

U 슬롯과 stub를 이용한 개구 결합 급전 방식의 광대역 마이크로스트립 안테나에 관한 연구

김 현 준, 오 은 실, 윤 영 중
연세대학교 전기·전자공학과
서울특별시 서대문구 신촌동 134번지 (우) 120-749
E-mail : borisal@hanmail.net

A Study on Wideband Aperture Coupled Microstrip Antenna Using U slot and stub

Hyun Jun Kim, Eun Sil Oh, Young Joong Yoon
Microwave & Antenna Lab., Dept. of Electric & Electronic Eng., Yonsei Univ.
134, Shinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, KOREA, 120-749
E-mail : borisal@hanmail.net

요약

본 논문에서는 개구 결합 방식의 마이크로스트립 안테나에 U 슬롯과 turning stub를 동시에 사용하여 넓은 대역폭을 갖는 안테나를 설계 및 제작하였다. 상대 유전율이 2.2이고 두께가 61mil인 duroid 5880기판을 사용하여 ITS(Intelligent Transport System)대역인 5.77GHz에서 동작하는 안테나를 설계하였고, VSWR \leq 2를 기준으로 하여 약 12.4%의 대역폭을 얻을 수 있었다. 그리고 약 7GHz에서 동작하는 안테나에서는 상대 유전율이 2.2이고 두께가 31mil인 duroid 5880기판과 1.6mm인 form을 사용하여 VSWR \leq 1.5를 기준으로 약 11.7%의 대역폭을 얻을 수 있었다. 각각의 경우 U 슬롯만을 사용한 경우와 비교할 때 5.77GHz에서는 5.7% 7GHz대역에서는 약 4%의 대역폭 개선 효과를 확인할 수 있었다.

I. 서론

마이크로스트립 패치 안테나의 단점인 협대역 특성을 개선하기 위하여 패치에 U 슬롯을 갖는 안테나가 제안되어 왔다.

U 슬롯 안테나는 임피던스 특성이 광대역을 갖는 반면 동축선을 이용하여 급전을 하기 때문에 배열에 사용될 경우 패치와 급전선 사이에 많은 동축선을 연결 해야 하는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 U 슬롯 안테나에 개구 결합 방식의 급전 구조를 사용할 수 있다[1].

U 슬롯 안테나는 일반적으로 두꺼운 기판을 사용하거나, 방사소자와 급전소자 사이에 공기층을 삽입시켜 광대역 안테나를 구현한다. 그러나

두꺼운 기판의 경우 안테나 효율의 감소와 정합의 어려움이 따르며, 공기층의 삽입은 안테나 제작상의 어려움을 야기 시킨다. 이를 개선하기 위해 일반적으로 쓰이는 기판과 얇은 form을 사용하였고, 대역폭 개선 효과를 유지하기 위해 급전선 끝단에 turning stub를 사용하였다.

본 논문에서는 두 가지의 안테나를 설계하였다. 5.77GHz(유전율이 2.2 이고, substrate 두께가 62mil인 duroid 5880 기판)과 7GHz(유전율이 2.2 이고, substrate두께가 62mil인 duroid 5880 기판과 두께가 1.6mm인 form을 사용)에서 동작하는 안테나를 설계하여 U 슬롯과 turning stub가 있는 경우와 없는 경우로 나누어 결과를 비교, 분석하였다.

이를 통해 U 슬롯과 turning stub를 동시에 사용하였을 때, 중첩된 대역폭 개선 효과를 보이는

지 확인하였고 이와 더불어 방사 패턴 등을 통하여 사용의 실효성을 확인하였다.

II. U 슬롯과 stub를 이용한 개구 결합 급전방식 Antenna 설계

그림 1은 본 논문에서 설계한 안테나의 구조이다. 설계 과정은 다음과 같다. 우선은 일반적인 개구 급전 방식의 안테나를 설계한다. 두 번째 단계로 사각형 패치에 U 슬롯을 만들어 최적화된 안테나를 설계한 후 마지막 세 번째 단계로 급전선에 turning stub를 추가하여 원하는 안테나를 완성한다. 그리고 U 슬롯과 stub의 유무에 따라 다음 표와 같이 정의한다.

표 1 구조에 따른 안테나 타입 정의

Type 1	U슬롯(유) stub(유)
Type 2	U슬롯(유) stub(무)
Type 3	U슬롯(무) stub(유)
Type 4	U슬롯(무) stub(무)

우선 U 슬롯의 기능을 보면 길이 방향의 슬롯은 기본 모드의 전류 분포를 변화시킴으로써 인접 주파수에서 공진을 만들어 대역폭을 넓히는 역할을 한다. 이럴 경우 의도하지 않은 폭 방향의 전류 흐름이 생겨 교차 편파를 증가시키는데 이러한 영향을 최소화하기 위해 길이 방향의 슬롯을 만들어 주게 된다[2]. 개구 결합 급전 방식을 통해 U 슬롯 안테나를 만들어 보면 기존 안테나의 U 슬롯 보다 훨씬 긴 폭의 슬롯이 필요함을 확인할 수 있다. 만일 좁은 폭(그림 2의 Wu)의 U 슬롯을 만들 경우 두 개의 공진이 발생하는데 이 두 공진을 합쳐 광대역 효과를 보기 위해서는 거의 패치의 폭(W)과 같은 길이의 U 슬롯 폭(그림 2의 Wu)가 필요하다. 그리고 길이 방향의 슬롯(Lu)이 패치의 중심으로 이동할수록 공진이 일어나는 주파수가 높아짐을 확인할 수 있다.

우선 두 번째 단계까지의 파라미터의 특성을 보면 일반적인 개구 급전 방식의 안테나와 같이 급전선 끝단의 $\lambda_g/4$ stub는 임피던스의 허수 성분을 변화시키고 접지면의 슬롯 폭은 실수 성분을 변화시키는데 중요한 파라미터가 된다. 일반적인 U 슬롯 안테나와 같이 패치의 폭(Wgs)은 길이의

약 1.7~2 배 사이에서 적당히 결정할 수 있고 임피던스 매칭을 위해 U 슬롯을 사용하기 진보다 큰 접지면 슬롯이 필요하다.

설계 세 번째 단계의 stub 설계는 논문 [3]을 기반으로 설계하였다. 기존에 설계된 급전선 끝단에 Z_2 의 stub를 그림1에서 볼 수 있듯이 $\lambda_g/2$ 길이의 더블 형태로 만들어 준다. stub의 이론 식은 다음과 같다.

$$Z_2 \approx \frac{2 Z_1^2}{\frac{X_{pnc}}{\pi} \left(\frac{f_r}{\Delta f_{max}} \right) - \frac{Z_1}{2}} \quad (1)$$

여기서

$$\Delta f_{max} = f_{max} - f_r$$

X_{pnc} 는 대역폭 내 f_{max} 의 허수값

f_r 은 공진 주파수

이 이론을 간단히 보면 기존 대역폭의 끝단 주파수 f_{max} 의 임피던스 허수 값을 stub를 통해 보상해주어 대역폭을 넓히는 역할을 해준다.

이것을 실제 안테나 설계에 적용해 보면 이론치에 의해 계산된 값과 최적으로 설계된 값과 정확하게 일치하지 않는 것을 볼 수 있다. 하지만 이 과정을 통해 실제값과 가까운 근사값을 예상하게 함으로써 정확한 값에 보다 빨리 접근할 수 있는 척도가 될 수 있었다.

이상과 같은 설계를 통해 얻어낸 안테나의 파라미터는 다음의 표 2와 같다.

표 2 5.77GHz에서 설계한 안테나의 기본 파라미터(mm)

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
W	33.12	33.12	18	17.61
L	17.3	17.3	13.4	15.15
Wu	32.6	32.6		
Lu	8	8		
Wgs	10.4	11.8	11.6	10.51424
Lgs	0.64	0.64	0.6	0.35035
d	7.75	7.75		

III. 시뮬레이션

본 논문은 안테나 구조의 설계 제작을 위해서

ensemble 5.1을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

1. 5.77GHz에서의 안테나 시뮬레이션

윗 기판은 상대 유전율이 2.2이고 두께가 62mil인 duroid 5880 기판을 사용했고 아래 기판은 상대 유전율이 3.38 이고 두께가 20mil인 RO4003 기판을 선택했다. 최적화된 시뮬레이션 결과를 U 슬롯과 stub가 있는 경우와 없는 경우로 나누어 설계하였고 그 결과는 그림 3과 4에서 보인다. 그리고 대역폭을 상대적으로 비교한 표는 다음과 같다.

표 3 5.77GHz에서 설계한 안테나의 대역폭 비교 (VSWR≤2)

Type 1	5.339-6.04 GHz (12.4%)
Type 2	5.57-5.97 GHz (7%)
Type 3	5.56-6.17 GHz (10.5%)
Type 4	5.66-5.95 GHz (5%)

위의 표를 볼 때 Type 1일 때 가장 좋은 대역폭을 얻을 수 있었다.

방사패턴은 Type 1에 대한 것을 그림 5와 6에서 보여주고 있다. 일반적인 U 슬롯 안테나와 마찬가지로 H-plane의 교차 편파 레벨이 높아지는 단점을 볼 수 있는데 이것은 U 슬롯에 의한 폭 방향의 전류 흐름의 결과이다. 그리고 Type 1과 Type 3를 비교해 볼 때 stub는 교차 편파에 거의 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다.

2. 7GHz에서의 안테나 시뮬레이션

윗 기판은 상대 유전율이 2.2이고 두께가 62mil인 duroid 5880 기판과 1.6mm두께의 form을 함께 사용하였고 아래 기판은 상대 유전율이 3.38이고 두께가 20mil인 RO4003 기판을 선택했다.

최적화된 시뮬레이션 결과를 U 슬롯과 stub가 있는 경우와 없는 경우로 나누어 대역폭을 기준으로 비교하였고 그림 7에서 볼 수 있다. 그리고 상대적인 대역폭은 다음 표 4과 같다.

표 4 7GHz에서 설계한 안테나의 대역폭 비교 (VSWR≤1.5)

Type 1	6.65-7.462 GHz (11.6%)
Type 2	7-7.54 GHz (7.5%)
Type 4	6.87-7.11 GHz (3.4%)

여기에서는 5.77GHz와는 달리 15dB를 기준으로

로 대역폭을 비교하였다. 10dB보다는 15dB에서 성능 개선의 특징을 잘 볼 수 있었기 때문이다. 위 표를 보면 U 슬롯에 stub를 달아주면서 15dB를 기준으로 약 4%정도 대역폭 개선 효과를 확인할 수 있었다. 그리고 방사 패턴은 5.77GHz에서와 비슷한 결과를 얻었다.

IV. 결과 고찰

5.77GHz에서의 결과를 보면 Type 1에서 가장 넓은 대역폭을 갖는 것을 볼 수 있었다. 7GHz의 결과를 보면 VSWR≤2를 기준으로 했을 때는 Type 2와 Type 1의 대역폭이 비슷하지만 VSWR≤1.5를 기준으로 보면 Type 1에서 Type 2보다 약 4%의 대역폭 향상을 얻을 수 있었다.

위의 두 결과를 볼 때 경우에 따라서 약간의 차이는 있지만 각각 대역폭 개선의 효과가 있는 U 슬롯과 turning stub가 동시에 사용하면서 더 좋은 대역폭을 얻을 수 있음을 확인하였다.

그 외 방사 패턴을 보면 그림 5와 6에서도 볼 수 있듯이 H-plane에서 교차 편파가 나쁜 것을 볼 수 있었다. 이것은 일반적인 U 슬롯 안테나에서 나타나는 결과와 일치하는 것이다. 그리고 방사 패턴의 확인을 통해 stub는 방사 패턴에 거의 영향이 없다는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 U 슬롯과 turning stub를 사용하여 개구 결합 급전 방식을 이용한 광대역 마이크로스트립 안테나를 만들어 그 특성을 고찰하였다. 두 주파수에 의한 결과를 보면 개구 결합 급전 방식에서 U 슬롯과 turning stub가 대역폭 확보에 긍정적인 영향을 주는 것을 볼 수 있었고 이것들을 함께 사용함으로써 더 넓은 대역폭을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

이번 논문의 결과를 통해 대역폭 확보를 위해 적층이나 기생패치 또는 두꺼운 공기층을 사용하지 않더라도 일반적인 구조에서도 슬롯과 turnig stub를 복합적으로 사용하여 충분히 넓은 대역폭을 얻을 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] C. L. Mak, K. M. Luk and K. F. Lee, "Proximity-coupled U-slot patch antenna", *ELECTRONICS LETTERS*, 16th April 1998 Vol.34 No.8
- [2] 유명환, 이범선, "개구 결합 급전 방식의 Ku 밴드 U 슬롯 마이크로스트립안테나 설계 및 제작", 1998년도 한국전자파학회 종합학술발표회 논문집, Vol. 10, No. 4, pp. 636-644, 99. 8
- [3] Seam M. Duffy, "An Enhanced Bandwidth Design Technique for Electromagnetically Coupled Microstrip Antennas", *IEEE Tran. on Antennas and Propagation*, Vol. 48, No2, February 2000

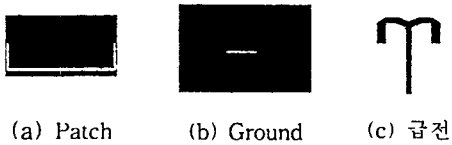


그림 1. U 슬롯과 stub를 갖는 안테나의 구조

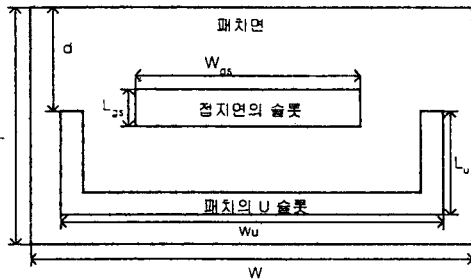


그림 2. 안테나의 패치와 슬롯면

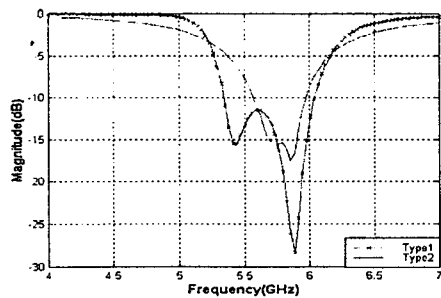


그림 3. 5.77GHz에서 U 슬롯이 있는 안테나의 반사 손실

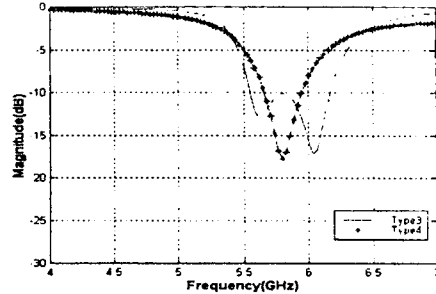


그림 4. 5.77GHz에서 U 슬롯이 없는 안테나의 반사 손실

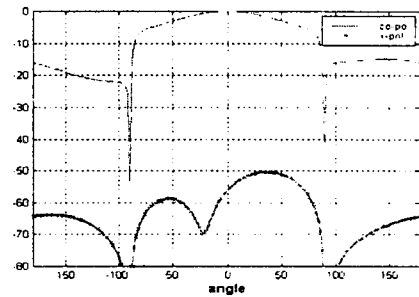


그림 5. E-plane 방사 패턴(5.77GHz Type 1)

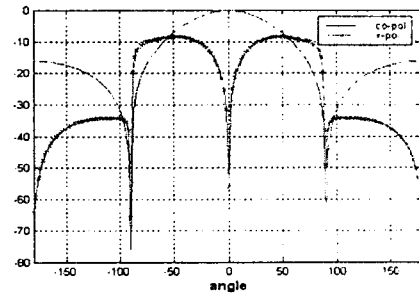


그림 6. H-plane 방사 패턴(5.77GHz Type 1)

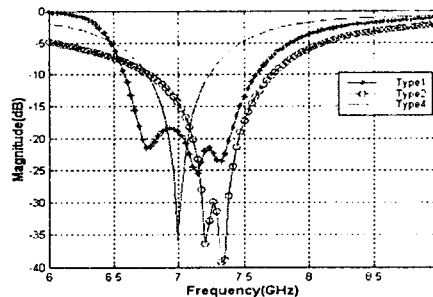


그림 7. 7GHz 대역에서의 안테나 반사 손실