

듀얼-밴드 정삼각형 마이크로스트립 안테나 설계에 관한 연구

문정균* · 임정섭* · 장재삼* · 윤서용* · 황호순* · 이문수*

*경상대학교 전자공학과

A Study on the Design of Dual-Band Equilateral-Triangular Microstrip Antennas

Jung Gun Moon* · Jung Sub Lim* · Jae Sam Jang* · Su Young Yoon* ·

Ho Sun Hwang* · Mun Soo Lee*

*Department of Electronic Engineering, Gyeongsang National University

E-mail : munslee@nongae.gsnu.ac.kr

ABSTRACT

Abstract - For dual-band operation, it can be done by loading two pair of narrow slots in the equilateral-triangular patch, one embedded close to the side edges of the patch and the other inserted at the bottom edge of the patch. The obtained two operating frequencies are of same polarization planes. The frequency ratio of the two operating frequencies is turnabled by varying the positions and lengths of the inserted slots at the bottom edge of the patch.

In this paper, A single-feed equilateral-triangular microstrip patch with two pairs of narrow slot for dual-frequency operation is printed on the substrate(TMM-4 Rosers Co.) of the 60 miles. the antenna radiation characteristics are calculated by Ensemble ver. 5.0 software, and compared with the experimental results.

1. 서 론

최근에 널리 사용되고 있는 사각형 마이크로스트립 패치 안테나에 한 쌍의 좁은 슬롯을 넣어 듀얼 주파수 특성을 갖도록 하는 연구가 발표되고 있다¹. 이와 같은 사각형 마이크로스트립 패치안테나의 두 동작주파수들의 비는 일반적으로 1.6~2.0의 범위 이내이다¹.

본 연구에서는 정삼각형 마이크로스트립 패치에 두 쌍의 슬롯을 두어 듀얼-밴드 안테나를 설계한다. 정삼각형 마이크로스트립 패치는 사각형 마이크로스트립 패치보다 면적이 작고, 두 쌍의 슬롯을 이용하여 얻을 수 있는 두 대역의 주파수 비의 범위가 보다 넓어지는 이점이 있다^{2,3,4}. 듀얼-밴드 특성을 갖도록 하기 위해 정삼각형 패치에 두 쌍의 좁은 슬롯을 삽입한다⁵. 즉 패치의 밑변과 밑변근처에 각각 한 쌍의 슬롯을 삽입하는 것이다. 이 경우에 두 동작주파수는 TM_{10} 와 TM_{20} 의 공진모드를 갖는다. 여기서 정삼각형 패치의 밑변 근처에 존재하는 한 쌍의 슬롯은 TM_{20} 모드의 브로드사이드 방향 방사패턴을 TM_{10} 모드의 방사패턴과 유사하게 만드는 역할을 한다⁵. 또 정삼각형 패치의 밑변에 존재하는 한 쌍의 슬롯은 두 밴드의 동작주파수의 비를 조정하는 역할을 한다. 즉 슬롯의 길이와 위치를 조정함으로써 두 밴드의 동작주파수의 비를 조절할 수 있다.

마이크로스트립 패치 안테나에 사용된 기판은 유전율 4.6, 두께 60mil인 Rogers사의 TMM-4를 사용한다. 설계된 안테나는 모멘트법을 이용한 Ensemble ver 5 소프트웨어로 최적화한다. 설계·제작한 안테나는 벡터 회로망 분석기(Vector Network Analyzer : Anritsu 37369A)와 근계 측정장비(Near-Field Measurement System : ORBIT FR959)를 사용하여 안테나의 반사손실, 방사패턴을 실험적으로 측정하고 시뮬레이션 결과와 비교·검토한다.

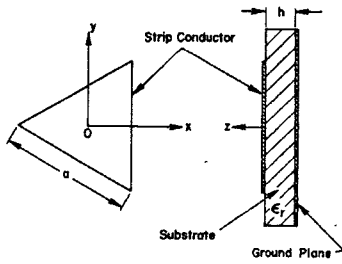
II. 정삼각형 마이크로스트립 안테나 특성⁶

1. 전자계 분포

정삼각형 마이크로스트립 안테나의 기하학적 구조는 그림 1과 같이 접지면 위에 유전율이 ϵ_r 이고 두께가 h 인 유전체 기판이 놓이고, 그 위에 정삼각형의 도체가 놓여진 형태로 되어 있다.

정삼각형 패치 안테나의 전자계 분포는 삼각형 패치 둘레에서 수직 단면이 자기벽(magnetic wall)에 의해 둘러 쌓인 캐비티(Cavity) 모델을 이

용하여 구할 수 있다. 유전체 두께가 파장 λ_0 에 비해 아주 작기 때문에 z 방향 전계 변화는 거의 없으므로 정삼각형 패치 안테나는 TM 모드만 고려한다.



(a) Top view. (b) Side view.

Fig. 1 Configuration of the equilateral triangle microstrip antenna.

2. 공진주파수

정삼각형 패치의 여러 가지 모드에 대한 공진 주파수 f_r ⁷는

$$f_r = \frac{ck_{mn}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}}(m^2 + mn + n^2)^{1/2} \quad (1)$$

이며, c 는 자유공간에서의 빛의 속도이다. 여기서 공진 주파수와 삼각형 한변의 길이 곱 ($f_r \cdot a$)는 ϵ_r 의 함수이며 여러 모드의 m, n 값에 대한 변화는 그림 2와 같으며, 기본모드 ($m=1, n=0$)의 공진 주파수는

$$f_r = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

이다. 그림 2는 유전율에 따른 각 모드의 공진 주파수 변화를 나타낸 것이다. 그림 2에서 보면 유전율 ϵ_r 이 높을수록 공진주파수와 패치 한 변의 길이 곱 ($f_r \cdot a$)는 감소하게 된다.

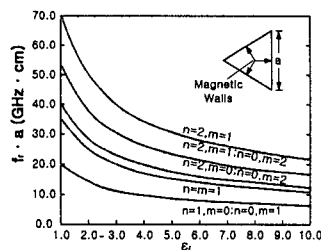


Fig. 2 Variations of ($f_r \cdot a$) product with ϵ_r for various modes.

3. 듀얼-밴드 정삼각형 마이크로스트립 안테나 구조

본 연구에서 설계된 듀얼-밴드 특성을 갖는 안테나는 그림3과 같이 유전율이 ϵ_r 이고 두께 h 인 기판 위에 한 변의 길이가 d 인 정삼각형의 마이크로스트립 패치 내에 두 쌍의 좁은 슬롯을 가지고 있다. 이때 길이 l_1 , 폭 W 인 슬롯1은 정삼각형 패치의 빗변으로부터 d_1 만큼 떨어진 위치에 빗변에 평행하게 존재한다. 길이 l_2 , 폭 W 인 슬롯2는 정삼각형 패치의 중심선(\overline{AB})을 기준으로 $d_2/2$ 만큼의 간격을 두고 정삼각형 패치의 밑변에 존재하게 된다. 슬롯1의 길이 l_1 는 패치의 한 변의 길이 d 의 약 0.8배 정도이고 패치의 빗변과 슬롯1 사이의 간격 d_1 은 패치의 한 변의 길이 d 의 0.03배 보다 작은 $1mm$ 정도이다.

슬롯1은 TM_{10} 모드의 패치표면전류에 평행하게 존재하며, 슬롯2는 TM_{10} 모드의 패치표면전류가 상대적으로 적은 정삼각형 패치의 밑변에 존재하게 되므로 정삼각형 패치의 기본 공진주파수 f_{10} 는 영향을 덜 받는 대신에 TM_{20} 의 공진주파수 f_{20} 는 영향을 많이 받게 된다. 슬롯1의 존재로 브로드사이드방향에서 TM_{20} 모드 방사패턴의 감소가 제거되어 TM_{10} 모드의 방사패턴과 유사하게 된다. 정삼각형 패치의 밑변에 존재하는 슬롯2는 TM_{20} 모드의 표면전류에 영향을 주게 되어 TM_{20} 의 공진주파수 f_{20} 는 낮아지게 된다. 그러므로 슬롯2의 길이와 위치를 변화시킴으로써 두 동작주파수의 비 f_{20}/f_{10} 가 조정되어진다. 슬롯2의 간격 d_2 을 줄이거나 길이 l_2 를 증가시키면 f_{20} 가 f_{10} 보다 빠르게 감소되어 두 밴드의 동작주파수 비는 감소한다. 이 때 두 모드 TM_{10} 와 TM_{20} 는 편파가 같고 비슷한 방사특성을 갖는다. TM_{10} 와 TM_{20} 모드에 여기되는 단일 급전 프로브(single probe feed)는 정삼각형 패치의 중심선상에 위치한다.

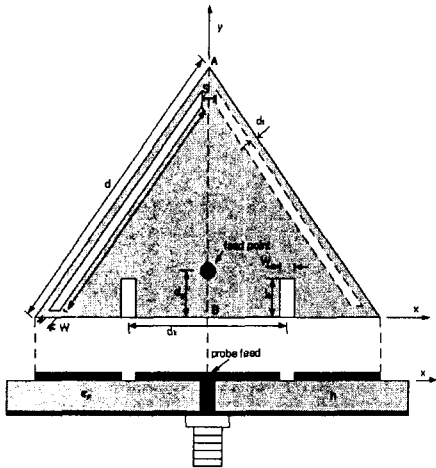


Fig. 3 Geometry of the single-feed equilateral-triangular microstrip antenna for dual frequency

III. 안테나 설계 및 측정

1. 안테나 설계

정삼각형 마이크로스트립 안테나의 패치상에 두 쌍의 슬롯을 적당하게 배열함으로써 듀얼-밴드 특성을 갖는 정삼각형 마이크로스트립 안테나를 설계한다. 안테나의 급전은 단일 프로브 급전법(single-probe)을 사용한다. 안테나 설계에 사용된 유전체 기판은 두께 $h=60mil$, 유전율 $\epsilon_r=4.6$ 이다. 듀얼-밴드 정삼각형 마이크로스트립 안테나는 모멘트(Moment)법을 이용한 Ensemble ver 5.0 안테나 해석용 소프트웨어로 반사손실, 방사패턴등의 안테나 특성을 계산하고, 그 결과를 근거로 설계된 안테나를 제작하여 회로망 분석기(Network Analyzer anritsu 37369A)와 근계 측정 장비(ORBIT FR959 FR INC)로 안테나의 특성을 측정하고 실험 결과를 비교 분석한다.

설계된 듀얼-밴드 마이크로스트립 안테나의 치수는 표 1과 같다.

Table 1. Specifications of the single-feed equilateral-triangular microstrip antennas with a slot

Permittivity(ϵ_r)	4.6	
Thickness (h)	TMM-4 (60mils)	
Conductor	Copper (0.5 oz.)	
Patch length(mm)	50	
Slot 1 간격(S)	4.4	
Slot 1	l_1 (mm)	40
	d_1 (mm)	1.0
Slot 2	l_2 (mm)	37.2
	d_2 (mm)	5
Slot Width W (mm)	1	
Probe impedance	$50\Omega(0.6\phi)$	
동작주파수비 (f_{20}/f_{10})	1.16 ~ 2.06	
Ground plane	Infinite	

그림 4는 설계된 정삼각형 마이크로 스트립 안테나의 반사손실을 나타낸 것이다. 이때 두 동작주파수 $f_{10}=1.926GHz$, $f_{20}=3.200GHz$ 이다.

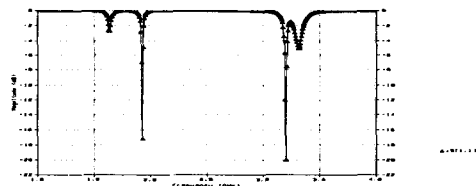


Fig. 4 Calculated return loss of the antennas

표 2는 듀얼-밴드 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 슬롯2의 길이와 위치에 따른 두 동작주파수비 f_{20}/f_{10} 를 나타낸 것이다. 표2에서 보면 슬롯2의 길이 l_2 가 증가하면 f_{10} 와 f_{20} 가 감소되어 두 동작주파수비 f_{20}/f_{10} 가 작아짐을 알 수 있다.

Table 2. Result of the single-feed equilateral-triangular microstrip antennas for dual-band with various position and lengths of the inserted slot(slot2)

d_2, l_2 (mm)	급전점(d_p)	f_{10} GHz,	f_{20} GHz,	f_{20}/f_{10}
37.2, 5	13.78 mm	1.926	3.200	1.66
37.2, 6	13.78 mm	1.909	3.133	1.64

그림 5의 (a)와(b)는 표2에 의한 슬롯2의 위치와 길이에 대한 듀얼-밴드 정삼각형 마이크로스트립

트립 안테나의 반사손실을 나타낸 것이다.

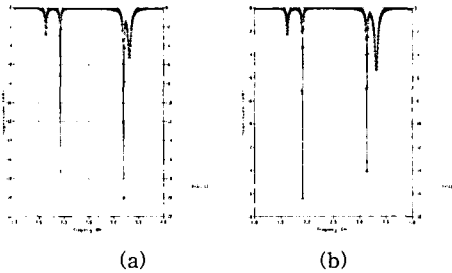


Fig. 5 Calculated return loss of the antennas ; (a) $l_2=5$, (b) $l_2=6$

그림 6의 (a)와(b)는 듀얼-밴드 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 TM_{10} 와 TM_{20} 모드의 방사 패턴을 나타낸 것이다.

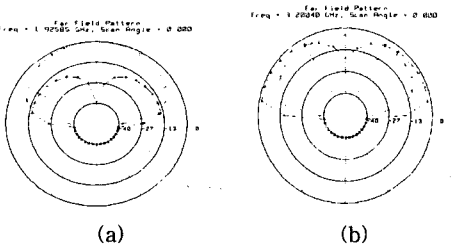


Fig. 6 Far field patterns of the antennas: (a) TM_{10} , (b) TM_{20}

2. 안테나 제작

그림 7은 실제 제작된 듀얼-밴드 정삼각형 마이크로스트립 안테나이다.

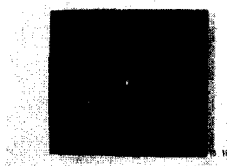


Fig. 7 Photographs of the single-feed equilateral triangular microstrip antenna for dual-band.

그림 8은 회로망 분석기(Network Analyzer, Anritsu 37369A)를 이용하여 측정된 안테나의 반사손실을 측정 한 결과이다. 그림에서 측정된 결과를 보면 f_{10} 는 $1.6806GHz$ 로 시뮬레이션 결과치 $1.928GHz$ 보다 $245MHz$ 정도 낮게, f_{20} 는 $3.435GHz$ 로 시뮬레이션 결과치 $3.200GHz$ 보다 $235MHz$ 높게

나타나며 두 동작주파수비 f_{20}/f_{10} 는 시뮬레이션 결과치 1.66보다 큰 2.04이다. 그림 16에서 보면 $f_{10}=1.6806GHz$ 에서 반사손실은 $-20.78dB$ 이며 대역폭은 $22.5MHz$, 비역폭은 1.35 정도이고, $f_{20}=3.4356GHz$ 에서 반사손실은 $-29.94dB$ 이며 대역폭은 $61.8MHz$, 비역폭은 1.79 정도이다.



Fig. 8 Measured return loss of the single-feed equilateral triangular microstrip antenna for dual-band

그림 9는 근계 측정시스템을 이용하여 측정된 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 TM_{10} 모드에서 (a) E-면 패턴과 (b) H-면 패턴을 측정 한 결과이다.



Fig. 9 Measured radiation pattern of antenna (TM_{10}) ; (a) E-plane. (b) H-plane.

그림 10 (a)는 TM_{20} 의 E-면 패턴이고, (b)는 H-면 패턴으로 시뮬레이션 방사패턴과 약간의 차이가 발생함을 알수 있는데, 이것은 방사패턴 측정환경과 시뮬레이션환경과의 차이 때문이라고 생각된다.



Fig. 10 Measured radiation pattern of antenna (TM_{20}); (a) E-plane. (b) H-plane.

V. 결 론

본 논문에서는 정삼각형 패치상에 두 쌍의 슬롯을 갖는 듀얼-밴드 정삼각형 마이크로스트립 안테나를 설계하였다. Ensemble Ver 5.0 소프트웨어를 이용한 모의실험을 통하여 정삼각형 패치의 밑변에 존재하는 슬롯의 길이와 위치를 조정했을 때 두 밴드의 동작주파수비가 조정됨을 알 수 있었다.

모의실험에서 설계된 안테나의 두 동작주파수비는 1.66이었지만 제작된 안테나의 두 동작주파수비는 이보다 높은 2.04로 나타났다. 측정결과에 나타난 오차는 유전율의 부정확성, 제작상 슬롯 치수의 부정확성, 급전점위치에 따라 안테나의 임피던스의 변화가 민감한 정삼각형 마이크로스트립 패치의 특성이라고 생각된다.

참고문헌

- [1] S.Maci, G. Biff Gentili, P. Piazzesi, and C. Salvador, "Dual-band slot-loaded patch antenna", Proc. Inst. Elect. Eng. Microwave antennas Propagat. vol 142, pp. 225-232, 1995.
- [2] J. H. Lu, "Novel dual-frequency design of single-feed equilateral-triangular microstrip antenna", Microwave Opt. Technol. Lett., vol. 22, pp. 133-136, July 1999.
- [3] K. B. and K. L. Wong, "Insert-microstrip-line-fed dual-frequency circular microstrip antenna and its application to a two-element dual-frequency microstrip array", Proc. Inst. Elect. Eng. Microwave antennas Propagat., pp. 359-261, Oct. 1999.
- [4] J. Y. Jan and K. L. Wong, "Single-feed dual-frequency circular microstrip antenna with an open-ring slot," Microwave Opt. Technol. Lett., vol. 22, pp.157-160, Aug. 1999.
- [5] J. H. Lu, C. L. Tang, and K. L. Wong, "Novel Dual-Frequency and Broad-band Designs of slot-loaded Equilateral Triangular Microstrip Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.48, pp.1048-1053, Nov. 1988.
- [6] J. R. James and P. S. Hall, Handbook of Microstrip Antenna. London, U.K: Peret Peregrinus, 1989.
- [7] K. F. Lee, K. M. Luk, and J. S. Dahele, "Characiristics of the equilateral-triangular patch antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.36, pp. 1510-1518, Nov. 1988.