

LTE 기반 초고속 해상무선통신(LTE-M) 라우터 시스템

정낙주 · 나기 · 정희경*

LTE based High-speed Maritime Wireless Communication(LTE-M) Router System

Nahkju Jeong · Batdorj Natsagdor · Hoekyung Jung*

*Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon 35345, Korea

요 약

해양안전에 정보통신기술을 적용하려는 세계 각국의 많은 노력을 바탕으로 국제해사기구(IMO)에서는 최신 정보통신기술을 해양 서비스에 적용하기 위해 e-Navigation 기준을 제정하였다. 해양수산부에서는 국내 환경을 고려한 한국형 e-Navigation을 추진하고 있으며, 해상에서의 초고속 무선통신 방식으로 LTE 통신 방식을 적용하려 하고 있다. 본 논문에서는 초고속 해상무선통신 서비스를 위해 할당된 700Mhz 대역의 주파수를 지원하는 LTE 기반 선박용 라우터 시스템의 개발에 대해서 기술한다. LTE 기반 선박용 라우터를 이용하여 기지국에서 100km 거리 통신이 가능함을 실험으로 보여준다. LTE 기반 초고속 해상무선통신 라우터 시스템은 해상에서 발생할 수 있는 다양한 사고예방 기술 개발에 필요한 통신 기반을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

ABSTRACT

Various countries around the world are conducting various studies to apply information and communication technology to marine safety. Based on this, the International Maritime Organization (IMO) has established the e-Navigation standard to apply the latest information and communication technology to marine services. In Korea, the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries is promoting Korean e-navigation considering domestic marine environment and is trying to apply LTE communication method as a high-speed wireless communication method at sea. In this paper, we describe the development of an LTE based marine router system supporting 700Mhz frequency band allocated for high speed maritime wireless communication service. Experiments on the possibility of 100km distance communication from base station using LTE based ship router are shown. LTE - based high - speed maritime wireless communication router system can provide communication infrastructure necessary to develop various accident prevention technologies that may occur at sea.

키워드 : 국제해사기구, 선박용 라우터 시스템, 이-네비게이션, 정보통신 기술, 초고속 해상무선통신

Key word : e-Navigation, High-speed maritime wireless communication, Information and Telecommunication Technologies, International Maritime Organization(IMO), Maritime router system

Received 1 November 2017, Revised 6 November 2017, Accepted 16 November 2017

* Corresponding Author Hoekyung Jung(E-mail:hkjung@pcu.ac.kr, Tel:+82-42-520-5640)

Department of Computer Engineering, Paichai University, Daejeon 35345, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.3.542>

pISSN:2234-4772

©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

해상에서의 선박의 안전한 항해를 돕기 위한 무선통신 기술은 육상의 통신 기술에 비해 현저히 낮은 통신 성능을 제공하는데 그치고 있다. 선박의 안전 항해 시스템이 도입된 이후로 현재까지 통신 서비스 개선을 위한 다양한 기술적 시도가 있었지만 아직까지 충분한 통신 성능을 제공하지 못하고 있다[1-3].

한국형 e-Navigation의 통신 인프라인 초고속 해상무선통신은 LTE 통신을 이용하여 연안에서 100km 거리의 해상까지 초고속 무선통신 서비스를 제공하는 것을 바탕으로 다양한 정보통신 서비스를 선박에 적용하려는 기술이다[4-6].

본 연구에서는 한국형 e-Navigation 서비스를 위한 초고속 해상무선통신 제공을 위하여 공공안전통신망 주파수로 할당된 700Mhz 대역에서 LTE 통신을 이용하여 초고속 무선통신 기능을 해상의 선박에 적용할 수 있도록 하는 선박용 라우터 시스템의 개발과 성능 시험에 대해서 기술한다. 해상무선통신은 기지국과 선박 사이의 거리가 멀기 때문에 원거리 통신을 위하여 기지국은 충분히 높은 곳에 위치시켜야 하고, 선박의 라우터 시스템은 고이득의 안테나를 사용하여 통신 커버리지를 제공할 수 있도록 한다. 기지국은 전파 가지거리를 확보할 수 있는 충분한 높이에 설치되어야 하며, 라우터는 충분한 이득을 확보할 수 있는 안테나를 적용해야 한다. 본 연구에서는 상용 모뎀을 적용하여 저비용으로 개발하였으며, 선박의 위치 정보를 위한 GPS를 포함하도록 하였다. 해안에서 먼 거리의 통신이 가능하도록 일반적인 라우터에 비해서 고이득의 안테나를 적용하였으며, 안테나와의 거리를 최소화하여 전파 손실을 줄일 수 있도록 선박 외부에 설치 가능한 방수 기능과 PoE 기능을 적용하였다. 2장에서는 선박용 LTE 라우터 시스템의 특징 및 구현 내용에 대해서 설명한다. 3장에서는 2장에서 구현한 라우터 시스템을 이용하여 해상에서 100km 통신 커버리지 시험을 진행한 결과를 기술한다. 4장에서는 본 연구에 대한 결론을 기술한다.

II. 초고속 해상무선통신 라우터 시스템

2.1. 초고속 해상무선통신 시스템 구조

초고속 해상무선통신 시스템은 기존 상용 LTE 시스템과 유사한 구조를 갖는다. 지원하는 통신 서비스는 데이터 위주의 선박 안전 서비스이며 원거리 통신 서비스를 제공하는 것이 가장 중요한 요소이다. 데이터 서비스 중심으로 원거리 통신을 지원하기 위해 사용자 단말로는 선박용 라우터 시스템을 사용한다. 초고속 해상무선통신(LTE-Maritime) 시스템은 그림 1과 같이 구성된다.

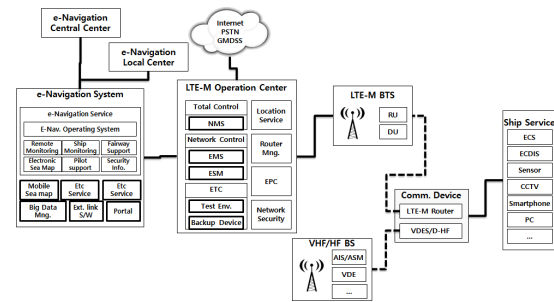


Fig. 1 LTE-M Architecture

선박에는 e-Navigation 서비스를 위한 장비들이 위치하게 되고, 지상의 기지국과 통신을 위해서 라우터 시스템이 설치된다. 지상의 LTE-M 운영 센터 뒤에는 e-Navigation 서비스를 위한 시스템들이 위치하게 된다.

2.2. 공공안전 통신망

우리나라는 2014년 7월에 공공안전에 관한 통신 방식을 LTE 방식으로 확정하였으며, 재난안전통신망(PS-LTE), 철도통신망(LTE-R), 초고속 해상무선통신망(LTE-M)에서 공용으로 사용할 수 있도록 그림 2와 같이 주파수를 할당 하였다[7].

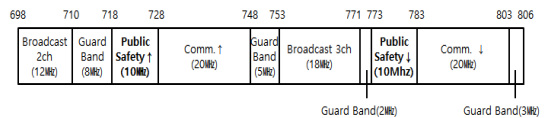


Fig. 2 LTE frequency for public safety

2.3. 초고속 해상무선통신 라우터 시스템

2.3.1. 기구적 특징

초고속 해상무선통신 라우터 시스템은 원거리 통신을 위해서 가능한 선박의 높은 위치에 설치되어야 한다. 라우터 시스템에서 통신에 가장 큰 영향을 미치는 부분은 안테나이며, 높은 위치에 설치하고 저손실 RF 케이블로 라우터에 연결한다. RF 케이블의 길이는 손실을

줄이기 위해서 가능한 1~2m 정도의 길이가 적당하다. 라우터 시스템이 선박 외부에 설치되려면 해수에 의한 침수를 방지할 수 있도록 방수 기능이 지원되어야 한다. 통신을 사용하는 장소와 설치 장소가 멀리 떨어져 있게 되므로 라우터의 전원 공급과 네트워크 연결을 위해서 PoE를 적용하였다.

2.3.2. 통신 거리 및 안테나

LTE 통신은 3GPP 표준 문서에 따라서 통신 가능 거리가 최대 100km 정도이다. LTE 통신에서 가장 기본적인 시간 단위는 1/30720ms이다. LTE에서 전파 지연에 의해서 통신 거리가 결정되며, 이러한 전파 지연을 가지고 계산한 최대 통신 가능 거리는 100km 정도가 된다. 전파가 100km 거리까지 도달하기 위해서는 기지국의 위치가 충분히 높은 위치에 설치되어야 하고 먼 거리에서 전파를 수신할 수 있도록 수신 이득이 높아야 한다. 전파의 도달 거리는 전파 가지거리 공식에 의해서 계산될 수 있다. 전파 가지거리는 아래 공식처럼 계산할 수 있으며, d 는 전파가지거리로 km이며, r 은 지구의 반지름이다. h_1 과 h_2 는 각각 송신 안테나와 수신 안테나 높이이다. 100km 통신 거리를 위해서는 선박에 설치하는 안테나인 수신 안테나 h_2 가 0이면 송신 안테나의 높이는 592m에 위치해야 한다.

$$d = \sqrt{2 \times 4/3 \times r \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})} \quad (1)$$

$$= 4.11 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

수신 단말측에서 통신 거리를 늘리기 위해서는 안테나의 설치 위치를 높게하고 고이득의 안테나를 사용해야 한다. 기지국 안테나는 지향성으로 원하는 방향으로 전파를 보내는 것이 일반적이지만, 선박은 해상에서 방향이 수시로 변경되므로 수평 방향으로는 360°로 전파를 수신할 수 있는 옴니 안테나를 사용해야 한다. 전파 수신 감도를 높여서 수신 거리를 늘리기 위해서는 수직 빔폭을 작게 설계하여 안테나의 계인을 높이는 방법을 적용한다. 선박과 기지국 사이의 거리는 일반적인 육상 통신에 비해 상당히 먼 거리이므로 수직 빔폭이 작아도 통신 도달 범위는 상당히 넓게 형성될 수 있다. 본 연구에서는 라우터 시스템의 안테나로 수직 빔폭이 20°, 계인이 6dBi인 안테나를 적용하였다. 기존 육상에서 사용하는 LTE 라우터들은 통신 거리 문제가 없으므로 대부분 0dBi의 안테나를 사용한다.

2.3.3. 통신 모뎀

공공안전통신망의 통신 주파수는 LTE Band28에 해당하는 대역이다. 이 주파수는 호주, 대만, 일본 등 일부 국가에서 통신용으로 사용하고 있으며, 국내에서는 공공안전용으로 할당되었다. 라우터를 저비용으로 개발하기 위해서 LTE 통신 기능을 수행하는 모뎀은 기존의 상용 모뎀을 적용하였다. 국내에서 사용하지 않는 주파수 대역이므로 해외 국가를 위한 모뎀 중에서 LTE Band28을 지원하는 모뎀을 적용하였다.

초고속 해상무선통신으로 모뎀을 사용하기 위해서 모뎀이 상태를 설정하고 동작 상태를 진단하는 프로그램을 통해서 모니터 할 수 있도록 그림 3과 같이 구성하였다. Search Port에서는 시스템에서 인식되는 모뎀의 여러 포트들을 역할에 맞도록 선별한다. Run set command에서는 LTE-M에 맞도록 모뎀의 LTE 설정을 변경한다. Status Info.에서는 주기적으로 상태 정보를 모니터링하고, Set Network에서는 사용자가 통신을 사용할 수 있도록 네트워크를 설정한다.

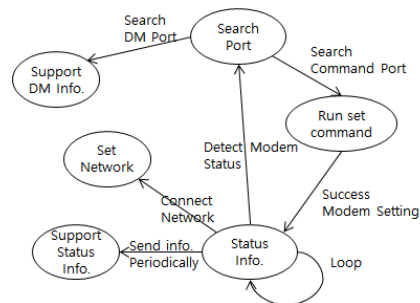


Fig. 3 Modem status control

공공안전통신망 주파수는 재난안전통신망, 철도통신망 등에서 함께 사용하는 주파수이다. 모뎀은 자신이 사용하는 주파수 대역의 전파 중에서 수신 세기가 가장 큰 셀로 접속을 시도한다. PS-LTE 등으로의 잘못된 접속 시도로 인하여 접속 문제가 발생할 수 있다. 전파 자체가 혼선이 발생하는 것은 모뎀에서 제어할 수 없지만, 모뎀이 수신하는 전파 중에서 LTE-M으로 설정된 내용만 사용할 수 있도록 모뎀의 상태를 설정한다. 그림 4는 상용 모뎀을 사용하여 LTE-M에 필요한 내용만 사용가능 하도록 설정하는 과정이다. WCDMA를 배제하고, LTE Band 28로만 통신하도록 하였다. 마지막으로 같은 주파수 대역의 다른 서비스와의 간섭을 피하기 위해서 PLMN 설정을 통해서 LTE-M 서비스만을 사용하도록

하였다.

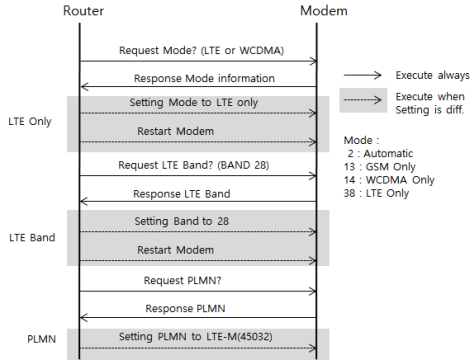


Fig. 4 Modem setting for LTE-M

2.3.4. 라우터 위치 정보 및 상태 정보

LTE-M 라우터는 선박의 현재 위치를 실시간으로 관제 서버로 전달할 수 있도록 위치정보 기능을 포함하고 있다. 해양에서 선박의 위치와 상태 정보는 사고 예방이나 관제 센터 지시 전달을 위해 매우 중요한 정보이다. GPS를 기반으로 하는 위치 정보는 실시간으로 파악되어 다른 장치의 도움 없이 라우터에서 직접 관제 서버로 전달할 수 있도록 하였다. LTE 통신이 되지 않는 음영지역에 선박이 위치할 경우에는 위치 정보를 라우터 내부에 임시로 저장하도록 하였다. 저장된 데이터는 통신이 가능해지면 서버로 전달하여 선박의 이동 경로에 대한 완전한 파악이 가능하도록 하였다. 라우터의 상태정보와 위치정보에 대한 데이터를 저장하고 전달하는 과정에 대한 데이터 흐름은 그림 5와 같다.

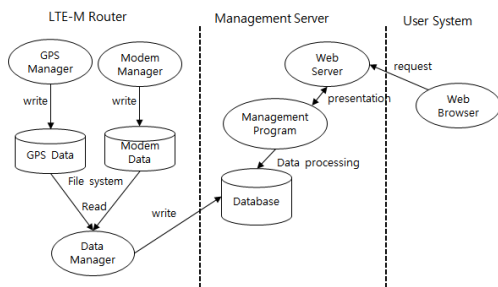


Fig. 5 Router Information data flow

그림 5에서 라우터 내부에서 모델 정보와 위치 정보는 내부 저장소에 임시로 저장한다. 저장된 데이터는 LTE 통신이 가능한 상태에서 관제 서버의 DB에 저장되고 관제 서버의 관리 프로그램은 웹을 이용하여 정보

를 서비스 한다.

III. LTE-M 라우터 통신 시험

3.1. 시험 환경

초고속 해상무선통신을 위한 LTE-M 라우터의 통신 성능을 측정하기 위한 시험은 동해항에서 울릉도 구간에서 여객선을 이용하여 진행하였다. LTE-M 시험 기지국이 설치된 강릉 기지국을 사용하였으며, 선박에 그림 6과 같이 높은 곳에 라우터와 안테나를 장착하였다. PoE를 이용하여 전원을 공급하고 선실에서 진단 프로그램을 이용하여 테스트를 진행하였다. 테스트의 결과는 진단 프로그램을 통하여 실시간으로 모니터링하여 정확한 연결 상태와 주기적인 FTP를 통한 성능 시험을 함께 진행하였다.

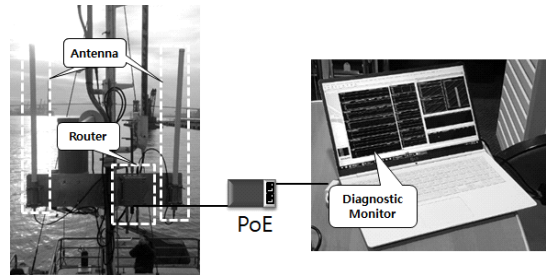


Fig. 6 LTE-M router system test environment

3.2. 통신 커버리지 시험

동해항과 울릉도 사이를 항해하면서 진단 프로그램을 통하여 측정하였다. 그림 7은 선박에 설치한 라우터에서 통신 상태를 측정하는 진단 프로그램을 이용하여 통신 상태를 측정한 것이다. 진단 프로그램에 통신이 단절되는 시점에서 기지국과의 통신 거리가 100.5km가 표시되었다.

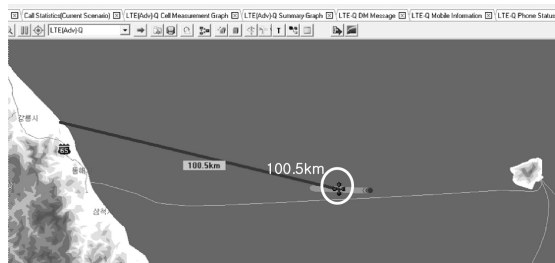


Fig. 7 100km communication coverage result

항해하는 동안 LTE 통신 상태를 표시하는 RSRP (Reference Signal Received Power)와 SINR(Signal Interference Noise Ratio) 값으로 통신 상태를 좀 더 명확히 살펴볼 수 있다. RSRP는 단말에서 수신하는 기준 신호의 세기로 LTE의 통신 상태를 체크하는 지표로 주로 사용된다.

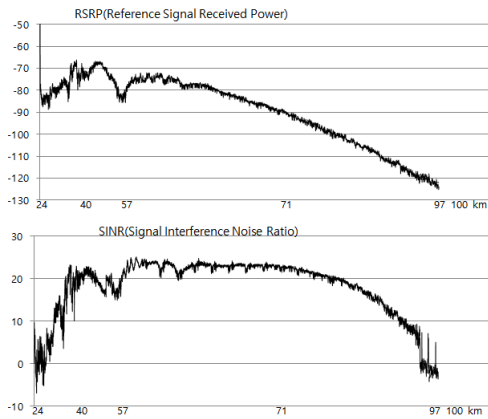


Fig. 8 LTE signal strength

그림 8은 선박의 이동에 따른 신호의 상태를 보여주고 있다. 동해항을 출발한 이후 선박이 해상의 일정 지점에 이르기까지 기지국의 안테나의 전파 가장 자리에 위치하면서 수신 성능이 일정치 않은 상태를 보여준다. 기지국과 연결이 정상인 상태에서 100km 거리에 이르기까지 완만하게 RSRP값이 감소하는 것을 볼 수 있다. SINR은 선박 출항 초기에서 조금 흔들리다가 이후에 상당한 구간에서 신호의 감소가 별로 나타나지 않는 것을 보여주고 있다. 해상에서는 육상과 달리 전파 간섭이나 방해물 일으키는 요인이 거의 없기 때문에 간섭 현상이 적어서 신호의 품질 상태가 좋게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.3. 통신 속도 측정

동일한 구간에서 주기적으로 통신 성능을 측정하였다. LTE 운영 시스템 뒷단에 FTP 서버를 설치하여 진단 프로그램 내에 포함된 통신 성능 측정 기능을 이용하여 FTP로 성능을 측정하였다. 통신 속도는 선박이 이동하면서 1분간 평균 속도로 측정하였다. 동해상은 하나의 기지국에만 연결된 상태이므로 기지국간 핸드오버는 발생하지 않는다. 또한 측정 구간에 섬이 없어 전

파 음영이 없다. 다만 선박이 출항하고 일정 구간에 도달할 때까지 기지국과 선박의 방향이 맞지 않음으로 인해서 발생하는 초기 불안정한 상태가 나타난다.

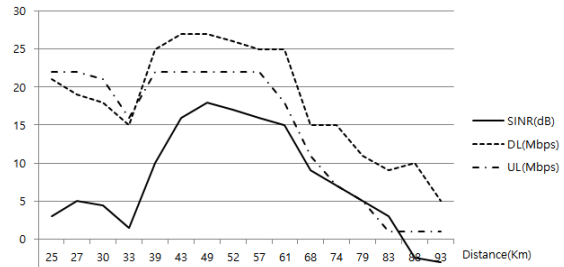


Fig. 9 Throughput result

통신 성능은 5분 단위로 측정하였으며, 5분마다 다른 로드를 실행한 후에 다시 업로드를 실행하므로 실제 통신 성능은 동일한 위치보다 약간의 거리 오차를 갖고 있다. 그림 9에서 보듯이 통신 성능은 SINR 값과 상관 관계를 갖는 것을 알 수 있다. 70km 거리에서 약 20Mbps 이상의 다운로드 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

3.4. 평가

기존의 상용 LTE 통신망을 해상에서 사용하려는 시도는 일부 있었지만 해상에서의 시험 환경 구축의 어려움으로 인하여 정확한 성능 측정을 위한 시도는 이루어지지 않았었다. 한국형 e-Navigation에서 초고속 해상 무선통신망으로 LTE 방식을 적용하기 위한 시험 시스템 구축이 이루어지면서 시험 환경 구축이 가능해졌다. 기존에 선박에 장착할 수 있는 LTE 라우터가 없는 상태에서 최적의 성능을 위하여 선박 외부 설치, 상용 모델 적용, 고이득 안테나, GPS 장착 등 해상에 필요한 요소들을 적용하여 라우터 시스템을 개발하였다. 동해상에서의 시험을 통하여 목표로 했던 100km 통신 거리와 충분한 통신 Throughput을 제공하는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 연구에서는 해상에서 LTE 통신을 사용할 수 있는 초고속 해상무선통신 라우터 시스템 개발을 통해 한국형 e-Navigation을 위한 선박과 육상의 통신 시스템 구

축을 위한 기반을 마련하고 이를 통하여 선박에서의 LTE 통신 서비스를 이용한 안전한 운행을 위한 기반을 마련하고자 하였다.

LTE-M 서비스를 위한 라우터 시스템 개발을 위하여 선박 외부에 설치할 수 있는 구조로 라우터를 설계하였으며, 설치의 용이성을 위하여 PoE를 사용하였다. 상용 통신 모듈을 사용하여 LTE-M에 맞도록 모뎀 설정을 변경하였으며, 위치 정보 기능을 내장하여 라우터 자체에서 위치 정보를 실시간으로 전달할 수 있도록 하였다. 공공안전통신망 주파수 대역에서 6dBi 안테나를 사용하고, 고지대 기지국을 이용하여 동해상에서 100km 통신 커버리지를 확보할 수 있었으며, 해상에서 초고속 서비스를 이용하기에 불편함이 없는 고속의 데이터 통신 성능을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 확인한 선박용 LTE 라우터를 이용한 통신 서비스가 많은 선박에서 운용되면 해양 안전을 위한 다양한 서비스 개발이 가능해져 한 해 수천 건에 이르는 해양 사고를 예방하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the research grant of Pai Chai University in 2017.

REFERENCES

- [1] K. M. Cho, C. H. Yun, Y. K. Lim, C. G. Kang, "A MAC Protocol for Integrated Service in the Multi-Hop Ad-Hoc Maritime Communication Network," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 38A, no. 7, pp. 603-611, July 2013.
- [2] M. Balduzzi, A. Pasta, K. Wilhoit, "A security evaluation of AIS automated identification system," *Proceedings of the 30th annual computer security applications conference*, pp. 436-445, Dec. 2014.
- [3] S. J. Lee, J. S. Jeong, M. Y. Kim, G. K. Park, "A study on real-time message analysis for AIS VDL load management," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 256-261, Jun. 2013.
- [4] NAV 59, "Development of A E-navigation Strategy Implementation Plan," IMO, NAV 59/6, May 2013.
- [5] J. H. Cho, "IMO Next-generation marine safety integrated management system technology development project," KISTEP, Jan. 2015.
- [6] K. W. Jang, "A Tabu Search Algorithm for Router Node Placement in Wireless Mesh Networks," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 83-90, Jan. 2015.
- [7] e-Navigation Forum, "e-Navigation Forum Library Book," Ministry of Oceans and Fisheries, Mar. 2015.



정낙주(Nahkju Jeong)

1992년 충남대학교 컴퓨터공학과(공학사)
 1995년 충남대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
 2018년 배재대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
 2015년 ~ 현재 (주)유비테크 연구소장
 ※관심분야: 임베디드 시스템, 해상무선통신, IoT



나기(Batdorj Natsagdor)

2016년 배재대학교 컴퓨터공학과(공학사)
 2018년 배재대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
 ※관심분야: USN, IoT, 모바일 어플리케이션



정희경(Hoekyung Jung)

1985년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학사)
 1987년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
 1993년 광운대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
 1994년 ~ 현재 배재대학교 컴퓨터공학과 교수
 ※관심분야: 멀티미디어정보처리, XML, Semantic Web, Ubiquitous Computing, USN, IoT