

60 GHz 대역에서 공기층 구조를 적용한 고격리도 이중편파 안테나에 관한 연구

김호성, 장태환*

한양대학교 서울대학원 전자공학과, *한양대학교 ERICA 전자공학부

gmania10@hanyang.ac.kr, *hundredwin@hanyang.ac.kr

A Study on a High-Isolation, Dual-Polarized 60 GHz Antenna Employing an Air-Gap Structure

Kim Ho Seong, Kim Yoo Shin*

Hanyang Univ., *Hanyang Univ. ERICA

요약

본 논문은 60 GHz 비허가 V-band에서 동작하는 이중편파 안테나를 대상으로, 공기층 기반 다층 구조와 Soft-surface 구조를 적용하여 광대역 임피던스 특성과 높은 포트간 아이솔레이션을 동시에 확보하는 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 슬롯 결합과 순환 전류 형성 매커니즘을 통해 결합을 효과적으로 제어하며, 57.2-61 GHz 대역에서의 안정적인 방사 특성과 약 7 dBi 수준의 Realized Gain을 달성하였다. 이를 통해 mmWave 대역 고성능 이중편파 안테나 설계에 대한 효과적인 구조적 접근 방안을 제시한다.

I. 서론

본 논문에서는 60 GHz 대역은 비허가로 개방된 V-band(57 - 64 GHz)에 해당하며, 수 GHz 이상의 넓은 가용 대역폭을 제공함으로써 초고속 무선통신, 근거리 고용량 데이터 전송, 그리고 초고주파 기반 차세대 통신 시스템에서 핵심적인 주파수 자원으로 활용되고 있다. 특히 자유 공간에서의 경로 손실이 큰 초고주파 환경에서는 안테나 성능이 시스템 전체의 신뢰성과 효율을 좌우하므로, 높은 이득과 안정적인 방사특성을 동시에 만족하는 안테나 설계가 요구된다. 따라서 MIMO 시스템에서 데이터 전송률을 효과적으로 증가시킬 수 있는 이중 편파 안테나를 제안한다.

II. 본론

1) Antenna Geometry

그림 1은 본 연구에서 제안한 60 GHz 대역 고격리도 이중 편파 안테나의 구조를 나타낸다. 제안된 안테나는 밀리미터파 대역에서 우수한 저손실 특성을 가지는 Megatron 7 ($\epsilon_r = 3.25$) 기판을 기반으로 구현하였으며, 임피던스 대역폭 확장과 표면파 억제에 공극층(Air-Gap)을 포함한 다층 적층 구조를 채택하였다. 하부층에서는 안테나 급전을 위한 마이크로스트립 전송 선로가 형성되어 있으며, 실제 측정을 고려하여 G-S-G(Ground - Signal-Ground) 프로브를 이용한 측정이 가능하도록 GCPW(Ground Coplanar Waveguide) 구조로 설계되었다. 급전층 상부에는 접지면과 함께 슬롯 구조가 배치되어, 급전 선로로부터 방사 소자로의 전자기적 결합이 이루어지도록 설계하였다. 방사를 위한 원형 패치는 접지면 상부에 위치하며, 그사이에 공기층 구조와 Soft-Surface 구조가 함께 삽입되어 유효 유전율을 감소시키며, 방사 효율을 향상시킨다. 또한 기판 내부에서 발생하는 표면파 및 기판 모드에 의한 성능 열화를 억제하기 위해, 각 금속층에는 1/2 Onz의 구리를 사용한 Soft-Surface 구조가 적용되었다. 제안된 안테나는 이중편파 동작시에 안정적인 방사 특성을 확보하기 위해 X축 및 Y축에 대해 대칭적인 구

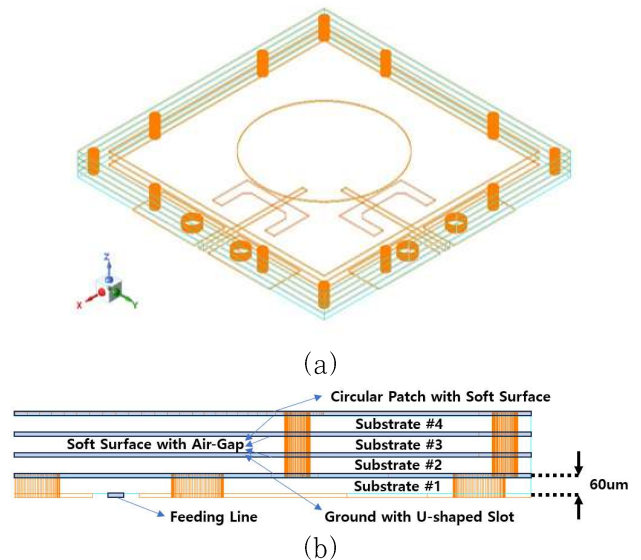
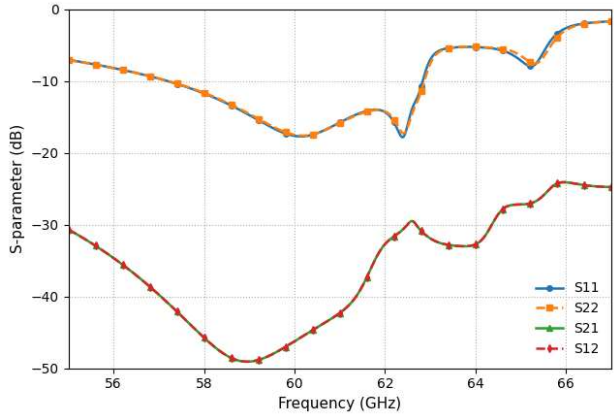


그림. 1. 안테나의 기하 구조. (a) 3D 관점, (b) 측면 관점

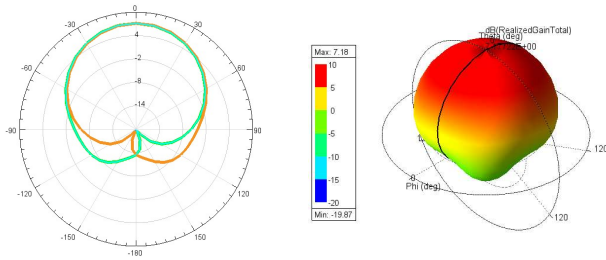
조로 설계되었다. 두 개의 직교한 결합 구조를 통해 서로 독립적인 포트를 통해 높은 두 포트 간 고격리도를 달성할 수 있었다. 본 연구에서 제안한 안테나는 비허가 V-band 중 57.2-61 GHz 주파수 대역을 커버하도록 최적화되었으며, 전체 구조는 3차원 전파 해석 기법의 전자기 시뮬레이터를 이용하여 설계 및 최적화되었다.

2) Operating Principle

그림 2는 제안된 이중편파 안테나의 시뮬레이션된 S-parameter 특성을 나타낸다. 안테나의 S11과 S22가 대칭적 구조로 인해 동일하며, S11과 S22의 결과로부터 57.2-62.8 GHz 범위의 임피던스 대역폭을 확보함을 확인할 수 있다. 이와 같은 광대역 특성은 슬롯 결합 구조와 공기층을 포함한 다층 구조에 의해 형성된 다중 공진 효과에 기인한다.

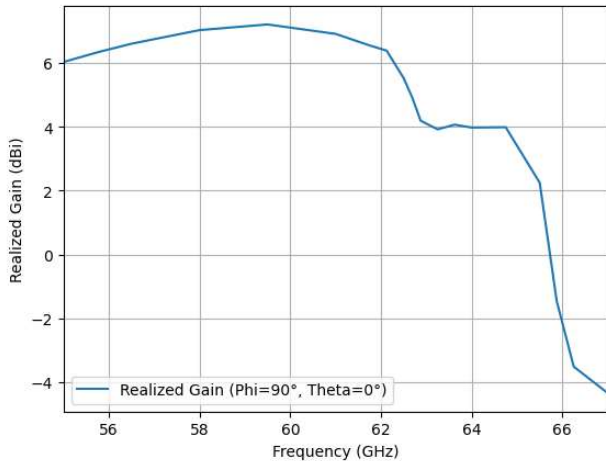


(a)



(b)

(c)



(d)

그림 2. (a) S-parameter 시뮬레이션 결과, (b) 두 편파 포트에 대한 2차원 방사 패턴 결과, (c) 3D 실효 이득 방사 패턴, (d) 제안된 안테나의 주파수에 따른 실효 이득 결과

포트 간의 격리 특성을 나타내는 S21 및 S12는 상대성을 만족하는 동시에 동작 대역에서 -30dB 이하의 매우 우수한 격리 특성을 보이며, 60GHz 부근에서는 -45dB 이하의 우수한 격리 특성을 보인다. 이러한 포트 간 격리도 특성은 Soft-Surface 구조에 의해 기판 내부에서 발생하는 표면파 및 기판 모드 전파를 억제하며 형성된 전자기적 차폐 효과와 공기층 기반 방사 구조 그리고 슬롯 결합 구조에 의해 달성된다.

슬롯 및 방사 패치에서 유도된 전류는 원형 패치 안테나의 가장자리를 따라 순환 전류 형태를 보이면서 특정 주파수 대역에서 급전 선로에 대해 직교 성분을 가지도록 분포하며, 급전 선로 방향으로의 결합이 억제되어 다중 공진이 임피던스 특성 안정화에 따라 효과적으로 활용될 수 있다.

그림 2에 나타난 주파수에 따른 실효 이득(Realized Gain) 특성으로부터 제안된 안테나는 57.2-61 GHz 동작 대역에서 약 6.5-7.2 dBi의

표. 1. Comparison Table

Ref.	Freq. (GHz)	Im. BW (%)	Gain (dBi)	Isolation (dB)
[1]	94	6.5	13.5	>16
[2]	60	18.6	12	>26
[3]	60	22	12.5	>15
[4]	60	15	8.6	>37.2
This Work	60	9	7.2	>45

안정적인 이득을 유지함을 확인 할 수 있다. 또한 2차원 및 3차원 방사 패턴 결과에서 주 방사 방향으로 안정적인 지향 특성이 유지되는 것을 통해 전류 분포 특성이 실제 방사 성능으로 연결되고 있음을 보여준다.

III. 결론

본 논문에서는 V-band에서 동작하는 고격리도를 가진 이중 편파 안테나를 제안하였다. 공기층을 포함한 다중 구조와 슬롯 결합 방식을 적용하여 광대역 임피던스 특성과 높은 포트간 격리도 특성을 동시에 달성하도록 설계하였다. 또한 Soft-Surface 구조를 적용함으로써 표면파 전파를 억제하고, 전류가 방사 패치 주변에 집중되도록 유도하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 안테나는 -10dB 기준으로 57.2-62.8 GHz의 광대역 임피던스 대역폭을 확보하였으며, 전 동작 대역에서 -30dB 이하, 특히 60GHz 부근에서 -45dB 이하의 격리도 특성을 보여주고 있다. 표면 전류 분포 분석을 통해, 패치와 슬롯에서 유도된 전류가 위상에 따라 순환하는 형태로 분포하며 급전선로 방향 결합을 효과적으로 상쇄함으로써 높은 격리도 특성이 달성됨을 확인하였다. 방사 특성 분석 결과, 제안된 안테나는 주 방사 방향으로 안정적인 지향 특성을 유지하도록 하였으며, 동작 대역에서 약 6.5-7.2 dBi의 실효 이득을 나타내어 입력 전력이 효율적으로 방사됨을 검증하였다. 이러한 결과는 제안된 구조가 임피던스 정합, 포트 간 격리 특성 그리고 방사 특성을 동시에 만족한 설계임을 보여준다.

ACKNOWLEDGMENT

Put sponsor acknowledgments.

참 고 문 헌

- [1] Z. Chen, Y. P. Zhang, A. Bisognin, D. Titz, F. Ferrero, and C. Luxey, "A 94-GHz dual-polarized microstrip mesh array antenna in LTCC technology," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 15, pp. 634 - 637, Aug. 2016.
- [2] S. Liao and Q. Xue, "Dual polarized planar aperture antenna on LTCC for 60-GHz antenna-in-package applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, no. 1, pp. 63 - 70, Jan. 2017.
- [3] Y. Li and K.-M. Luk, "60-GHz dual-polarized two-dimensional switchbeam wideband antenna array of aperture-coupled magneto-electric dipoles," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 64, no. 2, pp. 554 - 563, Feb. 2016.
- [4] T. H. Jang and C. S. Park, "60 GHz Low-Profile, Wideband Dual-Polarized U-Slot Coupled Patch Antenna With High Isolation," in *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 67, no. 7, pp. 4453-4462, July 2019.