J. Kor. Soc. Fish. Tech., 43(3), 206 – 211, 2007

FISHERIES TECHNOLOGY
www.fishtech.or.kr

민어과 어류의 명음에 관한 음향학적 특성

이경훈* · 양용수 · 김진구[1] · 안희춘 · 신종근
국립수산과학원 수산공학팀 · [1]국립수산과학원 자원연구팀

Characterization of sounds produced by 3 sciaenid species

Kyoung-Hoon LEE*, Yong-Soo YANG, Jin-Ku KIM[1], Heui-Chun AN and Jong-Keun SHIN
Fisheries Engineering Team, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea
[1]*Resources Research Team, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea*

The sciaenid species, which has swimbladder, generates sounds by vibrating in its length wards when spawning or getting stimulus from something else. This research analyzed on sound frequency characteristics relatives to their swimbladder length of three sciaenid species, yellow croaker(*Larimichthys polyactis*), brown croaker(*Miichthys miiuy*), and white flower croaker(*Nibea albiflora*). As results, the dominant frequency for yellow croaker ranged over 38.08 to 141.60Hz in wide frequency band, and the averaged pulse duration expressed in 280.3±156.0ms. For brown croaker, the dominant frequency ranged in 49.80 to 59.57Hz, and the averaged pulse duration was 129.1±36.9ms. Moreover, the dominant frequency of white flower croaker ranged in 73.24 to 86.91Hz, and the averaged pulse duration was 88.0±15.9ms, it has shorter pulse duration than any two species. Therefore, the dominant frequency relatives to swimbladder length of sciaenidae showed that it had widely resonant characteristics and long pulse duration as in shorter swimbladder length. Additionally, for white flower croaker, we could confirm their behavior and sounds in response to production of recorded sounds using underwater speaker.

Key words : Sciaenidae, Swimbladder, Sound characterization, Dominant frequency, Pulse duration

서 론

민어과(Sciaenidae) 어류는 우리나라 주요 상업어종으로서, 과거부터 어황 변동 및 자원량 변동(Zhang et al., 1992; Baik et al., 2005)에 관한 조사가 이루어졌으며, 90년대 이후로부터 지속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 연도별

*Corresponding author: khlee71@nfrdi.re.kr, Tel: 82-51-720-2574, Fax: 82-51-720-2586

어획 변동량이 큰 폭으로 증가와 감소를 반복하고 있다.

과거, 첨단장비가 없던 시절에 어업인들은 서해안해역으로 산란하기 위하여 내유하는 민어과 어류가 산란기에 우는 울음소리를 찾아다니면서 자망류의 어구를 이용하여 어획했다는 것은 우리나라 최초의 해양생물학 서적인 "자산어보(정약전 저)"로부터 알 수 있으며, 참조기나 부세와 같은 어종의 특징으로 커다란 부레를 수축, 팽창을 반복하면서 "구우 구우"하면서 산란기에 내는 소리는 여름밤 개구리가 우는 소리와 비슷하다고 전해지고 있다. 또한, 영명으로도 "croaker"라고 하여 울음소리가 이름으로 결정된 배경이 되었다.

이러한 울음소리 특성에 관한 해외문헌을 살펴보면, 1900년대 초반부터 소리를 내는 어류를 대상으로 발성원리에 대한 분석을 시작하여, 특유의 소리를 내는 어류는 어종에 따라 발성기관, 즉, 부레나 골격근, 이빨 등의 다양한 발성기관을 이용하여 소리를 내는 것으로 알려져 있다. 특히, 부레를 가지고 있는 어류는 부레측면에 방성하는 근육이 있어 근육의 중간부분에 신경계로부터 진동되어 산란시기나 외부자극이 있을 경우에 부레의 길이 방향으로 진동시켜 소리를 발생시킨다(Fish and Moubray, 1970; Connaughton et al., 2002a; Connaughton, 2004).

이러한 발성원리는 민어과 어류뿐만 아니라, 부레를 가지고 있는 성대, 무지개송어와 같은 어종이나 심지어 해마도 같은 원리에 의해 소리를 내며, 발성원인으로 무리속의 암・수가 서로의 위치를 알리거나 이동할 때에 질서 유지를 하기 위한 것이 일반적인 견해이다.

본 연구에서는 민어과 어류에 속하는 참조기(yellow croaker, *Larimichthys polyactis*)를 비롯한 민어(brown croaker, *Miichthys miiuy*), 수조기(white flower croaker, *Nibea albiflora*)의 명음을 녹음하여 부레의 길이에 따른 각 어종에 대한 주파수 특성에 대하여 분석하였다.

재료 및 방법

본 연구에서 기록된 참조기와 수조기 명음은 전라남도 부안군에 위치하고 있는 서해수산연구소 소재 부안시험포의 협조를 받아 사육 상태의 대상어류의 명음을 녹음하였으며, 민어는 경상남도 한산도에 위치하고 있는 가두리양식장의 협조를 받아서 명음을 녹음하였다. 양식장 가두리 내에 유영하고 있는 민어의 명음을 녹음하기 위해 수중청음기(SW1020, OKI Co.)를 이용하여 청취하면서 녹음하였으나, 가두리양식장 부근에서 발생되는 환경잡음과 산란시기가 아닌 관계로 인해 분석을 위한 양질의 명음 녹음이 불가능하였다. 따라서, 양식관련 전문가로부터 그물을 올리거나 자극을 주었을 경우, 명음을 낸다는 정보에 따라 서로 다른 크기의 민어를 채집하여 소형수조에 표본 개체어를 넣어서 자극을 주면서 발생되는 명음을 Fig. 1과 같이 녹음하였고, 참조기와 수조기도 이와 같은 방식으로 동일한 자극에 의해 명음을 녹음하여 디지털저장장치에 수록하였다. 수록된 음성데이터는 디지털신호(wav파일)로 저장하여 음향분석프로그램(Wave Surfer, TMH)을 이용하여 음향특성을 분석하였다.

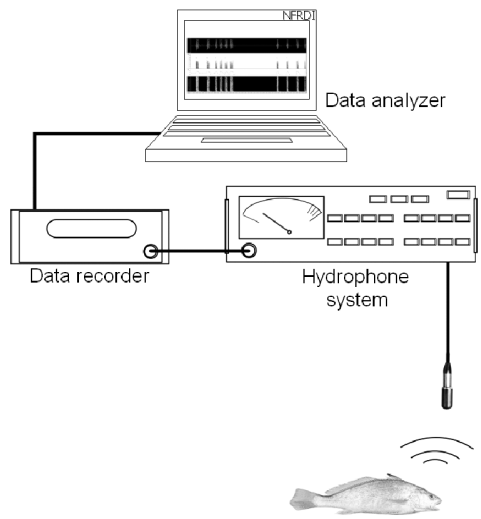

Fig. 1 Processing to measure and analyze sounds produced by fishes.

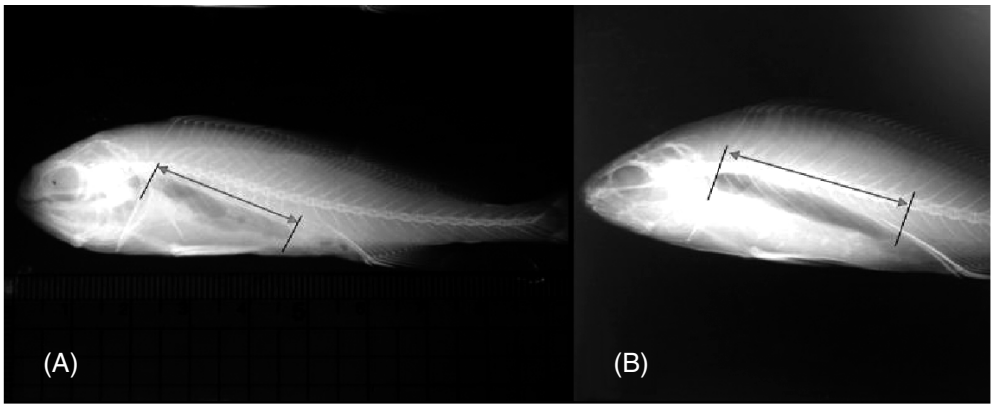

Fig. 2. The example of X-ray photograph and swimbladder length; (A) Yellow croaker, (B) White flower croaker.

Table 1. Ratio between body length (B.L) and swimbladder length (S.B.L) of 3 species measured by X-ray photograph

Species	Length(cm)		Ratio of S.B.L/B.L	Records or not
	B.L	S.B.L		
Yellow croaker	8.3	2.4	0.29	○
	8.9	2.5	0.28	○
	8.4	2.5	0.30	○
	12.4	4.5	0.36	×
	14.7	5.8	0.39	×
	15.8	6.2	0.39	×
Brown croaker	32.0	12.2	0.38	○
	45.0	17.1	0.38	○
White flower croaker	23.3	8.5	0.36	○

※S.B: Swimbladder

또한, 수조기의 경우, 녹음된 명음을 수중스피커를 이용하여 다시 방성하였을 때, 일정시간이 경과한 후에 행동반응 및 명음을 재확인하였다. 실험에 사용된 대상어류는 부레 길이 방향의 진동에 따른 공진특성을 확인하기 위하여 울음소리를 녹음한 대상어류는 급속 냉동시켜 시료를 저장한 후, 국립수산과학원의 X－ray사진 촬영장치를 이용하여 각 어종에 따른 부레형상을 촬영하였다.

각 어종별로 측정한 어류의 체장에 따른 부레길이의 관계와 명음 녹음유무는 Fig. 2 및 Table 1과 같이 나타내었다. 여기서, 어종에 대한 부레길이(S.B.L)와 몸통길이(B.L)와의 관계는 부레대 몸통(S.B/B) 길이의 비로 나타낼 수 있는데, 소형어에서는 약 0.29였으며, 15cm이상의 어류에 대해서는 0.36－0.39로 유사한 경향을 나타내었다. 연령이 약 1세로 추정되는 참조기 3 개체어(12.4－15.8cm)에 대한 명음 녹음은 표본개체어의 건강상태가 좋지 못해 양질의 녹음이 불가능하였다.

결과 및 고찰

민어과 어류의 녹음한 울음소리의 스펙트럼 분석 및 소너그램을 Fig. 3－5로 각각 나타내었다. 실험대상 민어과 어류의 울음소리에 대한 중심 주파수(dominant frequency, Hz) 및 펄스지속시간(pulse duration, ms)을 살펴보면, 참조기의 울음소리 중심주파수는 38.08－141.60Hz로서 넓은 주파수 대역에 걸쳐 분포하는 특성을 나타내었으며, 평균펄스주기는 280.3±156.0ms(Avg.±S.D.)로 나타났다. 민어의 중심주파수는 49.80－59.57Hz였으며, 평균펄스주기는 129.1±36.9ms로 나타났다. 또한, 수조기의 중심주파수는 73.24－86.91Hz였으며, 다른 2어종과는 달리 짧은 펄스주기의 특징이 있었는데, 평균펄스주기는 88.0±15.9ms로 나타났다.

실험에 사용된 민어과 어류의 체장에 대한 중심주파수는 Fig. 6과 같이 체장에 비례하는 부레길이가 짧을수록 넓은 주파수대역을 가지는 공진 특성과 긴 펄스주기를 가지고 있으며, 체장에

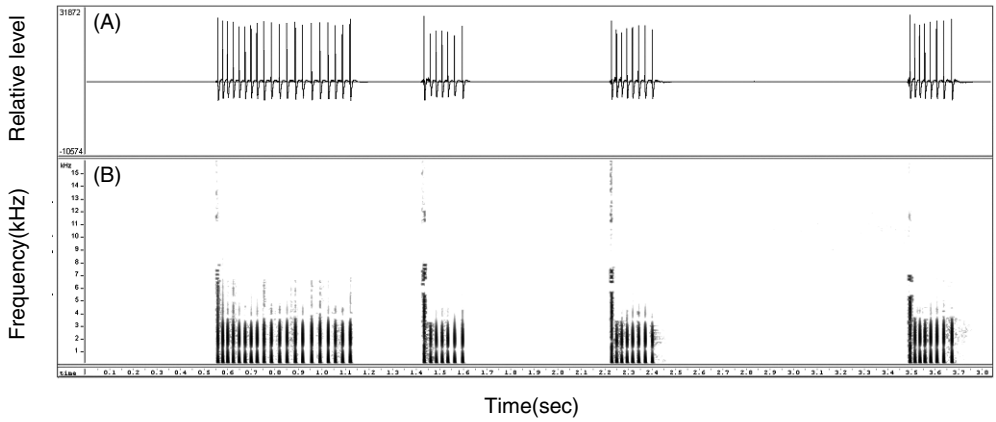

Fig. 3. Sounds spectrum(A) and sonogram(B) recorded from yellow croaker.

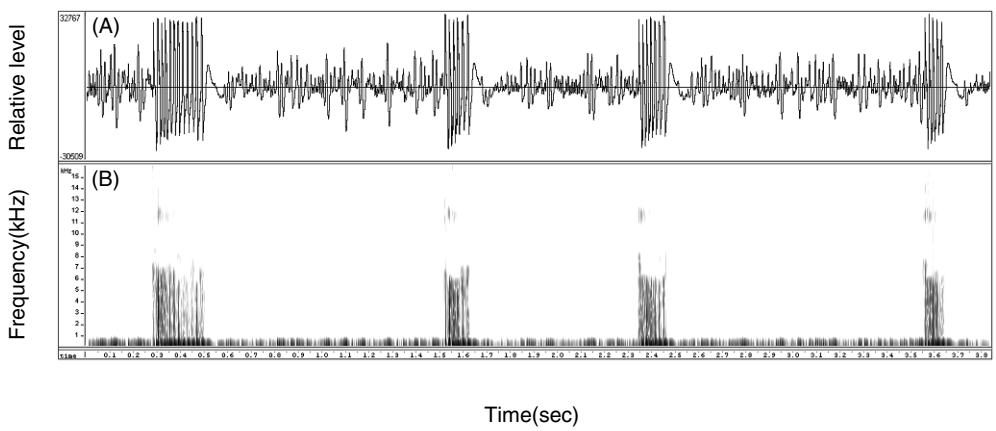

Fig. 4. Sounds spectrum(A) and sonogram(B) recorded from brown croaker.

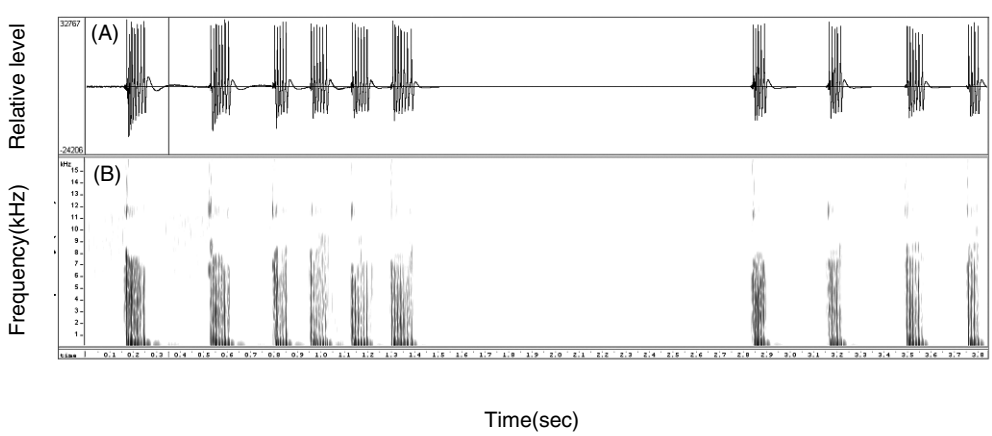

Fig. 5. Sounds spectrum and sonogram recorded from white flower croaker.

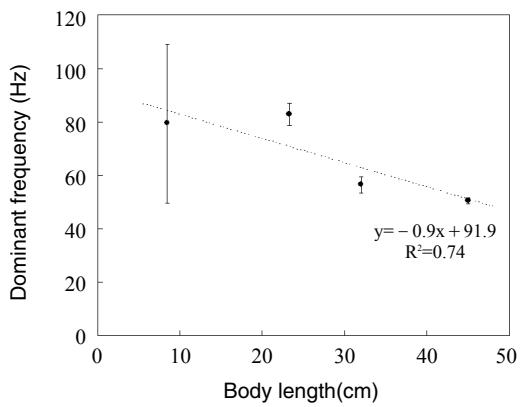

Fig. 6. Relationship between dominant frequency and body length of sciaenid species.

따른 부레 길이가 길수록 중심주파수가 낮고 짧은 펄스주기를 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 대서양 수조기의 중심주파수가 표본 어체의 크기가 커짐에 따라 선형적으로 낮아지는 것과 유사한 특성을 가지고 있었다(Connaughton et al., 2002b).

대부분의 민어과 어류의 소리 근육은 일반적으로 수컷에 존재한다고 알려져 있지만, 대서양 수조기는 암수 모두 소리 근육이 존재하여 울음소리를 발생한다고 한다. 따라서, 우리나라에 존재하는 민어과 어류의 명음에 대한 연구는 생태학적인 측면에서 고려되어야 할 것이며, 추가적으로 산란기의 발생음에 대한 분석이 반드시 필요하다고 사료된다. 또한, 본 연구에서 분석된 민어과 소형어류의 방성특성에 관한 주파수 범위가 넓게 분포하는 것이 부레 – 체장관계의 관점에서의 분석이 부레가 형성되는 시기의 다양한 주파수특성을 나타내는 특성에 관한 분석도 이루어져야 할 것으로 사료된다.

추가적으로 수조기의 경우, 원형수조에 유영하고 있는 20여 마리에게 수중스피커를 이용하여 녹음된 명음을 다시 방성하였을 때, 일정시간이 경과한 후의 행동반응과 명음의 발생여부를 확인한 결과, 녹음된 명음이 발생되는 수중스피커로부터 떨어져서 유영하는 행동을 나타내었으며, 일정시간이 지난 후, 수중청음기를 통해서 자극에 대한 유사한 명음과 짧은 펄스주기의 명음을 내는 것으로 확인되었다. 물론, 방성음에 대한 출력이 높은 이유로 인해 자극을 받았을 가능성도 생각할 수 있으나, 수조내 명음에 대한 서로의 인식음을 내면서 정보를 교환하는 것은 다양한 의미에서 해석할 수 있을 것이다.

최근 해외문헌들을 참고로 하면, 이러한 부레에 의한 명음이 부레의 크기뿐만 아니라, 주변 수온이나 계절에 따라 명음의 특성을 분석하기 위한 연구도 진행되고 있으며, 바닷속 다양한 소리를 해석하기 위한 연구도 진행 중에 있다. 이러한 해양수산생물이 발생하는 소리는 대상생물의 정보 교환의 의미뿐만 아니라, 생태학적인 정보를 이해하는데 중요한 한 분야를 차지하고 있으므로 다양한 방법으로 연구 방향이 접근되어야 할 것이다.

결 론

실험대상 민어과 어류의 명음에 대한 특성을 분석한 결과, 참조기의 울음소리 중심주파수는 38.08 – 141.60Hz로서 넓은 주파수 대역에 걸쳐 분포하는 특성을 나타내었으며, 평균펄스주기는 280.3±156.0ms로 나타났다. 민어의 중심주파수는 49.80 – 59.57Hz였으며, 평균펄스주기는 129.1±36.9ms로 나타났다. 또한, 수조기의 중심주파수는 73.24 – 86.91Hz였으며, 다른 2 어종과는 달리 짧은 펄스주기의 특징이 있었는데, 평균펄스주기는 88.0±15.9ms로 나타났다. 따라서, 측정한 민어과 어류의 부레 길이에 대한 중심주파수는 부레 길이가 짧을수록 넓은 주파수대역의 공진특성과 긴 펄스주기를 가지는 것으로 나타났다. 더욱이, 수조기의 경우, 녹음된 명음을 수중스피커를 이용하여 다시 방성하였을 때, 일정시간이 경과한 후에 개체별 명음을 다시 확인할 수 있었다. 본 조사에서는 각 어종에 대한 다양한 체장 및 성별에 따른 명음 분석에 사용된 기초적인 자료가 충분하지 못하였으나, 부레의 발성 원

리에 따른 체장별 중심 주파수의 특성과 펄스주기를 규명한 것에 의의가 있으며, 향후 추가적인 실험에 의해 주파수 특성 분석이 필요하고 생태학적인 측면에서도 이와 같은 연구를 계속적으로 발굴하여 진행되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 광주 KBS 방송국에서 기획한 참조기 생태관련 프로그램 제작과 관련하여 과학적인 정보를 협조하는 과정에서 조기류의 울음소리에 대한 분석요청에 따라 국립수산과학원(수산자원회복을 위한 어업별 어획성능정량화 연구, RP－2007－ FE－001)의 지원에 의해 수행되었으며, 광주 KBS 방송국 공광일 프로듀서, 김수진 촬영감독, 에게 감사드리며, 실험과정에 도움을 주신 서해수산연구소 이진호 박사님과 한산도 가두리양식장의 김형선 사장님께 감사드립니다. 끝으로 본 논문을 보다 완성도 있도록 사례 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

참고문헌

Baik, C.I., C.I. Lee, K.H. Choi and D.S. Kim, 2005. Variation of fisheries conditions of fishing ground of yellow croaker(*Pseudosciaena polyactis Bleeker*) in the East China Sea and the Yellow Sea. Bull. Korean Fish. Soc., 38(6), 413－424.

Connaughton, M.A., M.L. Fine and M.H. Taylor, 2002. Weakfish sonic muscle: influence of size, temperature and season. J. Experimental Biology, 205, 2183－2188.

Connaughton, M.A., M.L. Lunn, M.L. Fine and M.H. Taylor, 2002. Characterization of sounds and their use in two sciaenid species: weakfish and atlantic croaker. Conference proceedings of an International Workshop on the application of passive acoustics in fisheries, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA, 15－19.

Connaughton, M.A., 2004. Sound generation in the searobin (*Prionotus carolinus*), a fish with alternate sonic muscle contraction. J. Experimental Biology, 207, 1643－1654.

Fish, M.P. and W.H. Moubray, 1970. Sounds of Western North Atlantic fishes, A reference file of biological underwater sounds. The Johns Hopkins Press., 102－110.

Parmentier, E., M. Fines, P. Vandewalle, J.J. Ducamp and J.P. Lagardère, 2006. Sound production in two carapids(*Carapus acus and C. mourlani*) and through the sea cucumber tegument. Acta Zoologica (*Stockholm*), 87, 113－119.

Zhang, C.I., Y.M. Kim, S.J. Yoo, C.K. Kim and S.M. Ahn, 1992. A study on fluctuations in biomass of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis*, off Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 25(1), 37－44.

2007년 7월 18일 접수
2007년 8월 14일 수리