도의 백색 잡음 레벨까지는 청각 문턱치가 변하지 않고 일정하게 되었고, 그 이상의 백색 잡음 레벨에서는 백색 잡음 증가분 만큼 청각 문턱치도 증가하였다. 2개의 직선의 교점에서 불락의 청각 문턱치에 영향을 미치기 시작하는 백색 잡음 스펙트럼 레벨을 구하면 Fig. 4-18에서 불락의 경우는 측정 주파수 300Hz를 제외한 측정 주파수에서 음압 69~70dB 이상부터 백색 잡음에 의한 마스킹이 발생하였으나 300Hz의 주파수에서는 약 65dB 이상일 경우 백색 잡음에 의한 영향이 나타나 청각 문턱치가 증가하고 있었다. Fig. 4-19는 Fig. 4-18에서 구한 불락의 측정 주파수마다 마스킹이 발생하는 시점의 백색 잡음 스펙트럼 레벨을 나타낸 것이다. 불락은 음압 약 65~70dB 이상에서 백색 잡음에 의한 마스킹이 발생하였고, 대략 W자형의 곡선형태를 취하고 있었다.

4) 자리돔

백색 잡음하에서 자리돔의 청각 문턱치를 측정된 결과를 Fig. 4-20, 4-21, 4-22, 4-23에 나타내었다. Fig. 4-20은 실험시의 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 음압 73dB, 78dB, 83dB로 단계적으로 변화시켰을 때 자리돔의 청각 문턱치를 나타낸 것으로, 백색 잡음 발생전과 백색 잡음 발생후의 청각 문턱치를 비교하면 백색 잡음의 음압 상승에 따라 청각 문턱치도 증가하는 경향이 보여 각각의 백색 잡음스펙트럼 레벨에서 모든 측정 주파수대에 대해 백색 잡음 발생전보다도 청각 문턱치가 증가하여 명확히 마스크가 일어나고 있었다. 특히 자리돔은 측정 주파수 200Hz에서 마스킹 현상이 뚜렷이 나타나며 백색 잡음을 음압 83dB로 방성하였을 때 정숙시에 비하여 음압 9~27dB 정도 증가하여 전체 측정 주파수에서 백색 잡음에 의한 영향이 현저하였다. 음압 레벨이 가장 적은 음압 73dB의 백색 잡음 발생시에도 차이를 보이고 있었으나 측정 주파수 800Hz에서는 그 차이가 크지는 않았다. 정숙시에 비해서 청각 문턱치가 큰 차이로 증가한 것은 음압 73dB의 백색 잡음 발생시 측정 주파수 100~200Hz에서 크게 증가하였다.

Fig. 4-21은 백색 잡음으로 학습을 마스킹하였을 때의 청각 문턱치에서 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 뺀 청각 임계비이다. 자리돔의 청각 임계비는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 각각 음압이 31dB, 35dB, 33dB, 23dB, 34dB, 41dB로 되어 측정 주파수 300Hz, 음압 23dB를 제외하고는 측정 주파수에 따른 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨과의 차는 다른 실험어에 비하여 측정 주파수에 따른 차이는 크게 나타나지 않았고, 자리돔의 청각이 백색 잡음에 의해서 마스킹된 상태에서는 각각의 백색 잡음 스펙트럼 레벨보다 음압 23~41dB 이상의 학습음을 방성하는 것이 필요하였다.

자리돔의 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨과의 관계를 측정 주파수마다 정리한 것이 Fig. 4-22이다. 자리돔은 전체 측정 주파수에 있어서 일정

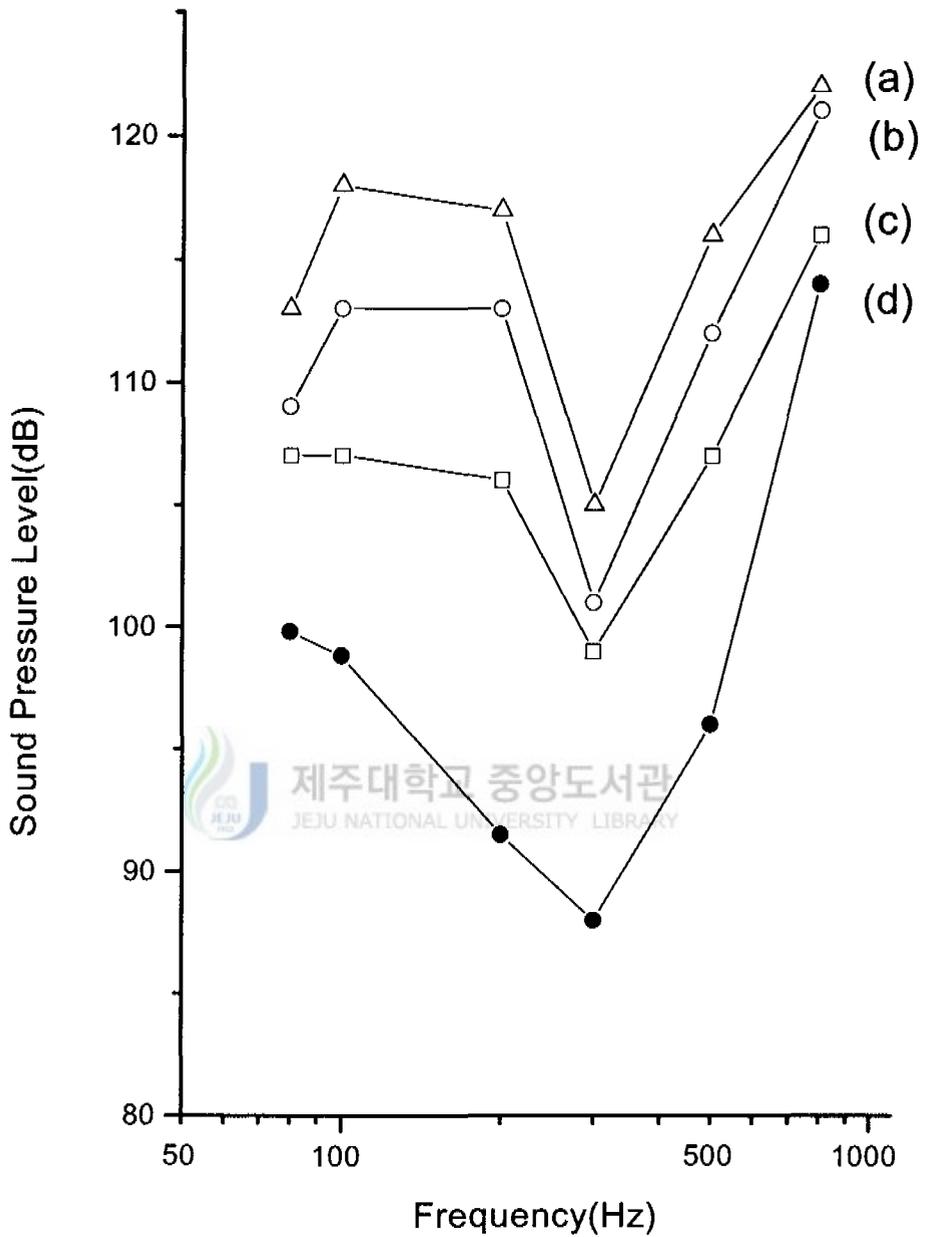


Fig. 4-20. Audiogram of coralfish with white noise spectrum level.

- a) With white noise spectrum level of 83dB(△).
- b) With white noise spectrum level of 78dB(○).
- c) With white noise spectrum level of 73dB(□).
- d) With ambient noise(●).

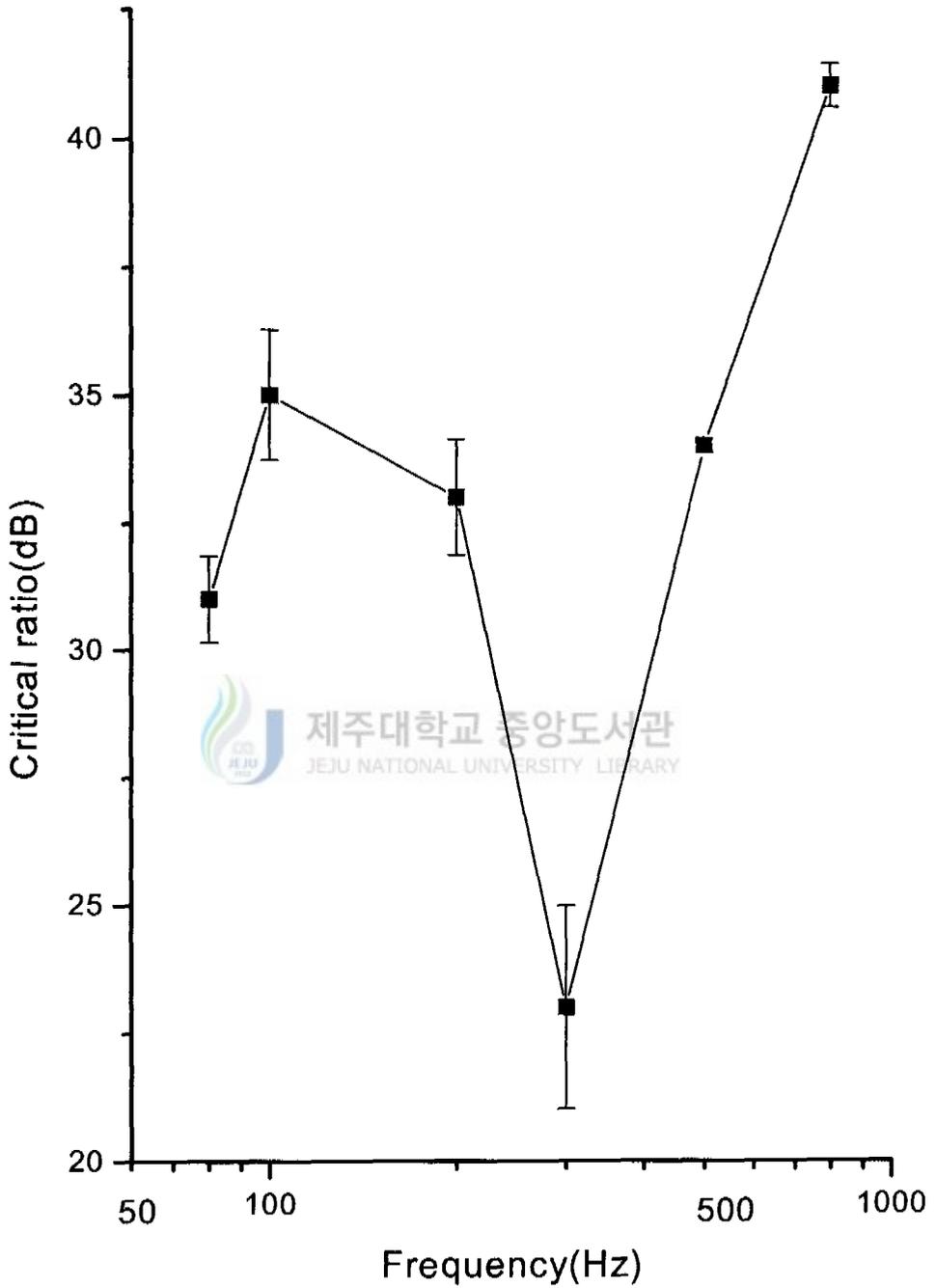


Fig. 4-21. Critical ratio of coralfish.

레벨 이상에서는 백색 잡음의 스펙트럼 레벨 상승에 따라 청각 문턱치도 증가하는 모양을 나타내었다.

Fig. 4-22에서 백색 잡음이 발생되지 않을 때의 청각 문턱치와 Fig. 4-21에 나타낸 측정 주파수의 청각 임계비를 함께 포함할 수 있도록 그래프상에 2개의 직선으로 표시할 경우 청각 문턱치를 종축, 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 횡축으로 하여 각각의 관계를 기울기 1인 회귀직선으로 나타낼 수 있다. 그 결과 측정 주파수 100Hz와 같은 일부 측정 주파수에서의 청각 문턱치가 청각 임계비의 직선에서 이탈한 것이 보이지만 대략적으로 직선에 가까이 있었다. 자리돔은 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨의 관계에서는 어느 정도의 백색 잡음 레벨까지는 청각 문턱치가 변하지 않고 일정하게 되지만 그 이상의 백색 잡음 레벨에서는 백색 잡음 증가분만큼 청각 문턱치도 증가하였다. 2개의 직선의 교점에서 자리돔의 청각에 영향을 미치기 시작하는 백색 잡음 스펙트럼 레벨을 구하면 Fig. 4-22와 같이 자리돔의 경우는 측정 주파수 200Hz, 음압 57dB 이상일 경우 백색 잡음에 의한 영향이 나타났고 그 외 측정 주파수에 있어서는 62~73dB 이상에서 백색 잡음에 의한 마스킹이 발생하여 청각문턱치가 증가하고 있었다. Fig. 4-23은 Fig. 4-22에서 구한 자리돔의 측정 주파수마다 마스킹이 발생하는 시점의 백색 잡음 스펙트럼 레벨을 나타낸 것이다. 자리돔은 음압 57~73dB 이상에서 백색 잡음에 의한 마스킹이 발생하였고, 대략 W자형의 곡선 형태를 취하고 있었다.

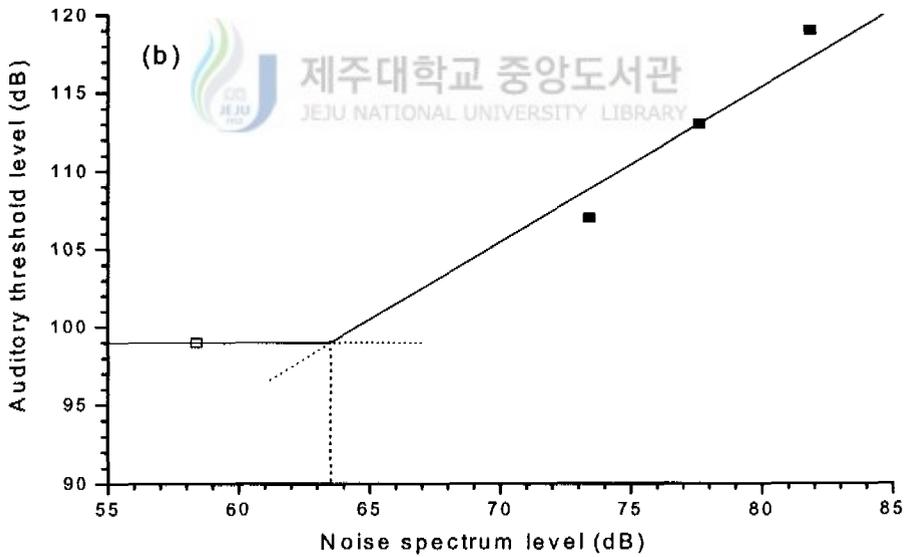
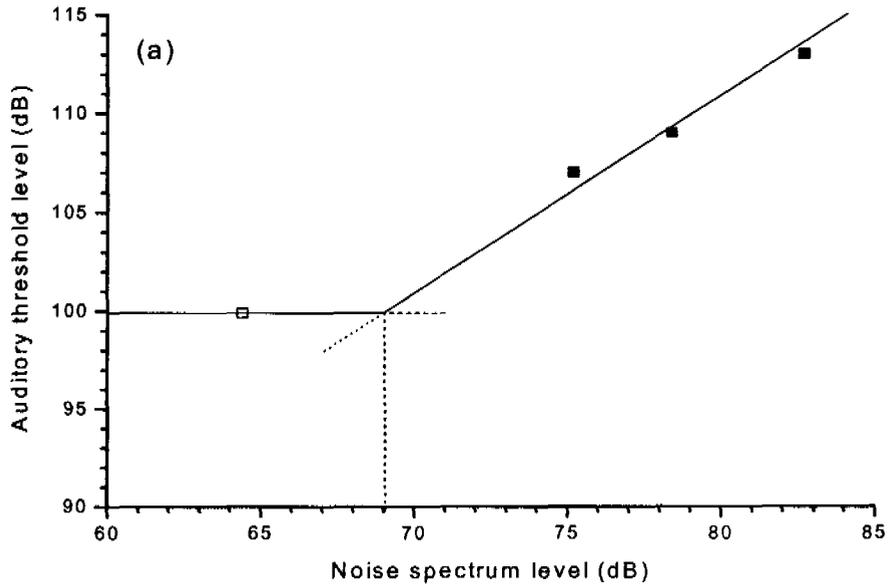


Fig. 4-22. Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels of corafish at measurement frequencies of 80Hz(a) and 100Hz(b).
 □ : Without white noise.
 ■ : With white noise.

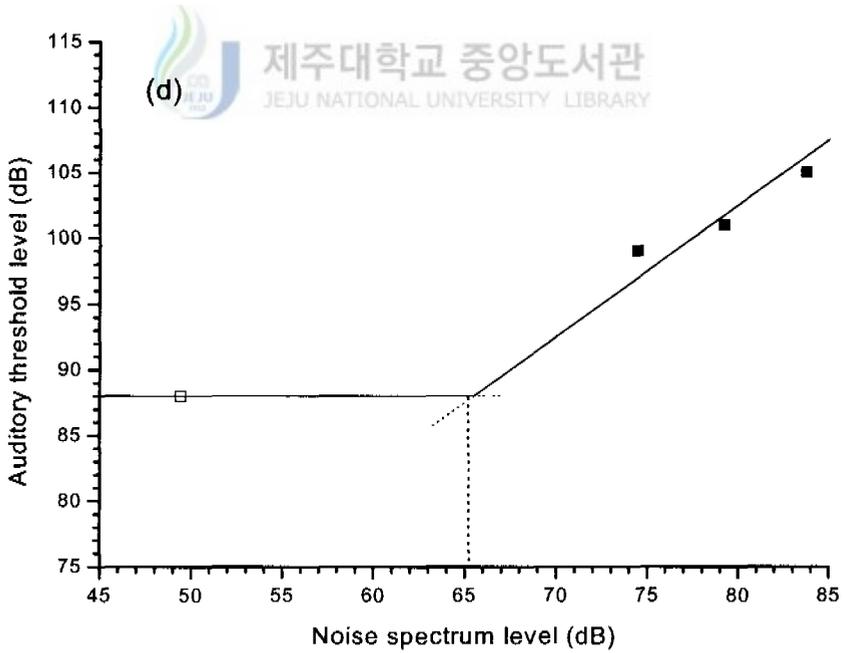
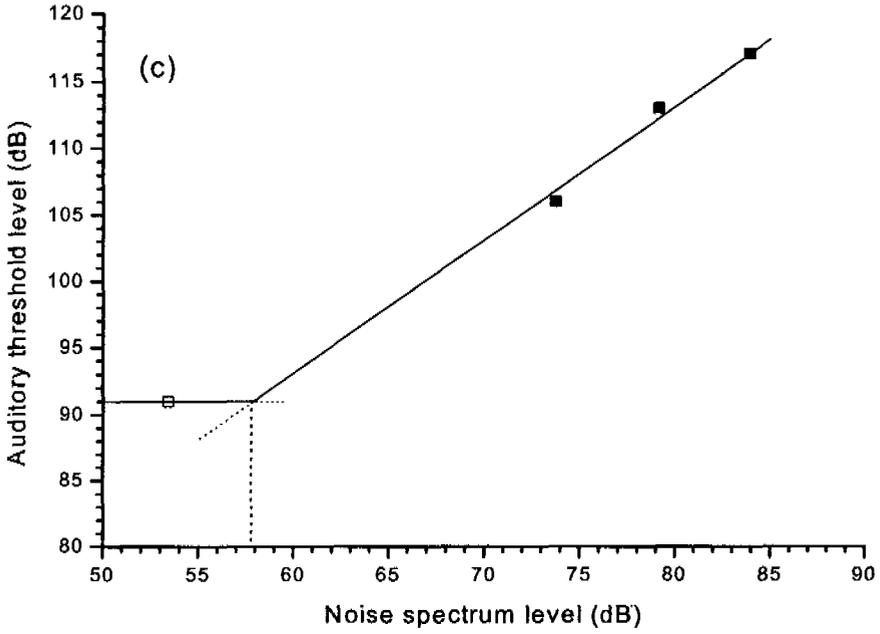


Fig. 4-22. Continued.
200Hz(c) and 300Hz(d).

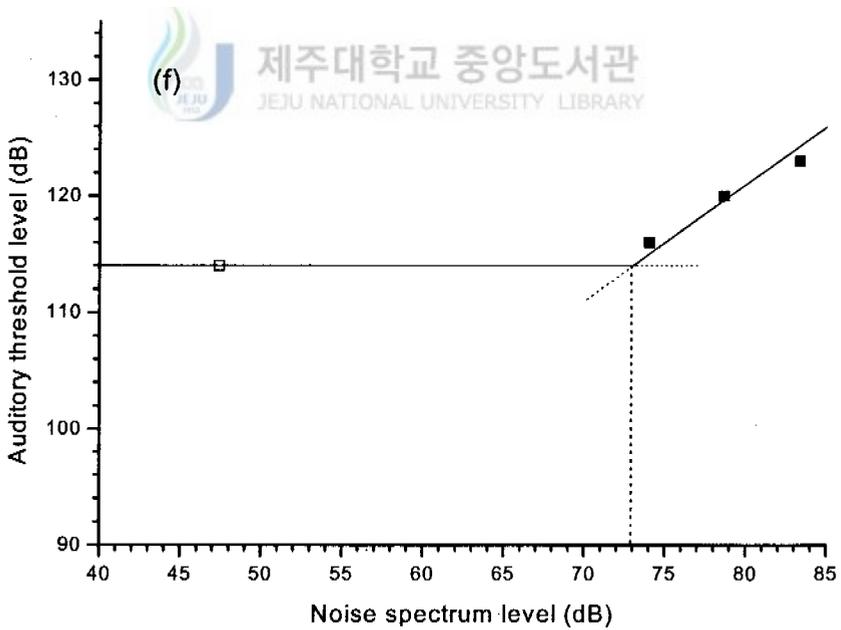
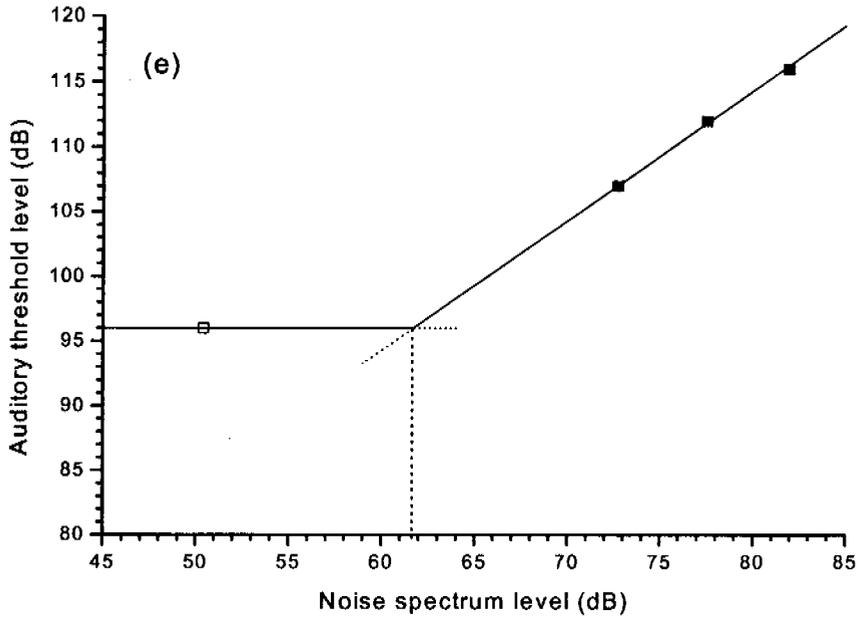


Fig. 4-22. Continued.
500Hz(e) and 800Hz(f).

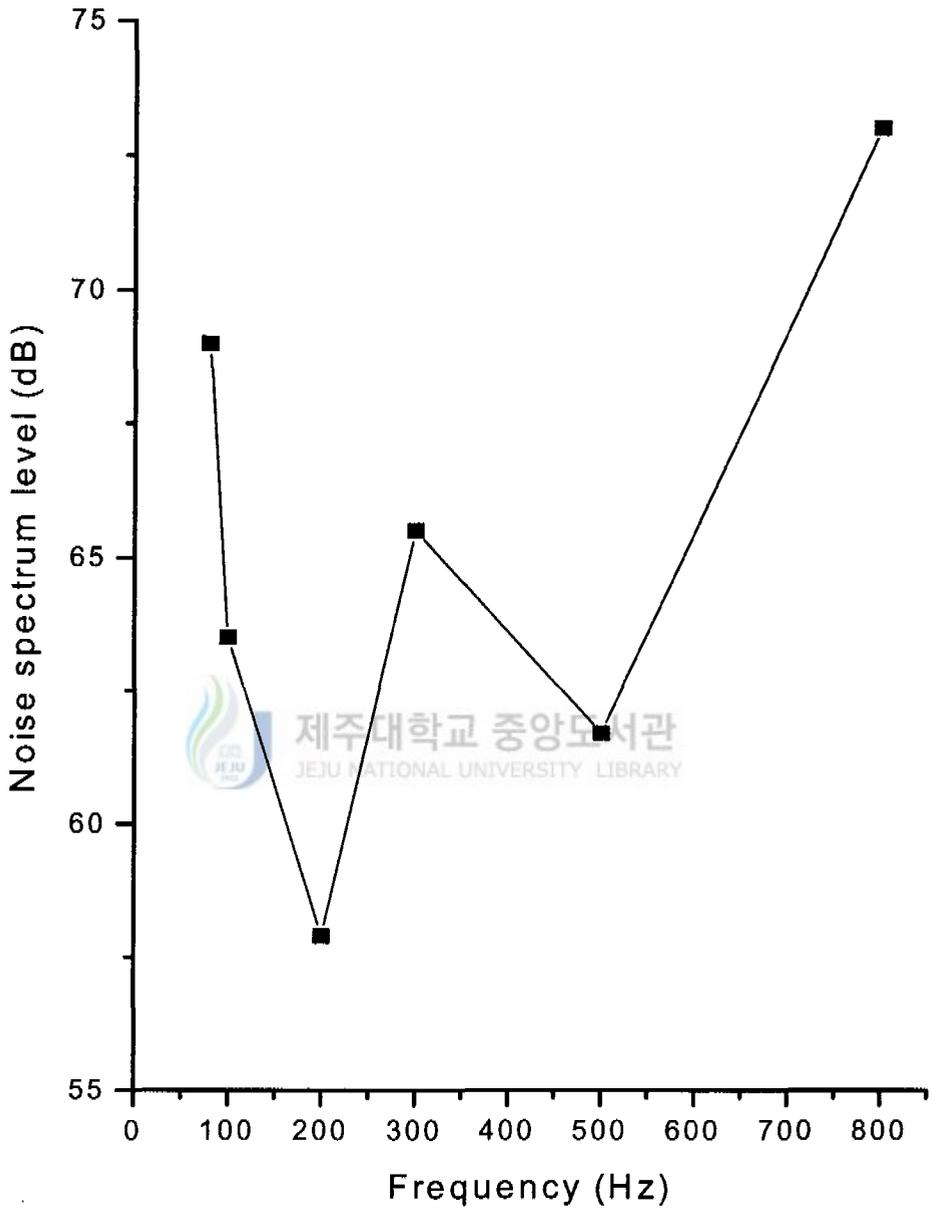


Fig. 4-23. Minimum noise spectrum levels(0dB re $1 \mu Pa/\sqrt{Hz}$) of masking of coralfish at frequencies of 80~800Hz.

3. 청각 능력 지수

실험어의 청각 특성을 파악하기 위하여 이들의 청각 문턱치를 기초로 하여 청각 능력 지수를 산출하기 위한 계수와 이들을 (1)식에 대입하여 구한 청각 능력 지수는 Table 4-6과 같다.

조피볼락은 배경 잡음 방정시에 f_1 은 주파수 290Hz, f_2 는 주파수 75Hz로 나타나므로 가청 범위를 나타내는 $(\frac{f_b}{Q_{10dB}})$ 은 주파수 215Hz가 된다. 또한 조피볼락은 배경 잡음 방정시 f_b 는 주파수 100Hz에서 음압 89dB일 때 가장 낮은 청각 문턱치를 나타내고 있으므로, 앞에서 구한 것과 같이 S_{fb} 는 음압 -11dB(0dB re 1 μ bar)가 된다. 따라서 배경 잡음 방정시 조피볼락의 청각 능력 지수는 51.0으로 나타났다. 이와 함께 동일한 방법으로 백색 잡음 방정시에는 f_1 이 주파수 300Hz, f_2 는 주파수 45Hz로 나타나 가청 범위를 나타내는 $(\frac{f_b}{Q_{10dB}})$ 는 주파수 255Hz가 되며, S_{fb} 는 음압 1.82dB(re 1 μ bar)가 되어 청각 능력 지수가 21.0으로 나타났다.

솜뱅이는 배경 잡음시에 f_1 은 주파수 320Hz, f_2 는 주파수 37Hz로 나타나므로 가청 범위를 나타내는 $(\frac{f_b}{Q_{10dB}})$ 은 주파수 293Hz가 된다. 또한 솜뱅이는 배경 잡음 방정시 f_b 는 주파수 100Hz에서 음압 92dB일 때 가장 낮은 청각 문턱치를 나타내고 있으므로, 앞에서 구한 것과 같이 S_{fb} 는 음압 -8dB(re 1 μ bar)가 된다. 따라서 배경 잡음 방정시 솜뱅이의 청각 능력 지수는 42.9로 나타났다. 이와 함께 동일한 방법으로 백색 잡음 방정시에는 f_1 이 주파수 106Hz, f_2 는 주파수 37Hz로 나타나 가청 범위를 나타내는 $(\frac{f_b}{Q_{10dB}})$ 는 주파수 69Hz가 되며, S_{fb} 는 음압 -2dB(re 1 μ bar)가 되어 청각

능력 지수가 10.4로 나타났다.

불락은 배경 잡음시에 f_1 은 주파수 390Hz, f_2 는 주파수 50Hz로 나타나므로 가청 범위를 나타내는 $(\frac{f_b}{Q_{10dB}})$ 은 주파수 340Hz가 된다. 또한 조피불락은 배경 잡음 방성시 f_b 는 주파수 300Hz에서 음압 96dB일 때 가장 낮은 청각 문턱치를 나타내고 있으므로, 앞에서 구한 것과 같이 S_{β} 는 음압 -4dB(re 1 μ bar)가 된다. 따라서 배경 잡음 방성시 불락의 청각 능력 지수는 29.1로 나타났다. 이와 함께 동일한 방법으로 백색 잡음 방성시에는 f_1 이 주파수 300Hz, f_2 는 주파수 60Hz로 나타나 가청 범위를 나타내는 $(\frac{f_b}{Q_{10dB}})$ 는 주파수 320Hz가 되며, S_{β} 는 음압 5dB(re 1 μ bar)가 되어 청각 능력 지수가 10.0으로 나타났다.

자리돔은 배경 잡음시에 f_1 은 주파수 300Hz, f_2 는 주파수 105Hz로 나타나므로 가청 범위를 나타내는 $(\frac{f_b}{Q_{10dB}})$ 은 주파수 415Hz가 된다. 또한 자리돔은 배경 잡음 방성시 f_b 는 주파수 300Hz에서 음압 88dB일 때 가장 낮은 청각 문턱치를 나타내고 있으므로, 앞에서 구한 것과 같이 S_{β} 는 음압 -12dB(re 1 μ bar)가 된다. 따라서 배경 잡음 방성시 자리돔의 청각 능력 지수는 81로 나타났다. 이와 함께 동일한 방법으로 백색 잡음 방성시에는 f_1 이 주파수 300Hz, f_2 는 주파수 60Hz로 나타나 가청 범위를 나타내는 $(\frac{f_b}{Q_{10dB}})$ 는 주파수 470Hz가 되며, S_{β} 는 음압 1dB(re 1 μ bar)가 되어 청각 능력 지수가 19.3으로 나타났다.

방어는 배경 잡음시에 f_1 은 주파수 560Hz, f_2 는 주파수 50Hz로 나타나므로 가청 범위를 나타내는 $(\frac{f_b}{Q_{10dB}})$ 은 주파수 510Hz가 된다. 또한 방어는

배경 잡음 방정시 f_b 는 주파수 100Hz에서 음압 95dB일 때 가장 낮은 청각 문턱치를 나타내고 있으므로, 앞에서 구한 것과 같이 S_{fb} 는 음압 -5dB(re 1 μ bar)가 된다. 따라서 배경 잡음 방정시 방어의 청각 능력 지수는 40.0으로 나타났다.

Table 4-6. The hearing index of experimental fishes.

Species	Condition	f_b	f_1	f_2	$\frac{f_b}{Q_{10db}}$	S_{fb}	Q_{10db}	HI
jacopever	Ambient noise	100	290	75	215	-11	0.46	51.0
	White noise	100	300	45	255	-2	0.39	21.0
scorpion fish	Ambient noise	100	320	37	293	-8	0.34	42.9
	White noise	80	106	37	69	-1	1.15	10.4
black rockfish	Ambient noise	300	390	50	340	-4	0.88	29.1
	White noise	300	380	60	320	5	0.93	10.0
coralfish	Ambient noise	300	510	105	415	-12	0.72	81.0
	White noise	300	530	60	470	1	0.63	19.3
yellow tail	Ambient noise	100	560	50	510	-5	0.2	40.0
	White noise							

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

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

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

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

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

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

HI : Hearing index

V. 고찰

제주에서 주 어획 대상 어류를 중심으로 음향을 이용한 어구·어법 개발의 기초 자료를 제공하기 위하여 몇 가지 어류의 청각 특성을 조사하였다. 이들 어류들은 연안 정착성 어류에서 회유성 어류까지 분포하고 있지만 방성음과 전기 자극을 이용한 실험 결과 측정 주파수 80~800Hz까지의 범위에서는 잘 인식하고 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 수중 가청음을 이용한 어구·어법을 개발하기 위해서는 음에 대한 어류의 청각 특성을 파악하는 것이 중요하며, 따라서 대상 어류에 대한 기초적인 청각 특성을 명확히 하는 것이 필요하다.

이들 어류의 청각 특성을 측정하기 위하여 사용한 실험 수조 안의 배경 잡음을 최소한으로 억제하기 위해서 방음용으로 제작된 실험실을 사용하였으나, 각각의 실험에서 배경 잡음의 스펙트럼 레벨이 주파수 60Hz의 저주파수 대역에서 음압 70~80dB 이상 되었다. 주파수 60Hz에 비교적 성분이 강한 전기 유도잡음과 교류 기기류가 발생하는 진동음이 확인되어, 어류의 청각에는 영향이 없는 것으로 판단되고, 이들 실험에서 구한 청각 문턱치와 배경 잡음 스펙트럼 레벨의 차이는 대략 최소 20dB, 청각 감도가 나빠지는 주파수대에 있어서는 음압 50dB 이상이 되므로, 청각 문턱치 측정에는 영향이 없었다고 판단된다. Fig. 5-1에서 조피볼락, 쏨뱅이, 볼락을 서로 비교하였을 때 실험에서 사용한 쏨뱅이, 조피볼락의 청각 특성은 측정 주파수 100~200Hz 사이의 감도가 가장 민감한 반면 측정 주파수 500Hz, 800Hz에서 가장 높게 나타났다. 볼락도 청각 문턱치는 측정 주파수 300Hz에서 민감한 반응을 나타낸 후 측정 주파수 500Hz, 800Hz로 주파수가 클수록 청각 문턱치도 높아져 학습음을 인식하기 어려운 것으로 나타나 조피볼락과 쏨뱅이의 청각 문턱치 곡선과 흡사한 양상을 보이고 있었다. 따라서 실험에 사용된 조피볼락, 쏨뱅이, 볼락

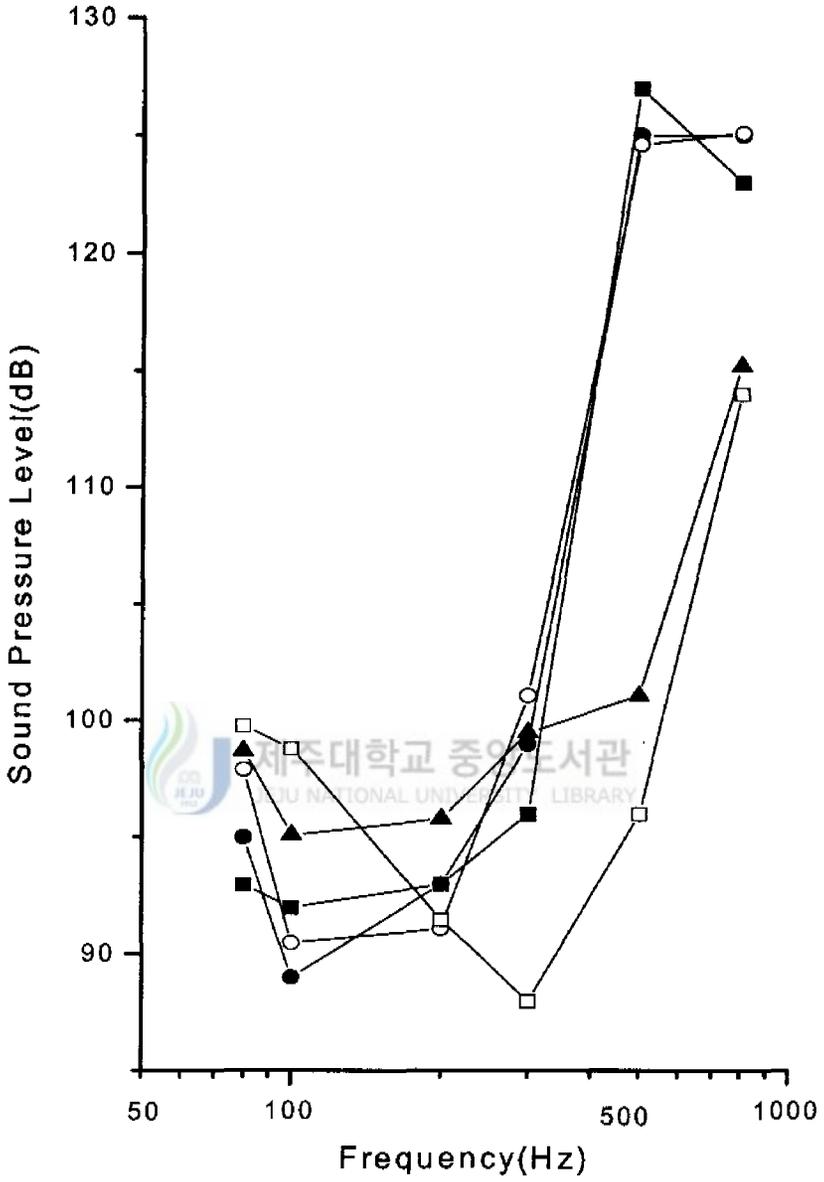


Fig. 5-1. Comparison of the auditory thresholds of five species used in the experiment.

- black rockfish.
- jacopever.
- coralfish.
- scorpion fish.
- ▲- yellow tail.

등의 양볼락과 어류의 청각 특성은 대략 측정 주파수 500Hz 이상의 주파수에서 감도가 낮게 나타날 것으로 추론된다.

방어의 체장과 주파수별 청각 문턱치를 비교하면 체장이 커짐에 따라 주파수별 청각 문턱치의 변화는 일정한 비율로 증감을 보이지 않아 상관성이 적어 보였고, 방어는 일정 해역에 정착해 서식하는 어류가 아니고 또 생리적으로 성질이 급한 편이어서 수조 내에서 구속 장치를 사용하지는 않았다. 특히 청각 문턱치 측정시 같은 전기 충격에 의한 능동적 방법이라도 음향 방성 학습 후 방성 음압을 낮은 쪽에서 올리면서 측정하는 것보다 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 측정하는 방법이 청각 문턱치가 낮게 나타나 측정 방법에 따른 청각 문턱치의 차이가 다소 있는 것으로 보여졌다.

방어의 뇌파 기록에 의한 응답 음압 강도가 측정 주파수 200Hz, 400Hz, 700Hz에서 피크치를 나타내고(安樂, 1998) 안 등(1998)에서도 측정 주파수 200Hz에서 편차가 가장 적어 다른 측정 주파수보다 민감하게 반응하였으며, 이 등(1997)의 잿방어에서는 주파수 300Hz, 400Hz의 순음에 대하여 주파수 400Hz에서 주파수 300Hz보다 유접이 잘 이루어지고 있음에 따라 방어는 이들 주파수에서 민감한 것으로 판단된다.

방어와 같은 전갱이과에 속하는 정 등(1998)의 전갱이 청각 문턱치와 비교하였을 때 실험에서 사용한 측정 주파수 80~800Hz 범위 내에서 주파수 80~300Hz까지 비슷한 값을 보이다가 측정 주파수 500~800Hz에서 차이가 나타나 주파수가 높을수록 청각 감도가 나쁘게 나타났다.

농어목인 자리돔은 측정 주파수 300Hz에서 청각 문턱치가 가장 낮았으나 측정 주파수 500Hz 이상이 되면 청각 문턱치가 증가하였고, 참돔의 청각 문턱치(Ishioka, 1988)와 비교하면 감도가 좋은 주파수가 다소 다르게 나타났으나, 곡선의 모양은 V자 형태를 하여 특정 주파수 주변의 소리에 대하여 감지 능력이 높다는 것이 나타나고 있으며, 청각 문턱치는 큰 차이가 없이 나타났다. 실험 결과 자리돔은 다른 실험어에 비하여 300Hz의 순음을 잘 감지하는

것으로 추측되었다.

어류의 청각 특성은 부레의 존재에 따라 측정치가 크게 달라진다. 일반적으로 부레가 있는 참돔과 내수면 양식 실험어인 틸라피아 등의 경우 감도가 좋은 측정 주파수는 대략 측정 주파수 200~300Hz 부근이며 측정 주파수 500Hz 이상에서 감도가 낮아지고 있으나 측정 주파수 1,000~1,500Hz까지 수중음을 인식하고 있었다(Ishioka, 1988 ; 藤枝 등, 1995). 반면 藤枝 등(1996a)의 넓치나 張 등(1998)의 가자미는 측정 주파수 100Hz에서 감도가 높지만 수중음의 인식폭은 측정 주파수 400Hz 미만으로 보고되고 있어 부레가 있는 어류보다 수중음의 인식폭이 상당히 좁게 나타났다. 이 실험에서 실험어의 실험 결과 측정 주파수 모두 잘 인식하고 있는 것으로 사료되어, 부레가 청각 보조 역할을 담당하고 있음을 추측할 수 있다.

실험어의 청각 문턱치 결과로부터 조피볼락, 송뱅이, 방어의 유집에 효율성이 높은 수중음은 측정 주파수 100~200Hz, 볼락 및 자리돔은 측정 주파수 200~300Hz라고 생각된다.

그러나 바다 속에는 선박, 항공기 등의 인공소음과 그곳에 서식하는 생물 자신이 내는 소리, 파랑, 강우 등 다종 다양한 소리가 포함되어 있기 때문에 실제의 어류는 자연 발생적인 수중 소음과 인위적으로 발생하는 수중 소음 둘다 존재하는 서식 환경에서 생활하고 있다. 어류의 청각은 이들 배경 잡음의 영향을 받아서 적은 음은 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 어류를 유집하기 위해서는 마스킹 현상 측정이 중요하다.

주파수 특성이 평탄한 백색 잡음으로 마스킹된 청각 문턱치와 배경 잡음 스펙트럼 레벨로부터 구한 청각 임계비(CR)는 청각 문턱치와 백색 잡음의 비를 의미하며, 백색 잡음이 청각에 미치는 영향을 평가하기 위한 자료가 되는 것으로 Fig. 5-2에 각각의 백색 잡음 레벨에 대한 실험어의 청각 임계비를

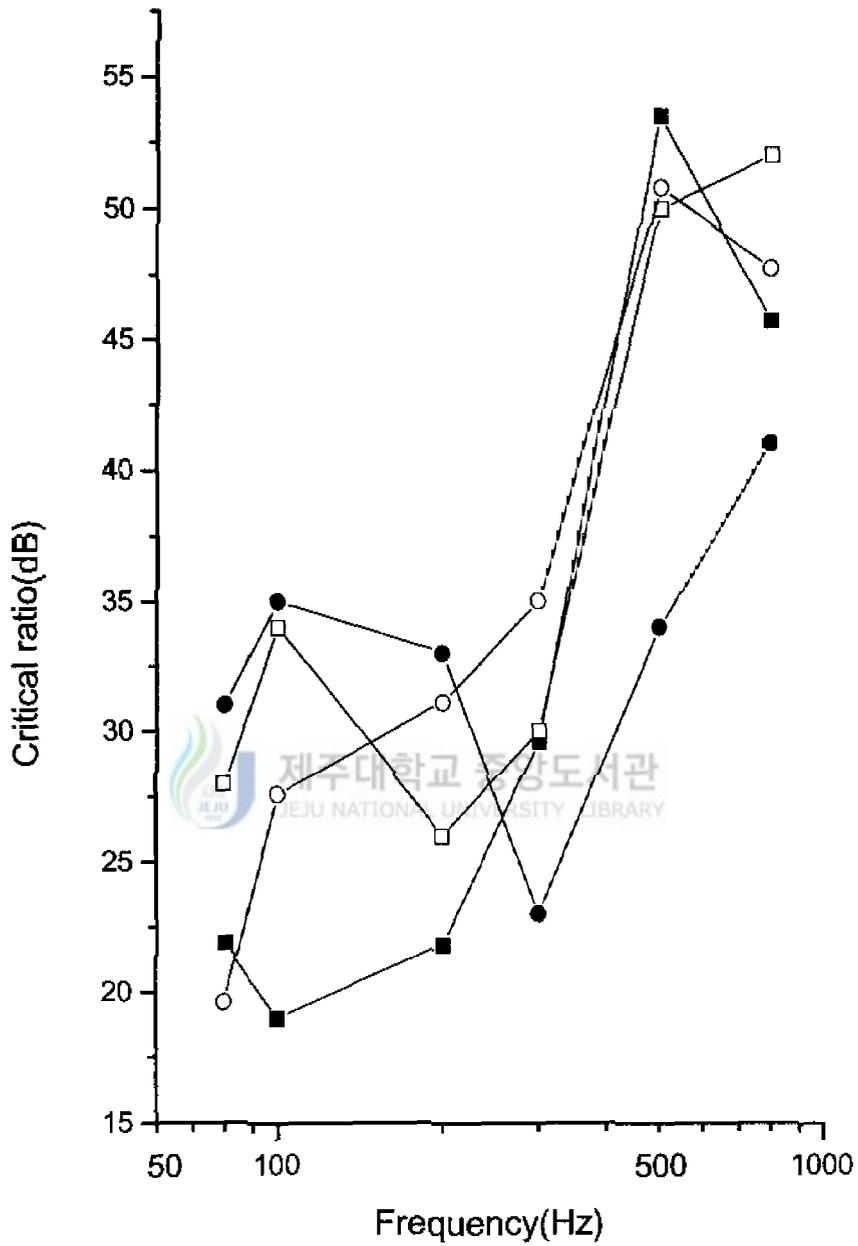


Fig. 5-2. Comparison of the critical ratios of four species used in the experiment.

- jacopever.
- scorpion fish.
- black rockfish.
- coralfish.

평균으로 나타내었다. 실험어들 모두 측정 주파수의 소리를 인식하기 위해서는 음압이 백색 잡음 레벨보다 청각 임계비 이상 높지 않으면 어려운 것으로 판단되며, 이들 실험어의 청각 임계비는 측정 주파수가 높을수록 청각 문턱치와 백색 잡음 스펙트럼 레벨의 차가 크게 나타났다. 또 실험어들의 각각의 청각 임계비를 비교한 결과 양볼락과인 조피볼락, 썸뱅이, 볼락은 측정 주파수 100Hz에서 다소 차이를 나타내고 있으나 측정 주파수 200~800Hz에서는 서로 비슷한 청각 문턱치를 보이고 있어 이들 어류는 비슷한 청각 특성을 갖고 있는 것으로 판단된다.

어류의 경우 일반적으로는 청각 문턱치의 음압과 배경 잡음 스펙트럼 레벨과의 차이 즉 청각 임계비가 음압 15~25dB 정도이면 어류는 배경 잡음과 구별하여 감지할 수 있다(畠山, 1989)고 하므로, 이들 실험어의 평균 임계비는 가장 적은 경우가 조피볼락에서 최소 19dB 이상이므로 실험어들은 각각의 측정 주파수를 감지하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 1~2월에 구한 썸뱅이의 청각 임계비는 측정 주파수 80Hz의 경우에 있어서 백색 잡음 레벨이 약 80dB일 때 청각 임계비가 15.3dB 정도로 나타나고 있어 음압 변화에 의한 감지가 판단된다. 그러나 물입자 변위의 감도 증가, 수조 저면에서 전달되는 배경 잡음에 의한 반응의 발생도 예상되며 本松 등(1997)이 측정한 조피볼락의 청각 임계비와 비교하였을 때 측정범위가 같은 측정 주파수 100~500Hz에서는 전체적으로 유사한 곡선 형태를 나타내고 있었으나 이 실험에서 구한 청각 임계비가 측정 주파수 300Hz까지 음압 5~10dB 정도 적게 나타나고 있었다. 어류의 청각 임계비에 관해서는 대구류를 시작으로 하여 연어, 참돔, 명태 등 여러 종류가 상세하게 조사되어 있고, 청각 감도가 좋은 주파수대에서 음압 16~36dB의 청각 임계비가 얻어지고 있다. 이들 청각 임계비는 각 어류의 청각 특성에 따라서 당연히 다르지만 측정 조건, 특히 배경 잡음이나 자극 음의 차이에 의해서 결과는 크게 달라질 수 있을 것이다. 따라서 앞에서의 조피볼락에 대한 청각 임계비 차이는 이러한 이유로 실험에

사용한 배경 잡음의 특성 및 설정이나 실험 방법 등의 차이에 의한 것으로 판단되지만 명확한 사유는 확실치 않다.

일반적으로 청각 문턱치의 측정에 사용된 실험어는 공급지역이 같고, 그 사육 장소에 있어서 음 환경도 전체적으로 같은 조건에서 서식하였던 것을 주로 사용한다. 그러나 동일 어류라도 배경 잡음이 큰 환경하에서 장기간에 걸쳐 성장한 어류와 조용한 환경에서 성장한 어류에서는 음 감수성이 달라질 것이다. 이 실험에서 사용한 실험 수조와 사육 수조의 배경 잡음 레벨을 비교하면, 모든 주파수대에서 사육 수조의 배경 잡음 레벨이 실험 수조의 배경 잡음 레벨보다 음압 17~30dB 이상 높게 나타났다. 특히 실험어의 음 감지 능력이 높은 측정 주파수 100~300Hz에서는 사육 수조의 배경 잡음 레벨은 실험 수조의 배경 잡음 레벨보다 약 30dB 이상 높게 나타나고 있었다. 또한 일반적인 바다에서의 수중 잡음과 비교하면 주파수 100Hz에서 음압이 약 10dB, 그리고 주파수 1,000Hz에서 음압이 약 20dB 정도 높은 상태이다. 이러한 배경 잡음 레벨의 측정은 일시적으로 이루어졌지만 사육 수조는 항상 비슷한 소음이 존재하고 있는 것으로 판단된다. 小島(1997)는 주변 환경 소음이 다른 장소에서 생활한 같은 크기의 참돔의 청각 문턱치가 서로 다르게 나타나 주변 환경 소음에 따라 청각 문턱치가 다르다고 보고하고 있다. 따라서 이 실험에서 사용한 각각의 실험어에 있어서 사육시의 음 환경이 청각 능력에 영향을 미치고 있는 것으로 판단되지만 이 실험에서는 그에 따른 측정 결과가 없어 이후 연구 필요성이 요구된다.

Corwin(1983)은 붕어류에 있어서 그 청각 기관에 속한 유모세포, 신경집중도, 생리학적 감도가 연령의 증가에 의한 성장에 따라 증가하면 그에 따라 청각 문턱치는 더 낮아진다고 보고하고 있고, Kenyon(1996)은 점자돔과의 어류도 성장함에 따라 청각 감도가 급격히 민감해진다고 보고하고 있다. Fay 등(1992)은 금붕어의 청각 능력 측정에 있어서 또 山川(1998)은 무지개 송어의 청각 문턱치 측정에 있어서 온도의 변화에 따라 청각 문턱치도 변화한다

고 보고하고 있다. 이러한 관점에서 이들 실험어의 청각 문턱치 결과를 수온 별로 비교하면, 9월에 측정된 Fig. 4-8의 개체의 크기가 비슷한 조피볼락의 청각 임계비 측정시의 청각 문턱치의 오디오 그래프와 1월~2월에 측정된 배경 잡음하에서의 오디오 그래프 Fig. 4-1를 Fig.5-3에 같이 나타낸 결과 서로 비슷한 모양의 곡선을 나타내고 있었고, 청각 문턱치를 서로 비교했을 경우 주파수가 높을수록 차이가 다소 나타나고 있으나 측정 주파수에서는 큰 의미가 없는 것으로 판단되며 쏜뱅이의 경우도 비슷한 경향을 나타내었다. 따라서 이 때 구한 배경 잡음하에서의 청각 문턱치는 수온의 차이에 의한 영향은 그다지 커 보이지 않았다. 그러나 Fig. 5-4에서 조피볼락의 경우 1월~2월에 구한 백색 잡음하에서의 청각 문턱치는 9월에 구한 백색 잡음하에서의 청각 문턱치 결과인 Fig. 4-8과 전반적으로 큰 차이를 나타내고 있었고 쏜뱅이도 전반적으로 크게 나타나고 있었다. 또 Fig. 4-8의 조피볼락과 함께 쏜뱅이의 대다수의 개체는 측정 주파수 300Hz 미만에서 octave당 음압차가 크게 나타나지 않아 측정 주파수를 잘 인식하고 있는 것으로 판단되지만, 일부 개체는 octave당 음압차가 크게 나타나고 있었고 특히 청각 특성이 급격히 저하하는 측정 주파수에서는 개체에 의한 차가 많이 나타나고 있었다. 또한 측정 주파수가 높은 학습음에는 반응을 나타내지 않는 경우도 나타나 주파수가 높아질수록 학습음을 인식하기 어려운 것으로 나타났다. 이러한 것은 어류 개체의 청각 능력에 대한 차이를 배제할 수는 없지만, 심박 측정시에 실험 기간에 따른 수온 저하에 의하여 심전도의 심박 간격이 일정함에도 불구하고 음 방성에 대한 자극의 학습 효과가 민감하게 나타나지 않은 것이 한 원인으로 추론되었다. 따라서 어류의 심박 간격을 이용한 청각 특성을 측정하기 위해서는 무엇보다도 심전도 도출을 위한 바늘을 정확한 위치에 삽입하는 것이 중요하다고 판단되지만 수온에 따른 청각 문턱치 변화를 명확히 구할 필요가 있다. 또한 주파수 500~800Hz 사이의 음압에 대한 이들 어류의 반응은 주파수 100~300Hz의 음압에 대한 학습 반응의 효과보다 다소 느리게 나타나는

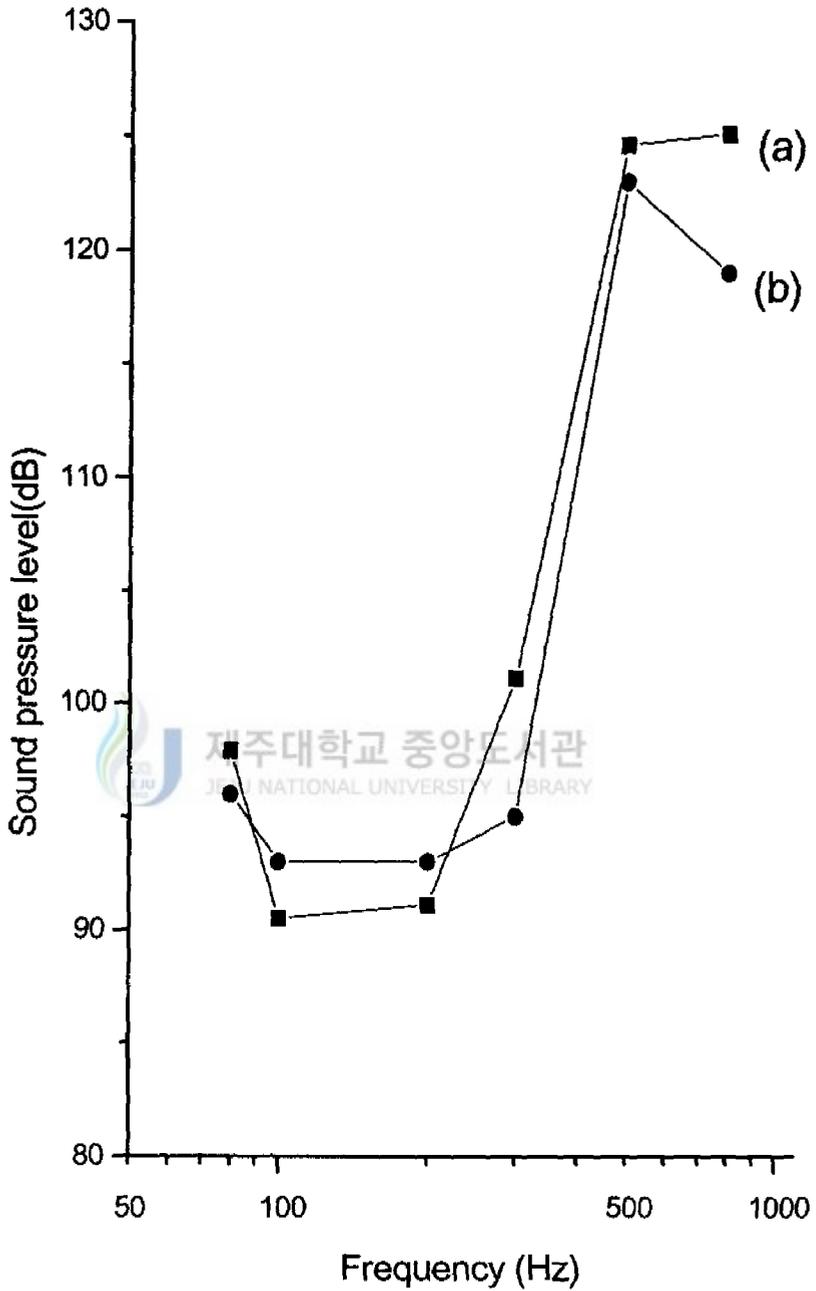


Fig. 5-3. Comparison of the auditory thresholds of jacopever.
 a) January and February (under 16°C).
 b) September (20°C).

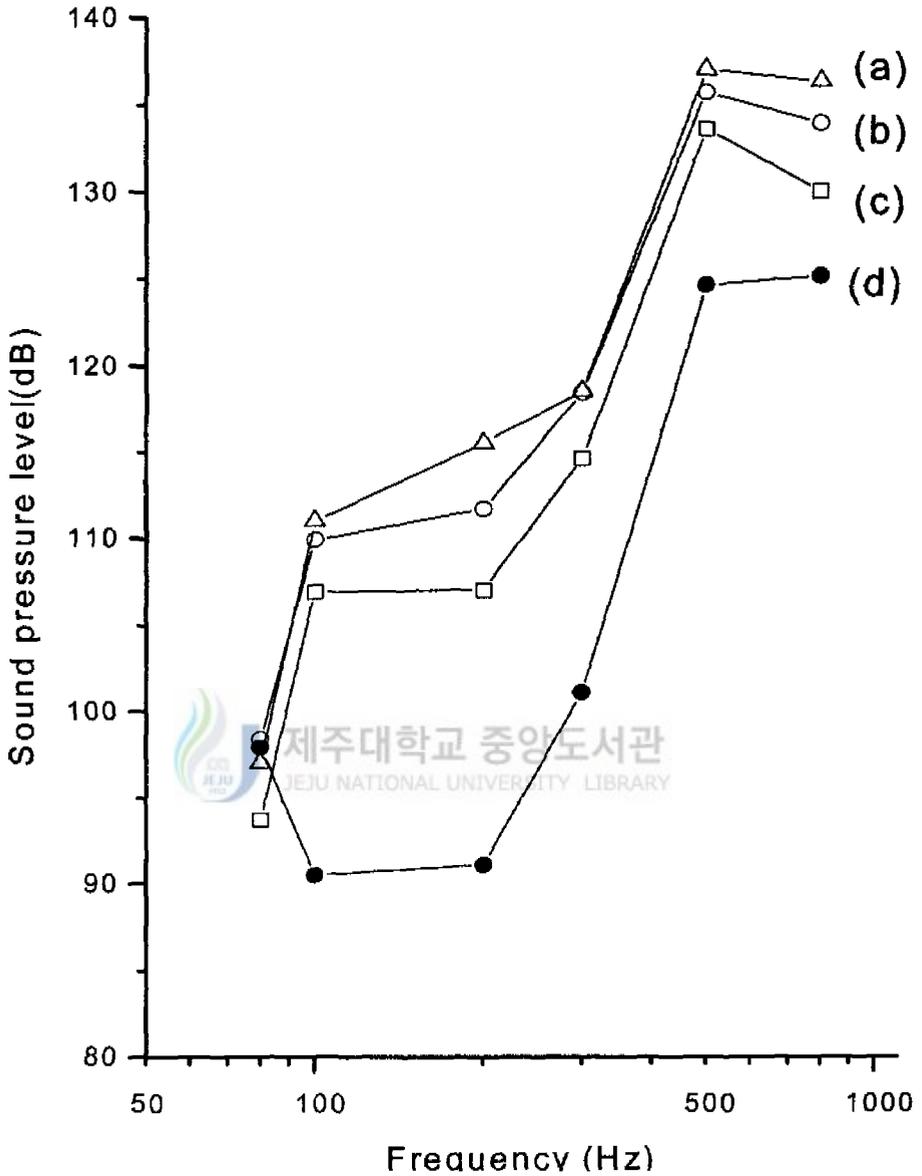


Fig. 5-4. Audiogram of jacobever with white noise in January and February.

- a) Auditory threshold with white noise spectrum level of 80B(Δ).
- b) Auditory threshold with white noise spectrum level of 75dB(\circ).
- c) Auditory threshold with white noise spectrum level of 70dB(\square).
- d) Auditory threshold with ambient noise(\bullet).

경향도 이들 수온의 영향이 다소 포함되어 있는 것으로 판단된다.

조피볼락과 쏘뱅이의 수온에 의한 청각 임계비를 비교하였을 때 주파수 80Hz에서 둘 다 수온에 관계없이 비슷한 값을 나타내었지만 그 외의 측정 주파수에서는 수온에 의한 영향이 있는 것으로 판단되며 조피볼락의 경우는 주파수 100~300Hz에서, 쏘뱅이의 경우는 주파수가 높을수록 차이가 크게 나타나고 있었다.

볼락의 음에 대한 음향 학습의 효과도 20℃의 수온에서의 학습은 대략 10 회 내외의 학습으로 완료가 이루어진 반면, 수온 14℃에서의 음향 학습은 그 이상 또는 학습 완료가 이루어지지 않아 수온에 의한 영향이 있는 것으로 판단된다. 방어의 경우도 Fig. 4-6은 청각 문턱치 측정 방법에 따라 결과를 나타내고 있지만 음압을 올리면서 구한 값(○)의 경우는 1~4월까지 측정한 것으로 실험시의 온도가 최대 15℃였으며, 음압을 내리면서 구한 값(●)의 경우는 5~6월 사이에 측정한 것으로 실험시의 온도는 평균 20℃내외였다. 방어들의 평균 청각 문턱치 중 5~6월 사이에 측정한 방어들의 청각 문턱치가 전반적으로 낮게 나타나고 있었고, 자리돔의 경우도 수온이 낮은 9℃때의 청각 문턱치는 수온 14℃에서 측정한 청각 문턱치보다 다소 높게 나타나는 경향이 있어 실험어는 수온에 의한 영향이 있을 것으로 판단된다. 또한 체장의 크기에 따라 청각 문턱치가 다를 수가 있으므로 이후 이들 각 개체의 체장과 수온과의 관계를 명확히 하는 것이 필요하다.

어류의 청각 능력 지수에 관하여 Hatakeyama(1992)는 다음의 5가지 이론을 제기했다. 즉, 부레를 가지고 있는 어류의 최대 청각 감도와 그 주파수의 관계에 관해서 1) f_b 가 높으면 S_{fb} 가 적고, 2) 당연히 청각 문턱치가 특출한 것은 청각 문턱치가 특출하지 않은 것보다 f_b 가 높고 S_{fb} 가 적으며, 3) 부레가 없는 어류는 청각 감도가 나쁘고, 4) 데이터가 적기는 하지만 해산어 중 청각 문턱치가 특출하지 않은 어류가 담수어 중 청각 문턱치가 특출하지 않은 어류보다 높은 f_b 와 낮은 S_{fb} 를 나타내는 경우가 많고, 5) 저층어는 표층

어에 비해 f_b 가 낮은 경향이 있다고 정의했으며, 어류의 청각 문턱치는 각각의 실험방법에 따라 달라질 수 있으므로 어류의 청각 능력 지수(HI)는 큰 범위내의 순서로밖에 논할 수 없다. 일부를 제외하곤 대체적으로 청각 능력 지수가 10이하인 경우 음을 이용하지 않는다고 한다. 또 골표류와 비Specialist는 각기 청각 능력 지수가 비슷한 범위의 분포를 나타내지만 골표류 이외의 Specialist의 청각 능력 지수는 그 분포가 크게 나타나고 있다. 같은 과에 속하는 어류의 청각 능력 지수는 대체적으로 유사한 범위에 있으며, 같은 과의 어류의 일치성은 해산어보다 담수어에서 나타나고 있다고 한다.

Schellart and Popper(1992)에 의하면 양볼락과의 어류는 청각 능력 지수가 15이상, 농어목은 68정도로 표시하고 있다. 이 실험에서 사용한 양볼락과인 조피볼락과 쏨뱅이, 볼락의 청각 능력 지수를 구해본 결과 Table 4-6에서와 같이 배경 잡음시에 대한 조피볼락과 쏨뱅이 그리고 볼락의 청각 능력 지수는 각각 51.0, 42.9, 29.1로 나타나고 농어목인 방어와 자리돔은 각각 40.0과 81정도로 나타나 각 어류가 속한 양볼락목 및 농어목의 청각 능력 지수와 큰 차이가 없이 나타나고 있었다.

어류의 청각 특성에 관한 연구는 1918년 Parker(1918)가 어류의 청각 능력에 관하여 발표한 이래 현재까지 많은 어류의 청각 문턱치 곡선이 구해져 왔다. 이들 측정 방법은 조건을 이용하는 심리학적 수법과 직접 청신경에서 음 자극의 응답을 채취하는 신경 생리학적인 수법(Enger, 1967)으로 크게 나눌 수 있다. 특히 심리학적인 수법은 조건의 종류에 따라 행동이 나타나는 것과는 무관한 조건 자극과 무조건 자극을 주어 행하는 고전적인 조건법(Fay, 1974 ; Popper, 1973 ; 藤枝 등, 1995 ; 鄭 등, 1995)과 행동이 보수를 획득하거나 벌을 회피하도록 하기 위한 도구로서 기능을 하는 도구적 조건법(石崎, 1992 ; Popper, 1972)으로 나뉜다. 이들 조건법을 이용한 청각 특성 측정은 실험어의 생리적 특성이나 측정 환경에 의해서 선택되거나 또는 병용하여 사용되어져 왔다. 그러나 어류의 청각 특성을 폭이 좁은 수조내에서 실험할 경

우 복잡한 음압 분포에 의해 측정 오차나 입자 변위의 영향을 피하기 위해서는 실험어를 일정 장소에 고정하지 않으면 안된다. 또 조건 반응의 측정에 의해 행동의 변화나 생리적 변화를 지표로 이용할 경우 대단히 민감하기 때문에 여러 가지 불필요한 자극에 의해 반응이 나타날 수도 있다. 따라서 이 실험에서 측정한 방어의 청각 문턱치 경우 고정하지 않은 상태로 청각 문턱치를 측정함으로써 방성음에 대한 반응이 불필요한 자극에 의해서 나타났을 가능성도 배제할 수 없다.

조건반응의 측정을 행하는 심전도를 얻기 위한 방법은 이 실험에서와 같이 전극침을 체내에 삽입하는 방법이나 山森 등(1971)의 수중전극법, 難波 등(1973)의 표면 도출법 그리고 小島 등(1994)의 전극 접촉법 등이 있다. 이 실험에서 사용한 체내에 전극침을 삽입하는 방법은 전극침 삽입 시 실패, 탈락 등이 자주 발생하였고 전극침 삽입 후 어류의 안정을 위한 회복시간도 12시간 이상 실시한 관계로 회복 시간동안 전극침 삽입으로 인해 실험어가 사망하는 경우도 발생하여 보다 많은 실험을 효과적으로 이루지 못하였다. 그 동안의 실험에서 Fig. 3-3(a)와 같이 심전도 파형이 비교적 잘 나타나고 있음에도 불구하고 조건 학습이 완료되지 않는 경우도 발생하였는데, 이러한 경우 방음 횟수의 증가에 대하여 반응이 산발적이고, 측정 주파수가 높을수록 단발적 반응이 보여졌기 때문에 반응의 연속성에 기초를 둔 청각 문턱치의 판정 방법을 적용하는 것은 다소 무리로 보였다. 또한 실험중에 같은 주파수의 같은 크기의 음압이라도 어류의 상태에 따라 반응에 차이가 있었는데, 특히 감도가 나쁜 주파수대에서는 그러한 현상이 자주 발생하였다. 따라서 각각의 측정 사이에는 어류가 충분히 안정을 취할 수 있도록 3~5분 이상의 간격을 두어 행하는 것이 필요하였다. 실험에 사용한 어류들의 청각 특성은 서식 환경, 체장, 실험 수온 등의 차이에 따라 각각의 청각 문턱치의 차이는 다소 나타나고 있었으나 畠山(1992)에서처럼 해산어가 나타내는 음압범위 80~120dB를 나타내고 있었고 청각 문턱치 변동 추이도 대부분의 어류와 유사한

형태로 변동하고 있어 이들 모두 일반적인 어류의 범주에 속하는 것으로 판단된다.

어류의 심박은 통상적으로 수온이 낮으면 감소하고 수온이 높아지면 증가한다. 그러나 수온이 낮음에도 심박이 증가하는 경향이 나타나는 것은 환경으로부터 받는 자극에 대한 영향의 차이가 있어 이로 인하여 심박수의 증감이 있는 것으로 판단된다. 즉 사육 수조와 실험 수조의 설치 위치 차이로 인하여 발생된 수온 차이, 그 외 개체가 어류 고정 장치에 고정되었을 때의 공포 등으로 인한 스트레스가 개체의 능력 차이에 따라 안정 상태와는 다른 생리, 심리적 상태로 되어 심박수 변화가 나타난 것으로 예상되었다.

藤枝 등(1996b)의 센서를 이용한 어류의 청각 특성 측정은 실험어의 사망 등 이러한 측면에서는 효과적으로 보이며, 어류의 뇌파를 이용한 청각 능력 측정(Kenyon, 1998)등은 정확한 청각 문턱치를 나타낼 수 있을 것이라 기대된다.

수중음에 의한 어군 행동 제어를 실제 어장에서 응용을 목적으로 한 어류 청각 특성 연구는 가장 유효한 음압 및 주파수를 명확히 구하는 것으로, 특히 음원에 확실히 집어시킬 필요성이 있기 때문에 이에 따른 두 가지의 능력 측정이 필요한데, 하나는 어류가 감지할 수 있는 최소 음압 즉 최소 가청음압 측정이다. 이와 같이 음을 감지할 수 있는 최소 음압을 일반적으로 청각 문턱치라 부른다. 청각 능력의 주파수 특성 즉 오디오그램을 그리면 어느 정도의 주파수음에 대하여 가장 감수성이 높은지 혹은 가청 주파수 대역은 어느 정도의 폭을 갖는 것인지를 표시할 수 있다.

청각 문턱치와 병행하여 필요한 것이 음원 정위 능력의 측정이다. 이것은 어느 위치에서 방성된 음에 대하여 음을 감지한 어류가 그 음원방향을 어느 정도 정확하게 판별하는 능력이 있는가를 측정하는 것으로, 어류의 청각 문턱치 측정에서는 일반적으로 실험어를 수중에 고정시켜 두고 방음하는 스피커를 실험어의 옆 혹은 상방에 위치하는 경우가 많다. 그러나 실제 수중을

자유롭게 유평하는 어류는 시시각각 자세를 변화시키기 때문에 특정의 장소에서 전달되는 음의 입사 방향도 당연히 변화한다. 따라서 수중음에 의해서 어류를 음원 방향으로 유인할 수 있는 것은 어류에 음원을 인식할 수 있는 능력 즉 음원 정위 능력이 있기 때문이고 음을 인식하더라도 음원 방향을 탐지할 수 없으면 특정 장소로의 유집은 불가능하므로 청각 문턱치의 측정 못지 않게 음원 정위 능력에 관한 실험도 이 후 중요한 과제로 사료된다.

또한 어장에서 어류를 유집하여 어획하기 위한 음향 어법 개발뿐만 아니라 음악이 어류의 성장에 영향을 미치고 있다는 것(양, 1999)을 감안 할 때 이들 어류의 청각 특성에 알맞는 음 환경 개발도 필요하다고 판단된다.



Ⅵ. 요약

제주 연안역에 있어서 수중 가청 저주파수음을 이용한 자원관리형 어업, 어장에서 음향을 이용해서 어류를 유집할 수 있는 음향 어법 개발의 기초 자료를 얻기 위하여 조피불락, 솜뱅이, 불락, 자리돔, 방어를 대상으로 측정 주파수 80~800Hz의 수중음과 7V의 직류 전원의 전기 자극을 이용하여 육상 수조에서 조건 학습을 시킨 후 측정 주파수와 음압을 임의로 변화시켜 가면서 실험어 심전도를 도출하여 심박 간격의 변화로부터 청각 문턱치 곡선과 함께 백색 잡음에 의한 청각 임계비, 청각 능력 지수를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 조피불락은 측정 주파수 80~800Hz에서 반응을 보여, 2차곡선 모양의 청각 문턱치 곡선 형상을 보이고 있었으며, 청각 문턱치는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 평균 음압이 각각 95dB, 89dB, 93dB, 99dB, 125dB, 125dB로 측정 주파수중 100Hz에서 음압 89dB로 가장 낮고, 측정 주파수가 300Hz에서 500Hz로 변화할 때 현저하게 증가하여 500Hz 이상에서 음압 125dB로 가장 높게 나타났다.

청각 임계비는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 음압이 각각 22dB, 19dB, 22dB, 30dB, 54dB, 46dB이고, 음압 73dB, 78dB, 83dB의 3단계 백색 잡음을 방성하였을 때 청각 문턱치는 백색 잡음이 없을 때보다 높게 나타나 마스킹 효과가 나타났으며, 측정 주파수 200Hz, 300Hz에서 보다 뚜렷하게 나타났다. 마스킹 현상은 측정 주파수 300Hz에서 약 음압 65dB의 백색 잡음 레벨에서 나타나기 시작하였으나, 그 외의 측정 주파수에서는 음압 70dB 이상에서 나타났으며 측정 주파수 100~200Hz에서 신호음을 인식하기 위해서는 대략 음압 90dB 이상, 백색 잡음 레벨보다 약 음압 19dB 이

상의 높은 음압이 요구되었다.

2. 썸뱃이는 실험에서 사용한 측정 주파수 80~800Hz의 학습음을 인식하고 있었다. 청각 문턱치는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 평균 음압이 각각 93dB, 92dB, 93dB, 96dB, 127dB, 123dB로 측정 주파수 100Hz에서 음압 92dB로 가장 낮고, 측정 주파수 300Hz 이상부터 급격하게 상승하는 경향을 보여 측정 주파수 500Hz에서 음압 127dB로 가장 높게 나타났다.

청각 임계비는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 음압이 각각 20dB, 28dB, 31dB, 35dB, 51dB, 48dB이고, 음압 73dB, 78dB, 83dB의 3단계 백색 잡음을 방성하였을 때 청각 문턱치는 백색 잡음이 없을 때보다 높게 나타나 마스킹 효과가 나타났으며, 측정 주파수 100Hz, 200Hz, 300Hz에서 보다 뚜렷하게 나타났다. 마스킹 현상은 약 음압 63~64dB의 백색 잡음 레벨에서 나타나기 시작하였으나, 측정 주파수 80Hz, 500Hz, 800Hz에서는 음압 70dB 이상에서 나타났으며 측정 주파수 100~200Hz에서 신호음을 인식하기 위해서는 대략 음압 92dB 이상, 백색 잡음 레벨보다 약 음압 28dB 이상의 높은 음압이 요구되었다.

3. 블락은 측정 주파수 80~800Hz의 학습음을 인식하고 있었다. 청각 문턱치는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 평균 음압이 각각 102dB, 103dB, 99dB, 96dB, 116dB, 122dB로 측정 주파수 300Hz에서 음압 96dB로 가장 낮고, 측정 주파수 300Hz 이상에서 급격하게 상승하는 경향을 보이면서 측정 주파수 800Hz에서 음압 122dB로 가장 높게 나타났다.

청각 임계비는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 음압이 각각 28dB, 34dB, 26dB, 30dB, 47dB, 52dB이고, 음압 73dB, 78dB, 83dB의 3단계 백색 잡음을 방성하였을 때 청각 문턱치는 백색 잡음이 없을

때보다 높게 나타나 마스킹 효과가 나타났고, 측정 주파수 100Hz, 300Hz에서 보다 뚜렷하게 나타났다. 마스킹 현상은 약 음압 65~70dB의 백색 잡음 레벨에서 나타나기 시작하였으나, 측정 주파수 80Hz, 200Hz에서는 음압 70dB 이상에서 나타났으며 측정 주파수 200~300Hz에서 신호음을 인식하기 위해서는 대략 음압 96dB 이상, 백색 잡음 레벨보다 약 음압 26dB 이상의 신호음이 요구되었다.

4. 자리돔은 측정 주파수 80~800Hz의 학습음을 인식하고 있었다. 청각 문턱치는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 평균 음압이 각각 100dB, 99dB, 91dB, 88dB, 96dB, 114dB로 측정 주파수 300Hz에서 음압 88dB로 가장 낮고, 측정 주파수 300Hz 이상에서 급격하게 상승하는 경향을 보이면서 측정 주파수 800Hz에서 음압 114dB로 가장 높게 나타났다.

청각 임계비는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 음압이 각각 31dB, 35dB, 33dB, 23dB, 34dB, 41dB이고, 음압 73dB, 78dB, 83dB의 3단계 백색 잡음을 방성하였을 때 청각 문턱치는 백색 잡음이 없을 때보다 높게 나타나 마스킹 효과가 나타났고, 측정 주파수 100Hz, 200Hz, 300Hz에서 보다 뚜렷하게 나타났다. 마스킹 현상은 약 음압 60~65dB의 백색 잡음 레벨에서 나타나기 시작하였으나, 측정 주파수 200Hz에서는 음압 57dB 이상에서, 측정 주파수 800Hz에서는 73dB 이상의 백색 잡음 레벨에서 나타났으며 주파수 측정 주파수 200~300Hz에서 신호음을 인식하기 위해서는 대략 음압 88dB 이상, 백색 잡음 레벨보다 음압 23dB 이상 높은 신호음이 요구되었다.

5. 방어어의 청각 문턱치는 측정 주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hz에서 평균 음압이 각각 99dB, 95dB, 96dB, 100dB, 101dB, 115dB로 측정 주파수 100Hz에서 음압 95dB로 가장 낮았으며, 측정 주파수 800Hz

에서 음압 115dB로 다른 측정 주파수에 비해 급격히 상승하여 측정 주파수 800Hz 이상에서는 청각 능력이 떨어지고 있었다.

6. 실험어의 청각 능력 지수는 배경 잡음시와 백색 잡음 방성시 조피볼락은 각각 51.0, 21.0이었으며, 솜뱅이는 각각 42.9, 10.4, 볼락은 각각 29.1, 10.0, 자리돔은 각각 81.0, 19.3 그리고 방어는 배경 잡음시 40.0으로 나타났다.



VII. 참고 문헌

- 안장영, 이창현, 김용주, 박용석. 1998. 연안정치망 주요대상어종의 청각 역치와 유집방음에 대한 행동반응(I) -방어의 청각 역치-. 한국어업기술학회지, 34(4), 386~392.
- 안장영, 이창현, 김용주, 박용석. 1999. 연안정치망 주요대상어종의 청각 역치와 유집방음에 대한 행동반응(II) -방어의 임계비-. 한국어업기술학회지, 35(1), 19~24.
- 安樂和彦. 1997. 中腦誘起腦波からみた魚類聴覺特性と聴覺の驚愕反射運動への関わり. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 63(1), 114~115.
- Chapman. C. J. and A. D. Hawkins. 1973. A filed study of hearing in the cod, *Gadus morhua* L. *J. com. Physiol.*, 85, 147~167.
- 鄭 龍晋. 1998. 漁船雜音がマアジ魚群に及ぼす影響に関する基礎的研究. 博士学位論文, 鹿兒島大學.
- 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.
- Enger. P. S.. 1967. Hearing in herring. *Comp. Biochem. Physiol.*, 22, 527~538.
- 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 -聴覚-. 恒星社厚生閣, 東京, 462~481.
- 古河太郎. 1993. 魚の音感覚. 日本音響學會誌, 49, 421~428.
- 藤枝 繁, 石野 貴, 新名 肇, 松野 保久, 山中 有一, 鄭 龍晋. 1995. ティラピアの聴覚閾値測定. 日本水産學會誌, 61(3), 320~325.
- 藤枝 繁, 松野 保久, 山中 有一. 1996a. ヒラメの聴覚閾値. 日本水産學會誌, 62(2), 201~204.
- 藤枝 繁, 森 隆, 山中有一, 松野保久. 1996b. 電壓センサを利用した魚類の聴覚閾値測定. 日水誌, 62, 40~45.
- 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. 水中音に対する魚の反應. 日本騒音制御工學會, 9(2), 48~52.
- 畠山良己. 1992. 魚の聴覚能力. 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.
- 石崎宗周, 平石智徳, 山本勝太郎, 梨本勝昭. 1992. クロソイの聴覚閾値について. 日水誌, 58, 55~61.
- 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. Yan.. 1998. A comparative study of

hearing ability in fishes -the auditory brainstem response approach-. *J. Comp Physiol A*, 182, 307~318.

小島隆人, 杉山 豊, 余座和征, 添田秀男. 1994. 体表面装着電極心電圖導出法. 平成5年度日本水産學會秋季大會講演要旨集, p 14.

小島隆人. 1997. マダイの周波數別および方向別聽覺閾値. *日水誌*, 63, 112~113.

국립수산진흥원. 1994. 한국 연근해 유용 어류도감. pp 299.

이창현, 김병엽, 정용진, 서두옥. 1997. 수중가청음에 대한 잭방어 어군의 유 집 반응. *한국어업기술학회지*, 33(4), 285~289.

이창현, 박용석, 문종욱, 김석종, 안장영, 서두옥. 1999a. 수중가청음에 의한 썸뱅이의 청각 능력 -1. 청각 문턱치-. *한국어업기술학회지*, 35(2), 156~160.

이창현, 박용석, 문종욱, 강창익, 김고환, 서두옥. 1999b. 수중가청음에 의한 썸뱅이의 청각 능력 -2. 청각 임계비-. 제주대학교 해양연구소 연구논문집, 23, 73~79.

이창현, 김고환, 서두옥. 2000. 가청저주파수음에 의한 볼락의 청각 문턱치. 2000년도 춘계학술대회, *한국어업기술학회*, 65~66.

이창현, 김고환, 서두옥. 2000. 자리돔의 청각 임계비. 2000년도 춘계학술대회, *한국어업기술학회*, 63~64.

本松敬一郎, 平石智徳, 山本勝太郎, 梨本勝昭. 1998. クロソイ聽覺の背景雜音によるマスキング. *日本水産學會誌*, 64(5), 792~795.

문종욱. 1999. 독가시치의 청각 문턱치와 임계비에 관한 연구. 석사학위논문, 제주대학교.

難波憲二, 村地四郎, 河本眞二, 中野義久. 1973. 魚類心電圖に關する研究-I, *廣島大學水畜學部紀要*, 12, 147~154.

Parker. T. H.. 1918. Hearing in fishes. *Copeia*, 53, 11~12.

- 朴容石. 1995. 音響によるスケトウダラの行動制御に関する基礎的研究. 博士學位論文, 北海道大學.
- 박용석, 이창현, 문종욱, 안장영, 서두옥. 1999. 조피볼락의 청각 문턱치. 수산해양교육연구, 11(1), 88~97.
- 박용석, 이창현, 김고환, 서두옥. 2000. 조피볼락의 청각 임계비. 2000년도 춘계학술대회, 한국수산해양교육학회, 39~48.
- Popper A. N.. 1972. Pure-tone auditory thresholds for the carp, *Cyprinus carpio*. *J. 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, pp 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. 1998. 魚類の聴覺生理 -ニジマス-. 恒星社厚生閣, 東京, 155~169.
- 山森邦夫, 羽生 功, 日比谷 京. 1971. ウナギ心電圖の水中電極による導出. 日水誌, 37, 94~97.
- 양 용수. 1999. 수중 저주파음에 의한 능성어의 행동제어에 관한 기초적 연

구. 박사학위 논문, 제주대학교.

張國勝, 平石智德, 木松敬一郎, 山本勝太郎, 梨木勝昭. 1998. マコガレイの聴覺閾値について. 日水誌, 64, 211~215.



감사의 글

연구를 수행함에 있어 저의 재주가 많이 부족함에도 불구하고 오랜 기간 동안 항상 같은 마음으로 지도와 편달을 아낌없이 보내주신 서두옥 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

그리고 심사 과정 동안 여러 어려움이 있음에도 세심하게 내용을 다듬어 주신 안장영 교수님, 바쁘신 와중에도 지도를 아끼지 않으신 이대재 교수님, 정성스럽게 내용을 지도해 주신 안영화 교수님, 많은 업무에도 불구하고 끝까지 정성을 다하여 도와주신 김석종 교수님께 감사를 드리며, 학위 과정 내내 지도를 아끼지 않으신 노홍길 교수님께도 짐직한 감사를 드립니다.

그동안 이 논문이 완성되기까지 아낌없는 배려와 물심양면으로 도와주신 최찬문 선생님을 비롯한 실습선 선생님들, 논문에 관한 내용을 많이 도와주신 박용석 선배님을 비롯한 김수철 선배님 그리고 여러 선배님들께도 감사드립니다.

또한, 자료 정리 등 여러모로 성심껏 도와준 김고환, 안태협, 양준원을 비롯한 여러 후배님들에게도 감사드립니다.

끝으로 많은 모자람에도 불구하고 묵묵히 지켜봐주신 집안 어른들께 감사의 마음을 올립니다.