

차량 내부에서의 모노폴 안테나 방사패턴 연구

이태학¹, 표성민¹, 박상명², 김영식^{1*}

¹고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과, ²한국전자통신연구원

A Study on Monopole Antenna Radiation Pattern inside Vehicle

Tae-Hak Lee¹, Seongmin Pyo¹, Sang-Myeong Park² and Young-Sik Kim^{1*}

¹Department of Computer and Radio Communications Engineering, Korea University

²Electronics and Telecommunications Research Institute

요약 본 논문에서는 차량 내부에서 발생하는 안테나 방사패턴의 변화를 관찰하기 위해 모노폴 안테나를 사용하여 차량 내부에서 안테나의 방사패턴을 측정하였다. 다수의 반사파가 존재하는 좁은 공간에서는 안테나의 특성이 변해 무선 통신 환경에 영향을 끼칠 수 있다. 그러므로 실제 차량 내부에서 제공되는 무선 통신 서비스인 GPS 와 Wibro 동작 주파수 대역에서 안테나 방사패턴에 대한 모의실험과 측정실험을 수행하였다. 모의실험은 광선추적법을 기반으로 하였으며 측정실험은 각 동작 주파수 대역을 중심 주파수로 갖는 두 쌍의 모노폴 안테나를 제작하여 자유공간과 차량 내부에서 주파수에 따라 방사패턴을 측정하였다. 모의실험과 측정실험의 결과를 바탕으로 차량 내부와 자유공간에서의 안테나 방사패턴을 비교하였을 때 안테나의 전방향성 특성을 유지되며, 차량 내부에서 안테나의 수신전력이 자유공간에서의 결과보다 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 주파수가 증가할수록 자유공간과 차량 내부에서의 수신전력 차이가 증가하는 것을 확인하였다.

Abstract In this paper, the antenna radiation pattern inside the vehicle is presented for observing the change occurring in non-anechoic environment using monopole antenna. The environment for radio communication can be affected by antenna characteristic variation inside the small space existing multi reflection waves. To perform simulation and measurement about antenna radiation pattern, the radio frequency bands for GPS and Wibro services expected to use inside the vehicle is selected. The simulation is based on the ray-tracing method and the radiation pattern is measured inside the vehicle and in free space using monopole antenna having those frequency bands. In accordance with the measurement and simulation results, when two antennas are put inside the vehicle, the omni-directional characteristic of the antenna is maintained but the received power is increased than free space case and the difference between the each case of measurements is increased as the operating frequency is increased.

Key Words : Vehicle, Monopole antenna, Radiation pattern measurement, Ray-tracing

1. 서론

개개인에 의한 무선통신의 빈번한 사용은 곧 무선통신 사용자들이 밀집되어 있는 공간을 전파가 밀집되어 있는 공간과 동일하게 간주할 수 있게 한다[1]. 전파가 밀집된 공간은 사무실과 같은 고정형과 차량 혹은 선박과 같은

이동형으로 분류 될 수 있는데 이러한 전파가 밀집된 공간에서 전파환경의 보호를 위하여 무선통신 기기 간 전자파 간섭, 내성, 양립성의 평가 및 연구가 다양하게 이뤄지고 있는 실정이다[2,3]. 일반적으로 무선통신기기 내부 안테나의 방사패턴은 무반사 환경에서 측정되지만 본 논문에서는 반사환경인 전파가 밀집된 공간에 안테나가 존

본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음 (KI001913, U-사회 전파환경 보호를 위한 전자파양립성 연구)

*교신저자 : 김영식(yskim@korea.ac.kr)

접수일 10년 10월 05일

수정일 10년 10월 29일

게재확정일 10년 11월 19일

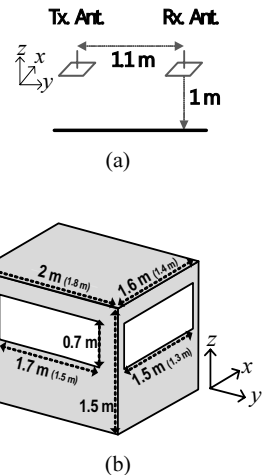
재할 때 원래 설계된 안테나의 방사패턴이 어떠한 변화의 경향성을 지니고 있는지 모의실험과 측정실험을 통해 비교 및 분석하였다. 현재 무선통신 시스템에 주로 사용되는 안테나는 소형화에 따라 방사패턴이 전방향성의 특성을 갖는 경우가 많이 발생하게 된다. 그러므로 차량 내부에서 전방향성 안테나 방사패턴의 변화에 대한 연구는 향후 전파가 밀집된 공간에서 실제 사용되는 기기 간 간섭 등과 같은 연구의 기초 단계가 될 수 있다. 모노폴 안테나는 전방향성 방사패턴을 갖는 안테나로서 제작이 용이하며 구조의 평면에 따라 방사패턴의 정의가 확실하게 있으므로 자유공간에서의 방사패턴과 차량 내부 반사환경에서의 방사패턴의 변화를 관찰하기 용이하다 [4,5]. 광선추적법을 기반으로 한 모의실험은 주로 넓은 지역에서 전계 분포의 예측과 실, 내외에서의 무선 통신 채널 분석에 사용된다[6,7]. 본 연구에서는 광선추적법을 기반으로 한 Remcom 사의 Wireless insite 모의실험 프로그램을 사용하여 차량을 금속 구조체로 모델링하였으며 모델링된 반사환경 내부에서와 자유공간에서의 모노폴 안테나 방사패턴을 비교하였다. 또한 제작된 모노폴 안테나를 사용하여 측정실험을 수행하였다. 본문에서는 측정 실험에서 사용한 모노폴 안테나의 설계와 제작, 모의실험 및 측정실험의 환경을 도식하며 각 실험의 결과를 비교 함으로서 차량 내부 반사환경에서 모노폴 안테나 방사패턴의 변화를 고찰하였다.

2. 차량 내부의 안테나 방사패턴 연구

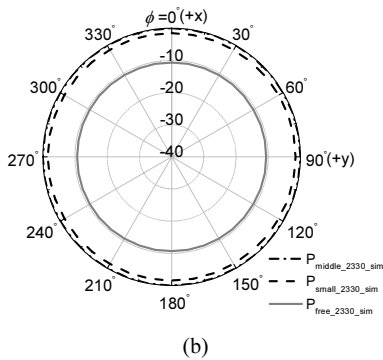
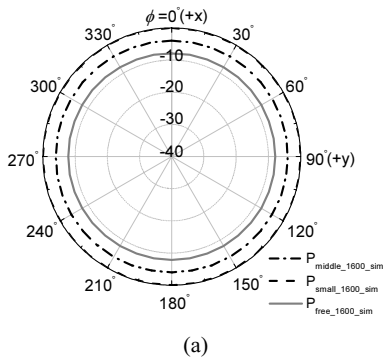
2.1 안테나 방사패턴 모의실험

그림 1에서는 자유공간에서 안테나의 방사패턴과 차량 내부에서의 안테나 방사패턴의 비교를 위한 모의실험 환경을 도식하였다. 자유공간은 전자파 발생원으로 동작하는 안테나와 수신 안테나로 이루어진 한 쌍의 안테나만 존재하는 이상적인 공간으로 모델링 되었으며 차량 내부 전파가 밀집된 공간은 금속 도체와 유리창으로 이루어진 직육면체로 간주하였으며 그 크기는 무선통신 사용자들이 밀집 될 수 있는 차량의 승차 공간 크기와 동일하도록 하였다. 측정실험이 크기가 다른 두 종류의 차량에 대하여 수행되었으므로 모의실험도 크기가 다른 두 종류의 육면체를 사용하여 수행하였으며 또한 옆면에 유리창을 존재하도록 해 실제 반사환경과 유사하도록 하였다. 안테나 간 거리는 측정에 사용된 소형 차량의 승차공간에서 얻을 수 있는 최대 거리와 같도록 하였으며 자유공간의 경우와 크기가 다른 차량에서 이루어지는 실험의

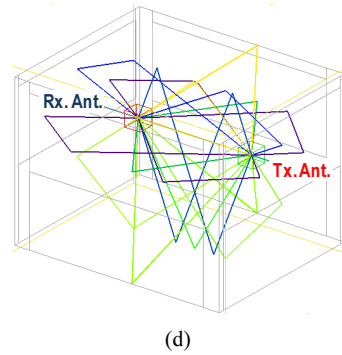
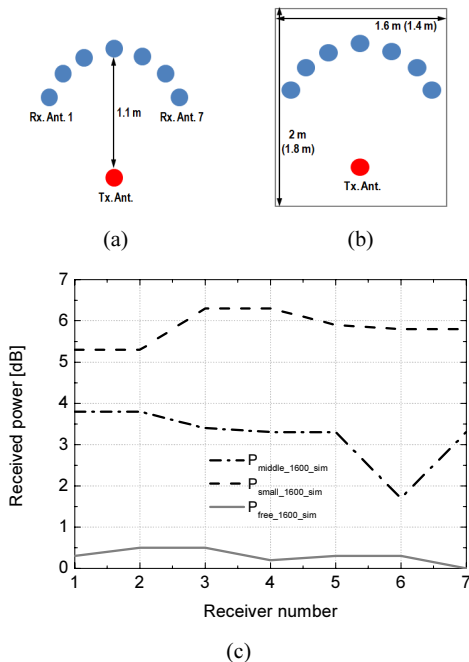
경우에도 안테나 간 거리를 유지하여 각각의 실험 결과를 상호 비교 할 수 있도록 하였다. 안테나의 높이는 차량의 탑승자가 무선 통신 서비스 단말을 사용할 때의 어깨 높이와 비슷하도록 설정하였다. 앞서 언급한 바와 같이 본 연구는 안테나의 전방향성 방사패턴 변화 관찰에 그 목적을 지니므로 모노폴 안테나의 xy 평면에 대해서만 측정을 수행한다. 그림 2에서는 주파수에 따른 전방향성 안테나 방사패턴의 모의실험 결과를 나타낸다. 크기가 다른 육면체는 각각 측정에 사용되는 소형 혹은 중형 차량을 나타내는데 육면체의 크기와 무관하게 차량 내부에서의 방사패턴은 자유공간에서의 안테나 방사 패턴과 비교하였을 때 전방향성 특성은 유지되며 수신되는 전력량은 증가하는 것을 관찰 할 수 있다. 그림 3의 수신전력에 대한 모의실험 결과에서 볼 수 있듯이 자유공간에서 동일한 수준의 수신전력을 갖도록 수신 안테나를 배열한 후 차량 내부에서의 수신전력과 비교한 결과 자유공간의 경우보다 그 수준이 차량의 종류에 따라 3~6 dB 증가함을 알 수 있다. 수신전력이 증가하는 이유는 안테나만 존재하는 이상적인 자유공간과 달리 금속으로 이루어진 반사환경에서 발생하는 반사파에 의한 영향이다. 그림 3에서 차량 내부에 존재하는 반사파를 모의실험 프로그램을 이용하여 도식하였다. 금속으로 이루어진 차량 내부에 존재하는 반사파로 인하여 차량 내부에서의 수신전력은 자유공간에서의 경우와 비교하였을 때 그 예측이 상당히 어렵다. 그러므로 차량 내부에서 사용가능한 서비스 주파수 대역의 모노폴 안테나를 제작하여 실제 차량내부에서 안테나의 방사패턴을 측정하였다.



[그림 1] 모의실험 환경
(a) 자유공간 (b) 차량 내부



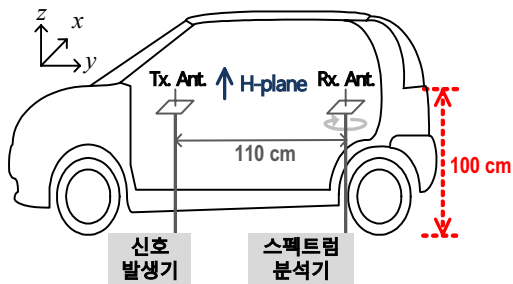
[그림 2] 자유공간과 차량 내부에서의 안테나 방사패턴 모의실험 결과
(--- 중형 차량 내부, -- 소형 차량 내부, — 자유공간); (a) 1600 MHz (b) 2330 MHz



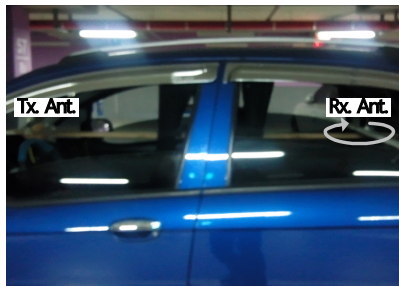
[그림 3] 자유공간과 차량 내부에서의 수신전력의 차이 모의실험 결과
(a) 자유 공간 (b) 차량 내부 (c) 수신전력 (d) 반사파 경로

2.2 안테나 방사패턴 측정실험

모의실험의 결과를 바탕으로 차량 내부에서 안테나의 전방향성 방사패턴에 대한 측정실험을 수행하기 위해 차량 내부의 안테나 및 측정 장비를 그림 4와 같이 배치하였다. 각 안테나와 측정 장비는 동축선으로 연결되어 있으며 동축선은 측정실험이 수행되는 각 주파수 대역에서 1 dB 이내의 손실을 갖는다. 또한 무반향실에서 수행되는 보통의 안테나 방사패턴 측정실험의 경우와는 달리 차량 내부 전파가 밀집된 공간에서 측정이 이루어지는 경우 동축선의 흔들림에 따라 안테나의 수신전력이 변할 수 있다. 그러므로 수신전력이 안정화 된 이후에 결과를 기록하였으며, xy 평면에서 36개의 측정 지점, 즉 10°간격으로 수신전력을 기록하였다. 측정실험을 수행하기 위해 그림 5와 같은 모노폴 안테나를 각 GPS (1600 MHz) 대역과 Wibro (2330 ~ 2390 MHz) 대역을 갖도록 설계 및 제작하였다. 각 모노폴 안테나를 1 mm의 두께를 갖는 FR-4 기판을 사용하였으며 각 안테나 동작 주파수의 대략 $\lambda/2$ 길이에 해당하는 접지면과 접지면 중심에 $\lambda/4$ 길이에 해당하는 모노폴을 위치시켜 원하는 주파수 대역에서 전자파 발생원 혹은 수신 안테나로 동작하도록 하였다. 차량 내부에서 모노폴 안테나의 방사패턴을 측정하기에 앞서 제작된 모노폴 안테나가 차량 내부에서 설계된 주파수 대역의 전자파 발생원으로서 정상적인 동작 여부의 확인을 위해 차량 내부에서 안테나의 반사손실을 측정하여 자유공간에서 측정한 결과와 비교하였다. 그림 6의 측정결과에서 볼 수 있듯이 제작된 안테나의 중심 주파수는 차량 내부에서 사용가능한 서비스의 주파수 대역에 해당하는 전자파 발생원 혹은 수신 안테나로서 동작할 수 있음을 알 수 있다. 그림 7에서는 실제 측정실험 환경의 사진을 보여주고 있다.

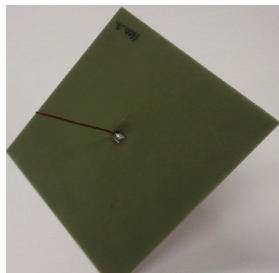


[그림 4] 차량 내부의 측정 실험 배치

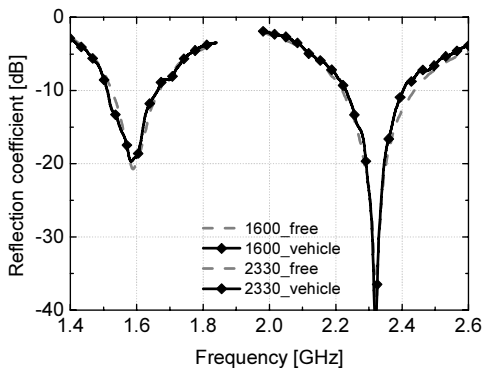


(b)

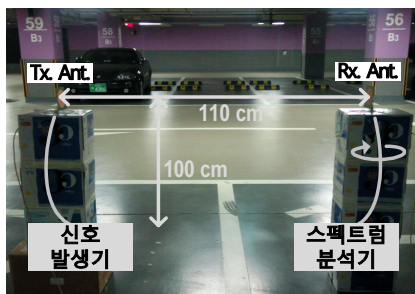
[그림 7] 자유공간과 차량 내부에서의 측정 실험 환경
(a) 자유공간 (b) 차량 내부



[그림 5] 제작된 1600 MHz 대역 측정용 모노폴 안테나

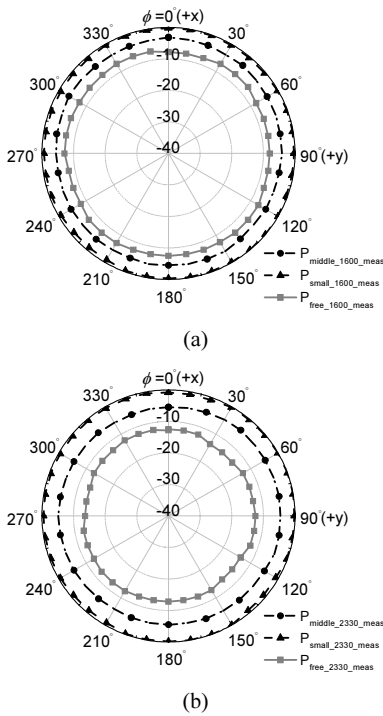


[그림 6] 안테나 반사계수 측정 실험 결과

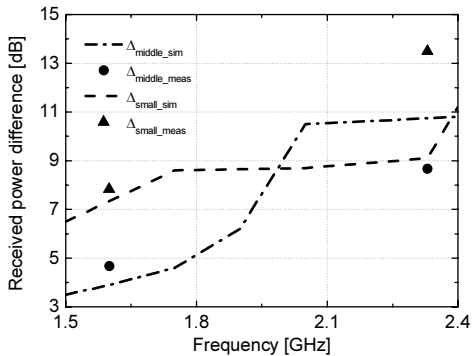


(a)

측정실험은 대기 중에 존재하는 상용 주파수로 인한 영향을 최소화하기 위해 지하 3층 주차장 공간에서 수행되었다. 측정 실험에서 안테나의 배치는 모의실험과 동일하며 측정실험의 재현성을 위해 마른 나무로 안테나 거치대를 제작하여 차량 내부에서 측정실험을 수행할 때 사용하였다. 또한 사진에서 볼 수 있듯이 측정 실험이 수행되는 동안 차량의 유리창은 좌우가 동일하게 열려있었으나 유리창의 개폐 여부에 따른 영향은 미비하다고 간주할 수 있다[8]. 그림 8에서는 주파수에 따른 자유공간과 차량내부에서의 전방향성 안테나 방사패턴의 측정실험 결과를 나타내었다. 모의실험의 결과에서 볼 수 있듯이 차량내부에서 안테나의 수신전력은 차량의 종류와 관계없이 자유공간에서의 경우보다 증가한 것을 관찰할 수 있다. 또한 모의실험과 동일하게 방사패턴의 전방향성 특징은 각 환경에서 동일하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 자유공간과 차량 내부에서의 수신전력의 차이에 대한 측정 실험 결과와 모의실험의 결과를 비교하였을 때 주파수의 증가에 따른 경향성은 동일하지만 수준의 차이는 존재하는데 그 이유는 모의실험에서 모델링한 차량 내부 승차 공간은 실제 차량 내부의 내장재로 인한 반사효과까지 정확하게 예측하기 어렵기 때문이다. 그림 9에서 자유공간과 차량 내부에서의 수신전력 차이에 대한 모의실험과 측정실험의 결과를 주파수에 대하여 나타내었다. 위의 모의실험과 측정실험의 결과를 통해 급속으로 이루어진 차량과 같은 전파가 밀집된 공간에서 안테나의 전방향성 특성은 유지되지만 수신전력은 반사환경에서 자유공간에 비해 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 광선추적법을 사용한 모의실험을 통해 주파수의 증가에 따른 수신전력 변화의 경향성 또한 확인할 수 있다.



[그림 8] 자유공간과 차량 내부에서의 안테나 방사패턴 측정실험 결과 (● 중형 차량 내부, ▲ 소형 차량 내부, ■ 자유공간) (a) 1600 MHz (b) 2330 MHz



[그림 9] 수신전력 차이 모의실험 및 측정실험 결과

3. 결론

본 논문에서는 차량 내부에서 사용가능한 GPS 와 Wibro 서비스의 동작 주파수 대역을 중심 주파수로 갖는 모노폴 안테나를 제작하여 자유공간과 차량 내부에서 방사패턴을 측정 및 비교, 분석하였다. 또한 광선추적법을 기반으로 한 모의실험의 결과를 기반으로 측정실험의 결

과를 예측하였다. 안테나 방사패턴에 대한 모의실험과 측정실험의 결과 모두 동일하게 차량 내부에서 안테나의 전방향성 특성은 유지되지만 수신전력이 자유공간에서의 결과보다 증가하였으며, 안테나의 동작 주파수가 증가함에 따라 자유공간과 차량 내부에서의 결과 차이 또한 증가하는 것을 확인하였다. 본 연구는 향후 차량 내부 반사환경에서 안테나 특성의 변화가 무선 통신 환경에 끼칠 수 있는 영향에 대한 연구에 도움이 될 것이라 판단된다.

참고문헌

- [1] 박상명, 김영호, 윤재훈, “전파밀집공간에 대한 전기장 분포 분석 연구”, 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문 초록집 제 39권, 제 1호, pp. 841, 6월, 2009.
- [2] 최형도, 이애경, “전자파 환경 기술”, 한국전자통신연구원 전자통신동향분석 제 21권, 제 4호, pp. 80-87, 8월, 2006.
- [3] 권중화, 윤재훈, 김창주, “전자파 적합성 (EMC) 대책 및 측정 기술 동향”, 한국전자파학회 전자파 기술 제 20권, 제 1호, pp. 124-133, 1월, 2009.
- [4] C. A. Balanis, "Antenna Theory, Analysis and Design", 3rd. ed., John Wiley & Sons, New York, 2005.
- [5] 심재륜, “L형 슬릿에 의한 십자형 평판 모노폴 안테나의 이중 공진 특성”, 한국산학기술학회논문지 제 8권, 제 3호, pp. 508-512, 6월, 2007.
- [6] F. Auado, F. P. Fontan, and A. Formella, "Indoor and outdoor channel simulator based on ray tracing", Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conf., vol. 3, pp. 2065-2069, May, 1997.
- [7] H. Li, C. Chen, T. Liu, and H. Lin, "Applicability of ray-tracing technique for the prediction of outdoor channel characteristics", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 49, no. 6, pp. 2336-2349, Nov. 2000.
- [8] A. R. Ruddle, "Measured impact of vehicle seat and glazing on the coupling of electromagnetic fields into vehicles and their wiring harnesses", Proceedings of International Zurich EMC Symposium, pp. 487-492, Feb. 2009.

이 태 학(Tae-Hak Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 건국대학교 전자공학 (공학사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 석·박사통합과정

<관심분야>

Microwave filter, Antennas, EMI/EMC

김 영 식(Young-Sik Kim)

[정회원]



- 1978년 3월 ~ 1982년 1월 : 홍익공업대학 전자과 조교수
- 1988년 5월 : Univ. of Massachusetts at Amherst (공학박사)
- 1988년 5월 ~ 1989년 2월 : Univ. of Massachusetts at Amherst, Post-Doc.
- 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 무선기술연구실 실장
- 1993년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 교수

<관심분야>

RF front-end system, Antennas

표 성 민(Seongmin Pyo)

[정회원]



- 2002년 2월 : 고려대학교 전기전자전파 공학부 (공학사)
- 2004년 2월 : 고려대학교 전파공학 (공학석사)
- 2004년 1월 ~ 2007년 3월 : (주) 팬택&큐리텔 내수그룹 중앙연구소 전임연구원
- 2007년 3월 ~ 2008년 8월 : 고려대 정보통신기술연구소 연구원
- 2008년 9월 ~ 현재 : 고려대 컴퓨터·전파통신공학과 박사과정

<관심분야>

Metamaterial-based RF circuit, device and system

박 상 명(Sang-Myeong Park)

[정회원]



- 2005년 2월 : 충북대학교 전기전자컴퓨터 공학부 (공학사)
- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신 공학과 (공학석사)
- 2008년 7월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 연구원

<관심분야>

EMI/EMC, SAR