

논문 2017-54-3-2

전자파 잔향실용 0.65~7 GHz 광대역 역원뿔 안테나 설계

(0.65~7 GHz Inverse Conical Antenna for Reverberation Chamber)

정진영*, 정재영**

(Jin-Young Jeong and Jae-Young Chung[©])

요약

빠른 측정시간과 간단한 조작 기능의 장점 때문에 전자파 잔향실이 무선기기 성능 측정에 널리 쓰이고 있다. 본 논문에서는 전자파 잔향실 송수신용 및 보정용으로 쓰일 수 있는 10:1 광대역 역원뿔형(inverse conical) 안테나를 제안한다. 기존 전자파 잔향실에서 주로 사용하는 디스크 안테나는 대역폭 제한으로 인해 복수의 디스크 안테나를 대역 별로 교체해 가며 측정해야 하는 번거로움이 있다. 제안된 안테나는 빗변에 따라 임피던스가 선형적으로 변하는 역원뿔 구조를 방사체로, 전자파 잔향실의 금속 벽면 구조를 접지면으로 활용해 광대역 임피던스 매칭 및 전방향성 방사 특성을 갖는다. 3차원 전파 시뮬레이션 소프트웨어로 최적화된 안테나 모델을 3차원 프린터를 이용해 제작하여 측정된 결과, 목표 동작주파수 대역인 0.65~7 GHz에서 반사 계수가 -10dB 이하, 방사효율이 70% 이상임을 확인할 수 있었다.

Abstract

A reverberation chamber is widely used in mobile handset measurements due to its faster and simpler measurement process compared to traditional anechoic chambers. We propose an ultra-wideband inverse conical antenna design suitable as a reference antenna in a reverberation chamber. Traditionally, multiple disc antennas are needed to cover more than 10:1 operation bandwidth of a reverberation chamber. The proposed inverse conical antenna offers wideband impedance matching bandwidth by virtue of the linear impedance transition along its oblique side. The antenna is feasible to mount on the conductive walls which can be utilized as a ground to improve the matching bandwidth, antenna gain and radiation patterns. The antenna geometry is optimized using a 3D electromagnetic simulation tool and fabricated using a 3D printer. The measured results show that the antenna reflection coefficient lower than -10dB and radiation efficiency more than 70% at the frequency range of 0.65~7 GHz.

Keywords: Ultra-wideband antenna, Reverberation Chamber, Inverse Conical, Omni-Directional Antenna

I. 서론

* 학생회원, 서울과학기술대학교 전기정보공학과
(Department of Electrical and Information Engineering,
Seoul National University of Science and Technology)

** 정회원, 서울과학기술대학교 전기정보공학과
(Department of Electrical and Information Engineering,
Seoul National University of Science and Technology)

[©] Corresponding Author (E-mail: jychung@seoultech.ac.kr)

※ 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로
정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. B0194-15-1001, 전자파잔향실 기반 실환경 전파
측정 및 평가 기술 연구)

Received : December 1, 2016 Revised : February 13, 2017

Accepted : February 17, 2017

전자파 잔향실은 1968년 H. A. Mendes에 의해 처음 제안 되었다^[1]. 금속 벽면으로 둘러싸인 cavity 내에서 교반기(stirrer)를 이용해 다양한 전자파 모드를 발생시키는 장치로, 과거에는 주로 전파적합성 측정 용도로 사용되어 왔다. 2000년대 들어 스웨덴의 P.-S. Kildal이 무선기기 성능 측정용으로 개량한 이래 무선 단말기 및 안테나 성능 시험에 널리 사용하고 있다^[2]. 현재 상용화된 무선기기 측정용 전자파 잔향실은 주로 0.65~6GHz 대역에서 Rayleigh 페이딩 채널을 발생시킬 수 있는 구조와 교반기를 갖추고 있다.

전자파 잔향실을 이용하여 무선기기를 측정함에 앞서 이미 방사효율을 알고 있는 기준 안테나를 이용해 잔향실을 보정해야 한다. 현재 보정용 기준 안테나로 가장 보편적으로 사용되는 형태는 디스콘(disccone) 안테나이다^[3-5]. 하지만 동작 대역폭 제한으로 인해, 0.65~6GHz 대역 전체를 보정하기 위해서는 각각 0.65GHz~3.5GHz와 2GHz~6GHz의 대역폭을 가진 서로 다른 두 개의 디스콘 안테나를 이용하고 있다^[6].

본 논문에서는 단일 안테나로 상용 전자파 잔향실 보정을 가능케 하는 0.65~7GHz 광대역 안테나 설계를 제안한다. 제안한 안테나는 전자파 잔향실의 금속 벽면을 접지면으로 활용할 수 있는 역원뿔(inverse conical) 안테나이다.

그림 1은 디스콘 안테나와 제안된 안테나의 사진이다. 디스콘 안테나의 경우 상단의 디스크와 아래의 원뿔형 안테나가 결합된 형태를 하고 있으며 제안된 안테나는 역원뿔 형태로 디스크가 없이 접지면을 가지고 있다.

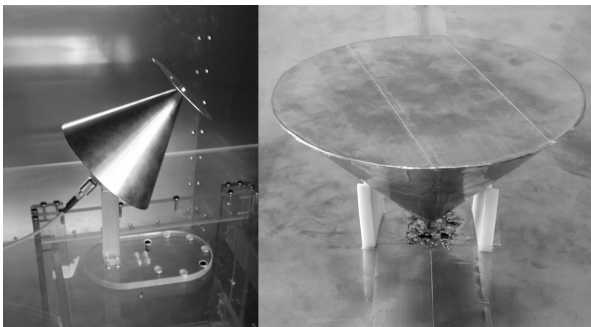


그림 1. 디스콘 안테나와 제안된 역원뿔 안테나의 모습
Fig. 1. Photograph of disccone antenna and proposed inverse conical antenna.

표 1은 ^[6]에서 보이고 있는 디스콘 안테나와 제안된 역원뿔 안테나의 작동 주파수 대역을 비교한 도표이다.

표 1. 디스콘 안테나와 제안된 역원뿔 안테나의 작동 주파수 대역 비교

Table1. Comparison between operating frequency bandwidth of disccone antenna and proposed inverse conical antenna.

Disccone antenna	Proposed inverse conical antenna
<ul style="list-style-type: none"> • 0.65 GHz~3.5GHz • 2.0 GHz~6.0GHz 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.65~7GHz

본 연구에서는 3차원 전파 시뮬레이션 소프트웨어를 이용해 안테나 구조를 최적화하였으며, 3차원 프린터를

이용해 제작된 시작품의 상용 전자파 잔향실 내 측정을 통해 성능을 검증하였다.

II. 안테나 설계

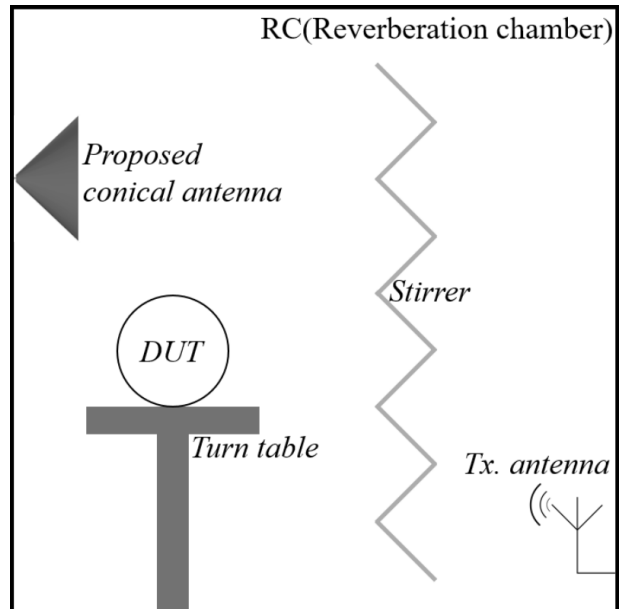
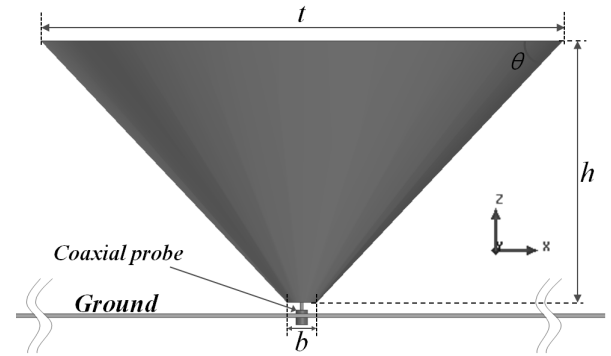


그림 2. 안테나 기본 구조와 잔향실 내에서의 구성도
Fig. 2. Antenna geometry and configuration in a reverberation chamber.

그림 2는 제안한 역원뿔 안테나 구조와 이의 전자파 잔향실 내에 설치된 예를 보여준다. 잔향실은 금속 캐비티 내에 송신 안테나로부터 발생한 전파의 모드를 다양화해주는 교반기(stirrer)가 존재한다. 이와 더불어, 턴테이블을 이용해 피측정기기(Device Under Test, DUT)를 회전시켜줌으로써 전파 수신 도래각을 계속 바꾸어 준다. 제안한 역원뿔 안테나는 잔향실의 금속벽면에 편리하게 설치될 수 있으며 이를 접지면으로 활용할 수 있는 장점이 있다. 전자파 잔향실용 보정 안테나의 요구 사항은 1) 잔향실의 광대역 동작주파수 대역에서 안테나 매칭 특성이 우수해야 한다는 것과 2) 다양한 방

향에서 입사하는 전파의 수신에 용이하도록 안테나 방사패턴이 전방향성을 가져야 한다는 것이다. 그림 1과 같은 역원뿔형 안테나는 끝단으로 갈수록 좁아지는 테이퍼드 구조에 따라 임피던스가 점진적으로 변화하여 광대역 매칭 특성을 보인다. 또, 잔향실의 넓은 급속 벽면을 접지면으로 활용하여 안테나 이득 향상을 피하고 모노폴 형태의 전방향성 방사패턴을 확보할 수 있는 장점이 있다.

필드에 대한 고유함수 분석 기법(eigenfunction analysis)에 따르면 역원뿔의 종단 각도가 큰 경우($\theta > 30^\circ$) 접지면과 역원뿔 사이의 공간에 유사 TEM파가 전파한다고 가정할 수 있으며, 이 때 역원뿔형 안테나의 입력 임피던스를 다음과 같이 근사화 할 수 있다^[7].

$$Z = 60 \ln \cot \frac{\theta}{2} [\Omega] \quad (1)$$

θ 는 그림 1에 보이는 것과 같이 역원뿔의 윗면과 빗변이 이루는 각도로, 수식 (1)에 따라 $\theta=47^\circ$ 일 때 입력 임피던스가 급전 케이블의 50Ω 에 부합한다. 이 각도와 최저 목표주파수 대역의 파장을 고려하여 역원뿔의 빗변, 높이(h) 윗면 지름(t)을 각각 100mm, 70mm, 140mm로 설정하고 전파시뮬레이션 틀을 기반으로 최적화 하여 광대역 임피던스 매칭을 꾀하였다.

보다 최적화된 안테나 구조값을 도출하기 3차원 전파 시뮬레이션 소프트웨어를 이용해 역원뿔 안테나를 모델링하였으며 안테나 매칭 특성이 구조 변수의 변화에 따라 어떠한 영향을 받는지 광대역 주파수 대역에서 관찰하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 안테나 매칭 특성에 가장 많은 영향을 주는 부분은 동축 프로브와 안테나가 접합을 이루는 급전부임을 확인할 수 있었다.

그림 3에 도시된 그래프에 따르면 급전부 지름 b 가 5mm에서 8mm로 늘어남에 따라 반사계수(S_{11})가 전체적으로 낮아져 매칭 특성이 향상된다. 하지만 8mm에서 14mm로 더 넓게 증가하게 되면 1GHz 이하의 저주파 매칭 성능은 향상되지만 다른 주파수의 매칭 성능이 상당히 저하된다. 이는 급전부 지름이 늘어남에 따라 접지면 사이의 캐패시턴스가 늘어남에 따른 프로브 인덕턴스의 상충 때문으로, 관심 주파수 대역에서 $S_{11} \leq -10\text{dB}$ 매칭 특성을 확보하기 위해 $b = 8\text{mm}$ 가 적절함을 확인할 수 있었다.

그림 4은 시뮬레이션 소프트웨어를 이용해 매칭이 최적화된 안테나의 방사패턴을 계산한 그래프이다. 전자파 잔향실의 경우 방사패턴 측정이 불가하여 시물레

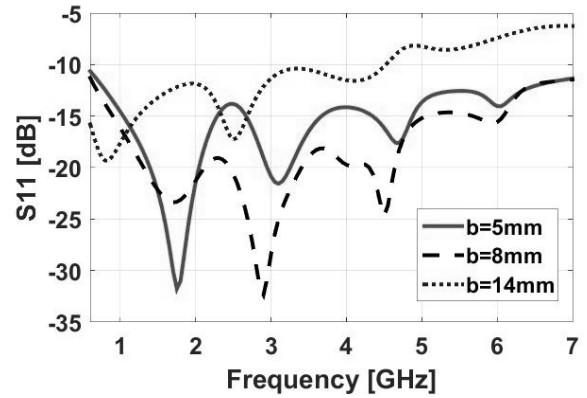


그림 3. 안테나 급전부 지름 b 의 변화에 따른 S_{11} 변화
Fig. 3. Parametric studies on S_{11} by varying the diameter of feeding.

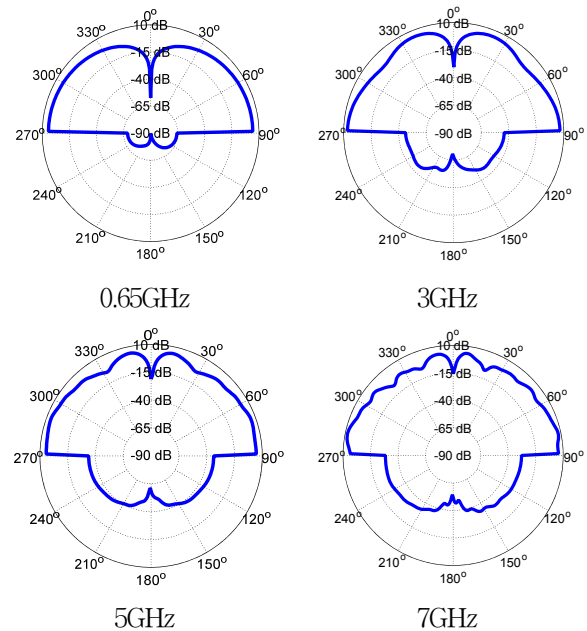


그림 4. 안테나의 방사 패턴
Fig. 4. Radiation patterns of the antenna.

이션 계산 값만 도시 하였다. 이들은 xz -평면에 대한 방사패턴으로 대칭적 역원뿔 구조에 의해 yz -평면의 방사패턴도 동일한 결과를 보인다(그림 1의 좌표축 참고). 0.65, 3, 5, 7GHz에서의 방사패턴이 모두 대형 접지면 위에 존재하는 모노폴 안테나와 같은 전방향성을 보임을 확인할 수 있다. 실제 안테나가 잔향실의 한쪽 급속벽면(1800×1600mm)을 접지면으로 사용하므로, 시뮬레이션에서는 무한 접지면을 설정하여 방사패턴을 계산하였다. 이에 따라 90°와 270°를 기준으로 후방방사 성분이 0이 되는 불규칙한 방사패턴을 보인다. 안테나 이득은 4.6dBi~9dBi로 주파수가 높아질수록 증가하는 경향을 보이는 반면 고주파일수록 후방방사가 증가하는

경향이 있는데 이는 주파수가 올라감에 따라 과장이 짧아져 동축케이블 급전부의 방사성분이 커지기 때문으로 해석된다.

III. 안테나 제작

전파 시뮬레이션을 통해 성능이 확보된 역원뿔 안테나 모델의 실제 성능을 확인하기 위해 시작품을 제작하였다.

그림 5에서는 안테나의 전체적인 제작과정을 보여주고 있다. 전파 시뮬레이션 툴의 3차원 캐드 모델을 .stl 형식의 파일로 추출하고 이를 다시 .cube 형식의 파일로 변환해 3차원 프린터에 업로드 시키는 방식으로 모형을 사출하였다. 이를 통해 값비싼 금형제작 과정없이 최적화된 역원뿔 안테나 모형을 빠르게 제작할 수 있었다. 사출된 플라스틱 모형에 동박을 씌우고 동축케이블 및 스티로폼 지지대를 접지면과 연결하여 안테나를 완성하였다.

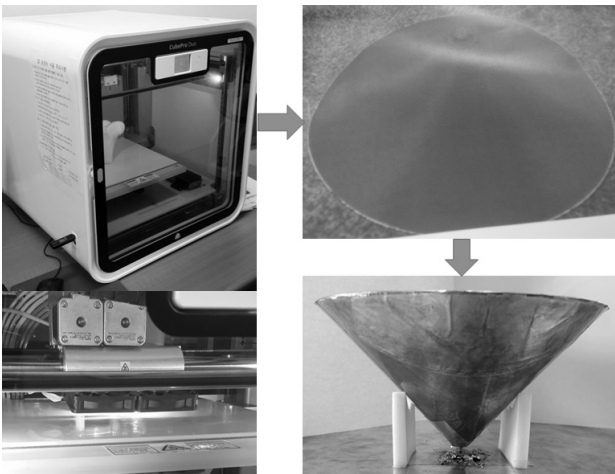


그림 5. 안테나 제작 과정
Fig. 5. Antenna fabrication process.

IV. 안테나 측정

그림 6는 제작된 안테나의 S_{11} 을 네트워크 분석기로 측정된 데이터와 시뮬레이션 계산 값을 비교한 그래프이다. 모든 주파수 대역에서 큰 오차 없이 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 측정값의 $S_{11} \leq -10\text{dB}$ 대역폭은 $0.7\sim 7\text{GHz}$ 로 10:1 광대역 매칭 특성을 보인다. 관심 최저 주파수인 0.65GHz 의 S_{11} 은 -8.3dB 로 목표 값의 83%의 성능을 만족한다. 시뮬레이션 값과 달리 저주파 대역의 성능이 저하된 이유는 급전부 제작상의 오차 때문인 것으로 판단된다.

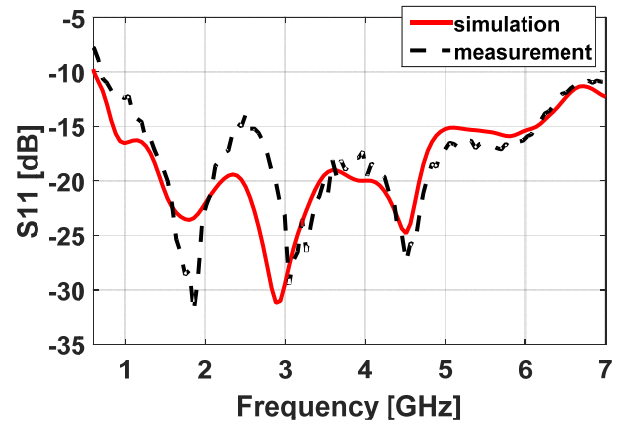


그림 6. 반사계수의 시뮬레이션과 측정값 비교
Fig. 6. Comparison of measured and simulated S_{11} .

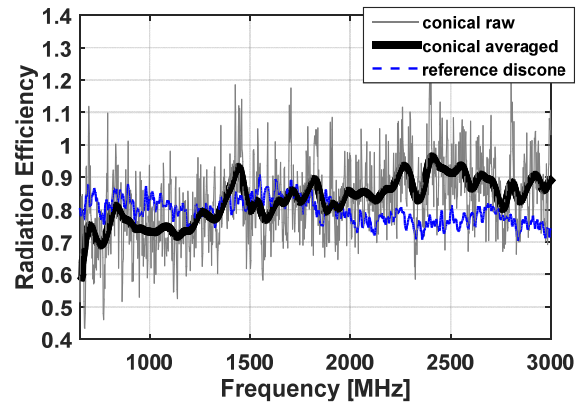
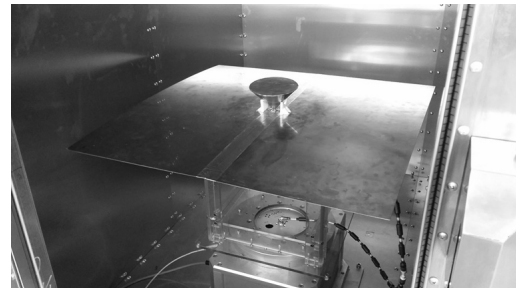


그림 7. 잔향실 내에서의 방사효율 측정 및 결과
Fig. 7. Measured radiation efficiencies in reverberation chamber.

문인 것으로 판단된다.

그림 7은 제작한 안테나를 잔향실 내에 설치하고 측정한 안테나의 효율이다. 제작된 안테나의 성능을 측정하기 위해 잔향실 내의 턴 테이블 위에 대형 접지면과 함께 설치한 후 측정을 진행 하였다. 또한, 기존 디스크 안테나의 효율을 함께 표시하여 직관적으로 성능을 비교 할 수 있게 하였다. 그림에서 raw 데이터는 송신 안테나와 제안한 안테나 간 S_{21} 측정값으로, 잔향실 내 다중반사로 인해 주파수에 따른 분산이 심하다. 더 명확한 비교를 위해 raw 데이터를 이동평균필터(moving

average filter)를 이용해 처리한 평균 데이터 값을 함께 표기하였다.

제안한 역원뿔 안테나의 0.65GHz~3GHz의 방사효율은 0.6~0.9로, 저주파 대역에서는 기존 디스크 안테나에 비해 10~20% 정도 낮지만 고주파에서는 15~25%도 높은 형태를 보인다. 잔향실의 측정 한계로 인해 전체 관심주파수 대역의 방사효율을 관찰하지 못했지만, 고주파 대역일수록 효율이 좋아지는 경향성을 보임으로써 3GHz 이후의 대역에서도 높은 효율을 제공할 것이라 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 잔향실 내에서 측정 및 보정용으로 사용할 수 있는 광대역 역원뿔 안테나를 제안하였다. 기본적인 역원뿔 구조 안테나를 3차원 전파 시뮬레이션을 바탕으로 최적화하고, 최적화된 설계안을 3차원 프린터를 이용해 제작하였다. 제작된 안테나는 0.7~7GHz 대역에서 $S_{11} \leq -10\text{dB}$ 를 만족하고 있으며, 이를 통해 기존 디스크 안테나보다 넓은 광대역 매칭 특성을 가짐을 확인할 수 있다. 또한 현재 가용중인 잔향실에서의 방사효율 측정된 결과 0.6~0.9의 효율을 보여 기존 사용 중인 디스크 안테나와 동등한 방사효율 특성을 보임을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] H. A. Mendes "A new approach to electromagnetic field-strength measurements in shielded enclosures", Wescon Tech. Papers, Los Angeles, CA., Aug. 1968.
- [2] K. Rosengren, P. S. Kildal, J. Carlsson and O. Lundén "A new method to measure radiation efficiency of terminal antennas" Antennas and Propagation for Wireless Communications, IEEE, Waltham, MA, pp. 5-8, Nov. 2000.
- [3] R. Vogt-Ardatjew, S. van de Beek, F. Leferink "Wide-band antennas for reverberation chambers", EMC EUROPE International Symposium, Rome, pp. 1-5, Sep. 2012.
- [4] S. Zhou, J. Ma, J. Deng, and Q. Liu "A low-profile and broadband conical antenna", Progress In Electromagnetics Research Letters, vol.7, pp. 97-103, 2009.
- [5] K. L. Lau, K. M. Luk "A wideband circularly polarized conical-beam patch antenna", IEEE transactions on antennas and propagation, vol.54, no.5, pp. 1591-1594, May 2006.
- [6] Bluetest's calibration antennas, "https://bluetest.se/products/accessory/calibration-antennas", 2016.
- [7] C. H. Papas and R.W.P. King. "Input impedance of wide-angle conical antennas fed by a coaxial line", Proc. IRE, vol.37, no.11, pp. 1269-1271, Nov. 1949.

저 자 소 개



정진영(학생회원)
2014년 서울과학기술대학교 전자정보공학과 학사 졸업
2015년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 석사 과정 재학 중

<주관심분야: 안테나 설계, 안테나 측정, 광대역 안테나>



정재영(정회원)
2002년 2월 연세대학교 전기공학과 공학사
2007년 3월 미국 오하이오 주립대 전기 컴퓨터공학과 공학석사
2010년 6월 미국 오하이오 주립대 전기 컴퓨터공학과 공학박사
2002년 6월~2004년 6월 모토로라 코리아 연구원
2010년 6월~2012년 8월 삼성전자 책임연구원
2012년 9월~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 조교수

<주관심분야: 안테나 설계, 안테나 측정, 물성측정>