

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.1.215>

IIBC 2016-1-29

이중 슬리브를 갖는 직사각형 평면 모노폴 안테나 설계

Design of Rectangular Planar Monopole Antenna with a Double Sleeve

강상원*, 장대순**

Sang-Won Kang*, Tae-Soon Chang**

요약 본 논문에서는 직사각형 평면 모노폴 구조에 이중 슬리브를 추가하여 광대역화를 이룬 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나의 임피던스 매칭을 위해 두 개의 갭 슬리브와 외각 슬리브를 추가하여 이중 슬리브 구조로 안테나 성능을 개선하였다. 안테나 파라미터 특성을 확인하기 위하여 ANSYS사의 HFSS 시뮬레이터를 이용하였다. 제안한 안테나에서 VSWR이 2 이하인 시뮬레이션 주파수 대역은 2.5GHz~10.5GHz이다. 주파수 대역폭은 8GHz이다. 실제로 제작한 안테나의 주파수 대역은 2.92GHz~10.32GHz이며, 주파수 대역폭은 7.4GHz이다. 측정된 복사패턴 주파수는 3GHz, 6GHz, 9GHz이다. 모든 주파수에서 다이폴안테나 패턴과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 안테나 크기는 $40 \times 40 \text{mm}^2$ 이다. 시뮬레이션 결과와 측정 데이터를 비교분석한 결과 초광대역 평면 모노폴 안테나의 실용화 가능성을 확인할 수 있었다.

Abstract In this paper, a wideband antenna accomplished by adding a double sleeve of a rectangular planar monopole structure is proposed. In order to impedance matching of proposed antenna, the antenna performance was improved by adding two gap sleeves and outer sleeve for double sleeve structure. HFSS simulator of ANSYS corp. was used in order to confirm the antenna parameter characteristic. According to the simulation results, the VSWR was less than 2 for the range of 2.5GHz~10.5GHz. The frequency bandwidth is 8GHz. The frequency range of the actual fabricated antenna was 2.92GHz~10.32GHz, the frequency bandwidth is 7.4GHz. The measured radiation pattern frequency is 3GHz, 6GHz and 9GHz. The results are similar with dipole antenna pattern in all frequency. The antenna size is $40 \times 40 \text{mm}^2$. The utilization possibility of the ultra-wideband planar monopole antenna could be confirmed according to compare and analyze the simulation and measurement data.

Key Words : Sleeve, Double Sleeve, Monopole Antenna, Ultra-wideband, Dipole

1. 서론

UWB 통신에 사용되어지는 다양한 형태의 평면형 모노폴 안테나가 계속 제안되고 있다. 평면형 모노폴 안테나에 대한 연구가 진행되면서 삼각형, 직사각형, 육각형,

다이아몬드 형태 등 다양한 모양으로 구현되고 있다. 직사각형 평면 모노폴 안테나의 특성을 개선하기 위해서 적절한 대안 중에 하나는 슬리브의 추가이다. 슬리브 모노폴 안테나에 대한 분석은 Norgorden(1950), King(1965), A. J. Poggio(1966)의해 분석되었다. 1980년

*정희원, ㈜ 페스앤유 기술연구소

**정희원, 서일대학교 정보통신과

접수일자: 2015년 12월 10일, 수정완료: 2016년 1월 10일

계재확정일자: 2016년 2월 5일

Received: 10 December, 2015 / Revised: 10 January, 2016 /

Accepted: 5 February, 2016

*Corresponding Author: kangsan7@hanmail.net

FESnU, Gocheon-dong, Uiwang-si, Gyeonggi-do, Korea

Rispin은 안테나의 표면 전류분포를 연구하였고, 1998년 Wunsch는 안테나의 표면전류와 푸리에 급수를 이용하여 임피던스와 패턴을 연구하였다.^{[1],[2]} 최근에는 슬리브 모노폴 연구를 보게 되면 C. H. Cheng(2003)은 스트립 슬리브(strip-sleeve), Yacouba(2005)는 더블 갭 슬리브(double gap sleeve)를 이용하였고, T. Dong(2009)은 UWB 대역 안테나에 이중 슬리브 모노폴 구조를 이용한 연구가 진행되었다.^{[2],[3],[4],[5]}

직사각형 평면 모노폴 구조에 슬리브 추가로 접지면과 슬리브 사이에 기생요소 변화와 임피던스 매칭, 다중대역, 광대역, 소형화를 통해 UWB 안테나에 적용 가능한 구조라 할 수 있다. 본 논문에서는 여러 평면형 모노폴 구조 중에서 가장 기본인 직사각형 구조를 이용하였고, 슬리브 구조에는 두 개의 갭 슬리브와 외각 슬리브를 추가하여 안테나 성능을 개선하였다. 두 개의 갭 슬리브 간격 조정과 외각 슬리브 길이 조정, 직사각형 모노폴 구조와 급전 사이의 간격(gap)을 조정하여 임피던스 매칭을 하였다. 제안된 안테나의 검증을 위하여 ANSYS사의 HFSS 시뮬레이션 툴을 이용하여 안테나를 설계하였고, 안테나 측정을 위하여 Agilent사의 HP8722ES Vector Network Analyzer를 이용하여 반사손실을 측정하였으며, Far Filed Chamber를 통하여 안테나의 복사 특성을 측정하여 성능을 검증하였다.

II. 안테나 디자인과 설계

제안된 안테나는 직사각형 형태의 평면형 모노폴 구조를 기본으로 하고 두 번의 슬리브를 추가시켜 임피던스 매칭을 하였다. 그림 1은 제안한 안테나 구조를 나타내었다. 프린트드 모노폴 UWB 안테나에서 중요한 요소는 저주파 대역 주파수이다. 저주파 대역 주파수 구하는 공식은 식 (1), (2)와 같다.^[6]

$$f_L = \frac{7.2}{(L+r+p) \times k} [GHz] \quad (1)$$

$$L = L, \quad r = \frac{W}{2\pi} \quad (2)$$

L, W는 평면 모노폴 안테나의 높이와 폭, r은 프린트드 평면 모노폴과 원통형 모노폴 안테나의 면적을 증가화할 수 있는 유효 반경이다. p는 평면 모노폴과 접지면 사

이의 간격이고, 단위는 cm이다. k는 $\sqrt{\epsilon_{eff}}$ 와 유사한 의미를 갖고 있다. $\epsilon_r = 4.4$, $h = 1.6mm$ 일 때 사용되는 k 값은 1.15이다.^[6] 식(1), (2)을 이용하여 저주파 대역 공진주파수는 2.62GHz로 계산되어진다.

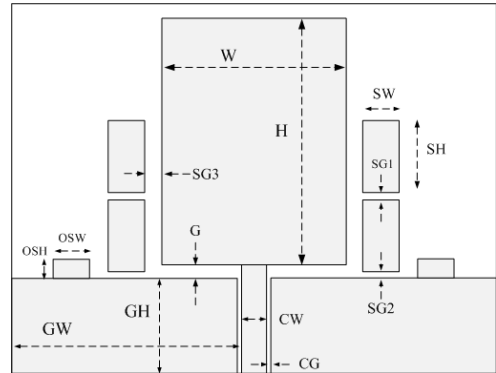


그림 1. 제안한 안테나 구조

Fig. 1. The proposed antenna structure

안테나 전체 크기는 $40 \times 40mm^2$ 이고, 한 쪽 접지면 크기 GW, GH는 $18.75 \times 17.4mm^2$ 이다. 양쪽 접지면 사이에 급전을 위해 CPW 라인을 설계하였다. 기본 CPW 설계 값 CW, CG는 각각 2mm, 0.25mm이다. 안테나 기판은 FR4 기판($\epsilon_r = 4.4$, $\tan \delta = 0.02$)을 이용하여 설계하였다. 직사각형 평면 모노폴 구조를 기본으로 하고 광대역을 이루기 위해 두 개의 갭 슬리브와 외각 슬리브를 추가시켜 임피던스 정합을 이루었다. 두 개의 갭 슬리브 간격(SG1) 조정과 외각 슬리브(OSH, OSW) 추가로 인한 기생요소 변화로 광대역 특성이 나타나고, 고주파 대역에서 임피던스 정합이 향상되는 것을 예측할 수 있다. 직사각형 평면 모노폴 구조에서 급전간격(G)이 매우 중요한 최적화 파라미터이다.

표 1. 제안한 안테나 치수

Table 1. The dimensions of proposed antenna, Unit : [mm]

| W | 15 | OSW | 3 |
|-----|------|-----|-------|
| H | 20.5 | OSH | 1.5 |
| SW | 3 | GH | 18.75 |
| SH | 6 | GW | 17.4 |
| SG1 | 0.6 | CW | 2 |
| SG2 | 0.5 | CG | 0.25 |
| SG3 | 1.5 | G | 1 |

급전간격 조정으로 저주파 대역에서 임피던스 정합이 향상되는 것을 예측할 수 있다. 직사각형 평면 모노폴 구조에 적용되어진 슬리브는 대칭적 구조를 갖고 있다. 표 1에 제안한 안테나의 치수를 나타내었다.

III. 안테나 파라미터 분석

이중 슬리브를 갖는 직사각형 평면 모노폴 안테나의 특성을 확인하기 위해서 첫 번째로 두 개의 갭 슬리브 간격 변화에 따른 반사손실을 그림 2에 나타내었다. 두 개의 갭 슬리브 간격 변화(SG1)에 따른 특성을 확인하기 위하여 갭 슬리브 간격을 0.1mm, 0.6mm, 1.2mm로 변화를 주었다. 이 간격은 접지면과 각각의 슬리브 사이에 기생요소를 발생하여 광대역화 영향을 준다.

갭 슬리브 간격의 변화에 따라서 임피던스 정합은 고주파 대역에서 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다. 이 간격은 접지면과 각각의 슬리브 사이에 기생요소에 의해 기인한 것이다. 갭 슬리브 간격이 0.1mm 일 때 주파수 범위는 2.65GHz - 9.3GHz이고, 주파수 대역폭은 6.65GHz이다. 갭 슬리브 간격이 0.6mm일 때 주파수 범위는 2.5GHz - 10.6GHz이고, 주파수 대역폭은 8GHz이다. 갭 슬리브 간격이 0.1mm에서 0.6mm로 증가 될 때 주파수 대역폭도 1.35GHz로 확장 되는 것을 알 수 있다. 갭 슬리브 간격을 다시 0.6mm 증가시며 1.2mm로 하였을 때 주파수 범위는 2.4GHz - 8.75GHz이고, 주파수 대역폭은 6.35GHz이다. 갭 슬리브 간격이 0.6mm일 때 보다 주파수 대역폭이 1.65GHz 감소되는 것을 알 수 있다.

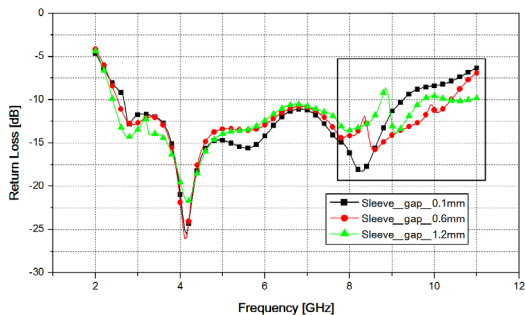


그림 2. 갭 슬리브 간격 변화에 따른 반사손실 특성
 Fig. 2. Characteristics of return loss for gap sleeve spacing variation

직사각형 평면 모노폴(H+G)과 갭 슬리브(2SH+SG1+SG2) 사이의 비는 약 1.64 : 1이다.

이중 슬리브를 갖는 직사각형 평면 모노폴 안테나의 특성을 확인하기 위해서 두 번째로 외각 슬리브를 추가 시켰고, 외각 슬리브 길이(OSH)를 변화시켰다. 외각 슬리브 폭(OSW)은 3mm로 하였다. 외각 슬리브 길이는 0mm, 1.5mm, 3mm로 하였다. 외각 슬리브 길이가 0mm 일 때 주파수 범위는 2.45GHz - 10.05GHz이고, 주파수 대역폭은 7.6GHz이다. 외각 슬리브 길이를 1.5mm일 때 주파수 대역폭은 8GHz이다. 외각 슬리브 길이가 3mm일 때 주파수 대역폭은 7.35GHz이다. 외각 슬리브 길이가 1.5mm일 때 최대 대역폭을 얻을 수 있었고, 외각 슬리브 길이에 따라서 임피던스 정합은 저주파 대역과 고주파 대역의 대역폭 감소와 중간대역의 반사손실 향상에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 직사각형 평면 모노폴과 외각 슬리브의 비는 1.8:1이다.

그림 3에는 외각 슬리브 길이 변화에 따른 반사손실 변화를 나타내었다.

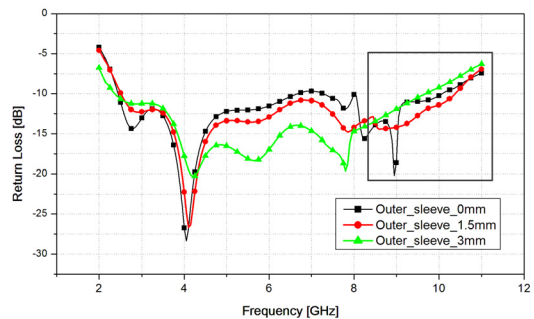


그림 3. 외각 슬리브 길이 변화에 따른 반사손실 특성
 Fig. 3. Characteristics of return loss for outer sleeve variation

이중 슬리브를 갖는 직사각형 평면 모노폴 안테나의 특성을 확인하기 위해서 세 번째로 급전 간격(G) 조정이다. 직사각형 평면 모노폴 구조에서 급전간격이 매우 중요한 최적화 파라미터이다. 접지면과 모노폴 사이의 급전 간격을 0.5mm, 1mm, 1.5mm로 조정하였다. 급전 간격이 0.5mm일 때 -9.54dB 대역폭은 4GHz와 7GHz 대역에 나타났고, 다른 대역에서는 -9.54dB 대역폭을 얻지 못하였다. 급전간격이 1mm일 때 최대 대역폭을 얻었다. 최대 대역폭은 8GHz이다. 급전간격이 1.5mm일 때 주파수 범위는 2.4GHz - 6.2GHz이고, 주파수 대역폭은 3.8GHz이

다. 급전 간격이 1mm일 때 보다 주파수 대역폭이 4.2GHz 감소되었다. 그러나 저주파 대역에서 반사손실은 향상되었다. 이러한 시뮬레이션 결과에서 급전 간격 증가 될수록 대역폭은 감소되고, 저주파 대역에서 임피던스 정합이 향상되는 것을 알 수 있었다. 그림 4에 급전 간격 변화에 따른 반사손실 변화를 나타내었다.

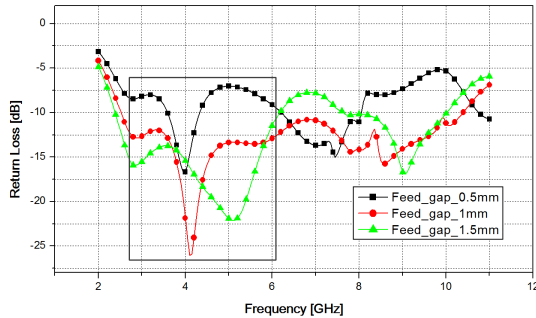


그림 4. 급전간격 변화에 따른 반사손실 변화
Fig. 4. Characteristics of return loss for feed gap variation.

이중 슬리브를 갖는 직사각형 평면 모노폴 안테나의 최적화된 반사손실 값을 그림 5에 나타내었다. 최적화된 파라미터를 살펴보면 직사각형 모노폴 폭(W)과 길이(H)는 각각 15mm와 20.5mm이다. 겹 슬리브 간격(SG1)은 0.6mm이고, 외각 슬리브 길이(OSH)는 1.5mm이다. 직사각형 모노폴과 접지면 사이의 급전 간격(G)은 1mm일 때 최적화가 되었다. 최적화된 주파수 범위는 2.5GHz - 10.5GHz이고, 주파수 대역폭은 8GHz이다. 계산되어진 저주파 대역 공진주파수와 비교하여 보면 0.12GHz 차이가 나는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과를 보면 UWB 대역용 안테나에 적용 가능한 결과이다.

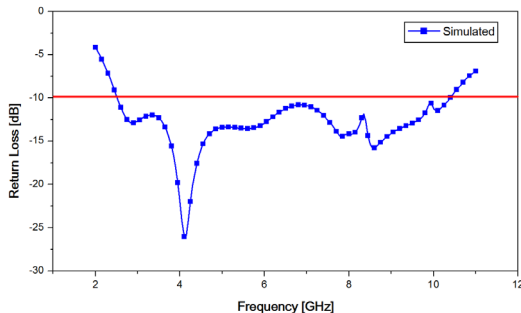


그림 5. 최적화된 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Optimized simulation results

IV. 안테나 제작 및 측정

제안한 안테나의 제작은 최적화된 시뮬레이션 결과를 이용하여 안테나를 제작하였다. 안테나 기판 재질은 비유전율 $\epsilon_r = 4.7$ 인 FR4를 사용하였고, 안테나 기판 높이는 1mm이다. 안테나와 접지면 재질은 1온스의 동(copper)을 사용하여 제작하였다. 안테나 급전은 SMA 컨넥터를 이용하여 급전을 하였고, 그림 6은 제작된 안테나 사진을 나타내었다. 안테나 특성 파라미터인 반사손실 측정은 에질런트사의 HP8722ES Vector Network Analyzer를 이용하여 측정하였다.

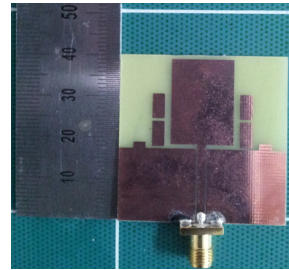


그림 6. 제작된 안테나 사진
Fig. 6. Photograph of fabricated antenna

그림 7은 시뮬레이션된 반사손실 결과와 측정된 반사손실 결과를 비교하여 나타내었다. 반사손실 기준은 -9.54dB 이하로 정하였다. VSWR 기준으로는 2이하 값이다. 시뮬레이션된 반사손실 결과의 주파수 범위는 2.5GHz - 10.5GHz이고, 대역폭은 8GHz이다. 측정된 결과의 주파수 범위는 2.92GHz - 10.32GHz이고, 대역폭은 7.4GHz이다.

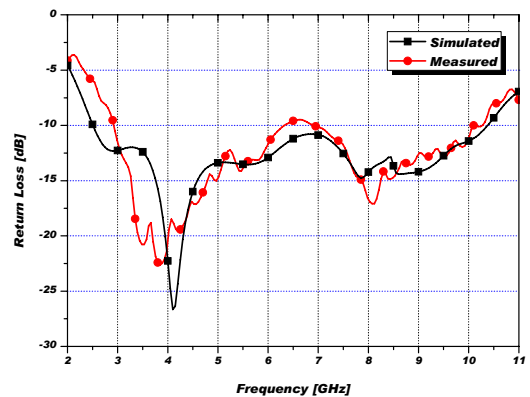


그림 7. 시뮬레이션 결과와 측정 결과 비교
Fig. 7. Comparing simulation and measurement results.

시뮬레이션 결과와 측정된 결과를 비교하여 보면 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 측정된 대역폭이 7GHz 이상이므로 UWB 대역용 안테나로 사용 가능할 수 있을 것이다.

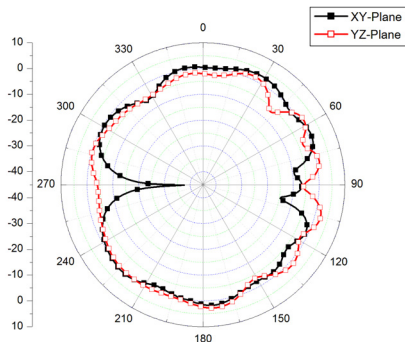
복사패턴 측정은 대전 테크노파크의 Antenna Far Field Chamber를 이용하여 측정하였다. 그림 8은 측정된 안테나의 복사패턴을 나타내었다. 측정 패턴은 XY-plane과 YZ-plane을 측정하였고, 측정 주파수는 3GHz와 6GHz, 9GHz이다 표 2에 각각의 주파수 별 이득(gain)을 나타내었다. 최대 이득은 2.88dBi이고, 최소 이득은 -1.92dBi임을 알 수 있다. 각각의 복사패턴을 살펴보면 270°와 90°부분에서 Null 부분이 형성 되므로 다이폴 복사패턴과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

측정된 이득을 살펴보면 주파수가 높을수록 이득이 감소하는 특징을 나타내고 있고, 주파수가 높을수록 Null의 개수가 증가하는 것을 알 수 있다. 그 이유는 표면 전류 변화에 의해 나타난다. 주파수가 높을수록 표면 누설 전류가 커지기 때문이다.

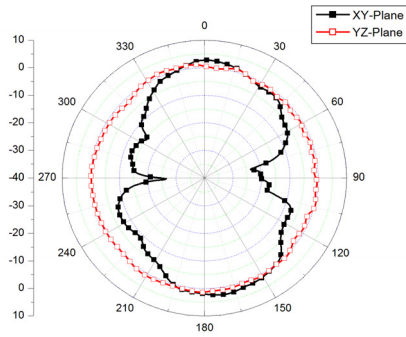
표 2. 측정된 이득 비교

Table 2. Comparing measurement gain results

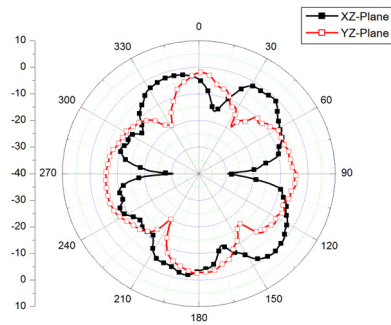
| | | |
|----------|------|-----------|
| XY-plane | 3GHz | 2.88 dBi |
| | 6GHz | 2.82 dBi |
| | 9GHz | 0.49 dBi |
| YZ-plane | 3GHz | 2.87 dBi |
| | 6GHz | 1.39 dBi |
| | 9GHz | -1.92 dBi |



(a) 3GHz



(b) 6GHz



(c) 9GHz

그림 8. 측정된 안테나의 복사패턴

Fig. 8. The radiation patterns of the measured antenna

VI. 결론

본 논문에서는 이중 슬리브를 갖는 직사각형 평면 모노폴 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나의 특성을 확인하기 위하여 갭 슬리브 간격 변화, 외각 슬리브 길이 변화, 급전 간격 변화를 주어 안테나 성능을 개선하였다. 갭 슬리브 간격(SG1)은 0.6mm이고, 외각 슬리브 길이(OSH)는 1.5mm이다. 직사각형 모노폴과 접지면 사이의 급전 간격(G)은 1mm일 때 최적화가 되었다. 시뮬레이션 주파수 대역폭은 8GHz이고, 측정된 주파수 대역폭은 7.4GHz이다. 측정된 최대 이득 값은 2.88dBi이다. 안테나의 크기는 $40 \times 40 \text{mm}^2$ 이다. 직사각형 평면 모노폴 구조에 갭 슬리브와 외각 슬리브를 추가하여 광대역화와 임피던스 정합이 되는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 이중 슬리브를 갖는 직사각형 평면 모노폴 안테나가 UWB 대역용 안테나에 적용가능하며, 실용화 가능성을 확인할 수 있었다.

References

- [1] Gwang-Jae Choe, Sang-Won Kang, "Implementation of Broadband Printed Sleeve Monopole Antenna", Journal of IIBC, Vol. 14 , No 6, pp. 245-250, December 2014.
- [2] Mohammad Matin, "Ultra Wideband Communications, Novel Trends - Antennas and Propagation", pp. 215-218, InTech, 2011.
- [3] Yacouba Coulibaly, Tayeb A. Denidni, Larbi Talbi, "Broadband Coplanar Waveguide-Fed Printed Monopole Antenna With Strip-Sleeve", Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 48, No 2, pp. 209-212, February 2006.
- [4] Sheng-Bing Chen, Yong-Chang Jiao, Wei Wang, Qi-Zhong Liu "Wideband CPW-Fed Uniplanar Sleeve-Shaped Monopole Antenna", Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 47, No 3, pp. 245-247, November, 2005.
- [5] T. Dong, W. P. Chen, "Novel Design of Ultra-Wideband Printed Double-Sleeve Monopole Antenna", Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 9, pp. 165-173, 2009.
- [6] K.P. Ray, "Design aspects of printed monopole antennas for ultra-wideband applications", International Journal of Antennas and Propagation, Hindawi Publishing Corp, Volume 2008.

장 대 순(정회원)



- 2001년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신과 강의교수

<주 관심분야 : 안테나 설계, UWB system, 무선전력전송 등>

저자 소개

강 상 원(정회원)



- 1999년 : 세명대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 : 건국대학교 전자정보통신과 (공학석사)
- 2013년 : 건국대학교 전자정보통신과 (공학박사)
- 2006년 7월 ~ 현재 : (주)페스엔유 연구소장

<주 관심분야 : 안테나 및 위성통신>