슬롯 패치 안테나의 대역폭 확장에 관한 연구

Study on the Bandwidth of Microstrip Patch Antenna

이 직 렬

Chick-Youl Lee

요 약

마이크로스트립 패치 안테나의 대역폭을 확장하기 위한 방안을 제시하였다. 이 안테나는 사각형의 슬롯을 가진 접지판 위에 변형된 T-자 모양의 마이크로스트립 라인으로 급전되는 구조를 갖는다. 제시된 마이크로스트립 패치 안테나는 슬롯과 변형된 T-자 모양의 급전 라인의 크기와 위치를 최적화시킴으로써 광대역 특성을 구현하였다. 컴퓨터 모의실험 결과에 의하면 VSWR 2:1 기준에서 127.8 % (0.65~2.95 GHz)의 대역폭을 얻을 수 있었다.

Abstract

A technique to expand the operating impedance bandwidth of a microstrip patch antenna is presented. The antenna is fed by a truncated T-shaped microstrip line on the ground plane with the rectangular slot. The proposed microstrip patch antenna offers wide bandwidth characteristics with the rectangular slot which has optimized size and position on the ground plane. The simulation result shows a fractional bandwidth of 127.8 % (0.65 to 2.95 GHz) at VSWR 2:1.

Key words : Broadband Antenna, Super-Wideband Antenna, Microstrip Patch Antenna, Slot Antenna

I. 서 론

무선 통신 응용 기술이 다양한 형태로 적용됨에 따라 각종 시스템에 적용할 수 있는 광대역 안테나에 대한 연구에 많은 관심이 집중되고 있다. 마이크로스트립 패치 안테나는 가격이 싸고 가벼우며, 제조가 용이한 장점으로 인하여 여러 응용 분야에서 사용되고 있으나, 이와 같은 장점에도 불구하고 이득이 낮고 임피던스 대역폭이 좁은 근본적인 특성을 갖는다.

이와 같은 임피던스 대역폭의 근원적인 취약점을 해결하기 위한 방안으로 널리 알려진 방법들로는 낮은 유전율의 두꺼운 기판을 이용하는 방법^[1], 여러

모양의 층이나 다중 평면 구조를 이용하는 기생 패치 방법^[2], 다양한 구조의 슬롯을 이용하는 방법^[3], 급전선의 구조를 개선하는 방법들이 연구되어 왔다.

두꺼운 기판을 이용하는 방법은 급전 프로브 패턴의 길이가 길어짐에 따라 큰 인덕턴스가 발생하여 최대 대역폭이 공진 주파수의 10 % (VSWR 2:1 기준)도 되지 않는 제한적인 개선만을 거두었다. 다층 패치를 이용하는 방법은 10~20 %의 대역폭을 얻을 수는 있지만, 이 안테나는 구조가 복잡하여 만들기가 어려운 단점을 갖는다. 한편, 두꺼운 기판으로 인하여 발생하는 인덕턴스는 급전 프로브 근처에 원형 모양의 기생 패치를 둠으로서 상쇄시켜 16 %의 대역폭^[4]을 얻었다.

「이 연구는 한국기술교육대학교 교육연구진흥비 연구과제의 지원으로 연구되었음.」

한국기술교육대학교 전기전자통신공학부(School of Electrical, Electronics & Information Technology, Korea University of Technology and Education)

· Manuscript received November 12, 2012 ; Revised December 2, 2012 ; Accepted May 1, 2013. (ID No. 20121112-126)

· Corresponding Author : Chick-Youl Lee (e-mail : jylee@kut.ac.kr)

또한 패치의 모양을 변형하여 대역폭을 넓히는 연구에서는 V-자형의 슬롯을 가진 패치의 양단을 단락시켜 두 공진 모드로 동작시켜 25 %의 대역폭을 얻는 연구^[5], U-자형의 슬롯의 패치를 겹쳐 접는 형식의 안테나는 53.54 %의 대역폭을 구현하는 연구^[6], E-자형의 패치를 겹쳐 접는 형식의 안테나로서 73.78 %의 대역폭을 구현하는 연구^[7] 등을 들 수 있다.

슬롯을 이용하는 마이크로스트립 급전 슬롯 안테나(microstrip-line-fed slot antenna)는 접지면에 사각형의 슬롯을 만들고, 마이크로스트립 급전선(feed line)을 단락^[8] 또는 개방^[9] 구조로 종단시켜 동작시키는 구조를 갖는다. 이와 같은 구조로 좋은 임피던스 정합을 이룰 수 있으며, 임피던스 대역폭을 20 %까지 얻을 수 있다^[10].

슬롯의 폭을 증가시킴으로써 복사 저항을 증가시킬 수는 있으나, 슬롯과 마이크로스트립 급전선 사이에 임피던스 부정합을 일으켜 임피던스 대역폭을 감소시키는 결과를 초래한다. 또한, 급전선의 개방된 끝을 슬롯의 폭 내에서 종단시킴으로써 대역폭을 증가시키는 가능성을 제시했으나, 근본적인 개선은 이루지 못하였다. 또한, Kim^[11]은 T-자형의 급전 구조를 마이크로스트립 급전선에 평행 방향의 스트립 도체를 덧붙임으로써 넓은 사각 슬롯을 이용한 안테나를 발표하였다.

본 논문에서는 마이크로스트립 급전 슬롯 안테나의 대역폭을 증가시키기 위한 방안으로 두 가지 혼합된 방법을 제시하였다. 하나는 사각형 슬롯의 크기와 위치를 최적으로 설계하는 방법이며, 다른 하나는 T-자형 급전 마이크로스트립의 모양을 점진적으로 변형하여 입력 반사계수 값의 변화를 억제시켜 광범위한 대역폭에서도 크게 변하지 않도록 설계하였다. 이와 같은 구조의 안테나에 대한 컴퓨터 모의 실험(HFSS)에 의하여 127.8 % (0.65~2.95 GHz, VS-WR 2:1 기준)의 초광대역 임피던스 대역폭을 얻을 수 있었다.

II. 안테나의 기본 구조 및 설계

그림 1은 T-자형 마이크로스트립 슬롯 패치 안테나를 나타낸 것이다. 사각형 슬롯은 접지된 금속판에 길이 L , 폭 W 의 개구면을 식각하여 만든다. 접지

그림 1. 사각형 슬롯과 일부가 절삭된 T-자형 급전선을 가진 마이크로스트립 패치 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of microstrip patch antenna with rectangular slot and truncated T-shaped feed.

면 위의 유전체는 비유전율 $\epsilon_R=2.2$, 유전체 손실 $=0.0009$, 두께 $d=1.57$ mm이며, 이 유전체 위에 마이크로스트립 급전선을 구현한다. 점선으로 표시된 변형된 T-자형 마이크로스트립 급전선은 수평 부분의 중심($l_F/2$)을 대칭으로 삼각형의 형태로 일부를 제거한 구조를 갖는다. 급전선의 폭은 횡축 및 종축 모두 일정한 폭 $w_F=4.8$ mm를 갖도록 설계하였다.

2-1 슬롯의 크기 및 위치의 설계

슬롯의 모양 및 크기는 안테나의 주파수 특성을 결정 짓는 가장 중요한 요소로서, 본 논문에서는 널리 사용되는 사각형 슬롯을 선택하였다. 또한, 주파수 대역은 이동 통신 분야에서 상용화되어 있는 주파수 대역을 모두 포함할 수 있는 주파수 대역폭을 선택하였다. 슬롯 설계시 길이는 중심 주파수 $f_0=1.5$ GHz를 고려하여 $L=92$ mm로 고정하였으며, 슬롯의 폭 W 를 그림 1의 y-축 방향으로 증가시켜 대역폭 특성을 조사하였다.

본 설계에서 급전선은 절삭하지 않은 T-자형의 마이크로스트립 라인을 이용하였으며, 슬롯의 폭은

그림 2. 슬롯의 크기 및 위치에 대한 대역폭의 영향
Fig. 2. The effect of the slot size and position.

표 1. 다양한 크기의 슬롯에 대한 임피던스 대역폭의 비교

Table 1. Comparison of the impedance bandwidth for the various slot size.

슬롯 크기 $L \times W[\text{mm}]$	임피던스 대역폭 [GHz]	Fractional 대역폭 [%]
92×13.5	0.83~2.71	106.2
92×15.5	0.88~2.70	101.7
92×17.5	0.96~2.23	79.6

$W=13.5, 15.5, 17.5$ mm 각각에 대해 실시하였다. 그 결과는 그림 2 및 표 2에 표시하였다. 결과에 의하면 슬롯의 크기 및 위치에 따라 대역폭이 가변함을 알 수 있으며, 슬롯 폭 W 값이 급전선 T-자의 끝 부분의 위치와 일치할 때 가장 넓은 대역폭을 얻을 수 있었다.

2-2 급전선 패치의 설계

T-자형 급전선에 입사하는 전자파는 불연속적인 구조로 인하여 반사하는 특성을 나타내기 때문에, 이를 최소화하기 위하여 구조상의 불연속이 발생하는 위치에서 구조가 점진적으로 변하는 구조를 갖도록 그림 3과 같이 두 변의 길이가 $w_F, w_F/2$ 되도록 직각 삼각형의 모양으로 절삭하였다.

컴퓨터 모의실험에서 급전선 패치는 $l_F=43$ mm, $w_F=4.8$ mm로 설계하였으며, 절삭에 의한 영향을 조사하기 위하여 절삭할 삼각형의 두 변의 길이를 가변시켜 모의실험을 실시하였다. 실험에 의하면 그림 3에 제시한 모양과 같이 두 변의 길이를 $w_F, w_F/2$ 되도록 직각 삼각형의 모양으로 절삭한 경우의 결과가 가장 좋은 특성으로 보였다.

그림 4 및 표 2에 그 실험 결과를 표시하였다. 이 실험에서 슬롯의 크기는 $L=92$ mm, $W=13.5$ mm

그림 3. 절삭된 T-자형 급전선의 구조
Fig. 3. Layout of the truncated T-shaped feed.

그림 4. 절삭된 T-자형 급전선의 영향
Fig. 4. The effect of the truncated T-shaped feed.

표 2. 절삭된 T-자형 급전선 구조에 대한 임피던스 대역폭의 비교

Table 2. Comparison of the impedance bandwidth of the truncated T-shaped feed.

급전선 구조	임피던스 대역폭 [GHz]	Fractional 대역폭 [%]
절삭된 T-자형 구조	0.75~2.86	116.9
T-자형 구조	0.83~2.70	105.9

그림 5. 제안한 슬롯 패치 안테나의 임피던스 대역폭의 비교
Fig. 5. The comparison of impedance bandwidth for the proposed slot patch antenna.

로 설정하였으며, 결과에 의하면 10 % 정도의 대역폭 증가 현상을 확인할 수 있다.

Ⅲ. 모의실험

제시된 패치 안테나는 그림 1과 같은 구조를 갖는다. 급전선으로는 절삭한 T-자형 마이크로스트립 라인을 적용하였으며, 폭은 특성 임피던스 50Ω 가 되도록 $w_F=4.8$ mm로 설계하였다. 급전선의 절삭면은 그림 3과 같이 두 변의 길이가 $w_F, w_F/2$ 되도록 직각 삼각형의 모양으로 절삭하였다. 접지판과 급전

표 3. 제안한 패치 슬롯 안테나의 대역폭 및 임피던스 대역폭

Table 3. Comparison of the impedance bandwidth for the proposed antenna.

슬롯 크기 $L \times W$ [mm]	임피던스 대역폭[GHz]	Fractional 대역폭 [%]
92×11.5	0.65~2.95	127.8
92×13.5	0.75~2.86	116.9
92×15.5	0.85~2.76	105.8
92×17.5	0.93~2.78	99.7

선 사이의 유전체는 비유전율 $\epsilon_R=2.2$, 유전체 손실 $=0.0009$, 두께 $d=1.57$ mm의 재질을 사용하였다.

슬롯은 접지판에 사각형의 개구면으로 구현하였으며, 컴퓨터 모의실험은 4 종류의 슬롯 $L=92$ mm, $W=11.5, 13.5, 15.5, 17.5$ mm를 대상으로 실행하였다.

임피던스 대역폭에 대한 실험 결과를 그림 5 및 표 3에 나타내었다.

결과에 따르면 슬롯의 크기 $L=92$ mm, $W=11.5$ mm에서 fractional 대역폭 127.8 % (0.65~2.95 GHz, VSWR 2:1 기준)의 초광대역 대역폭을 얻을 수 있었다.

또한, 슬롯의 크기 $L=92$ mm, $W=11.5$ mm에 대한 상용화된 주파수의 VSWR 값은 표 4와 같다.

또한 동작 주파수 1.8 GHz로 동작 중인 안테나 도체 상 표면 전류 밀도의 모양은 그림 6과 같다. 입력 단으로 인가된 신호가 삼각형 모양으로 절삭된 부분에서 유도 현상에 의해 수평 부분으로 전류가 유도되어 전파해 나가는 모양을 확인할 수 있다.

그림 7 및 8은 동작 주파수 0.8 GHz, 2.1 GHz에 대한 방사 패턴을 각각 나타낸 것이다.

IV. 결 론

마이크로스트립 슬롯 패치 안테나의 대역폭을 크

표 4. 제안한 안테나의 상용 주파수에 대한 VSWR 값
Table 4. The VSWR values of the commercial mobile frequencies of the proposed antenna.

주파수[GHz]	VSWR
0.8	1.7
1.8	1.1
2.1	1.35
2.3	1.53

그림 6. 슬롯 안테나의 도체 표면의 표면 전류 밀도 분포

Fig. 6. The surface current distribution pattern on the slot antenna.

그림 7. 800 MHz에서의 방사 패턴

Fig. 7. The radiation pattern at 800 MHz.

그림 8. 2.1 GHz에서의 방사 패턴

Fig. 8. The radiation pattern at 2.1 GHz.

게 확장하기 위한 방안을 제시하였다. 이 안테나는 일부가 절삭된 T-자형 급전선으로 구동되는 슬롯 안테나의 구조를 가진다. 임피던스 대역폭을 증가시키기 위하여 사각형 슬롯의 크기와 위치를 컴퓨터 모의실험을 통하여 최적화시켰으며, 급전선 입력단의 반사 현상을 억제하기 위하여 T-자형 급전선의 일부

를 삼각형 모양으로 절삭하는 기법을 제시하였다. 이 두 가지 방법을 혼합한 안테나의 컴퓨터 모의실험 결과에 의하면 입력단 VSWR 2:1 기준으로 127.8%(0.65~2.95 GHz)의 fractional 대역폭을 얻었다.

References

- [1] I. W. Chen, K. F. Lee, "Input impedance of coaxially fed rectangular microstrip antenna on electrically thick substrate", *Microwave Opt. Technology Letter*, vol. 6, 1993.
- [2] R. Q. Lee, et al., "Characteristics of a two-layer electromagnetically coupled rectangular patch antenna", *Electronics Letters*, vol. 23, 1987.
- [3] P. S. Hall, "Probe compensation in thick microstrip patches", *Electronics Letters*, vol. 23, 1987.
- [4] T. Huynh, K. F. Lee, "Single-layer single-patch wideband microstrip antenna", *Electronics Letters*, vol. 31, 1995.
- [5] Jeen-Sheen Row, Yen-Yu Liou, "Broadband short-circuited triangular patch antenna", *IEEE Trans.*

- Antennas Propag.*, vol. 54, no. 7, 2006.
- [6] C. Y. Chiu, K. M. Shum, C. H. Chan, and K. M. Luk, "Bandwidth enhancement technique for quarter-wave patch antennas", *IEEE Antennas and Wirel. Propagat. Lett.*, vol. 2, pp. 130-132, 2003.
- [7] C. Y. Chiu, C. H. Chan, "A wideband antenna with a folded patch feed", *IEEE International Workshop on Antenna Technology*, pp. 45-48, 2005.
- [8] D. M. Pozar, "Reciprocity method of analysis for printed slot and slot-coupled microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 34, 1986.
- [9] A. Axelrod, et al., "Broadband microstrip-fed slot antenna", *Microwave J.*, vol. 32, 1989.
- [10] M. Kahrizi, "Analysis of a wide radiating slot in the ground plane of a microstrip line", *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol. 41, 1993.
- [11] M. K. Kim, et al., "A T-shaped microstrip-line-fed wide slot antenna", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 3, 2000.

이 직 렬

1980년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)

1982년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)

1986년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학박사)

1984년 5월~1991년 11월: 한국전자

통신연구원 실장

1992년 3월~현재: 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전자전공 교수

[주 관심분야] Computational Electromagnetics, 안테나