

광대역 특성을 갖는 U-슬롯 마이크로스트립 안테나 (A Broadband U-Slot Microstrip Antenna)

홍 재표*, 이 광호*, 김 종규**, 이 창순***
(Jae-Pyo Hong*, Kwang-Ho Lee*, Jong-Kyu Kim**, Chang-Soon Lee***)

요약 본 논문에서는 마이크로스트립 안테나의 대역폭을 개선하기 위하여 개구 결합된 U-슬롯 마이크로스트립 안테나를 설계하였다. 개구 결합을 이용하여 마이크로스트립 급전선로와 복사소자인 마이크로스트립 패치를 결합하였다. 이 결합구조는 급전선로가 복사소자로 동작되는 의사복사를 제거할 수 있는 장점이 있으며 복사면과 급전면이 분리되어 패치와 급전선로를 독립적으로 설계할 수 있는 구조이다. 또한 U-슬롯 구조의 공진 특성과 패치 자체의 공진 특성을 동시에 이용하여 광대역 특성을 가지도록 U-슬롯을 갖는 안테나를 설계하였다. 설계 제작된 안테나로부터 케환손실, VSWR, 복사패턴 및 이득을 측정하였다. 그 결과 안테나의 임피던스 대역폭(VSWR \leq 2)은 2.35GHz에서 6.4%로 나타났고, 안테나의 평균이득은 5.3dBi로 나타났다.

Abstract In this paper, the aperture-coupled U-slot microstrip patch antenna is studied for the bandwidth improvement. The aperture is used as a mechanism for coupling the radiating element to the microstrip feedline, and the aperture-coupled configuration provides the advantage of isolating spurious feed radiation by the use of common ground plane. Experimental results such as return loss, VSWR, radiation pattern and gain measurements are presented on the aperture-coupled U-slot microstrip patch antenna. The impedance bandwidth (VSWR \leq 2) of the antenna is 6.4% centered at 2.35GHz, and the average gain is 5.3dBi.

1. 서론

마이크로스트립 안테나는 유전체 기판 윗면에 안테나 소자인 복사 패치가 위치하고, 아랫면에는 접지면으로 구성된 평면형 구조를 갖는다. 평면형 구조를 갖는 안테나는 제작이 간편하고, 소형이며, 경량이고, 여러 가지의 편파와 이중 공진 특성을 쉽게 구현할 수 있으며, 선형 평면 배열로 제작하기 쉬운 장점 등으로 가지므로 현재 이동통신분야에서 많이 응용되고 있다. 이와는 반대로 대역폭이 좁은 협대역 특성과 낮은 이득 및 표면파의 발생 때문에 마이크로스트립 안테나를 응용할 때 많은 제약을 받고 있는 실정이다.

최근에 마이크로스트립 안테나의 단점을 개선하기 위

해 광대역 특성과 이중 공진 특성을 실현하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다[1-2]. 특히, 대역폭이 좁은 점을 개선하기 위해서는 단락된 원형패치에 원형 고리를 결합한 안테나[3], 슬롯 결합급전 구조를 이용한 안테나[4], 두 개 이상의 패치를 서로 다른 층에 수직으로 배열하고, 적층 패치의 크기와 패치사이의 간격, 유전체의 유전률 등을 조절하여 광대역과 이중 공진 특성을 구현한 적층형 안테나 [5-6]가 제안되었다. 또한 복사 패치의 주위에 서로 다른 기생 소자를 배열하여 광대역을 구현한 안테나[7], 다른 구조에 비해 비교적 어레이가 간단하며 U-슬롯의 공진 특성과 패치 자체의 공진 특성을 동시에 이용하여 하나의 기판으로 광대역을 실현한 U-슬롯 구조의 안테나[8-9] 및 안테나의 크기를 조금씩 변화하여 각각의 공진 특성을 결합하거나 또는 동조 스테브나 단락 핀 등의 부하를 연결하여 대역폭을 확장한 안테나[10] 등이 제안되고 있다.

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나의 대역폭을 개선하기 위하여 개구 결합된 U-슬롯 마이크로스트립 안테

* 경일대학교 전자정보공학과
** 경북대학교 대학원 박사과정
*** 경산대학교 정보과학부

나를 설계하였다. 개구 결합을 이용하여 마이크로스트립 급전선로와 복사소자인 마이크로스트립 패치를 결합하였고, 광대역 특성을 갖기 위하여 복사 패치에 U-슬롯을 갖는 U-slot 안테나를 설계하였다.

그리고 실험적인 방법을 통하여 안테나의 대역폭과 이득 및 안테나의 복사패턴을 측정하여 비교 분석하였다. 실험에 사용된 유전체는 비유전율이 2.2, 두께가 1.59 mm인 RT Duroid-5880 기판을 사용하였다.

2. 개구 결합된 U-슬롯 안테나

2.1 개구 결합 안테나

개구를 이용하여 복사패치를 급전하는 구조는 <그림 1>에서와 같다. <그림 1>(b)에서 보는 바와 같이 개구가 있는 접지면을 기준으로 유전체의 아랫면에 마이크로스트립 급전선로가 있으며, 그리고 접지면 위의 유전체의 윗면에 복사소자인 패치가 있는 구조이다.

이와 같이 개구를 이용하여 급전선로와 복사패치를 전자기적으로 결합하여 급전하면 마이크로스트립 선로나 동축 선로에 의한 직접 급전하는 방법보다 여러 가지의 장점이 있다. 먼저 접지면에 있는 개구를 통하여 급전선로가 복사소자를 전자기적으로 결합하여 안테나를 급전함으로써 의사 복사(spurious radiation)를 제거할 수 있다. 또한 복사면과 급전면이 따로 분리되어 패치와 급전 선로를 각각 독립적으로 설계할 수 있으므로 배열 안테나에도 쉽게 응용할 수 있다.

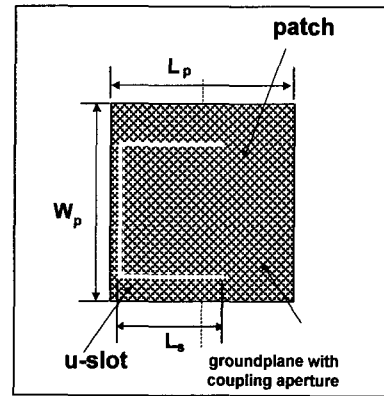
이러한 개구 결합 안테나는 Pozar[4]에 의해 제안된 이후로 개구의 여러 가지 형태에 대해 실험과 이론적인 방법으로 많은 연구가 진행되고 있다. 개구의 크기는 안테나의 복사패턴의 특성을 저하시키지 않도록 사용 주파수대역에서 공진이 일어나지 않도록 적절히 설계되어야만 한다.

그리고 개구 결합 구조에서 개구 모양과 크기가 결합 효율에 큰 영향을 나타내고 있는 가운데, V. Rathi 등[10]은 모래시계 모양의 개구가 최대 결합 효율을 나타냄을 실험적으로 확인하였다. 그러므로 본 논문에서는 <그림 1>(c)에서 보는 바와 같이 개구의 모양이 모래시계인 개구를 사용하여 패치를 급전하였다.

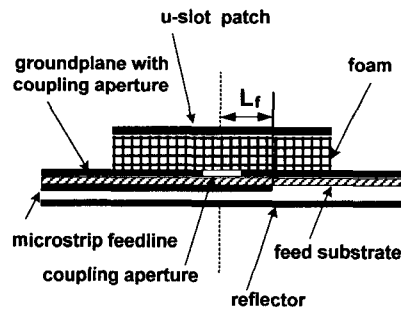
2.2 U-slot 마이크로스트립 안테나

개구 결합을 이용하여 급전한 U-슬롯 마이크로스트립 안테나의 구조는 전체적인 구조는 <그림 1>과 같다. <그림 1>(a)는 안테나의 윗면에서 본 그림이다. <그림 1>(b)

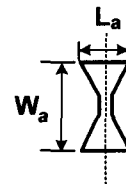
는 정면에서 본 그림인데, 그림에서와 같이 접지면의 아랫 면에는 50Ω 을 갖는 마이크로스트립 급전선로가 있고, 그 접지면에는 급전선로와 패치사이를 결합하기 위해 개구가 있다. 그리고 광대역 특성을 구현하기 위해 기판 윗면에는 foam이 존재하고, 제일 윗면에는 U-슬롯을 갖는 복사 패치를 위치시켰다.



(a) 윗 면



(b) 앞 면



(c) 결합 개구 구조

<그림 1> 개구 결합된 U-슬롯 마이크로스트립 안테나

<표 1> 제작된 U-슬롯 안테나의 제원

Patch	Width	63.0mm
	Length	49.0mm
Feedline offset	Length	20.0mm
Aperture	Width	25.0mm
	Length	15.0mm
Foam	Dielectric constant	1.1
	Height	5.0mm
Feed substrate	Dielectric constant	2.2
	Height	1.59mm

<표 1>에는 제작된 U-슬롯 안테나의 제원을 나타내었다. 여기서 U-슬롯이 있는 접지판의 크기는 $80 \times 70 \text{mm}^2$ 이었다. 여기서 급전선로를 갖는 유전체는 비유전율이 2.2 이고, 두께가 1.59 mm인 RT Duroid-5880 기판을 사용하여 구현하였다.

본 논문에서는 여러 가지의 개구 모양중에서 개구 효율이 양호한 모래 시계형 개구를 결합구조로 선택하였다. 선택된 구조에서 모래시계 모양의 최대 크기는 $25 \times 15 \text{mm}^2$ 이었다. 이 중심을 직각 좌표계의 원점으로 잡을 때 마이크로스트립 급전선 개방단 끝점으로부터의 거리는 20 mm이다. 복사소자인 U-슬롯을 갖는 패치는 얇은 동판조각으로 폭 및 길이가 $63 \times 49 \text{mm}^2$ 으로 선택하였고, 두께가 5mm인 foam (비유전율=1.1)을 사용하여 패치를 고정하였다.

U-슬롯은 폭은 2mm이고, 패치의 복사면 가장자리로부터 1mm가 떨어져 있다. 그리고 급전부의 아래는 약 2mm 간격을 두었고, 반사판을 부착한 Tri-plate 형태로 만들었다. 제작된 안테나의 총 높이는 11.5mm이다. 이는 기존의 3-차원(3-D) 변위(transition) 형태의 급전형 안테나의 높이가 약 15.0 ~ 18.0 mm이므로, 기존의 높이에 비해 낮은 단면으로 동일한 대역폭 특성을 구현할 수 있으므로 보다 소형화할 수 있는 장점이 있었다.

Y. L. Chow[12] 등에 의하면, U-슬롯의 길이는 슬롯이 없는 패치의 기본모드 TM_{01} 의 공진 주파수를 낮추는 역할을 한다. 반면에 슬롯의 모양과 U-슬롯의 간격은 안테나의 특성에 큰 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있다.

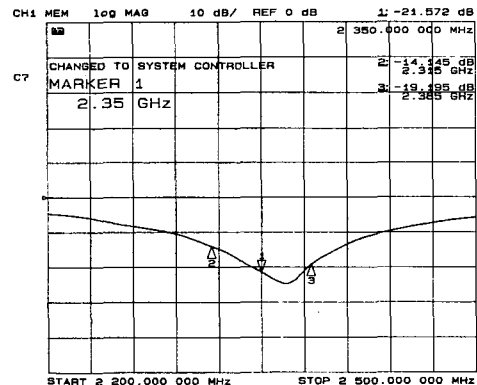
제작된 U-슬롯 개구 급전된 안테나에서 공진 주파수는 패치의 크기에 따라 결정되고, 대역폭은 U-슬롯의 길이와 급전부 스테르브의 길이에 따라 결정됨을 실험적으로 확인하였다. 따라서 U-슬롯의 길이와 급전부 스테르브의 길이를 적절히 조절하여 양호한 대역폭 특성을 나타내도록 안테나의 파라미터를 구하였다.

SMA와 동축 선로로 급전하는 경우에 급전점은 패치의 중심으로부터 약 2.5mm 아래에 위치하는 것으로 Y. L. Chow[12]가 제시하였다. 그리고 동축선로로 급전하는 U-슬롯 안테나[9]도 대역폭이나 이득면에서는 유리한 특성을 나타내었으나, 실험과 제작의 용이성에는 문제가 발생하였다.

본 논문에서는 개구 결합을 이용하여 급전구조이므로 급전점은 패치의 중심에서 약 5mm 아래에 위치함을 확인하였다.

제작된 U-슬롯 개구 급전 안테나를 제작하여 회로망 분석기 HP-8753C을 사용하여 케환손실(Return Loss)과 스미스도표(Smith Chart) 및 전압정재파비(VSWR)을 측정하였다.

그림 2에는 측정된 안테나의 케환손실을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 제안된 안테나의 대역폭(VSWR=2)은 약 150 MHz임을 알 수 있고, 비대역폭은 약 6.4%로 나타남을 알 수 있다. 이는 슬롯이 없는 기존의 마이크로스트립 구조에서 비대역폭이 약 2%에 비해 대역폭이 개선됨을 알 수 있다.



<그림 2> 케환손실의 실험치

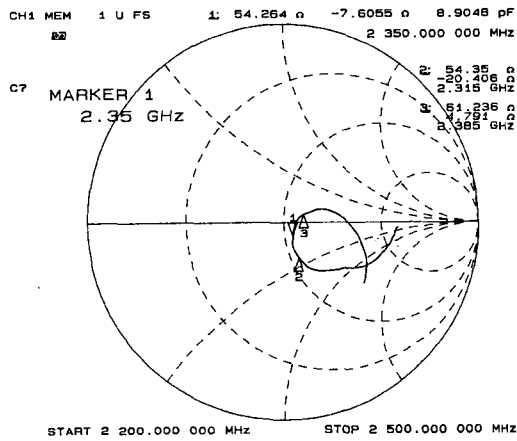
또한 제작된 안테나에 대해 실험한 결과를 스미스 도표와 VSWR로 나타내면 각각 그림 3 및 4와 같다.

제작된 안테나의 복사패턴을 측정하기 위해 스펙트럼 분석기 HP-8695E를 사용하였고, 실험은 반사파의 영향을 최소화하기 위해 전파 무반사실에서 측정하였다. 그리고 측정된 안테나의 복사패턴을 도시하면 그림 5와 같다.

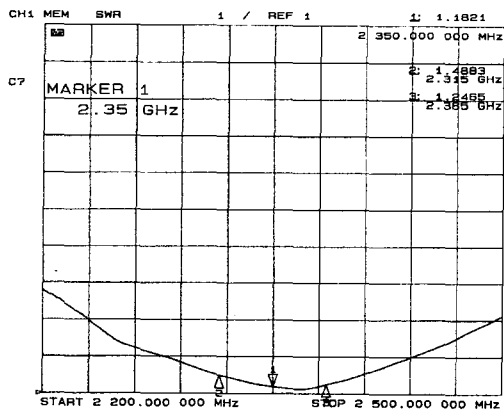
<그림 5>에서 보는 바와 같이 안테나의 3dB 빔폭 (beam width)은 75°로 나타났고, 안테나의 이득은 공진 주파수 2.35 GHz에서 약 5.3dBi로 나타났다. 또한 Tri-plate가 없는 경우에는 백로브(backlobe)가 약 13dB 정도로 매우 크게 나타났다. 이는 상대적으로 이득이 약

2.14dB인 다이폴 안테나보다 3.3~4.0dBi가 높게 나타났으나, 적절하게 Tri-plate를 부착함으로써 백로브를 줄이고, 안테나의 이득을 다이폴에 비해 약 두 배정도 증가시킬 수 있었다.

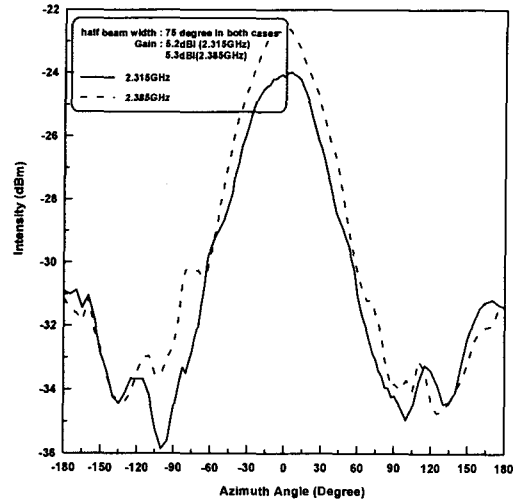
또한 마이크로스트립 안테나의 접지판의 크기를 크게 하면 이득이 7~8dBi 까지 증가함을 확인하였다. 아울러 패치와 개구 및 슬롯을 정교하게 제작하고, 다양한 유전체를 사용하면 안테나를 구현하면 보다 향상된 대역폭을 얻을 수 있으리라 생각된다.



<그림 3> 측정된 스미스 도표



<그림 4> 측정된 VSWR



<그림 5> 측정된 복사패턴

3. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나의 대역폭을 개선하기 위해 개구로 결합하며 급전선로와 패치를 결합하였고, 패치에는 U-슬롯을 갖는 안테나를 제작하여 실험하였다. 안테나의 최대 개구 효율을 얻기 위해 개구의 형태는 모래시계 모양으로 하였고, 안테나의 대역폭이 최대가 되도록 U-슬롯의 길이와 스테브의 급전부 길이를 조절하였다.

제작된 안테나의 모래 시계형 개구의 크기는 $25 \times 15 \text{ mm}^2$ 이고, U-슬롯의 폭 2 mm 이다. 그리고 U-슬롯을 갖는 패치의 폭과 길이는 $63 \times 49 \text{ mm}^2$ 이고, 재질은 얇은 동판이다. 또한 두께가 5 mm 인 foam (비유전율 ≈ 1.1) 을 사용하여 패치를 고정하였고, 급전선로가 존재하는 유전체는 비유전율 2.2, 두께 1.50 mm 인 RT Duroid-5880 기판을 사용하였다. 안테나의 접지판의 크기는 $80 \times 70 \text{ mm}^2$ 이고, 높이는 11.5 mm 가 되었다.

최적 설계된 안테나의 대역폭은 약 150 MHz 로 나타났으며, 6.4% 비대역폭을 갖는 양호한 결과를 얻었다. 이 결과는 기본 마이크로스트립 안테나의 비대역폭이 2~3% 정도인데 비해 대역폭이 개선된 양호한 결과임을 알 수 있었다.

또한 안테나의 이득은 공진주파수 2.35 GHz 에서 약 5.3 dBi 로 나타났고, 이는 약 2.14 dB 인 다이폴 안테나보다 $3.3 \sim 4.0 \text{ dBi}$ 향상된 결과임을 알았다. 그리고 Tri-plate 구조를 이용하여 작은 접지면으로 백로브를 효과적으로 감

소시킬 수 있음을 확인하였다.

앞으로의 과제로는 반사판이 없는 경우에 백로브를 감소시키는 방법이고, 또한 다양한 형태의 슬롯에 대한 최적 안테나를 구현하는 것이다.

참 고 문 헌

[1] K. F. Tong, K. M. Luk, K. F. Lee, and R. Q. Lee, "A Broad-Band U-slot Rectangular Patch Antenna on a Microwave Substrate", IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol. 48, no. 6, pp. 954-960, 2000

[2] D. M. Pozar, "A Dual-Band Circularly Polarized Aperture-Coupled Stacked Microstrip Antenna for Global Positioning Satellite", IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol. 45, pp. 1618-1625, Nov. 1997.

[3] D. M. Kokotoff, R. B. Waterhouse, and J. T. Aberle, "An Annular Ring Coupled to a Shorted Patch" IEEE Antennas Propagat., vol. 45, pp. 913-914, 1997

[4] D. M. Pozar, "Microstrip Antenna Aperture-Coupled to a Microstripline", Electron Lett., vol. 21, pp. 49-50, 1985

[5] A. A. Melcon and J. R. Mosig, "Strip, Slot, Air, Inverted Patch (SSAIP); a Cavity -Backed Alternative to Broadband Communications Antennas," Radio Science, vol. 33, no. 6, pp. 1525-1542, 1998

[6] J. F. Zurcher, "The SSFIP; a Global Concept for High-Performance Broadband Planar Antennas," Electron Lett., vol. 24, no. 23, pp. 1433-1435, 1988

[7] P. B. Katehi and N. G. Alexopoulos, "A Bandwidth Enhancement Method for Microstrip Antennas," IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol. 35, no. 1, pp. 5-12, Jan. 1987

[8] 김종규, 홍재표외 3인, " PCS 개구 결합

U-slot 마이크로스트립 패치 안테나에 관한 연구", 한국통신학회 하계종합 학술대회 논문집, 19권 2호, pp.1235-1239, 1999년

[9] K. F. Lee, K. M. Luk, K. F. Tong, S. M. Shum, T.Huynh, and R. Q. Lee, "Experimental and Simulation Studies of the Coaxially Fed U-Slot Rectangular Patch Antenna," IEE Proc.-Microwave. Antennas Propagat., vol. 144, no. 5, pp. 354-358, 1997

[10] P. S. Hall, "Multioctave Bandwidth Log-Periodic Microstrip Antenna Array," IEE Proc., vol. 133, no. 2, pp. 127-136, April 1986

[11] V. Rathi, G. Kumar and K. P. Ray, "Improved Coupling for Aperture Coupled Microstrip Antennas," IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol. 44, pp. 1196-1198, Aug. 1996.

[12] Y. L. Chow, Z. N. Chen, K. F. Lee and K. M. Luk, "A Design Theory on Broadband Patch Antennas with Slot," The IEEE AP-S International Symposium, Atlanta, Georgia, pp. 1124-1127, June, 1998.

[13] K. F. Tong, K. F. Lee, K. M. Luk, T. M. AU and T. Huynh, "Aperture Coupled Microstrip Antenna with a U-Slot," Proc. of ISAP, Chiba, Japan, pp. 817-820, Sept., 1996



홍재표 (Jae-Pyo Hong)

1981년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1983년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1989년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1990년 3월 ~ 현재 경일대학교 전자정보공학과 부교수
 관심분야 : 마이크로파 안테나 설계 및 이론, 마이크로파 소자 이론 등



이 광 호 (Kwang-Ho Lee)

1983년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1985년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1992년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1988년 10월 ~ 현재 경일대학교 전자정보공학과 교수

관심분야 : 삼차원 영상인식, 컴퓨터 비전, 영상신호처리 및 패턴 인식



김 종 규 (Jong-Kyu Kim)

1985년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1987년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1988년 3월 경북대학교 대학원 박사과정

관심분야 : RF 회로설계와 수치해석 및 안테나 설계



이 창 순 (Chang-Soon Lee)

1981년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1983년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1993년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1993년 3월~현재 경산대학교 정보과학부 부교수

관심분야 : 정보보호론, 컴퓨터네트워크