

남해 연안에서 어획된 갯장어의 청각 능력

안장영 · 이창헌[†]
(제주대학교)

Hearing Ability of Sharp Toothed Eel *Muraenesox cinereus* caught in the Southern Korean Waters

Jang-Young AHN · Chang-Heon LEE[†]
(Jeju National University)

Abstract

The auditory thresholds for 7 specimens of the sharp toothed eel *Muraenesox cinereus* were measured at 5 frequencies by heartbeat conditioning method using pure tones coupled with a delayed electric shock.

The audible range of the sharp toothed eel extended from 80Hz to 300Hz with the best sensitivity around 80Hz and 100Hz. In addition, the auditory thresholds over 200Hz increased rapidly. The mean auditory thresholds of the sharp toothed eel at the test frequencies of 80Hz, 100Hz, 200Hz and 300Hz were 87dB, 86dB, 105dB and 126dB, respectively.

Auditory masking was determined for the sharp toothed eel by using masking stimuli with the spectrum level range of about 70~80dB (0dB re $1\mu Pa/\sqrt{Hz}$). According to white noise level, the auditory thresholds increased as compared with thresholds in a quiet background noise. The noise spectrum level at the start of masking was distributed at the range of about 64dB within 80~100Hz. Critical ratio ranged from minimum 24dB to maximum 40dB at test frequencies of 80Hz~200Hz.

Key words : Sharp toothed eel, Hearing Ability, Underwater Audible Sound, Auditory threshold, Critical ratio.

I. 서론

수산자원의 남획과 회복 지연으로 어획량이 감소하면서 우리나라 연근해에서는 최근 어선어업의 어획 대상어종 뿐만 아니라 어로형태 및 수산물의 수요형태에도 변화가 일어나고 있다. 과거 그렇게 주목받지 않았던 어종이 지금은 어선어업

의 주요 어획 대상 어종이 되어 있는가 하면, 일부는 양식기술의 발전으로 양식대상 어종이 되어 있다. 따라서 이러한 수산물의 변화를 염두에 둔다면 현재의 중요한 어종만이 아닌 모든 유용어류에 대하여 다방면의 연구를 지속하여야 하는 것이 무엇보다 필요한 실정이다. 갯장어는 한국 남·서해, 일본 남부해역, 동중국해, 중국 연안등

[†] Corresponding author : 064-754-3491 leech@jejunu.ac.kr

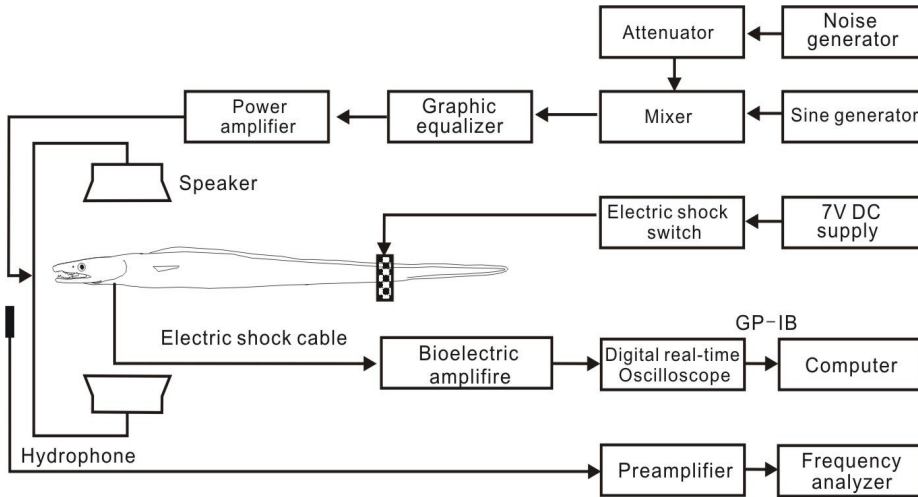
* 이 논문은 2012년도 제주대학교 학술연구지원사업에 의하여 연구되었음.

지에 주로 분포하고 있으며, 연안연승, 쌍끝이대형저인망 어업에서 주로 어획되고 있으며, 횡감으로 많이 사용되는 중요한 어종으로서 상업·경제적으로도 중요한 어류에 속한다. 붕장어에 비해서 입이 크면서 주둥이가 뾰족한 편인 갯장어는 주로 서남해의 수심 20~50m 정도의 사니질해역에 서식하는 것으로 알려져 있으며, 어류, 갑각류, 두족류 등을 섭이하는 것으로 알려져 있다(NFRDI, 2004). 갯장어는 산란장 주변해역으로 추정되는 제주도 남방해역과 남해안에서 어획되고 있으나(Cha et al., 2012), 그 행동특성에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

일반적으로 어류에 관한 음향학적 연구는, 주로 음향을 이용한 어구어법의 개발과 어구에 대한 어류의 행동 양상 연구에 데 많이 이용되어 왔는데, 어류의 청각능력에 대한 연구로서 Hatakeyama(1992)는 일반적인 어류는 주파수 100Hz에서 1,000Hz의 범위에서 가장 민감한 반응을 나타내며, 골표류는 60~80dB의 음압, 비골표류는 음압 90~110dB의 청각문턱치를 나타낸다고 보고한 바 있고, Park et al.(1999, 2000)은 조피볼락의 청각에 대한 연구, Lee et al.(1999, 2000)은 쏨뱅이, 돛가시치의 청각능력 연구, Ahn

et al.(1998, 1999)의 갯방어의 청각능력에 관한 연구, Kim et al.(2002)은 바다목장을 위한 돌돔의 청각 특성에 대한 연구 등 많은 연구자에 의해 청각능력이 확인되고 있다. 그러나 청각특성을 어류의 행동에 응용한 연구로는 육상 개발에 따라 발생하는 소음이나 진동이 육상 수조양식 어류의 행동에 미치는 영향 등 다수 있으나, 육상소음에 그치고 있다. 특히 최근들어 다양한 어류의 양식 기술의 발전에 따라 음향급이 등 점차적으로 어류 청각특성의 어업적 이용에 관한 연구가 많이 필요한 실정이며, 이와 함께 해상풍력 발전기 설치 또는 항만 등의 연안 개발이 이루어짐에 따라, 이들에서 발생하는 소음이 주변 해역에 서식하는 어종에 미치는 영향 등을 정량적으로 평가하기 위해서는 여러 관련 어종의 청각능력을 측정하는 것이 필수적이다.

이 연구는 우리나라 남해 연안해역에서 많이 어획되고 있으면서 식용으로 인기가 있는 갯장어에 대하여 연안 개발시 발생하는 소음이 어류에게 미치는 스트레스에 의한 성장변화, 차후 양식 가능에 대비한 음향순치 등 어업적 이용을 위한 기초자료를 제공할 목적으로, 갯장어의 청각문턱치 및 임계비를 측정하였다.



[Fig. 1] Block diagram for auditory thresholds of Sharp toothed eel.

II. 재료 및 방법

실험어인 갯장어(*Muraenesox cinereus*)는 국내 남해에서 어획된 것으로 전남 광양시내 수산시장에서 구입한 후 제주대학교 해양과환경연구소의 사육수조로 옮겨 약 2~3주 순치시켰다. 실험에 사용된 갯장어의 체장은 500~580mm, 체중은 140~200g 내외였으며, 실험어는 4시간 이상 실험수조에 순응시킨 후, 7마리에 대하여 청각문턱치 결과를 얻었고, 그중 4마리에 대하여 청각임계비를 구하였다. 사육중의 수온은 22.0°C~25.5°C의 분포를 나타내었다.

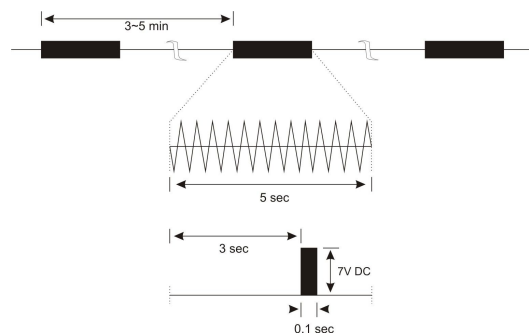
갯장어의 머리위치에 수중청음기 (B&K, 8104)를 설치한 후, 전치증폭기 (B&K, 2635)와 휴대용 주파수 분석기 (B&K, 2143)를 이용하여 1/3 옥타브 분석으로 청각문턱치와 청각임계비의 측정시 실험어에 방성하는 신호음의 수중음압과 수조내의 배경잡음을 각각 측정하였고, 이들 신호음의 음압과 배경잡음의 주파수분석은 실험이 끝난 후 즉시 측정하였다.

갯장어의 청각 특성을 조사하기 위하여 Fig. 1에 Seo et al.(2003) 및 Park et al.(1995)와 같은 실험 장치를 나타내었다. 수조 벽면에서 약 3cm 떨어진 지점 양쪽에 공중 스피커 (Promana, CB38)를 설치하여 물입자의 움직임을 상쇄하였고, 수조내의 소음을 최소로 하기 위하여 청각문턱치 측정시간동안 수조 내의 흐름을 정지시켰다. 이와 함께 신호 발생기 (B&K, 1051)와 잡음 발생기(B&K, 1405)를 믹서(INKEL, MX-642)에 연결하여 신호음과 백색 잡음을 동시에 방성할 수 있도록 하였으며, 이 경우 백색 잡음은 수중에서 주파수가 높아짐에 따라 감쇠가 많아지기 때문에 음압 분포가 일정하도록 이퀄라이저 (INKEL, EQ-9231)를 통하여 스피커에 연결하였다. 또한, 낚시바늘을 이용하여 심전도 도출을 하였으며, 갯장어를 마취시킨 후 지느러미 아래 부근에 낚시 끝 부분을 삽입한 후, 심전도계(NK, AVB-11)

및 오실로스코프 (Tektronix, TDS-340)를 이용하여 실험어의 심박간격을 관찰하였다.

어류의 음향 조건학습 및 청각 특성을 측정하기 위하여 사용한 음향자극은 주파수 50, 80, 100, 200, 300Hz의 5종류의 순음을 이용하였으며, Fig. 2와 같이 측정주파수 중 100Hz의 순음을 약 120dB (0 dB re 1 μ Pa) 이상의 음압과 함께 직류 전압 7V의 전기 자극을 갯장어에 주면서 조건 학습시켰다.

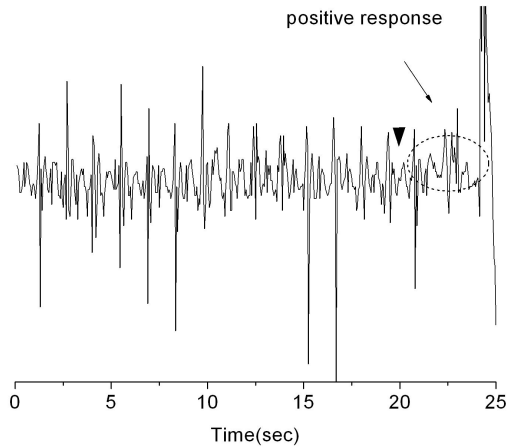
실험어의 심박간격이 안정상태를 나타낼 때 지속시간 5초간의 순음을 방성하였으며, 방성개시 약 3초 후에 지속시간 0.1초의 전기 자극을 가하면서 조건학습을 시켰다. 이와 같은 조건학습에 대한 어류의 반응의 판정은 Fig. 3과 같이 음자극을 주기 전보다 음자극을 주었을 때의 심박 간격이 넓었을 때를 반응이 있는 것으로 판단하였다. 이러한 조건학습은 순음을 방성하였을 때 3



[Fig. 2] The process for conditioning Sharp toothed eel.

회 이상 연속으로 심박간격에 변화가 나타나면 음에 대한 학습이 완료된 것으로 간주하였고, 각각의 학습 실험 모두 전기 자극 후 어류의 심박이 정상적으로 될 수 있도록 3~5분 이상의 시간 간격을 두어 음향 학습을 시켰다. 이와 같이 실험어에 대하여 음향 조건 학습을 완료시킨 후 음압을 약 5dB씩 감소시켜 방성하면서 심박 간격을 관찰하였으며, 이때 신호음에 대하여 실험어가 반응을 나타내었을 경우 학습 효과를 지속시

키기 위하여 전기 자극을 주었다. 5초 동안의 신호음 방성(▼) 중에 음자극에 대한 반응으로 심박간격의 변화를 보인 경우, 이 때 감지할 수 있는 가장 낮은 음압을 실험어의 청각 문턱치로 하였다.



[Fig. 3] Electrocardiograms of positive response to a pure sound stimulus(▼).

실험어의 청각 임계비는 백색 잡음의 스펙트럼 레벨(S)을 3단계로 설정하여, 이중 가장 낮은 백색 잡음부터 지속적으로 방성하면서 측정주파수에 대한 청각문턱치를 측정하였다. 측정주파수를 120dB에서부터 낮춰가면서 방성하여 청각문턱치를 측정 후, 백색잡음을 약 5dB씩 증가시켜 가면서 청각문턱치를 구한 후 청각임계비를 구하였다. 이들 각각의 청각문턱치 측정은 우연오차를 줄이기 위하여 같은 음압에서 2회 이상 반응이 나타났을 경우에 청각문턱치로 하였다.

배경 잡음이 어류의 청각능력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 사용한 백색 잡음의 음압레벨은 참돔의 청각 문턱치 (Hatakeyama, 1989)에 영향을 미치는 배경 잡음의 스펙트럼 레벨을 기준으로 하였으며, 70dB, 75dB, 80dB의 잡음레벨을 이용하였다. 이때 실험어의 청각 임계비 측정은 청각 문턱치에 사용한 신호음의 주파수 음압을 T, 백색 잡음의 스펙트럼 레벨을 S라 할 때 T-S로

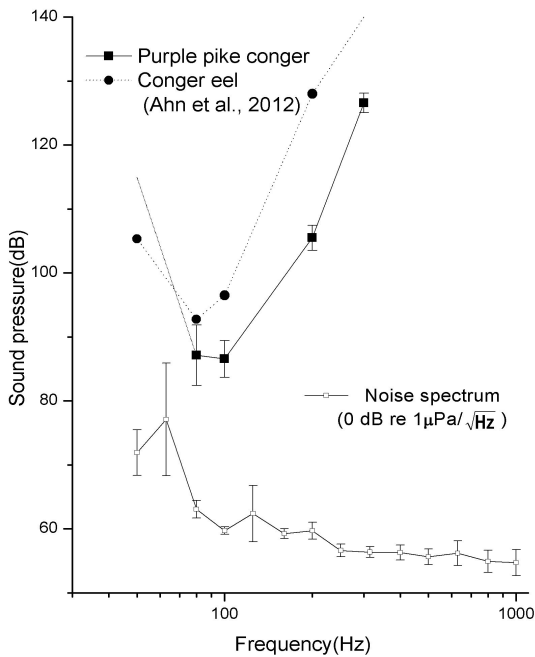
나타내었다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

갯장어에 대한 측정주파수의 청각문턱치를 평균치와 표준편차로 Fig. 4에 1/3 Octave의 배경잡음과 함께 나타내었다. 갯장어의 청각문턱치는 측정주파수 80Hz에서 87dB, 100Hz에서 86dB, 200Hz에서 105dB, 300Hz에서 126dB로 주파수가 높을수록 청각문턱치가 높았으며, 50Hz의 낮은 측정주파수에서도 인식이 어려운 것으로 판단되었다.

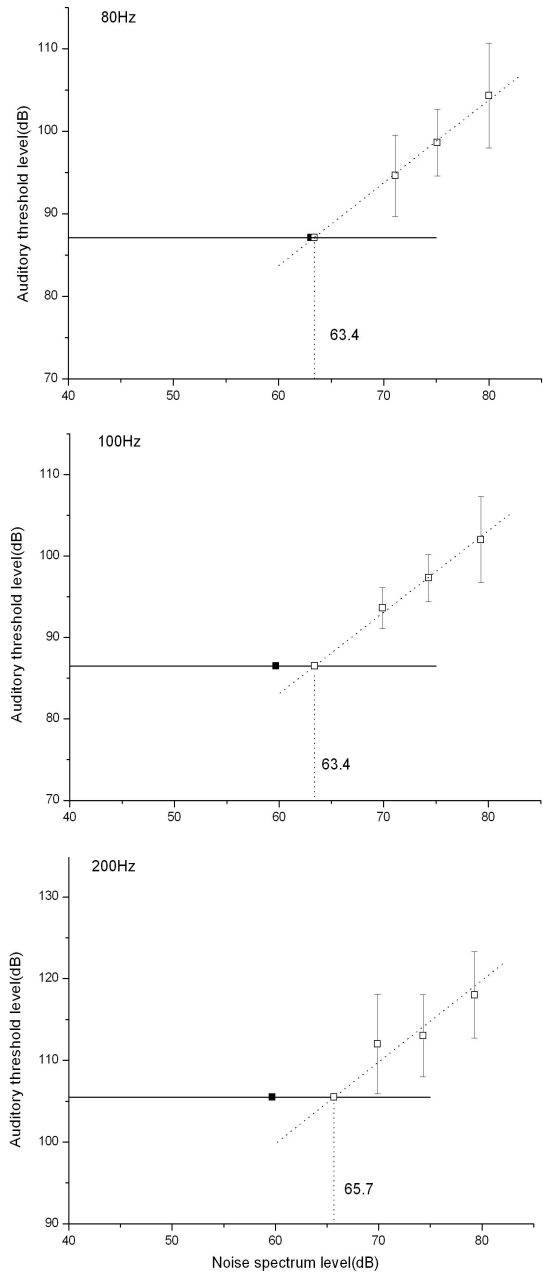
Ahn et al.(2012)의 연구결과에 따르면 같은 뱀장어목인 붕장어의 청각문턱치는 50Hz에서 105dB, 80Hz에서 92dB, 100Hz에서 96dB, 200Hz에서 128dB, 300Hz에서 140dB로 주파수가 높을수록 청각문턱치가 높게 나타나 갯장어와 비슷한 청각문턱치 곡선 형태를 보이고 있으나 측정주파수가 200Hz, 300Hz으로 높아질수록 청각문턱치의 차이와 함께 50Hz에서의 청각문턱치에서 차이를 보였다.

특히, 붕장어는 상대적으로 50Hz~100Hz의 측정주파수에 대하여 민감하게 반응하고 있는 것으로 판단되었으나, 200Hz 이상의 측정주파수에서는 청각문턱치가 높게 나타났다. 갯장어의 경우 200Hz의 측정 주파수에서는 105dB로 나타나 상대적으로 낮은 청각문턱치를 나타내었고, 300Hz에서도 126dB를 나타내어 붕장어와의 차이를 보였다. Matomatsu et al.(1996)의 Black rockfish, Kojima et al.(1992)의 Masu salmon등 여러 연구자들의 실험결과에서 유포어 대부분의 어종에서 100Hz~200Hz의 주파수에서 청각감도가 낮게 나타났고 80Hz에서 상대적으로 높은 청각문턱치를 나타내었으나, Ahn et al.(2012)의 붕장어를 비롯한 갯장어의 장어류는 80~100Hz에서 가장 민감한 청각 감도를 나타내었다.



[Fig. 4] Audiogram of sharp toothed eel(■) with the mean values and deviations including conger eel(●) and spectrum level of background noise(□).

많은 연구에서 어류의 청각능력에 영향을 미치는 가장 큰 요인으로 어류의 부레를 언급한다. 부레는 본래 어체의 비중을 조절하여 부력을 조정하는 기능 이외에, 청각을 보조하는 기능이 있는데, weber 소골을 경유하여 내이와 연결되어 음파 증폭 및 공명 등으로 청각에 영향을 미치는 방법 이외에, 부레의 앞부분의 가느다란 관이 통낭에 도달하여 청각능력에 영향을 미치거나, 부레와 내이 사이에 특별한 연관이 없이 부레의 진동이 내이에 입자변위 형태로 전달되어 청각능력에 영향을 미치는데, 부레를 제거한 후 측정된 청각 감도가 많이 저하되는 보고가 많이 있다. 또한, 일반적으로 부레가 없는 어종은 부레가 있는 어종에 비해 가청주파수 범위가 좁은데, 부레와 내이가 연결되지 않은 비골표류인 참돔이나 텔라피아 등은 그 가청범위가 1500Hz 이하에 분포하고 있는 반면(Ishioka et al., 1988), 부레와



[Fig. 5] Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels at frequencies of 80~200Hz.

내이가 연결되어 있는 골표어 *Carassius auratus*는 가청범위가 50~5000Hz까지 넓게 분포하고 있으며, 최소 청각문턱치도 낮아 청각능력이 우수한

어류로 보고되어 있으며(Fay, 1974), 또한 부레가 없는 *Pleuronectes platessa*와 *Limanda limanda*는 입자의 영향이 없을 경우 30~250Hz의 음 중 110~160Hz에서 가장 높은 감도를 나타내고 있었고, 입자 변위의 영향을 받을 경우 160Hz이하의 주파수에서 감도가 약 10dB이상 상승하고 있다고 보고하였다(Chapman and Sand, 1974). 이와 같이 부레는 어류의 복강내의 위치나 밀도의 차이 등에 의해 음을 탐지하거나 음을 발생하는 데 관여하는 것으로, 청각문턱치를 작게 하기도 하고, 어류가 들을 수 있는 가청범위를 넓게 하는 기능이 있다고 판단되는데, 실험어인 갯장어는 Jerkø et al.(1989)의 보고와 같이 이석과 부레의 상대적 거리에 의한 영향으로 인식할 수 있는 주파수 범위의 특성이 나타나는 것으로 판단되었다.

어류의 청각은 주위의 잡음에 의해서 영향을 받으며, 큰 잡음이 있을 경우 음을 인식하기 어려운 마스킹현상이 나타난다. 청각 임계비는 청각문턱치와 잡음의 비를 의미하는데, 청각문턱치와 청각에 미치는 영향을 평가하기 위한 자료로 측정 주파수의 음을 인식하기 위해서는 음압이 잡음스펙트럼 레벨에서 청각 임계비 이상 높아야 한다. Fig. 5는 실험어 4마리에 대하여 각 레벨의 백색 잡음을 발생시켰을 때의 측정주파수 80~200Hz 범위에 대한 청각문턱치로 잡음의 레벨이 높아지면 잡음변화에 따른 청각문턱치도 높게 나타나 잡음에 의한 마스킹현상이 나타났다.

갯장어의 잡음에 대한 청각 특성을 나타내기 위하여 Kim et al.(2002)와 같이 3단계의 백색잡음 스펙트럼레벨로 측정한 청각 문턱치를 종축, 잡음의 스펙트럼 레벨을 횡축으로 하여 각각의 음압(dB)관계를 기울기가 1인 회귀 직선으로 나타낸 결과, 측정주파수에서의 청각문턱치가 청각 임계비의 직선에서 약간의 이탈이 보이고 있지만 거의 직선에 가깝다고 볼 수 있다. 청각 문턱치와 백색잡음 레벨의 관계에서 어느 정도의 백색잡음레벨까지는 청각 문턱치가 변화되지 않았으

나, 그 이상의 잡음 레벨에서는 백색 잡음 증가분만큼 청각 문턱치도 증가하였다.

이상의 결과에서 2개의 직선 교점으로부터 갯장어의 청각 문턱치에 영향을 미치기 시작하는 백색잡음의 스펙트럼 레벨은 대략 64dB 이상에서 잡음에 대한 마스킹이 발생하여 청각 문턱치가 증가하는 것으로 판단되었다. 특히 측정주파수가 높을수록 청각문턱치가 높아지고, 그에 따라 임계비도 증가하는 경향을 보였으며 80Hz, 100Hz보다 상대적으로 높은 200Hz의 측정주파수에서 각 잡음레벨에 대한 청각문턱치는 임계비 직선에서 좀더 큰 이탈을 보이고 있어 측정주파수가 높아질수록 잡음의 영향이 크게 나타나는 것으로 추정된다.

실험 결과 갯장어는 측정주파수 80~300Hz의 순음을 지각할 수 있는 것으로 추측되나 80~100Hz의 범위의 순음을 가장 민감하게 지각하고 있는 것으로 판단되었다. 측정과정 중 측정주파수가 80Hz, 100Hz의 주파수에서 신호음의 음압이 낮을수록 청각문턱치는 신호음에 대하여 곧바로 반응하지 않고 다소 시간이 흐른 후 심박파형의 변화가 나타나는 경우가 많기 때문에 보다 세심한 관측이 필요하며, 수온에 따른 청각문턱치 변화 측정도 필요하다고 판단된다. 그리고 봉장어의 임계비와 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다.

어류의 경우 일반적으로 청각 문턱치의 음압과 배경 잡음 스펙트럼 레벨과의 차이는 음압 15~20dB 정도이면 어류는 배경잡음과 구별하여 감지할 수 있다고 보고하고 있다. 이 실험결과 갯장어의 경우 임계비가 Fig. 5에서와 같이 80Hz, 100Hz에서 약 24dB, 200Hz에서 약 40dB 정도 나타났다. 연안 개발에 따른 많은 수중음에 의하여, 갯장어의 경악 등의 스트레스로 인한 성장률 변화 등 여러 영향을 받을 수 있고, 또한 차후 양식기술의 발달로 양식이 이루어질 경우, 이에 관한 음향순치 등 관련된 다양한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

IV. 결론

음향순치, 연안 개발에 따른 소음 피해평가 등 어업자원의 수중음 이용 효율 향상 및 수중음에 대한 청각 특성의 기초자료를 제공할 목적으로 남해 연안에서 어획되는 갯장어를 대상으로 음향에 대한 청각능력을 측정하였다. 측정주파수 100Hz의 순음과 7V의 직류전압의 전기자극을 이용하여 음향조건 학습을 시킨 후, 측정주파수 50~300Hz의 음압을 임의로 변화시켜가면서 갯장어의 청각문턱치 및 백색잡음에 대한 청각임계비를 조사한 결과, 측정주파수 50~300Hz중에서 80~100Hz의 음을 가장 민감하게 인식하고 있었고, 측정주파수 80Hz, 100Hz에 대한 각각의 청각문턱치는 약 87dB, 86dB로 나타났으며, 200Hz와 300Hz의 측정주파수에서는 105dB와 126dB 이상으로 나타나 음향순치 또는 음향급이기 등 어업적 이용은 어려운 것으로 판단된다. 갯장어의 청각 임계비 측정을 위하여 백색잡음의 레벨을 3단계로 백색잡음을 방성하였을 때, 갯장어의 청각문턱치는 잡음레벨이 높을수록 측정주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz에서 청각문턱치가 증가하는 마스킹 현상이 나타났다. 청각임계비는 백색잡음이 70dB일 때, 청각문턱치가 민감한 측정주파수 80Hz, 100Hz에서 약 24dB이고, 측정주파수가 200Hz로 높아짐에 따라 임계비는 약 40dB 높았다. 잡음에 의한 마스킹 현상은 80Hz와 100Hz 각 측정주파수에서 대략 음압 64dB의 잡음레벨 이상에서 나타나기 시작하였다.

Reference

Ahn, J. Y. · Lee, C. H. · Kim, Y. J. and Park, Y. S.(1998). The auditory thresholds and fish behaviors to the underwater sounds for luring of target species at the set-net in the coast of Cheju(I). -The auditory threshold of the yellow tail(*seriola quinqueradiata*), Bull.

Korean Soc. Fish. Tech., 34(4), 386~392.
 Ahn, J. Y. · Lee, C. H. · Kim, Y. J. and Park, Y. S.(1999). The auditory thresholds and fish behaviors to the underwater sounds for luring of target species at the set-net in the coast of Cheju(II). -Critical ratios of the yellow tail(*seriola quinqueradiata*), Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 35(1), 19~24.
 Ahn, J. Y. · Park, Y. S. · Choi, C. M. · Kim, S. J. and LEE, C. H.(2012). Hearing Ability of Conger eel *Conger myriaster* caught in the Coast of jeju Island, J. Kor. Soc. Fish. Tech., 48(4), 479~486.
 Cha, H. K. · Seo, Y. I. · OH, T. Y. · Kim, H. Y. · Lee, S. G. and Choi, M. U.(2012). Reproductive ecology of the sharp toothed eel in the southern korean waters, J. Kor. Soc. Fish. Tech., 48(3), 217~226.
 Chapman, C.J. and Sand, O.(1974). A field study of hearing in two species of flatfish, *Pleuronectes platessa*(L) and *Limanda limanda*(L), Comp. Biochem. Physiol., 47, 371~385.
 Fay. R. R.(1974). Masking of tones by noise for the goldfish *Carassius auratus*, J. comp. physiol., 87, 147~167.
 Hatakeyama, Y.(1989). Masking effect on the hearing of red sea bream, *Pagrus major*, by ambient noise, Int. J. Aq. Fish. Technol., 1, 271~277.
 Hatakeyama, Y.(1992). The hearing abilities of fish, Fisheries Engineering, 28, 111~119.
 Ishioka, H. · Hatakeyama, Y. and Sakaguchi, S.(1988). The hearing ability of the red sea beam *Pagrus major*, Nippon Suisan Gakkaishi, 54, 947~951.
 JerkΦ H. · Turunen-Rise, I. · Enger, P. S. and Sand, O.(1989). Hearing in the eel, J. Comp. Physiol A., 165, 455~459.
 Kim, S. H. · Lee, C. H. · Seo, D. O. and Kim, Y. J.(2002). A basic study on acoustic conditioning of fish suitable for a marine ranch, 1. The sound sensitivity of of japanese parrot fish *Oplegnathus fasciatus*, J. Korean Fish. Soc. 35(6), 563~567.
 Kojima, T. · Shimamura, T. · Yoza, K. · Okumoto, N. · Hatakeyama, Y. and Soeda, H.(1992).

- W-shaped auditory threshold curves of masu salmon *Oncorhynchus masou*, Nippon Suisan Gakkaishi, 58(8), 1447~1452.
- Lee, C. H. · Moon, J. W. and Seo, D. O.(2000). The hearing ability of the dusky spinefoot *iganus fuscescens*(Houttuyn) to audible sound. 2. The auditory critical ratio., Jour. Fish. Mar. Sci. Edu., 12(2), 191~198.
- Lee, C. H., Park, Y. S. · Moon, J. W. · Ahn, J. Y. · Kim, S. J. and Seo, D. O.(1999). The hearing ability of the scorpion fish *sebastiscus marmoratus* to audible sound, 1. The auditory threshold, Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 35(2), 156~160.
- Motomatsu, K., Hiraishi, T. · Yamamoto, K. and Nashimoto, K.(1996). Auditory threshold and critical ratio of black rockfish *Sebastes schlegeli*, Nippon Suisan Gakkaishi, 62(5), 785~790.
- NFRDI(2004). Commercial fishes of the coastal & offshore waters in Korea. National Fisheries Research and Development Institute. Han-Geul Publish, Co., pp. 333.
- Park, Y. S. · Iida, K. and Nashimoto, K.(1995). Ratio of auditory threshold levels to artificial background noise spectrum levels in walleye pollock *Theragra chalcogramma*, Nippon Suisan Gakkaishi, 61(6), 847~853.
- Park, Y. S. · Lee, C. H. · Moon, J. W. · Ahn, J. Y. and Seo, D. O.(1999). Auditory threshold of black rock fish, Jour. Fish. Mar. Sci. Edu., 11(1), 88~97.
- Park, Y. S. · Lee, C. H. · Moon, J. W. · Ahn, J. Y. and Seo, D. O.(2000). The auditory critical ratio of the black rock fish *sebastes schlegeli*, Jour. Fish. Mar. Sci. Edu., 12(1), 1~10.
- Seo, Y. J. · Kim, S. H. · Kim, B. Y. · Lee, C. H. and Seo, D. O.(2003). A fundamental study on the auditory characteristics of Amberjack *seriola dumerili* in the coast of jeju island, Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 39(4), 269~275.
-
- 논문접수일 : 2013년 01월 25일
 - 심사완료일 : 1차 - 2013년 04월 12일
 - 게재확정일 : 2013년 04월 15일