

수중 무선 전화기의 설계 *

- 수중무선전화기 설계를 위한 수중소음분석을 중심으로 -

박문갑 · 윤갑동** · 김석재 · 윤종락**

한국해양수산연수원, **부경대학교

(2001년 8월 1일 접수)

The Design of Wireless Underwater Telephone *

-Analysis of Underwater Background Noise for Wireless Underwater Telephone Design -

Moon Kab Park, Gab Dong Yoon**, Suk Jae Kim and Jong Rak Yoon**

Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, **Pukyong National University

(Received August 1, 2001)

Abstract

The underwater background noise measured in Geoje and Tongyoung diving fishing ground from May to December, 2000 and analyzed to get optimum carrier frequency and transmitter power level for underwater wireless telephone design.

The results obtained are summarized as follows:

1. At the Geoje and Tongyoung diving fishing ground, the lowest ambient noise band was 25~30kHz with 57dB and 52dB re 1μPa, respectively.
2. At the Geoje and Tongyoung diving fishing ground, the lowest noise band during fishing activity was 67dB and 62dB re 1μPa, respectively.
3. At the Geoje diving fishing ground, the noise of water jetter which is a digging machine for subbottom shells was 102dB re 1μPa.
4. Considering the design parameters of underwater wireless telephone, it is found that the optimum carrier frequency band is around 30kHz and the transmitter source level should be at least 131dB re 1μPa for 500m range telephone.

서론

해양에서도 인간의 활동 영역이 넓어짐으로서 수중 통신의 필요성이 제기되었고 이에 따라 수중 통신이 행하여지게 되었다. 수중과 수상의 통

신은 줄로서 간단한 정해진 신호를 주고받는 것에서 시작하여 유선 전화의 사용을 거쳐 무선 전화가 사용되게 되었다. 특히, 잠수기 어업이나 수중 작업, 해양 레저스포츠 등에서 수중 활동의 자유성과 신호선 절단 위험성의 감소와 같은 장점

* 이 논문은 2000년도 해양수산부 수산특정연구개발사업의 연구개발 결과임.

을 가진 수중 무선 통신의 필요성이 증대됨에 따라 우리 나라에서도 수중 무선 전화기의 개발에 대한 관심이 점차 높아지고 있다.

이러한 수중 무선 전화기는 제 2 차 세계 대전 중에 미국 해군이 개발한 UQC가 있었고 민간용은 1960년대 미국의 플로리다 대학에서 개발한 이래 현재는 여러 나라에서 근거리 다이버용과 심해 잠수정의 연구 활동에 사용하는 장거리 선박용이 개발되어 있다. 이와 같은 수중무선전화기를 설계하는데 있어서는 해저, 해면으로 경계지어져 있는 해양 통신 전송 채널에서 음파의 반사, 굴절, 회절과 수중 배경 잡음 등이 설계변수가 된다. 특히, 수중 음향 전송 채널의 특성은 최적의 번복조방식, 전기 음향 변환기의 주파수 대역을 결정하므로 수중 무선 전화기의 설계 시에도 고려해야 할 중요한 요소이다. 이러한 음향 통신 환경 파라미터와 음향 장치의 설계 및 운용과의 관계를 해석하는데 필수적인 것이 제 2 차 세계 대전 중에 수식화된 소너 방정식이다.

수중 무선 전화기 설계의 중요한 변수 중 하나인 수중 배경 소음에 관한 연구는 수중 음파 전달 특성과 함께 신호의 전달 한계를 파악하거나 신호의 효율적 전달을 위한 사용 음향 기기의 주파수의 범위를 결정하기 위해 연구되어 왔으며, 외국의 연구 사례는 제 2 차 세계 대전 후 Knudsen¹⁾ 및 Wenz²⁾의 연구를 시작으로 그 후 많은 연구자들에 의해 활발히 연구되어 왔으며, 국내에서도 윤³⁾, 윤·박⁴⁾, 하·윤⁵⁾, 박⁶⁾, 김 등⁷⁾에 의해 다수의 연구가 수행되었으나 국내 연구의 경우 수중 무선 전화기 설계를 위한 해양 배경 소음에 관한 연구는 거의 없었다.

따라서, 본 연구에서는 잠수기 어업 등에 사용하기 위한 수중 무선 전화기를 개발하기 위한 목적의 일환으로 잠수기 어업이 활발히 이루어지고 있는 거제와 통영 해역의 해양 배경 소음과 시스템 소음의 주성분으로 판단되는 폐류 채취용 분사기의 수중 소음을 측정하여 수중 무선 전화기의 설계에서 최적의 반송 주파수 결정 및 최대 500m까지 통화할 수 있는 송신기의 음향 출력 준위를 결정하기 위한 실험적 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 측정 해역 및 환경 조건

수중 배경소음 측정은 2000년 5월 6일, 5월 28일, 10월 7일, 10월 8일 및 12월 2일 5회에 걸쳐 어업용 수중무선전화기의 사용 해역 중 하나가 될 것으로 생각되는 제1, 2구 잠수기 어업의 주 어장인 거제와 통영의 수심이 5~30m인 해역에서 주간에 측정하였으며, 측정 환경 및 위치도는 Table 1 및 Fig. 1과 같다.

2. 측정장치 및 방법

수중 배경 소음의 측정을 위한 장치의 구성도는 Fig. 2와 같고, 사용한 장치의 성능 및 제원은 Table 3과 같다. 배경 소음의 측정은 거제 해역에서는 3.04톤, 310마력의 제2 대급산호를, 통영 해역에서는 1.32톤, 200마력의 동원호를 조사선으로 사용하여 기관을 정지한 상태로 수중 청음기를 2~20m의 해수 중에 현수시켜 10초간의 잡음 데이터를 컴퓨터의 Harddisk에 수록하였다. 모든 가동 전원은 축전지로부터 직류/교류 변환기를 거친 110V AC를 사용하였다. 측정시에는 측정 증폭기의 고역 통과 여파기의 차단 저주파수를 20Hz로 하여 파도에 의한 조사선의 운동에 따른 저주파수 대역의 소음을 차단하였고, A/D변환기의 샘플링 주파수는 100kHz로 하였으며 입력단의 저역 통과 필터의 차단 주파수는 50kHz로 하였다. 또한, 잠수기 조업중일 때의 조업장의 수중 소음은 거제 해역에서는 반경 300m범위 내에 3척의 조업선이 조업하는 어장에서 조사선의 기관을 정지한 상태로 잠수기 조업선들이 기관을 가동하여 분사기 펌프와 공기 압축기를 구동하는 상태에서 측정하였고, 통영 해역에서는 반경 30m 범위 내에서 5척의 잠수기어선이 조업하는 환경하에서 측정하였다. 측정 당시의 풍속은 풍속계로 관측하였고, 폐류 채취용 분사기의 수중 소음은 조사선의 기관을 정지한 상태에서 3.35톤, 316마력 크기의 잠수기 조업선이 기관을 가동하고 펌프와 공기 압축기를 구동하는 상태에서 주변에 다른 잠수기 조업선이 없는 단독 조업 환경에서 수심 5m, 저질 모래인 곳에서 청음기를 잠수자의 귀 높이에 두고 측정하였다.

측정된 데이터는 실험실에서 Mathworks사의 신호분석용 소프트웨어 Matlab을 이용하여 스펙트럼을 분석하였다.

Table 1. Measurement stations and environmental condition in underwater background noise measurement

No.	Fishing area	Position	Date	Wind force (Beaufort wind scale)	Hydrophone depth(m)	Remark
1	Geoje	35° 02' N 128° 41.5' E	2000. 5. 6	2	2	
2	Geoje	35° 01.5' N 128° 43' E	2000. 5. 28 2000. 10. 7 2000. 12. 1	1 5 5	2~5	additional measurement during fishing operation
3	Tongyoung	34° 50' N 128° 19.3' E	2000. 10. 8	2	2~20	
4	Tongyoung	34° 49.4' N 128° 25' E	2000. 12. 2	1	5	
5	Tongyoung	34° 49.7' N 128° 23' E	2000. 12. 2	1	5	additional measurement during fishing operation

Table 2. Specifications of measurement and analysis instruments

Instruments	Specifications
Hydrophone(B&K8106)	Voltage sensitivity : $-174dB$ re $1V/\mu Pa$ Frequency range : $10Hz$ to $100kHz$ Horizontal directivity : $\pm 2dB$ at $20kHz$ Vertical directivity : $\pm 3dB$ at $20kHz$
Measuring Amplifier(B&K2610)	Measuring range : $10\mu V$ to $30V$ FSD Frequency range : $2Hz$ to $500kHz(\pm 0.5dB)$
LP Filter(Krohn-Hite 7500)	Frequency range(fc) : $3Hz \sim 1MHz$ Frequency Accuracy : $100Hz$ to $100kHz$
AD Converter 64	Analog Input Range : $\pm 10V, \pm 2.5V, 0-10V, 0-5V, \pm 5V$ S/N Ratio : $88dB$, Dynamic Range : $90dB$, Gain Error : $\pm 5\%$

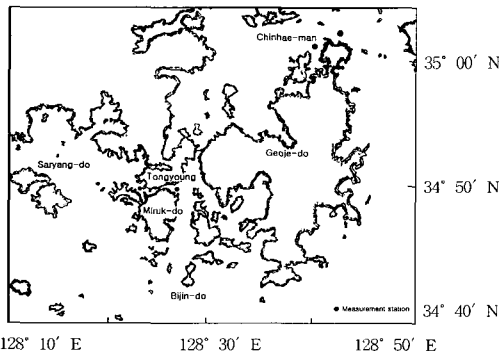


Fig. 1. Measurement station of underwater background noise.

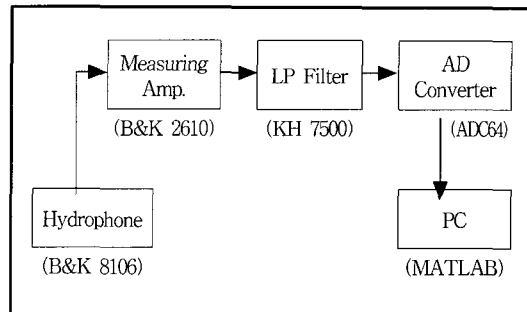


Fig. 2. Block diagram of measurement system.

결과 및 고찰

1. 거제 잠수기 어장의 해양 배경 소음 측정

Fig. 3은 거제도 북동쪽의 수심이 5m인 해역에서 조사선의 기관을 멈추고 2000년 10월 7일 중에 측정된 수중의 배경 소음 스펙트럼이다. 측정할 때의 수중 청음기의 수심은 2m, 측정 주파수 범위는 5~40kHz이며, 조사 당시 조사선 주변 200m이내에는 선박이 없었고, 배경 소음이 가장 낮은 주파수는 약 30kHz로서 그 때의 음압준위는 57dB(re 1 μ Pa) 이었다. 이 현상은 음속 변화가 없는 경우의 배경 소음은 흡수 손실의 영향으로 고주파수 소음보다는 저주파수 소음의 준위가 높게 나타난다는 사실과 부합된다⁸⁾.

2. 거제 잠수기 어장에서의 조업중의 수중소음

Fig. 4는 거제도 해역의 수심이 5m인 해역에서 2000년 5월 28일 측정된 배경 소음 스펙트럼으로 조사선의 기관을 정지시킨 상태에서 3척의 잠수기어선이 반경 300m 범위 내에서 조업중일 때 수중 청음기를 2m의 깊이에 내려, 40kHz의 주파수 범위에 대하여 측정된 결과이다. Fig. 4에서 음압준위는 약 30kHz에서 67dB로서 가장 낮았고, 이 결과는 Fig. 3의 조업을 하지 않을 때의 음압준위가 약 10dB 높게 나타났다.

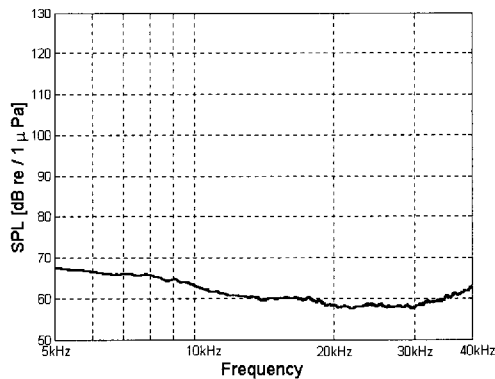


Fig. 3. Background noise spectrum without fishing activity in Geoje diving fishing ground.

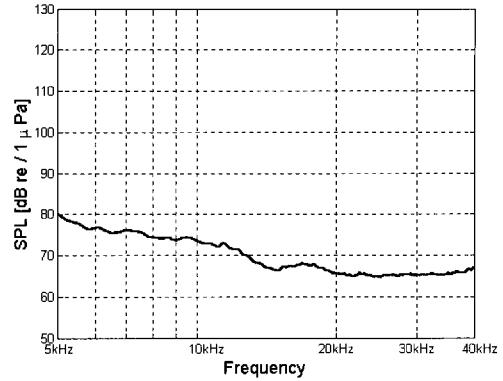


Fig. 4. Background noise spectrum with fishing activity in Geoje diving fishing ground.

3. 통영 잠수기 어장의 해양 배경 소음

Fig. 5는 통영의 잠수기 조업 해역에서 주변에 다른 선박이 없을 때, 조사선의 기관을 정지시킨 상태에서 배경 소음을 측정된 결과이다. 소음 준위가 가장 낮은 주파수대는 26kHz부근으로서, 그 값은 약 52dB이었다. 동일한 측정 조건인 Fig. 3과 비교하면 거제 해역이 통영 해역보다 배경소음의 음압 준위는 5dB 높은 경향을 나타내었다. 이것은 거제 해역이 통영 해역보다 상대적으로 주변 선박의 교통량이나 연안 소음원이 더 많은 것에서 비롯된 것으로 생각되며, 다른 해양 배경 소음의 일반적인 특성과 일치하는 경향을 보이고 있다⁸⁾.

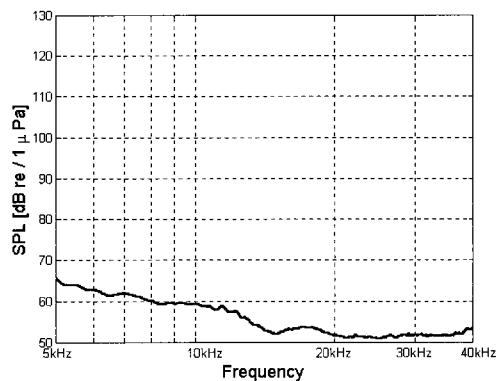


Fig. 5. Background noise spectrum without fishing activity in Tongyoung diving fishing ground.

4. 통영 잠수기 어장에서의 조업중의 수중 소음

Fig. 6은 통영 해역 잠수기 어업이 행하여지고 있는 어장에서 조업중에 측정된 수중 소음인데, 30kHz부근에서의 음압 준위가 62dB로서 가장 낮게 나타났다.

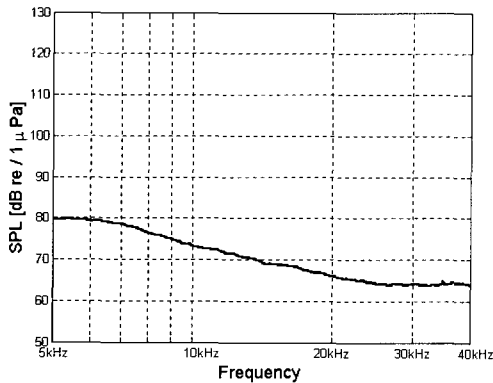


Fig. 6. Background noise spectrum with fishing activity in Tongyoung diving fishing ground.

Fig. 5와 비교하여 볼 때 잠수기 어선이 조업중의 수중 소음은 조업하지 않을 때의 그 값보다 약 10dB정도 높은 경향을 나타내었다. 이것은 거제 해역의 배경 소음과 조업 중의 소음과의 음압 준위 차가 10dB인 것과 유사한 경향을 나타내고 있다.

5. 분사기 소음의 특성

Fig. 7은 거제 잠수기 어선에서 사용하는 분사기 수중 소음인데, Fig. 3과 비교하여 볼 때 약 30kHz부근에서 102dB로서 분사기 사용으로 인한 수중 소음은 전 주파수 범위에 걸쳐 음압 준위가 약 45dB 높아진 것을 알 수 있다. 이것은 잠수기 작업선이 분사기를 구동시키기 위하여 기관과 공기 압축기를 가동함으로써 발생하는 소음과 해저 저질의 입자가 수중으로 확산되면서 발생하는 충격성 소음에 기인하는 현상이라 판단된다.

이상의 결과로부터 잠수기 어업용 수중 무선 전화기의 경우, 반송주파수를 30kHz로 하고 잔향을 무시할 때, 최대 통화 가능 거리는 해양 배경 소음 및 수중 무선 전화 시스템의 소음 준위 NL에 의해 좌우된다.

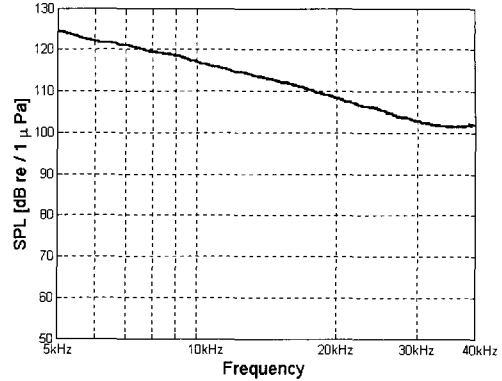


Fig. 7. Water jetter effect on underwater background noise.

이 때, 송신신호의 음원 준위 SL은 탐지 문턱 준위를 10으로 하고⁹⁾, 음파의 전파 손실을 TL이라 할 때, 소너 방정식으로부터 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$SL = TL + (NL + 10)$$

여기서 전파손실 $TL = k \log r + \alpha r$ 이므로⁹⁾, k를 20, 송신 거리 r을 $r = 500m$, 감쇠계수 α 를 $\alpha = 0.0006 \text{ dB/m}$ 로 하면 전파손실 TL은 54dB이 된다. 따라서, 거제와 통영의 잠수기 어장의 조업중의 수중 소음 준위의 측정치 67dB과 62dB을 이용하면, 수중 무선 전화기의 송신 신호의 음원 준위 SL은 각각 131dB, 126dB이 된다.

요 약

본 연구는 잠수기 어업용 수중무선전화기를 설계하는데 있어 최적의 반송 주파수와 송신 신호의 음원 준위를 결정할 목적으로 우리 나라 잠수기 주 조업장의 하나인 거제와 통영 해역의 해양 배경소음과 조업중인 잠수기 어장의 수중 소음에 대하여 검토, 고찰한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 거제와 통영의 잠수기 어장의 해양 배경 소음을 분석한 결과, 음압 준위는 25~30kHz 부근에서 가장 낮아 52~57dB이었고, 주변 통항 선박량과 산업시설이 많은 거제 해역이 통영 해역보다 약 5dB 더 높았다.

2. 거제와 통영의 잠수기 어선의 조업중의 수중 소음을 비교하면, 최저 음압준위는 30 kHz 부근에서 거제 어장에서는 67dB로서 통영의 62dB보다 5dB 높은 음압 준위를 나타냈다. 이것은 거제 해역은 잠수기 어선의 규모도 통영 해역의 잠수기 어선보다 약간 크고; 분사기를 사용하여 작업하는데 비해 통영 해역은 잠수기 어선의 크기도 상대적으로 작고, 주 어획 대상물이 달라 분사기를 사용하지 않는 것이 그 원인으로 판단된다.
3. 거제 해역의 패류 채취용 분사기를 사용할 때의 수중 소음의 음압 준위는 102dB였다.
4. 거제 해역의 조업중에 대한 수중 배경 소음을 67dB라 가정할 때, 최대 500m까지 통화하기 위한 송신 신호의 음원 준위는 131dB 정도이다. 그러나, 통영 해역의 잠수기 조업은 분사기를 사용하지 않는 조업으로 이 경우 배경 소음은 약 62dB로서 송신 신호의 음원 준위는 126dB정도이다. 잠수기 조업중이 아닌 경우 즉, 스쿠버 다이빙용 수중무선 전화기인 경우에는 배경 소음이 52~57dB이므로 송신 신호의 음원 준위는 116~121dB이면 될 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Knudsen, V. O., Alford, R. S. and Emling, J. W. (1948) : "Underwater ambient noise", J.Mar. Res., 7, 410~429.
2. Wenz, G. M. (1962) : "Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources", J. Acoustic. Soc. Am., 34, 1936~1956.
3. 윤갑동 (1979) : 어구에서 발생하는 소음, 한국수산학회지, 12(4), 217~224.
4. 윤갑동·박해훈 (1986) : 연안의 수중소음분석에 관한 연구, 어업기술, 22(3), 36~41.
5. 하강렬·윤갑동 (1983) : 영일만 부근에서의 수중소음, 한국수산학회지, 16(3), 197~201.
6. 박해훈 (1986) : 섬진강하구에서의 수중환경소음, 어업기술, 22(1), 19~23.
7. 김봉채·최복경·김대원 (1994) : 연안해역에 있어서 고주파 주위잡음에 관한 연구, 해양물리연구부 보고서, 한국해양연구소, 13~41.
8. Urick, R. J. (1983) : Principles of Underwater Sound, McGraw-Hill Book Company, 211~214.
9. Coates, R. F. W. (1990) : Underwater Acoustic Systems, Macmillan Education LTD, 18~30.