

碩士學位論文

水中可聽音에 대한 잿방어  
魚群의 誘集反應

濟州大學校 大學院

漁業學科



1994年 12月

水中可聽音에 대한 잿방어  
魚群의 誘集反應

指導教授 徐 斗 玉

金 秉 燁

이 論文을 水産學 碩士學位 論文으로 提出함.

1994年 12月

金秉燁의 水産學 碩士學位 論文을 認准함.



審査委員長

安長榮

委

員

盧洪吉

委

員

徐斗玉

濟州大學校 大學院

1994年 12月

---

A Thronging Response of the Shoal of  
Rudder Fish, *Seriola Dumerili*(Risso),  
to Audible Underwater Sound

Byong-Youb Kim

(Supervised by professor Du-Ok Seo)



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

DEPARTMENT OF FISHERY  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1994. 12

## 목 차

SUMMERY .....	1
I. 서 론 .....	2
II. 장치 및 방법 .....	4
1. 수중확성기의 제작과 방성시험 .....	4
2. 가두리 축양장에서의 어류에 대한 방성실험 .....	8
III. 결과 .....	14
1. 제작된 수중확성기의 주파수특성 .....	14
2. 어류에 방성한 음의 스펙트럼 분석 .....	14
3. 방성음에 대한 가두리내 갯방어의 행동반응 .....	21
IV. 고 찰 .....	31
V. 요 약 .....	33
VI. 참 고 문 헌 .....	34

## SUMMARY

A field experiment was carried out to confirm the effect of underwater sound on the luring of fish school of Rudder fish in a sat nat in the coast of Cheju Island. The effects of the acoustic emission on the luring of fish school were observed at a cage aground a sat nat fishing ground using a manufactured underwater speaker. Underwater sound that were emitted for the luring of fish were pure sounds, of which frequencis were 300Hz and 400Hz, engine noise and swimming sound.

The results of the observation are as follows :

1. The input and output wave forms of manufactured underwater speaker in air were similar to those in 400 - 600Hz. but other frequencies showed some distorted wave forms.
2. The input and ouput wave forms of manufactured underwater speaker in water tank were similar to those in measurment frequencies. The reasult of the observation indicated that it could be used for the purpose of the sound emission in measurement frequencies.
3. The effect of emitting the pure sound of 300Hz, 400Hz was remarkable for the luring of fish school in 2 minutes after the sound emission. The reaction of fish school was more sensitive to the pure sound of 400Hz than 300Hz.
4. The effect of emitted engine noise was more remarkable than the pure sound for 3 minute continuously. On the feeding sound, fise formed a shoal and swimmmed. but didn't gather around the underwater speaker.
5. The feeding and swimming sound spectra on rudder fish showed similar sound pressure distribution in both, they appeared low sound pressure in frequencies of 200 - 600Hz and sound pressure levels of both in day are highier than that in night.

## I. 서론

인간은 생활을 하면서 항상 정보를 교환하고 있으며, 그 정보의 전달 수단으로 음파, 전파 및 광파 등을 많이 이용하고 있다. 그러나 이들이 매질속에서 전달될 때에는 확산, 흡수, 산란 등의 여러가지 원인에 의해 그 강도가 약해지기도 하고, 매질에 따라서 전달속도도 달라진다. 이러한 관점에서 수중에서의 정보 전달 수단으로는 음파가 주로 이용되며, 이는 다른 방법보다 상대적으로 유리하기 때문이다.

해중에서의 소음은 해풍, 파랑, 강우 등 자연 현상에 의한 자연소음, 어류의 생식음, 신호음, 식이음, 유영음 등 생물이 내는 발생음, 그리고 선박항행 등의 인공적 소음으로 크게 구분할 수가 있다. 이들 소음중 어류의 발생음은 인간이 어류의 존재를 인식하는 데 좋은 증거가 되는 것과 같이 어류들 사이에도 중요한 정보가 될 수 있으므로 이 음들을 이용한 어류의 유집 및 어획방법에 관한 연구가 활발이 진행되고 있고, 또 그 효과도 점차 증명되어 지고 있는 실정이며, 어획에 보다 직접적이고 효과적으로 활용하기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 이와 같이 음을 이용한 어군의 유집은 어장 조업시에는 조업능률을 향상시키고, 축양어업에서는 음향 제어에 의한 자동급이를 가능하게 할 뿐 아니라, 치자어에 대해서는 그 육성 단계에서부터 수중 저주파음을 이용한 학습을 통해 어류를 일정한 해역에 정착, 서식하도록 할 수 있어, 해양목장화 등 여러면에 응용이 되어지고 있다(土野, 1979; 서, 1993).

어류의 유집에 관련된 연구로서는, 田村(1977)은 보통 어류가 들을 수 있는 음의 가청범위를 16Hz - 13KHz로 보고하고 있으며, 장(1986)과 서(1989) 등은 어류의 발생음인 위척음, 생식음, 신호음, 식이음 등의 주파수범위가 100Hz - 2000Hz 이고, 수중음의 순음 주파수에 대한 어류의 반응은 200Hz - 600Hz에서 예민하게 반응을 보인다고 하였다. 음향을 이용한 어군행동에 관한 연구로서는,

장 등(1986)이 정치망 어장에서 음향집어기를 이용한 결과, 긍정적인 집어효과가 있다고 보고하고 있는 것 외, 서 등 (1989)의 수중음에 대한 고등어 어군의 반응, 間庭과 昌山(1970.1975.1976)의 방어, 오징어, 고등어 등의 어군을 수중음에 의한 유도 위협, Hashimoto(1957) 등의 어군의 수중가청 음파에 대한 응답해석의 연구, 김(1977)의 방어군이 내는 소음의 분석, 紫田(1966)의 수중음에 대한 정어리 어군의 반응, Maniwa(1976, 1984)등에 의한 전갱이 어군의 어선 스크류에 대한 반응과 해중생물의 명음의 예와 수중음에 대한 반응, 그리고 김과 윤(1982)에 의한 농어 등 식이음의 주파수 특성과 주음반응 효과에 대한 분석 등 다수의 연구가 보고되고 있다.

이 연구는 제주도 연안에 분포되어 있는 정치망에서 음향집어기에 의한 어류의 유집 효과에 대한 기초자료를 제공할 목적으로, 정치망의 주요 어획 대상 어종인 잭방어를 선택하여, 동 어종의 식이음, 기관소음, 정현파 순음 등을 녹음시켜, 제작된 수중확성기로 방성하였을 때, 각 음에 대한 잭방어 어군의 반응 행동을 조사·분석 하였다.



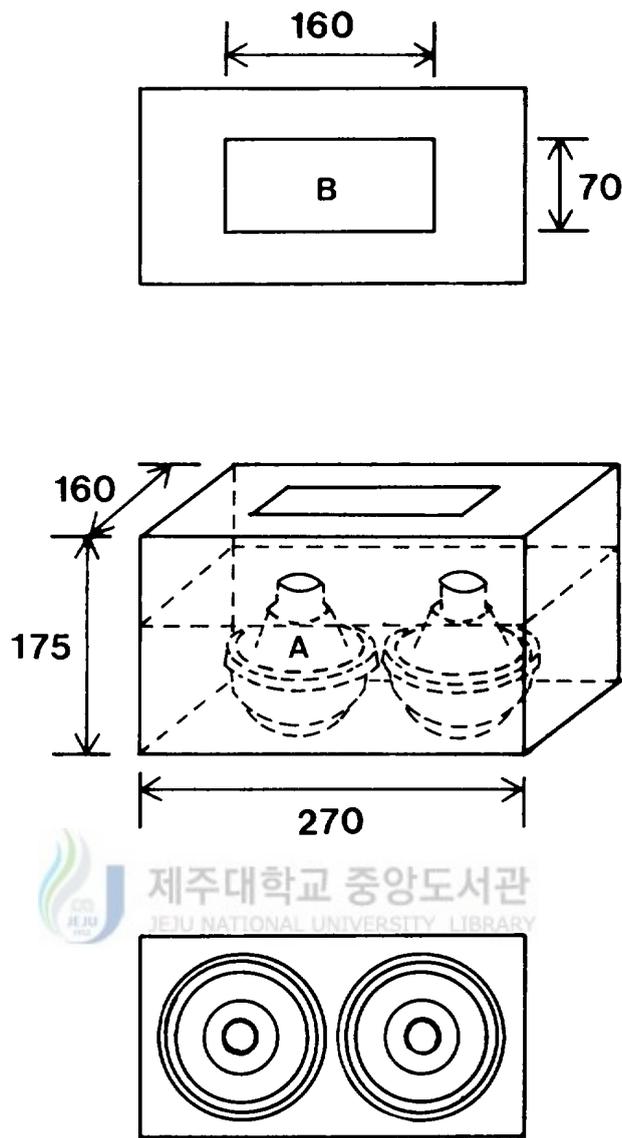
## II. 장치 및 방법

### 1. 수중확성기의 제작과 방성시험

각종 수중음에 대한 어류의 행동반응을 조사하기 위해 사용된 수중확성기는 육상에서 널리 이용되고 있는 일반적 확성기인 직접반사 동전 가동 코일형 확성기의 driver unit(전일전자 UR2000, 50W, 8 $\Omega$ )를 이용하여 제작하였으며, 그 제작 모형도는 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1과 같이 드라이브 유니트 2개를 투명한 아크릴판(두께 10mm)위에 나란히 고정시키고, 그 위에 직육면체(270 x 160 x 175mm) 모양이 되도록 뚜껑을 만들어 덮어씌웠다. 이 때 직육면체의 내부는 driver unit의 높이까지 폴리에스테르 수지로 채우고, 나머지 공간은 피마자기름으로 채웠으며, 윗판에는 원활한 진동이 되도록 위하여 사각구멍(160 x 70mm)을 내어서 고무판(두께 2mm)으로 수밀·부착시켰다(Fig. 1-a).

이렇게 제작·완성된 수중확성기에 대해 그 주파수 특성을 파악하기 위하여 실험실에 있는 수조에서 공기중 및 수중 실험을 행하였다. 실험에 사용한 수조의 구조는 수조내에서 음향실험을 실시한 때에 음파의 반향을 줄이기 위하여 윗면을 제외한 수조내부 다섯면에 나무로 제작된 사각뿔(130 x 50 x 50mm)을 조밀하게 부착시킨 아크릴판 수조(2,500 x 1,080 x 1,050mm)였다. 먼저 공기중 실험은, Fig. 2와 같이 물을 제거한 아크릴판수조 속에서, 제작된 수중확성기와 마이크로폰인 수평거리 1m가 되도록 중앙 부근에 설치하여 행하였다.

신호발생기(B&K)에서 주파수 200Hz - 600Hz까지 100Hz 간격으로 정현파 순음을 발생시켜 전력증폭기(SAMJIN, SA-1000TC)로 증폭한 후 수중확성기로 방성시켰다. 이렇게 방성된 음을 마이크로폰으로 수신·증폭시켜서 음압을 측정하고 오실로스코프(GOULD, 1421)로 그 파형을 관찰하였으며, 제작된 수중확성기에 걸린 음파와 발진된 음파의 파형이 서로 잘 일치하는가를 비교·검토하였다. 그리고 수중실험은 수조에 물을 가득 채우고 윗면에는 소음을 줄이기 위하여 스티로폼판(두



(Unit:mm)

Fig. 1. A plane of underwater speaker.

A : driver unit      B : vibration plane  
(50W, 8Ω)

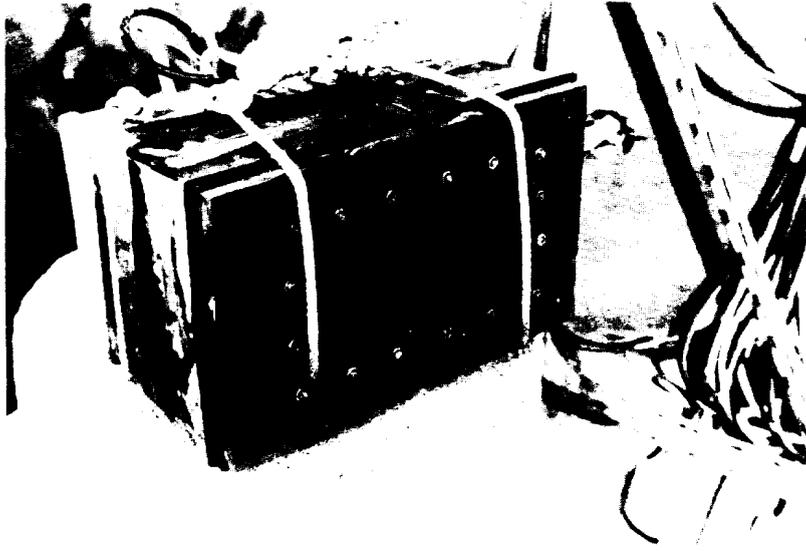
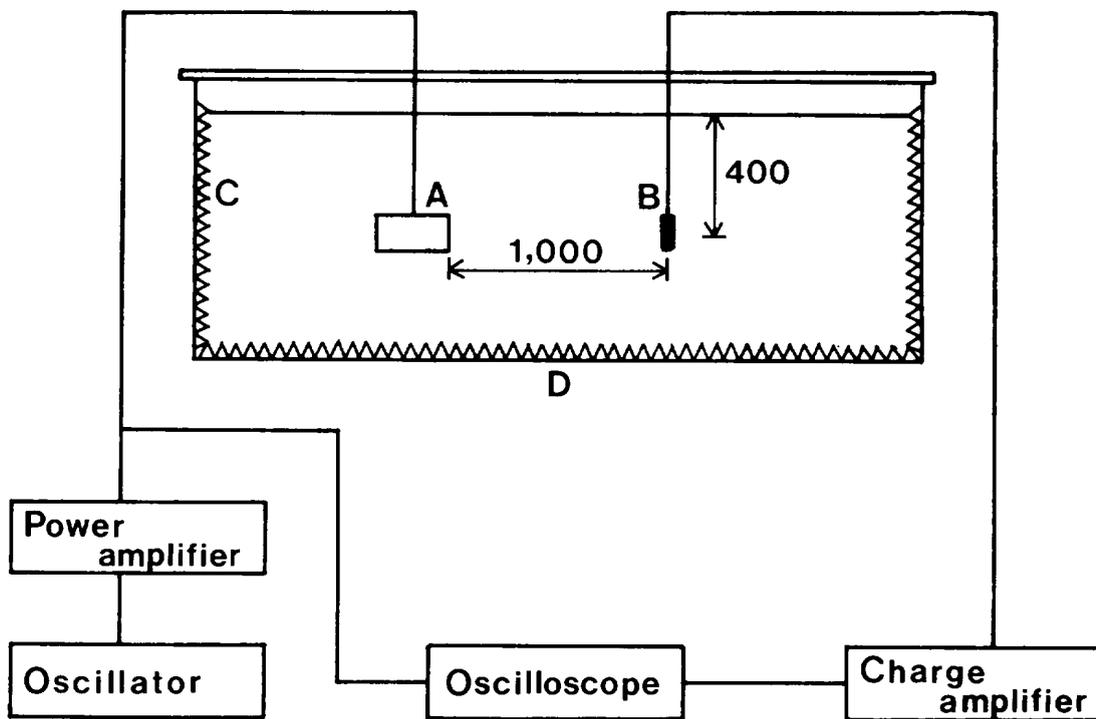


Fig. 1-a. Manufactured underwater speaker used in the experiment



(Unit:mm)

Fig. 2. Block diagram of experimental set up in water tank.

- A : underwater speaker      B : hydrophone (microphone)  
 C : quadrangular pyramid      D : water tank

계50mm)으로 막았으며, 수중 확성기와 수중청음기(B&K, 8100)는 수면하 약 0.4m층에서 공기중 실험시와 똑같은 방법으로 수평 거리를 1m로 고정해서 여러 주파수에 대하여 방성 실험을 하였다.

## 2. 가두리 축양장에서의 어류에 대한 방성실험

제작된 수중확성기에 대하여 실내수조에서 공기중 및 수중 실험을 실시하여 어류가 예민하게 반응하는 가청 주파수인 200 - 600Hz(장, 1986 ; 서, 1989)에서 그 특성 실험을 행한 후에, 해상에서도 방성실험을 행하였다. 대상어류는 여름철 제주도 정치망 어구에서 많이 어획되고 있는 잭방어를 선정하였다. 그리고, 수중확성기로써 방성한 음은, 300Hz와 400Hz의 정현파 순음, 어류의 정치망 내로의 유집 가능성을 예측하기 위한 잭방어의 유영음 및 식이음, 또 가두리 축양장에서 소형선박을 사용해서 먹이를 투여할 때 선박 소음에 학습이 되었을 것으로 보고, 그 효과를 조사하기위해 선박의 기관소음을 택하였다.

선박음과 잭방어 어군의 식이음 측정 방법은 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 선박의 기관소음은 엔진만을 가동시킨 채 기관실 중심부에서 육상 마이크로폰(AT834II)을 이용하여 녹음기(TC-5M)로 녹음하였고, 이 때 선박의 수중소음은 수심 5m층에서 수중청음기로 수신하여 전치증폭기로 증폭시킨 후 녹음기(SONY,TC-5M)로 약 5분간 동시에 녹음하였다. 이렇게 녹음된 선박의 기관실소음과 수중소음을 실험실에서 주파수 분석기(B&K, 2033)와 기록계(B&K, 2309)로 분석하였다. 잭방어 어군의 식이음의 측정은 제주도 북군 함덕리 포구 방파제에서 약 20m 떨어져 있는 가두리 축양장내(2,500 × 2,500 × 7,000mm)에 5m층에 수중청음기(B&K 8110)를 설치하여 어선의 수중소음과 같은 방법으로 주간과 야간에 녹음·분석하였다. 주파수 분석기에 입력된 신호는 24Hz - 5000Hz사이를 1024개의 스펙트럼 선으로 64초간 선형평균하였고, 음압은 1 $\mu$ Pa을 기준으로 분석하였으며, 측정기구에 대한 요목은 Table. 1에 나타내었다.

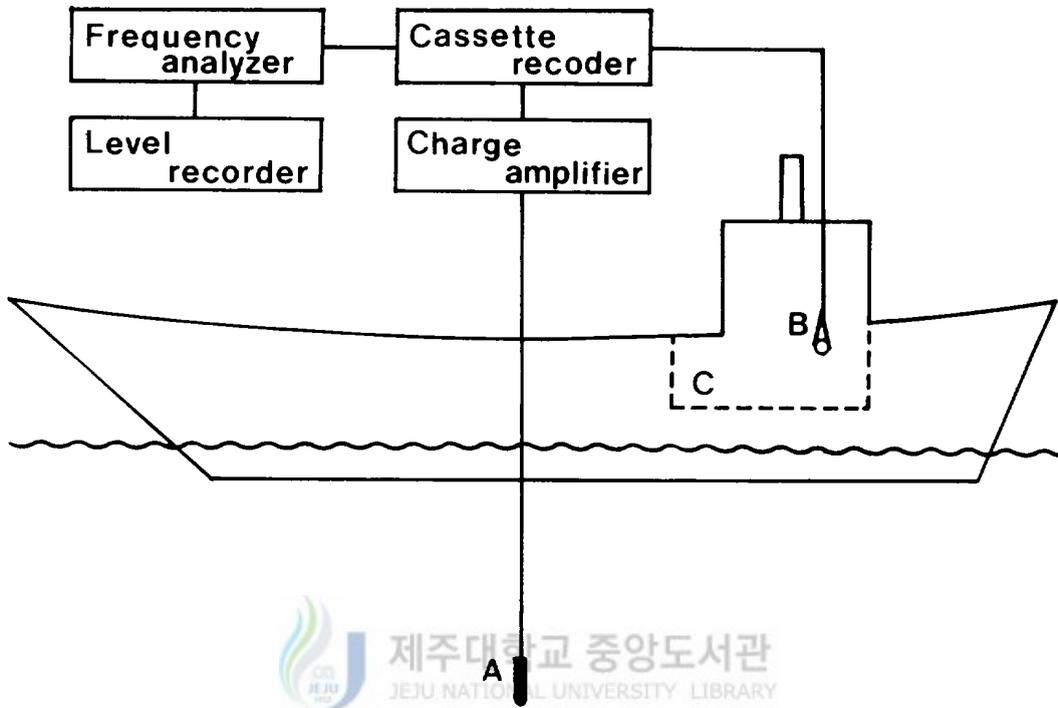
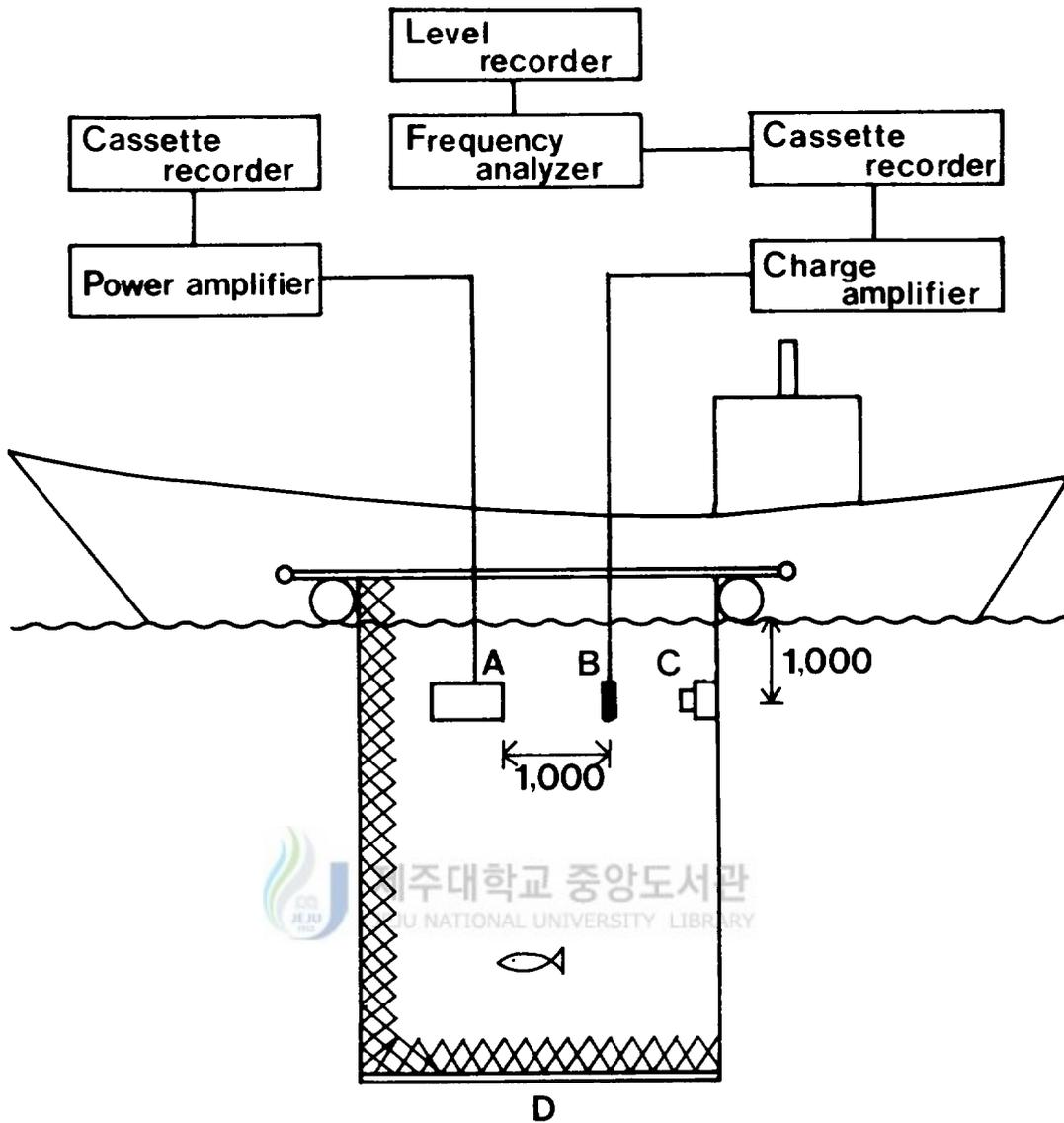


Fig. 3. Block diagram of experimental set up in the deck of the boat.  
 A : hydrophone      B : microphone      C : engine room



(Unit : mm)

Fig. 4. Block diagram of experimental set up in sea water.

A : underwater speaker      B : hydrophone

C : underwater camera      D : cage net

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

Equipment	Specification
Hydrophone (B & K 8100)	Horizontal directivity:100KHz $\pm$ 2dB Frequency range: 0.1 Hz to 125KHz Voltage sensitivity: -205dB re 1V/ $\mu$ Pa
Charge Amplifire (B & K 2635)	Amplifire sensitivity:0.1mV to 100/ $\mu$ c -40 to 80dB Frequency range:2Hz to 100KHz
Sine generator (B & K 1051)	Frequemncy Range: 0.2Hz to 200kHz Output Voltage: 100 V to 5 V RMS
Power amplifier (SAMJIN SA-1000TC)	Rated votage : AC 110V / 220V / 60Hz Rated power : 180W Voice output : 100W Distortion 3%
Cassette recorder (TC-D5M)	Frequency respon : 20-1900Hz Input : Sensitivity 0.25mV (-70dB) Output : Load impedance more than 10,000
High resolution signal analyzer (B&K 2033)	Constant bandwidth baseband frequency analysis in 400 frequency lines Frequency range : 10-20,000Hz Spectrum raugae : 80dB, 40dB

Table 1. Continued.

---

Two channel level recorder (B&K 2309)	Frequency range : 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)
---	--

---

수중 확성기를 통해 여러가지 음파를 방성하였을 때 젓방어의 행동 반응에 대한 관찰실험은 1994년 9월 27일부터 10월 5일 사이에 가두리 축양장에서 실시하였다. 실험에 사용된 어류는 함덕정치망 어구에서 어획된 자연산 젓방어로서 평균 체장은 29cm( $\pm 2.5$ Cm), 평균체중은 400g( $\pm 75$ g)인 약 130마리를 실험에 사용하였다. 이들 어류는 실험 실시전까지 가두리 축양장에서 사육하였으며, 먹이는 전갱이를 매일 오전 7시에서 9시 사이에 주었으며, 그때의 선박은 엔진만을 가동한 상태였다. 실험 당일은 먹이를 주지않은 상태에서 실험을 실시하였으며, 실험을 실시할 때의 수온은 약 23℃ 였다.

실험장치는 Fig. 4와 같이 가두리 한쪽면에 정치망 조업선(2.8톤, 52마력, 목선)을 계류시켜 놓고 상갑판에서 실험을 행하였다. 가두리 축양장은 무결절망지(6절 36합사)로 만들어졌으며, 윗부분은 쇠파이프( $\phi 30$ mm)로 발판을 만들었고, 그 밑에 원통모양의 스티로폴로된 뜰( $\phi 300$ mm 18개)을 고정시킨 후 망지를 부착시켰다. 그리고 밑부분도 윗부분과 같은 크기의 쇠파이프를 침자로 이용하여, 수심 6m까지 가라앉게한 후 망지가 퍼지게 하였으며, 본 가두리가 조류에 이동·유실됨을 방지하기 위하여 닻으로 연결하여 해저에 고정시켰다. 음파를 방성하였을 때 어군의 행동 반응에 대한 수심층을 확인하기 위해서 가두리 한쪽면에 아크릴판(200mm  $\times$  100mm, 6개)을 이용하여 1m 간격으로 6m층까지 표시하였다. 어류의 행동반응을 관찰하기 위한 각종 음의 방성은, Fig. 4에서와 같이 녹음된 음을 녹음기(TC-5M)로 재생시켜 이를 전력증폭기(SAMJIN SA-100TC)로 증폭시킨 후, 수중 확성기로 방성하였고, 방성된 음에 대한 교정은 수중확성기와 수평거리 1m 떨어져 있는 수중청음기(B&K 8100)로 수신하여 행하였다. 그리고 어류의 행동은 1m 수심에 설치된 수중 카메라로 촬영하였다. 이때 수중음의 방성은 300Hz 및 400Hz의 정현파 순음, 젓방어의 식이음, 기관소음 등 4종류를 3분간 방성, 1분간 정지하는 것을 3회씩 반복하였다.

### III. 결 과

#### 1. 제작된 수중확성기의 주파수특성

제작된 확성기를 Fig.2와 같이 구성하여 공기중에서 송수신한 음에 대한 파형을 측정된 결과는 Fig.5와 같다. 여기서 방성을 위하여 확성기에 입력한 음의 파형을 IN, 수중청음기로 수신한 음의 파형을 OUT로 표시하였다. 각 측정주파수중에서 200Hz와 300Hz에서는 출력파형이 입력파형과 달리 다소 왜곡이 있었고, 400Hz와 500Hz에서는 입력파형과 출력파형이 일치한다고 할 수 있었으며, 600Hz에서는 잘 일치하고 있었다. 그리고 측정주파수에 있어서의 입력파형과 출력파형의 전압으로 음압을 산정한 결과는, 500Hz에서 105dB로 가장 높았고, 300Hz와 400Hz에서는 각각 78dB, 93dB로 나타났다.

제작한 수중 확성기에 대한 수중실험의 결과는 Fig. 6과 같다. 수중실험에서는 공기중 실험의 결과와 달리, 사용한 전 주파수에서 입력파형과 출력파형이 잘 일치하고 있으며, 잡음으로 인한 왜곡은 전혀 보이지 않았다. 이상의 결과에서 제작된 수중확성기를 사용하여 200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz, 600Hz의 음을 수중방성하는 데에는 이상이 없음을 확인할 수 있었다.

#### 2. 어류에 방성한 음의 스펙트럼 분석

Fig. 7은 급이시에 학습된 음향에 대한 켓방어의 행동반응을 조사할 목적으로 측정된 기관실내 및 수중에서의 선박소음을 스펙트럼 분석한 결과이다. Fig. 7에 서와 같이, 선박소음은 분석된 전주파수대에서 배경소음(C)보다 높았으며, 기관실내의 선박소음(A)이 최소 33dB, 수중선박소음(B)이 최소 13dB 정도 배경소음보다 높았다. 그리고, 선박소음은 주파수가 높아질수록 음압준위가 감소하고 있는 데, 기관실내의 선박소음은 -3dB/oct의 감소율로 다소 완만하게 감소하는 경향을 나타

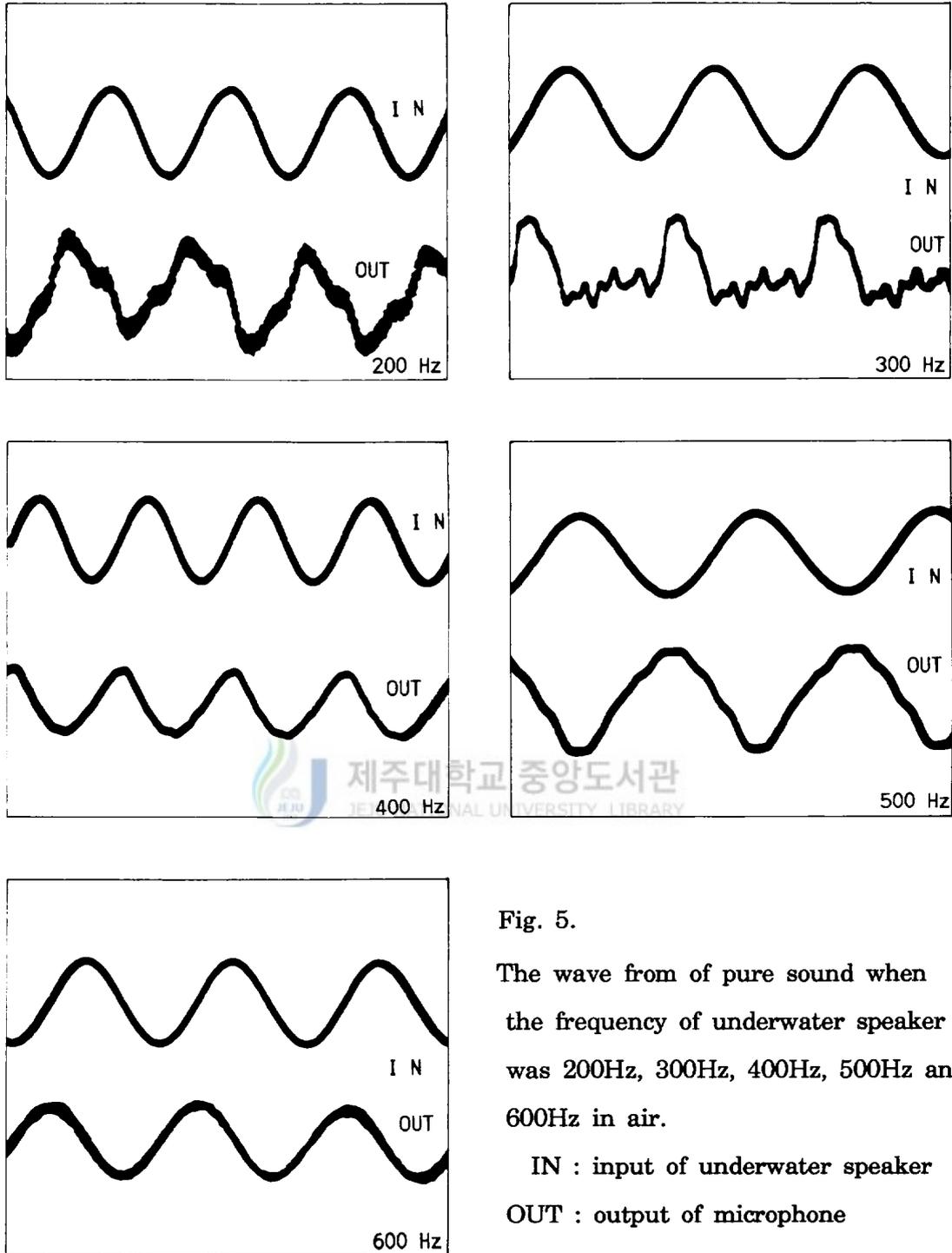


Fig. 5.

The wave from of pure sound when the frequency of underwater speaker was 200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz and 600Hz in air.

IN : input of underwater speaker

OUT : output of microphone

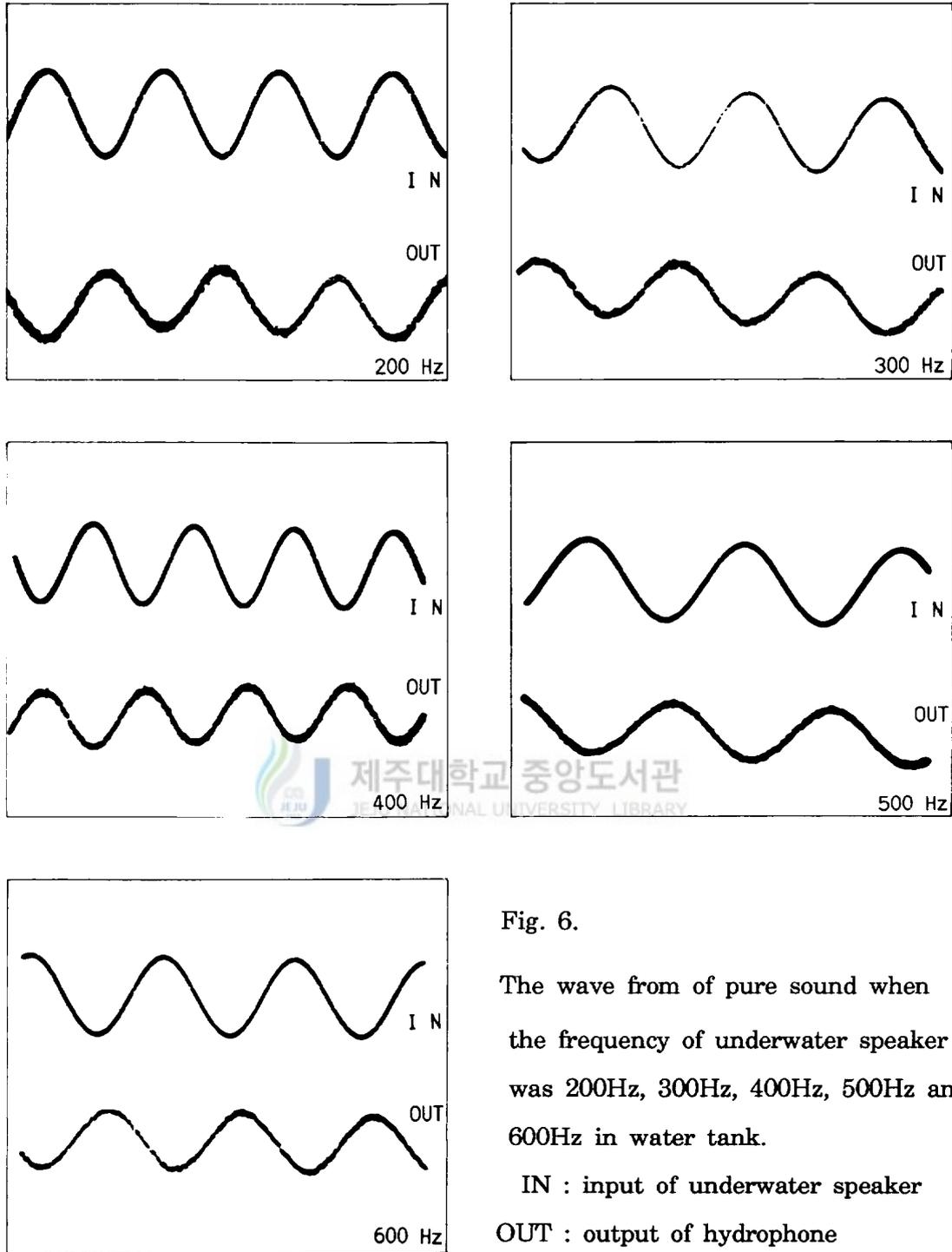


Fig. 6.

The wave from of pure sound when the frequency of underwater speaker was 200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz and 600Hz in water tank.

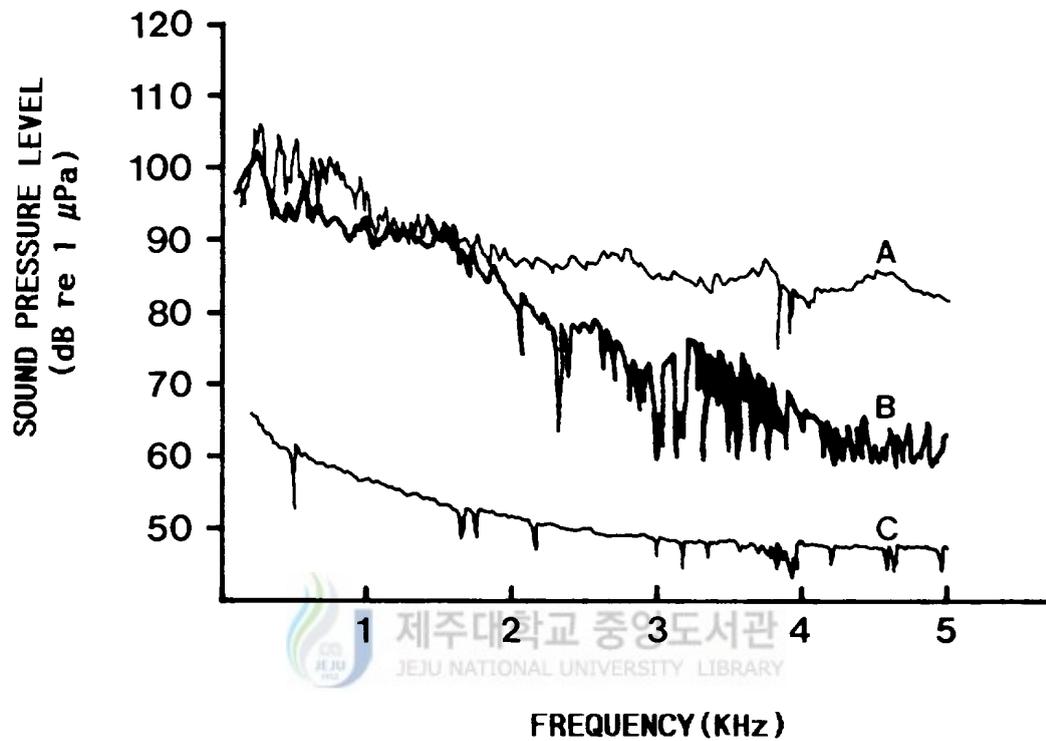


Fig. 7. Spectra of engine noise in the engine room(A) and at 5m of underwater(B) and ambient noise around the cage(C).

내었으나, 수중선박소음은  $-8\text{dB}/\text{oct}$ 로서 기관실내의 선박소음보다 주파수 증가에 따른 감소율이 높았다. 기관실내의 선박소음은 주파수 250Hz에서 가장 높은 음압 106.5dB을 나타내었고, 200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz, 600Hz에서의 음압은 각각 105.5dB, 100dB, 104dB, 103.8dB, 101dB의 값을 나타내고 있었다. 수심 5m 수중에서 측정분석한 선박소음의 결과는 주파수 200Hz에서 가장 높은 음압으로 102dB이었고, 300Hz, 400Hz, 500Hz, 600Hz에서는 각각 95dB, 95dB, 98dB, 95dB이었다.

Fig. 8은 수중음에 대한 젯방어의 행동반응을 조사하기 위하여 방성한 음 중 같은 어종의 유영음을 주간 및 야간에 측정하여 스펙트럼 분석한 것을 나타낸다. 5,000Hz까지 분석·비교한 결과, 유영음은 배경소음보다 전반적으로 약 20dB정도 높았다. 주간에 측정한 유영음과 야간에 측정한 유영음을 비교하면 1,000Hz이하에서는 다소 차이가 있어서 주간의 유영음이 최고 12dB정도 음압이 높았으나, 1,000Hz이상에서는 거의 같은 값을 나타내었다. 그리고 음압이 변화는 주파수가 높을수록 아주 완만하게 음압이 감소하는 경향을 보였다. 주간(A)에 측정한 유영음의 음압은 주파수 200Hz에서 가장 높아서 98dB을 나타내었고, 300Hz, 400Hz, 500Hz, 600Hz에서의 음압은 각각 90dB, 75dB, 69.5dB, 70dB의 값을 나타내고 있었다. 야간에 젯방어의 유영음을 분석한 스펙트럼(B)에서는 주파수 100Hz에서 가장 높은 음압 90dB을 나타내었고, 200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz, 600Hz에서의 음압은 각각 85dB, 83dB, 62dB, 63dB, 68dB의 값을 나타내고 있었다.

Fig. 9는 젯방어의 식이음을 주간(A)과 야간(B)에 녹음하여 스펙트럼분석한 결과로서 5,000Hz까지 분석·비교한 것이다. Fig. 9에서 주간(A)과 야간(B)의 음압은, 300 - 600Hz사이에는 최고 13dB의 음압차가 있었으며, 1,000Hz이상의 주파수에서는 거의 비슷한 값을 나타내었다. 그리고 주파수 변화에 따른 음압의 변동은 유영음의 분석결과와 같이 주파수가 높을수록 아주 완만하게 음압이 감소하는 경향을 보였다. 주간(A)에는 주파수 160Hz에서 가장 높은 음압으로 96dB이었고,

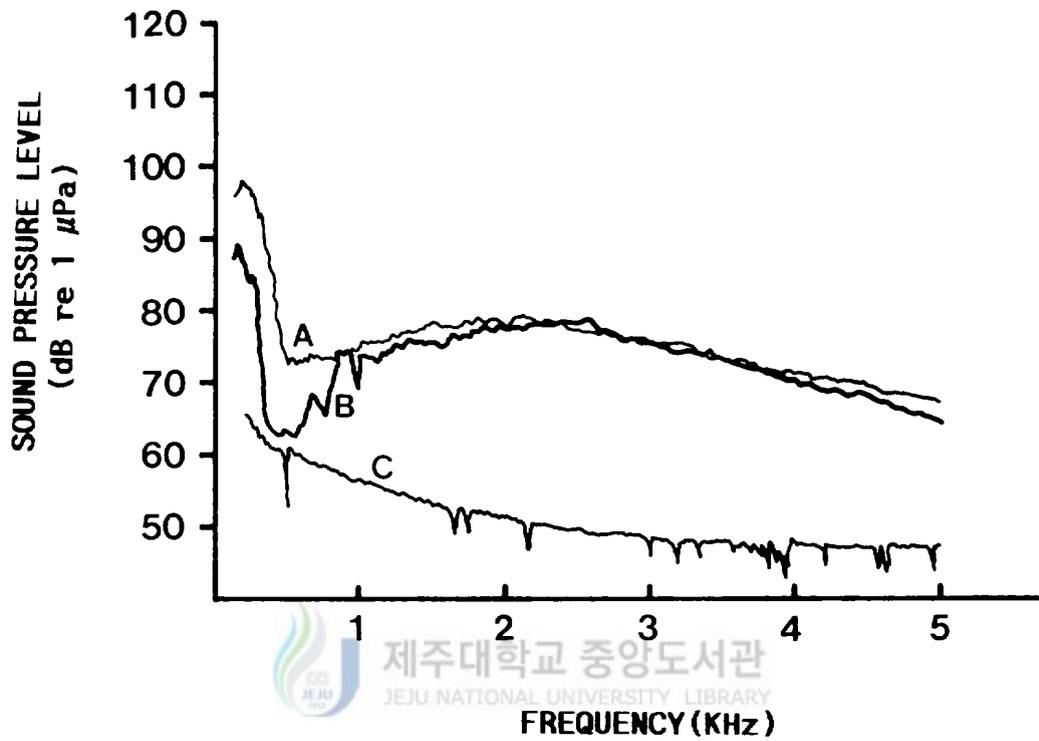


Fig. 8. Spectra of swimming sound of the Rudder fish in day(A) and night(B) and of ambient noise(C).

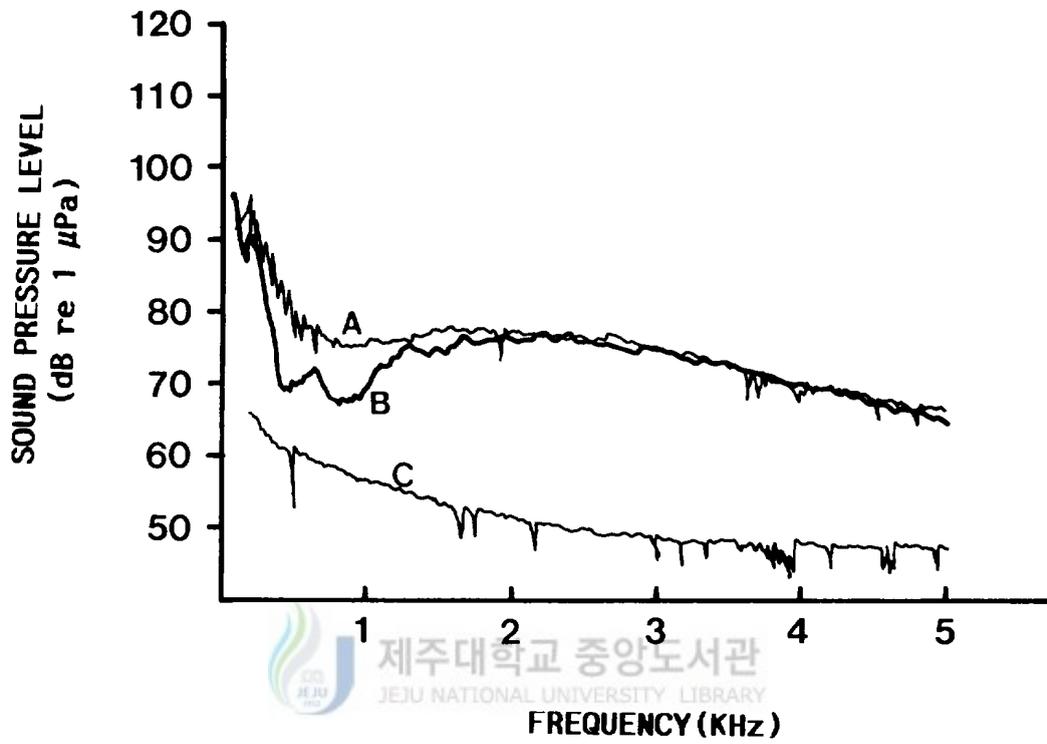


Fig. 9. Spectra of feeding sound of the Rudder fish in day(A) and night(B) and of ambient noise(C)

200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz, 600Hz에서는 93dB, 85dB, 79.5dB, 76dB, 78dB의 값을 나타내고 있었다. 야간(B)에는 주파수 100Hz에서 가장 높은 음압으로 97dB을 나타내었고, 200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz, 600Hz에서는 각각 88dB, 74dB, 69dB, 70dB, 71dB의 값을 나타내고 있었다.

### 3. 방성음에 대한 가두리내 잿방어의 행동반응

제주도 북제주군 함덕리 포구에 설치된 가두리 축양장 내에서 300Hz와 400Hz의 정현파 순음, 식이음 그리고 선박의 기관소음을 3분간 방성, 1분간 정지하는 것을 반복하였을 때 잿방어 어군의 유집 반응을 나타낸 그림은 Fig. 10-13과 같다. Fig. 10에서 잿방어 어군은, 음을 방성하기 전에는 수심 6m층의 가두리 밑부분에서 자유롭게 원을 그리며 유영하는 행동을 보이다가, 300Hz의 순음을 방성하였을 때는 잿방어 어군의 유영속도가 방성이전보다 빨라지면서 방성직후에 Fig. 10(a)와 같이 한 두 마리가 수중확성기 근처에 서서히 상승하여 모여들기 시작하였다. 약 1분이 경과하면서 Fig. 10(b)와 같이 수중확성기를 설치한 1m층에 5 - 7마리 정도가 모여들었고 더욱 시간이 경과하여 1분 50초가 경과했을 때에는 Fig. 10(c), (d)와 같이 대부분의 어군이 2 - 3m층으로 상승하면서 수중확성기 주위로 모여들었다. 이 상태에서 방성을 정지한 결과 어류는 다시 6m층의 가두리 밑부분으로 되돌아가 방성하기전의 상태와 같이 유영하였다. 이와같은 과정을 반복한 결과, 2, 3회 방성횟수가 많아질수록 잿방어 어군이 수중확성기 주위로 모이는 시간은 매회 약 20초 정도씩 늦어지는 경향을 보였으며, 잿방어 어군이 모이는 수층은 매회 거의 같은 수층이었다.

Fig.11은 400Hz의 순음을 방성했을 때의 결과로서 방성하기전은 항상 가두리 밑부분에서 자유롭게 유영하는 행동을 보였다. 그러다가 400Hz의 순음을 방성한 직후부터는 Fig. 11과 같이 방성직전보다 잿방어 어군이 큰 원을 그리며 빠른 속도로 유영하다가 수심 3m층과 5m층 사이에서 군집을 이루어 잠시 머무르는 행동



(a)



(b)

Fig. 10. Behavior of fish school when the pure sound of 300Hz was transmitted.

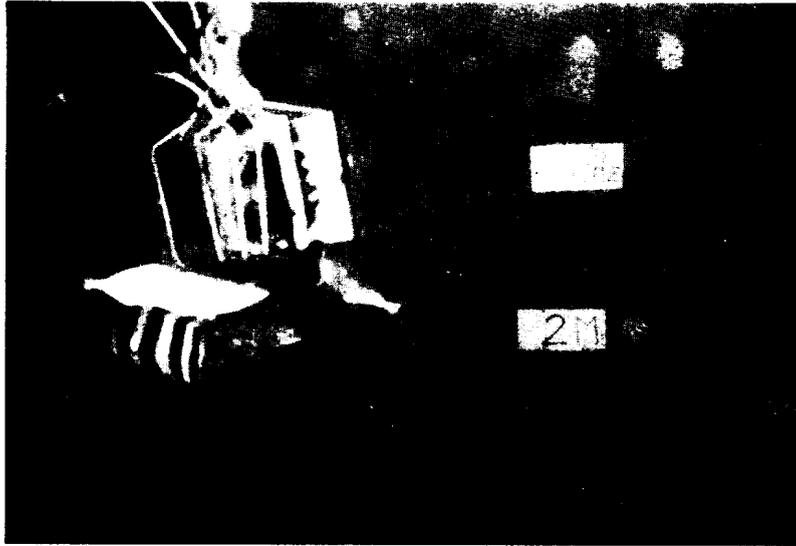


(c)



(d)

Fig. 10. Continued.

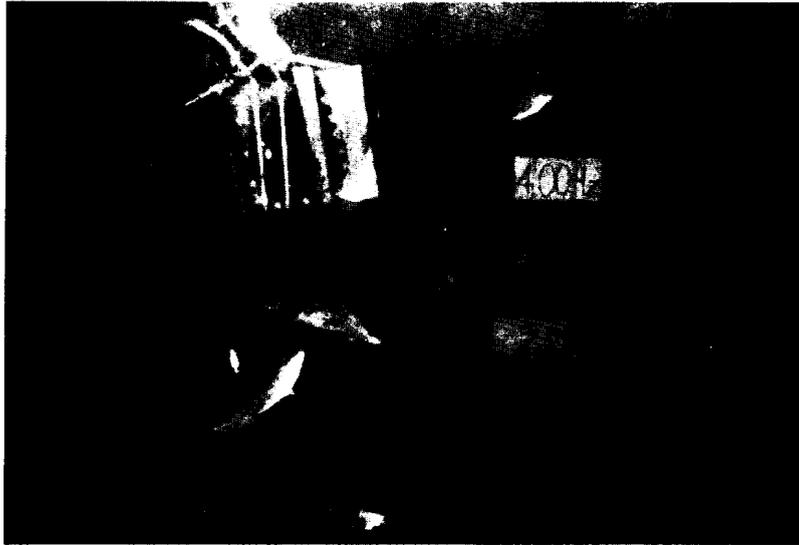


(a)



(b)

Fig. 11. Behavior of fish school when the pure sound of 400Hz was transmitted.



(c)



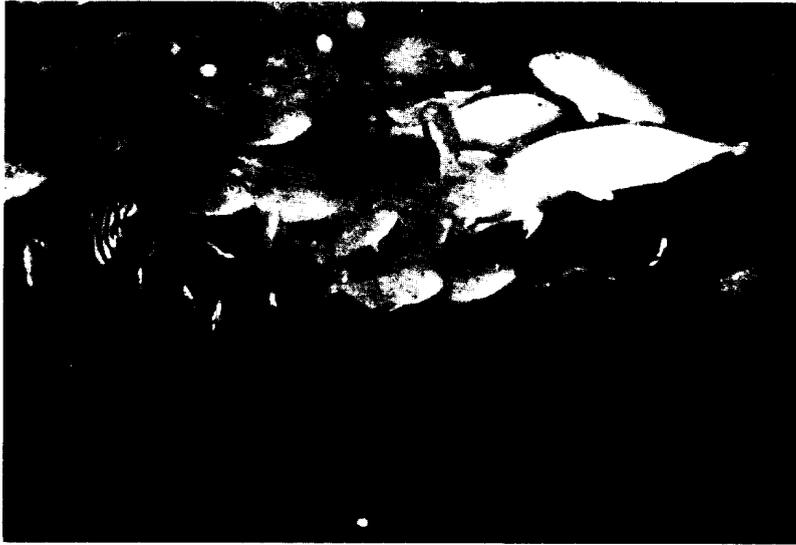
(d)

Fig. 11. Continued.

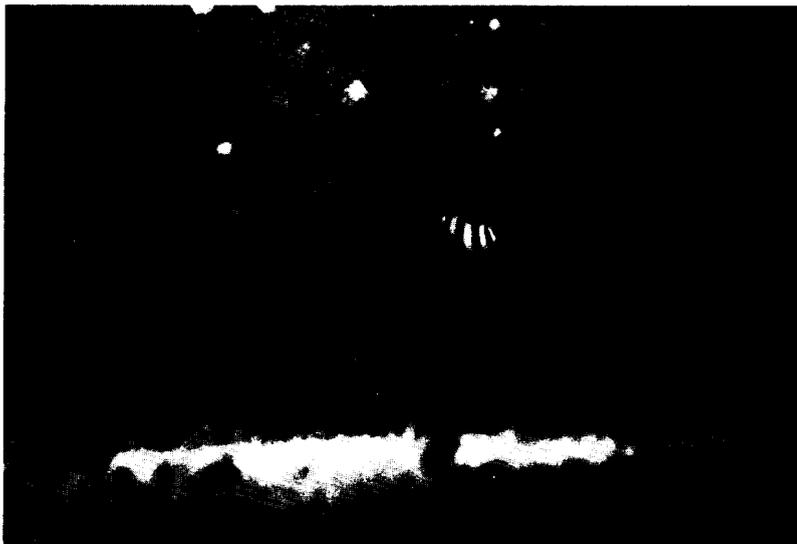
을 보였다. 그리고 300Hz을 방성했을 때보다는 많은 양이 더 짧은 시간에 Fig. 11(a), (b)와 같이 상승하였으며, 약 1분 30초 지난 후는 Fig. 11(c), (d)와 같이 대부분의 어군이 수중확성기 주위에 모이는 반응을 보였다. 1분 정지하고 재차 방성하는 것을 반복한 결과, 횡수가 증가함에 따라 약 30초씩 행동반응이 지연되었다.

식이음을 방성한 결과는 Fig.12와 같다. 방성전은 300Hz 및 400Hz의 정현파 순음의 방성시와 같이 가두리 밑부분에서 유영하고 있었으나, 식이음이 방성된 직후는 방성이전보다 유영속도가 빨라지는 행동을 보이다가 어느 한순간 유영을 멈추고, Fig. 12(b)와 같이 군집성있는 어군을 형성하는 반응을 보였으며, Fig. 12(c)와 같이 수중확성기 주변으로 상승하는 반응은 전혀 보이지 않았다. 방성을 정지하였을 때는 어느 때와 마찬가지로 방성이전의 행동으로 돌아갔다. 그러나, 1분 휴지후 재차 방성시는 처음 방성시와 별다른 차이를 보이지 않았다.

Fig.13과 같이 기관 소음을 방성하였을 때는, 방성직후부터 Fig. 13(a), (b)와 같이 3 - 4마리 정도가 수중확성기 주변으로 상승하는 행동을 나타내었으며, 약 4 - 5초 경과한 후에는 나머지 대부분의 어류도 Fig. 13(c), (d)와 같이 수중확성기 주위로 모여들었다. 그러나, 3분간 선박소음을 방성했을 때 거의 3분간 반응을 나타내었으며 2, 3회째 방성시에도 1회째 방성시와 큰 차이가 없는 반응을 나타내었으며, 정지시에는 역시 방성전의 상태로 돌아갔다.

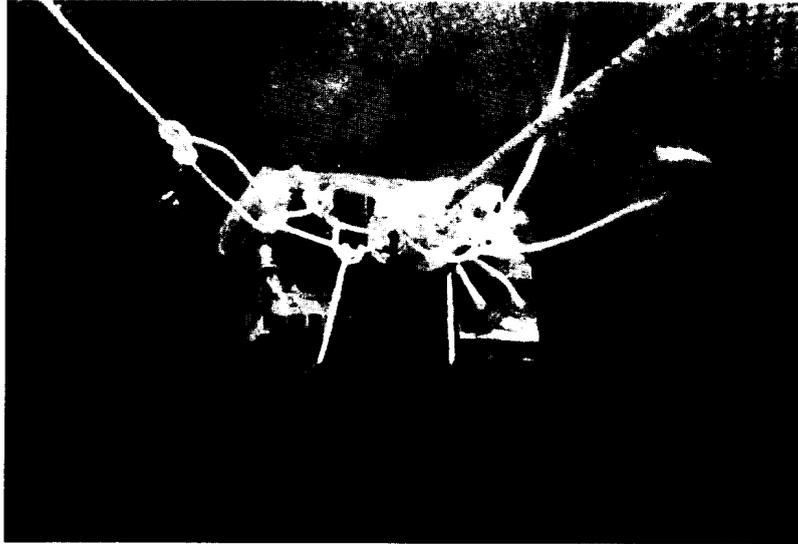


(a)



(b)

Fig. 12. Behavior of fish school when the swimming sound was transmitted.



(c)



(a)



(b)

Fig. 13. Behavior of fish school when the engine room noise was transmitted.



(c)



(d)

Fig. 13. Continued.

#### IV. 고찰

직접방사 동전 가동 코일형 확성기의 드라이브 유니트를 사용해서 수중확성기를 제작하고, 그 주파수 특성을 조사하기 위해 공기중 및 수중에서 방성실험을 행한 결과 공기중에서 마이크로 폰으로 수신한 주파수 200Hz, 300Hz에서는 다소 왜곡이 있었고 주파수 400Hz, 500Hz에서는 입출력 파형이 일치하였으며, 나머지 주파수 600Hz에서는 입출력 파형이 잘 일치하였다(Fig. 5). 이에 비해 수중실험에서는 주파수 200Hz - 600Hz까지 전 측정 주파수에서 입출력 파형이 잘 일치하였다(Fig. 6). 여기서 공기중 실험이 수중 실험에서 보다 출력파형에 왜곡이 많았던 것은 주위의 잡음 영향을 더 많이 받았기 때문이라고 사료된다.

Fig. 7에서 배경잡음은 주파수 125Hz에서 66dB로 가장 높은 음압을 나타내고 있었고, 기관실내의 선박소음 및 수중에서의 선박소음은 각각의 주파수에 대한 음압은 상당한 차이를 나타내고 있고, 특히 수중에서 선박소음은 주파수가 높을수록 음압의 감쇄가 기관실내의 선박소음보다 크게 나타나 일반적인 수중음의 주파수 특성과 흡사하였다. Fig. 8, 9의 식이음과 유영음에 대한 주간과 야간의 주파수 성분은 비슷한 형태를 나타내고 있었으나, 주파수 200 - 600Hz 범위의 음압에서 주간이 야간보다 대략 12dB정도의 음압 차이를 나타내고 있는 것은 가두리 어장이 포구내에 있는 관계로 야간보다 주간에 선박 등의 저주파 소음이 많이 있었던 것으로 생각된다.

주파수 300Hz와 400Hz의 정현파 순음, 식이음 및 선박의 기관소음을 제작한 수중확성기로 방성하여 가두리 축양장 내에서 잿방어의 유집반응 실험을 실시한 결과, 선박의 기관소음에 대한 반응이 가장 민감하게 나타났고, 그 다음이 정현파 순음인 주파수 400Hz, 300Hz순이었다. 여기서 정현파 순음보다 기관소음이 더 민감하게 반응을 나타낸 것은 사육기간 동안에 선박을 이용하여 먹이를 줌으로 인해 기관소음에 학습이 되었기 때문으로 생각된다. 그러나 식이음에 대한 반응은 가두리 6m층에서 넓게 유영하다가 방성중에 한쪽 구석에 군집하는 행동 이 외에

는 별다른 반응을 보이지 않았다. 이것은 방성시 수중확성기 주위로 물러드는 정현파 및 기관소음 방성시와 판이하게 다른 것이었으며, 식이음 방성시의 군집 및 유영형태는 먹이를 주었을 때와 아주 흡사한 점이 있었다. 그리고, 순용시키지 않은 정현파 주파수 300Hz 및 400Hz에 반응을 나타낸 것은 참돔, 방어, 오징어 군이 가칭 저주파 수중음인 주파수 300Hz - 500Hz범위에서 유집이 된다는 보고 (Okamoto, 1982 ; Maniwa *ect*, 1976 ; 서 등, 1989)와 일치하고 있으며, 식이음에 대하여 반응이 적었던 것은 출력음압이 다른 음에 비하여 적었기 때문이라고 사료된다. 어류의 가청범위가 주파수 16Hz - 13000Hz이며 돌류는 주파수 200Hz - 600Hz에서 예민한 반응을 한다는 것으로 미루어 잿방어 어군에도 정현파 수중주파수 300Hz, 400Hz의 수중저주파음을 이용한 학습을 통하면 해양목장화 등 어군을 일정해역에 정착 서식하도록 하는 제어 축양어업이 가능할 것으로 보며, 이는 치자어 육성단계에서부터 학습시켜야 더욱 효과적인 것으로 생각된다. 또한 참돔, 고등어, 전갱이, 방어, 오징어, 갈치 어군에도 수중 저주파음을 이용한다면 유집도 가능할 것으로 보아 금후에도 이 분야의 연구가 계속될 필요성이 있다.



## V. 요약

제주도 연안에 분포되어 있는 정치망에서 음향집어기에 의한 어류의 유집 효과에 대한 기초자료를 제공할 목적으로, 정치망의 주요 어획 대상 어종인 잭방어를 선택하여, 동 어종의 식이음, 기관소음, 정현파 순음 등을 녹음시켜, 제작된 수중확성기로 방성하였을 때, 각 음에 대한 어류의 행동 반응을 조사·분석 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 제작된 수중확성기의 공기중 실험에서 측정주파수 400 - 600Hz에서 입력파형과 출력파형은 일치하였고, 그외 주파수에서는 다소 왜곡이 있었다.
2. 제작된 수중확성기의 수중 실험에서는 측정주파수의 전주파수에서 입력파형과 출력파형이 잘 일치하여 측정주파수의 음을 방성하는 데 이 수중확성기를 사용에는 이상이 없음을 확인하였다.
3. 잭방어를 사육하는 가두리 양식장에서 제작된 수중확성기로 정현파 순음 주파수 300Hz 및 400Hz을 방성실험한 결과, 방성개시후 약 2분 이내에 어군이 모여들었으며, 주파수 300Hz보다는 400Hz에 민감한 반응을 보였다.
4. 잭방어에 대하여 기관소음을 방성하였을 때가 정현파 순음 300Hz 및 400Hz를 방성하였을 때 보다 훨씬 민감한 반응을 보였으며, 방성시간 3분동안 지속적인 반응을 보였다. 식이음 방성시는 먹이를 주었을 때의 형태로 군집을 이루고 유영하였으나 수중확성기 부근으로 접근하는 반응은 보이지 않았다.
5. 잭방어 어군의 식이음, 유영음 스펙트럼은 주간과 야간에 관계없이 비슷한 음압분포를 나타내었고, 주파수 200 - 600Hz부근에서 낮은 음압 분포를 나타내었으며, 주야간의 음압차가 있었다.

## VI. 참고 문헌

- Hashimoto, T., M. Nishimura and Y. Maniwa. 1957. Noise of yellowtail when it comes into the setnet. Tech.Rep. Fishing Boat, 10, 69-78.
- 畠山 良己, 石井憲, 武富一. 1985. 베-링그해におけるイシイルカのサケ,マス流網への羅網の防止に 關する研究. 音響的 研究(第 1報), 水工研技報, 6. 267-288.
- 張 志元.1983. 漁業器機學. 新韓出版社, 釜山. pp. 132-133.
- 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. 漁業技術, 22(4). 75-83.
- 金 東洙·尹 甲東.1982. 魚類의 食餌音과 그에 對한 走音反應. 漁業技術 18(2). 71-75.
- 김 상한.1977. 방어의 소리와 음향에 대한 행동, 부산수산대학연구보고, 17(1.2), 17-25.
- 紫田 惠司,1966. 旋網漁船の騒音について-1, 長崎大學水産學部研究報告 21, 145-158.
- 間庭 愛信, 畠山 良己. 1970. 音響による魚群の誘致に關する研究(3). 漁船研究技報, 24(2). 1-5.
- 間庭 愛信, 畠山 良己. 1975. 音響による 魚群の誘致 威赫に關する研究(4). 漁船研究技報28, 1-22
- 間庭 愛信, 畠山 良己. 1976. 音響による魚群の誘致 威赫に關する研究(5). 漁船研究技報29, 147-162.
- 間庭 愛信,1984. 水中の生物鳴音の例と水中音に對する反應の實驗と實用例. 月刊海洋科學, 16(5). 285-290.
- Maniwa, Y. and y. Hatakeyama, 1976. Reserch on the luring and driving a

way of fish schools by utilizing underwater acoustical equipment (5), *Ibid.*, 29, 147-162.

Okamoto,M.,1982. Studies on the community ecology of fishes near the experimental nursery of pagrus major using acoustic conditioning. *Bull,Jap.Soc.Sic.Fish*, 48(8). 1113-1119.

徐斗玉, 淺野謙, 小長谷庸夫.1989. 水中音에 대한 고등어 魚群의 反應. 漁業技術, 25(1). 12-17.

서두옥.1993. 수중음향을 이용한 어업 계측기. 韓國音響學會志, 11(5). 78-81.

田村保編.1977. 魚類生理學 概論. 恒星社 厚生閣, 東京. pp. 259-261.

上野正司.1979. 漁業利用されている最新の水中音響器機. 海洋音響研究會報,6(4).115-125.



## 감사의 말씀

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

자료를 얻는 데 많은 도움과 격려를 해주신 김 수철 선배님, 자료 수정에 도움을 주신 양 용수 선배님을 비롯한 여러 선배님들, 그리고 이 창현 조교에게 깊은 감사를 드립니다. 또한 자료정리에 헌신적으로 도와준 고 재현, 문 종욱, 문 상철 군에게도 감사를 드립니다.

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

