

400MHz ISM대역용 굴곡형 모노폴 안테나의 설계

The design of bent monopole antenna for 400MHz ISM band applications

이영순*

Young-Soon Lee*

요 약

본 논문에서는 정상모드 헬리컬 도선 안테나를 대신하여 일종의 인쇄형 안테나로써 헬리컬 구조와 결합된 굴곡형 모노폴 안테나를 제안한다. 본 논문에서 연구한 안테나는 418MHz에서 동작될 수 있도록 상용 모의실험 도구인 MWS를 사용하여 설계하였다. 제작된 안테나의 반사손실 및 방사패턴의 측정결과가 모의실험 결과와 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안된 안테나를 418MHz에서 동작되는 실제 무선 리모컨에 적용시킨 결과, 기존의 정상모드 헬리컬 안테나 사용 때와 비교하여 거의 유사한 특성을 가짐을 알 수 있었다.

Abstract

In order to substitute for the normal mode helical wire antenna, bent monopole antenna combined with a helical structure is proposed as a kind of printed antenna. The antenna which can be operated at 418MHz has been simulated and designed by use of a commercial EM simulator Microwave Studio(MWS). It has been observed that the proposed antenna has good agreements between simulated results and measured results such as the return loss and the radiation pattern. The proposed antenna has been applied practically to the wireless remote controller operating at 418MHz. It has been observed that the use of the proposed antenna result in similar antenna performance from view point of radiation power when compared with the use of the previous normal mode helical antenna.

Key words : Bent monopole, Helical structure, Printed antenna, 400MHz ISM band

I. 서 론

현재 북미 및 유럽지역에서 홈씨어터의 무선주파수기반(RF) 원격 제어용으로 주로 사용되고 있는 무선리모컨(wireless remote controller)은 400MHz ISM대역을 사용하고 있으며, 안테나의 경우 대부분 코일 형태를 갖는 헬리컬 안테나(helical antenna) 또는 루프

형태의 패턴을 갖는 인쇄형 안테나(printed antenna)가 사용되고 있다. 기존의 대부분의 무선 리모컨에 사용되는 안테나는 정상모드(normal mode) 헬리컬 안테나로써[1][2], 설계하기 용이하고 양산기술의 보편화로 지금까지 상당부분 많은 무선 리모컨 안테나로 사용되고 있다. 정상모드 헬리컬 안테나는 모노폴(monopole) 안테나의 물리적 크기를 소형화하기 위해 고안된 안테나로써, 원하는 동작 주파수에서 안

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

- 제1저자 (First Author) : 이영순
- 투고일자 : 2011년 2월 21일
- 심사(수정)일자 : 2011년 2월 21일 (수정일자 : 2011년 4월 12일)
- 게재일자 : 2011년 4월 30일

테나로 동작하도록 길이와 턴(turn)수가 조절된다. 이러한 안테나는 대량 생산 시에 전기적 특성의 유지를 위해 동일한 길이를 갖도록 생산 공정의 세심한 관리가 필요하며, 실제 제품에 실장 후에도 형태 변형의 가능성이 있다. 또한 RF 모듈(module)과의 연결을 위한 납땜 공정을 필요로 한다. 하지만 단가가 싸다는 장점이 있어 아직까지 400MHz ISM 주파수 대역을 기반으로 하는 소형 무선기기에 많이 사용되고 있다. 이러한 헬리컬 안테나의 단점을 보완하기 위해서 제안된 것이 루프 형태의 패턴을 갖는 인쇄형 안테나이다. 루프 형태의 인쇄형 안테나는 RF모듈과 동일 PCB면에 제작이 가능하기 때문에 전기적 특성이 일정하도록 양산하기에 적합하고 별도의 납땜 공정이 필요 없다는 장점이 있다. 하지만 비교적 넓은 PCB 면적을 필요로 하기 때문에 일반적으로 헬리컬 안테나를 이용하는 경우에 비해 전체 모듈의 크기가 증가하게 된다. 또한 이득과 효율이 낮아서 인식거리의 확보가 용이하지 않다는 것이 문제점으로 지적될 수 있다.

본 논문에서는 정상모드 헬리컬 안테나를 유사하게 대체할 수 있는 인쇄형 안테나로서 헬리컬 형태를 PCB 윗면(top) 도체 패턴과 아랫면(bottom) 도체 패턴을 비아로 연결하는 구조인 굴곡형(bent) 모노폴 인쇄형 안테나를 제안한다. 그러므로 제안된 안테나의 구조는 접지면(ground), 급전선로, 헬리컬, 부가패턴의 네 부분을 가지게 된다. 접지면은 RF 신호 인가 및 모듈 구성부품 실장을 위해 사용되고, 급전선로 부분은 PCB 윗면에만 위치하게 되며 RF 모듈로부터 전달된 신호를 헬리컬 형태의 패턴으로 전달하는 역할을 하게 된다. 헬리컬 부분의 패턴은 PCB의 윗면과 아랫면에 위치하게 되며 비아에 의해 서로 연결된다. 그리고 부가패턴부는 PCB의 윗면에만 위치하며 안테나의 공진 주파수를 조정하는 역할을 하게 된다. 본 논문이 제안하는 굴곡형 모노폴 인쇄형 안테나의 주된 차이점은 기존의 모노폴 안테나의 공진길이가 1/4 파장인 것과는 달리 1/2 파장으로 하여 헬리컬 구조 부분에서의 전류분포가 최대가 될 수 있도록 설계를 하는 것이다. 또한 모노폴 안테나의 공진길이가 길어짐에 따라서 안테나의 입력임피던스가 증가하게 되므로[3] 정합회로 설계가 반드시 필요하다는 점이

다. 이를 위해 먼저 상용 전자장 수치해석 툴(tool)인 MWS(Microwave Studio)[4]를 이용한 모의실험을 통해 설계 파라미터들을 최적화하여 안테나를 설계하고 실제 무선 리모컨에 설계된 안테나를 적용하여 기존 정상모드 헬리컬 안테나의 출력 비교를 위한 실거리 비교를 확인해보고자 한다.

II. 제안된 안테나의 구조 및 설계

그림 1에서는 기존의 무선 리모컨 내부에 사용되고 있는 정상모드 헬리컬 안테나의 실제 사진을 제시하였고, 그림 2에서는 이를 유사하게 대체하기 위해 본 논문이 제안하는 굴곡형 모노폴 안테나의 구조를 제시하였다. 그림 2에서 알 수 있듯이 본 논문에서 설계하고자 하는 안테나의 구조는 무선 리모컨에서 주로 사용하고 있는 코일 형태의 헬리컬 구조를 RF 모듈용 PCB의 윗면, 아랫면에 위치한 도체 패턴과 비아를 연결하여 모듈 일체형으로 설계하였다. X와 Y는 안테나의 전체 크기이며 C는 RF 모듈의 부품실장 부분이다. f_{y1} 은 급전선로의 길이이며 급전선로 부분은 RF 모듈로부터 전달된 신호를 헬리컬 형태의 패턴으로 전달하는 역할을 하게 된다. mh은 평면 헬리컬 안테나의 길이, n은 헬리컬의 턴 수, x_{off} 는 헬리컬 패턴 간의 거리, f_{y2} 는 부가패턴의 길이이다. 본 논문에서는 무선 리모컨용 모듈에 바로 적용할 수 있도록 현재 사용되고 있는 RF 모듈의 PCB에 안테나를 설계하였고 RF모듈 PCB 크기는 $X=36\text{mm}$, $Y=40.5\text{mm}$, $C=18.6\text{mm}$ 로 실제 크기를 선택하였다.



그림 1. 기존에 사용되고 있는 정상모드 헬리컬 안테나
Fig. 1. Previous normal mode helical antenna

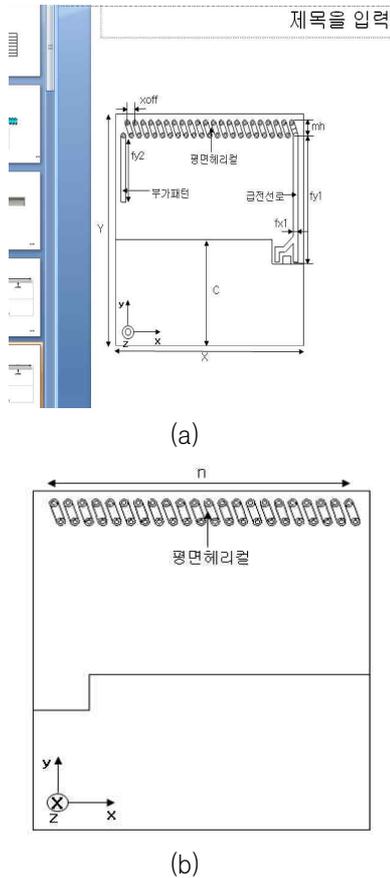


그림 2. 제안된 굴곡형 모노폴 인쇄형 안테나의 구조
 (a) PCB윗면 (b) PCB아랫면
 Fig. 2. Configuration of the proposed bent monopole printed antenna
 (a) Top view of PCB (b) Bottom view of PCB

본 논문이 제안하는 굴곡형 모노폴 안테나의 공진 주파수는 헬리컬 패턴의 길이와 부가패턴의 길이에 의한 총 길이에 의해서 결정된다. 따라서 본 논문에서 제안한 안테나의 최적 설계는 먼저 설계하고자 하는 사용 주파수에 적합한 패턴의 길이 결정이 필요하게 된다. 안테나가 차지할 수 있는 PCB 면적이 한정되어 있으므로 주어진 PCB의 면적에 적합한 파라미터를 적절히 조합하는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 무선 리모컨 모듈에 사용하는 주파수인 418MHz 용 안테나를 설계하기 위해 헬리컬 패턴의 길이와 부가패턴의 길이를 변화하여 최적화 과정을 통해 안테나의 설계가 진행되었다. 본 논문에서 사용된 PCB유전체 기판은 비유전율 $\epsilon_r=4.3$ 인 FR4기판을 사용하였고, 편의상 패턴의 총 길이 변화의 일관성을 유지하기 위해 헬리컬 패턴간의 거리인 x_{off} 및 헬리컬 턴수 n 을 굴곡형 모노폴의 총 길이가 418MHz에서 대략

1/2파장이 될 수 있도록 각각 1.5mm 및 22회로 선택하여 고정된 값으로 하였다.

그림 3에서는 헬리컬 패턴의 총 길이에 의한 특성 변화를 확인하기 위해 mh 변화에 따른 반사손실 특성의 모의실험 결과를 제시하였다. 그 결과 헬리컬 패턴의 길이가 길어질수록 공진주파수가 낮아짐을 알 수 있다.

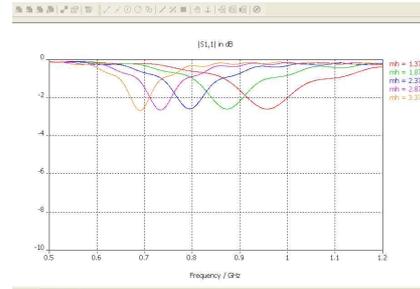


그림 3. 헬리컬 패턴 길이 변화(mh)에 따른 반사손실 특성
 Fig. 3. The return loss versus the value of mh

다음은 부가 패턴 길이 변화에 따른 공진주파수의 변화를 살펴보기 위해 부가패턴을 x축 및 y축 방향으로 증가시켜 공진주파수를 확인하였다. 마찬가지로 헬리컬 패턴의 턴 수 $n=22$, 헬리컬 패턴 사이의 거리 $x_{off}=1.5mm$ 로 고정한 후 모의 실험을 진행하였다. 그림 4에서는 안테나의 총 길이를 증가시키기 위해 모의실험에 사용되어진 부가패턴 모양을 제시하였고, 각각의 부가패턴 모양에 따른 공진주파수의 변화를 그림 5에 제시하였다. 그 결과 부가패턴의 길이가 증가할수록 공진주파수가 낮아짐을 알 수 있다.

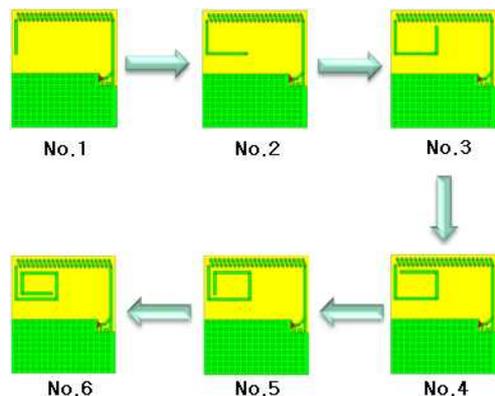


그림 4. 총 길이 증가를 위한 부가패턴의 다양한 모습
 Fig. 4. Various configurations of the additional pattern to increase total length

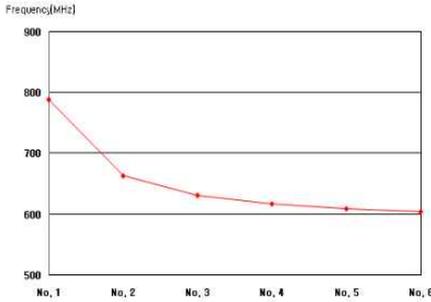


그림 5. 부가패턴 길이 증가에 의한 공진주파수 변화
Fig. 5. Variation of the resonant frequency due to the increase of the length

그림5에서의 공진주파수를 418MHz보다 높은 주파수 결과를 제시한 이유는 실제로 RF 모듈(36mm×40mm)이 주 PCB(53mm×215mm)에 연결될 경우 점유하는 접지면의 면적이 증가되어 공진주파수가 낮아질 것을 미리 예측하였기 때문이다. 그림 6에서는 무선 리모컨의 케이스와 메인 PCB까지 고려하여 모의실험 하기위한 그림을 제시하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 RF 모듈과 메인 PCB가 커넥터로 연결된 상태이다. 모의실험을 진행하기 위해 편의상 버니어캘리퍼스를 이용해 수치를 측정하여 간략화한 케이스와 메인 PCB를 모의실험에 적용하여 실험을 진행하였다.

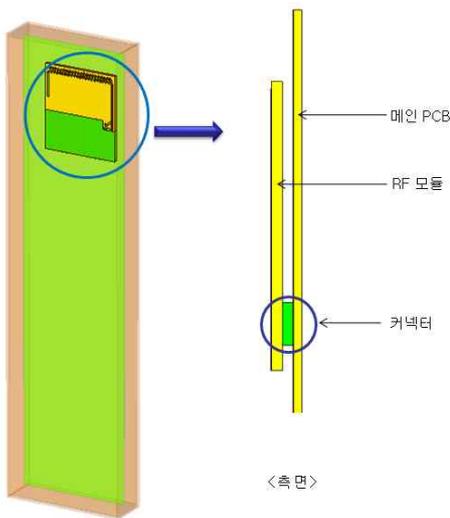


그림 6. 무선 리모컨의 케이스와 주 PCB를 고려한 안테나 해석 구조

Fig. 6. The analysis geometry considering the main PCB and exterior case of wireless remote controller

외장 케이스를 고려하고, 메인 PCB를 앞서 그림 4에 제시된 안테나를 포함한 RF 모듈들이 연결된 상태에서 모의실험을 진행하였다. 표 1에서는 외장 케이스 및 주 PCB를 실장한 상태에서 부가패턴 길이 변화(그림 4에서 No.1~No.6을 표시)에 따른 공진주파수 및 반사손실의 모의실험 결과를 제시하였다. 다만 반사손실이 4.727dB로 좋지 않은데, 그 이유는 모노폴 안테나의 길이가 1/2 파장 이상으로 길어져 안테나의 입력 임피던스가 증가되어 반사계수가 증가되었기 때문으로 사료된다. 그러므로 이와 같은 반사손실을 개선하기 위하여 L형 정합 회로망을 사용하기로 하였고, 모의실험 결과 직렬 인덕턴스가 5.6nH 및 병렬 캐패시턴스가 12pF인 역 L형 정합회로망[5]이 설계되었고, 그 결과 반사손실 모의실험 결과를 그림 7에 제시하였다. 그림 7에서 볼 수 있는 바와 같이 정합회로 사용에 의해 반사손실이 18.98dB로 개선되었음을 알 수 있다.

표 1. 외장 케이스 및 주 PCB 삽입 후 부가패턴 길이 변화에 의한 모의실험 결과

Table 1. The simulated results of the proposed antennas combined with the main PCB and the exterior case

부가패턴 길이 변화	공진 주파수	반사손실
No. 1	491MHz	-3.497dB
No. 2	422MHz	-4.727dB
No. 3	405MHz	-4.308dB
No. 4	400MHz	-4.22dB
No. 5	396MHz	-4.128dB
No. 6	394MHz	-4.152dB

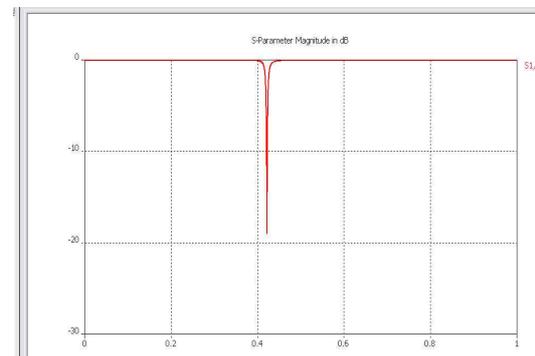


그림 7. L형 정합회로망을 사용한 반사손실의 모의실험 결과
Fig. 7. The simulated return loss obtained by use of L-section matching network

III. 안테나 제작 및 측정결과

표 2는 앞 장에서의 안테나 설계를 통해 구해진 최적화된 안테나의 파라미터 값을 나타낸 것이다. 표 1에는 그림 2에서의 기본 구조와 달리 부가패턴을 증가시킨 그림 6에서 No.2의 안테나 형태이므로 부가패턴이 y축 방향으로 증가되어 구부러진 fy3 파라미터가 추가되었다. 안테나의 총 길이 I_t 는 다음 식으로 개략적으로 구할 수 있다.

$$I_t = 2mh \times n + fy2 + fy3 \quad (1)$$

표 1에 제시된 파라미터의 값들을 토대로 식 (1)을 사용하여 I_t 를 구하면 약 174mm임을 알 수 있다.

이는 $\epsilon_r=4.3$ 인 FR4 유전체 기판을 사용하고 동작주파수가 418MHz인 경우 관내 파장 $\lambda_g=34.6mm$ 의 1/2인 173mm와 유사함을 확인할 수 있다. 그림 8에 표 2의 최적화된 파라미터를 실제 제작한 본 논문의 안테나를 사진으로 제시하였다.

표 2. 최적화된 안테나의 파라미터 값
Table 2. The optimized parameters of the antenna design

파라미터	값[mm]	파라미터	값[mm]
X	36	fy2	11.7
Y	40.5	fy3	14.05
C	18.6	gx	30
fy1	22.2	gx1	6
mh	3.37	gy1	4.32
xoff	1.5	n	22 [turn]

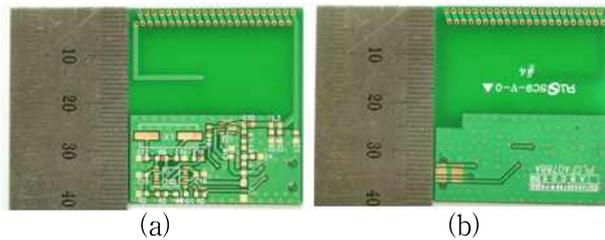


그림 8. 제작된 RF 리모컨용 안테나의 사진
(a) 윗면 (b) 아랫면

Fig. 8. The photograph of the fabricated antenna
(a) Top view (b) Bottom view

안테나의 제작에는 유전율이 4.3인 FR4기판을 사용하였으며, 제작된 RF모듈의 크기는 36×40.5×1.572mm³이다. 제작된 안테나의 반사손실을 측정하기 위하여 Agilent E8538A VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하였다. 측정된 반사손실은 그림 9에 모의실험 결과와 비교하여 제시하였다. 모의실험에서 422MHz이었던 공진주파수가 제작된 인쇄형 안테나를 측정한 결과에서는 416MHz로 약 6MHz 낮은 주파수로 이동되어 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 모의실험 결과와 측정결과간의 오차는 모의실험에서 외장케이스 및 메인 PCB의 정확한 치수를 적용하지 못하고 버니어 캘리퍼를 이용하여 측정한 수치를 적용하였기 때문에 나타난 오차라고 생각된다.

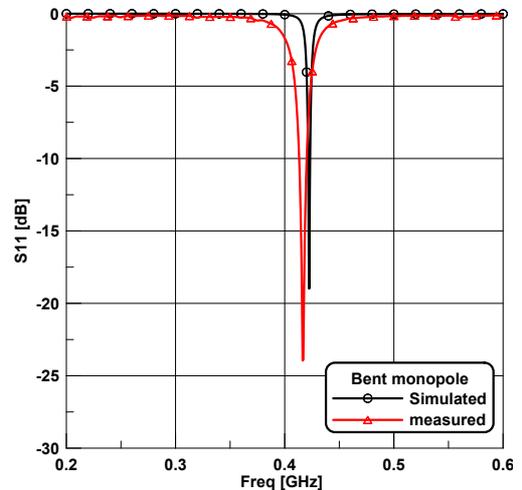


그림 9. 모의실험과 측정된 안테나의 반사손실
Fig. 9. Simulated and measured return loss of the antenna

본 논문이 제안한 굴곡형 모노폴 안테나가 실제 무선 리모컨 내부에 실장된 실물 사진을 그림 10에 제시하였다. 그림 10은 실제로 국내 “O”사에서 직접 제작되어 북미지역으로 수출되는 무선리모컨의 한 모델 내부에 기존의 정상모드 헬리컬 안테나와 본 논문의 안테나 실장의 모습을 비교하여 제시한 그림이다. 그림 10(a)에서와 같이 외장 케이스와 주 PCB에 실장 후 측정된 방사패턴의 결과를 모의실험 결과와 비교하여 그림 11에 제시하였다. 그림들에서 알 수 있듯이 측정결과가 모의실험 결과와 비교적 유사함을 알 수 있다. 그림 11(a)의 기준 축을 참고로 했을

때 y축 방향에서는 즉, 무선 리모컨의 정면($\Phi=90^\circ$)에서는 디스플레이 장치인 LCD모듈 및 IR센서가 위치하고 있고, 무선 리모컨의 후면($\Phi=90^\circ$)에는 부품 실장 및 긴 접지면이 위치하고 있으므로 간섭에 의해 복사 세기가 줄어든 것으로 사료된다. 그와는 달리 비교적 간섭이 없는 z축 방향(상,하 방향)으로 복사 세기가 증가되어 지향성을 가지며, 특히 간섭이 없는 x축 방향(좌,우 방향)으로 그림 11(b)와 같이 x-z평면에서 무지향성을 가짐을 알 수 있다. 이러한 방사패턴은 무선리모컨이 IR리모컨과는 달리 시선확보가 필요 없어야 되므로 본 논문의 안테나가 가지는 방사패턴은 최종 사용자 관점에서 유리한 점으로 작용할 것으로 사료된다.

최종적으로 본 논문의 굴곡형 모노폴 안테나를 기존 헬리컬 안테나와의 실거리 테스트의 성능을 비교 실험하였다. 두 시료의 성능 비교를 위해 동일한 조건에서 송신 전력의 측정과 함께 실거리 테스트를 확인하였다.

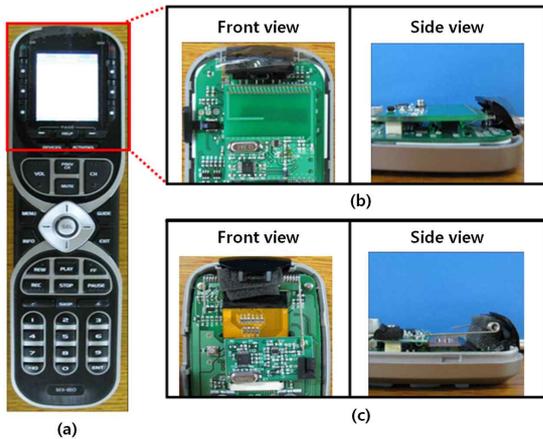
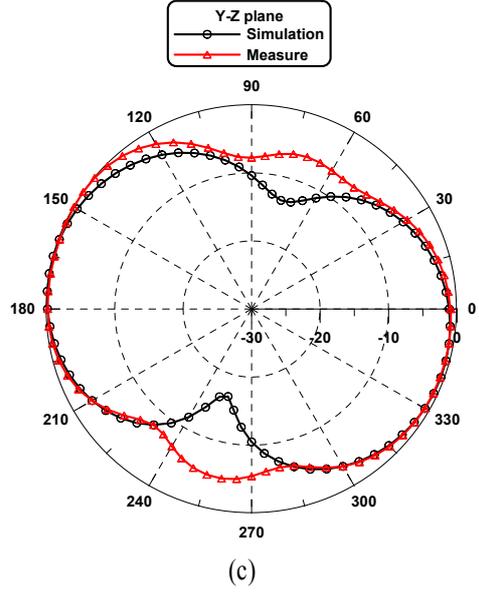
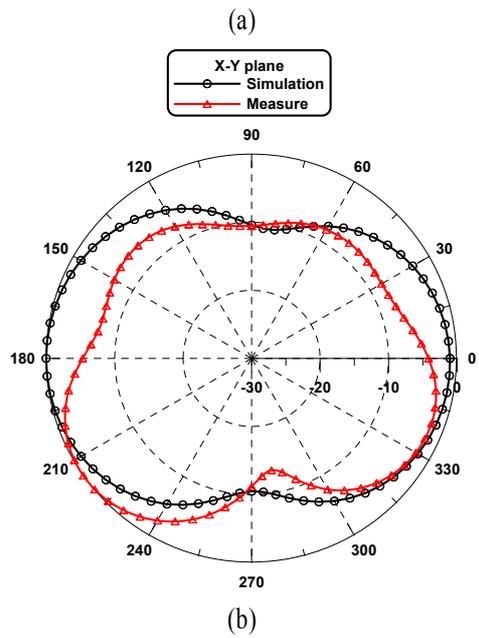
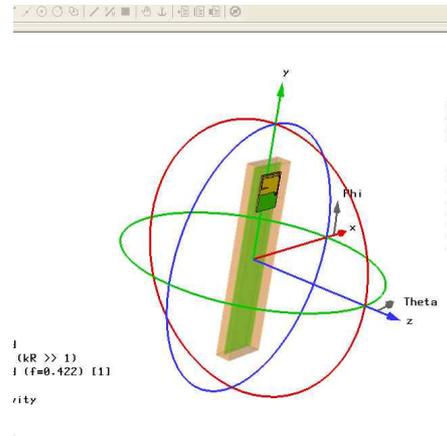


그림 10. 무선 리모컨의 실제 모습 및 안테나 실장 위치
 (a) 실물모습 (b) 제안된 굴곡형 모노폴 안테나 (c) 기존의 헬리컬 안테나
 Fig. 10. Actual view of the wireless remote controller and the place of antennas
 (a) Actual view (b) Proposed bent monopole antenna (c) Previous helical antenna



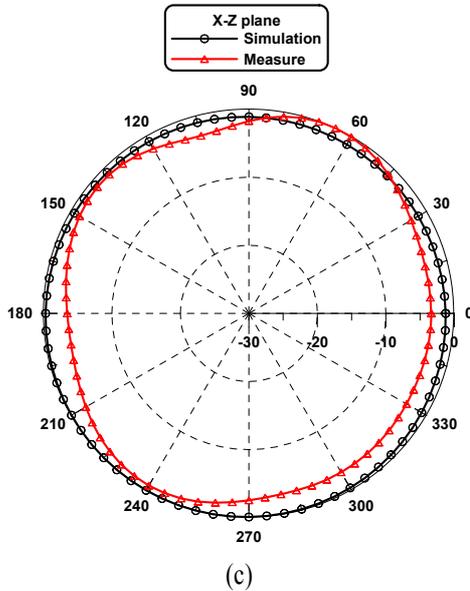


그림 11. 실제 무선 리모컨 내부에 실장된 안테나에 대한 방사패턴의 모의실험 결과 및 측정결과
 (a) 기준축 (b) X-Y평면 (c) Y-Z평면 (d) X-Z평면
 Fig. 11. The simulated and measured results of the radiation pattern for the proposed antenna which is placed in the actual wireless remote controller
 (a) Reference axis (b) On the X-Y plane (c) On the Y-Z plane (d) On the X-Z plane

두 안테나의 성능 비교를 위해 동일한 조건에서 동작 가능 거리를 확인하였다. 동작 가능 거리의 확인은 실내 환경(아파트), 및 실외 환경(아파트 실외) 두 가지 경우에 대해 거리 테스트를 진행하였다. 리모컨은 사람이 손을 잡은 상태에서 사용하기 때문에 실험조건도 마찬가지로 사람이 직접 무선 리모컨을 손을 잡은 상태에서 실험을 진행하였다. RF 리모컨에서 신호를 보내면 수신부에서 신호를 받고 이 신호를 셋탑 박스를 통하여 TV의 동작 상태를 확인하였다. 무선 리모컨에서 총 9회 연속적인 신호를 보내면 셋탑 박스와 연결된 TV에서 채널이 9회 변경되는 것을 모니터링 하여 통신의 성공 여부를 확인하였다. 아파트 실내에서는 5m에서 11m 까지 3m 씩 거리를 변경하면서 실험하였고 아파트 실외에서는 15m에서 30m까지 5m 씩 거리를 변경하여 3번씩 실험하였다. 실내 및 실외 환경에서 3번씩 변경하여 채널 변경 횟수를 세어본 결과 실내 및 실외 환경에서 통신이 100% 성공하였다. 무선 리모컨의 기존 헬리컬 안테나와 굴곡형 모노폴 안테나의 동작 거리 결과 비슷한 수준의 성능을 나타내었다. 이는 본 논문에서 제안하

는 형태의 안테나를 RF모듈의 PCB에 일체형으로 제작하여 무선 리모컨 제품에 실제 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 418MHz에서 동작되는 홈시어터용 무선 리모컨 안테나에 이용 할 수 있는 굴곡형 모노폴 안테나를 설계 및 제작 하였다. 본 논문이 제안한 안테나의 구조는 헬리컬 형태를 PCB의 윗면 도체패턴과 아랫면 도체패턴을 비아로 연결하여 PCB 일체형화 한 것이다. 또한, 수평으로 부가패턴을 추가하여 안테나의 공진길이를 관내 파장의 반파장 길이로 하여 공진주파수를 낮추어 최적 설계하였다.

측정 결과 제작된 안테나는 약 3% 정도의 공진 주파수 오차가 발생하였으며, 모든 방향으로 방사가 발생하면서 수평방향의 양 측면 부분에서 주된 방사가 일어나는 방사특성을 가졌다. 이와 같은 방사패턴 형태는 시선 확보 필요가 없어야 되는 무선 리모컨에 유리한 점으로 작용할 것으로 사료된다.

기존의 무선 리모컨에 주로 사용하고 있는 정상모드 헬리컬 안테나를 PCB 일체형으로 제작하여 실제 리모컨 제품에 적용하여 제작 및 측정해 보았다. 본 논문의 안테나를 제작하여 무선 리모컨에 적용해본 결과 기존 정상모드 헬리컬 안테나를 대체하여 사용할 수 있는 정도의 거리와 통신 신뢰성이 확인되었다. 이로써, 현재 사용 중인 정상모드 헬리컬 안테나의 실장에 따른 별도의 납땜 공정이 없어 비용 절감이 가능하며 PCB에 직접 안테나를 제작함으로써 균일한 RF 성능을 갖는 제품 생산이 가능하다고 사료된다. 본 논문의 안테나는 현재 국내 “O”사의 북미 수출용 무선 리모컨 17개 모델에 적용되어 생산, 수출되고 있다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

참 고 문 헌

- [1] J.D.Kraus, "Antennas", third edition, *McGraw-Hill, New York, 2002* ; chapter 8.
- [2] R.C.Johnson, "Antenna Engineering Handbook", third edition, *McGraw-Hill, New York, 1993* ; chapter 13.
- [3] W.L.Stutzman, "Antenna theory and design", *John Wiley & Sons, New York, 1981* ; chapter 5.
- [4] Trade mark of CST corp.
- [5] D.M.Pozar, "Microwave Engineering", *second edition, John Wiley & sons, New York, 1988* : chapter 5.

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