

3D 수중통신환경에서 MANET의 전송성능

김영동*

Transmission Performance of MANET on 3D Underwater Communication Environments

Young-Dong Kim*

요 약

무선전파를 사용하는 지상통신과는 달리 1500[m/s] 속도의 음향채널이 사용되는 수중통신은 수중온도, 염도를 비롯한 통신환경에 민감할 뿐 아니라 3D 공간의 영향을 받는다. 3D 수중통신은 통신공간의 복잡성과 더불어 음파의 전파손실, 해저환경에서 발생하는 음향잡음 등에 민감하다. 본 연구에서는 이와 같은 3D 수중통신 환경의 특성을 고려하여 3D 수중통신환경에서 운용되는 MANET을 대상으로 전송성능을 측정·분석하고 이를 토대로 수중 MANET 운용조건을 제시한다. 본 연구는 NS-2를 기반으로 구축한 수중통신 시뮬레이터를 사용하여 수행하며, 성능파라미터로는 처리율, 전송지연, 패킷손실율 및 소비에너지를 사용한다.

ABSTRACT

Underwater communication, which is used acoustic channel of 1500[m/s] speed being different of wireless electric wave in terrestrial communication, is sensitive on water temperature and salinity and also affected from 3D underwater space. 3D underwater communication is sensitive on propagation loss of acoustic wave and underwater noise with complexity of communication space. In this paper, transmission performance with consideration of these characteristics of 3D underwater communication environments is measured and analyzed on MANET operated on 3D underwater communication environments. Some underwater MANET operation conditions will be suggested. Computer simulation with underwater simulator based on NS-2 will be used for performance measure, performance parameter like as throughput, transmission delay, packet loss rate and consumed energy will be used in simulation for performance measure.

키워드

Underwater Communication, 3D Environment, MANET, Simulation, Performance
수중 통신, 3D 환경, 이동 임시망, 시뮬레이션, 성능

1. 서 론

최근 들어 스마트 수산업, 해저 탐험·탐사, 레저·여가 및 군사적 목적 등으로 해양수중산업의 중요성이 크게 증가함에 따라 수중통신기술의 연구·개발 및 도

입이 활발해지고 있으며, 이를 지원하기 위한 효과적이고 안정적인 수중통신구조는 수중산업의 발전에 매우 중요한 요소로 분석되고 있다[1-2].

수중통신환경은 수중 온도, 염도 및 수중잡음에 민감하게 영향을 받는 저속 음향채널과 같은 수중전송매

* 교신저자 : 동양대학교 철도전기융합학과
• 접수일 : 2017. 10. 25
• 수정완료일 : 2017. 11. 19
• 게재확정일 : 2017. 12. 15

• Received : Oct 25, 2017, Revised : Nov 19, 2017, Accepted : Dec 15, 2017
• Corresponding Author : Young-Dong Kim
Dept. of Electric Railway Convergence Engineering, Dongyang University,
Email : ydkim@dyu.ac.kr

체, 3D 공간으로 구성되는 통신공간을 기반으로 하고 있어 고속의 무선전파를 중심으로 운영되는 지상통신 환경과는 매우 다른 특성을 갖는다. 뿐만 아니라 통신 장비를 위한 기반구조물의 설치·운영 등이 수월하지 않은 환경적 단점이 있다.

기지국과 같은 통신기반구조의 지원 없이 단말기 또는 송수신장치를 중심으로 구축되는 임시통신망으로서 MANET(Mobile Ad-hoc Network)은 수중통신구조로 적절한 것으로 보인다. 센서를 이용한 해저 환경 정보수집, 각종 수중정보전달 등 여러 유형의 통신에 효과적으로 활용될 수 있다[3].

수중 MANET에 관한 연구의 한 분야로서 전송성능 분석 연구는 프로토콜 관점의 비교 성능 분석 결과로 수중 MANET의 운영 환경을 기반으로 한 네트워크의 전송 성능에 요구되는 결과로 활용하기에는 다소 미흡한 면이 있다.

본 논문에서는 프로토콜 기반의 수중통신 전송성능 분석의 미흡함을 보완하고자 수중통신의 통신환경을 고려한 전송성능 분석을 시도하고 그 결과를 제시하고자 한다. 이를 위하여 수중통신환경의 중요한 요소 가운데 하나인 3D 통신 공간을 분석 대상으로 하여 MANET의 전송 성능을 분석한다.

전송 성능 분석은 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 수행하며, 시뮬레이터는 NS(Network Simulator)-2 기반으로 구축한 3D 수중통신환경을 토대로 구성한다. 시뮬레이션에서 전송 성능의 측정 및 분석에는 처리율(throughput), 지연(delay), 패킷손실율(packet loss rate) 및 소비에너지(consumed energy) 등의 성능 파라미터를 사용한다. 전송성능 분석결과를 토대로 3D 수중통신환경에서 MANET 운용조건을 제안한다.

본 논문은 II장에서 3D 수중통신환경에 관하여 소개하며 III장에서 시뮬레이션과 성능분석 결과를 기술하고, IV장에서 결론을 맺는다.

II. 3D 수중 통신 환경

신호의 전파속도 및 감쇠, 잡음의 영향, 통신 공간 등의 통신환경을 고려할 때 수중통신환경은 지상통신 환경과 매우 다른 특성을 갖는다.

수중전달매체인 음향채널의 전파속도는 평균 1500

[m/s]로 공기중의 음향전파 평균속도 340[m/s]에 비해 약 4.4배의 빠르지만 무선신호의 전파속도 3×10^8 [m/s]에 비해 매우 느리고, 수중통신에서 감쇠는 노드간의 거리에 민감하며, 수중온도, 염도 및 수중 잡음에 크게 영향을 받는다[4-5].

통신장치가 지표면을 중심으로 운영되어 통신공간이 주로 2차원으로 취급되는 지상 통신과는 달리 수중통신 환경에서는 통신장치가 그림 1과 같이 해수면을 기준으로 입체공간에 설치·운영되므로 3차원의 3D 통신공간을 고려해야 한다.

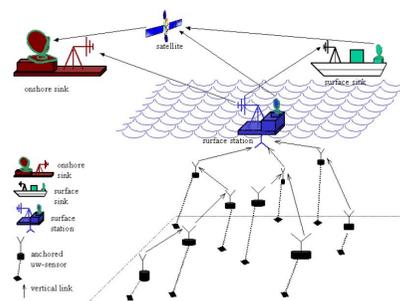


그림 1. 3D 수중통신환경[6]
Fig. 1 3D communication environment[6]

수중통신환경에서 음향채널의 전파속도는 다음과 식(1)과 같이 정의되며[5],[7], 수중온도 및 염도, 깊이에 따라 변화된다.

$$v = 1448.96 + 4.591T - 5.304 \times 10^{-2} T^2 + 2.374 \times 10^{-4} T^3 + 1.340(S - 35) + 1.630 \times 10^{-2} D + 1.675 \times 10^{-7} D^2 - 1.025 \times 10^{-2} T(S - 35) - 7.139 \times 10^{-13} TD^3 \quad (1)$$

식(1)에서 v 는 음향전파속도[m/s], T 는 수중온도 [°C], S 는 수중염도[ppt], D 는 깊이[m]를 의미한다.

수중통신에서 전송에 영향을 미치는 감쇠는 흡수손실, 확산손실, 흡수손실 등 여러 요인에 의해서 발생된다[8]. 통신에 비교적 큰 영향을 미치는 흡수손실에 의한 감쇠는 아래의 식(2)와 같다[5],[9].

$$10\log a(f) = \begin{cases} \frac{0.11f^2}{1+f^2} + \frac{44f^2}{4100+f} + \\ 2.75 \times 10^{-4} f^2 + 0.03, & f \geq 0.4 \\ 0.02 + \frac{0.11f}{1+f} + 0.11f, & f < 0.4 \end{cases} \quad (2)$$

식(2)에서 $a(f)$ 와 f 는 각각 감쇠[dB/km]와 주파수 [Hz]를 의미한다.

수중통신에서는 이외에도 각종 수중음향원에 의해 발생하는 수중음향잡음, 위상지연[10-11] 등의 영향을 고려해야 한다.

III. 시뮬레이션 및 성능 분석

3.1 시뮬레이터 구성

본 논문에서는 3D 수중통신환경에서 MANET의 전송 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 분석하였다.

시뮬레이터는 NS-2를 기반으로 Aqua-Sim 모듈 [12]을 활용하여 3D 수중통신환경을 추가하여 구축하였다. Aqua-Sim은 NS-2를 기반으로 3D 수중통신환경과 지상통신환경과 병행구축 기능을 제공하고 있으며, 수중에 특화된 채널 및 MAC(: Media Access Control) 프로토콜을 지원하고 있어 수중 네트워크 연구에 널리 사용되고 있는 시뮬레이션 모듈이다.

전송 트래픽은 NS-2에서 기본으로 제공되는 CBR(: Constant Bit Rate) 트래픽을 사용했다. CBR 트래픽은 센서 네트워크 등의 성능분석에 사용되고 있다.

3.2 시뮬레이션 환경

시뮬레이션에서 각 노드들은 3D 수중 환경에 구축된 MANET내에서 최대 10[m/s]의 속도로 상하좌우로 랜덤 이동을 한다. 노드들은 랜덤 이동 중에 다른 노드와 CBR 트래픽을 송수신한다.

시뮬레이션에서 사용된 수중 MANET의 규모는 $100 \times 100 \times 100[m^3] \sim 300 \times 300 \times 1000[m^3]$ 이며, Broadcast Mac 및 VBF(: Vector Based Forward) 프로토콜을 사용하며, 노드의 수는 300개로 설정하였다.

시뮬레이션에서 사용된 주요 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Parameters	Values
Network Scale	$100 \times 100 \times 100 \sim 300 \times 300 \times 1000[m^3]$
Nodes	300
Nodes Mobility	3D Random Moving
MAC	BroadcastMac
Routing	Vectorbasedforward
Link Speed	50[kbps]
Traffic	CBR

3.3 성능 분석

시뮬레이션은 표 1과 같이 $100 \times 100 \times 100[m^3] \sim 300 \times 300 \times 1000[m^3]$ 규모의 3D 수중통신환경에서 동작하는 MANET을 $100 \times 100[m^3]$, $200 \times 200[m^3]$, $300 \times 300[m^3]$ 의 3개 규모로 분류하고, 이를 다시 해수면 깊이 100[m]~1000[m] 범위에서 100[m] 간격으로 변화시키며 수행하였다. 시뮬레이션의 수행은 제시한 규모의 MANET 각각에 대해 300[s] 간의 시뮬레이션을 5회 수행하며 전송성능을 측정하고, 그 측정값의 평균을 전송성능으로 하였다.

그림 2~9에 시뮬레이션 결과를 처리율, 지연, 패킷 손실율 및 소비에너지로 구분하여 제시하였다. 그림 2, 4, 6, 8은 해수면 깊이에 대한 각 MANET 규모별 성능을 의미하며, 그림 3, 5, 7, 9는 그림 2, 4, 6, 8에서 측정된 각 MANET 규모별 측정값을 해수면을 기준으로 평균하여 제시한 결과이다.

그림 2와 3은 해수면 깊이에 따른 처리율의 변화를 나타낸다. 그림 2에서 시뮬레이션에서 사용한 전송속도 50[kbps]에 대한 처리율이 수면 깊이가 증가할수록 처리율이 급격하게 낮아지는 것으로 나타났다. 시뮬레이션에서 사용한 3개의 MANET 규모에서 동일한 현상을 보였다. 그림 3의 평균 처리율에 의하면 100[m]에서 35[kbps]로 전송속도 50[kbps]의 70[%]를 보였으나 해수면 깊이에 따라 급격하게 저하되기 시작하여 600[m]에서는 50[kbps]의 11%인 5[kbps]로 저하되었다. 전체 구간에서 평균 처리율은 11.3[kbps]로 전송속도 50[kbps] 대비 22.6[%]로 나타났다.

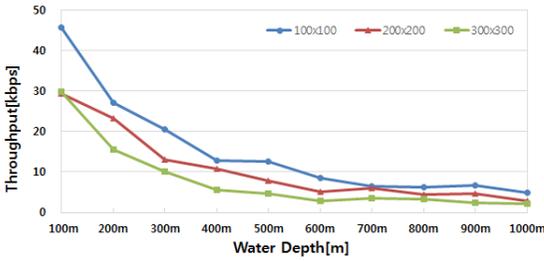


그림 2. 처리율
Fig. 2 Throughput

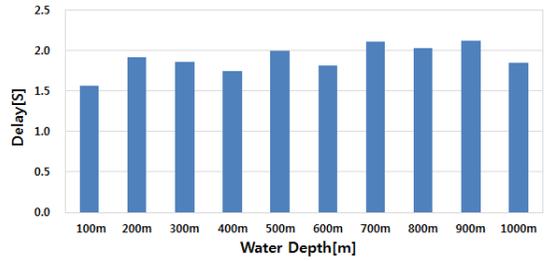


그림 5. 평균 지연
Fig. 5 Mean delay

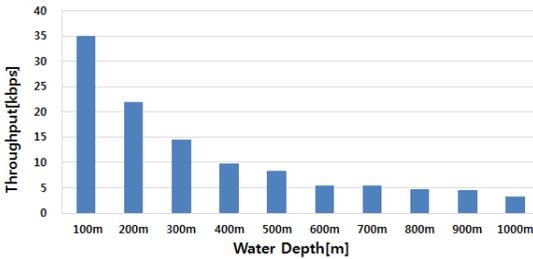


그림 3. 평균 처리율
Fig. 3 Mean throughput

그림 4에서 지연은 1.0~2.5[s]로 MANET의 규모에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 이는 MANET의 물리적 규모가 증가함에 전송신호의 전달거리가 증가함으로 발생한 현상으로 분석된다. 그림 5에 의하면 해수면의 깊이에 따라서 평균지연이 소량 증가하는 것으로 추정되었으나, 변동폭이 1.6~2.1[s]로 크지 않았다. 지연의 평균값은 1.9[s]로 매우 높았다.

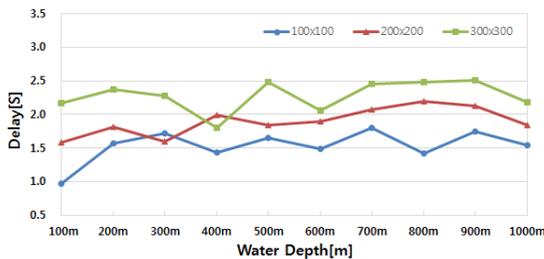


그림 4. 지연
Fig. 4 Delay

그림 6과 7에서 패킷손실율은 MANET 규모 별로 차이가 있으나 해수면 깊이에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 손실율이 21~41[%]이르는 것으로 추정되었다. 패킷손실율의 평균은 약 30~40[%]로 규모 매우 높은 것으로 추정되었다. 이는 MANET의 규모가 증가함에 따라 300개의 노드간의 통신간격이 넓어져서 패킷손실이 증가하는 것을 의미한다. 전체구간에 대한 패킷손실의 평균은 35.1[%]였다.

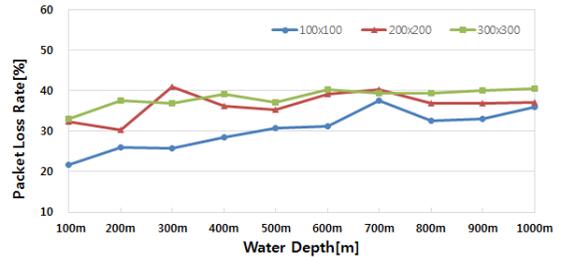


그림 6. 패킷손실율
Fig. 6 Packet loss rate

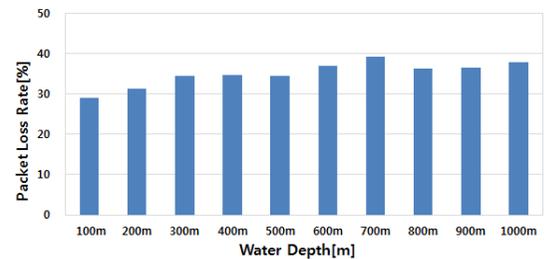


그림 7. 평균패킷손실율
Fig. 7 Mean packet loss rate

그림 8과 9에서 소비에너지는 한 노드가 1[s]동안의 전송에서 소비한 에너지로 한 노드가 시뮬레이션 전 시간 동안 소비한 총 에너지를 시뮬레이션 총 시간으로 나누어 시간에 대하여 정규화한 량이다.

그림 8에서 소비에너지는 해수면의 깊이에 따라 다소 감소하는 것으로 나타났으나, MANET 규모에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았으며 특히 해수면 700[m]부터는 차이가 거의 없었다. 해수면의 깊이에 따라 소비에너지가 감소하는 것은 전송불능상태 등으로 에너지소비가 줄어든 것에 기인한 것이다. 그림 9에 의하면 한 노드가 소비한 평균 에너지는 2.45~2.69[J], 평균 2.5[J]로 나타났다.

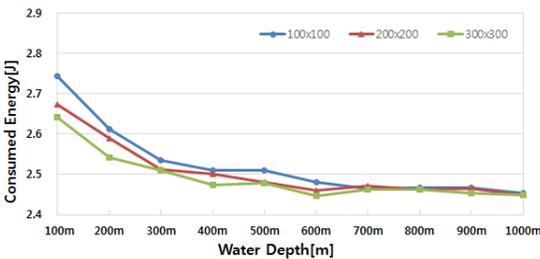


그림 8. 소비에너지
Fig. 8 Consumed energy

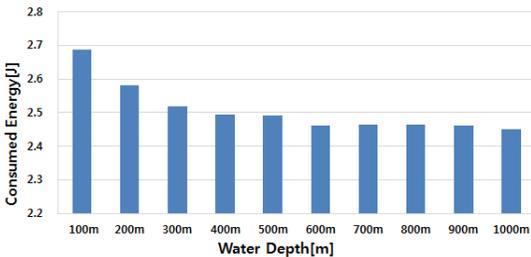


그림 9. 평균소비에너지
Fig. 9 Mean consumed energy

3.4 수중 MANET 조건

그림 2~9의 시뮬레이션 결과에 따르면 3D 수중통신환경에서 MANET의 전송성능은 표 1과 같이 전송 파라미터 별로 상이한 특징을 보였다.

처리율의 경우 해수면의 깊이에 따라 급격하게 낮아졌으며, 지연은 매우 큰 것으로 측정되었으며 해수면의 깊이에 따른 변화는 크지 않았으나 그 변동폭이 큰 것으로 나타났다. 패킷손실율의 경우 매우 큰 값을

보였으며 해수면의 깊이에 따라 일정하게 증가하였다. 소비에너지는 해수면의 깊이에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 네트워크 규모에는 영향을 크게 받지 않은 것으로 나타났다.

따라서 3D 수중통신환경에서 MANET을 구축·운영할 경우, 해수면의 깊이에 따라 처리율의 급격한 감소, 대량의 패킷손실과 손실율의 급격한 증가, 큰 지연시간과 지연시간의 변동을 고려해서 MANET의 규모와 운영깊이 등의 구축·운영 방안을 모색해야 한다.

적절한 정도의 성능요구조건을 정하고 그에 부합하는 MANET을 블록단위로 구축하고 이를 통합하여 운영하는 방안도 필요할 것으로 판단된다.

표 2. 성능 비교
Table 2. Performance comparison

Parameter	Mean	Depth	Scale
Throughput	Low	Decrease	Middle
Delay	High	Increase	High
PLR	High	Increase	High
Energy	Low	Decrease	Low

IV. 결론

본 논문에서는 3D 수중통신환경에서 MANET의 전송성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 해수면의 깊이를 중심으로 측정하고 분석하였다.

컴퓨터 시뮬레이션 및 성능분석 결과에 따르면 처리율은 평균 11.3[kbps], 지연은 평균 1.9[s], 패킷손실율은 평균 35.1[%], 소비에너지는 2.5[J]으로 측정되었다. 아울러 각 성능 파라미터들이 해수면의 깊이에 따라 서로 상이한 특징을 보이는 것으로 분석되었다.

따라서 3D 수중통신환경에서 MANET을 구축·운영하기 위해서는 처리율의 저하, 높은 지연과 패킷손실율, 전송량 증가에 따른 소비에너지 증가를 개선할 수 있는 MAC 프로토콜 및 채널운영 방안의 개발이 필요한 것으로 나타났다.

본 논문에서 사용한 분석방법과 분석결과는 3D 수중통신환경에서 MANET을 비롯한 수중통신네트워크의 구축, 수중통신서비스의 개발·운영 등에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

전파방법, 라우팅 및 MAC 프로토콜 등 다양한 수

중통신환경에 대한 성능분석 및 이를 토대로 한 3D 수중통신 네트워크 구축 기술의 개발이 추후과제라 할 수 있다.

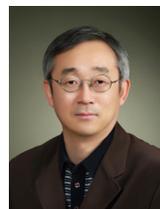
감사의 글

이 논문은 2016년도 동양대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

References

- [1] J. Partan, J. Kurose, and B. Levine, "A Survey of Practical Issues in Underwater Networks," In *Proc. of the 1st ACM Int. Workshop on Underwater Networks*, Los Angeles, USA, Sept. 2006.
- [2] A. Stefanov and M. Stojanovic, "Performance of Underwater Ad-Hoc Networks," In *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2010)-Fall*, Ottawa, Canada, Sept. 2010.
- [3] Y. Kim, "Transmission Performance of Voice Traffic on Underwater MANETs," In *Proc. Int. Conf. on Korea Institute of Information and Communication Engineering 2012*, Istanbul, Turkey, June 2012.
- [4] Y. Kim, "Transmission Performance of Application Performance on Underwater MANETs," In *Proc. Conf. on Korea Institute of Information and Communication Engineering 2013*, vol. 17, no. 1, Mokpo, Korea, May 2013, pp. 557-560.
- [5] Y. Kim, "Transmission Performance of VoIP Traffics on Underwater MANET," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 12, Dec. 2016, pp. 1187-1192.
- [6] I. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Challenges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Networks," *ACM Special Interest Group on Embedded Review*, vol. 1, issue 2, July 2004, pp. 3-8.
- [7] A. Sehgal, I. Tuma, and J. Schonwalder, "AquaTools : An Underwater Acoustic Networking Simulation Toolkits," In *Proc. IEEE Oceans Conf.*, Sydney, Australia, May 2010.
- [8] Y. Im, P. Lim, J. Lee, and C. Kim, "Interface Effect Analysis between Undersea Fiber Optic Cable and Underwater Acoustic channel," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 9, Sept. 2015, pp. 979-985.
- [9] A. F. Harris III and M. Norzi, "Modeling the Underwater Acoustic Channel in ns2," In *Proc. of 2nd Int. Conf. on Performance Evaluation Methodologies and Tools*, Nantes, France, Oct. 2007.
- [10] Y. Lee, Y. Moon, N. Ko, H. Choi, J. Lee, and Y. Bae, "Estimation Technique of Time Difference of Acoustic Signal in Underwater Environments," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 3, Mar. 2016, pp. 253-261.
- [11] Y. Lee, Y. Moon, N. Ko, H. CHoi, J. Lee, and Y. Bae, "Estimation Technique of Time Difference of Acoustic Signal by phase delay in Underwater Environments," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 4, Apr. 2016, pp. 365-371.
- [12] P. Xie, Z. Zhou, Z. Peng, H. Yan, and T. hu, "Aqua-Sim : an NS-2 Based Simulator for Underwater Sensor Networks," In *Proc. Conf. on OCEANS 2009 MIT/IEEE Biloxi-marine Technology for Our Future : Global and Local Challenges*, Biloxi, USA, Oct. 2009.

저자 소개



김영동(Young-Dong Kim)

1984년 광운대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)

1986년 광운대학교 대학원 전자통신학과 졸업(공학석사)

1990년 광운대학교 대학원 전자통신학과 졸업(공학박사)

1995년~현재 동양대학교 철도전기융합학과 교수

※ 관심분야 : 통신프로토콜, MANET, VoIP, 수중통신, 컴퓨터 시뮬레이션, ICT 융합 등