

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.5.33>
JIIBC 2021-5-5

L자형 Inset 급전구조를 갖는 U슬롯 마이크로스트립 패치 안테나의 광대역화에 관한 연구

A Study on Bandwidth Broadening of U-slot Microstrip Patch Antenna Design with L-Shaped Inset-Fed Structure

김재연*, 장대순**, 허정*

Jae-Yeon Kim*, Tae-Soon Chang**, Jung Hur*

요약 본 연구에서는 L자형 Inset 급전구조를 갖는 U슬롯 마이크로스트립 패치 안테나의 파라미터와 이중공진 간의 상관관계를 분석하고 이를 이용하여 광대역 안테나를 설계하고자 하였다. 첫 번째 단계에서는 안테나의 성능에 영향을 주는 안테나 파라미터의 변화를 통해서 이중공진이 발생하는 케이스를 분류하였다. 두 번째 단계에서는 각 안테나 파라미터가 공진점의 위치, 세기와 3dB 대역폭에 미치는 상관관계를 분석하였다. 다음으로는 좁은 대역폭을 갖는 U슬롯 안테나 케이스에서 앞서 제시한 두 번째 단계에서의 상관관계를 이용하여 넓은 대역폭을 갖도록 설계하는 과정을 안테나 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 마지막으로 설계된 안테나를 제작하였으며, 그 상관관계 분석을 통한 안테나 광대역화의 유효성을 입증하였다.

Abstract In this study, we tried to find the correlation of the parameters and dual resonance of U-slot microstrip patch antenna with L-shaped Inset-feed structure and design broadband antenna using them. In the first step, we classified cases where dual resonance occurs through changes in antenna parameters that affect antenna performance. In the second step, we correlated each antenna parameter to the location and intensity of the resonance point, and 3 dB bandwidth. Next, antenna simulation confirmed the process of designing to have wide bandwidth using the correlation in the second step previously presented in the U-slot antenna case with narrow bandwidth. Finally, we fabricated a designed antenna and demonstrated the validity of antenna bandwidth broadening through the correlation analysis.

Key Words : Microstrip patch antenna, Broadband antenna, L-Shaped Inset-Fed, U-slot

*준회원, 건국대학교 전기전자공학부

**정회원, 서일대학교 정보통신공학과(교신저자)

정회원, 건국대학교 전기전자공학부

접수일자 2021년 8월 11일, 수정완료 2021년 9월 11일
게재확정일자 2021년 10월 8일

Received: 11 August, 2021 / Revised: 11 September, 2021 /

Accepted: 8 October, 2021

**Corresponding Author: Tae-Soon, Chang(jds6205@hanmail.net)

Dept. of Information and Communication Engineering, Seoil University, Korea

I. 서 론

본 연구에서는 L자형 Inset 급전구조를 갖는 U슬롯 마이크로스트립 패치 안테나의 파라미터가 안테나의 성능에 주는 영향에 대해 분석하고 이를 토대로 광대역 안테나를 설계하고자 했다. Kim 등의 연구^[1]에서 Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 안테나 패치폭의 새로운 보정식을 이용하여 계산된 안테나의 파라미터를 제외하면, 나머지 안테나의 파라미터들이 안테나의 성능에 미치는 영향에 대해서는 명확하게 알려져 있지 않다.^{[2]-[7]} 이에 안테나 시뮬레이션을 통하여 각각의 안테나 파라미터와 안테나의 성능이 어떤 상관관계를 가지는지에 대하여 분석하고 그 경향성을 도출하였다. 도출된 안테나 파라미터와 안테나 성능 간의 상관관계를 이용하여, 대역폭이 넓은 안테나를 설계하는 것을 목표로 했다. 위의 과정들을 통하여, 광대역 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하는 과정에 있어 이론값과 실제 값이 더 정확하게 일치하는 결과를 기대할 수 있다.

II. L자형 급전구조와 U슬롯 안테나

광대역화를 위한 L자형 급전구조를 갖는 U슬롯 패치 안테나의 설계는 Kim 등의 연구^[1]에서 사용했던 Inset 급전구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 구조에서 출발한다. 패치에 U슬롯을 가지는 형태로 변형시킴으로서 공진 전류가 흘러가는 길을 여러 개로 만들었고, 그 공진점을 근접시킴으로서 원하는 성능을 가질 수 있도록 하였다. 그림 1은 설계에 필요한 마이크로스트립 패치 안테나의 파라미터들을 나타낸다. L_f 와 W_f 는 각각 급전선의 길이와 폭이며, L_p 와 W_p 는 각각 패치의 길이와 폭을 의미한다. 또한 L_g 와 W_g 는 그라운드 길이와 폭을 의미하며 유전체와 같은 크기를 가진다. F_x 는 급전부 Inset Feed의 깊이, F_y 는 너비를 의미한다. 또한 G_x 와 G_y 는 Inset Feed에서 임피던스 매칭과 공진점의 추가를 위하여 새로 추가된 파라미터로서, G_x 와 G_y 를 추가함으로써 기존의 Inset 급전구조가 L자형 Inset 급전구조로 변화하게 된다. U슬롯의 파라미터 중, L_x 와 L_y 는 U슬롯의 길이를 결정하는 파라미터이며 W_x 와 W_y 는 U슬롯의 폭을 결정하는 파라미터이다. 기판은 유전율이 4.4인 FR4 에폭시 기판을 이용하였으며 그 두께 h 는 1.6 mm이다.

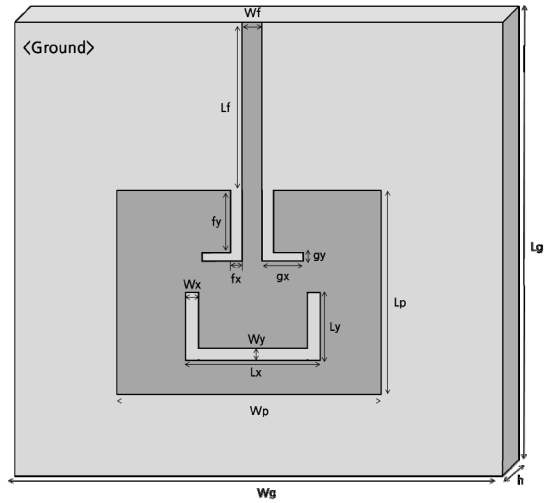


그림 1. U슬롯을 가지는 마이크로스트립 패치 안테나 파라미터
Fig. 1. Microstrip patch antenna parameters with U-slot

설계공식에 의해 계산된 Kim 등의 연구^[1]에서 제시한 파라미터를 이용하였으며, 이 중 패치의 폭은 계산된 29.44 mm의 값에 가중치 0.995를 곱한 29.3 mm를 이용하였다. 그 뒤, 이중공진이 발생하는 케이스를 파악하기 위한 파라미터를 G_x , G_y , L_x , L_y , W_x , W_y 로 세웠다. 이중공진이 발생하는 케이스들 살펴보면, 6개의 파라미터 중 L_x 와 L_y 는 큰 영향을 미치지 못하였다. 반면에 나머지 4개의 파라미터(G_x , G_y , W_x , W_y)는 이중공진의 발생에 영향을 미치고 있으며 이중공진이 발생하는 파라미터의 범위는 표 1 과 같다.

표 1. 이중공진이 발생하는 파라미터의 범위
Table 1. Range of parameters with dual resonance

G_x	G_y	L_x	L_y	W_x	W_y
4~5 mm	0.5~1.5 mm	영향 없음	영향 없음	1 mm 미만	0.3 mm 이상

표 1의 파라미터를 토대로 첫 번째 시뮬레이션을 통하여 추출된 주파수 이중 공진의 형태를 갖는 안테나의 S_{11} 그래프 예시는 그림 2와 같다. 이 때, 낮은 주파수에 공진하는 공진점을 Bot1, 높은 주파수에 공진하는 공진점을 Bot2라고 명명하였다. Bot1에서의 S_{11} 의 크기를 Mar_Bot1, Bot2에서의 S_{11} 의 크기를 Mag_Bot2라고 명명하였으며, Bot1과 Bot2 간의 거리를 Gap_Bot이라고 명명하였다. 또한, Bot1이 가지는 3dB 대역폭을 3dB BW1, Bot2가 가지는 3dB 대역폭을 3dB BW2라고 명명하였다.

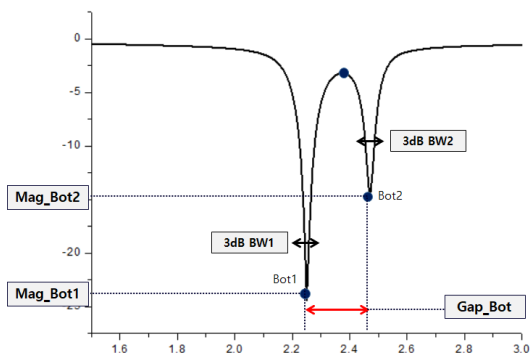
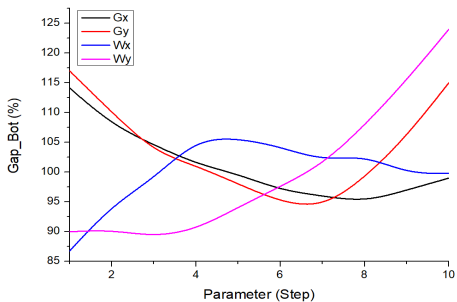


그림 2. 이중공진 파라미터 및 예시
 Fig. 2. dual resonance parameters and examples

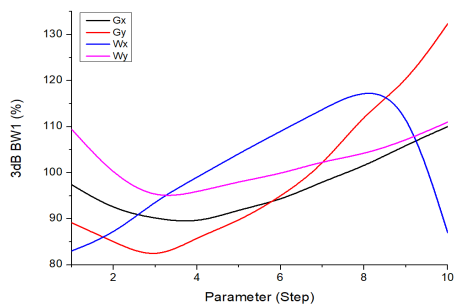
III. 안테나 파라미터와 이중공진 간의 상관관계 분석

표 1의 범위 내에서의 두 번째 시뮬레이션을 통하여 4개의 안테나 파라미터(G_x , G_y , W_x , W_y)가 5개의 이중공진 파라미터(Gap_Bot, 3dB BW1, 3dB BW2, Mag_Bot1, Mag_Bot2)에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 표 1의 범위 내에서 진행된 두 번째 시뮬레이션의 결과로 도출된 안테나 파라미터 간의 관계는 다음과 같다.

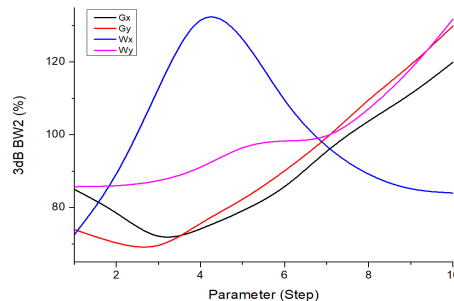
그림 3(a)는 안테나 파라미터와 두 공진점간의 간격간의 관계를 나타내는데 X축은 파라미터의 가장 작은 값에서부터 가장 큰 값까지의 구간을 나타내고, Y축은 평균값을 100%로 했을 때 그 변화를 나타낸다. 공진점 간의 간격은 급전부의 파라미터인 G_x , G_y 에 대체로 반비례하는 모습을 보였다. 또한 U슬롯의 파라미터 중 W_x 에서는 1/2지점까지 비례하다가 그 이후로는 반비례하였으며 W_y 에는 비례하는 모습을 보였다.



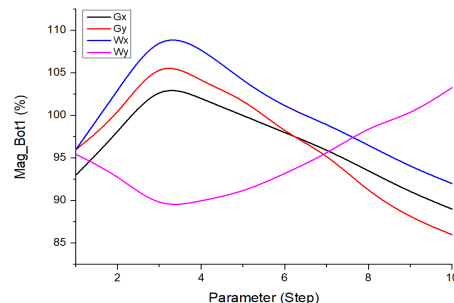
(a) 안테나 파라미터와 공진점의 간격(Gap_Bot)



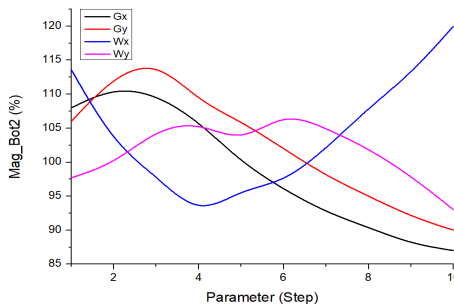
(b) 안테나 파라미터와 첫 번째 공진점의 3dB 대역폭



(c) 안테나 파라미터와 두 번째 공진점의 3dB 대역폭



(d) 안테나 파라미터와 첫 번째 공진점의 세기



(e) 안테나 파라미터와 두 번째 공진점의 세기

그림 3. 안테나 파라미터와 이중공진 간의 관계
 Fig. 3. Relationship between antenna parameters and dual resonance

그림 3(b)는 안테나 파라미터와 첫 번째 공진점의 3 dB 대역폭간의 관계를 나타낸다. 첫 번째 공진점의 3 dB 대역폭의 변화는 급전부의 파라미터인 G_x , G_y 에 대

하여 1/3지점까지는 반비례하다가 그 이후로는 비례하는 모습을 보였다. 또한 U슬롯의 파라미터 중 W_x 에서는 4/5지점까지 비례하다가 그 이후로 반비례하였으며, W_y 에는 1/3지점까지는 반비례하다가 그 이후로는 비례하는 모습을 보였다.

그림 3(c)는 안테나 파라미터와 두 번째 공진점의 3 dB 대역폭간의 관계를 나타낸다. 두 번째 공진점의 3 dB 대역폭의 변화는 급전부의 파라미터인 G_x , G_y 에 대하여 1/3지점까지는 반비례하다가 그 이후로는 비례하는 모습을 보였다. 또한 U슬롯의 파라미터 중 W_x 에서는 2/5지점까지 비례하다가 그 이후로 반비례하였으며, W_y 에는 비례하는 모습을 보였다.

그림 3(d)는 안테나 파라미터와 첫 번째 공진점의 세기 간의 관계를 나타낸다. 첫 번째 공진점 세기의 변화는 급전부의 파라미터인 G_x , G_y 에 대하여 1/3지점까지는 비례하다가 그 이후로는 반비례하는 모습을 보였다. 또한 U슬롯의 파라미터 중 W_x 에서는 1/3지점까지 비례하다가 그 이후로 반비례하였으며, W_y 에는 1/3지점까지는 반비례하다가 그 이후로는 비례하는 모습을 보였다.

그림 3(e)는 안테나 파라미터와 두 번째 공진점의 세기 간의 관계를 나타낸다. 두 번째 공진점 세기의 변화는 급전부의 파라미터인 G_x , G_y 에 대하여 1/3지점까지는 비례하다가 그 이후로는 반비례하는 모습을 보였다. 또한 U슬롯의 파라미터 중 W_x 에서는 2/5지점까지 반비례하다가 그 이후로 비례하였으며, W_y 에는 2/3지점까지는 비례하다가 그 이후로는 반비례하는 모습을 보였다.

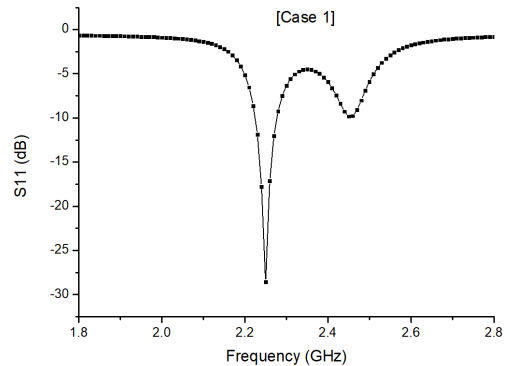
IV. 상관관계에 따른 안테나 디자인

시뮬레이션을 통해 도출된 4개의 안테나 파라미터와 5개의 이중공진 파라미터의 관계를 통하여 U슬롯 마이크로스트립 패치 안테나를 광대역화하는 과정을 다음과 같다. 두 공진점의 거리가 멀고 한쪽 공진점의 세기만 큰 비대칭 케이스이다. 제시된 안테나의 형태와 그 안테나의 S_{11} 그래프는 그림 4와 같다. 이 때, 그림 4(a)에 해당하는 안테나의 파라미터 값은 $G_x=4.5$ mm, $G_y=1.5$ mm, $W_x=0.5$ mm, $W_y=2.7$ mm이며 나머지 파라미터의 값은 참고문헌 [1]의 값과 같다. 그림 4(b)의 S_{11} 그래프를 보면 -10 dB 대역폭은 2.25 GHz를 공진점으로 하는 53 MHz이며, 2.43 GHz에 공진하는 -10 dB 대역폭은 0이다. 또한 낮은 주파수에 공진하는 공진점은 세기가 대략 -30 dB정도로 매우 큰 반면에 3 dB 대역폭이

작고, 높은 주파수에 공진하는 공진점은 세기가 대략 -10 dB정도로 작은 반면에 3 dB 대역폭이 큰 경우이다. 이 경우 넓은 -10 dB 대역폭을 얻기 위하여, 첫 번째로 두 번째 공진점의 세기가 커져야 하며, 두 번째로 첫 번째 공진점의 3 dB 대역폭이 커져야 한다. 또한 두 대역폭간의 거리가 충분히 가까워져야 한다. 이 과정을 진행하기 위하여 앞서 도출된 그림 3(a)~그림 3(b)의 안테나 파라미터와 이중공진 파라미터의 상관관계를 이용했다.



(a) U슬롯 패치 안테나의 단면도



(b) S_{11} 그래프

그림 4. U슬롯 패치 안테나의 비대칭 케이스
Fig. 4. Asymmetric case for U-slot patch antenna

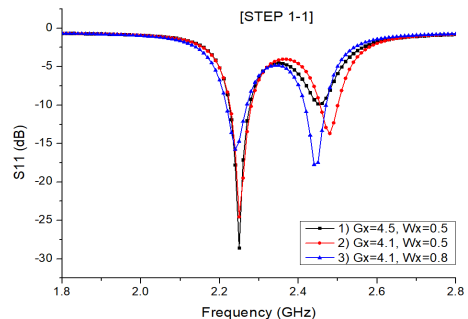


그림 5. 첫 번째 단계
Fig. 5. First step

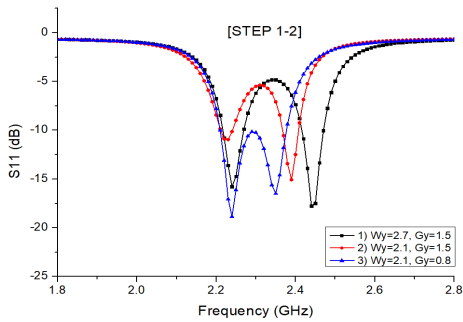


그림 6. 두 번째 단계
 Fig. 6. Second step

첫 단계로, 먼저 G_x 의 값을 4.5 mm에서 4.1 mm로 감소시켰다. 이에 따라 그림 3(a)~그림 3(b)를 참고하면 두 번째 공진점의 세기가 증가하고 첫 번째 공진점의 3 dB 대역폭이 증가할 것이라고 예상할 수 있다. 반면에 첫 번째 공진점의 세기는 감소하고 두 번째 공진점의 대역폭은 감소할 것이라고 예측 할 수 있다. 그 결과는 그림 5에서 확인할 수 있다.

그림 5의 시뮬레이션 결과에서, 1)번에서 2)번으로 이동하였음을 볼 수 있다. 다음으로는 다시 첫 번째 공진점의 3 dB 대역폭을 증가시키고 두 번째 공진점의 세기를 키우기 위하여 W_x 의 값을 0.5 mm에서 0.8 mm로 증가시켰다. 이에 따라 그림 3(a)~그림 3(b)를 참고하면 또다시 두 번째 공진점의 세기가 증가하고 첫 번째 공진점의 3 dB 대역폭이 증가할 것이라고 예상할 수 있다. 이는 그림 5의 2)번에서 3)번으로 이동하는 시뮬레이션 결과를 통하여 확인할 수 있다.

두 번째 단계로는 그림 5의 3)번의 S_{11} 그래프에서 공진점간의 간격을 줄이는 과정이 필요하다. 먼저 W_y 의 값을 2.7 mm에서 2.1 mm로 감소시켰다. 그림 3(a)를 참고하면 두 공진점간의 간격이 감소할 것을 예측할 수 있다. 또한 그림 3(b)~그림 3(e)를 참고하면 첫 번째 공진점의 세기가 감소할 것이라고 예측된다. 결과는 그림 6에서 확인할 수 있다.

그림 6의 시뮬레이션 결과에서, 1)번에서 2)번으로 이동하였음을 볼 수 있다. 다음으로는 감소된 첫 번째 공진점의 크기를 증가시키고 추가적으로 두 공진점의 간격을 감소시키기 위하여 G_y 의 값을 1.5 mm에서 0.8 mm로 감소시켰다. 이에 따라 그림 3(b)~그림 3(e)를 참고하면 첫 번째 공진점의 세기가 증가하고, 또한 두 공진점의 간격이 감소할 것이라고 예상할 수 있다. 이는 그림 6의 2)번에서 3)번으로 이동하는 시뮬레이션 결과를 통하여 확인할 수 있다.

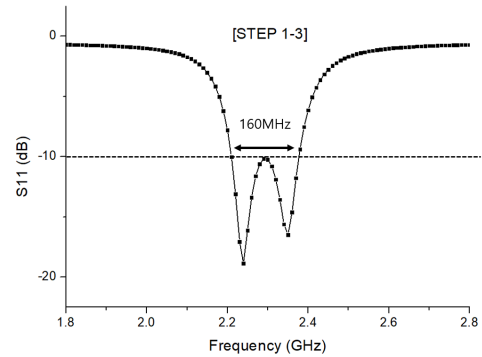


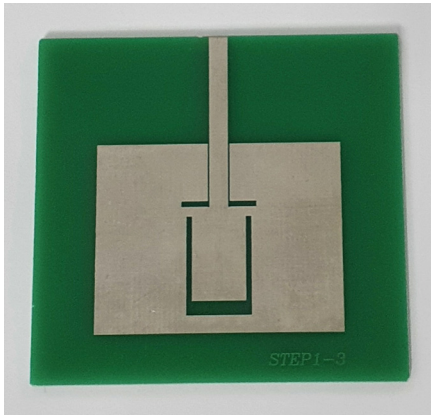
그림 7. U슬롯 패치 광대역 안테나 설계 결과
 Fig. 7. U-slot patch broadband antenna design result

U슬롯 패치 안테나의 광대역화 설계를 위해서 두 번의 단계를 거치며, 그림 4의 첫 번째 케이스의 안테나의 S_{11} 그래프가 그림 7과 같이 변화하였음을 확인할 수 있다. 이 때, -10 dB 대역폭은 160 MHz로, U슬롯 변화 전의 53 MHz에서 약 202% 증가하였음을 확인할 수 있다.

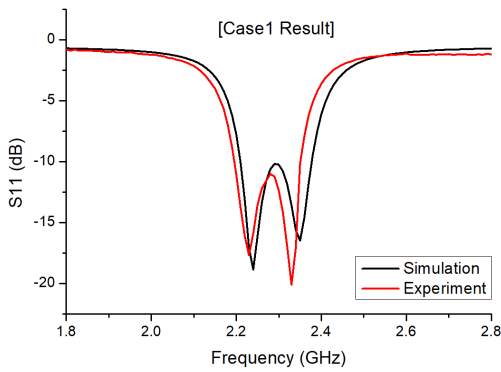
마이크로스트립 패치 안테나의 광대역 과정을 거치며, -10 dB 대역폭 성능이 낮아도 안테나 파라미터의 변화를 통하여 대역폭이 넓은 안테나로 설계 할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 또한 안테나 파라미터와 이중공진 파라미터간의 상관관계를 이용하여 S_{11} 그래프의 이동을 미리 예측함으로써 불필요한 실험 횟수를 최소화하고 최적화된 결과값을 이끌어 낼 수 있었다.

V. 안테나 제작 및 성능비교

결과에 대한 안테나를 제작하고 그 성능을 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. 실제 제작된 안테나는 유전율 4.4, 기판의 높이 1.6 mm의 기판을 이용하였다. 이 때, 안테나 패치 크기는 38.0 mm × 29.3 mm, 안테나 전체 크기는 57.0 mm × 54.0 mm이다. 그림 8에서는 제작된 마이크로스트립 패치 안테나와 S_{11} 측정 결과를 볼 수 있다. 제작된 안테나의 측정은 네트워크 분석기 Anritsu MS2034B를 이용하여 측정하였다. 제작된 안테나에서 낮은 주파수에 공진하는 공진점은 2.22 GHz, 높은 주파수에 공진하는 공진점은 2.32 GHz로 시뮬레이션의 경우보다 조금씩 낮은 주파수로 이동하였음을 볼 수 있다. 또한 높은 주파수에 공진하는 공진점의 세기가 시뮬레이션보다 대략 -5dB 정도 더 크다. 위를 제외하고는 제작된 안테나의 S_{11} 측정값은 시뮬레이션 값과 거의 일치하였으며, -10 dB 대역폭은 153 MHz이다.



(a) 제작된 안테나 사진



(b) S₁₁ 그래프

그림 8. 제작된 안테나와 S₁₁ 그래프
Fig. 8. Fabricated antenna and S₁₁ Graph

VI. 결 론

본 연구에서는 L자형 Inset 급전구조를 갖는 U슬롯 마이크로스트립 패치 안테나에서 안테나 파라미터와 이중공진 파라미터의 상관관계를 이용하여 S₁₁ 그래프의 이동을 미리 예측함으로써 불필요한 실험 횟수를 최소화하고 최적화된 광대역 안테나를 설계하고자 하였다. 첫 번째 단계에서 6개의 안테나 파라미터 중 4개의 안테나 파라미터(G_x, G_y, W_x, W_y)가 두 번째 공진점의 생성에 관계가 있는 것을 확인하였으며, 두 번째 단계를 통하여 4개의 안테나 파라미터가 두 공진점의 위치와 세기에 어떤 영향을 미치는지를 살펴보았다. 마지막으로 위 상관관계를 이용하여, 불특정한 케이스에서 U슬롯 마이크로스트립 패치 안테나의 광대역화를 설계하였다. 공진점의 이동과 세기의 변화를 통하여 광대역 안테나를 설계하였으며 실제 안테나 제작을 통하여 이를 입증하였다.

본 연구를 통하여 안테나 파라미터와 이중공진 간의 상관관계를 이용하는 것이 광대역 안테나 설계에 효과적인 것을 확인했다.

References

- [1] J. Y. Kim, T. S. Chang, and J. Hur, "A Study on Resonance Frequency Accuracy of Microstrip Patch Antenna Design with Inset-Feed Structure", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 21, No. 2, pp. 73-78, Apr. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.2.73>
- [2] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder J. Bahl and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Boston : Artech House, 2000.
- [3] J. P. Hong, B. M. Kim, H. W. Son, and Y. K. Cho, "A Study on The Inset Fed Rectangular Microstrip Patch Antenna for S-band Applications", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering (JKIICE), Vol. 18, No. 10, pp. 2359-2366, Oct. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.6109/JKIICE.2014.18.10.2359>
- [4] M. A. Matin and A. I. Sayeed, "A Design Rule for Inset-fed Rectangular Microstrip Patch Antenna", WSEAS Transactions on Communications, Vol. 9, No. 1, pp. 63-72, Jan. 2010.
- [5] H. Peus and A. van de Capelle, "Accurate transmission-line model for the rectangular microstrip antenna", IEE Proceedings H-Microwaves, Optics and Antennas, Vol. 131, No. 6, pp. 334-340, Dec. 1984.
DOI: [10.1049/ip-h-1:19840071](https://doi.org/10.1049/ip-h-1:19840071)
- [6] S. H. Kang, I. S. Y, and C. W. J, "Reconfigurable beam steering U-slot patch antenna with high gain for a wireless headset", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society (JKAIS), Vol. 15, No. 9, pp. 5796-5800, Sept. 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/JAIS.2014.15.9.5796>
- [7] S. M. Lee and D. H. Park, "Design and Fabrication of Microstrip Inset Patch Antenna for Moving Object Detection", The Journal of KIIT, Vol. 18, No. 12, pp. 61-67, Dec. 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2020.18.12.61>

저 자 소 개

김 재 연(정회원)



- 2011년 : 건국대학교 전자공학부(공학사)
- 2018년 ~ 현재 : 건국대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
- 주관심분야 : 안테나 및 레이더 등

장 대 순(정회원)



- 2001년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2009년 2월 ~ 2011년 11월 : (주) 유니스트림 근무
- 2012년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신공학과 조교수
- 주 관심분야 : 안테나 설계, UWB system, 무선전력전송 등

허 정(정회원)



- 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사
- 1983년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학석사
- 1991년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 1991년 4월 ~ 현재 : 건국대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 안테나 및 마이크로파 회로, 무선전력전송, EMI Shield Coating 등