

제주 연안에서 어획된 황놀래기의 청각 능력

최찬문 · 박용석* · 이창현†

(† 제주대학교 · *해양수산연구원)

Hearing Ability of Bambooleaf wrasse *Pseudolabrus japonicus* caught in the coast of Jeju

Chan-Moon CHOI · Yong-Seok PARK* · Chang-Heon LEE†

(†Jeju National University · *Resources Researches Institute)

Abstract

In order to improve the availability of underwater sound by the fundamental data on the hearing ability, the auditory thresholds for the bambooleaf wrasse *pseudolabrus japonicus* were determined at 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz and 800Hz by heartbeat conditioning method using pure tones coupled with a delayed electric shock. The audible range of the bambooleaf wrasse extended from 80Hz to 800Hz with the best sensitivity around 100Hz and 200Hz.

In addition, the auditory thresholds over 300Hz increased rapidly. The mean auditory thresholds of the bambooleaf wrasse at the test frequencies, 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz and 800Hz were 100dB, 95.1dB, 94.8dB, 109dB, 121dB and 125dB, respectively.

Auditory critical ratios for the bambooleaf wrasse were measured using masking stimuli with the spectrum level range of about 70, 74, 78dB (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 Auditory masking by the white noise spectrum level was started over about 60dB within 80~300Hz. Critical ratios to be measured at frequencies from 80Hz to 300Hz were minimum 33dB and maximum 39dB.

Key words : Bambooleaf wrasse, Hearing Ability, Underwater Audible Sound, Auditory threshold, Critical ratio

I. 서론

남획 등에 따른 수산자원의 회복 지연으로 어획량이 자연감소로 우리나라 뿐만 아니라 중국, 일본 등 주변국을 포함한 여러 나라에서는 감소하는 자연어획량을 대체하기 위하여 양식산업의 정책을 강화함과 더불어 참치, 뱀장어 등의 양식 기술도 발달하고 있으며, 2006년을 기점으로 양식 생산량이 자연어획량을 추월한 상태이다. 우리나라 연근해에서도 최근 어선어업의 어획 대상

어종 뿐만 아니라 어로형태 및 수산물의 수요형태에도 변화가 일어나고 있는데, 과거 그렇게 주목받지 않았던 어종이 지금은 어선어업의 주요 어획 대상이 될 뿐만 아니라 일부는 양식기술의 발전으로 양식대상 어종이 되어 있다. 따라서 이러한 수산물의 변화에 맞게 현재의 중요한 어종만이 아닌 모든 유용어류에 대하여 다방면의 연구를 지속하여야 하는 것이 무엇보다도 필요한 실정이다. 황놀래기는 주로 내만의 해조류가 많은 얕은 암초지대에 서식하는 어종으로 아직까지는

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

상업 경제적으로 타 어종에 우위를 점하고 있지는 못하나 점차 헛감으로 많이 사용되고 있는 편인데, 그 행동특성에 대하여는 많이 알려져 있지 않아 관련 연구가 많은 관심을 불러일으키고 있다.

일반적으로 어류에 관한 음향학적 연구는, Ahn et al.(2012) 및 Ahn and Lee(2013)은 붕장어 및 갯장어의 청각능력, Lee et al.(1999, 2000)은 솜뱅이와 독가시치의 청각능력에 관한 연구, Park et al.(1995)는 명태의 청각에 대한 연구, Kim et al.(2002)은 해양목장을 위한 돌돔의 청각 특성에 대한 연구, Seo et al.(2003)은 갯방어의 청각에 관한 연구 등 주로 음향을 이용한 어구어법의 개발과 어구에 대한 어류의 행동 양상 연구에 많이 이용되어 왔다.

어류의 청각능력에 대한 연구에서 주파수는 일반적으로 주파수 100Hz에서 1,000Hz의 범위에 가장 민감한 반응을 나타내고 있으며, 골표류는 60~80dB의 음압, 비골표류는 음압 90~110dB의 청각문턱치를 나타낸다고 Hatakeyama(1992)는 보고하는 등 많은 연구자에 의해 청각능력이 확인되고 있다. 육상 개발에 따라 발생하는 소음이나 진동이 육상 수조양식어류의 행동에 미치는 영향 등 다수 있으나 청각특성을 어류의 행동에 응용한 연구는 육상소음에 그치고 있다. 특히 최근 들어 다양한 어류의 양식 기술이 발전함에 따라 음향급이 등 어류 청각특성의 어업적 이용에 관한 연구도 많이 필요한 실정이며, 이와 함께 해상풍력발전기 설치 또는 항만 등의 연안 개발이 이루어짐에 따라, 이들에게서 발생하는 소음이 주변 해역에 서식하는 어종에 미치는 영향 등을 정량적으로 평가하기 위해서는 여러 관련 어종의 청각능력을 측정하는 것이 필수적이다.

이 연구는 제주연안역에서 많이 어획되고 있으면서 식용으로 점차 인기가 높아가는 황놀래기의 음향을 이용한 어류 순치 및 이를 이용한 음향급이기 개발 등 어업적 이용을 위한 기초자료를 제공할 목적으로, 황놀래기의 청각문턱치를 측정

하였다.

II. 재료 및 방법

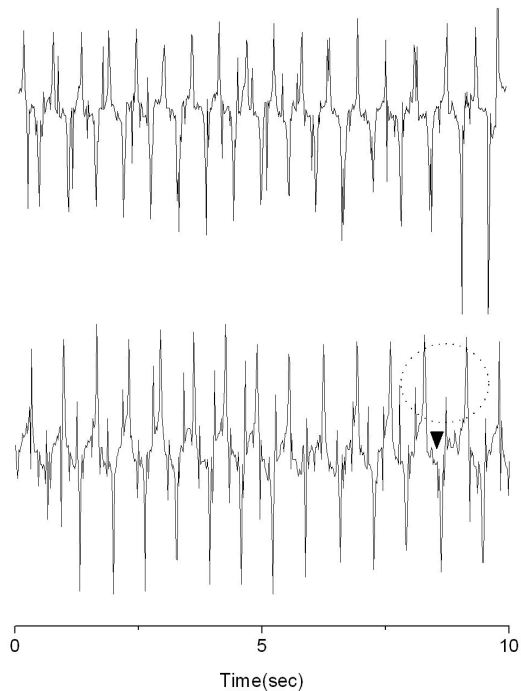
실험어인 황놀래기 *Pseudolabrus japonicus*는 제주 동부 연안에서 어획한 후 제주대학교 해양과학연구소의 사육수조로 옮겨 약 1개월 순치시켰다. 실험에 사용된 황놀래기의 체장은 160~190mm, 체중은 80g 내외였다. 사육 실험어 중 17마리에 대하여 청각문턱치 결과를 얻었다. 사육중의 수온은 11.0℃~14.0℃의 분포를 나타내었고, 사육수조에서 실험수조로 옮긴 후 실험수조에 순응되도록 최소 약 4시간 이상 지난 후 청각능력 측정 실험에 사용하였으며, 측정하는 동안 수조의 소음을 최소로 줄이기 위하여 물의 흐름을 거의 정지시켰다.

황놀래기의 청각 특성을 조사하기 위하여 Ahn and Lee(2013) 및 Ahn et al.(2012)와 같이 공중 스피커 (WCOM, SS-1200), 신호 발생기 (NF, 1942)와 잡음 발생기(B&K, 1405)를 믹서(INKEL, MX-642)에 연결하여 신호음과 백색잡음을 방성하였으며, 백색잡음의 주파수에 따른 감쇄를 보완하기 위해 이퀄라이저 (INKEL, EQ-9231)를 사용하였다. 심전도 도출은 낚시바늘을 이용하였으며, 황놀래기를 마취시킨 후 지느러미 아래 부근에 낚시 끝 부분을 삽입한 후, 오실로스코프 (Tektronix, TDS-340)를 이용하여 실험어의 심박간격을 측정하였다.

어류의 음향 조건학습 및 청각 특성을 측정하기 위하여 사용한 음향자극은 주파수 80, 100, 200, 300, 500, 800 Hz의 6종류의 순음을 이용하였으며, 측정주파수 중 100Hz, 200Hz의 하나의 순음을 약 120 dB (0 dB re 1μPa) 이상의 음압과 함께 직류 전압 7V의 전기 자극을 실험어에 주면서 조건학습시켰다.

어류 음향 조건학습은 실험어의 심박간격이 안정상태를 나타낼 때 지속시간 5초간의 순음을 방성하였으며, 방성개시 약 3초 후에 지속시간

0.1초의 전기 자극을 가하면서 학습을 시켰다. 이와 같은 조건학습에 대한 어류의 반응의 판정은 음자극을 주기 전보다 음자극을 주었을 때의 심박 간격이 넓었을 때를 반응이 있는 것으로 하였으며, 음자극에 대한 반응이 [Fig. 1]과 같이 5초 동안 방성 중 심박간격의 변화를 보인 경우의 자극음압을 청각문턱치로 이용하였다.



[Fig. 1] Electrocardiograms of positive response to a pure sound stimulus(▼)

측정 주파수중 임의의 한 주파수에 대해 방성하였을 때 3회 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 3~5dB씩 감소시켜 방성하면서 심박 간격을 관찰하였으며, 실험어가 감지할 수 있는 가장 낮은 음압을 실험어의 청각 문턱치

로 취하였다.

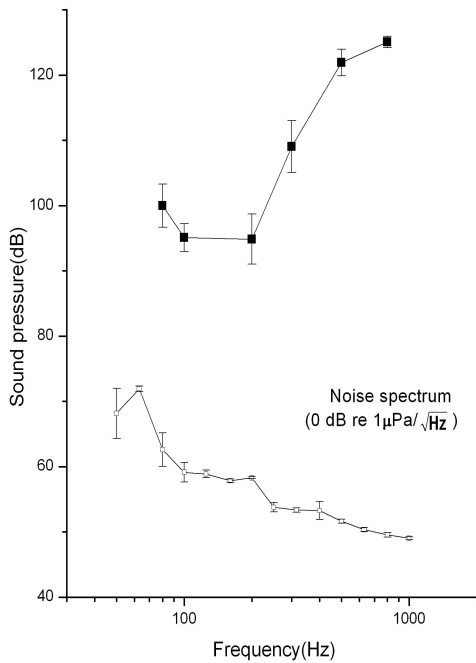
실험어의 청각 임계치는 어획한 후 사육수조에서 약 7개월 가량 순치시킨 후 실시하였는데, 실험시의 수온이 25.0~28.0°C의 분포를 나타내었다. 사육수조에서 실험수조로 옮긴 후 실험수조에 순응되도록 최소 약 4시간 이상 지난 후 청각능력 측정 실험에 사용하였으며, 체장은 170~190mm, 체중 90~120g으로 총 6마리에서 결과값을 얻었다. 100Hz 또는 200Hz의 순음을 120dB이상으로 방성하여 연속으로 5회 이상 양의 반응이 나타나면 학습완료로 간주하여, 백색 잡음의 스펙트럼 레벨(S)의 최저 단계의 백색 잡음을 방성하면서 측정주파수를 3~5dB 씩 감소시켜 측정주파수에 대한 청각문턱치를 측정하였다. 최저 백색잡음 레벨에 대한 청각 문턱치를 구한 후, 중간 및 최고 레벨의 백색잡음을 방성하면서, 각각의 백색잡음 레벨에 대한 청각문턱치를 구하였다. 이들 청각 문턱치 측정은 수조에서의 물에 의한 소음발생을 억제하고, 우연 오차를 줄이기 위하여 같은 음압에서 2회 이상 반응이 나타났을 경우에 청각문턱치로 하였다.

배경 잡음이 어류의 청각능력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 사용한 백색 잡음레벨은 약 70dB, 74dB, 78dB를 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

황놀래기에 대한 측정주파수의 청각문턱치를 평균치와 표준편차를 [Fig. 2]에 1/3 Octave의 배경잡음과 함께 나타내었다. 황놀래기의 측정주파수에 대한 각각의 청각문턱치는 80Hz에서 100dB, 100Hz에서 95.1dB, 200Hz에서 94.8dB, 300Hz에서 109dB, 500Hz에서 121dB, 800Hz에서 125dB로 주파수가 높을수록 청각문턱치가 높았다.

또한, 어류의 청각은 주위의 잡음에 의해서 영



[Fig. 2] Audiogram of Bambooleaf wrasse with the mean values and deviations including spectrum level of background noise(□)

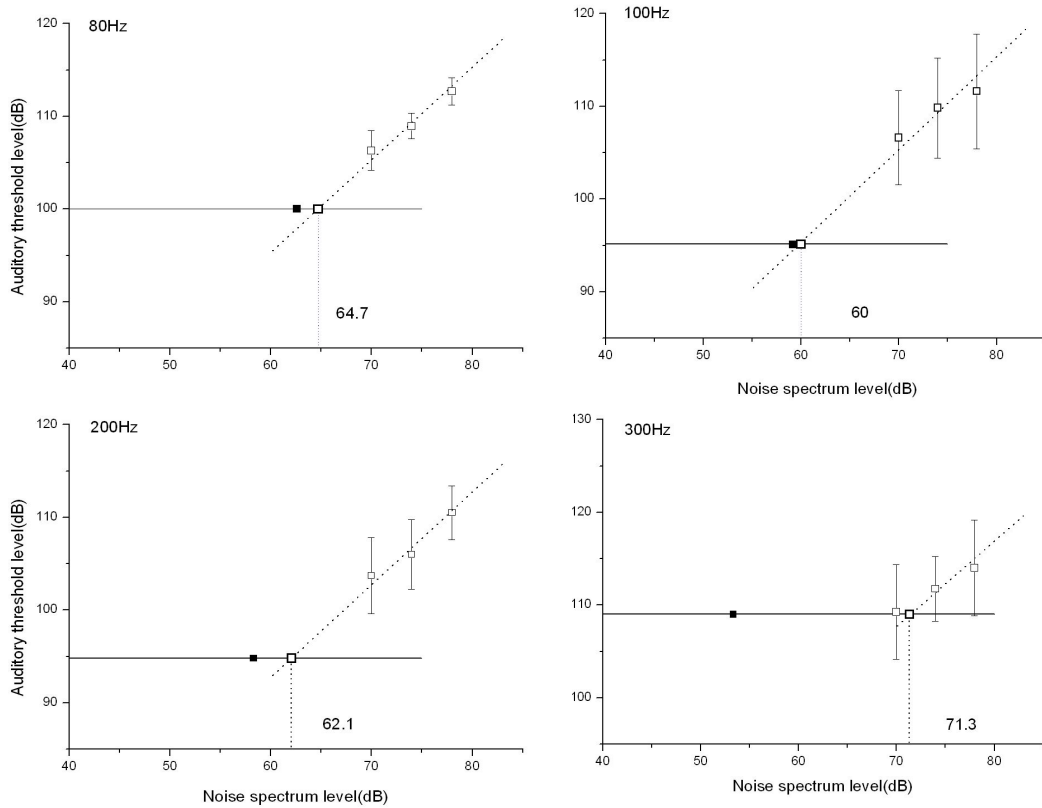
향을 받으며, 큰 잡음이 있을 경우 음을 인식하기 어려운 마스킹현상이 나타난다. 청각 임계비는 청각문턱치와 잡음의 비를 의미하는데, 청각문턱치와 청각에 미치는 영향을 평가하기 위한 자료로 측정 주파수의 음을 인식하기 위해서는 음압이 잡음스펙트럼 레벨에서 청각 임계비 이상 높아야 한다. [Fig. 3]은 황놀래기 6마리에 대하여 각 레벨의 백색 잡음을 발생시켰을 때의 측정주파수 80~300Hz 범위에 대한 청각문턱치로 잡음의 레벨이 높아지면 잡음변화에 따른 청각문턱치도 높게 나타나 잡음에 의한 마스킹현상이 나타났다.

실험어의 잡음에 대한 청각 특성을 나타내기 위하여 Kim et al.(2002)와 같이 3단계의 백색잡음 스펙트럼레벨로 측정한 청각 문턱치를 중축, 잡음의 스펙트럼 레벨을 횡축으로 하여 각각의

음압(dB)관계를 기울기가 1인 회귀 직선으로 나타내었을 때, 백색잡음 방성시 측정주파수에서의 청각문턱치의 평균이 청각 임계비의 직선에서 약간의 이탈이 나타나고 있지만 거의 직선에 가깝게 나타났다. 실험 결과, 청각 문턱치와 백색잡음 레벨의 관계에서 어느 정도의 백색 잡음레벨까지는 청각 문턱치가 변하지 않고, 그 이상의 잡음 레벨에서는 백색 잡음 증가분만큼 청각 문턱치도 증가하는 것으로 판단되며, 80Hz에서 64.7dB, 100Hz에서 60dB, 200Hz에서 62.1dB, 300Hz에서 71.3dB에서 잡음에 대한 청각문턱치가 증가하는 것으로 판단되었다. 특히, [Fig. 3]에서 300Hz의 임계비는 다른 측정주파수에 비하여 잡음의 증가에 따라 청각문턱치에 영향을 미치기 시작하는 레벨과 다소의 차이를 나타냈으며, 오히려 백색잡음 방성시의 청각문턱치가 낮게 측정되었다. 이것은 배경잡음하에서 측정된 청각문턱치 측정에서, 좁은 심박간격, 낮은 수온에 따른 움직임의 둔화 등 여러 요소로 인하여 측정에 오차가 있는 것으로 판단되었다. 따라서 황놀래기의 임계비 측정중 가장 적은 값 103dB을 적용할 경우, 황놀래기의 잡음에 의한 마스킹은 약 64dB 정도부터 시작되는 것으로 판단되었다.

이상의 결과에서 2개의 직선 교점으로부터 황놀래기의 청각 문턱치에 영향을 미치기 시작하는 백색잡음의 스펙트럼 레벨은 대략 60dB 이상에서 잡음에 대한 마스킹이 발생하여 청각 문턱치가 증가하는 것으로 판단되었다. 특히 측정주파수가 높을수록 청각문턱치가 높아지고, 그에 따라 임계비도 증가하는 경향을 보였다.

[Fig. 4]에서 황놀래기의 청각문턱치와 Park et al.(1999)의 조피볼락의 청각문턱치를 비교하면 300Hz에서 약간의 차이를 보인 것 외에 대부분의 측정주파수에서는 상당히 근사한 값을 보이고 있다. 조피볼락은 바다목장에 적합한 주요 어종의 하나로서 청각문턱치는 주로 100Hz와 200Hz에서 가장 민감한 청각반응을 나타내었고 300Hz에서도 100dB 이내의 청각문턱치를 나타내면서



[Fig. 3] Relation between auditory thresholds and noise spectrum levels at frequencies of 80~300Hz

주파수가 높아질수록 높은 값을 나타내었으나, 황놀래기는 300Hz에서 급격히 높아지는 분포를 나타내었고 300Hz에서의 청각문턱치는 109dB이었다. [Fig. 3]의 300Hz에서 백색잡음에 대한 청각문턱치는 백색잡음이 없을 때의 청각 문턱치보다 오히려 낮게 측정되었는데, 이것은 [Fig. 2]의 배경잡음 발생시 청각문턱치 측정에 다소의 오류가 있는 것으로 판단되었다. [Fig. 1]에서 황놀래기의 심박간격은 0.5~1초 범위인데, 보통 1.5~2초의 간격을 보이는 Park et al.(1999, 2000), Ahn et al.(2012, 2013)의 조피볼락, 붕장어, 갯장어 등의 타 어종에 비하여 그 심박 간격이 좁았고, 또한 실험내내 일정하게 안정된 간격을 보이지 않았다. 청각문턱치의 측정온도는 11.0~14.0℃이고, 청각임계비의 측정온도는 25.0~28.0℃의 범위에서 각각 시행되었는데, 황놀래기의 경우, 11.0~14.0℃의 낮은 온도, 심박의 불안정 및 좁은 간격은 조

피볼락이나 장어류에 비해 정확한 청각문턱치 측정을 어렵게 만들었으며, 청각문턱치 측정에서 오차 수반의 요인으로 판단되었다. 특히 수온이 낮으면 어류의 대사도 느려지게 되는데, 낮은 수온에서 측정된 청각문턱치는 청각능력이 떨어진다고 보다는 문턱치 측정이 좀더 세심하게 이루어지지 않은 결과로 보이며, 주파수가 높을수록 오차개입 가능성이 높아지는 것으로 판단되어, 차후 많은 보완실험이 필요하다고 사료된다. 또한, 좁은 심박간격으로 인하여 많은 오차를 유발할 가능성이 높았는데, 이러한 좁은 심박 간격으로 인하여, 임계비 측정에서 문턱치 측정에 따른 편차가 넓어지는 원인으로 나타난 것으로 판단되었다.

Ahn et al.(2012)의 연구결과에 따르면 [Fig. 4]와 같이 뱀장어목인 붕장어, 갯장어의 청각문턱치는 주로 80Hz와 100Hz에서 가장 낮은 청각문

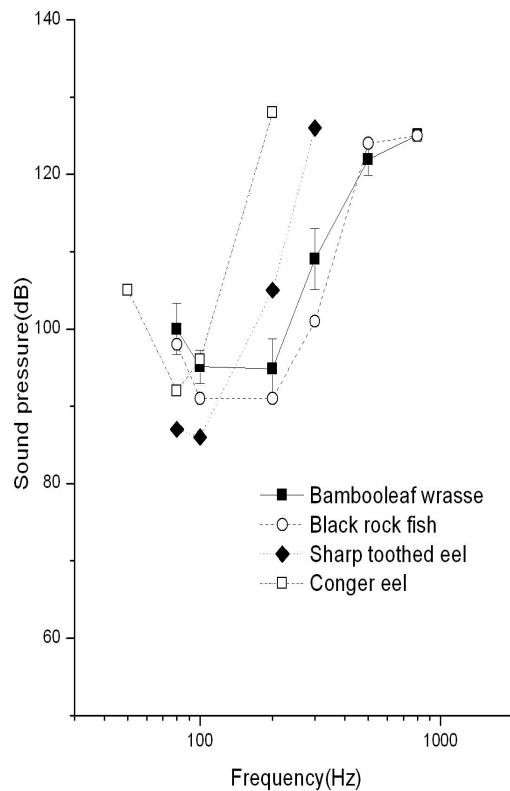
턱치를 나타내어 민감하게 반응하고 있으나 Park et al.(1999), Motomatsu et al.(1996)의 Black rockfish, Kojima et al.(1992)의 Masu salmon, 등 여러 연구자들의 실험결과에서 100Hz~200Hz의 주파수에서 청각감도가 낮게 나타났고 80Hz에서 상대적으로 높은 청각문턱치를 나타내었으며, 이 실험에서 사용한 황놀래기의 청각문턱치도 비슷한 분포를 나타내어 장어류와 차이를 보였다.

어류의 청각과 관련된 많은 연구에서 청각능력에 영향을 미치는 요소인 어류의 부레는 본래 어체의 비중을 조절하여 부력을 조절할 뿐 아니라 부레의 앞부분의 가느다란 관이 통낭과 연결되어 청각능력에 영향을 미치거나, 부레와 내이 사이에 특별한 연관이 없이 부레의 진동이 내이에 입자변위 형태로 전달되어 청각능력에 영향을 미치며, weber 소골을 경유하여 내이와 연결되어 음파 증폭 및 공명 등으로 청각에 영향을 미치는 등 청각을 보조하는 기능이 있는데, 부레 제거 후 측정된 청각 감도가 많이 저하되는 보고가 많다. 부레와 내이가 연결되지 않은 비골표류인 참돔이나 텔라피아 등은 그 가청범위가 1500Hz 이하에 분포하고 있는 반면(Ishioka et al., 1988), 부레와 내이가 연결되어 있는 골표어 *Carassius auratus*는 가청범위가 50~5000Hz까지 넓게 분포하고 있어 일반적으로 부레가 없는 어종은 부레가 있는 어종에 비해 가청주파수 범위가 좁게 나타났으며, 최소 청각문턱치도 낮아 청각능력이 우수한 어류로 보고되어 있다(Fay, 1974). 이와 같이 부레는 어류의 복강내 위치나 밀도의 차이 등으로 음을 탐지하거나 음 발생등에 관여하는 것으로, 낮은 청각문턱치뿐만 아니라 어류가 인식할 수 있는 가청범위를 넓히는 기능이 있다고 판단된다.

실험 결과 황놀래기는 측정주파수 80~800Hz의 순음을 지각할 수 있는 것으로 추측되나 100~200Hz의 범위의 순음을 가장 민감하게 인식하고 있는 것으로 판단되었다. 측정과정 중 측정주파수에 대한 심박간격이 좁고 또한 심박간격에 편

차가 다소 나타나 측정주파수에 대한 청각문턱치 측정시 보다 세심한 관측이 필요하였다.

어류의 경우 일반적으로 청각 문턱치의 음압과 배경 잡음 스펙트럼 레벨과의 차이가 약 15~20dB 정도이면 구별하여 감지할 수 있다고 보고하고 있다(Hatakeyama, 1989). 이 실험결과 황놀래기의 임계비가 [Fig. 3]에서와 같이 대부분의 측정주파수에서 약 30dB이상 40dB이내로 나타났다. 연안 개발에 따른 많은 수중음은 실험어를 포함한 많은 연안 서식 어종에 있어서는 경악스러운 정도의 스트레스로 작용하여 성장률 변화 등 여러 영향을 받을 수 있는 한편, 차후 양식기술의 발달과 함께 어류의 음향순치 등 관련된 다양한 연구가 필요하다고 판단된다.



[Fig. 4] Comparison of Auditory thresholds of Bambooleaf wrasse (■) and other species

IV. 결론

어류의 음향순치, 연안 개발에 따른 소음 피해 평가 등 어업자원의 수중음 이용 효율 향상 및 수중음에 대한 청각 특성의 기초자료를 제공할 목적으로 제주 연안에서 어획되는 황놀래기를 대상으로 음향에 대한 청각능력을 측정하였다. 측정주파수 100Hz 또는 200Hz의 순음과 7V의 직류 전압의 전기자극을 이용하여 음향조건 학습을 시킨 후, 측정주파수 80~800Hz에서 음압을 임의로 변화시켜가면서 황놀래기의 청각문턱치 및 백색 잡음에 대한 청각임계비를 조사한 결과, 측정주파수 80~800Hz중에서 100~200Hz의 음을 가장 민감하게 인식하고 있었고, 측정주파수 80Hz에서 100dB, 100Hz에서 95.1dB, 200Hz에서 94.8dB, 300Hz에서 109dB, 500Hz에서 121dB과 800Hz에서 125dB로 주파수가 높을수록 청각문턱치가 높아 높은 주파수에서 음향순치 또는 음향급이기 등 어업적 이용은 어려운 것으로 판단된다.

황놀래기의 청각 임계비 측정을 위하여 백색잡음의 레벨을 3단계의 강도로 방성하였을 때, 실험어의 청각문턱치는 잡음레벨이 높을수록 측정주파수 80Hz, 100Hz, 200Hz, 300Hz에서 청각문턱치가 증가하는 마스킹 현상이 나타났다. 청각임계비는 측정주파수에 대하여 약 33dB에서 39dB 범위였으며, 잡음에 의한 마스킹 현상은 측정주파수에서 대략 60dB의 음압레벨에서 나타나기 시작하였다.

Reference

Ahn, Jang-Young · Park, Yong-Seok · Choi, Chan-Moon · Kim, Seok-Jong · LEE, Chang-Heon(2012). Hearing Ability of Conger eel *Conger myriaster* caught in the Coast of jeju Island, Journal of the Korean Society of Fisheries Technology 48(4), 479~486.
 Ahn, Jang-Young · LEE, Chang-Heon(2013). Hearing Ability of Sharp Toothed eel *Muraenesox cinereus* caught in the southern korean waters, Journal of

Fisheries and Marine Sciences Education 25(2), 341~348.
 Fay, R. R.(1974). Masking of tones by noise for the goldfish *Carassius auratus*, Journal of Comparative and Physiological Psychology 87, 147~167.
 Hatakeyama, Y.(1989). Masking effect on the hearing of red sea bream, *Pagrus major*, by ambient noise, International Journal of Aquaculture and Fisheries Technology 1, 271~277.
 Hatakeyama, Y.(1992). The hearing abilities of fish, Fisheries Engineering 28, 111~119.
 Ishioka, H. · Hatakeyama, Y. & Sakaguchi, S.(1988). The hearing ability of the red sea beam *Pagrus major*, Nippon Suisan Gakkaishi 54, 947~951.
 Kim, Seong-Ho · Lee, Chang-Heon · Seo, Doo-Ok · Kim, Yong-Ju(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*, Journal of the Korean Fisheries Society 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, Chang-Heon · Park, Yong-Seok · Moon, Jong-Wook · Kim, Seok-Jong · Ahn, Jang-Young · Seo, Doo-Ok (1999). The hearing ability of the scorpion fish *sebastiscus marmoratus* to audible sound, 1. The auditory threshold, Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology 35(2), 156~160.
 Lee, Chang-Heon · Moon, Jong-Wook · Seo, Doo-Ok (2000). The hearing ability of the dusky spinefoot *siganus fuscescens*(Houttuyn) to audible sound. 2. The auditory critical ratio, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 12(2), 191~198.
 Motomatsu, K. · Hiraishi, T. · Yamamoto, K. & Nashimoto, K.(1996). Auditory threshold and critical ratio of black rockfish *Sebastes schlegeli*, Nippon Suisan Gakkaishi 62(5), 785~790.
 Park, Y. S. · Iida, K. & 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, Yong-Seok · Lee, Chang-Heon · Moon, Jong-Wook

- Ahn, Jang-Young · Seo, Doo-Ok(1999). Auditory threshold of black rock fish, *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education* 11(1), 88~97.
- Park, Yong-Seok · Lee, Chang-Heon · Moon, Jong-Wook · Ahn, Jang-Young · Seo, Doo-Ok(2000). The auditory critical ratio of the black rock fish *Sebastes schlegeli*, *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education* 12(1), 1~10.
- Seo, Yik-Jo · Kim, Seong-Ho · Kim, Byong-Yop · Lee, Chang-Heon · Seo, Doo-Ok(2003). A fundamental study on the auditory characteristics of Amberjack *Seriola dumerili* in the coast of Jeju Island, *Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology* 39(4), 269~275.
-
- 논문접수일 : 2013년 11월 01일
 - 심사완료일 : 1차 - 2013년 11월 26일
 - 게재확정일 : 2013년 12월 02일