

## 해상 HF대역 디지털 데이터 교환을 위한 통신시스템 분석 및 제안

최성철<sup>1</sup> · 소지은<sup>1</sup> · 박형철<sup>2\*</sup>

### Analysis and Proposal of Communication System for Maritime HF Band Digital Data Exchange

Sung-Cheol Choi<sup>1</sup> · Ji-Eun So<sup>1</sup> · Hyung-Chul Park<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Special Department, SAMYUNG ENC Co., Ltd, Busan, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Electronic and IT Media Eng., Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea

#### 요 약

해상통신은 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서 세계 해상 조난 및 안전제도(Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS)를 마련하고, SOLAS 규약에 따라 조난 및 안전 시스템을 탑재하도록 의무화하고 있다. Digital-HF(High-Frequency) 해안국 통신 시스템은 선박과 해안기지국 사이에 상호 운용성을 유지하며, 기존 아날로그 기반의 음성통신을 디지털화하여 해상이동업무에서 디지털 데이터 교환을 하기 위한 시스템이다. 본 논문은 디지털 HF통신을 위해 ITU에서 제정한 ITU-R M.1798-1을 분석하고, 기존 Annex 2와 Annex4의 문제점을 개선하여 Advanced annex2와 새로운 부속서인 Annex 5를 제안하고자 한다. 제안된 OFDM 프로토콜은 기본적으로 정보 송신측(ISS)과 정보 수신측(IRS)간의 반이중화 방식으로 에러발생시 재전송을 하는 ARQ(Automatic Retransmission Request)방식을 취하고 있으며, 이에 상응하는 구현 및 성능향상에 관한 기술적 개발을 하여 기존에 제시된 ITU-R M.1798-1보다 안정성과 우수성을 확보한 디지털 HF 통신시스템을 제안하고자 한다.

#### ABSTRACT

IMO (International Maritime Organization) has been providing GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) and mandating to install distress and safety systems according to SOLAS. Digital-HF(High-Frequency) coast station communication system maintains interoperability between ship and coast station and digital data exchange in maritime mobile service by digitizing existing analog base voice communication. In this paper, we analyze ITU-R M. 1798-1 established by ITU for digital HF communications and propose Advanced annex2 and new Annex 5 to improve the problems of the existing Annex 2 and Annex 4. The proposed OFDM protocol basically adopts ARQ (Automatic Retransmission Request) which retransmits when an error occurs in a half-duplex manner between an information transmitting side (ISS) and an information receiving side (IRS) and we propose a digital HF communication system and its operational concept which is more reliable and superior than the existing ITU-R M. 1798 by implementing technical development on implementation and performance improvement.

**키워드** : 디지털 단파, 데이터 교환, 디지털 통신, 해상통신, 이네비게이션

**Key word** : Digital HF, Data Exchange, Digital Communication, Maritime Communication, e-Navigation

Received 12 October 2017, Revised 24 October 2017, Accepted 14 November 2017

\* Corresponding Author Hyung Chul Park (E-mail:hcpark@seoultech.ac.kr, Tel:+82-2-970-6460)

Dept. of Electronic and IT Media Eng., Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.12.2249>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

해상통신은 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서 세계 해상 조난 및 안전제도(Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS)를 마련하고, SOLAS 규약에 따라 모든 국제 여객선과 총톤수 300톤 이상의 국제 운항 선박에 무선통신기반의 조난 및 안전 시스템을 탑재하도록 의무화되어 있으며, 국제적으로 상호 운용이 가능하고, 초단파대(VHF), 중파(MF), 단파(HF), Inmarsat 위성통신 등을 사용하고 있다[1]. 표 1과 같이 세계 해상 조난 및 안전제도는 전 세계 바다를 4개의 해역으로 나누어 사용 주파수, 필수 기능, 무선설비를 제시하고 있다.

**Table. 1** Radio Communication coverage and radio equipment carriage requirements for all GMDSS Sea Area

Sea Area	communication coverage	communication equipment
A1	within the radio telephone coverage of at least one VHF coast station in which DSC and radio telephony services are available. (about 20 - 30 NM from the coast)	VHF radio - DSC and RT NAVTEX receiver - Automatic reception of MSI (Maritime Safety Information)
A2	An area, excluding Sea Area A1, within the radiotelephone coverage of at least one MF coast station in which DSC and radiotelephony services are available. (about 100 NM from the coast)	MF radio - DSC and RT Plus The equipment included for Sea Area A1
A3	An area, excluding sea areas A1 and A2, within the coverage of an Inmarsat geostationary satellite. (between 70° North and 70° South)	HF radio - DSC Or INMARSAT - Satellite Communication Plus System for reception of MSI in Sea Area A3 (EGC or Radio Telex) Plus The equipment included for Sea Areas A1 & A2
A4	outside Sea Areas A1, A2 and A3 (Above 70°N and below 70°S)	HF radio - DSC Plus The equipment included for Sea Areas A1 & A2

세계 해상 조난 및 안전제도는 1999년에 본격적으로 개발된 이후 해상통신 변화에 기여하였으나, 조난경보의 높은 실패율과 복잡한 운용 및 위치 추적 거리가 짧고 주파수 자원의 부족과 점차 증가되는 정보 등의 단점 때문에 최근 들어 현대화의 필요성이 제기되었다. 또한, 이미 급속도로 발전한 육상 무선통신과 마찬가지로 해상통신 시스템도 아날로그에서 디지털로, 음성에서 디지털 통신으로 변화시키고자 하는 요구가 증가하고 있다. 특히, 해상통신에서의 원거리 통신은 Inmarsat 시스템이 본격적으로 도입된 이후, HF통신시스템은 음성 위주로 사용하였고, 세계 해상 조난 및 안전제도에서 디지털선택호출(DSC)와 협대역 직접인쇄전신(NBDP)으로 사용이 제한되었다. 국제해사기구에서는 세계 해상 조난 및 안전제도 현대화를 통해 해상통신을 디지털화하여 적극적으로 활용하기 위해 전략적으로 움직이고 있으며, 세계 해상 조난 및 안전제도 현대화에서 HF통신시스템을 ITU-R M.1798 규격을 활용한 해사안전정보(MSI) 서비스가 가능하도록 개정작업을 진행하고 있고 e-네비게이션에서는 해사 서비스 포트폴리(Maritime Service Portfolios, MSP) 16개 중 서비스별 데이터량과 전송속도를 고려하여 서비스를 하기 위해 노력하고 있다[2-13].

본 논문에서는 HF통신시스템의 현황에 대해 살펴보고, 세계 해상 조난 및 안전제도 현대화와 e-네비게이션에서 시행하는 서비스가 가능하도록 디지털 데이터 교환을 위해 디지털HF의 국제규격인 ITU-R M.1798-1을 준수하는 차세대 해상 HF대역 디지털 데이터 교환을 위한 통신 시스템을 제안한다.

## II. HF대역의 디지털 통신시스템 분석

### 2.1. DSC와 NBDP

DSC(Digital Selective Calling)는 디지털 선택 호출 장치로써 중단파대 또는 초단파대의 무선전화설비 등에 부가하여 선박국과 해안국 또는 선박국 상호간 일반호출, 조난호출, 그룹호출, 개별호출 등 각종 호출을 자동으로 수행하는 기능을 가진 장치를 말한다. NBDP(Narrow Band Direct Printing)는 협대역 직접인쇄전신장치로써 선박국과 해안국 또는 선박국 상호간에 있어서 중단파 또는 단파대의 주파수를 이용하여 조

난통신 또는 일반텔렉스 통신을 목적으로 한 송수신 장치를 말한다. 세계 해상 조난 및 안전제도를 통해 전 세계적으로 DSC를 사용하여 조난통신용으로 안전과 사고발생시 신속히 대응이 가능하도록 하였다. 협대역 직접인쇄전신장치는 전송 속도가 100bps의 저속으로 기술의 발전과 점차 증가해가는 정보의 전달이 불가능하여, 세계 해상 조난 및 안전제도에서 비상시 조난, 긴급 및 안전통신의 용도로 사용하는 것을 제외하고는 활용도가 저조하여, 국제해사기구에서는 세계 해상 조난 및 안전제도 현대화를 통해 협대역 직접인쇄전신장치를 잠정적으로 폐기할 것으로 예상되고, 국제전기통신연합은 WRC-12에서 전파규칙(Radio Regulation) 부록 17(해상이동업무의 단파대역 주파수 및 채널배정)에 해상단파통신대역 중 사용이 저조한 무선전신, 협대역 직접인쇄전신장치 등 서브대역의 주파수를 디지털 대역으로 전환하기로 하는 등 해상 HF대역에서 디지털 통신을 위한 개정작업을 진행되고 있다.

2.2. ITU-R M.1798-1

국제전기통신연합(International Telecommunication Union, ITU)에서는 항해안전과 편의성을 위하여 데이터 및 e-mail 등을 송수신하기 위한 디지털 HF에 대한 권고를 개정하였다. 1990년대 초 오류정정 기능을 가진 PACTOR(91년), Clover(92년)가 개발되면서 해상 HF 디지털 모뎀에 대한 상용화가 추진되었으며, 해상이동업무에 종사하는 어선을 대상으로 HF를 이용하여 데이터 및 e-mail 교환을 목적으로 하는 디지털 HF의 기술규격인 ITU-R M.1798-1을 제정하였다. ITU-R M.1798-1에는 주요기술에 대해서 Annex 2, Annex 3, Annex 4로 기술하고 있으며, 다음 표 2와 같이 비교 분석하고자 한다.

2.2.1. Annex 2

Annex 2는 직교 주파수 분할 다중 방식(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)을 사용하여 HF 데이터 서비스 모뎀 프로토콜에 대한 정의이며, 매 1080ms마다 32개 블록을 전송한다. Annex 2는 반이중화 통신 프로토콜을 가지며 한 기지국이 송신국(Information Sending Station, ISS)이면 상대 기지국은 수신국(Information Receiving Station, IRS)가 된다. 기본적인 타이밍 사이클은 고정되어 있으며, 호발생국에

의해 타이밍이 설정되는 방식이다. 선박-선박, 선박-육상의 양자간 통신이 가능하고, 향후 세계 해상 조난 및 안전제도 현대화에 의해 IMO에서 표준화가 될 가능성이 가장 높은 기술규격중 하나이다.

Table. 2 Comparison with Annex 2, Annex 3, Annex 4 in ITU-R M.1798-1

	Annex 2	Annex 3	Annex 4
communication system	Half-duplex communication	Half-duplex synchronous ARQ System	Half-duplex communication
Subcarrier number	32	18	10kHz : 228 20kHz : 460
Subcarrier modulation	QPSK	DBPSK, DQPSK	4, 16, 64-QAM
Channel bandwidth	2.667kHz	max 2.2kHz	10 ~ 20kHz
Subcarrier spacing	83.33Hz	120Hz	41.66Hz
Max. net data rate	1.684kbps	5.2kbps	10kHz:51kbps 20kHz:102kbps

2.2.2. Annex 3

Annex 3는 GLN(Global Link Network) 시스템을 포함한 PACTOR-III 프로토콜을 사용한 전자 메일 시스템으로, PACTOR- I 과 PACTOR-II와 유사하게 PACTOR-III는 반이중 동기 ARQ시스템을 사용한다. 초기 연결은 시스템의 호환성을 위해 FSK 프로토콜을 사용한다. PACTOR- I 과 PACTOR-II는500Hz의 대역폭 내에서 동작하도록 개발되었지만, PACTOR-III는 SSB채널을 이용하여 더욱 더 높은 처리량과 향상된 안전성을 제공하도록 설계되었다. 그러나 PACTOR 모뎀에 대한 라이선스 문제와 프로토콜 비공개로 인하여 개발이 불가능하고, 향후 표준화 진행에 있어서 어려움이 존재한다.

2.2.3. Annex 4

Annex 4는 광대역 HF 데이터 전송으로 어선 통신을 위한 인터넷 프로토콜(Internet Protocol for Boat Communication, IPBC)시스템으로 대역폭이 10~20 KHz, 사용 주파수 4 ~ 26MHz 대역에서 무선으로 전자 메일과 디지털 데이터 교환을 위한 인터넷 네트워크 시스템에 접속하는 것이다.

저주파수(4~8MHz)에서 지상파를 사용하여 40 ~ 250NM의 통달거리를 가지며, 8 ~ 26MHz의 주파수에서 전리층 전파를 사용하여 200NM이상 장거리까지 통신이 가능하다. 주요 특징은 TCP/IP 기반의 통신 프로토콜이 사용되고, 파일전송타입으로 실시간 통신이 불가능하며, 선박-선박간 통신이 불가능한 단점이 존재하며, 현재 ITU-R M.1798-1에서는 데이터 교환에 대한 프로토콜이 공개되어 있지 않아, 규격에 맞게 설계 및 개발이 불가능하도록 되어있어, 향후 표준화나 확장성에 문제가 있다.

### 2.3. ITU-R M.2058(HF NAVDAT)

2017년 국제해사기구 NCSR 4차 회의에서 NAVDAT 성능기준 의제를 상정하려고 하였으나, 실제 NAVTEX를 대신할 수 있는 성능인지에 대하여 검증 데이터가 존재하지 않아, 최근 중국에서 연구과제로 HF대역을 활용한 Navigational Data(NAVDAT)의 프로토타입을 완성하여 실험 테스트를 진행하고 있다. 실험 시험 데이터를 바탕으로 성능기준 개발 작업을 진행 할 것으로 예상된다.

## III. HF를 이용한 디지털 데이터 교환을 위한 기술적 제한

HF대역을 이용하여 통신시스템에서 광대역 모델의 구현은 단일 반송파와 다중 반송파 두 가지 방법이 있다. OFDM 모델은 다중 반송파 방식으로 기술되며, 다중 반송파 사용의 주된 이점은 각 부반송파의 대역폭이 작고 중간 페이딩을 대비 할 수 있으므로 이퀄라이저가 페이딩 채널의 추정을 요구하지 않아 쉬운 구현이 가능하다. 다중 반송파 방식의 단점은 주파수 오프셋과 발진시 위상 잡음에 민감하다는 것이다.

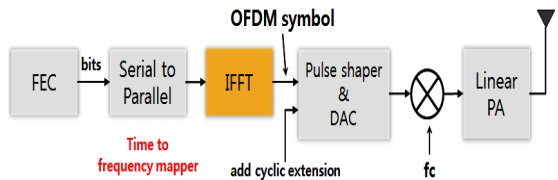


Fig. 1 Structure of OFDM Modulator

### 3.1. OFDM 기술적 접근

그림 1은 OFDM 모듈 레이더 구조를 나타낸 것으로, 모뎀에서 OFDM symbol을 발생시켜 최종 선형성 PA를 통해 안테나로 전파되는 블록을 아래와 같이 나타내고 있다.

OFDM 통신에서 그림 2는 단일 반송파 통신과 달리 사용자 1명이 여러 개의 반송파를 이용하여 정보를 전달하는 방식을 나타내고 있다.

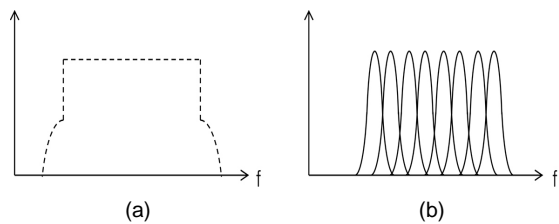


Fig. 2 Single Carrier Comm and OFDM Comm (a) Single Carrier Comm (b) OFDM Comm

단일 반송파 통신은 반송파가 1개이고, OFDM 통신은 반송파 개수가 많으므로 RF 송신기와 수신기가 복잡해지는 단점이 있다. 그러나 반송파 주파수가 심볼 주기에서 서로 직교하면 서로 다른 반송파 신호를 분리할 수 있게 된다. 그림 3은 반송파 신호가 직교가 되는 경우의 스펙트럼을 보여준다.

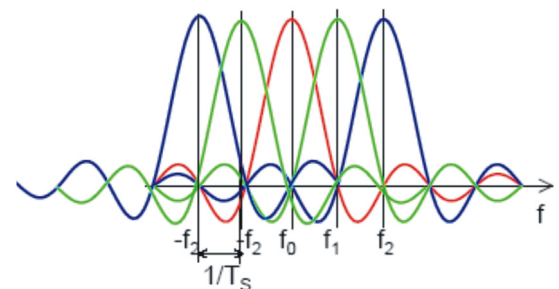


Fig. 3 Orthogonal Carrier Spectrum

반송파들이 직교 특성을 가지게 되면 각 반송파를 위한 아날로그 기준 주파수 발생기를 사용하지 않고, 푸리에 변환 기술을 사용할 수 있게 되므로 다중 반송파 기반 신호를 디지털 기술로 발생시킬 수 있는 것이다.

### 3.2. 통신시스템 하드웨어

ITU-R M.1798-1 Annex 2와 Annex 4 주요 특징을 만족하는 장비를 개발하기 위해서 그림 4와 같은 성능을 나타내는 대역폭을 가진 송/수신기를 필요로 한다. 그림 4와 같이 대역폭을 사용함으로써 OFDM 파형은 Annex 2 및 Annex 4를 스위칭 변환 없이 사용할 수 있다. 중심주파수 1.7kHz에서 32개의 부반송파를 사용하여 Annex 2의 기술적 특성을 만족하며, 이와 함께 중심주파수 5kHz에서 Annex 4에서 기술되는 228개의 부반송파를 사용하여 15개의 심볼을 송수신이 가능하게 된다.

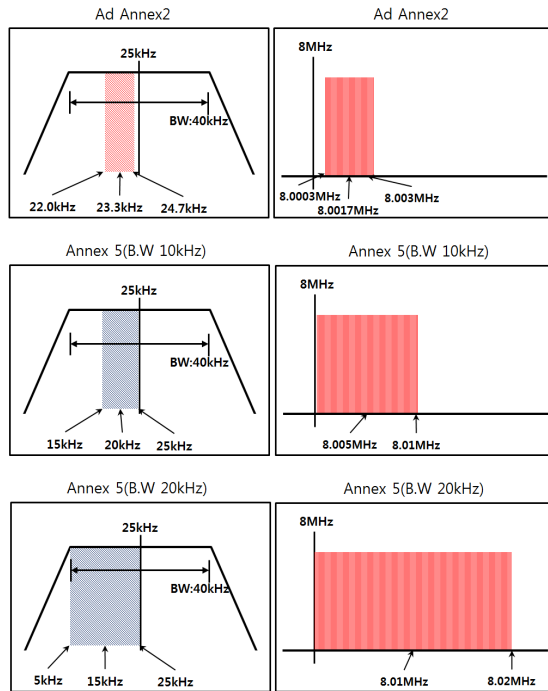


Fig. 4 Baseband and RF Transceiver Bandwidth

### 3.3. Advanced Annex 2 기술 제안

Annex 2에서 최대 송신데이터 전송량은 데이터 크기 10byte로 정의하였으며, 다음 수식(1)과 같이 계산되어진다.

$$\frac{80\text{bit}/s \text{ subcarrier} \times 32 \text{ s subcarrier}}{1.080\text{sec}/\text{block}} = 2370\text{bps} \quad (1)$$

따라서 Advanced Annex 2는 Annex 2의 물리계층에서 정의된 데이터 크기 14byte를 적용하여 주요 특징은 아래 표 3과 같이 정의한다.

Table. 3 Proposal of Advanced Annex 2 Specs

Communication system	Half-duplex communication	
OFDM	Subcarrier number	32
	Subcarrier modulation	QPSK
	Channel bandwidth	2.667kHz
	Subcarrier spacing	83.33Hz
Max. net data rate	3587 bps	
Error Correction code	CRC	

최대데이터 전송량(Max. net data rate)은 다음 수식(2)과 같이 계산되어진다.

$$\frac{112\text{bit}/s \text{ subcarrier} \times 2 \times 32 \text{ s subcarrier}}{1.998\text{sec}/\text{block}} = 3587\text{bps} \quad (2)$$

각 부반송파는 독립적인 packet 구조와 부반송파별로 독립된 정보를 전송한다.

#### 3.3.1. 송신국-수신국간의 데이터 링크

##### 3.3.1.1. calling

데이터 교환은 그림 5와 같이 송신국에서 수신국의 전화번호가 포함된 정보를 송신 후 수신국이 이를 수신하고, 응답신호를 보냄으로써 호접속을 이루어지며, 다시 송신국에서 데이터를 보내고, 수신국에서 응답하는 형식으로 통신은 이루어진다.

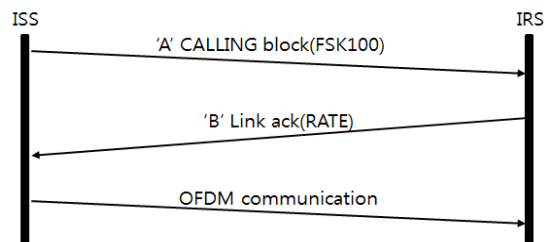


Fig. 5 ISS-IRS data link

수신국의 수신 번호를 포함한 정보를 전송하며, CALLING시 Calling control block “TYPE”에 OFDM

통신 방식을 지정하고 RATE에는 link 포맷 FSK100 사용을 정의한다. 다음 그림 6은 호접속 데이터 포맷 형태를 나타내고 있다.

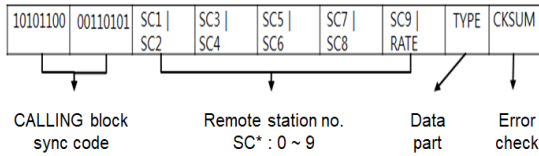


Fig. 6 calling data format

3.3.2. 송신국-수신국간의 데이터 교환

제안된 OFDM 파형은 32 개 부반송파를 써서 그림 7 과 같이 매 2492ms마다 32 개 블록을 전송한다. ITU-R M.1798 TOR 권고안에 따라 OFDM은 반이중화 통신 프로토콜을 가지며, 한 기지국이 송신국이면, 상대 기지국은 수신국이 된다. 기본적인 타이밍 사이클은 고정되어 있으며, 송신국에 의해 이 타이밍이 설정되며, Master timing은 다음 그림 8과 같다.

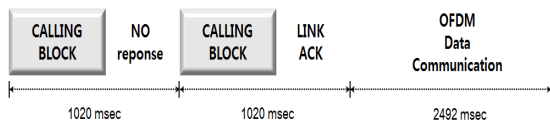


Fig. 7 Process of Setup from Calling to OFDM Communication

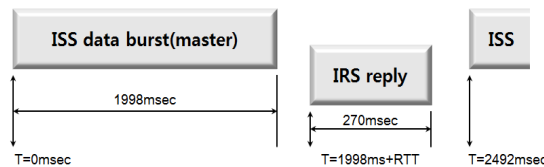


Fig. 8 OFDM Master Timing

3.3.3. 송신국 블록 포맷

3.3.3.1. 데이터 블록

Annex 2 프로토콜 부분에서는 송신데이터 형식을 sequence number 2 byte, 데이터 10 byte, CRC 2 byte로 기술되어 있으나, 물리계층 부분에서 이 형식이 어떻게 연관되는지에 대한 기술이 전혀 없다. 물리계층 부분에서는 송신데이터 형식을 sequence number 2 byte, 데이터 14 byte, CRC 2 byte로 기술되어 있으며, Annex 2 물리계층 규격이 이 형식 기반으로 기술되어

있다. 또한 프로토콜 부분 프레임 14 byte 중 데이터 이외의 overhead가 4 byte로서 약 28.6%, 물리계층 부분 1 프레임 18 byte 중 데이터 이외의 overhead가 4 byte로서 약 22.2% 점유하여 프로토콜 부분에 비해서 6.4% 정도 효율적이다. 이와 관련하여 Advanced Annex 2에서는 송신데이터 형식을 아래 표 4와 같이 14byte로 정의한다.

Table. 4 ISS Data Block

Annex	modulation	HEADER Size	DATA Size	CRC Size
Annex 2	QPSK	2bytes	14bytes	2bytes

3.3.3.2. OFDM control block

OFDM은 MY\_CALL, OVER, END 세 가지 제어 메시지가 있다. OFDM 프로토콜은 LEN 필드를 31로 설정하고 DATA 필드의 첫 번째 바이트에 있는 명령을 로드하여 제어 메시지를 전송한다. 순차 번호 필드는 다음 사용 가능한 번호로 설정된다. 수신국 이 블록 오류를 디코딩하지 못하면 모든 제어 프레임은 재전송된다. OFDM control block의 데이터 형식은 아래 그림 9와 같다.

SEQ_NR (11bits)	LEN (5bits)	CONTROL (1 bytes)	IDLE FILL PATTERN (13 bytes)	CRC (2 bytes)
--------------------	----------------	----------------------	---------------------------------	------------------

Fig. 9 OFDM Control Block

SEQ\_NR - 11-bit sequence number;  
it cannot be 0000

LEN - 31 for control block

CONTROL - MYCALL/OVER/END control code

IDLE FILL PATTERN

- MYCALL : 1010(repeated 17 times)

OVER, END : 10101010 (repeated 13 times)

MYCALL은 OFDM 통신이 이루어지기전 송신국에서는 자신의 전화번호를 보내며, 13byte를 전송할 수 있는데, SELCALL은 9digits로 4.5 byte이므로, 8.5 byte의 전송여유가 있다.

따라서 OFDM 규격에 따라 ‘1010’을 17번 반복한다.

OVER란 송신국과 수신국의 역할을 바꾸기 위해 쓰이며, 송신국 또는 수신국에 의해 시작될 수 있다. END는 OFDM 통신을 끝내기 위해 쓰이며, 송신국이나 수신국 모두 OFDM 통신을 종료시킬 수 있다. 모든 데이터 포맷은 ITU-R M.1798 에 따른다.

3.3.3.3. 수신국 응답 포맷

수신국인 경우 2492ms마다 송신국에서 송신한 32개의 데이터 블록을 수신하고 각 블록에 대해 ACK 또는 NAK 신호로 응답한다. 또한 수신국 응답은 링크 'OVER'와 'END' 로 링크 제어 명령을 보낸다. 수신국 응답 메시지는 32- 캐리어 (N = 32), 4- 위상 (M = 4) 포맷으로 216ms 짧은 OFDM 블록으로서 전송된다. ACK/NAK은 송신국과 수신국간의 링크 품질을 측정하여 언제 링크를 중단할 것인가를 결정할 때 쓰인다.

매 블록마다 32 개 개별적 ACK/NAK 응답한다. FORCED\_OVER란 송신국은 수신국에 OVER 콘트를 블록을 전송함으로써 송신국으로부터 수신국으로 스위칭하게 된다. END\_ACK는 링크를 끝내기 위해 송신국이 END 콘트 블록을 보냈을 때, 수신국은 이에 대해 END\_ACK를 보낸다. 모든 응답 포맷 및 프로토콜은 ITU-R M.1798에 따른다.

3.4. Annex 5 기술 제안

Annex 5의 주요 특징은 아래 표 5와 같이 정의한다.

Table. 5 Proposal of Annex 5 Specs

Communication system	Half-duplex communication
Subcarrier number	228
Subcarrier modulation	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Channel bandwidth	10kHz
FFT size	512
Subcarrier spacing	41.66 Hz
Max. net data rate	up to 21 kbps
Burst length (Frame duration)	405msec
Symbol number / frame	15
Error correction code	Reed-Solomon, Turbo-code

최대데이터 전송량(Max. net data rate)은 다음과 수식 (3)와 같이 계산되어 진다.

$$\frac{6bit/symbol \times 228 subcarriers OFDM \times 14 OFDM symbol \times 0.46 (ECC 제외)}{0.405sec} = 21753bps \quad (3)$$

주파수대역(Frequency band)는 4~26MHz이며, 통달거리는 40~250NM(ground wave), 200NM 이상 (skywave) 이다. 송신기는 1kW(CW모드시) 장비이며, 아래 그림 10과 같이 구성하고자 한다.

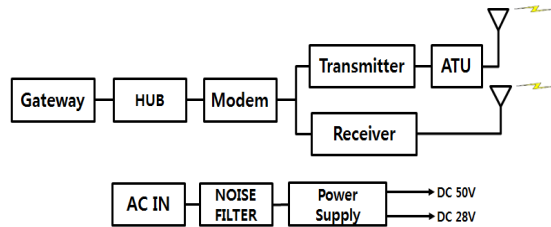


Fig. 10 Structure of Communication System

3.4.1. 송신국-수신국간의 데이터 링크

FSK 방식을 이용한 Advanced Annex 2와 같은 프로토콜을 사용한다.

3.4.2. 송신국-수신국간의 데이터 교환

ITU-R M.625 TOR 권고안에 따라 OFDM은 반이중화 통신 프로토콜을 가진다. calling link가 끝난 후에 OFDM 통신이 이루어지며, 호접속과 OFDM 통신은 그림 11과 같다.

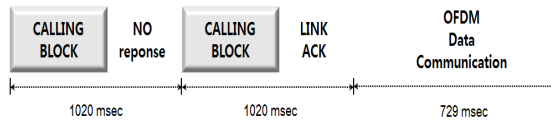


Fig. 11 Process of Setup from calling to OFDM Communication

그림 12와 같이 OFDM 사이클 시간은 729ms로 고정되고, 송신국은 405ms 긴 데이터 버스트 전송하고, 수신국은 54ms 짧은 응답 버스트로 대답한다. 기본 타이밍 사이클은 아래와 같이 요약된다.

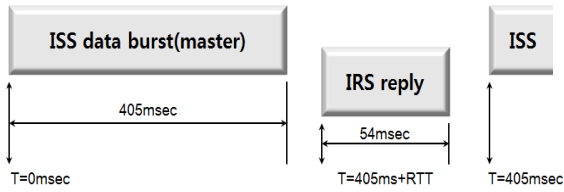


Fig. 12 OFDM Master Timing

3.4.2.1. 수신국 응답 포맷

링크가 시작되면 OFDM T=0 사이클 시간 기준은 송신국에 의해 확립되어진다. 수신국 응답은 송신국의 405ms 데이터 버스트 다음 즉시 수신되어 54ms 이내에 완전히 수신된 것을 응답해야 한다.

3.4.3. 송신국 블록 형식

1 심볼은 228 부반송파, 1프레임 송신시 1프레임을 송신하는데 첫 번째 심볼은 송신의 정보 등을 포함한 Preamble 신호이며, 57bytes의 크기를 가진다.

$$\frac{2bits}{symbol} \times 228symbol / OFDM = 456bits (= 57Byte) \quad (4)$$

첫 번째 심볼은 preamble 신호이므로 변조 방식에 무관하다. 나머지 14개의 심볼은 데이터와 ECC가 포함된 신호를 송신한다. 각 변조방식별로 데이터 크기는 아래 표 6과 같다.

예를 들어 64QAM 데이터 크기 및 ECC 크기 계산식은 다음 수식(5), (6)와 같다.

$$\frac{6bits}{symbol} \times 228symbol / OFDM \times 14 OFDM symbol \times 0.46 (ECC제외) = 8808bits (= 1101byte) \quad (5)$$

$$\frac{6bits}{symbol} \times 228symbol / OFDM \times 14 OFDM symbol \times 0.54 (ECC) = 10334bits (= 1293byte) \quad (6)$$

Table. 6 ISS Data Format

Modulation	Preamble Size	14 symbol	
		Data Size	ECC Size
4 QAM	57 bytes	367 bytes	431 bytes
16 QAM		734 bytes	862 bytes
64 QAM		1101 bytes	1293 bytes

위와 같은 기술적 접근으로 다음 표 7과 같은 데이터 최대 전송량을 예상할 수 있다.

예로 64QAM의 계산식은 다음 수식(7)과 같다.

$$\frac{6bit}{symbol} \times 228s ubcarriers OFDM \times 14 OFDMsymbol \times 0.46 (ECC제외) / 0.405sec \quad (7) = 21753bps$$

Table. 7 MAX. NET DATA RATE

Modulation	MAX.net data rate(kbps)	Bandwidth (kHz)
QPSK	7251 bps	10
16 QAM	14502 bps	10
64 QAM	21753 bps	10

IV. 분석결과

4.1. 송수신 신호 분석

Advanced Annex 2에서 32개의 부반송파를 QPSK 변조를 한다. 이때 채널 간 대역폭은 2.667KHz이며, 부반송파 간격은 83.33Hz로 8K sample/sec 샘플링을 한다. 디지털 변조기에서는 다음과 같은 중심주파수 1.7KHz를 중심으로 하는 1 real signal이 송신/수신하며, 아래 그림 13과같이 파형이 측정된다.

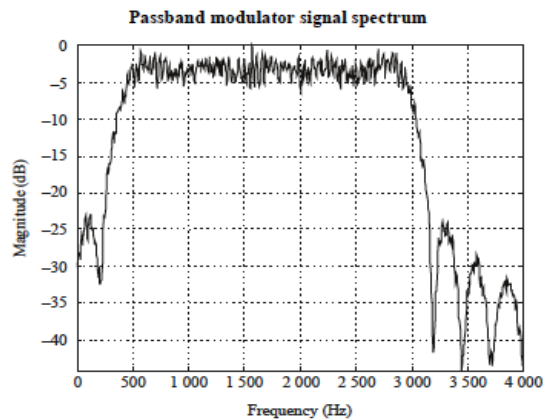


Fig. 13 Passband modulator signal spectrum

Annex 5에서의 모뎀 블록다이어그램은 아래 그림 14와 같이 나타낼 수 있다.



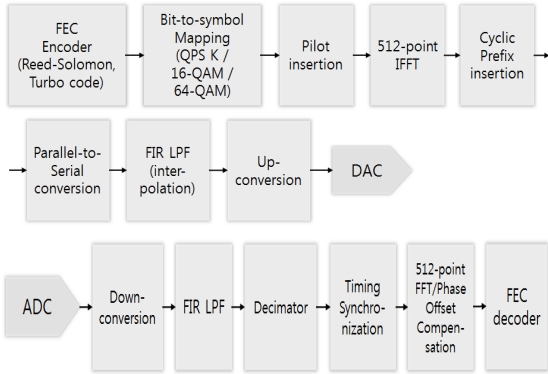


Fig. 14 Block diagram of proposed system

각 부반송파에서는 직교 위상 편이 변조 (QPSK, Quadrature phase shift keying), 16-직교 진폭 변조 (QAM, Quadrature amplitude modulation) 및 64-QAM의 변조 등을 사용한다. 그리고 ECC 방식으로는 Reed-Solomon 코드의 블록코드 기술과 turbo 코드의 컨볼루션 코드 기술을 사용한다. 그림 15는 변조부에서 사용되는 디지털 유한 임펄스 응답 (FIR, Finite impulse response) 저주파 여과기 (LPF, Low pass filter)의 임펄스 응답을 보여준다. 제안한 시스템의 변조부에서는 3배수 업샘플링 (upsampling) 후 LPF를 이용하여 보간한다. LPF는 해밍 창함수 (Hamming window)를 이용하고 길이는 33이다. 그림 16은 변조부의 출력 신호 스펙트럼을 보여준다. 규격에서 규정한 바와 같이 채널 점유 대역폭임을 알 수 있다.

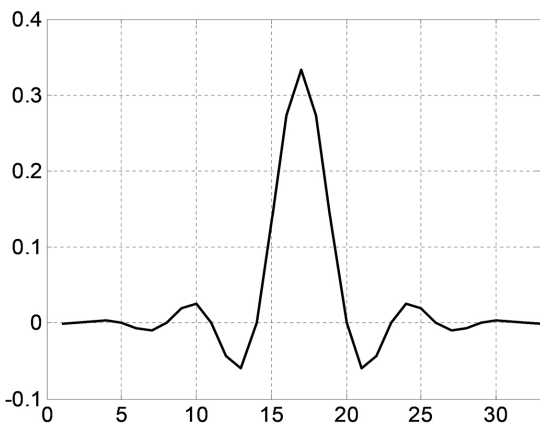


Fig. 15 Impulse response of transmitter FIR LPF

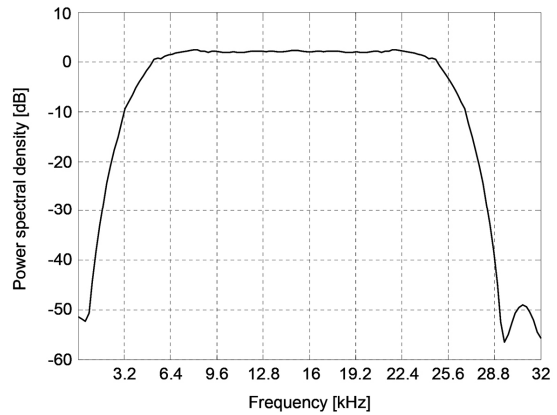


Fig. 16 Simulation result of the transmission spectrum

표 5에서 규정한 바와 같이 OFDM 통신에서는 여러 가지 변조 방식과 오류정정코드를 지원하므로 호출국과 원격국이 통신 방식을 동기화시켜야 한다. 해당 정보가 TYPE을 통해서 전송된다. SC1~SC9에서 지정한 원격국이 calling block을 오류 없이 수신하면 link ack 신호로 응답한다. 이 신호를 호출국이 수신 완료하면 OFDM 통신이 개시된다.

ITU-R M.1798-1에서는 송신기의 출력을 1KW(CW 모드시) 시험하였으며, OFDM은 상대적으로 큰 PAR (Peak-to-Average Power ratio: 최대 전력 대 평균전력 비)를 가지며 이는 RF증폭기의 전력효율을 감소시킨다. 이로 인해, 송신기의 선형성이 중요하며, 이를 극복하기 위해 PRE-Correction이라는 기술을 이용한다. 아래는 1KW 송신기의 선형성을 시험한 자료이며, 그림 17과 같이 전력증폭기만을 시험했을 때와 그림 18과 같이 송신기 자체를 시험했을 때 결과 값이 다르게 나오는 이유는 ALC(auto level control)회로가 동작하기 때문이다.

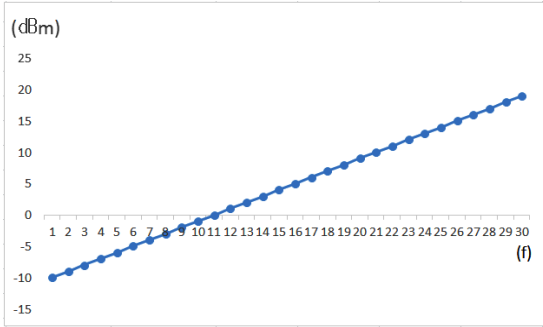
## V. 국제표준화

### 5.1. 디지털 HF의 국제표준화 대응

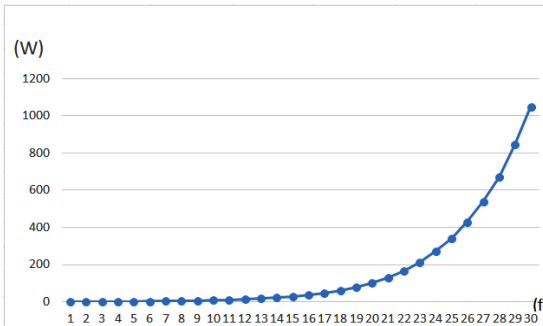
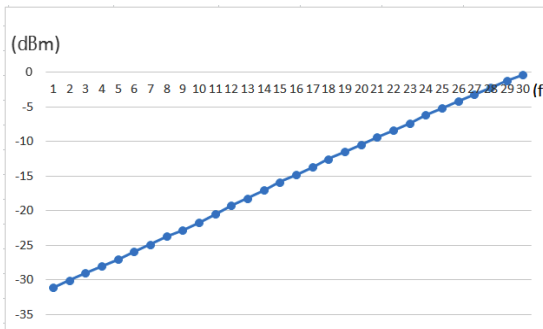
디지털 HF를 논의하는 국제표준화 기구는 국제해사기구와 국제전기통신연합이 있으며, ITU-R SG5 WP5B에서 무선기술표준의 검토 및 승인을 담당하고 있으며, 국제해사기구 NCSR의 세계 해상 조난 및 안전제도 현

**Power Amplifier Linearity Test**

(1) Input signal Level(dBm)



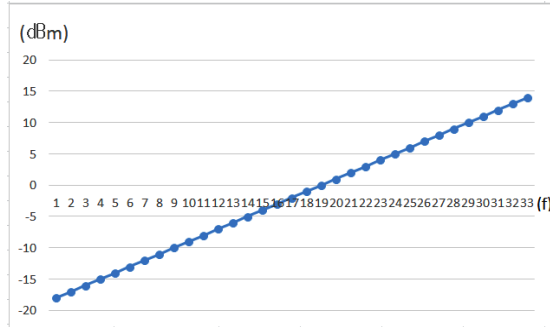
(2) Output signal Level(dBm/Watt)



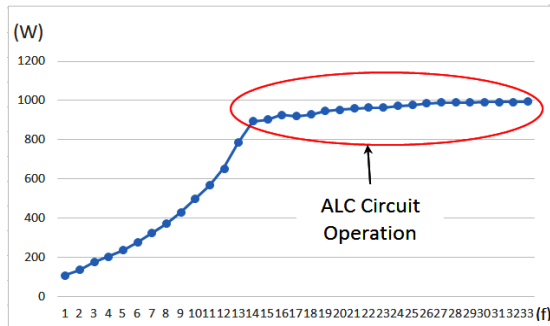
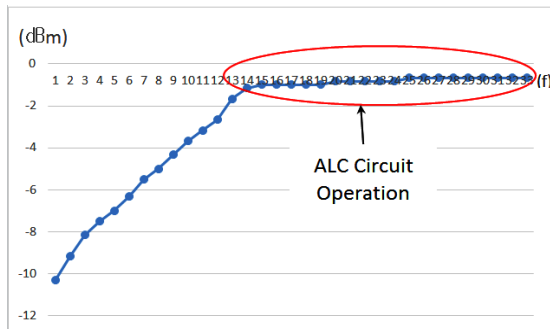
**Fig. 17** Result of Power amplifier linearity

**1KW Transmitter Linearity Test**

(1) Input signal Level(dBm)



(2) Output signal Level(dBm/Watt)



**Fig. 18** Result of Transmitter linearity

대화 의제에서 디지털 HF의 미래 사용방안에 대하여 논의를 하고 있다.

현재 추진 중인 ITU-R M.1798-1의 검토, 개정 및 승인은 ITU-R SG5 WP5B에서 담당하고 있기 때문에 국제전기통신연합을 통한 국제표준화를 추진할 예정이며, 추진내용은 Annex 2의 오류사항들에 대한 수정 제안 및 승인, Annex 4의 물리계층을 기반으로 진보된 통신 프로토콜인 Annex 5의 신규 제안 및 승인을 획득하

는 것이다.

**5.2. 디지털 HF의 국제표준화 추진 전략**

ITU-R SG5 WP5B의 회의 준비 및 참여를 위한 국내 ITU-R SG5 연구반 참여 및 활동을 통해 기술기준 개정 초안에 대한 연구반위원들의 사전 검토 수행과 의제 제출 및 국제회의 대응을 할 예정이며, 디지털 HF의 국제 표준화 대응반에서 ITU-R 국제표준화 기술지원을 위

한 전문가 자원을 확보하고 기술표준 초안의 작성 및 전문가 검토를 통한 완성도를 높일 것이다. 또한, 해상 무선통신기술반회회의 참여 및 대응을 통해 국내 해상 무선통신 전문가들의 기술기준 개정 초안에 대한 사전 검토 수행 및 반영을 추진할 예정이다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 ITU-R M.1798-1 표준을 기반으로 한 고속 HF 해상 이동 통신 기술을 제안하였다. 제안한 기술은 Annex 2에서 데이터 크기를 14Byte로 늘려 속도를 향상시키는 Advanced Annex 2 및 Annex 4에서 오류를 수정하고, 개발 가능한 기술을 제안한 Annex 5 OFDM 통신 방식이다. 최대 전송속도는 50.6 kbps이며, 주파수 효율성을 높이기 위해서 64-QAM 변조까지 지원하도록 규정하였다. 또한 통신 성능의 향상을 위해서 오류정정코드 기술을 사용하였으며, 모의실험을 통해 송신 스펙트럼 및 1KW 송신기의 선형성 결과를 도출하였다. 대체적으로 본 논문에서 제안한 프로토콜 및 물리계층은 기존 통신 관행을 따르고 있어 실현 가능성이 높은 것으로 보이며 향후 제품화를 위해 연구가 뒤따라야 할 것이다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research is a part of the project titled "SMART-Navigation project," funded by the Ministry of Oceans and Fisheries.

## REFERENCES

- [ 1 ] W.T. Hwang, "A Design and Implementation of Maritime Data Communication System : Focused on the GMDSS," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol.6, no.6, pp.815-822, Dec. 2011.
- [ 2 ] J. C. Choi, "A Plan on the Digitalize of Maritime Communication using HF band in Domestic," *Journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences*, vol.8, no.4, pp.774-781, Aug. 2004.
- [ 3 ] S.H. Jung, G.S. Yang, G.R. Jeong, D.K. Park, and J.C. Kim, "The improvement of maritime data communication systems for e-Navigation," *Journal of advanced navigation technology*, vol.15, no.8, pp.939-945, Aug. 2011.
- [ 4 ] Y.Y. Choo and D.U. Jung, "HF Data Communication Service Using SSB Modems for Maritime Applications," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.15, no.12, pp.2449-2554, Dec. 2011.
- [ 5 ] ITU-R, "ITU-R M.1798-1 Characteristics of HF radio equipment for the exchange of data and electronic mail in the maritime mobile service," ITU-R, Tech. Rep. 2010.
- [ 6 ] IMO, "IMO NCSR 4/12 Report of the Correspondence Group on the draft of the Modernization Plan of the GMDSS", IMO, Rep. 2017.
- [ 7 ] S. Valčić, Z. Mrak, and D. Kezić, "Comparison of new technologies for data exchange in the maritime HF frequency band," *Proceedings of International Conference on Information & Communication Technology Electronics & Microelectronics*, Opatija, Croatia, May 20-24, 2013, pp. 498-502.
- [ 8 ] H. Shin, "A Study on the Development Direction in Korea Marine Communication," *Journal of the Korea Institute of electronic communication sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 527-534, Apr. 2013.
- [ 9 ] G. Kim, J. Choi, J. Yang, S. Choi, and J. Choo, "A Study on the Economic Value Valuation for maritime communications frequencies," *Proceedings of Korea Institute of Communications and Information Sciences Fall Conference*, pp. 339-342, 2013.
- [ 10 ] P. Bergadà, R. M. Alsina-Pagès, J. L. Pijoan, M. Salvador, J. R. Regué, D. Badia, and S. Graells, "Digital transmission techniques for a long haul HF link: DSSS versus OFDM" *Radio Science*, vol. 49, no. 7, pp. 518-530, Jul. 2014.
- [ 11 ] P. A. Bernhardt, M. A. Hei, C. L. Siefring, and M. R. Wilkens, "Predictions of HF system performance for propagation through disturbed ionospheres measured using low-Earth-orbit satellite radio beacon tomography," *Radio Science*, vol. 49, no. 7, pp. 506-517, Jul. 2014.
- [ 12 ] L. H. Pederick and M. A. Cervera, "Modeling the interference environment in the HF band," *Radio Science*, vol. 51, no. 2, pp. 82-90, Feb. 2016.
- [ 13 ] J. Kim, "Study on Comparison of Maritime HF Digital Communication Systems," *Proceedings of Korea Institute of Broadcast and Media Engineers Summer Conference*, pp. 53-54, Jun. 2016.



**최성철(Choi, Sung-Cheol)**

전자통신공학과 학사  
현재 삼영이엔씨(주) 근무  
※관심분야 : 위성통신, 마이크로파 회로해석 및 설계, 계측제어



**소지은(So, Ji-Eun)**

유비쿼터스 IT학과 석사  
현재 삼영이엔씨(주) 근무  
※관심분야 : 이동통신, 신호처리, 무선통신



**박형철(Park, Hyung Chul)**

1996년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)  
1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
2003년 2월: 한국과학기술원 전자전산학과 (공학박사)  
2003년 2월 ~ 2005년 2월: 하이닉스반도체 SoC 설계팀 선임연구원  
2005년 3월 ~ 2010년 2월: 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 전임강사/조교수  
2010년 3월 ~ 현재: 서울과학기술대학교 전자미디어공학과 조교수/부교수  
※관심분야 : 무선 통신 VLSI 설계