

A Small Ultra-Wideband (UWB) Antenna with Combination of Electric-Magnetic Radiators

김 용 진[†] · 정 창 원* · 김 영 봉** · 권 도 훈***
(Yong-Jin Kim · Chang-Won Jung · Young-Bong Kim · Do-Hoon Kwon)

Abstract - In this paper, a printed small Ultra-Wideband (UWB) antenna with directive radiation characteristics based on combination of electric-magnetic radiators is presented. The combinations of the electric and magnetic type antennas result in the directive radiation patterns for all observed UWB frequency band. Simple combination of dipole antenna and loop antenna is also presented to show that proper configuration of electric radiator and magnetic radiator can produce directive radiation characteristics. The target frequency is from 3.1 GHz to 10.6 GHz with size of 15 mm x 31 mm. A proto-type of the combined antenna is simulated, fabricated and measured. Simulation and experimental results of input impedance and gain characteristics of the proposed antenna are presented. There are good agreements between the simulated and measured VSWR curves. Also, the results show the directive radiation characteristics with small antenna form factor over the target frequency range.

Key Words : Small Antenna, UWB Antenna, Directive Radiation

1. 서 론

초광대역 (Ultra-wideband) 무선 통신 시스템은 저전력으로 단거리 구간에서 많은 양의 데이터를 전송하기 위한 무선 기술이다. 2002년 미국통신방송위원회 (FCC)가 주파수 3.1GHz 부터 10.6GHz대역의 상업적 목적의 사용을 허가한 이후로 초광대역 시스템에 대한 연구 및 개발이 많이 이루어져 왔다. 초광대역 무선 시스템은 넓은 스펙트럼 주파수 대역을 이용하여 디지털 펄스 신호를 전송하여 대용량의 데이터를 전송할 수 있는 시스템으로 블루투스 보다 100-200배 빠른 전송속도를 구현할 수 있다.

UWB 의 최대 강점은 저출력으로 빠른 데이터 무선전송이 가능한 것이며, 약점은 근거리에서만 동작이 가능하다는 것이다. UWB 시스템 의 구체적 적용 서비스 는 가정 혹은 제한적 공간 안에서 무선으로 PC / 휴대폰 / TV 등의 전자 제품을 연결하는 것이다. 따라서, 기존의 가정 내의 전자 기기의 지저분한 유선은 사라지게 되고, 모든 기기간의 네트워크 연결은 UWB를 기반으로 하여 무선으로 연결할 수 있다. 따라서, 향후의 디지털 홈 네트워크 구현의 UWB 시스템은 핵심 무선 기술로 주목 받고 있다. UWB 시스템 구현의 주요 기

술적 이슈중의 하나가 소형 안테나 개발이다. UWB 응용을 위한 안테나의 경우, 초광대역의 특성을 가져야 한다. 현재까지의 안테나 다른 응용의 경우, 대부분의 연구가 협대역 및 광대역 특성의 안테나 개발에 맞추어져 있었으나, UWB 구현을 위한 초광대역에서 임피던스 정합 을 유지하며, 각 주파수 대역에서의 양호한 방사패턴을 유지하는 안테나 개발이 필요하다 [1-4]. 더군다나, 현재의 무선기기들의 소형화 및 슬림화 추세에 따라서, UWB 대역을 만족하는 소형안테나의 연구 및 개발은 절실하다. 하지만, 기본적인 안테나의 물리적 성질이 협대역 특성을 가지며, 이것을 소형화 하였을 경우 방사효율이 떨어져 사용하기 힘든 경우가 많다. 따라서, 소형화를 구현하면서, 초광대역 특성을 맞추는 안테나의 개발이 UWB 시스템 구현 및 상용화에 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 소형의 사이즈를 가지며, 초광대역 특성을 가지는 안테나를 제안한다. 제안된 안테나의 특징은 소형, 평면형 안테나의 물리적 구조를 가지며, 안테나의 방사패턴이 일방향성을 가지고 있다. 일방향성 안테나에 대한 관심은 점점 증대되고 있다. 평면형 일방향성 안테나의 기본적 모델은 tapered slot antenna (TSA)형태의 vivaldi 안테나가 많이 사용되고 있다 [5-6]. 하지만 TSA 형 안테나의 경우, 고효율을 유지 하면서 안테나의 사이즈를 소형화 하는 것은 불가능하다. 본 논문에서는 안테나의 이득을 높이거나 원하지 않는 공간에서의 안테나 효율의 희생 없이 소형의 초광대역 안테나 특성을 구현하는 안테나를 제안한다. 안테나의 방사 방향을 일방향성으로 구현하여, 사용자가 원하는 방향으로 방사에너지를 집중시킴 으로서, 사이즈 감소와 방사 효율 감소에 의한 안테나 성능 감소를 상쇄 시키는 것이다. 본 논문에서는 기본적인 다이폴 안테나와 루프 안테나의 적절한 결합으로

* 비 회 원 : 서울산업대 NID 융합기술대학원 조교수 · 공박

** 정 회 원 : 인하공업전문대학 전기정보과 교수

*** 비 회 원 : 메사추세츠대 전기컴퓨터공학과 부교수 · 공박

† 교신저자 정회원 : 인하공업전문대학 전기정보과 전임강사 · 공박

E-mail : yongjink@inhac.ac.kr

접수일자 : 2008년 12월 8일

최종완료 : 2009년 1월 14일

일방향성을 가지는 안테나의 구현이 가능하다는 것을 보였다. 본 논문에서는 UWB 대역을 만족 시키는 일방향성 UWB 소형 안테나를 제안한다.

2. 본 론

2.1 다이폴 (dipole) 안테나와 루프(loop) 안테나 결합형 안테나

본 연구의 목적은 소형의 UWB 안테나를 구현하는 것이다. 또한, 일방향성 (Uni-directional) 을 구현함으로써, 사용자가 원하지 않는 방향으로 전파 에너지의 소모를 최소화함과 동시에 소형의 사이즈를 구현하고자 한다. 이러한 방법의 시도는 참고 문헌 [7-8] 에 이론적 배경과 구현 가능성이 제기 되어 있다. 기본 아이디어는 그림 1에 보이듯이 소형의 전기계 안테나 (Dipole type) 의 경우는 매우 capacitive 한 전기적 특성을 보이고, 자기계 안테나의 경우 (Loop type) 의 경우 소형에서 inductive 한 전기적 특성을 보인다. 이러한 두 개의 다른 타입의 안테나를 조합함으로써, 소형의 안테나를 구현 가능하며, 또한 소형 상태의 안테나 impedance 의 특성이 서로 상쇄함으로써, 공진을 이룰 수 있다.

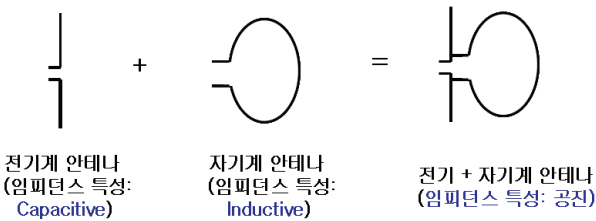


그림 1 제안된 안테나의 임피던스 매칭 개념도

Fig. 1 Impedance matching concept figure of the proposed antenna

또한, 전기계 안테나 와 자기계 안테나가 조합 되었을 경우, 그림2에 보여 지듯이 한방향의 방사 패턴은 서로 상쇄됨으로써, 그림 2와 같이 일방향성을 구현 할 수 있다.

기본적으로는 전기 전자 제품의 circuit board 에 쉽게 장착할 수 있는 평면형 (planar type) 의 안테나 구현을 목적을 한다. 평면형 안테나의 경우, 자기형 안테나의 루프 안테나의 구현이 용이 하지 않으나, slot 형태로 구현하여문제를 해결하고자 한다. 다이폴 안테나의 경우, 저주파 대역에서는 Tapered Slot Antenna (TSA) 로 동작하며, 고주파 대역에서는 다이폴 안테나로 동작하는 것을 특징으로 할 수 있다.

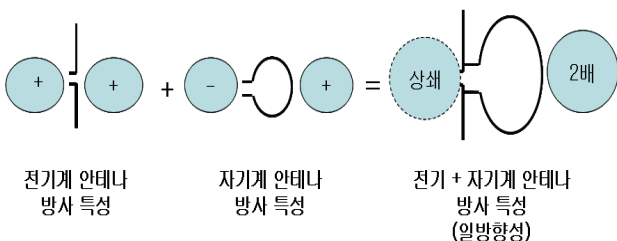


그림 2 제안된 안테나의 방사 개념도

Fig. 2 Radiation concept figure of the proposed antenna

그림 3에는 다이폴 안테나와 루프 안테나의 결합된 안테나의 시뮬레이션 모델을 나타낸다. 다이폴의 길이는 30mm 이며, 이것은 주파수 5GHz에서 $\lambda/2$ 길이가 된다. 또한, 루프의 총 둘레는 55mm 이며, 이것은 주파수 5GHz 에서 0.92λ 가 된다. 전기계와 자기계 안테나의 결합 형태로 일방향성의 방사패턴을 구현하기 위해서는 전기계 안테나와 자기계 안테나의 급전 부분부터 입력신호의 크기와 위상의 적절한 조합을 이루어야 한다. 본 기본적인 다이폴 과 루프 안테나의 조합 시뮬레이션에서는 다이폴 안테나의 길이를 고정해 놓고 루프 안테나의 총 둘레를 조절함으로써 일방향성의 방사패턴을 구현 하였다. 루프 안테나의 총 둘레가 0.92λ 일때 일방향성의 특성을 나타내었다.

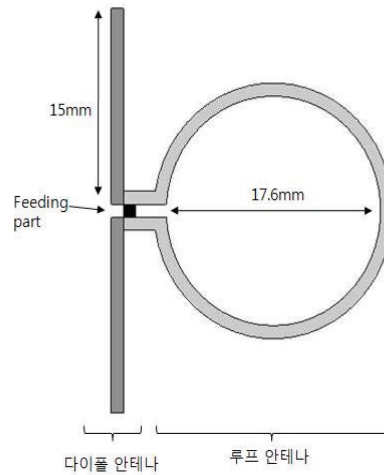


그림 3 기본 다이폴과 루프 결합형 안테나 구조

Fig. 3 Antenna geometry of the dipole and loop combined antenna

그림 4에서는 기본 다이폴 과 루프 결합 안테나의 reflection coefficients(S11) 특성을 보여주고 있다. 최대 공진 주파수는 4.55 GHz 이며, S11=-10dB 기준 impedance bandwidth 는 약 200MHz 이다. 그림 4에 보여 지듯이 5GHz 대역 이후에서 S11 곡선이 올라가다가 다시 -7dB 까지 낮아짐을 알 수 있다. 이러한 패턴의 변화는 다이폴 안테나와 더불어 루프 안테나가 공진하면서 보이는 일반적인 특성이라고 보여진다. 기본 다이폴과 루프 결합형 안테나의 시뮬레이션 방사특성 패턴은 그림 5에 나타나 있다. 그림5에서 보여 지듯이 일방향성의 방사패턴을 보이며, 4.55 GHz 에서는 -y 축 방향으로 최대 약 4.5 dBi 의 이득 값을 보이며 +y 축 방향으로 는 약 -0.3 dBi 의 이득 값을 보인다. 기본 다이폴의 이론적 이득은 1.75 dBi 이며, 본 안테나 모델의 경우, 3dB 가까이 높은 방사이득을 얻을 수 있다. 이는 사용자가 원하지 않는 방향으로의 방사를 제한함으로써, 원하는 방향으로 보다 많은 이득 (이론적 최대 3dB 향상된 이득)을 방사할 수 있음을 나타낸다. 시뮬레이션을 위해서는 3D EM 해석 tool 인 ansoft사의 HFSS가 사용 되었다.

다음 절에서는 이러한 전기계 와 자기계 안테나의 결합형 구조를 초광대역 안테나에 적용한 모델로써, 소형의 일방향성을 가지는 안테나를 제안한다.

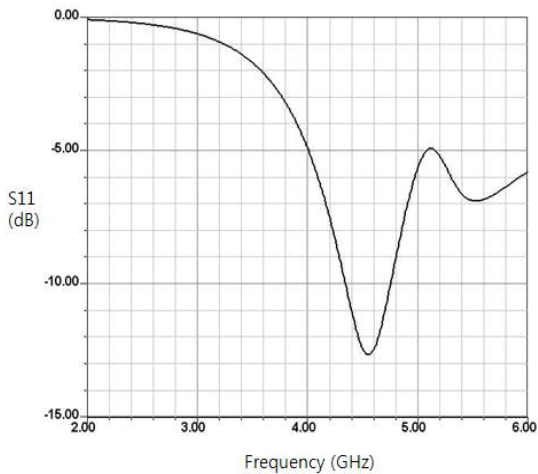


그림 4 S11 시뮬레이션 결과 - 기본 다이폴 과 루프 결합형 안테나
 Fig. 4 S11 simulation result - dipole and loop combined antenna

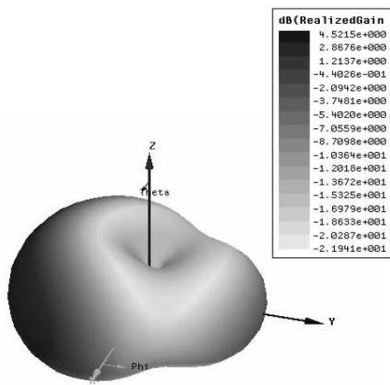


그림 5 방사패턴 시뮬레이션 결과 - 기본 다이폴 과 루프 결합형 안테나 (f = 4.55 GHz)
 Fig. 5 Radiation pattern simulation result - dipole and loop combined antenna (f = 4.55 GHz)

2.2 Proposed 소형 UWB 안테나

그림6은 제안된 소형의 전기-자기계 결합형 UWB 안테나를 나타낸다. 안테나는 Roger’s RO4003 ($\epsilon_r = 3.38$) 기판이 사용되었다. 사용된 기판의 두께는 1mm이다. 안테나의 feed 는 0.611mm의 넓이 (W)를 가지는 coplanar waveguide (CPW)가 사용 되었다. 신호선과 라디에이터들 (radiators) 사이의 거리는 각각 0.2mm 와 0.252mm 이다. 안테나의 뒷면에는 아무런 metal trace가 없는 일평면형 안테나 구조이다. 측정을 위하여 end-launch SMA 커넥터가 사용되었으며 feeding의 위치는 그림6에 나와 있다. 그림 6의 안테나 구조에서 안테나의 세로 길이 (L) 는 31mm 이고, 이것은 주파수 3.1GHz 에서 약 0.32λ 를 의미한다. 또한, 안테나의 가로 길이 (W)는 15mm 이고, 주파수 3.1GHz에서 약 0.155λ 이다. 그림 6에 나와 있듯이 안테나는 y-z 평면상에 놓여있다.

제안된 안테나는 전기계 방사체와 자기계 방사체의 결합형 구조이다. 그림 6의 arm1 과 arm 2는 tapered slot 안테나의 구조를 가지며 전기계 방사체의 역할을 한다. CPW 급전부의 slot 과 loop 는 자기계 안테나의 구조를 구현한 것이다. 자

기계 방사체와 전기계 방사체의 적절한 전류 분포의 결합은 초광대역에서 일방향성의 방사패턴을 보인다는 것은 [7-8]에 나와 있다. 또한, 전기계 안테나의 경우, 제1공진 주파수 아래 주파수에서 capacitive 한 입력 임피던스 특성을 가지며, 자기계 안테나의 경우, 제1공진 주파수 아래 주파수에서 inductive 한 입력 임피던스 특성을 나타낸다. 이러한 두 안테나의 적절한 결합은 결합형 안테나의 제1공진 주파수를 낮출 수 있으며, 이것은 안테나의 사이즈를 줄여 소형의 안테나 구현이 가능하게 된다.

안테나 밑 부분의 hole 과 bottom slot 은 back edge로부터 흘러나오는 leakage current 를 제한하기 위해서 삽입되었다. 본 안테나의 주요 특징은 평면형 안테나 구조에 upper slot 과 lower slot을 삽입함으로써, 안테나 copper 표면의 coupling 효과를 이용하여 [8] 에 제안된 안테나 대비 안테나 사이즈를 10% - 25% 소형화 했다. 안테나 사이즈 저감은 안테나 설계에 아주 중요한 요소로써, 적정한 안테나 이득과 임피던스 특성을 유지하면서 [8]에 제안된 20mm X 30mm 안테나에 대해 25% 소형화를 달성하였다.

또한, 본 논문에서 제안된 안테나는 평면형의 안테나로써, 안테나 입력 임피던스 정합을 위한 via hole 이 필요치 않다. Upper slot 과 lower slot 의 길이 및 위치는 최적화 과정을 통하여 결정되었으며 최적화된 안테나의 dimensions 은 표1에 나와 있다.

표 1 최적화된 안테나 세부 dimensions

Table 1 Optimized antenna dimensions

Parameter	Length (mm)	Parameter	Length (mm)
W	15	L_c	1.28
L	31	W_c	2.53
W_l	6.8	S_1	4.24
L_l	3.1	S_2	9.1
W_h	8.5	D_1	1.74
L_h	5.1	D_2	1.21

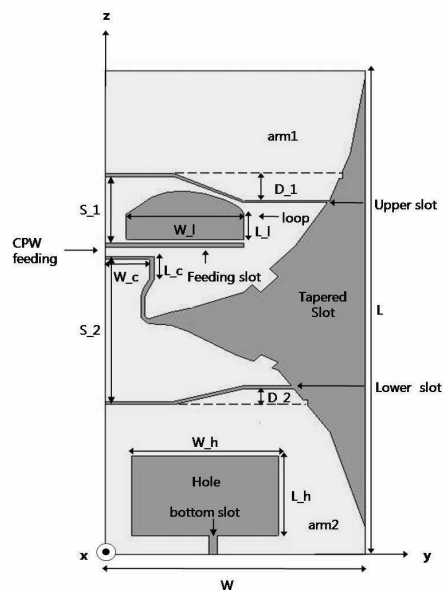


그림 6 제안된 안테나 구조
 Fig. 6 Proposed antenna geometry

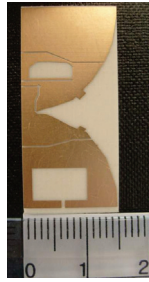


그림 7 측정용으로 제작된 안테나 모델
Fig. 7 Photo of the proto-type antenna model

안테나의 실제 특성 측정을 위하여 프로토타입의 안테나가 제작되었으며, 그 모델은 그림 7에 보여진다.

또한, Voltage Standing Wave Ratio(VSWR)의 측정 결과와 시뮬레이션 결과는 그림 8에 있다. 시뮬레이션 결과의 경우는 $VSWR < 2$ 기준으로 3.15GHz - 11.55GHz 대역을 만족하며, 측정결과와 비교하여 $VSWR < 2.5$ 기준으로 3.5GHz - 10.1 GHz 대역을 만족한다. 시뮬레이션 결과와 측정결과는 대부분의 대역에서는 거의 일치하나, 저주파 대역과 10GHz 이상의 고주파 대역에서는 약간의 차이를 보인다. 이는 소형 안테나에 비해 상대적으로 큰 SMA connector 및 측정 시 connector를 통하여 cable로 흘러가는 누설전류에 의한 영향이다.

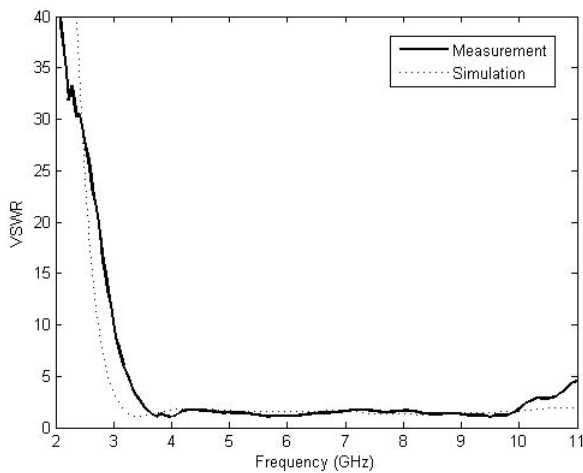
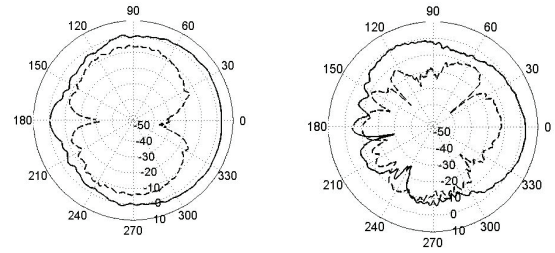


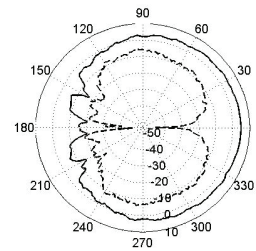
그림 8 측정과 시뮬레이션 입력 임피던스 특성 비교(VSWR)
Fig. 8 Input impedance (VSWR) characteristics comparison (simulation and measurement)

그림 9에는 주파수 4.0 GHz, 6.5 GHz, 8.5 GHz에서의 co-polarization 와 cross-polarization, H-plane (x-y plane) 이득 패턴이 나타나 있다.

그림 9에서 보여 지듯이 안테나의 방사패턴은 일방향성의 패턴이다. 전 UWB 주파수 대역의 주방사 방향 (+y 축)의 이득과 반대 방향 (-y 축)의 이득 비교는 그림 10에 나와 있다. 주방사방향의 이득이 평균 7dB 높으며, 주파수 $f = 8.5$ GHz의 경우 주방사 방향의 이득은 4.9 dBi이며, 반대 방향의 이득은 -15.4 dBi이다.



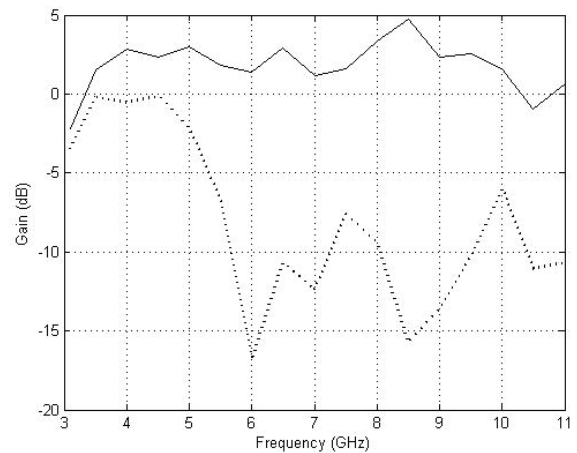
(a) $f = 4.0$ GHz (b) $f = 6.5$ GHz



(c) $f = 8.5$ GHz

— : co-polarization, - - - : cross-polarization

그림 9 H-plane 방사 패턴
Fig. 9 H-plane radiation pattern



— : +y축 방향, - - - : -y축 방향

그림 10 주방사방향(+y축)과 반대방향(-y축)의 이득 값 비교
Fig. 10 Gain value comparison between forward direction (+y axis direction) and backward direction (-y axis direction)

3. 결 론

본 논문에서는 기본 다이폴과 루프 안테나의 결합형 안테나가 일방향성의 방사 특성을 가진다는 것을 보였다. 또한, 일방향성을 가지는 소형의 평면형 초광대역 (UWB) 안테나를 제안하였다. 전기계 방사체와 자기계 방사체의 결합을 통하여 UWB 대역을 만족하는 안테나를 제안했다. 안테나 표면에 슬롯을 삽입함으로써, 안테나 소형화를 달성하였다. 프로토타입으로 제작된 안테나의 크기는 15mm x 31mm를 가진다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하여 보였다.

본 논문에서 소형의 사이즈, 안정적인 일방향성의 방사특성, low profile, 그리고 UWB 대역을 만족하는 전기계와 자기계의 결합형 안테나를 제안하였다.

감사의 글

이 논문은 2007학년도 인하공업전문대학 교내연구비 지원에 의하여 연구 되었음.

참 고 문 헌

- [1] H. G.. Schantz, "Planar elliptical element ultra-wideband dipole antennas," Proc 2002 IEEE Antennas Propag Soc Int Symp 3 (2002), 44-47.
- [2] C. Zhao, "Analysis on the properties of a coupled planar dipole UWB antenna," IEEE Antennas and Wireless Propag Lett 3 (2004), 317 - 320.
- [3] Yi-Wah Chan and Kwai-Man Luk, "small UWB Hybrid Antenna," Microwave Opt Technol Lett 49 (2007), 2157-2159.
- [4] Chang Won Jung and Yongjin Kim, "A Half-Moon Antenna with Tilt Angles for Wideband Applications," Microwave Opt Technol Lett 49 (2007), 2171-2174.
- [5] P. J. Gibson, "The Vivaldi Aerial," Proc 9th Eur Microw Conf (1979), 101-105.
- [6] K. S. Yngvesson, et al, "Endfire tapered slot antennas on dielectric substrate," IEEE Trans Antennas Propag AP-33 (1985), 1392-1400.
- [7] D. -H. Kwon, "On the radiation Q and the gain of crossed electric and magnetic dipole moment," IEEE Trans Antennas Propag 53 (2005), 1681-1687.
- [8] D. -H. Kwon, E. V. Balzovsky, Y. I. Buyanov, Y.Kim, and V. I. Koshelev, "Small printed combined electric-magnetic type ultrawideband antenna with directive radiation characteristics," IEEE Trans Antennas Propag 56 (2008) 237-241.

저 자 소 개



김 용 진 (金 容 進)

1970년 3월 13일생. 1992년 인하대 전기공학과 졸업. 1999년 오하이오주립대학교 전기공학 졸업(석사). 2003년 오하이오주립대학교 전기공학과 대학원 졸업(공학박). 2003. 7 - 2007.3 삼성종합기술원 근무. 2007.3 - 현재 인하공업전문대학 전기정보과 전임강사.

Tel : 032)870-2191

FAX : 032)870-2507

E-mail : yongjink@inhac.ac.kr



정 창 원 (鄭 昌 原)

1969년 10월 3일생. 1997년 광운대학교 전자공학과 졸업. 2001년 남가주대학교(USC) 전자공학 졸업(석사). 2005년 캘리포니아대학교(Irvine) 전자공학과 대학원 졸업(공학박). 2005.11 - 2008.4 삼성종합기술원 근무. 2008.5 - 현재 서울산업대학교 NID 융합기술대학원 조교수.

Tel : 02)970-6803

E-mail : changwoj@snut.ac.kr



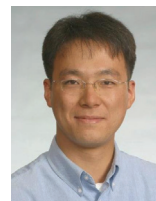
김 영 봉 (金 永 鳳)

1945년 1월 27일생. 1969년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1978년 인하대학교 전기공학과 대학원 졸업 (석사). 1977.03-현재 인하공업전문대학 전기정보과 교수.

Tel : 032)870-2194

FAX : 032)870-2507

E-mail : ybongkim@inhac.ac.kr



권 도 훈 (權 度 熏)

1973년 2월 7일생. 1994년 한국과학기술원 전기공학과 졸업. 1995년 오하이오주립대학교 대학원 졸업(석사). 2000년 오하이오주립대학교 대학원 졸업(공학박). 2000.03-2006.05 삼성종합기술원. 2006.05-2008.07 펜실바니아주립대학교 박사후연구원. 2008.08-현재 메사추세츠대학교 전기컴퓨터공학과 부교수.

E-mail : kwon22@ieee.org