

# 직접수열 확산대역 방식 기반 수중 이동 통신 모뎀의 실험적 시험

김승근, 백혁, 김시문, 윤창호, 조아라

선박해양플랜트연구소

{sgkim, hbaek, smkim, sgn0178, zoazoa}@kriso.re.kr

## Sea Test of an Underwater Acoustic Mobile Modem Base on the Direct Sequence Spread Spectrum

Seung-Geun Kim, Hyuk Baek, Sea-Moon Kim, Changho Yun, Ara Jo

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO)

### 요약

본 논문에서는 국내 최초로 실시간으로 동작하는 수중 이동 통신 모뎀과 이의 실험적 시험 결과에 대해 설명한다. 구현한 수중 이동 통신 모뎀은 직접수열 확산대역 방식을 사용하고, 약 97.6 심볼을 가지면서 이동하는 환경에서 사용할 수 있도록 개발되었다. 개발한 수중 이동 통신 모뎀을 이용하여 2022년 5월 제주 근해에서 실험적 시험을 통하여 약 12km 거리에서 통신할 수 있음을 시험하였다. 개발한 수중 이동 통신 모뎀은 장거리 이동하는 환경에서 단문 메시지 및 명령 등을 전달하기 위한 용도로 사용될 수 있을 것이다.

### I. 서론

수중에서는 초음파를 이용하여 무선통신이 가능하며, 바닷물에서 음파의 흡음이 주파수가 증가함에 따라 증가하여 전송하려는 거리가 긴 경우에 사용할 수 있는 주파수는 낮아지고, 이에 따라 사용할 수 있는 대역폭도 작아져 데이터 전송속도가 낮아지는 특징이 있다[1]. 이러한 가용대역폭이 작은 환경에서 하나의 데이터를 여러 칩심볼로 나누어 보내는 확산대역 통신방식은 낮은 SNR 환경에서도 강한 특성이 있어 장거리통신이 가능하게 한다[2].

선박해양플랜트연구소에서는 30km거리와 10m/s의 이동속도에서 100bps급 전송속도를 갖는 수중 이동 통신 모뎀을 개발하고 있다. 수중에서 30km의 장거리에 걸쳐 신호를 보내기 위해 직접수열 확산변조방식을 적용하여 모뎀을 구현하였다[2]. 구현한 모뎀은 수밀구조를 갖는 약 120cm의 길이와 약 24cm의 직경을 갖는 원통형 하우징에 내장되며, 외부로부터 전원을 공급받는다.

구현한 수중 통신 모뎀은 자체 제작한 실시간 채널시뮬레이터를 이용하여 약 18m/s까지의 이동 환경에서 동작함을 검증하였다[2]. 본 논문에서는 구현한 수중통신모뎀에 대하여 간략하게 설명하며, 2022년 5월 제주 근해에서 통신가능 거리 측정을 위해 실험적 시험을 수행한 내용에 대해 설명한다.

### II. DSSS 방식의 수중이동통신모뎀

본 절에서는 직접수열 확산대역 방식을 사용하여 수중 이동 통신 모뎀의 패킷 구조 및 송/수신 신호처리 구조에 대해 간략하게 설명한다. 상세한 내용은 참고문헌 [2]를 참고하기 바란다.

구현한 수중이동통신모뎀은 패킷 전송을 한다. 하나의 패킷은 송신하려는 데이터를 채널부호화를 통해 부호화 비트를 생성하고, 이에 데이터의

무결성을 검증하기 위해 8 bit 길이의 CRC를 추가하여 송신 데이터를 생성한다. 생성한 송신 데이터는 그림 1과 같은 패킷 구조를 갖는다. 하나의 패킷은 20개의 부프레임으로 구성되며, 한 개의 부프레임은 26개의 DQPSK 심볼을 포함하며, 부프레임 사이에는 4심볼 길이를 갖는 Frank 신호열(미드앰블)을 배치하며, 패킷의 제일 앞부분에는 프리앰블로 Frank 신호열을 두 번 반복하여 전송한다. 각 부프레임에서 송신 데이터를 DQPSK 심볼로 매핑할 때, Frank 신호열의 마지막 심볼을 기준으로 심볼을 매핑하도록 하였다. 하나의 데이터 심볼은 16칩 신호의 길이를 갖는 Frank 심볼열로 확산하였으며, 프리앰블, 미드앰블 및 테일앰블 신호는 64심볼 길이를 갖는 Frank 심볼열을 사용하였다.

수신부에서는 기저대역으로 변환한 신호에서 프리앰블 심볼을 검출하여 패킷 시작을 검출하고, Frank 신호열이 두 번 반복되는 프리앰블 구조

표 1. 패킷 구성 파라미터[2]

Parameters	Value
Carrier Frequency	6.25kHz
Chip Rate	1.5625kHz
Processing Gain	16
Spreading sequence	Frank 16 sequence
Channel Symbol Rate	~97.65 symbol/sec
Symbol Mapping	DQPSK
Preamble/Midamble/Tail-amble sequence	Frank 64 sequence
sub-frame number per packet	20
symbol number per sub-frame	26
channel data bits per packet	1040 bits
Packet length	~6.226 sec
max. info. data bits per packet(Rate 1/2; Rate 2/3)	514 bits ; 684 bits
Effective info. data bit transmission rate (Code Rate 1/2; Rate 2/3)	~82.5bps ; ~109.8bps

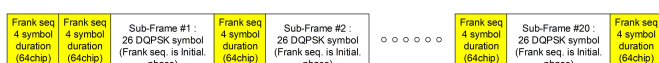


그림 1. 수중이동통신모뎀의 패킷 구조

의 특성을 이용하여 1차 도플러 편이를 추정한다. 1차 도플러 편이 추정 후, 각 부프레임에서는 앞에서 추정한 도플러 편이를 참고하여, 프리앰블 구간 또는 직전 부프레임에서의 도플러 편이와 현재 부프레임에서의 도플러 편이의 변화가 크지 않다고 가정한다. 이 가정하에서 직전에 추정한 도플러 편이값을 참고하여, 부프레임의 앞과 뒤에 있는 Frank 신호열의 길이 변화를 측정하여 도플러 편이를 추정하고, 이를 보상한다. 각 부프레임에서는 이후, 역확산과 DQPSK 복조를 수행하며, 이와 병렬적으로 채널의 다중경로를 추정을 수행한다. 추정된 다중경로 정보를 이용하여 DQPSK 복조한 신호를 결합하고, 이를 정규화한다. 한 패킷 수신이 완료되면, 각 부프레임별로 결정된 수신신호를 이용하여 채널복조를 수행하여 수신한 데이터를 결정한다. 본 구현에서 DQPSK 심볼 매핑을 사용하여, 수신 신호의 위상정보를 찾을 필요가 없고, 수신신호를 결합할 때 위상정합이 자동으로 되기 때문에 수신 신호처리 구조가 간단해지는 장점이 있다.

### III. 실험역 시험

개발한 두 척의 수중통신모형을 이용하여, 2022년 5월에 제주도 서방 근해에서 실험역 시험을 수행하였다. 실험역 시험을 위해 국립수산과학원에서 공개하고 있는 2020년과 2021년 4월부터 6월까지의 정선해양관측자료를 활용하여 음속분포를 분석하여 음속채널이 형성되는 제주도 서방해역을 시험 적지로 선정하였다. 또한, 실험역 시험 실시 일주일전에 시험적지 후보지역에 대하여 음속을 측정하여, 시험 후보 해역에서 음속채널이 형성됨을 확인하고 본 시험을 실시하였다. 시험에는 한국해양과학기술원에서 보유중인 온누리호와 이어도호가 사용되었다.

두 대의 선박간 거리를 변경하면서 수중통신모형의 통달거리를 시험하였으며, 두 선박은 계류하였다. 시험해역은 수심이 약 100m내외의 해역이었으며, 바닥은 굴곡이 있는 지형이었다. 실험역 시험시 측정된 음속분포는 시간과 장소에 따라 그 형태가 바뀌며 측정된 일부는 그림 2와 같다. 측정된 음속분포를 참고하여, 수중통신모형은 수심 60m 지점에 설치하고 통신 시험을 실시하였다. 통신시험은 송신측에서 정해진 패킷데이터를 반복하여 송신하고, 수신측에서 이를 수신하여 송신 데이터와 비교하는 것으로 수행하였다.

시험에서는 8.8km와 12km거리에서 수행하였다. 8.8km거리에서는 그림 3에서와 통신이 원활하게 되었다. 그러나, 12km 거리에서는 통신이 되는 경우보다 통신이 되지 않는 경우가 더 많았으며, 통신이 되는 경우에도 그림 4에서 보는 것과 같이 수신신호의 품질이 나쁜 상태로 수신되었다. 또한, 20km 거리에서 전송하였으나, 신호를 수신하지 못하였다. 실험역 시험을 통해, 구현한 모형을 12km거리까지 통신이 가능함을 확인하였다.

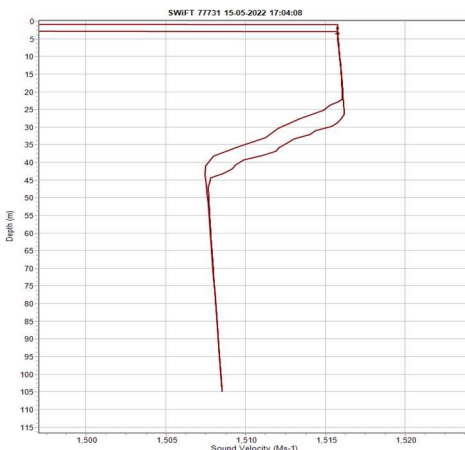


그림 2 실험해역의 음속프로파일 측정결과

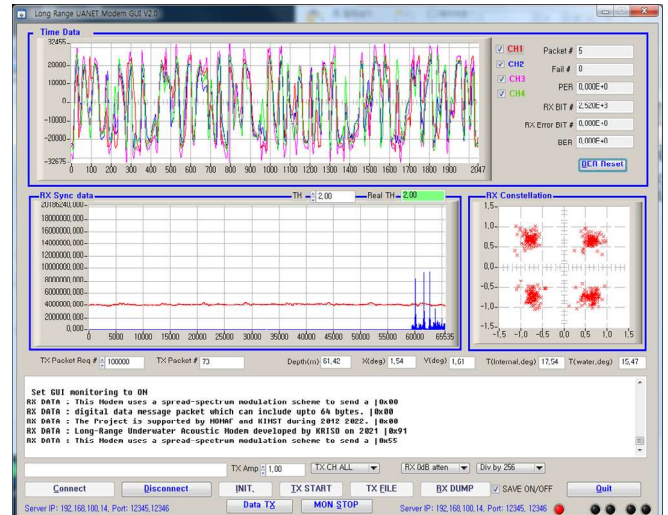


그림 3. 8.8km거리에서 수중통신모형 수신화면

### IV. 결론

본 논문에서는 6.25kHz의 반송주파수에서 약 2.1kHz의 대역폭을 사용하고, 직접수열 확산대역 방식을 사용하여 약 97.6 sps의 심볼율을 갖으면서 실시간 동작을 수행하도록 구현한 수중 이동 통신 모형을 대하여 간략하게 설명하고, 이를 이용하여 2022년 5월에 제주 근해에서 수행한 실험역 통달거리 시험에 대하여 설명하였다. 실험역 시험을 통하여, 구현한 모형을 12km거리까지는 통신이 가능함을 확인하였으며, 올해 말 동해안에서 추가 시험을 실시할 계획이다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 한국해양과학기술진흥원의 국가 R&D사업인 “수중 광역 이동 통신 시스템 개발”에 의해 수행되었습니다(PMS4720)

### 참 고 문 헌

- [1] M. Stojanovic and J. Preisig, “Underwater acoustic communication channels : Propagation models and statistical characterization,” IEEE Commun Mag., pp. 84-89, Jan.2009.
- [2] 김승근 외, “ 직접수열 확산대역 방식 기반 수중 이동 통신 모형 구현,” 한국통신학회논문지, vol. 47, pp. 1170-1184, 2022.8.

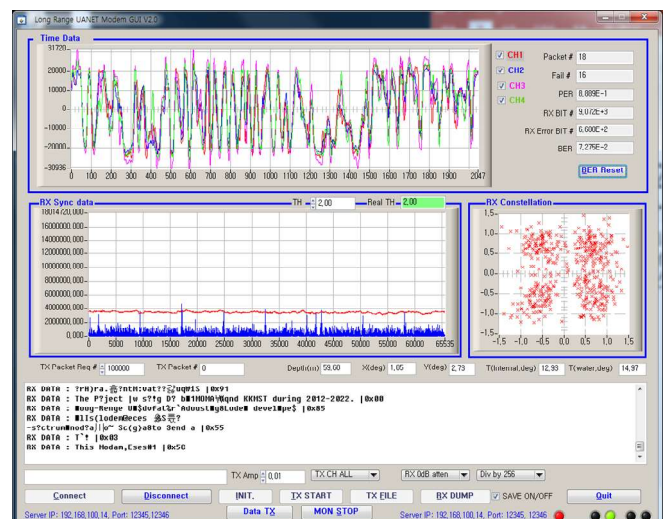


그림 4 12km 거리에서 수중통신모형 수신화면