

## 지향성 특성을 갖는 UWB 용 테이퍼드 슬롯 안테나 분석

김선웅<sup>1</sup> · 최동유<sup>2\*</sup>

### Analysis of Tapered Slot Antenna for UWB with Directivity Characteristic

Sun-Woong Kim<sup>1</sup> · Dong-You Choi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Information and Communication Engineering, Graduate School of Chosun University, 309 Pilmun-daero Dong-gu, Gwangju 61452, Korea

<sup>2\*</sup>Department of Information and Communication Engineering, Chosun University, 309 Pilmun-daero Dong-gu, Gwangju 61452, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 UWB 통신 시스템에 적합한 안테나를 제안하였으며, 특정 구간에서 위치 인식에 적합한 특성을 만족하였다. 제안된 테이퍼드 슬롯 안테나는 Ansys사의 HFSS 시뮬레이션 툴을 통하여 최적화 설계되었으며, 유전율 4.5, 손실 탄젠트 0.0035, 두께 1.62 mm를 갖는 Taconic TRF-45 기판으로 제작되었다. 테이퍼드 슬롯 안테나는 주파수 영역에서의 반사계수 및 정재파비, 방사패턴 등을 분석하였다. 제작된 테이퍼드 슬롯 안테나의 임피던스 대역폭은 3.8 ~ 8.9 GHz 대역에서 5.1 GHz 대역폭을 보였으며, 안테나의 E-평면과 H-평면에서 방사패턴은 특정 구간에서 실내·외 위치 인식에 적합한 지향성의 특성을 만족하였다. 안테나 이득은 시뮬레이션에서 6 GHz 대역에서 7.4 dBi이며, 측정 결과는 6 GHz 대역에서 7.6 dBi의 최대 이득을 보인다. 제안된 테이퍼드 슬롯 안테나는 시뮬레이션과 측정 결과는 다소 차이가 있지만 UWB 통신 시스템의 규정을 만족하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, we propose the antenna to appropriate for a UWB communication system, and it meets characteristics for location recognition in predetermined range. Proposed tapered slot antenna was designed through the HFSS simulation tool of Ansys. Inc., it was produced by Taconic TRF-45 based on dielectric constant of 4.5, loss tangent 0.0035, thickness 1.62mm. The tapered slot antenna is analyzed the standing wave ratio and reflection coefficient, radiation pattern in the frequency domain. The impedance bandwidth range of the produced tapered slot antenna is from 3.8 ~ 8.9GHz to 5.1GHz, E-plane and H-plane radiation pattern meet directional antenna characteristics for indoor and outdoor location recognition in predetermined range. The antenna gain is 7.4 dBi(6GHz) in the simulation, the result of measurement demonstrated 7.4 dBi(6 GHz) of antenna maximum gain. Proposed tapered slot antenna meets UWB communication system but simulated and measured results were slightly different.

**키워드** : FCC, 초 광대역, 테이퍼드 슬롯 안테나, 지향성

**Key word** : FCC, Ultra wideband, Tapered slot antenna, Directivity

Received 14 January 2016, Revised 10 March 2016, Accepted 24 March 2016

\* Corresponding Author Dong-You Choi(E-mail:dychoi@chosun.ac.kr, Tel:+82-62-230-7060)

Department of Information and Communication Engineering, Chosun University, 309 Pilmun-daero Dong-gu, Gwangju 61452, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.4.691>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

최근 무선 통신 시스템의 급속한 발달로 산업 · 의료 · 과학 및 기타 여러 목적으로 다양한 무선 통신 시스템 기술에 대한 관심 및 연구가 증가하고 있다. 그 중에서도 UWB (Ultra Wide Band) 무선 통신 기술은 사용자들의 요구에 만족하고 있으며, UWB 무선 통신 기술은 고속 데이터 정보 전송을 위한 가장 유망한 해결책이 되고 있다[1,2].

미국의 연방 통신 위원회(FCC: Federal Communication Commission)는 UWB 허가 제원은 3.1 ~ 10.6 GHz의 주파수 대역이며, -41.3 dBm/MHz의 잡음강도와 25%의 상대적(fractional) 대역폭, 500 MHz 이상의 주파수 대역폭을 만족하도록 하고 있다[3].

UWB 시스템은 주파수 대역이 광대역이므로 광대역 특성을 갖는 안테나를 설계해야 한다. 광대역 특성은 일반적으로 안테나의 빔폭이나 이득에 의해서 정의될 수 있지만 안테나의 동작 특성 면에서 본다면 주파수 대역에 의해서 정의될 수 있다[4]. UWB 안테나는 광대역 특성뿐만 아니라 주파수에 따라 일정한 이득과 일정한 이득 변화율을 통해서 신호의 왜곡을 줄여야 한다 [5]. 또한, UWB 안테나는 넓은 복사패턴이 요구된다. 안테나의 입력 단에서 반사손실이 -10 dB 이하가 되도록 임피던스 정합이 필요하다[6,7].

이러한 UWB 안테나의 광대역 특성을 갖는 안테나는 다양한 구조를 갖고 있으며, 구조에는 나비 넥타이 (bow-tie) 구조 안테나, 대수주기 구조 안테나, 스파이럴 구조 안테나, 프렉탈 구조 안테나, 테이퍼드 슬롯 안테나 등 무선 시스템에 따라 다양한 구조를 갖는다[2].

본 논문에서 제안된 안테나는 UWB 통신 시스템의 대역을 만족하며, 특정 구간에서 위치인식에 적합한 안테나를 설계 및 분석하였다.

제안된 테이퍼드 슬롯 안테나는 3.8 ~ 8.9 GHz 대역에서 5.1 GHz의 넓은 대역폭 특성을 만족하였으며, 위치인식에 적합한 지향성의 방사패턴을 보였다.

이를 위해 제 2 장에서는 UWB 통신 시스템에서의 위치인식에 적합한 테이퍼드 슬롯 안테나를 설계하였으며, 제 3 장에서는 이를 입증하기 위해 임피던스 대역폭 및 방사패턴을 분석하였다. 제 4 장에서는 결론을 맺는다.

## II. 안테나 설계 및 구조

테이퍼드 슬롯 안테나는 정밀도가 낮은 치수공차로 인해 제작이 간단하며, 무한한 대역폭을 갖는다. 하지만 방사체의 물리적 크기와 다양한 설계 기술을 통해 원하는 대역폭을 유도할 수 있다[8].

제안된 테이퍼드 슬롯 안테나는 Ansys사의 HFSS (High Frequency Structure Simulation) 툴을 이용하여 안테나 설계 및 시뮬레이션을 하였다. 설계된 테이퍼드 슬롯 안테나는 유전율 4.5, 손실 탄젠트 0.0035, 두께 1.62 mm를 갖는 Taconic TRF-45 기판에 제작되었다. 안테나의 슬롯은 선형적으로 점점 가늘어지며, 안테나의 구조 및 상세 파라미터는 그림 1, 표 1과 같다[9,10].

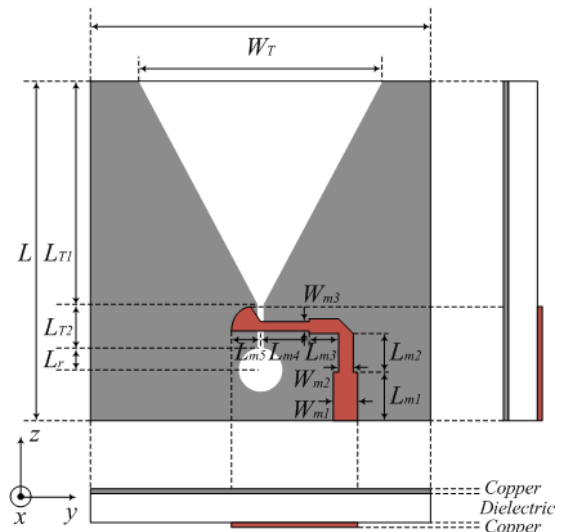


Fig. 1 Structure of the proposed tapered slot antenna

Table. 1 Antenna design parameter [mm]

L	50	$L_{T1}$	30
$L_{T2}$	4.6	$L_r$	5.5
$L_{m1}$	5	$L_{m2}$	10
$L_{m3}$	8	$L_{m4}$	7
$L_{m5}$	4.5	W	50
$W_T$	24	$W_{m1}$	2.8
$W_{m2}$	2	$W_{m3}$	1

테이퍼드 슬롯 안테나의 개구면 크기는 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 만족하여야 한다.

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

여기서  $\lambda_g$ 는 관내 파장(m),  $c$ 는 빛의 속도(m/s),  $\epsilon_r$ 은 유전상수이다. 식 (1)에서 테이퍼드 슬롯 안테나는 저주파수에서 공진 안테나로 동작하며, 물리적 크기는 가장 낮은 주파수  $f_{\min}$ 과 안테나 제작에 사용되는  $\epsilon_r$ 에 의해 결정된다[11,12]. 따라서 실제 제작된 테이퍼드 슬롯 안테나는 그림 2와 같다.

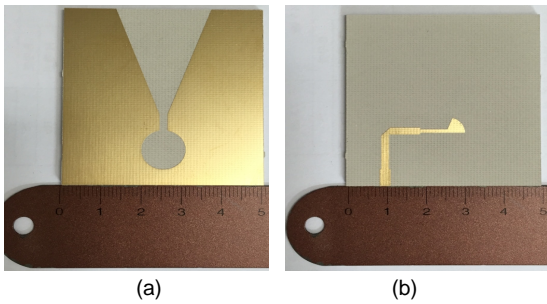


Fig. 2 Structure of the manufactured tapered slot antenna (a) top (b) bottom

### III. 안테나 시뮬레이션 및 측정 분석

#### 3.1. 안테나 대역폭 분석

반사계수(reflection coefficient) 는 단일포트 회로의 안테나 성능에서 소스와 안테나 사이에 생기는 임피던스 부정합으로 인한 반사의 신호양을 의미한다. 최적의 반사계수는 0 이며, 통상적인 안테나의 임피던스 대역폭은  $-10 \text{ dB } S_{11}$  및  $VSWR \leq 2$ 로 정의한다.

제작된 테이퍼드 슬롯 안테나의 임피던스 대역폭 시뮬레이션 및 측정 결과는 그림 3에 도시하였다.

그림 3의 시뮬레이션 결과, 임피던스 대역폭은 3.85 ~ 11.5 GHz 대역에서  $-10 \text{ dB } S_{11}$  및  $VSWR \leq 2$ 를 만족하여 7.65 GHz의 대역폭을 보였다.

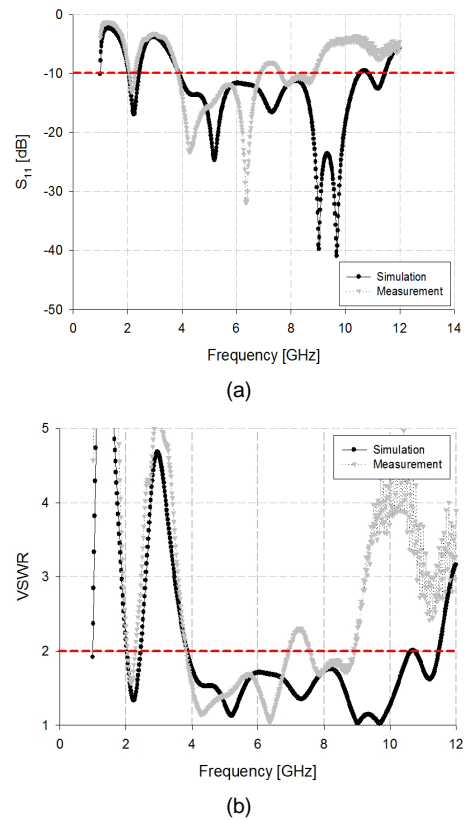


Fig. 3 Results of impedance bandwidth (a)  $S_{11}$  (b) VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

측정 결과의 임피던스 대역폭은 3.8 ~ 8.9 GHz 대역에서  $-10 \text{ dB } S_{11}$  및  $VSWR \leq 2$ 를 만족하여 5.1 GHz의 대역폭을 보였다.

#### 3.2. 안테나 방사패턴 및 반전력 빔폭 분석

실내·외 위치 인식에 적합한 방사 패턴(radiation pattern)은 특정 방향으로 전파를 얼마나 많이 집중해 방사할 수 있는가 하는 점이다.

안테나의 이러한 특성을 지향성(directionality)이라 하며, 4 GHz, 5 GHz, 6 GHz, 7 GHz, 8 GHz 대역에서의 3차원 방사패턴 시뮬레이션 분석은 그림 4에 도시하였다.

그림 4의 3차원 방사패턴 시뮬레이션 결과, 4 GHz 대역에는 5.3 dBi로 낮은 이득을 보이다가 주파수 대역이 증가하면서 6 GHz 대역에서 7.4 dBi의 가장 높은 이득을 보인다. 또한 모든 대역에서 z축으로 최대 지향성을 보인다.

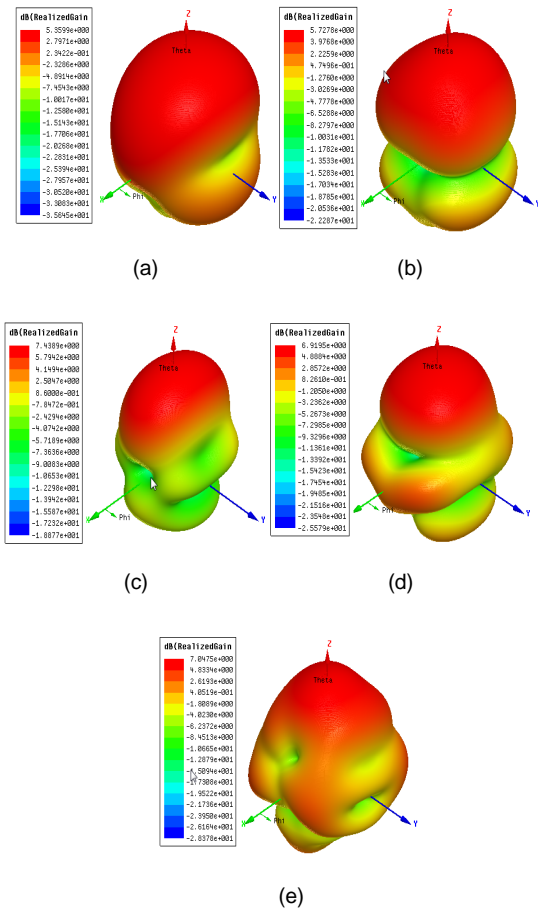


Fig. 4 3D radiation pattern simulation analysis of the proposed tapered slot antenna (a) 4GHz (b) 5GHz (c) 6GHz (d) 7GHz (e) 8GHz

3차원 방사패턴 시뮬레이션 분석을 통해 E-평면 (YZ-plane)과 H-평면(XZ-plane)에서의 방사패턴 시뮬레이션 및 측정 분석은 그림 5에 도시하였다.

그림 5의 시뮬레이션 및 측정 결과, E-평면과 H-평면은 특정 방향에서 실내 외 위치인식에 적합한 지형성 특성을 보인다.

E-평면과 H-평면에서 반 전력 빔폭(half-power beamwidth)을 분석하였으며, 시뮬레이션 및 측정 분석은 표 2와 같다. 표 2의 시뮬레이션 및 측정 분석 결과, 반 전력 빔폭은 최대 치에서 반이 되는 두 방향 사이의 각으로 E-평면과 H-평면에서 적절한 반 전력 빔폭을 보이고 있다.

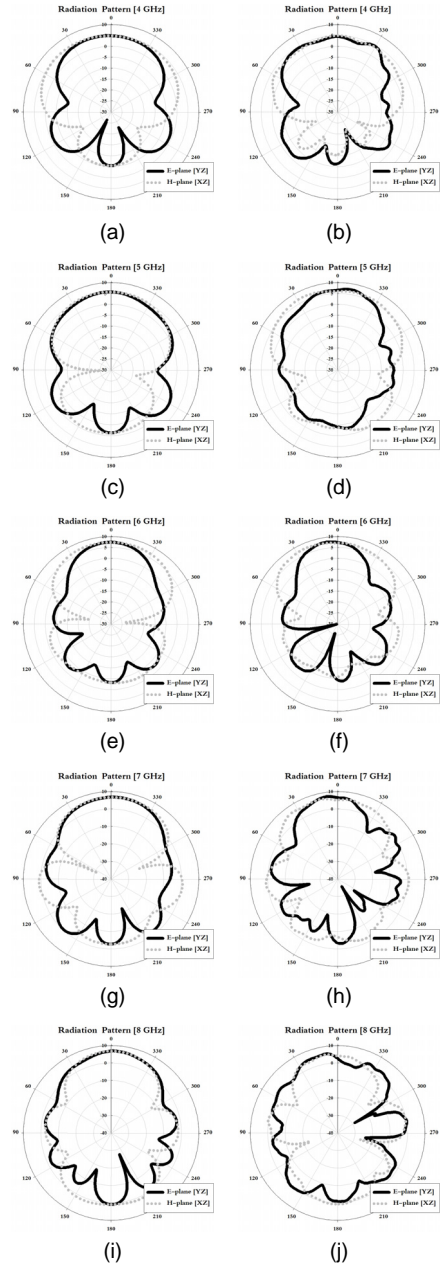


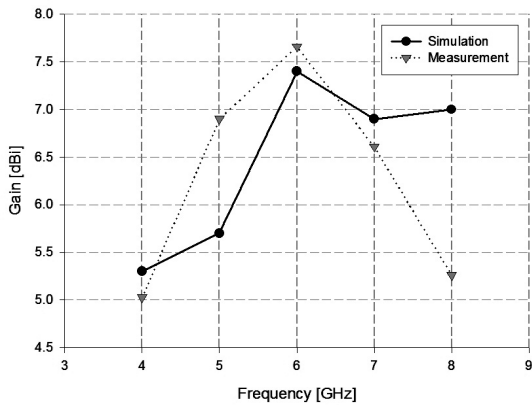
Fig. 5 Radiation pattern analysis of the proposed tapered slot antenna (a) 4GHz (Simulation result) (b) 4GHz (Measurement result) (c) 5GHz (Simulation result) (d) 5GHz (Measurement result) (e) 6GHz (Simulation result) (f) 6GHz (Measurement result) (g) 7GHz (Simulation result) (h) 7GHz (Measurement result) (i) 8GHz (Simulation result) (j) 8GHz (Measurement result)

**Table. 2** Half-Power beamwidth analysis

		Simulation	Measurement
4 GHz	E-plane	95°	94°
	H-plane	150°	131°
5 GHz	E-plane	90°	60°
	H-plane	115°	125°
6 GHz	E-plane	50°	45°
	H-plane	95°	95°
7 GHz	E-plane	70°	40°
	H-plane	85°	80°
8 GHz	E-plane	55°	35°
	H-plane	60°	50°

3.3. 안테나 이득 분석

제안된 테이퍼드 슬롯 안테나의 이득을 분석하였으며, 시뮬레이션 및 측정 분석은 그림 6과 같다.



**Fig. 6** Antenna gain analysis

그림 6의 시뮬레이션 및 측정 결과, 각각의 대역에서 시뮬레이션 결과는 4 GHz 대역에서 5.3 dBi, 5 GHz 대역에서 5.7 dBi, 6 GHz 대역에서 7.4 dBi, 7 GHz 대역에서 6.9 dBi, 8 GHz 대역에서 7.0 dBi이다. 측정 결과는 4 GHz 대역에서 5.0 dBi, 5 GHz 대역에서 6.9 dBi, 6 GHz 대역에서 7.6 dBi, 7 GHz 대역에서 6.6 dBi, 8 GHz 대역에서 5.26 dBi이다

3.4. 안테나 시뮬레이션 및 측정 비교 분석

제안된 테이퍼드 슬롯 안테나의 시뮬레이션 및 측정 결과를 비교 분석하였으며, 표 3과 같다.

**Table. 3** Comprehensive analysis results

		simulation	measurement		
impedance bandwidth					
-10 dB S <sub>11</sub> & VSWR ≤ 2		3.85 ~ 11.5 GHz (7.65 GHz)	3.8 ~ 8.9 GHz (5.1 GHz)		
half-power beamwidth					
		E	H	E	H
4 GHz		95°	150°	94°	131°
5 GHz		90°	115°	60°	125°
6 GHz		50°	95°	45°	95°
7 GHz		70°	85°	40°	80°
8 GHz		55°	60°	35°	50°
antenna gain					
4 GHz		5.3 dBi		5.0 dBi	
5 GHz		5.7 dBi		6.9 dBi	
6 GHz		7.4 dBi		7.6 dBi	
7 GHz		6.9 dBi		6.6 dBi	
8 GHz		7.0 dBi		5.26 dBi	

표 3의 종합 분석 결과, 안테나 임피던스 대역폭은 시뮬레이션 결과에 비해 측정 결과는 약 2.55 GHz의 대역폭이 차이가 있었으며, 이는 안테나의 제작과정간의 오차 및 커넥터간의 손실로 예측된다. 또한 적절한 반 전력 빔폭과 함께 안테나 이득은 6 GHz 대역에서 시뮬레이션 분석은 7.4 dBi, 측정 분석은 7.6 dBi의 가장 높은 이득을 보인다.

IV. 결론

본 논문은 초 광대역 및 위치 인식에 적합한 지향성의 테이퍼드 슬롯 안테나를 설계 및 제안하였다. 제안된 테이퍼드 슬롯 안테나는 Ansys사의 HFSS 툴을 통하여 설계 및 시뮬레이션 분석 되었으며, 유전율 4.5, 손실 탄젠트 0.0035, 두께 1.62 mm를 갖는 Taconic TRF-45 기판에 제작되었다.

제작된 안테나는 -10 dB S<sub>11</sub> 및 VSWR ≤ 2를 만족하여 3.8 ~ 8.9 GHz 대역에서 5.1 GHz 대역폭을 보인다. 안테나의 E-평면과 H-평면에서 방사패턴은 지향성의 특성을 만족하였으며, 안테나 이득은 최대 7.6 dBi의 이득을 보인다.

따라서 제안된 테이퍼드 슬롯 안테나는 UWB 시스템의 넓은 대역폭을 만족하며, 특정 구간에서의 실내외 위치인식에 적합한 특성을 보인다.

### ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by research fund from Chosun University, 2016

### REFERENCES

- [ 1 ] B. S. Kim, "Design and implementation of UWB tapered slot antenna," M. S. dissertation, Department of IT Convergence Engineering, Chosun Univ., Gwangju, 2015.
- [ 2 ] J. J. Kim, S. W. Kim, J. J. Park, M. A. Jeong, K. W. Park, and D. Y. Choi, "Design and analysis of UWB circular patch antenna using microstrip line", *THE JOURNAL OF KOREA INFORMATION AND COMMUNICATIONS SOCIETY*, vol. 40, no. 5, pp.938-943, May 2015.
- [ 3 ] D. Y. Choi, S. W. Kim, J. J. Park, M. A. Jeong, and S. R. Lee, "Design and implementation of tapered slot antenna for ship's indoor location-aware system," *THE JOURNAL OF KOREA INFORMATION AND COMMUNICATIONS SOCIETY*, vol. 39C, no. 12, pp.1307- 1313, Dec. 2014.
- [ 4 ] Saman Jafarlou, Maher Bakri-Kassem, Mohammad Fakharzadeh, Zahra Sotoodeh, and Safieddin Safavi-Naeini, "A Wideband CPW-Fed Planar Dielectric Tapered Antenna With Parasitic Elements for 60-GHz Integrated Application," *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, vol. 62, no. 12, pp.6010-6018, Dec. 2014.
- [ 5 ] Ya-Wei Wang, Guang-Ming Wang, and Bin-Feng Zong, "Directivity Improvement of Vivaldi Antenna Using Double-Slot Structure," *IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp.1380-1383, Dec. 2013.
- [ 6 ] 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, Jan. 2013.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] Shan Hong He, Wei Shan, Chong Fan, Zhi Chao Mo, and Jun Hua Chen, "An Improved Vivaldi Antenna for Vehicular Wireless Communication Systems," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp.1505-1508, 2014.
- [ 9 ] Lei Chen, Zhenya Lei, Rui Yang, Jun Fan, and Xiaowei Shi, "A Broadband Artificial Material for Gain Enhancement of Antipodal Tapered Slot Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 1, pp.395-400, Jan. 2015.
- [10] Alexandre M. De Oliveira, Marcelo B. Perotoni, Sergio T. Kofuji, and João F. Justo, "A Palm Tree Antipodal Vivaldi Antenna With Exponential Slot Edge for Improved Radiation Pattern," *IEEE Antenna and wireless propagation letters*, vol. 14, pp.1334-1337, 2015.
- [11] Y. M. Koh, "Development of the Beam-scanning UWB array antenna system for time-domain signal transmission," Ph. D. dissertation, Department of Electronic Engineering, Kwangwoon Univ., Seoul, 2012.
- [12] J. M. Kim, "Time-domain design of IR-UWB antenna for optimum impulse radio radiation," Ph. D. dissertation, Department of Electronic Engineering, Kwangwoon Univ., Seoul, 2012.



김선웅 (Sun-Woong Kim)

2012년 조선대학교 정보통신공학과 학사 졸업  
2014년 조선대학교 정보통신공학과 석사 졸업  
2014년 ~ 현재 조선대학교 정보통신공학과 박사 재학 중  
※관심분야 : UWB Radar, 안테나 설계



**최동유 (Dong-You Choi)**

1999년 조선대학교 전자공학과 학사 졸업

2001년 조선대학교 전자공학과 석사 졸업

2004년 조선대학교 전자공학과 박사 졸업

2007년 ~ 현재 조선대학교 정보통신공학과 부교수

※관심분야 : 통신 및 전파전파, 에너지 하베스팅, 전파잡음, 마이크로파 강우감쇠