

# 거리에 따른 해상 초단파 채널의 통계적 특성 분석

정회원 김시문\*, 변성훈\*, 종신회원 김승근\*, 정회원 윤창호\*, 임용곤\*

## Statistical Analysis of VHF Channel Over the Sea Surface for Various Ranges

Sea-moon Kim\*, Seong-Hoon Byun\* *Regular Members*, Seung-Geun Kim\* *Lifelong Member*, Changho Yun\*, Yong-Kon Lim\* *Regular Members*

### 요약

해상에서는 지상에서와 같은 고속의 통신 수단이 존재하지 않으며 주로 초단파를 이용하여 기본적인 정보나 음성 통신을 수행하고 있다. 지상의 경우 이론적인 해석 결과나 실험 결과를 바탕으로 하는 통신 채널 모델이 존재하나 해상의 경우에는 제한적인 연구 결과가 존재하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 초단파 영역의 해상 채널 특성 파악을 위하여 지상에 송신국을 설치하고 선박에 수신국을 설치하여 거리에 따른 해상 채널 특성을 살펴본다. 해석 결과에 따르면 선박의 이동에 의한 도플러 변이가 관측되며 거리가 증가함에 따라 에너지가 감소하고 있으며 특히 수직/수평 또는 수평/수직 채널에 대하여 통계적인 특성이 크게 변화하고 있는 결과를 가지고 있음을 알 수 있다.

**Key Words** : VHF communication, channel model, sea surface, statistical analysis, channel measurement

### ABSTRACT

VHF is generally used for data or voice communications between ships and land stations. Although there exist many analytical and empirical channel models for radio waves on land, over-the-sea models are very limited to basic description. In this paper, a VHF channel is measured using vertical and/or horizontal whip antennas on shore and a moving ship for various ranges. The results show that the Doppler shift and changes in power for various ranges are observed. We can also find that the statistical analysis results in that the statistical parameters are rapidly changes, especially for V/H and H/V channels.

### 1. 서론

전파 채널에 대한 연구는 오래 전부터 수행되어 많은 채널 모델들이 정립되었으며 장기간의 데이터 측정을 통한 확률적인 모델도 여러 종류가 사용되고 있다<sup>1,2)</sup>. 그러나 대부분의 모델이 지상에서 사용 가능한 모델들이며 주로 핸드폰에서 사용 가능한 고주파 영역을 중심으로 기술되고 있어 해상의 선박에서 사용

되는 초단파(VHF) 영역에서는 적용이 어려운 문제점이 존재한다. 해상의 경우 장애물이 존재하지 않아 직접파와 해수면 반사파의 두 경로가 존재하는 것을 가정하여 해석이 가능하며 1970년대 초 Barrick은 해수면의 임피던스를 유도하여 해상에서 초단파 및 단파(HF)의 전달손실을 추정하는 연구를 수행한 바 있다<sup>3,4)</sup>. 그러나 이는 이론적인 해석에 국한되었으며 그 이후 여러 연구자들에 의해 실제 해상에서 초단파 및 극초단

※ 본 논문은 국토해양부 해양과학기술 연구과제(과제명: 해양RF기반 선박용 Ad-hoc 네트워크 기술개발)에서 수행된 연구결과 중 일부를 밝히며 연구비 지원에 감사드립니다.

\* 한국해양연구원 해양시스템연구부(smkim, byunsh, sgkim, sgn0178, yklim@moeri.re.kr)

논문번호 : KICS2011-02-114, 접수일자 : 2011년 2월 14일, 최종논문접수일자 : 2011년 7월 29일

파(UHF) 영역에서의 채널 측정 연구가 수행되었다<sup>15-17)</sup>. Wickert와 Nilsson은 수년간의 해상채널 데이터 측정을 통해서 세가지 통신조건 - 표준조건, 불안정, 고안정 - 에 대해 분류하고 기상상태와의 관계에 대해 연구하였으며, Prasad 등은 스리랑카와 인도 사이의 해상채널 특성이 계절에 따라서 크게 변화하고 있는 현상을 관찰하였다. 또한 Sim과 Warrington은 영국과 유럽 사이의 해상 통신 상태 변화를 수개월에 걸쳐서 측정한 바 있다. 국내의 경우 간헐적으로 초단파에 대한 연구가 수행된 바 있으나<sup>8)</sup> 체계적인 측정 결과에 대한 보고는 알려진 바 없다.

본 연구에서는 해상에서 주로 사용되는 초단파 영역에서의 채널의 측정 및 분석 결과에 대하여 기술하고자 한다. 거리에 따른 초단파 채널을 분석하기 위해 지상에 송신국을 설치하고 선박에 수신국을 설치하여 데이터를 수신하였으며, 이때 송수신 안테나의 극성을 수직과 수평으로 변화시켜 시험하였다. 2장에서는 시험 장치 및 방법에 대하여 기술하고자 하며 3장에서는 주파수 특성, 거리에 따른 수신 에너지 및 통계적인 분석 결과를 논하고자 한다.

## II. 시험 장치 및 방법

초단파 대역의 해상 채널 특성을 분석하기 위하여 남해안 해변에 송신기를 설치하고 선박에 수신기를 설치하여 송신 데이터를 수신하였다. 송수신기의 안테나로는 수평 방향으로 무지향성 특성을 지닌 횡 안테나를 사용하였으며 주위의 장애물에 의한 반사파의 영향을 최소화하기 위하여 송수신기 주위에 섬이 많지 않고 송신기를 주변보다 높은 곳으로 선정하여 설치하였다. 송수신기의 안테나를 각각 수직 및 수평으로 변화시켜가면서 데이터를 측정하였으며 송수신기의 안테나가 모두 수직인 경우에는 두 번 시험을 수행하였다. 따라서 표 1에서 보는 바와 같이 총 5개의 경

표 1. 해상 초단파 채널 측정 시험 시 안테나 설정  
Table 1. Configurations of VHF antennas for the measurement of VHF channel over the sea surface

Case	Tx Antenna	Rx Antenna	Max Distance	Time Length
VV	Vertical	Vertical	10km	1.27hr
VH	Vertical	Horizontal	10km	1.30hr
HH	Horizontal	Horizontal	10km	1.31hr
HV	Horizontal	Vertical	10km	1.12hr
VV2	Vertical	Vertical	20km	1.90hr

우에 대한 채널 측정 시험을 수행하였다. 송신기 안테나는 건물의 지붕에 설치하였으며 이때 좌표(WGS84)는 동경 128도 39.6417분, 북위 34도 44.4083분 이었고 송신 안테나의 중심을 기준으로 고도는 약 53m였다. 수신기는 선박의 선실 지붕에 설치하였으며 수신 안테나의 고도는 약 6m였다. 그림 1은 초단파 채널 측정 시험이 수행된 해역의 지도를 나타내며 표 2는 기상측정 장비를 이용하여 측정한 시험 일자별 기상 조건을 나타낸다.

송신기에서는 시험국에서 사용 가능한 주파수인 150.0625MHz의 단일주파수를 연속적으로 발생시켰으며 송신신호의 발생여부를 모니터링 할 수 있도록 스펙트럼 분석기를 설치하였다. 수신기에서는 수신데이터의 크기 및 위상을 10kHz의 샘플율로 저장하였다. 그림 2는 송수신기 장치의 모식도를 나타낸다.

수신 선박을 이동하여 송수신기 사이의 거리를 약 600m부터 최대 20km까지 변화시켜 가면서 데이터를 수신하였다. 그림 3은 시험 중 수신 선박의 GPS 좌표 및 송수신기 사이의 거리를 나타낸다.

표 2. 해상 초단파 채널 측정 시험 시 기상 조건  
Table 2. Atmospheric conditions during the measurement of VHF channel over the sea surface

Date	Case	Wind Speed	Temperature	Humidity
2010.07.21.	VV, VH	1-4m/s	25-33℃	65-92%
2010.07.22.	HH, HV, VV2	1-4m/s	24-35℃	60-96%

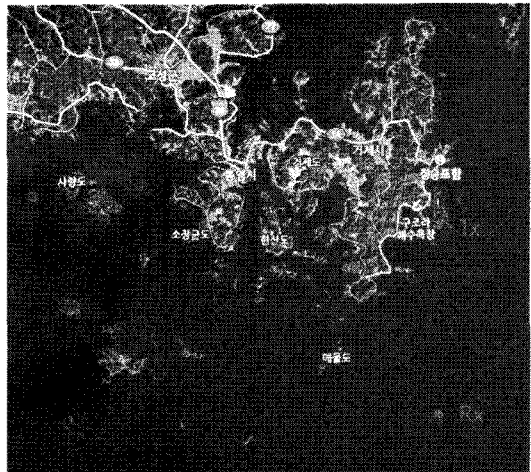


그림 1. 해상 초단파 채널 측정 시험 해역 지도  
Fig. 1. Map of the experimental site for the measurement of VHF channel over the sea surface

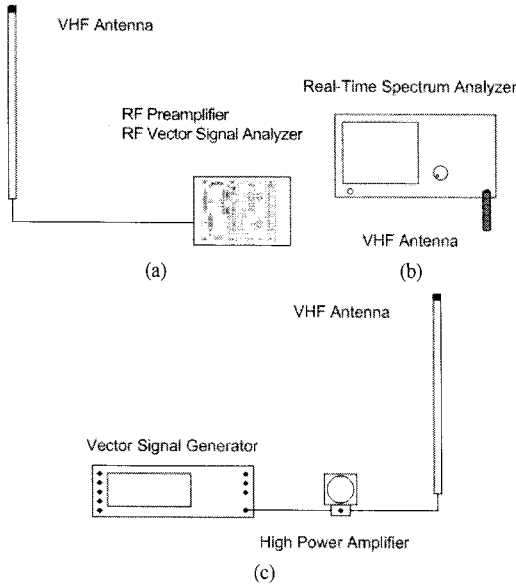


그림 2. 시험 장치 (a) 송신부 (b) 수신부 (c) 송신기 모니터링부  
 Fig. 2. Measurement system (a) transmitter part (b) receiver part (c) transmitter monitoring part

### III. 시험 결과

측정 데이터를 바탕으로 거리에 따른 특성을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

#### 3.1 주파수 특성

그림 4(a)는 측정 구간 전 영역에서의 데이터로부터 추정한 스펙트럼 밀도를 나타낸다. 이때 주파수 해상도는 0.1Hz로 설정하였으며 총 에너지로 정규화하였다. 약 1~7Hz에서 Jakes 스펙트럼 형상을 가지며 이는 정지 상태를 기준으로  $\pm 3\text{Hz}$ 의 도플러 주파수를 갖는 것을 의미한다. 측정된 선박의 이동 속도는 약  $5\text{m/s} \pm 1\text{m/s}$ 로서 150.0625MHz의 송신주파수에서 2.5Hz의 도플러 현상이 발생하며 이는 측정치의 오차 범위 내에 존재한다. 중심주파수가 0Hz가 되지 않는 이유는 송신기 발진기와 수신기 발진기 사이의 편차에 기인한 것으로서 이는 그림 4(b)에서 나타난 바와 같이 정지한 경우의 스펙트럼 밀도가 4Hz에서 최대값을 갖는 결과로부터 알 수 있다. VV2의 경우와 같이 이론적인 Jakes 스펙트럼과 비교하여 비대칭성이 나타나는 특성이 존재하는데 이는 그림 3에서 나타난 바와 같이 선박의 이동 경로가 직선을 이루지 못하고 직선 경로에서 벗어난 위치를 따라 이동하였기 때문에 나타나는 결과로 추정된다.

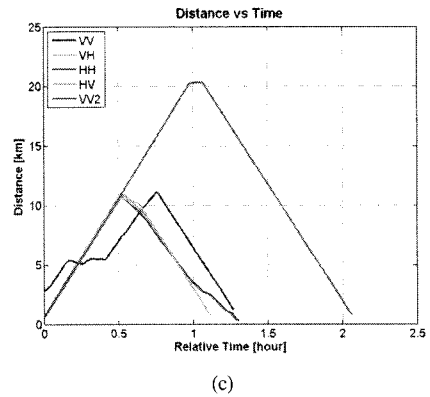
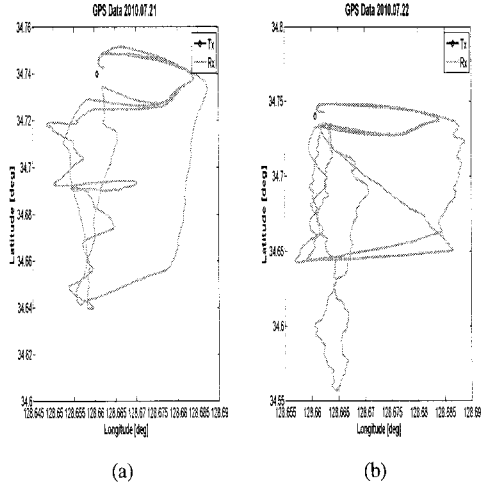


그림 3. 수신기의 위치 정보 (a) 수신선박 좌표 (첫째 날) (b) 수신선박 좌표 (둘째 날) (c) 송수신기 사이의 거리  
 Fig. 3. Position information of the receiver (a) GPS data (day 1) (b) GPS data (day 2) (c) distance between the transmitter and receiver

#### 3.2 거리에 따른 수신신호 파워

그림 5는 거리에 따른 수신신호 에너지의 크기를 나타낸다. 왕복하는 경우를 모두 포함하여 나타내었다. 송수신 모두 수직으로 안테나를 설치하는 경우(그림 5(a))에는 파워가 거리에 반비례하는 특성이 나타나고 있다. VV경우에 7km 근방에서 불연속점이 생기는 구간이 존재하는데 이는 수신 증폭기의 이득을 약 10dB 증가시킨 영향에 의한 것이다. 송신기 또는 수신기의 안테나를 수평으로 설치하는 경우(그림 5(b))에는 안테나의 방향성 때문에 파워와 거리에 대한 특정한 관계는 나타나지 않는다.

다만 일부 구간에서는 거리와 반비례하는 특성이 나타난다.

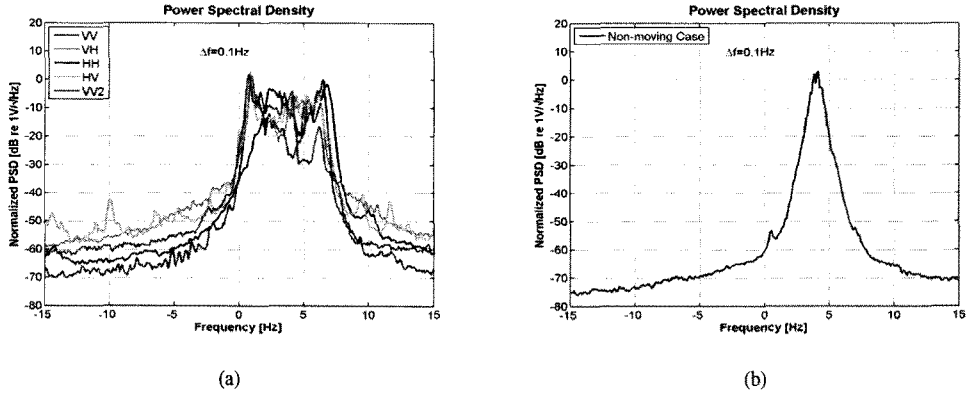


그림 4. 정규 스펙트럼 밀도 (주파수 해상도: 0.1Hz) (a) 선박 이동 중 (b) 선박 정지 중  
 Fig. 4. Normalized power spectral density (spectral resolution: 0.1Hz) (a) moving case (b) non-moving case

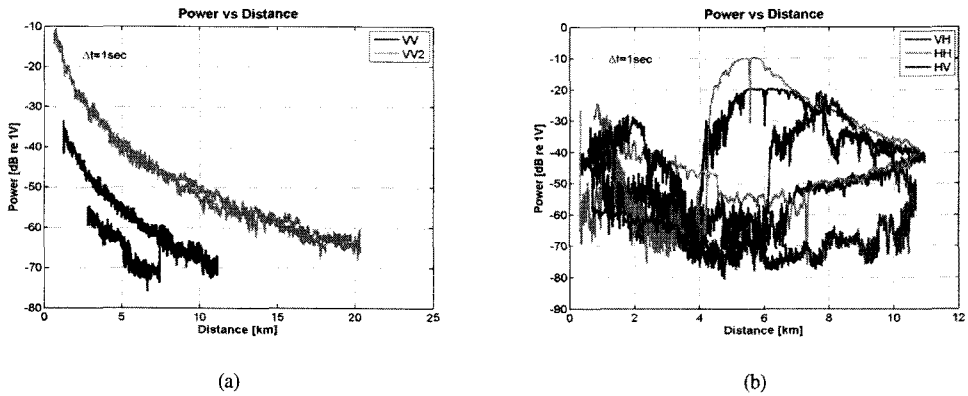


그림 5. 거리에 따른 수신신호 파워 (a) 수직 안테나만 사용하는 채널 (b) 수평 안테나를 사용하는 채널  
 Fig. 5. Power of received signal vs distance (a) Channels with only vertical antennas (b) Channels with horizontal antennas

3.3 확률밀도함수

그림 6은 최소거리, 5km, 최대거리에서 10초 간의 데이터를 이용하여 추정한 수신신호의 확률밀도함수를 추정한 결과를 나타낸다. 그림에서와 같이 거리에 따른 변화가 매우 심한 것을 알 수 있으며 수평안테나를 사용하는 경우에 또한 거리가 증가할수록 분포가 더 넓게 퍼지는 경향이 관찰된다.

3.4 확률밀도함수 파라미터

그림 6의 경우와 같이 10초 간격으로 확률밀도함수를 구하고 이를

$$P_{rice}(x) = \frac{x}{\sigma^2} I_0\left(\frac{xs}{\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{(x^2 + s^2)}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

와 같은 라이스(ric) 분포를 가정하여 곡선 맞추기 (curve fitting)를 수행하여 그림 7과 같이 거리에 따른 파라미터 추정치를 얻었다. 식 (1)에서  $x$ 는 확률 변수

를 나타내며  $s^2$ 와  $2\sigma^2$ 는 각각 가지경로 성분의 전력 및 산란 성분의 전력을 의미한다<sup>[9]</sup>. 그림 6에서 예측할 수 있듯이 거리에 따른 파라미터의 변화가 관찰되고 있으며, 특히 수직/수평 도는 수평/수직 채널의 경우에 변화 정도가 더 크다. 그림 8은 파라미터로부터 추정된 K값(K-factor)을 나타낸다. 수직/수직 채널의 경우 약 10-20dB의 범위를 가지고 변화하고 있으며, 수평 안테나를 사용하는 경우에는 큰 변화가 관찰된다. 그림 9는 라이스 분포를 가정하여 곡선 맞춤을 하였을 때의 최소지승오차를 나타낸다. 무시할만한 값은 아니나 모두 0.1보다 작은 값을 가지고 있어 라이스 분포의 가정에 큰 무리가 없음을 나타낸다. 결론적으로 해상 VHF 채널은 지상채널에 비해 매우 심한 통계적 특성 변화를 보유했던 채널로 간주할 수 있으며 그 정도는 수평 안테나를 사용하는 경우 더 크게 나타난다. 이는 해상의 해수면의 변동이 불규칙적으로 나타나며 또한 선박의 운동으로 인하여 안테나의 각도가 연속적으로 변화하기 때문으로 생각할 수 있다.

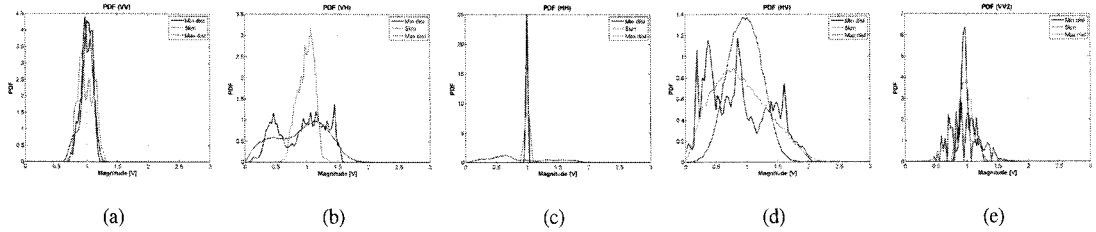


그림 6. 거리에 따른 확률밀도함수 (a) 수직/수직 (b) 수직/수평 (c) 수평/수평 (d) 수평/수직 (e) 수직/수직2  
 Fig. 6. Probability density functions for various distances (a) V/V (b) V/H (c) H/H (d) H/V (e) V/V2

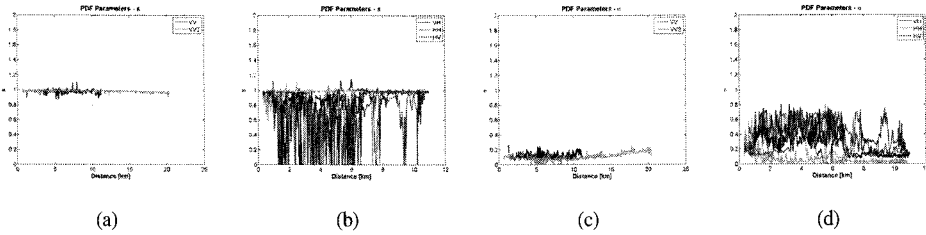


그림 7. 거리에 따른 확률밀도함수의 파라미터 (a)  $s$  (수직 안테나만 사용하는 채널) (b)  $s$  (수평 안테나를 사용하는 채널) (c)  $\sigma$  (수직 안테나만 사용하는 채널) (d)  $\sigma$  (수평 안테나를 사용하는 채널)  
 Fig. 7. Parameters of probability density functions according to distances (a)  $s$  (Channels with only vertical antennas) (b)  $s$  (Channels with horizontal antennas) (c)  $\sigma$  (Channels with only vertical antennas) (d)  $\sigma$  (Channels with horizontal antennas)

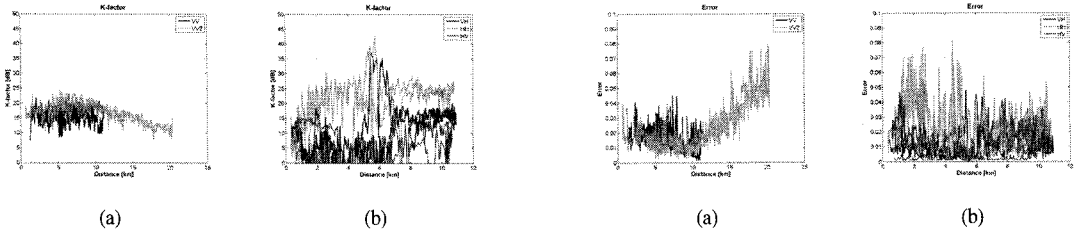


그림 8. 거리에 따른 K값 (a) 수직 안테나만 사용하는 채널 (b) 수평 안테나를 사용하는 채널  
 Fig. 8. K-factor according to distances (a) Channels with only vertical antennas (b) Channels with horizontal antennas

그림 9. 거리에 따른 곡선맞춤 오차 (a) 수직 안테나만 사용하는 채널 (b) 수평 안테나를 사용하는 채널  
 Fig. 9. Curve-fitting error according to distances (a) Channels with only vertical antennas (b) Channels with horizontal antennas

IV. 결 론

본 논문은 해상에서 초단파 채널 특성을 파악하기 위하여 수직 안테나와 수평 안테나를 사용하여 실험 지역에서 시험을 수행하고 데이터를 분석한 논문으로서 150.0625MHz의 순음 신호를 이용하여 거리에 따른 채널 측정 시험을 수행하였으며 통계적인 특성을 분석하였다. 거리에 따른 채널특성 변화가 관찰되며 수직 안테나만을 사용하는 경우 약 10-20dB의 K값을 가진다. 수평 안테나를 사용하는 경우 거리에 따른 채널 특성 변화는 0dB 이하에서 43dB의 범위를 가지는 K값에서 알 수 있듯이 매우 심하게 나타나고 있으며 이와 같은 변화는 해수면 및 선박의 운동에 기인한 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Seybold, Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Chap. 7, 2005.
- [2] M. Patzold, Mobile Fading Channels, John Wiley & Sons, Chap. 6-7, 2002.
- [3] D. E. Barrick, "Theory of HF and VHF propagation across the rough sea, 1, The effective surface impedance for a slightly rough highly conducting medium at grazing incidence," *Radio Science*, 6(5), pp.517-526, May 1971.
- [4] D. E. Barrick, "Theory of HF and VHF propagation across the rough sea, 2, Application

to HF and VHF propagation above the sea," *Radio Science*, 6(5), pp.527-533, May 1971.

- [5] S. Wickerts and L. Nilsson, "The occurrence of very high field strengths at beyond the horizon propagation over sea in the frequency range 60-5000MHz," *Proc. NATO Advanced Study Inst. Sorrento*, June 5-14, 1973, *Modern Topics in Microwave Propagation and Air-Sea Interaction*, pp.217-240, 1973.
- [6] M.V.S.N. Prasad, S. Sharma, M. Sain, and B.M. Reddy, "Transhorizon VHF TV signal propagation over mixed land-sea paths," *IEEE Transactions on Broadcasting*, 38(1), March 1992.
- [7] C.Y.D. Sim and E.M. Warrington, "Measurements of the propagation characteristics of VHF/UHF radiowaves over two over-sea paths in the Channel Islands," *12th International Conference on Antennas and Propagation*, Vol.2, pp. 800-803, March 31-April 3, 2003.
- [8] 이영중, 김인선, 박주래, "VHF 데이터통신 통달 거리 예측 및 요소 분석," *한국군사과학기술학회지*, 제13권, 제3호, pp.413-420, 2010.
- [9] 조용수, 김재권, 양원영, *MIMO-OFDM 무선통신과 MATLAB*, p.47, 홍릉과학출판사, 2008.

김 시 문 (Sea-Moon Kim)

정회원



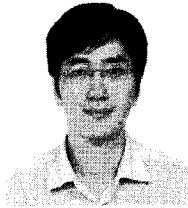
1992년 2월 KAIST 기계공학과 (공학사)  
 1994년 8월 KAIST 기계공학과 (공학석사)  
 2001년 2월 KAIST 기계공학과 (공학박사)  
 2001년 3월~현재 한국해양연구원 선임연구원

2006년 2월~2007년 2월 University of California, San Diego, Visiting Scholar

<관심분야> 수중음향 및 해상 초단파 채널모델링

변 성 훈 (Sung-Hoon Byun)

정회원



1998년 2월 서울대학교 조선해양공학과 (공학사)  
 2000년 2월 서울대학교 조선해양공학과 (공학석사)  
 2000년 9월~현재 한국해양연구원 선임연구원  
 <관심분야> 채널 모델링, 소나 신호처리

김 승 근 (Seung-Geun Kim)

종신회원

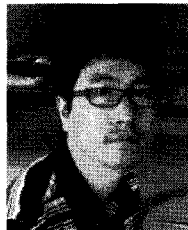


1995년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학사)  
 1997년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)  
 2002년 8월 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)  
 2002년~현재 한국해양연구원 책임연구원

<관심분야> 해상디지털 통신 시스템 설계 및 구현, 수중무선통신시스템 설계 및 구현

윤 창 호 (Changho Yun)

정회원



1999년 2월 창원대학교 전자공학과 (공학사)  
 2004년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)  
 2007년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)  
 2007년~2008년 North Carolina State Univ. 박사후연구원

2008년~현재 : 한국해양연구원 선임연구원

<관심분야> 수중음향통신 네트워크 프로토콜 설계

임 용 곤 (Young-Kon Lim)

정회원



1979년 2월 충남대학교 전기공  
학과 (공학사)

1984년 2월 충남대학교 전력전  
자공학과 (공학석사)

1994년 2월 아주대학교 전자공  
학과 (공학박사)

1980년 7월~현재 한국해양연  
구원 책임연구원

<관심분야> 수중음향 통신 시스템 및 네트워크,  
네트워크 프로토콜