

Air 기판을 이용한 U형 슬롯을 갖는 광대역 마이크로스트립 안테나

정희택* · 강영만* · 이승엽**

U-shaped Wideband Microstrip Antenna on Air Substrate

Hyi-Thaek Ceong* · Young-Man Kang* · Seung-Yeop Rhee**

요 약

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나가 광대역특성을 갖도록 하기 위해 마이크로스트립 안테나의 방사부인 패치 내부에 U형 슬롯이 놓인 마이크로스트립 구조와 안테나에 사용되는 유전체를 사용하지 않고 공기층을 이용하여 광대역화를 극대화 시키는 연구를 하였다. 실험 결과 이동통신 주파수 대역 내인 820~950MHz에서 정제파비(VSWR)는 1.4이하로 매우 잘 매칭된 안테나를 제작하였으며, 안테나의 이득도 최고 8.2dBd를 얻어 기존 다이폴에 비해 매우 높은 이득을 얻을 수 있었다. 이는 안테나를 소형화 시킬 수 있음을 뜻하는 것으로 향후, 다른 주파수 대역의 무선통신 분야나 이동통신 분야에도 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

ABSTRACT

This paper maximizes the research on broadband characteristics by using air layer instead of using microstrip structure of radiation part with U-shaped slot patched inside and microstrip antenna in order to make the microstrip antenna to have broadband characteristics. Experimental results show that the VSWR is 1.4 or less than the mobile communication frequency band(820~950MHz) and the gain of the antenna is 8.2dBd. This means that the antenna can be miniaturized, and it can be used in the wireless communication fields, and the mobile communication fields for other frequency bands in the future.

키워드

Air Substrate, U-Shaped Slot, Wideband Antenna, Microstrip Antenna
공기층, U형 슬롯, 광대역 안테나, 마이크로스트립 안테나

1. 서 론

기존 800MHz대역의 이동통신 기지국에 널리 사용되고 있는 다이폴 안테나는 구조적 문제로 저자세 구조로는 적합하지 않다. 이것은 다이폴 안테나를 지지

하기 위해 필히 접지면과 연결이 되어야 하는 데 이를 위해 $\lambda/4$ 길이의 지지대가 필요하기 때문이다. 800MHz 주파수에서 최소 9.0cm이상의 안테나 높이를 갖는다. 이는 기지국 안테나의 크기(높이)를 더 이상 낮게 하지 못하는 원인이다. 이러한 기존 기지국

* 전남대학교 멀티미디어전공(htceong@jnu.ac.kr, ymkang@jnu.ac.kr) • Received : Sep. 04, 2018, Revised : Sep. 24, 2018, Accepted : Oct. 15, 2018
** 교신저자 : 전남대학교 전자통신전공 • Corresponding Author : Seung-Yeop Rhee
• 접수일 : 2018. 09. 04 Dept. of Electronic Comm., Chonnam National University,
• 수정완료일 : 2018. 09. 24 Email : ysr@jnu.ac.kr
• 게재확정일 : 2018. 10. 15

안테나의 단점을 보완하기 위해 이미 선진국에서는 저자세(Low-profile) 안테나에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며 일부는 상품화 단계에 있다[1-4].

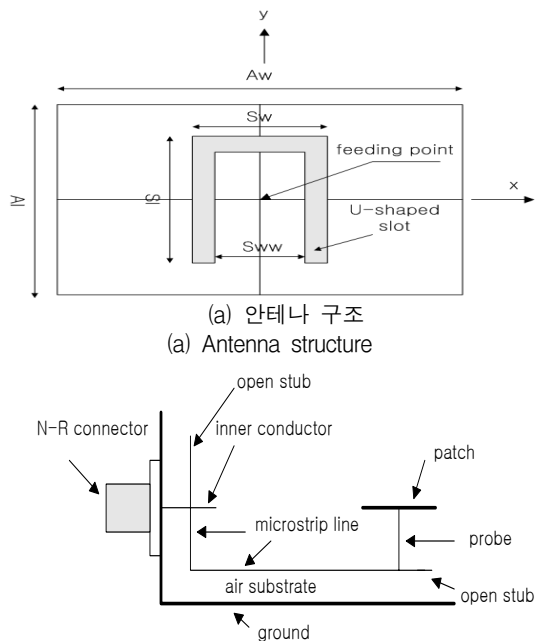
선진국에서는 이미 SSFIP(Strip-Slot-Foam-Inverted-Patch) 형태와 같이 기지국 시스템의 대역폭 요구조건을 만족하는 저자세 안테나를 이용하여 기지국 안테나 설치 장소를 옥상 위의 철탑에서 건물 외벽에 부착 가능한 안테나를 개발하고 있다. 이러한 저자세 안테나는 기존 옥상 위의 철탑에 설치하는 것보다 설치비용을 절감할 뿐 만 아니라 주위 미관도 해치지 않는 환경 친화적 기지국 안테나로 기존 다이폴 안테나를 대체할 안테나로 각광받고 있다. 그러나 SSFIP 안테나를 제작하기 위해서는 주파수 특성이 우수하고 송신 출력에 충분히 견딜 수 있는 기판을 사용함으로써 제작 단가가 높아지며 제작 시 여러 안테나 부품을 정밀 조립해야하고 제작과정이 복잡해지는 단점을 가지고 있다[4-7].

그러므로 본 논문에서는 SSFIP와 같은 저자세의 구조를 갖으며, 고이득 및 임피던스의 광대역 특성을 갖는 이동통신 800MHz대역의 기지국 안테나를 설계하고자 한다. 저자세 안테나로 적합한 구조는 마이크로스트립 안테나이나 안테나 속성상 협대역 특성을 갖기 때문에 이를 개선하는 기술들이 많이 연구되고 있다. 본 논문에서는 SSFIP 구조 보다 간단한 구조이나 기생소자 및 적층소자를 쓰지 않고 광대역을 이룬 U슬롯을 갖는 마이크로스트립 안테나가 이동통신 안테나 구조로 적합하다고 할 수 있다. U슬롯 안테나는 단일 마이크로스트립 안테나에 U형 슬롯을 형성함으로써 다중모드 공진특성을 갖는다. U슬롯 안테나는 [7]에서 제안된 구조이지만 800MHz 이동통신 기지국 안테나로 직접 적용은 하지 않았다. 본 논문에서는 이 구조의 안테나를 기본으로 공기층 기판을 이용한 급전 및 안테나 구조[8-9]를 제안하고 설계하여 이동통신 기지국 안테나에 적합한 안테나를 설계 제작하고자 한다.

II. 안테나 구조 및 특성

그림 1은 기존 기지국 안테나로 사용되는 다이폴 안테나의 단점인 협대역 특성 개선과 저자세 구조를

갖기 위해 제안한 안테나 구조를 간략하게 그린 것이다. 제안된 구조는 유전율이 1.0인 공기층을 사용하기 위해 공중에 떠 있는 구조이다. 이 방법은 다층 안테나로 광대역화를 이루는 방법(기생소자를 이용한 방법)에 비해 그림 1의 (a)는 안테나는 단일 층으로 안테나의 높이를 최소화할 수 있다. 그리고 수평적인 안테나 크기는 평면적인 기생소자를 쓰는 안테나를 이용하는 방법에 비해 평면적 크기를 줄일 수 있다 [6-7]. 또한, 공기층을 이용하기 때문에 기존 고가의 마이크로스트립용 기판을 이용하는 안테나에 비해 가격적인 면에서도 매우 유리하다. 특히, 안테나 급전선도 공기층을 이용한 구조(air substrate)[8-9]로 만들어 구조적으로 단순화 시켰다.



(a) 안테나 구조
(a) Antenna structure
(b) 공기 기판을 이용한 안테나 급전 구조
(b) Antenna feeding structure based on air substrate
그림 1. U형 슬롯 마이크로스트립 안테나 구조 및 설계 파라미터

Fig. 1 Structure and design parameters of U-shaped slot microstrip antenna

그림 1(a)의 각 부분에 대한 안테나 특성 변화 중 슬롯 길이의 변화는 안테나를 정합시키는데 매우 중요한 역할을 한다. 실제 안테나의 높이(접지면과 안테

나 사이의 거리가 27.0mm(약 0.07λ)로 매우 높기 때문에 안테나 급전시 리액턴스 성분이 존재한다. 이로 인한 임피던스 정합을 이루기 위해서는 캐패시턴스 성분을 인위적으로 조절하든지 안테나 자체의 구조 변경으로 조절할 수 있어야 한다. 이런 점에서 그림 1(a)에서 슬롯 길이는 안테나 자체의 리액턴스를 조절해 주는 역할을 한다.

따라서 그림 1(a)의 주요 안테나 파라미터(슬롯길이:Sl, 슬롯폭:Sw, 안테나 길이:Al)에 대한 특성변화를 고찰하고자 한다. 이를 위해 급전방법은 급전선이 안테나의 직접적인 특성변화에 영향을 주지 않기 위해 동축 급전방법을 사용하였다. 초기 시뮬레이션에 사용한 안테나의 주요 파라미터 값은 안테나 폭과 길이는 각각 128.0mm와 220.0mm이며, 공기층 높이는 27.0mm로 하였다. 다음은 주요 파라미터에 변화에 대한 안테나 입력임피던스 특성 변화를 분석한 것이다.

그림 1(b)는 공기층을 이용한 안테나 급전선 구조를 그린 것이다. 급전선을 지지하고 접지유지하기 위하여 실제로 플라스틱 나사를 이용하였다. 안테나에 직접적으로 급전되는 프로브는 급전선에 바로 연결시켜 수직으로 동축 급전과 같은 방식으로 안테나와 연결하도록 하였다. 이것은 프로브의 인덕턴스 성분이 늘어나는 결과를 초래함으로써 안테나 정합 특성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 급전선 양쪽에는 개방선로를 추가적으로 배치시킴으로써 안테나 조립 후 미세한 정합을 할 수 있도록 하였다.

그림 2는 슬롯길이를 80.0mm를 기준으로 75.0mm와 85.0mm로 변화시켰을 때 안테나의 입력임피던스 변화를 스미스(Smith) 도표로 나타낸 것이다.

슬롯길이 변화는 안테나의 입력임피던스의 허수부 뿐만 아니라 실수부에 많은 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 즉 슬롯길이가 길어지면 인덕턴스 성분이 증가하여 안테나의 입력임피던스의 허수부를 조절해주는 역할을 함을 알 수 있다. 또한, 실수부인 저항 성분은 낮아지는 추세를 보이고 있다. 미세한 슬롯 변화에 안테나의 특성이 매우 민감하게 변하기 때문에 제작할 때의 제작 시 주의를 요한다.

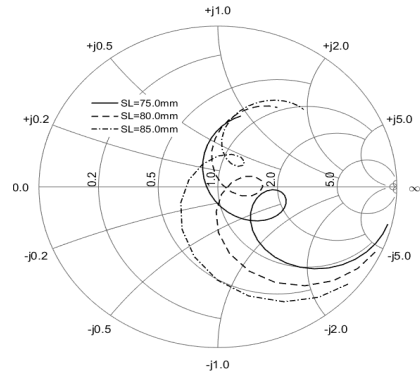


그림 2. 슬롯길이 변화에 따른 입력임피던스 궤적
Fig. 2 Input impedance locus with variation of slot length(Sl)

그림 3은 슬롯 폭의 역할을 알아보기 위해 슬롯 폭을 53.0mm~63.0mm까지 5mm씩 변화하여 입력임피던스 측정하였다. 슬롯폭의 변화는 슬롯 길이변화와는 반대로 실수부보다는 허수부 변화량이 많음을 알 수 있다. 슬롯의 폭이 넓어지면 허수부(인덕턴스 성분)가 점차 커진다.

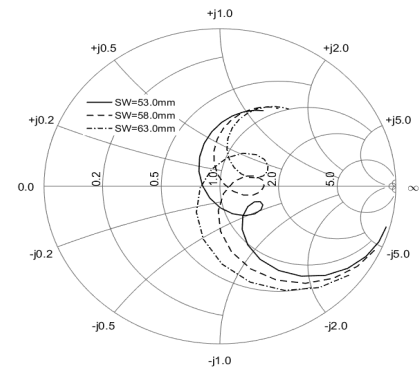


그림 3. 슬롯폭 변화에 따른 입력임피던스 궤적
Fig. 3 Input impedance locus with variation of slot width(SW)

따라서 슬롯길이와 슬롯 폭을 적절히 조절하면 부가적인 정합회로를 사용하지 않고도 임피던스 정합을 이룰 수 있다.

그림 4는 마이크로스트립 안테나의 길이를 118.0~138.0mm 변화시켰을 때의 입력임피던스 변화를 나타낸 것이다. 길이를 줄임에 따라 임피던스의 실수부와 허수부가 모두 일정하게 변화되고 원 모양의 임피던

스 궤적이 커짐을 알 수 있다. 원모양의 크고 작음에 따라 안테나의 대역폭 특성에 많은 영향을 줄므로 대역폭 특성과 관련이 있는 파라미터로 생각할 수 있다.

일반적으로 마이크로스트립 안테나에서 폭은 임피던스에 영향을 크게 주는 파라미터로 알려져 있으나, 시뮬레이션 결과 U슬롯을 갖는 안테나가 마이크로스트립 안테나의 변형임에도 불구하고 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

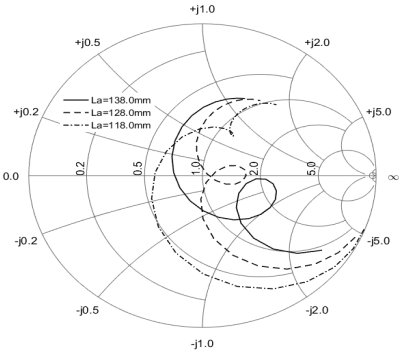


그림 4. 방사부 길이 변화에 따른 입력임피던스 궤적
Fig. 4 Input impedance locus with variation of radiator width(La)

III. 실험 및 분석

앞장의 분석결과로부터 각 파라미터들의 서로 연관된 조정으로 임피던스의 실수부와 허수부를 변화시킬 수 있음을 알 수 있었다.

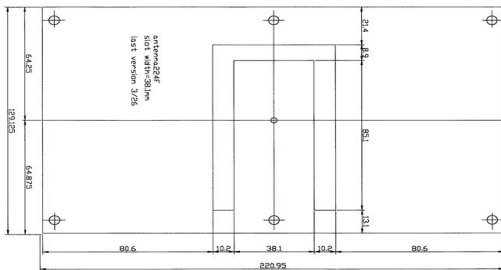


그림 5. 최적화된 안테나 치수
Fig. 5 Dimension of the optimized antenna

결과적으로 몇 개의 파라미터들을 조정함으로써 안테나의 입력임피던스 정합을 쉽게 할 수 있다. 상용 프로그램 Zealand사의 IE3D로 최적화 과정을 수정 보완된 최종 단일 안테나 소자의 기하학적 구조 및 이에 대응되는 치수는 그림 5와 같다.

위의 안테나를 측정된 반사손실 특성은 그림 6에 나타내었다.

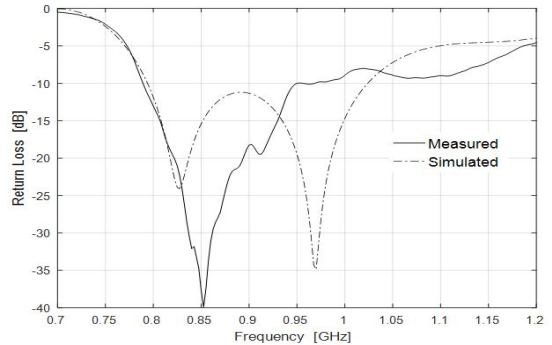


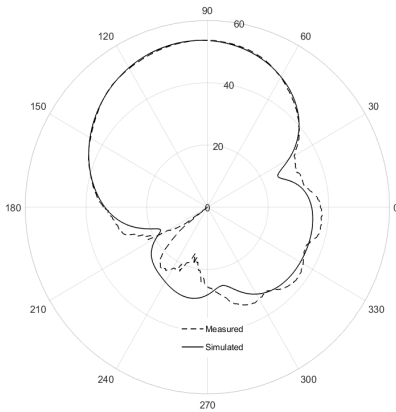
그림 6. 안테나의 반사 손실
Fig. 6 Return loss of antenna

임피던스에 관련된 특성은 HP사의 Vector Network인 HP8510C로 측정하였다. 측정 결과로부터 U형 슬롯으로 인해 광대역 특성을 갖는 다는 것을 알 수 있으며, 820~950MHz 대역에서 정재파비가 1.4이하로 매우 양호한 정합 특성을 보였다. 정재파비 2.0이하 기준 대역폭은 780~990MHz로 35%의 광대역 특성을 얻었음을 알 수 있다. 반사계수가 0.85GHz 이상에서 시뮬레이션 결과 차이가 나는 것은 황동으로 제작되는 선로의 균일성 오차 및 그림1에서처럼 마이크로스트립 선로 위에서 바로 안테나로 급전되는 프로브 부분에서 발생하는 매칭이 적절하게 이루어지지 않았기 때문으로 분석된다.

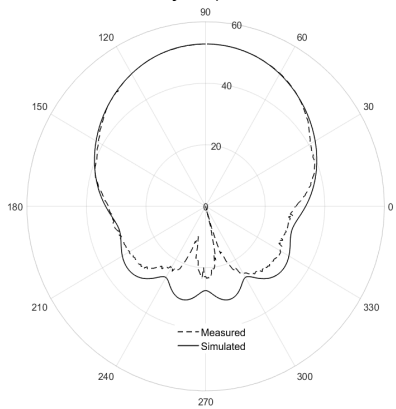
표 1. 측정된 안테나 이득
Table 1. Measured gain of antennas

	Frequency[MHz]	Gain[dBd]
x-z plane	824	7.3
	850	8.1
	894	8.2

방사패턴 측정에 사용된 기준 안테나는 로그주기 (log periodic) 안테나로 주파수 824MHz, 850MHz 및 894MHz에서 각각 수평면이득은 9.93, 9.97, 10.07dBd 이다. 표 1에서 알 수 있듯이 이득은 주파수에 따라 최소 7.3dBd에서 최대 8.2dBd로 기준 다이폴 안테나 (0.0dBd)에 비해 매우 높은 이득을 얻었다.



(a) y-z 평면
(a) y-z plane



(b) x-z 평면
(b) x-z plane

그림 7. 시뮬레이션 및 측정된 방사 패턴
Fig. 7 Simulated and Measured patterns
at 850MHz

그림 7과 같이 시뮬레이션 방사 패턴과 유사한 방사 패턴을 보였으며 일반 마이크로스트립 안테나의 방사 패턴처럼 수평면에서 약 $\pm 60^\circ$ 의 빔 폭을 얻었다. 다만, y-z평면에서 방사패턴의 대칭성이 x-z평면보다 떨어지는 이유는 U슬롯이 y-z평면에 대해 비대칭

적 배치되어 있기 때문으로 분석된다. 그리고 방사패턴의 전후방비(front-back ratio)는 y-z평면과 x-z평면에서 모두 20dB이상 차이가 측정되었다.

IV. 결론 및 향후 개선방향

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나가 광대역특성을 갖기 위해 마이크로스트립 안테나의 방사부인 패치 내에 U형 슬롯이 놓이고, 마이크로스트립 안테나에 사용되는 일반 유전체를 사용하지 않고 유전율이 1.0인 공기층을 이용하여 광대역화를 극대화 시키는 연구를 수행하였다. 실험 결과 820~950MHz 주파수 대역 내에서 정재파비(VSWR : Voltage Standing Wave Ratio)는 1.4이하로 매우 잘 정합된 안테나를 제작하였으며, 안테나의 이득도 최대 8.2dBd를 얻어 기존 다이폴에 비해 매우 높은 이득을 얻을 수 있었다. 이는 안테나를 소형화시킬 수 있음을 뜻하는 것으로 향후, 다른 주파수 대역의 무선통신 분야나 이동통신 분야에도 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

지금까지 U형 슬롯을 갖는 마이크로스트립 안테나를 단일 또는 배열시 급전하는 방법은 동축케이블 또는 방사체와 다른 접지면 위에 마이크로스트립 선로를 사용한 급전 방식만을 연구되어 왔으나, 방사체와 동일 평면 내에 배열 급전하는 방법에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 중소벤처기업부에서 지원하는 2017년도 수출기업 기술개발사업(No.S2495110)의 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- [1] H. Choi and T. Yun, "Broadband Patch Antenna with the Air-Dielectric for the Human Counting System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 4, 2017, pp. 539-544.

- [2] G. Kim, "Optimum design of a dual-band patch antenna using the square CSRR construction," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 1, 2017, pp. 25-30.
- [3] K. F. Lee, K. M. Luk, K. F. Tong, Y. L. Yung, and T. Huynh, "Experimental Study of the Rectangular Patch with a U-Shaped Slot," In *Proc. IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation Society(AP-S) Digest*, Baltimore, USA, 1996, pp. 10-13.
- [4] U. K., Revankar and A. Kumar, "Broadband Stacked Three-Layer Circular Microstrip Antenna Arrays," *Electronics Letters*, vol. 28, no. 21, 1992, pp. 1995-1997.
- [5] C. Sabatier, P. Brachat, A. Calderone, E.seguenot, and F. Devillers, "Compact Linear Array at 810MHz," In *Proc. IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation Society(AP-S) Digest*, Montreal, Canada, 1997, pp. 2119-2122.
- [6] M. Koohestani and M. Golpour, "U-shaped microstrip patch antenna with novel parasitic tuning stubs for ultra wideband applications," *IET microwaves, antennas & propagation*, vol. 4, no. 7, 2010, pp. 938-946.
- [7] Y. Park, "Characteristics of Microstrip Array Antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1281-1286.
- [8] D. Guha, S. Chattopadhyaya, and J. Y. Siddiqu, "Estimation of Gain Enhancement Replacing PTFE by Air Substrate in a Microstrip Patch Antenna," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 52, no. 3, 2010, pp. 92-95.
- [9] L. Chang, Z. Zhang, Y. Li, and Z. Feng, "Air Substrate 2-D Planar Cavity Antenna With Chessboard Structure", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, 2016, pp. 321-324.

저자 소개

정희택(Hyi-Thaek Ceong)



1992년 전남대학교 전산통계학과 졸업(이학사)

1995년 전남대학교 대학원 전산통계학과 졸업(이학석사)

1999년 전남대학교 대학원 전산통계학과 졸업(이학박사)

1999년 ~ 현재 : 전남대학교 멀티미디어전공 교수

※ 관심분야 : 데이터마ining, 생물정보학, 기계학습

강영만(Young-Man Kang)



1987년 광운대학교 대학원졸업(이학석사)

1987.2~1992.8 한국전자통신연구원

1992.9~현재 전남대학교 문화콘텐츠학부 교수

※ 관심분야: 방송/무선/이동/영상처리(카메라) 통신 시스템

이승엽(Seung-Yeop Rhee)



1986년 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1988년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1993년 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1993년 ~ 현재 : 전남대학교 전자통신공학과 교수

※ 관심분야 : 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로 설계, 전자파 해석