

# RF 리모컨용 마이크로스트립 급전 개방 종단을 갖는 미앤더 슬롯 안테나

## Microstrip Fed Meander Slot Antenna with Open-End for the RF Remote Controller

진정희 · 김의중 · 장수영 · 이영순 · 조영기\*

Jeong-Hi Jin · Ui-Jung Kim · Soo-Young Jang · Young-Soon Lee · Young-Ki Cho\*

### 요 약

본 논문에서는 400 MHz ISM 대역에서 사용 가능한 마이크로스트립 선로로 급전되는 개방 종단을 갖는 미앤더 슬롯 안테나를 새롭게 제안하였다. 본 논문에서 제안된 슬롯 안테나와 기존의 슬롯 안테나의 주된 차이점은 좁은 범위로 제약된 공간에서 기존의 슬롯 안테나를 소형화하기 위하여 개방 종단을 도입했다는 점이다. 본 논문이 제안하는 안테나의 타당성을 검토하기 위하여 공진 주파수 및 방사 패턴의 결과를 시뮬레이션해 보았고, 그 결과들을 실험적으로 측정해 보았다. 본 논문이 제안하는 안테나의 공진 주파수 및 방사 패턴의 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 알 수 있었다.

### Abstract

A meander slot antenna with open-end fed by a microstrip line which can be used at 400 MHz ISM band is newly proposed. The main difference between the proposed slot antenna and the previous slot antenna is the introduction of the open-end to miniaturize the previous meander slot antenna in the space restricted within narrow limit. In order to check the validity of the proposed antenna, the resonant frequency and radiation pattern of the proposed antenna have been simulated and examined. Good agreements between simulated results and measured results have been observed.

Key words : Meander Slot Antenna, Open-End, 400 MHz ISM Band, Rf Remote Controller

### I. 서 론

미국 및 유럽에서 홈씨어터 용으로 주로 사용되고 있는 RF 리모컨은 400 MHz의 ISM 대역을 사용하고 있으며, 안테나의 경우 대부분 코일 형태를 갖는 헬리컬 안테나 또는 루프 형태의 패턴을 갖는 PCB 안테나가 사용되고 있다. 헬리컬 안테나는 PCB 안테나보다 적은 공간을 차지하며 적절한 설계 방법을 적용하는 경우에 높은 안테나 효율을 얻을 수 있

다. 또한 매우 저가로 제작이 가능하다. 다만 안테나와 RF 모듈의 연결을 위해 납 땀 공정이 필요하게 되어 일정한 특성을 갖는 모듈의 대량 생산이 용이하지 않은 문제점을 갖고 있다. 또한 안테나의 형태에 따른 방사 특성 변화, 온도 및 습도 변화에 의해 영향을 받기 쉬운 단점도 갖고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 사용되는 것이 루프 형태의 패턴을 갖는 PCB 안테나이다. PCB 안테나의 경우에는 그 설계 과정이 비교적 간단하며, RF 모듈 PCB에 안테

「본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.」

금오공과대학교 전자공학부(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology University)

\*경북대학교 전자전기컴퓨터공학부(School of Electronic and Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

· 논문 번호 : 20061103-06S

· 수정완료일자 : 2007년 1월 19일

나를 함께 제작할 수 있어서 제조 공정을 줄일 수 있다. 그러나 루프 패턴이 넓은 면적을 차지한다는 단점과 더불어, 안테나로부터 주방사가 일어나는 방향이 PCB 면과 수직을 이루는 방향이어서 RF 리모컨과 같이 수평 방향으로의 방사가 필요한 경우에는 좋은 특성을 기대하기가 어렵다.

본 논문에서는 RF 모듈의 생산이 용이한 PCB 형태의 안테나이면서도, 수평 방향 주방사를 갖는 소형화된 안테나를 제안하고자 한다. 먼저 안테나를 소형화하기 위한 방법으로 도체 패치의 미앤더화를 시도해 보았으나, RF 모듈을 포함한 안테나가 차지할 수 있는 면적이  $40 \times 40 \text{ mm}^2 (=0.11 \lambda_g \times 0.11 \lambda_g)$ 로 제한되어 있어 너무 근접한 미앤더 도체 패치들의 과도한 capacitive reactance 영향으로 안테나의 소형화 설계가 거의 불가능함을 알 수 있었다. 이와 같은 capacitive reactance의 영향을 받지 않는 안테나 소형화 설계 기법으로 기존 논문<sup>[1],[2]</sup>에서 제시한 바와 같이 마이크로스트립 선로로 급전되는 슬롯을 미앤더화 하는 구조를 고려하였다. 기존 논문의 미앤더 슬롯 안테나<sup>[1],[2]</sup>는 미앤더 형태의 패치 안테나를 대신할 수 있는 상보(complementary) 구조의 안테나로 제시되었으므로 접지면, 스트립 선로 급전면, 슬롯이 위치하는 도체면을 가지는 다층 평판 구조체로서 접지면으로 인해 무한 반평면에서만 방사 패턴을 가진다.

본 논문에서는 RF 리모컨의 용도에 적합하게 수평 방향으로 무지향성의 주방사를 가지면서 상하면 대칭적인 방사 패턴(다이폴 안테나와 유사한 방사 패턴)을 갖는 PCB 안테나 설계를 위해 접지면 없이 마이크로스트립 선로 급전면, 슬롯이 위치하는 도체면만을 가지는 전형적인 마이크로스트립 급전 슬롯 안테나<sup>[3]</sup> 구조에 근거를 두고, 이를 소형화하기 위해 magnetic wall 경계면에 해당되는 개방 종단(open-end)을 가지는 미앤더 슬롯 구조의 안테나를 새로이 제안하고자 한다.

## II. 본 논문의 안테나의 구조 및 설계

그림 1에서는 전형적인 마이크로스트립 급전 슬롯 안테나<sup>[3]</sup> 구조 및 슬롯에서의 전계  $E_y$ 의 분포를 제시하였다. 잘 알려진 바와 같이 안테나의 공진 주파수는 슬롯의 길이  $2L$ 에 의하여 결정되어지고, 공

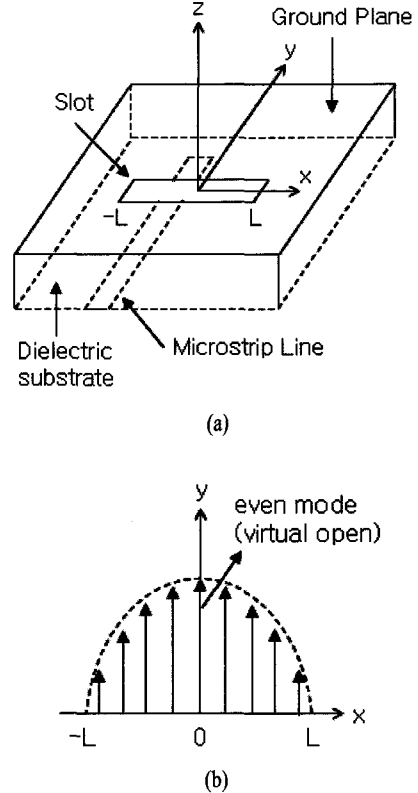


그림 1. (a) 전형적인 마이크로스트립 급전 슬롯 안테나 구조, (b) 슬롯에서의 전계  $E_y$ 의 분포

Fig. 1. (a) Conventional microstrip fed slot antenna configuration, (b) Distribution of the electric field  $E_y$  along the slot axis.

진시 슬롯에서의 전계  $E_y$ 는 그림 1(b)와 같이 슬롯 중심( $x=0$ )에서 전계가 최대가 되고 단락된 슬롯 끝에서 전계가 영이 되는 even symmetry한 분포를 가지므로  $x=0$ 인 면을 virtual open 면으로 간주할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 슬롯의 길이를 줄이기 위해 그림 1의 슬롯을 중심 면에서 반 토막을 낸 즉, 그림 2에서와 같이 magnetic wall에 해당되는 개방 종단을 가지는 슬롯 안테나를 기본 구조로 사용하고자 한다.

그림 2(b)에서 볼 수 있는 바와 같이 개방 종단을 갖는 슬롯에서의 전계  $E_y$ 의 분포가 그림 1(b)에서의 개방 종단이 없는 슬롯의  $x < 0$  축을 따라서 유사한 전계 분포를 가짐을 알 수 있어, 그림 1과 2의 슬롯 구조가 비슷한 공진 주파수를 가지게 될 것으로 기대된다. 그림 2의 개방 종단을 갖는 슬롯 안테나를

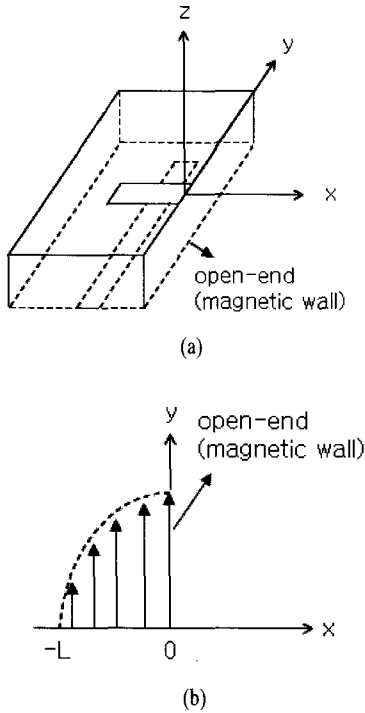


그림 2. (a) 마이크로스트립 급전 개방 종단을 갖는 슬롯 안테나 구조, (b) 슬롯에서의 전계  $E_y$  의 분포

Fig. 2. (a) Basic configuration of present microstrip fed slot antenna with open-end, (b) Distribution of the electric field  $E_y$  along the slot axis.

기본 구조로 하고, 이를 소형화하기 위해 미앤더화 하여 본 논문이 제안하는 안테나 구조를 그림 3에 제시하였다.

그림 3은 접지면에 개방 종단을 갖는 2턴 미앤더 슬롯 구조를 예로 제시하였다. 또한 본 논문이 제안하는 안테나의 설계 자유도(degree of freedom)를 높이기 위해 그림 3에서 보는 바와 같이 마이크로스트립 급전 위치를 중앙이 아닌  $F_x$ 의 offset을 주었다.  $A$ 와  $B$ 는 안테나의 전체 크기이며,  $C$ 는 RF 모듈용으로 사용하기 위한 공간이다. 그리고  $S$ 는 슬롯의  $x$ 축 방향으로의 길이,  $W_1$ 과  $W_2$ 는 슬롯의 폭,  $L_1, L_2, L_3$ 은 슬롯간의 거리,  $F_x$ 와  $F_y$ 는 각각 급전 선로의  $x$ 축 방향으로의 offset과  $y$ 축 방향으로의 길이이다. 본 논문에서는  $A, B, C$ 를 각각 35 mm, 38 mm, 16 mm로 고정 후, FDTD에 근거를 둔 CST사의 MWS 시뮬레이터를 사용하여 안테나를 설계하였다.

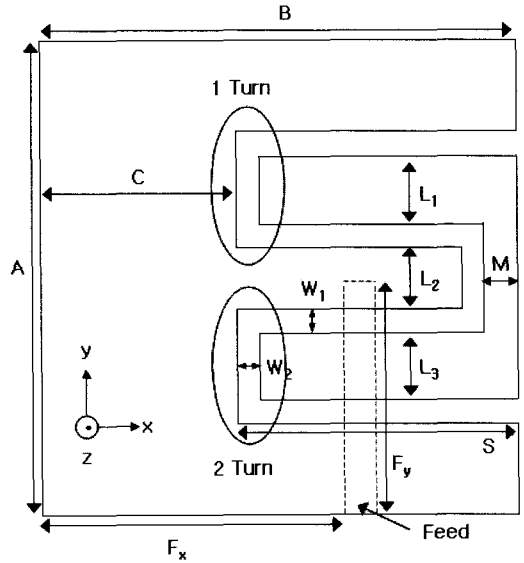


그림 3. 제안된 개방 종단을 갖는 미앤더 슬롯 안테나  
Fig. 3. Present meander slot antenna with open-end.

각 파라미터 값의 특성을 비교하기 위해 안테나의 파라미터를 고정시킨 후에 슬롯의 전체 길이와 급전 선로의 위치를 변화시켜 그 특성을 분석하였다. 슬롯의 전체 길이  $L_{total}$ 은 슬롯의 폭  $W_1, W_2$ 와 슬롯의  $x$ 축 방향으로의 길이  $S$ , 슬롯간의 거리  $L_1, L_2, L_3, \dots, L_N$ 에 의해 결정되어진다. 슬롯의 턴 수가  $N$ 이라고 할 때 슬롯의 전체 길이  $L_{total}$ 은 다음과 같이 구해진다.

$$L_{total} = 2 \times S + (2N - 2) \times (S - M) + \sum_{k=1}^N L_{(2k-1)} \quad (1)$$

그림 4는 슬롯의 전체 길이를 변화시켜가며 확인한 반사 손실의 변화이다. 슬롯의 총 턴 수가 5, 7, 9일 때 수식 1에 의해 계산되어진 슬롯의 전체 길이는 각각 다음과 같다. 5턴일 때 222 mm( $0.62 \lambda_g$ ), 7턴일 때 297 mm( $0.83 \lambda_g$ ), 9턴일 때 381 mm( $1.06 \lambda_g$ )이다. 턴 수가 증가하여 슬롯의 전체 길이를 증가시키면 공진 주파수가 낮아지는 것을 볼 수 있다.

그림 5는 슬롯의 총 턴 수가 9일 때 급전 선로의 위치를  $x$ 축 방향 슬롯 길이의 중간 정도인 21.5mm로 고정시킨 상태에서  $F_y$ 을 변화시켜가면서 본 반사 손실의 변화이다. 급전 선로의 길이  $F_y$ 가 길어질수록 반사 손실 특성이 좋아지다가 안테나의  $y$ 축 방향으로 중간 정도가 지나면 다시 반사 손실 특성

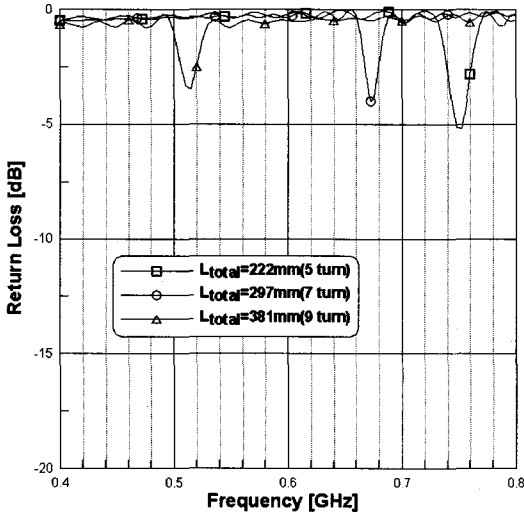


그림 4. 슬롯의 전체 길이에 의한 반사 손실 변화  
Fig. 4. Variation of return loss for the total length of slot.

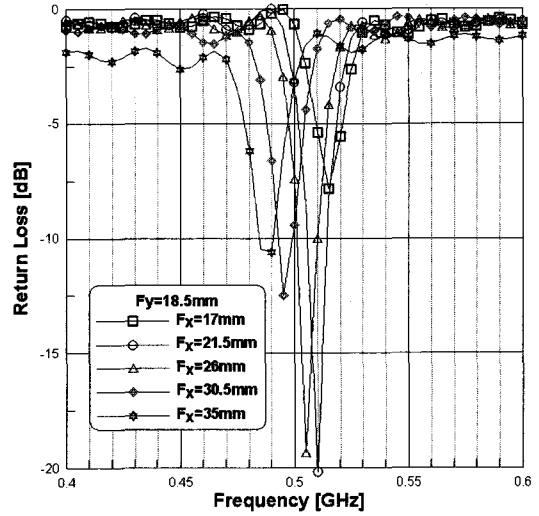


그림 6.  $F_x$ 에 의한 반사 손실의 변화  
Fig. 6. Variation of return loss for the  $F_x$ .

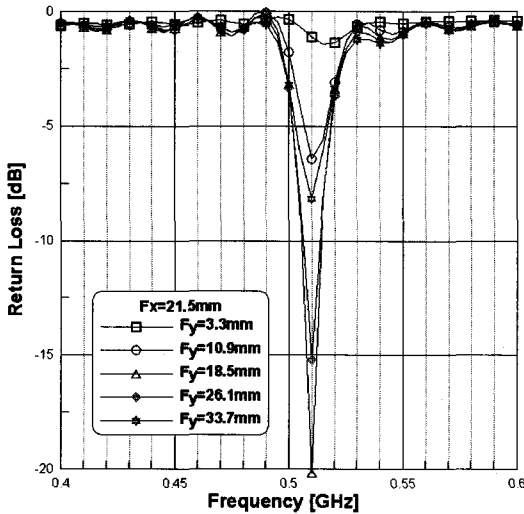


그림 5.  $F_y$ 에 의한 반사 손실의 변화  
Fig. 5. Variation of return loss for the  $F_y$ .

이 저하되는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 급전 선로의 위치를 안테나의 y축 방향 길이의 반 정도인 18.5 mm로 고정시킨 상태에서 급전 위치의 offset ( $F_x$ )을 변화시키며 본 반사 손실의 변화이다. 급전 선로의 x축 방향으로의 offset ( $F_x$ )가 증가할수록 반사 손실 특성이 좋아지다가 일정 위치를 지나면 다시 반사 손실 특성이 저하되는 것을 볼 수 있다. 또한 공진 주파수가 조금씩 낮아지는 것을

볼 수 있다.

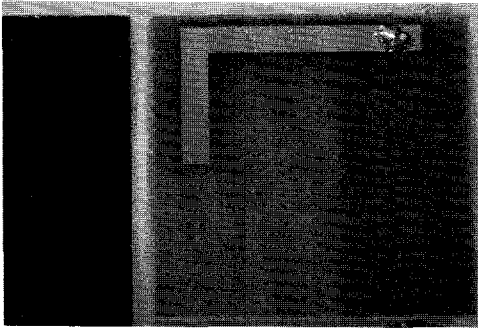
### III. 안테나 제작 및 측정 결과

파라미터 변화에 따른 안테나의 특성 변화를 나타 내면 슬롯의 전체 길이는 공진 주파수에 크게 영향을 주고 있으며, 급전 선로의 위치는 공진 주파수에 크게 영향을 주지 않으나, 반사 손실 특성에 큰 영향을 주고 있다. 이러한 파라미터 분석 결과를 토대로 안테나의 최적화 제원을 얻을 수 있다.

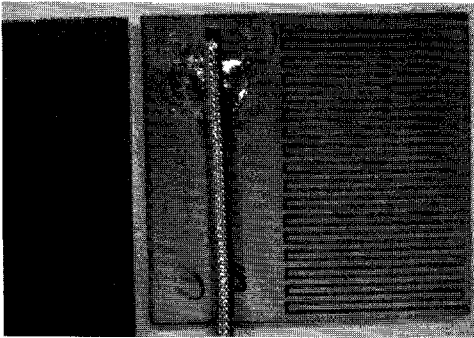
최적화된 안테나 제원을 토대로 400 MHz 대역에서 사용 가능한 미앤더 슬롯 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나의 실물 사진은 그림 7에 나타내었다. FR4 기판을 사용하였으며, 안테나의 전체 크기는  $38 \times 35 \times 1.572 \text{ mm}^3$ 이다. 제작된 안테나는 총 17턴의 슬롯을 가지고 있으며,  $W_1$ 과  $W_2$ 는 0.3 mm, 슬롯의 전체 길이는 약 740 mm( $=2.06 \lambda_g$ )이다.

제작된 안테나의 반사 손실을 측정하기 위하여 Agilent E8358A VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하였다.

그림 8에 안테나의 측정된 반사 손실을 시뮬레이션의 결과와 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 시뮬레이션에서 392 MHz이었던 공진 주파수가 측정된 결과에서는 415 MHz로 약 23 MHz 높은 주파수로 이동되어 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 측정 결과



(a) 급전 선로면  
(a) Microstrip-fed surface



(b) 접지면  
(b) Ground surface

그림 7. 제작된 안테나  
Fig. 7. Fabricated antenna.

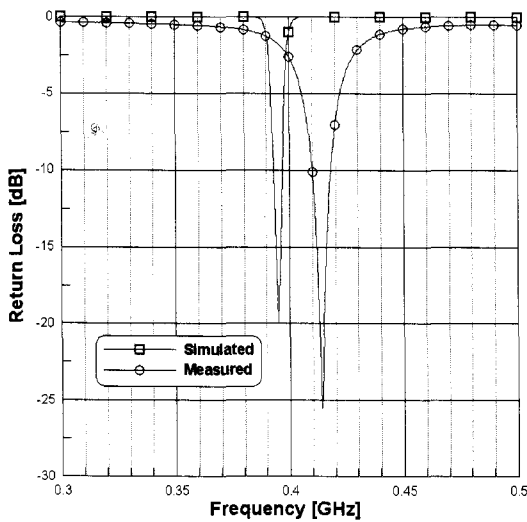
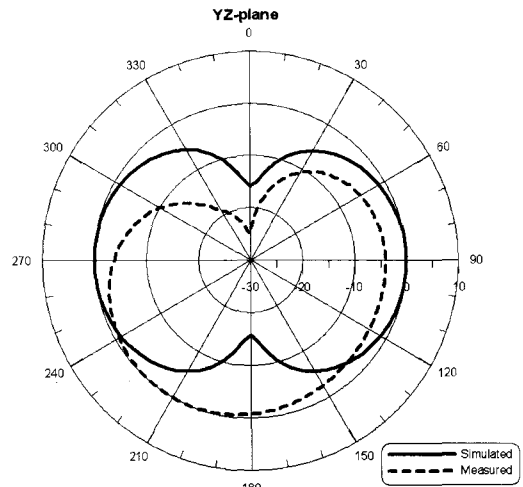


그림 8. 제안된 안테나의 반사 손실의 시뮬레이션 결과와 측정 결과의 비교  
Fig. 8. Simulated return loss of the present antenna and measured return loss of the fabricated antenna.

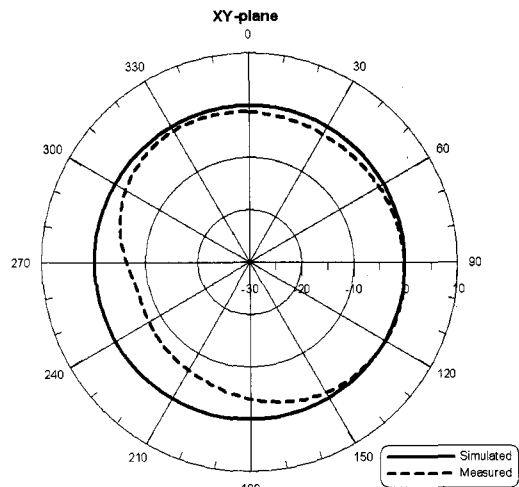
에서 약 6% 정도의 공진 주파수 오차가 발생했음을 확인할 수 있었다.

오차의 원인으로는 안테나가 소형이면서 복잡한 구조를 가지고 있어 발생할 수 있는 제작상의 오차로 예상된다.

그림 9(a) 및 (b)에서는 안테나의 E-plane(YZ-plane) 및 H-plane(XY-plane)의 방사 패턴을 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 각각 제시하였다. 방사 패턴의 결과로 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 미앤더 슬롯 안테나는 일반 PCB 안테나와는 달리 안테



(a) E-plane



(b) H-plane

그림 9. 제안된 안테나의 방사 패턴에 관한 시뮬레이션 결과 및 측정 결과

Fig. 9. Simulated radiation patterns and measured those.

나와 수평 방향으로의 무지향성 방사가 주 되게 일어나며 안테나와 수직 방향으로는 null point가 존재하는 것을 볼 수 있다. 따라서 송수신 안테나의 방향에 따른 수신 감도의 차이를 줄일 수 있게 될 것이다. 이러한 안테나의 방사 특성은 리모컨과 같이 안테나의 수평 방향으로의 전파 방사가 필요한 경우, 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

시뮬레이션 결과, 안테나의 효율은 5% 정도였으며, Wheeler cap 법<sup>[4],[5]</sup>를 사용하여 실제 측정해본 결과 7% 정도였다. 이 결과는 참고문헌 [1]에서의 안테나 효율 4~7%와 유사한 수준이다.

제작된 안테나의 공진 주파수 오차를 줄이는 방법과 안테나의 효율을 높이는 방법에 대해서는 현재 연구 중이다.

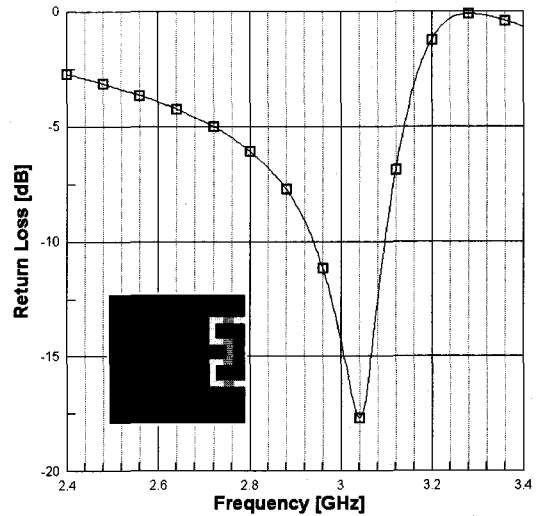
마지막으로 기존의 미앤더 슬롯 구조와는 달리 개방 종단을 갖는 본 논문의 슬롯 구조 안테나의 타당성을 확인해 보기 위해 임의로 2턴 개방 종단을 갖는 미앤더 슬롯 구조에 관한 공진 주파수와 even symmetry 구조를 가지는 2배 크기의 미앤더 슬롯 안테나의 공진 주파수를 비교해 보기 위해 각각의 구조에 관한 반사 손실의 시뮬레이션 결과를 그림 10에 제시하였다.

그림 10(a)은 본 논문의 구조인 개방 종단을 갖는 미앤더 슬롯 안테나의 반사 손실 결과이고, 그림 10(b)은 그림 10(a) 구조의 등가 구조로 even symmetry를 가지는 2배 크기의 미앤더 슬롯 안테나의 반사 손실 결과이다. 결과에서 알 수 있듯이 두 구조가 반사 손실의 크기에는 차이가 있지만 동일하게 3 GHz에서 공진 주파수를 가짐을 알 수 있다. 그러므로 본 논문에서 소형화를 위하여 새로이 도입한 개방 종단을 갖는 슬롯 구조가 타당성에 있다고 사료되어진다.

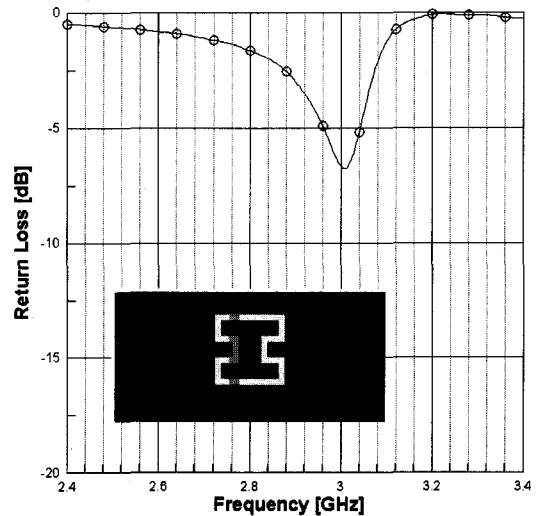
#### IV. 결 론

본 논문에서는 RF 리모컨에 사용될 수 있는 400 MHz 대역에서의 PCB 안테나를 마이크로스트립으로 급전되는 개방 종단을 갖는 슬롯 안테나로 설계 및 제작을 하였다.

제시된 안테나는 RF 모듈 접지면에 미앤더 슬롯을 구성하여 400 MHz 대역용 안테나를  $40 \times 40 \text{ mm}^2 (=0.11 \lambda_g \times 0.11 \lambda_g)$  이하의 크기로 제작할 수 있



(a) 본 논문 구조의 반사 손실  
(a) For the present meander slot antenna



(b) Even symmetry(2배 크기) 구조의 반사 손실  
(b) For the slot antenna with even symmetry(2 times size of (a))

그림 10. 반사 손실 시뮬레이션 결과  
Fig. 10. Simulated results.

며, 수평 방향으로 주된 방사가 일어나는 방사 특성을 가졌다. 또한 RF 모듈에 할당된 공간을 제외한 안테나만 차지하는 공간은  $22 \times 35 \text{ mm}^2 (=0.06 \lambda_g \times 0.1 \lambda_g)$ 로 상당히 소형화 됐음을 알 수 있다.

RF 시스템에서는 안테나 또는 RF 모듈에 할당되어 있는 공간에 따라 PCB 크기가 결정된다. 제안된 안테나는 정해진 PCB 크기에 따라 설계되는 슬롯의

길이, 폭, 간격의 적절한 조절에 의해서 900 MHz, 2.4 GHz들의 다양한 ISM 주파수 대역에서도 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

[1] H. Y. Wang, J. Simkin, C. Emson, and M. J. Lancaster, "Compact meander slot antennas", *Micro-wave and Optical Technology Letters*, pp. 377-380, Mar. 2000.

[2] Jung-Min Kim, Kun-Wook Kim, Jong-Gwan Yook, and Han-Kyu Park, "Compact stripline-fed meander

slot antenna", *IEE Electronics Letters*, pp. 995-996, Aug. 2001.

[3] Y. Yoshimura, "A microstrip line slot antenna", *IEEE Tran. on Microwave Theory and Technique*, vol. MTT-20, pp. 760-762, 1972.

[4] G. S. Smith, "An analysis of the Wheeler method for measuring the radiation efficiency of antennas", *IEEE Trans.*, AP-25, pp. 552-556, Jul. 1977.

[5] D. M. Pozar, B. Kaufman, "Comparison of three methods for the measurement of printed antenna efficiency", *IEEE Trans.*, AP-36, pp. 136-139, Jan. 1988.

### 진 정 회



1998년 2월: 금오공과대학 전자공학  
학과 (공학학사)  
2003년 2월: 금오공과대학 전자공학  
학과 (공학석사)  
2005년 3월~현재: 금오공과대학  
전파통신공학과 (공학박사)  
1986년 8월~1991년 3월: 금성전기

(주) 전자파 시험 대책연구원  
1991년 4월~1994년 8월: 금성정밀(주) 전자파 시험 대책  
연구원  
1994년 9월~2000년 4월: LG정밀(주) 전자파 시험 대책 설  
계 연구원  
2000년 5월~2004년 6월: LG이노텍(주) 전자파 시험 대응  
설계 설비 최적 설계 주임 연구원  
2004년 7월~현재: 넥스원퓨처(주) 신뢰성센터 전자파 Part  
장  
[주 관심분야] EMC/EMP 대응 설계, 한국군의 전자파 환경  
연구 분야, System 전자파 최적 환경 공학, 전자파 측정  
설비(챔버 최적 설계 분야)

### 김 의 중



1996년 2월: 금오공과대학교 전자  
통신공학과 (공학사)  
1998년 2월: 금오공과대학교 전자  
공학과 (공학석사)  
2005년 2월: 금오공과대학교 전자  
통신공학과 (공학박사)  
2005년~2006년 3월: (주)오성전자

리모컨사업부 연구소  
2006년 9월~현재: 금오공과대학교 모바일연구소 연구교  
수  
[주 관심분야] Closed-Form Green's Function Method, 안테  
나의 산란 문제, 도파관 필터

장수영



2005년 2월: 금오공과대학교 전파  
통신공학과 (공학사)  
2005년 3월~현재: 금오공과대학교  
전파통신공학과 (공학석사)  
[주 관심분야] RFID 태그 안테나,  
이동통신 안테나 설계 등

조영기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학  
과 (공학사)  
1981년 2월: 한국과학기술원 전기  
및 전자공학과 (공학석사)  
1998년 2월: 한국과학기술원 전기  
및 전자공학과 (공학박사)  
1981년~현재: 경북대학교 전자전  
기컴퓨터학부 교수  
1992년~현재: 국제전파연합(URSI) 한국대표  
2002년~현재: 경북대학교 공과대학 BK사업 단장  
2004년~현재: 한국전자파학회 부회장  
[주 관심분야] 전자기 산란 및 복사, 주기구조, 안테나 이  
론

이영순



1979년 2월: 경북대학교 전자공학  
과 (공학사)  
1981년 2월: 한국과학기술원 전자  
공학과 (공학석사)  
1996년 2월: 경북대학교 전자공학  
과 (공학박사)  
1981년~현재: 금오공과대학교 전

자공학부 교수

[주 관심분야] 전자기 이론, 안테나의 산란 문제, 도파관  
불연속, 개구 결합