

참돔과 조피볼락의 방성음에 관한 연구

황두진^{*} · 노영수^{*} · 손창환^{*}

^{*}국립여수대학교

Study on Underwater Sound of Red Seabream(*Pagrus major*) and Schlegel's Black rockfish(*Sebastes schlegeli*)

Doojin Hwang^{*} · Youngsoo Roh^{*} · Changwhan Son^{*}

^{*}Yosu National University

E-mail : djhwang@info.yosu.ac.kr

요 약

해양에 있어서 음향은 수심의 계측, 정보의 전달 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 최근에 들어와서는 어업에 있어서도 음향을 적극적으로 활용하여 산업에 이용하고자 하는 노력을 하고 있다. 특히 기르는 어업분야에 있어서 식이음(먹이를 먹을 때 나는 소리)등을 이용하여 어류의 행동을 제어하는 기술을 개발하고 있다. 본 연구는 어류의 방성음에 관한 기초적 연구의 일환으로, 우리 나라 남해안에서 주로 서식하고 있는 참돔과 조피볼락을 대상으로 그들이 내는 방성음을 수록하고, FFT분석을 통하여 특성을 파악하였다.

ABSTRACT

In order to obtain the fundamental data on the underwater sound of fishes for marine ranching, The underwater sound of Red Seabream(*Pagrus major*) and Schlegel's black rockfish(*Sebastes schlegeli*) were measured, which character were summarized by FFT analysis.

방성음, 참돔, 조피볼락, 해양목장

Underwater sound, Marine ranching, Red Seabream, Schlegel's black rockfish

1. 서 론

오늘날 수중가청음을 이용하여 어류를 대상으로 유집 또는 구집을 행하는 연구가 매우 다양하게 이루어지고 있다. 어류는 음자극에 대해서 민감한 반응을 보이는데 행동 반응에 따라 천적으로부터 나는 소리에 대한 도피행동을 하는 구집음과 같은 종의 어류로부터 나는 식이음에 대한 색이 행동등과 같은 유집음으로 대별 할 수 있다.

소리는 내는 어종에는 조기, 민어, 오징어, 참돔, 전갱이, 쥐치, 검복, 고등어, 방어, 정어리, 대구 등 50 수종이 알려져 있다. 그리고 소리를 내는 대표적인 포유동물로는 돌고래, 고래¹⁾ 등이 있다.

어류가 내는 소리에는 크게 3가지로 나누어지는데 서식지에서 외부로부터의 적을 쫓기 위해서 내는 음인 위협음, 같은 종의 어류에게 서로의 존

재를 알리기 위한 음인 인식음, 그리고 같은 종들 간의 일종의 위협 신호를 내어 서로를 보호하는 소리인 신호음이 있다.

음향을 이용한 어법으로서 위협음을 내어서 고기의 퇴로를 차단하거나 일정한 우리 속으로 몰아 넣는 등의 어업을 주로 행하여 왔으나, 현재에는 수중 저주파음으로 치어 육성 단계 때부터 먹이를 주면서 학습을 시켜 일정한 해역에 정착시켜 서식하도록 하는 등의 적극적으로 음향을 이용하는 어업으로 발전되어 가고 있다.

이에 대한 연구로서는 조 등(1972)은 잉어, 초어, 붕어, 금붕어, 참돔을 대상으로 한 어류가 내는 소리에 관한 연구, 김상한(1977)은 방어의 소리와 음향에 대한 행동에 관한 연구, 이 등(1977)은 수중가청음에 대한 갯방어 어군의 유집 반응 연구, 김 등(1982)은 농어, 쥐치, 검복의 식이음과 주음 반응 연구, 서 등(1989)은 수중음에 대한 고

등어 어군의 반응, 서 등(1995)은 가칭수중음에 대한 오징어 어군의 위집 연구 등이 있다.

본 연구는 음향집어에 관한 기초적 연구로서 어류의 유집효과에 대한 기초자료를 얻기 위하여, 음향수조에서 참돔과 조피볼락에 의해 발생되는 수중음에 대한 실험을 자유유영상태에서의 자체(부레)에서 방성하는 음과 먹이를 투입하였을 때 먹이를 먹는 음인 식이음을 수록하고 그 음을 주파수 스펙트럼 분석을 통하여 특징을 파악하였다.

II. 수중음의 측정방법.

본 연구는 전라남도 여수시 돌산도내에 있는 여수대학교 중·양식센터에 있는 음향수조(15m×W5m×H5m)에서 행하였다(그림 1). 음향수조에 있어서 수중음 수록 실시 시간은 수온이 높고 어군의 유영활동과 식이활동이 활발한 여름(7월~8월)에 실시하였고, 실험은 주위의 잡음이 없는 한적한 시간대에 행하였다.

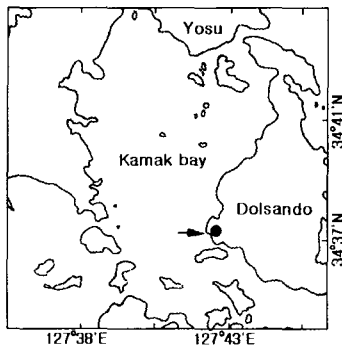


그림 1. 수중음 수록 위치도.

공시어는 양식산 참돔과 조피볼락으로서 실험 실시 전까지 냉동 고등어를 잘게 썬 생사료를 주면서 3~4일간 사육하였고, 실험당일 하루 전부터는 먹이를 주지 않았다. 실험은 자유유영상태에서의 자체(부레)음과 먹이를 먹을 때의 식이음에 대하여 수중음을 수록하였다. 자유유영상태에서의 음 측정시 참돔을 실험 실시 하루 전에 사육수조에서 음향수조로 옮기어 충분히 안정을 취하게 한 다음, 그 다음날 주위가 아주 조용한 시간대를 선택하여 사람의 발소리나 말소리 등을 완전히 통제시킨 다음 음을 수록하였으며, 식이음 측정시 미리 냉동 고등어와 EP사료를 준비한 다음 자유유영상태에서 음 측정 실험이 끝난 후에 먹이를 투입시키면서 식이음을 수록하였다. 먹이는 생사료와 EP사료를 번갈아 가면서 주었으며, 그 때의 평균수온은 24.82℃, 염분은 32.8‰ 이었다.

실험 장치도는 그림 2에서 보는 바와 같이 음향수조 전체 5m 중 어군의 유영상태를 눈으로 관찰하기 위해 2m만 물을 채워 실험을 행하였다.

수중음 측정은 사람이 수조 가운데를 가로질러 갈 수 있도록 만든 목재 발판에서 수직으로 내려 수심으로부터 깊이 1m에 하이드로폰(OKI, ST1001)을 설치하였고, 수중음압계(OKI, SW1007)를 이용하여 하이드로폰으로 수신된 수중음을 헤드폰으로 들으면서 측정하였다. 측정된 수중음은 휴대용 오실로스코프(Tektronix, THS730A)를 통해 파형을 관찰하면서 동시에 데이터레코더(SONY, PCHB244)에 수록하였다.

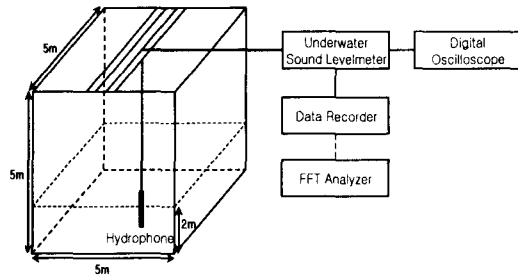


그림 2. 음향수조에서의 실험 장치도.

III. 수중음의 분석방법.

데이터레코더에 수록한 신호를 후일 재생하여 각 어종의 연속 시간파형을 먼저 눈으로 비교하였으며, 오실로스코프(LeCroy, LC534AM)를 통하여 연속 시간 파형 중에서 특징적인 파형을 포함한 구간만을 선정하여 이를 스펙트럼 분석을 행하였다.

먼저 1차적으로 그림 3에서 보는 바와 같이 Pre-amplifier(OKI ST1007)를 거쳐 Data Recorder(SONY PCHB 244)에 수중음을 수록할 때 Pre-amplifier에서 1kHz high pass filter를 걸어서 1kHz 이상의 수중음은 잡음으로 간주하여 1kHz 이상의 수중음은 Data Recorder에 수록하지 않았다.

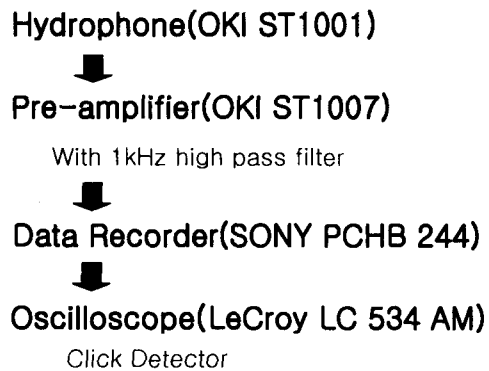


그림 3. 자료수집 시스템

다음으로 수중음 분석시 Data Recorder에서

Oscilloscope를 통하여 캡처한 파형은 그림 4에서 보는 바와 같이 먼저 FFT Filter를 통하여 Band Pass(Frequency Range(Hz); Low(200Hz), High(1000Hz))를 이용하여 200~1000Hz의 파형만으로 선별한 후 FFT 분석을 행하였다.

FFT 분석은 Forward FFT 와 Spectrum은 Amplitude로 분석하였고, Window Method는 Rectangular 방식을 채택하였다.

마지막으로 Smoothing 방식을 통하여 FFT Filter(Number of points - 5)를 행하였다.

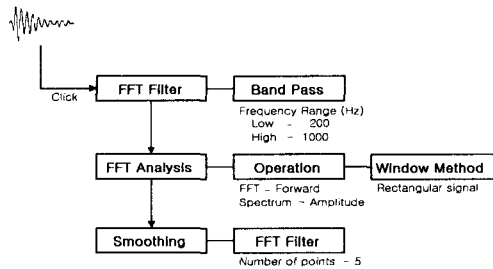


그림 4. FFT 주파수 분석 시스템

IV. 참돔의 수중음에 대한 특성.

(1) 자유유영상태에서의 방성음의 특성.

참돔의 자유유영상태에서 방성음은 대부분이 부레자체로 발음(부레벽에 발달한 근육을 수축, 이완하여 부레안의 격막을 진동시켜 발음)하는 경우와 후쇄골(postclavicle)의 마찰에 의한 소리의 공명에 의한 경우 둘을 들 수 있다.

그림 5는 참돔이 부레자체로 발음하는 음(a)과 그 음의 주파수 스펙트럼 분석결과(b)를 나타내었다. 그림 5는 참돔의 부레로부터 나는 소리인 "부~"하는 펄스음으로 이 때의 한 개의 펄스폭은 60ms였고, 주파수 스펙트럼 분석결과 565Hz 부근에서 최대음압을 나타내었고, 그 때의 레벨은 80.82dB로 나타났다.

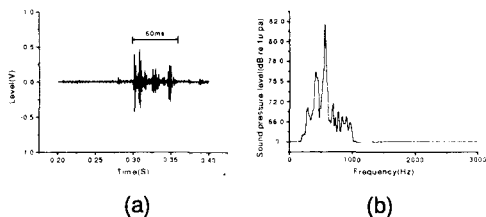


그림 5. 참돔의 부레로부터 내는 파형과 스펙트럼

그림 6은 "구우~"하는 음으로 약간 떨리면서 내는 중저음이었고, 출현빈도는 그다지 많지 않았다. 이 때의 한 개의 펄스폭은 100ms였고, 주파수 스펙트럼 분석결과 490Hz와 780Hz 두 군데에서 최대음압을 나타내었으며, 그 때의 레벨은 각각 60.82dB, 60.0dB로 나타났다.

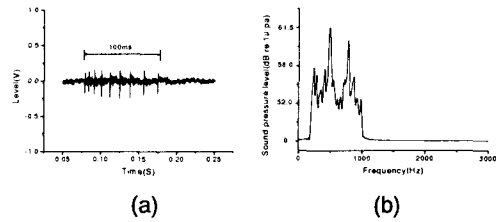


그림 6. 참돔의 부레로부터 내는 파형과 스펙트럼

이상의 결과를 종합하면, 참돔 자체에서 내는 방성음은 크게 두 가지로 그림 5와 같이 부레에서 나는 소리와, 그림 6과 같이 후쇄골의 마찰에 의한 공명음으로 대별되어 진다.

(2) 먹이투입시의 식이음 특성.

식이음 측정은 냉동 고등어를 잘게 썰은 생사료와 EP사료를 번갈아 투입하면서 행하였으며, 실험한 결과는 다음과 같다.

그림 7은 참돔이 먹이를 먹을 때의 소리(a)와 그 소리의 주파수 스펙트럼 분석결과(b)를 나타내었다. 그림 7은 참돔이 먹이를 먹을 때 물과 함께 먹이를 먹는 소리인 "후룩~"하는 펄스음으로 이 때의 한 개의 펄스폭은 180ms였고, 주파수 스펙트럼 분석결과 420Hz~580Hz로 분포하였고, 420Hz에서 최대음압이 나타났으며, 그 때의 레벨은 86.72dB로 나타났다.

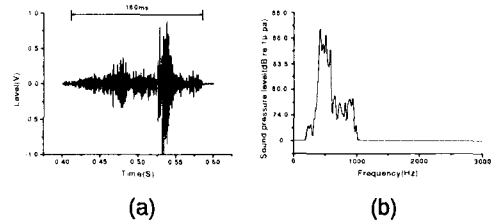


그림 7. 참돔의 식이음 파형과 스펙트럼.

그림 8은 식이음 측정을 위해 먹이를 투입했을 때 이 먹이를 먹기 위해 참돔 1마리가 수면위로 튀어 오르는 소리는 나타낸 파형으로 이 때의 한 개의 펄스폭은 200ms였고, 주파수 스펙트럼 분석결과 400Hz~970Hz까지 넓게 분포하였으며, 400Hz에서 최대음압이 나타났으며, 그 때의 레벨은 74.96dB로 나타났다.

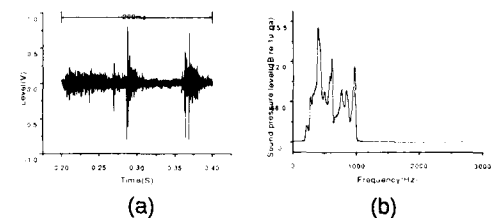


그림 8. 참돔의 물 튀는 음의 파형과 스펙트럼.

그림 9는 참돔이 내는 식이음 중에서 가장 대표적인 음인 “쩍”하는 짧은 펄스음을 나타낸 것으로서, 이 음은 참돔이 생사료를 먹을 때 내는 대표적인 식이음을 나타낸 것이다. 이 때의 한 개의 펄스폭은 30ms였고, 주파수 스펙트럼 분석결과 560Hz와 760Hz의 두 곳에서 상대적으로 음압이 높게 나타났으며, 그 때의 레벨은 각각 82.73dB, 85.62dB로 나타났다.

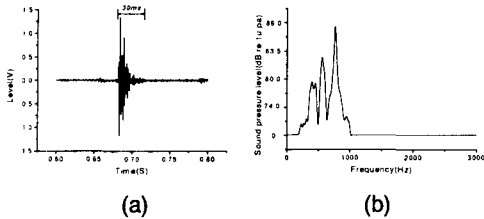


그림 9. 참돔의 식이음 파형과 스펙트럼.

이상의 결과를 종합하면, 식이음은 크게 세 가지로 그림 7과 같이 참돔이 먹이를 먹을 때 물과 함께 삼키는 소리와 그림 8과 같이 참돔 1마리가 먹이를 먹기 위해 수명위로 튀어 오르는 소리와 그림 9와 같이 참돔이 내는 식이음 중 가장 전형적인 음(“쩍”)으로 대별되어 진다.

그리고, 참돔에게 먹이를 주면서 수록한 음인 식이음에 대해서 비교해 볼 때 생사료를 주었을 때의 음압레벨이 EP사료를 주었을 때보다 약 10dB정도 높게 나타났다.

V. 조피볼락의 수중음에 대한 특성.

(1) 자유유영상태에서의 방성음의 특성.

조피볼락의 자유유영상태에서 방성음은 참돔과는 달리 대부분이 부레자체로 발음(부레벽에 발달한 근육을 수축, 이완하여 부레안의 격막을 진동시켜 발음)하는 경우만을 들 수 있다.

그림 10은 조피볼락이 부레자체로 발음하는 음(a)과 그 음의 주파수 스펙트럼 분석결과(b)를 나타내었다. 그림 10은 조피볼락이 내는 음중에서 가장 대표적인 음인 “꾸~옥”하는 펄스음으로 이 때의 한 개의 펄스폭은 800ms였고, 주파수 스펙트럼 분석결과 305~475Hz로 분포하였고, 305Hz 부근에서 최대음압을 나타내었고, 그 때의 레벨은 66.0dB로 나타났다.

그림 11은 조피볼락이 부레에서 내는 음중에서 “꼭~”하는 짧은 펄스음으로 이 때의 한 개의 펄스폭은 30ms였고, 주파수 스펙트럼 분석결과 330Hz 부근에서 최대음압을 나타내었고, 그 때의 레벨은 71.12dB로 나타났다.

이상의 결과를 종합하면, 조피볼락 자체에서 내는 방성음은 크게 두 가지로 그림 10의 음과 같이 부레에서 나는 소리인 “꾸~옥”하는 긴 펄스

음과, 그림 11과 같이 “꼭~”하는 짧은 펄스음으로 대별되어 진다.

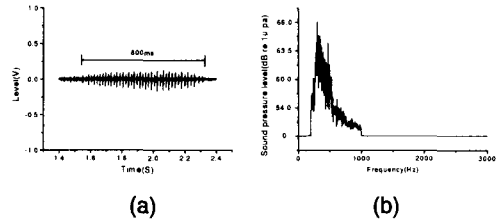


그림 10. 조피볼락의 부레로부터 내는 파형과 스펙트럼.

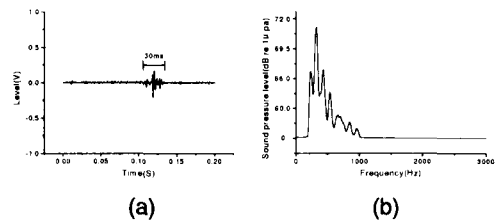


그림 11. 조피볼락의 부레로부터 내는 파형과 스펙트럼.

(2) 먹이투입시의 식이음 특성.

식이음 측정은 냉동 고등어를 잘게 썬 생사료를 투입하면서 행하였으며, 실험한 결과는 다음과 같다.

그림 12는 조피볼락이 먹이를 먹을 때의 소리(a)와 그 소리의 주파수 스펙트럼 분석결과(b)를 나타내었다. 그림 12는 조피볼락이 내는 식이음중에서 가장 대표적인 음인 “쩍~”하는 짧은 펄스음을 나타낸 것이며 이 때의 한 개의 펄스폭은 60ms였고, 주파수 스펙트럼 분석결과 450Hz에서 상대적으로 음압이 높게 나타났으며, 그 때의 레벨은 91.86dB로 나타났다.

그림 13은 조피볼락이 먹이를 먹을 때 물과 함께 먹이를 먹는 소리인 “혹~”하는 펄스음으로 이 때의 한 개의 펄스폭은 60ms였고, 주파수 스펙트럼 분석결과 270Hz에서 최대음압이 나타났으며, 그 때의 레벨은 83.1dB로 나타났다.

이상의 결과를 종합하면, 식이음은 크게 두 가지로 그림 12와 같이 조피볼락이 내는 식이음 중 가장 대표적인 음인 “쩍~”하는 음과 그림 13과 같이 먹이를 먹을 때 물과 함께 삼키는 소리인 “혹~”하는 음으로 대별되어 진다.

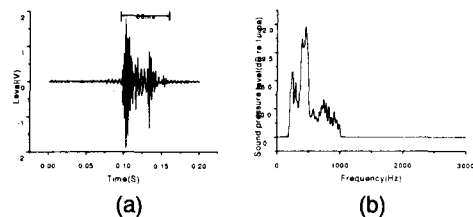


그림 12. 조피볼락의 식이음 파형과 스펙트럼.

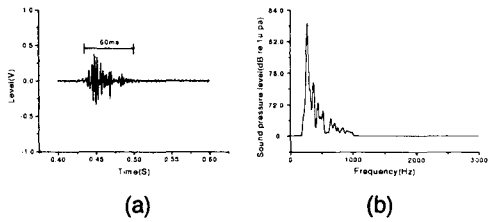


그림 13. 조피볼락의 식이음 파형과 스펙트럼.

VI. 결 론

참돔과 조피볼락의 자유유영상태에서의 부레로부터 내는 음과 식이음의 파형과 주파수 특성 결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저, 자유유영상태에서 참돔 자체(부레)에서 나는 소리로 부레자체로 발음하는 음은 “부~”하는 짧은 펄스음이 많았으며, 그 때의 펄스폭은 60ms였고, 565Hz 부근에서 80.82dB 나타났고, 후쇄골(postclavicle)의 마찰에 의한 소리의 공명에 의한 음은 “구우~”하는 음으로 출현빈도는 그다지 많지 않았으며, 그 때의 펄스폭은 100ms였고, 490Hz와 780Hz 두 군데에서 최대음압을 나타내었으며, 그 때의 레벨은 각각 60.82dB, 60.0dB로 나타났다.

먹이 투입시 참돔의 식이음을 측정할 때는 먹이를 삼키는 소리인 “쩍~”하는 음이 많았으며, 그 때의 펄스폭은 30ms였고, 560Hz와 760Hz 두 군데에서 상대적으로 음압이 높게 나타났으며, 그 때의 레벨은 각각 70.1dB, 71.12dB로 나타났고, 물과 먹이를 함께 삼키는 소리인 “후룩~”하는 음의 펄스폭은 180ms였고, 420Hz 부근에서 약 86.72dB로 최대 음압을 나타내었다. 또, 식이음 측정시 먹이를 먹기 위해 참돔이 수면위로 튀는 음의 펄스폭은 200ms였고, 400Hz 부근에서 약 74.96dB로 최대 음압을 나타내었다.

다음으로, 자유유영상태에서 조피볼락 자체(부레)에서 나는 소리로 부레자체로 발음하는 음은 “꾸~옥”하는 긴 펄스음이 많았으며, 그 때의 펄스폭은 800ms였고, 305Hz 부근에서 약 66.0dB로 나타났고, “꾸~”하는 짧은 펄스음은 출현빈도는 그다지 많지 않았으며, 그 때의 펄스폭은 30ms였고, 330Hz 부근에서 약 71.12dB로 최대음압을 나타내었다.

먹이 투입시 조피볼락의 식이음을 측정할 때는 먹이를 삼키는 음인 “쩍~”하는 음이 많았으며, 그 때의 펄스폭은 60ms였고, 450Hz 부근에서 약 91.86dB로 최대음압을 나타내었고, 물과 먹이를 함께 삼키는 음인 “후룩~”하는 음의 펄스폭은 60ms였고, 270Hz 부근에서 약 83.1dB로 최대음압을 나타내었다.

그리고, 참돔에게 먹이를 주면서 수록한 음인 식이음에 대해서 비교해 볼 때 생사료를 주었을 때의 음압레벨이 EP사료를 주었을 때보다 약

10dB정도 높게 나타났으며, 부레로부터 내는 음은 참돔이 내는 음이 조피볼락이 내는 음보다 약 10dB정도 높게 나타났고, 식이음에 대해서는 조피볼락의 식이음이 참돔의 식이음보다 약 20dB정도 높게 나타났다.

참고문헌

[1]李秉錡：漁法學原論. 太和出版社. 140~149.
 [2]조 암·장지원：어류가 내는 소리에 관하여. 漁業技術學會誌. 8.14~22. 1972.
 [3]김상한：방어의 소리와 음향에 대한 행동. 부산수산연보. 17(1,2), 17~25. 1977.
 [4]김상한：소리 자극에 대한 멸치의 반응. 漁業技術學會誌. 14(2).57~62. 1978.
 [5]金東洙·尹甲東：魚類의 食餌音과 그에 對한 走音反應. 漁業技術學會誌. 18(2). 71~75. 1982.
 [6]徐斗玉·淺野謙治·小長谷庸夫：水中音에 대한 고등어 魚群의 反應. 漁業技術學會誌. 25(1). 12~17. 1989.
 [7]藤枝·松野·山中·鄭·岸本：養殖生簞内における 魚群遊泳音の特徵. 鹿兒島大學水産學部紀要. 42. 1~9. 1993.
 [8]서두옥·정공흔·김진건·김삼근·김동수：가칭 수중음에 대한 오징어 어군의 위집. 漁業技術學會誌. 31(3). 220~227. 1995.
 [9]이창현·김병엽·정용진·서두옥：수중가청음에 대한 갯방어 어군의 유집 반응. 漁業技術學會誌. 33(4). 285~289. 1997.
 [10]朴太健：가두리 養殖場 周邊의 水中環境騒音과 生物騒音의 特性에 관한 研究. 釜慶大學校. 水産學碩士學位論文. 1998.
 [11]尹芬道：쇼 學習時 병코돌고래 鳴音의 周波數 스펙트럼 分析. 釜慶大學校. 理學碩士學位論文. 2000.