

# 광대역 마이크로스트립 모노폴 슬롯안테나의 설계

## Design of wideband microstrip monopole slot antenna

이영순\*, 조윤기\*\*

Young-Soon Lee\*, Yun-Ki Cho\*\*

### 요 약

본 논문에서는 RF4CE ZigBee 리모컨에 적용할 수 있는 광대역 모노폴 슬롯 안테나를 설계 하였다. 먼저 사용 주파수 대역인 2.45GHz에서  $\lambda/4$ 길이를 가지는 I형 노폴 슬롯안테나를 설계 하였고, 마이크로스트립 급전선과 슬롯을 둘러싸고 있는 접지면과의 비아를 통한 직접연결 방법을 사용하여 광대역의 특성을 얻을 수 있었다. 안테나 점유공간의 축소를 위해 슬롯의 형태를 L형과 T형으로 변경하였고, 그 결과 안테나 성능이 개선되어짐을 확인 할 수 있었다. 최종적인 안테나 구조인 T형 모노폴 슬롯안테나의 경우 VSWR<2 대역폭이 약 3.32GHz였으며, 전 대역에서 90%이상의 방사효율과 2.1dBi 이상의 이득을 얻을 수 있었다. 본 논문에서 설계되어진 3가지 구조의 방사패턴은 모두 슬롯이 개방된 방향으로 엔드파이어 방사특성을 가진다.

### Abstract

In the present study, wideband microstrip monopole slot antennas which can be applied to the RF4CE Zigbee remote controller are designed. First I-shaped monopole slot antenna which has  $\lambda/4$  length at 2.45GHz is designed. In particular, a conducting via is used to connect the microstrip feed line and the ground plane surrounded with the etched slot for the bandwidth improvement. In order to reduce the antenna size, it is changed into L-shaped and T-shaped monopole slot antennas for which improve results of antenna performance are observed. In case of T-shaped monopole slot antenna, impedance bandwidth(VSWR<2) is about 3.32GHz, and also its radiation efficiency and gain is more than 90% and 2.1dBi respectively at whole operating frequency range. In particular, all of proposed monopole slot antennas have the end-fire radiations which has a maximum radiation power toward direction of open ends of monopole slots.

Key words : Zigbee RF4CE, wireless remote control, monopole slot antenna, broadband, end-fire radiation

### I. 서 론

최근 가전제품의 통합 관리 및 제어를 위한 홈 네트워크 무선 통신 기술의 하나인 Zigbee RF4CE(Radio Frequency for Consumer Electronics) 규

격이 승인되어, 이와 같은 홈 네트워크 시스템 제어를 위한 통합 무선 리모컨(RF 리모컨) 개발이 시급한 실정에 있다. 또한 Zigbee RF4CE 규격을 가지는 일반 AV(Audio&Video)용 무선 리모컨 개발 시 저 전력 소비, 등록이 필요 없는 2.4GHz ISM 주파수 대역 사용,

\* 금오공과대학교 전자공학부(Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

\*\* SL 주식회사 종합시험팀(Department of Advance test team, SL Corporation)

· 제1저자 (First Author) : 이영순

· 투고일자 : 2012년 8월 21일

· 심사(수정)일자 : 2012년 10월 21일 (수정일자 : 2012년 10월 26일)

· 게재일자 : 2012년 10월 30일

강화된 유연성 및 제어력 등과 같은 장점을 얻을 수 있다. 이와 더불어 WLAN(2.40~2.497GHz), WiMAX(2.30~3.80GHz)와 같은 무선 기술을 이용한 보다 많은 정보 전송의 필요성이 요구되고 있어, 이러한 통합 무선 리모컨에 사용될 안테나는 소형화 뿐만 아니라 광대역화가 필수적으로 요구되고 있다. 이와 같은 추세에 따라 안테나 구조가 단순하면서 광대역화에 유리한 슬롯(slot)안테나를 이용한 안테나의 소형화 및 광대역화에 관한 연구가 진행되고 있다 [1],[2],[3],[4],[5].

본 논문에서는 Zigbee RF4CE 규격의 2.4GHz 대역 뿐만 아니라 WLAN 및 WiMAX 규격의 주파수 대역에서도 동작이 가능한 통합 무선 리모컨 용 안테나의 설계 결과를 제시하고자 한다. 이러한 안테나 구현을 위하여 슬롯 안테나를 소형화 및 광대역화 하기 위해 1/2파장( $\lambda/2$ ) 공진 슬롯 안테나의 중심부를 접지면의 가장자리(edge)로 절단된 1/4파장( $\lambda/4$ ) 모노폴 슬롯 안테나[6, 7]를 본 논문의 원형 안테나(prototype antenna)로 선택하고자 한다. 기존의 모노폴 슬롯 안테나[6, 7]의 경우 급전 구조로 마이크로스트립 선로의 끝이 개방된 급전 방식을 사용하고 있다. 본 논문에서는 보다 넓은 동작 대역폭 개선을 위하여 마이크로스트립 선로와 슬롯을 감싸고 있는 접지면 사이에 비아(conducting via)를 통한 연결로 단락된 급전 방식을 사용한 안테나 설계 결과를 제시하고자 한다. 본 논문에서 안테나의 전과정 모의실험 설계는 CST사의 MWS[8]를 사용하였다.

## II. 본 론

### 2-1 광대역특성 슬롯안테나

본 논문에서 제안된 안테나는 PCB두께 0.8mm에 유전율( $\epsilon_r$ ) 4.4를 가지는 FR4 에폭시 기판위에 제작되었다. 전체적인 PCB의 크기는 50mm×80mm 크기로, 초기 설계된 I형 모노폴 슬롯 안테나의 경우 50mm×30mm 공간은 안테나가 설계될 공간이고 나머지 공간은 안테나 부품인 모듈이 위치하게 될 공간이다. 제안된 I형 모노폴 슬롯안테나에 대한 구조를 그

림 1에서 제시하였다. Top면은 접지면의 가장 자리에서 절단 되어진 2.45GHz에서  $\lambda/4$  길이인 I형 모노폴 슬롯을 두었고, Bottom면은 50Ω 임피던스 폭에 맞추어 설계되어진 급전을 위한 마이크로스트립 라인을 위치시켰다.

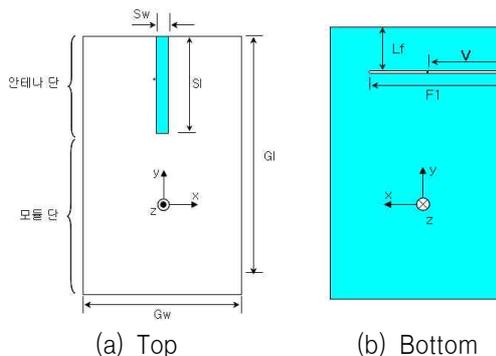


그림 1. I형 모노폴 슬롯안테나  
Fig. 1. I-shaped monopole slot antenna.

그림 1에서 보는 바와 같이 마이크로스트립 라인과 Top면에 슬롯을 감싸고 있는 접지면 사이에 연결 비아가 존재하는 것을 볼 수 있다. 실제 이 비아의 위치가 광대역화 특성을 얻기 위한 중요한 설계 값으로, 최적화 된 값을 얻기 위해 다양한 위치(Lf) 이동을 통해 최적화 된 단락점을 찾을 필요가 있다. 이렇게 최적화된 I형 모노폴 슬롯 안테나의 설계 값들은 GI=80mm, Gw=50mm, F1=39mm, Lf=13mm, W=0.5mm(50Ω), SI=30mm, Sp=23.5mm 그리고 Sw=4mm이다. 연결비아를 통한 단락급전구조와 비아가 없는 개방급전 구조의 동작 대역폭 비교를 위해 그림 2에서는 실제 제작된 안테나에 대한 측정 VSWR값을 비교하여 제시하였다. VSWR 측정에는 Agilent사의 PNA Series Network Analyzer(E8358A) 장비가 사용되었다.

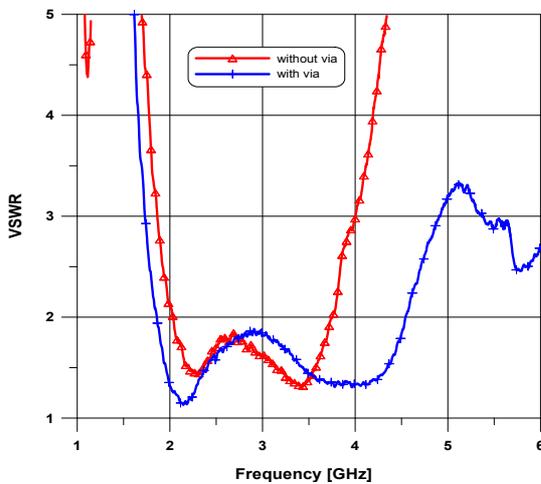


그림 2. 개방 급전 구조와 단락 급전 구조에 의한 I형 모노폴 슬롯 안테나 VSWR 측정 비교

Fig 2. Comparison of measured VSWR between open feed structure(without via) and short feed structure(with via)

그림 2에서는  $VSWR < 2$ 의 대역폭을 기준으로 설정하였다. without via라고 표시된 부분이 개방급전경우이고, with via라고 표시된 부분이 비아를 통한 단락급전의 경우이다. 동일한 I형 모노폴 슬롯 형태에서 단락 급전 구조로 개방 급전 구조에 의하여 훨씬 넓은 동작 대역폭을 가짐을 확인할 수 있다. 동작대역폭은 개방급전일 경우가 약 1.72GHz(2.03~3.75GHz), 단락급전일 경우가 약 2.70GHz(1.85~4.55GHz) 범위로 단락급전 적용 시 약 1GHz정도 넓은 동작 대역폭을 얻을 수 있었다. I형 모노폴 슬롯안테나에 대한 방사패턴은 이어서 제시할 L형, T형 모노폴 슬롯안테나들과 유사함이 확인되었기 때문에, 마지막에 T형 모노폴 슬롯안테나의 방사패턴 만을 제시하고자 한다. 방사 성능 측정은 구미 전자정보 기술원 내에 위치한 OTA(Over The Air Performance System) 챔버에서 진행되었으며, 사용 주파수인 2.45GHz에서의 값을 살펴보면 측정결과 이득이 약 2.1dBi, 방사효율이 약 82%의 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

2-2 안테나의 성능 개선

안테나의 성능으로는 대표적으로 동작 대역폭과, 반사손실, 방사 효율, 이득 같은 값들이 있고, 안테나

의 크기를 줄이는 것 또한 소형화의 방법으로 성능 개선의 요건이 될 수 있다. 본 절에서는 본 논문에서 제시한 모노폴 슬롯안테나의 성능 개선 방안으로 슬롯의 형태를 L형과 T형으로 변경하여 설계한 구조를 제시하고자 한다. L형과 T형 모노폴 슬롯안테나 모두 I형 모노폴 슬롯안테나와 동일한 기판에 제작되었고, 광대역 특성을 얻을 수 있었던 비아를 통한 단락 급전 방식을 그대로 사용하였다.

먼저 제안된 L형 모노폴 슬롯안테나를 살펴보면 안테나 구조는 그림 3과 같다.

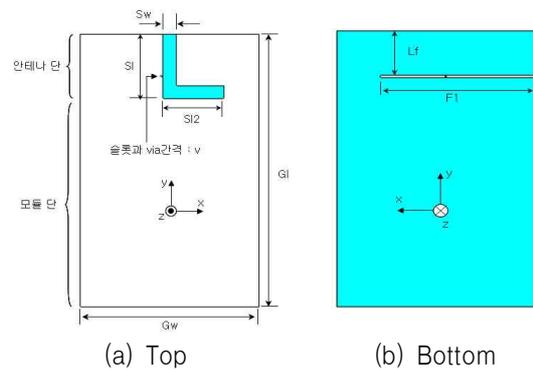


그림 3. L형 모노폴 슬롯안테나  
Fig. 3. L-shaped monopole slot antenna.

L형 모노폴 슬롯안테나는 I형 모노폴 슬롯안테나의 단점인 세로축(y축)점유 공간이 크다는 단점을 개선하기 위해 시도된 구조이다. I형 모노폴 슬롯안테나의 경우 슬롯의 길이 변수인 SI이 30mm로 안테나 점유공간이 전체 모듈의 38%에 해당하는 면적이었으나, L형으로 슬롯을 변경함으로써 그 길이가 18.8mm로 줄어들어 안테나 점유공간이 전체 모듈공간의 24%로 줄었다. 이렇게 최적화된 L형 모노폴 슬롯 안테나의 설계 값들은  $G1=80\text{mm}$ ,  $Gw=50\text{mm}$ ,  $F1=38\text{mm}$ ,  $Lf=12\text{mm}$ ,  $W=0.5\text{mm}(50\Omega)$ ,  $SI=18.8\text{mm}$ ,  $SI2=17\text{mm}$  그리고  $Sw=3.75\text{mm}$ 이다.

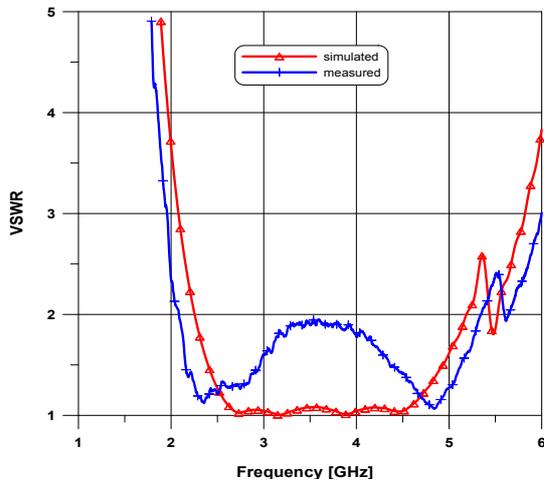


그림 4. L형 모노폴 슬롯안테나의 모의실험과 측정 VSWR 비교

Fig 4. Simulated and measured VSWR of L-shaped monopole slot antenna.

그림 4에서는 최적으로 설계된 L형 모노폴 슬롯안테나의 설계된 측정값과 모의실험 VSWR 값을 비교하여 제시하였다. 측정 결과 VSWR<2 대역폭이 약 3.26GHz(2.08~5.34GHz)로 앞서 I형 모노폴 슬롯안테나 보다 560MHz 넓은 대역폭을 가짐으로써 안테나가 소형화 되면서 대역폭이 더욱 개선되는 특성을 얻을 수 있었다. 이는 L형으로 슬롯을 변경하면서 슬롯과 마이크로스트립 급전선간의 전류흐름에 영향을 미칠 수 있는 유효 면적이 늘어나게 되면서 생긴 결과라고 사료되어 진다. L형 모노폴 슬롯안테나의 방사성능 측정 결과 사용 주파수 대역의 중심인 2.45GHz에서 3.17dBi의 이득과 93%의 우수한 방사성능을 지니는 것을 확인할 수 있었다.

다음으로 최종적인 설계 모델인 T형 모노폴 슬롯의 경우에 대해서 살펴보면, 제안된 구조는 그림 5와 같다. 슬롯의 길이 배수인 SI의 길이가 약 17.2mm길 이으로써 앞서 L형 모노폴 슬롯안테나보다 더 작은 전체공간의 약 21%의 공간에 최적화 된 안테나를 설계 할 수 있었다. 안테나 점유공간뿐만 아니라 T형으로 슬롯을 설계함으로써 마이크로스트립 급전선과 접촉 하는 면적을 크게 만들어 좀 더 광대역화 된 동작대역폭을 얻고자 하였다.

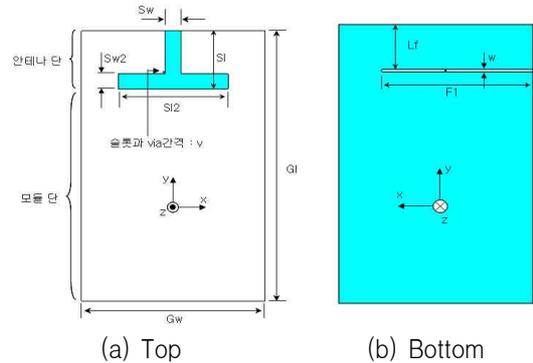


그림 5. T형 모노폴 슬롯안테나

Fig. 5. T-shaped monopole slot antenna.

다양한 설계를 위해 Sw변수와 Sw2변수 폭을 다르게 지정하여 실험을 진행하였다. 실제 변수 변화에 따른 경향을 살펴보았을 때 광대역에 특성에 있어서 가장 큰 영향을 주는 변수는 주 방사 슬롯의 폭인 Sw 변수였다. Sw변수 변화에 따른 반사손실 경향을 그림 6에 제시하였다.

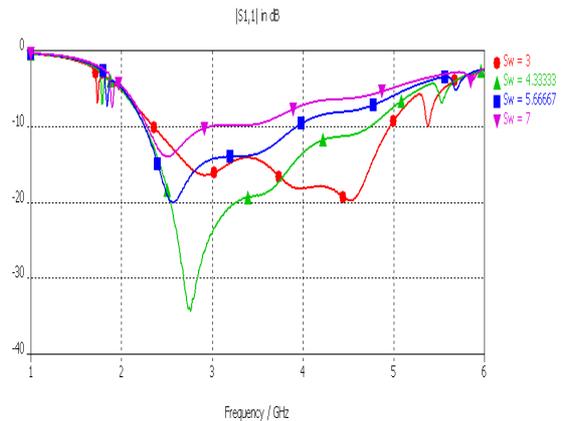


그림 6. T형 모노폴 슬롯안테나의 Sw변수 변화에 따른 반사손실

Fig. 6. Return loss with respect to the design parameter Sw of T-shaped monopole slot antenna

Sw변수에 따른 경향을 보면 작은 폭 변화에도 반사손실과 10dB이하 동작 주파수 범위가 크게 변하는 경향을 확인할 수가 있다. 때문에 적절한 폭 설정이 필요하다. 그 밖에 Sw2 폭 변수는 특정 폭에서 개선된 반사손실 값을 가지며, SI2 길 이 변수는 길이가 길어질수록 개선된 반사손실 값을 가지며, 대역폭도 소폭 늘어나는 경향을 가진다. SI2길이가 길어진다고 하여 안테나 전체 점유공간이 늘어나는 것은 아니

로 이 길이를 적당히 조절하여 안테나의 성능을 개선할 필요가 있다. 이렇게 최적화 I형 모노폴 슬롯 안테나의 설계 값들은  $G1=80\text{mm}$ ,  $Gw=50\text{mm}$ ,  $F1=37\text{mm}$ ,  $Lf=12\text{mm}$ ,  $W=0.5\text{mm}(50\Omega)$ ,  $V=0.5\text{mm}$ ,  $SI=17.2\text{mm}$ ,  $SI2=15\text{mm}$ ,  $Sw=4.3\text{mm}$  그리고  $Sw2=4.5\text{mm}$ 이다. 이와 같이 최적화 과정을 거쳐 제작된 최적화된 T형 모노폴 슬롯안테나의 측정 VSWR 값을 모의실험 결과와 비교하여 그림 7에 제시하였다.

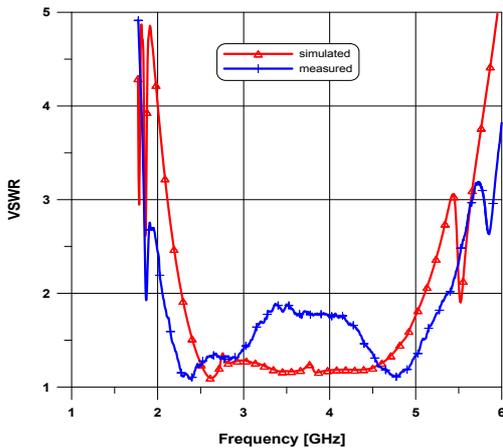


그림 7. T형 모노폴 슬롯안테나의 모의실험과 측정 VSWR 비교

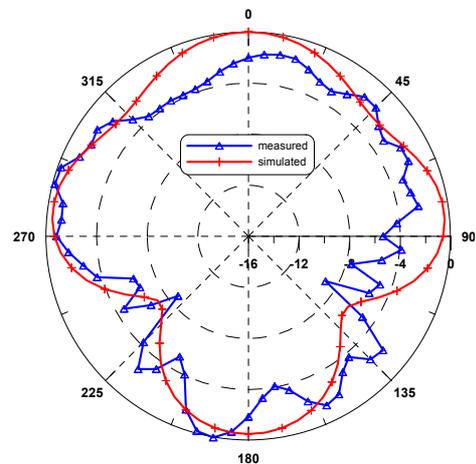
Fig 7. Simulated and measured VSWR of T-shaped monopole slot antenna

그림 7의 T형 모노폴 슬롯안테나의 측정된 VSWR 값을 보면  $VSWR < 2$  대역폭이 약 3.32GHz (2.05~5.3GHz)범위로 앞서 제시한 I형, L형 모노폴 슬롯안테나 구조와 비교했을 때 가장 넓은 동작 대역폭을 지니는 것을 확인할 수 있었다. 또한 측정 대역폭이 모의실험의 대역폭 보다 소폭 넓은 것을 확인할 수 있는데 이는 실제 안테나 제작 시 모의실험에서 설정한 값보다 조금 더 넓게 제작되면서 나타난 결과라고 사료되어진다. 일반적으로 슬롯타입 안테나의 경우 여러 경험으로 비추어 볼 때 슬롯의 폭이 늘어나면 대역폭이 늘어나는 경향을 볼 수가 있었다. 하지만 대역폭이 늘어나는 반면 중간 대역의 반사손실이 커지는 경향을 보이기 때문에 안테나 설계시 적절한 Trade-off가 요구되어진다.

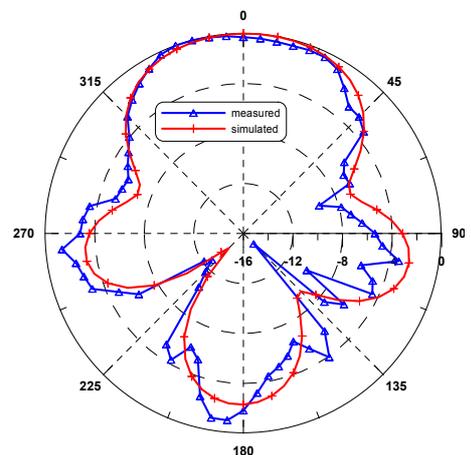
2-3 안테나의 방사패턴

끝이 개방된 슬롯안테나의 중요한 특징 중에 하나

가 슬롯의 개방 끝단에 분포된 전계로 인한 개방된 방향으로의 엔드파이어 방사패턴이다. 본 논문에서 제안한 I형, L형, T형 슬롯구조 모두 끝이 개방된 구조로써, 방사패턴을 확인하기 위해 측정을 해 본 결과 서로 방사패턴 형태가 유사함이 확인 되었다. T형 모노폴 안테나에 대하여 동작 주파수 대역인 2.45GHz와 3GHz, 4GHz, 5GHz에서 각각 패턴을 측정하여 모의실험 결과와 함께 비교하여 그림 8에 제시하였으며, 엔드파이어 방사특성을 확인하기 위해 제안된 안테나 구조의 x-y평면을 주로 측정해 보았다. 두 평면 중 그림 8에서 제시된 패턴은 x-y평면 패턴으로 y-z평면 패턴에서도 엔드파이어(end-fire) 방사특성을 확인할 수 있으나 그 특성이 x-y평면 패턴과 유사하고, x-y평면 패턴에서 엔드파이어 방사특성이 조금 더 두드러지게 나타나므로 x-y평면 패턴만 그림 8에 제시하였다.



(a) 2.45GHz



(b) 3GHz

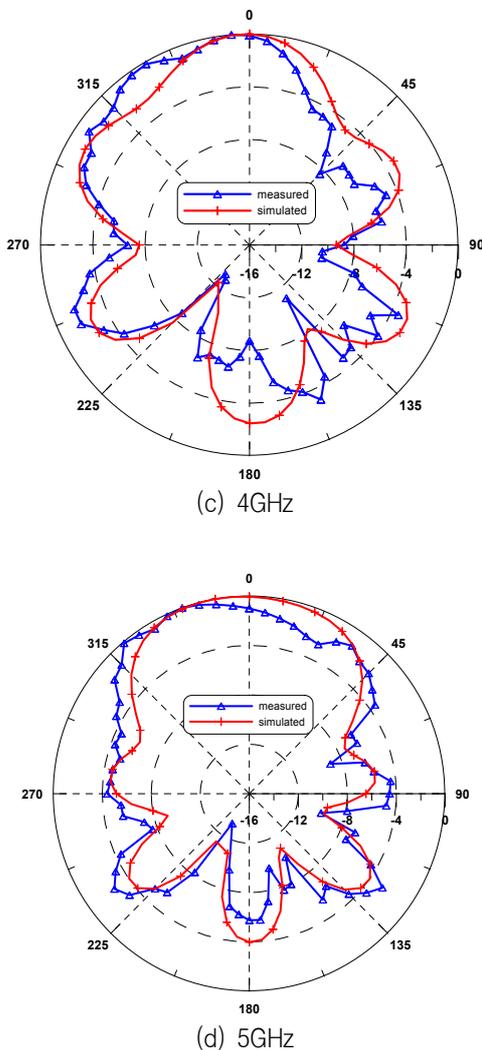


그림 8. T형 모노폴 슬롯안테나의 x-y평면 방사패턴  
 Fig 8. Radiation patterns on the x-y plane of T-shaped monopole slot antenna

방사패턴 측정 결과 모의실험과 측정결과가 비교적 잘 일치하는 것을 확인할 수 있었고, 슬롯이 오픈된 방향인  $\Phi=0^\circ$  방향으로 강한 엔드파이어 방사가 전 대역에서 형성됨을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 제시한 3가지 구조(I형, L형, T형) 안테나에서 유사한 패턴을 가진다. 이러한 엔드파이어 방사특성을 가지는 안테나 구조는 안테나 수평방향의 방사특성을 요하는 리모컨과 같은 제품 적용에 유용할 것으로 사료된다.

2-4 제안된 3가지 모노폴 슬롯안테나 비교

최종적으로 제안된 3가지 모노폴 슬롯안테나 구조

에 대한 비교를 표 1에 제시하였다.

표 1. 3가지 모노폴 슬롯안테나의 안테나특성 비교  
 Table 1. Comparing the characteristic of monopole slot antennas

		I형 슬롯	L형 슬롯	T형 슬롯
전체모듈공간[mm] (가로×세로)		50×80	50×80	50×80
안테나 점유공간[mm] (가로×세로)		50×30	50×19	50×17
안테나 점유율 [%]		38	24	21
동작대역폭 [GHz] (VSWR<2)		2.70	3.26	3.32
지향성 [dBi]	2.45GHz	2.99	3.46	3.52
이득 [dBi]		2.15	3.17	3.03
방사효율 [%]		82.4	93.7	93.6

표 1에서 확인할 수 있듯이 T형 모노폴 슬롯으로 형태를 변경할수록 안테나 점유공간이 줄어드는 반면 동작대역폭과 방사성능 면에서 안테나 성능이 좋아지는 경향을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 2.45GHz ZigBee RF4CE규격 적용 리모컨에 사용될 수 있는 평판형 안테나를 설계하였다. 기존의 개방급전방식이 아닌 마이크로스트립 라인과 슬롯을 감싸고 있는 접지면과의 비아연결을 통한 단락급전방식으로 광대역의 특성을 가진 안테나를 설계함으로써 원하는 주파수인 2.45GHz 대역 뿐만 아니라 WLAN(2.40~2.497GHz), WiMAX (2.30~3.80GHz)대역까지 모두 포함하는 안테나를 설계할 수 있었다. 설계된 안테나는 끝이 개방된 슬롯 구조를 사용함으로써 안테나 가장자리 공간을 효율적으로 활용할 수 있고,  $\lambda_g/4$ 의 길이로 동작시킬 수 있기 때문에 소형화에 유리하다. 안테나 성능 향상을 위해 슬롯의 형태를 I형태에서 L형, 그리고 T형으로 변경해 본 결과 안테나 점유공간이 줄어들어 소형화 되면서 반사손실은 줄어들고 VSWR<2의 동작대역폭은

각각 2.70GHz, 3.26GHz 및 3.32GHz로 늘어나는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 전 대역에서 안테나 슬롯의 끝이 개방된 방향으로 주방사가 일어나는 엔드파이어 방사패턴을 지니면서 방사효율이 약 90%, 이득이 약 2.1dBi인 우수한 방사특성을 지니는 것을 확인할 수 있었다. 방사패턴의 경우 수평방향으로 최대 복사 전력을 가지는 이러한 엔드파이어 복사 특성은 안테나를 포함하는 평면과 나란한 평면으로 최대 복사 전력을 요구하는 리모컨과 같은 제품의 장착에 유용할 것으로 사료된다. 특히 본 논문에서 설계한 PCB안테나의 경우 별도의 안테나 구입비용이나 조립과정이 필요하지 않기 때문에 가격과 신뢰성 면에서 대량생산에 유리한 장점을 갖게 될 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

#### 참 고 문 헌

- [1] B. Z. W. Qing-Qiang He, Zhong-Liang Yin, "Research on broadband characteristics of double folded-slot antenna with back ground conductor," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 49, no. 8, pp. 1829-1833, 2007.
- [2] W. R. Deal, V. Radisic, Q. Yongxi and T. Itoh, "A broadband microstrip-fed slot antenna," *Technologies for Wireless Applications, Digest. 1999 IEEE MTT-S Symposium on*, pp. 209-212, 1999.
- [3] P. Y. L. Ching-Lieh Li, Chun-Kai Huang, "Impedance bandwidth improvement for microstrip-fed slot antennas using short-circuited termination," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 45, no. 1, pp. 67-70, 2005.
- [4] H. S. Tsai, M. J. W. Rodwell and R. A. York, "Planar amplifier array with improved bandwidth using folded-slots. *IEEE Microwave Guided Wave Letter*, pp. 112-114, 1994.
- [5] A. Axelrod, M. Kisluk, and J. Maoz, "Broadband Microstrip-fed Slot Radiator," *Microwave Journal*, pp. 81-94, Jun. 1989
- [6] S. K. Sharma, L. Shafai, N. Jacob, "Investigation of Wide-Band Microstrip Slot Antenna," *IEEE TRANSACTIONS on ANTENNAS and PROPAGATION*, vol. 52, no. 3, pp. 865-872, March 2004.
- [7] S. I. Latif, L. Shafai, and S. K. Sharma, "Bandwidth Enhancement and Size Reduction of Microstrip Slot Antennas." *IEEE TRANSACTIONS on ANTENNAS and PROPAGATION*, vol. 53, no. 3, pp. 994-1003, March 2005.
- [8] Trade mark of CST corp.

#### 이 영 순 (李永淳)



1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1981년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과(공학석사)  
1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)  
1981년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수

관심분야 : 전자기 이론, 안테나의 산란문제, 도파관 불연속, 개구결합

#### 조 윤 기 (趙允基)



2009년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부(공학사)  
2011년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과(공학석사)  
2011년 3월 ~ 현재 : SL 주식회사 종합시험팀 연구원  
관심분야 : 전자기 이론, 안테나의 산란문제, 도파관 불연속, 개구결합