

碩士學位論文

可聽 水中音에 의한 넙치의
行動에 관한 基礎的 研究

濟州大學校 大學院

漁業學科



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

李 儒 哲

1996年 12月

可聽 水中音에 의한 넙치의 行動에 관한 基礎的 研究

指導教授 徐 斗 玉

李 儒 哲

이 論文을 水産學 碩士學位 論文으로 提出함.

1996年 12月

李儒哲의 水産學 碩士學位 論文을 認准함.



審査委員長

安 長 榮

委 員

朴 正 植

委 員

徐 斗 玉

濟州大學校 大學院

1996年 12月

A Fundamental Study to Behaviour of the
Bastard halibut, *Paralichthys Olivaceus*,
to Audible Underwater Sound

Yu-Chol Lee

(Supervised by professor Du-Ok Seo)

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



DEPARTMENT OF FISHERIES SCIENCE
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1996. 12.

목 차

SUMMARY	1
I. 서 론	2
II. 재료 및 방법	4
III. 결 과	12
IV. 고 찰	31
V. 요 약	34
VI. 참고 문헌	35



SUMMARY

A fundamental experiment was carried out to confirm the behaviour of bastard halibut *paralichthys olivaceus* to audible underwater sound in a breeding ground around the coast of Cheju Island. To find characteristics of breeding water tank and experiment water tank, ambient noise and feeding sound of fish were measured and analyzed respectively. Behaviour responded of fish on each sound was investigated as pure sound from 100Hz to 600Hz and feeding sound were emitted at the experiment water tank in breeding ground.

The results of measurement are as follows:

1. The maximum sound pressure level of ambient noise in breeding water tank was 81dB at 1.100Hz, average maximum sound level of underwater noise was 81dB at 120Hz.
2. The maximum sound pressure level of ambient noise in experiment water tank was 76dB at 540Hz, and underwater noise was 84.2dB at 130Hz.
3. When the pure sound from 100Hz to 600Hz was emitted at 100Hz interval, remarkable response of fish was appeared at 200Hz.
4. The maximum sound pressure level of feeding sound was 85dB at 120Hz, behaviour response in that was similar to that in feeding sound.
5. When the pure sound from 100Hz to 600Hz and feeding sound were emitted, behaviour response of fish in feeding sound was more remarkable than that in the pure sound.

I. 서론

일상 생활에 있어서 공기중과 수중은 전혀 별개의 세계인데, 특히 바다속은 중요한 세계와 같이 여겨지고 있다. 그러나 공기중에는 바람이나 자동차 등의 소음이 있는 것과 마찬가지로 바다속에도 파도나 선박 등이 내는 소음이 있다. 따라서, 음향학적으로는 공기나 물이 음을 전달하는 매질에 지나지 않으므로 공기중의 음파와 수중의 음파는 같이 취급된다. 그런데 매질속으로 음이 전달될 때 음의 흡수, 확산, 산란 등으로 인한 음향에너지의 감쇠가 공기중과 수중이 달라서 일반적으로 공기중에서 음파 대신에 전파가 이용되며, 수중에서는 음파가 주로 이용된다.

수중에서 음향을 어업에 이용한 예로는 어군의 존부 및 수심을 탐지하기 위해서 어군탐지기가 이용되고 있으며, 그리고 음을 방성하여 어군을 위협하거나 유인하는 방법으로 수중스피커, 그 외 음향 측심기, 수중 항법 장치, 원격 어망 감시기 등의 수산 계측기기에 폭넓게 이용되고 있을 뿐만 아니라 해저자원의 탐사에 있어서도 그 활용의 중요성이 점차 커지고 있다.

해중에서의 소음은 자연현상에 의한 자연소음, 수산동물이 내는 발생음 그리고 선박항행으로 인한 인공적 소음으로 나눌 수 있다. 여기서 어류의 발생음은 유영음, 식이음, 구애음 및 산란음 등으로 구분할 수 있는데, 이 음을 이용하여 어획능률을 향상시키고 어류의 유집 및 구집 등에 필요한 효과적인 활용 방안에 관한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다.

수중음을 이용한 어군의 유집은 조업시의 어획 능률을 향상시킬 뿐만 아니라, 치자어의 육성단계에서도 수중 저주파음을 이용한 음향학습을 통해 어류를 일정한 해역에 정착하여 서식할 수 있도록 할 수 있기 때문에 해양목장화에도 응용이 되어지고 있다(上野, 1979 ; 서, 1993).

이러한 이유로 해서 지금까지 수중음을 어업에 응용한 연구보고는 그 수가 많은데, 주로 전기 생리화적인 방법과 학습을 이용한 어류의 청각에 관한 연구로서, 小長谷(1980)는 은어의 청각역치를 규명하여 주파수 200Hz~300Hz에서

72dB~82dB이라고 보고했으며, 石崎(1992)는 감성돔의 청각역치에 관한 연구를 수행하여 주파수 70Hz~1,400Hz에서 98.2dB~113.6dB이었다고 보고하고 있다. 또한, 박 등(1995)은 명태의 청각특성을 규명하는 연구에서 주파수 60Hz~1,000Hz에서의 평균 청각역치는 97.7dB~116.7dB에 있다고 밝혔다.

수중음향을 이용한 어군 행동에 관한 연구로서, Hashimoto등(1957)은 어군의 수중 가청음파에 대한 응답해석을 행하였으며, 柴田(1966)는 수중음에 대한 정어리 어군의 반응, 김(1977)은 방어군이 내는 소음을 연구 보고하였다. 그 외에도 竹村(1984)는 수중에서 생활하는 어류의 음에 대한 수중생물의 행동반응을 해석하고 주파수 10Hz~10,000Hz의 범위에서는 100Hz의 순음에서 행동반응이 잘 나타난다고 보고하였으며, 靑木(1984)는 붕어에 있어서 주파수 400Hz의 조건자극음에 대한 행동반응을 해석했고, 장(1986)등은 정치망 어장에서의 집어 효과를 검토하기 위해 음향집어기를 이용해서 집어 효과 등을 검토하여 보고했다. 한편, 서 등(1989)은 주파수 200Hz~300Hz의 단속 순음을 방성하여 고등어 유집 반응에 관한 연구 결과를 보고했다.

그리고, 음향순치에 대한 연구보고로서는, 土城(1993)등은 방류형 양식어업 분야에서 참돔의 음향순치를 중심으로 실용적인 해양목장을 설치하는 연구를 수행하여 보고했으며, 幡谷(1989)는 주파수 200Hz~300Hz의 수중음을 이용하여 썸뱅이 및 넙치의 음향순치에 관해 연구 보고한 바 있다.

이와 같이 수중음을 어법에 응용하기 위한 연구는 많이 보고되고 있으나, 가청 수중음을 이용하여 양식장에서 어군의 유집에 필요한 수중음의 응용에 관한 연구는 거의 보고되어 있지 않은 실정이다.

이 연구는 넙치 어군을 일정수역에 유집하면서 일정한 시간마다 먹이를 투여할 수 있는 자동급이기의 개발에 대한 기초적인 자료를 얻기 위해서, 제주도 해안의 육상수조 넙치 양식장내의 주위 환경 소음과 넙치에게 먹이를 주었을 때 생기는 식이음을 해석한 후 정현파 순음과 식이음을 순차적으로 방성하여 수중음에 대한 넙치의 행동 반응을 조사 분석하고, 넙치 어군을 유집할 수 있는 가청 수중음을 규명하였다.

II. 재료 및 방법

실험은 제주도 북제주군 북촌리 소재의 (주)한라수산 양식장에서 실시하였고, 그 양식장에는 양식수조 및 실험수조가 있었다. 양식수조(L800×B800×H60cm)는 넙치를 양식중인 콘크리트製 수조이고 실험수조(L185×B270×H60cm)는 양식수조 옆에 별도로 설치된 콘크리트製 소형수조이다.

양식장내의 실내소음을 측정하기 위하여 양식수조와 실험수조내의 소음은 소음기(RION NA-20)를 양식장내의 바닥에서 100cm 높이에 놓고 A보정으로 2분 동안 측정하여 이 중 제일 높은 음압준위를 측정값으로 하였으며, 펌프의 소음측정은 펌프에서 배출되는 해수가 해면에 떨어지는 지점에서 약 20cm거리에서 소음기를 놓고 소음을 측정하는 방법과 똑같은 방법으로 5회 실시하였다. 이와 동시에 녹음기(SONY TC-D5M)에 녹음한 후, 주파수 분석기(B&K 2033)와 X-Y기록계(B&K 2309)로 그 파형을 관찰하였는데, 측정장치의 계통도는 Fig. 1과 같으며 측정장치의 제원은 Table. 1에 나타난 것과 같다.

넙치의 식이음 및 수조의 수중소음에 대한 주파수 특성은 양식수조 30개중 6개를 선정하여 이용하였다. 각 수조에는 2,400~2,500마리(0.6세)의 넙치가 양식되고 있었으며, 평균 체장이 27.5±2.5cm, 평균 체중이 300g정도였다. 그리고, 수조에는 3개의 해수 공급용 파이프(수면에서 10cm)와 6개의 공기 주입기가 수조 밑바닥에 설치되어 있으며, 1일 순환되는 해수는 40톤×15회전으로 약 600톤이 사용되고 있었다. 또한, 양식장에는 해수를 공급하기 위해 주 펌프 20마력 7대, 예비 펌프 15마력 1대가 사용되고 있었다.

수중소음의 측정은 수중청음기(B&K 8100)를 수조 한쪽벽에서 수평거리 100cm, 수면하 20cm의 지점에 위치하게 하고, 발생하는 수중음을 전치증폭기(B&K 2635)와 측정증폭기(B&K 2636)로 증폭시킨 후 녹음기에 녹음하고 주파수 분석기와 X-Y기록계로 그 파형 및 음압을 분석하였는데, 측정장치의 계통도는



Fig. 1. Block diagram of experimental set up to measure ambient noise in breeding ground.

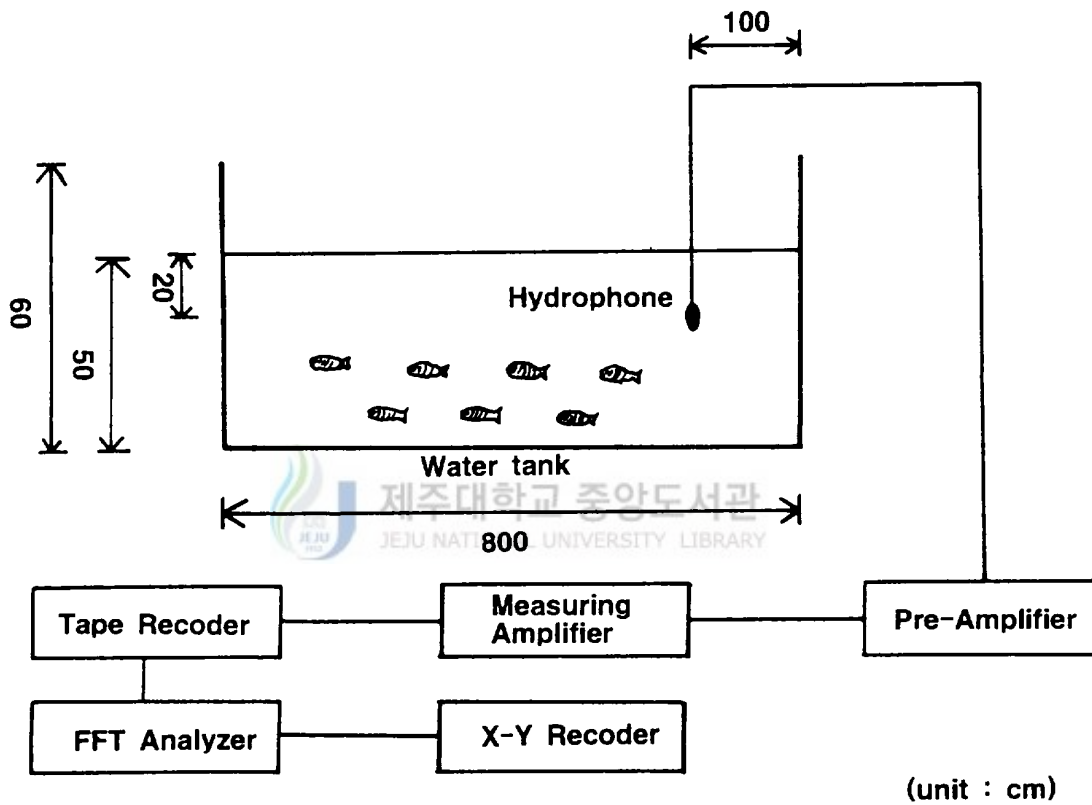


Fig. 2. Block diagram of experimental set up to measure feeding sound.

Table 1. Specifications of equipments used for measurment and analysis of ambient noise.

Equipment	Specification
Cassette recorder (SONY TC-D5M)	Frequency response : 20-1900Hz Input : Sensitivity 0.25mV (-70dB) Output : Load impedance more than 10,000
Charge amplifire (B&K 1051)	Amplifire sensitivity : 0.1mV to 100/pc -40 to 80dB Frequency range : 2Hz to 100KHz
FFT analyzer (B&K 2033)	Constant bandwidth baseband frequency analysis in 400 frequency lines Frequency range : 10~20,000Hz Spectrum range : 80dB, 40dB
Hydrophone (B&K 8100)	Horizontal directivity :100KHz \pm 2dB Frequency range : 0.1 Hz to 125 KHz Voltage sensitivity : -205dB re 1/ μ pa
Power amplifier (SAMJIN SA-1000TC)	Rated voltage : AC 110V / 220V / 60Hz Rated power : 180W Voice output : 100W, Distortion 3%
Sine generator (B&K 1051)	Frequency range : 0.2Hz to 200KHz Output voltage : 100V to 5V RMS
Two channel level recorder (B&K 2309)	Frequency range : 0.2Hz to 200KHz AC : 1.6Hz to 20,000Hz \pm 0.5dB DC : 500Hz electronic chopper Sensitivity: AC Log : 5mV RMS for 0dB (87mV or 1.57V FSD) DC Log : \pm 10mV for 0dB (\pm 195mV or \pm 3.15V FSD)
Sound level meter (RION NA-20)	Measurement range : 25-130dB(A), 35-130dB(C), 40-130dB(Flat) Frequency response : 31.5-8,000Hz

Fig. 2에 나타난 것과 같으며, 그때의 음압 계산식은 다음과 같다.

$$BL = RL - SR - GR \quad (1)$$

$$SPL = BL - 10 \cdot \log W \quad (2)$$

단, RL : 수신 레벨 SPL : 스펙트럼 레벨
 BL : 대역 레벨 SR : 수중청음기의 수신감도
 GR : 수신기의 이득 W : 주파수 대역(Hz)

가칭 수중음에 대한 넙치의 행동반응에 사용된 실험수조에서의 해수 수온과 염분은 각각 22℃, 33‰였으며, 해수는 외부의 펌프 여과조에 의해 순환되었고, 순환되는 해수는 수조 좌측 상단부로 유입되어 우측 하단부로 배수되고 있었다. 이때 수심은 50cm였으며, 어군의 행동에 대해 수중확성기의 영향을 방지하기 위해서 좌측벽면에서 수평거리 30cm 떨어진 곳에 그물(Polyamide系 무결절 망지, 31절 17합사)을 10cm간격으로 이중으로 부설하고, 제작한 수중 확성기를 미리 부설한 그물 뒤쪽의 수면하 20cm에 설치하였으며, 측정장치의 계통도는 Fig. 3과 같다.

실험어는 제주도 해안의 육상수조에서 양식되고 있는 0.5세의 평균 체장이 22.5±2.5cm, 평균 체중이 200g정도의 넙치 20마리를 이용하였다. 그리고, 먹이는 1일 배합사료 약 20g을 주었다.

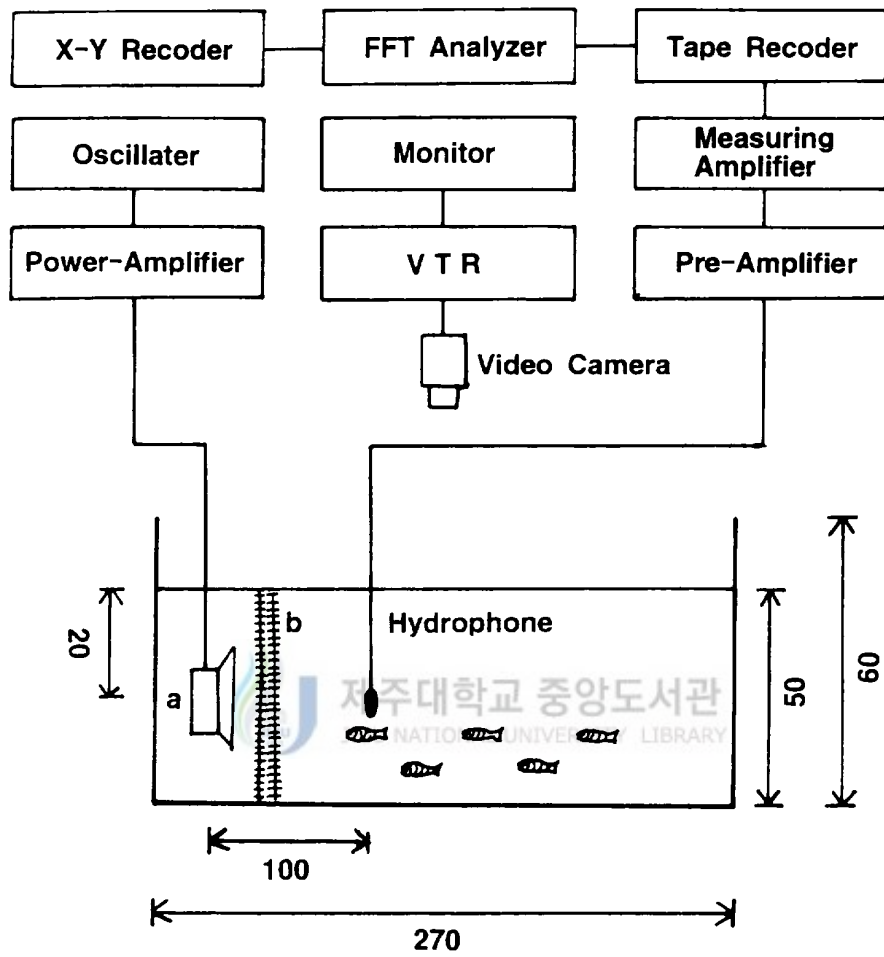
실험수조에서의 수중소음 측정은 양식수조의 수중소음 측정방법과 동일한 방법으로 행하였으며, 수중음에 대한 어군의 행동을 관찰하기 위해 신호 발생기(B&K 1051)에서 주파수 100Hz~600Hz까지 100Hz 간격으로 발생시킨 정현파 순음과 양식수조에서 녹음한 넙치의 식이음을 전력증폭기(SAMJIN SA-1000TC)로 증폭한 후 양자를 순차적으로 수중확성기를 이용하여 3분간 방성, 5분간 정지하는 방법을 20회 가량 반복 실시하여 어군의 행동을 관찰하였다. 이때 방성된 음을 수중청음기로 수신하고, 전치증폭기로 증폭시킨 후 측

정중폭기를 이용하여 방성음의 음압을 측정하였으며, 수중음을 방성시켰을 때 낚치의 행동을 관찰, 분석하기 위해서 실험수조 상단부에 영상녹음기(HITACHI M190)를 설치하여 녹화하였다. 그리고, 어군의 유영행동을 분석하기 위해서 10cm의 격자 간격으로 눈금을 표시한 가로 90cm, 세로 180cm(두께 0.5cm)의 아크릴판 3개를 수조 바닥에 깔고, Fig. 4에 나타낸 것과 같이 편의상 가로 90cm마다 3개의 구역으로 구획하고 순서대로 A구역, B구역 및 C구역이라고 했다.

해석 방법은 어류를 C구역에 모여 있도록 한 후 수중음을 방성하였을 때 각각의 구역에 나타나는 어류 마리수를 계측하여 계산하였으며, 각 수중음에 대한 낚치의 유영거리 및 속력은 재생된 화면상의 수평으로 투영된 거리만을 해석 자료로 하고 그 수직거리는 무시했다. 그리고, 수중음 방성 개시후 경과 시간 10초 간격으로 유영거리(Bd)를 구하였으며, 최소한 10cm이상 움직인 어류만을 해석 대상으로 하고 실험횟수(n)에 대하여 얻어진 값의 평균을 실험값으로 했다. 그리고, 유영속력(F_s)은 다음의 (3)식을 이용하여 구하였다.

$$F_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Bd \quad (3)$$

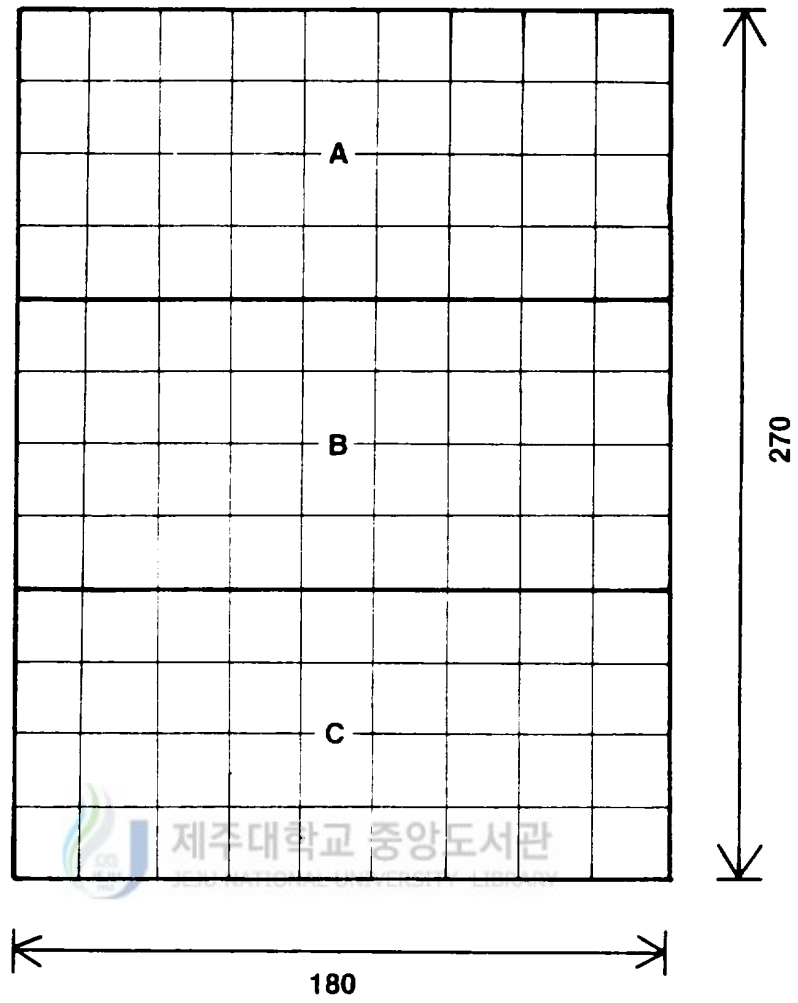
수중음을 방성하기 위해 사용된 수중확성기는 육상에서 널리 사용되고 있는 일반적 확성기인 직접반사 동전가동코일형 확성기의 driver unit(Kicker FX65, 100W, 4 Ω)를 이용하였다. 제작 방법은 Fig. 5와 같이 드라이브 유니트 2개를 투명한 아크릴판(두께 1cm)위에 나란히 고정시키고, 그 위에 직육면체(L36 \times B16 \times H19cm) 모양이 되도록 뚜껑을 만들어 덮어 씌웠다. 이때 직육면체의 내부는 driver unit의 높이까지 폴리에스테르 수지로 채우고, 나머지 공간은 피마자기름으로 채웠으며, 윗판에는 원활한 진동이 되도록 하기 위하여 사각구멍(L17 \times B7cm)을 내어서 수밀용 고무판(두께 0.3cm)으로 부착시켰다(서, 1994).



(unit : cm)

Fig. 3. Block diagram of experimental set up in experiment water tank to analyze swimming behaviour of bastard halibut.

a : Underwater speaker b : Net



(Unit : cm)

Fig. 4. Board indicated grid division at bottom of water tank to analyze swimming behaviour of bastard halibut.

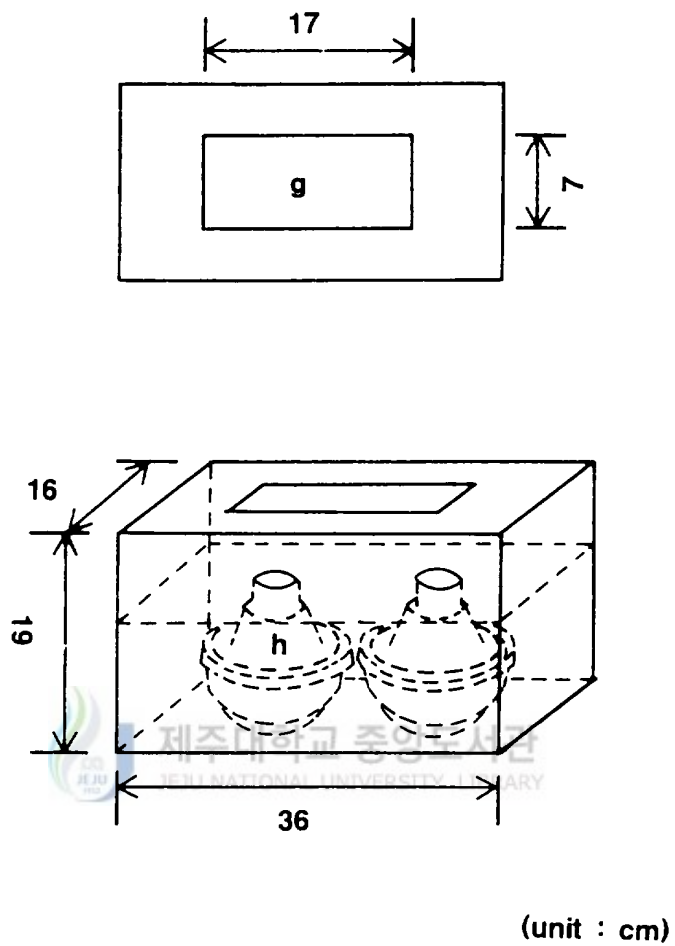


Fig. 5. A plane of underwater speaker
g : Vibration plate h : Driver unit

Ⅲ. 결 과

실험에 이용한 양식수조 및 실험수조가 설치되어 있는 실내에 대한 주위 환경 소음을 측정하여 주파수 2,000Hz까지 음압레벨을 분석한 결과를 Fig. 6-1 및 Fig. 6-2에 나타냈다. Fig. 6-1에서 A는 양식수조내에서 해수를 공급하기 위한 펌프를 가동시켰을 때의 소음으로서, 주파수 1,100Hz에서 최대음압이 81dB이고, B는 펌프 가동을 중단시켰을 때의 최대음압으로 주파수 640Hz에서 72dB이다. Fig. 6-2에서 C는 실험수조가 설치되어 있는 실내에서 해수를 공급하기 위한 펌프를 가동시켰을 때의 소음으로서, 주파수 540Hz에서 최대음압이 76dB이고, D는 펌프 가동을 중단시켰을 때의 최대음압으로 주파수 170Hz에서 65dB이다.

넙치를 사육하고 있는 양식수조의 수중에서 해수를 공급하기 위한 펌프를 가동시켰을 때의 수중소음과 식이음을 측정하여 주파수 2,000Hz까지 음압레벨을 분석한 결과를 Fig. 7에 나타냈다. 양식수조의 수중소음은 주파수 110Hz에서 음압레벨이 최대 78.2dB로 나타났으며, 주파수 1,000Hz에서 최소음압이 51dB이었고, 식이음은 주파수 120Hz에서 최대음압이 85dB로 나타났으며 주파수 2,000Hz에서 최소음압이 54dB이다.

실험수조에 있어서 수중음에 대한 넙치의 행동을 관찰하기 위한 목적에서 실험 수조의 소음을 측정하였는데 해수를 공급하기 위한 펌프를 가동시켰을 때와 펌프 가동을 중단시켰을 때의 소음을 주파수 2,000Hz까지 음압레벨을 분석한 결과를 Fig. 8에 나타냈다. 해수를 공급하기 위한 펌프를 가동시켰을 때의 수중소음은 주파수 130Hz에서 최대음압이 84.2dB로 나타났으며, 주파수 800Hz에서 최소음압이 52dB이다. 그리고, 펌프 가동을 중단시켰을 때의 수중소음은 주파수 107Hz에서 최대음압이 75.2dB로 나타났으며 주파수 1,800Hz에서 최소음압이 40dB이다.

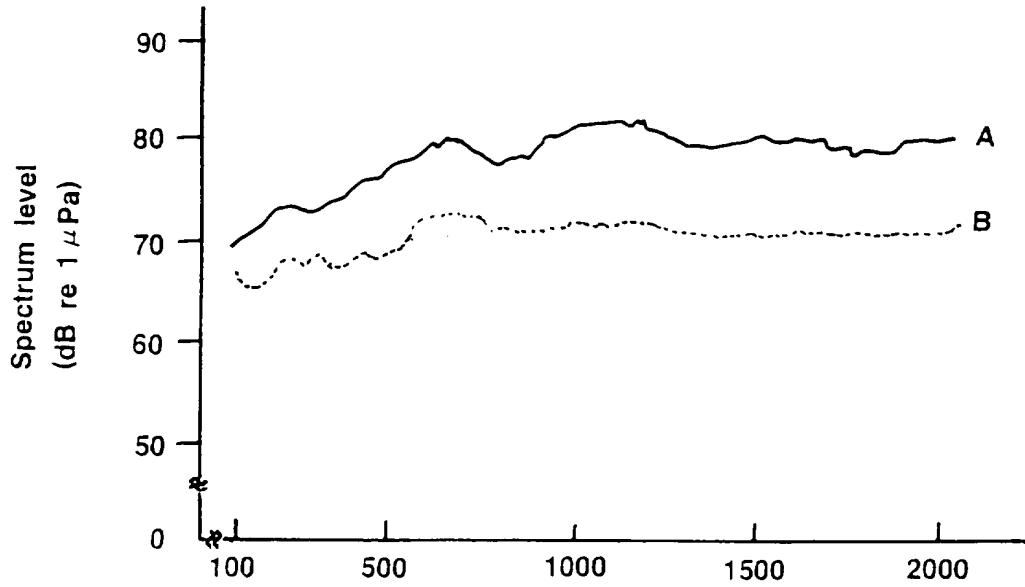


Fig. 6-1. Spectra of noise in housing where is the breeding water tank.

A : When water pump is operated

B : When water pump is not operated

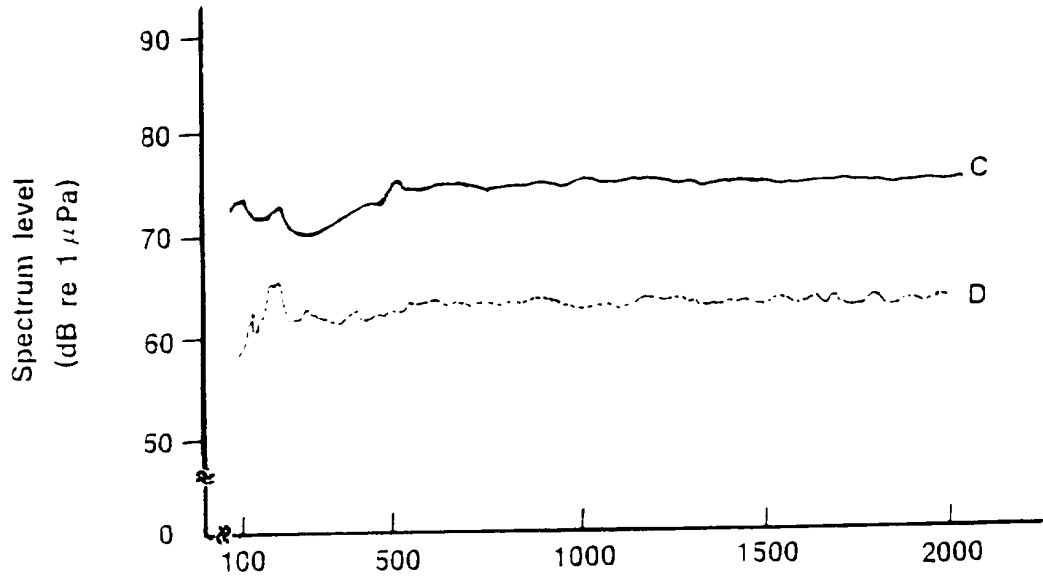


Fig. 6-2. Spectra of noise in housing where is the experiment water tank.

C : When water pump is operated

D : When water pump is not operated

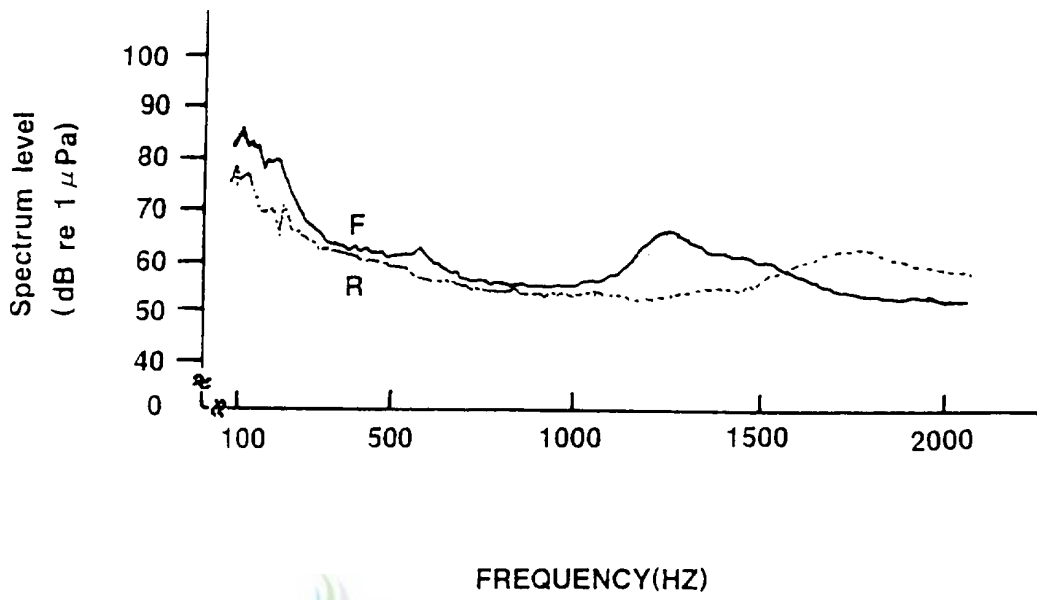


Fig. 7. Spectra of feeding sound in breeding water tank.
 F : Feeding sound R : Background noise

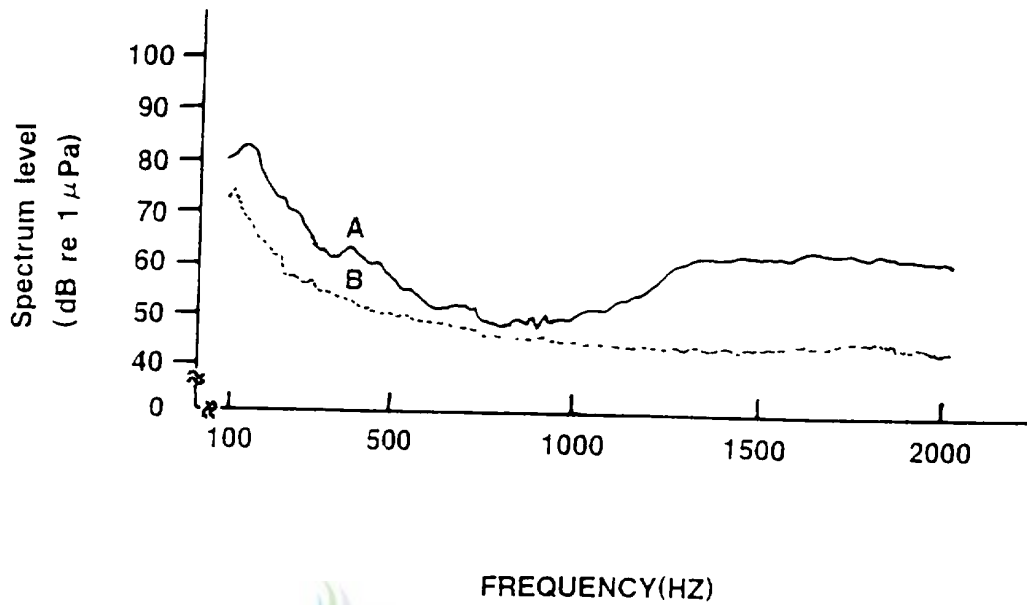


Fig. 8. Spectra of underwater noise of the experimental set up.
 A : When water pump is operated
 B : When water pump is not operated

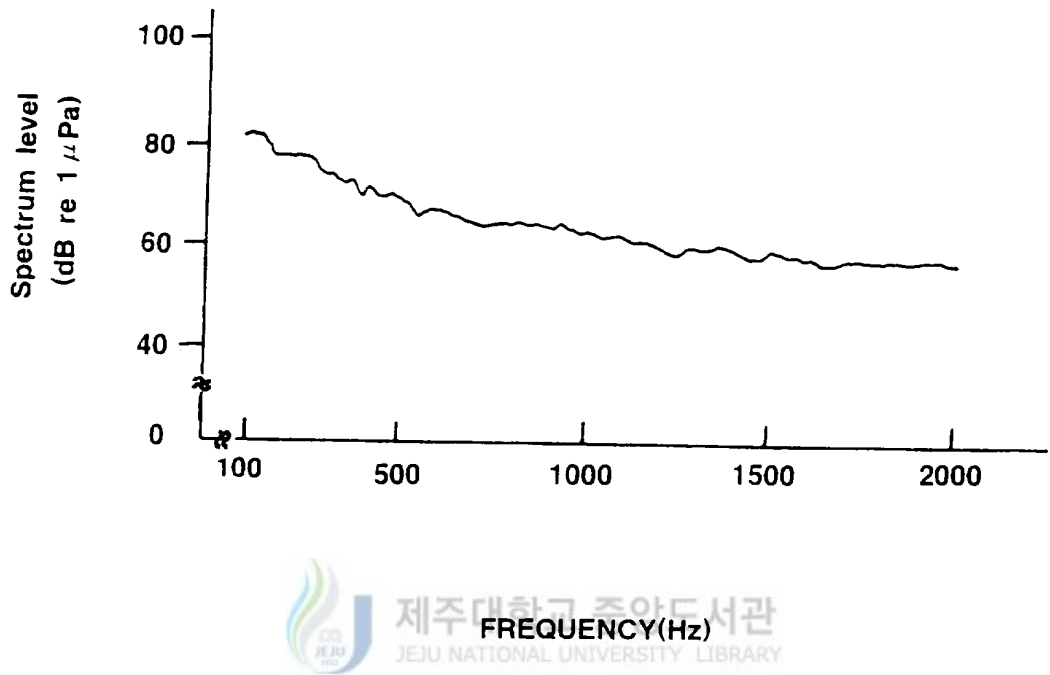


Fig. 9. Spectrum of noise at the sixes breeding water tank in breeding ground.

양식장내에 있는 양식수조 6개를 선정하여 수중소음을 측정된 후 주파수 2,000Hz까지의 음압레벨을 평균한 결과는 Fig. 9와 같다. 주파수 120Hz에서 최대음압이 81dB이고, 주파수 500Hz에서 66dB, 주파수 1,000Hz에서 63dB, 주파수 1,500Hz에서 61dB, 주파수 2,000Hz에서 최소음압이 58dB로 나타났다.

실험수조내에서 수심 20cm에 수중확성기를 설치하고 정현파 순음 및 식이음을 방성하였을 때 실험어 20마리에 대한 유영거리를 정현파 순음의 주파수별로 나타낸 결과는 Fig. 10과 같다. 주파수 100Hz를 방성한 후, 30초 경과한 후에 수평거리 10cm를 실험어 20마리중 4마리가 유영행동을 나타냈고 1분 30초후에는 그다지 크게는 움직이지 않았지만, 제자리에서 조금씩 유영행동을 나타냈고 실험어 20마리중 1마리가 유영행동을 나타냈다. 주파수 200Hz를 방성한 후 20초후에 180cm정도 1마리가 유영행동을 보이다가 1분 20초후에는 200cm로 큰 원을 그리면서 1마리가 유영하는 움직임을 보였으며, 2분 10초 경과한 후에는 10~40cm정도 무리를 지으면서 6마리가 유영하는 행동을 보였고, 2분 20초후에는 20cm, 30cm, 50cm의 거리를 유영하였으며, 20마리중 7마리가 유영행동을 나타냈다. 그리고, 주파수 300Hz를 방성한 후 1분 10초 경과한 후 50cm로 실험어 20마리중 1마리가 유영을 하였고, 2분 20초 경과한 후에는 30cm를 1마리가 유영을 하였고, 2분 40초후에는 10cm, 50cm의 거리를 유영하였으며, 20마리중 8마리가 유영행동을 나타냈다. 주파수 400Hz에서는 방성 20초후에 1마리가 10cm의 유영행동을 보였고, 2분 후에는 70cm 유영을 하였으며 20마리중 5마리가 유영행동을 나타냈다. 주파수 500Hz에서는 방성 1분 40초후에 20cm로 20마리중 1마리가 유영행동을 나타냈고, 주파수 600Hz에서는 방성 2분후에 80cm의 유영행동을 나타냈으며, 20마리중 1마리가 유영행동을 나타냈다. 그리고, 식이음을 방성한 후에는 비교적 많은 시간에 걸쳐서 활발한 유영행동을 나타냈는데, 방성 10초후에 실험어 20마리중 2마리가 30cm의 거리를 나타내다가 10cm로 감소하고 30초가 경과한 후에 10~30cm로 4마리가 유영을 하였다. 그리고,

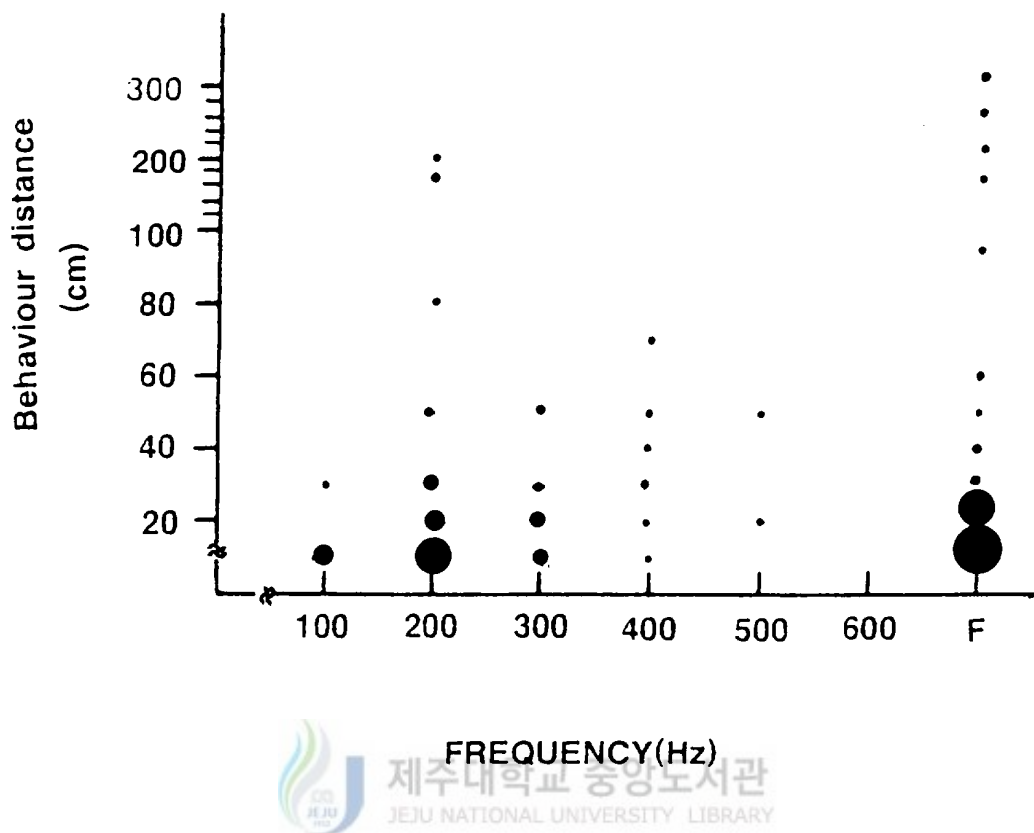


Fig. 10. Behaviour distance of when the pure sound of which frequency were 100 to 600Hz, and feeding sound were emitted.

F : Feeding sound

● : Six fishes

● : Four fishes

● : Two fishes

● : Five fishes

● : Three fishes

● : One fishes

1마리가 80cm의 유영거리를 보였으며, 1분후 20~30cm로 5마리가 유영행동을 나타냈으며, 1분 40초후에는 1마리가 210cm의 유영거리를 보였다. 2분후에는 1마리가 310cm의 넓은 범위에서 유영행동을 나타냈고, 2분 50초 경과후에도 한 마리가 270cm의 유영거리를 나타냈으며, 20마리중 15마리가 유영행동을 나타냈다.

정현파 순음과 식이음을 방성하였을 때의 유영거리에 대한 평균속력(F_s)을 구한 것은 Fig. 11에 나타냈다. 평균 유영속력은 주파수 100Hz에서 4.0cm/sec의 유영속력을 나타냈고, 주파수 200Hz에서 8.3cm/sec로 정현파 순음중에서 가장 빠른 유영속력을 나타냈으며, 주파수 300Hz에서는 5.8cm/sec이며, 주파수 400Hz에서 4.7cm/sec의 유영속력을 나타냈다. 그러나, 주파수 500Hz와 600Hz에서는 한 마리가 유영행동을 나타냈기 때문에 평균 유영속력을 구할 수가 없었다. 식이음에 대한 평균 유영속력은 12.6cm/sec로 정현파 순음보다는 빠른 유영속력을 나타냈다.

양식장내에 설치된 실험수조에서 넙치 20마리를 이용하여 주파수 100Hz, 200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz 및 600Hz의 정현파 순음 및 녹음한 식이음을 3분간 방성 5분간 정지하는 것을 반복하여 수중음에 대한 어류의 행동반응을 나타낸 결과를 Fig. 12 ~ Fig. 18에 사진으로 나타냈다.

주파수 100Hz에 대한 반응을 Fig. 12에 나타냈는데 음을 방성하기 전에는 수조 바닥에 붙어서 움직이는 행동을 보이지 않다가(Fig. 12, I), 30초 후에 한 마리가 약간의 행동반응을 보였으며(Fig. 12, II), 2분 경과후에 2마리가 행동반응을 나타냈다. Fig. 13은 주파수 200Hz에 대한 행동반응을 나타낸 것으로 방음 전에는 행동을 보이지 않았다가(Fig. 13, I), 30초 후에 두, 세 마리 정도가 행동반응을 보이다가 1분 20초가 경과한 후에는 12마리가 활발한 행동반응을 나타냈다(Fig. 13, II).

주파수 300Hz의 순음을 방성하였을 때의 결과는 Fig. 14와 같다. 수중음을 방

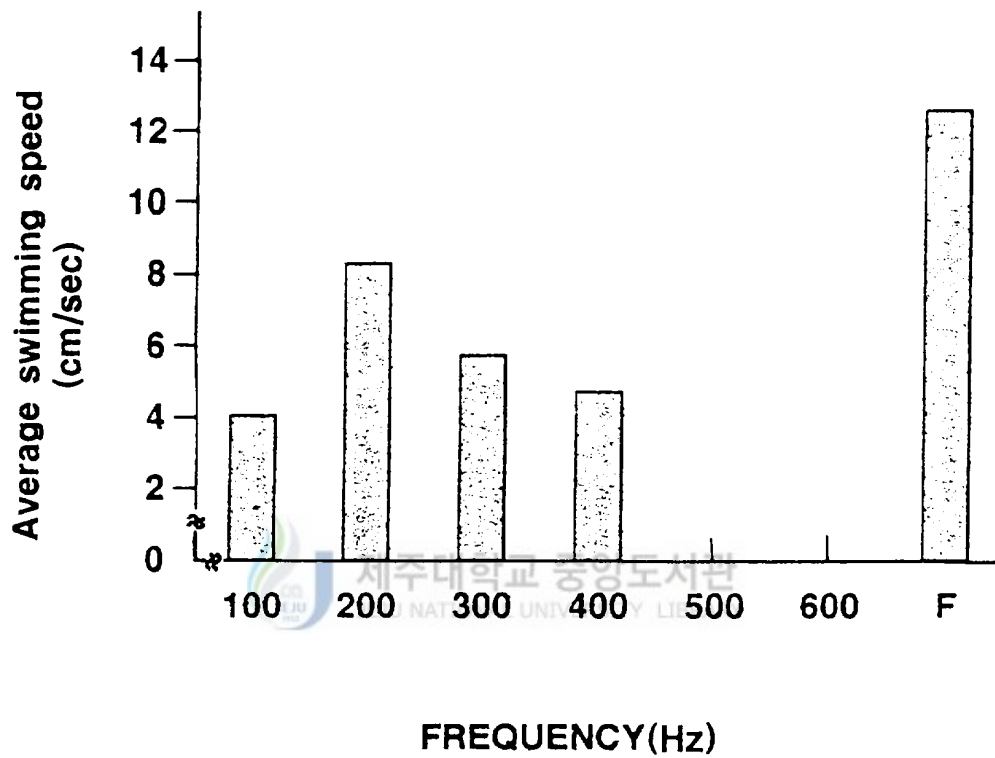
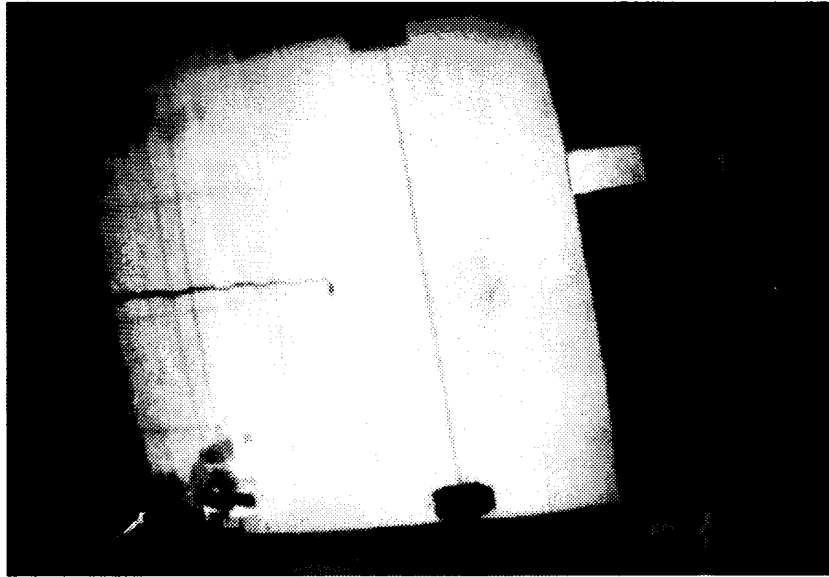


Fig. 11. Average swimming speed of when the pure sound of which frequency were 100 to 600Hz, and feeding sound were emitted

F : Feeding sound



(I)

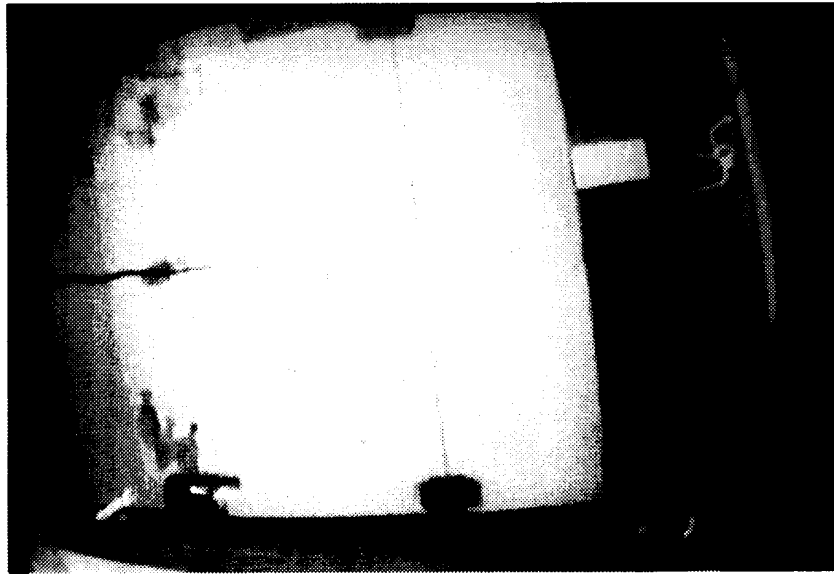


(II)

Fig. 12. Behaviour of bastard halibut when the pure sound of 100Hz was transmitted.

I : Before emission

II : After emission



(I)

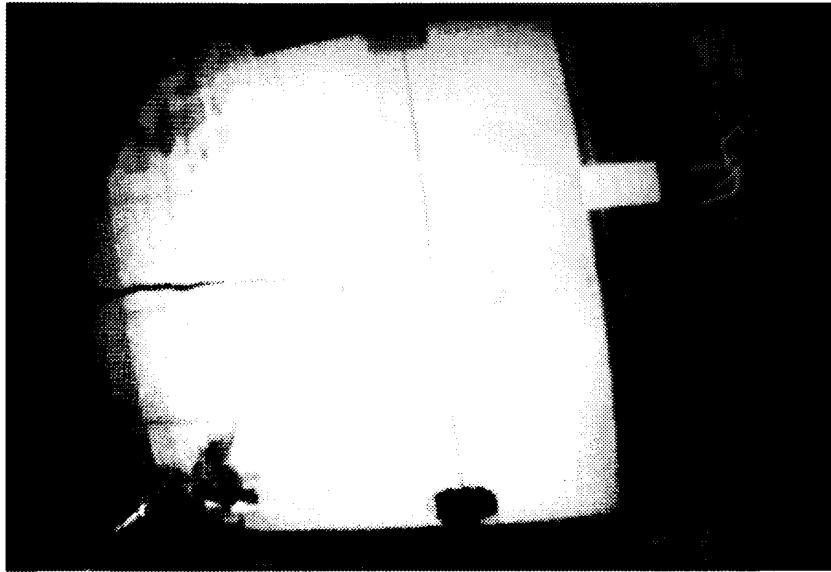


(II)

Fig. 13. Behaviour of bastard halibut when the pure sound of 200Hz was transmitted.

I : Before emission

II : After emission



(I)

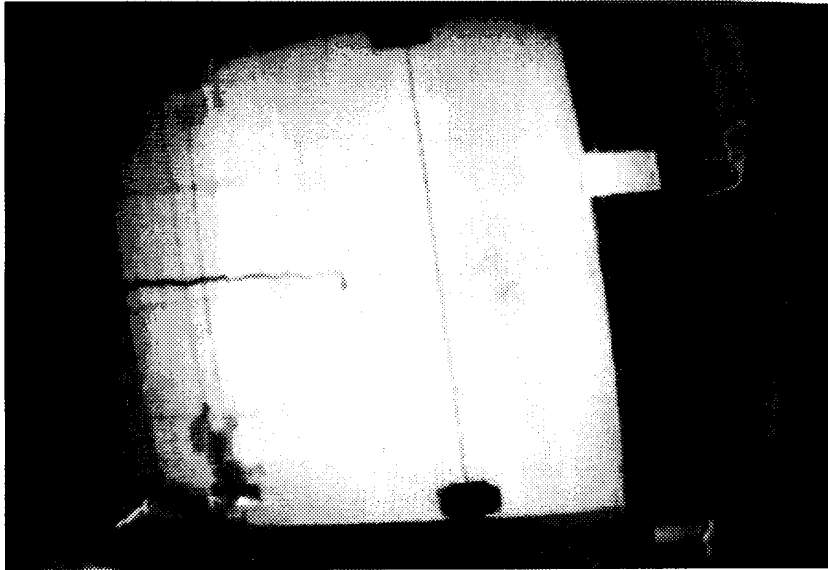


(II)

Fig. 14. Behaviour of bastard halibut when the pure sound of 300Hz was transmitted.

I : Before emission

II : After emission



(I)

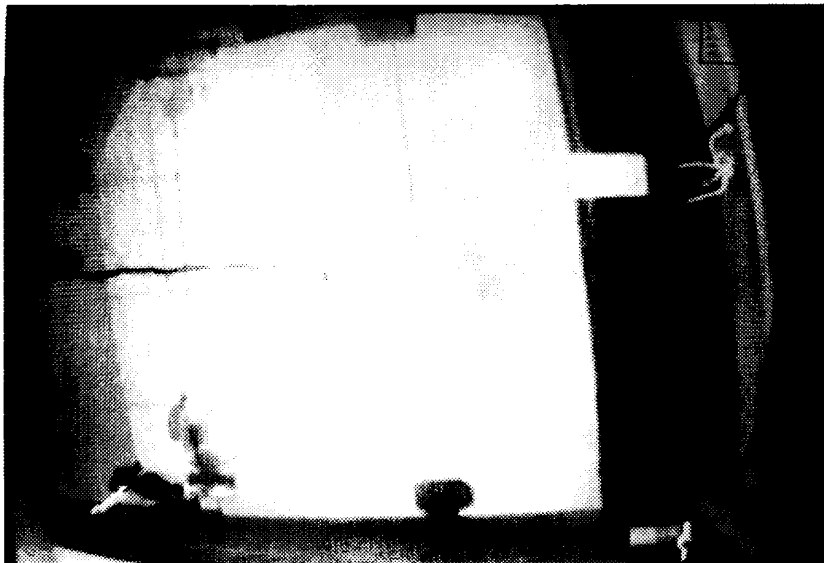


(II)

Fig. 15. Behaviour of bastard halibut when the pure sound of 400Hz was transmitted.

I : Before emission

II : After emission



(I)

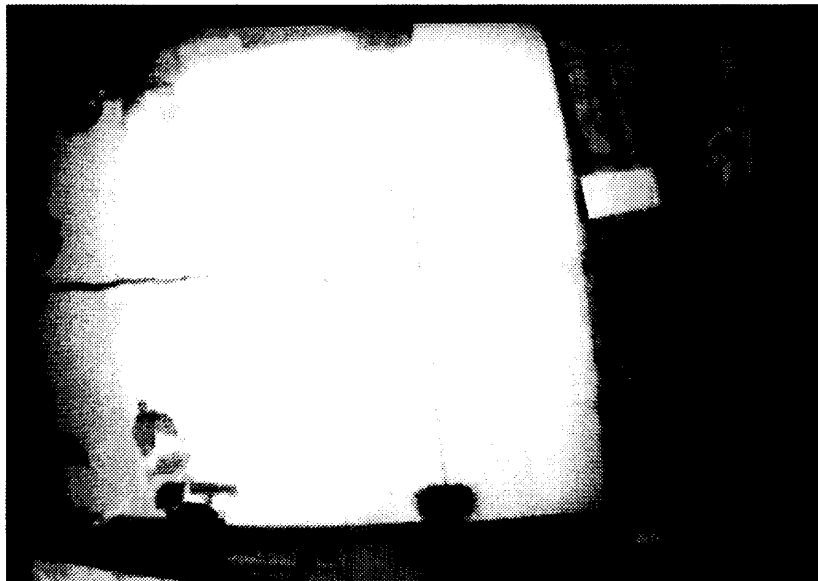


(II)

Fig. 16. Behaviour of bastard halibut when the pure sound of 500Hz was transmitted.

I : Before emission

II : After emission



(I)

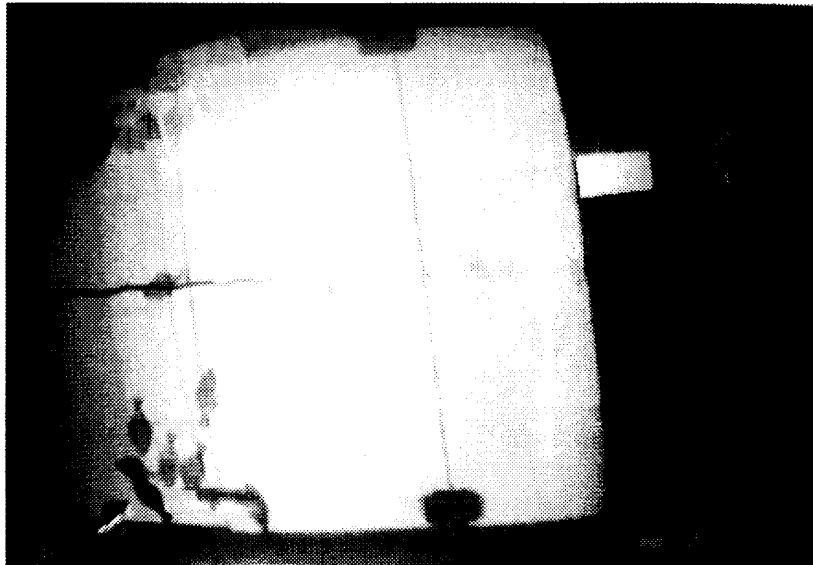


(II)

Fig. 17. Behaviour of bastard halibut when the pure sound of 600Hz was transmitted.

I : Before emission

II : After emission



(I)



(II)

Fig. 18. Behaviour of bastard halibut when the pure sound of feeding sound was transmitted.

I : Before emission

II : After emission

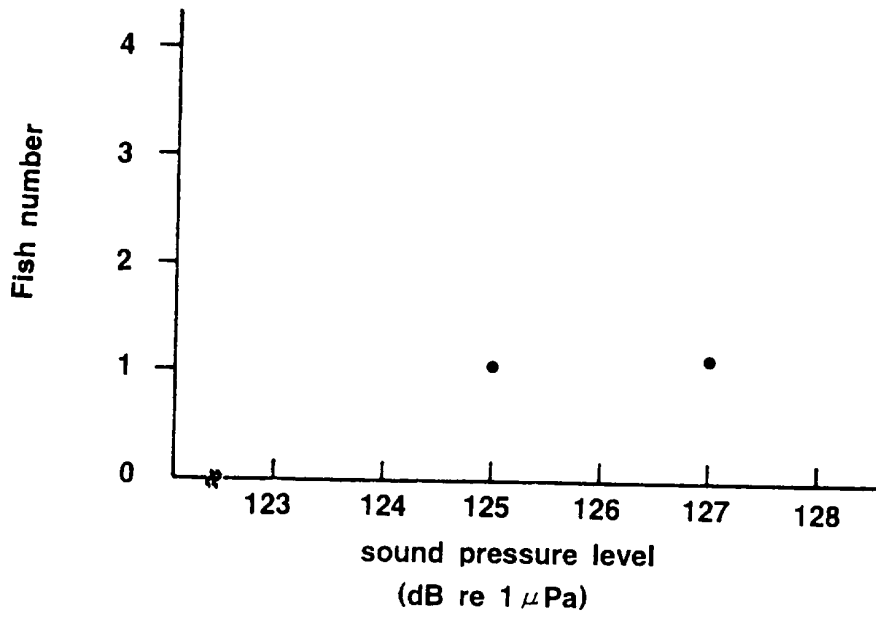
성하기 전에는 수조바닥에 머물러 있다가 방성 1분후에는 두 마리가 행동반응을 보였고 2분이 지난 후에는 9마리가 행동반응을 보였으며, Fig. 15는 주파수 400Hz를 방성하였을 때 행동 반응을 나타낸 것으로서, 방성 30초가 경과한 후에 두 마리가 반응을 보였으며, 1분 30초후에 5마리가 행동반응이 나타났다.

Fig.16은 주파수 500Hz에 대한 행동 반응을 나타낸 것으로 1분 30초후에 한 마리가 행동을 보였고, Fig. 17은 주파수 600Hz에 대한 반응을 나타낸 것으로 2분 경과한 후에 한 마리가 행동 반응을 보였다.

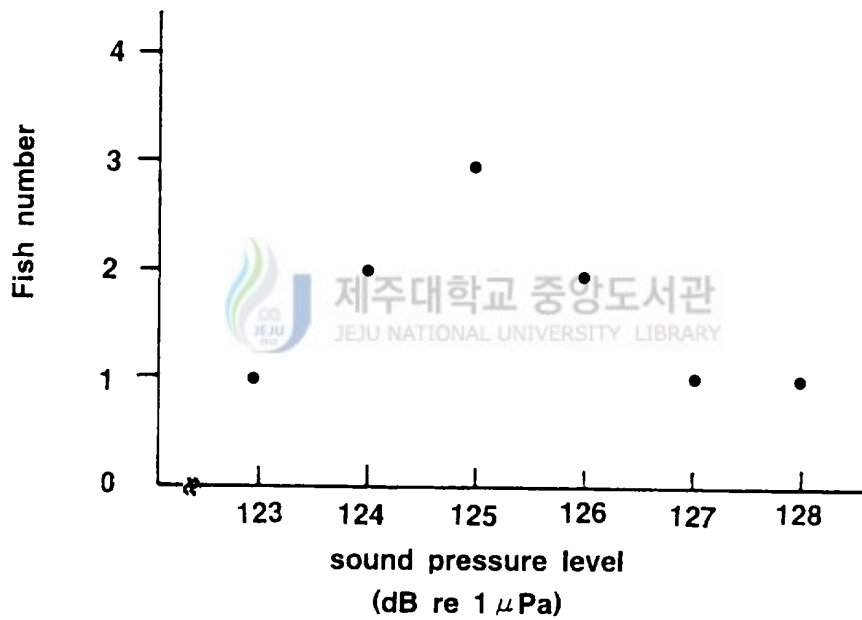
식이음을 방성하였을 때 넙치의 행동을 나타낸 결과는 Fig. 18에 나타내었는데 방성직후 4마리가 행동 반응이 나타났으며, 1분이 경과한 후 6마리, 2분후에 11마리가 행동반응을 보이거나 지느러미를 좌우로 심하게 흔들어 보였다가 방성 정지시에도 일정시간 동안 유영행동을 보였고 실험어 20마리중 15마리가 행동반응을 나타냈다.

정현파순음 100Hz ~ 600Hz의 주파수중에서 행동반응이 비교적 잘 나타냈던 주파수 200Hz와 300Hz를 선정하여 음압을 수중 소음보다 높이면서 수중확성기로 2분 방성 5분 정지하는 것을 반복하였을 때 나타난 결과는 Fig. 19와 같다.

주파수 200Hz와 300Hz에서 123dB, 124dB, 125dB, 126dB, 127dB, 128dB로 음압을 증가시키면서 방성하였을 때, Fig. 19(i)와 같이 주파수 200Hz에서는 125dB과 127dB에서 각각 1마리가 행동반응을 보였으며 123dB, 124dB, 126dB, 128dB에서는 행동반응이 나타나지 않았고 유영거리는 모두 10cm 미만으로 나타나고 있었다. 그리고, 주파수 300Hz에서는 음압 123dB, 127dB, 128dB에서는 1마리가 행동반응을 나타내었고, 124dB, 126dB에서 2마리, 125dB에서는 3마리가 행동반응을 나타냈다.



(i)



(ii)

Fig. 19. Behaviour of bastard halibut to the sound pressure level in 200Hz(i) and 300Hz(ii).

IV. 고 찰

어류가 들을 수 있는 가청주파수의 범위는 16Hz~13,000Hz정도까지이나 일반적으로 1,000Hz미만의 주파수에서 활발한 반응을 나타낸다. 특히 주파수 200Hz~300Hz에서 가장 예민하다는 보고가 많다. 이러한 많은 보고의 결과를 기초로 하여 어류를 가청음에 순치시켜 해상에서 해양목장에 이용하고 있다.

이 실험에서도 이와같은 1,000Hz내의 주파수를 이용하여 양식장의 실내수조에서 낚치를 가청음에 대하여 순치를 시키지 않고 방성하였을 때 낚치 어군의 유집이 가장 좋은 주파수 및 그때의 음압에 관한 기초자료를 얻고자 실험을 행하였다.

양식수조와 실험수조에서 해수를 공급하기 위한 펌프를 가동시켰을 때와 펌프 가동을 중단시켰을 때의 실내소음을 측정하고, 주파수 2,000Hz까지 음압레벨을 비교하였다. 양식수조에서 해수를 공급하기 위한 펌프를 가동시켰을 때의 최대음압은 81dB이고, 펌프 가동을 중단시켰을 때의 최대음압은 72dB로 9dB의 차이가 있으며, 실험수조에서의 최대음압은 각각 76dB과 65dB로 11dB의 차이가 있었다. 음압의 차이가 있는 것은 수조의 시설 설비 및 해수를 공급하기 위한 펌프의 영향으로 판단되며, 전반적으로 양식수조의 소음이 크게 나타났다(Fig. 6).

양식 수조내에서 식이음과 펌프를 가동시켰을 때의 수중소음을 비교 분석하였는데, 식이음은 최대음압이 85dB이고 수중소음은 최대음압이 78.2dB이었다(Fig. 7). 최대음압의 차이는 약 7dB이며 주파수 1,200Hz부근에서 12dB정도의 차이가 났을 뿐 서로 비슷한 음압을 나타내고 있어 양식수조의 수중소음이 크게 발생하고 있는 것으로 예측되며, 실험수조내에서 해수를 공급하기 위한 펌프를 가동시켰을 때의 최대음압은 84.2dB이고, 펌프의 가동을 중단시켰을 때의 최대음압은 75.2dB로 음압차가 나타나고 있어 해수를 공급하기 위한 펌프의 영향이 크게 작용한 것으로 추정된다(Fig. 8).

양식수조 30개중 6개를 선정하여 수중소음을 측정 한 후 주파수 2,000Hz까지 평균 음압레벨을 구하였는데 소음을 분석한 스펙트럼은 비슷하게 나타났으며 최대음압이 81dB이고, 최소음압은 58dB이었다. 양식수조별로 최대음압이 다르게 나타났는데 이것은 소음측정 위치와 펌프 위치가 상이하여 오차 요인으로 작용한 것으로 보여진다(Fig. 9).

실험수조에서 직접반사 동전가동코일형 확성기의 driver unit를 사용해서 수중 확성기를 이용하여 정현파 순음 100Hz, 200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz, 600Hz 및 식이음을 녹음하여 방성하였을 때, 정현파 순음에서는 주파수 200Hz에서 가장 활발한 행동반응을 보였고, 유영행동도 가장 활발하게 나타나 실험어 20마리중 12마리가 행동반응을 보였다. 그리고, 식이음에서는 정현파 순음의 주파수를 방성할 때 보다도 활발한 행동반응을 나타냈고, 실험어 20마리중 15마리가 행동반응을 나타냈다.

이와 같이 순음시키지 않은 정현파 순음을 방성하였을 때 행동반응을 보이는 것은 가청 저주파 수중음인 200Hz~500Hz범위에서 고등어, 넙치 및 쏜뱅이의 반응행동을 나타낸 연구보고(幡谷, 1989; 서동, 1989)와 잘 일치하고 있다(Fig. 12~ Fig. 18).

방성중에 나타난 넙치의 유영행동은 지느러미를 좌·우로 심하게 흔들거나 제 자리에서 움직이면서 행동하는 반응 특성을 나타내었다. 그리고, 식이음에 대한 행동반응은 실험수조내에서 방성과 동시에 행동반응을 보이면서 수면위로 올라왔다가 내려가면서 지느러미를 심하게 흔들는 행동반응을 나타내었다. 이것은 어류의 행동특성인 먹이를 주었을 때 활발한 행동을 보이면서 먹이가 떨어지는 곳으로 모이는데, 식이음을 녹음하고 방성을 할 때도 이와 비슷한 유영행동을 보이는 것을 확인할 수가 있었다.

이 결과를 기초로 200Hz 및 300Hz의 가청주파수를 수조의 수중소음보다 높게 방성하여 넙치의 행동을 관찰한 결과, 행동반응은 적게 나타났었다(Fig. 19). 이것은 주위의 기계설비에 의한 소음 및 해수를 공급하고 있는 펌프 등의 소음으로

인해서 넙치의 행동반응에 영향을 준 것이라 생각된다.

따라서, 이 실험에서는 넙치가 양식되는 수조에서 주위 환경 소음보다 높은 음압의 수중음을 이용한 어군의 유집은 그 효율성이 감소하여, 순치를 이용한 유집이라 할지라도 그 효과는 적을 것으로 보여지며, 양식장에서의 수중소음은 넙치의 청각을 둔화 시키는데 영향을 끼치고 있어 가청음을 이용한 어군의 유집에 장애가 되는 것으로 사료된다.



V. 요약

제주도 연안의 육상수조에서 양식되고 있는 넙치를 대상으로하여 수중 가청음을 이용한 어군의 행동반응에 대한 기초적인 실험을 행하였다. 양식수조와 실험수조에서 주위 환경 소음과 식이음을 측정 분석하고, 양식장내의 실험수조에서 주파수 100Hz~600Hz의 정현파 순음과 식이음을 수중확성기로 방성하여 넙치의 행동을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 양식수조에서 실내에 대한 주위 환경소음의 최대음압은 주파수 1,100Hz에서 81dB이고, 수중소음의 평균 최대음압은 주파수 120Hz에서 81dB이다.
2. 실험수조에서 실내에 대한 주위 환경소음의 최대음압은 주파수 540Hz에서 76dB이고, 수중소음의 최대음압은 주파수 130Hz에서 84.2dB이다.
3. 넙치를 사육하는 양식장에서 수중확성기로 주파수100Hz, 200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz, 600Hz의 정현파 순음을 100Hz 간격으로 방성실험한 결과 주파수 200Hz에서 활발한 행동반응을 나타냈다.
4. 식이음에 대한 음압레벨은 주파수 120Hz에서 최대음압이 85dB이고, 이 음을 방성하였을 때는 먹이를 주었을 때와 거의 동일한 행동반응을 나타냈다.
5. 정현파 순음 100Hz~600Hz 및 식이음을 방성 실험한 결과, 정현파 순음 보다는 식이음을 방성하였을 때가 보다 활발한 유영행동을 나타냈다.

VI. 참고 문헌

- 青木 一郎. 1984. 코이의食餌條件反應의長期保持. 動物心理學會, 34號, 87-84.
- 張 善德, 尹 甲東, 辛 亨鎰, 李 珠熙, 申 鉉玉. 1986. 音響集魚器의 集魚效果. 韓國漁業技術學會, 22(4), 75-81.
- Hashimoto, T., M. Nishimura and Y. Maniwa. 1957. Noise of yellowtail when it into set net. Tech, Rep. Fishing, 10, 69-78.
- 石崎 宗周, 平石 智德, 山本勝太郎, 梨木 勝昭. 1992. 크로소의聽覺閾値について. 日本水産學會, 58(1), 55-61.
- 김 상한. 1977. 방어의 소리와 음향에 대한 행동. 부산수산대학연구보고, 17(1&2), 17-25.
- 小長谷庸夫. 1980. Ayu의音響에對するびはね反應. 日本水産學會, 46(1), 1-34.
- 李昌憲, 徐斗玉, 金秉燁. 1994. 可動코인형 Driver unit를 이용한 水中擴聲器의 周波數特性. 韓國漁業技術學會, 30(1), 25-32.
- 朴 容石, 飯田 浩二, 向井 徹, 櫻井 泰憲. 1995. 스키투우타라의聽覺特性. 日本水産學會, 61(2), 159-163.
- 徐 斗玉, 淺野 謙治, 小長 谷庸夫. 1989. 水中音에 대한 고등어 魚群의 反應. 韓國漁業技術學會, 25(1), 12-17.
- 서두옥. 1993. 수중음향을 이용한 어업계측기. 韓國 音響學會, 11(5), 78-81.
- 柴田 恵司. 1966. 旋網漁船의 騒音について. 長崎大水産學研究報, 21, 145-158.
- 竹村 陽. 1984. 水族의發生音. 海洋科學, 16(5), 290-296.
- 土城 義信, 壽 久文, 日高 悦久, 橋本 普策, 益田 信之. 1993. 마다이音響馴致 시스템의마ニュアル. 大分縣水試調研報, 15, 1-22.

- 幡谷 雅之, 大西 慶一 大須賀穂作. 1989. カサゴおよびヒラメの音響順致について. 静岡水産試験場研究報告, 24, 31-35.
- 上野 正司. 1979. 漁業利用されている最新の水中音響器機. 海洋音響研究会報, 6(4), 115-125.



감사의 말씀

이 연구를 수행함에 있어 세심한 지도와 판단을 하여주신 서 두옥 지도교수님께 진심으로 깊은 감사를 드리며, 논문 작성에 유익한 조언을 해주신 안 장영 교수님, 김 석종 교수님, 그리고 이수 기간중 가르침을 베풀어 주신 박 정식 교수님, 노 홍길 교수님, 안 영화 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

자료를 얻는데 많은 도움과 격려를 해주신 (주)한라수산 관계자 여러분, 자료 수정 및 자료정리에 헌신적으로 도와주신 이 창현 선배님께 감사를 드리며, 이번 실험을 행하는데 도움을 준 김 남훈군에게도 감사를 드립니다.

끝으로 이 논문이 완성될 때까지 물심양면으로 도움을 주신 부모님을 비롯한 가족들에게 다시 한번 깊은 감사를 드립니다.

