

제주연안에서의 딱총새우음의 소음성과 측위방법에 관한 연구

안 장 영

제주대학교 어업학과

A study on the noise nature and positioning method of snapping shrimp sounds on the coast of Cheju

Jang-Young Ahn

Department of fishery, Cheju National University, Chejudo 690-756 Korea

On the coast of Cheju Island, the author carried out an investigation on the wave form and noise nature of snapping shrimp(*Genus Alpheus*) sounds. The experiments conducted on 25 June, 1995 at the Wimi, on 6 June, 1996 at Hamdok and on 7 July, 1996 at Hwasun. In addition, the accuracy of positions by GDOP around four hydrophones to receive snapping shrimp sounds is simulated for the establishment of calculating algorism of these position.

The main results are as follow.

- 1) In the wave forms of snapping shrimp sounds, the durations of these pulse with three peaks are less than 1 ms. The duration between first and second peaks in the wave form is about 0.3 ms and it between second and third peaks is about 0.45 ms.
- 2) The snapping shrimp emit peculiar pulse that is very powerful and have components of wider and higher frequency than 100 kHz in the sea. The sounds of snapping shrimp produce a bad influence on echo sounder operating at frequency less than 100 kHz.
- 3) In case that we have to obtain the positions of snapping shrimp sounds around four hydrophones of which are arranged rectangular on the sea bottom, there are two methods in accordance with receiving order of hydrophones in the hyperbolic system. One is that 2nd and 1st receiving hydrophones make up a pair, and 2nd and 3rd receiving hydrophones make up a pair, and master is 2nd hydrophone. And, the other is that 3rd and 2nd receiving hydrophones make up a pair, and 3rd and 4th receiving hydrophones make up a pair, and master is 3rd hydrophone.

Key words : Snapping shrimp sound, frequency compoment, sound positioning

서 론

해중에는 공기중과 마찬가지로 항상 소음이 발생하고 있으며, 소음의 음압강도도 시간 및 장소에 따라서 변한다. 심해에서의 소음은 해양교란 및 원거리의 선박항행소음등만으로 구성되어 있어 비

교적 안정적이고 소음준위도 명확히 구분이 될 뿐 아니라, 각종 조건에 대응하는 평균적, 전형적인 해중소음 스펙트럼이 있으면 대개 소음레벨도 예상할 수 있다. 그러나, 천해에서의 소음은 각종 인공적 소음과 생물의 명음, 조류에 의한 교란등이 주요원인으로, 이들은 각각 연안의 천해나 항만에

* 이 논문은 1995년도 제주대학교(해양연구소) 발전기금 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

서 크게 변동할 뿐만 아니라 같은 장소라 할지라도 시간에 따라 다르며, 소음원도 다양하게 변한다. 천해수중소음을 일으키는 대표적인 생물로서 딱총새우(*Genus Alpheus*)를 들 수 있는데, 전세계적으로 온대의 천해역에 대부분 분포(Fish and Mowray, 1970)하고 있으면서 강하고 빈도 높은 음을 거의 지속적으로 발생시키고 있어서 집단적 혹은 다발적인 발음시에는 국지적으로 주변서식물에 큰 영향을 준다(Horton, 1959)고 하고 있다. 더구나 그 발음은 주파수성분도 광범위하여 많은 수중음향계측기에 상당한 악영향을 미칠 것으로 예측이 되고 있다. 따라서, 딱총새우의 발음에 대한 철저한 관찰과 분석이 요구되며, 이와 관련하여 발음 메카니즘(Johson et al., 1947; Takemura and Mizue, 1968), 주파수의 성분(Johson et al., 1947; Takemura and Mizue, 1968; Ahn et al., 1993), 발음위치의 측정에 의한 음원강도 및 분포(Ahn et al., 1993)등 많은 연구가 진행되고 있다.

이 연구는 딱총새우음의 소음성을 연구하고 수중발음물체의 위치를 추적·계산하는데 필요한 알고리즘 확립을 위하여, 제주도 주변해역에 서식하고 있는 딱총새우음의 발음형태 분석 및 장소에 따른 음압준위의 변화를 조사하였다. 또한, 발음생물인 딱총새우의 위치를 측정할 때, 보다 정확한 위치를 측정하기 위하여 위치계산오차에 관한 시뮬레이션을 실시하여 高精度의 위치계산방법을 제시하고자 하였다.

자료 및 방법

딱총새우음의 수록과 분석

제주연안역에 분포하고 있는 딱총새우음의 측정 장소는 Fig. 1과 같이, 제주도 북쪽해안과 남쪽해안의 3개소이었다. 북쪽해안의 함덕은 해수욕장서단으로 저질이 모래이면서 암초가 드문드문 있는 곳을 택하였으며, 남쪽해안은 북쪽의 함덕과 환경조건이 비슷한 화순해수욕장서단의 1개소와 두 해수욕장과는 환경조건이 아주 다른 암초가 많은 곳인 위미로 택하였다.

측정시기는, 위미에서 1995년 6월 25일이었으며, 함덕에서는 1996년 6월 6일, 그리고 화순에서는 동년 7월 7일이었는데, 측정당시의 해황은 뷰포트 풍력계급으로 0~1정도로 평온한 상태이었다.

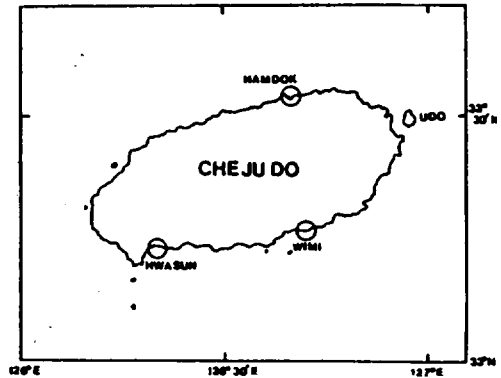


Fig. 1. Location of measuring points of snapping shrimp sounds

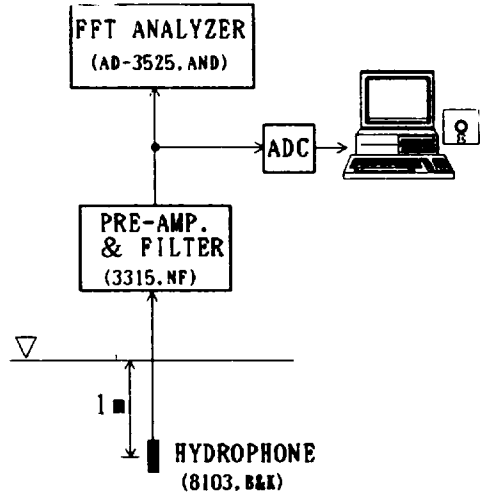


Fig. 2. Block diagram of the experimental equipment for recording and analyzing of snapping shrimp sounds.

수중음의 측정방법은 Fig. 2와 같이, 수신감도가 $-212 \text{ dB re } 1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$ 인 하이드로폰을 낚싯대 끝에 매달아서 수심이 약 3 m인 장소에서 해면하 약 1 m 지점에 고정시킨 후 딱총새우음을 수신하였다. 하이드로폰에 수신된 딱총새우음은 200 Hz~100 kHz의 대역폭을 가진 전치중폭기겸 필터를 통하여 개인용 컴퓨터의 A/D변환기(UAD-98MX, UNIONDATA)와 FFT분석기에 동시에 입력시켰다. 입력시의 수신음은 250 kHz의 샘플링주파수로 디지털화되어 플로피 디스크에 각각 수록되었다.

딱총새우음에 대한 과형의 형태분석은 플로피디스크에 수록된 음압의 시계열 데이터를 이용하였

고, 스펙트럼 분석은 이 시계열데이터로써 FFT 계산을 하여 구하였으며 확인을 위해 FFT분석기의 결과와 비교하였다.

수신음의 음압환산은 (1)식에 의하였으며, 하이드로폰으로부터 발음위치의 원근에 따라서 음압이 달라지므로 과형분석에서 음압표시는 생략하였으며 스펙트럼분석에서의 음압레벨로 대신하였다. 수신음압레벨로써 스펙트럼레벨로의 환산은 (2), (3)식에 의하여 구하였다.

$$20 \cdot \log p = 20 \cdot \log v - SR - GR \quad (1)$$

$$BL = RL - SR - GR \quad (2)$$

$$SPL = BL - 10 \cdot \log W \quad (3)$$

- 단, p : 수신음압
- v : 수신전압
- SR : 하이드로폰의 수신감도
- GR : 수신기 이득
- BL : 대역레벨
- RL : 수신레벨
- SPL : 스펙트럼레벨
- W : 주파수 대역(Hz)

딱총새우음의 위치측정 시뮬레이션

해중에서 딱총새우와 같은 발음생물의 입체적 위치를 측정하는데는 음을 수신할 수 있는 수신기가 4개 이상 필요하다. 따라서 최소수인 4개의 하이드로폰(H0, H1, H2, H3)으로써 위치를 내는 방법을 검토하였으며, 위치결정방법으로는 하이드로폰간의 거리를 감안하여 SSBL방식의 쌍곡선위치결정법으로 검토하였다. 그런데, 딱총새우의 습성이 일반적으로 해저에 숨어서 생활하다가 적이 나타나면 위협의 수단으로 음을 발생하는 것으로 알려져 있으므로 수평위치만을 고려하였고 수직위치는 수심과 같은 것으로 간주하여 고려대상에서 제외시켰다. 그러므로 4개의 수신기를 정사각형으로 배치하여 해저에 놓을 경우 2차원의 수평위치를 계산하는데는 3개의 하이드로폰만 있으면 가능하나 4개를 모두 이용하여 위치의 정도를 높이는 데 활용하였다. 이 경우 3차원의 위치가 필요시에는 정사각형으로 배치된 4개의 수신기를 그대로 해면에 띄워 의사거리법으로 위치를 계산할 수 있으나 이 연구에서는 고려하지 않았다.

측정위치의 精度豫測 혹은 精度確認 방법은, IEEE (Institute of Electrics and Electronics Engineers)

와 같이 위치결정시에 거리, 거리차, 위치선협각 등의 측정오차로써 측정시스템의 오차로 표시할 수 있는 기하학적 측위정도의 계수인 GDOP(Geometric Dillution of Precision)를 이용하였다(木村, 1985). 즉, GDOP에 의한 위치오차의 계산은 위의 측정오차에 GDOP 계수의 곱으로 구한다. GDOP 계산을 위한 수신기와 측정위치와의 관계 및 계산식은 Fig. 3 및 (4)식과 같다.

$$GDOP = \frac{1}{2 \cdot \sin \gamma} (\operatorname{cosec}^2 \frac{\alpha}{2} + \operatorname{cosec}^2 \frac{\beta}{2} + \operatorname{cosec}^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{cosec} \frac{\beta}{2} \cdot \operatorname{cosec} \frac{\gamma}{2})^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\text{단, } \gamma = \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2}$$

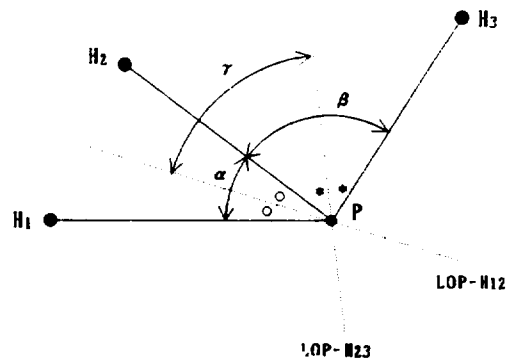


Fig. 3. An angles between lines of position at sound source position.

위치정도의 개선방법은 4개의 하이드로폰중 어느 것을 주국으로 놓고 어떤 하이드로폰끼리 조국을 하면 위치의 정도가 좋아지는지를 GDOP의 계수로 판단하였다.

결 과

딱총새우음의 파형

Fig. 4는 각 측정장소에서 수록한 딱총새우음의 대표적인 파형의 예로서, A와 B파형은 함덕과 화순에서 샘플링주파수 250 kHz로 측정된 것이며, C파형은 위미에서 샘플링주파수 125 kHz로 측정된 것이다. A, B파형은 펄스음의 길이가 0.8~0.9 ms 정도로 짧는데 비해 C파형은 펄스음이 7 ms 이상으로 지속되고 있음을 보여주고 있다. 그러나 C파

형도 가장 앞부분의 1 ms 정도는 A파형과 아주 흡사한 모양을 하고 있어서 A, B파형의 펄스음과 함께 딱총새우음을 나타내고 있으며, 앞의 짧은 펄스음이 있는 후 주변압초에 의한 다중반사가 일어난 것으로 보인다. 이렇게 다중반사의 영향이 없다고 판단되는 딱총새우음은 199개 정도이었는데, 그 파형의 펄스폭이 0.7~1 ms이었고 음압은 50~300 Pa_{rpp}이었다.

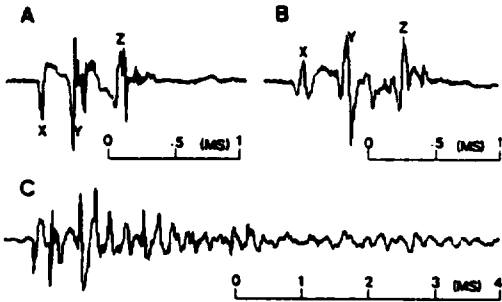


Fig. 4. wave forms of snapping shrimp sounds

3개 장소에서 수록된 딱총새우음 총 268개의 파형을 분석한 결과 3가지로 분류를 할 수 있었다. A파형의 형태는 1 ms의 펄스내에 첨예한 음압을 나타내는 X, Y, Z지점에서의 음압성분이 (-)(-)(+)인 것이다. B파형의 형태는 A파형과 달리 X, Y, Z지점에서의 음압성분이 (+)(+)(+)이었다. A와 B파형에서 피크지점들 사이의 시간차는 X지점과 Y지점 사이가 약 0.3 ms, Y지점과 Z지점 사이가 약 0.45 ms로서 거의 같았다. 그리고 기타로 분류한 파형은 A, B파형도 아니거나 음이 약해서 파형의 형태를 알 수 없거나, C파형과 같이 다중반사의 영향을 많이 받았는 파형이다. 이들 파형의 빈도를 지역 별로 나타낸 것이 Fig. 5 이다. 함덕과 화순에서는 수록음의 대부분이 A형이었고 B형도 다소 있었다. 이에 비하여 위미에서는 기타에 속하는 파형이 대부분이었다. 이것은 함덕과 화순은 음의 측정장소가 저질이 모래이고 압초가 별로 없는 해수욕장이었기 때문에 다중반사가 거의 일어나지 않았고, 또 측정을 위한 Threshold 값이 비교적 높아 깨끗한 파형이 많이 수록되었던 결과로 생각된다. 위미에서는 딱총새우음 측정시 낮은 Threshold 값이어서 수록된 음의 파형구분이 어려웠고, 압초가 많은 관계로 다중반사의 영향이 많았다.

딱총새우음의 소음성

함덕과 화순에서 측정된 딱총새우음인 Fig. 4의 A음과 B음, 그리고 A음과 B음의 측정시에 측정된 해중주위환경소음에 대하여 각각 스펙트럼분석한 결과는 Fig. 6과 같다.

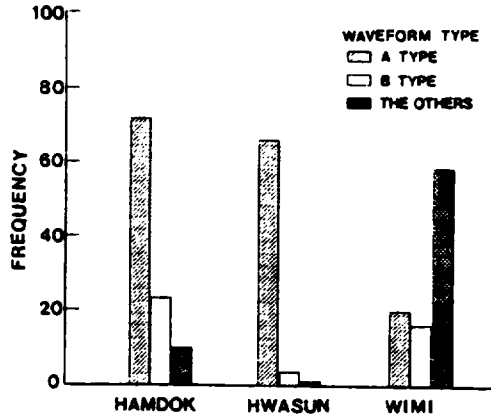


Fig. 5. Regional characteristic of wave form distribution.

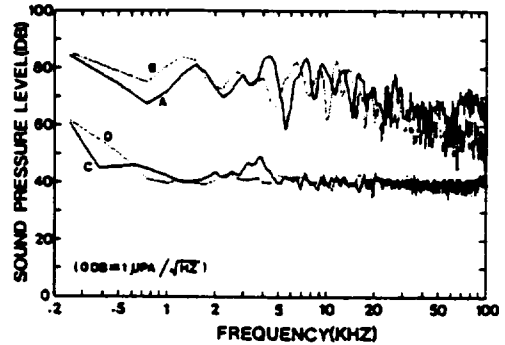


Fig. 6. Spectra of snapping shrimp sounds and ambient noises at the Hamdok, A, C) and Hwasun(B, D).

Fig. 6에서 C곡선은 함덕에서, D곡선은 화순에서의 주위환경소음인데, 주파수 3~5 kHz에서 함덕이 7~8 dB정도 높은 것을 제외하고는 전 주파수대에서 음압레벨이 거의 같았다. 두 장소에서의 딱총새우음에 대한 스펙트럼은 주파수가 5~10 kHz이며 그 주파수대에서 최대전압 약 85 dB을 나타낸후 6 dB/oct의 감소율로 서서히 감소하여 100 kHz이상까지 주파수성분이 떨어있음을 알 수 있었다. 이들 두 스펙트럼은 전체적으로는 거의 같은

양상을 보였으나, 함덕에서 측정된 음의 스펙트럼인 A곡선은 주파수 28 kHz와 60~100 kHz에서 B곡선보다 약 10 dB 높게 나타났다. 고주파수에서 A곡선이 다소 높게 나타난 것은 Fig. 4에서도 확인할 수도 있었는데, A파형에는 가늘게 진동하는 성분이 있는 반면 B파형에서는 그 성분을 인식하기 어려운 것에서도 짐작할 수 있었다.

GDOP 계산 시뮬레이션

4개의 수신기인 하이드로폰을 정사각형으로 배치하여 해저에 놓고 딱총새우음의 위치를 측정할 때, 측정위치의 精度豫測을 GDOP의 계수로 본 결과는 Fig. 7, 8이다.

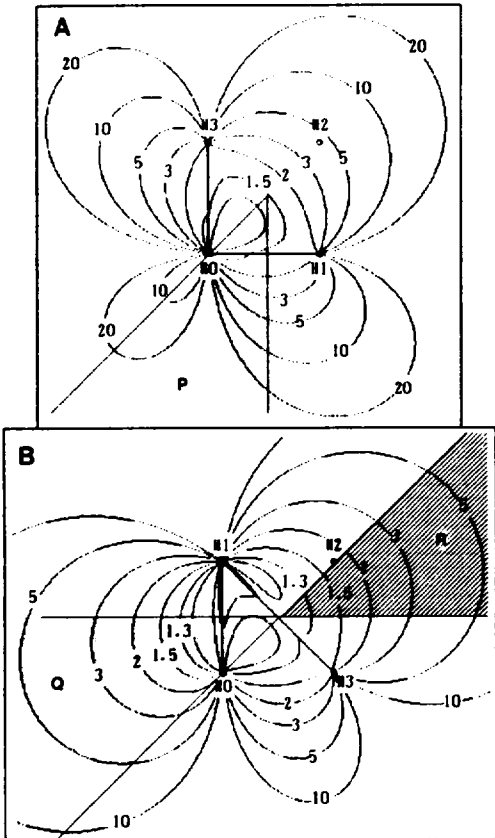


Fig. 7. GDOP around four hydrophones of which are arranged rectangular, when receiving order of underwater sound by them is H0, H1, H3, H2.
A : When the pairs are H0-H1 and H0-H3, and master is fixed with H0.
B : When the pairs are H1-H0 and H1-H3, and master is fixed with H1.

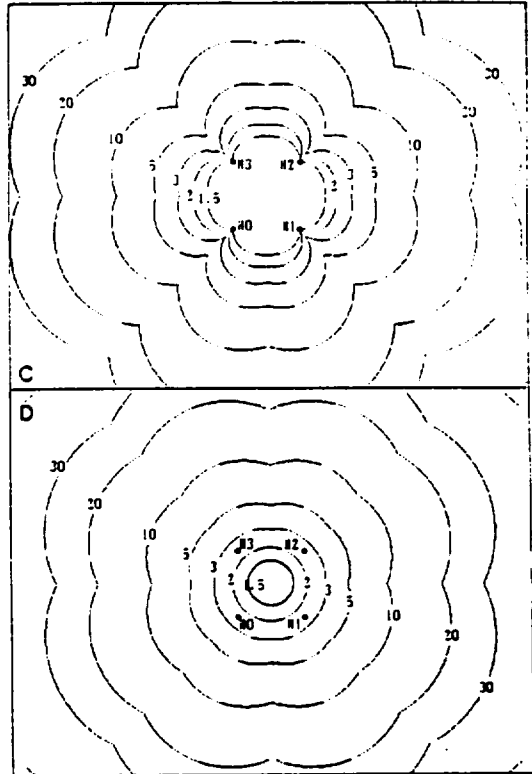


Fig. 8. GDOP around four hydrophones of which are arranged rectangular, when receiving order of underwater sound by them is varied.
C : When 2nd and 1st receiving hydrophones make up a pair, and 2nd and 3rd receiving hydrophones make up a pair, and master is 2nd hydrophone.
D : When 3rd and 2nd receiving hydrophones make up a pair, and 3rd and 4th receiving hydrophones make up a pair, and master is 3rd hydrophone.

Fig. 7의 A그림은 4개의 하이드로폰에서 수신되는 순서가 H0,H1,H3,H2 일 때, 가장 먼저 수신되는 H0를 주국으로 고정하고 두 번째와 세 번째인 H1, H3를 종국으로 하였을 때의 결과로서, 점부분인 P지역에서는 오차가 많거나 위치를 구할 수 없는 곳이 많다. 그러나 두 번째로 수신되는 H1국을 주국으로 고정하고 첫 번째와 세 번째로 수신되는 H0,H3를 종국으로 한 B그림의 Q지역은 A그림의 그 어느 부분보다 정도가 향상되어 있었다. 또한 빗금부분인 R지역은 세 번째 수신되는 H3를 주국으로 고정시키고 두 번째와 네 번째 수신되는 H1,H2를 종국

으로 한 경우로서, Q지역보다는 정도가 떨어지나 정도의 변화가 작고 안정적이며 GDOP의 계수가 5이상인 지역에서는 Q지역보다 정도가 높게 나타나는 지역도 있다. 따라서, 위치의 계산시에 Q지역 혹은 R지역이 모든 방향에 나타나도록하면 음원이 어떤 곳에 있더라도 정확한 위치를 얻을 수 있다.

Fig. 8은 음원이 어떤 곳에 있더라도 두 번째로 수신되는 하이드로폰을 주극으로 하고 첫 번째와 세 번째로 수신되는 하이드로폰을 종극으로 하여 얻은 GDOP 계산 시뮬레이션 결과를 C, 세 번째로 수신되는 하이드로폰을 주극으로 하고 두 번째와 네 번째로 수신되는 하이드로폰을 종극으로 하여 얻은 GDOP 계산 시뮬레이션 결과를 D로 나타낸 것이다. C는 전반적으로 위치의 정도는 좋으나, 서로 대각선 방향의 연장선 부근에서는 상대적으로 위치의 정도가 떨어지는 문제점이 있었다. 그리고 D는 음원이 어디에 있어도 거리에 비례하여 위치의 정도가 거의 일정하게 낮아져 수신 하이드로폰을 중심으로 등계수곡선이 거의 동심원을 이루고 있으나, 하이드로폰에서 가까운 지역은 C에 비하여 위치정도가 떨어진다.

고 찰

딱총새우의 파형은 세 지역에서 측정하여 본 결과 거의 비슷하였으며, 펄스음이 약해서 파형판별이 어려운 것을 제외하고는 모두가 Fig. 4의 A 혹은 B파형과 흡사하였다. 그러나 A, B파형도 좀더 높은 샘플링 주파수로 정밀측정을 하지 않고는 별개의 것으로 단정하기 어려운 상황이며 현 파형에도 펄스안에는 피크를 나타내는 지점의 간격이 거의 같아서 관점에 따라서는 같은 형태로 볼 수도 있다. 이러한 결과는 딱총새우의 발음이 시간과 장소에 따라 음압의 차이는 있을 수 있으나 발음 메카니즘은 거의 동일한 것이 아닌가 생각된다.

딱총새우의 펄스폭은 측정장소 및 방법에 따라 달라 약 18 ms 라는 보고(Takemura and Mizue, 1968)도 있으나, 이는 수조내에서 측정하여 다중반사의 영향이 컸기 때문으로 생각되는데, 이것에 대한 근거로 다중반사가 많이 일어나는 암초지역에서 측정된 음은 7 ms 이상이었던 것에 비해 다중반사가 적은 해수욕장에서 측정된 것은 1 ms 이내이었던 것을 들 수 있다. 따라서, 다중반사가 적은 곳에서 측정하면 1 ms 이내의 정확한 펄스폭을 얻을 수 있으리라 본다.

딱총새우의 발음은 100 kHz이상의 넓고 강한 주파수성분을 가지고 있어서 이들이 동시다발적으로 발음을 한다면 사용하는 수중음향기에 많은 영향을 미칠 것으로 예상되며, 특히 38 kHz와 50 kHz의 어군탐지기에는 집단발음시 의외의 어군형태로 표시되어 오인의 소지도 있을 수 있다. 120 kHz의 어군탐지기는 좀더 고주파수까지 측정조사가 하여야 영향의 유무를 알 수 있다.

딱총새우등과 같은 수중발음물체의 위치를 측정함에 있어 수신기의 배치도 중요하지만 보다 정확한 위치를 얻기 위해서는 위치결정방법이나 위치계산 알고리즘도 대단히 중요하다. 따라서 위치를 계산할 때, Fig. 8의 C, D방법을 단독으로 사용하는 것도 좋지만 경우에 따라서는 선택적으로 혹은 의사거리법등과 병행하여 사용하면 더욱 정도를 높일 수 있다.

요 약

제주도 주변해역에 서식하고 있는 딱총새우의 발음형태 분석 및 소음성을 연구하기 위하여, 1995년 6월 25일과 익년 6월 6일 및 7월 7일에 위미와 함덕 및 화순에서 딱총새우를 수륙·분석하였다. 또 이와같은 수중발음물체의 위치측정에 필요한 알고리즘 확립을 위하여, 위치계산오차에 관한 시뮬레이션을 실시하여 高精度의 위치계산방법을 제시하였다.

제주도 주변 해역에 서식하고 있는 딱총새우의 펄스폭은 1 ms 이내로 아주 짧았으며, 파형형태는 발음후, 첫 피크점과 두 번째 피크점사이의 시간차가 약 0.3 ms, 두번째 피크점과 세 번째 피크점사이의 시간차는 약 0.45 ms이었으며, 피크점의 위상은 다소 차이가 있었다.

딱총새우의 발음은 100 kHz이상의 넓고 강한 주파수성분을 가지고 있으며, 동시다발적으로 발음시에는 어군탐지기와 같은 수중음향기에 많은 영향을 미칠 것으로 예상되었다.

쌍곡선 위치결정법으로 수중발음물체의 수평위치를 측정함에 있어, 4개의 수신 하이드로폰중 먼저 수신되는 3개의 하이드로폰을 사용하는 방법과 가장 먼저 수신되는 것을 제외한 3개의 수신 하이드로폰을 사용하는 방법이 있다. 전자는 3개중 두 번째 수신되는 하이드로폰을 주극으로 하는 것으로 위치의 정도는 높으나 정도변화가 크다. 후자는 세 번째의 것이 주극이 되는 것으로 위치의 정도변화는 안정적이거나 정도가 약간 낮아진다.

참 고 문 헌

- 木村小一, 1985. 雙曲線航法と衛星航法のGDOP. 日本航海學會誌, 72, 41~48.
- Akira Takemura and Kazuhiro Mizue, 1968. Studies on the underwater sound-I. Bull. Fac. Fish. Nagasaki Uni., 26, 37~45.
- Jang-Young Ahn, Etuyuki Hamada and Kiyotaka Saito, 1993. Study on positioning of snapping shrimps and the source levels of their sounds. Journal of Tokyo university of Fisheries, 80 (1), 69~73.
- J. Warren Horton, 1959. Fundamentals of sonar. U. S. Naval Institute, 63~65.
- Marie Poland Fish and William H. Mowbray, 1970. Sounds of western north atlantic fishes. Johns Hopkins Press, 14~17.
- M. W. Johson, F. A. Everest and R. W. Young, 1947. The role of snapping shrimp in the production of underwater noise in the sea, Biol. Bull., 93, 122~138.