

SIR을 이용한 제 2저지 대역 제어 가능 UWB 안테나

A UWB Antenna with the Adjustable Second Rejection Band Using a SIR

최형석 · 최경 · 황희용

Hyung-Seok Choi · Kyung Choi · Hee-Yong Hwang

요약

본 논문에서는 SIR(Step Impedance Resonator)을 이용하여 제 1저지 대역인 5 GHz WLAN 대역의 신호 간섭을 제거하며 제 2저지 대역을 제어할 수 있는 UWB 안테나를 제안하였다. SIR은 단일 임피던스 공진기와는 다르게 Step Impedance의 차이로 제 2고조파가 정해지는 특징이 있으므로 UWB 안테나에 적용하여 제 2저지 대역을 제어 가능하도록 하였다. 또한, 제 1저지 대역에서 안테나의 동작을 등가 회로로 나타내었으며, SIR의 등가 모델 값 및 안테나와 SIR의 결합 값을 구하였다. 제안된 안테나는 UWB 전체 대역에서 -10 dB 이하의 반사 손실 특성과 5 GHz WLAN 대역에서 저지 특성을 나타내었다. 또한, H-평면에서 +y방향으로 지향성을 나타내며, 1.0 ns 이내의 군지연 변화 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, a UWB antenna using a SIR(Step Impedance Resonator) that eliminate signal interference at 5 GHz WLAN as the first rejection band and adjust the second rejection band is proposed. Unlike the unit impedance resonator, the second harmonic of SIR is decided according to step impedance. Therefore, To adjust the second rejection band, SIR is applied to UWB antenna. Also, the equivalent circuit of the antenna at first rejection band is presented and the equivalent modeling values of the SIR and the coupling value is obtained. The proposed antenna is satisfied to cover full UWB band with return losses less than -10 dB and has band rejection characteristic in 5 GHz WLAN band. The radiation patterns show +y directivity characteristics in H-plane and the group delay variations are within 1.0 ns.

Key words : UWB Antenna, SIR, Band Rejection, Equivalent Circuit

I. 서론

최근 무선 통신 기술의 급격한 발달로 인해 다양한 서비스를 제공하는 통신 시스템이 요구되고 있다. 상기의 통신 시스템들은 높은 분해능 및 빠른 정보 전송 속도를 요구하여 주파수 자원이 고갈되고 있다. 이러한 이유로 Ultra-wideband(UWB) 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. UWB 통신 시스템에 사

용되는 안테나는 광대역 임피던스 정합, 일정한 방사 패턴, 일정한 군지연, 물리적으로 작은 크기 등의 조건을 만족해야 한다. 또한, UWB 통신 대역 내에 포함되는 타 시스템에서 발생하는 원치 않는 신호를 제거하는 기능이 포함되어야 한다^[1].

UWB 통신 주파수 대역 내에 존재하는 WLAN 5 GHz(5.15~5.825 GHz), WiMAX(3.3~3.7 GHz), ITU 8 GHz(8.025~8.4 GHz)와 같은 시스템들은 UWB 시

강원대학교 IT대학 전기전자공학부(Dept. of Electrical and Electronics Engineering, College of IT, Kangwon National University)

· Manuscript received May 25, 2012 ; Revised August 10, 2012 ; Accepted August 27, 2012. (ID No. 20120525-03S)

· Corresponding Author : Hee-Yong Hwang (e-mail : hyhwang@kangwon.ac.kr)

시스템에 전파 간섭 문제를 일으킨다^[2]. 이러한 문제를 해결하기 위해 UWB 안테나에 $\lambda/2$ 혹은 $\lambda/4$ 의 길이의 개방 또는 단락 회로로 이루어진 slot이나 stub^[3], SIR(Step Impedance Resonator)^[5], SRR(Split Ring Resonator)^[4] 등을 이용한 여러 가지 방법이 제안되고 있다.

$\lambda/2$, $\lambda/4$ 길이의 slot 혹은 stub 공진기를 이용하여 간섭 대역을 저지할 경우^[3], 단일 공진기로 한 개의 대역만 저지하므로 다중 대역을 저지해야 하는 시스템에 사용하기에는 무리가 있다. 또한, $\lambda/2$, $\lambda/4$ 길이에 의한 제 2차 고조파들이 UWB 대역 내에 존재하여 안테나의 반사 손실 특성을 변화시킬 수 있다.

SRR을 이용할 경우^[4], 간섭 대역의 감쇄가 작아 실제로 사용할 만큼을 충족시키기 어려운 단점을 갖고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 2단 단락 SIR을 UWB 안테나의 급전선 근처에 놓아 간섭대역을 저지하는 방법을 제안되었다. 그러나 SIR의 단락 부분에 사용되는 via hole의 영향으로 특정 대역에서 감쇄가 작아지는 단점이 있다^[5].

본 논문에서는 보우-타이 모노폴 UWB 안테나를 설계하고, 안테나 근처에 2단 SIR을 배치하여 제 1 저지 대역인 5 GHz WLAN 대역의 신호 간섭을 제거할 것이다. SIR의 형태에 따라 제 2차 고조파가 결정되는 특징을 이용하여 제 2저지 대역을 제어할 것이며, UWB 대역 내에 존재하지 않도록 SIR을 설계할 것이다. 또한, 제 1저지 대역에서 안테나의 특성을 예측하고 확인해 보기 위하여 SIR의 등가 모델 값 및 안테나와의 결합 값을 구하여 등가 회로로 표현할 것이다. 설계 및 제작된 안테나에 사용된 기판은 Taconic社의 RF-60A로 유전체 두께 0.64 mm, 손실 탄젠트 0.0025, 비유전율 6.15의 속성을 가지며, 본 논문에 제시된 모든 모의 실험 결과는 Ansoft社의 HFSS를 이용하였다.

II. 본 론

2-1 SIR(Step Impedance Resonator) 설계

그림 1에 단일 임피던스 공진기와 SIR을 나타내었다. 단일 임피던스 공진기는 n배(혹은 2n-1배) 주파수에서 고조파가 나타나며, 이를 조정할 수 없다. 반면에 높은 임피던스와 낮은 임피던스의 전송 선로

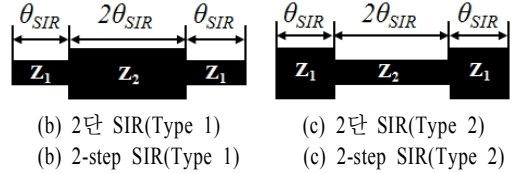
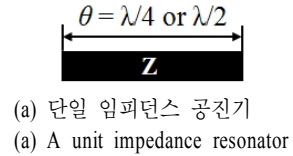


그림 1. 공진기들의 형태
Fig. 1. A type of resonators.

가 번갈아 연결된 SIR은 임피던스의 차이에 의해 제 2고조파가 결정된다.

2단 SIR은 그림 1(b), (c)에 나타난 것과 같이 전송 선로의 길이 θ_{SIR} 이 모두 동일한 형태이다. 2단 SIR의 제 2고조파를 식 (1)에 나타내었으며 길이 θ_{SIR} 에 대해 식 (2)에 나타내었다^[6].

$$\frac{f_{s2}}{f_0} = \frac{\pi}{2 \tan^{-1} \sqrt{K}} \quad \text{여기서 } K = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (1)$$

$$\theta_{SIR} = \tan^{-1} \sqrt{K} \quad (2)$$

식 (1)에서 f_{s2} 는 제 2고조파를 나타내며, 임피던스 비율 K 에 의해 결정된다. 단일 임피던스 공진기의 경우 $K=1$ 이므로 $f_{s2}=2f_0$ 가 되며, SIR의 경우 $K>1$ 이면 $f_{s2}<2f_0$ 이고, $K<1$ 이면 $f_{s2}>2f_0$ 다. 상기의 식은 임피던스의 비율 K 에 따라 제 2고조파가 결정됨을 보이며, 이러한 특성을 UWB 안테나에 적용하여 제 2저지 대역을 제어한다.

2-2 UWB 안테나 설계

그림 2에 나타난 것처럼 UWB 안테나는 보우-타이 모노폴 안테나에 자계벽 조건을 적용하여 소형화된 형태로 참고문헌 [7]을 참고하여 설계하였다. 유전체를 중심으로, 패치면과 접지면은 앞뒷면에 배치되어 있으며, 광대역 동작 특성을 얻기 위해 접지면을 3개의 굴곡각이 있는 형태로 구성하였다. 굴곡각 α 에 의해 5~6 GHz, 7~10 GHz 대역의 반사 손실 특성이 변화하며 α 의 값이 작아질수록 5~6 GHz, 7~10 GHz 대역의 반사 손실 특성은 나빠진다. 굴곡

각 β 에 의해서는 5~6 GHz, 6~8 GHz 대역의 반사 손실 특성이 변화하며, β 의 값이 작아질수록 5~6 GHz 대역의 반사 손실 특성은 향상되며, 6~8 GHz 대역의 반사 손실 특성은 나빠진다. 굴곡각 γ 에 의해 4.5~11 GHz의 반사 손실 특성이 변화하며, γ 의 값이 작아질수록 4.5~6.5 GHz, 9.6~11 GHz 대역의 반사 손실 특성은 나빠지며, 6.5~9.5 GHz 대역의 반사 손실 특성은 향상된다. 또한, 추가적인 임피던스 정합을 위해 급전선로의 끝 부분부터 안테나가 시작되는 부분이 겹치도록 설계하였다. 안테나의 설계 변수들은 표 1에 나타내었다.

그림 3(a)에 나타낸 것과 같이 UWB 안테나에 대역 저지 특성을 구현하기 위해 패치면과의 거리 Gap 을 두고 SIR을 구부려서 배치하였다. SIR의 등가 회로 값을 얻어내기 위해 그림 3(b)와 같이 구성하여 모의 실험하였으며, 입력 어드미턴스를 Y_{in1} 로 나타내었다. 그림 3(c)는 안테나와 SIR의 결합 구조를 등가 회로로 나타낸 것으로서 SIR을 병렬 RLC 공진기로, 패치면과의 거리 Gap 을 결합 커패시터 C_c 로 등가화 하였다.

병렬 RLC 공진기 쪽으로 바라보는 입력 어드미턴스는 Y_{in2} 로 나타내었다. $Y_{in1}=Y_{in2}$ 로 놓고 정리하면 컨덕턴스는 $G_1=G_R$, 섹세턴스는 $B_1=B_R$ 로 나타낼 수 있다. 식 (4)의 L_R, C_R 값을 얻기 위해 중심 주파수 근처의 B_{R+}, B_{R-} 값들을 이용하여 연립하면 식 (5)와 같이 정리할 수 있다. 여기에서 B_{R+}, B_{R-} 는 각각 ω_{R+}, ω_{R-} 에서의 섹세턴스를 나타내며 ω_{R+}, ω_{R-} 는 ω_R 을 중심으로 각각 양의 방향과 음의 방향으로 미소하게 떨어져 있는 각주파수를 말한다.

입력 포트에서 바라본 어드미턴스 Y_{inC} 를 이용하여 대역 저지 주파수 f_n 를 구하면 식 (6)과 같다. f_n 은 C_c 에 의해 조정되며, C_c 가 클수록 대역 저지 주파수는 낮아지고, C_c 가 작을수록 대역 저지 주파수는 높아진다. 이것으로 안테나와 SIR의 간격 Gap 이 작아지면 C_c 가 커지므로 대역 저지 주파수는 낮아지고, Gap 이 커지면 C_c 가 작아지므로 대역 저지 주파수가 높아짐을 예상할 수 있다. 또한, Gap 이 작아지면 초단 결합 값이 커지므로 높은 저지 특성을 나타내고, Gap 이 커지면 초단 결합 값이 작아지므로 낮은 저지 특성을 나타낼 것이다.

표 1. UWB 안테나의 설계 변수들

Table 1. Design parameters for UWB antenna.

변수	값(mm)	변수	값(mm)	변수	값(mm)
W	18.0	W_g	11.3	α	36.1°
H	27.5	H_g	2.7	β	36.1°
W_p	16.0	W_m	4.2	γ	52.4°
H_p	18.0	H_m	3.5	-	-

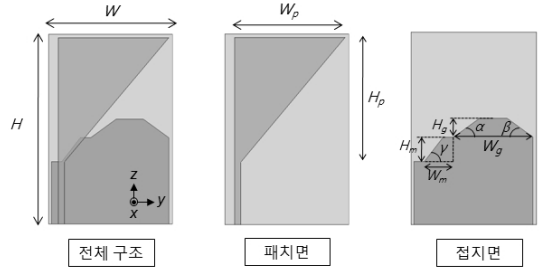
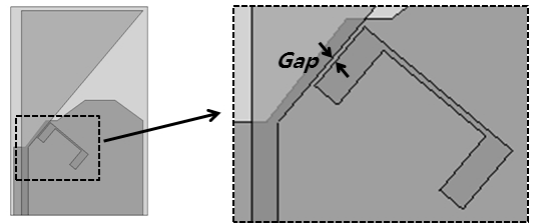


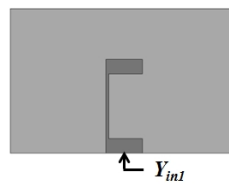
그림 2. 제안된 안테나의 구조

Fig. 2. A structure of proposed antenna.



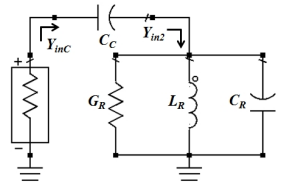
(a) 안테나와 SIR간의 결합 구조

(a) Coupling structure between antenna and SIR



(b) 2단 SIR

(b) 2-step SIR



(c) SIR의 등가 회로

(c) Equivalent circuit of SIR

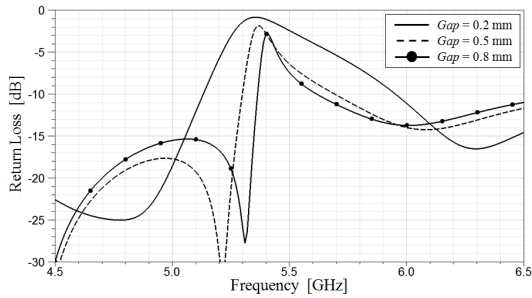
그림 3. SIR의 등가 회로 및 결합 구조

Fig. 3. Equivalent circuit and coupling structure of SIR.

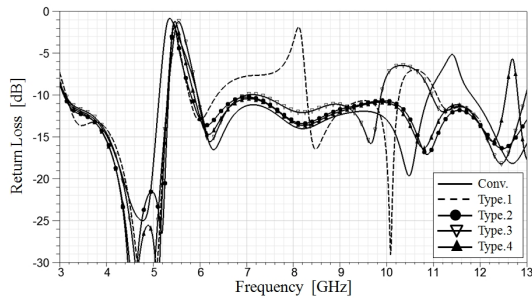
$$Y_{in1} = G_1 + jB_1 \quad (3)$$

$$Y_{in2} = G_R + jB_R$$

$$\text{where } B_R = \omega_R C_R - \frac{1}{\omega_R L_R} \quad (4)$$



(a) Gap에 따른 반사 손실 특성
(a) Return loss for Gap



(b) SIR 형태에 따른 반사 손실 특성
(b) Return loss for type of SIR

그림 4. 각 변수에 따른 반사 손실 특성
Fig. 4. Return losses for each value.

표 2. 각 형태에 따른 SIR 변수들
Table 2. Parameters of SIR from types.

변수	Conv.	Type 1-1	Type 2-1	Type 1-2	Type 2-2
Type	■	■	■	■	■
$Z_1(\Omega)$	92	92	48	92	65
$Z_2(\Omega)$	92	25	92	48	92
K	1	3.68	0.52	1.92	0.71
f_{s2}/f_0	2	1.44	2.51	1.66	2.24
$\theta(^{\circ})$	55.0	62.5	36.1	67.4	40.0

$$\begin{bmatrix} B_{R_+} \\ B_{R_-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{R_+} & -1 \\ w_{R_-} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_R \\ 1 \\ L_R \end{bmatrix}$$

where $w_{R_+} = w_R + \Delta w$, $w_{R_-} = w_R - \Delta w$ (5)

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R(C_R + C_C)}} \quad (6)$$

그림 4(a)는 안테나와 SIR 사이의 간격 Gap에 따

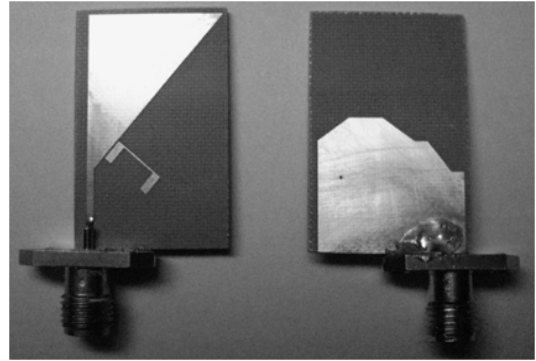


그림 5. 제작된 안테나의 사진
Fig. 5. Photograph of proposed antenna.

른 반사 손실 특성을 나타낸 것이다. 그림 3(c)의 등가 회로에서 보였듯이 Gap이 작아지면 결합 커패시터 값이 커지므로 대역 저지 주파수가 낮아지며 높은 저지 특성을 보인다. 반면에 Gap이 커지면 결합 커패시터 값이 작아지므로 대역 저지 주파수가 높아지며 낮은 저지 특성을 보인다.

그림 4(b)는 SIR 형태에 따른 반사 손실 특성을 나타내었으며, 각 형태에 따른 변수들은 표 2에 나타내었다. 단일 임피던스 공진기의 경우, 식 (1)의 $K=1$ 이므로 $2f_0$ 에서 제 2저지 대역이 존재한다. SIR의 형태인 Type 1-1과 Type 1-2는 $K>1$ 이므로 $f_{s2}<2f_0$ 인 특성을 나타내며, Type 1-1의 경우 ITU 8 GHz 대역을 저지함을 보인다. 또한, Type 2-1와 Type 2-2는 $K<1$ 이므로 $f_{s2}>2f_0$ 인 특성을 나타내며, Type 2-1의 경우 제 2저지 대역 주파수인 f_{s2} 가 13 GHz보다 높은 특성을 갖고 있다. 이러한 결과를 통해 SIR을 이용하여 제 2차 고조파가 조정 가능함을 보인다.

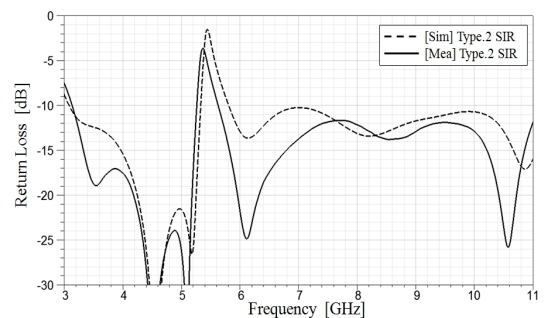


그림 6. 모의 실험과 측정 결과의 반사 손실 특성
Fig. 6. Simulated and measured return loss.

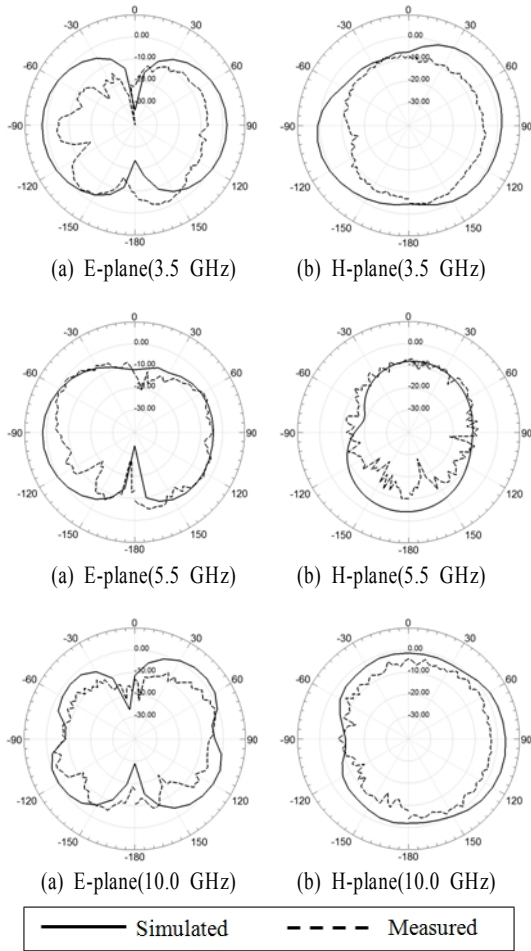


그림 7. 측정된 방사 패턴
Fig. 7. Measured radiation pattern.

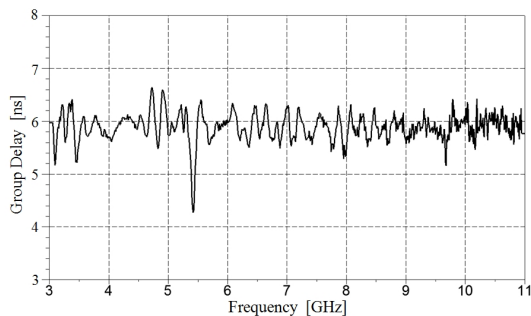


그림 8. 측정된 군지연 특성
Fig. 8. Measured group delay.

2-3 제작 및 측정 결과

그림 5는 제작된 안테나의 사진이다. 안테나는 10

$\times 7 \times 7$ 크기의 전파 무반향실에서 측정되었으며, Anritsu 社の 37397C VNA(Vector Network Analyzer)를 이용하였다. 설계된 안테나의 제작 및 측정 결과와 모의 실험 결과를 비교하여 그림 6에 나타내었다. 모의 실험 결과와 제작 및 측정 결과가 유사함을 보이며, 저지 대역인 5 GHz WLAN 대역을 제외하고 3.1~10.6 GHz에서 -10 dB 이하의 반사 손실 특성을 보인다. 5 GHz의 최대 저지 특성이 모의 실험 결과와 차이가 나는 것은 제작 및 측정상의 오차로 사료된다. 또한, 3.5 GHz에서 반사 손실 값의 차이는 측정 환경이 모의 실험의 환경과 달리 이상적이지 않아서 나타나는 결과이며, 극점이 이동하여 경향성은 같다고 볼 수 있다.

3.5 GHz, 5.5 GHz, 10 GHz에서의 방사 패턴을 그림 7에 나타내었다. 모의 실험과 측정 결과가 유사하며, 제 1저지 대역에서 이득이 가장 작음을 보인다. 또한, H-Plane에서 +y 방향으로 지향성을 보이며, 이는 안테나의 도체가 존재하는 부분이다. 그림 8에는 제작된 안테나의 군지연 특성을 나타내었다. 제 1저지 대역인 5~6 GHz에서 군지연 변화폭은 1.0 ns 이상으로, 이는 신호의 왜곡으로 인한 통신의 장애가 일어나는 대역임을 의미한다. 그러므로 그림 7(a),(b)에 나타낸 것과 같이 저지 대역에서 이득이 가장 작음을 보이게 된다. 그 외의 대역에서는 1.0 ns 이내의 군지연 변화폭을 나타내므로 통신에 문제가 없는 대역임을 의미한다.

III. 결 론

본 논문에서는 보우-타이 모노폴 UWB 안테나에 SIR을 적용하여 제 1저지 대역인 5 GHz WLAN를 저지하였고, 제 2저지 대역이 조절 가능함을 보였다. 제 1저지 대역에서의 안테나 특성을 예측하고 확인하기 위해 SIR의 등가 모델 값 및 안테나와의 결합 값을 구하여 등가 회로로 표현하였다.

제작된 안테나는 제 2저지 대역이 UWB 대역 내에 존재하지 않도록 SIR을 설계였고, 측정 결과 반사 손실 특성은 3.1~10.6 GHz에서 -10 dB 이하를 나타내 UWB 시스템에 사용될 수 있음을 확인하였다. 전 대역에서 E-평면의 방사 패턴은 전방향성 안테나의 방사 패턴과 유사하며, H-평면의 방사 패턴

은 +y 방향으로 지향성을 갖는다. 제 1저지 대역인 5~6 GHz 대역 내에서 -3.8 dB의 최대 저지 특성을 나타내었다. 또한, 이득의 최소점도 제 1저지 대역에 존재하며, 1.0 ns 이상의 근지연 변화폭을 보인다.

본 논문을 이용하여 다수의 SIR을 안테나 근처에 배치하여 다단 대역 저지 특성을 갖는 UWB 안테나를 설계할 수 있을 것으로 보이며, 등가 회로를 구성하여 저지 대역폭, 최대 저지 특성 등을 조절할 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] J. -W. Jang, H. -Y. Hwang, "Design of a miniaturized quarter-circular-slot UWB antenna", *Microwave Journal*, 2008.
 [2] D. -O. Kim, C. -Y. Kim, "CPW-fed ultra-wideband antenna with triple-band notch function", *Electron. Lett.*, 46(18), pp. 1246-1248, 2010.
 [3] Tharaka Dissanayake, Karu P. Esselle, "Prediction of the notch frequency of slot loaded printed UWB

antennas", vol. 55, no. 11, pp. 3320-3325, 2007.
 [4] Y. Zhang, W. Hong, Kuai, and J. Y. Zhou, "A compact multiple bands notched UWB antenna by loading SIR and SRR on the feed line", *Proc. Int. Conf. Microwave and Millimeter Wave Technology*, pp. 198-201, 2008.
 [5] Y. Zhang, W. Hong, C. Yu, J. -Y. Zhou, and Z. -Q. Kuai, "Design and implementation of planar ultra-wideband antennas with multiple notched bands based on stepped impedance resonators", *IET Microwaves, Antennas Propag.*, vol. 3, no. 7, pp. 1051-1059, 2008.
 [6] M. Mitsuo, Y. Sadahiko, "Bandpass filters using parallel coupled stripline stepped impedance resonators", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 28, no. 12, pp. 1413-1417, 1980.
 [7] 최형석, 최경, 황희용, "보우-타이 모노폴 UWB 안테나의 소형화 및 대역 저지 특성", *한국전자과학회논문지*, 23(3), pp. 300-305, 2012년.

최 형 석



2011년 2월: 강원대학교 전기전자공학부 (공학사)
 2011년 3월~현재: 강원대학교 전기전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] Antenna 설계

황 희 용



1992년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1995년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 2001년 3월~2002년 4월: 메릴랜드주립대 연구학자

2003년 2월~현재: 강원대학교 전기전자공학과 교수
 [주 관심분야] RF, Microwave, Millimeter Wave 분야의 부품 및 시스템

최 경



1988년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)
 1993년 7월~1994년 7월: Rensselaer Polytechnic Institute 교환교수
 1989년 3월~현재: 강원대학교 전기전자공학부 전자공학전공 교수
 [주 관심분야] 전자기기 수치 해석,

Microwave