

모바일 기기를 위한 초소형 이중 교차 다이폴 안테나 설계

사기동* ** · 김사웅* ** · 임영석**

Design of Ultra Small Dual Cross-Dipole Antenna for Mobile Devices

Gi-Dong Sa* ** · Sa-Ung Kim* ** · Yeong-Seog Lim**

요약

본 논문에서는 주파수 2.4 GHz에서 동작하는 초소형 이중 교차 다이폴 안테나를 설계 및 제작하였다. 모바일 기기에 적용할 수 있도록 안테나의 크기를 소형화하기 위해 교차 다이폴을 상부 2개 층에 배치하고 하부에 반사 평면과 수평형 정합회로 및 그라운드 평면을 각 층에 배치한 구조에서 안테나와 급전부 및 정합회로는 수직 방향 관통비아홀로 연결하였다. 제작된 안테나의 크기는 21.61 mm × 16.88 mm × 1.27 mm이며, 측정된 반사계수는 -31.5 dB이고, -10 dB 이하 대역폭은 112 MHz 이다. 또한 안테나의 이득은 -4 dBi로 무지향성의 방사 특성을 가지므로 모바일 기기용 안테나로 다양한 분야에 확대 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

ABSTRACT

In this paper, we design and fabricate an ultra small dual crossed dipole antenna operating at 2.4 GHz frequency. In order to miniaturize the size of the antenna so that it can be applied to a mobile device, a cross dipole is disposed on the upper two layers and a reflection plane, a horizontal matching circuit and a ground plane are arranged on each layer. The circuit was connected by a vertical through-hole. The size of the fabricated antenna is 21.61 mm × 16.88 mm × 1.27 mm, the measured reflection coefficient is -31.5 dB, and the bandwidth below -10 dB is 112 MHz. In addition, since the gain of the antenna is -4 dBi, it has the omnidirectional radiation characteristic, so it can be applied to various fields as an antenna for mobile devices.

키워드

Ultra Small, Dual, Cross Dipole, Horizontal Matching Circuit, Through-hole
초소형, 이중, 교차 다이폴, 수평 정합 회로, 관통 비아홀

1. 서 론

최근 모바일 기기는 스마트워치와 같은 손목시계나 손목밴드 형태를 중심으로 피트니스와 활동 추적 등 모바일 헬스 케어 관련 응용 제품으로 출시되고 있으며, 피부 부착형 진단 및 치료 기기와 체내 삽입형 의

료기기로 발전되고 있다. 따라서 모바일 기기에 적용되는 회로 및 부품을 소형화하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 모바일 기기의 무선통신 서비스를 위한 안테나의 경우 동작 주파수에 따라 크기가 결정되는 부품이다. 안테나의 소형화는 집중소자 기술의 적용과 기생 소자의 적용 및 기하학적 구조를 적

* 한국광기술원 (gdsa@kopti.re.kr)

** 교신저자 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부

· 접수일 : 2019. 06. 10

· 수정완료일 : 2019. 06. 12

· 게재확정일 : 2019. 06. 15

· Received : Jun. 10, 2019, Revised : Jun. 12, 2019, Accepted : Jun. 15, 2019

· Corresponding Author : Yeong-Seog Lim

School of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University,

Email : limys@jnu.ac.kr

용하는 등 다양한 방법으로 연구가 진행되고 있다 [1-3]. 본 논문에서는 모바일 기기에 적용될 수 있는 초소형 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 교차 다이폴을 상부 2개 층에 배치하고 하부에 반사평면과 수평형 정합회로 및 그라운드 평면을 배치한 구조에서 수직 방향으로의 관통비아홀로 연결한 초소형 이중 교차 다이폴 안테나 기판을 설계 및 제작하였다.

II. 제안된 안테나 설계 및 제작

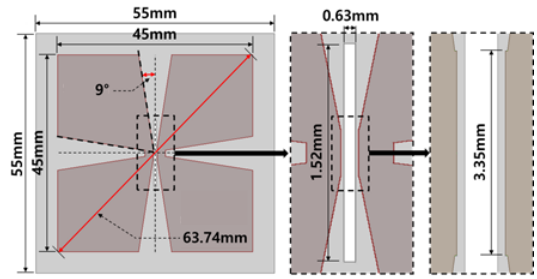
2.1 단일 교차 다이폴 안테나

반파장 다이폴 안테나는 모든 안테나의 기본이 되는 일반적인 형태로 한쪽 끝 또는 중앙에 급전선을 접속하여 사용하는 형태로 수평에서 볼 때는 8자 모양의 방사패턴을 가지고 수직에서 볼 때 무지향성 방사패턴을 가지며, 사인파형 전류분포를 가진다[4].

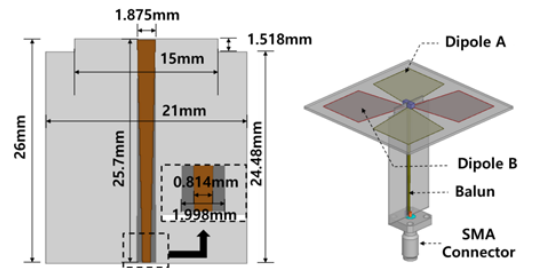
단일 교차 다이폴 안테나는 한 쌍의 반파장 다이폴 안테나를 90도 방향으로 교차되게 구성함으로써 수평 및 수직 모든 방향에서 볼 때 무지향성을 가지도록 설계 되는 안테나 구조이다[5-7]. 이때 반파장 다이폴 안테나의 길이는 식 (1)과 같이 계산될 수 있다. 여기서 λ 는 파장, c 는 전파속도 f 는 주파수이다. 주파수가 2.4 GHz 일 경우 반 파장은 62.5 mm이다.

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1}$$

그림 1(c)는 단일 교차 다이폴 안테나의 3차원 구조이다. 그림 1(a)는 안테나를 위에서 내려다본 정면도이며, 변형된 보우타이 형태의 방사패치 중앙부 급전 점을 기준으로 2개의 반파장 다이폴이 90도 교차 되도록 구성하였으며, 비유전율 4.4와 손실탄젠트 0.012를 가지는 저비용의 FR-4 기판을 적용하여 하나의 변형된 보우타이 방사패치의 최대 길이를 63.74 mm로 설계하였다. 그림 1(b)는 급전을 위한 발룬으로 방사패치 중앙부 슬롯에 결합되는 구조이며, 안테나와 커넥터의 임피던스 매칭을 위해 슬롯의 길이와 폭은 그림 1(a)와 같이 설계하였다. 그림 2는 설계된 단일 교차 다이폴 안테나의 제작 결과이며, 제작된 안테나의 방사 특성을 측정할 수 있도록 발룬의 하단부에 커넥터를 체결하였다.



(a) 정면도
(a) Top view



(b) 수직 급전선 (c) 안테나의 3차원 구조
(b) Vertical feeder (c) 3D Structure of antenna

그림 1. 단일 교차 다이폴 안테나 구조
Fig. 1 Single cross dipole antenna

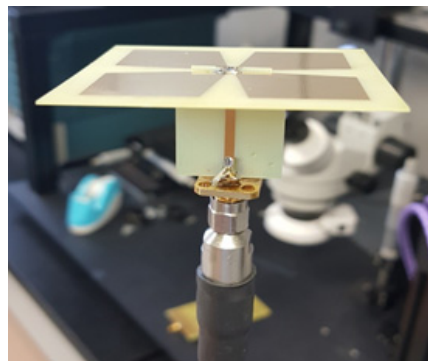


그림 2. 단일 교차 다이폴 안테나 제작 결과
Fig. 2 Fabricated single cross dipole antenna

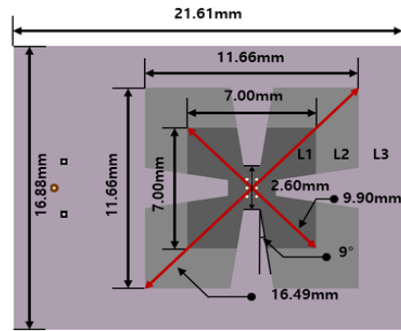
2.2 이중 교차 다이폴 안테나

본 논문에서는 모바일 기기에 적용될 수 있는 이중 교차 다이폴 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 6층 구조로 표 1과 같은 스택업을 적용하여 6층 기판 구조로 설계하였다.

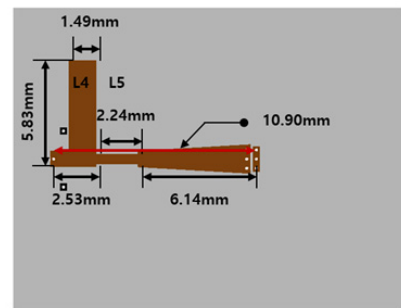
표 1. 이중 교차 다이폴 안테나 스택업 구조
Table 1. Dual cross dipole antenna stackup structure

| Layer | Thickness (um) | Function | Dielectric constant | Loss tangent |
|--------------|----------------|---------------------------|---------------------|--------------|
| layer 1 | 36 | f st radiator | | |
| dielectric 1 | 300 | | 4.4 | 0.012 |
| layer 2 | 18 | s nd radiator | | |
| dielectric 2 | 200 | | 4.4 | 0.012 |
| layer 3 | 18 | reflector | | |
| dielectric 3 | 200 | | 4.4 | 0.012 |
| layer 4 | 18 | feeder & matching network | | |
| dielectric 4 | 200 | | 4.4 | 0.012 |
| layer 5 | 18 | ground | | |
| dielectric 5 | 300 | | 4.4 | 0.012 |
| layer 6 | 36 | connector | | |

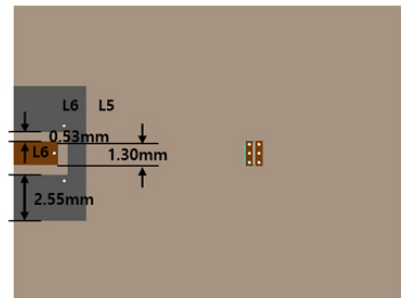
그림 3은 2.4 GHz 주파수에서 동작하도록 설계된 초소형 이중 교차 다이폴 안테나의 구조이다. 그림 3(a)는 제안된 안테나를 위에서 내려다본 정면도이다. 안테나 면적을 최소화하기 위해 1층과 2층에 크기가 서로 다른 교차 다이폴을 배치하였으며, 100 um 직경의 관통비아홀로 두 개 층을 연결하였다. 설계된 교차 다이폴의 대각 방향 최대 길이는 16.49 mm로 동일 주파수에서 동작하는 단일 교차 다이폴 길이 대비 약 3.8배 이하의 크기이며, 3층에는 반사평면을 배치하였다. 그림 3(b)는 급전선과 정합회로 구조이다. 4층은 6.14 mm 길이의 테퍼형 급전선이 안테나와 관통비아홀로 수직 연결되도록 설계하였으며, 5층은 그라운드 평면을 배치하였다[8-10]. 급전선 왼쪽은 동작 주파수에서 안테나와 커넥터 사이 임피던스 매칭을 위해 전송선로 매칭 회로를 배치하였다. 그림 3(c)는 제안된 안테나를 아래에서 올려다본 배면도이며, 6층에 커넥터를 연결하기 위한 CPW(Coplanar Waveguide) 급전구조가 설계되어 있으며[11], 4층 정합회로 및 5층 그라운드 평면과 관통비아홀로 연결하였다.



(a) 정면도
(a) Top view



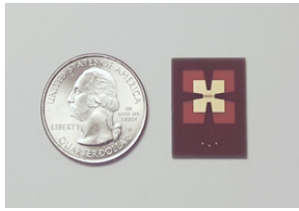
(b) 급전선과 정합회로
(b) Feeder and matching circuit



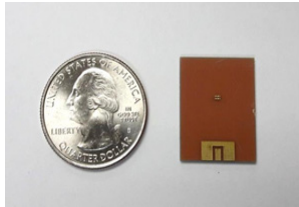
(c) 배면도
(c) Bottom view

그림 3. 제안된 이중 교차 다이폴 안테나 구조
Fig. 3 Proposed dual cross dipole antenna

그림 4는 설계된 이중 교차 다이폴 안테나의 제작 결과이다. 제작된 안테나의 전체 크기는 21.61 mm × 16.88 mm × 1.27 mm로 모바일 기기에 적용될 수 있는 크기이다.



(a) 정면도
(a) Top view



(b) 배면도
(b) Bottom view

그림 4. 이중 교차 다이폴 안테나 제작 결과
Fig. 4 Fabricated dual cross dipole antenna

III. 시뮬레이션 및 측정 결과 분석

그림 5는 방사패치 구조에 따른 반사계수 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 소프트웨어로는 High Frequency Structure Simulator(HFSS)를 적용하였다. 먼저 그림 3에서 제안된 안테나 구조에서 1층의 교차 다이폴을 제외하고 단일 교차 다이폴 구조로만 시뮬레이션 한 경우 공진주파수는 2.6 GHz에서 나타났다. 그러나 1층에 교차 다이폴을 추가하고 제안된 이중 교차 다이폴 구조로 설계를 변경하여 시뮬레이션 한 경우 공진주파수가 2.4 GHz로 변경되었다. 이를 통해 교차 다이폴을 이중으로 설계하면 안테나의 물리적 크기를 확장하지 않고도 안테나 공진주파수를 낮출 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 6은 제안된 안테나의 표면전류분포 시뮬레이션 결과이다. 그림 6(a)는 1층 교차 다이폴의 표면전류분포이며, 그림 6(b)는 2층 교차 다이폴의 표면전류분포이다. 시뮬레이션 결과를 분석해보면 각 층의 다이폴 전류방향이 서로 교차하는 형태임을 알 수 있다.

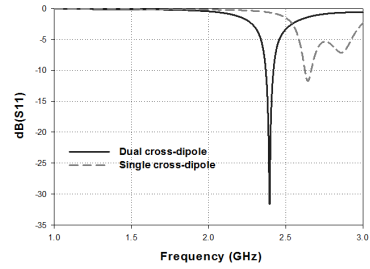
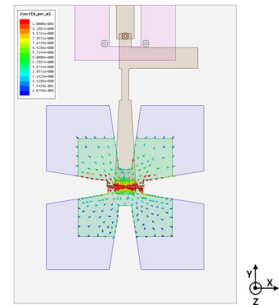
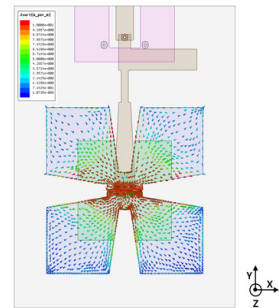


그림 5. 방사패치 구조에 따른 반사계수 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulated reflection coefficient according to radiation patch structure



(a) 1층 교차다이폴
(a) F'st layer cross dipole



(b) 2층 교차 다이폴
(b) S'nd layer cross dipole

그림 6. 제안된 안테나의 표면전류분포 시뮬레이션 결과

Fig. 6 Simulated surface current distribution of proposed antenna

그림 7은 제안된 안테나의 반사계수 시뮬레이션 및 측정 결과이다. 반사계수의 측정오류를 최소화하기 위해 대역폭이 20 GHz인 Agilent E5071C 벡터 네트워크 분석기에 마이크로 프로브를 적용하여 측정하였다.

측정된 반사계수를 분석해보면 동작 주파수인 2.4 GHz에서 -31.5 dB이며, -10 dB 이하 대역폭은 112 MHz 이다. 그리고 측정된 반사계수는 시뮬레이션 결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

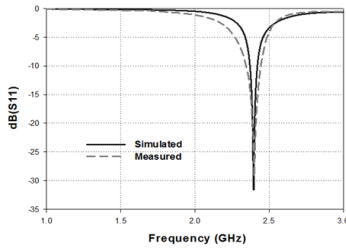
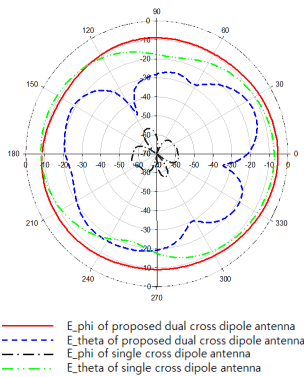


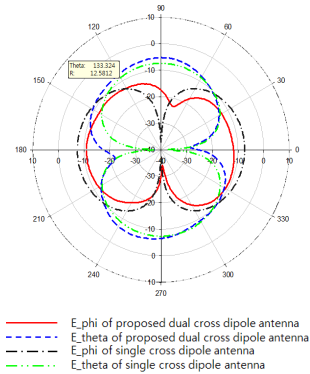
그림 7. 제안된 안테나 반사계수 시뮬레이션 및 측정 결과

Fig. 7 Simulated and measured reflection coefficient of proposed antenna

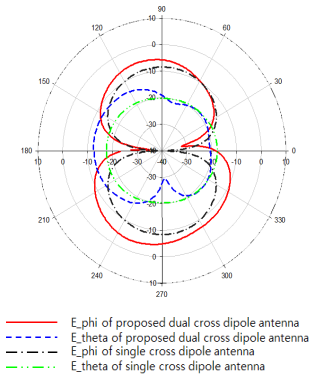
그림 8은 제안된 안테나의 방사패턴 측정 결과이다. 방사패턴의 측정은 최대 측정 주파수 범위가 50 GHz이며, 크기가 14 m × 7 m × 6.7 m인 안테나 Far-field 측정 챔버에서 측정된 이중 크로스 다이폴 안테나의 계인은 -4 dBi로 단일 교차 다이폴과 유사 형태인 무지향성의 방사 특성을 보이므로 모바일 기기용 안테나로 적합하다.



(a) YZ 평면
(a) YZ plane



(b) XZ 평면
(b) XZ plane



(c) XY 평면
(c) XY plane

그림 8. 제안된 안테나 방사패턴 측정 결과
Fig. 8 Measured radiation patterns for the proposed antenna

IV. 결론

본 논문에서는 주파수 2.4 GHz에서 동작하는 초소형 이중 교차 다이폴 안테나 기판을 설계 및 제작하였다. 제안된 기판구조의 초소형 이중 교차 다이폴 안테나는 먼저 1층과 2층에 크기가 서로 다른 교차 다이폴을 배치하고 다음으로 3층에 반사평면과 4층에 테퍼형 급전선 및 전송선로 정합회로를 배치하였다. 마지막으로 5층에 그라운드 평면과 6층에 커넥터를 연결하기 위한 CPW(Coplanar Waveguide) 급전구조를 배치하고 관통비아홀을 적용하여 전체 안테나 구

조 연결하였다. 본 논문에서 적용한 6층 기판 구조의 이중 교차 다이폴을 적용하면 안테나의 높이와 크기를 소형화시킬 수 있다. 제작된 안테나의 크기는 21.61 mm × 16.88 mm × 1.27 mm이며, 측정된 반사계수는 -31.5 dB이고, -10 dB 이하 대역폭은 112 MHz 이다. 또한 안테나의 게인은 -4 dBi로 무지향성의 방사 특성을 가지므로 모바일 기기용 안테나로 다양한 분야에 확대 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2019년도 자방자치단체(광주광역시)의 지원을 받아 수행된 광산업점프업프로그램사업의 성과임

References

[1] K. Hiraswa and M. Haneishi, *Analysis, Design and Measurement of small and Low-Profile Antennas*. Artech House, London, 1992.

[2] K. Lee and M. Han, "Design of Multi-band Antenna Using Metal Frame Coupling for Wearable Device Application," *J. of Korea information electron communication technology*, vol. 10, no. 6, 2017, pp. 522-528.

[3] H. Lee, "Design of an Electrically Small Antenna Using Metamatetial Structure," *J. of Korea institute of information, electronics and communication technology*, vol. 3, no. 1, 2010, pp. 24-30.

[4] D. Pozar, *Microwave engineering*. New York: Wiley, 2011.

[5] T. Chiou and K. Wong, "Broadband dual-polarized single microstrip patch antenna with high isolation and low cross polarization," *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. 50, no. 30, 2002, pp. 394-401.

[6] H. Lee, "The Design and Fabrication for Wireless Repeater Patch Antenna of Wide-band Dual polarization," *J. of Korea institute of electronic communication science*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1287-1292.

[7] S. Lee, T. Oh, J. Ha, and Y. Lee, "Design of

Dual-Polarization Antennas with High Cross-Polarization Discrimination," *J. of Korea institute of information, electronics and communication technology*, vol. 10, no. 3, 2017, pp. 199-205.

[8] S. Yeo, S. Hong, H. Choi, and C. Yoon, "Data-link Antenna Design for Drone Control," *J. of Korea institute of electronic communication science*, vol. 13, no. 6, 2018, pp. 1169-1176.

[9] T. Rutkowski, W. Zieniutycz, and K. Joachimowski, "Wideband coaxial balun for antenna application," *IEEE Int. Conf. on Microwaves and Radar*, Krakow, Poland, 1998.

[10] S. Lin, T. Chiou, W. Huang, and W. Chen, "A dual-polarized dipole antenna with balun feed," *IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation*, Kaohsiung, Taiwan, 2014.

[11] S. Park, N. Kim, S. Rhee, and S. Lee, "Spiral slot antenna fed by Coplanar Waveguide using magnetic phase difference," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 52, no. 1, 2010, pp. 28-30.

저자 소개



사기동(Gi-Dong Sa)

2003년 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2005년 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2013년~현재 전남대학교 대학원 전자공학과 재학 (박사과정)
 2005년~2010년 (주)이수페타시스 선행기술연구소 전임연구원
 2010년~2012년 한국모토로라 H/W개발 전임연구원
 2012년~2013년 삼성테크윈(주) 선행기술연구소 책임연구원
 2013년~현재 한국광기술원 책임연구원
 ※ 관심분야 : Signal and Power Integrity, RF Circuit Design, Computational Electromagnetics, Stretchable and Implantable bio system



김사웅(Sa-Ung Kim)

2016년 전남대학교 전자공학과
졸업(공학사)

2017년~현재 한국광기술원 연구
원

※ 관심분야 : RF Circuit Design, Stretchable and
Implantable Bio system



임영석(Yeong-Seog Lim)

1980년 서울대학교 전자공학과
졸업(공학사)

1982년 서울대학교 대학원 전자
공학과 졸업(공학석사)

1989년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학
박사)

1984년~현재 전남대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : Antenna and RF Circuit Design

