

한국주변 어장에서 수동어탐에 관한 연구(I)*

—이론적 고찰—

金 成 阜 · 張 志 元

釜山水産大學

(1986년 2월 12일 수리)

A Study on Passive Fish Finder in the Fishing Grounds near the Korean Peninsula

—The Theoretical Study for Passive Fish Finder—

Sung Boo KIM and Jee Won CHANG

National Fisheries University of Pusan

(Received February 12, 1986)

The feasibility of passive detection of fishes which had been caught in the fishing grounds near the Korean peninsula was theoretically investigated.

Considering the commercial importance and the acoustical informations readily identified, although many species of fish make noise, Croaker is clarified to be a representative fish for passive fish detection.

Assuming a source level of the sound produced by croakers is given as 150-180dB (re 1μpa, 500 Hz bandwidth), The range detected by a passive line array sonar is estimated to be about 3-20km.

In addition, the tonal noise (700-800Hz) made by croaker that is easily separated from underwater noise is expected to increase the ability to discriminate from the other species of fish.

서 론

어군탐지기의 출현은 수산업의 발달을 가속화시키는 중요한 요소의 하나였다. 관능적 어군탐지에 의존하던 어업은 이로 말미암아 보다 과학적인 어업으로 전환되었으며, 오늘날에는 수산자원의 효율적 관리를 목적으로 하는 정밀 자원량 조사에까지 이용되는 등, 그 이용이 점차 다양화되고 있는 추세이다.

본래 일정 음파를 내보내어서 어군에 의해 되돌아오는 반향음을 받아 분석하는 능동형 어군탐지 방식은 작은 어체의 크기가 갖는 산란단면적의 감소로 30~200KHz 사이의 고주파음파를 사용할 수밖에 없었다. 그러나 이러한 음파는 매질 내에서의 큰 흡수

손실을 비롯한 몇가지 제약으로 어탐거리가 평균 1km 내외에 불과하였다. 이와 같은 결점을 보완하고자 하는 노력의 일환으로 주파수를 15~50KHz 부근의 어군탐지용과 200~400KHz 부근의 어군식별용으로 분리시킨 모텔의 쌍 주파수용 어탐이 출현하기에 이르렀다.

그러나, 이러한 노력에도 불구하고 어군의 탐지능력이나 어종의 식별능력면에서 더 이상의 획기적 개선을 기대하기가 사실상 어렵다. 이런 단점을 개선하기 위해 어군이 내는 소리를 이용하여 탐지하는 수동형 방식을 거론하게 되었다. 이 방식은 일부 어종에 국한된다는 큰 제약이 있긴 하지만, 이들이 내는 소리가 저주파 대역이어서 음파의 전달손실이 적으므로 탐지거리를 더욱 증대시킬 수 있을 뿐 아니

* 본 연구는 한국과학재단의 차관 연구비 지원에 의해 이루어지고 있음.

라, 어종의 식별능력도 크게 개선시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

그동안 세계적으로 이에 대한 연구 검토가 없었던 것은 아니지만, 이 방식이 갖는 가장 큰 취약점인 일정 크기의 소리를 냈을 때 동시에 그 어종의 산업적 가치가 높아야 한다는 것¹⁾ 외에도 저주파음에 대한 수동탐지 능력의 낙후성 등이 이 방식의 어탐기 출현을 어렵게 해 왔다.

그러나 선배열 소나 등의 개발로 저주파음의 수동탐지에 관한 기술이 발전되면서부터 우리 해역에 대한 수동어탐방식의 도입 여부를 검토 분석해 볼때가 도래한 것으로 생각된다.

그 첫번째로 본 논문에서는 우선 우리나라 주변 어장에서 어획되는 수산물 중 수동어탐이 가능한 것의 존재 여부를 산업적 측면과 음향학적 측면에서 고찰하려 한다. 그리고 이러한 어종의 확인과 함께 이들이 형성하는 어장의 음향학적 특성을 어군 탐지 거리 및 어종식별 차원에서 분석하여 수동어탐기의 이론적 바탕을 마련하고자 한다.

산업적 대상 어종과 그 음향특성

(1) 산업적 고찰

최근 5년간(1980-1984)의 수산물 통계자료를 조사한 결과 우리 나라 주변어장에서 어획되는 수산물 중 산업적 가치가 높은 어류는 조기류(민어 포함), 멸치, 명태, 고등어, 갈치, 쥐치와 오징어였고, 이들 어류는 어획량이나 어획고에 있어 전체의 40% 이상을 점하고 있었으며, 특히 단위 무게당의 금액에 있어서는 조기류가 단연 앞서고 있었다.

그 외에 주목되는 어류로는 어획량이나 어획고에서는 이들에 못미치지만 복어류가 점차 주요 어종으로 부상하고 있음을 확인할 수 있었다.

(2) 음향학적 고찰

해양생물이 내는 소리에는 산란음, 구애음, 식이음, 유영음, 도피음 그리고 명음 등이 있다.²⁾ 이들 소리는 모든 어류나 갑각류 등이 내는 것이 아니고 고래과에 속하는 포유동물과 조기, 아귀 등과 같은 경골어류, 그리고 게, Snapping shrimp 등과 같은 갑각류에 한정되어져 있다.

이들이 내는 소리의 특징과 소리를 내는 메카니즘을 규명하기 위해 Knudsen, Fish, Tavolga, Winn 등이 어류의 생리, 생태와 수중소음에 대해 연구하

여 왔으며, 최근에는 소리를 이용한 집어 효과에 대해서도 연구되고 있다.

그러나, 이러한 연구결과들을 종합해서 수동어탐을 위한 기초자료로 활용하기에는 대체로 많은 연구가 수행되어 왔음에도 불구하고 정량적인 자료가 매우 빈약한 실정이다.

실제로 해양생물이 내는 소리를 수동어군탐지에 이용하기 위해서는 어군이 내는 소리의 음원 수준(sound pressure level at 1m)과 스펙트럼레벨에 관한 정량적 자료가 필요하다.

자연적인 해양환경에서 해양생물이 내는 소리의 음원수준을 정량적으로 처음 수집 보고한 것은 Cumming³⁾ 등에 의해서였다. 수심이 20m 이고, 미국 남부에 위치한 Bahama 제도의 한 섬으로부터 1 mile 떨어진 연안에서 1년 반(61.7-'63.2) 동안 관측하였는데, 암탉의 울음소리와 비슷한 소리(cluck)는 계절이나 어군의 규모에 따라 145~175.8dB(re 1μpa, 200~2000Hz broad band) 사이로 많은 변화를 보였으며, 소의 울음소리와 비슷한 소리(moo)는 165.0-165.2 dB (50~300Hz broad band)로 거의 일정하게 유지하고 있었다고 보고했다.

Fig. 1은 Knudsen⁴⁾이 분석한 주요 해양생물 음의 스펙트럼레벨을 나타낸 것이다.

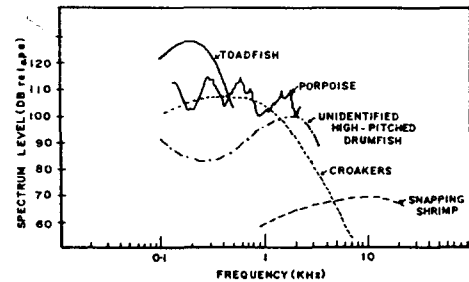


Fig. 1. Spectra of the sound produced by marine animals

Fig. 1에서 해양생물 음의 주파수 분포는 수 KHz 미만의 저주파 대역이 대부분이며, Snapping Shrimp와 같은 것은 거의 20KHz까지 높은 음을 내고 있다.

그러나, 우리나라 주변 어장에서 서식하는 해양생물들의 소음에 관해서는 아직 정확히 보고된 바가 없다. 물론 부분적으로 몇몇 어종에 대하여 수조에서 조사 보고된 바가 있지만, 포획된 상태에서 내는 소리는 자연상태와는 그 특성이 다를 수도 있으므로^{5,6)} 수동어탐에 필요한 정량적 자료는 역력가지 자료들을 종합하여 유추해 볼 수밖에 없다. 그리고 이러한 유추는 앞의 산업적 고찰에서 주요 어자원에

로 지적된 조기, 멸치, 칼치, 명태, 고등어, 쥐치, 그리고 오징어, 복어 등에 국한시키는 것으로 그 의미를 찾을 수 있을 것 같다.

멸치, 고등어 등에 대해서는 같이 어군이 방향을 바꿀 때 유영음을 내는 것으로 알려져 있을 뿐⁷⁾ 그 이상의 정량적 자료는 보고된 바 없으며, 복어의 경우 한해서 명음(rapid knock)을 낸다고 Kumpf⁸⁾는 밝히고 있으나 spectrum과 음원수준에 대한 정량적 자료 또한 밝히지는 않았다. 이에 비해 비교적 많은 자료가 밝혀진 어종으로는 Croaker를 들 수 있는데, 이 어류는 세계 전역에 넓게 분포되고 있으므로 여러 곳에서 관측되었다. 미국의 Chesapeake 만에서는 croaker 메들의 활동이 왕성할때 내는 소음이 “전자동되는 제철공장의 소음보다 높고 15 ft 떨어진 비행기 모터 소리와 그 크기와 같은 정도”라고 Dobrin은 보고한 바 있다.⁵⁾ 뿐만 아니라 “세계 제2차 대전당시 동경만에 설치해 두었던 음향기뢰가 Croaker 메들의 높은 소음때문에 심각한 영향을 받았다”는 보고⁹⁾도 있으나 우리나라 주변 해역에서의 관측은 1941년 Yamada¹⁰⁾에 의해 황해와 동해에서 관측된 것이 최초였다. 이 보고에 의하면 Croaker (*Nibea*, *Collichthys*, *Corvina* and *Pseudosciaena*)가 내는 소리로 “개구리가 우는 소리 같은 음(croaking noise)이 간헐적으로 들린다”라고 보고했다.

우리 나라 근해 어장에서 서식하는 Croaker로는 조기류(민어포함)가 있으며, 이들이 내는 소리의 스펙트럼 레벨을 조사하기 위해 부레음이 녹음된 것을 수산진흥원 어구 어법과로부터 제공받아 분석한 결과는 Fig. 2와 같다.

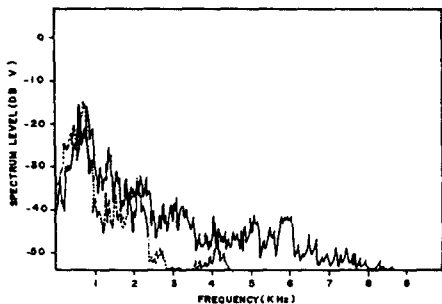


Fig. 2. Spectra of the Sound of Croakers.

Fig. 2에서 보면 마치 개구리 울음소리와 비슷한 것으로 알려진 조기 부레음의 주파수 분포는 대부

분 500~1000Hz였고, 특히 700~800Hz 대가 우세하였다. 그리고 이 대역의 스펙트럼은 수중소음과 같은 broadband noise의 성격을 띠고 있지 않고 tonal noise의 형태를 갖고 있었다. 이러한 특징은 어종을 식별함에 있어 수중소음으로부터 쉽게 분리할 수 있는 징표가 된다.

수동어탐에 의한 탐지거리 및 식별능력 평가

(1) 조기어장의 음향학적 특성

한반도 주변 어장에 서식하는 조기류는 참조기와 부세, 수조기, 민어 등이 있으며, 이들의 주어장은 제주도 서남방 해역에 형성되고, 주로 저인망과 안강망, 그리고 건착망 등에 의해 어획되고 있다. 특히 참조기의 경우는 10월부터 다음 해 3월까지 제주도 서남방 해역에서 월동한 후, 중국과 한반도의 연안으로 산란하기 위해 이동하는 것으로 알려져 있다. 이 시기에 개구리 울음소리와 같은 산란음을 내는데, 일단 이 소리의 음원수준에 대한 가정적 수치는 Cummings와 Dobrin이 보고한 것을 토대로 어군의 규모에 따라 150~180 dB(frequency range: 500~1000Hz) 사이의 값을 갖는 것으로 가정한다.

한편, 주어장인 제주도 서남방 해역의 음향학적 특성을 두 가지 관점에서 고찰할 필요가 있다. 첫째는

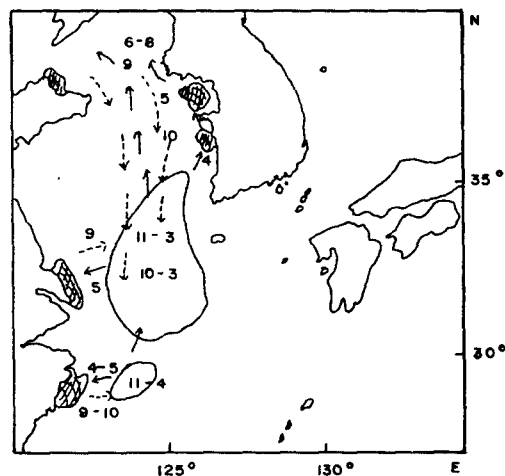


Fig. 3. Excursion of the yellow croaker(*Pseudosciaena manchurica*)

No : Month

□ : A place of passing the winter

▨ : A place of Spawning

그 해역의 수중소음에 대한 스펙트럼 분포이다. 관심주파수가 주로 1 KHz 이하의 저주파이기 때문에 이 해역에서의 주변 소음은 선박통행과 파도가 주원인의 된다.¹¹⁾

7-8월에 관측된 제주도 부근 해역의 소음수준을 Fig. 4에 나타내었다. 그러나 산란기인 1~3월 사이는 파도가 비교적 높을 뿐 아니라 선단을 이루는 주변 선박소음을 고려할 때 750Hz에서 75dB(re 1μpa at 1Hz band)로 높게 가정할 필요가 있다.

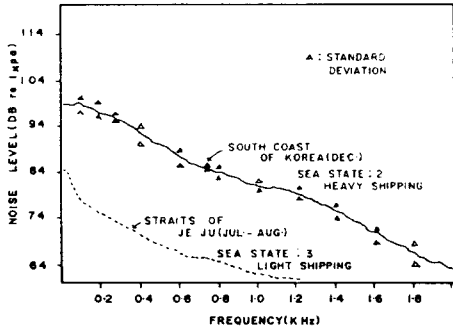


Fig. 4. Underwater Noise Spectra at the strait of Cheju and the South coast of Korea.

돌깨로는 수심이 60~80m 사이인 이 해역에 있어서 음파 전달손실에 관해서 이다. 전술한 어기의 수직 온도분포는 거의 등온을 유지하고 있으며, 음파 전달에 중요한 영향을 미치는 해저퇴적물의 분포는 모래성 펄(sandy mud) 혹은 펄성모래(muddy sand)로 구성되어 있기 때문에 음파전달, 특히 저주파음의 전달에 유리한 조건을 갖추고 있다.

수파기의 위치를 수심 5m에 고정시켜 두고 음원인 조기 어군이 5m, 30m, 60m로 가변할 때 이에 따른 음파 전달손실 자료를 computer model에 의거 추출했다. 그 결과는 기대했던 바와 같이 전달손실이 비

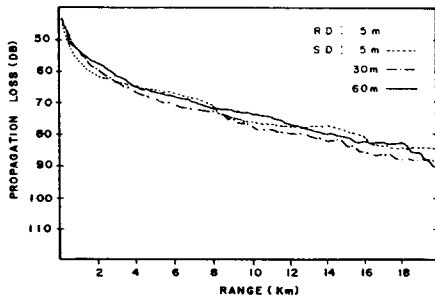


Fig. 5. Oneway propagation loss curve at 750Hz

교적 적었으며, 음원의 심도에 따른 손실 변화폭 또한 크지 않았다.

(2) 어군탐지 및 어종식별 능력 평가

조기류가 내는 소리는 500~1000Hz 사이가 우세하므로 이와 같은 저주파 대역에서 가장 효과적으로 신호대 잡음비(S/N)를 증가시키는 방안으로는 최근 선배열 소나를 많이 이용하고 있다. 중심주파수를 750Hz에 두고 10개의 소자들을 1/2파장 간격으로 배열했을 때 총 길이가 11m 정도 되는 이 소나는 약 10 dB 정도의 배열이득을 얻을 수 있다. 그리고 이 어탐기의 수신 대역폭은 500-1000Hz 사이의 광대역폭으로 받아들이며, 신호처리 방식은 가장 보편적으로 사용되고 있는 Auto correlation 기법으로 하는 것을 가정했을 때 어탐거리의 추정은 다음과 같다. 일반적인 소나 방정식은,

$$FoM = SL - (NL - AG) - DT$$

여기서, FoM: Figure of Merit

SL: 음원 강도

NL: 소음수준

AG: 배열 이득

DT: 탐지 한계

가 된다. 여기서 이들 요소의 자료를 다음과 같이 대입하였을 때

$$SL = 150 - 180dB(500Hz \text{ band width})$$

$$NL = 75dB \text{ at } 750Hz$$

$$AG = 10dB$$

$$DT = 5 \log \frac{dw}{t} = 20dB$$

여기서

$$d: \text{탐지수} = 16$$

$$W: \text{수신대역폭} = 500Hz$$

$$t: \text{수신처리시간} = 1sec$$

FoM = 65~95dB 이 된다.

이 FoM값을 Fig. 3의 음파 전달손실 곡선에 대입하면 조기류에 대한 수동 어탐거리는 어군의 규모에 따라 최저 3km 에서 최대 20km 이상으로까지 증대됨을 예측할 수 있다.

뿐만 아니라 이 어종이 갖는 700~800Hz 사이의 Tonal Noise는 광대역의 잡음을 지닌 수중소음으로부터 쉽게 구별해 낼 수 있는 큰 특징을 갖고 있다. 따라서, 현재의 능동형 어탐기가 어군의 생활습성에 의한 기록으로 어종을 식별함에 비해 한층 더 먼 거리에서, 그리고 높은 정밀도로 어종을 관별할 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

우리 나라 주변 어장에서의 주요 어자원중 조기류가 수동어탐을 위한 대표적 어종으로 부각되었다.

음원수준을 150~180dB로 가정했을 때 선배열형의 수동어탐기에 탐지될 수 있는 거리는 최저 3km에서 최대 20km 이상으로 추정되어 어탐거리의 획기적 증대가 기대된다. 뿐만 아니라 조기류가 내는 700~800Hz 사이의 tonal noise의 특성은 수동형 어탐기에 의한 어종식별 거리 및 정밀도를 보다 향상시킬 것임이 분명하다.

다만, 이 수동소나를 조기류외에 대형어군을 이루는 멸치, 갈치, 명태류, 쥐치류, 오징어 등에 적용 여부를 가늠하기에는 보다 많은 정량적 자료가 수집된 연후에 가능할 것으로 믿어진다.

문 헌

1. Urick, R.J.(1967): Principles of Underwater Sound. Mc GrawHill 2nd Ed., 193-195.
2. Winn, H.E.(1964): The biological significance of fish sounds. Marine bio-acoustics, 213-231.
3. Cummings W.C., Brahy, B.D. and W.F.Herrnkind.(1964): The Occurrence of Underwater sounds of biological Origin off the west coast

- of Bimini, Bahamas. Marine bio-acoustics, 27-43.
4. Knudsen, V.O., Alford, R.S. and J.W. Emling (1948): Underwater ambient noise. J. Mar. res. 7, 410.
5. Dobrin, M.B.(1947): Measurement of Underwater noise produced by marine life. science 105, 19-23.
6. Moulton, J.M.(1958): The acoustical behavior of some fishes in the Bimini area. Biol. Bull. 114, 357-374.
7. Tavalga, W.N(1964): Sonic characteristics and mechanisms in marine fishes. Marine bio acoustics, 201.
8. Kumpf, H.E.(1964): Use of Underwater television in bio-acoustic research. Marine bio-acoustics, 45-57.
9. Fish, M.P.(1964): Biological sources of sustained ambient sea-noise. Marine bio-acoustics, 186.
10. Yamada, T. (1941): Sea where fishes croak. Kaiyo No Kagaku 1, 53.
11. Wenz, G.M(1962): Acoustic ambient noise in the Ocean. Spectra and source, J. Acoust. Soc. Am. 34, 1936.