

측면 결합 스트립 선로를 이용한 광대역 프린트 다이폴 안테나

이승엽*

Printed Dipole Antenna Fed by Broad-sided Coupled Stripline for Wideband

Seung-Yeop Rhee*

요 약

본 논문에서는 3.5GHz 대역에 대해 측면 결합 선로(BCS:Broadside Coupled Striplines)에 의해 공급되는 프린트 다이폴 안테나의 설계 제작에 대해 연구하였다. 프린트 다이폴 안테나의 두 Arm(암)은 각각 기판의 양면에 있습니다. 1×2배열 안테나에 적용된 공급 균형 라인은 BCS입니다. 프린트 다이폴 안테나의 여러 파라미터 연구를 하였고, 시뮬레이션 결과는 최종 실험 데이터와 일치하였다. 실험 결과 원하는 주파수 대역에서 가장 넓은 대역폭을 나타내며 VSWR < 2.0:1 대해 28%의 대역폭을 보였다. 기존 프린트 다이폴 안테나의 단점인 협대역과 배열 시 급전선 특성을 개선할 수 있음을 알 수 있었다. 수평면 방사패턴은 전방향 특성을 보였고 최대 이득은 4.4dBi를 보였다.

ABSTRACT

In this paper, the design of a printed dipole antenna fed by broadside coupled striplines (BCS) for the 3.5GHz band is described. The two fins of the bow tie are, respectively, on the two sides of the substrate. The feeding balanced lines adopted for 1×2 array are the BCS. The obtained numerical results are in good agreement with experimental data. Through experiments with printed dipole antennas of various extended angles, the printed dipole antenna exhibits the wide bandwidth in the desired frequency band, which has a bandwidth of 28% for VSWR < 2.0 : 1. And within this bandwidth, This printed dipole antenna achieves a stable radiation pattern. It is found that the narrow band and feeding for array characteristic which is a disadvantage of the conventional printed dipole antenna can be improved. The radiation pattern showed omnidirectional characteristics and the maximum gain was about 4.4dBi.

키워드

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

1. 서 론

현대 사회는 스마트폰 사용량의 급증으로 인한 모

바일 트래픽의 폭발적인 증가와 IoT(Internet of Things)를 비롯한 융복합 유무선 서비스의 확대 등으로 국가적으로 한정적 자원인 주파수의 효율적 사용

* 전남대학교 전자통신전공

** 교신저자 : 전남대학교 전자통신전공

• 접수 일 : 2022. 09. 29

• 수정완료일 : 2022. 11. 05

• 게재확정일 : 2022. 12. 17

• Received : Sep. 29, 2022, Revised : Nov. 05, 2022, Accepted : Dec. 17, 2022

• Corresponding Author : Seung-Yeop Rhee

Dept. of Electronic Comm., Chonnam National University,

Email : yrsy@jnu.ac.kr

을 위한 대책 마련이 시급한 실정이다. 현재까지는 4G만으로도 충분할 수 있지만 VR, AR, 사물인터넷 등 콘텐츠가 늘어날 경우 LTE만으로는 감당하기 어렵다. 시장조사업체 IDC에 따르면 전세계 데이터양은 매년 30%씩 증가해 2025년에는 163ZB(제타바이트)에 이를 전망이다).

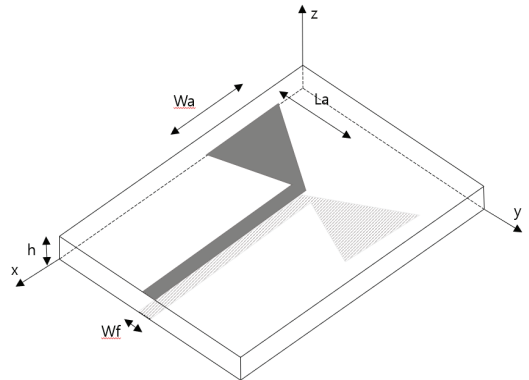
이렇게 데이터가 많아질수록 더 넓고 빠른 길이 필요하기 때문에 기존 LTE를 뛰어넘는 5G가 등장할 수밖에 없다. 우리나라는 2019년 4월 3.5GHz 저주파 대역에서 세계 최초로 5G 서비스를 상용화했다. 또한, 국제전기통신연합(ITU)은 WRC-07에서 실질적으로 3.4~3.6GHz 대역을 IMT 대역으로 분배하였으며, 미국, 영국 등 해외 주요국에서도 3.5GHz 대역의 모바일 광대역 이용을 위한 논의가 진행되는 등 3.5GHz 대역 활용에 대한 국제적 관심이 증가하고 있는 상황이다[1].

5G는 4G에 비해 사용하는 주파수 대역이 높기 때문에 그만큼 신호의 도달거리가 짧으며, 이에 따라 동일한 지역에 서비스를 제공하기 위해서는 훨씬 더 많은 기지국이 필요하다. 또한 주파수가 높아서 직진성이 강해서 건물 내에는 신호가 잘 전달되지 않기 때문에 많은 중계기의 설치가 필요하다. 5G로 우리가 이용할 수 있는 좋은 서비스가 많이 있고 꼭 필요하지만 많은 투자가 필요하기 때문에 현재 서비스나 이용자가 많지 않은 상황에서 5G 확산에 장애가 되고 있다. 이처럼 최근의 수요는 지금까지와는 다르게 넓은 주파수 대역을 필요로 하는 것이 특징인 만큼 기지국 또는 액세스 포인트의 경우 소형이면서 방위각 평면에서 무지향성 방사를 갖는 고이득 어레이 안테나가 필요합니다[2-3].

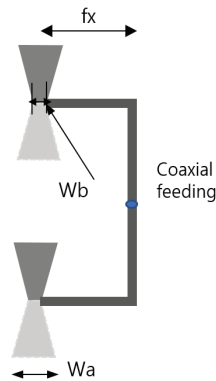
따라서, 본 논문에서는 급전선을 BCS방식을 적용한 3.5GHz대역의 프린트 다이폴 안테나를 제안하고 연구하고자 한다. 그리고 급전 설계 및 구조의 단순화를 구현하여 기존 다이폴 안테나의 단점인 협대역 특성은 물론 장점인 소형 그리고 저자세의 구조적인 장점을 살리는 연구를 하고자 한다.

II. 안테나 구조

제안된 안테나는 두 개의 인쇄된 다이폴로 그림1과 같이 구성됩니다. 이 두 요소는 측면 결합 선로(BCS: broadside coupled stripline)에 의해 교차 공급되어 광대역 임피던스 정합이 실현됩니다.[4]



(a) 단일 안테나 구조



(b) 1×2 배열 안테나 개략도

그림 1. 제안된 측면 결합 선로 급전 프린트 다이폴 안테나 및 1×2 배열 안테나 구조

Fig. 1 Configuration of the printed dipole antenna fed by broadside coupled line

반파장 다이폴은 H 평면에 무지향성 방사 패턴이 무지향성 안테나이기 때문에 본 논문에서는 이를 기본 구조로 선택했습니다[5-10].

인쇄된 쌍극자의 주요 매개변수는 암의 너비와 길이입니다. 여기서, 암은 사다리꼴 모양의 방사체이며,

1) <https://www.import.io/wp-content/uploads/2017/04/Seagate-WP-DataAge2025-March-2017.pdf>

일반적으로 대역폭은 임의의 너비에 따라 증가합니다. 안테나의 중심 주파수는 주로 길이에 따라 다릅니다. 실질적으로 임의의 길이는 반파장보다 작습니다. 일반적으로 임의의 길이는 계수 0.8을 곱해야 합니다[11].

기판의 두께는 대역폭에 영향을 미칩니다. 기판이 두꺼울수록 대역폭이 넓어집니다. 인쇄된 다이폴 안테나의 기하학적 구조는 그림 1에 나와 있습니다. 인쇄된 쌍극자의 두 암은 기판의 각 면에 고정됩니다. 보다 안정적인 방사 패턴을 얻고 타인도를 줄이기 위해 기생 Arm(암)이 기판의 다른 면에 인쇄되고 각각 급전선에 연결됩니다. 병렬 브로드사이드 결합 라인이 급전 라인으로 사용됩니다. 라인 사이에 180± 위상 차이가 발생합니다.

급전부와 안테나 구조는 3.3의 높은 유전율과 함께 두께 0.7mm의 기판에 인쇄됩니다. 중심주파수는 3.5GHz에서 반 파장의 0.8배를 기준으로 안테나의 길이를 초기값으로 하여 계산하였다.

급전선의 매개변수와 함께 안테나의 길이 변화를 바탕으로 플러oyer 각도를 신중하게 조정하기 위한 안테나 폭을 변화시킴으로써 함으로써 넓은 매칭 대역폭을 가진 최적화된 안테나 설계를 달성할 수 있습니다.

제한된 안테나 파라미터 중에서 안테나의 특성에 결정적인 역할을 하는 파라미터들은 그림1에서 급전선의 폭 W_f , 안테나 총 길이 $2L_a$, 그리고 안테나의 폭 W_a 이다. 주요 설계파라미터에 대한 안테나의 특성을 알아보기 위해 각각의 파라미터를 변화시켜보았다.

안테나의 작동 주파수는 L_a 의 값에 따라 다릅니다. 그림2에서 알 수 있듯이 다이폴의 길이가 15mm에서 19mm로 길어지 때 중심 주파수는 640MHz 낮아지고 대역폭도 210MHz 짐을 알 수 있다. 작동 주파수가 3.5GHz에 고정됨에 따라 다이폴 암의 한쪽 길이는 17mm로 하였다.

안테나의 이론적인 공진 주파수는 그림 2로부터 알 수 있다. 임의의 길이가 짧아짐에 따라 공진 주파수는 대역폭은 크게 변함이 없지만 민감하게 높아지는 것을 확인할 수 있다.

그림3과 4는 다이폴 안테나의 폭 변화 즉 사다리꼴 다이폴의 파라미터인 W_b 과 W_a 변화에 따른 안테나

의 반사손실 특성을 나타낸 것이다. 그림 3에서는 예상과는 달리 W_a 파라미터는 공진 주파수와 대역폭과 반사손실 특성에 크게 영향을 미치지 못함을 볼

수 있다. W_a 를 2mm 변화시켰을 때 공진 주파수 변화는 최대 100MHz 변화되었고 대역폭은 740MHz로 변화가 없다. 다이폴 안테나가 급전선에 붙어 있는 부분을 나타내는 파라미터인 W_b 변화에 대해서는 W_a 변화와는 달리 공진 주파수와 대역폭에서 큰 변화가 있다. W_b 가 증가함에 따라 공진 주파수가 증가하고 대역폭은 80MHz 감소된다. 반사손실은 -19dB이하로 큰 변화는 없다.

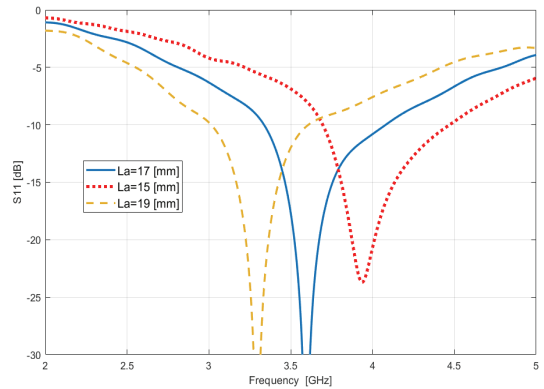


그림 2. L_a 변화에 따른 반사손실 변화
Fig. 2 return loss variation with respect to L_a

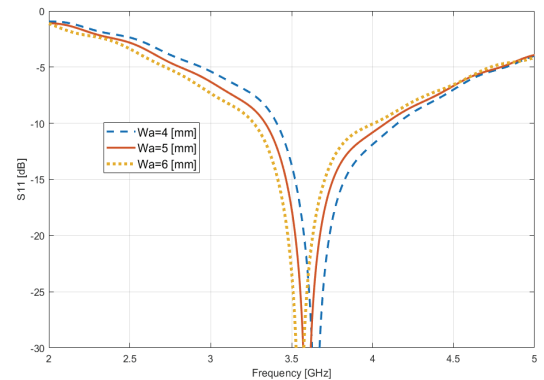


그림 3. W_a 변화에 따른 반사손실 변화
Fig. 3 return loss variation with respect to W_a

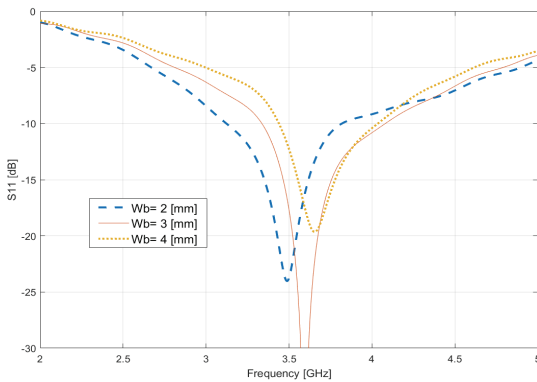
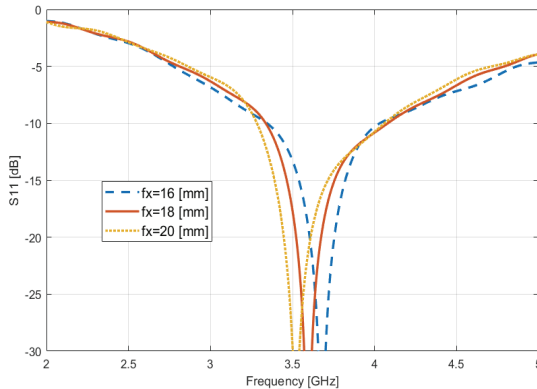
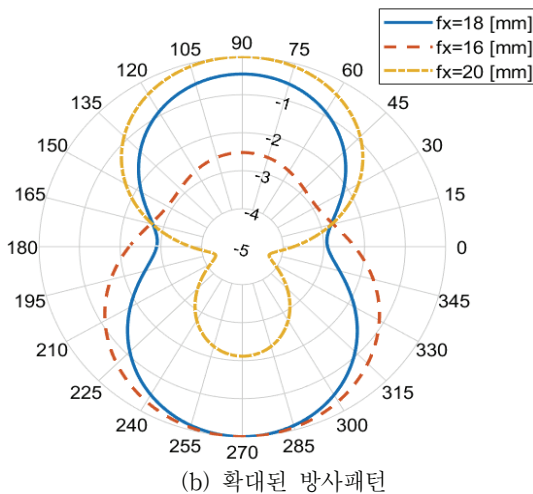


그림 4. Wb 변화에 따른 반사손실 변화
Fig. 4 return loss variation with respect to Wb



(a) 반사손실



(b) 확대된 방사패턴

그림 5. fx 변화에 따른 반사손실 및 확대된 방사패턴 변화
Fig. 5 return loss and magnified radiation pattern variation with respect to fx

그림 5(a)는 안테나의 급전선 성분 중 수평 방향의 길이인 f_x 에 대한 반사손실에 대한 것이며, 그림 5(b)는 방사 패턴 변화를 크게 확대한 그림이다. 반사손실 특성은 f_x 에 따라 크게 변함이 없고 140MHz의 적은 주파수 이동을 보였다. 그림5(b)처럼 f_x 길이가 18mm와 20mm인 경우는 모든 방향에서 크기 변화가 3dB 내로 변화한다. 따라서 수평면에서는 양호한 전방향성 방사 패턴을 유지된다고 볼 수 있다. 그러나 f_x 길이가 16mm로 짧아진 경우는 $0 \sim 15^\circ$ 와 $165 \sim 360^\circ$ 내의 평면 방사 패턴에서는 최대 4.8dB 왜곡이 발생함을 볼 수 있다.

III. 실험 및 분석

앞장의 분석결과로부터 각 파라미터들에 대한 상호 연관된 조정으로 반사손실과 공진 주파수를 변화시킬 수 있음을 알 수 있었다. 결과적으로 몇 개의 파라미터들을 조정함으로써 안테나의 입력임피던스 정합을 쉽게 할 수 있다. 안테나에 사용된 기판은 유전율 3.3이고 기판두께가 0.7mm인 Taconic사 기판을 사용하였다. 주요 파라미터들의 서로 연관된 조정에 의한 최적 설계파라미터는 안테나 한 쪽 길이 $L_a=17\text{mm}$ 이고, 다이폴 안테나의 양쪽 폭인 W_a 와 W_b 는 3mm와 5mm이다. 그리고 방사패턴에 영향을 줄 수 있는 f_x 는 18mm로 하였다. 이러한 각 파라미터들의 임피던스 특성을 살피고 이들의 연관된 조정에 의해 제작한 전체 안테나는 다음과 같다.

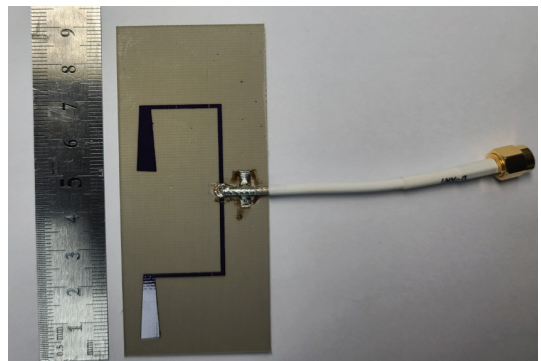


그림 6. 제작된 측면 결합 스트립 선로를 이용한 광대역 다이폴 안테나(앞면)

Fig. 6 dipole antenna fed by BCS for wideband(front side)

본 논문에서 제작한 안테나 측정값은 그림7과 같다. 그림 7은 HP 8510C Network Analyzer를 이용하여 측정된 값으로 제안된 안테나의 측정된 반사손실 시뮬레이션 값과 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과 공진 주파수는 3.6GHz 그리고 -10dB기준 대역폭은 790MHz이다. 측정된 공진 주파수와 대역폭은 각각 3.4GHz와 910MHz으로 공진 주파수는 시뮬레이션 결과값과 비교적 잘 일치했지만 측정된 대역폭은 더 넓어졌다.

그림 7으로 부터 VSWR=2인 -10dB 인 점을 기준으로 대역폭은 중심주파수 3.5 GHz에서 3.2~ 4.1 GHz까지 약 26%의 대역폭을 얻었다.

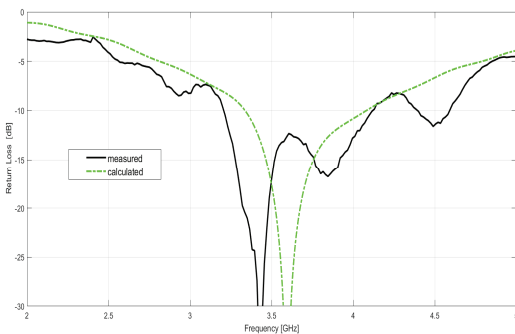
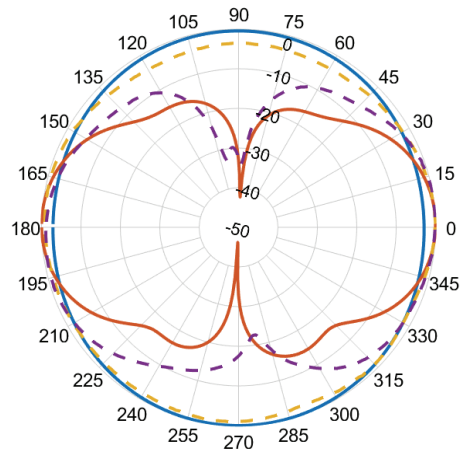


그림 7. 측정 및 계산된 반사손실
Fig. 7 Measured and calculated return loss

제작된 안테나의 측정된 방사 패턴은 그림 8과 같다. 무지향성 안테나의 경우 가장 매력적인 특성은 수평면의 방사패턴 모양이다. 완전 원형이 무지향성이지만 실제로는 약간의 타원 모양이 될 수 있다. 이 때 타원율은 수평 면의 최대 이득 변동을 의미한다. 측정된 타원율은 대역 내에서 2.7dB 미만으로 측정되었다.



— calculated horizontal pattern
- - measured horizontal pattern
— calculated vertical pattern
- - measured vertical pattern

그림 8. 측정 및 계산된 방사 패턴
Fig. 8 Measured and calculated radiation pattern

이득은 중심주파수에서 4.4 dBi 이다. 측정된 결과는 안테나 높이를 최소화한 다이폴 안테나로 무지향성과 고이득 특성을 갖는 것을 확인하였다.

IV. 결론 및 향후 개선방향

본 논문은 5G 주파수 대역이면서 국내외적으로 주목을 받는 3.5GHz 대역에서 동작하는 프린트 1×2 다이폴 배열 안테나를 연구하였다. 특히, 배열 안테나의 급전선으로 측면 결합 선로를 사용함으로써 안테나의 수직 길이를 최소화하고 배열 시 안테나의 급전 구조의 단순화 및 특성을 연구하였다.

이 논문에서는 측면 결합 선로 급전 다이폴 안테나는 무선 통신을 위한 안정적인 무지향성 방사 패턴과 4.4dBi 이득을 갖음을 확인하였다. 그리고 기존 다이폴 안테나와 비교하여 더 넓은 대역폭으로 28.6% 매칭 대역폭을 달성하였다.

1×2 프린트 다이폴 배열 안테나의 수직 길이의 최소화 작업과 방사 패턴의 넓은 메인 빔은 향후 더 큰 배열 안테나를 구현하는 데 기초적인 연구로 활용 가능할 것으로 사료된다.

그리고 측정된 결과로부터 제안된 안테나는 향후 제한된 공간을 필요한 CBRS(Citizens Broadband Radio Service) 무선시스템에 적합한 안테나용으로 적용 가능할 것으로 사료된다.

References

- [1] D. Choi, "5G, Wi-Fi6, OpenRoaming," Korea Internet & Security Agency Report, Korea Internet & Security Agency, vol. 8, 2021, pp. 1-10.
- [2] W. Byeon, M. Kim and J. Kim, "Propagation characteristic of frequency band and usage," Institute for information & communication technology planning & evaluation, Weekly ICT Trends, no. 1974, Nov. 2020, pp. 16-30
- [3] K. L. Wong, Compact and Broadband Microstrip Antennas. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2014.
- [4] K. P. Wei, Z. J. Zhang, and Z. H. Feng, "Design of a dualband omnidirectional planar microstrip antenna array," Progress In Electromagnetics Research, vol. 126, 2012, pp. 101-120.
- [5] Y. Q. Zhang, J. W. Rong, X. Li, L. Yang, and S. X. Gong, "Novel wideband omnidirectional antenna for wireless applications," Progress In Electromagnetics Research, vol. 40, 2013, pp. 257-267.
- [6] K. L. Wong, F. R. Hsiao, and T. W. Chiou, "Omnidirectional Planar dipole Array Antenna," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, no. 2, 2004, pp. 624-628.
- [7] F. R. Hsiao and K. L. Wong, "Omnidirectional planar folded dipole antenna," IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 52, no. 7, 2004, pp. 1898-1902.
- [8] H. Choo, S. Youn, "Implementation of Multi-Beam Pattern Compact MIMO Antenna based on Switched Parasitic Antenna," J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 16, no. 1, 2021, pp. 1-8.
- [9] G. Sa, S. Kim, and Y. Lim, "Design of Ultra Small Dual Cross-dipole Antenna for mobile devices," J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 14, no. 3, 2019, pp. 489-496.
- [10] S. Yeo, B. Kang, K. Bae, and C. Yoon, "Study on Data-link Antenna System for UAV," J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 15, no. 1, 2020, pp. 9-14.
- [11] A. B. Constantine, Antenna Theory Analysis and Design. New York: John Wiley & Sons, 2005.

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