

인체 부착형 기기를 고려한 변형된 Alford 루프 안테나 설계

Design of a Modified Alford Loop Antenna for On-Body Devices

박 중 기 · 이 준 석 · 최 재 훈

Joongki Park · Juneseok Lee · Jaehoon Choi

요 약

본 논문에서는 인체 내·외부간 근거리 통신망인 WBAN(Wireless Body Area Network)에서 인체 부착형 기기통신 링크를 원활하게 구성하기 위한 변형된 Alford 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 인체의 영향을 고려해 설계하였으며, ISM(The Industrial, Scientific and Medical, 2.4~2.485 GHz) 대역에서 동작한다. 기존 Alford 루프 안테나는 low-profile인 장점이 있지만, 인체 부착용 시스템의 다른 부품을 설치할 접지면이 존재하지 않고 balanced 급전 구조를 사용하기 때문에 on-body 안테나로 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 on-body 환경에서 동작할 수 있는 접지면이 포함된 unbalanced 급전 구조를 갖는 안테나를 제안하였다. 또한, 안테나가 인체에 부착되어 안테나 성능에 미치는 영향을 고려하기 위해 모의 인체를 통해 모의실험과 측정을 수행하였다. 제안된 안테나는 모노폴 형태의 방사 패턴을 갖는 low-profile 구조이며, ISM 대역 내에서 10 dB 반사 손실을 만족한다. 안테나는 on-body 통신 환경에 적합한 표면지향성 특성을 갖는다.

Abstract

In this paper, a modified Alford loop antenna for on-body communication system is proposed. The proposed antenna operating in the ISM band is designed with consideration of human body effect. One of advantages of the Alford loop antenna structure is low-profile, however the Alford loop antenna is not suitable for on-body devices since it does not have a ground plane for other electronic part of on-body system and requires balanced feeding structure. To be embedded on on-body devices, the proposed antenna is design with the unbalanced feed structure and ground. The performance of the proposed antenna is simulated and measured when it is placed on the human body phantom to consider the effect of the human body. The proposed antenna a 10 dB return loss bandwidth over the ISM band and monopole-like radiation pattern with low-profile. The antenna has the surface of appropriate for on-body communication environment.

Key words: On-Body, Modified Alford Loop Antenna, Surface Wave, Low-Profile

I. 서 론

최근 들어 다양한 분야 간의 융합을 통한 새로운 ICT 서비스에 대한 관심이 고조되면서, 광범위한 응용가능성

을 갖는 WBAN(Wireless Body Area Network)에 관한 관심이 증가되고 있다.

WBAN은 인체 내·외부에 부착된 여러 기기들로 구성된 무선 네트워크로, 인체를 중심으로 통신이 이루어지는

「본 연구는 미래부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구 결과로 수행되었음.」

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronic & Computer Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received August 23, 2013 ; Revised November 18, 2013 ; Accepted December 10, 2013. (ID No. 20130823-08S)

· Corresponding Author: Jaehoon Choi (e-mail: choijh@hanyang.ac.kr)

새로운 유형의 네트워크이다. WBAN 통신 환경은 송신기와 수신기의 위치에 따라 in-body, on-body, off-body로 구분할 수 있으며, 특히 WBAN 통신 시스템 환경에서 가장 중요한 요소는 안테나의 방사 패턴이다^[1]. 예를 들면 인체 외부 지향성 방사 패턴을 갖는 안테나는 외부 기기와 부착형 기기 간의 통신 링크를 구성하는데 적합하며, 인체 부착형 안테나 간의 통신 링크를 구성하기 위해 안테나의 최대 방사 방향이 인체 표면을 향하는 인체 표면지향성 안테나가 필요하다.

표면지향성 방사 패턴을 갖는 구조로는 모노폴 안테나, Alford 루프 안테나, 고차 모드를 이용한 안테나가 있다. 본 논문에서는 Alford loop 안테나를 기본 구조로 선택하며, 기존의 Alford loop 안테나가 WBAN 통신기기에 적합하지 않은 급전 구조와 인체 둔감성 향상을 위해 접지면이 존재하는 unbalanced 급전 구조를 갖는 변형된 Alford loop 안테나를 제안하였다.

Alford 루프 안테나는 미소 루프 안테나의 동작 원리로 작동하며, 안테나 외각 4개의 arm에 전류가 균일하게 분포하고, 동위상을 가지는 구조이다. 본 논문에서 제안된 안테나는 $\frac{\lambda}{4} \times \frac{\lambda}{4}$ 안에서 E-field가 한방향으로 주회하도록 설계되었으며, 제안된 안테나는 magnetic dipole로 등가화 할 수 있다^{[2],[3]}. 먼저 모노폴 안테나는 구조적 특징으로 인하여 low-profile 구조를 구현할 수 없다. 또한, 고차 모드를 이용한 표면지향성 안테나는 모노폴 안테나에 비해 low-profile(3.17~10 mm) 구조를 가지지만, 높이가 낮아질수록 안테나의 성능이 저하되어 안테나의 높이를 낮추는데 한계가 있다^{[4]~[6]}. 기존의 Alford 루프 안테나는 low-profile 구조와 표면지향성 방사 패턴을 가지지만, 접지면이 존재하지 않는 balanced 급전 구조로 인해 어플리케이션 적용시 통신 장애가 발생할 수 있으며, 인체 부착형 기기에 실장하기 힘든 특성을 가지고 있다^{[7]~[9]}.

본 논문에서는 ISM 대역에서 동작하는 인체 부착형 기기를 고려한 변형된 Alford 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 low-profile 구조 및 표면 지향성 방사 패턴을 가지며, 접지면이 포함된 unbalanced 급전 구조로 인체 부착형 기기에 적합하게 설계되었다. 또한, 인체의 특성을 고려하기 위해 반고체형 팬텀에 안테나를 부착하여 안테나

의 반사 손실, 방사 패턴을 측정하였다.

II. 안테나 설계

그림 1은 제안된 인체 부착형 기기를 고려한 변형된 Alford 루프 안테나의 구조를 나타낸다. 인체 부착성을 고려하여 40×40×2.02 mm³인 Taconic사의 RF-30($\epsilon_r=3$, loss tangent=0.0014) 기판을 사용하였으며, 50 Ω SMA 커넥터를 이용하여 급전하였다.

On-body 통신 링크 구성을 위해서는 모노폴 안테나와 같은 표면 지향성 방사 패턴이 요구되며, 이를 구현하기 위하여 Alford 루프 안테나를 사용하였다. Alford 루프 안테나는 미소 루프 안테나의 동작원리로 작동하며, 이를 위하여 방사체의 전류 분포가 일정해야 한다. 그림 1(a)에서는 제안된 안테나의 방사체 구조를 나타내며, 제안된 안테나는 4개의 arm들로 구성된다. 그림 1(b)는 제안된 안테나가 기존 Alford 루프 안테나와 달리 on-body 통신기기의 탑재를 고려한 접지면과 unbalanced 급전 구조를 나타내고 있다.

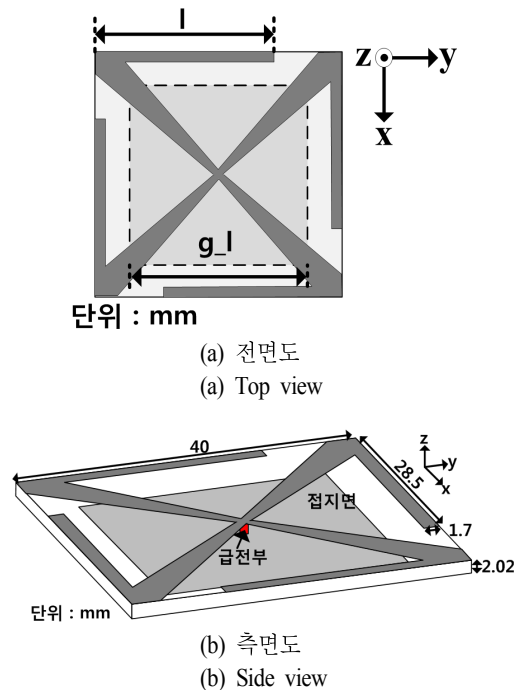
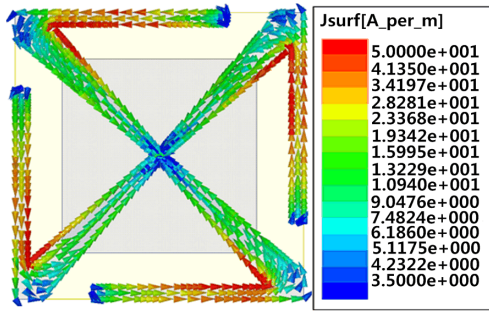
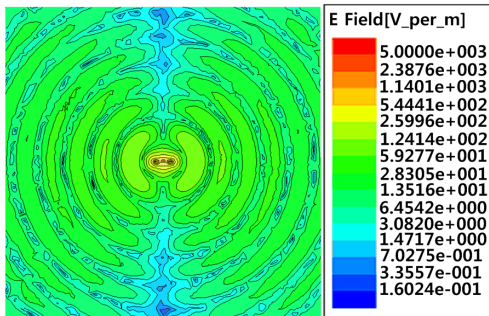


그림 1. 제안된 안테나 구조
Fig. 1. Configuration of the proposed antenna.



(a) 전류 분포 모의실험 결과(2.45 GHz)
(a) Simulated current distribution at 2.45 GHz

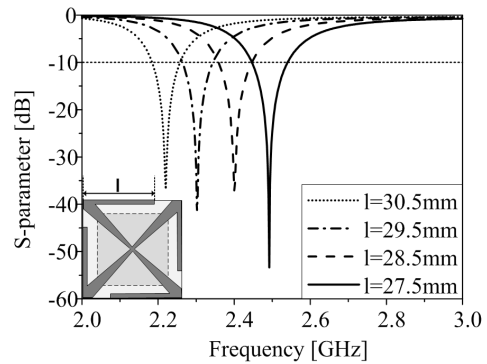


(b) 전계 분포 모의실험 결과(2.45 GHz)
(b) Simulated E-field distribution at 2.45 GHz

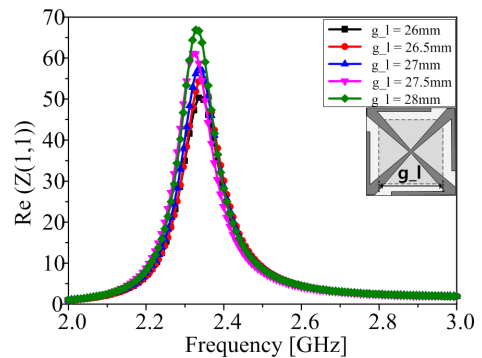
그림 2. 제안된 안테나의 전류 및 전계 분포 모의실험 결과

Fig. 2. Simulated current distribution and electric field distribution of the proposed antenna.

제안된 안테나는 unbalanced 급전 구조로 인하여 안테나의 최외각으로 기존 Alford 루프 안테나와 같은 전류의 주회 path가 형성되지 않는다. 이를 해결하기 위하여 4개의 각 arm들이 기판의 모서리에 90도씩 회전하며 위치하기 때문에, 이웃한 arm들에서 방사되는 신호가 직교성이 성립된다. 또한, 안테나 기판의 한 모서리에서 대각까지 거리가 약 $0.5 \lambda_0$ 이기 때문에, 서로 마주 보는 arm들에서 방사되는 신호는 안테나의 배열 효과에 의하여 상호보상된다. 위와 같은 제안된 안테나의 방사 원리에 의하여 기존에 연구되었던 고차 모드 안테나와는 달리 안테나의 두께에 의하여 방사 특성이 변하지 않아 low-profile 특성이 강조된 안테나 설계가 가능하다. 그림 2(a)은 제안된 안테나의 전류 분포를 나타내고, 그림 2(b)은 자유 공간상에서의 전계 분포를 나타내며, 안테나의 표면 방향으로



(a) Arm 길이의 변화
(a) Variations of arm



(b) g_l 의 변화
(b) Variations in g_l

그림 3. 다양한 설계 파라미터 변화에 따른 반사 손실 특성

Fig. 3. Simulated return loss characteristics for various design parameters.

전계가 형성되는 것을 확인할 수 있다. 그림 3(a)에서는 arm의 길이에 따른 공진 주파수를 변화를 나타낸다. Arm의 길이가 길어질수록 공진 주파수는 저주파 대역으로 이동하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3(b)에서는 접지면 크기에 따른 임피던스 특성을 나타낸다. 접지면의 크기를 조정함으로써 임피던스 매칭을 할 수 있다.

III. 모의실험 및 제작 결과

그림 4는 제안된 안테나의 모의실험을 위한 환경을 나타낸다. 제안된 안테나는 on-body 통신 환경을 고려하기 위하여 270 mm×200 mm×70 mm인 모의 인체 5 mm 위에

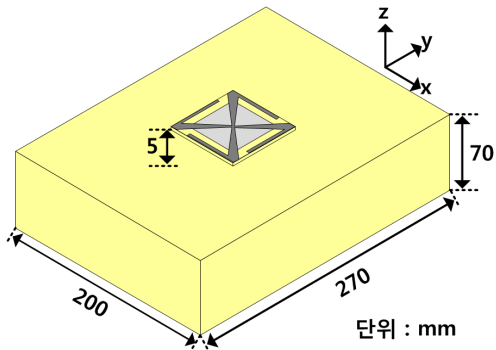


그림 4. 모의 인체를 이용한 모의실험 환경
Fig. 4. Simulation setup using body phantom.

표 1. 모의실험에 적용된 모의 인체의 전기적 특성
Table 1. Electric constants for body phantom.

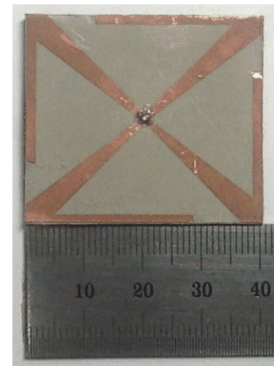
Target frequency(MHz)	Relative permittivity(ϵ_r)	Conductivity (σ)
2,450	52.7	1.95

위치시켰으며, 모의 인체의 유전 상수는 표 1과 같은 FCC의 지침을 기준으로 설계하였다^[10]. 제안된 안테나의 설계와 모의실험은 ANSYS사의 HFSS v.14.0.0을 사용하였다^[11].

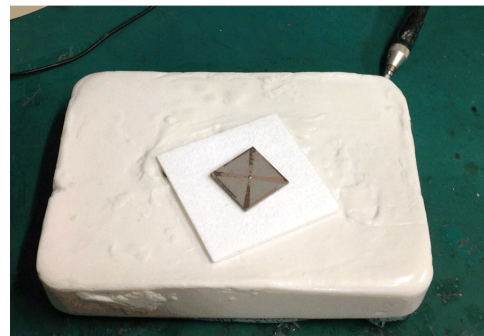
그림 5(a)는 제작한 안테나의 모습을 나타내며, 그림 5(b)는 안테나 성능 측정에 이용된 모의 인체가 나타나 있다. 그림 5(b)에 사용된 모의 인체는 표 1과 같은 전기적 특성을 갖는 반고체형 모의 인체를 제작하여 제작된 안테나의 성능을 검증하였다^[12]. 그림 5(c)는 제작된 안테나가 모의실험 환경과 동일하게 구성하기 위하여, 스티로폼 조각($\epsilon_r=1$)을 이용해 안테나와 모의 인체 간의 거리를 5 mm로 유지하여 반사 손실과 방사 패턴을 측정하였다.

그림 6은 제작된 안테나의 자유 공간과 on-body 환경에서의 반사 손실 측정 결과를 나타낸다. 측정된 안테나의 반사 손실은 모의실험 결과와 매우 유사한 값을 가지며, 10 dB 대역폭은 자유 공간 및 on-body 환경에서 각각 115 MHz, 125 MHz(2.37~2.485 GHz, 2.36~2.485 GHz)이다.

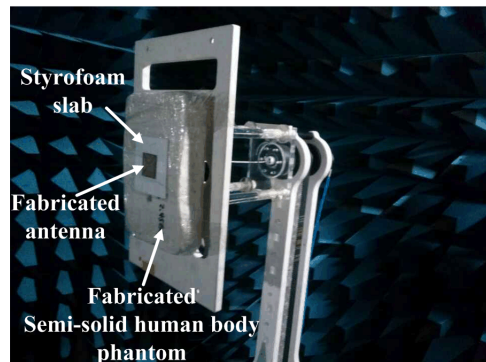
그림 7은 제안된 안테나가 자유 공간과 모의 인체 위에 있을 때 2.44 GHz에서 모의실험과 측정을 통해 얻은 방사 패턴을 나타낸다. 제안된 안테나는 자유 공간에서 외부 방향으로 최소 방사가 일어나고, 표면을 따라 방사가



(a) 제작된 안테나
(a) Fabricated antenna



(b) 반사 손실 측정 환경
(b) Measurement setup



(c) 방사 패턴 측정 환경
(c) Radiation pattern measurement setup

그림 5. 제작된 안테나와 성능 측정 환경
Fig. 5. Fabricated antenna and performance measurement setup.

일어나는 모노폴과 동일한 방사 특성을 갖는다. 인체에 영향을 최소화하기 위해서 unbalanced 급전 구조를 사용

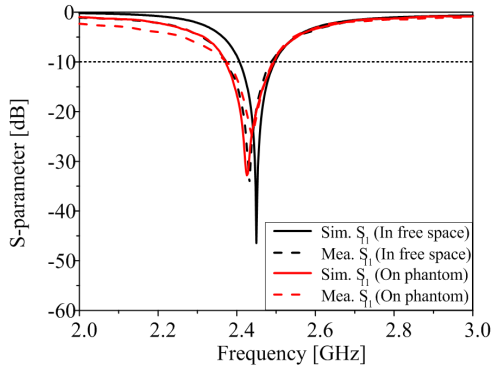


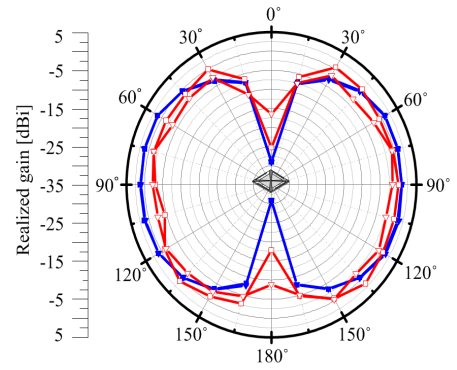
그림 6. 제작된 안테나의 반사 손실 측정 결과
Fig. 6. Measured return losses of the fabricated antenna.

하였고, 이로 인해 반사 손실 특성은 거의 변하지 않는다. 제안된 안테나가 자유 공간과 인체 팬텀 위에 있을 경우, 이득은 자유 공간시 1.5 dBi, 팬텀 위에 있을 시에 0.5 dBi로 측정되었다. 각 실험환경에서의 이득 차이는 안테나가 팬텀위에 위치하였을 때 표면 전파가 발생하여 off-body 방향으로의 방사능이 감소되었기 때문이다. 또한, 제안된 안테나는 자유 공간에서 수평면을 따라 최대 방사가 일어나지만, 모의 인체에 위에서는 높은 유전율과 도전율을 갖는 매질의 영향에 따른 반사 및 산란으로 인해 천정으로부터 최대 방사각이 낮아짐을 알 수 있다. 그러나 여전히 모노폴과 유사한 방사 특성을 유지하므로 제안된 안테나가 인체 부착형 기기에 적용 가능할 것으로 사료된다.

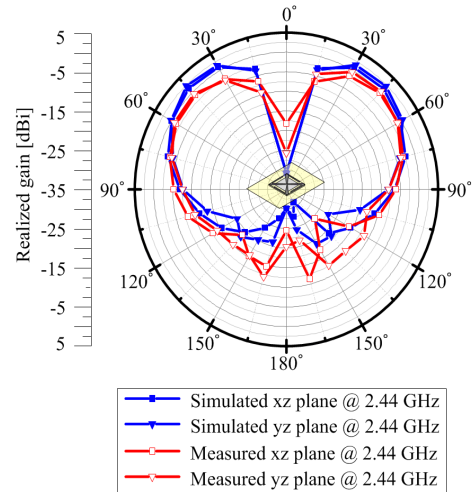
인체 주변에서 동작하는 무선기기를 설계할 때 고려해야 할 요소로 생체조직에서의 전자파 에너지의 흡수율인 SAR(Specific Absorption Rate)를 고려해야 한다. 그림 8은 제안된 안테나의 SAR 모의실험 결과이다. 일반적으로 ANSI/IEEE & FCC에서 규정한 신체 부분에 흡수되는 전자파 흡수율은 1g 평균 1.6 W/kg 이하로 제한하였다. 따라서 제안된 안테나는 중심주파수 2.45 GHz에서 1g 평균 최대 SAR는 입력전력이 20 mW일 때, 1.529 W/kg으로 ANSI/IEEE 및 FCC 지침을 만족한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 on-body 통신 환경을 위한 인체 부착형 변형된 Alford 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나의 방사체는 크기가 같은 4개의 arm으로 구성되며, 미소 루프



(a) 자유 공간에서의 2차원 방사 패턴(2.44 GHz)
(a) 2-dimensional radiation patterns in free space



(b) On-body상에서의 2차원 방사 패턴(2.44 GHz)
(b) 2-dimensional radiation patterns on the phantom

그림 7. 모의실험 및 측정된 방사 패턴
Fig. 7. Simulated and measured radiation patterns at 2.44 GHz.

안테나의 동작 원리인 방사체에 동일한 전류 분포가 형성되어 표면 지향성 방사 패턴을 구현하였다. 제안된 안테나의 반사 손실은 ISM(2.4~2.485 GHz) 대역에서 10 dB 대역폭을 만족한다. 자유 공간에서의 최대 이득은 1.5 dBi이며, on-body 환경에서는 인체 표면지향성 방사 패턴을 가진다. 인체 영향에 대한 분석으로 모의실험을 통해 공진 주파수에서 입력 전력이 20 mW일 때, 1g 평균 최대

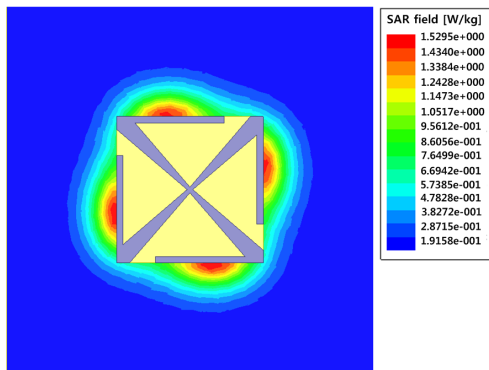


그림 8. 공진 주파수에서 SAR 모의실험 결과(2.44 GHz)
 Fig. 8. Simulated SAR distribution at resonance frequency.

SAR는 1.529 W/kg으로 FCC 기준을 만족한다. 제안된 안테나는 인체 부착성을 고려하여 $40 \times 40 \times 2.02$ mm³인 low-profile 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 접지면이 존재하는 unbalanced 급전 구조의 사용으로 반사 손실 특성이 인체의 영향에 매우 둔감하므로 인체 부착형 안테나로 활용이 가능할 것으로 기대되며, 향후 전반적인 인체 영향에 대한 분석을 위해 추가적인 연구가 진행될 예정이다.

References

[1] P. S. Hall, Y. Hao, *Antennas and Propagation for Body-centric Wireless Communications*, Artech House, Norwood, pp. 1-64, 2006.
 [2] A. Alford, A. G. Kandoian, "Ultra-high frequency loop antenna", *Trans. on AIEE*, vol. 59, pp. 843-848, 1940.
 [3] H. R. Chuang, "Omni-directional horizontally polarized Alford loop strip antenna", US Patent 5767809, Jun. 16, 1998.
 [4] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, pp. 59-66, 1998.

[5] G. A. Conway, W. G. Scanlon, "Antennas for over-body-surface communication at 2.45 GHz", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 57, pp. 844-855, Apr. 2009.
 [6] S. Zhu, R. Langley, "Dual-band wearable textile antenna on an EBG substrate", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 57, pp. 926-935, Apr. 2009.
 [7] J. Liu, Q. Xue, H. Wong, H. Lai, and Y. Long, "Design and analysis of a low-profile and broadband microstrip monopolar patch antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 61, no. 1, pp. 11-18, Jan. 2013.
 [8] C. H. Ahn, S. W. Oh, and Kai Chang, "A dual-frequency omnidirectional antenna for polarization diversity of MIMO and wireless communication applications", *IEEE Antennas and Wireless Propaga. Lett.*, vol. 8, pp. 966-969, 2009.
 [9] C. C. Lin, L. C. Kuo, and H. R. Chuang, "A horizontally polarized omnidirectional printed antenna for WLAN applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 11, pp. 3551-3556, Nov. 2006.
 [10] D. L. Means, W. Kwok, "Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radio-frequency electromagnetic fields, federal communications commission office of engineering & technology", *Supplement C(edition 01-01) to OET Bulletin 65(Edition 97-01)*, Jun. 2001.
 [11] HFSS: High Frequency Structure Simulator Based on the Finite Element Method, v.14.0.0, ANSYS Inc.
 [12] 이순용, 서원범, 권결, 최재훈, "MICS 대역과 ISM 대역에서 인체 전기적 상수를 갖는 준(準)고체형 플랫폼 제작", *한국전자과학회논문지*, 23(1), pp. 101-107, 2012년 1월.

박 중 기



2013년 2월: 인천대학교 정보통신공학과 (공학사)
2013년 3월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, WBAN 시스템

최 재 훈



1980년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1986년: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학석사)
1989년: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학박사)
1989년~1991년: 미국 Arizona State University 연구교수
1991년~1995년: 한국통신위성사업단 연구팀장
1995년~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수
[주 관심분야] 이동통신 / 의료용 안테나 설계, 무선전력전송, WBAN 시스템, EMC

이 준 석



2010년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
2011년 12월: 호주 The University of Queensland 전자공학과 (공학석사)
2012년~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, 무선전력전송, EMC