

방어와 말귀치의 식이음(食餌音)에 관하여

국립수산진흥원
어구어법과 추해대

서 언

대부분의 수중생물은 음파를 발생하고 또 외부로부터의 소리에 항상 영향을 받으면서 생활하고 있다. 특히 어류는 소리에 대해 민감한 반응을 보이는 것으로 알려져 있고, 소리 자체는 물속에서 빛이나 냄새 등의 다른 요소들 보다 감쇄가 적어 원거리까지 쉽게 전파되므로 어업에의 가능성도 높다고 생각된다.

음향어법이란 이처럼 소리를 이용하여 어군을 직접 유집 또는 구집(驅集)하거나 다른 어구의 보조적 수단으로 이용하여 어획효과를 증대시키는 것이라고 할 수 있다.

어류가 내는 소리 및 이에 대한 어군의 반응에 관한 연구로서 Uno, Konagaya(1960)가 송어와 백련어의 수영음(游泳音), 뛰는 음(音)의 주파수와 파형을 관찰하였고, Maniwa, Hatakeyama(1970, 1975)는 방어의 식이음(食餌音)을 녹음하고 그것을 재생 수중에 방음하여 방어를 유집(誘集)하였으며 600 Hz의 순음(純音)으로는 오징어를 유집하였다고 보고하였다. 한편, 국내에서도 조·장(1972)이 잉어·초어·금붕어 등의 식이음을 녹음분석하였고 또 김·李(1981)는 농어, 검복 등의 식이음을 녹음하고 그것을 수중에 방음할 때의 어류의 반응행동을 조사하였다.

본 연구는 소리로서 어류를 직접 유집 또는 구집하는 가능성을 구명함과 동시에 소리를 어업에 이용하여 효과적인 어업기술을 개발하기 위한 기초실험으로써 우리나라 연근해의 다획성 어종인

말귀치, *Navodon Modestus*(Günther)와 고급어종으로서 가치가 큰 방어, *Seriola quinqueradiata*(Temminck et Schlegel)를 대상으로 어류의 발생음중에서도 어류에게 가장 민감한 것으로 보이는 식이음을 녹음하고 그 음의 파형, 주파수와 음압(音壓) 수준을 분석하였다.

본 시험에 있어 식이음 분석시 많은 협조를 하여 주신 부산수산대학 응용물리학과 하강열, 이원형씨에게 깊은 감사를 드린다.

재료 및 방법

1. 시어(試魚)

식이음의 녹음을 위하여 사용된 어종은 거제도 연안의 정치망(定置網)에서 어획된 방어 *Seriola quinqueradiata*(Temminck et Schlegel)와 말귀치 *Navodon modestus*(Günther) 각 10尾로써 이들 시어는 당원 사육수조(규모: 760 L × 300 W × 75 cm D, 수심 57 cm, 타원형)에 넣어 7일 이상 순화(馴化)시킨 후에 실험을 실시하였다. 먹이로는 새우와 바지락을 잘게 썰어 매일 아침 10시경에 주면서 사육(飼育)하였다.

Table 1. 음향시험(식이음)대상 어류

Species	Body length (cm)	Number of fish
<i>Seriola quinqueradiata</i>	33 - 36	10
<i>Navodon Modestus</i>	21 - 24	10

2. 실험장치

본 실험에 사용된 무향수조(無響水槽: Fig.1)는 F. R. P 제로 그 크기는 300 L × 200 W × 180 cm D였으며 녹음실험중 반향음(反響音)을 줄이기 위해 두께 150 mm의 Glass wool mat를 실굵기 1 mm, 가로 세로 망목(網目) 6 mm짜리 여자망(緞子網)으로 둘러싸서 나무틀에 고정시킨 후 수조 내부 밑면과 측면 전체에 부착하였다. 또 고기를 수조에 넣고 다시 옮길 때나 유영중에 Glass wool mat에 맞닿아 피부가 손상되는 것을 방지하기 위해 같은 여자망지(緞子網地)를 써서 수조의 벽면으로부터 약 20 cm 정도 간격을 두고 그 물을 설치하여 시어(試魚)를 그 내부에 수용하였다.

실험중 수조의 수위는 1.5 m로 유지하였으며 수온은 20 ~ 22 °C였고, 염분농도는 31.75 ~ 33.75 ‰이었다.

실험에 사용한 계측기로는 식이음 녹음을 위하여 수중청음기(OKI ST - 6502, 受波感度: -

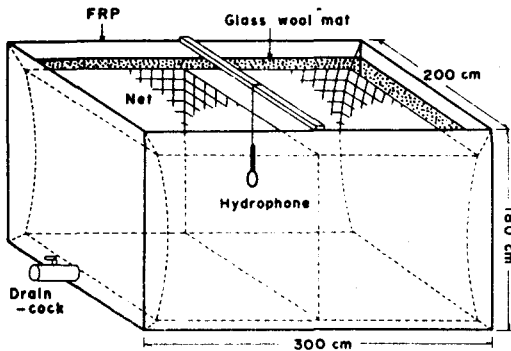


Fig 1. 수중음향 시험을 위한 수조

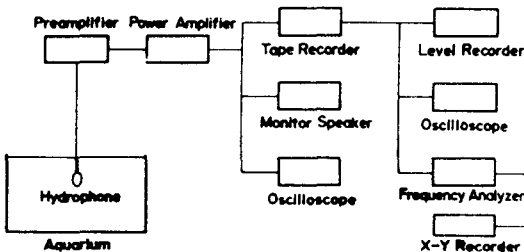


Fig 2. 수중음향 측정 및 분석 기기 연결 계통도

95 dB re 1 v/μ bar), 전치증폭기(OKI ST - 65, 주파수범위: 5 ~ 1,000 Hz), 주증폭기(SAMJIN SA - 700 T), 녹음기(NATIONAL RQ 2765)를 사용하였으며 녹음된 식이음의 분석을 위하여는 디지털 주파수분석기(ONO SOKKI CF - 400), X - Y 기록기(ONO SOKKI CX - 445), 레벨기록기(Bruel & Kjaer 2307) 등을 사용하였다. (Fig. 2)

3. 실험방법

식이음의 녹음을 위하여 시어는 실험 하루 전에 사육수조로부터 무향수조로 옮겨 먹이를 주지 않고 주위환경에 적응시킨 후 다음날 아침 9 ~ 10 시 경에 수조내에 설치한 수중청음기로부터 약 1 m 떨어진 곳에서 먹이를 투하하여 그 때 시어가 먹이를 먹는 소리를 수신하여 전치증폭기와 주증폭기를 거쳐 녹음기로 녹음하였다. 먹이로는 바지락과 체장(體長) 3 cm 정도되는 새우를 잘게 토막내어 주었다.

녹음된 식이음의 분석을 위하여는 Oscilloscope를 사용하여 파형을 관찰하였으며 본 시험 분석자료는 각 시어 10尾로써 12회에 걸쳐 녹음한 자료중 가장 양호하게 녹음된 부분을 디지털 주파수 분석기로서 주파수와 음압을 분석하였다. 음압의 음압수준은 일반적으로 사용되는 다음의 식에 의하여 산출하였다.

$$L_s = L_o - (Sh + G_p + G_m + G_r - L_t - L_c)$$

L_s : Source sound pressure level

L_o : Observed sound pressure level

Sh : Hydrophone sensitivity

G_p : Preamplifier gain

G_m : Main amplifier gain

G_r : Recorder gain

L_t : Transmission loss

L_c : Cable loss

본 실험에서는 전송손실 L_t 와 케이블손실 L_c 는 미소하므로 생략하였다.

주파수 범위는 음압수준이 가장 높은 점의 주파수를 중심주파수로 하고 이곳에서 - 6 dB 내려온 점의 주파수로서 범위를 정하였으며 음압수준은 최고 음압수준에서 - 6 dB까지로 범위를 정하였다.

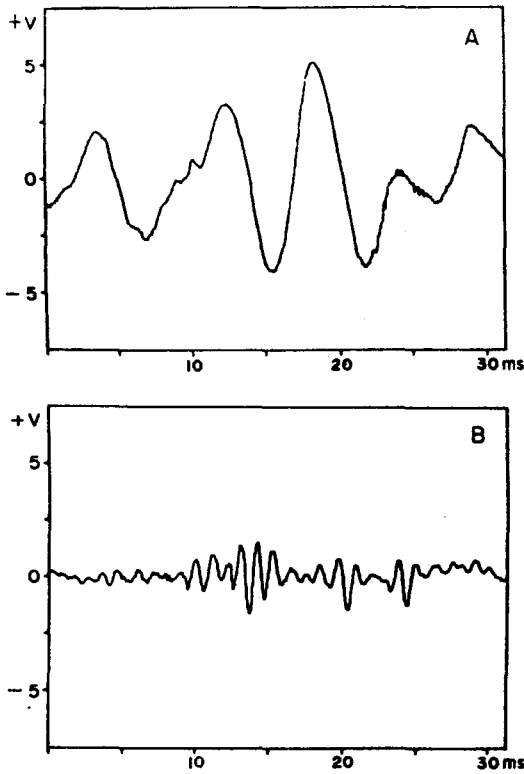


Fig 3. 방어와 말쥐치의 식이음파형 (FFT Analyzer사용) (A: 방어 B: 말쥐치)

결과 및 고찰

1. 식이음의 파형(波形)

방어와 말쥐치의 파형은 Fig 3과 같다.

방어는 처음 빠른 속도로 먹이를 향해 접근한 후 아주 가까이 오면 갑자기 먹이쪽으로 정확한 방향을 잡아 몸을 움직여 입을 벌리고 먹이를 삼키고 잠시 간격을 두었다가 다시 또 다른 먹이를 향해 이러한 동작을 되풀이 하면서 음파를 발생하였다. 따라서 방어는 이러한 동작관계로 수면에서는 몸을 움직일 때 나는 물소리와 먹이를 삼키면서 내는 소리의 복합된 것으로 “푹, 푹” “뽀-뽀뽀” “질질”와 같이 여러가지 소리로 들리었으며 식이음이라고 할 수 있는 수면아래에서는 대부분 “푹, 푹”하는 소리를 발생하였고 파형은 비교적 진폭이 크게 나타났다.

말쥐치의 경우는 한번에 먹이를 다 삼키지 못하여 입으로 들어갈 수 있는 크기로 먹이를 잘라서 삼키므로 “첩, 첩”와 같은 소리가 짧게 반복되면서 발생음파는 방어에 비하여 진폭이 작게 나타났다.

한편, 시어가 수면하에서 먹이를 먹지 않고 유영할 때 들리는 소리는 미약하여 이를 크게 증폭시킬 경우에는 사용 계측기의 잡음과 구분할 수 없었다.

2. 식이음의 주파수 및 음압수준

방어와 말쥐치의 식이음의 주파수와 음압수준과의 관계를 분석한 결과는 다음과 같다. (Fig 4)

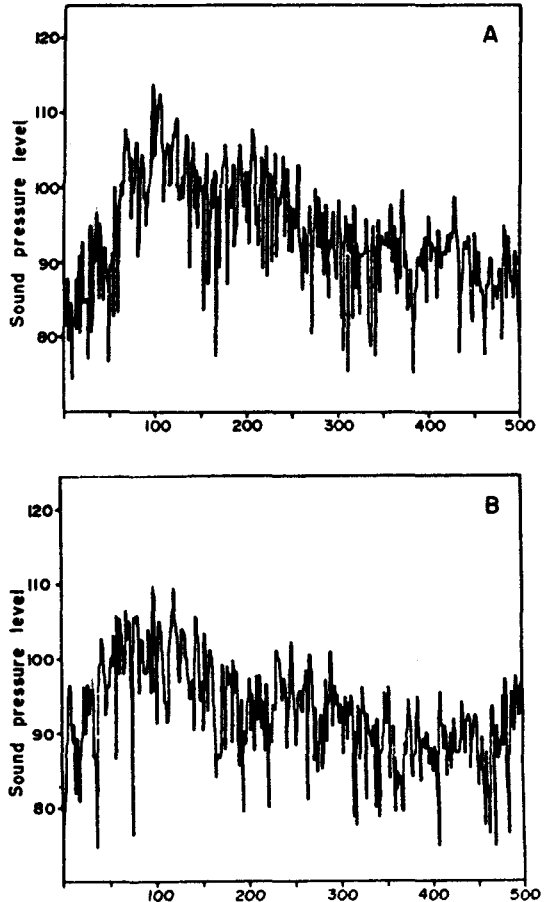


Fig 4. 방어 및 말쥐치 식이음에 있어서 주파수 (Hz)와 음압 (dB re 1V/uPa)관계분석 (A: 방어 B: 말쥐치)

방어의 식이음의 주파수 범위는 60 ~ 250 Hz, 음압수준은 108 ~ 114 dB 이었으며 말쥐치의 식이음의 주파수 범위는 40 ~ 200 Hz, 음압수준은 104 ~ 110 dB로 나타났다. 이들 시어의 식이음 주파수 범위는 40 ~ 250 Hz 이고, 음압수준은 104 ~ 114 dB 범위임을 알 수 있으며 방어가 말쥐치보다는 주파수와 음압수준이 모두 약간씩 높았다. 이 분석결과는 현재까지 여러 실험을 통해 알려진 일반적인 어류 식이음의 주파수 범위 50 ~ 500 Hz와 음압수준 범위 31 ~ 115 dB에 포함 또는 접근되어 있으나, 金(1978)이 발표한 바 있는 식이음 주파수 100 ~ 250 Hz, 음압수준 109 ~ 115 dB와 각기 비교하여 보면 주파수는 높은 범위에서는 200 ~ 250 Hz로 비슷하나 낮은 쪽은 본 시험에서 방어의 경우 60 Hz, 말쥐치의 경우 40 Hz까지 나타나므로 金(1978)의 125 Hz, 金, 尹(1982)의 100 Hz 보다 각각 낮은 범위가 포함되어 있다.

음압은 말쥐치의 경우 104 ~ 115 dB 범위에서 비슷하였으나 방어의 경우는 52 ~ 55 dB의 차이가 나타났다. 이것은 녹음시 주위환경의 차이, 전일의 먹이량에 따른 공복상태 등의 차에 의해서 나타나는 것이며, 특히 방어의 식이음의 차이는 방어가 말쥐치 보다 입이 크고 먹이를 삼켜 먹는 관계로 크게 달라지는 것으로 생각된다. 또한 방어가 말쥐치의 식이음에 있어서 Spectra를 비교하기 위하여 식이음의 최대의 음압을 0 dB로 하고 상대음압을 D. F. T(Discrete Fourier Transform) 계산에 의하여 구한 결과를 Table 2 및 Fig 5에 나타낸 것과 같이, 방어의 경우는 말쥐치에 비하여 비교적 낮은 주파수(133, 2 Hz) 범위에서 음압이 높았다가 주파수가 높아짐에 따라 음압은 급격히 떨어지는 경향이고 말쥐치의 경우는 낮은 주파수(66.6 Hz) 범위에서 약간의 음압이 높았다가 떨어져서 주파수가 계속 증가하면 음압도 점차 높게 분포되는 경향을 나타내고 있다. 이러한 현상은 Fig 4의 주파수분석기로 분석한 방어와 말쥐치의 식이음 분석 결과와도 비슷한 경향을 보이고 있다.

방어는 말쥐치에 비하여 입이 크고 먹이를 먹을 때 순간적으로 삼키므로 낮은 주파수 쪽에 높은 음압이 나타나는 반면에 말쥐치의 경우는 방어

에 비하여 입이 작고 먹이를 쪼아 오래도록 먹는 관계로 방어의 식이음에 비하여 소리가 날카롭고 높은 주파수에서 높은 음압이 나타나는 것으로 생각된다.

Table 2. DFT에 의한 방어 및 말쥐치의 식이음 Spectra(상대 비교)

Frequency (Hz)	Sound Pressure level (dB)	
	<i>Seriola quinqueradiata</i>	<i>Navodon modestus</i>
33.3	-22.54	-16.87
66.6	- 8.81	- 5.51
99.9	- 5.88	-14.90
133.2	0	-10.14
166.5	- 4.32	-22.14
199.8	- 2.64	-22.91
233.1	-17.92	-26.56
266.4	-17.73	-14.93
299.7	-30.78	-18.45
333.0	-15.88	-18.23
366.3	-16.58	-11.59
399.6	-40.55	-16.33
432.9	-21.53	- 7.92
466.2	-23.21	- 8.41
499.5	-22.31	-14.78
532.8	-24.37	- 9.50
566.1	-25.76	- 2.87
599.4	-29.76	- 4.89
632.7	-28.88	- 4.76
666.0	-37.70	- 2.75
699.3	-30.22	- 8.37
732.6	-27.15	0
765.9	-31.8	- 5.33
799.2	-26.15	- 6.81

요 약

음향어법의 가능성을 연구하기 위한 기초자료 확보를 목적으로 방어와 말쥐치의 식이음을 녹음하고 이들 식이음에 대한 파형(波形) 주파수와

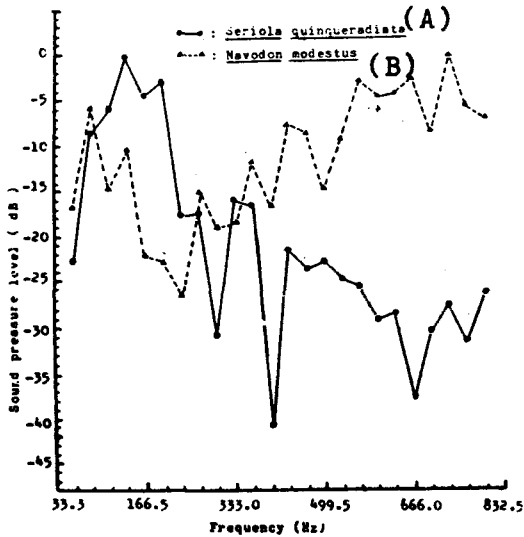


Fig. 5. DFT에 의한 어류 식이음
(A: 방어 B: 말쥐치)

음압수준을 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 방어의 식이음은 방어가 먹이에 가까이 접근한 후 재빠르게 먹이 쪽으로 정확한 방향을 잡아 입을 벌려 먹이를 삼키는 것으로서 대부분 “푹, 푹”하는 소리였으며, 말쥐치의 경우에는 빠른 연속동작으로 입으로서 먹이를 쫓아 먹을 때 발생하는 것으로서 “첵, 첵”하는 소리이다.

2) 방어의 식이음의 주파수 범위는 60~250

Hz, 음압수준은 108~114 dB 이었다.

3) 말쥐치의 식이음 주파수 범위는 40~200 Hz, 음압수준은 104~110 dB 이었다.

참 고 문 헌

조 암·장지원(1972), 어류가 내는 소리에 관하여 어업기술연구, 8, 14~22.
 金東守·李明哲(1981), 어류의 발성음과 행동반응에 관한 연구, 여수수전대연구보고, 2, 1~7.
 金東守·尹甲東(1982), 어류의 식이음과 그에 대한 走音反應, 어업기술, 18(2), 71~75.
 金尙漢(1978), 몇가지 어류 및 甲殼類의 발음과 走音성에 관한 연구. 어업기술, 14(1), 15~36.
 M. Uno and T. Konagaya (1960), Studies on the Swimming noise of the fish. Jap. Soc. Sci. Fish. 26(11), 1069~1073.
 Y. Maniwa and Y. Hatakeyama (1970), Research on the Luring of fish Schools by Utilizing Underwater Acoustical equipment (3). Tech. Rep. Fish. Boat, 24(2), 1~5.
 Y. Maniwa and Y. Hatakeyama (1975), Research on the Luring of fish Schools by Utilizing Underwater Acoustical equipment (4). Tech. Rep. Fish. Boat, 28, 1~22.

질서

편 한 것
 자유로운 것
 아름다운 것

사회정화위원회