

# 음향어법 연구

- 수조에서 어류의 음향반응에 관하여 -

국립수산진흥원  
어구어법연구실  
추 해 대

## 서 언

어구어법의 기술개발 목적은 보다 적은 인력으로 간편한 방법에 의해 대상물을 선택적으로 어획하여 어업의 생산성을 향상시키는 데 있다.

이러한 목적을 달성하기 위해 빛, 냄새 등 여러가지의 방법을 이용하기도 하지만 음향은 수중에서 다른 요소에 비해 에너지의 감쇠가 적기 때문에 효과적이고 용이할 것으로 생각되어 왔다. 따라서 음향어법 개발을 위한 기초자료를 수집하기 위하여 제작된 무향수조에서 방어 *Seriola quinqueradiata* Temminck et Schlegel와 말취지 *Navodon modestus* (Günther)의 식이음에 관하여 주파수와 음압수준 등을 분석하여 그 결과를 제1보(秋 외, 1985)로 보고한 바 있다.

음향을 어업에 활용하려면 음향에 대한 어류반응, 사용음향이 수중에서 전달시 감쇠현상, 어선 및 어구에서 발생하는 수중소음과 조업해역의 기타 소음 등에 관한 구체적 자료가 필요하나 이에 대한 연구결과는 극히

단편적인 개론 뿐이므로 보다 구체적이고 명확하게 밝혀둘 필요성이 있다. 따라서 본 연구는 제1보를 토대로 하여 무향수조내에서 방어 *Seriola quinqueradiata*의 5종의 어류에 대한 순음(정현파) 반응시험을 실시한 바 그 반응효과를 밝힐 수 있어 이를 보고하는 바이다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시어

本 음향반응 시험에 사용된 어종은 거제도 및 통영군 연안의 정치망에서 어획된 방어 *Seriola quinqueradiata* Temminck et Schlegel, 말취치 *Navodon modestus* (Günther) 각 10미, 돌돔 *Oplegnathus fasciatus* (Temminck et Schlegel), 농어 *Lateolabrax japonicus* (Cuvier et Valenciennes), 매희복 *Fugu vermicularis* vermicularis (Temminck et Schlegel), 뽕에돔 *Girella punctata* Gray 각 15미(표 1)로서 당원 타원형 사육수조(규모:760L×300W×75cm D, 수심 57cm)에 넣어 10일 이상 먹이로 순치시

킨 후 음향반응 시험수조인 무향수조로 옮겨 5일이상 적응시켜 실험을 실시하였다.

먹이로는 새우와 바지락을 잘게 썰어 매일 아침 10시 경에 투여하면서 사육하였다.

## 2. 실험장치

무향수조(秋 외, 1985)에 그림 1과 같이 길이 방향을 4개 구간을 설정하였다. 그리고 편의상 음이 방성되는 Speaker 쪽에서부터 A B C D로 정하고 수조의 좌·우측 중앙부에 수중 Speaker를, 또 수조의 중앙부에 수중청음기의 수파기를 설치하였다. 각 구간의 길이는 50cm로 하였다. 실험중의 수조 수위는 1.1m로 유지하였으며 수온은 15.0~18.0℃였고 염분농도는 33.31~33.96%였다.

방성시 사용한 계측기는 Fish collector, Oscillator, Tape recorder, Amplifier, Underwater speaker였고, 수중음향 청취시에는 Hydrophone, Amplifier, Tape recorder를

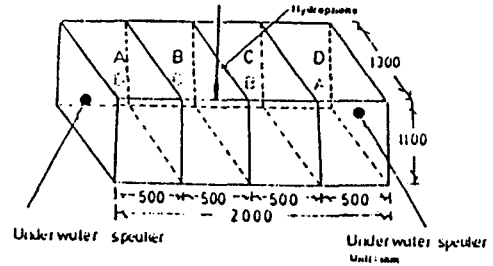


그림.1 어류 음향 반응 실험 수조의 규모와 수중 스피커 및 수파기의 설치 위치.

사용하였다. 그리고 녹음된 음향의 분석에는 FFT Analyzer(주파수 분석기), X-Y Recorder, Level recorder, Oscilloscope 등을 사용하였다. 이들 각 계측기의 내역은 표 2와 같고 실험시의 Block Diagram은 그림2와 같다.

[표 1] 음향 반응 실험에 사용된 어류

Species	Body length (cm)	Body weight (g)	Number of fish
<i>Seriola quinqueradiata</i>	31.5~37.5	570~930	10
<i>Navodon modestus</i>	18.6~22.7	84~196	10
<i>Oplegnathus Fasciatus</i>	12.5~16.0	125~210	15
<i>Lateolabrax japonicus</i>	12.5~14.5	50~60	15
<i>Fugu vermicularis vermicularis</i>	12.3~15.0	70~145	15
<i>Girella punctata</i>	12.0~15.7	50~130	15

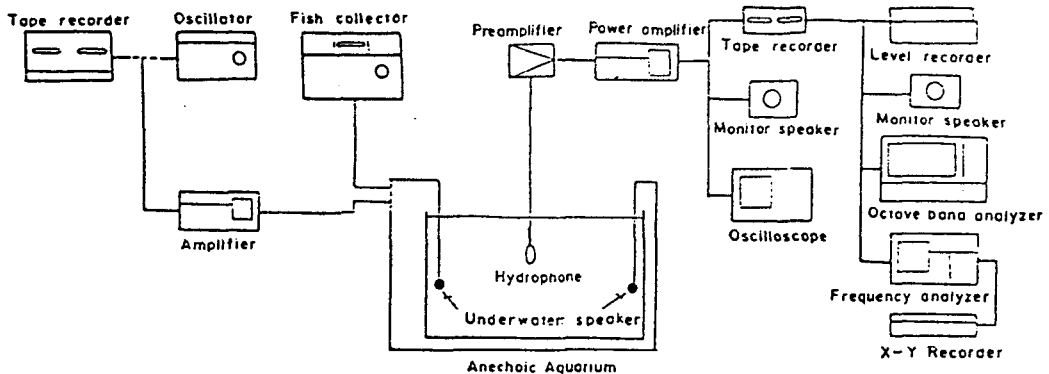


그림 2. 음향 방성 및 녹음 분석 계측기 계통도.

## 3. 실험방법

공시어는 두 어종씩 무향수조에 넣어 실험에 사용하였다. 음향반응 실험에 사용한 방성음은 Fish collector와 전자음 방성장치로서 발생시킨 순음으로 음압 120~150dB re 1V/ pa 범위이고 주파수는 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800Hz의 8가지를 사용하였으며 공시어의 명확한 음향반응 파악을

위해 수조내의 좌우에 각각 1개씩 설치된 수중 Speaker를 통하여 주파수별로 번갈아 3분간씩 방성하였다. 그리고 방성시에 공시어가 수조내 각 구간에 분포상태를 육안으로 조사하였다. 이러한 실험을 어종별로 사용 주파수에 대해 각 10회 반복하여 얻어진 자료를 평균하여 음향에 대한 어류의 반응을 판정하였다.

[표 2] 음향 방성 및 녹음 분석에 사용된 계측기의 규격.

Equipment	Specification
Fish collector (SPC Electronics FC=12)	Power Source:DC20~28V (Normal 24V) 7A Purse sound frequency:150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800Hz (Switchable in 9 steps)
Oscillator (TRIO AG-202A)	Frequency range:20Hz~200KHz±3% (4 Range) Power source:AC 100, 117, 230 Volts±10%, 50~60Hz Power consumption:Approx. 4.7W
Tape recorder (Eroica PCR-231S)	Power source:DC 9V Stereo Radio Cassette Recorder Frequency range:FM 88~108MHz, SW, 2.3~7.5MHz SW <sup>2</sup> 7.6~22MHz, MW 525~1605KHz
Amplifier (INKEL PA-2500RD)	Power source:AC 100V, 60Hz or 220V, 60Hz, Dc 24V Electrical out put:120W RMS Frequency characteristic:80Hz~20,000Hz
Under water speaker (Made in U.S.A)	Dimension:85mm, Electrical out put:10W, 8Ω,
Hydrophone (OKI ST-1020)	Frequency range:10Hz~100KHz (±2dB) Receiving sensitivity:-180dB
Underwater sound levelmeter (OKI SW-1020)	Frequency range:10Hz~100KHz Variable gain range:80dB Sound Pressure range:100~180dB (0dB= 1μpa) Filter:High pass, Thru 10Hz, 100Hz, 1KHz, 10KHz Low pass, 1KHz, 10KHz, 100KHz, Thru
Main amplifier (SAM YUNG SYA-8201A)	Electrical out put:30W Power source:AC 100V, 60Hz or DC 24V
Tape recorder (National RQ 2765)	Power source:DC 6V Frequency characteristic:100Hz~800Hz Maximum out put:750mW
FFT analyzer (ONO SOKKY CF-400)	Frequency range:5Hz to 20KHz Power source:AC 100V±10% Input voltage:0.1 to 40V rms
X-Y Recorder (ONO SOKKY CX-445)	Power source:AC 100V, 50~60Hz Sensitivity:0.5mV/cm-10V/cm Measurement range:0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100mV/cm±0.1%
Level recorder (B&K 2307)	AC (2Hz to 200KHz), DC recording RMS, Average, Peak detection 12 fixed paper speeds
Oscilloscope (HUNG CHANG OS-620)	Bandwidth:DC to 20MHz (-3dB) AC 10Hz to 20MHz (-3dB) Max input voltage:300V DC+AC peak or 600Vp-p Frequency Response:DC to 1MHz (-3dB)

## 결과 및 고찰

방어 *Seriola quinqueradiata*, 말쥐치 *Navodon modestus*, 돌돔 *Oplegnathus fasciatus*, 농어 *Lateolabrax japonicus*, 매리복 *Fugu vermicularis vermicularis*, 뱀에돔 *Girella Punctata*에 사용 주파수별 순음자극 반응 결과는 다음과 같다.

### 가. 어종별 주파수별 반응

#### 1) 방어 *Seriola quinqueradiata*

주파수 200~800Hz, 음압 120~150dB re 1V/ Pa 음향에 대한 방어의 반응은 그림 5와 같다.

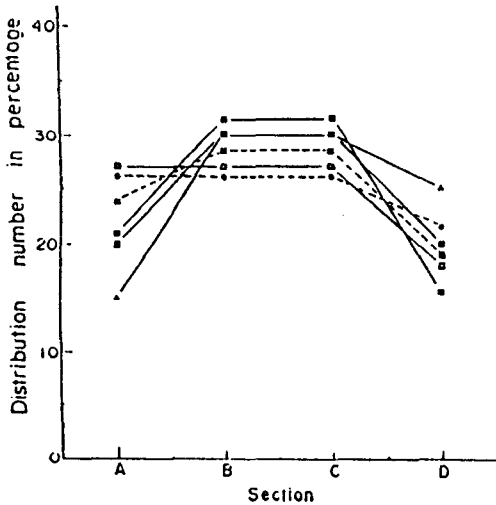


그림 5. 방어 *Seriola quinqueradiata* 음향 200Hz~800Hz/120~150dB (re 1V/ Pa)의 반응.

- ---- ○ : 200Hz/120~150dB (re 1V/μpa)
- ——— ● : 250Hz/120~150dB (re 1V/μpa)
- ---- ● : 300Hz/120~150dB (re 1V/μpa)
- ——— □ : 400Hz/120~150dB (re 1V/μpa)
- ---- □ : 500Hz/120~150dB (re 1V/μpa)
- ——— ■ : 600Hz/120~150dB (re 1V/μpa)
- ---- ■ : 700Hz/120~150dB (re 1V/μpa)
- ▲ ——— ▲ : 800Hz/120~150dB (re 1V/μpa)

시험수조에서 방성 Speaker쪽이고, 음원으로부터 거리 1m 이내인 AB구간에서의 방어의 평균 분포율은 51.5%였고 이 두 구간 내에 가장 많이 분포한 주파수는 400Hz와 200Hz로서 분포율은 각각 54.6%였으며 그 다음에 분포율이 높은 순서별 주파수는 600Hz에서 52.7%였고 700Hz에서는 52.4%, 300Hz에서는 52.2%, 250Hz와 500Hz에서는 각각 50.0%였다. 또한 AB구간에서 50% 미만의 분포율을 나타낸 주파수는 800Hz 뿐이었으며 그 분포율은 45.0%를 나타내었다.

주파수를 200Hz에서부터 800Hz까지 점차로 높게 변화시킬 시에는 방어의 경우 AB구간 내의 분포율은 주파수의 변화 순서와 같은 일정한 변화현상을 보이지 않고 있다. 그러나 그림 5에서와 같이 전체의 경향으로는 수조의 중앙구간인 B, C에서 각각 28.9%로 A, D 구간에 비해 높은 분포율을 보였다.

이러한 현상은 일반적으로 유영이 활발하고 회유반경이 큰 방어로서는 생리적으로 주파수와 음압 변화에 대한 반응이 예민한 것에 기인한 것 같다. 이상의 결과로 보아 사용음향의 범위 내에서 음원으로부터 거리 1m내에 양반응을 나타내는 주파수 순위는 400, 200, 600, 700, 300, 250, 500Hz였고 음반응을 나타내는 주파수는 800Hz였다.

#### 2) 말쥐치 *Navodon modestus*

주파수 200~800Hz, 음압 120~150dB re 1V/μPa 음향에 대한 말쥐치의 반응은 그림 6과 같다.

실험수조 중앙 1/2 이상에서 음원 방향인 AB구간 내에 평균분포율은 60.4%였고, 주파수별로는 AB구간에 가장 많이 분포한 것은 400Hz로서 86.8%였다. 그 다음에 분포율이 높은 순위별 주파수는 250Hz에서 71.4%였고 200Hz에서 58.2%, 600Hz와 700Hz에서는 각각 57.9%, 800Hz에서는 56.2%였으며 50% 미만인 주파수는 300Hz에서 48.1%, 500Hz에서 46.5%였다.

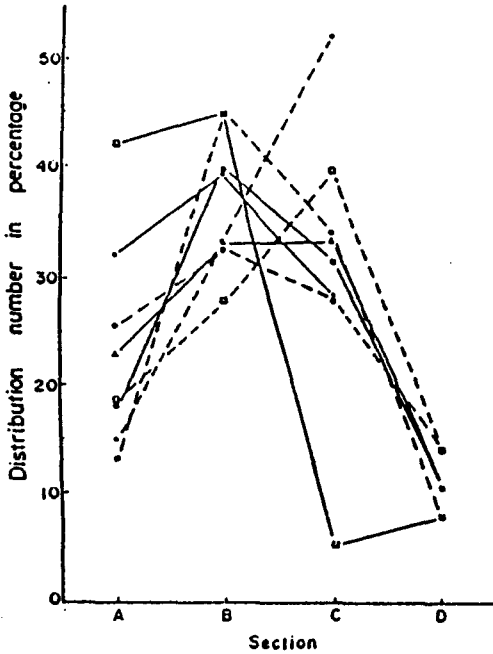


그림. 6 말쥐치 *Novodon modestus* 음향 200Hz~500Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa) 의 반응.

- : 200Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 250Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 300Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 400Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 500Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 600Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 700Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- ▲-----▲ : 800Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)

또한 주파수 변화에 대한 말쥐치의 음향 반응은 그림. 6과 같이 전반적으로는 B구간의 분포율이 36.9%로 가장 높았고 다음은 C구간으로서 31.5%였으며 A구간에는 23.5%, D구간에는 8.1%였다. 이러한 결과로 보아 말쥐치는 방어의 음향반응 현상과 같이 수조중앙 구간인 B, C 구간에 분포하는 현상이 높게 나타났고 음원에서 가장 거리가 먼 D구간의 분포 현상은 8.1%로서 다른 공시어에 비하여 급격히 떨어지는 경향을 보였다. 따라서 말쥐치는 사용음원으로부터 거리

1m내에 양반응을 나타내는 수파수 순위는 400, 250, 200, 600, 700, 800Hz였고 음반응을 나타내는 주파수는 300Hz와 500Hz였다.

3) 돌돔 *Oplegnathus Fasciatus*

사용 음향 주파수 200~800Hz에 음압 120~150dB re 1V/ $\mu$ Pa에 대하여 돌돔의 반응은 그림. 7과 같다.

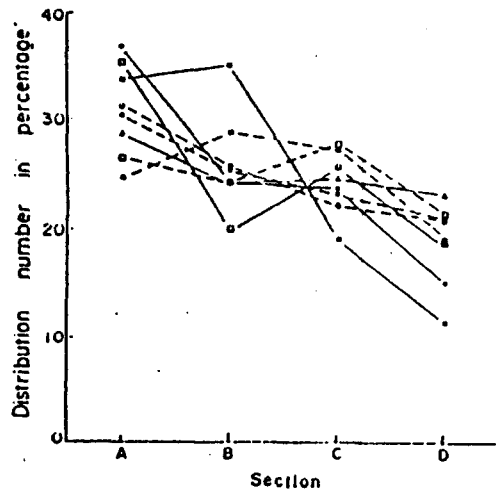


그림 7. 돌돔 *oplegnathus fasciatus* 음향 200Hz~800Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa) 의 반응.

- : 200Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 250Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 300Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 400Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 500Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 600Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 700Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- ▲-----▲ : 800Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)

시험수조 중앙 1/2 이상에서 음원방향인 AB구간에 평균분포율은 56.8%였고, 주파수 별로 AB구간 내에 분포율이 가장 높은 것은

600Hz로서 69.0%였다. 그 다음에 AB 구간에서 분포율이 높은 주파수 순위는 250Hz에서 61.1%였고 200Hz에서 57.0%였으며 300Hz에서 55.7%, 400Hz에서 55.5% 700Hz에서 53.4%, 800Hz에서 52.4% 500Hz에서 50.7%였다.

또한 돌돔의 음향반응은 그림 7에서 나타나는 바와 같이 400Hz와 600Hz를 제외하고는 전반적으로 보아 급격한 변화없이 A, B, C, D 구간의 순으로 완만한 분포율을 나타내고 있다. 그러나 음향반응의 특이한 현상은 사용주파수 400Hz시의 B구간의 분포율(20.1%)이 A구간 분포율(35.4%)에 비하여 15.3% 감소하고 C구간 분포율(25.7%)에 비하여는 5.6%의 감소 상태를 보였고, 600Hz에서는 B구간의 분포율(35.2%)이 A구간 33.8%에 비하여 1.4% 증가, C구간 19.3%에 비하여는 15.9% 증가, D구간 11.7%에 비하여 23.5% 증가되는 경향이였다.

또한 600Hz 사용시 B구간에서는 공시어의 분포율이 다른 사용주파수(600Hz제외한 200~800Hz)보다 높은 편이었고 B구간에 공시어의 평균분포율 26.2%에 비하여는 9% 높은 상태이였다. 이와같이 어떠한 음향주파수에 대한 공시어의 특수한 반응 상태를 보이는 것은 李(1981)가 기술한 바와 같이 돌돔은 동종간에 위협신호로 생각되는 소리든 내는 점을 고려하여 사용음향 주파수별 특성과 돌돔의 생리적 관련성 관계에 의한 것이 아닌가 생각된다.

또한 이상의 결과로서 돌돔은 사용음원으로 부터 1m 거리 내에 양반응을 나타내는 주파수 순위는 600, 250, 200, 300, 400, 700, 800, 500Hz였고 음반응을 나타내는 주파수는 볼 수 없었다.

#### 4) 농어 *Lateolabrax japonicus*

사용 음향 주파수 200~800Hz에 음압 120~150dB re 1V/ $\mu$ Pa에 대하여 농어의 반응은 그림. 8과 같다.

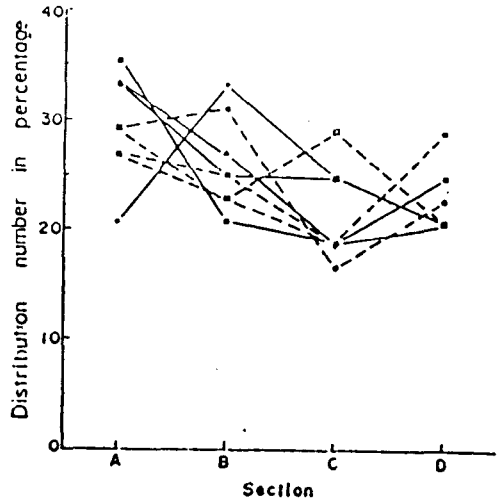


그림 8. 농어 *Lateolabrax japonicus* 음향 200Hz~800Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)의 반응.

- : 200Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 250Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 300Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 400Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 500Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 600Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 700Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- ▲---▲ : 800Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)

실험수조의 음원방향인 AB구간에 공시어 평균분포율은 54.9%였고 AB구간 내에서 공시어의 분포율이 가장 높은 주파수는 200Hz와 800Hz로서 그 분포율이 각각 60.4%였다. 그 다음에 AB구간에서 분포율이 높은 주파수 순위는 600Hz에서 56.2%, 400Hz에서 51.2%, 250Hz에서 54.1% 300Hz와 700Hz에서 각각 52.1%, 500Hz에서 50.0%였다.

또한 사용 주파수 200~800Hz에 대하여 구간별 공시어의 평균분포율은 A구간에 28.4%, B구간 26.0%, D구간 23.7%, C구간

21.4%의 순으로 나타났고 250Hz, 500Hz, 600Hz를 제외한 주파수에서는 음원에서 가장 가까운 A구간에서 비교적 많이 분포하는 경향이며 250Hz에서는 B구간, 500Hz에서는 C구간, 700Hz에서는 D구간에서 분포율이 높게 나타났다. 그러나 전반적인 반응 경향으로는 C구간에서 다소 낮은 분포율을 보이고 있으나 A, B, D의 순으로 음원으로부터 거리가 멀어질수록 분포율이 완만하게 떨어지는 경향이었고, 음원으로부터 1m이내의 거리에서는 사용 주파수 모두에 대해 분포율이 50% 이상으로서 양반응이었으며 그 순위는 200, 800, 400, 600, 250, 300, 700, 500Hz로 나타났다.

5) 매리복 *Fugu vermicularis vermicularis*  
 사용 음향 주파수 200~800Hz에 음압 120~150dB re 1V/ $\mu$ Pa에 대한 매리복의 반응은 그림. 9와 같다.

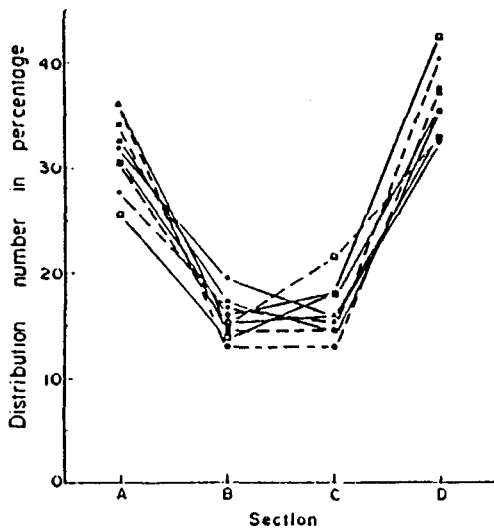


그림 9. 매리복 *Fugu vermicularis vermicularis* 음향 200Hz~800Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)의 반응.

- : 200Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 250Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 300Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 400Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 500Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 600Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- : 700Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- ▲——▲ : 800Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)

실험수조 중앙 1/2 이상인 AB구간에 공시어의 평균 분포율은 47.6%였고 AB구간 내에서 공시어의 분포율이 가장 높은 주파수는 250Hz로서 51.4%였다. 그 다음으로 분포율이 높은 주파수 순위는 800Hz에서 51.4%, 600Hz에서 50.0%였다. 또한 매리복의 음향 반응의 구간별 평균 분포율은 그림 9와 같이 A구간 31.9%, B구간 15.7%, C구간 16.2%, D구간 36.2%로 나타났다. 즉 이러한 상태는 음원에서 가장 거리가 먼 D구간의 분포율(36.2%)이 가장 높았고 다음은 음원에서 가장 가까운 A구간이었으며 수조의 중앙구간인 B와 C구간에서는 분포율이 각각 15.7%와 16.2%로 D 및 A구간에 비하여 공시어의 분포율은 저조한 편이었다. 이러한 상태는 방어와 말쑤치가 B 및 C구간에서 A 및 D구간보다 분포율이 높은 것에 비하여 그 반응이 대조적이라 할 수 있다.

또한 음원으로부터 1m 내에서 양반응이라고 할 수 있는 공시어 분포율 50% 이상을 보이는 주파수의 순위는 250, 800, 600Hz였고 음반응이라고 볼 수 있는 분포율 50% 미만의 주파수 순위는 400, 300, 500, 700, 200Hz로서 본 매리복의 경우는 양반응의 경향이 크다.

6) 뱀에돔 *Girella punctata*

사용 음향 주파수 200~800Hz에 음압 120~150dB re 1V/ $\mu$ Pa에 반하여 뱀에돔의 반응은 그림 10과 같다.

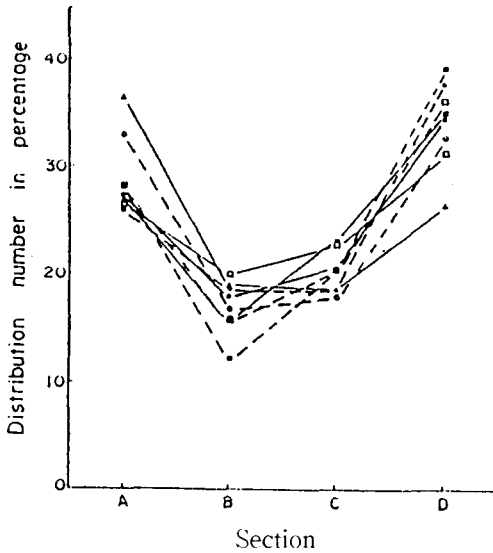


그림 10 벙에돔 *Girella punctata* 음향 200Hz~800Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)의 반응.

- --- ○ : 200Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- --- ● : 250Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- --- ● : 300Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- --- □ : 400Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- --- □ : 500Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- --- ■ : 600Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- --- ■ : 700Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)
- ▲ --- ▲ : 800Hz/120~150dB (re 1V/ $\mu$ Pa)

음원에 가까운 AB구간에서 공시어의 평균 분포율은 45.9%였고 주파수별로 보아 AB구간 내에 공시어의 분포율이 가장 높은 것은 800Hz로서 55.3%였다. 그 다음 순위는 200Hz에서 49.7%, 400Hz에서 46.1%, 250Hz에서 45.0%, 300Hz에서 44.3%, 500Hz에서 44.0%, 600Hz에서 42.2%, 700Hz에서 40.8%를 나타내었다. 즉 이러한 상태는 800Hz를 제외하고는 음원으로부터 거리가 1m 이상인 CD구간에서 분포율이 AB구간에서 보다 높은

것을 알 수 있다.

벙에돔에 있어서 음향반응에 대한 구간별 평균분포율은 A구간 29.0%, B구간 16.9%, C구간 20.1%, D구간 34.0%의 상태를 나타내었다. 즉 음원에서 가장 거리가 먼 D구간과 음원에서 거리가 가장 가까운 A구간의 분포율이 높게 나타났고, 실험수조의 중간 위치인 B 및 C 구간에서는 각각 16.9%와 20.1%로서 A 및 D구간에 비하여 저조하게 나타났다. 또한 A구간에서 공시어의 분포율이 가장 높게 나타난 주파수는 800Hz로 36.5%였고 음원에서 가장 거리가 먼 D구간에서 공시어의 분포율 가장 높게 나타난 주파수는 700Hz로서 39.0%였다. 따라서 벙에돔의 경우에는 음원으로부터 1m 거리 내에서 양반응을 보이는 주파수는 800Hz였고 음반응이라고 볼 수 있는 50% 미만의 공시어 분포율 주파수 순위는 700, 600, 500, 300, 250, 400, 200Hz로서 양반응보다 음반응의 경향이 크다.

#### 나. 어종별 음향반응 상호비교

공시어로 사용한 6종에 대한 음향반응을 비교하여 보면 다음과 같다.

즉 표 3에서 알 수 있는 바와 같이 음원에서 거리 1m 이내라 할 수 있는 A 및 B구간에서 분포율이 비교적 높은 어종은 방어, 말쥐치, 돌돔, 농어이고 음원에서 거리 1m 이상인 D 및 C 구역에서 분포율이 비교적 높은 어종은 매희복과 벙에돔이었다.

이를 다시 구간별 분포율을 보면 말쥐치와 방어의 경우는 수조의 중앙 구간인 D와 C에서 분포율이 높았고 음원에서 거리가 가까운 A구간과 음원에서 거리가 가장 먼 D구간에서는 분포율이 저조한 반면에 농어와 돌돔의 경우는 다른 공시어에 비하여 비교적 균일한 분포상태를 보였다.

또한 매희복과 벙에돔의 경우는 음원에서 거리가 먼 D구간에서 월등하게 분포율이 높았고 다음은 음원에서 거리가 가까운 A구간



에서도 B 및 C구간보다 분포율이 높게 나타났으며 특히 수조 중앙구간인 B와 C에서는 20.1% 미만으로 다른 공시어의 분포율 21.4% 이상에 비하여 저조(1.3%)한 분포상태를 나타내었다. 즉 사용음향에 대한 공시어의 반응은 매패리와 뱀어돔은 방어와 말쭉치와는 상반되는 분포상태이었고 농어와 돌돔은 앞에 기술한 4개 종의 공시어에 비하여 비교적 균일한 분포라 할 수 있다.

또한 본 실험에서 주파수별 반응이 특이한 것은 말쭉치로 300Hz (그림 6)에서는 C, B, A 구간의 순으로 즉 음원에서 멀어질수록 분포율이 다른 주파수에 비해 급격하게 높게 나타났고 400Hz에서는 AB 구간에서 분포율이 40% 이상이었으나 CD구간에서는 상대적으로 10% 미만을 나타내었다.

500Hz에서는 그림 6에서와 같이 A, B, C 구간의 순으로 이동할수록 분포율이 높게 나타났고 D구간에서는 급격히 저조한 분포상태를 보이고 있다. 600Hz에서는 방어, 말쭉치, 돌돔의 경우 B구간에서 분포율이 높게 나타났고, 매패리와 뱀어돔 및 농어의 경우에는 D구간에서 가장 높게, 그리고 A구간에서도 D구간 보다는 낮지만 B 및 C구간 보다는 높은 분포상태를 보였다.

방성음 700Hz의 경우 특이한 것은 역시 말쭉치로서 다른 어종에 비하여 B구간에서 월등히 높게 분포하고 D구간에서는 급격히

저조한 분포상태를 보였다. 800Hz의 경우에는 말쭉치와 방어가 수조중앙부인 BC 구간에서 분포율이 높았고 매패리와 뱀어돔 그리고 농어의 경우에는 BC 구간에서는 저조하고 A와 D 구간에서도 분포가 높게 나타났다.

또한 돌돔의 경우에는 A구간에서는 약간 높게 분포하나 B, C, D 구간에서는 비교적 균일하게 분포하는 상태를 보이고 있다.

이러한 음향반응 현상을 고찰하는 데는 어종의 생리적 문제와 관련하여 검토하여야 명확한 해석이 가능하겠다. 古河太郎(1977)과 尾岐久雄(1974)은 어류의 음파감지는 內耳와 側線으로 한다고 하였다. 수중에서 어떤 물체가 일정한 주파수로 확장 수축을 반복하는 경우에 있어서 확장시에는 물의 입자가 이동하게 되며 이러한 형태의 음을 側線으로 감지하며 이러한 작용에서 기포는 탄력성이 있는 압력파를 발생하므로 이것을 어류는 內耳로 감지한다고 하였다. 부레도 주위의 압력에 따라 확장 수축하여 內耳에 유도되므로 음감수기의 역할을 하는 것으로 밝혀져 있다.

지금까지 밝혀진 사항(古河太郎, 1977, 龜井健三, 1980, 등)을 참고로 하여 볼 때 측선은 200Hz의 주파수가 최고감도로서 주로 낮은 주파수를 감지하고 內耳는 최고감도가 500Hz로 側線에 비하여 비교적 높은 주파수

표 3. 어종별 사용주파수 음향별 상대적 반응현상.

Species	RFrequency of response(Hz)	
	Attracting response	Herding response
<i>Seriola quinqueradiata</i>	400, 200, 600, 700, 300, 250, 500	800
<i>Navodon Modestus</i>	400, 250, 200, 600, 700, 800	300, 500
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	600, 250, 200, 300, 400, 800, 500	
<i>Lateolabrax japonicus</i>	200, 800, 600, 400, 250, 300, 700, 500	
<i>Fugu vermicularis vermicularis</i>	250, 800, 600	400, 300, 500, 700, 200
<i>Girella punctata</i>	800	700, 600, 500, 300, 250, 400, 200

를 감지하는 것으로 추정되어져 있다.

Kleerekopper (1954) 자료를 이용한李 (1981)와 龜井健三 (1980)은 어류의 가청음의 주파수 범위를 16Hz에서 13KHz라고 하였으며 특히 감수성이 예민한 주파수 범위는 100~500Hz라 하였다. 또한 비골표류인 벤자리와 열게돔보다 골표류인 붕어 및 붕메기가 감수성이 좋으며 골표류 중에는 인간의 최고 감수성 영역인 200~4,000Hz의 가청 범위와 거의 비슷한 감도를 가지고 있는 어류도 있다고 한다. 따라서 본 시험결과에서도 말쥐치와 매패복 등과 같이 음향에 대한 그 반응이 상이한 것은 어종별로 음향종류별로 그 감수성의 차이가 있기 때문인 것으로 생각된다.

## 요 약

음향어법 개발을 위한 기초자료를 수집하기 위하여 무향수조 내에서 돌돔 *Oplegnathus fasciatus* (Temminck et Schlegel) 외 5종 어류에 대하여 순음 주파수 200~800Hz에 음압 120~150 dB re 1V/ $\mu$ Pa로서 반응 시험을 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 순음 방청에 대한 공시어의 반응은 어종별 주파수별 차이점은 있으나 음원으로부터 1m이내에 전체 경향으로서 유집반응이 큰 어종은 말쥐치, 돌돔, 농어, 방어이고 구집반응 효과가 크게 나타나는 어종은 뱀에돔, 매패복이었다.

2. 음원으로부터 1m거리 내에 공시어별 유집효과가 좋은 주파수는 방어는 400Hz와 200Hz, 말쥐치는 400Hz와 250Hz, 돌돔은 600Hz, 농어는 200Hz와 800Hz, 매패복은 250Hz와 800Hz, 뱀에돔은 800Hz였다.

3. 음원으로부터 1m거리 내에 공시어별 구집효과가 좋은 주파수는 방어는 800Hz, 말쥐치는 300Hz, 매패복은 400Hz와 300Hz, 뱀에돔은 700Hz와 600Hz로 나타났다.

4. 방청음에 대한 공시어의 유집반응과 구집반응 현상은 방청음질과 대상생물의 생리적 관련성으로서 주파수 순서 변화와 일관성 없이 나타났다.

## 참 고 문 헌

- 秋海大, 柳連茂, 吳熙國, 張志元 (1985) : 음향어법 연구 - I, 방어와 말쥐치의 식이음에 관하여. 수진연구보고, 34, 151~155.
- 古河太郎 (1977) : 魚類生理. 川本信之編. 恒星社厚生閣, 491~509
- 龜井健三 (1980) : 魚類生態學, 株式會社 たち方書房, 47~51.
- Kleerekopper (1954) : Hearing in fish, with special reference to *semotilus atromaculatus* (Mitchill). J. Fish. Res. Bd. can., 11 (2), 130~150.
- 李秉錡 (1981) : 어법학원론. 태화출판사, 18~21.
- 尾岐久雄 (1974) : 魚類生理學講座, 第5卷. 祿書房, 東京, 154~173