

수중 가청음에 대한 잿방어 어군의 유집 반응

이창현 · 김병엽 · 정용진 · 서두옥

제주대학교

(1997년 8월 11일 접수)

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

Chang - Heon Lee, Byoung - Youb Kim, Yong - Jin Chung and Du - Ok Seo

Cheju National University

(Received August, 11, 1997)

Abstract

A field experiment was carried out to confirm the effect of underwater sound on the luring of fish school of rudder fish in a set net at the coast of Cheju Island. The effects of the acoustic emission on the luring of fish school were observed at a cage around a set net fishing ground using a manufactured underwater speaker. Underwater sounds that were emitted for the luring of fish school were the 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 ouput wave forms of a manufactured underwater speaker in water tank were similar to those in measurment frequencis. The result of the observation indicated that it could be used for the purpose of the sound emission in measurement frequencis.
2. The effect of the emitted 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.
3. The effect of the emitted engine noise was more remarkable than that of the pure sound for 3 minute continuously. On the feeding sound, fish formed a shoal and swimmmed, but didn't gather around the underwater speaker.
4. The feeding and swimming sound spectra on rudder fish showed similar sound pressure distribution each other, they appeared low sound pressure in frequencis of 200 - 600Hz.

서 언

어류는 음자극에 민감한 반응을 보여서, 수중

가청음을 이용한 어류의 유집과 구집에 적극적으로 활용되고 있다. 어류의 소리에 대한 반응으로 는 천적이 내는 소리에 대한 도피행동, 같은 어류

가 내는 포식음에 따른 색이 행동, 음원 주변에 모이는 유집 행동 등 수중가청음에 대한 좋은 반응을 나타내고 있다. 어류의 가청 범위가 16 - 5,000Hz이고 특히 100 - 1,000Hz에서 가장 감도가 예민하였다(田村, 1977; Maniwa, 1976). 서등(1989)은 수중 가청음에 대한 고등어, 오징어 어군의 반응, 장 등(1986)의 정치망 어업에서 음향 집어기를 이용한 어군의 집어효과, 渡邊 등(1990)의 낚치를 대상으로 주파수 300Hz의 단속음 및 연속음을 이용한 음향 순치에 관한 연구, Hiroko 등(1987)이 참돔의 각 성장 단계별 순음에 대한 행동 연구 등 수중음에 대한 어류의 행동을 연구한 보고들이 많이 있다. 이와 같이 음을 이용한 어군의 유집은 어장에서 조업능률을 향상시키고, 축양어업에서는 음향 제어에 의한 자동급이를 가능하게 할 뿐 아니라, 치자어에 대해서는 그 육성단계에서부터 수중 저주파음을 이용한 학습을 통해 어류를 일정한 해역에 정착, 서식하도록 할 수 있어서 해양목장화등 여러면에 응용이 되어지고 있다

이 연구는 제주도 연안에 설치되어 있는 정치망에서 음향집어기에 의한 어류의 유집 효과에 대한 기초자료를 제공할 목적으로, 정치망에서 어획된 갯방어를 내만의 가두리 축양장에 축양하면서 갯방어의 식이음, 어선의 기관소음, 정현파 순음 등을 제작한 수중확성기로 방성하였을 때, 각 음에 대한 갯방어 어군의 유집반응 행동을 조사·분석하였다.

재료 및 방법

1) 수중확성기의 제작

수중음에 대한 어류의 행동반응을 조사하기 위하여 사용된 수중확성기는 육상에서 널리 이용되고 있는 driver unit(FX65, 150W) 2개를 이용하여 제작은 이 등(1994)의 방법과 같이 하였으며, 제작 완성된 수중확성기에 대해 그 주파수 특성은 수조에서 주파수 200 - 600Hz까지 100Hz 간격으로 정현파 순음을 전력증폭기(SAMJIN, SA-1000TC)로 최대 정격출력까지 증폭한 후, 수중확성기로 방성시켜 오실로스코프로 그 파형을 관찰

하였으며, 제작된 수중확성기에 걸린 음의 파형과 수신된 음의 파형이 서로 잘 일치하는가를 비교·검토하는 공기중 및 수중 실험은 서(1995)의 방법과 같이 행하였다.

2) 가두리 축양장에서의 어류의 유집반응

갯방어 어군의 유집에 이용한 수중 가청음은 식이음 및 유영음, 어선의 기관소음 및 수중소음, 300Hz와 400Hz의 정현파 순음이다. 어선(3톤, 10HP)의 기관소음은 엔진만을 가동시킨 채 녹음하였고, 선박의 수중소음은 수심 5m층에서 hydrophone(B&K, 8100)으로 수신하여 약 5분간 동시에 녹음하여 주파수 분석기로 비교·분석하였다. 갯방어 어군의 식이음 및 유영음의 측정은 합덕 포구 수심 9m인 해역에 설치한 가두리 축양장내(2,500×2,500×7,000mm)에 수심 5m층에 hydrophone을 설치하여 어선의 수중소음과 같은 방법으로 주간과 야간에 녹음·분석하였다. 정현파 순음은 발진기(B&K, 1049)를 이용하였으며, 이 실험에서의 음압 및 스펙트럼은 주파수 분석기(B&K, 2033)를 이용하여 행하였다.

어군의 유집반응 실험은 가두리 축양장내 수심 1m에 설치한 수중 확성기를 통해 300Hz와 400Hz의 정현파 순음, 갯방어의 유영음 및 식이음, 또 선박의 기관소음 등 4종류의 수중가청음을 3분간 방성, 1분간 정지하는 것을 3회씩 방성하여 갯방어의 행동을 수심 1m에 설치된 수중 카메라로 촬영하였다. 실험 어류는 정치망 어구에서 어획된 자연산 갯방어로서 평균체장 29cm(±2.5cm), 평균체중 400g(±75g)인 130마리를 실험에 사용하였다. 이들 어류는 실험 실시전까지 가두리 축양장에서 먹이는 전갱이 사료를 어선의 기관을 운전시킨 채 오전 7-9시 사이에 주면서 15일간 사육하였으며, 실험 당일엔 먹이를 주지않았으며, 그 때의 수온은 약 23°C 였다.

결과 및 고찰

1) 제작된 수중확성기의 주파수특성

제작된 확성기의 주파수 특성을 알기위해 공기

중 및 수중에서 송수신한 음에 대한 파형을 측정 한 결과, 서(1995)와 같이 수중실험에서는 사용한 전 주파수에서 입력파형과 출력파형이 잘 일치하고 있었으며, 잠음으로 인한 왜곡은 전혀 보이지 않았고 공기중 실험이 수중 실험에서 보다 출력파형에 왜곡이 많았던 것은 주위의 잠음 영향을 더 많이 받았기 때문이라고 사료된다. 제작된 수중확성기를 사용하여 200 - 600Hz의 가청음을 수중에서 방사하는 데 이용할 수 있음을 확인하였다.

2) 가두리내에 방성한 음의 스펙트럼 분석

Fig. 1은 선박소음을 스펙트럼 분석한 결과로 분석된 모든 주파수대에서 배경소음(C)보다 높았으며, 기관실내의 선박소음(A)이 최소 33dB, 수중 선박소음(B)이 최소 13dB정도 배경소음보다 높았으나, 1KHz 미만의 저주파수에서는 서로 비슷한 스펙트럼 레벨을 나타내었으며, 200 - 400Hz에서 대략 93 - 105dB의 스펙트럼 레벨을 나타내었다.

Fig. 2는 잿방어 어군의 유영음을 주간 및 야간에 측정하여 스펙트럼 분석한 것을 나타낸 것으로 5,000Hz까지 분석·비교한 결과, 유영음은 배경소음보다 전반적으로 약 20dB정도 높았다.

Fig. 3은 잿방어 어군의 식이음을 주간(A)과 야간(B)에 녹음하여 스펙트럼 분석한 결과로서 5,000Hz까지 분석·비교한 것이다. 주간(A)과 야간(B)의 음압은 300 - 600Hz사이에는 최고 13dB의 음압차가 있었으며, 1,000Hz이상의 주파수에

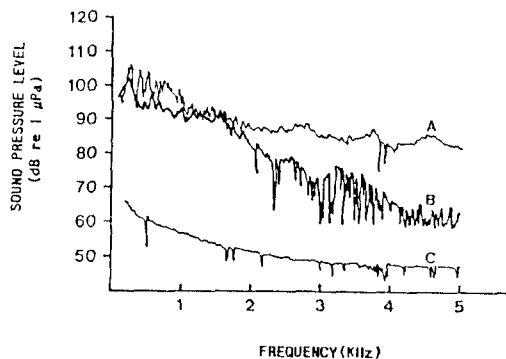


Fig. 1. Spectra of engine noise in the engine room (A) and at 5m of underwater(B) and ambient noise around the cage(C).

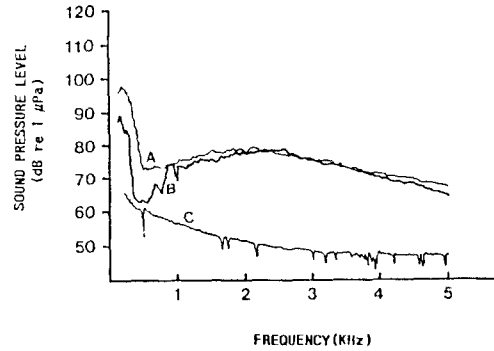


Fig. 2. Spectra of swimming sound of the Rudder fish in day(A) and night(B) and of ambient noise(C).

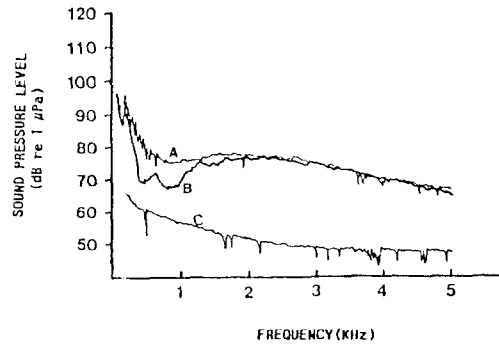


Fig. 3. Spectra of feeding sound of the Rudder fish in day(A) and night(B) and of ambient noise(C)

서는 거의 비슷한 값을 나타내었다. 주파수 200 - 600Hz 범위의 음압에서 주간이 야간보다 대략 12dB정도의 음압 차이를 나타내고 있는 것은 가두리 축양장이 포구내에 있는 관계로 야간보다 주간에 선박소음 등의 저주파 소음이 많이 있었던 것으로 생각된다.

3) 방성음에 대한 잿방어 어군의 행동

가두리 축양장내의 잿방어 어군은 수중 가청음을 방성하기 전에는 수심 6m층의 가두리 밑부분에서 자유롭게 원을 그리며 유영하는 행동을 보이다가, 정현파 순음 300Hz 및 400Hz를 방성하였을 때는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같이 잿방어 어군의 유영속도가 방성 이전보다 빨라지면서 방성 직후에 한 두 마리가 수중확성기 근처에서 서서히 상승하여 모여들기 시작한 후 약 1분이 경과하면서 수중확성

기를 설치한 수심 1m층에 5-7마리 정도가 모여 들었고 더욱 시간이 경과하여 대부분의 어군이 수심 2-3m층으로 상승하면서 수중확성기 주위로 모여들었다. 이 상태에서 방성을 정지한 결과 잿방어는 다시 수심 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. 이때의 방성 음압은 125 - 135dB이었다.

식이음 또는 유영음을 방성한 결과는 Fig. 6과 같이 방성전은 300Hz 및 400Hz의 정현파 순음의 방성실험 때와 같이 가두리 밑부분에서 유영하고 있었으나, 식이음이 방성된 직후는 방성이전보다 유영속도가 빨라지는 행동을 보이다가 어느 한순

간 유영을 멈추고, 군집성있는 어군을 형성하는 반응을 보였으며, 수중확성기 주변으로 상승하는 반응은 전혀 보이지 않았다. 이때의 방성 음압은 120 - 130dB이었다.

Fig. 7과 같이 어선의 기관 소음을 방성하였을 때는 방성직후부터 3-4마리 정도가 수중확성기 주변으로 상승하는 행동을 나타내었으며, 약 4-5초 경과한 후에는 나머지 대부분의 잿방어도 수중확성기 주위로 모여들어 거의 3분간 반응을 나타내었으며 2, 3회째 방성시에도 1회째 방성시와 큰 차이가 없는 반응을 나타내었으며, 정지시에는 역시 방성전의 상태로 돌아갔다. 이때의 방성 음압은 135 - 145dB이었다.

가두리 축양장 내에서 잿방어의 유집반응 실험을 실시한 결과, 선박의 기관소음에 대한 반응이 가장 민감하게 나타났고, 그 다음이 정현파 순음인 주파수 400Hz, 300Hz 순이었다. 어류가 1KHz이



Fig. 4. Behavior of fish school when the pure sound of 300Hz was transmitted.

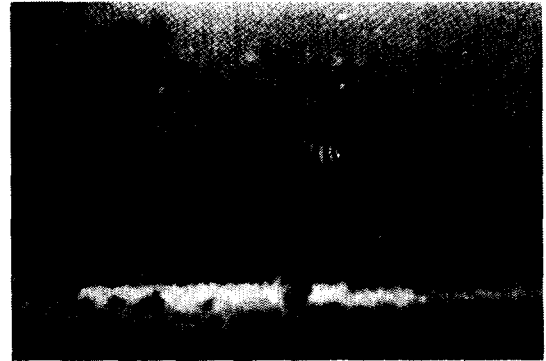


Fig. 6. Behavior of fish school when the swimming sound was transmitted.



Fig. 5. Behavior of fish school when the pure sound of 400Hz was transmitted.



Fig. 7. Behavior of fish school when the engine room noise was transmitted.

상의 주파수보다 1KHz미만의 저주파 인공음에 더 민감하게 반응하며(太田 등, 1986), 1KHz미만의 저주파 포식음에 방어가 유집된 보고(間庭, 1970), 농어, 쥐치, 검복 등이 300Hz대의 식이음에 유집된 보고(김, 1982)등 이 실험의 결과와 일치하고 있었다. 이 실험에서 정현파 순음보다 기관소음이 더 민감하게 반응을 나타낸 것은 사육기간 동안에 어선을 이용하여 먹이를 줌으로 인해 기관소음에 음향 학습이 되었기 때문으로 사료된다.

요 약

제주도 연안에 분포되어 있는 정치망에 어획되는 어류의 음향 유집 효과에 대한 기초자료를 제공할 목적으로, 정치망의 주요 어획 대상 어종인 갯방어의 식이음, 유영음, 어선의 기관소음, 정현파 순음 등을 녹음시켜, 제작한 수중확성기로 갯방어를 사육하는 가두리 양식장에 방성하였을 때, 각 음에 대한 어류의 행동 반응을 조사·분석한 결과는 다음과 같다.

1. 제작된 수중확성기의 수중 실험에서는 측정 주파수의 모든 주파수에서 입력파형과 출력 파형이 잘 일치하여 주파수 200 - 600Hz의 수중음을 방성할 수 있었다.
2. 순음 주파수 300Hz 및 400Hz를 방성하였을 때, 방성개시후 약 2분 이내에 어군이 모여들었으며, 주파수 300Hz보다는 400Hz에 민감한 반응을 보였다.
3. 기관소음을 방성하였을 때가 정현파 순음 300Hz 및 400Hz를 방성하였을 때 보다 훨씬 민감한 반응을 보였다.
4. 갯방어 어군의 식이음, 유영음 스펙트럼은 주간과 야간에 관계없이 비슷한 음압분포를 나

타내었고, 주파수 200 - 600Hz부근에서 낮은 음압 분포를 나타내었다.

참고문헌

- Hiroko I., Y. Hatakeyama and S. Sakaguchi(1987) : Development of the startle response to sound stimuli in the red sea bream, *pagrus major temminck et schlegl*. Bull. Nansei Reg. Fish., Res. Lab., 21, 17-23.
- 張 善德·尹 甲東·辛 亨鎔·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.
- 李 昌憲·徐 斗玉·金 秉燁(1994) : 可動코일형 Driver Unit를 이용한 水中擴聲器의 周波數 特性. 漁業技術學會, 30(1), 25-32.
- 間庭 愛信·昌山 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.
- Maniwa, Y. and Y. Hatakeyama(1976) : Reserch on the luring and driving a way of fish schools by utilizing underwater acoustical equipment (5). Tech. Rep. Fishing Boat, 29, 147-162.
- 太田 祐一·土室 明·西村 實(1986) : 人工水中音に對する魚の行動變化のランニングスペクトル解析による評價法. 海洋音響研究會, 13(1), 198-204.
- 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.
- 서 두옥·정 공훈·김 진건·김 삼관·김 동수(1995) : 가청수중음에 대한 오징어 어군의 위집. 어업기술학회, 31(3), 220-227.
- 田村 保編(1977) : 魚類生理學 概論. 恒星社 厚生各, 東京, pp 259-261.
- 渡邊 和博·大塚 修·平野 正人(1990) : 底生魚類를 對象にする海底牧場造成技術の研究. マリノフォーラム 海洋牧場開發研究會, 54-58.