

광대역 Stub를 이용한 개구 결합 급전 방식의 U 슬롯 마이크로스트립 안테나에 관한 연구

A Study on Aperture Coupled U-slot Microstrip Antenna using Wideband Stub

김 현 준 · 윤 영 중

Hyun Jun Kim · Young Joong Yoon

요 약

본 논문에서는 개구 결합 급전 방식의 U 슬롯 마이크로스트립 안테나에 광대역 stub를 적용하여 복합 광대역 특성을 갖는 안테나를 설계 및 제작하였다. ISM(Industrial-scientific-medical) 대역인 5.77 GHz를 중심으로 안테나를 설계하였고, 상대 유전율이 2.2이고 두께가 62 mil인 Duroid 5880 기판을 이용하였으며 광대역 stub의 추가적인 광대역 효과를 이용하여 VSWR 1.5를 기준으로 약 10 %의 대역폭을 얻었다. 이는 광대역 stub가 적용되지 않은 U 슬롯 안테나에 비해 약 35 %의 대역폭이 증가한 것이며, 광대역 stub를 적용하여 공기층 대신 유전체 사용으로 인한 U 슬롯 안테나의 대역폭 감소 효과를 보완하였다. 그리고 광대역 stub가 여러 가지 길이와 폭에서 광대역 특성을 갖도록 설계됨을 확인하였고, 광대역 stub 파라미터에 따른 임피던스 특성 변화를 확인하였다.

Abstract

In this paper, aperture coupled U-slot microstrip antenna with wideband stub is investigated. The dielectric constant of the substrate is 2.2 and the height of the substrate is 62 mil. The impedance bandwidth (VSWR<1.5) of U-slot antenna with wideband stub is about 10 %. The bandwidth characteristic of U-slot antenna with wideband stub is compared with that of antenna without it. And the results of parameter studies of the wideband stub provides the optimum characteristics of bandwidth and matching.

Key words : wideband stub, U-slot antenna, microstrip antenna

I. 서 론

마이크로스트립 안테나의 협대역 특성을 개선하기 위한 노력이 계속되어 왔다. 협대역 특성을 개선하기 위한 방법 중 하나로 구형 패치에 U 자형의 슬롯을 사용하는 방법이 제안되어 왔다^[1]. 광대역 특성을 갖는 U 슬롯 안테나는 일반적으로 급전을 위하여 동축선을 이용하고 접지면과 구형 패치 사이에 두꺼운 공기층을 사용하는데 이는 마이크로스트

립 안테나의 장점을 제한하는 요소가 된다. 우선 동축선로 급전은 안테나가 배열에 사용될 경우 패치와 급전선 사이에 많은 동축선을 연결해야 하는 제작상의 단점이 있으며, 동축선로를 패치와 연결하는 과정에서 많은 전력 손실이 발생하는 단점이 생긴다. 그리고 높은 두께의 공기층은 정합의 어려움을 가져오며, 공기층 삽입 과정에서 지지대를 설치해야 하는 등 제작상의 어려움이 있다.

본 논문에서는 이런 문제점을 개선하기 위해 U

연세대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical & Electronics Eng., Yonsei Univ.)

· 논문 번호 : 20010917-126

· 수정완료일자 : 2002년 2월 15일

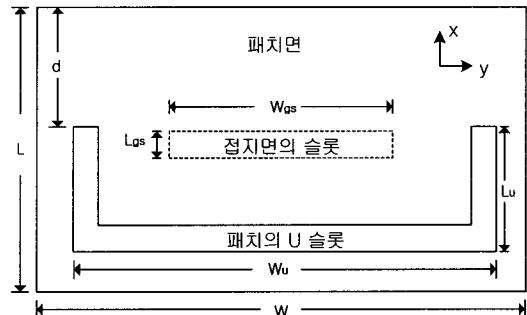
슬롯 안테나에 동축선로 급전 방식 대신 개구 급전 방식의 안테나 구조를 사용하였고 두꺼운 공기층 대신 일반적으로 쓰이는 테프론 기판을 사용하였다. 이 경우 기판의 얇은 두께와 공기대신 유전체층 사용으로 인해 기존의 U 슬롯 안테나에 비해 대역폭 증가는 상대적으로 적지만 제작을 용이하게 하는 장점이 있다. 이를 개선하기 위해 급전부 끝단에 광대역 stub를 사용하여 추가적인 대역폭 개선을 시도하였다. 이 방법은 안테나 구조의 변화 없이 급전선 끝단 stub의 간단한 구조 변화를 통해 추가적인 대역폭 증가가 가능하며, 방사 패턴이나 안테나 구조 변화에 영향이 적은 장점이 있다. 그리고 본 논문에서 제안된 안테나의 성능을 확인하기 위하여 U 슬롯과 광대역 stub가 있는 경우와 없는 경우를 나누어 각각의 대역폭 성능을 비교하고, 광대역 stub의 파라미터 특성에 대한 실험적인 연구와 방사 패턴, 입력 임피던스에 대하여 분석하였다.

II. 안테나의 설계

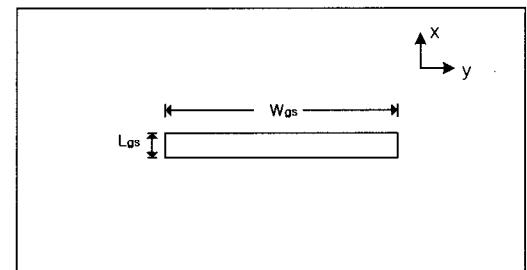
그림 1은 본 논문에서 최종적으로 설계한 개구 결합 급전 방식의 U 슬롯 안테나에 광대역 stub를 적용한 안테나의 구조이다. 본 논문에서는 그림 1(c)와 같이 급전선 끝에서 양쪽으로 나뉘는 형태의 stub을 이용하여 광대역 효과를 제시한다. 이를 위해 일반적으로 개구 결합 안테나에서 급전 선로 끝단에 들어가는 stub와의 구별이 필요하므로 그림 1(c)와 같이 제안된 stub를 광대역 stub라고 하여 일반 stub와 구별하였다. 그리고 U 슬롯과 광대역 stub의 기능을 확인하기 위해 안테나를 표 1과 같이 구분하였다.

마이크로스트립 안테나의 패치에 적용되는 U 슬롯 안테나의 광대역 효과를 보기 위해 전류 분포를 보면 우선 기본 공진을 갖는 전류 분포와 함께 인접한 주파수에서 U-slot의 길이 방향 슬롯을 감는 전류 흐름이 생기는데^[2], 이 두개의 인접주파수에서의 공진에 의해 광대역 효과가 생긴다. 그리고 그림 1(a) 패치의 그림을 보면 일반적인 U슬롯 안테나보다 폭 방향 슬롯의 길이가 긴 것을 볼 수 있다. 이것은 낮은 두께의 유전층이 사용되기 때문인데 만일 좁은 폭(W_u)의 U 슬롯을 만들 경우 두 개의 공진이

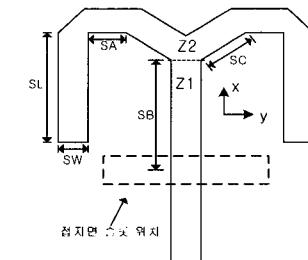
밀리 떨어진 주파수에서 발생한다. 만일 높은 두께의 공기층이 적용된다면 공기층 자체의 광대역 효과



(a) 안테나의 패치와 슬롯면
(a) Patch and ground slot of antenna



(b) 안테나의 접지면
(b) Ground plane of antenna



(c) 광대역 stub
(c) Wideband stub

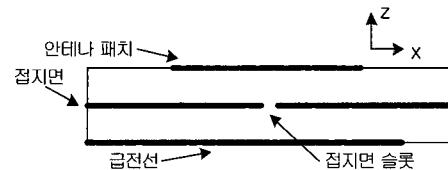


그림 1. 광대역 stub 급전의 U 슬롯 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of a U-slot antenna having wideband stub.

표 1. 구조에 따른 안테나 정의

Table 1. Antennas definition.

| | |
|------------------|----------------|
| $Ant_{(stub+U)}$ | U슬롯(유) stub(유) |
| Ant_U | U슬롯(유) stub(무) |
| $Ant_{(stub)}$ | U슬롯(무) stub(유) |
| Ant | U슬롯(무) stub(무) |

과로 인해 두 개의 공진을 연결할 수 있지만, 낮은 유전체를 사용할 경우 두 개의 공진 주파수를 합치기 위한 U슬롯의 변형이 필요하다. U 슬롯 폭(Wu)을 변형시켜가면서 공진 주파수의 특성을 확인하면 U 슬롯 폭의 크기가 증가할수록 두 개의 공진 주파수가 가까워지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 높이가 낮은 유전체를 사용하면서 두 개의 공진을 합쳐 광대역 특성을 얻기 위해 U 슬롯의 폭(Wu)이 거의 패치의 폭(W)과 같도록 만들었다. 그리고 길이 방향의 슬롯(Lu)이 패치의 중심으로 이동할수록 공진이 일어나는 주파수가 높아지는 특성을 확인하였고,. 이러한 특성을 이용하면 패치의 길이와 길이 방향의 슬롯(Lu)을 조절하여 동작 주파수를 조절할 수 있다.

일반적으로 U 슬롯 안테나에서는 동축 선로를 이용하는 급전 방식을 많이 이용하는데 동축 선로 급전 방식은 패치와의 접합 과정에서 손실이 많이 발생하고 배열 안테나 제작을 생각할 때 각각의 안테나에 동축 선로를 연결해야 하는 단점이 있다. 이에 반해 개구 결합 급전 방식은 다음과 같은 장점을 갖는다. 우선 급전면이 접지면에 의해 분리되어 있기 때문에 급전선에 의한 불요 방사를 차단할 수 있다. 그리고 접지면의 슬롯과 급전선의 stub를 이용하면 보다 용이한 정합을 만들어 낼 수 있다. 또 윗 층 기판에는 낮은 유전율의 유전체를 사용하여 높은 효율과 넓은 대역폭을 얻을 수 있고 아래 기판은 높은 유전율의 유전체를 사용하여 커플링을 증가시키고 급전 회로의 크기를 줄일 수 있는 장점이 있다^[3]. 그리고 본 논문에서 적용할 광대역 stub의 변형이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 동축선로 급전 방식 대신 개구 결합 급전 방식을 사용하였다. 그리고 일반적인 개구 결합 급전 방식의 설계를 위한 파라미

터를 보면 급전선 끝단의 $\lambda_g/4$ stub는 임피던스의 허수부분을 변화시키며, 접지면의 슬롯 폭은 임피던스의 실수부분을 변화시키는데 중요한 영향이 있다.

위에서 설계한 개구 결합 안테나에서 급전선 끝단의 open stub를 광대역 stub로 바꾸어 안테나를 설계하면 추가적인 광대역 효과를 얻을 수 있다. 광대역 stub의 모습은 그림 1(c)와 같다. 병렬 형태가 아닌 단일 형태의 $\lambda_g/4$ open stub를 이용해서도 설계가 가능하지만^[4], 이 형태는 광대역 stub에 비해 임피던스 정합을 위한 변수가 적은 단점이 있다. 광대역 stub는 광대역 stub가 없이 설계된 안테나의 대역 폭 끝단 주파수 $f_r + \Delta f_{max}$ 의 임피던스 허수부분을 보상하고 실수부분을 안정화하여 대역폭을 넓히는 역할을 한다. 기본적인 설계 방법을 설명하면 우선 일반적인 개구 결합 급전 방식의 안테나와 같이 $\lambda_g/4$ 길이의 급전선 stub를 갖는 안테나를 설계한다. 그 다음 그림 1(c)와 같은 모양의 광대역 stub를 만들어 최적의 임피던스 대역폭 갖는 안테나를 설계한다. 광대역 stub는 여러 가지 길이와 폭으로 설계하여 광대역 효과를 얻을 수 있으며, 아래에서 설명할 광대역 stub의 파라미터 특성을 이용하여 최적의 설계가 가능하다.

광대역 stub가 안테나의 대역폭 끝단 주파수 $f_r + \Delta f_{max}$ 의 임피던스 허수부분을 보상하는 것에 대한 기본 이론은 다음과 같이 설명할 수 있다. Q 는 양호도(quality factor)이고 Δf_{max} 는 대역폭 내 중심 주파수와 대역폭 끝단까지의 주파수간격을 나타낸다. 우선 광대역 stub 없이 설계된 기본 형태의 안테나를 parallel RLC 공진 형태로 등가화하여 임피던스로 표현하면 다음과 같이 표현된다^[4]. 여기서 Z_{pric} 은 광대역 stub을 포함하지 않은 안테나의 임피던스를 나타내며, Z_0 는 특성 임피던스이다. 그리고 R_{norm} 은 R_{max}/Z_0 이며, R_{max} 는 안테나의 병렬 RLC 등가회로의 최대 공진 저항이다.

$$Z_{pric}(f_r + \Delta f) = R_{pric} - jX_{pric} \cong \frac{R_{norm} - 2jR_{norm}Q\left(\frac{\Delta f}{f_r}\right)}{1 + 4Q^2\left(\frac{\Delta f}{f_r}\right)^2} \quad (1)$$

한편 광대역 stub의 임피던스, Z_{stub} 를 $f_r +$

Δf_{\max} 에서 표현하면 다음과 같다.

$$Z_{\text{stub}}(f_r + \Delta f_{\max}) = jX_{\text{pric}} \quad (2)$$

여기서 식 (1)과 (2)를 합하면 전체 임피던스 Z_{total} 은 다음과 같이 된다.

$$Z_{\text{total}}(f_r + \Delta f_{\max}) = Z_{\text{pric}} + Z_{\text{stub}} = R_{\text{pric}} \quad (3)$$

위의 방식을 통하면 $f_r + \Delta f_{\max}$ 에서 허수부를 보상하여 대역폭을 개선하게 된다. 위의 이론을 통해 광대역 stub의 설계를 위한 식은 다음처럼 표현 할 수 있다^[5]. 여기서 Z_1 과 Z_2 는 그림 1-(c)에서 정의된다.

$$Z_2 \approx \frac{2 Z_1^2}{\frac{X_{\text{pric}}}{\pi} \left(\frac{f_r}{\Delta f_{\max}} \right) - \frac{Z_1}{2}} \quad (4)$$

여기서

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

X_{pric} 는 대역폭 내 f_{\max} 에서의 허수값, f_r 은 공진 주파수

위 식은 그림 1(c)에서 접지면의 슬롯 중앙에서 광대역 stub의 끝단까지의 길이를 $\lambda_g/2$ 로 만들었을 때 결정된 식이다. 만일 길이가 변한다면 다른 식으로 표현될 수 있다. 그리고 일반적으로 Z_1 은 50 Ω

으로 결정이 되므로 식 (4)를 이용하면 Z_2 의 값을 결정할 수 있다.

그리고 광대역 stub의 광대역 특성을 확인하기 위해 U 슬롯 없이 광대역 stub만의 특성을 비교할 수 있는 표 1의 Ant 와 $Ant_{(\text{stub})}$ 를 비교하였다. 광대역 특성을 확인하기 위해 Ant 와 $Ant_{(\text{stub})}$ 의 입력 임피던스를 실수부분과 허수부분으로 나누어 그림 2와 그림 3과 같이 나타내었다. 그림을 보면 위의 이론에서 설명한 것과 같이 $Ant_{(\text{stub})}$ 의 입력 임피던스 허수부가 넓은 대역에서 0을 기준으로 안정화되는 것을 확인할 수 있다. 그리고 그림 3을 보면 $Ant_{(\text{stub})}$ 의 입력 임피던스 실수부도 그림 2 Ant 의 입력 임피던스 실수부에 비해 넓은 대역에서 50 Ω 주변 값을 갖는 것을 볼 수 있는데, 이것이 대역폭 증가에 중요한 역할을 한다. 만일 광대역 stub를 단순히 끝이 종단된 선로로 본다면 허수만의 임피던스를 갖게 되므로 광대역 stub가 입력 임피던스의 실수부 변화를 가져오는 것을 설명할 수 없다. 그러나 광대역 stub 위에 안테나가 놓여 있으므로 광대역 stub를 단순히 선로로 볼 수 없고, 안테나의 상호 작용을 통해 임피던스 실수부를 안정화시킨다.

그 다음 광대역 stub의 설계를 위해 stub의 특성을 확인한다. 그림 1(c)의 광대역 stub의 모양을 보면 겹인 모양의 세 부분으로 나뉘어 있다. 광대역 stub의 특성은 겹인 각도나 각 부분의 길이보다는 광대역 stub 전체의 길이와 폭에 의해 주로 특성이

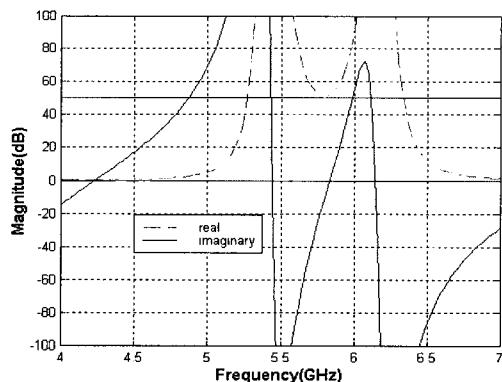


그림 2. Ant 의 입력 임피던스

Fig. 2. Input impedance of Ant .

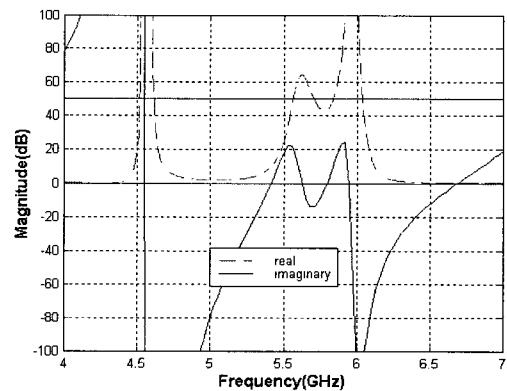


그림 3. $Ant_{(\text{stub})}$ 의 입력 임피던스

Fig. 3. Input impedance of $Ant_{(\text{stub})}$.

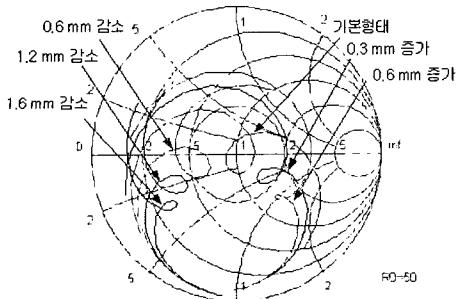


그림 4. $Ant_{(stub)}$ 의 광대역 stub SL(길이)에 따른
임피던스 변화

Fig. 4. Impedance effects of wideband stub SL
(length) on $Ant_{(stub)}$.

결정된다. 따라서 그림 1(c)에서 정의된 길이 SL과 폭 SW의 변화를 통해 광대역 stub의 특성을 확인하였으며, 이를 위해 $Ant_{(stub)}$ 를 이용한다. 그리고 폭 SW의 변화에 맞추어 전체 선로 전체의 두께를 변화시켰다. 그림 4와 그림 5는 다음 절에서 표현 될 표 2의 $Ant_{(stub)}$ 의 안테나 최적 설계치를 기준으로 광대역 stub의 파라미터의 특성을 확인한 그림이다.

그림 4는 $Ant_{(stub)}$ 는 그림 1(c)의 길이 SL를 변화 시켰을 때의 임피던스 특성을 나타낸다. 공진을 포

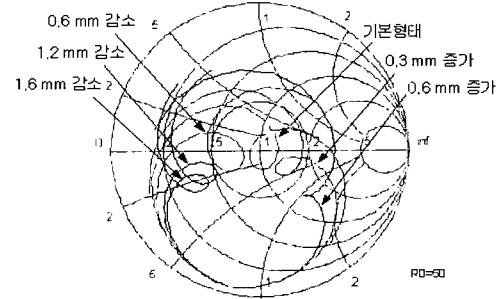
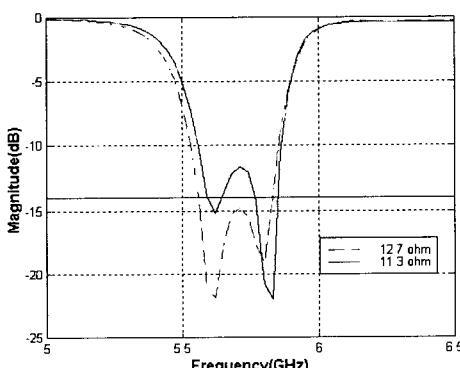


그림 5. $Ant_{(stub)}$ 의 광대역 stub SW(폭)에 따른
임피던스 변화

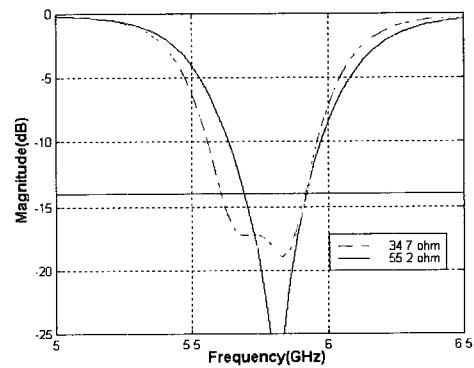
Fig. 5. Impedance effects of wideband stub
SW(width) on $Ant_{(stub)}$.

함한 매칭원이 길이 SL의 변화에 따라 Smith chart 상에서 원을 그리면서 변하는 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 5는 그림 1(c)의 폭 SW를 변화시켰을 때의 임피던스 특성으로 그림 4에서의 SL의 변화에 따라서 유사한 같은 특성을 보였다. 즉 광대역 stub의 SL과 SW는 길이 변화에 대한 같은 특성을 보였다.

위 내용을 통해 광대역 stub의 SL과 SW가 비슷한 작용을 하므로 길이 SL를 감소시키고 폭 SW를



(a) 임피던스 감소에 따른 대역폭 감소 시작점



(b) 임피던스 증가에 따른 대역폭 감소 시작점

그림 6. 광대역 stub의 다른 임피던스에서의 matching과 대역폭과의 관계 ($Ant_{(stub)}$)

(a) 임피던스 감소에 따른 대역폭 감소 시작점, (b) 임피던스 증가에 따른 대역폭 감소 시작점

Fig. 6. Relation between matching and BW on other line impedance of wideband stub ($Ant_{(stub)}$).

(a) Starting point of BW reduction according to impedance reduction.

(b) Starting point of BW reduction according to impedance increment.

증가시키거나 반대로 할 경우 SL과 SW를 변화시키기 전과 같은 임피던스 특성을 얻을 수 있다. 이러한 성질을 이용하면 길이와 폭의 조절을 통해 여러 가지의 정합이 가능하며, 최적의 임피던스 대역폭을 얻기 위한 조건을 알기 위해 여러 가지 정합에 대한 임피던스 대역폭 특성을 비교하는 것이 필요하다. 그래서 $Ant_{(stub)}$ 를 이용해 여러 가지 정합에 대한 대역폭 특성을 비교해 보았다. 광대역 stub의 임피던스가 적당히 맞추어진 경우에는 넓은 범위의 광대역 stub 폭에 대해 일정한 광대역 특성을 확인할 수 있다. 그러나 임피던스가 너무 커지거나 작아질 경우 즉 선로가 아주 가늘어지거나 아주 두꺼워지는 경우에는 광대역 효과를 잃게 되는데 그것은 그림 6을 통해 확인할 수 있다. 그림에서의 단위는 광대역 stub를 끝이 open 되어있는 전송 선로로 가정하고 라인의 폭을 임피던스 단위로 표현한 것이다. 그림 6을 보면 광대역 stub의 두께가 12.7 Ω 보다 두꺼워지거나 33.5 Ω 보다 가늘게 할 경우 광대역 특성을 잃는 것을 볼 수 있다. 그리고 stub의 두께가 12.7 Ω 에서 33.5 Ω 사이에서는 거의 같은 대역폭 특성을 보인다. 12.7~33.5 Ω 의 임피던스는 그림 1(c)의 SW가 2.73 mm ~ 8.48 mm일 때이다. 이것을 통해 광대역 stub의 두께와 폭에 따른 대역폭 특성은 넓은 범위에서 안정된다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 이러한 특성은 $Ant_{(stub+U)}$ 의 경우에서도 같은 결과를 확인하였다.

III. 시뮬레이션 및 실험 결과

본 논문에서는 안테나의 설계를 위해서 Ensemble 5.1을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 상층 기판은 상

표 2. 577 GHz에서 설계한 안테나의 기본 파라미터(mm)

Table 2. Design parameters antennas(mm).

| | W | L | Wu | Lu | d | Wgs | Lgs | SL | SW | SA | SB | SC |
|------------------|------|------|------|----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|
| $Ant_{(stub+U)}$ | 33.1 | 17.3 | 32.6 | 8 | 7.75 | 10.4 | 0.64 | 7.3 | 2.1 | 2.38 | 6.54 | 2.92 |
| $Ant_{(U)}$ | 33.1 | 17.3 | 32.6 | 8 | 7.75 | 11.8 | 0.64 | | | | | |
| $Ant_{(stub)}$ | 18 | 13.4 | | | | 11.6 | 0.6 | 3.3 | 5 | 2.65 | 8.4 | 3.19 |
| Ant | 17.6 | 15.1 | | | | 10.5 | 0.35 | | | | | |

대 유전율이 2.2이고 두께가 62 mil인 Duroid 5880 기판을 사용했고 아래 기판은 상대 유전율이 3.38이고 두께가 20 mil인 RO 4003 기판을 선택했다. U 슬롯과 광대역 stub의 특성을 확인하기 위해 표 1과 같이 안테나를 구분하였다. 그리고 앞 절의 광대역 stub의 파라미터 분석 결과를 이용하고 시뮬레이션을 통해 최적화된 설계치는 표 2에서 나타내었으며, 그림 7은 각각의 안테나에 대한 시뮬레이션 반사 손실 결과이다. 표 3은 시뮬레이션 대역폭을 상대적으로 비교한 값이다. 표 3을 보면 $Ant_{(stub)}$ 는 일반 마이크로스트립 패치 안테나인 Ant 를 기준으로 약 250 %의 대역폭 증가를 확인할 수 있다. 그리고 $Ant_{(stub+U)}$ 의 경우 $Ant_{(U)}$ 에 비하여 약 60 %의 대역폭이 증가하였다. 이를 통해 광대역 stub의 대역폭 개선 효과와 U 슬롯과 광대역 stub를 동시에 사용하는 복합 광대역 효과를 확인할 수 있었다. 한편 시뮬레이션 과정에서 안테나는 VSWR<1.5를 기준으로 설계하였는데 광대역 stub를 설계하는 과정

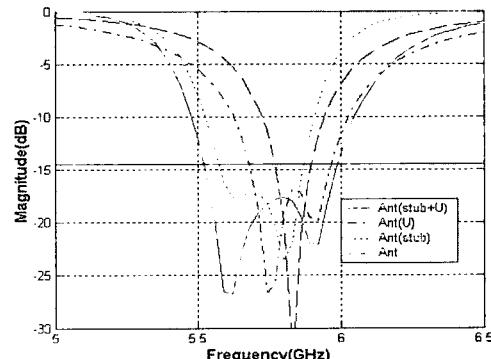


그림 7. 안테나의 반사 손실 비교

Fig. 7. Comparison of return loss.

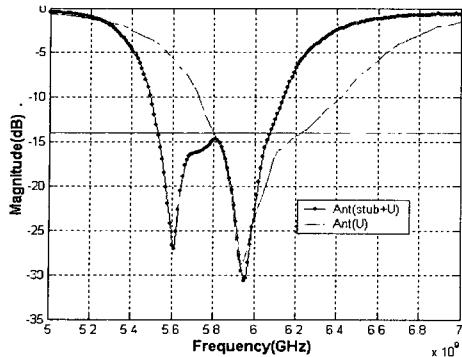
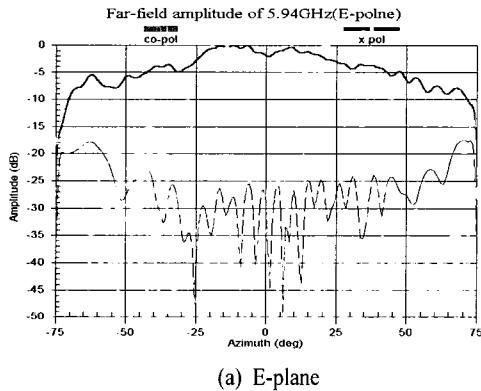


그림 8. $Ant_{(stub+U)}$ and $Ant_{(U)}$ 의 반사손실 측정 결과

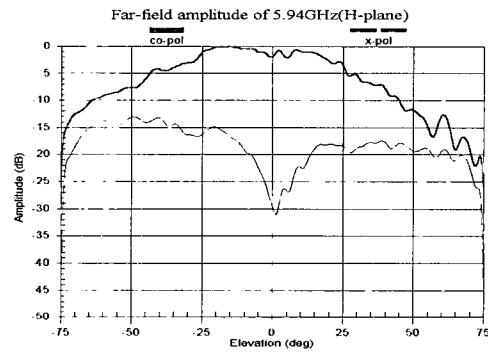
Fig. 8. Measured return loss for $Ant_{(stub+U)}$ and $Ant_{(U)}$.

에서 이 기준을 만족하기 위해서는 접지면 slot의 크기를 약간 조정할 필요가 있다.

광대역 stub의 특성을 비교하고 U 안테나와의 복합 광대역 효과를 확인하기 위해 U 슬롯과 광대역 stub를 갖고 있는 $Ant_{(stub+U)}$ 와 U 슬롯만을 갖고 있는 $Ant_{(U)}$ 의 안테나를 표 2의 파라미터를 이용하여 제작하였다. 반사 손실은 HP 8722D Vector Network Analyzer를 이용하여 측정하였고, 그 결과는 그림 8에서 보여 주고 있다. VSWR<1.5를 기준으로 하여 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교해보면 $Ant_{(stub+U)}$ 의 경우 시뮬레이션 결과는 460 MHz (8 %)이며 측정 결과는 560 MHz (9.7 %)이다. 그리고 $Ant_{(U)}$ 의 경우 시뮬레이션 결과는 290MHz (5 %)이



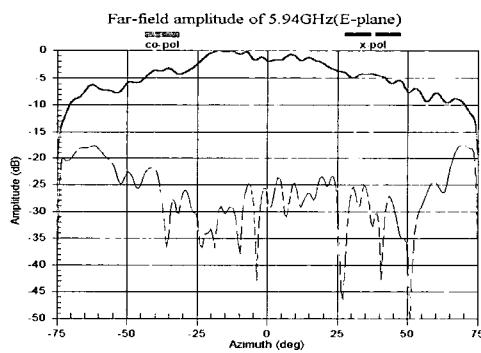
(a) E-plane



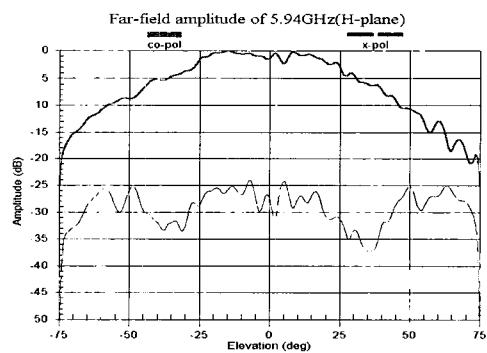
(b) H-plane

그림 9. $Ant_{(stub+U)}$ 의 측정된 방사패턴(5.94 GHz). (a) E-plane, (b) H-plane

Fig. 9. Measured radiation patterns of $Ant_{(stub+U)}$ (5.94 GHz). (a) E-plane, (b) H-plane.



(a) E-plane



(b) H-plane

그림 10. $Ant_{(U)}$ 의 측정된 방사패턴(5.94 GHz). (a) E-plane, (b) H-plane

Fig. 10. Measured radiation patterns of $Ant_{(U)}$ (5.94 GHz). (a) E-plane, (b) H-plane.

표 3. 5.77 GHz에서 설계한 안테나의 대역폭 비교(VSWR < 1.5)

Table 3. Comparision between measured antennas.

| | 시뮬레이션 결과 | 실험 및 측정 결과 |
|------------------|---------------------|-----------------------|
| $Ant_{(stub+U)}$ | 5.52~5.98 GHz (8 %) | 5.52~6.08 GHz (9.7 %) |
| $Ant_{(U)}$ | 5.68~5.97 GHz (5 %) | 5.80~6.22 GHz (7.2 %) |
| $Ant_{(stub)}$ | 5.58~5.87 GHz (5 %) | |
| Ant | 5.77~5.89 GHz (2 %) | |

며 측정 결과는 420MHz(7.2 %)이다. 이 측정 결과를 보면 $Ant_{(stub+U)}$ 의 경우가 $Ant_{(U)}$ 에 비하여 약 35 % 정도 넓은 대역폭 특성을 볼 수 있고 이를 통해 광대역 stub의 광대역 효과를 확인할 수 있었다.

이 안테나의 방사 패턴은 NSI사의 근역장 측정장비를 이용하였고 장비 특성상 약 전방 150°의 각도에서의 측정 결과를 보인다. 실험된 안테나인 $Ant_{(stub+U)}$ 와 $Ant_{(U)}$ 에 대해 대역폭내의 여러 주파수에서 측정하였고, 중심 주파수인 5.94 GHz에서의 방사 패턴을 그림 9와 그림 10에서 나타내고 있다. 그림을 보면 H-plane의 빔폭이 E-plane에 비해 더 좁은 것을 볼 수 있는데 이 이유는 U 슬롯 안테나의 경우 폭 방향의 길이가 길게 설계되었기 때문이다. 대역폭 내에서 규일한 방사특성을 보임을 확인하였고. $Ant_{(stub+U)}$ 의 교차편파는 대역폭 내에서 약 -15 dB~-20 dB의 특성을 보였으며, $Ant_{(U)}$ 의 경우 교차편파는 대역폭 내에서 약 -20 dB~-25 dB의 특성을 보였다. 그리고 안테나의 이득은 대역폭 내에서 약 7 dBi를 전후로 약 2 dB정도 편차를 보였다. 그리고 전후방비의 경우 $Ant_{(U)}$ 는 5.94 GHz에서 13 dB의 차이를 보였으며, $Ant_{(stub+U)}$ 는 5.59 GHz에서 13 dB, 5.94 GHz에서 20 dB의 차이를 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 광대역 stub를 적용한 개구 결합 급전 방식의 U 슬롯 안테나를 설계 제작하여 광대역 특성을 고찰하였다. 그리고 광대역 stub의 길이와 폭에 따른 대역폭 특성 및 파라미터 특성에 대하여 고찰하였으며, U 슬롯과 광대역 stub의 유무에

따라 안테나를 구분하여 특성을 비교하였다.

제안된 안테나 구조는 일반적으로 U 슬롯 안테나에서 사용하는 두꺼운 공기층과 동축 선로를 사용하지 않아서 제작이 용이한 장점이 있으며, 낮은 유전체로 인해 생기는 좁은 대역폭을 넓히기 위해 광대역 stub와 U 슬롯을 복합적으로 사용하여 충분한 대역폭을 얻게 하였다. 이렇게 U 슬롯과 광대역 stub를 동시에 사용하여 VSWR<1.5를 기준으로 약 9.7 %의 대역폭을 얻었고, 이것은 U 슬롯만을 사용한 안테나에 비해 35 %의 증가된 대역폭을 얻은 것이다. 이에 더하여 광대역 stub에 대한 대역폭 특성 및 파라미터 특성을 제시하여 광대역 효과를 위한 설계 방향을 제시하였다.

광대역 설계를 위해 광대역 stub가 널리 사용될 수 있을 것으로 생각되며, 앞으로 광대역 stub의 광대역 효과에 대한 이해를 위해 물리적인 해석에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] C. L. Mak, K. M. Luk and K. F. Lee, "Proximity-coupled U-slot patch antenna", *ELECTRONICS LETTERS*, 16th, vol. 34, no. 8, April 1998.
- [2] R. Bhalla, and L. Shafai, "Resonance Behavior of Single U-slot and Dual U-slot Antenna", *IEEE AP-S Symp., Boston, Massachusetts.*, vol. 2, pp. 700-703, July 8-13 2001.
- [3] J. R. James & P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*. IEE. 1989.
- [4] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd ed.

New York: Wiley, 1998.

- [5] Sean M. Duffy, "An Enhanced Bandwidth Design Technique for Electromagnetically Cou-

pled Microstrip Antennas", *IEEE Tran. on Antennas and Propagation*, vol. 48, no. 2, Feb. 2000

김 현 준



2000년 2월: 연세대학교 기계전자
공학부 (공학사)
2002년 2월: 연세대학교 전기전자
공학과 (공학석사)
2002년 3월 ~ 현재: 삼성전기 근무
[주 관심분야] 마이크로파, 안테나

윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전자공학
과 (공학사)
1986년 9월: 연세대학교 전자공학
과 대학원 (공학석사)
1991년 12월: Georgia Institute of
Technology (공학박사)
1992년 3월 ~ 1993년 2월: 한국전
자통신연구원 위성통신기술연구단 선임연구원
1993년 3월 ~ 현재: 연세대학교 전기전자공학과 부교수
[주 관심분야] 안테나, 전파전파, RF소자설계