
T형 Slot을 삽입한 삼각형 안테나

Triangular Microstrip Antenna with T-type Slot

박병우, 신혜정
충북대학교 전자공학과

Byoung-Woo Park(bwpark@chungbuk.ac.kr), Hye-Jung Shin(ann2954@hanmail.net)

요약

본 논문에서는 T형 슬롯을 삽입한 정삼각형 패치 안테나의 특성을 관찰하였고, 정삼각형 패치 내부에 얇은 가로 또는 세로 슬롯을 삽입하였을 때, 슬롯의 변화에 따른 이중 공진 주파수의 변화를 관찰하여 유전체의 높이가 매우 낮은 기판에 적합한 T형 슬롯을 삽입한 정삼각형 패치 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 $\epsilon_r = 3.38$, 유전체의 높이가 8[mils] (=0.2032mm)인 기판을 사용하였고, 비교된 가로와 세로 슬롯의 안테나의 특성은 앙상블8.0 시뮬레이터를 이용하여 비교하였으며, 제작된 안테나의 이론적, 실험적 결과들이 비교되었다.

■ 중심어 : | 삼각형 마이크로스트립 안테나 | 슬롯 | 이중 공진주파수 |

Abstract

This paper observed characteristics of a triangular microstrip patch antenna with T-slot. When a narrow horizontal slot or vertical slot is embedded in a triangular microstrip antenna, we investigated variations of dual resonant frequency according to slot lengths and then we could make a triangular microstrip antenna with T-type slot suitable to a very low dielectric substrate. The proposed antennas used a dielectric substrate which has relative dielectric constant $\epsilon_r = 3.38$ and a height of 8 [mils] (=0.2032mm) and antenna characteristics of horizontal or vertical slot antennas are compared by a ensemble 8.0 simulator. Theoretical and experimental results of manufactured antennas are compared.

■ keyword : | Triangular Microstrip Antenna | Slot | Dual Resonant Frequency |

1. 서론

마이크로스트립 안테나는 소형, 경량, 저가, 평면구성, MMIC와의 호환성, 설치 용이성 등의 엄청난 장점 때문에 현재 항공기, 미사일, 로켓과 같은 군용은 물론 DBS(direct broadcasting satellite system), GPS(global

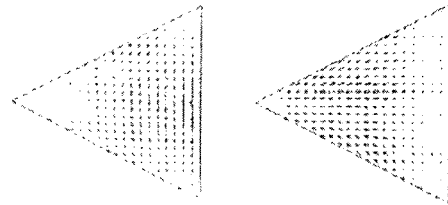
positioning system) 등의 무선통신에서도 다양하게 응용되고 있다.

그러나 대역폭이 협소하다는 단점 때문에 대역폭을 확장시키기 위한 많은 연구가 행해지고 있다.

본 논문에서는 정삼각형 패치 내부에 가로와 세로 슬롯을 삽입하였을 때, 그 길이 변화에 따른 이중 공진 특

성과 주파수 변화를 관찰하였고, 관찰된 결과를 이용하여 유전체의 높이가 매우 얇은 기관에서 동작 가능한 T형 정삼각형 패치 안테나를 제안하였고, 그 특성에 대하여 알아보았다.

제안된 안테나의 설계 및 제작에는 비유전율이 3.38, 높이가 8[mils] (=0.2032mm)인 유전체를 사용하였다.



(a) 모드 1 (b) 모드 2
그림 2. 축퇴 모드의 전류분포

II. T형 슬롯을 삽입한 정삼각형 패치 안테나

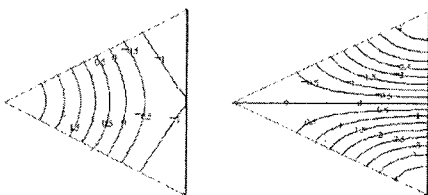
1. 정삼각형 마이크로스트립 패치의 섭동

정삼각형 패치의 한쪽 모서리를 제거하거나 슬롯을 삽입하는 등의 섭동을 주게 되면 정삼각형 패치의 두 축퇴모드가 분리되어 이중 모드로 동작하게 된다[2]. 이러한 특성을 이용하면 이중모드로 동작하는 필터나 안테나를 설계할 수가 있다.

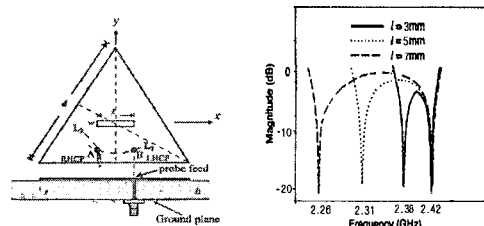
특히, 이를 이용하여 안테나를 설계할 경우, 원 편파 특성을 위해 이 이중모드가 90°위상차를 갖도록 설계할 수 있고, 이로써 단일급전으로 원 편파 안테나를 얻을 수가 있어 이중 급전을 위한 외부회로를 없앨 수 있는 공간상의 장점을 가지게 된다.

기본적인 정삼각형 패치 공진기는 사각형 공진기의 경우와 비슷하게 Wheeler's 캐버티 모드가 사용될 수 있다. 여기서 캐버티의 위와 아래는 완벽한 전계 벽으로, 옆면은 완벽한 자계 벽으로 고려될 수 있고, $TM_{m,n,l}$ 모드의 전자계식을 이용하여 전계분포를 구한다[7].

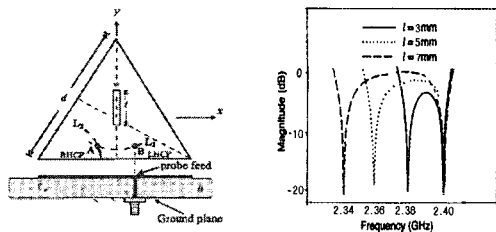
이러한 공진 특성을 갖는 정삼각형 패치를 이등변 삼각형으로 변형시키거나 모서리의 한 부분을 절단하거나 또는 작은 슬롯을 삽입하는 등의 변형을 취하게 되면 축퇴모드를 분리시킬 수가 있다. 위의 어느 형태든지 두 모드 중 한쪽에만 섭동이 일어나므로 한 쪽 공진 주파수는 변하지 않고 다른 한쪽 공진주파수만이 변화하게 되는데, 이는 비동기적 동조 결합 이론(ie. 만일 두 개의 분리 모드 주파수가 각각 자기 공진주파수와 같다면 두 공진기 사이의 커플링은 일어나지 않음)으로도 두 모드가 실제로 coupled 되지 않는다는 것을 확인할 수가 있다[1].



(a) 모드 1 (b) 모드 2
그림 1. 축퇴 모드의 전계 분포



(a) 가로 슬롯 삽입한 삼각형 패치 안테나



(b) 세로 슬롯 삽입한 삼각형 패치 안테나

그림 3. 슬롯의 길이 변화에 따른 반사계수 특성

[그림 3]에서는 각 슬롯의 길이 변화에 따른 공진 주파수의 변화를 나타낸 모의실험결과를 보여주고 있으며, 이때 사용된 기판은 비유전율이 3.38, 높이가 0.2032 mm 인 기판을 사용하여 가로와 세로 슬롯이 삽입된 정삼각형 패치의 특성을 관찰하였다. 두 경우 모두 정삼각형의 한 변의 길이 d 는 46.3mm로 하였고, 삽입된 슬롯의 w 는 0.6mm로 고정시키고 l 은 3mm, 5mm, 7mm로 변형시킨 후 결과를 관찰하였다.

얇은 가로 슬롯을 삽입한 경우 슬롯의 길이인 a 의 변화에 따라 높은 쪽 공진주파수인 2.42GHz는 변하지 않고, 슬롯의 길이가 길어짐에 따라 낮은 쪽 공진주파수는 2.38GHz, 2.31GHz, 2.26GHz순으로 공진주파수가 낮아짐을 확인할 수가 있다. 세로 슬롯의 경우에도 마찬가지로 높은 쪽 공진주파수는 2.40GHz로 고정되어 있고 슬롯의 길이가 길어짐에 따라 낮은 쪽 공진 주파수가 2.38GHz, 2.36GHz, 2.34GHz로 주파수 하향 폭이 커짐을 관찰 할 수 있다.

2. T형 슬롯을 삽입한 안테나

위의 결과로부터, 슬롯의 삽입으로 이중 공진 특성을 갖게 되고 또한 슬롯의 길이 조절로써 한 쪽 공진주파수를 변화시킬 수 있음을 확인 할 수 있었고, 본 논문에서는 이러한 특성을 이용하여 기판의 높이가 매우 얇을 경우 발생하는 협 대역 특성을 보완할 수 있는 T형 슬롯 삼각형 패치 안테나를 제안하였다.

삼각형 패치에 슬롯을 삽입하여 섭동을 주는 것은 슬롯의 위치와 모양에 따라 다양하게 만들 수가 있다. 그 중 가로, 세로 슬롯을 삽입하여 만든 안테나는 한쪽에만 섭동을 가한 결과로 공진 주파수의 차이를 넓히는 효과가 있었으나[8], 실험을 해본 결과 축비 특성이 좋지 않았고, 삼각형 끝 부분에 섭동을 준 것은 섭동을 준 끝부분의 길이가 빗변의 10%정도일 때 좋은 축비 특성을 보였으므로 섭동을 준 길이로 주파수의 변화를 표현하는 데는 한계를 가졌다[2]. 십자형을 이용한 것은 제안된 안테나와 마찬가지로 가로와 세로슬롯을 결합한 형태이나, 슬롯의 길이에 맞추어 급전 점을 다시 맞추어야 하는 번거로움을 가진다[8].

본 논문에서는 좀 더 쉬운 방법으로 주파수를 변화시

키면서 원 편파 특성을 갖는 T형 슬롯을 삽입한 정삼각형 안테나를 제안하였다.

[그림 4]에서 알 수 있듯이 T형 슬롯은 가로와 세로 슬롯을 합쳐 놓은 모양으로 한쪽으로만 섭동을 받는 것이 아니라 이중으로 섭동을 받는 것이므로 두 주파수를 함께 변화시킬 수가 있다. 본 논문에서는 단일 주파수에서 동작하는 안테나가 얇은 기판을 사용할 때 발생하는 협대역의 특성을 보완하는 것을 안테나의 목표로 하였으므로 가로와 세로의 길이의 차를 약간만 주어 가까운 주파수에서 이중 공진이 일어나면서 단일 주파수에서 공진되는 효과를 갖게 하되 약간의 길이차를 두어 얇은 기판일 때 발생하는 극심한 협 대역폭을 좀 더 넓어지게 하는 효과를 갖도록 설계하였다.

III. 실험 및 고찰

[그림 4]는 제안된 안테나의 구조를 보여준다.

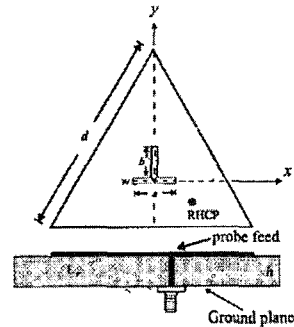
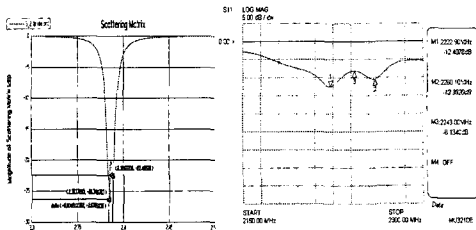


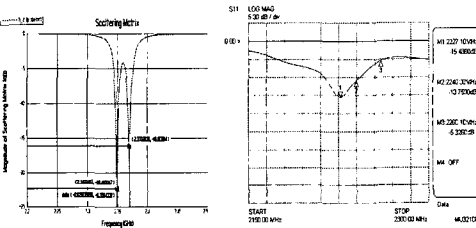
그림 4. 제안된 안테나의 구조

삼각형 패치 내부에 가로와 세로 슬롯이 결합된 구조로 역T형의 구조를 갖고 있다. 비교된 안테나들의 한 변의 길이 d 는 모두 46.3 mm 로 길이가 같고, 슬롯의 길이는 각각 $a = 2, 3, 5, 7$ [mm]와 $b = 1.7, 2.7, 4.7, 6.7$ [mm]인 4가지의 경우에 대하여 비교하였으며, 이때 사용된 유전체의 비유전율은 3.38이고, 높이는 0.2032 [mm]인 기판을 사용하였다. 또한 삽입된 가로와 세로의 슬롯의 위치는 정삼각형 패치 안테나의 주 모드인 TM_{10}

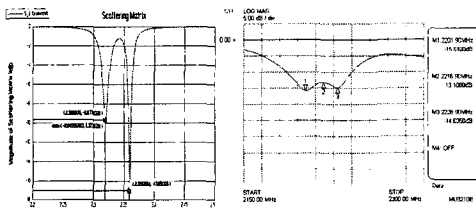
모드의 null voltage point 지점을 적용하여 한 쪽은 섭동의 영향을 덜 받도록 설계하였다.



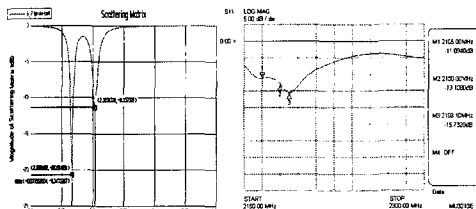
(a) 모의실험 결과 (b) 측정결과
그림 5. 반사손실 특성 (a=2[mm], b=1.7[mm])



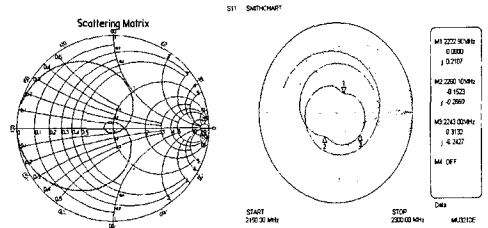
(a) 모의실험 결과 (b) 측정결과
그림 6. 반사손실 특성 (a=3[mm], b=2.7[mm])



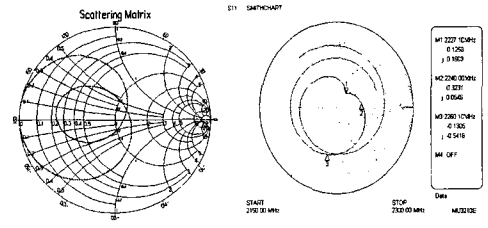
(a) 모의실험 결과 (b) 측정결과
그림 7. 반사손실 특성 (a=5[mm], b=4.7[mm])



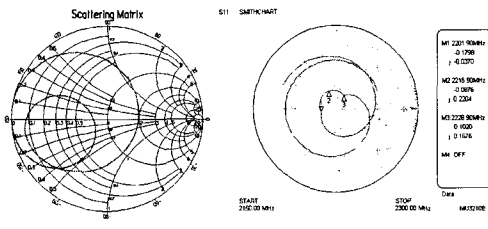
(a) 모의실험 결과 (b) 측정결과
그림 8. 반사손실 특성 (a=7[mm], b=6.7[mm])



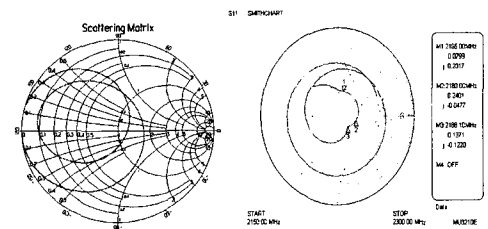
(a) 모의실험 결과 (b) 측정결과
그림 9. 스미스 도표 (a=2[mm], b=1.7[mm])



(a) 모의실험 결과 (b) 측정결과
그림 10. 스미스 도표 (a=3[mm], b=2.7[mm])



(a) 모의실험 결과 (b) 측정결과
그림 11. 스미스 도표 (a=5[mm], b=4.7[mm])



(a) 모의실험 결과 (b) 측정결과
그림 12. 스미스 도표 (a=7[mm], b=6.7[mm])

제한된 안테나의 모의실험 결과와 실험 결과를 [그림 5][그림 6][그림 7][그림 8][그림 9][그림 10][그림 11][그림 12]로부터 확인 할 수 있다. 모의실험 결과를 살펴보면

면 [그림 5]는 2383 ~ 2388[MHz], [그림 6]은 2349 ~ 2370[MHz], [그림 7]은 2319 ~ 2359[MHz], [그림 8]은 2266 ~ 2303[MHz]에서 공진하고 있고, 대역폭은 아주 좁게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 측정 결과에서는 [그림 5]는 2222 ~ 2260[MHz], [그림 6]은 2219 ~ 2240[MHz], [그림 7]은 2201 ~ 2228[MHz], [그림 8]은 2165 ~ 2188[MHz]에서 공진하고 있고 모의실험보다는 대역폭을 넓게 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 모의실험 결과와 측정치 사이에는 대략 160[MHz]정도의 주파수 이동현상을 보임을 확인할 수 있고, 대역폭이 20 ~ 40[MHz] 정도이며, 슬롯의 길이가 길어짐에 따라 중심주파수가 내려가고 있음도 확인할 수가 있다.

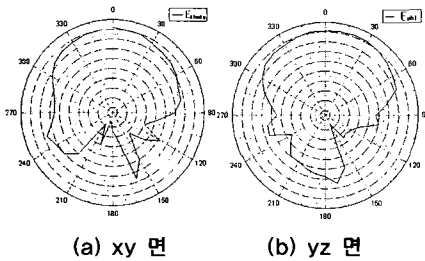


그림 13. 측정된 방사특성 (a=3[mm], b=2.7[mm])

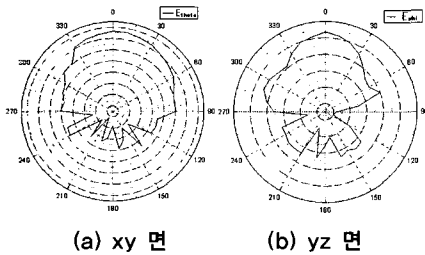


그림 14. 측정된 방사특성 (a=5[mm], b=4.7[mm])

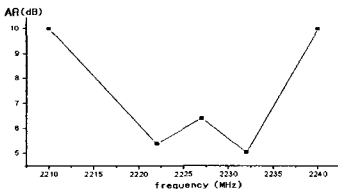


그림 15. 측정된 축비(AR) (a=3[mm], b=2.7[mm])

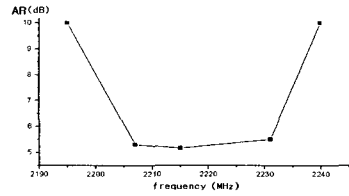


그림 16. 측정된 축비(AR) (a=5[mm], b=4.7[mm])

[그림 13]과 [그림 14]는 측정된 안테나의 일부 방사 패턴을 나타내었으며, 이것은 일반적인 마이크로스트립 안테나와 유사한 broadside 방사패턴을 보이고 있음을 알 수 있고, 나머지에서 유사한 방사특성을 보였다. 하지만 안테나의 제작 시 급전 점에 따른 모드변화를 하지 않는 것을 기준으로 하였기에 급전 점의 위치가 같았고, 급전 점의 미세조정이 없었으므로, 반사계수 특성과 이득의 특성이 그리 좋지는 않았다. 반사계수는 공진 시에 -12[dB]~ -17[dB]정도의 값을 가지며 이득은 대략 2[dB] 정도를 나타내었다.

안테나의 축비는 두 개의 공진주파수와 그 사이 주파수에서 대략 5dB를 나타내었는데, 같은 조건으로 제작된 가로와 세로 슬롯이 삽입된 안테나의 축비는 대략 10dB를 나타내었다. 급전으로 인한 모드의 변동을 피하기 위하여 같은 지점에 급전하였으므로 좋은 특성을 나타내지는 못하였지만, 가로와 세로 슬롯을 삽입한 정삼각형 안테나에 대한 기존 논문의 결과와 비교해 볼 때, 급전 점을 조정한다면 좀 더 나은 특성을 가질 수 있을 것으로 기대된다[8].

IV. 결론

본 논문에서는 가로와 세로 슬롯을 삽입한 정 삼각형 패치 안테나를 고찰하여, 매우 얇은 기판에서 동작하는 T형 슬롯 정삼각형 패치 안테나를 제안하였고, 그 특성에 대해 알아보았다.

제안된 안테나는 T형 슬롯을 삽입한 정삼각형 안테나로 슬롯의 길이에 따라 중심주파수의 이동이 있음을 알 수 있었고, 원 편파 특성이 나타나는 것 또한 확인할 수 있었다. 이것을 이용하여 본 논문에서는 단일 주

파수에서 동작하면서 대역폭이 아주 좁은 경우에 사용할 수 있는 안테나로 T형 슬롯을 삽입한 정삼각형 안테나를 제안하였고, 이것은 가로 슬롯과 세로 슬롯의 길이차를 0.5[mm]로 작게 하여 이중 공진 주파수의 차이를 좁히고 그것으로 대역폭을 넓히는 방법을 이용하였다. 하지만, 유전체의 높이와 유전율의 조정과 가로와 세로 슬롯의 길이차를 크게 한다면 더 많은 대역폭의 확장을 기대할 수 있을 것으로 예상되므로, 목표로 하는 안테나의 특성에 따라 유전체의 유전율과 슬롯의 길이를 조정하여 좀 더 쉽게 대역폭의 향상 및 주파수의 변화를 실현 할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 이중모드로 동작하고 있는 안테나이므로 급전 점을 잘 조정하여 두 모드가 직교모드가 되도록 한다면 단일 급전으로 동작하는 원 편파 안테나로써의 응용도 기대할 수 있을 것이다.

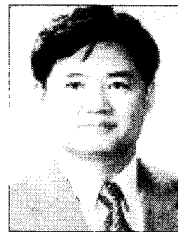
참고 문헌

- [1] J. S. Hong and S. Li, "Theory and Experimental of Dual-Mode Microstrip Triangular Patch Resonators and Filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.52, No.4, pp.1237-1243, Apr. 2004.
- [2] C. L. Tang, J. H. Lu, and K. L. Wong, "Circularly polarized equilateral-triangular microstrip antenna with truncated tip," *Electron. Lett.*, Vol.34, No.13, pp.1277-1278, June 1998.
- [3] I. J. Bahl and P. Bhartia, *MICROSTRIP ANTENNAS*, Artech House, 1982.
- [4] J. S. Row and K. W. Lin, "Low-profile design of dual-frequency and dual-polarized triangular microstrip antennas," *Electron. Lett.*, Vol.40, No.3, pp.1277-1278, Feb. 2004.
- [5] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, London, U. K.: Peter Peregrinus, 1989.
- [6] M. Cuhaci and D. S. James, "Radiation from triangular and circular resonators in microstrip," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, Vol.77, Issue 1, pp.438-441, June 1977.
- [7] P. L. Overfelt and D. J. White, "TE and TM Mode of Some Triangular Cross-Section Waveguide Using Superposition of Plane Waves," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.34, Issue 1, pp.161-167, Jan. 1986.
- [8] C. L. Tang, J. H. Lu, and K. L. Wong, "Single-feed Slotted Equilateral-Triangular Microstrip Antenna for Circular Polarization," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol.47, No.7, pp.1174-1178, July 1999.
- [9] J. H. Lu and K. L. Wong, "Single-feed Circularly Polarized Equilateral-Triangular Microstrip Antenna with a Tuning stub," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol.48, No.12, pp.1869-1872, Dec. 2000.

저자 소개

박 병 우(Byoung-Woo Park)

정회원



- 1977년 2월 : 한양 대학교 전자공학과(공학사)
- 1983년 2월 : 한양 대학교 전자공학과(공학석사)
- 1991년 2월 : 한양 대학교 전자공학과(공학박사)

• 1984년 5월 ~ 1989년 2월 : 동양 전문대학교 교수

• 1989년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> : 안테나 설계 및 해석, 초고주파회로 설계

신혜정(Hye-Jung Shin)

정회원



- 1996년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2001년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학석사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과(박사수료)
- 2003년 3월 ~ 2007년 2월 : 두원공과대학 시간강사
- 2007년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 초빙전임강사
<관심분야> : 안테나 설계 및 해석, 초고주파회로 해석