

무선수중전화기 설계에 대한 연구

김동현*, 노용주*, 박문갑**, 윤종락*

* 부경대학교 정보통신공학과

** 한국 해양 수산 연수원

Design of the Wireless Underwater Telephone

Dong-Hyoun Kim, Yong-Ju Ro, Mun-Gap Park, Jong-Rak Yoon

* Dept. of Telematics Eng. Pukyong National Univ.

** Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology

요 약

수중작업자 상호간이나 수중작업자와 수상요원간에는 수중작업의 효율 및 안전을 위한 통신 시스템이 필수적이다. 본 연구에서는 국외의 무선수중전화기 개발현황을 살펴보고 무선수중전화기 설계에서 고려해야 할 수중음향통신 환경, 전기음향변환기 및 통신방식 등을 분석, 소개하고자 한다.

I. 서 론

수중해양 환경에서는 전파에너지가 급격히 감쇠하므로 송수신자의 상호 정보전달을 위한 수중통화시스템에서는 정보전달매체로 음파를 이용하는 것이 효율적이다. 이러한 음향을 이용한 장치로는 상용의 어군 탐지기, 군용의 소나, 자원조사용 해저 저층탐사기(Sub-bottom profiler)등이 있고 본 연구에서 대상으로 하는 수중작업자 상호간 혹은 수중작업자와 수상승조원간의 정보교환을 위한 무선수중통화시스템 즉 무선수중전화기는 잠수함간의 통화를 위한 UQC와 미국의 OTS(Ocean Technology Systems)사의 "Buddy Phone"등이 있다. 이외에도 모스부호를 음향신호로 바꾸어 정보전달을 꾀하는 시스템도 있고 헬륨가스에 의해 변조된 음성을 복조해 주는 무선통화시스템도 제품화되어 있다.

이러한 수중통화시스템은 시계가 제한되는 수중환경에서 수중작업의 효율, 안전성을 위해서 뿐만 아니라 열악한 수중환경에 의한 수중작업자의 심리적 공포감해소를 위해 필수적이다. 경제 산업적 측면으로는 인공 어초나 바다 목장화 산업, 천해양식업 및 잠수기 어업, 기타 수중구조물 설치 및 수리 등에서 요구되는 시스템이고 또한 제한된 육지공간 및 국민생활수준 향상에 의한 해양 레저 스포츠 활동 즉 스포츠 다이빙이나 수중자연 체험학습 등의 분야에서도 요구된다.

그러나 일반 전파통신 환경에서 전파의 반사, 굴절, 회절 등이 전파통신시스템의 설계변수가 되는 것과 마찬가지로 무선수중전화기 설계를 위해서는 수중배경잡음을 포함하여 해저, 해면으로 경계지어져 있는 수중음향통신환경에 대한 연구가 필수적이다. 수중작업자의 호흡시 발생하는 기류음 특성이나 잠수용 후드와 마스크에 의한 수중 청감변화 특성도 해석되어야 할 것이다. 이러한 결과를 바탕으로 통신방식, 최적의 통신 주파수, 통신 가능거리를 결정하는 음원 준위 및 음향센서의 설계 파라메타가 결정되어야 할 것이다. 아울러 시스템의 내압, 내부식성 및 내수성에 대한 문제도 설계 파라메타가 될 것이다.

본 연구에서는 기존의 수중전화기 특성을 분석하고 무선수중전화기 제작에서 요구되는 수중음향통신환경, 통신방식, 전기음향변환기 특성 및 시스템의 안정성 등에 대해 살펴보고자 한다.

II. 수중전화기 개발현황

1. 유선식

가장 단순한 시스템으로 수중작업자와 수상요원과는 하드와이어로 통신채널이 형성된다. 일반전화기 시스템과 동일하며 통신범위는 하드와이어의 길이에 의해 결정되어 극히 제한적이다. 통화품질은 수중음향통신환경

에 독립적이고 잠수부의 흡·배기음에만 좌우된다. 기술적인 어려움이 없으므로 국내에서 사용되는 대부분의 수중통화 시스템이 이러한 유선식이다. 일반전화기 시스템을 개조한 것으로 현재 국내의 투구식 잠수기 어업이나 테트라포트 설치등 수중구조물 설치작업에 이용되고 있다.

2. 무선식

• 단방향 방식(Simplex)

가장 간단한 방식으로 P/A(Public Address)시스템과 같이 수중작업자는 수동적으로 수상요원의 통화정보를 수신하기만 한다. 수상요원의 음성은 증폭되어 수중스피커로 방사되는 것으로 통신범위는 수중스피커의 음원준위와 해양배경 잡음 및 수중의 음파전달특성, 잠수부의 후드나 마스크의 차음특성등에 좌우된다. 특히 수상요원이 승선하고 있는 모선이 발생하는 소음이 일차적인 방해잡음 요인이다. 수중작업자와의 통화가 불가능한 시스템이며 다음장에서 설명하는 바와 같이 해양배경잡음의 우세한 주파수 대역과 수중스피커에서 방사되는 음성대역이 일치하여 통신범위가 극히 제한적으로 수중스피커의 음원준위가 통신범위를 결정한다. 어류를 위협하거나 유인하기 위한 수중스피커제작에 관한 국내 연구사례가 있고 스포츠 다이빙용으로 제품화된 것이 있으나 제한된 기능으로 널리 이용되고 있지는 못하다.

• 반이중 방식(Half-Duplex)

수중작업자와 수상요원간 혹은 수중작업자 상호간의 통화가 가능한 시스템으로 육상에서의 무전기과 같은 기능을 갖는 시스템이다. 국내에서 연구 개발된 사례는 없고 미국의 OTS, Nautronix, Graseby Dynamics, 일본의 Fuji 사등에서 제품화 한 것이 있다.

공통된 특성은 통화자의 음성을 300Hz~3kHz로 여파한 후 단측파대(Single Side Band)로 변조한 후 수신측으로 전송한다. 반송주파수는 각 회사마다 다르고 특히 Graseby Dynamics 사는 8.087kHz~42kHz까지 범위에서 5개 주파수를 사용하고 있어 최대 5명의 수중작업자 및 수상요원간의 통화가 가능하다. 특히 8.087kHz는 NATO의 수중통화주파수이며 이 주파수 채널에서는 선박의 캐비테이션 소음을 동시에 모니터링 할 수 있는 기능을 갖는다.

제품사양에 의한 통신범위는 제품에 따라 500m~3000m에 이르고 사용수심은 40m~130m에 이른다. 이들 시스템에서 요구하는 가장 중요한 사항은 수중작업자는 통화를 할 수 있는 마스크를 착용해야 하므로 특수 마스크가 필요하다. 현재 국내의 잠수기 어업이나 수중작업에서 투구식 마스크를 착용하므로 이러한 시스템을 적용하는 데는 문제가 없으나 일반 스포츠 다이빙 분야에서는 마스크 자체가 대체되어야 하는 문제점이 있다.

III. 수중전화기 설계 파라메타

수중전화기를 일반통신시스템과 같이 신호 발생원으로부터 수신자까지를 분석하면, 수중작업자의 음성신호를 전기신호로 바꾸는 전기음향변환기, 전송채널의 신호전달특성에 부합되도록 하는 신호변조기, 변조된 신호를 수중음향신호로 바꾸는 전기음향변환기 및 수신된 변조신호를 원래신호로 복조 하는 복조기 등으로 구성된다.

이와 같은 다양한 기술분야중 전송채널의 신호전달특성 즉 수중음향전송채널의 특성은 최적의 변복조방식, 전기음향변환기의 주파수 대역을 결정하므로 수중전화기 설계 파라메타 중 가장 중요하다. 본 장에서는 수중전화기 설계에 관련된 하드웨어 및 소프트웨어 파라메타들에 대해 살펴보고자 한다. 본 연구에서 대상으로 하는 수중전화기가 운용되는 해양 환경모델은 수심 40m인 천해로 가정하고 해면 및 해저의 물리 음향적 특성은 시공간적 변화를 갖는 것으로 가정한다. 또한 통신범위는 대략 3km정도까지로 한다.

1. 수중음향 전송채널

해양에서 음파의 전송특성은 거리에 따른 음파에너지의 손실(TL), 주위배경잡음(AN), 복반사에 의한 잔향(Reverberation) 및 송수신기나 매질의 상대운동에 의한 도플러효과(Doppler Effect)로 대별된다. 이들의 특성은 해양의 시공간적 변화에 의해 특성을 달리하므로 무선 수중전화기와 같은 통신시스템을 설계하는 단계에서는 이들의 통계적 특성을 해석할 필요가 있을 것이다.

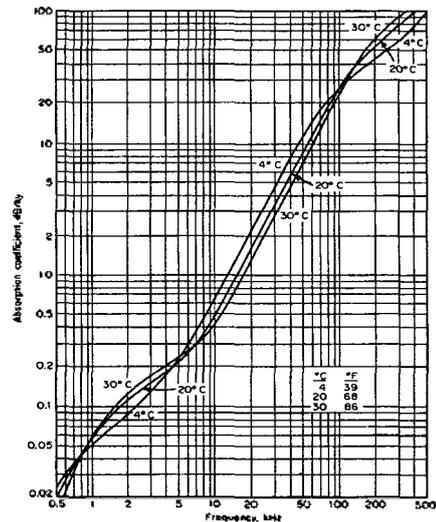


그림 1. 흡수손실특성(Ref.3)

• 손실

경로손실과 흡수손실이 있고 March등에 의하면 수심 40m, 등음속 구조인 천해에서 약 5km 이내의 거리에서 총경로 손실 TL은 다음식으로 주어진다.

$$TL = 20 \log r + ar \quad (1)$$

여기서, a 는 주파수에 따른 kyd 당 흡수손실로 그림 1

은 대표적인 흡수손실 특성을 보인다.

수중전화기의 사용주파수, 최대통화범위(거리) 및 식(1)로 주어지는 TL은 다음에 소개하는 배경잡음 특성과 함께 수중전화기의 음원준위를 결정한다.

• 배경잡음(AN)

해양의 배경잡음은 다양한 요인에 의해 결정된다. 심해에서는 통행선박과 해상상태에 의해 배경잡음 크기가 결정되고 천해에서는 이들 요인 외에 육상의 산업시설에 의한 수중전파음과 천해의 다양한 해양생물에 의한 소음에 의해서 배경잡음 크기가 결정된다. 그림 2는 내만에서의 대표적인 배경잡음 특성으로 주파수에 반비례하는 특성이다.

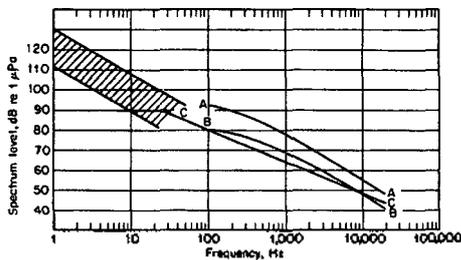


그림 2. 내만의 배경잡음(Ref.3)

• 잔향

수중통신에서 손실이나 배경잡음보다 중요한 전송채널의 특성이 복반사음 즉 잔향이다. 해면이나 해저에 의한 복반사는 신호의 코히어런스를 저하시켜 신호의 왜곡을 야기 시킨다. 특히 송수신기가 수직방향으로 위치한 경우가 수평방향으로 위치한 경우보다 왜곡현상이 심하게 되고 해면의 상태는 Rayleigh 파라메타 $R(R=kH\sin\theta, k:\text{파수}, H:\text{파고}, \theta:\text{해면입사각})$ 로 주어지며 해면의 반사계수가 주파수, 파고 및 입사각에 따라 달라진다는 특성을 보인다. 따라서 무선수중전화기의 경우 동일한 해상 상태에서는 근거리에서의 신호의 코히어런스가 원거리보다 낮게 되므로 수신음압이 낮게 된다. 따라서 근거리에서의 수신상태가 보다 불량하게 될 수 있다는 근거가 된다.

이러한 잔향효과는 적절한 통신방식의 선택을 강요하게 되어 시스템의 설계가 어렵게 된다. 따라서 송수신기의 지향성을 높혀 잔향효과를 제거할 수도 있으나 "Pointing error" 문제가 있고 특히 본 연구에서 대상으로 하는 수중전화기는 수중작업자의 활동성에 제한을 부여하지 않아야 하므로 송수신기는 가능한 무지향성이 요구되고 따라서 잔향의 통계적 특성이나 대상해역에 대한 잔향 특성해석이 요구된다.

• 도플러효과

해면의 상하 교란 운동은 그림 3과 같이 전송주파수를 중심으로 교란운동의 스펙트럼이 그림 3-(b) 양측파대로 관측된다. 이러한 특성은 전송주파수가 고주파수인 경우 통신시스템의 성능을 좌우할 정도로 심각한 문제로 알려져 있다.

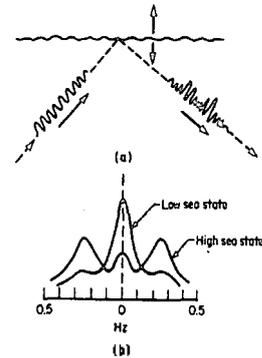


그림 3. 해면교란에 의한 도플러효과(Ref.3)

2. 통신방식

전자파 통신환경에서 적용되는 모든 아날로그 변조방식과 디지털 변조방식이 해양음향환경에서는 적용될 수 있다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 전송채널의 특성을 좌우하는 손실, 배경잡음, 잔향 및 도플러효과는 해양의 수심, 해면의 거칠기 및 사용주파수에 좌우되며 또한 시스템 설계 입장에서는 정보원(Information Source)의 정보량에 대한 연계 분석이 수행되어야 한다.

예를 들면 고화질의 해저 영상을 보내기 위해서는 10 ~ 100kbit/sec의 전송속도가 요구되는 것으로 알려져 있는데 이를 경우 앞서 언급한 40m 수심에서 최대 26msec의 직접파와 반사파와의 시간차로 이러한 전송속도에 부응되는 FSK(Frequency Shift Keying)와 같은 디지털 변조방식을 적용하는 것은 데이터 압축 알고리즘을 통해 가능할 수도 있으나 현재의 수중통신에 적용되고 있는 기법은 초보적인 수준으로 알려져 있다. 아울러 송수신기의 공간적 위치가 본 연구 주제에서와 같이가변인 경우 시간차는 변화하므로 시스템의 성능을 보장할 수 없게 된다.

• 무선수중전화기의 통신방식

국외의 개발현황에서 보는 바와 같이 현재의 시스템은 반송주파수가 8kHz ~ 42kHz인 SSB 방식을 채택하고 있다. FM 방식을 고려할 수 있으나 이는 다수의 수중작업자가 통화하기에는 식(1) 및 그림 1에서 보는 바와 같이 고주파의 흡수 손실에 의해 전송채널의 대역이 제한되므로 음성통화시스템에서는 채택할 수 없는 것으로 판단된다. 전송채널 즉 해역의 수심이 40m인 경우, 또한 일반적인 천해의 저질이 sand-mud이고 입사각이 10° 이상으로 해저반사손실이 약 6dB 이상인 경우에는 직접파와 해면반사파만을 고려하여 설계할 수 있을 것이다. 또한 해면의 거칠기가 큰 경우 원거리에서는 코히어런트가 크게 되어 수신감도가 증대하고 근거리에서는 해면 반사파 효과는 저감되어 직접파만의 수신상태가 되어 반사파 효과가 무시될 수 있다. 따라서 SSB 방식이 현재로서는 무선수중전화기의 통신방식으로 적

절하다고 판단된다.

• 기본회로설계방향

실제환경에 대한 특성의 상세한 분석은 간단치 않았다. 따라서 무선수중전화기의 설계를 위해서는 먼저 간단한 양측파대 AM 방식의 시스템을 제작하여 수치모의 실험 및 음향수조실험을 수행하여 배경잡음이나 잔향 등이 통화품질이나 통신범위에 미치는 영향을 해석하기로 하였다. 그림 4는 C-MOS IC인 XR2206을 사용한 AM 변조회로로 반송주파수는 30kHz이다.

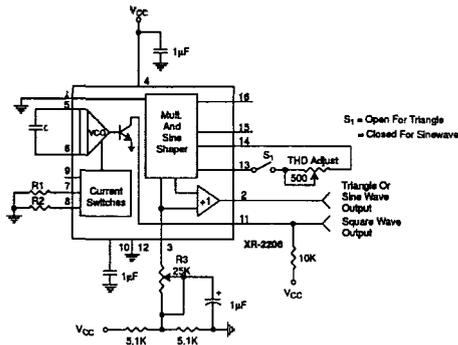


그림 4. AM 변조 회로

그림 5는 B&K 8103으로 송신하여 B&K 8103으로 수신 및 복조한 음성신호이다. 일차실험결과 이 시스템을 사용하여 수중음향전송채널의 특성을 해석할 수 있을 것으로 판단되었다.

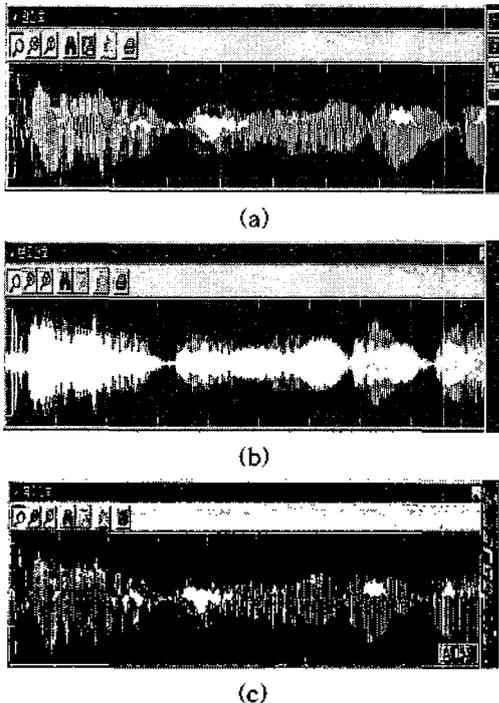


그림 5. 음성신호 "전화기 왔습니다"
(a)원신호 (b)변조신호 (c)복조신호

IV. 결론

본 연구에서는 수중작업자와 수상요원간의 무선수중

전화기 설계에 관련하여 기존의 시스템, 수중음향전송채널의 특성, 통신방식 및 SSB 방식의 시스템개발에 앞서 제작한 양측파대 AM 방식의 수중전화기 시스템의 특성을 제시하였다.

추후연구는 본 연구를 바탕으로 실제 환경의 음향전송 채널 특성에 적합한 무선수중전화기를 개발하는데 있으며 여기서 언급되지 않은 수중작업자가 통화할 수 있는 마스크의 물리적 특성해석, 설계, 제작에 관한 연구도 병행할 예정이다.

참고논문

- [1] E. Montague, J. F. Strickland, "Sensitivity of the Water-Immersed Ear to High-and Low-Level Tones", JASA, 33(10), pp. 1376-1381, 1947.
- [2] P. H. Milne, "Underwater Engineering Surveys", pp. 229-239, 1980.
- [3] Robert J. Urick, "Principles of Underwater Sound", 3rd edition, McGraw-Hill Book Company, 1983.
- [4] A. Bruce Carlson, "Communication Systems", pp. 519-522. 3rd Edition, 1986.
- [5] Malvino, "Electronic Principles", pp. 462-466, 3rd Edition, 1992.
- [6] 송희천, "수중음향통신-Underwater Acoustic Telemetry-", 한국음향학회지, 제13권 4호, pp. 94-101, 1994.
- [7] "Buddy Phone - Underwater Communication System - User Guide", Ocean Technology System, 1994.
- [8] "Buddy -Diver's Through-water Communication System - User Manual", Graseby Dynamics
- [9] K. Oimatsu, K. Kuramoto, S. Yamaguchi, S. Kuwahara, " Mechanism of Propagation Process for Underwater Auditory Sensation", Proc. 15th ICA(Trondheim, Norway), Vol.1, pp. 297-300, 1995.
- [10] William Stallings, "Data and Computer Communications", pp. 114-120, 4th Edition. 1995.
- [11] "Modular Air Diving Communication System", Nautronix Helle Ltd. Nautranix House. 1995.
- [12] "Hellephane Acoustic Diver Communication", Nautronix Helle Ltd. Nautranix House. 1995.
- [13] "해양 음향 탐사", 한국음향학회, 1995.
- [14] "Helium Speech Unscramblers", Nautronix Helle Ltd. Nautranix House. 1995.
- [15] 신현욱, 김민선, 윤종락, " 수중데이터 전송 시스템의 시험제작", 1998년도 세계 해양의 해 기념 해양·수산 관련 학회 공동 심포지움 및 학술대회 발표 요지집, pp. 85-86, 1998.
- [16] "수중 Recall System", 한국해저기술개발센터