

## 고투자율 자성기판을 이용한 광대역 안테나 격리도 특성 개선

### Isolation Improvement of a Broadband Antenna Using a High-Permeability Substrate

허 준 · 계 영 철 · 추 호 성

Jun Hur · Youngchul Kay · Hosung Choo

#### 요 약

본 논문에서는 고투자율 자성기판을 이용한 광대역 안테나 격리도 특성 개선방법을 제안하였다. 제안된 안테나는 평판형 모노폴 안테나의 근접 자계 분석을 바탕으로 고투자율 자성기판을 안테나에 삽입한 형상이며, 동작주파수에서의 안테나 성능을 유지하고, 차단 주파수에서의 간섭을 최소화하여 근접한 안테나와의 격리도 특성을 개선한다. 격리도 개선을 확인하기 위해 동작주파수 2 GHz인 기준 모노폴 안테나를 설정하여 제안된 안테나와 기준 안테나의  $S_{21}$ 을 자성기판 삽입 전후로 측정하였다. 그 결과, 기준 안테나의 동작 성능은 유지하며, 2 GHz 이상의 차단 주파수에서  $S_{21}$ 이 5~10 dB 이상 개선되었으며, 고투자율 자성기판을 이용하여 안테나의 격리도 특성 개선이 가능함을 확인하였다.

#### Abstract

In this paper, we propose a method of isolation improvement for broadband antennas using a high-permeability substrate. The substrate is applied for a planar monopole antenna based on near-field analysis to maintain radiation characteristics at its operating frequency while improving isolation by minimizing mutual coupling with nearby antennas at other frequency bands. To verify isolation improvement, we compare performance variations of  $S_{21}$  according to the existence of the substrate using the proposed antenna and a reference antenna whose operating frequency is 2 GHz. As a result, the radiation characteristics are maintained, and  $S_{21}$  performance is improved by more than 5~10 dB in the frequency band of greater than 2 GHz, which demonstrates the isolation can be improved by using the high-permeability substrate.

Key words: Isolation, Broadband Antenna, High-Permeability Substrate

#### I. 서 론

최근 다수 무선 통신 시스템의 집적화 추세와 더불어 차량, 항공기, 선박 등에 장착되는 안테나의 수가 증가되었고, 이에 따라 제한된 공간에 다수의 안테나를 장착해야 하는 경우가 많아졌다<sup>[1]~[3]</sup>. 좁은 공간에 안테나들이

탑재되면 근접한 위치에 있는 다른 안테나와 최소 수신 전력 이상의 신호를 주고받아 안테나 사이의 상호 간섭에 의해 통신 성능 열화 문제가 발생하며, 특히 광대역 특성을 지니는 안테나의 경우 이러한 안테나 간 간섭 문제가 더욱 심각하다. 일반적으로 전파 차폐체를 삽입하거나, 물리적 이격거리를 최대한으로 확장하는 방법을 통해

「본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 연구되었음.」

홍익대학교 전자정보통신공학부(Department of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

· Manuscript received October 10, 2014 ; Revised December 18, 2014 ; Accepted December 22, 2014. (ID No. 20141010-11S)

· Corresponding Author: Hosung Choo (e-mail: hschoo@hongik.ac.kr)

안테나 간 격리도를 향상시키고, 간섭에 의한 성능 열화를 최소화한다<sup>[4]~[7]</sup>. 하지만 물리적인 이격거리를 증가시키거나 추가적인 차폐 체를 삽입하는 것은 전체 통신 시스템의 크기와 비용을 증가시키는 단점을 가진다. 따라서 안테나의 장착 위치와 배치를 유지하면서도 안테나 간 격리도 특성을 개선할 수 있는 기술의 수요가 증대되고 있다.

본 논문에서는 안테나의 근접 자체분석을 바탕으로 고투자율 자성기판의 삽입 위치를 결정하고, 이를 통해 통신 시스템의 크기와 비용을 증가시키지 않으면서도 특정 주파수대역에서 안테나의 격리도 성능을 개선할 수 있는 기법을 제안하였다. 먼저 기관 형상인 기본 모노폴 안테나의 동작 주파수와 차단 주파수에서의 근접 자체를 전자파수치해석 기반의 EM 시뮬레이터를 이용하여 분석하였다. 이를 바탕으로 동작주파수에서의 안테나 성능을 유지하면서 차단 주파수에서 불요파 세기를 감소시켜 안테나 간 격리도 특성을 개선할 수 있는 고투자율 자성기판의 삽입 위치를 결정하였다. 시뮬레이터를 사용하여 예측한 안테나의 성능을 측정 결과와 비교하여 격리도 특성을 검증하였고, 이를 통해 적절한 자성기판의 삽입으로 안테나 간 격리도 특성 개선이 가능함을 확인하였다.

## II. 고투자율 자성기판이 삽입된 안테나 설계

### 2.1 고투자율 자성기판 삽입

고투자율 자성기판을 삽입하여 안테나 간 격리도 특성을 개선하기 위해 먼저 1 GHz 이하 UHF 대역에서 1차 공진특성을 갖는 모노폴 안테나를 설계하였으며, 해당 안테나의 2차 공진주파수인 2 GHz 이상 대역에서 격리도 특성을 분석하였다<sup>[8]</sup>. 그림 1은 제안된 안테나의 형상을 보여준다. 안테나는 75 mm의 길이와 5 mm의 폭을 갖는 평면형 모노폴 안테나와 250 mm×250 mm 크기의 정사각형 그라운드로 구성되며, 안테나의 공진주파수는 약 800 MHz이다. 사용된 고투자율 자성기판은 MARUWA사의 FSF501 모델이며, 폭 5 mm, 높이 25 mm, 두께 1 mm의 크기를 가지고, 안테나의 상단에 삽입되었다. 표 1은 사용된 자성기판의 투자율 특성을 보여준다. 그림 2(a)는 제안된 안테나의 반사계수를 보여주며, 동작대역인 800 MHz에서 -10 dB 이하의 높은 정합특성을 갖는다. 또한,

표 1. FSF501 물질 특성

Table 1. Material properties of FSF501.

Frequency (MHz)	13.56	30	100	1,000	2,000
Permeability (Real)	300	140	50	5	5
Permeability (Imaginary)	185	160	100	5	5

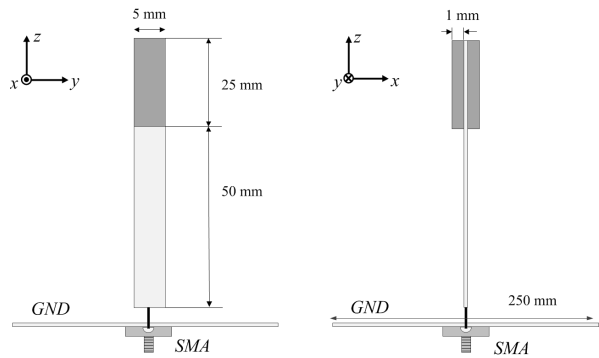
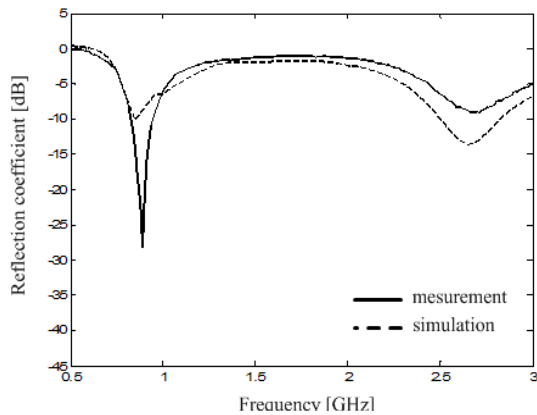


그림 1. 제안된 안테나 형상

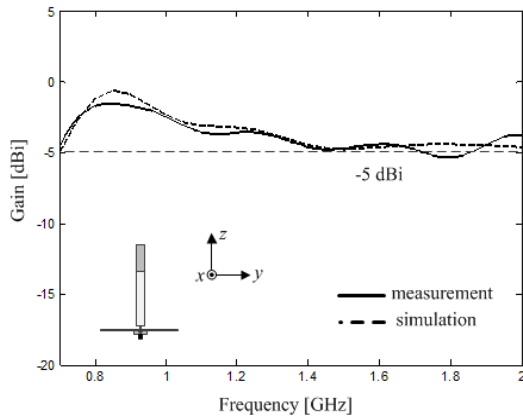
Fig. 1. Geometry of the proposed antenna.

그림 2(b)에 나타난 것과 같이 제안된 안테나의 동작대역 (700 MHz~1 GHz)에서 -5 dBi 이상의 복사이득을 가지며, 이는 고투자율 자성기판 삽입에 의한 이득 저감이 평균 0.6 dB로 매우 적은 것을 확인하였다. 그림 2(c)는 제안된 안테나와 2 GHz에서 동작하는 기준 안테나 간의  $S_{21}$  특성변화를 보여준다. 제안된 안테나가 동작하는 800 MHz에서 36.2 dB의 격리도 특성을 보이며, 기준 안테나가 동작하는 2 GHz 이상 대역의 경우, 25~37 dB로 삽입된 자성기판에 의해 평균 4 dB 이상 개선됨을 알 수 있다. 거리에 따른 격리도 특성 분석도 수행하였으며, 2.5 GHz의 이격거리 18 cm, 20 cm, 22 cm에서  $S_{21}$ 값이 -36.4 dB, -41.3 dB, -43.2 dB 임을 확인하였다.

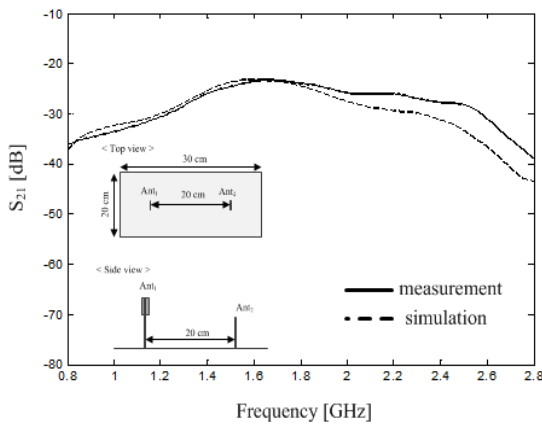
그림 3은 MoM 해석방식을 사용하는 FEKO EM 시뮬레이터(EM Software and Systems, FEKO Suit 7.0)를 이용한 안테나의 주파수별 근접 자체분석 결과를 보여준다<sup>[9],[10]</sup>. 동작주파수인 800 MHz에서는 안테나 하단에 강한 자체밀도를 보이며, 높은 주파수 대역으로 갈수록 자체분포가 상단에 밀집되는 것을 알 수 있다. 따라서 고투자율



(a) 제안된 안테나의 반사계수  
(a) Reflection coefficient of the proposed antenna

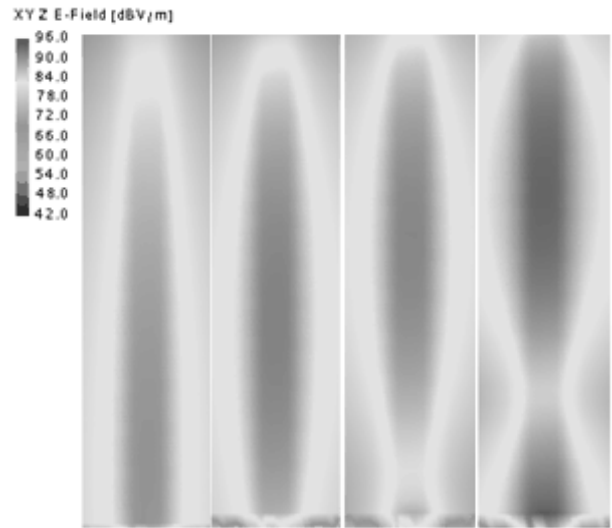


(b) 제안된 안테나 이득 성능  
(b) Gain of the proposed antenna



(c) 제안된 안테나  $S_{21}$   
(c)  $S$ -parameter of the proposed antenna

그림 2. 제안된 안테나 성능  
Fig. 2. Performance of the proposed antenna.



(a) 800 MHz (b) 1.5 GHz (c) 2 GHz (d) 2.5 GHz

그림 3. 기본 모노폴 안테나 근접 자계 분석  
Fig. 3. Near H-field analysis of a monopole antenna.

자성기판을 안테나 상단에 삽입할 경우, 동작주파수 대역인 800 MHz에서 안테나 성능을 최대한 유지하면서도 차단 주파수에서의 불요파 세기를 최소화할 수 있으므로 안테나의 격리도 특성 개선에 용이하다. 하지만 자성기판의 크기가 너무 클 경우, 격리도가 개선되는 주파수 대역 폭을 증가시킬 수 있지만 동작주파수에서의 자계 분포에 영향을 미칠 수 있으므로 적절한 크기와 위치를 도출하는 것이 중요하다.

## 2.2 자성기판을 이용한 안테나 간 격리도 개선

그림 4는 적절한 자성기판의 크기와 위치를 도출하기 위해 사용한 안테나 형상과 설계변수를 보여준다. 삽입한 자성기판의 폭과 두께, 길이를 각각  $w=5$  mm,  $t=1$  mm,  $h_2=25$  mm로 고정하였으며, 자성기판의 위치  $h_1$ 를 0, 20, 40 mm로 변화시켜가며 안테나의 성능 변화를 관찰하였다. 그림 5(a)는 자성기판의 위치에 따른 전면 방향 이득 측정 결과를 보여주며, 그림 5(b)는 위치에 따른 격리도 특성 변화를 보여준다. 자성기판을 안테나 중단( $h_1=20$  mm)과 하단( $h_1=40$  mm)에 삽입하였을 경우, 격리도 특성이 각각 24 dB에서 26.69 dB, 28.18 dB로 개선되지만, 동작주파수에서의 안테나 이득을 1.9 dB, 3.2 dB 저감시키

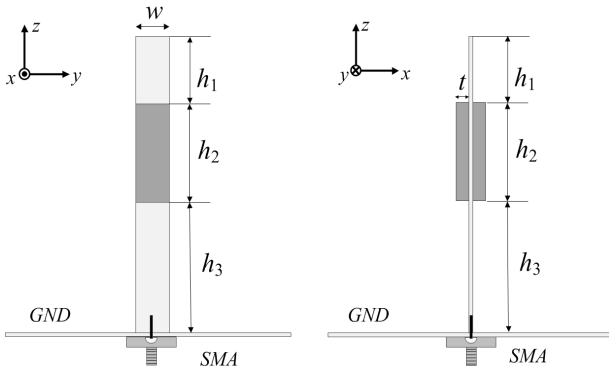
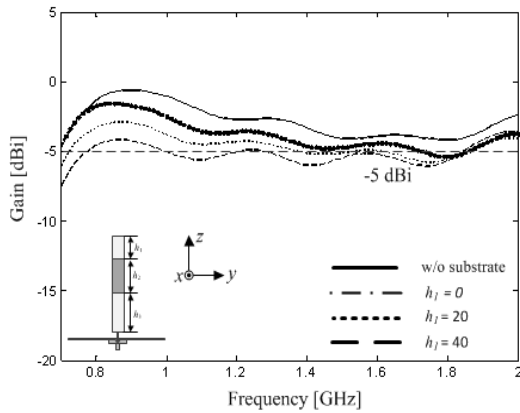
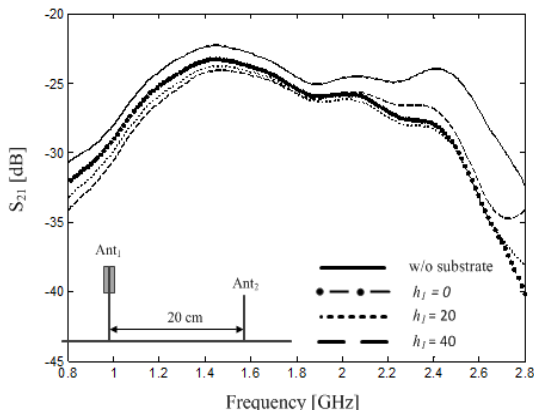


그림 4. 제안된 안테나 형상  
Fig. 4. Geometry of the proposed antenna.



(a) 위치에 따른 안테나 이득 성능  
(a) Gain vs. location of the high-permeability plate



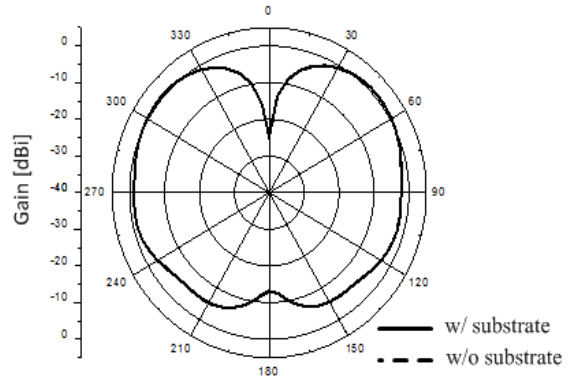
(b) 위치에 따른 안테나  $S_{21}$   
(b)  $S_{21}$  vs. location of the high-permeability plate

그림 5. 자성기판 위치에 따른 안테나 성능  
Fig. 5. Performance depending on the location of the high-permeability plate.

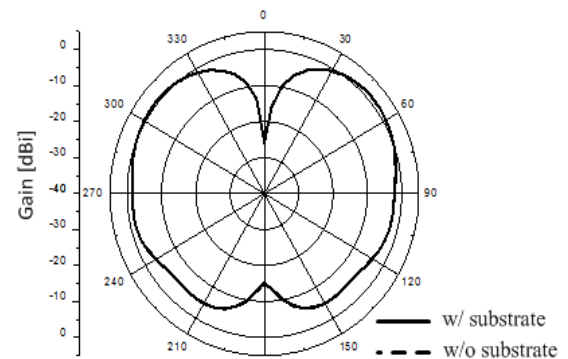
므로 적합하지 않다. 반면, 자성기판을 안테나 상단( $h_1=0$  mm)에 위치할 경우, 격리도는 23.9 dB에서 28.2 dB로 중단과 상단의 경우와 유사하며, 동작주파수에서의 이득 성능 저감은 0.26 dB로 최소화됨을 알 수 있다.

### 2.3 안테나 복사 패턴 분석

고투자율 자성기판이 삽입된 안테나의 성능을 분석하기 위해 동작주파수와 차단 주파수에서의 복사 이득 패턴을 측정하였다. 그림 6은 안테나의 동작주파수인 800 MHz에서의  $xz$ ,  $yz$ -plane의 복사 패턴을 보여준다. 실선은 자성체 삽입 전의 기존 모노폴 안테나의 패턴이고, 점선은 자성체 삽입 후의 모노폴 안테나 패턴이다. 자성체가 있는 경우와 없는 경우의 차이가 1 dB 이하로 마치 실선과 점

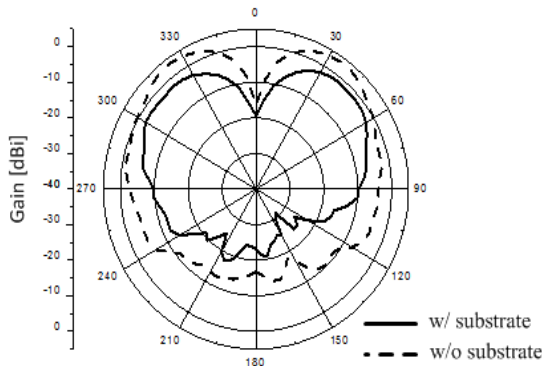


(a) 800 MHz의  $xz$ -plane 복사이득 패턴  
(a) Radiation patterns in  $xz$ -plane at 800 MHz

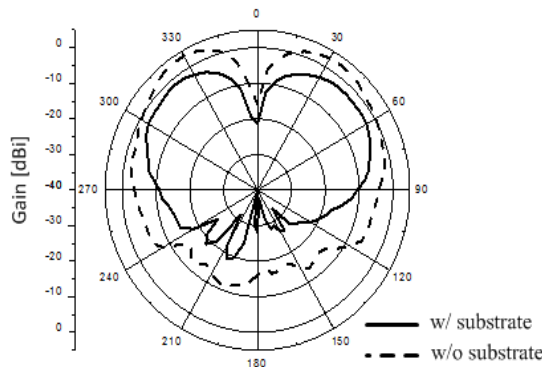


(b) 800 MHz의  $yz$ -plane 복사이득 패턴  
(b) Radiation patterns in  $yz$ -plane at 800 MHz

그림 6. 800 MHz에서의 안테나 복사 패턴  
Fig. 6. Radiation patterns of the proposed antenna.



(a) 2.5 GHz의 xz-plane 복사이득 패턴  
(a) Radiation patterns in xz-plane at 2.5 GHz



(b) 2.5 GHz의 yz-plane 복사이득 패턴  
(b) Radiation patterns in yz-plane at 2.5 GHz

그림 7. 2.5 GHz에서의 안테나 복사 패턴  
Fig. 7. Radiation patterns of the proposed antenna.

선이 같은 선으로 보이는 것을 알 수 있다. 자성체로 인한 최대 이득 저감은 xz, yz-plane 각각 0.71 dBi에서 0.81 dBi, 1.12 dBi에서 1.19 dBi로 0.07 dB 감소하며, 평균 이득은 각각 -4.14 dBi, -4.09 dBi로 0.05 dB 저감된 것을 확인하였다. 그림 7은 차단 주파수인 2.5 GHz에서의 복사 패턴을 보여준다. 불요파 세기가 존재하는 2.5 GHz에서의 최대이득은 xz, yz-plane 각각 3.67 dBi에서 -1.32 dBi, 3.51 dBi에서 -1.65 dBi로 4.99 dB, 5.16 dB씩 저감되며, 평균이득은 xz, yz-plane 각각 7.25 dB, 8.63 dB 감소되어 차단 주파수에서의 불요파 세기를 최소화 하는 것을 확인하였다.

### III. 결 론

본 논문에서는 고투자율 자성기판을 이용한 광대역 안

테나 격리도 특성 개선방법을 제안하였다. 광대역 특성을 지니는 평판형 모노폴 안테나의 근접 자계분석을 바탕으로 동작주파수에서의 이득 성능은 유지하며, 안테나의 격리도 특성을 향상시키는 적절한 고투자율 자성기판의 삽입위치를 도출하였다. 제안된 안테나는 길이 25 mm, 폭 5 mm, 두께 1 mm인 고투자율 자성체를 차단 주파수에서 근접 자계가 밀집되어 있는 안테나 상단에 장착한 형상이며, 동작주파수(800 MHz~1 GHz)에서 -5 dBi 이상의 이득 성능을 가지고, -6 dBi 이하의 정합 성능을 보였다. 동작 주파수에서의 이득 성능은 0.26 dB 차이로 유사하며, 차단 주파수에서의 격리도 개선이 5 dB 이상 개선되었고, xz-plane( $\Phi=0^\circ$  평면) 및 yz-plane( $\Phi=90^\circ$  평면)에서의 복사이득 패턴 측정 결과, 전방향성 안테나의 특성이 유지되는 것을 확인하였다. 이는 안테나 간 격리도 개선을 위한 이격거리 확보와 추가적인 차폐 체를 삽입하는 방법과는 달리 전체 통신 시스템의 크기를 증가시키지 않으며, 안테나의 장착 위치와 배치를 유지하면서도 안테나 간 격리도 특성을 개선하는 소형 다중안테나 시스템에 적합함을 확인하였다.

### References

- [1] G. Byun, C. H. Seo, B. J. Jang, and H. S. Choo, "Design of aircraft on-glass antennas using a coupled feed structure", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 60, no. 4, pp. 2088-2093, Apr. 2008.
- [2] E. Gschwendtner, W. Wiesbeck, "Ultra-broadband car antennas for communications and navigation applications", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 51, no. 8, pp. 2020-2027, Aug. 2003.
- [3] S. H. He, W. S. Shan, C. Fan, and Z. C. Mo, "An improved vivaldi antenna for vehicular wireless communication systems", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 13, pp. 1505-1508, Jul. 2014.
- [4] A. C. K. Mak, C. R. Rowell, and R. D. Murch, "Isolation enhancement between two closely packed antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 56, no. 11, pp. 3411-3419, Nov. 2008.
- [5] C. Liang, X. Dang, N. Wang, and H. Yuan, "Generalized

isolation between antennas for EMC problems in complex EM environments", *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 53, no. 3, pp. 645-652, Aug. 2011.

- [6] L. Qiu, F. Zhao, K. Xiao, S. Chai, and J. Mao, "Transmit-Receive isolation improvement of antenna arrays by using EBG structures", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 93-96, Nov. 2012.
- [7] M. Koper, D. Wood, and W. Schneider, "Aircraft antenna coupling minimization using genetic algorithms and approximations", *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, vol. 40, no. 2, pp. 742-751, Apr. 2004.

[8] T. H. Taminiau, B. Segerink, and N. F. Hulst, "A monopole antenna at optical frequencies : single-molecule near-field measurement", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 55, no. 11, pp. 3010-3017, Nov. 2007.

[9] Y. Shimada, Y. Endo, M. Yamaguchi, S. Okamoto, and O. Kitakami, "Amorphous submicron particle chains with high-permeability", *IEEE Trans. Magnetics*, vol. 47, no. 10, pp. 2831-2834, Oct. 2011.

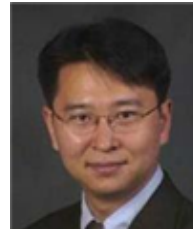
[10] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 7.0".

## 허 준



2014년 2월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학사)  
 2014년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 항공기 안테나

## 추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)  
 2000년 8월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)  
 2003년 5월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)  
 2003년 6월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 부교수  
 [주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더안테나

## 계 영 철



1980년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1982년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
 1991년 5월: University of Southern California, Electrical Engineering (공학박사)  
 1991년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기

공학부 교수

[주 관심분야] 음성 신호 처리, 인식 알고리즘의 최적화, RFID용 태그 및 리더 안테나