

수중 가청음에 대한 멸치 어군의 행동 반응

이 창 현 · 문 종 옥 · 박 용 석* · 최 찬 문 · 서 두 옥

제주대학교 어업학과, *제주도청 해양수산과

Behavior response of the shoal of anchovy *Engraulis japonica* to audible underwater sound

Chang-Heon Lee, Jong-Wook Moon, Yong-Seok Park*, Chan-Moon Choi and Du-Ok Seo

Dept. of Fishery, Cheju National University, Cheju-do 690-756, Korea

*Dept. of Maritime and Fisheries, Cheju Provincial Government, Cheju-do 690-700, Korea

A field experiment was carried out to confirm the effect of underwater sound on the luring of fish school using a surface speaker at the coast of Cheju Island. Underwater sounds that were emitted for the luring of fish school were the pure sound of which frequencies were 200Hz and 300Hz.

1. The sound pressure level of 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz and 1000Hz classified by the depth of water at sea were 95dB, 100dB, 100dB, 80dB and 60dB at 1m, 90dB, 95dB, 88dB, 70dB and 45dB at 10m, 87dB, 90dB, 82dB, 65dB and 42dB at 20m respectively.
2. The effect of the emitted pure sound of 200Hz and 300Hz was remarkable for luring of fish school in about 30 minutes after sound emission. Then Sound pressure was 120 - 130dB. The lured fish school was the shoal of anchovy
3. The fact that anchovy school gathered at 200Hz and 300Hz suggested that this fish school did not show sensitive response to the change of frequencies.

Key words : audible under water sound, anchovy, behavior response

서 론

해중에서의 소음은 해풍, 파랑, 강우 등 자연 현상에 의한 자연소음, 어류의 생식음, 신호음, 식이음 등 생물이 내는 발생음 그리고 선박에서 발생하는 인공적 소음으로 구분할 수가 있다. 이들 소음 중 어류의 발생음은 인간이 어류의 존재를 인식하

는 데 좋은 증거가 되는 것과 같이 어류들 사이에도 중요한 정보가 될 수 있으므로 이 음들을 이용한 어류의 유집 및 어획 방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있고, 어획에 보다 직접적이고 효과적으로 사용할 수 있도록 하기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 이와 같이 수중가청음을 이용한 어군의 유집은 어장 조업시에는 조업 능률을 향상시키고, 축양 어업에서는 음향제어에 의한 자동급이를 가능하게 할 뿐 아니라, 치자어에 대해서는 그 육성단계에서부터 수중 저주파음을 이용한 학습을 통해 어

*이 논문은 1997년 한국과학재단 핵심전문연구과제의 일부임.

류를 일정한 해역에 정착, 서식하도록 할 수 있어 해양목장화 등 여러 면에 응용이 되어지고 있다.

어류의 소리에 대한 반응으로는 천적이 내는 소리에 대한 도피행동, 같은 어류가 내는 포식음에 따른 색이 행동, 음원 주변에 모이는 유집행동 등 수중 가청음에 대한 좋은 반응을 나타내고 있다. 서 등(1989, 1995)은 수중 가청음에 대한 고등어, 오징어 어군의 반응, 장 등(1986)의 정치망 어구에서 음향 집어기를 이용한 어군의 집어 효과, Hiroko 등(1987)이 참돔의 각 성장 단계별 순음에 대한 행동 연구 등 수중음에 대한 어류의 행동을 연구한 보고들이 많이 있다.

이 연구는 제주 주변 어장에 있어서 제작한 수면 확성기를 이용하여 수중 가청음에 대한 어군의 유집효과에 대한 기초자료를 제공할 목적으로, 어장 주변의 수중 소음을 측정·분석했고, 또한 수면 확성기를 이용하여 200Hz와 300Hz의 수중 가청 순음을 방성했을 때, 멸치 어군의 행동반응을 어군 탐지기로 조사·분석하였다.

재료 및 방법

수중가청음에 대한 멸치 어군의 행동에 관한 실험은 Fig. 1과 같이 제주도 비양도 부근 해역(33° 23' N, 126° 12' E 부근 해역)의 멸치 어장에서 1998년 7월 14일, 31일 2일간 제주대학교 실습선 아

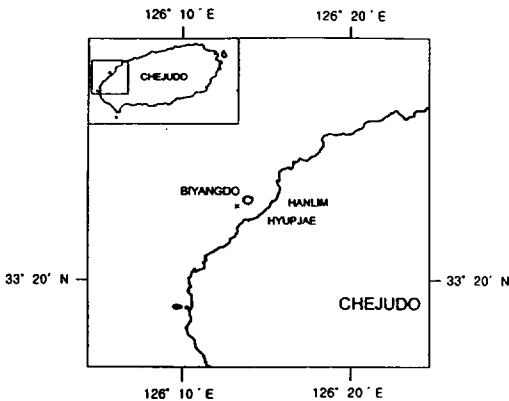


Fig. 1. Map showing the location of observation.

라호(1200톤, 2600마력)를 이용하여 행하였다.

수중가청음에 대한 어군의 유집 실험선 실습선의 수중 기관 소음 측정은 주 기관을 정지하고, 보조 기관(600PS×1)만 운전하여 Fig.2와 같이 수중청음기(B&K, 8100), 전치증폭기(B&K, 2635), 측정증폭기(B&K, 2636) 및 녹음기(SONY, TC-D5M)를 이용하여 소음을 녹음한 후 주파수분석기(B&K, 2033)를 이용하여 측정·분석하였다. 수중청음기는 좌현 선미부근에서 수중으로 내려졌고, 조류의 영향을 고려하여 수중청음기 케이블에 부착된 밧줄에 밧줄을 매달아 가능한 한, 조류의 영향으로 인한 수중청음기 케이블의 경사를 줄여서 측정하였다. 소음 측정 수심은 각각 1m, 5m, 10m, 15m 그리고, 20m층으로 5점을 실시하였으며, 이때 수심은 22m, 수온 25~26°C, 염분 32~32.20‰이었다.

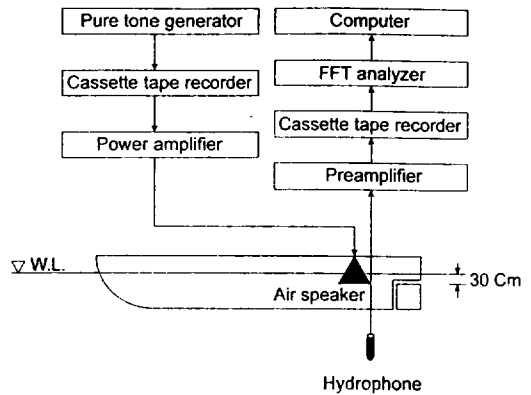


Fig. 2. Block diagram of the apparatus in sea.

멸치 어군의 유집에 이용한 수중 가청음은 Fig.2와 같이 신호발생기(B&K, 1051)와 녹음기(SONY, TC-D5M)를 이용하여 카세트테이프에 미리 녹음시켜 둔 200Hz와 300Hz의 순음을 1분 방성 1분 정지의 방법으로 카세트테이프 재생기(SAMSUNG, W-283)에서 전력증폭기(INKEL, PA-848A)를 걸쳐 좌현 선미부근 수면에 제작하여 음향 특성을 조사한 수면 확성기를 통하여 방성하였다(이 등, 1999). 이때, 가청순음 방성을 위해 75W짜리 driver unit(SAMMI, NSU-75B) 4개를 이용하여 제작한 수면 확성기를 통하여 주파수 200Hz와 300Hz의 가

청순음을 수중에 방성하였다. 이때, 어군의 반응은 어군탐지기(FURUNO, FCV-140)의 기록으로부터 어군 출현 및 수층을 측정·조사하였다.

실험은 주간에 2회에 걸쳐 실시하였고, 수중 가청순음을 수면 확성기를 통하여 200Hz 및 300Hz 순음을 1분간 방성 1분간 정지를 바꾸어 가면서 행하였으며, 이때의 어군탐지기의 기록으로부터 어군의 농도, 크기 및 유효범위를 비교·검토 하여 측정·조사하였다.

결과 및 고찰

실습선의 보조기관만을 가동시킨 상태에서 수심별 수중 소음의 음압 준위는 Fig. 3과 같으며 주파수 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 1000Hz에서 발생한 음압 준위는 수심 1m에서 각각 95dB, 100dB, 100dB, 80dB, 60dB이며, 수심 10m에서 각각 90dB, 95dB, 88dB, 70dB, 45dB이며, 수심 20m에서 각각 87dB, 90dB, 82dB, 65dB, 42dB로 나타나고 있었다.

Fig. 3과 같이 배경잡음의 스펙트럼레벨에서 주

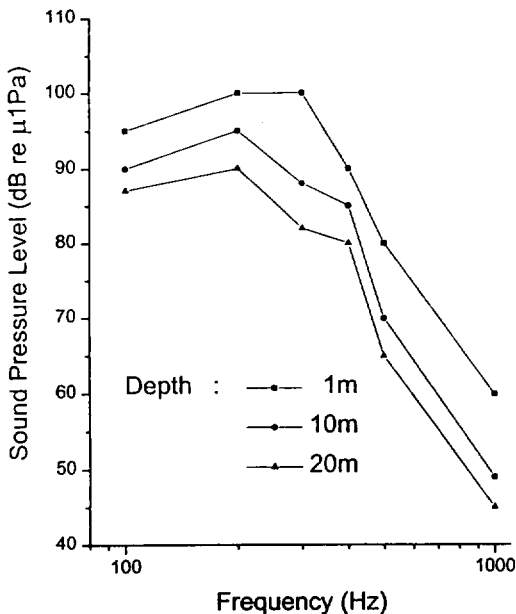


Fig. 3. Variation of underwater ambient noise level after gathering fishes on operating only generator of the ship.

파수 100~400Hz 부근의 음압분포가 일반적인 수중소음의 분포와 달리 높게 나타나고 있어 해상 실험시에 사용된 실습선의 보조기관 운전에 의한 선박 소음이 나타나고 있었다.

멸치어군의 유집에 이용한 주파수 200Hz와 300Hz의 수면 확성기를 통한 각 수층별 음압레벨을 Fig. 4에 나타내었는데, 각각 수심 1m에서 132dB과 140dB, 수심 5m에서 127dB과 134dB, 수심 10m에서 121dB과 129dB, 수심 15m에서 116dB과 125dB 그리고, 20m에서 114dB과 122dB로 수심에 따른 음압 감쇄가 나타나고 있었다.

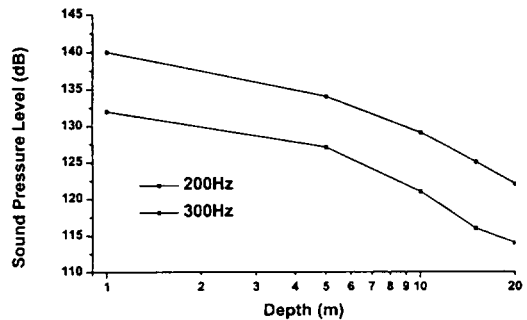


Fig. 4. Spectra of the manufactured water surface speaker in sea.

Fig. 5는 7월 14일 10시부터 17시까지 주간에 실습선의 좌현 선미부근 수면상에 수면 확성기를 설치하여 가청순음 주파수 200Hz를 120~130dB의 음압으로 2시간 동안 방성과 정지를 1분 간격으로 바꾸어 가면서 시험하였을 때의 어군 탐지기의 기록상을 표시한 것이다.

Fig. 5의 a)는 가청음 방성 30분후의 기록상으로서 어군이 해저면 부근의 18m부근에서 서서히 모여들기 시작하여 방성 50분후인 b)의 기록상에서는 더욱더 농밀하게 밀집해 있음을 보여준다. c)는 방성 1시간 10분이 경과한 어군탐지기의 기록상을 나타내는 것으로서 주파수 200Hz의 가청순음의 방성에 의하여 어군이 서서히 수심 10m 수면까지 부상하면서 밀집되고 있는 것을 나타내었다. 그러나, 주파수 200Hz의 가청순음 방성종료 10분후의 어군탐지기의 기록상을 나타내는 d)는 어군이 서서히 수면 방향으로 분산하여 주파수 200Hz의 음에 어

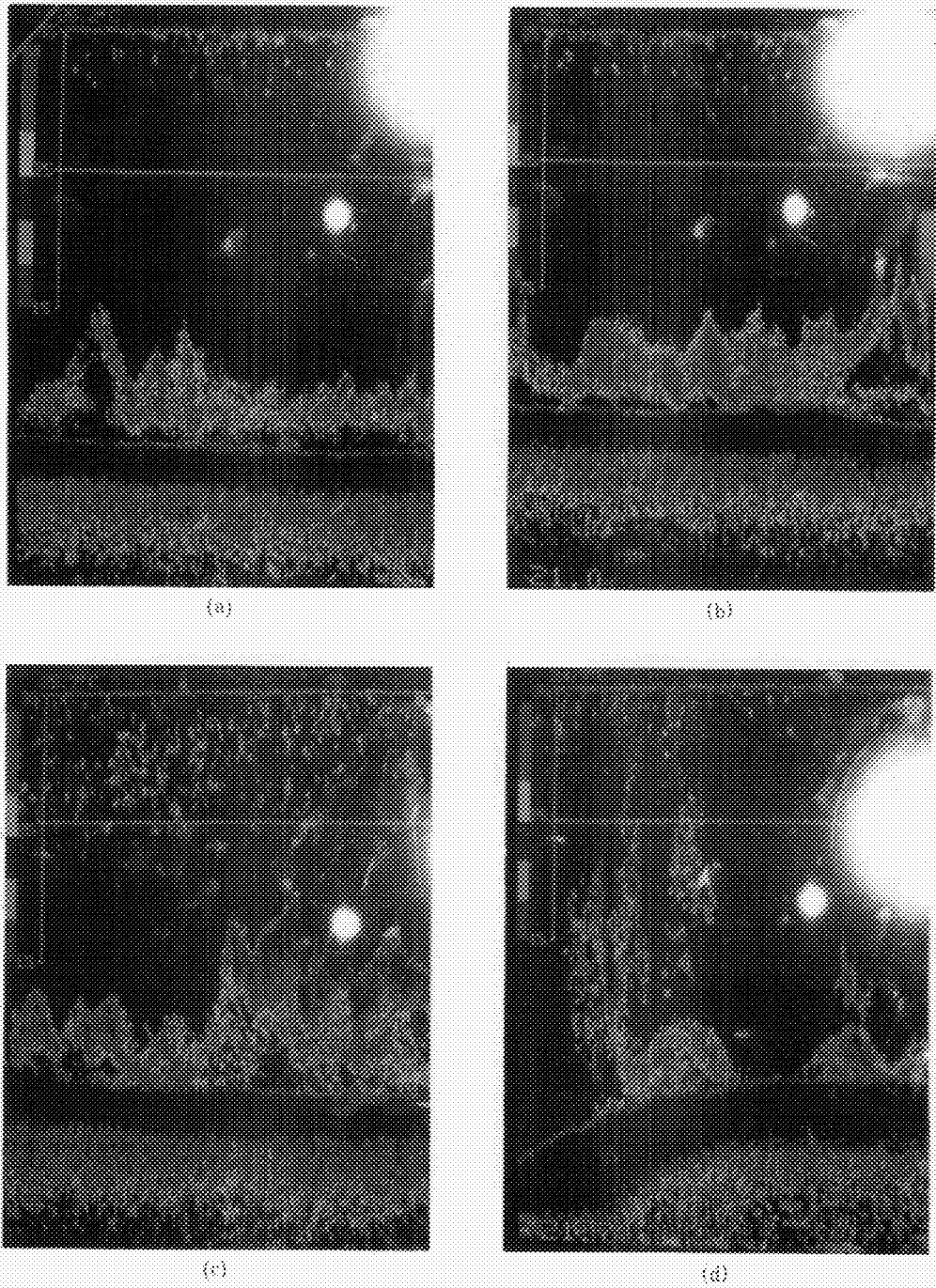
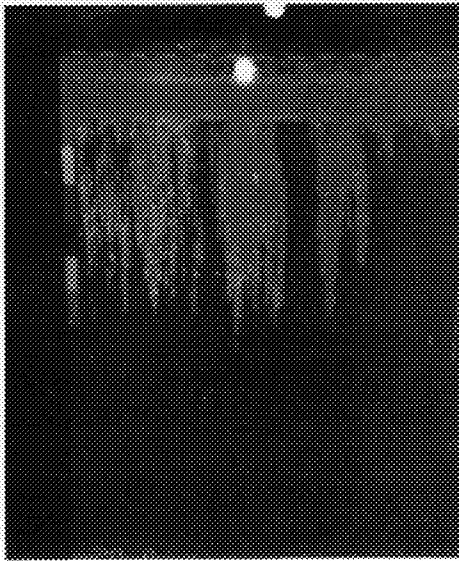
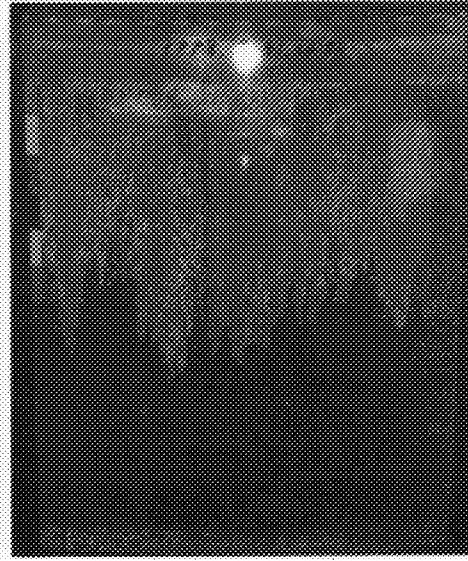


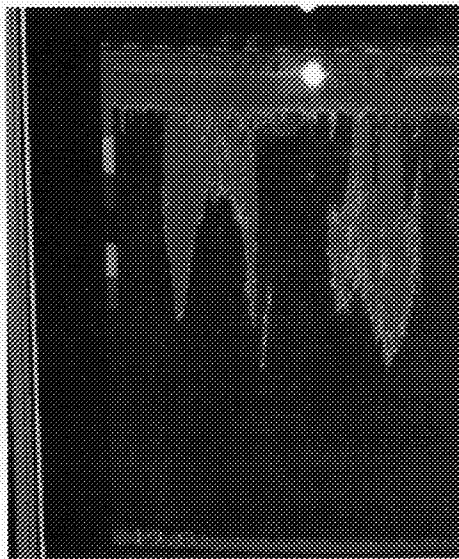
Fig. 5. Echogram showing the movement of fish school in accordance with projected 200Hz pure tone sound at 14 July.



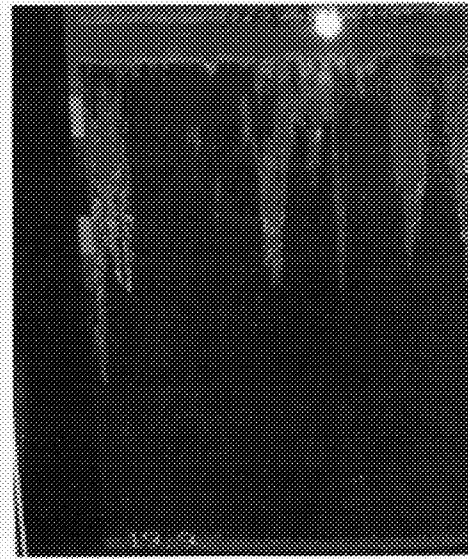
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 6. Echogram showing the movement of fish school in accordance with projected 300Hz pure tone sound at 31 July.

군이 반응을 나타내고 있는 것으로 사료되었다.

Fig. 6은 같은 지점에서 7월 31일 13시 이후 17시 까지 주간에 수중 가청음에 대한 어군의 행동을 나타내는 어군탐지기의 기록으로 14일 주간에 실험한 어군 유집 방법과 동일한 방법으로 실습선의 좌현선 미부근 수면상에 설치한 수면확성기를 통하여 주파수 200Hz와 달리 300Hz의 가청순음을 방성하였다.

Fig. 6의 a)는 수면 확성기를 통한 가청순음의 방성전의 어군탐지기의 기록상을 나타내는 것으로 지난번 실험과 같은 수면 부근에 조금씩 무리를 지어 어군이 나타나 있음을 알 수 있다. b)는 방성 30분후의 어탐 기록상으로서 여러군데 분산되어 있던 어군이 무리를 짓기 시작하여 c)와 같이 방성 30분후 하나의 어군으로 서서히 무리를 짓는 것이 나타났다. 방성 50분후의 어탐의 기록상인 d)에서는 다소 밀집이 소원하게 나타나고 있었다.

일반적으로, 어류의 가청주파수 범위 중 주파수 100~1,000Hz의 음에 민감하며, 어류가 수중에서 발생하는 음은 위험음, 인식음, 신호음, 식이음 등이 있고, 그 주파수는 100~2,000Hz범위이나 주파수 300~500Hz 범위에서 가장 예민한 반응을 나타낸다고 보고하고 있으며(田村, 1977; 古河, 1970), 畠山(1996)와 添田 등(1997), 이 등(1996)은 일반적으로 어류의 최소 감지레벨은 90~110dB, 유인레벨은 110~130dB, 위협레벨은 140~160dB정도로 보고하고 있다. 특히 Akamatsu 등(1996)은 멸치 어종의 경우, 수중 가청순음에 대한 멸치 어군의 위협 반응 연구에서는 200~300Hz에서 민감한 반응을 보였으며, 가장 민감한 반응을 보인 주파수는 300Hz로 이때의 음압은 146.8dB이었다고 보고한다.

이 실험과 같이 수중 가청음을 이용한 멸치어군 유집 실험에 있어서 주파수 200Hz와 300Hz의 두 개의 주파수를 대략 120~130dB의 음압으로 방성하였을 때 음에 대한 멸치어군의 행동반응이 모두 좋게 나타나 잘 일치하고 있었으나, 농밀한 어군이 일정하게 유집되는 것은 아니고 Fig. 5와 Fig. 6처럼 시간에 따라서 어군이 분산되었다가 다시 유집되는 현상을 보이고 있었다. 어군 유집 실험에 사용한 두 종류의 순음 주파수 200Hz와 300Hz에 어군 탐지기 화면상으로 반응이 있는 것으로 보아 멸

치 어군의 주파수에 따른 변화는 그다지 예민하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 수중가청음을 이용한 멸치 어군의 유집은 어군유집을 위한 수중음의 방성지속시간, 방성 방법 등 보다 세밀한 조사가 요구된다. 특히 야간에는 집어등에 멸치의 유집효과에 관한 보고도 나타나, 멸치어군의 유집에 있어서 집어 등과 함께 수중가청음의 방성을 병용한다면, 더욱더 좋은 유집효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

제주 주변 어장에 있어서, 제작한 수면 확성기를 이용하여 수중가청음에 대한 어군의 유집효과에 대한 기초자료를 제공할 목적으로, 어장 주변에서 주파수 200Hz와 300Hz의 수중가청음을 방성하였을 때, 유집되는 멸치 어군의 반응 및 수중 소음을 측정·분석한 결과, 보조기관을 사용하였을 때 수층별 음압레벨은 각각 주파수 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 1,000Hz에서 발생한 음압 준위는 수심 1m에서 각각 95dB, 100dB, 100dB, 80dB, 60dB이며, 수심 10m에서 각각 90dB, 95dB, 88dB, 70dB, 45dB이며, 수심 20m에서 각각 87dB, 90dB, 82dB, 65dB, 42dB로 나타나고 있었고, 수면 확성기를 통하여 주파수 200Hz, 300Hz의 수중음을 120~130dB의 음압을 방성한 결과 약 30분 정도 지만후 어군 유집이 나타나기 시작했으며, 시간에 따른 유집어군의 농밀차이는 나타나고 있었으나 방성주파수 모두 멸치어군이 반응을 나타내어 주파수 변화에 그다지 예민하지 못하였다.

참고문헌

- I. Hiroko, 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.

수중 가청음에 대한 멸치 어군의 행동 반응

- T.Akamatsu, Y.Matsushita, Y.Hatakeyama, Y.Inoue. 1996. Startle Response Level of Japanese Anchovy *Engraulis japonicus* to Underwater Pure Tone Signal. Fisheries Science. 62(4), 648~649.
- 古河太郎. 1970. 聽覺, 「魚類生理」(川本信之編), 恒星社厚生閣. p. 462~481.
- 徐斗玉, 淺野謙治, 小長谷夫. 1989. 水中音에 대한 고등어 魚群의 反應. 漁業技術. 25(1), 12~17.
- 서두옥, 정공흔, 김진건, 김삼곤, 김동수. 1995. 가청수중음에 대한 오징어 어군의 위집. 어업기술학회. 31(3), 220~227.
- 이창헌, 문종욱, 박용석, 최찬문, 서두옥. 1998. 수면확성기의 음향특성에 관한 연구. 제주대학교 해양연구소 연구논문집. 22, 121~125.
- 이창헌, 김병엽, 정용진, 서두옥. 1997. 수중 가청음에 대한 잭방어 어군의 유집 반응. 한국어업기술학회. 33(4), 285~289.
- 장선덕, 윤갑동, 신형일, 이주희, 신현옥. 1986. 음향잡어기의 잡어효과. 어업기술학회. 22(4), 75~83.
- 畠山良己. 1996. 魚の聽覺能力と水中音に對する反應 (I) 海洋音響學會誌. 23(2), 73~80.
- 田村 保編. 1977. 魚類生理學, 恒星社厚生閣, 東京. p. 259~261.
- 添田秀男, 川村軍藏, 畠山良己, 竹村 陽, 梨本勝昭. 1997. 魚類の聽覺特性-內耳と側線. 日本水産學會誌. 63(1), 105~115.