

단일 반송파를 이용한 해상 VHF 채널의 전파 경로 감쇠 지수 측정

김승근[°], 김시문^{*}, 윤창호^{**}, 임용곤^{***}

Measurements on the Propagation Path Loss Exponent at Maritime VHF Channel Using Single Carrier Signal

Seung-Geun Kim[°], Sea-Moon Kim^{*}, Changho Yun^{**}, Yong-Kon Lim^{***}

요 약

송신 안테나는 약 53m 높이에 설치하고, 수신 안테나는 약 6m 높이에 설치하였으며, 해안국에서 700m부터 약 20km까지의 전파 경로 구간에서 5 ± 1 m/s의 속도로 이동하면서 150.0625MHz의 단일 주파수를 사용하여 수신신호의 크기를 측정하는 시험을 수행하였다. 본 논문에서는 실험역 측정 데이터를 입력으로 하여 최소자승법오차 방법을 이용하여 측정된 전달경로 구간에서 경로감쇠지수가 3.79가 됨을 추정하였으며, 추정된 경로감쇠지수는 해상 VHF 채널(100MHz)에 대해 ITU-R P.1546-4 Annex 2의 측정 결과와 유사한 결과를 보인다. 추정된 경로감쇠 지수값은 우리나라 남해안의 해상통신에서 하절기의 경로감쇠 지수 예측값으로 사용할 수 있을 것이다.

Key Words : Path Loss, Maritime VHF Channel, Channel Measurement, Maritime Mobile, Sea Reflection

ABSTRACT

The received signal strengths according to the propagation distance between a transmitting shore station with a 53 m antenna height and a receiving ship station with about 6m antenna height from 700 m upto about 20 km are measured at ship's moving velocity of 5 ± 1 m/s using a single carrier signal at 150.0625MHz. In this paper, the path loss exponents at the propagation distance from 700 m to 20km are estimated via minimum-mean-square-error method using the measurements of the received signal strength, and the mean of the estimated path loss exponent become 3.79. The estimated propagation path loss exponents is similar to that calculated based on the field-strength values from 2 km to 20 km in Annex 2 of ITU-R P.1546-4, which is measuring results at maritime VHF at 100 MHz carrier frequency. Therefore, the estimated propagation path loss exponent shall be used as the expected path loss exponents for summer in costal area of South Sea of Korea.

※ 본 연구결과는 해양수산부의 “해양 RF기반 선박용 Ad-hoc 네트워크 개발” 사업의 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

• First and Corresponding Author : Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering(KRISO), sgkim@kriso.re.kr, 종신회원

* Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering(KRISO), smkim@kriso.re.kr, 정회원

** Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering(KRISO), sgn0178@kriso.re.kr, 정회원

*** Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering(KRISO), yklim@kriso.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2015-06-188, Received June 7, 2015; Revised July 16, 2015; Accepted July 16, 2015

I. 서 론

해상에서 저비용으로 e-mail, SMS, 팩스 전송뿐만 아니라 육상에서와 같은 인터넷 연결 서비스 등 디지털 데이터 통신에 대한 요구 증가에 부응하여 해상 VHF(Vary High Frequency) 대역에서 디지털 통신 방식을 도입하는 방안이 ITU(International Telecommunication Union)를 중심으로 활발하게 논의되고 있으며^[1], 디지털 데이터와 e-mail 교환을 위한 해상 디지털 VHF 시스템에 대한 국제권고안 ITU-R M.1842-1이 제정되었다^[2]. 또한, 2012년에 개최된 WRC(World Radio Conferences)에서 해상 VHF 대역의 채널들 중 일부를 2017년 1월 1일부터 디지털 전용으로 전환하여 전 세계적으로 사용하기로 의결하였으며^[3], 국제항로표지협회(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IALA)에서는 VHF대역과 MF (Medium Frequency)대역의 디지털 통신 및 차세대 AIS(Autonomous Identification System)를 포함하는 VDES(VHF Data Exchange System)라는 해상 디지털 이동통신 시스템을 제안하였으며, 관련 개발 일정을 공표^[4]하는 등 해상 VHF 디지털 통신 장치에 대한 관심이 증가하고 있다.

이러한 새로운 VHF 디지털 통신 장치의 개발에 앞서 목표로하는 최대 통달거리까지 전달 가능성 판단 및 신뢰성 있는 통신을 위한 적절한 신호 출력크기를 결정하기 위하여 링크예산을 수립하여야 하며, 이때 경로 감쇠가 링크예산 수립에 필수적이다. 자유공간 전파에서는 경로 감쇠가 통달거리의 2승에 비례하며, 일반적인 육상통신에서는 다양한 측정을 통하여 경로 감쇠가 통달거리의 3~5승에 비례하는 것으로 알려져 있다. 해상 채널환경에 대해서는 해수면의 임피던스를 유도하여 해상 HF (High Frequency) 및 VHF 대역에서 해상상태에 따라 전달손실을 추정하는 이론적인 연구가 1970년대 초 Barrick에 의해 수행되었으며^[5-6], 여러 연구자들에 의해 실제 해상에서 VHF 및 UHF (Ultra High Frequency) 영역에서의 채널 측정 연구가 수행^[7-9]되었으며, 최근에는 5GHz대역의 해상 이동 채널환경에서 전파 환경을 측정하고 모델링한 연구^[10]가 수행되기도 하였다. 또한, ITU는 해상 VHF 대역에 대하여 북해(추운바다)와 지중해(따뜻한 바다)에서 안테나 높이, 전파 거리 및 주파수에 따른 수신 신호 세기를 측정하여 ITU-R P.1546-4로 제시하고 있다^[11]. 국내에서는 실험역 측정데이터를 Rice 채널 모델을 적용하여 K값(K-factor)이 10~20dB의 범위에 있음을 분석한 바 있다^[12].

본 논문에서는 2010년 7월에 거제도 근해에서 측정한 데이터^[12]를 이용하여 실험역에서의 경로 감쇠지수를 분석한다. 2장에서는 실험역 측정 시험 장치 및 방법에 대하여 설명하고, 3장에서는 수신 전력 측정 데이터를 이용하여 경로감쇠 지수를 분석하며, 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 시험 장치 및 방법

VHF 대역의 해상 채널 특성을 측정하기 위하여 남해안 거제도 해안에 송신기를 설치하고, 선박에 수신기를 설치하여 송신 신호를 수신하였다. 송신기 및 수신기의 안테나로는 수평 방향으로 무지향성 특성을 지닌 횡 안테나를 사용하였으며, 주위의 장애물에 의한 반사파의 영향을 최소화하기 위하여 송수신기 주위에 섬이 많지 않고 송신기를 주변보다 높은 곳에 설치하였다. 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. 수신기 안테나는 선박의 선실 지붕에 설치하였으며 수신 안테나의 고도는 약 6m였다. 실험역 측정시험에 사용된 장비는 그림 1과 같으며, 송신부에서는 Agilent사의 E4438C를 이용하여 송신신호를 생성하였으며, 생성한 송신신호는 50dB의 신호증폭비를 갖으며 최대 20W까지 출력을 낼 수 있는 전력증폭기를 통하여 송신안테나로 연결된다. 송신부에서 송신 신호를 모니터링하기 위하여 스펙트럼 분석기를 사용하였다. 수신부에서는 NI사 장비를 이용하여 기저대역에서 10kHz 샘플율로 수신신호의 크기 및 위상을 저장하였다.

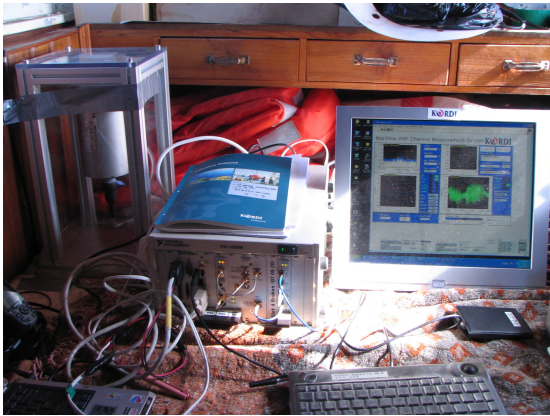
송신기에서는 150.0625MHz의 단일주파수를 연속적으로 발생시켰으며, 수신부는 송신기에서 LOS (Line-of-Sight)가 확보되고, 송수신기 사이의 거리를 약 700m부터 약 20km까지 이동하면서 수신하였다. 실험역 측정시 선박은 약 5±1 m/s의 속도로 이동하였으며, 송신기와 수신기간 국부발전기 오차는 약 4Hz가 있었다^[12]. 그림 2에 실험역 측정 시험이 수행된 해

표 1. 해상 VHF 채널 측정 시험 시 기상 조건
Table 1. Atmospheric conditions during the measurement of VHF channel over the sea surface

Date	Case	Wind Speed	Temperature	Humidity
2010.07.21.	VV1	1-4m/s	25-33℃	65-92%
2010.07.22.	VV2	1-4m/s	24-35℃	60-96%



(a) 육상국 송신부 장치 설정
(a) Setup of transmitter on shore



(b)해상국 수신부 장치 설정
(b) Setup of receiver on a boat



그림 1. 송신 및 수신 장치 설정
Fig. 1. Setup of transmitter and receiver for measurement

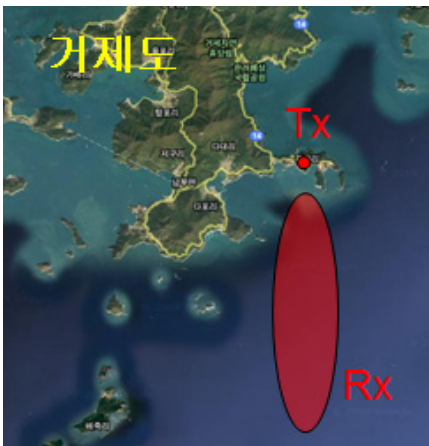


그림 2. 해상 채널 측정 시험 해역 지도
Fig. 2. Map of the experimental site for the measurement of VHF channel over the sea surface

역의 지도를 나타내었으며, 표 1은 기상측정 장비를 이용하여 예측한 시험 일자별 기상조건을 나타낸다.

III. 거리에 따른 수신신호 전력 측정 결과 분석

측정 시험 중 선박의 이동에 의해 송·수신기간 전 파 거리 변화를 그림 3에 나타내었으며, 이때 측정된 수신신호의 전력은 그림 4와 같다. 첫째날 시험(VV1)에서는 초기 설정 및 기능 시험을 위해 약 7km 전파 거리까지 다양한 방향으로 이동하면서 기능들을 시험 하였으며, 본 논문의 경로 감쇠지수 분석에서는 기능 시험 완료 후 선박이 육상에 설치된 송신국과 일정한 속도와 방향으로 멀어지거나 가까워지는 경우의 측정 데이터만을 이용하였다. 첫째날 측정시험(VV1)은 약 45분간에 걸쳐 전파거리가 약 7km 지점부터 약 11km 지점까지 전파거리가 증가하는 방향으로 이동한 후,

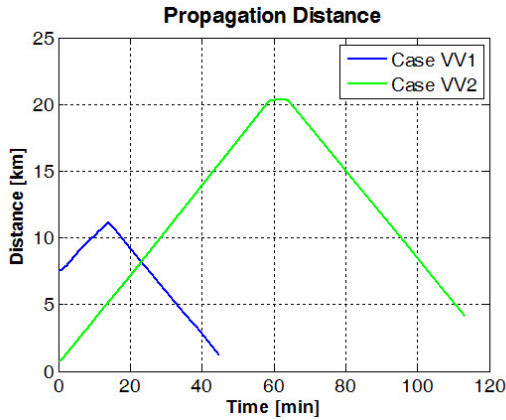


그림 3. 시간에 따른 전파거리
Fig. 3. Propagation distance according to the time

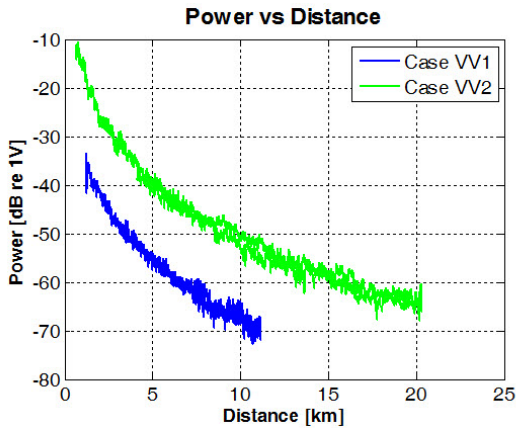


그림 4. 거리에 따라 측정된 수신 전력
Fig. 4. Received signal power according to the propagation distance

전파거리가 약 1.2km 거리까지 감소하는 방향으로 이동하면서 수신전력을 측정하였다. 둘째날 측정시험(VV2)에서는 약 113분간에 걸쳐 700m부터 약 20km까지 전파거리가 증가하는 방향으로 이동한 후, 다시 전파거리가 약 4km까지 감소하는 방향으로 이동하면서 수신 전력을 측정하였다. 그림 4의 측정 결과에서 둘째날 측정 시험 결과(VV2) 측정 결과가 첫째날 측정 시험 결과(VV1)에 비하여 약 20dB정도 큰 것은 측정시 송신기 출력신호의 크기와 수신 증폭기의 이득 설정을 달리 설정하였기 때문이다. 그림 4의 거리에 따른 수신 전력 측정 결과를 이용하여 해상 VHF 채널의 전파감쇠 지수를 최소자승오차방법으로 추정한다.

거리에 따른 경로감쇠는 식 (1)과 같이 dB단위로 간단히 나타낼 수 있다.

$$PL(dB) = 10n \log_{10} r + C \quad (1)$$

여기서, PL은 dB단위의 경로감쇠이고, n은 경로감쇠지수이고, r은 송·수신기간 전파거리이며, C는 전파거리와 관계없는 상수를 간단히 표시한 것이다. 식 (1)을 경로감쇠 모델로 하여, 측정 데이터를 이용하여 전송거리에 따른 수신신호 감쇠의 크기 정도를 나타내는 경로감쇠지수, n,과 거리와 관계 없는 상수, C,를 측정데이터와 최소자승오차를 갖도록 추정하였다.

그림 5와 그림 6에 각각의 경우에 대하여 추정된 결과와 추정한 결과를 적용한 경로감쇠 곡선과 측정 결과 값을 함께 표시하였다. 측정 데이터를 이용하여 추정된 경로감쇠 지수는 VV1의 경우 3.72, VV2의 경우 3.86으로 수신신호의 크기와 관계없이 거리에

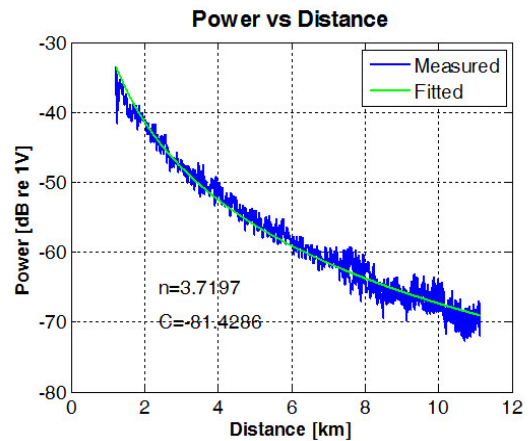


그림 5. VV1 측정 데이터와 추정된 경로감쇠곡선
Fig. 5. Measured received signal power and estimated path loss curve using VV1

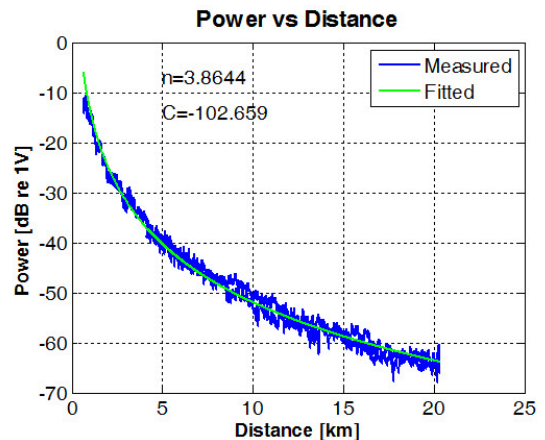


그림 6. VV2 측정 데이터와 추정된 경로감쇠곡선
Fig. 6. Measured received signal power and estimated path loss curve using VV2

따라 비슷한 비율로 경로 감쇠가 되고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 추정한 경로감쇠지수의 평균값은 3.79이다. ITU-R P.1546-4 권고안^[11]에서 해상 VHF 대역(100MHz)에서 측정된 결과를 보면, 감쇠경로 지수에 해당하는 수신신호세기의 기울기가 전파 전달거리와 안테나의 높이에 따라 약 2~5사이의 값을 갖는다. 또한, 차가운 바다(북해)와 따뜻한 바다(지중해)에 대하여 수십 km 이내의 전파거리에서 수신신호세기를 측정된 결과의 기울기를 보면, 차가운 바다의 거리에 따른 수신신호세기 감소 기울기(경로감쇠 지수)가 따뜻한 바다에 비하여 급한(경로감쇠 지수가 큼) 것으로 측정되었다. 본 논문의 측정과 유사한 전파거리를 갖는 2km에서 20km 사이의 전파거리에 대하여 수신 안테나 높이는 10m로 고정하고, 송신안테나의 높이를 10m, 20m, 37.5m, 75m의 경우에 대하여 ITU-R P.1546-4 권고안의 측정결과를 이용하여 전파 경로 감쇠 지수를 계산하면 표 2와 같다. 안테나 높이가 37.5m 이하의 경우, 2km~ 20km 구간에서 경로 감쇠 지수는 약 3.8이고, 75m의 경우는 3.61이며, 표 2에는 나타나지 않았지만 송신 안테나 높이가 1200m가 되면 2까지 감소한다. 본 논문의 시험에서 송신 안테나 높이는 약 53m이고, 수신 안테나 높이는 약 6m인 점을 고려하면 측정된 경로감쇠 지수의 평균값인 3.79는 ITU-R 권고안에서 측정된 결과와 유사한 결과를 보임을 알 수 있다.

Y. Lee 등은 5GHz의 해상 채널환경에서 채널 전파특성을 측정하고, 이를 2-Ray 모델 및 3-Ray 모델을 적용하여 채널전파 특성을 모델링한 바 있으며, 전파거리가 짧은 경우에는 2-Ray 모델로 채널 전파 특성을 잘 모델링 할 수 있음을 보였다^[10]. 해상 VHF 통신 채널 환경에서도 동일하게 2-Ray 모델을 적용할 수 있을 것이다. 이는 선박과 선박간 또는 선박과 육상간 해상통신에서 전파거리에 비하여 안테나 높이가 낮으므로 전파의 해수면 경계로의 입사각이 작아 해

수면에서 반사가 발생하며, 직접파와 해수면 반사파의 경로차가 거의 발생하지 않고, 해상 VHF 통신에서 협소한 대역폭(일반 통신 대역폭은 25kHz, VDES 통신 대역폭은 100kHz)을 가지므로, 수신 안테나에 직접파와 해수면 반사파가 동시에 도달한다고 할 수 있기 때문이다. 2-Ray 모델의 경우, 거리에 따른 경로감쇠 지수는 4를 갖는 것은 널리 알려져 있으며, 본 논문에서 측정 데이터를 이용하여 분석한 평균 경로감쇠 지수도 및 ITU-R P. 1546-4에서 측정된 전파거리 수십 km 이내의 해상 VHF 채널(100MHz)의 수신 신호 세기로부터 계산한 경로 감쇠 지수도 4에 근접한 값을 갖는다. 그러므로, 2-Ray 모델을 전파거리가 수십 km 이내의 해상 VHF 통신 환경에서 간략화된 채널모델로 사용할 수 있을 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서 150.0625MHz의 단일 주파수를 사용하여 해상 VHF 통신 환경에서 거리에 따라 수신신호의 크기를 측정하는 시험을 수행하였으며, 측정된 데이터와 최소자승오차를 갖도록 경로감쇠 지수를 추정하였다. 최소자승오차 추정결과, 전달 경로 거리가 약 1km~20km인 구간에서 평균 3.79가 되었으며, ITU-R P.1546-4에서 해상 VHF 채널에서 측정된 결과와 유사한 결과임을 분석하였다. 분석한 경로감쇠 지수값은 우리나라 남해안의 하절기의 경로감쇠 지수 예측값으로 사용할 수 있을 것이다. 또한, 경로감쇠 지수가 4에 근접하고, 해상 통신의 대역폭이 협소한 특성을 이용하여 2-Ray 채널 모델을 수십km 이내의 전파거리를 갖는 해상 VHF 통신환경에서 간략화된 채널모델로 제안하였다.

References

- [1] ITU, "Resolution 342 (Rev. WRC-2000) : New technologies to provide improved efficiency in the use of the band 156-174 MHz by stations in the maritime mobile service," 2000.
- [2] ITU, "ITU-R M.1842-1 : Characteristics of VHF radio systems and equipment for the exchange of data and electronic mail in the maritime mobile service RR appendix 18 channels," 2009.
- [3] Y. Lee, "WRC-12," *TTA J.*, vol. 140, pp. 113-

표 2. 100MHz 대역의 ITU-R P.1546-4의 측정 결과를 이용하여 2km~20km 전파거리에서 송신안테나 높이에 따른 경로 감쇠 지수

Table 2. Path loss exponents according to the transmitting antenna height using the measurement results of ITU-R P.1546-4 at 100 MHz carrier frequency

Tx Antenna Hight (m)	Path Loss Exponent
10	3.80
20	3.82
37.5	3.81
75	3.61

117, 2012.

- [4] CPG PTC(13) INFO 16, *Information paper on VHF data exchange system (VDES)*, CEPT ECC, Sept. 2013.
- [5] 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 Sci.*, vol. 6, no. 5, pp. 517-526, May 1971.
- [6] D. E. Barrick, "Theory of HF and VHF propagation across the rough sea, 2, Application to HF and VHF propagation above the sea," *Radio Sci.*, vol. 6, no. 5, pp. 527-533, May 1971.
- [7] 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," in *Proc. NATO Advanced Study Inst. Sorrento, Modern Topics in Microw. Propag. and Air-Sea Interaction*, pp. 217-240, Jun. 1973.
- [8] M. V. S. N. Prasad, S. Sharma, M. Sain, and B. M. Reddy, "Transhorizon VHF TV signal propagation over mixed land-sea paths," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 38, no. 1, Mar. 1992.
- [9] 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 Int. Conf. Antennas and Propag.*, vol. 2, pp. 800-803, Mar.-Apr. 2003.
- [10] Y. Lee, F. Dong, and Y. Meng, "Near sea-surface mobile radio propagation at 5 GHz: Measurements and modeling," *J. Radioengineering*, vol. 23, no. 3, pp. 824-830, Sept. 2014.
- [11] ITU, *ITU-R P.1546-4 Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz*, Geneva, 2009.
- [12] S.-M. Kim, S.-H. Byun, S.-G. Kim, C. Yun, and Y.-K. Lim, "Statistical analysis of VHF channel over the sea surface for various ranges," *J. KICS*, vol. 36, no. 8, pp. 1021-

1027, Aug. 2011.

김 승 근 (Seung-Geun Kim)



1995년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사

1997년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사

2002년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사

2002년 10월~현재 : 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원

2004년 3월~2015년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 해양정보통신공학과 겸임교원(부교수)

2015년 3월~현재 : 과학기술연합대학원대학교 해양시스템공학과 겸임교원(부교수)

<관심분야> 수중음향통신 시스템 개발, 해상 VHF 디지털 통신 시스템 개발, 선박 항해통신 장치 및 서비스

김 시 문 (Sea-Moon Kim)



1992년 2월 : KAIST 기계공학과 공학사

1994년 8월 : KAIST 기계공학과 공학석사

2001년 2월 : KAIST 기계공학과 공학박사

2001년 3월~현재 : 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원

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

<관심분야> 채널모델링, 소나신호처리

윤창호 (Changho Yun)



1999년 2월 : 창원대학교 전자공학과 공학사

2004년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 공학석사

2007년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 공학박사

2007년 ~ 2008년 : North Carolina State Univ. 박사후연구원

2008년 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 선임연구원

<관심분야> 해상 및 수중 네트워크 프로토콜 설계

임용곤 (Young-Kon Lim)



1979년 2월 : 충남대학교 전기공학과 공학사

1984년 2월 : 충남대학교 전력전자공학과 공학석사

1994년 2월 : 아주대학교 전자공학과 공학박사

1980년 7월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원

<관심분야> 해상통신 시스템, 수중음향 통신 시스템 및 네트워크, 선박 항해통신 장비