

FSS 단위 셀을 이용한 대역저지 UWB 안테나

이창용¹, 정창원^{2*}

¹광운대학교 전자공학과, ²서울과학기술대학교 NID융합기술대학원

Band-Rejected UWB Antenna Using Unit Cells of FSS

Chang Yong Lee¹ and Chang Won Jung^{2*}

¹Department of Electronics Convergence Engineering, Kwangwoon University

²Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National Univ. of Science and Technology

요 약 본 논문은 주파수 선택 표면 (FSS)을 이용한 대역저지 ultra-wideband (UWB) 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 일반적인 FSS 단위 셀의 특성을 이용하여 UWB 대역 중 특정대역을 저지 할 수 있다. 안테나의 FSS 단위 셀 구조는 UWB 안테나 구조체와 동일면에 설계하였으며, UWB 대역 (3.1-10.6 GHz) 중 무선 근거리 통신대역 (5.15-5.825 GHz)의 간섭을 막기 위해 고안되었다. 제작된 안테나의 실제 측정된 이득은 저지 대역을 제외한 전 대역에서 2 dBi 이상이다. 제안된 안테나는 소형 모바일 장치에 적용이 가능 한 크기이며, 평판형 구조로 설계되어 다양한 FSS 단위 셀에 적용 할 수 있으며, 다양한 상용 UWB 시스템에 적용이 가능하다.

Abstract Band-notched ultra-wideband (UWB) antennas using frequency selective surfaces (FSSs) are presented. The proposed antennas utilized the band rejection characteristic of typical FSS unit cells. We loaded the FSS unit cells on the same plane of planar UWB antenna. These antennas are designed to reject the interference from the wireless local area network band, 5.15-5.825 GHz in the UWB band, 3.1-10.6 GHz. The measured peak gains of the proposed antennas are more than 2 dBi at both operation edge and center frequencies, and sufficient to apply for commercial purpose. The antennas are small size and planar shape for the purpose of the small mobile application, and enhanced design freedom by using various existing FSS unit cells.

Key Words : UWB antenna, Frequency Selective Surfaces, Band-notched, WLAN, Planar antenna.

1. 서론

최근까지 UWB 통신을 위한 안테나 시스템 구현 기술이 광범위하게 연구되어왔다. UWB 시스템은 광대역특성 (3.1-10.6 GHz) 및 데이터 전송률이 높고, 낮은 전력을 소모하며 저비용으로 시스템을 구성이 가능하다[1-15]. 그러나 UWB 기술의 주파수 범위는 Industrial Scientific Medical band (ISM-band)인 IEEE 802.11a (5.15 - 5.825 GHz)를 포함한다. 따라서 UWB 안테나는 ISM 대역의 대역 저지가 요구되며, 대역 저지를 위한 UWB 안테나가 지속적으로 개발되어 왔다. 특정대역저지를 위한 일반적

인 안테나 기술은 안테나의 방사체나 그라운드에 슬롯을 적용하는 것이다[1-3]. 대역저지를 위한 일반적인 안테나 슬롯 구조는 split ring resonators (SRR) 및 defected ground structure (DGS)가 사용되며, 이러한 구조는 유닛 셀의 주기적인 구조로 이루어진다[2,3]. FSS는 주로 공간 필터를 위한 구조로 고안되었으며, 원치 않는 주파수대역의 신호를 반사하거나 특정 주파수대역의 신호를 전송한다[16-18].

본 논문에서는, FSS 단위 셀을 사용하여 UWB 안테나의 새로운 대역저지 방법을 제안한다. 제안된 안테나의 구조는 일반적인 FSS 단위 셀을 이용한 평면 형태를 가

이 연구는 2013년도 서울과학기술대학교 교내학술연구비 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Chang Won Jung(Seoul National Univ. of Science and Technology)

Tel: +82-10-9969-4078 email: changwoj@snut.ac.kr

Received April 1, 2013

Revised May 6, 2013

Accepted July 11, 2013

진다. 제안한 안테나의 주파수 응답은 FSS 단위 셀들의 크기에 따라 결정된다. 대역저지를 목적으로 사용될 수 있는 일반적인 FSS 단위 셀을 주파수 선택 특징을 확인하기 위해 평판형 UWB 안테나 동일평면에 일반적인 FSS 단위 셀을 적용하였다. 또한, 안테나의 성능 저하 없이 대역저지 및 간섭제거가 될 수 있는 최적화된 FSS 단위 셀을 사용하여 UWB 안테나 제작 및 측정 결과를 분석하였다.

2. FSS 단위 셀 구조 설계 및 분석

Fig. 1은 주기적으로 배열된 FSS 단위 셀의 기본적인 구조를 보여준다[19]. FSS 단위 셀은 변형된 십자(+) 형태의 루프 슬롯 구조를 갖는다. FSS 단위 셀은 직사각형 형태를 가지며 셀을 적용할 UWB 안테나의 사이즈와 동일하다. 제안된 FSS 단위 셀의 배열 구조는 유전율 $\epsilon_r = 2.2$, 두께 0.51 mm의 TLX-5 기판에 설계되었다. 제안된 FSS 단위 셀의 주파수 특성은 슬롯의 크기에 따라 조정된다. 최적화된 루프 슬롯은 $L1 = L2 = 4.7$ mm, $w = 0.4$ mm, $d = 0.1$ mm 로 설계되었다.

Fig. 2는 제안된 FSS 구조의 S-Parameter 시뮬레이션 결과를 보여준다. 제안된 FSS 구조는 수직 입사각에서 일반적인 Band Pass Filter (BPF)로 동작하며 5.77 GHz에서 27.8 dB 감쇠가 발생한다.

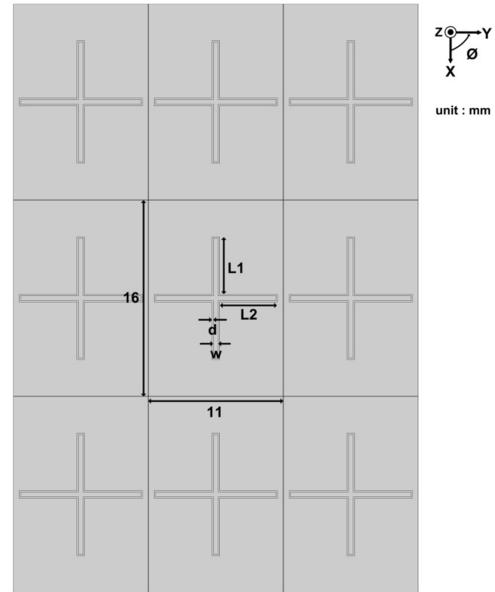
Fig. 3은 FSS 단위 셀의 등가회로를 나타낸다. 단위 셀에 수직 입사각으로 파가 입사하였을 때 Fig. 3(a)와 같은 회로로 등가화 되며, 대역통과 특성을 갖는다. 또한 종 방향으로 파가 입사하였을 경우 Fig. 3(b)와 같이 단위셀의 등가회로를 구성 할 수 있으며, 대역저지 특성 나타낸다. FSS 셀의 대역통과 특성을 파악하기 위해 추출된 값을 사용한 회로 시뮬레이션을 수행하였다. FSS 등가회로는 Fig. 3(a)와 같은 인덕터와 캐패시터 (L_{sh} , C_{sh}) 회로로 구성된다[20]. 그 값은 수식 (1),(2)를 통해 구할 수 있다.

$$C_{sh} = \frac{2\omega_c}{Z_0(\omega_0^2 - \omega_c^2)} \quad (1)$$

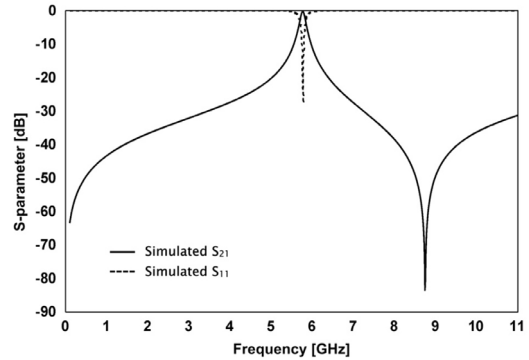
$$L_{sh} = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C_{sh}} = \frac{Z_0(\omega_0^2 - \omega_c^2)}{2\omega_0^2 \cdot \omega_c} \quad (2)$$

ω_0 : 공진주파수, ω_c : 차단 주파수,

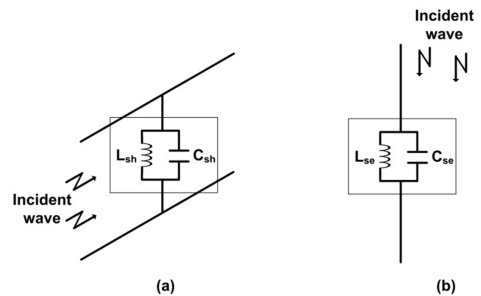
Z_0 : 특성임피던스



[Fig. 1] Geometry of the proposed FSS. (modified cross-loop slots)



[Fig. 2] Simulated S-parameter result of the proposed FSS.



[Fig. 3] Equivalent circuits of proposed FSS. (a) normal angle of incidence (b) longitudinal angle of incidence

수식을 통해 얻은 결과 값은 $L_{sh} : 0.0168 \text{ nH}$, $C_{sh} : 45.195 \text{ pF}$ 이다. 추출된 값의 결과를 통해 FSS 단위 셀 구조를 갖는 안테나의 대역통과 특성을 확인 할 수 있다.

FSS 셀의 대역저지 특성은 Fig. 3(b)와 같이 인덕터와 캐패시터 (L_{se} , C_{se})의 등가회로가 구성될 경우 나타난다. 그 값은 수식 (3),(4)를 통해 얻을 수 있으며, 추출된 값은 $L_{se} : 28.247 \text{ nH}$, $C_{se} : 0.0269 \text{ pF}$.

$$C_{se} = \frac{\omega_c}{2Z_0(\omega_0^2 - \omega_c^2)} \quad (3)$$

$$L_{se} = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C_{se}} = \frac{2Z_0(\omega_0^2 - \omega_c^2)}{\omega_0^2 \cdot \omega_c} \quad (4)$$

ω_0 : 공진주파수, ω_c : 차단 주파수,

Z_0 : 특성임피던스

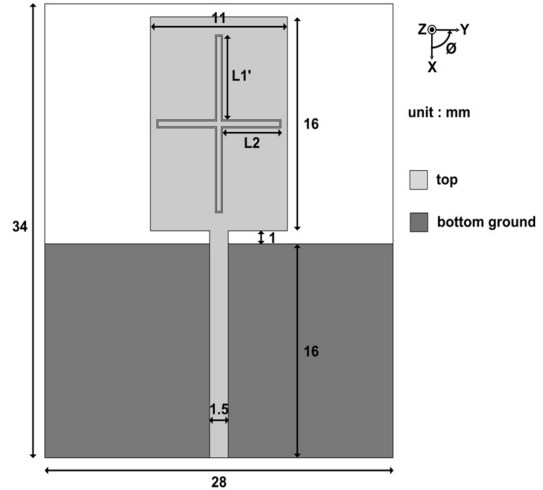
FSS 셀의 등가회로 parameter (L_{sh} , C_{sh} , L_{se} , C_{se}) 추출 결과를 통해 FSS 단위 셀을 이용한 안테나는 특정 대역을 통과 및 저지하는 notched-band 특성을 가진다는 것을 확인 할 수 있다.

3. FSS 단위 셀이 적용된 대역저지 UWB 안테나 설계 및 측정결과

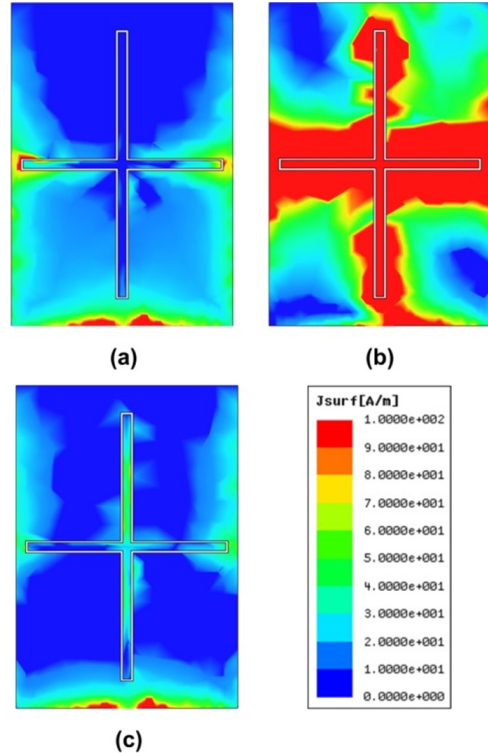
Fig. 4는 TLY-5 기판에 적용된 제안한 안테나의 구조를 나타낸다. 안테나는 직사각형의 모노폴(monopole) 구조체 상에 FSS 단위 셀은 변형된 십자(+) 루프 슬롯 구조가 적용되었으며. 안테나의 Feed line의 폭은 1.5 mm 이다. 5.17 - 5.76 GHz 대역을 저지하는 안테나 특성을 얻기 위해 FSS 단위 셀의 L1의 길이를 최적화 하였다. Fig. 1에 제시한 FSS 셀의 L1의 길이는 6.35 mm이며, L2의 길이는 4.7 mm이다. 대역저지 주파수 대역은 L1의 길이에 따라 가변되며, L1의 길이가 길어질수록 저주파 대역에서 대역 저지가 이루어진다.

Fig. 5는 UWB 안테나의 동작 주파수에 따른 전류분포를 보여준다. 각 전류분포는 90° 위상에서 시뮬레이션 된 결과이다. Fig. 5를 통해 대역저지 주파수 대역 (5.15 - 5.825 GHz); Fig. 5(b), 에서 전류분포가 다른 주파수 대역의 전류분포와 달리 FSS 단위 셀 슬롯 주위에 높게 형성됨을 확인 할 수 있다. 이는 FSS 단위 셀에 전자파의

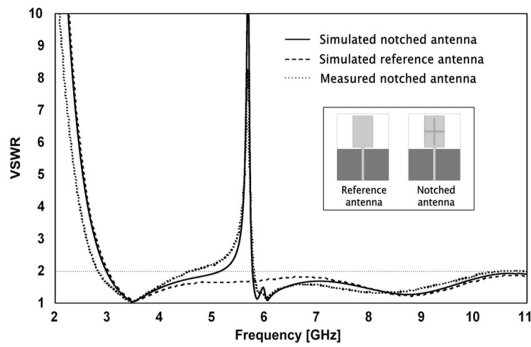
에너지가 축적되어 방사되는 에너지의 급격한 감쇠가 발생으로 인해 대역저지가 이루어지는 것을 보여준다.



[Fig. 4] Geometry of the proposed band-notched UWB antenna with FSS unit cell.

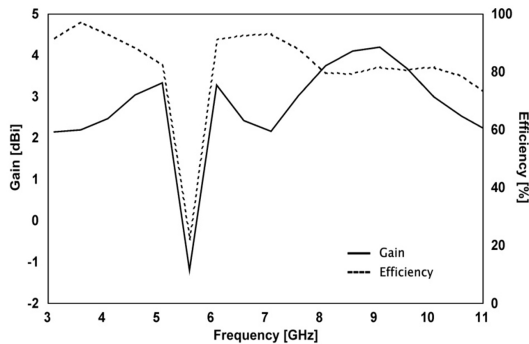


[Fig. 5] Normalized surface current distributions at different frequencies (A/m) 3.1 GHz (b) 5.68 GHz (c) 10.6 GHz.



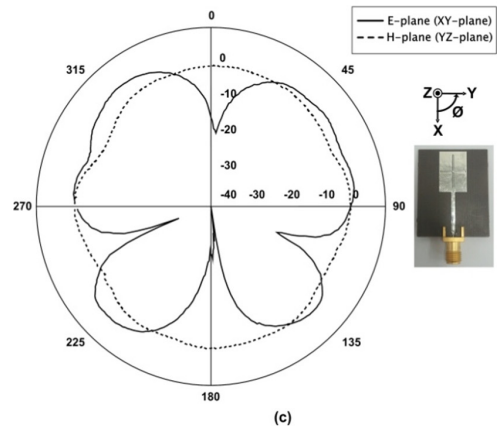
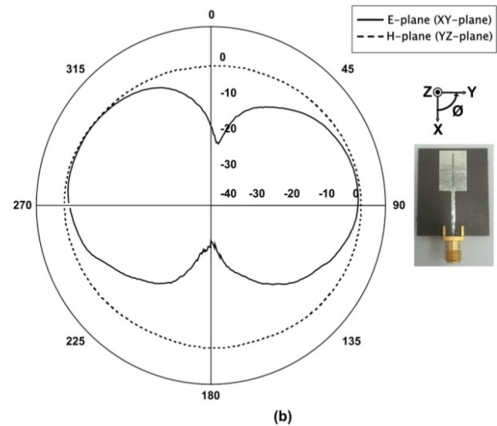
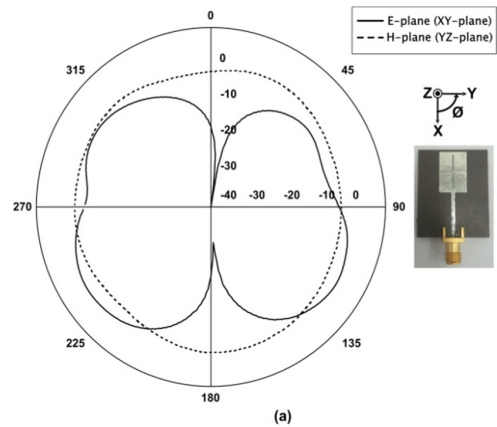
[Fig. 6] Simulated and measured VSWR of the band-notched UWB antenna and reference UWB antenna.

Fig. 6은 대역저지 UWB 안테나의 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) 시뮬레이션과 측정결과를 보여준다. Fig. 6의 안테나 VSWR 시뮬레이션 결과 동작대역은 3.1 - 10.6 GHz 이며, 저지대역은 5.17 - 5.76 GHz 이다. Fig. 6의 제안된 안테나의 측정 결과는 동작대역은 2.83 - 11 GHz 이고, 대역폭은 8.17 GHz 이다. 또한 안테나의 저지대역은 4.63 - 5.8 GHz 이고, 저지된 대역폭은 1.17 GHz이다. 제안된 안테나의 측정결과는 안테나 설계 시뮬레이션의 결과와 유사한 결과를 나타내었으며, 동작 주파수 대역에서 $VSWR < 2$ 를 만족한다.



[Fig. 7] Measured peak gain and antenna efficiency of the band-notched UWB antenna.

Fig. 7은 제안된 안테나의 측정된 이득과 효율을 나타내는 그래프이다. 최대 이득은 3dBi 이며, 동작 주파수 대역에서 2dBi 이상의 이득을 만족한다. 또한 동작 주파수 대역에서 70% 이상의 효율을 보여준다. Fig. 7을 통해 저지대역에서 이득과 효율이 급격하게 감소됨을 확인할 수 있다.



[Fig. 8] Measured radiation pattern of the band-notched UWB antenna. (a) 3.1 GHz (b) 7.5 GHz (c) 10.6 GHz.

Fig. 8은 제안한 대역저지 UWB 안테나의 방사 패턴 측정 결과이다. 각 주파수의 E-Plane과 H-Plane 이 도식화 되어 있으며, 이를 통해 동작 주파수 대역에서 전방향성 패턴을 가지는 안테나로 동작함을 확인할 수 있다.

4. 결론

제안된 UWB 안테나는 FSS 단위 셀이 적용된 모노폴 구조의 안테나이다. 제안한 UWB 안테나는 소형 모바일 기기에 적용이 가능한 크기와 구조를 갖는다. 안테나의 이득은 동작 주파수 대역에서 2 dBi 이상을 만족하며 효율은 70% 이상을 만족한다. 적용된 FSS 단위 셀은 대역저지 특성을 가지며, ISM 주파수대역을 저지한다. 제안된 UWB 안테나의 저지대역은 FSS 단위 셀을 변형 하여 변경 시킬 수 있으며, 기존에 개발된 다양한 FSS 구조를 안테나에 적용 하여 새로운 특성을 갖는 안테나 설계가 가능하다. 본 논문에서 제안한 FSS 단위 셀 구조는 안테나 및 대역저지가 필요한 다양한 수동소자에 적용 할 수 있다.

참고문헌

- [1] Y. C. Lin, and K. J. Hung, "Compact Ultrawideband Rectangular Aperture Antenna and Band-Notched Designs," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 11, pp. 3075-3081, Nov. 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2006.883982>
- [2] J. Kim, C. S. Cho, and J. W. Lee, "5.2 GHz notched ultra-wideband antenna using slot-type SRR," *Electron. Lett.*, vol. 42, no. 6, pp. 315-316, Mar. 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/el:20063713>
- [3] Y. D. Dong, W. Hong, Z. Q. Kuai, and J. X. Chen, "Analysis of Planar Ultrawideband Antennas With On-Ground Slot Band-Notched Structures," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, no. 7, pp. 1886-1893, Jul. 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2009.2021910>
- [4] M. T. Islam, R. Azim, and A. T. Mobashsher, "Triple band-notched planar UWB antenna using parasitic strips," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 129, pp. 161-179, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2528/PIER12032604>
- [5] C.-M. Li and L.-H. Ye, "Improved dual band-notched UWB slot antenna with controllable notched bandwidths," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 115, pp. 477-493, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2528/PIER11030304>
- [6] C.-Y.-D. Sim, W.-T. Chung, and C.-H. Lee, "Planar UWB antenna with 5 GHz band rejection switching function at ground plane," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 106, pp. 321-333, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2528/PIER10060208>
- [7] S. Barbarino and F. Consoli, "UWB circular slot antenna provided with an inverted-l notch filter for the 5 GHz WLAN band," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 104, pp. 1-13, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2528/PIER10040507>
- [8] Y.-S. Hu, M. Li, G.-P. Gao, J.-S. Zhang, and M.-K. Yang, "A double-printed trapezoidal patch dipole antenna for UWB applications with band-notched characteristic," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 103, pp. 259-269, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2528/PIER10011604>
- [9] F. Wei, L. Chen, X.-W. Shi, Q.-Y. Wu, and Q.-L. Huang, "Design of Compact UWB Power Divider with One Narrow Notch-Band," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 24, Issue 17-18, pp. 2343-2352, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156939310793675637>
- [10] M. Xie, Q. Guo, and Y. Wu, "Design of a Miniaturized UWB Antenna with Band-Notched and High Frequency Rejection Capability," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 25, Issue 8-9, pp. 1103-1112, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156939311795761999>
- [11] Y.-Q. Wei, Y.-Z. Yin, L. Xie, Kun Song, and X.-S. Ren, "Novel Band-Notched Antenna with Self-similar Flame Slot used for 2.4 Ghz Wlan and UWB Application," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 25, Issue 5-6, pp. 693-701, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156939311794827302>
- [12] Z. Q. Li, C. L. Ruan, and L. Peng, "Design and Analysis of Planar Antenna with Dual WLAN Band-Notched for Integrated Bluetooth and UWB Applications," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 24, Issue 13, pp. 1817-1828, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156939310792486566>
- [13] L.-S. Ren, F. Li, J.-J. Zhao, G. Zhao, and Y.-C. Jiao, "A Novel Compact UWB Antenna with Dual Band-Notched Characteristics," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 24, Issue 11-12, pp. 1521-1529, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156939310792149678>
- [14] X.-J. Liao, H.-C. Yang, N. Han, and Y. Li, "A Semi-Circle-Shaped Aperture UWB Antenna With Triple Band-Notched Character," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 25, Issue 2-3, pp. 257-266, 2011.

- DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156939311794362759>
- [15] G. Yang, Q.-X. Chu, and Z.-H. Tu, "A Compact Band-Notched UWB Antenna with Controllable Notched Bandwidths by Using Coupled Slots," Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 25, Issue 14-15, pp. 2148-2157, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156939311798072063>
- [16] B. A. Munk, Frequency Selective Surfaces: Theory and Design. New York: John Wiley, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/0471723770>
- [17] E. Zareian-Jahromi, and J. Khalilpour, "Analysis of a Freestanding Frequency Selective Surface Loaded with a Nonlinear Element," Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 25, Issue 2-3, pp. 247-255, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156939311794362858>
- [18] E. Zareian-Jahromi, and J. Khalilpour, "Powell Optimization of Circular Ring Frequency Selective Surfaces," Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 24, Issue 4, pp. 485-494, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156939310790966141>
- [19] X. Meng, and A. Chen, "Influence of cross-loop slots FSS structure parameters on frequency response", 2009 3rd IEEE Int. Symp., pp. 939-942, Oct. 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MAPE.2009.5355806>
- [20] D. M. Pozar, Microwave Engineering. MA: John Wiley, 2005.

이 창 용(Chang Yong Lee)

[준회원]



- 2012년 2월 : 광운대학교 전파공학과 학사 졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교, 대학원 전파공학과 석사과정

<관심분야>
안테나, RF

정 창 원(Chang won Jung)

[정회원]



- 2001년 12월 : University of Southern California, 전자공학 (석사)
- 2005년 6월 : University of California, Irvine, 전자공학 (박사)
- 1997년 1월 ~ 2000년 6월 : LG 정보통신, 연구원
- 2005년 7월 ~ 2005년 10월 : University of California, Irvine, Post Doctor
- 2005년 11월 ~ 2008년 4월 : 삼성종합기술원, 전문연구원
- 2008년 5월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교, NID 융합기술 대학원, 조교수

<관심분야>
안테나, RF, EMI/EMC, RF-MEMS, 센서