

선박 실내 위치 인식을 위한 테이퍼드 슬롯 안테나 설계 및 구현

최 동 유*, 김 선 웅*, 박 정 진**, 정 민 아***, 이 성 로°

Design and Implementation of Tapered Slot Antenna for Ship's Indoor Location-Aware System

Dong-you Choi*, Sun-woong Kim*, Jung-jin Park**, Min-A Jeong***, Seong Ro Lee°

요 약

본 논문에서는 IR-UWB 통신 시스템의 테이퍼드 슬롯 안테나를 통해 지상 건물의 실내위치인식이 아닌 해양 선박 실내에서의 위치 인식에 적합한 안테나를 제안하였다. 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나는 Ansys사의 HFSS를 사용하여 전산모의 하였으며, 주파수 영역에서의 반사손실 및 정재파비, 방사패턴 등을 분석하였다. 분석한 결과 2.36 GHz ~ 5.51 GHz 대역에서 -10 dB 반사손실 및 $VSWR \leq 2$ 를 만족하였으며, 방사패턴은 모든 대역에 걸쳐 특정한 방향으로 전파에 대한 감도가 높아지는 end-fire 특성을 보였다.

Key Words : IR-UWB, Tapered Slot Antenna, Fractional Bandwidth

ABSTRACT

In this paper, we have proposed a tapered slot antenna for IR-UWB communication system suitable of indoor positioning in the building. The designed tapered slot antenna is designed using Ansys Inc. HFSS and its standing wave ratio, return loss, and radiation pattern is analyzed. In 2.36 GHz ~ 5.51 GHz band, the designed antenna shows satisfactory return loss at -10 dB and meets the requirement of $VSWR \leq 2$. The presented designed showed a higher sensitivity for the end-fire propagation characteristics in a specific direction across all bands of the radiation pattern.

I. 서 론

미국의 연방통신위원회(FCC: Federal Communication Commission)는 UWB 허가 제원은 3.1 ~ 10.6 GHz의 주파수 대역이며, -41.3 dBm/MHz의 잡음강도가 25%의

상대적(fractional) 대역폭, 500 MHz이상의 주파수 대역폭을 만족하도록 하고 있다.

IR-UWB (Impulse-Radio Ultra Wideband)기술은 저 비용, 저 소비전력으로 실내에서 수십 cm 급의 정밀한 위치 인식·추적 기능을 가능하게 함으로써 기

※ 이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2009-0093828)과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0401-14-1009).

• First Author : Chosun University Department of Communication Engineering, dychoi@chosun.ac.kr, 종신회원

° Corresponding Author : Mokpo National University Department of Electronics Engineering, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원

* Chosun University Department of Information and Communication Engineering, woongskim1@naver.com

** Chosun University Department of Information and Communication Engineering, jungjin00@hanmail.net

*** Mokpo National University Department of Computer Engineering, majung@mokpo.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-10-407, Received October 8, 2014; Revised December 4, 2014; Accepted December 4, 2014

존의 카메라 기반의 실내 감시 시스템을 보완할 수 있는 기술로 기대되고 있다¹⁾.

IR-UWB의 응용분야는 크게 단거리 통신(short range communication), 거리 측정(measurement system), 차량 레이더(vehicular radar system) 및 이미징 시스템(imaging system) 등 다양한 응용 분야로 분류할 수 있다. 실제 응용에 따라 실내·외 통신 시스템으로 지표투과 레이더(GPR : Ground penetrating Radar), 벽 투과 레이더(through wall radar), 의료영상 레이더(medical imaging radar), 토목공학용 비파괴 탐상 레이더(non destructive testing radar) 및 차량용 레이더(vehicular radar)등이 있다²⁻⁵⁾.

본 논문에서는 IR-UWB 테이퍼드 슬롯 안테나를 제안하였으며, 지상 건물의 실내위치인식이 아닌 해양 선박에서 실내의 넓은 공간 및 복도와 같은 좁은 공간의 목표물 위치 인식에 적합한 안테나를 제안 하였다. 테이퍼드 슬롯 안테나에서 슬롯 폭의 물리적 길이 변화를 통해 FCC에서 정한 동작 주파수 25% 이상의 상대적 대역폭을 유도하였으며, 사물의 위치 인식에 적합한 지향성 방사를 갖는 end-fire 동작 특성을 유도하였다.

제안한 테이퍼드 슬롯 안테나는 Ansys사의 HFSS (High Frequency Simulator)를 사용하여 전산모의 하였으며, 주파수 영역에서의 반사손실 및 정재파비, 방사패턴 등을 분석하였다. 이를 위해 제 2 장에서는 테이퍼드 슬롯 안테나를 제안하였으며, 제 3 장에서는 테이퍼드 슬롯 안테나에서 슬롯 폭의 물리적 길이의 변화를 통해 안테나 특성을 분석하였다. 제 4 장에서는 결론을 맺는다.

II. 안테나 설계 및 구조

제안된 테이퍼드 슬롯 안테나는 유전체 기판을 포함한 구조로써 그림 1과 같다. 안테나의 유전체 기판은 FR4_epoxy 기판으로 주로 산업용 목적의 단말기, 컴퓨터, 무선 기기 등의 각종 전자기기 장치에 사용되는 하드웨어의 PCB 기판에 주로 사용이 된다. 또한 무선통신 시스템에서의 안테나에도 사용되는데 그 예로는 마이크로스트립 패치 안테나, 테이퍼드 슬롯 안테나, 스파이럴 안테나 등에 사용되며, FR4_epoxy 기판의 상세 정보는 표 1과 같다.

설계된 테이퍼드 슬롯 안테나는 유전체 기판의 한쪽 면에는 안테나 역할을 하는 복사소자가 있고 반대쪽에는 임피던스 변환기를 가진 구조이다^{6,7)}.

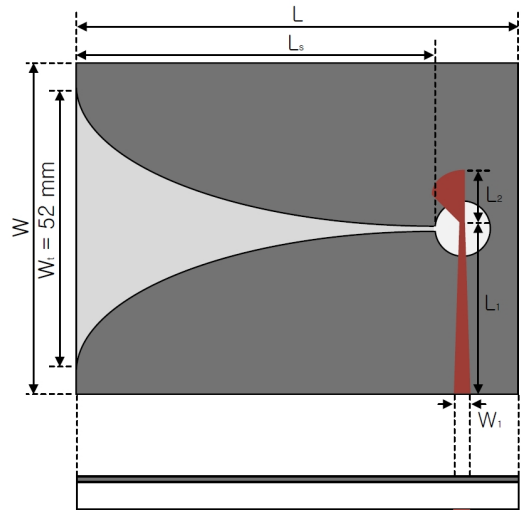


그림 1. 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of tapered slot antenna proposed

표 1. FR4_epoxy 기판의 주요 파라미터
Table 1. Principal parameter of FR4_epoxy

Parameter	FR4
Relative permittivity(ϵ_r)	4.7
Dielectric loss tangent	0.019
Height of the substrate	1.6 mm
Substrate	FR4_epoxy

2.1 테이퍼드 슬롯 안테나 설계

테이퍼드 슬롯 안테나의 개구면 크기는 동작 주파수의 최소 주파수에 의해 결정이 되며, 파장이 주파수에 반비례하므로 최소 주파수에 안테나는 가장 긴 파장의 신호를 전송할 수 있어야 한다. 유전체 기판에서 가장 긴 파장의 신호를 전송하기 위해서는 식 (1)을 만족해야한다.

$$W_t = \frac{\lambda_g}{2} = \frac{c}{2f_{\min} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

식 (1)에서 테이퍼드 슬롯 안테나는 저 주파수에서 공진 안테나로 동작하며, 물리적 크기는 가장 낮은 동작 주파수 f_{\min} 과 안테나 제작에 사용되는 ϵ_r 에 의해 결정된다. 따라서 식 (1)을 이용하여 원하는 대역폭에서 동작시키기 위한 테이퍼드 슬롯 안테나의 전체 크기를 구할 수 있다^{8,9)}. 제안된 테이퍼드 슬롯 안테나는 설계 이론을 기반으로 반복 수정을 통해 최종 제안 되었으며, 표 2와 같다.

표 2. 제안한 안테나의 상세 크기 [mm]
Table 2. Specific size of the antenna proposed [mm]

W	L	W _t	L _t	W ₁	L ₁	L ₂
60	70	52	55	3	28	7.5

제안된 안테나의 FR4_epoxy기판의 크기는 W와 L이며, 방사각이 이루어지는 테이퍼드 슬롯의 개구면 크기는 W_t와 L_t이다. W₁, L₁, L₂는 임피던스 변화기의 폭과 길이이다.

III. 테이퍼드 슬롯 안테나 특성 분석

3.1 물리적 길이 변화를 통한 대역폭 분석

제안된 테이퍼드 슬롯 안테나는 곡선으로 점점 가늘어지는 구조이며, 테이퍼드 슬롯의 물리적 길이 변화를 통해 FCC에서 정한 500 Mhz 이상의 대역폭을 유도하였다.

단일 산란계수 S₁₁과 반사계수 Γ는 단일포트 회로의 안테나 성능에서 소스와 안테나 사이에 생기는 임피던스 부정합으로 인한 반사의 신호양을 의미한다.

정재파비(VSWR: Voltage Standing Wave Ratio) 및 반사손실(return loss)은 다음과 같이 주어진다.

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2)$$

$$Return Loss = -20 \log |\Gamma| \quad (3)$$

최적의 VSWR은 |Γ| = 0 또는 VSWR = 1이며, 통상적인 안테나 임피던스 대역폭은 -10 dB 반사손실 및 VSWR ≤ 2로 정의한다. 이는 입력전력이 약 11%가 반사되는 것을 의미한다^[10]. 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나는 그림 1의 W_t의 L_t의 물리적 길이의 변화를 통해 반사손실 및 정재파비 특성을 분석하였다. W_t의 물리적 길이 변화에 따른 반사손실 및 정재파비 결과는 그림 2와 같다^[11,12].

그림 2의 결과, -10 dB 반사손실 및 VSWR ≤ 2를 기준으로 하였을 때 W_t가 증가할수록 광 대역 특성을 보였다. W_t = 42 mm의 경우 3.7 ~ 4.6 GHz의 대역이 억압되었으며, 2.4 ~ 3.7 GHz 대역에서 1.3 GHz 대역폭을 보였다. W_t = 48 mm일 때 2.3 ~ 5.4 GHz 대역에서

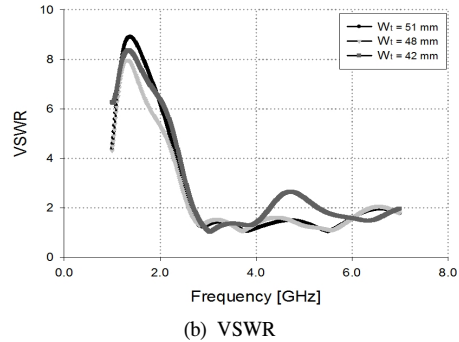
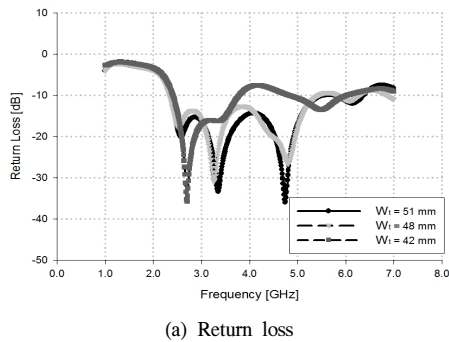


그림 2. 제안한 W_t의 반사손실 및 정재파비 결과
Fig. 2. Return loss and VSWR result of proposed W_t

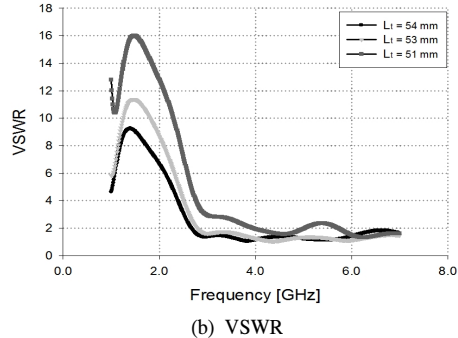
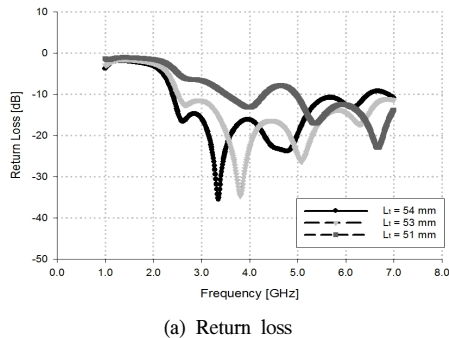


그림 3. 제안한 L_t의 반사손실 및 정재파비 결과
Fig. 3. Return loss and VSWR result of proposed L_t

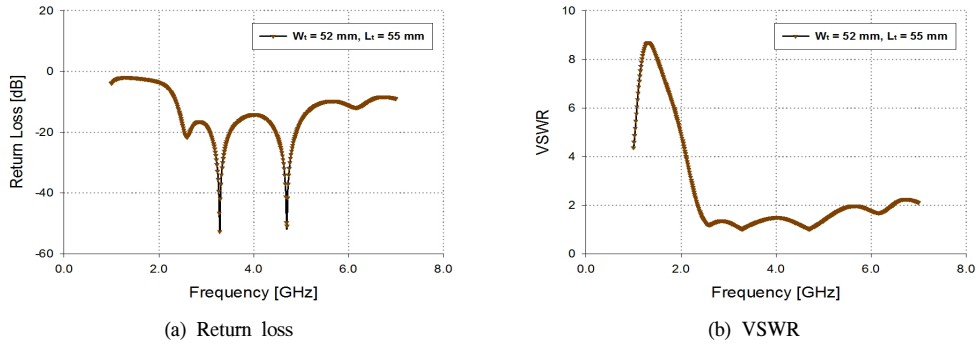


그림 4. 제안한 안테나의 반사손실 및 정재파비 결과
Fig. 4. Return loss and VSWR result of proposed antenna

3.1 GHz의 대역폭을 보였으며, $W_t = 51$ mm의 경우 2.4 ~ 5.6 GHz 대역에서 3.2 GHz의 대역폭을 보였다.

L_t 의 물리적 길이 변화에 따른 반사손실 및 정재파비 분석 결과는 그림 3과 같다.

그림 3의 결과, $L_t = 51$ mm의 경우 4.3 ~ 4.9 GHz 대역에서 억압되었다. $L_t = 53$ mm일 때 2.4 ~ 6.1 GHz 대역에서 3.7 GHz 대역폭을 보였으며, $L_t = 54$ mm의 경우 2.5 ~ 6.2 GHz 대역에서 3.7 GHz 대역폭을 보였다. W_t 및 L_t 가 증가할수록 -10 dB 반사손실 및 $VSWR \leq 2$ 에 더욱 수렴하였으며, 대역폭이 넓어지는 특성을 보였다. 이러한 결과를 통해 W_t 와 L_t 의 최적의 변수를 도출 하였으며, 도출된 파라미터는 $W_t = 52$ mm, $L_t = 55$ mm이다. 최종 제안된 테이퍼드 슬롯 안테나의 반사손실 및 정재파비 분석 결과는 그림 4와 같다.

그림 4의 결과, $W_t = 52$ mm, $L_t = 55$ mm일 때 2.3 ~ 6.4 GHz 대역에서 4.1 GHz 대역폭을 보였다. 물리적 길이 변화에 따른 분석과 결과와 최종 제안된 분석 결과의 대역폭은 크게 차이가 없다. 하지만 피크 구간의 2.6 GHz와 3.3 GHz 대역의 반사손실 및 정재파비 결과는 각각 -52.88 dB, -56.33 dB, 1.01, 1.00이며, 이는 안테나의 부정합으로 인한 반사가 적음을 의미한다.

3.2 테이퍼드 슬롯 안테나 방사패턴 분석

최종 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나의 E-평면(XZ plane)과 H-평면(XY plane)의 3 dB 빔폭 및 방사패턴 결과는 그림 5와 같다.

그림 5의 결과, E-평면과 H-평면에서의 3 dB 빔폭은 3 GHz 대역에서 130°, 77°이며, 4 GHz 대역에서 85°, 77°, 5 GHz 대역에서 78°, 65°이다. 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나의 3 dB 빔폭은 특정한 방향에서 전파에 대한 감도가 높아지는 지향성의 end-fire 동작 특성을 보였다.

최종 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나의 이득은 그림

6, 표 3과 같다.

그림 6 및 표 3의 결과, 제안한 안테나의 이득 결과는 3 GHz 대역에서 5.18 dBi, 4 GHz 대역에서 5.37 dBi, 5 GHz 대역에서 7.05 dBi로 주파수가 증가할수록 높은 이득을 보였다.

제안된 안테나의 종합분석 결과는 표 4와 같다.

표 4의 결과, 2.3 ~ 6.4 GHz 대역에서 -10 dB 반사손

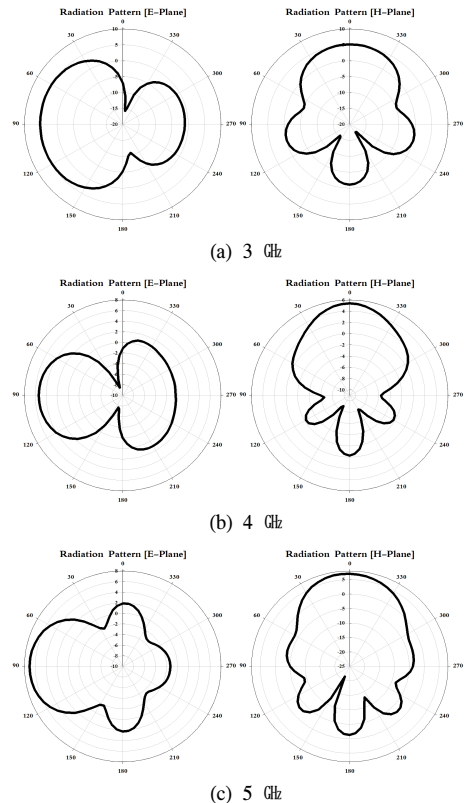


그림 5. 제안한 안테나의 방사패턴 결과
Fig. 5. Radiation pattern of proposed antenna

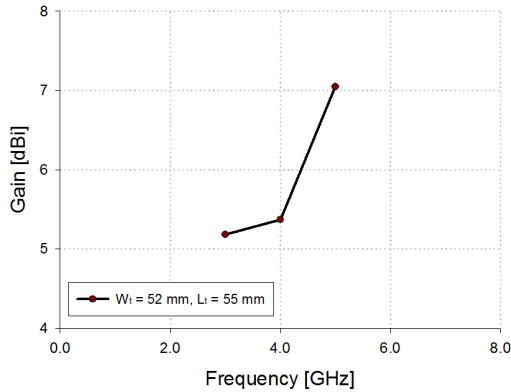


그림 6. 제안한 안테나의 이득 결과
Fig. 6. Gain result of proposed antenna

표 3. 제안한 안테나의 이득
Table 3. Gain of the proposed antenna

Frequency	3 GHz	4 GHz	5 GHz
Simulation result	5.18 dBi	5.37 dBi	7.05 dBi

표 4. 종합결과
Table 4. Overall result

Bandwidth	Antenna		
	-10 dB return loss & VSWR ≤ 2	2.3 ~ 6.4 GHz (4.1 GHz)	
3 dB beam with	3 GHz	E	130
		H	77
	4 GHz	E	85
		H	77
	5 GHz	E	75
		H	65
Antenna gain	3 GHz	5.18 dBi	
	4 GHz	5.37 dBi	
	5 GHz	7.05 dBi	

실 및 $VSWR \leq 2$ 를 보여 4.1 GHz 대역폭을 보였다. 안테나의 3 dB 빔폭을 분석한 결과 특정 방향으로 감도가 높아지는 지향성의 특성을 보였으며, 3 GHz에서 5.18 dBi, 4 GHz에서 5.37 dBi, 5 GHz에서 7.05 dBi의 이득을 보였다. 제안된 테이퍼드 슬롯 안테나를 종합한 결과 FCC에서 정한 25%의 상대적 대역폭과 500 MHz 이상의 대역폭의 기준을 만족하였으며, 지향성의 패턴은 실내 위치인식에 적합함을 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 해양 선박 실내 위치 인식을 위한 IR-UWB통신에서의 테이퍼드 슬롯 안테나를 제안하

였다. 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나는 Ansys사의 HFSS를 사용하여 전산모의 하였으며, 안테나의 W_1 및 L_1 의 물리적 길이의 변화를 통하여 광대역 특성을 유도하였다. 주파수 영역에서의 반사손실, 정재파비를 분석한 결과 2.36 ~ 5.51 GHz 대역에서 -10 dB 반사손실 및 $VSWR \leq 2$ 를 만족하여 4.1 GHz 대역폭을 보였다. 이는 FCC에서 정한 중심 주파수 500 MHz 및 상대적 대역폭 25% 이상을 만족한 결과이다. 방사패턴 분석 결과는 E-평면(XZ plane)과 H-평면(XY plane)에서 3 dB 빔폭은 3 GHz 대역에서 130°, 77°이며, 4 GHz 대역에서 85°, 77°, 5 GHz 대역에서 78°, 65°이다. 안테나 이득은 3 GHz 대역에서 5.18 dBi, 4 GHz 대역에서 5.37 dBi, 5 GHz 대역에서 7.05 dBi로 주파수가 증가할수록 높은 이득을 보였다. 방사패턴을 분석한 결과 특정한 방향에서의 감도가 높아지는 지향성의 end-fire 특성을 보여 실내에서의 위치인식에 적합함을 보였다.

References

- [1] J. Igor Immoreev, "Ultra-wideband systems-features and ways of development," 2004 2nd Int. Workshop Ultrawideband and UltraShort Impulse Signals, pp. 19-22, Sevastopol, Ukraine, Sept. 2004.
- [2] Notice of inquiry in the Matter of Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission System, FCC Doc. No. 98-208/ET No. 98-153.
- [3] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Norwood, MA, 2001.
- [4] X. Deng, Q. Wang, and G. Victor, "Structural health monitoring using active sensors and wavelet transform," in *Proc. SPIE 3668, Smart Structures and Materials 1999: Smart Structures and Integrated Systems*, vol. 3668, pp. 363-370, Newport Beach, Jun. 1999.
- [5] J. D. McKinney, D. Peroulis, A. M. Weiner, "Time-domain measurement of the frequency-dependent delay of broadband antennas," *IEEE Trans. Ant. Propaga.*, vol. 56, no. 1, pp. 39-47, Jan. 2008.
- [6] S. R. Lee, M. A. Jeong, Y. G. Kim, and S. W. Min, "Proposal of USN configuration and routing scheme inside a ship," *J. KICS*, vol. 39C, no. 08, pp. 660-666, Aug. 2014.

- [7] K. J. Jeon, B. H. Ko, S. C. Myung, S. R. Lee, and K. S. Kim, "Protograph-based block LDPC code design for marine satellite communications," *J. KICS*, vol. 39C, no. 7, pp. 515-520, Jul. 2014.
- [8] K, H. Lee, E. H. Kwak, and B. G. Kim, "Effect of substrate thickness, perforation position and size on the bandwidth and radiation characteristics of a proximity coupled perforated microstrip patch antenna," *J. KICS*, vol. 39A, no. 6, pp. 301-321, Jun. 2014.
- [9] K. Y. Kim, "Design of UWB beam scanning antenna systems based on time domain analysis," Ph.D. Dissertation, Electronic Engineering, Kwangwoon Univ., Dec. 2013.
- [10] K. Chang, *RF and Microwave Wireless System*, NY: WILEY, pp. 74-75, 2000.
- [11] S. Shrestha, S. K. Noh, and D. Y. Choi, "Comparative study of antenna design for RF energy harvesting," *Int. J. Ant. Propaga.*, vol. 2013, pp. 1-10, 2013.
- [12] D. Y. Choi, Sika Shrestha, J. J. Park, and S. N. Noh, "Design and performance of an efficient rectenna incorporating a fractal structure," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 2014, no. 27, pp. 1-19, Jul. 2014.

최 동 유 (Dong-you Choi)



1999년 2월 : 조선대학교 전자공학과 학사
 2001년 2월 : 조선대학교 전자공학과 석사
 2004년 2월 : 조선대학교 전자공학과 박사
 2007년~현재 : 조선대학교 정보통신공학과 부교수

<관심분야> 에너지 하베스팅, 전파잡음, 마이크로파 강우감쇠

김 선 웅 (Sun-woong Kim)



2012년 2월 : 조선대학교 정보통신공학과 학사
 2014년 2월 : 조선대학교 정보통신공학과 석사
 2014년 3월~현재 : 조선대학교 정보통신공학과 박사과정
 <관심분야> 에너지 하베스팅, 렉테나, UWB 안테나

박 정 진 (Jung-jin Park)



1999년 2월 : 조선대학교 전자공학과 졸업
 2003년 8월 : 조선대학교 전자공학과 석사
 2013년 2월 : 조선대학교 정보통신공학과 박사
 <관심분야> 에너지 하베스팅, 전파전파, UWB 안테나

정 민 아 (Min-A Jeong)



1992년 2월 : 전남대학교 이학사
 1994년 2월 : 전남대학교 이학석사
 2002년 2월 : 전남대학교 이학박사
 2002년 4월~2003년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 Post-Doc

2003년 4월~2005년 2월 : 전남대학교 전자통신기술연구소 Post-Doc

2011년 9월~2013년 2월 : Cleveland Clinic Research
 2005년 3월~현재 : 목포대학교 컴퓨터공학과 부교수
 <관심분야> 데이터베이스데이터마이닝, 생체인식시스템, 무선통신응용분야, 임베디드시스템

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월: 고려대학교 전자공
학과 공학사

1990년 2월: 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 공학석사

1996년 8월: 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 공학박사

1997년 9월~현재: 목포대학교 공
과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스
템, USN/텔레미틱스응용분야, 임베디드시스템