

可聽水中音에 의한 넙치의 行動에 관한 基礎的 研究

2. 수중음에 대한 행동 분석

이 유 철 · 이 창 현 · 최 찬 문 · 박 용 석 · 서 두 옥

제주대학교 어업학과

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

2. Behaviour Analysis to Underwater Sound

Yu-Chol lee, Chang-Heon Lee, Chan-Moon Choi, Yong-Suk Park
and Du-Ok Seo

Department of fishery, Cheju National University, Cheju-do 690-756 Korea.

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, underwater sound and feeding sound of fish were measured and analyzed respectively. When pure sound from 100Hz to 600Hz and feeding sound were emitted at the experiment water tank in breeding ground, Behaviour responded of fish on each sound was investigated.

The results of measurement are as follows:

1. When the pure sound from 100Hz to 600Hz was emitted at intervals of 100Hz remarkable respond of fish was appeared at 200Hz.
2. When the pure sound from 100Hz to 600Hz and feeding sound was were emitted, behaviour respond of fish in feeding sound was more remarkable than that in the pure sound.

Key words : bastard halibut, underwater sound, feeding sound, behaviour response

서 론

어업에 수중음향을 이용하는 것은 어군의 존부 및 수심을 탐지하기 위해 어군탐지기에 응용되고 있으며, 그리고 음을 방성하여 어군을 위협하거나 유인하는 방법으로 수중스피커, 그 외 음향 측정기, 수중 항법 장치, 원격 어망 감시기 등의 수산

계측기기에 폭넓게 이용되고 있을 뿐만 아니라 해저자원의 탐사에 있어서도 그 활용의 중요성이 점차 커지고 있다. 해중에서의 소음 중 어류의 발생음은 유영음, 식이음, 구애음 및 산란음 등으로 구분할 수 있는데, 이 음을 이용하여 어획능률을 향상시키고 어류의 유집 및 구집 등에 필요한 효과적인 활용방안에 관한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다.

수중음을 이용한 어군의 유집은 조업시의 어획능률을 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).

수중음을 이용한 어군 행동에 관한 연구로서, Hashimoto 등(1957)은 어군의 수중 가청음에 대한 응답해석, 柴田(1966)의 수중음에 대한 정어리 어군의 반응 및 김(1977)의 방어군이 내는 소음 등의 연구 보고 외에도 竹村(1984)는 수중에서 생활하는 어류의 음에 대한 행동반응을 해석하여, 주파수 10Hz~10,000Hz의 범위에서는 100Hz의 순음에 행동반응이 잘 나타난다고 보고하였으며, 靑木(1984)는 붕어에 있어서 주파수 400Hz의 조건자극음에 대한 행동반응, 장 등(1986)은 정치망 어장에서의 음향집어기를 이용한 집어 효과등을 보고했으며, 서 등(1989)의 주파수 200Hz~300Hz의 단속 순음에 대한 고등어 어군의 유집 반응등의 연구가 있다. 그리고 음향순치에 대한 연구로서는, 土城 등(1993)의 참돔의 음향순치를 중심으로 한 해양목장 설치 연구외에, 幡谷(1989)의 주파수 200Hz~300Hz의 수중음을 이용한 솜뽕이 및 넙치의 음향순치에 관한 보고 등이 있다. 이와 같이 수중음을 어법에 응용하기 위한 연구는 많이 보고 되고 있으나, 가청 수중음을 이용하여 양식장에서 어군의 유집에 필요한 수중음의 연구는 거의 보고 되어 있지 않은 실정이다.

이 연구는 양식장에서 사용할 수 있는 자동급이기의 개발에 대한 기초적인 자료를 얻기 위한 것으로, 제주도 해안의 육상수조 넙치 양식장내의 넙치에게 먹이를 주었을 때 생기는 식이음을 측정·분석한 후, 정현파 순음과 식이음을 순차적으로 방성하여 수중음에 대한 넙치의 행동 반응을 조사·분석하였다.

재료 및 방법

실험은 제주도 북제주군 북촌리 소재의 (주)한라수산 양식장에 설치된 콘크리트 실험수조(L185×B270×H60cm)를 이용하였다.

가청 수중음에 대한 넙치의 행동반응에 사용된 실험수조에서의 해수 수온과 염분은 각각 22°C, 33‰였으며, 해수는 외부의 펌프 여과조에 의해 순환되었고, 순환되는 해수는 수조 좌측 상단부로 유입되어 우측 하단부로 배수되고 있었고 수심은 50cm였다. 수중확성기로 인한 어군의 행동에 영향을 방지하기 위해서 좌측벽면에서 수평거리 30cm 떨어진 곳에 그물(Polyamide系 무결절 망지, 31질 17합사)을 10cm간격으로 이중으로 부설하고, 제작한 수중 확성기를 미리 부설한 그물 뒤쪽의 수심 20cm에 설치하였으며, 측정장치의 제통도는 Fig. 1과 같다.

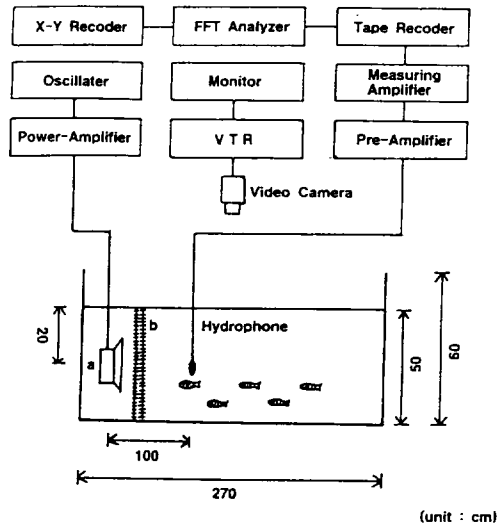


Fig. 1. Block diagram of experimental set up in experiment water tank to analyze swimming behaviour of bastard halibut.

a : Underwater speaker b : Net

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

실험수조에서 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 증폭시킨후 측정증폭기를 이용하여 방성음의 음압을 측정하였으며, 수중음을 방성시켰을 때 넙치의 행동을 관찰·분석하기 위하여 실험수조 상단부에 영상녹음기(HITACHI M190)를 설치 녹화하였으며, 10cm의 격자 간격으로 눈금을 표시한 가로 90cm, 세로 180cm(두께 0.5cm)의 아크릴판 3개를 수조 바닥에 깔고, Fig. 2에 나타낸 것과 같이 편의상 가로 90cm마다 3개의 구역으로 구획하고 순서대로 A구역, B구역 및 C구역이라고 했다.

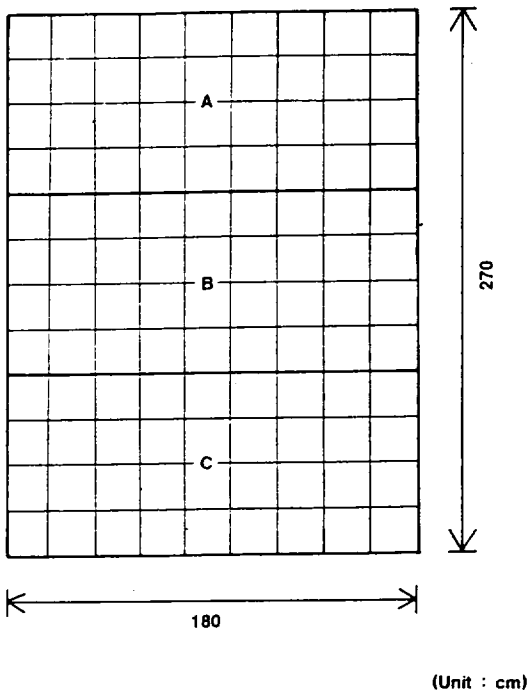


Fig. 2. Board indicated grid division at bottom of water tank to analyze swimming behaviour of bastard halibut.

해석 방법은 어류를 C구역에 모여 있도록 한 후 수중음을 방성 하였을 때 각각의 구역에 나타

나는 어류 마리수를 제측하여 계산하였으며, 각 수중음에 대한 넙치의 유영거리 및 속력은 재생된 화면상의 수평으로 투영된 거리만을 해석 자료로 하고 그 두께는 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(Fs)은 다음의 (1)식을 이용하여 구하였다.

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

결과 및 고찰

실험수조내에서 수심 20cm에 수중확성기를 설치하고 정현파 순음 및 식이음을 방성하였을 때 실험어 20마리에 대한 유영거리를 정현파 순음의 주파수별로 나타낸 결과는 Fig. 3과 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 500Hz

에서는 방성 1분 40초후에 20cm로 20마리중 1마리가 유영행동을 나타냈고, 주파수 600Hz에서는 방성 2분 후에 80cm의 유영행동을 나타냈으며, 20마리중 1마리가 유영행동을 나타냈다. 그리고, 식이음을 방성한 후에는 비교적 많은 시간에 걸쳐서 활발한 유영행동을 나타냈는데, 방성 10초 후에 실험어 20마리중 2마리가 30cm의 거리를 나타내다가 10cm로 감소하고 30초가 경과한 후에 10~30cm로 4마리가 유영을 하였다. 그리고 1마리가 80cm의 유영거리를 보였으며, 1분후 20~30cm로 5마리가 유영행동을 나타냈으며, 1분 40초 후에는 1마리가 210cm의 유영거리를 보였다. 2분 후에는 1마리가 310cm의 넓은 범위에서 유영행동을 나타냈고, 2분 50초 경과후에도 한 마리가 270cm의 유영거리를 나타냈으며, 20마리중 15마리가 유영행동을 나타냈다.

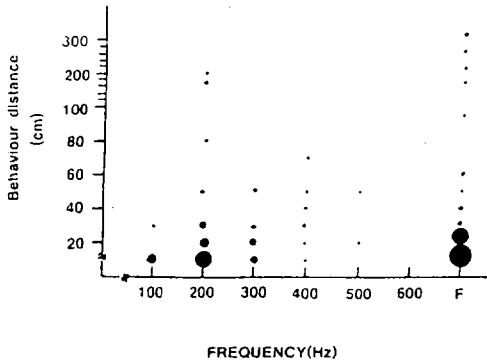


Fig. 3. Behaviour distance of when the pure sound of which frequency were 100 to 600Hz, and feeding sound were emitted. F : Feeding sound

- : Six fishes
- : Five fishes
- : Four fishes
- : Three fishes
- : Two fishes
- : One fishes

정현파 순음과 식이음을 방성하였을때의 유영거리에 대한 평균속력(F_s)을 구한 것은 Fig. 4에 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,

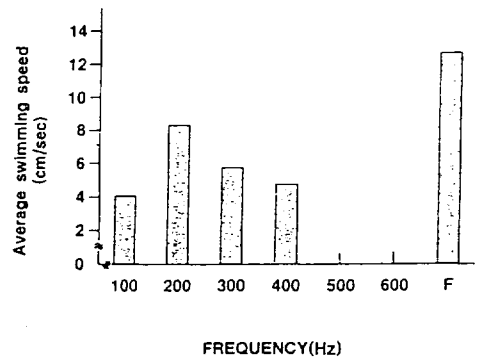
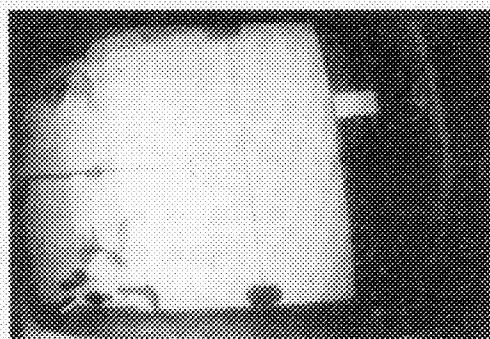


Fig. 4. Average swimming speed of when the pure sound of which frequency were 100 to 600Hz, and feeding sound were emitted.

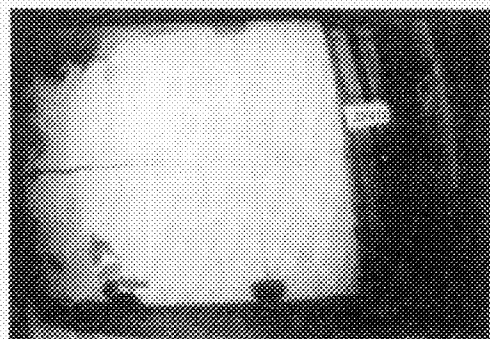
F : Feeding sound

500Hz 및 600Hz의 정현파 순음 및 녹음한 식이음을 3분간 방성 5분간 정지하는 것을 반복하여 수증음에 대한 어류의 행동반응을 나타낸 결과 중 가장 활발한 행동반응을 나타낸 주파수 200Hz. 식이음에 대해서 Fig. 5와 Fig. 6에 사진으로 나타냈다.

Fig. 5는 주파수 200Hz에 대한 행동반응을 나타낸 것으로 방음전에는 행동을 보이지 않았다가 (Fig. 5. I), 30초 후에 두, 세 마리 정도가 행동반응을 보이다가 1분 20초가 경과한 후에는 12마리가 활발한 행동반응을 나타냈으며 (Fig. 5. II), 식이음을 방성하였을 때 넙치의 행동을 나타낸 결과는 Fig. 6과 같이 방성직후 4마리가 행동반응이 나타났으며, 1분이 경과한 후 6마리, 2분 후에 11마리가 행동반응을 보이거나 지느러미를 좌



(I)



(II)

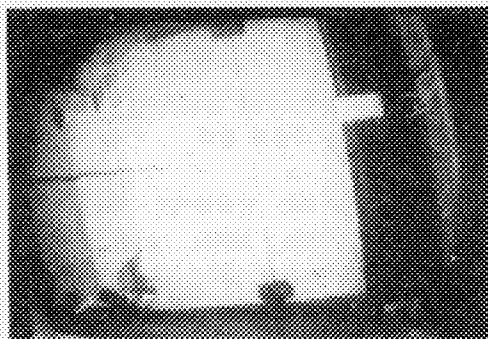
Fig. 5. Behaviour of bastard halibut when the pure sound of 200Hz was transmitted.

I : Before emission II: After emission

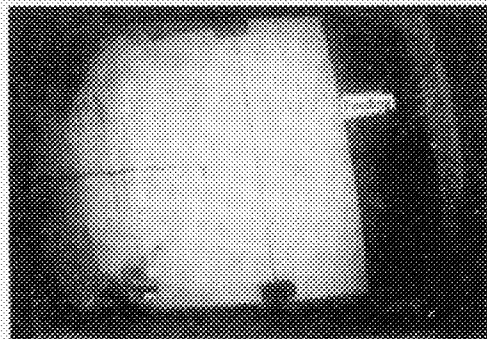
우로 심하게 흔들어 보였다가 방심경계시에도 일정시간 동안 유영행동을 보였고 심하여 20마리중 15마리가 행동반응을 나타냈다.

이와 같이 순응시키지 않은 집현과 순응을 방심하였을 때 행동반응을 보이는 것은 가청 저주파 수중음인 200Hz~500Hz범위에서 고동어, 넙치 및 참돔어의 반응행동을 나타낸 연구보고(羅谷, 1989; 서 등, 1989)와 같 일치하고 있다.

방심중에 나타난 넙치의 유영행동은 저노려미를 좌·우로 심하게 흔들거나 세자리에서 움직이면서 행동하는 변용 특성을 나타내었다. 그리고, 식이음에 대한 행동반응은 실험수조내에서 방성과 동시에 행동반응을 보이면서 수면위로 올라



(I)



(II)

Fig. 6. Behaviour of bastard halibut when the pure sound of feeding sound was transmitted.

I : Before emission II: After emission

왔다가 내려가면서 저노려미를 심하게 흔들는 행동반응을 나타내었다. 이것은 어류의 행동특성인 먹이를 주었을 때 활발한 행동을 보이면서 먹이가 떨어지는 곳으로 모이는데, 식이음을 특유하고 방성을 할 때도 이와 비슷한 유영행동을 보이는 것을 확인할 수가 있었다.

요 약

제주도 연안의 특상수조에서 양식되고 있는 넙치를 대상으로하여 수중 가청음을 이용한 어군의

행동반응에 대한 기초적인 실험을 행하였다. 실험 수조에서 식이음을 측정 분석하고, 양식장내의 실험수조에서 주파수 100Hz~600Hz의 정현파 순음과 식이음을 수중확성기로 방성하여 넙치의 행동을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 넙치를 사육하는 양식장에서 수중확성기로 주파수 100Hz, 200Hz, 300Hz, 400Hz, 500Hz, 600Hz의 정현파 순음을 100Hz 간격으로 방성 실험한 결과 주파수 200Hz에서 활발한 행동반응을 나타냈다.

2. 정현파 순음 100Hz~600Hz 및 식이음을 방성 실험한 결과, 정현파 순음 보다는 식이음을 방성하였을 때가 보다 활발한 유영행동을 나타냈다.

참 고 문 헌

Hashimoto, T., M. Nishimura and Y. Maniwa.
1957. Noise of yellowtail when it into set net. Tech. Rep. Fishing 10, 69-78.
柴田 恵司. 1966. 旋網漁船の騒音について. 長崎大水産學研究報, 21, 145-158.

김 상한. 1977. 방어의 소리와 음향에 대한 행동. 부산수산대학연구보고, 17(1&2), 17-25.
青木 一郎. 1984. コイの食餌條件反應の長期保持. 動物心理學會, 34, 87-84.
竹村 陽. 1984. 水族の發生音. 海洋科學, 16(5), 290-296.
張 善德, 尹 甲東, 辛 亨鎔, 李 珠熙, 申 鉉玉. 1986. 음향집어기의 집어효과. 韓國漁業技術學會, 22(4), 75-81.
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.
徐 斗玉, 淺野 謙治, 小長 谷庸夫. 1989. 수중음에 대한 고등어 어군의 반응. 韓國漁業技術學會, 25(1), 12-17.
서두옥. 1993. 수중음향을 이용한 어업계측기. 韓國音響學會誌, 11(5), 78-81.
徐斗玉, 李昌憲, 金秉燁. 1994. 可動코일형 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.
土城 義信, 壽 久文, 日高 悦久, 橋本 普策, 益田 信之. 1993. マダイ音響馴致システムのマニュアル. 大分縣水試調研報, 15, 1-22.