이중공진을 위한 슬롯이 부착된 직사각형 슬롯 안테나 연구

김 온* · 이승엽* · 조기량* · 이정남* · 신현식*

A Study on Rectangular Slot Antenna with Slots for Dual Band Operation

Kim On* · Rhee Seung Yeop* · Jo Ki Ryang* · Lee Jung Nam* · Shin Hyun Sik*

요 약

본 논문에서는 CPW 급전된 두 개의 슬롯이 부착된 이중공진 직사각형 슬롯안테나를 제시하였다. 이 안테나는 약 2.1GHz 및 3.3GHz에서 공진되는 이중 안테나로 각 공진 주파수에서 넓은 대역폭을 갖는다. 이들 각 공진 주파수에서 정합하기 위해 CPW inset 구조를 갖도록 하였다. 직사각형 슬롯안테나의 각 파라미터의 변화를 알아보기 위해 여러 안테나를 제작하고, 각 안테나의 특성을 직접 측정하였다. 그리고 이를 분석하여 안테나 설계방법에 대해 고찰하였다.

ABSTRACT

In this paper, a CPW fed rectangular slot antenna loaded with two slots for dual band operation is presented. This antenna operates at about 2.1GHz and 3.3GHz with the broad bandwidth at these frequencies. a CPW inset structure is used to match the antenna at the two seperated frequencies. Some prototypes of the proposed dual frequency antenna have been implemented. Experimental results are presented and discussed.

키워드

슬롯 안테나, 이중공진, CPW inset구조

Ⅰ. 서 론

서로 다른 두 개의 송수신 밴드에서 동작이 되는 시스템에서는 각각의 주파수에 대한 별도의 안테나를 사용하는 대신에 하나의 이중공진 특성 안테나를 사용함으로써 시스템을 단순화시킬 수 있다. 또한 거의 등방성 방사패턴과 비슷한 저가격의 안테나가 필수적인 이동체 무선통신 시스템에서는 이중 공진 특성이 필수적이라고 할 수 있다. 특히 이중공진 안테나는 하나의 방사 구조를 갖지만 수신된 신호 그리고(또는)전송된 신호, 또는 이중대역 신호 대역폭 내에서 최적의 정합을 보장해주는 안테나이기 때문에 안테나가 차지하는 공간과 가격 면에서의 이점을 가지고 있다. 그러나 이러한 장점에도 각 공진 주파수에서 얻을 수 있는 대역폭이 좁고, 배열시 급전망을 구성하는 것이 매우 복잡하다는 단점 때문에 실제 응용하는 데는 한계가 있다. 따라서 각 주파수에서 대역폭을 넓히는 방법 및 단일 급전 방식으로 이중 공진을 하는 방법들이 활발히 연구되어지고 있다[1-2]. 그러나 이러한 연구[2-5]들은 대개 마이크로스트립 선로로 급전되는 마이크로스트립 안테나를 기본으로 한 연구들이었으며, CPW로

* 여수대학교 전자통신공학과 교수

접수일자 : 2005. 12. 6

급전구조를 갖는 슬롯 안테나로 이중공진을 구현하기 위한 연구는 이에 비해 매우 미흡한 실정이다. 이중 공진 특성을 갖는 CPW 급전 슬롯 안테나 구조는 마이크로스트립 안테나에 비해 광대역의 이중공진 특성을 가지고 있으며 CPW 급전선로는 다른 소자와 쉽게 연결이 가능하기 때문에 향후 많은 응용이 기대되는 안테나로 최근 많은 연구가 진행되고 있다[6-8].

본 논문에서는 직사각형 슬롯 안테나에서 내부에 듀얼 슬롯을 만들어 그에 따른 설계 방법에 대해 기술하였다. 우선 직사각형 슬롯 안테나에서 슬롯안테나의 특성을 연구하고, CPW 구조가 마이크로스트립 선로보다 분산(dispersion)이 적고, 회로의 크기면에서도 소형화할 수 있다는 장점을 살려 CPW 급전을 이용하여 두 개의 슬롯을 패치에 만들어 이중주파수 안테나를 설계하는 방법을 제시하였다.

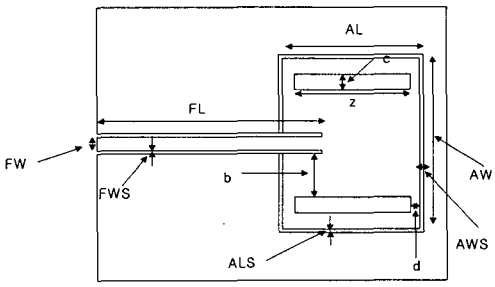
Ⅱ. 안테나 파라미터 분석

2.1 안테나 구조

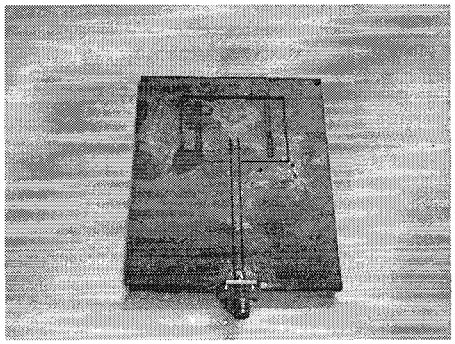
본 논문에서 제안하는 이중주파수 직사각형 슬롯 안테나의 구조를 그림 1에서 나타내었다. 비유전율 4.7, 두께 1.6mm인 유전체 기판에 각 파라미터들의 초기 치수를 AL=28.0mm, AW=37.5mm, FL=61.0mm, FW=2.4mm, FWS=0.5mm, AWS=1.5mm, ALS=0.5mm, d=1.5mm, c=2.0mm, b=13.0mm로 정했다.

안테나를 이루는 슬롯(ALS)은 급전선의 슬롯 폭(FWS)과 일치하게 했으며 이 슬롯 폭은 안테나의 크기인 AW와 AL의 치수에 관하여 매우 작다. 단지 안테나 윗부분의 슬롯 폭(AWS)은 안테나 특성에 영향을 많이 주기 때문에 다르게 설정하였다. 이중 공진을 위한 두 개의 슬롯은 안테나의 방사 면과 평행하게 직사각형 내에 대칭적으로 배치하였다. 이들 슬롯의 위치는 치수 d와 b에 의하여 정의된다. 이 슬롯 안테나를 급전하기 위해 프로브(probe) 급전과 어퍼처(aperture) 급전을 이용할 수 있지만, 본 논문에서는 그림 1과 같이 CPW 급전을 사용하였다.

본 논문에서는 안테나의 기본 파라미터를 알기 위해서 안테나 설계 프로그램인 Zeland사의 IE3D프로그램을 이용하였고, 설계 프로그램 시뮬레이션에 나온 안테나의 특성을 바탕으로 각 파라미터 별로 안테나를 직접 제작하여 HP 8510C Network Analyzer를 통하여 임피던스 변화 및 반사손실을 측정하였다.



(a) 구조



(b) 실제 사진

그림 1. 직사각형 슬롯 안테나의 구조
Fig. 1 Structure of rectangular slot antenna

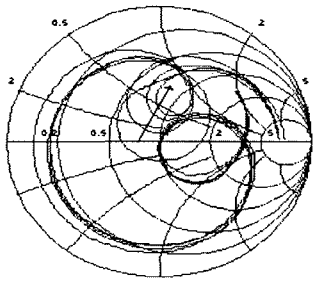
2.2 슬롯 길이(z)값 변화에 따른 임피던스 변화

표 1. z의 변화에 따른 측정한 이중주파수의 측정값
Table1. Measured dual resonant frequencies for various slot lengths(z)

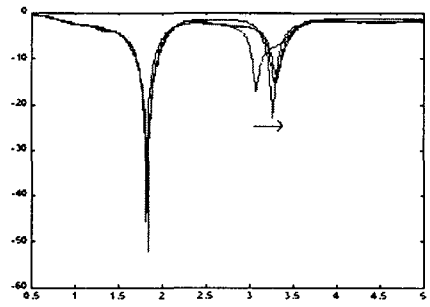
<단위:GHz>

z [mm]	d [mm]	f_1	f_1BW	f_2	f_2BW	f_1/ f_2
26	1	2.18	0.18	3.29	0.15	1.51
22	3	2.18	0.22	3.47	0.18	1.59
18	5	2.18	0.22	3.48	0.11	1.60
14	7	2.18	0.20	3.50	0.10	1.61

우선 이중 공진을 일으키는 요소인 두 개의 슬롯 크기 변화에 대한 특성 변화를 알아보기 위해 먼저 b의 값을 10mm으로 고정하고 슬롯 길이(z)의 값을 표 1과 같이 변화해 보았다. 표 1과 그림 2는 슬롯 길이 변화에 대한 측정된 안테나 특성결과를 나타낸 것이다.



(a) 스미스 도표



(b) 반사 손실

그림 2. z의 변화에 따른 이중주파수의 측정된 특성 변화

Fig. 2. Characteristics of measured dual resonant frequencies for various slot lengths(z)

여기서 f_1은 낮은 공진 주파수, f_2를 높은 공진 주파수로 정의했다. 두 개 슬롯 길이를 줄였을 때, 그림 2의 (a)와 (b)처럼 이중주파수의 낮은 주파수 대역은 거의 변함이 없었지만 높은 주파수의 주파수가 조금씩 증가하면서 반사손실의 값이 줄어들었고, 인덕턴스의 성분이 증가함을 알 수 있었다. 그리고 두 개의 주파수 비가 서서히 증가함을 알 수 있었다. 슬롯의 최대길이인 $26mm$와 최소 길이인 $7mm$의 사이에서 이중 공진 특성을 얻을 수 있었으며, $7mm$보다 작은 슬롯인 경우에는 높은 주파수에서의 반사손실이 모두 $-10dB$이하로 떨어져 이중 공진 특성이 사라짐을 알 수 있었다.

2.3 슬롯 폭(C)값 변화에 따른 임피던스 변화

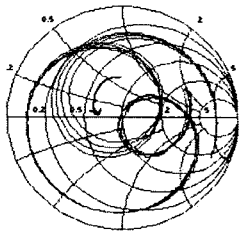
두 번째로 표2와 같이 두 슬롯의 폭의 변화(c)에 따른 안테나의 특성 변화를 측정하였다.

표 2. C의 값을 늘였을 때 이중주파수의 측정값

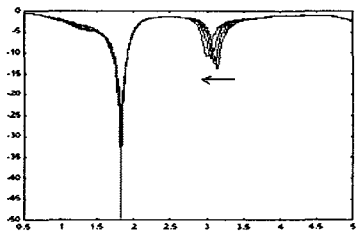
Table 2. Measured dual resonant frequencies for various slot width(C)

<단위:GHz>

C $[mm]$	f_1	f_1BW	f_2	f_2BW	f_1/f_2
2	2.18	0.19	3.4	0.09	1.56
3	2.17	0.17	3.3	0.08	1.52
4	2.17	0.18	3.3	0.07	1.52
5	2.17	0.18	3.3	0.05	1.52
6	2.17	0.16	3.2	0.04	1.47



(a) 스미스 도표

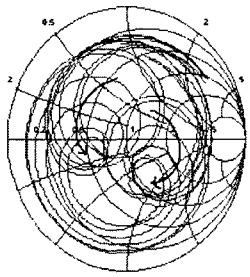


(b) 반사 손실

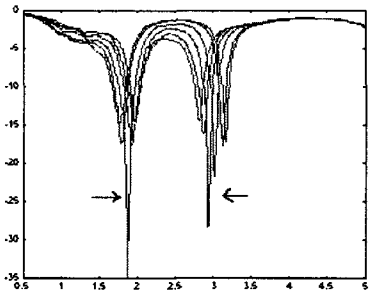
그림 3. 안테나 외부로 c의 값을 늘였을 때 측정된 이중주파수의 특성 변화

Fig. 3. Characteristics of measured dual resonant frequencies for various slot width(C)

이 파라미터도 높은 공진 주파수(f_2)의 변화만 볼 수가 있었지만 첫 번째 경우와는 반대의 현상이 일어남을 알 수 있었다. 즉 슬롯 내부의 폭이 커지면 스미스 도표 상에서 보면 점차 캐패시턴스 값이 증가함을 그림 3 (a)로 통해서 확인 할 수 있었고, 그림 3 (b)처럼 높은 주파수f_2는 약간 낮은 주파수 대로 이동하여 안테나의 주파수 비(f_2/f_1)가 떨어짐을 알 수 있다. c의 값이 $6mm$이상으로 커지면 높은 주파수f_2의 반사손실 특성이 $-10dB$이하로 나빠짐을 그림 3 (b)를 통해서 알 수 있다.



(a) 스미스 도표



(b) 반사 손실

그림 4. 안테나 폭 슬롯 AWS의 값을 늘였을 때, 측정된 이중주파수의 특성 변화

Fig. 4. Characteristics of measured dual resonant frequencies for various slot widths of antenna(AWS)

세번째로 안테나를 이루는 주요 파라미터인 안테나 폭 부분의 슬롯의 폭(AWS)와 안테나 길이부분의 슬롯 폭(ALS)를 변화시켜 보았다. 우선 AWS를 표 3과 같이 증가시켜 보았다.

표 3. 안테나 폭 슬롯 AWS의 값을 늘였을 때 이중주파수의 측정값

Table3. Measured dual resonant frequencies for various slot widths of antenna(AWS)

<단위:GHz>

AWS [mm]	f_1	f_{1_BW}	f_2	f_{2_BW}	f_1/f_2
0.5	2.12	0.17	3.36	0.08	1.58
1	2.15	0.16	3.33	0.09	1.55
2.5	2.23	0.19	3.23	0.09	1.45
5	2.27	0.18	3.17	0.11	1.40
8	2.29	0.17	3.11	0.12	1.36
10	2.31	0.17	3.06	0.12	1.32

2.4 안테나의 슬롯 폭(AWS)값 변화에 따른 임피던스 변화

안테나의 슬롯폭 AWS가 증가하였을 때, 그림 4 (a)처럼 낮은 주파수 대역에서는 캐패시턴스가 감소하며, 낮은 공진 주파수f_1는 점차 값이 높게 올라가는 것을 알 수 있고, 높은 주파수 대역에서는 반대로 캐패시턴스가 증가하며 높은 공진 주파수f_2는 점차 낮아지는 현상을 그림 4 (b)를 통해서 확인 할 수 있었다. 즉, 양 주파수의 간격이 점차 좁아짐을 확인할 수 있었다. 두 주파수의 비는 AWS가 증가함에 따라 현저히 줄어드는 것을 표 3을 통해서 알 수 있다. 이 파라미터는 조금만 변화하여도 주파수비가 많이 변화해 매우 민감함을 알 수 있었다.

2.5 안테나 길이쪽 슬롯 폭(ALS)값 변화에 따른 임피던스 변화

다음으로 안테나 길이 쪽의 슬롯 폭인 ALS 값을 표 4와 같이 증가시켜 보았다.

표 4. 안테나 길이 슬롯 ALS의 값을 늘였을 때 이중주파수의 측정값

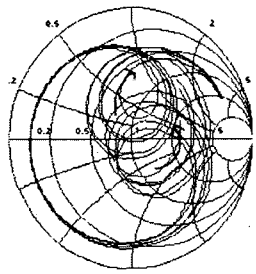
Table4. Measured dual resonant frequencies for various slot widths of antenna length(ALS)

<단위:GHz>

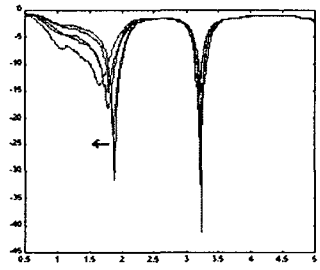
ALS [mm]	f_1	f_1BW	f_2	f_2BW	f_1/f_2
0.5	2.23	0.18	3.40	0.09	1.52
1	2.21	0.20	3.39	0.10	1.53
1.5	2.14	0.20	3.42	0.11	1.60
2	2.12	0.19	3.43	0.11	1.62
3	2.02	0.24	3.45	0.11	1.71

안테나 길이 슬롯 ALS의 값을 증가시켰을 때, 전체적으로 앞의 경우인 그림4 (a)의 결과와 거의 반대의 현상이 일어남을 알 수 있었다. 즉, 그림. 5(a)에서 처럼 낮은 주파수 대역에서는 캐패시턴스 성분이 증가되어 f_1가 낮아지며, 높은 주파수 대역에서는 캐패시턴스 성분이 감소되지만 그림. 5 (b)를 통해서 보면 높은 주파수f_2는 거의 변함이 없음을 알 수 있었다.

낮은 주파수f_1만이 아래로 내려가고 BW가 증가함을 알 수 있었다. 따라서 안테나 주파수의 비는 증가하였다. ALS의 슬롯의 폭을 3mm 이상으로 하면 낮은 주파수의f_1 값의 반사손실이 $10dB$ 이하로 떨어져 더 이상 공진이 일어나지 않았다.



(a) 스미스 도표



(b) 반사 손실

그림 5. 안테나 길이 슬롯 ALS의 값을 늘였을 때 측정된 이중주파수의 특성 변화

Fig. 5. Characteristics of measured dual resonant frequencies for various slot widths of antenna length(ALS)

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 CPW 급전을 이용하여 두 개의 슬롯을 이용한 이중공진 직사각형 슬롯 안테나의 설계에 따른 각 파라미터의 특성을 연구하였다. 안테나의 주요 파라미터를 변화 시켜 낮은 공진 주파수에서는 대역폭 20%이상 높은 공진 주파수에서는 대역폭이 최대 18%까지 넓은 대역폭을 갖는 이중 공진 특성을 얻었다. 패치 내부의 슬롯 길이(z)과 슬롯의 간격(b)은 낮은 공진 주파수 변화에는 적은 영향을 주었지만 높은 공진 주파수의 인덕턴스 성분 증가로 공진 주파수가 올라감을 확인하였다. 반면에 패치 내부의 슬롯의 폭(c)을 증가시키면 패치의 높은 주파수대의 캐패시턴스 성분이 점차 증가하여 f_2가 감소함을 알 수 있었다. 그리고 안테나 외부를 이루는 슬롯 파라미터인 안테나 폭의 슬롯(AWS)이 증가하면 두 주파수의 비가 감소하였으며 이 파라미터는 두 공진 주파수 양쪽에 모두 상당한 영향을 주었다. 하지만 안테나 길이의 슬롯 폭(ALS)이 증가하면 우선 높은 주파수는 크게 변함이 없으나 낮은 주파수는 급격하게 더 낮은 주파수대로 떨어져 두 주파수의 비가 증가함을 확인하였다. 결론적으로 패치 내부의 각 파라미터는 높은 공진 주파수의 특성 변화를 주었고, 안테나 외부 슬롯 파라미터 중 슬롯 폭은 낮은 주파수의 특성을 크게 변화시키는 것을 알 수 있었다. 설계 프로그램 결과 값과 실제 안테나 측정값이 다소 차이가 있었지만, 실험에서 검증된 각 파라미터 변화에 대한 안테나 임피던스 변화 추세는 일치하였다.

향후 제안된 이중 공진 직사각형 슬롯 안테나의 이론적 해석은 물론 실제 제작된 방사패턴 측정이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] Abdelnasser A. Eldek, Atef Z. Elsherbeni, Charles E. Smith, and Kai-Fong Lee,"Wideband Rectangular Slot Antenna For Personal Wireless Communication Sytstems", IEEE Antennas and propagation Magazine, Vol. 44, No. 4, December 2002, pp146-154.

[2] S. Maci and G. Biffi Gentili, "Dual-Frequency Patch Antennas," IEEE Antennas and propagation Magazine, Vol. 39, No. 6, December 1997,pp 13-20.

[3] S. Maci, G. Biffi Gentili and G. Avitabile "Single-Layer Dual Frequency Patch Antenna" Electronics Letters 5th August Vol.29, No. 16, 1993, pp1441-1443.

[4] S. Maci, G. Biffi, Gentili, P. Piazzesi, C. Slavador "Dual-band Slot-loaded patch antenna" IEE Proc. Microw. Antennas Propag., Vol 142, No.3, June 1995, pp225-232.

[5] Wen-Shyang Chen,"Single-feed Dual-frequency Retangular Microstrip Antenna with Square Slot,"Electronics Letters 5th Feb. Vol34, No. 3, 1998, pp231-232.

[6] Wen-Shan Chen and Kin-Lu Wong,"A Dual Frequency Coplanar Waveguide Fed slot Antenna," Microwave and Optical Technology Letters,Vol. 25,No. 3, May, 2000, pp226-228.

[7] Wen-Chung Liu,"Broadband Dual Frequency Cross Shaped Slot CPW-Fed Monopole Antenna for WLAN Operation,"Microwave and Optical Technology Letters,

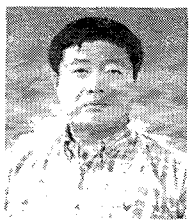
Vol. 46, No. 4, Aug., 2005, pp353 -355.

[8] K Li, C. H. Cheng, T. Matsui and M. Izutsu, "Coplanar Patch Antennas:Principle, Simulation and Experiment," IEEE Trans. on antennas and propagation symposium, 2001, pp402-405.

저자소개

김 온(Kim On)

여수대학교 전자통신공학과 공학사
여수대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사
여수대학교 대학원 전자통신공학과 박사수료
현 프로닉스 대표
여수대학교 전자통신공학과 겸임교수
※ 관심분야 : 안테나공학 및 마이크로프로세서



이 승 엽(Rhee Seung-Yeop)

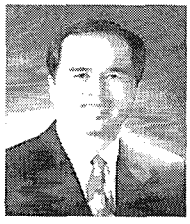
연세대학교 전자통신공학과 공학사
연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사
연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사
현 여수대학교 전자통신공학과 교수
※ 관심분야 : 초고주파 공학 및 안테나 공학

조 기 량(Cho Ki-Ryang)

광운대학교 전자통신공학과 공학사
건국대학교 대학원 전자공학과 공학석사
일본 오카야마대학 자연과학연구과 공학박사
현 여수대학교 전자통신공학과 교수
※ 관심분야 : 초고주파 공학 및 안테나 공학

이정남(Lee Jung-Nam)

한국항공대학교 전자공학과 공학학사
경상대학교 전자공학과 공학석사
경상대학교 전자공학과 공학박사
현 여수대학교 전자통신공학과 교수
※ 관심분야 : 초고주파공학



신현식(Shin Hyun-Sik)

광운대학교 무선통신공학과 공학사
건국대학교 대학원 석사
경남대학교 대학원 박사
한국해양정보통신학회 부회장, 회장
제13회 과학기술 우수 논문상 수상
현 여수대학교 전자통신공학과 교수
여수대학교 산업대학원장
여수대학교 교육대학원장
※ 관심분야 : 정보통신, 데이터통신, 통신정책