

테이퍼된 스트립 선로로 급전된 광대역 프린트 1x2 다이폴 배열 안테나

이승엽*

Printed 1x2 Dipole Array Antenna Fed by Tapered Stripline for Wideband

Seung-Yeop Rhee*

요 약

본 논문은 3.5GHz 대역 응용을 위한 광대역 프린트 1x2 다이폴 배열 안테나의 설계 및 실험에 관해 연구 한 것이다. 프린트 배열 다이폴 안테나의 각각 형태는 직사각형 스트립 모양으로 구현되었으며, 광대역 특성을 갖도록 양면의 다이폴 안테나 구조는 측면 결합 선로(BCS: broadside coupled stripline)로 구성된다. 급전선은 광대역 임피던스 정합을 위해 테이퍼형으로 설계되었다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교한 결과, 두 결과가 2.8%(100MHz 이동 @3.5GHz) 차이를 보여 서로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 실험 결과 VSWR=2인 점을 기준으로 대역폭은 중심 주파수 3.5 GHz에서 3.15~3.70 GHz까지 약 16%의 대역폭을 얻었다.

ABSTRACT

This paper is studied for the design and experiment of a wideband printed 1x2 dipole array antenna for 3.5GHz band application. The printed dipole antenna used in the array antenna was implemented in the form of a rectangular strip, and was consisted with a broadside coupled stripline (BCS). The feed line was designed to be tapered for broadband impedance matching. As a result of comparing the simulation results and measurement results, it was found that the two results were in good agreement with 2.8% error(100MHz shift @3.5GHz). As a result of the experiment, based on VSWR=2, a bandwidth of about 16% was obtained from the center frequency of 3.5 GHz to 3.15~3.70 GHz.

키워드

Coupled Stripline Dipole, Printed Dipole Antenna, Dipole Array Antenna
결합 스트립 선로, 프린트 다이폴 안테나, 다이폴 배열 안테나

1. 서 론

현대 사회는 스마트폰 사용량의 급증으로 인한 모바일 트래픽의 폭발적인 증가로 인하여, IoT(Internet of Things)를 비롯한 유무선 융복합 서비스와 무선

통신 애플리케이션 서비스가 확대되고 있다.

이에 따라서 무선 통신 시스템에 사용되는 안테나는 무선 단말기에 장착이 쉽도록 소형화 및 경량화 특성을 가져야 한다. 그리고 여러 무선 서비스를 동시에 구현하기 위해 다중대역 및 광대역 특성을 갖도록

* 전남대학교 전자통신전공(ysrsy@jnu.ac.kr)

* 교신저자 : 전남대학교 전자통신공학과 이승엽

• 접수 일 : 2024. 06. 30

• 수정완료일 : 2024. 07. 21

• 게재확정일 : 2024. 08. 12

• Received : Jun. 30, 2024, Revised : Jul. 21, 2024, Accepted : Aug. 12, 2024

• Corresponding Author : Seung-Yeop Rhee

Dept. of Electronic Comm., Chonnam National University,

Email : ysrsy@jnu.ac.kr

설계되어야 한다.

일반적으로 소형화 및 경량화된 안테나 구조이면서 제작 및 비용이 저렴한 안테나는 평면 구조를 갖는 안테나이다[1]. 평면 안테나 중에 스트립 형태의 평면 다이폴 안테나는 PCB 기판상에 에칭 기법에 따라 원하는 형상을 비교적 저렴하고 쉽게 제작할 수 있어서, 금속 재질의 안테나에 비해 소형, 경량화할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이러한 특성 때문에 무게에 민감한 무선 단말기 시스템에 적용하기 위한 많은 연구가 진행됐다[2-5].

또한, 평면 다이폴 안테나 형태는 가볍고 저자세를 갖는 모양 및 저비용, 단순성 및 신뢰성이라는 추가적인 성능 요구사항을 쉽게 충족할 수 있어서 현재도 널리 사용되고 꾸준히 연구되고 있는 대표적인 평면 안테나이다[1-2].

그러나 소형화, 구현의 용이성 및 비용 효율성 측면에서 매력적이지만, 다이폴 안테나는 본질적으로 협대역이라는 단점을 가지고 있다. 따라서, 대역폭을 향상하기 위해 많은 연구가 수행되었다. 예를 들면, 기생 패치 추가, 다층 구조 채택, 로딩(loading)으로 단락 포스트(shorting post) 추가와 같은 다양한 기법들이 연구되었다[3-9].

특히, 테이퍼 된 급전 기술을 이용하여 ISM 대역용 광대역 나비 모양 다이폴 안테나를 제시하였다. 얻어진 대역폭은 38%이며, 이득은 2 dBi를 얻었다. 크기를 소형화하는 것에 중점을 두어 비교적 낮은 이득을 구현하였다[7]. 2.4GHz ISM 대역 애플리케이션을 위한 CPS(Coplanar Stripline) 급전 방법을 사용하여 나비 모양 보타이(bowtie) 안테나를 설계했다. 설계된 안테나는 주파수 대역에서 1.6dB의 최대 이득으로 13.4%의 대역폭을 얻었으나, 이 급전 방식은 발룬 구조가 복잡하다는 것이 다른 방식과 비교하여 이 방식의 최대 단점이다[8]. 그리고 단순화된 균형 급전 방식과 Bowtie 안테나 구조를 이용하여 68% 광대역 특성을 달성했다. 그러나 광대역 특성을 얻기 위한 급전 방식 및 안테나 구조로 인하여 큰 접지면이 필요하다는 단점이 있다[9-10]. 결과적으로 이 방법은 안테나의 크기가 증가하여 소형 크기의 안테나가 필요한 응용 분야에서는 사용이 매우 제한적일 수밖에 없다.

본 논문에서는 스트립 선로를 급전 선로(feedline) 사용한 배열 다이폴 안테나를 연구하였다. 광대역을

얻기 위하여 방사체인 다이폴 구조를 단순한 직사각형 모양의 스트립 형태로 하였고, 불균형 선로(unbalanced line)로 구현된 1x2 다이폴 배열 안테나에 급전하기 위해 테이퍼형 급전 선로를 이용하였다.

제안된 안테나는 유전율이 4.4이고 두께가 1.0mm인 FR4 기판에 설계, 제작되었다. 안테나 분석을 위해 반사손실, 대역폭 그리고 방사 패턴과 같은 특성을 측정하였다.

II. 안테나 구조

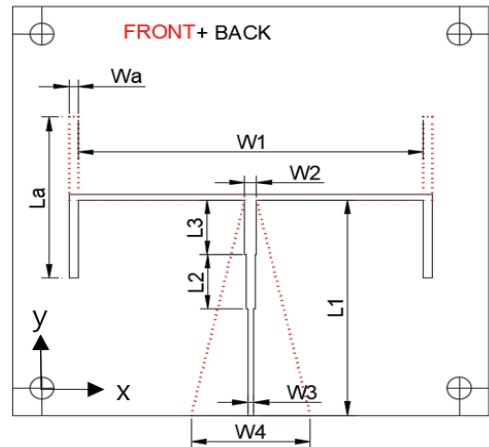


그림 1. 1×2 배열 다이폴 안테나 구조
(상단: 빨간색 점선, 하단: 검은색 줄)

Fig. 1 Configuration of 1×2 array dipole antenna
(Top: Red dot, Bottom: Black line)

그림 1은 제안된 다이폴 배열 안테나 구조이다. 기판 양면에 각각 직사각형 다이폴이 인쇄되고, 각 다이폴은 평형 스트립 선로로 급전된다. 2개의 다이폴을 스트립 급전 선로로 연결하여 배열을 이루도록 했고, 광대역 정합을 위해 삼각형 모양의 접지를 이용하여 상단 및 하단 도체의 폭을 줄인 테이퍼 된 급전 선로를 구성하였다.

일반적으로 다이폴 안테나의 대역폭은 안테나 폭(Wa)에 따라 크게 변화한다. 그리고 안테나의 중심주파수는 주로 길이에 따라 크게 변화한다. 실질적으로 반파장 다이폴 안테나 길이는 반 파장보다 작게 설계한다. 이것은 종단 효과로 인한 것으로 안테나의 실질

적인 길이가 길어지는 효과 때문이다.

일반적으로 반파장 안테나의 길이는 원래 반파장의 길이에 0.8을 곱한 길이를 사용한다[1]. 이것은 반 파장보다 작다는 것을 의미하고 안테나의 모양 및 구조에 따라 계수는 더 작아질 수 있으므로 안테나 길이는 더 짧아질 수도 있다.

제안된 안테나 파라미터 중에서 다이폴 안테나의 특성에 결정적인 역할을 하는 기본 파라미터들은 그림1에서 안테나 길이 L_a 그리고 안테나 폭은 W_a 이다. 일반적으로 다이폴 안테나의 중심주파수는 주로 길이에 크게 변화시키며, 안테나의 폭 변화는 대역폭을 크게 변화시킨다. 이 두 기본 설계파라미터 이외에 안테나의 특성 변화를 줄 수 있는 주요 파라미터를 알아보기 위해 파라미터 연구를 수행하였다.

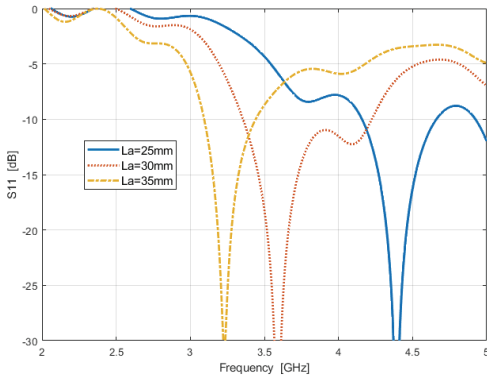


그림 2. L_a 변화에 따른 반사손실 변화
Fig. 2 Return loss variation with respect to L_a

그림 2는 안테나의 길이 변화에 따른 안테나의 공진 주파수특성 변화를 나타낸 것이다. 안테나의 길이 (L_a)가 짧아짐에 따라 공진 주파수는 민감하게 높아지는 것을 확인할 수 있다.

그림 2처럼 반파장 다이폴 안테나 길이가 25mm에서 35mm로 변화할 때 중심주파수는 3.2GHz에서 4.4GHz까지 매우 넓고 민감하게 움직이는 것을 알 수 있다. 작동 주파수가 3.5GHz에 고정됨에 따라 다이폴의 전체 길이를 30mm로 하였다.

그림 3은 다이폴 안테나의 폭 변화의 파라미터인 W_a 변화에 따른 안테나의 반사손실 특성을 나타낸 것이다. 그림 3에서는 그림 2의 다이폴 안테나의 길이

변화에 결과와는 달리 W_a 파라미터는 공진 주파수 특성에 크게 영향을 미치지 못함을 볼 수 있다.

W_a 을 1.5mm를 중심으로 0.5mm씩 변화시켰을 때 공진 주파수 변화는 최대 150MHz 변화되었다. 그러나 다이폴 안테나의 폭 변화는 S11의 크기가 -10dB를 기준으로 대역폭에 큰 변화를 주었다. 폭이 넓어질수록 낮은 주파수에서는 주파수 변화가 40MHz로 변화가 거의 없지만 높은 주파수에서는 480MHz로 크게 변화를 보였다. 즉, 높은 주파수 대역의 임피던스 정합 특성이 크게 변화해 대역폭에 많은 영향을 줄 수 있다.

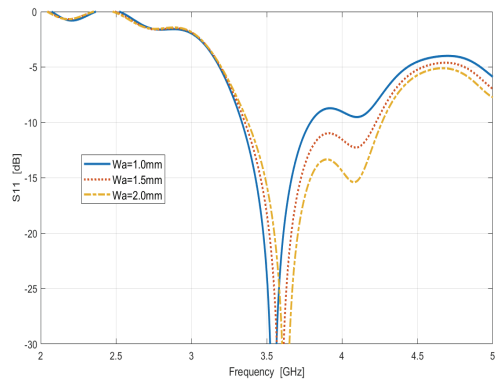


그림 3. W_a 변화에 따른 반사손실 변화
Fig. 3 Return loss variation with respect to W_a

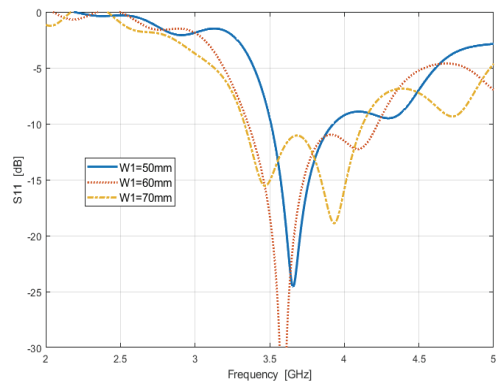
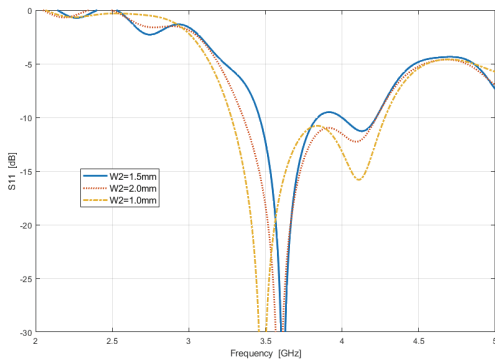


그림 4. W_1 변화에 따른 반사손실 변화
Fig. 4 Return loss variation with respect to W_1

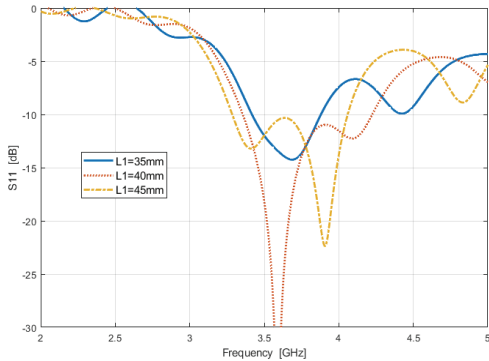
그리고 폭의 변화가 1.5mm에서 2.0mm 변화할 때는 높은 주파수에서 변화가 35MHz로 변화가 매우 적음을 알 수 있다.

그림4는 두 다이폴 안테나 간의 간격인 W1 파라미터 변화에 따른 안테나의 반사손실 특성을 나타낸 것이다. 배열 시 두 안테나 간의 간격은 반 파장(42.8mm @3.5GHz)이나 그 이하로 하는 것이 일반적이지만 여기서는 배열이면서 수평면의 방사 패턴이 거의 무지향성을 유지하도록 반 파장보다 크게 설정하였다. 그림 4의 결과에서 알 수 있듯이 W1은 전체 안테나의 방사 특성에 큰 영향을 준다.

W1=60mm를 기준으로 크거나 작으면 S11의 크기가 -10dB 이하의 임피던스 대역폭이 줄어드는 특성을 보인다.



(a) W2 파라미터 변화



(b) L1 파라미터 변화

그림 5. 테이퍼 선로 파라미터인 W2과 L1 변화에 따른 반사손실

Fig. 5 Return loss with respect to W2 and L1 of the tapered line parameters

그림 5는 안테나의 테이퍼 급전선 성분 중 수직 방향의 길이인 L1과 배열 급전 선로와 연결된 부위의

선로 폭인 W2 변화에 대한 반사손실에 대한 것이다. 배열 안테나와 임피던스 매칭을 위한 테이퍼 선로의 테이퍼 선로를 바탕으로 조정함으로써 넓은 매칭 대역폭을 가진 최적화된 안테나 설계를 달성할 수 있어서 이 두 파라미터 값을 정하는 것은 중요하다.

일반적으로 테이퍼 선로에 대한 특성 임피던스는 입력 지점에서 출력 지점까지의 길이(L1)에 따라 달라집니다[14-15]. W4의 선로 폭을 갖는 입력 지점에서 테이퍼 상단의 선로 폭, W2와 테이퍼 선로의 길이(L1)는 각각 50Ω 임피던스 매칭과 테이퍼 선로를 구현하는 방식이지만 실질적으로는 여러 번의 시행착오를 거쳐야 한다.

제안된 설계에서는 W4 길이를 20mm로 고정하고 W2를 변화시켰다. 반사손실 특성은 W2에 따라 크게 변함이 없고, 140MHz의 작은 공진 주파수 이동을 보였다. 그러나 H1 변화에 대한 반사손실 특성은 그림 5(b)와 같이 공진 주파수와 반사손실 모두 크게 변화됨을 알 수 있다.

III. 실험 및 분석

앞장에서는 각 파라미터에 대한 안테나의 특성 변화인 반사손실과 공진 주파수를 연구하였다. 이들 결과를 기반으로 주요 파라미터들의 서로 연관된 조정을 이용하여 얻어진 최적 주요 설계파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 최종 안테나 파라미터 값; 단위[mm]

Table 1. Values of parameters for the final antenna; Unit [mm]

안테나 폭 (Wa : width of antenna)	1.5	안테나 간의 간격 (W1 : gap of antenna)	58.0
안테나 길이 (La : length of antenna)	30.0	급전선 윗 폭 (W2 : top width of feeder)	2.0
급전선 아래 폭 (W3 : below width of feeder)	1.0	중간 급전선의 길이 (L2 : lenth of middle feeder)	10.0
급전선의 총길이 (L1 : total length of antenna)	40.0	W2 폭을 갖는 급전선 길이 (L3 : length of feeder with W2)	10.0
접지 폭 (W4 : ground width)	2.0		

안테나 길이는 공기 중의 반 파장 길이인 43mm보다 0.67%인 짧아진 $L_a=30\text{mm}$ 로 정하였다. 공기가 아닌 유전율이 1보다 큰 기판에 의해 구현되기 때문에 길이가 많이 축소됨을 알 수 있다. 다이폴 안테나의 폭인 W_a 는 1.5mm로 하였고, 방사 패턴에 영향을 줄 수 있는 W_1 는 58mm로 하였다.

급전선의 폭은 1.0mm(W_4)에서 2.0mm(W_2)로 변화한다. 이러한 불연속을 최소화하기 위해 중간에 폭이 1.5mm이고 길이가 10mm인 급전선(L_2)을 삽입하였다. 삼각형 모양이 테이퍼 선로는 임피던스의 최대 정합을 기준으로 W_4 에서 W_2 로 폭의 변화를 주었고 길이(L_1)는 40mm로 정하였다.

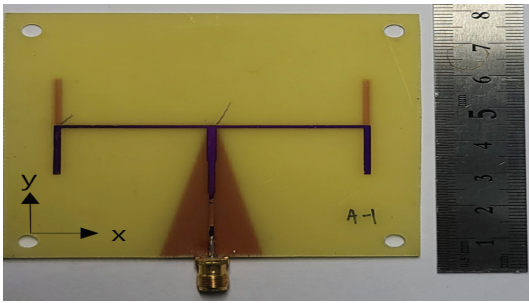


그림 6. 제작된 테이퍼된 스트립 선로를 이용한 광대역 다이폴 안테나(앞면)
Fig. 6 Dipole antenna with the taped line for wideband(front side)

그림 6은 최종 제작된 안테나 전체 사진이다. 급전 코넥터는 SMA용 코넥터를 사용하였다. 본 논문에서 제작한 안테나 반사계수(S_{11}) 측정값은 그림 7과 같다.

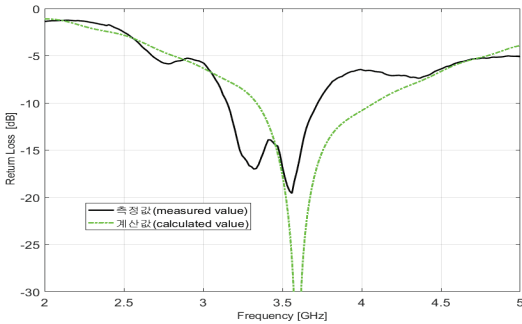


그림 7. 계산 및 측정된 반사손실
Fig. 7 Calculated and measured return loss

그림 7은 HP8510C Network Analyzer를 이용하여 측정된 값으로 제한된 안테나의 측정된 반사 계산 결과값과 비교한 것이다.

시뮬레이션 계산 결과 공진 주파수는 3.6GHz 그리고 -10dB 기준 대역폭은 730MHz이다.

측정된 공진 주파수와 대역폭은 각각 3.5GHz와 540MHz로 공진 주파수는 시뮬레이션 결과값보다 낮은 주파수로 이동했지만 비교적 잘 일치하지만, 측정된 대역폭은 190MHz 좁아졌다. 그림 7로부터 $VSWR=2$ 인 -10dB인 점을 기준으로 대역폭은 중심주파수 3.5 GHz에서 3.15~ 3.7 GHz까지 약 16%의 대역폭을 얻었다.

제작된 안테나의 측정된 방사 패턴은 그림 8과 같다. 무지향성 안테나의 경우 수평면의 방사 패턴 모양은 완전 원형이 무지향성이지만, 1x2 배열 안테나이기 때문에 실제로는 약간의 찌그러진 모양이다. 이득은 중심주파수에서 5.7[dBi]이다. 그리고 수직 방사 패턴($y-z$ 평면)의 주 빔(main beam)은 수평면($x-y$ 평면)에서 약 27도 상향된 방향에서 측정되었다.

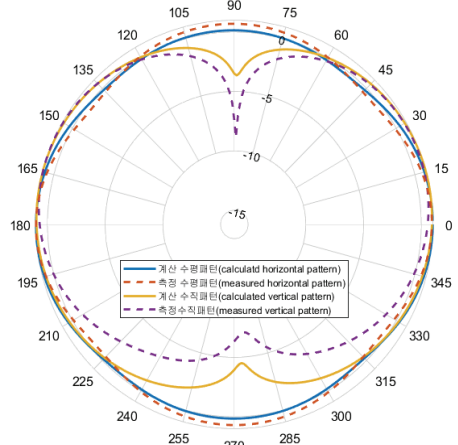


그림 8. 계산 및 측정된 방사 패턴
Fig. 8 Calculated and measured radiation pattern

IV. 결론 및 향후 개선방향

본 논문은 5세대 이동통신 주파수 대역인 3.5GHz 대역에서 동작하는 광대역 프린트 1×2 다이폴 배열 안테나를 연구하였다. 특히, 배열 시 안테나의 급전 구조를 테이퍼 형태로 구현하여 다이폴 안테나의 반

사 계수 특성에 대한 협대역 특성을 향상했다.

측정된 결과로부터 중심주파수 3.5GHz에서 약 16%의 대역폭을 얻었으며, 무선 통신을 위한 안정적인 무지향성 방사 패턴과 5.7[dBi] 이득을 확인하였다.

따라서, 1×2 프린트 다이폴 배열 안테나의 수직 길이의 최소화 작업과 방사 패턴의 넓은 주 빔은 향후 더 큰 배열 안테나를 구현하는 데 응용될 것으로 생각된다.

References

[1] Constantine, A. B., *Antenna Theory Analysis and Design 3rd*, p.207, John Wiley & Sons, New York, 2005.
<https://doi.org/10.1109/MAP.1982.27654>

[2] Kin-Lu Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*, Wiley-Interscience, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1002/0471221112.ch1>

[3] Yong-Wook Park, "A Study on The Characteristics of U-slot Microstrip Antenna", *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 19, no. 1, 2024, pp. 25-30.
<https://doi.org/10.13067/JKIECS.2024.19.1.25>

[4] Joong-Han Yoon, "Design and Fabrication of Dual Linear Polarization Patch Antenna with Aperture Coupled Feeding Structure", *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 6, 2023, pp. 1015-1022.
<https://doi.org/10.13067/JKIECS.2023.18.6.1015>

[5] Soily, Srabonty, Kim, Dong-Woo, Oh, Soon-Soo, "Use of Sleeve Baluns to Improve the Radiation Pattern of a Broadband Biconical Antenna", *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 4, 2022, pp. 563-570.
<https://doi.org/10.13067/JKIECS.2022.17.4.563>

[6] Yun-Qi Zhang, Jian-Wei Rong, Xi Li, Lin Yang, and Shu-Xi Gong, "Novel wideband omnidirectional antenna for wireless applications," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 40, no.2, 2013, pp. 257-267.
<http://dx.doi.org/10.2528/PIERC13050401>

[7] Pravin Dalvadi, Amrut Patel, D. H. Patel, G. D.

Makwana, "Design of Wideband Bowtie Antenna using Tapered Balun for Industrial, Scientific and Medical Band Application", *Information Technology & Electrical Engineering Journal*, vol. 10, no.3, 2021, pp. 61-66.

https://www.academia.edu/download/95856933/v10no3june21_pdf7.pdf

[8] Shih-Cheng Lin and Chi-Wen Hsieh, Chun-Chieh Wang, Kuan-Yu Lin, and Tai-Lang Jong, "Bow-Tie Antenna Fed by Microstrip Balun Filter With Designable Bandwidth and Extended Stopband" *Proceedings of the 45th European Microwave Conference Sept. 7-10, Paris, Franc., 2015*, pp.1053-1056.
<https://doi.org/10.1109/EuMC.2015.7345948>

[9] Guiping Zheng, Ahmed A. Kishk, Allen W. Glisson, and Alexander B. Yakovlev, "A Broad band Printed BowTie Antenna With A Simplified Balanced Feed" *Microwave And Optical Technology Letters*, vol. 47, no. 6, 2005. pp.534-536.
<https://doi.org/10.1002/mop.21221>

[10] Wei, K. P., Z. J. Zhang, and Z. H. Feng, "Design of a dualband omnidirectional planar microstrip antenna array," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 126, no. 1, 2012, pp. 101-120.
<http://dx.doi.org/10.2528/PIER11112101>

저자 소개

이승엽(Seung-Yeop Rhee)



1986년 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1993년 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1993년~2006년 국립여수대학교 전자통신공학과 교수

2004년 ~2005년 Syracuse대학교 방문교수

2006년 ~현재: 전남대학교 전자통신공학과 정교수
 ※ 관심분야 : 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로 설계, 전자파 해석