

전기자동차 충전 효율성을 고려한 모바일 에지 컴퓨팅 기반 충전 인프라 구조

이주용¹, 이지훈^{2*}

¹상명대학교 전자정보시스템공학과, ²상명대학교 정보통신공학과

Mobile Edge Computing based Charging Infrastructure considering Electric Vehicle Charging Efficiency

Juyong Lee¹, Jihoon Lee^{2*}

¹Dept. of Electronic Information System Engineering, Sangmyung University

²Dept. of Information and Telecommunication Engineering, Sangmyung University

요약 화석 연료의 고갈 및 환경오염의 증가로 인하여 전기 에너지를 사용하는 전기 자동차가 차세대 교통수단으로 주목받고 있으며 전 세계적으로 인기를 끌고 있다. 전기 자동차의 보급률 및 관심이 높아짐에 따라 V2G (Vehicle to Grid) 및 IT 기술을 이용한 충전 인프라에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 전기 자동차의 안정적인 충전 및 부하 관리를 위하여 그리드 네트워크와의 통신은 가장 중요한 요소이다. 그러나 기존의 중앙 집중형 인프라 구조의 경우 제어 메시지 요청이 증가할 경우 느린 응답속도로 인하여 충전 인프라가 효율적으로 작동하지 못하는 문제점들이 존재한다. 본 논문에서는 분산형 클라우드 컴퓨팅 기술을 무선 기지국에 적용하여 충전 인프라에 혼잡을 줄이고 지연시간을 줄이기 위해 MEC (Mobile Edge Computing)를 활용한 새로운 전기자동차 충전 인프라 구조를 제안한다. 성능 평가를 통해 본 논문에서 제안한 저 지연 시간을 가지는 충전 인프라가 기존에 존재하는 충전 인프라보다 효율적으로 전력 피크 상황에 대처함을 확인하였다.

Abstract Due to the depletion of fossil fuels and the increase in environmental pollution, electric vehicles are attracting attention as next-generation transportation and are becoming popular all over the world. As the interest in electric vehicles and the penetration rate increase, studies on the charging infrastructure with vehicle-to-grid (V2G) technology and information technology are actively under way. In particular, communication with the grid network is the most important factor for stable charging and load management of electric vehicles. However, with the existing centralized infrastructure, there are problems when control-message requests increase and the charging infrastructure cannot efficiently operate due to slow response speed. In this paper, we propose a new charging infrastructure using mobile edge computing (MEC) that mitigates congestion and provides low latency by applying distributed cloud computing technology to wireless base stations. Through a performance evaluation, we confirm that the proposed charging infrastructure (with low latency) can cope with peak conditions more efficiently than the existing charging infrastructure.

Keywords : Charging Infrastructure, Electric Vehicle, Electric Vehicle Supply Equipment, Fog Computing, Mobile Edge Computing

1. 서론

자동차가 발생시키는 환경 및 자원 고갈 문제 등을 해

결하기 위해 전기를 이용하여 주행하는 전기자동차에 대한 관심이 증대되고 있으며 보급률 또한 증대되고 있는 추세이다 [1-2]. 전기자동차 인프라를 효율적으로 운영

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(no. 2016A0010028)

*Corresponding Author : Jihoon Lee(Sangmyung Univ.)

Tel: +82-41-550-5411 email: vincent@smu.ac.kr

Received September 18, 2017

Revised October 11, 2017

Accepted October 13, 2017

Published October 31, 2017

및 보급하기 위해서는 전력을 사용하는 기존 인프라 구조에 영향을 미치지 않는 효율적인 충전 인프라 구조가 핵심 구성요소이다. 또한 전기자동차의 보급률이 지속적으로 증가함에 따라 전기자동차의 안정적인 충전 및 충전 인프라에 부하를 주지 않고 효율적으로 유지될 수 있는 방안이 필요하게 되었다. 이를 위해 V2G와 IT 기술이 접목된 안정적인 효율적인 충전 인프라에 관한 연구가 활발히 진행 중이다 [3-5].

즉, 전체적인 인프라를 고속의 네트워크와 다양한 IT 기술의 활용하여 효율적으로 관리하므로 전력 수급에 신뢰성과 안정성을 향상시킨다. 다양한 IT 및 V2G 기술의 활용을 통해 충전 인프라의 부하가 피크인 경우 전기자동차 배터리에 저장된 전기를 충전 인프라에 공급하여 전체적인 충전 인프라의 부담을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 비상 상황에서는 소규모 지역의 전기를 공급하는 발전소 역할을 수행할 수 있다. 전기자동차 충전 인프라 구조에서 이러한 역할을 수행하기 위해 전기자동차와 충전 인프라는 네트워크를 이용하여 충전 상태, 과금 정보 및 차량의 가용 상태 등의 메시지 상호교환 동작을 수행한다 [6].

하지만 기존의 충전 인프라는 중앙 집중식 구조를 택하고 있기 때문에 충전을 요청하는 전기 자동차의 수가 많아질 경우 상호교환 메시지의 수가 급격히 증가하는 문제점이 발생한다. 이로 인하여 충전 인프라 코어 망의 네트워크 속도 저하가 발생되어 충전 인프라를 효율적으로 운영하지 못하는 문제점이 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 제안하는 인프라 구조는 Mobile Edge Computing (MEC) 환경을 활용하여 코어 망의 혼잡 완화 및 저 지연시간을 보장한다 [7]. MEC는 전기 자동차의 가까이 위치한 통신망 및 AP에 클라우드 컴퓨팅 기술을 적용하여 충전 인프라 코어 망의 혼잡을 완화하고 저 지연시간을 보장하여주는 기술이다.

본 논문에서는 MEC 환경에서의 코어 망의 혼잡을 완화하고 저 지연시간을 보장해주는 효율적인 충전 인프라 구조를 제시한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문에서 기본 이론이 되는 MEC을 정의한 다음, 3장에서 제안하는 MEC 환경을 활용한 충전 인프라 구조를 설명한다. 4장에서는 제안한 충전 인프라의 성능 및 효율성을 평가하기 위해 다양한 실험을 수행하며 5장에서 결론을 맺는다.

2. 본론

MEC는 IT 기술과 클라우드 컴퓨팅 능력을 사용자의 근접한 위치에 존재하는 액세스 포인트에 위치시켜 근접성 및 저 지연 서비스 등을 제공하는 개념으로 유럽전기통신표준화기구 (European Telecommunication Standards Institute)에 의해 제안되었으며 과거에는 Edge Computing, Fog Computing 등의 이름으로 연구가 진행되어 왔다 [8, 9, 10].

즉, 사용자 단말기와 근접한 액세스 포인트 및 무선 기지국에 클라우드 컴퓨팅 및 IT 기술을 적용한 구조로 구성되어 있으며 개발자나 콘텐츠 제공자들에게 모바일 네트워크 에지에서 클라우드 컴퓨팅 능력과 IT 서비스 환경을 제공하여 메시지 교환 시 낮은 지연시간을 보장하고 코어 망의 혼잡을 완화해주는 기술이다.

이를 통하여 액세스 포인트 및 네트워크 사업자들이 Radio Access Network (RAN) Edge을 활용하여 새로운 서비스를 창출할 수 있도록 외부의 검증된 기관들에게 개방하여 모바일 가입자나 기업들에 혁신적인 서비스를 유연하고 신속하게 도입할 수 있게 하여 준다.

특히 사용자의 근접한 위치에서 요청을 처리하기 때문에 실시간 및 대용량의 대역폭을 필요로 하는 UHD와 VR 같은 멀티미디어 관련 응용 애플리케이션들에게 대용량의 대역폭 제공을 통해 실시간 콘텐츠 접근 및 사용 경험 향상을 가능하도록 하여준다.

3. 제안 방식

본 논문에서는 충전 인프라의 부하가 증가했을 경우 전기자동차의 안정적인 충전 보장 및 인프라 코어 망의 혼잡 완화를 위하여 MEC 환경을 이용한 효율적인 충전 인프라 구조를 제시한다.

본 논문에서 제안한 충전 인프라 구조는 전기자동차 충전기들이 연결되어있는 MEC서버 (MECS) 와 MEC 서버 간의 정보 교환 및 제어가 가능한 MEC 제어 센터로 구성되어있다.

3.1 기존 중앙 집중식 충전 인프라 구조

기존 전기 자동차 충전 방식은 네트워크를 활용하여 전기자동차 충전기와 전기 자동차 간의 다수의 메시지

교환 동작의 수행이 필요하다. 즉, 충전을 위해서 중앙 인프라에 결제정보, 가격정보, 전력 상태 등의 다수의 정보들의 전송이 필요하여 이로 인하여 네트워크 자원에 부하가 발생한다.

Fig. 1은 기존의 충전 인프라의 동작 구조를 보여준다. Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 기존의 충전 인프라는 상대적으로 먼 거리에 위치한 인프라 서버가 모든 처리를 하는 중앙 집중적인 구조를 택하고 있기 때문에 다수의 차량이 충전을 위해 인프라에 메시지 교환을 시도하면 코어 망에 부하가 발생하고 이로 인하여 메시지 교환시에 높은 지연시간을 가지게 되므로 효율적으로 충전 인프라를 운영하지 못하는 문제점이 발생한다 [11, 12].

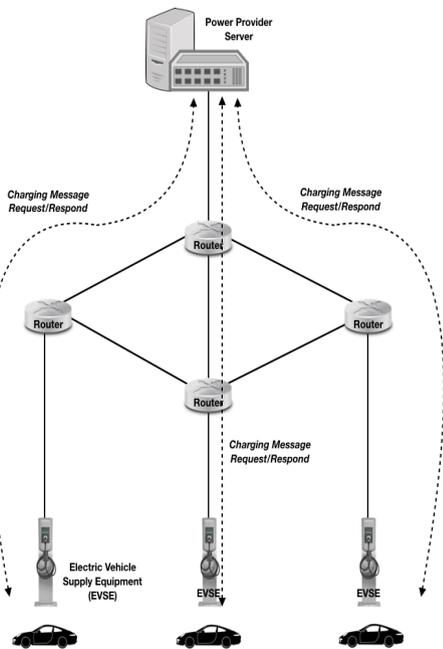


Fig. 1. The existing charging infrastructure

3.2 MEC환경을 적용한 충전 인프라 구조

충전에 필요한 메시지의 전송으로 인한 부하 및 네트워크 자원의 낭비를 줄이고 낮은 지연시간을 보장하는 효율적인 충전 인프라를 운영하기 위하여 제안한 구조는 전기 자동차에 상대적으로 가까운 위치인 에지 단에 존재하는 MEC서버가 충전 인프라와 통신하는 구조로 구성되어 있다. 제안하는 인프라 구조는 Fig. 2에서와 같이 전기 자동차 충전기들이 연결된 MEC서버와 MEC서버 간의 정보 교환 및 제어를 수행하는 MEC 제어 센터로

구성되어있다.

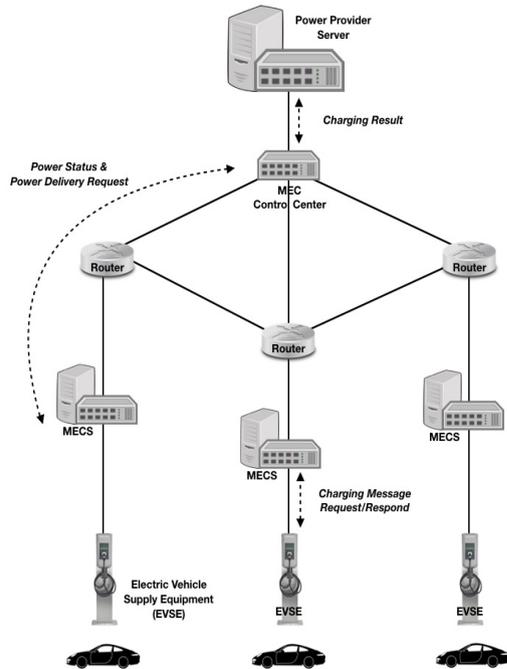


Fig. 2. The proposed charging infrastructure

즉, 전기자동차가 충전을 요구하는 경우 충전에 필요한 정보를 매번 중앙 전력 제공자 서버에 요청하는 방식이 아닌 전기자동차에 근접한 위치에 존재하는 MEC서버 간의 정보교환을 시도하는 구조로 되어있다. 먼저 다수의 전기 충전기가 연결된 MEC서버는 자신이 속해져 있는 MEC 제어센터에 연결하여 실시간 결제 정보 및 전력망의 가격 정보 등 충전에 필요한 다양한 정보의 교환을 통해 충전 요청에 대비한다.

전기 자동차가 충전기에 플러그를 연결하고 충전을 요청하면 전기자동차와 충전기 사이의 연결 수립 과정이 수행된다. 연결 수립 과정을 통해 전기자동차와 충전기가 연결이 되면 충전기가 전력 상태 등의 충전 메시지를 중앙 전력 제공자 서버에 요청하는 기존 방식은 충전 요청이 많아지면 긴 지연 시간과 네트워크 코어에 부하를 발생시키는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 제안하는 충전 인프라 구조는 충전기가 연결된 근접한 MEC서버에 처리를 위임한다. 즉, 전기자동차가 충전기에 충전 요청을 하는 경우 전기자동차와 충전기 사이의 연결 수립 과정이 발생하고 그 후 충전에 필요한 모든 정보를

충전기와 근접한 MEC서버 간의 정보교환을 통해 처리한 뒤 처리 결과만 전력 제공자에게 전달하는 방식으로 동작하기 때문에 저 지연의 서비스 제공이 가능하고 코어망의 부하를 줄여줄 수 있다.

또한 제안하는 인프라 구조는 전력망에 부하가 발생한 경우에도 효율적인 충전을 제공하기 위하여 전력 상태가 좋은 경우 전력을 MEC서버에 위치해 있는 배터리에 저장하여 사용하는 구조로 구성되어있다. 이를 위해 먼저 각각의 MEC서버는 자신의 에지 단의 연결된 충전기로부터 받은 전력 정보를 통해 지역 전력망의 부하를 인지한다.

지역의 전력 상태를 인지한 MEC서버는 지역의 부하 정보를 MEC 제어 센터로 전송한다. MEC 제어 센터는 모든 MEC서버들로부터 부하 정보를 전송받기 때문에 MEC서버 지역의 전력 상태가 좋지 않은 경우 다른 지역의 MEC서버로부터 전력을 보충 받으라는 메시지를 MEC서버에게 전송할 수 있다. 메시지를 수신한 MEC서버는 제어센터가 알려준 MEC서버로부터 전력공급을 받을 수 있어 전력 상태가 좋지 않더라도 전력을 공급받을 수 있어 효율적인 충전 인프라 운영을 가능하게 한다.

4. 성능 분석

본 논문에서 제안하는 인프라 구조의 효율성을 측정하기 위해 충전 요청 시 발생하는 메시지 오버헤드 및 전력망의 부하 상태에서의 충전 가능한 전기자동차 수를 가지고 성능 평가를 수행하였다.

성능 분석을 위해서 AC level 2를 이용하여 전기자동차를 충전하는 시뮬레이션을 수행하였으며 각 전기자동차의 배터리는 20%가 존재한다고 가정하였다. 또한 각 MEC서버에 존재하는 배터리는 20대의 전기자동차의 충전이 가능한 전력량을 가지고 있다고 가정하였다.

4.1 충전 과정 메시지 오버헤드

Fig. 3은 충전 과정 중 발생하는 메시지 오버헤드를 나타낸다. 기존 충전 인프라 구조는 상대적으로 먼 거리에 위치한 전력 제공자 서버에 매번 충전 관련 메시지 교환이 발생하므로 통과해야 할 노드의 수가 증가할수록 메시지 수가 급증하는 것을 확인할 수 있다. 반면, 제안하는 충전 인프라 구조는 근거리에 위치한 MEC서버에

충전 관련 메시지처리를 위임함으로써 전력 제공자 서버에 매번 메시지를 교환할 필요가 없어 메시지의 수가 감소하는 결과를 보여준다.

이를 통해 제안하는 충전 인프라 구조가 충전 관련 메시지 오버헤드를 줄여 코어 망의 혼잡을 완화하고 효율적인 충전 인프라 운영이 가능하다는 점을 보여준다.

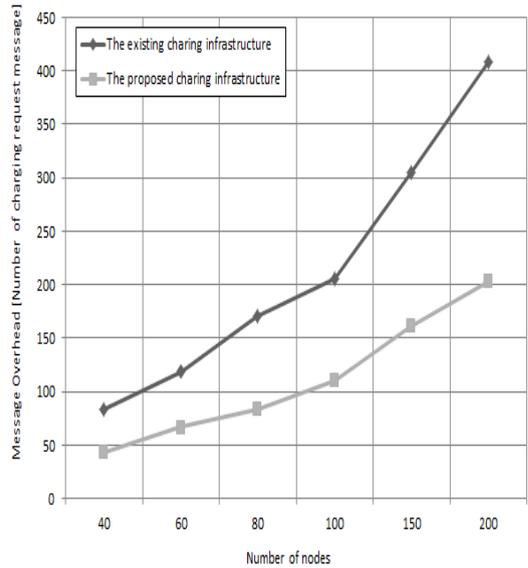


Fig. 3. Charging Message Overhead

3.2 전력 상황별 충전 가능 차량의 수

Fig. 4는 차량 배터리 상태에 따른 충전 가능한 차량의 수를 나타낸다. 기존 충전 인프라는 전력 제공자의 전력 상황에 따라 충전을 진행하므로 차량의 전력 상태가 나빠짐에 따라 더 많은 전력을 필요로 하므로 충전 가능한 차량의 수가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

반면, 제안하는 충전 인프라 구조는 MEC서버에 배터리를 내장하여 전력 제공자의 전력 상황이 좋은 경우 MEC서버에 존재하는 배터리를 충전하여 전력 피크 상황에 충전에 필요한 전력을 보조해주기 때문에 기존 충전 인프라 구조보다 더 많은 수의 차량 충전이 가능한 결과를 보여준다.

또한 배터리의 전력을 모두 사용하여 충전이 불가능한 경우에 MEC 제어센터가 근접한 위치에 있는 MEC서버로부터 전력을 전달하도록 제어할 수 있으므로 더 많은 수의 차량 충전이 가능한 결과를 나타낸다.

이를 통해 제안하는 구조가 배터리 및 지역 전력 공유

를 통하여 전력 상황이 나쁘거나 많은 충전량을 필요로 하는 차량이 급증하더라도 효율적으로 충전 인프라 운영이 가능하다는 점을 보여준다.

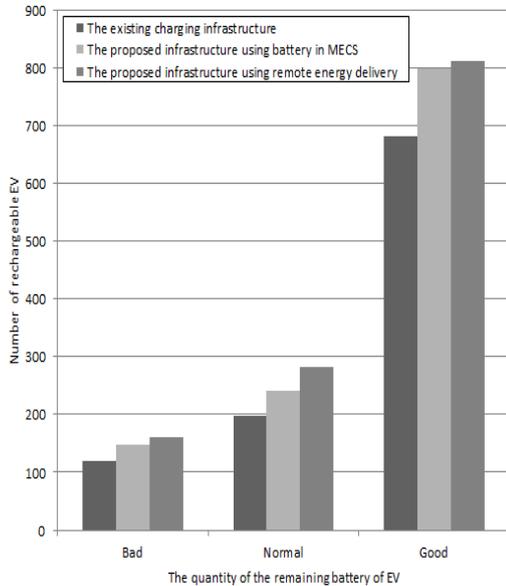


Fig. 4. The number of rechargeable EV

5. 결론

본 논문은 기존 중앙집중식 구조로 구성된 충전 인프라에서 벗어나 MEC환경을 적용한 충전 인프라를 제안하였다. 제안한 방식은 근접한 MEC서버와의 통신을 통해 코어 망의 혼잡을 줄여주고 빠른 응답을 보장받을 수 있어 효율적인 충전인프라 운영이 가능하다.

또한 전력 상황이 좋지 않을 경우 MEC서버에 위치한 배터리를 사용하여 지역의 부하를 관리할 수 있으며 MEC 제어센터를 통해 다른 지역의 전력을 공유할 수 있어 전력 상황이 좋지 못한 상황에서도 효율적으로 충전 인프라를 운영할 수 있는 점을 성능평가를 통해 확인하였다. 향후 정확한 성능평가를 위해 실제테스트베드 환경에서의 검증이 필요할 것으로 보인다.

References

[1] W. Kempton, S. E. Letendre, "Electric vehicles as a new power source for electric utilities", *Transportation*

Research Part D: Transport and Environment, vol. 2, no. 3, pp. 157-175, 1997.

DOI: [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00001-1](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00001-1)

- [2] E. Ali, Y. Lee, K. Rajashekara, "Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 6, pp. 2237-2245, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.922768>
- [3] J. Lee, J. Lee, J. Choi, K. Chang, C. Park, "Enhanced Power Delivery Architecture for Electric Vehicles", *Advanced Science and Technology Letters: Networking and Communication*, vol. 66, no. 6, pp. 20-23, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.14257/astl.2014.66.06>
- [4] C. Kristien, E. Haesen, J. Driesen, "The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 371-380, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2009.2036481>
- [5] J. Lee, J. Lee, Y. Choi, K. Chang, "Efficient Electric Vehicle Charging System for Enhanced Power Delivery", *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 9, no. 24, pp. 29883-29890, 2014.
- [6] K. Chau, Y. Wong, "Overview of power management in hybrid electric vehicles", *Energy conversion and management*, vol. 43, no. 15, pp. 1953-1968, 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00148-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00148-0)
- [7] M. Patel, B. Naughton, C. Chan, N. Sprecher, S. Abeta, A. Neal, "Mobile-edge computing introductory technical white paper," *Mobile-edge Computing (MEC) industry initiative*, 2015.
- [8] T. Taleb, S. Dutta, A. Ksentini, M. Iqbal, H. Flinck, "Mobile edge computing potential in making cities smarter," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 3, pp. 38-43, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600249CM>
- [9] A. V. Dastjerdi, R. Buyya, "Fog computing: Helping the Internet of Things realize its potential", *Computer*, vol. 49, no. 8, pp. 112-116, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MC.2016.245>
- [10] T. X. Tran, A. Hajisami, P. Pandey, D. Pompili, "Collaborative Mobile Edge Computing in 5G Networks: New Paradigms, Scenarios, and Challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 4, pp. 54-61, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600863>
- [11] A. A. Eajal, M. F. Shaaban, E. F. El-Saadany, K. Ponnambalam, "Fuzzy logic-based charging strategy for Electric Vehicles plugged into a smart grid," *International Journal of Process Systems Engineering*, vol. 4, pp. 119-137.
- [12] H. Zhang, Z. Hu, Z. Xu, Y. Song, "Evaluation of achievable vehicle-to-grid capacity using aggregate pev model," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 32, no. 1, pp. 784-794, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2016.2561296>

이 주 용(Juyong Lee)

[준회원]



- 2016년 2월 : 상명대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 전자정보시스템공학과 박사과정

<관심분야>

CCN, 미래인터넷, Mobile Edge Computing

이 지 훈(Jihoon Lee)

[정회원]



- 1998년 3월 ~ 2001년 8월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2001년 9월 ~ 2002년 3월 : 고려대학교 차세대인터넷 센터 Research fellow
- 2002년 4월 ~ 2012년 2월 : 삼성전자 종합기술원 전문 연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야>

미래인터넷, CCN, M2M, 네트워크 보안, Electric Vehicle