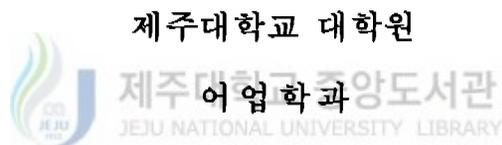


석사학위논문

독가시치의 청각 문턱치와 임계비에 관한 연구



문 종 육

1999년 12월

독가시치의 청각 문턱치와 임계비에 관한 연구

지도교수 서두옥

문종욱

이 논문을 수산학 석사학위 논문으로 제출함

1999년 12월

제주대학교 중앙도서관

문종욱의 수산학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 金 碩 鍾 
위 원 차 正 埴 
위 원 徐 斗 玉 

제주대학교 대학원

1999년 12월

**A STUDY FOR AUDITORY THRESHOLD
LEVEL AND CRITICAL RATIO OF DUSKY
SPINEFOOT *Siganus fuscescens*(Houttuyn)**

Jong-Wook Moon
(Supervised by professor Du-Ok Seo)



제주대학교 중앙도서관

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

**DEPARTMENT OF FISHERIES SCIENCE
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

1999. 12

목 차

LIST OF FIGURES	ii
LIST OF TABLES	iii
SUMMARY	1
I. 서 론	2
II. 재료 및 방법	5
1. 청각 문턱치 측정	6
2. 청각 임계비 측정	14
III. 결 과	23
IV. 고 찰	32
V. 요 약	37

참고문헌

감사의 글

LIST OF FIGURES

Fig. 1. A typical electrocardiogram of fish.	6
Fig. 2. Block diagram of the instruments for measuring auditory threshold of dusky spinefoot.	8
Fig. 3. The time sequences for emissions of pure sound and electric shocks.	11
Fig. 4. Electrocardiogram of which dusky spinefoot was not conditioned and conditioned by pure sound stimulus.	13
Fig. 5. Block diagram of the instruments for measuring auditory critical ratio of dusky spinefoot.	16
Fig. 6. The time sequences for emissions of pure sound and electric shocks under the white noise.	20
Fig. 7. Electrocardiogram of which dusky spinefoot was not conditioned and conditioned by pure sound stimulus under the white noise.	21
Fig. 8. Noise spectrum level in the experimental tank.	24
Fig. 9. Audiogram of dusky spinefoot with ambient noise spectrum level.	25
Fig. 10. Audiogram of dusky spinefoot with white noise spectrum level.	26
Fig. 11. Auditory critical ratio of dusky spinefoot in the measurement frequencies.	28
Fig. 12. Relation between noise spectrum level and auditory threshold level.	29
Fig. 13. Comparison of audiogram of dusky spinefoot with that of red sea bream, masu salmon, walleye pollock, yellow tail, black rock fish and scorpion fish.	34
Fig. 14. Comparison of auditory critical ratio of dusky spinefoot with that of red sea bream, walleye pollock, rainbow trout, black rock fish, yellow tail and scorpion fish.	35

LIST OF TABLES

Table 1. Specifications of instruments used for measurement and analysis of auditory thresholds	9
Table 2. Specifications of instruments used for measurement and analysis of auditory critical ratios	17



SUMMARY

An experiment was carried out to confirm the effect of audible underwater sound on the luring of fish school of dusky spinefoot *Siganus fuscescens*(Houttuyn) in the coast of Cheju Island. To find hearing ability of this fish, auditory threshold and critical ratio were measured and examined respectively.

The results of measurement are as follows ;

1. Under ambient noise in a quite condition, the mean auditory threshold levels of dusky spinefoots were 101.5dB, 95.8dB, 92.1dB, 94.8dB, 104.9dB and 120.8dB respectively in the range of measurement frequencies from 80Hz to 800Hz with a peak sensitivity of $92.1 \pm 4.5(\text{mean} \pm \text{S.D.})\text{dB re } 1\mu\text{Pa}$ at 200Hz.
2. Under mean white noise spectrum level of 74.3dB, 78.5dB and 82.9dB respectively as masking stimuli, the auditory threshold levels of dusky spinefoots were 104dB, 107dB, 110dB at 80Hz, 98dB, 101dB, 107dB at 100Hz, 104dB, 110dB, 113dB at 200Hz, 109dB, 112dB, 115dB at 300Hz, 113dB, 116dB, 122dB at 500Hz and 126dB, 129dB, 135dB at 800Hz with a peak sensitivity of 98dB, 101dB, 107dB respectively at 100Hz.
3. Auditory critical ratios of dusky spinefoots were 28.2dB, 23.3dB, 30.8dB, 34.0dB, 39.8dB and 52.3dB respectively in the range of measurement frequencies from 80Hz to 800Hz with a minimum value of 23.3dB at 100Hz, and masking point in noise spectrum levels were 73.3dB, 72.5dB, 61.3dB, 60.8dB, 65.1dB and 68.5dB respectively in the range of measurement frequencies from 80Hz to 800Hz.

I. 서 론

수중에서의 정보 전달 방법에는 전자파, 광파, 음파의 매체를 이용하는 데, 이들 중 전자파는 해수가 양도체이므로 전송되는 동안 급속히 감쇠하며, 광파는 파장이 짧아 해수를 통과하기 어려운 단점이 있다. 그러나 수중에 있어서의 음파의 파장은 공기 중에서 보다 약 4.4배 길고, 임피던스는 공기의 약 3.7×10^3 배이므로 해수 자체가 음파를 전송하기 쉬운 매질이어서 수중에서의 정보전달 신호로서는 음파가 다른 매체보다 그 이용 범위가 넓다는 장점을 갖고 있다.

수중 음파는 19세기초 영국에서 음향측심기에 이용한 이래 제2차 세계대전 중에 군함의 SONAR에, 그 후 수중 음향 기술의 비약적인 발전으로 해양생산에 있어서 어군 탐지기, 상선의 음향 측심기, 수중 항법 장치, 해류 관측기는 물론 수중 가청음을 이용한 어류의 유집, 위협, 어류 양식을 위한 치자어의 수중음 학습 등 여러 면으로 응용되고 있다(上野, 1979 ; 서·장, 1989 ; 서, 1993). 특히, 수중 가청 저주파음을 이용한 어류의 음향 순치 등은 최근 들어 길러서 잡는 해양생산인 해양 목장화 산업의 큰 과제로 대두되고 있을 뿐만 아니라, 이제까지의 많은 연구에서 어류가 음에 민감한 행동반응을 나타내고 있는 것이 확인되고 있으며, 이를 이용하여 해양생산에 수중음의 이용도를 높이려는 노력들이 행해지고 있다(안 등, 1996 ; 이·안, 1996 ; 이 등, 1997). 이러한 노력들은 어류의 청각 능력 중에서 청각 문턱치 및 청각 임계비로서 가장 예민하게 반응하는 음의 주파수를 찾아내고, 또한 어류를 일정한 음으로 순치 시킨 후 특정 해역에 방류하여 성장 소요 기간이 경과한 다음, 순치에 사용한 음을 다시 방성하여 재포획하는 해양 목장 산업에 이용되고 있다.

어류는 내이, 부레 및 측선 등의 청각 기관을 갖고 있는데, 낮은 주파수에 민감한 측선과 비교적 높은 주파수에 민감한 내이 등의 청각기관에 의해, 큰 음파 적외 발생하는 음에 대하여 도피행동을 보이고, 먹이가 되는 생물이 발생하는 음파 동종의 어류가 내는 음에 대하여 음원방향으로의 유집 행동을 보인다. 이러한 어류의 음향에 대한 행동을 알아내는 것은 해양

생산에 있어서 중요한 일로, 많은 어종의 청각특성을 파악하는 것이 필요하다. 그럼에도 불구하고 이들에 관한 연구는 그다지 많지 않다.

어류의 가청주파수는 16~5,000Hz 범위이나 주파수 100~1,000Hz 범위에서 예민한 반응을 나타내고 있으며(古河, 1970), 어류의 청각 능력에는 청각 문턱치, 청각 임계비, 청각 능력 지수, 주파수 변별 능력, 음압 강도 변별 능력, 음원 정위 능력 등이 있다.

청각 문턱치에 관한 연구는 Jacobs and Tavalga(1967)와 Popper and Clarke(1976)의 금붕어, Popper(1972)의 잉어, Chapman and Sand(1974)의 가자미, Ishioka(1988) 등의 참돔, 藤枝 등(1995, 1996b)의 틸라피아·넙치, 안 등(1998a)의 방어, 박 등(1999)의 조피볼락, 이 등(1999a)의 썸뱅이 등이 있고, 청각 임계비에 관한 연구는 Buerkle(1969)과 Chapman and Hawkins(1973)의 대구, Fay(1989a)의 금붕어, Hatakeyama(1989)의 참돔, 山川(1997)의 무지개송어, 本松(1997)의 조피볼락, 안 등(1998b)의 방어, 이 등(1999b)의 썸뱅이 등이 있으며, 주파수 변별 능력 및 음압 강도 변별 능력에 관한 연구는 Fay(1989b)의 금붕어 등이 있다. 그리고, 음원 정위 능력에 관한 연구는 Schuijf and Siemelink(1974)와 Hawkins and Sand(1977)의 대구, Aoki(1987)의 잉어 등이 있다.

이외에도, 어류의 청각에 관한 연구는 어류에 대한 음향 학습, 자극음의 지속시간, 어류의 신경, 기관, 심전도 등을 들 수가 있다.

이처럼 어류의 청각 능력을 파악하는 것은 어획의 과정에 있어서 대상 어류의 행동 반응을 추측할 수 있는 것 이외에 새로운 어구·어법을 개발하는 과정에 있어서도 중요할 뿐만 아니라 조업 중의 어구에 대한 어류의 행동 양상을 해결하는 데도 필요하며, 미래에 있어서 그물을 사용하지 않는 해양생산 즉, 음향 유집, 전기 울타리, 물고기 펌프 등을 이용한 첨단 해양생산 개발에 응용될 것이다.

정치망에 의한 해양생산은 정확성 및 회유성 어류를 주 어획 대상으로 일정한 지역에 어구를 고정하여 망 안으로 들어오는 어군을 어획하는 것으로 주로 연안 주변을 중심으로 이루어지고 있는 수동적 어법이므로 정치망 어구의 길그물 주변에서 수면 확성기로 수중 가청음을 방성하여 어류의 유집을 시도한다면 어획성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

이 연구는 제주도 연안에 설치되어 있는 정치망 어구에서 음향 집어기에 의한 어류의 유집에 이용될 수 있는 기초 자료를 제공할 목적으로, 정치망의 주요 어획 대상 어종인 독가시치를 실험어로 하고, 육상 수조에서 수중가침 저주파음과 전기 충격을 이용하여 음향 학습 시켰으며, 주파수와 음압을 변화시켜가면서 실험어의 심전도를 도출하여 심박 간격의 변화로부터 청각 문턱치 및 청각 임계비를 측정·조사 하였다.



II. 재료 및 방법

정치망의 주 어획대상인 연안 정착성 어류를 수중 가청음으로 유집하기 위해서는 우선 어류가 감지할 수 있는 청각 문턱치를 구하여야 한다.

일반적으로, 어류가 감지하는 음압 중 가장 낮은 음압을 청각 문턱치(Auditory threshold level)로 하는데, 이를 주파수별로 구하여 정리하면, 청각 문턱치 곡선(Audiogram)이 된다.

그러나, 수중에는 파랑, 강우 등 자연 발생적인 수중 소음과 선박, 항공기 등의 인위적인 수중 소음 등이 혼재하는 환경에서 서식한다. 어류의 청각은 이러한 주위 소음의 영향을 받아서 작은 소리가 들리기 어렵게 되는 마스킹(Masking) 현상이 발생하여서 청각 문턱치가 증가한다. 따라서, 측정음과 백색 소음(White noise)을 동시에 방성하였을 때의 청각 문턱치와 그때의 백색 소음 음압 레벨과의 비를 청각 임계비로 하였는데, 이를 주파수별로 구하여 정리하면 청각 임계비 곡선이 된다.

어군 유집을 위한 음 특성의 기준은 전술한 청각 문턱치 및 청각 임계비 곡선으로부터 가장 민감하게 감지하는 최적 주파수와 최소 음압으로부터 구한다.

실험은 제주도 북제주군 조천읍 함덕리 소재 제주대학교 해양연구소에서 실시하였고, 실험어는 1999년 7월 중순에 제주도 북제주군 한림읍 금등리 소재의 정치망에 입망한 독가시치 *Siganus fuscescens* 30미를 구입하여 해양연구소의 사육실에 설치된 직경 160cm, 깊이 94cm인 원통형 FRP제 사육수조 2곳에 각각 15미씩 옮겨 넣어, 시판되고 있는 어류용 사료(Extruded Pellet, WOOSUNG)를 1일 1회 오후 7시경에 사육수조 2곳에 각각 약 50g씩 급이하면서 약 2주 이상 사육·순치 시켰으며, 그 중 8미는 청각 문턱치 측정용 실험어로, 6미는 청각 임계비 측정용 실험어로 사용하여 총 14미를 사용하였으며, 사육 중 사육수조의 수온은 22~27℃, 염분은 31.20~32.48‰였다.

1. 청각 문턱치 측정

어류의 심전도를 도출하기 위해서는 심장의 전위변화를 감지하는 전극이 필요하다. 전극을 부착하는 위치는 일반적으로, 위심강이나 심장부근 체측근의 어체 내(체내 도출법) 또는 어체 표면(체표면 도출법)이지만, 심장 기전력이 큰 장어 등은, 어체에 전극을 직접 접촉시키지 않고, 체표 근처에 전극을 설치해 두는 것(수중 전극법)만으로도 심장 박동의 측정이 가능한 심전도를 기록할 수 있다. 대부분의 어류의 심전도 파형은 사람의 심전도 파형과 비슷하므로, 파형의 명명법은 사람의 심전도 파형 명명법을 사용하여, 심방의 흥분파를 P파, 심실의 흥분파를 QRS군, 심실의 흥분이 안정될 때의 파를 T파라고 부른다. Fig. 1에 어류의 심전도의 모식도를 나타내었다(有元·難波, 1996).

또한, QRS군의 R파부터 다음의 QRS군의 R파까지를 R-R간격이라 하여, 심장 박동의 주기를 나타낸다. 이 값을 60초로 나누면 심박수를 구할 수 있다. 그리고, 어류에 강한 음 자극을 가하면 순간적으로 심박수가 감소하는 심장 반사를 일으키는 데, 이 실험에서의 청각 문턱치 측정은, 이 심장 반사를 지표로 하여 심실의 수축주기를 나타내는 R-R간격을 심박 간격으로 해서 측정하고(添田 등, 1998), 이 간격이 길어졌을 때를 음 자극으로 인식한 것으로 하였으며, 체내 도출법을 사용하였다.

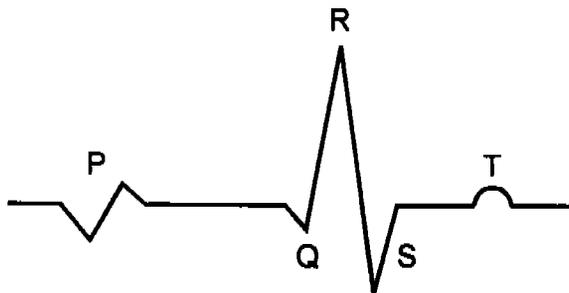


Fig. 1. A typical electrocardiogram of fish.

청각 문턱치 측정 실험에 사용된 독가시치 8미의 전장은 평균 28.5cm, 표준편차 2.0cm이었고, 체중은 평균 307.5g, 표준편차 84.0g이었다.

실험기간은 1999년 8월 1일부터 8월 15일까지 행하였고, 실험 기간 중 실험수조의 수온은 24~27°C, 염분은 31.20~32.00%였으며, 실험어는 사육 수조에서 실험수조로 옮긴 후부터 12시간 이상 경과한 후에 청각 문턱치 측정 실험에 사용하였다.

실험장치의 배치를 Fig. 2에 나타내었으며, 측정 기구에 대한 규격은 Table. 1에 나타내었다. 실험수조 안의 환경 소음과 바닥으로부터의 진동음을 최대한 저감시키기 위하여 철제 컨테이너로 만든 간이 방음실(L300×B250×H250cm)을 제작하여 그 안에 실험수조(L118×B48×H62cm, 유리제)를 넣었다. 방음실의 옆판과 천장의 안쪽에는 두께가 2.5 cm인 스티로폼을 부착하여 환경 소음의 영향을 가능한 적게 하였다.

주변의 진동음을 최대한 적게 하기 위해서 실험수조의 네 모서리의 아래에 방진 스프링, 그 밑에 두께 45mm인 고무판을 깔았다. 그리고, 실험어를 수용하기 위해 그물코 모양으로 만들어진 합성수지 제품으로 제작한 꼬리 쪽이 개방된 원통형 실험어 고정장치(L260×B60×H90mm)를 실험수조 안에 고정하여 실험어의 머리부분이 스피커의 음축선 상의 중심 위치에 오도록 설치하였다.

수중음은 압력변동과 물입자의 이동에 의해서 전파하며, 어류의 경우 압력변동은 내이에 의해서, 물입자의 이동은 측선에 의해서 감지한다(古河, 1970). 일반적으로 수중음은 음원으로부터 1/2파장 이내에서는 두가지 성분이 존재하므로, 어류의 청각 문턱치를 구하기 위해서는, 물입자의 이동에 의한 전파를 억제하여 음 자극을 줄 필요가 있다. 또한, 실제 바다의 넓은 범위에 걸쳐서 어군을 제어하려면, 수중음이 먼 거리까지 전달되어야 하므로 원거리 음장 성분의 음압만 존재하고 입자 변위에 의한 근거리 음장 성분의 음압은 무시하여도 좋을 정도로 설정하여 측정음에 대한 실험어의 청각 문턱치를 구하기 위해서 실험수조의 양 측면으로부터 각각 5cm 떨어지도록 위치시킨 두 개의 공중스피커를 서로 마주보도록 설치하여 두 개의 음원으로부터의 측정음의 진폭과 위상이 일치하도록 방성하였다.

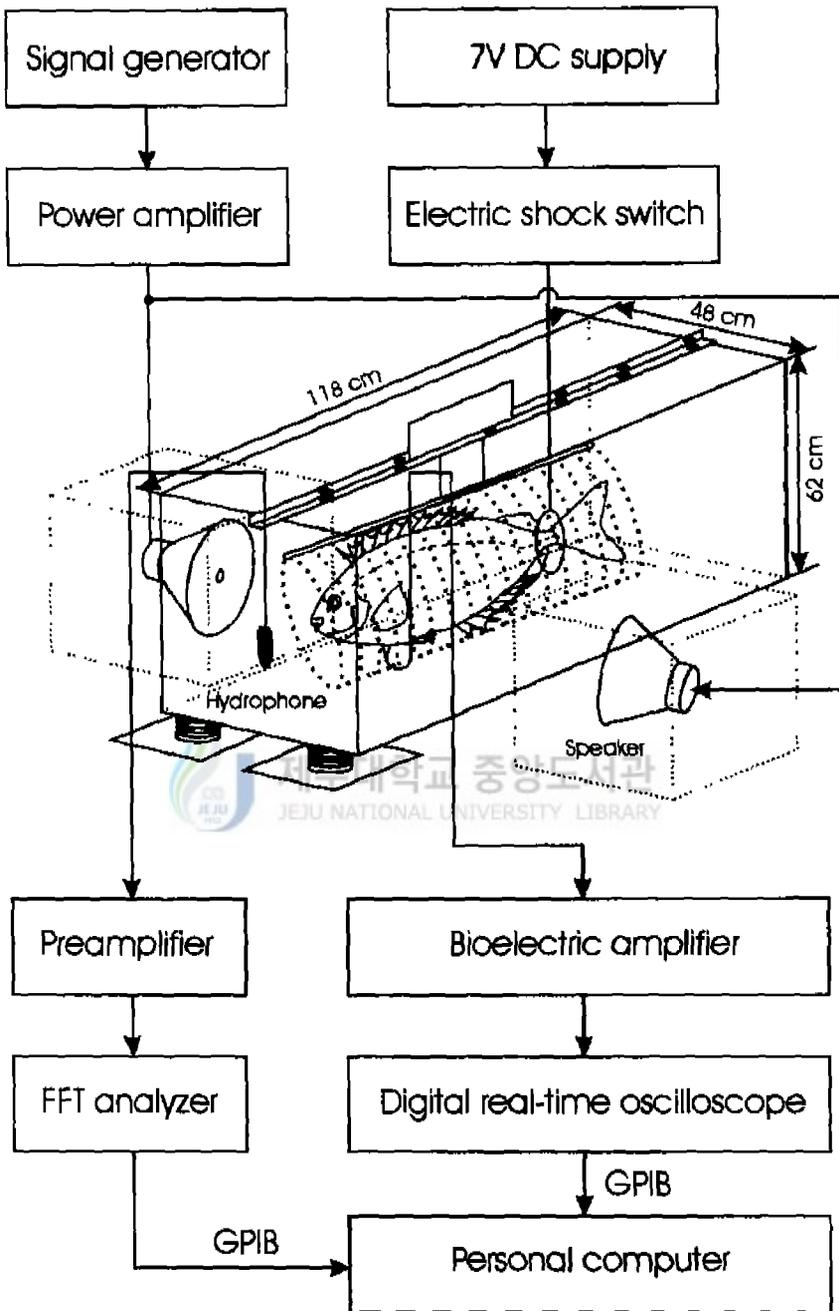


Fig. 2. Block diagram of the instruments for measuring auditory threshold of dusky spinefoot.

Table 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 1hours 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 range : 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

실험수조의 해수는 실험수조의 밑에서 주입하여 위쪽으로 배출하였으며, 이 때의 수심은 55cm였다.

실험어는 실험개시 1일 전에 사육수조에서 실험수조로 옮기기 전에 200ppm의 마취제(MS-222, SIGMA CHEMICAL)용액에 넣어 마취시킨 후 낚시 바늘로 만든 전극 침을 실험어의 위심장에 꽂고 어류의 움직임을 최대한 억제하기 위하여 실험어 고정장치 안에 고정시켜서 실험시 어체의 요동에 의한 음압차가 발생하지 않도록 하여, 실험수조에서 마취로부터 회복시켰다.

이 때 전극 침은 상용 판매되고 있는 16호의 낚시 바늘을 열 수축튜브로 절연시킨 후에 낚시 바늘 끝을 3mm 정도 노출시켰으며, 낚시 꼭지에는 직경 0.8mm의 전선을 연결하여, 어류의 배지느러미 기부로부터 어체의 위심장에 두 개의 낚시 끝을 삽입하는 쌍극 도출법으로 낚시 바늘 끝의 전극 부위가 심장 부근에 위치하도록 조절하여서 심전도를 측정하였다.

위심장에 꽂은 전극 침으로부터의 전기 신호는 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, PS2520G)를 이용하여 실험어의 꼬리부분에 전기 충격을 가할 수 있도록 실험어 고정장치 뒤쪽에 동선 전극(ϕ 2mm)을 설치하였다.

실험어의 음향 학습에 있어서 학습음은 신호발생기(NF, 1915)로 발생시킨 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz의 6종류의 순음을 사용하였으며, 음향 학습은 심전도 측정용 전극을 장착하고 나서 약 12시간 이상이 경과한 후에 위 측정 주파수 중에서 임의의 주파수 하나를 학습음으로 하여, 실험어 고정장치 안의 실험어의 머리부분에서 음압 120~130dB이 얻어지도록 전력증폭기(Inkel, PSR-2000)로 증폭시킨 후 실험수조의 양 측면에서로 마주보도록 설치한 공중스피커(Promann, CB38)를 통하여 동진폭, 동위상으로 방성하였으며, 학습음과 전기 충격을 병용하여 심전도의 변화를 보아가면서 학습을 완료시켰다.

학습음 방성 및 전기 충격에 대한 반복 과정은 Fig. 3과 같은데, Fig. 3(b)는 학습음을 5초 동안 공중 스피커로 방성한 파형이고, Fig. 3(a)와 같

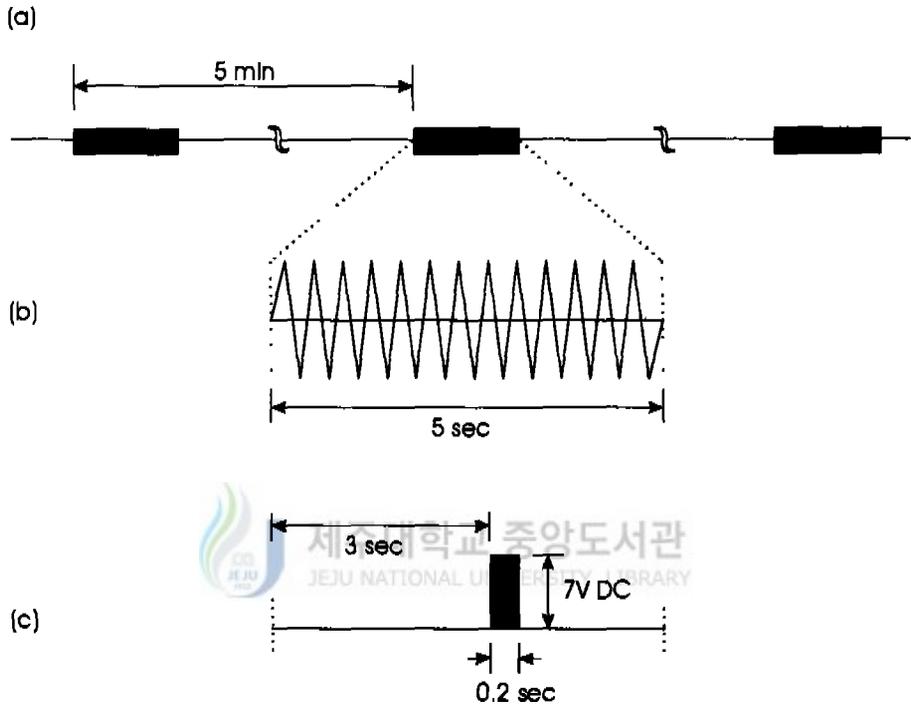


Fig. 3. The time sequences for emissions of pure sound and electric shocks.

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

이 5분마다 학습음을 방성하였다. Fig. 3(c)는 학습음 방성 3초 후에 직류 전압 7V의 전기 충격을 약 0.2초간 준 것인데, 이는 학습음 방성 도중에 전기 충격이 올 것이라는 것을 인식시키는 음향 학습 과정이다.

Fig. 4는 음향 학습을 실시하기 전·후의 실험어의 심전도이며, Fig. 4(a)는 음향 학습을 실시하기 전의 심전도인데, 심박 간격이 일정하고, Fig. 4(b)는 음향 학습이 완료된 후의 심전도로서 학습음을 방성하기 전보다 방성한 후에 심박 간격이 길어졌을 때, 학습음을 인식하였다고 판단하였다 (Fig. 4(b) Sound response 참조). 이와같이 각 실험어를 측정 주파수에서 5분 간격으로 반복하여, 명확하게 심박 간격이 연속해서 5회 이상 길어지면 음향 학습이 완료된 것으로 간주하였다.

실험수조 안의 방성음과 환경 소음의 해석은 수중 청음기(B&K, 8104)를 실험어의 머리부분에 설치하여 측정하였다. 수중 청음기 및 전치증폭기(B&K, 2635)로부터의 신호를 주파수 분석기(B&K, 2143)를 사용하여 1/3 Octave로 20초 동안 평균하여 측정하였으며, 방성음의 음압($dB \text{ re } 1\mu Pa$, 이하 음압의 기준 단위는 동일함)과 환경 소음의 스펙트럼 음압 레벨($dB \text{ re } 1\mu Pa/\sqrt{Hz}$, 이하 환경 소음의 기준 단위는 동일함)은 실험 전에 미리 분석하였다. 실험어의 청각 문턱치 측정은 음향 학습을 완료시키고 약 30분 경과 후에 측정하기 시작하였다.

음향 학습에 사용한 음을 포함한 측정 주파수를 임의의 순서로 선택하여 학습음의 음압에서부터 측정 주파수의 방성음압을 3~5dB씩 감소시켜 가면서, 청각 문턱치 부근이라고 판단되는 곳에서 측정음을 인식하였을 때에는 약 3dB 내리고, 인식하지 않을 때에는 약 3dB 올리면서 계단법(Staircase method)으로 측정하였고, 방성 중 실험어의 심박 간격이 우연히 벌어지는 오차를 줄이기 위해서 연속해서 2번 이상 방성음을 인식하였을 때를 측정 주파수에 대한 실험어의 청각 문턱치로 하였다.

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

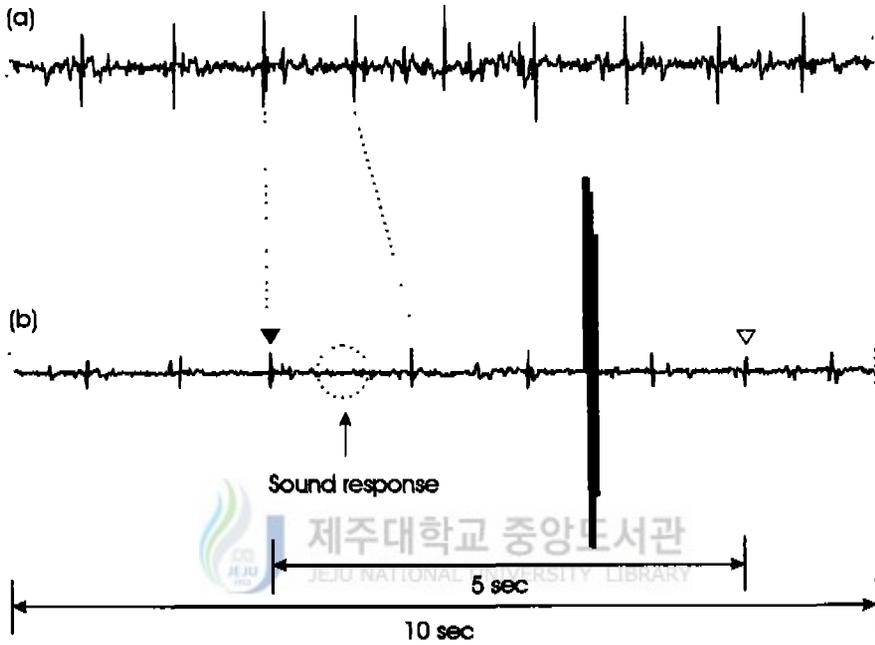


Fig. 4. Electrocardiogram of which dusky spinefoot was not conditioned and conditioned by pure sound stimulus.

- (a) Before conditioning with pure sound stimulus.
- (b) After conditioning with pure sound stimulus
- (▼ : Sound projection, ▽ : Sound projection is over.).

2. 청각 임계비 측정

수중에는 파랑, 강우 등 자연 발생적인 수중 소음과 선박, 항공기 등의 인위적인 수중 소음 등이 혼재하는 환경에서 서식한다. 어류의 청각은 이러한 환경 소음의 영향을 받아서 작은 소리가 들리기 어렵게 되는 마스킹(Masking) 현상이 발생하여서 청각 문턱치가 증가한다. 따라서, 어류의 주파수 분해 능력, 환경 소음에 의한 청각 감도의 악화 등 기본적인 특성을 조사하는 데 있어서는 마스킹의 측정이 중요하다.

환경 소음에 의한 어류의 마스킹 현상을 측정하는 방법으로 세가지 방법이 행하여지고 있는데(畠山, 1992), 첫 번째 방법은 측정음을 마스킹하는 광대역 소음의 대역폭을 서서히 좁혀서 측정음의 청각 문턱치를 조사하면 넓은 대역폭에서는 청각 문턱치가 일정하지만 일정 대역폭 이하에서는 청각 문턱치가 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 청각 문턱치를 측정하거나, 환경 소음의 중심 주파수를 일정하게 하고 측정음의 주파수를 바꿔서 청각 문턱치를 측정하여 청각 필터를 조사하는 방법이다.

마지막으로 세 번째 방법은 마스킹하는 음을 백색 소음(White noise)으로 하여서, 백색 소음 중에서 마스킹에 관여하는 부분의 파워는 청각 문턱치가 되는 측정음의 파워와 같다고 하는 가정 하에, 아래의 식으로부터 청각 임계비(Auditory critical ratio, CR)를 계산한다.

청각 문턱치를 T ($dB \text{ re } 1\mu Pa$), 백색 소음의 스펙트럼 음압 레벨을 S ($dB \text{ re } 1\mu Pa/\sqrt{Hz}$), 마스킹에 관여하는 대역폭을 Δf (Hz)라 하면, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$CR = 10 \log \Delta f = T - S$$

즉, 청각 임계비는 청각 문턱치와 백색 소음 스펙트럼 음압 레벨의 비를 의미한다. 이 논문에서는 청각 임계비 측정 방법을 이용하여 실험어의 마스킹 현상을 조사하였다. 따라서, 측정음과 백색 소음을 동시에 방성하여, 청각 임계비를 구한다. 또한, 이를 주파수별로 구하여 정리하면 청각 임계비 곡선이 된다.

청각 임계비 측정 실험에 사용된 독가시치 6미의 전장은 평균 24.3cm, 표준편차 1.2cm이었고, 체중은 평균 160.0g, 표준편차 20.0g이었다.

실험기간은 1999년 9월 27일부터 10월 14일까지 행하였고, 실험기간 중의 실험수조의 수온은 23~25℃, 염분은 31.50~32.48%이었으며, 실험어는 사육수조에서 실험수조로 옮긴 후부터 12시간 이상 경과한 후에 청각 임계비 측정 실험에 사용하였다.

실험장치의 배치를 Fig. 5에 나타내었으며, 측정 기구에 대한 규격은 Table. 2에 나타내었다. 청각 임계비 측정 실험에 사용된 실험수조 및 실험어의 설치 방법은 청각 문턱치 측정 방법과 동일하였다.

실험어는 실험개시 1일 전에 청각 문턱치 측정 방법과 마찬가지로 실험수조로 옮기기 전에 200ppm의 마취제용액에 넣어 마취시킨 후 낚시 바늘로 만든 전극 침을 실험어의 위심강에 꽂고 어류의 움직임을 최대한 억제하기 위하여 실험어 고정장치 안에 고정시켜서 실험시 어체의 요동에 의한 음압차가 발생하지 않도록 하여, 실험수조에서 마취로부터 회복시켰으며, 쌍극 도출법으로 낚시 바늘 끝의 전극 부위가 심장 부근에 위치하도록 조절하여서 심전도를 측정하였다.

위심강에 꽂은 전극 침으로부터의 전기 신호는 생체용 오실로스코프 겸 증폭기를 통하여 디지털 오실로스코프에 입력시켜 심전도를 관찰하면서 전극이 정확하게 장착되었는지의 여부를 확인하였으며, 직류 전원장치를 이용하여 실험어의 꼬리부분에 전기 충격을 가할 수 있도록 실험어 고정장치 뒤쪽에 동선 전극을 설치하였다.

실험어의 음향 학습에 있어서 학습음은 신호 발생기로부터 발생시킨 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz의 6종류의 순음을 사용하였으며, 마스킹 현상을 조사하기 위하여 백색 소음 발생기(B&K, 1405)로부터 평균

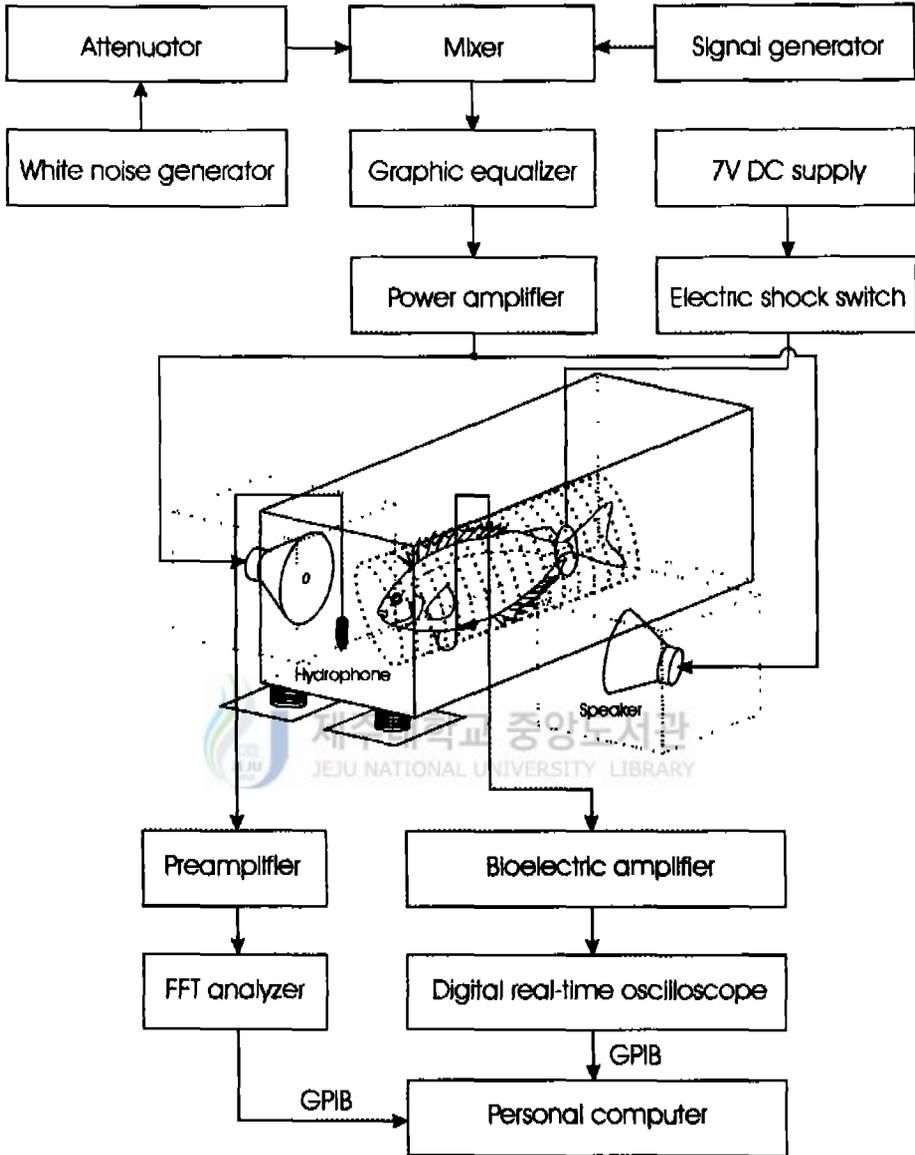


Fig. 5. Block diagram of the instruments for measuring auditory critical ratio of dusky spinefoot.

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

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 1hours 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 15A Resolution : Voltage 10mV, Current 1mA
Signal generator (NF, 1915)	Frequency range : 1 μ Hz to 2MHz Output range : 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

Table 2. 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 : +20dB Maximum voltage gain : 84dB
Graphic equalizer (Inkel, EQ-9231)	Frequency range : 20Hz to 20kHz Equalizer level : $\pm 12\text{dB}$ S/N ratio : upper 80dB

음압 74.3, 78.5, 82.9dB의 3단계로 변화시켜 발생시킨 주파수 범위 1 kHz의 백색 소음을 사용하였다.

음향 학습은 실험어에 심전도 측정용 전극을 장착하고 나서 약 12시간 이상이 경과한 후에 위 측정 주파수 중에서 임의의 주파수 하나를 학습음으로 하여, 실험어 고정장치 안의 실험어의 머리부분에서 음압 120~130dB이 얻어지도록 각각의 학습음과 백색 소음을 혼합기(Inkel, MX-642)에서 혼합시킨 후, 그래픽 이퀄라이저(Inkel, EQ-9231)를 통하여 전력 증폭기에서 증폭시켜서 실험수조의 양 측면에 서로 마주보도록 설치한 공중스피커를 통하여 동진폭, 동위상으로 방성하였으며, 학습음과 전기 충격을 병용하여 심전도의 변화를 보아가면서 학습을 완료시킨다.

학습음과 백색 소음 방성 및 전기 충격에 대한 반복 과정은 Fig. 6과 같은데, Fig. 6(b)는 학습음을 5초 동안 공중 스피커로 방성한 파형이고, Fig. 6(a)와 같이 백색 소음 방성 중 5분마다 학습음을 방성하였다. Fig. 6(c)는 학습음 방성 3초 후에 직류 전압 7V의 전기 충격을 약 0.2초간 준 것인데, 이는 학습음 방성 도중에 전기 충격이 올 것이라는 것을 인식시키는 음향 학습 과정이다.

Fig. 7은 음향 학습을 실시하기 전·후의 실험어의 심전도이며, Fig. 7(a)는 음향 학습을 실시하기 전의 심전도인데, 심박 간격이 일정하고, Fig. 7(b)는 음향 학습이 완료된 후의 심전도로서 학습음을 방성하기 전보다 방성한 후에 심박 간격이 길어졌을 때, 학습음을 인식하였다고 판단하였다 (Fig. 7(b) Sound response 참조). 이와같이 각 실험어를 측정 주파수에서 5분 간격으로 반복하여, 명확하게 심박 간격이 연속해서 5회 이상 길어지면 음향 학습이 완료된 것으로 간주하였다.

실험수조 안의 방성음과 백색 소음의 해석은 수중 청음기를 실험어의 머리부분에 설치하여 측정하였다. 수중 청음기 및 전치증폭기로부터의 신호를 주파수 분석기를 사용하여 1/3 Octave로 20초 동안 평균하여 측정하였으며, 방성음의 음압과 백색 소음의 스펙트럼 음압 레벨은 실험 전에 미리 분석하였다. 실험어의 청각 임계비의 측정은 음향 학습을 완료시키고 약 30분 경과 후에 측정하기 시작하였다.

음향 학습에 사용한 음을 포함한 측정 주파수를 임의의 순서로 선택하여

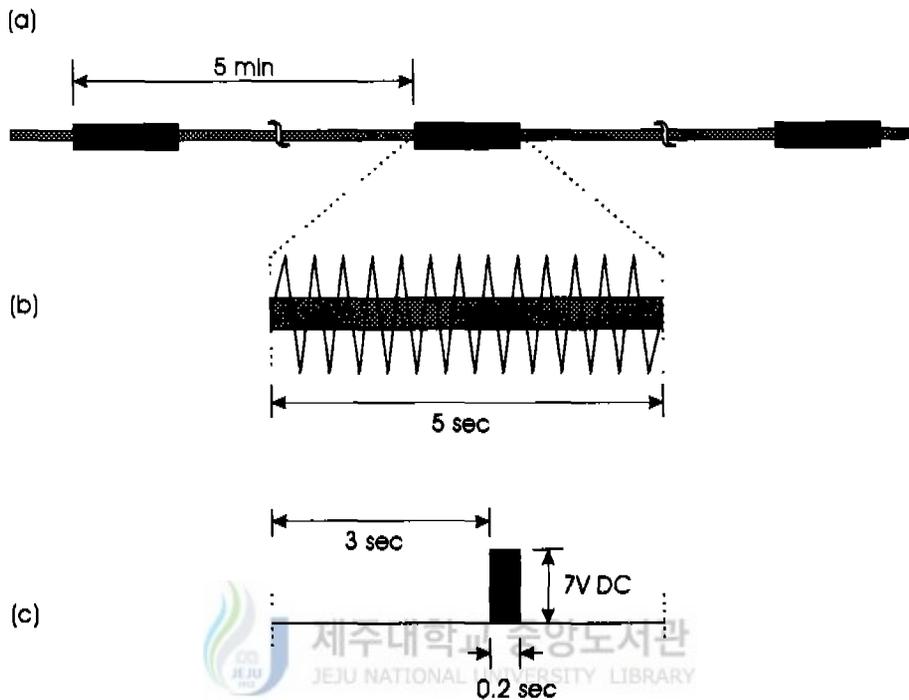


Fig. 6. The time sequences for emissions of pure sound and electric shocks under the white noise.

- (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.

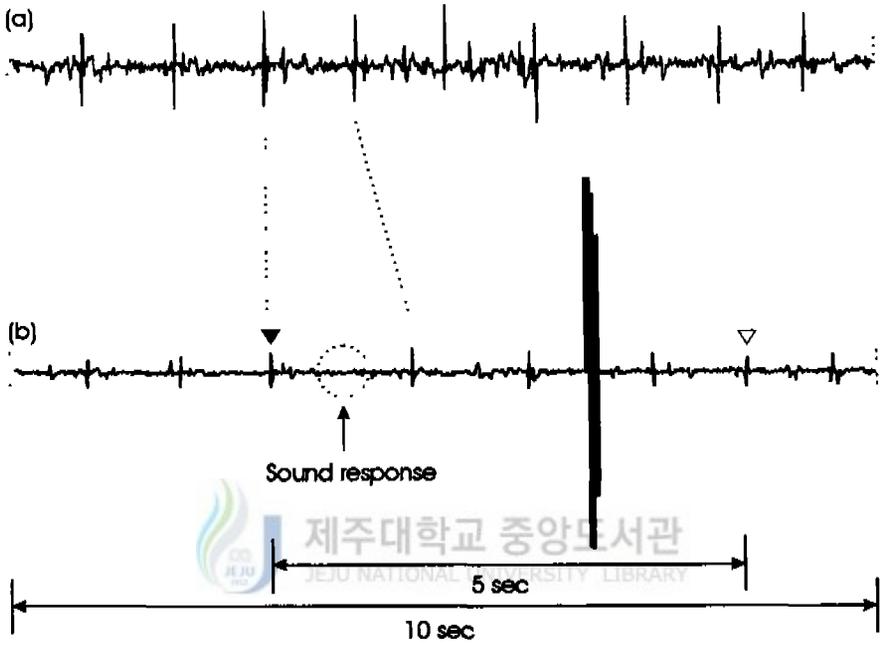


Fig. 7. Electrocardiogram of which dusky spinefoot was not conditioned and conditioned by pure sound stimulus under the white noise.

(a) Before conditioning with pure sound stimulus.

(b) After conditioning with pure sound stimulus

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

학습음의 음압에서부터 측정 주파수의 방성 음압을 3~5dB씩 감소시켜 가면서, 백색 소음 방성시 청각 문턱치 부근이라고 판단되는 곳에서부터 측정음을 인식하였을 때에는 약 3dB내리고, 인식하지 않을 때에는 약 3dB 올리면서 계단법으로 측정하였고, 방성 중 실험어의 심박 간격이 우연히 벌어지는 오차를 줄이기 위해서 연속해서 2번 이상 방성음을 인식하였을 때를 측정 주파수에 대한 실험어의 청각 문턱치로 하였다.

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



Ⅲ. 결 과

철제 컨테이너로 만든 간이 방음실 내에 설치된 실험수조의 환경 소음과 백색 소음을 주파수 분석기를 사용하여 1/3 Octave로 주파수 60~1,000Hz까지의 스펙트럼 음압 레벨을 분석한 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

실험수조의 환경 소음 스펙트럼 음압 레벨은 47.0~81.5dB의 범위로, 낮은 주파수대에서 높은 주파수대로 갈수록 스펙트럼 음압 레벨이 점차 낮아지는 경향을 나타내었고, 중심주파수 63Hz의 스펙트럼 음압 레벨이 다른 주파수대의 스펙트럼 음압 레벨보다 높게 나타나는 것은 전원과 교류기기류에 의한 전기 유도 노이즈(Hum noise)로 보인다. 그리고, 백색 소음을 3단계로 변화시켜 방성하였을 때의 실험수조의 백색 소음 스펙트럼 음압 레벨은 각각 평균 74.3, 78.5, 82.9dB이었고, 이때, 표준편차는 2.4, 1.6, 0.7dB을 나타내었다.

환경 소음시 측정된 청각 문턱치 곡선을 Fig. 9에 나타내었고, 청각 문턱치의 평균은 각각 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz에서 음압 101.5, 95.8, 92.1, 94.8, 104.9, 120.8dB이었고, 이때 표준편차는 각각 음압 3.2, 4.9, 4.5, 4.7, 5.5, 3.3dB이었으며, 실험어는 측정 주파수 80~800Hz의 수중 가청음을 모두 인식하였고, 측정 주파수 100~300Hz에서 청각 감도가 양호하였으며, 측정 주파수 200Hz에서 가장 낮은 청각 문턱치를 보였고, 300Hz보다 측정 주파수가 높아질수록 청각 문턱치는 급격히 상승하는 경향을 보여, 높은 측정 주파수에서는 청각 감도가 떨어짐을 나타내고 있다.

백색 소음 방성시 측정된 청각 문턱치 곡선을 Fig. 10에 나타내었고, 청각 문턱치는 측정 주파수 80Hz에서 음압 104, 107, 110dB, 100Hz에서 98, 101, 107dB, 200Hz에서 104, 110, 113dB, 300Hz에서 109, 112, 115dB, 500Hz에서 113, 116, 122dB, 800Hz에서 126, 129, 135dB이었으며, 실험어는 측정 주파수 80~800Hz의 수중 가청음을 모두 인식하였고, 백색 소음의 평균 음압이 상승함에 따라 청각 문턱치도 증가하는 경향이 보여, 명확하게 마스킹이 일어나고 있었고, 측정 주파수 80~200Hz에서 청각 감도가 양호하였고, 측정 주파수 300Hz보다 측정 주파수가 높아질수록 청각 문턱치가

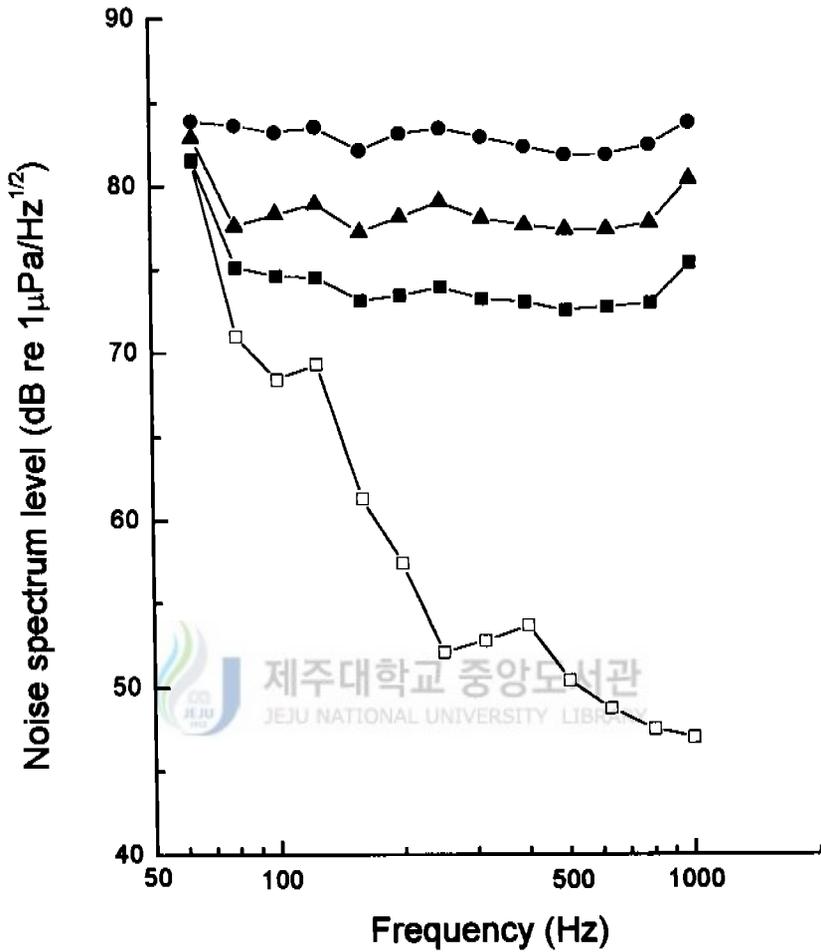


Fig. 8. Noise spectrum level in the experimental tank

- (● : Mean white noise spectrum level of 82.9dB,
- ▲ : Mean white noise spectrum level of 78.5dB,
- : Mean white noise spectrum level of 74.3dB,
- : Ambient noise spectrum level.).

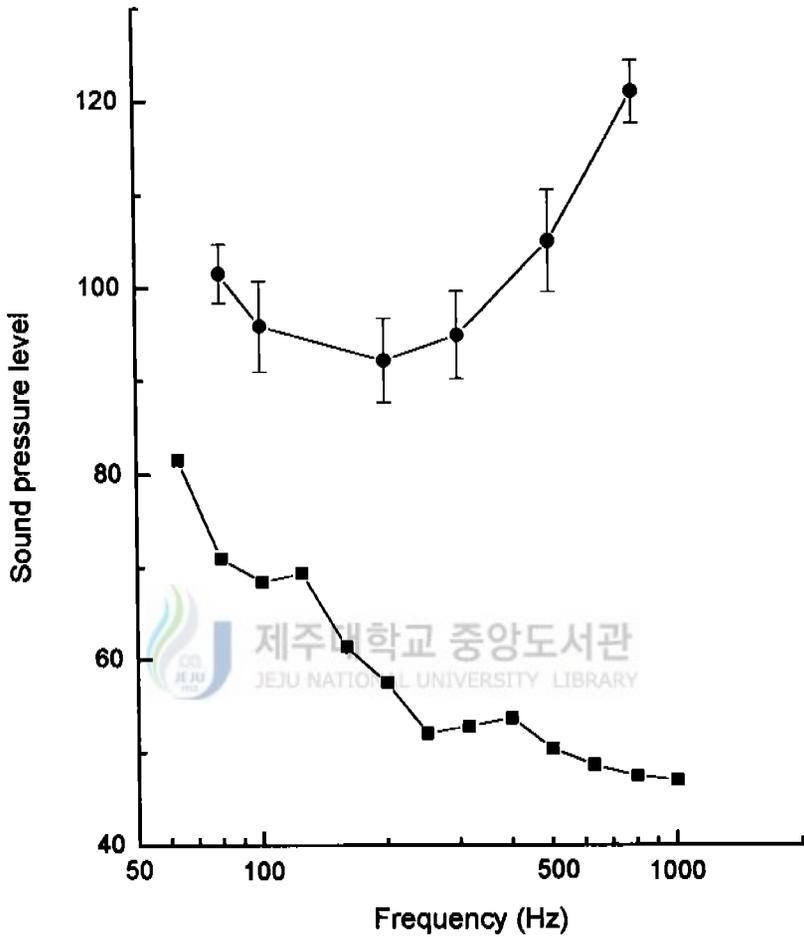


Fig. 9. Audiogram of dusky spinefoots with ambient noise spectrum level

(● : Auditory threshold level (*dB re 1 μ Pa*),

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

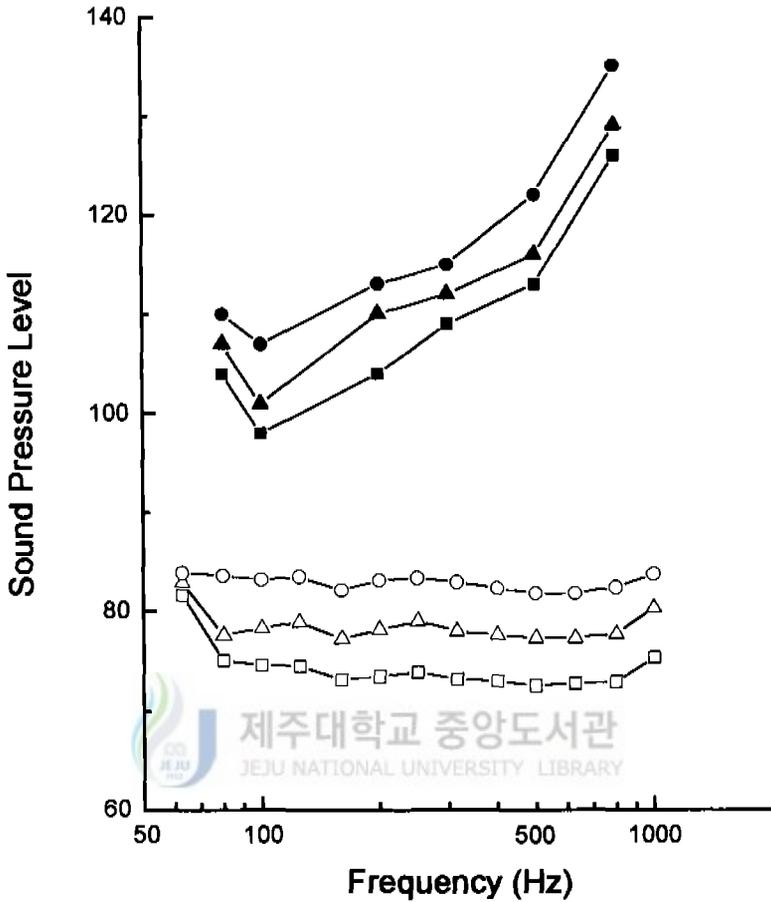


Fig. 10. Audiogram of dusky spinefoots with white noise spectrum level (● : Auditory threshold level under mean white noise spectrum level of 82.9dB, ▲ : Auditory threshold level under mean white noise spectrum level of 78.5dB, ■ : Auditory threshold level under mean white noise spectrum level of 74.3dB, ○ : Mean white noise spectrum level of 82.9dB, △ : Mean white noise spectrum level of 78.5dB, □ : Mean white noise spectrum level of 74.3dB.).

급격히 상승하는 경향을 보여, 높은 측정 주파수에서는 청각 감도가 떨어짐을 나타내고 있다.

Fig. 11은 측정 주파수의 음과 백색 소음 방성시 청각 임계비를 나타내고 있다. 청각 임계비의 평균은 각각 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz에서 각각 음압 28.2, 23.3, 30.8, 34.0, 39.8, 52.3dB이었고, 이때 표준 편차는 각각 음압 1.6, 0.6, 1.0, 1.9, 1.0, 0.9dB이었고, 측정 주파수 80Hz, 100Hz 그리고, 200Hz에서는 백색 소음 중에서 측정음을 식별하는 능력이 다른 측정 주파수에 비하여 우수하였으며, 측정 주파수 100Hz에서 가장 낮은 청각 임계비를 보였고, 300Hz보다 측정 주파수가 높아질수록 청각 문턱치가 증가함과 동시에 청각 임계비도 급격히 증가하고 있어 높은 측정 주파수에서는 청각 감도가 떨어짐을 나타내고 있다.

일반적으로 마스킹이 발생하고 있는 상태에서는 백색 소음 스펙트럼 음압 레벨과 청각 문턱치 사이에 상관 관계가 보여, 양자의 관계는 회귀 직선에 의해서 나타낼 수 있다.

Fig. 12(a)는 측정 주파수 80Hz에 대하여 마스킹이 발생하기 시작하는 점을 계산하여 나타낸 것으로, 환경소음시 청각 문턱치를 지나는 직선과 3단계의 백색 소음 방성시 측정된 청각 임계비가 일정하게 되는 기울기 1의 회귀직선을 적용시켜, 이 둘 두 직선의 교점으로부터 청각 문턱치가 증가하기 시작하는 소음 스펙트럼 음압 레벨을 구하여 나타내었는데, 측정 주파수 80Hz에 있어서 청각 문턱치가 증가하기 시작하는 소음 스펙트럼 음압 레벨은 73.3dB이었다.

Fig. 12(b)~(f)까지는 Fig. 12(a)와 같은 방법으로 청각 문턱치가 증가하기 시작하는 소음 스펙트럼 음압 레벨을 구하였는데, 각각 측정 주파수 100, 200, 300, 500, 800Hz에서 음압은 72.5, 61.3, 60.8, 65.1, 68.5dB이었다.

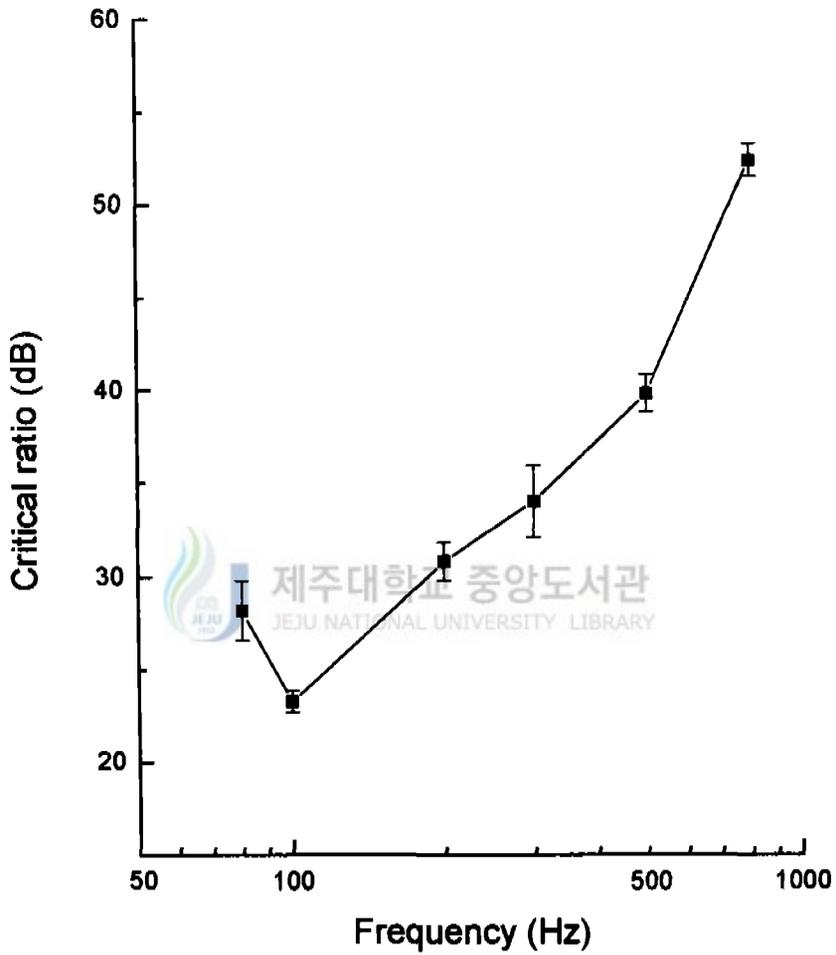


Fig. 11. Auditory critical ratio of dusky spinefoot in the measurement frequencies.

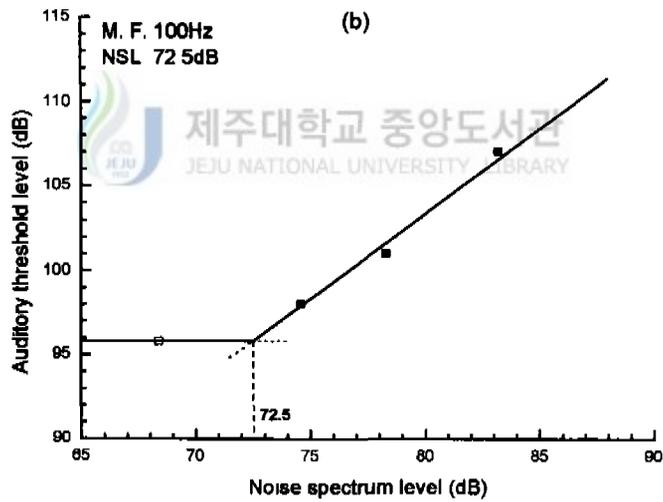
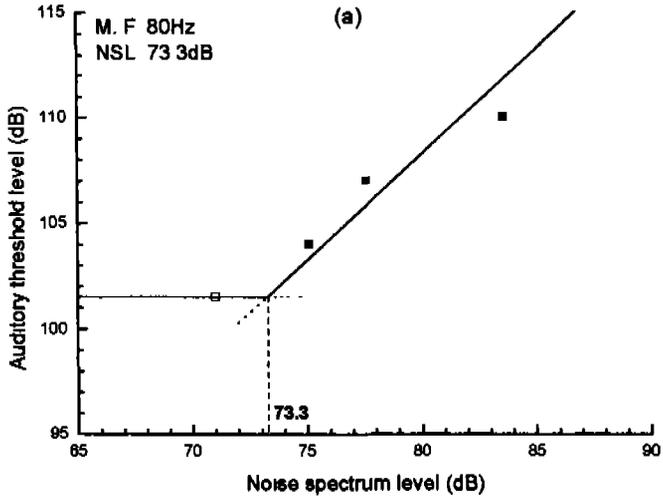


Fig. 12. Relation between noise spectrum level and auditory threshold level (M.F. : Measurement frequency, NSL : Noise spectrum level of masking point, □ : Auditory threshold level under a quite condition, ■ : Auditory threshold level under white noise.).

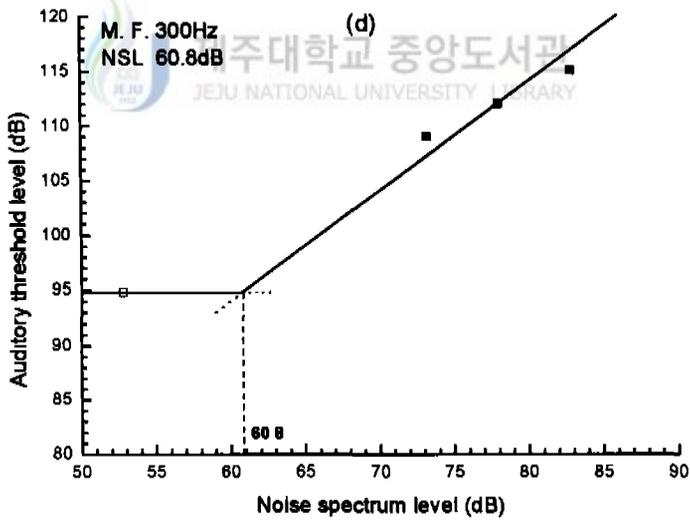
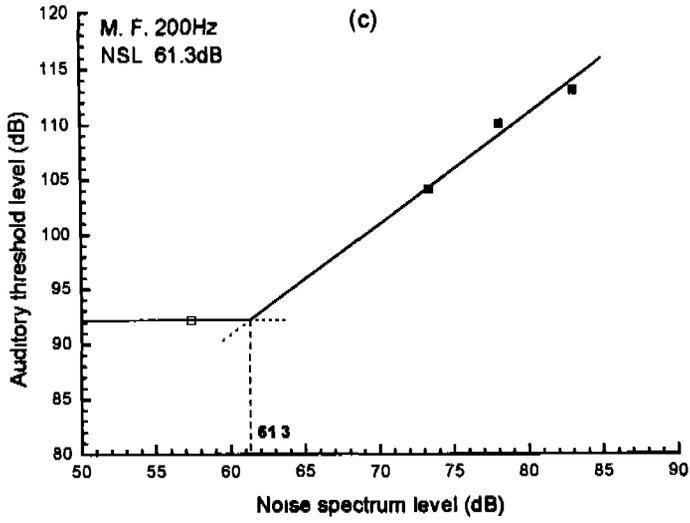


Fig. 12. Continued.

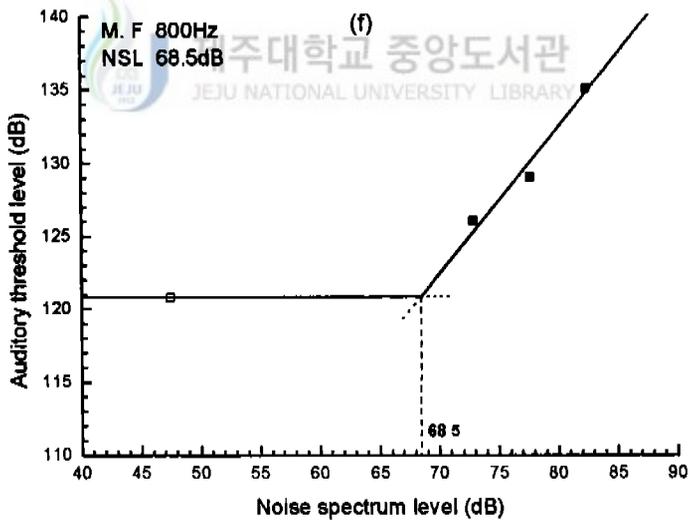
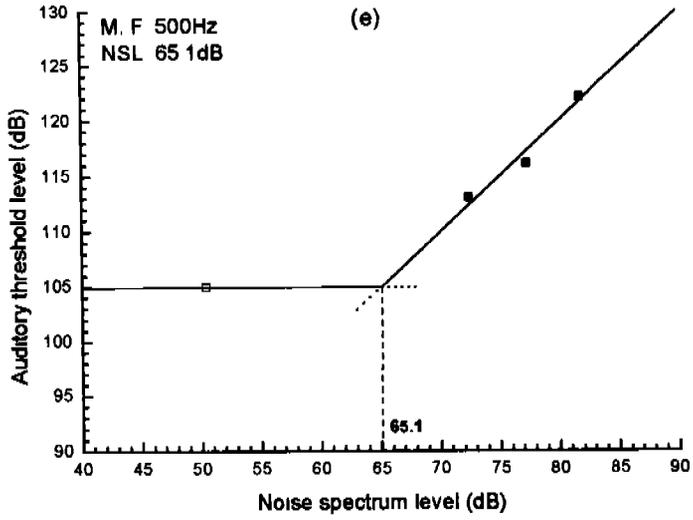


Fig. 12. Continued.

IV. 고 찰

독가시치의 청각 문턱치 및 청각 임계비 실험 결과에서, 측정 주파수 100~200Hz 부근의 청각 감도가 다른 측정 주파수에서 보다 우수하게 나타나는데, 이는 음향 학습 과정에 있어서도 측정 주파수 100~200Hz에서 학습음과 전기 충격에 대한 음향 학습이 쉽게 이루어진 반면, 500Hz 이상의 측정 주파수대에서는 음향 학습이 쉽게 이루어지지 않아, 실험어의 청각 감도는 측정 주파수 100~200Hz의 저주파음에 민감하다는 사실이 명확해 졌다.

어류의 청각 감도는 부레의 존재에 따라서도 측정치가 크게 달라진다. 넙치와 같이 부레가 없는 어류는 측정 주파수 100Hz에서 감도가 좋지만 수중음의 인식폭은 주파수 400Hz 미만으로 보고 되어 있고, 조피볼락, 썸뱅이, 방어, 참돔과 내수면 양식 어류인 틸라피아의 경우, 감도가 좋은 주파수대는 대략 주파수 100~300Hz 부근이며 주파수 500Hz 이상에서 감도가 낮아지기는 하지만 측정 주파수 1,000~1,500Hz 부근까지 수중음을 인식한다고 보고되어 있다(藤枝 등, 1996b ; H. Ishioka 등, 1988 ; 藤枝 등, 1995 ; 안 등, 1998a ; 이 등, 1999a ; 박 등 1999). 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 비골표류라고 하는데, 골표류의 경우는 수중음에 대한 부레의 진동이 웨버소골에 의해 증폭되어 직접 내이에 전달되므로 비골표류에 비해서 청각 감도가 우수하고 가청 주파수 범위도 넓다(崑山, 1992).

이 실험에서 사용된 독가시치는 비골표류이며 부레를 갖고 있는데, 청각 문턱치 및 청각 임계비 실험 결과에서 측정 주파수 80~800Hz의 수중 가청음을 인식하였고, 측정 주파수 100~200Hz의 수중 가청음에 대하여 가장 민감한 반응을 보였으며, 300Hz 보다 높은 측정 주파수에서는 청각 감도가 급격히 저하하였다.

이 실험에서 얻어진 독가시치와 지금까지 다른 연구자들에 의해서 얻어

진 비골표류 어류의 청각 문턱치를 Fig. 13에 나타내어 비교하였고, 독가시치는 측정 주파수 200Hz에서 음압 92.1dB로 가장 낮은 청각 문턱치를 보였는데, 참돔은 측정 주파수 200Hz에서 음압 85.8dB, 명태는 측정 주파수 200Hz에서 음압 97.7dB, 방어는 측정 주파수 100Hz에서 음압 95.1dB, 조피블락은 측정 주파수 100Hz에서 음압 90.5dB, 쏘뱅이는 측정 주파수 100Hz에서 음압 90.4dB로 각각 가장 낮은 청각 문턱치를 보여 측정 주파수 100~200Hz의 수중 가청음에 대하여 가장 민감한 청각 반응을 나타내었다. 그리고, 청각 임계비를 Fig. 14에 나타내어 비교하였고, 독가시치는 측정 주파수 100Hz에서 음압 23.3dB로 가장 낮은 청각 임계비를 보였는데, 참돔은 측정 주파수 100Hz에서 음압 19dB, 명태는 측정 주파수 120Hz에서 음압 30.7dB, 방어는 측정 주파수 100Hz에서 음압 40dB, 조피블락은 측정 주파수 100Hz에서 음압 27dB, 쏘뱅이는 측정 주파수 80Hz에서 음압 14.3dB로 각각 가장 낮은 청각 임계비를 보여 측정 주파수 100Hz 부근의 수중 가청음에 대하여 가장 민감한 청각 반응을 나타내어, 이 실험에서 사용된 독가시치는 일반적인 비골표류이며 부레를 갖고 있는 다른 어류와 유사한 청각 감도를 갖고 있는 것으로 보인다.

수중에는 파랑, 강우 등 자연 발생적인 수중 소음과 선박, 항공기 등의 인위적인 수중 소음 등이 혼재하는 환경에서 서식하므로, 어류의 서식지에 산재하는 이러한 환경 소음의 영향을 받아서 섭이행동 등의 생물학적 의미를 갖는 중요한 음 정보를 취할 때에 장애가 된다. 즉, 어류의 청각은 이러한 주위 소음의 영향을 받아서 작은 소리가 들리기 어렵게 되는 마스킹 현상이 발생하여서 청각 문턱치가 증가하는데, 이때 어류는 약한 생물학적 음정보는 감지하기 어렵게 된다.

이렇듯 어류의 청각 감도는 음압의 강도와 마스킹 현상에 따라 달라질 수 있는데, 일반적으로 어류는 청각 문턱치와 환경 소음의 스펙트럼 음압 레벨과의 차인 청각 임계비가 거의 음압 15~25dB 이상이면 소음과 구별하여 신호음을 감지하는 것이 가능하다고 한다(Tavolga, 1974).

이 실험에서 사용한 독가시치의 청각 문턱치가 환경소음시에는 음압 92.1~120.8dB 이었고, 평균 스펙트럼 음압 레벨을 74.3dB, 78.5dB, 82.9dB로 변화시킨 백색 소음 방정시의 청각 문턱치는 각각 음압 98~126dB, 101

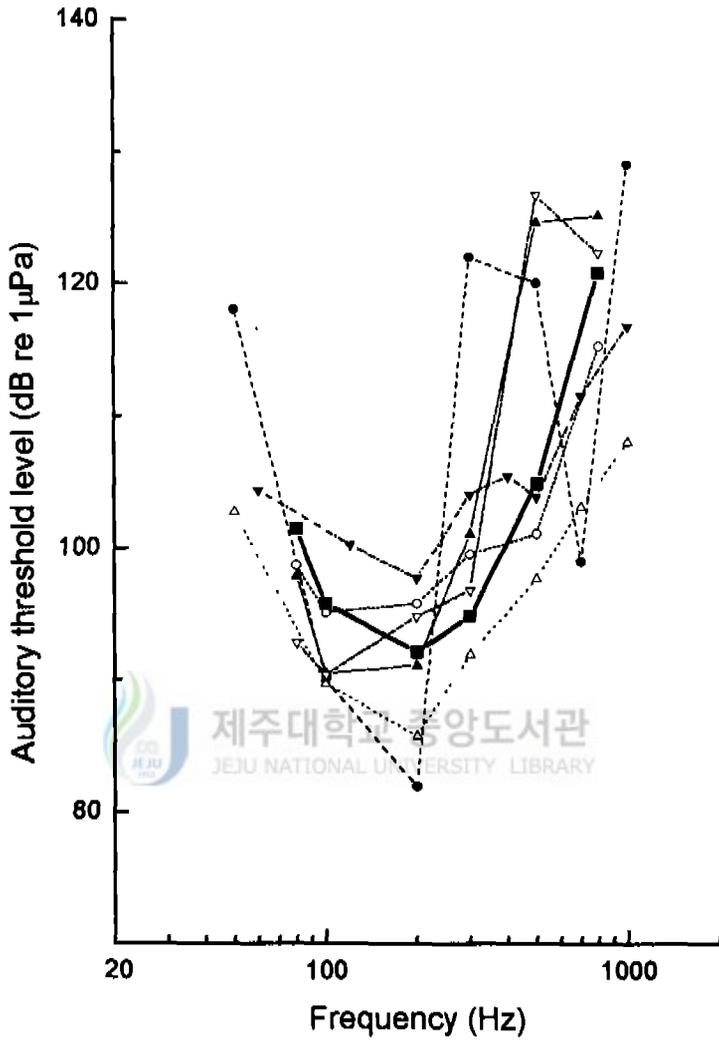


Fig. 13. Comparison of audiogram of dusky spinefoot(■) with that of red sea bream(△ : Ishioka et al., 1988), masu salmon(● : Kojima et al., 1992), walleye pollock(▼ : Park et al., 1995a), yellow tail(○ : Ahn et al., 1998a), black rock fish(▲ : Park et al., 1999) and scorpion fish(▽ : Lee et al., 1999a).

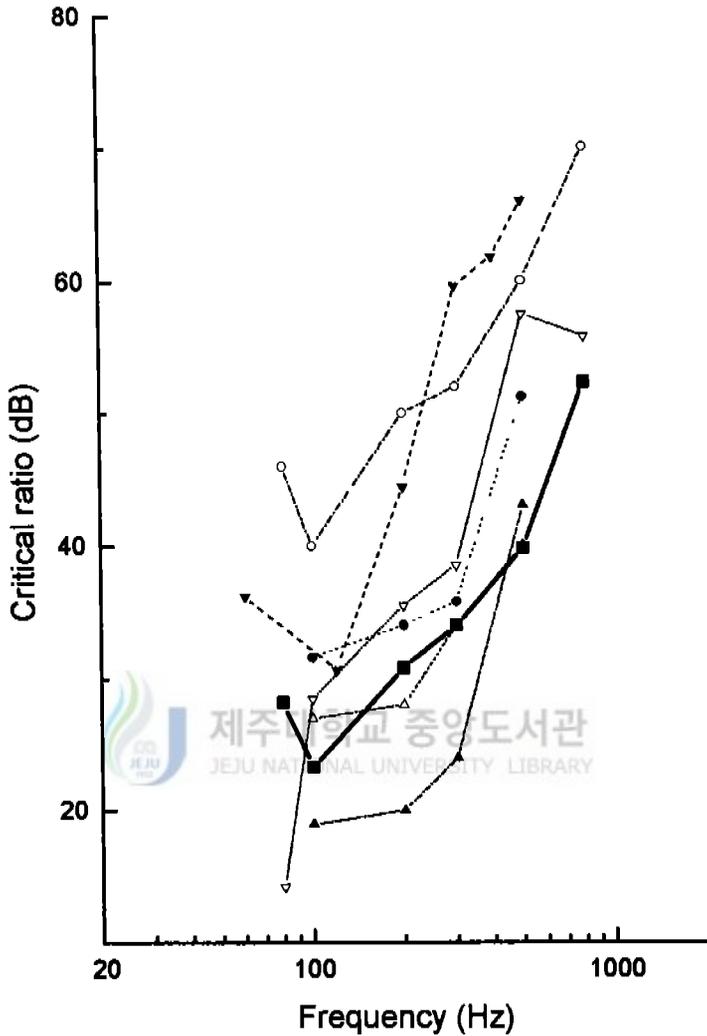


Fig. 14. Comparison of auditory critical ratio of dusky spinefoot (■) with that of red sea bream(▲ : Hatakeyama, 1989), walleye pollock(▼ : Park et al., 1995b), rainbow trout(● : Yamakawa et al., 1997), black rock fish(△ : Motomatsu et al., 1997), yellow tail(○ : Ahn et al., 1998b) and scorpion fish(▽ : Lee et al., 1999b).

~129dB, 107~135dB로 나타나 백색 소음이 방성될 때, 측정 주파수에 대하여 실험어의 청각 감도가 마스킹되고 있는 것으로 나타났으며, 이때 각각의 청각 임계비의 평균은 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz에서 음압 28.2, 23.3, 30.8, 34.0, 39.8, 52.3dB이었다. 따라서, 어군의 유집을 위하여 수중 가청음을 사용할 경우에는 어류가 환경 소음에서 학습음을 충분히 구별해 낼 수 있도록 방성 음압 레벨을 설정할 필요가 있다.

이상으로부터 수중 가청음을 이용한 독가시치의 유집을 시도한다면 이 실험을 통하여 알아낸 청각 문턱치 및 청각 임계비를 고려하여 주파수 100~200Hz의 음을 선택하고, 이 주파수의 수중 가청음을 독가시치가 충분히 인식하기 위해서는 최저 100dB 이상의 음압 강도가 필요하며 환경 소음이 존재하는 환경에서는 소음 스펙트럼 음압 레벨보다 약 30dB 이상 크게 방성할 필요가 있는 것으로 여겨진다.



V. 요약

제주도 연안에 설치되어 있는 정치망 어구에 대하여 음향 집어기에 의한 어류의 유집에 이용될 수 있는 기초 자료를 제공할 목적으로, 정치망의 주요 어획 대상 어종인 독가시치를 실험어로 하고, 육상 수조에서 음향 학습시킨 후 실험어의 심전도를 도출하여 심박 간격의 변화로부터 청각 문턱치 및 임계비를 측정·조사 하였는데, 그 결과는 다음과 같다.

1. 환경소음시 실험어의 청각 문턱치를 측정한 결과, 측정 주파수 80~800Hz의 수중 가청음을 모두 인식하였고, 측정 주파수 100~300Hz에서 청각 감도가 양호하였으며, 측정 주파수 200Hz에서 평균 음압 92.1dB, 표준편차 4.5dB로 가장 낮은 청각 문턱치를 보였고, 측정 주파수 300Hz보다 높아질수록 청각 문턱치는 급격히 상승하는 경향을 보여, 높은 측정 주파수에서는 청각 감도가 떨어짐을 나타내고 있다.
2. 평균 음압 74.3dB, 78.5dB, 82.9dB의 3단계로 변화시킨 백색 소음 발생시 실험어의 청각 문턱치를 측정한 결과, 측정 주파수 80~800Hz의 수중 가청음을 모두 인식하였고, 백색 소음의 상승에 따라 청각 문턱치도 증가하는 경향을 보여, 명확하게 마스킹이 일어나고 있었다. 측정 주파수 80~200Hz에서 청각 감도가 양호하였는데, 측정 주파수 100Hz에서 각각 음압 98dB, 101dB, 107dB로 가장 낮은 청각 문턱치를 보였고, 측정 주파수 300Hz보다 높아질수록 청각 문턱치가 급격히 상승하는 경향을 보여, 높은 측정 주파수에서는 청각 감도가 떨어짐을 나타내고 있다.

3. 백색 소음 방정시 실험어의 청각 임계비를 측정한 결과, 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz에서 각각 평균 음압 28.2, 23.3, 30.8, 34.0, 39.8, 52.3dB이었고, 이때 표준편차는 각각 음압 1.6, 0.6, 1.0, 1.9, 1.0, 0.9dB이었다. 측정 주파수 80~200Hz에서는 백색 소음 중에서 신호음을 인식하는 능력이 다른 측정 주파수에 비하여 우수하였으며, 측정 주파수 100Hz에서 가장 낮은 청각 임계비를 보였고, 측정 주파수 300Hz보다 높아질수록 청각 임계비가 급격히 상승하는 경향을 보여, 높은 측정 주파수에서는 청각 감도가 떨어짐을 나타내었고, 실험어의 마스킹이 발생하기 시작하는 소음 스펙트럼 음압 레벨을 계산한 결과, 측정 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800Hz에서 각각 음압 73.3, 72.5, 61.3, 60.8, 65.1, 68.5dB이었다.

VI. 참고문헌

- 안 장영, 서 두옥, 김 삼곤. 1996. 제주도 연안의 각망 어업에 있어서 수중 음향에 의한 어군의 유집에 관한 연구. 한국어업기술학회지, 32(1). 50~58.
- 안 장영, 이 창현, 김 용주, 박 용석. 1998a. 연안정치망 주요대상어종의 청각역치와 유집방음에 대한 행동반응(I) -방어의 청각역치-. 한국어업기술학회지, 34(4). 386~392.
- 안 장영, 이 창현, 김 용주, 박 용석. 1998b. 연안정치망 주요대상어종의 청각역치와 유집방음에 대한 행동반응(II) -방어의 입계비-. 한국어업기술학회지, 35(1). 19~24.
- 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. 魚の行動生理學と漁法. 恒星社厚生閣, 74~85.
- Buerkle U.. 1969. Auditory masking and the critical band in atlantic cod(*Gadus morhua*). *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 26. 1113~1119.
- Chapman C. J. and Hawkins A. D.. 1973. A field study of hearing in the cod, *Gadus morhua* L. *J.comp. Physiol.*, 85. 147~167.
- Fay R. R.. 1989a. Intensity discrimination of pulsed tones by the goldfish(*Carassius auratus*). *J. Acoust. Soc. Am.*, 85. 500~502.

- Fay R. R.. 1989b. 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.
- 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, 森 隆, 山中 有一, 松野 保久. 1996a. 壓電センサを利用した魚類の聴覚閾値測定. 日本水産學會誌. 62(1). 40~45.
- 藤枝 繁, 松野 保久, 山中 有一. 1996b. ヒラメの聴覚閾値. 日本水産學會誌, 62(2). 201~204.
- 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(6). 421~428.
- Hatakeyama Y.. 1989. Masking effect on the hearing of red sea bream, *Pagrus major*, by ambient noise. *Int. J. Aqu. Fish Technol.*, 1. 271~277.
- 畠山 良己. 1992. 魚の聴覚能力. 水産工學, 28(2). 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.
- Ishioka H., Hatakeyama Y., and Sakaguchi S.. 1988. The hearing ability of the red sea bream *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54(6). 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. 日本水産學會誌, 58(1). 55~61.

- Jacobs D. W. and Tavalga W. N.. 1967. Acoustic intensity limens in the goldfish. *Anim. Behav.*, 15. 324~335.
- 장 선덕, 윤 갑동, 신 형일, 이 주희, 신 현옥. 1986. 음향 집어기의 집어 효과. *어업기술*, 22(4). 75~83.
- 上城 義信. 1991. 音響馴致システムによる魚群制御. *水産工学*, 28(1). 65~70.
- Kojima T., Shimamura T., Yoza K., Okumoto N., Hatakeyama Y., Soeda H.. 1992. W-Shaped Auditory Threshold Curves of Masu Salmon *Oncorhynchus masou*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58(8). 1447~1452.
- 이 창현, 안 장영. 1996. 제주도 연안 정치망 어장에서의 어장 환경 특성과 그에 따른 망어구의 형상 및 어군 출현 빈도. *제주대학교 해양연구소 연구보고*, 20. 107~112.
- 이 창현, 김 병엽, 정 용진, 서 두옥. 1997. 수중 가청음에 대한 잿방어 어군의 유집 반응. *한국어업기술학회지*, 33(4). 285~289.
- 이 창현, 박 용석, 문 종욱, 김 석중, 안 장영, 서 두옥. 1999a. 수중 가청음에 의한 솜뿔이의 청각능력 1. 청각 문턱치. *한국어업기술학회지*, 35(2). 156~160.
- 이 창현, 박 용석, 안 장영, 김 석중, 문 종욱, 서 두옥. 1999b. 수중 가청음에 의한 솜뿔이의 청각능력 2. 청각 임계비. *춘계공동학술대회 발표요지집*, 35(2). 62~63.
- 本松 敬一郎. 1997. クロソイの聴覚閾値とマスキング. *日本水産學會誌*, 63(1). 110~111.
- 朴 容石, 飯田 浩二, 向井 徹, 櫻井 泰憲. 1995a. スケトウダラの聴覚特性. *日本水産學會誌*, 61(2). 159~163.

- 朴 容石, 飯田 浩二, 梨本 勝昭. 1995b. 스키투우다라의聽覺特性とスペクトラムレベル比. 日本水産學會誌, 61(6). 847~853.
- 박 용석, 이 창현, 이 유철, 서 두옥. 1997. 명태의 행동제어용 심전도 도출에 관한 연구. 제주대학교 해양연구소 연구논문집, 21. 175~179.
- 박 용석, 이 창현, 문 종욱, 안 장영, 서 두옥. 1999. 조피볼락의 청각문턱치. 수산해양교육연구, 11(1). 88~97.
- Popper A. N.. 1972. Pure-tone auditory thresholds for the carp, *Cyprinus carpio*. *J. Acoust. Soc. Am.*, 52. 1714~1717.
- Popper A. N. and Clarke N. L.. 1976. The auditory system of the goldfish(*Carassius auratus*) : Effects of intense acoustic stimulation. *Comp. Biochem. Physiol.*, 53A. 11~18.
- Schuijf A. and Siemelink M. E.. 1974. The ability of cod(*Gadus morhua*) to orient towards a sound source. *Experientia(Specialia)*, 30. 773~775.
- 서 두옥, 장 지원. 1989. 수중수음기의 직선배열에 의한 음원 분석시스템. 제주대학교 논문집, 28. 36~37.
- 서 두옥. 1993. 수중음향을 이용한 어업 계측기. 한국음향학회지, 11(5). 78~81.
- 添田 秀男, 畠山 良己, 川村 軍藏. 1998. 魚類の聽覺生理. 恒星社厚生閣, 119~121.
- Tavolga W. N.. 1974. Signal/noise ratio and the critical band in fishes. *J. Acoust. Soc. Am.*, 55(6). 1323~1333.

上野 正司. 1979. 漁業に利用されている最近の水中音響器機. 海洋音響研究會報, 6(4). 115~125.

山川 正巳. 1997. ニジマスの聴覺特性. 日本水産學會誌, 63(1). 108~109.



감사의 글

부족함이 많은 저를 늘 일깨워 주시고, 이 논문이 완성되기까지 정열과 성의로 아낌없는 지도와 편달을 해 주신 서두옥 교수님께 이 자리를 빌어 깊은 감사를 드립니다.

아울러 바쁘신 와중에도 미흡한 논문을 세심하고 자상하게 다듬어 주신 박정식 교수님과 김석중 교수님께 진심으로 감사를 드리며, 항상 깊은 관심과 따뜻한 조언을 아끼지 않으셨던 노홍길 교수님, 안영화 교수님, 안장영 교수님, 강창익 교수님께도 감사를 드립니다.

그리고, 이 연구를 원활히 수행할 수 있도록 배려를 해 주신 제주대학교 해양연구소의 여러 선생님들께도 고마움을 전하고자 합니다. 특히, 이 논문의 시작부터 끝까지 연구를 행함에 있어서 많은 조언을 해주신 박용석 선배님과 이창현 선배님 그리고, 실험어를 구입하는데 있어서 아낌없이 도움을 주시고 격려를 해주신 김병엽 선배님께 감사를 드립니다. 그리고, 모자란 시간 속에서도 항상 격려와 관심을 보여주신 양용수 선배님과 박성욱 선배님께도 감사를 드립니다.

또한, 뜬눈으로 밤을 지새는 어려움 속에서도 묵묵히 참아내고 실험과 자료 정리에 도움을 준 김고환, 안태협, 양준원 실험실 후배들과 틈틈히 자료 수집에 도움을 준 오성우, 고준철, 김종범을 포함한 여러 후배들께도 고마움을 표합니다.

끝으로, 자식의 밝은 미래를 위해 사랑과 정성으로 희생을 아끼지 않고 심혈을 다해 뒷바라지 해주신 어머님과 어려움 속에서도 이해와 싱그러운 웃음으로 깊은 사랑을 대신하며 희망을 안겨준 형숙에게 이 작은 결실을 드립니다.