

밀리미터파 광대역 자기 전기 다이폴 비대칭 보우타이에 관한 연구

오승욱, 장태환*
한양대학교 ERICA

e-mail: dun05045@hanyang.ac.kr, hundredwin@hanyang.ac.kr*

A Study on Asymmetric Bowtie Based Wideband Magnetolectric Dipole

Oh Seung Uk, Jang Tae Hwan*
Hanyang University ERICA Campus

요 약

본 논문에서는 방사 패턴 균일성을 향상시키고 보어사이트 및 오프보어사이트 이득 변동을 최소화하기 위해 광대역 엔드파이어 밀리미터파(mmWave) 비대칭 보우타이 자기전기(ME) 다이폴 안테나를 제안합니다. 45GHz 에서 대칭 보우타이 ME 다이폴 안테나는 암 사이의 강한 E-field 로 인해 보어사이트 방향에서 왜곡된 방사 패턴과 과도한 이득을 나타내며 방사각이 좁습니다. 이러한 한계를 극복하기 위해 제안된 안테나는 보우타이 암 각도를 감소시켜 E-field 집중을 줄입니다. 결과적으로, 비대칭 보우타이는 더 넓은 진행파 전파 영역을 가능하게 하고 보어사이트 방향에서의 과도한 이득 증가를 억제합니다.

I. 서론

이전에 보고된 연구[1-3]에서는 대역폭뿐만 아니라 무선 채널의 이득 평탄도 또한 EVM 성능 향상에 중요한 역할을 한다는 점을 강조했습니다. [4]에서 논의된 바와 같이, 약 -23dB 의 EVM 성능을 확보하기 위해서는 이득 변동을 약 1dB 이내로 제한해야 합니다. EVM 은 2 차 및 3 차 intermodulation distortion (IMD2 및 IMD3), image rejection ratio (IMRR), LO feed through (LOFT), phase noise (ϕ_{rms}), 열 잡음 및 이득 변동 와 같은 여러 매개변수에 의해 결정됩니다. 안테나 방사 패턴은 주파수에 따라 변하므로, 다양한 각도에서 채널 특성이 불안정해집니다. 따라서 위 방정식에 따르면 균일한 채널 특성을 위해서는 안테나 이득이 정면 방향과 정면 외 방향 모두에서 최소한의 변화를 보여야 합니다.

II. 안테나 설계

그림 1 은 제안된 안테나의 기하학적 구조를 나타낸다. 제안된 안테나는 엔드파이어 ME 다이폴 안테나[1]의 변형된 버전이다. 여기 방식은 두 개의 마이크로스트립 라인 사이에 위상차를 생성하는 기존 발룬을 사용한다. 제안된 안테나의 전체 크기는 $24 \times 16 \text{ mm}^2$ 이며, 이는 $2.96 \times 1.97 \lambda_0^2$ 에 해당한다. 여기서 λ_0 는 37 GHz 에서의 자유 공간 파장으로 8.1 mm 로 가정한다. Taconic TLY-5 기판을 사용하며, 두께는 0.254 mm, 손실 탄젠트($\tan \delta = 0.0009$), 유전율($\epsilon_r = 2.2$)을 갖는다. 각 구리층의 두께는 18 μm 이다.

III. 안테나 분석

그림 2 의 $t = T/4$ 및 45GHz 에서 E-field 분포에 뚜렷한 차이가 관찰되며, $\phi = 0^\circ$ 및 180° 에서 널(null)이 나타납니다. 작은 각도 $\theta_{rad,S}$ 를 갖는 대칭형

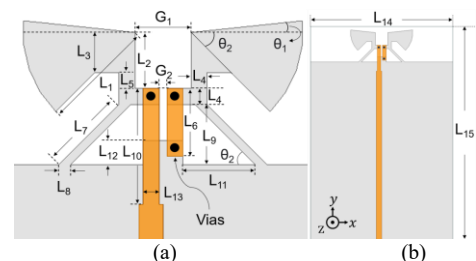


그림 1. 제안된 안테나의 기하학적 구조. (a) 닫힌 평면도 및 (b) 전체 평면도. 각 파라미터의 치수는 밀리미터 단위로 $L1=2.8$, $L2=1.4$, $L3=1$, $L4=0.4$, $L5=0.4$, $L6=1.7$, $L7=2.12$, $L8=0.3$, $L9=1.5$, $L10=2.9$, $L11=1.8$, $L12=0.4$, $L13=0.4$, $L14=16$, $L15=24$, $G1=1.5$, $G2=0.2$, $\theta_1=6^\circ$, $\theta_2=45^\circ$ 이다.

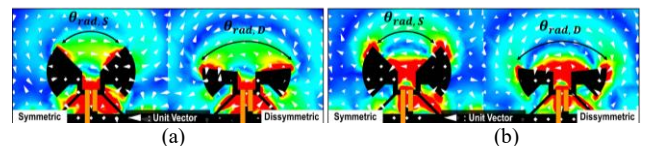


그림 2 (c) $t=0$ 및 45GHz, (d) $t=T/4$ 및 45GHz 에서 대칭 및 비대칭 보우타이 ME 다이폴 안테나의 E-필드 분포.

보우타이 구조는 E-field 를 팔 끝 부근에 집중시킵니다. 보우타이 팔에서는 수직 방향 전류 성분이 관찰됩니다. 이러한 E-field 분포는 $\phi = 0^\circ$ 및 180° 에서 깊은 방사 널을 유발합니다. 반면, 더 큰 각도 $\theta_{rad,D}$ 를 갖는 비대칭형 보우타이 구조는 팔 측면을 따라 강한 E-field 를 생성하며, 보우타이 팔을 따라 약 45° 각도로 흐르는 표면 전류가 관찰됩니다. 이는 보우타이 팔 측면을 따라 강한 E-field 가 형성되어 이전에 $\phi = 0^\circ$ 및 180° 에서 관찰되었던 방사 널이 사라짐을 나타냅니다. 결과적으로, 그림 3 과 같이 이러한 구조적 개선은 전체 방사 범위를 확장하고, 과도한 E-field 집중을 분산시키며, 넓은 주파수 범위에 걸쳐 더욱 균일한 방사 패턴을 생성합니다.

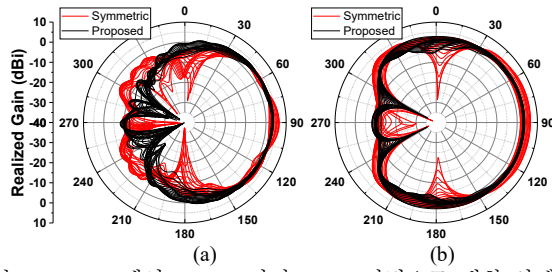


그림 3. 25GHz 에서 45GHz 까지 1GHz 간격으로 대칭 안테나와 제안된 안테나의 중첩된 방사 패턴. (a) E 면 및 (b) H 면.

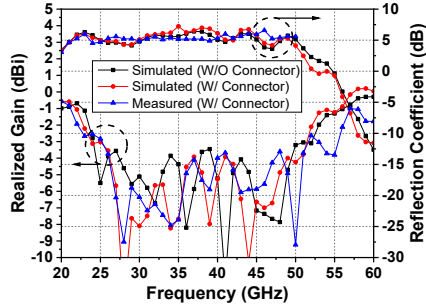


그림 4. 제안된 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 반사 계수와 실현 이득.

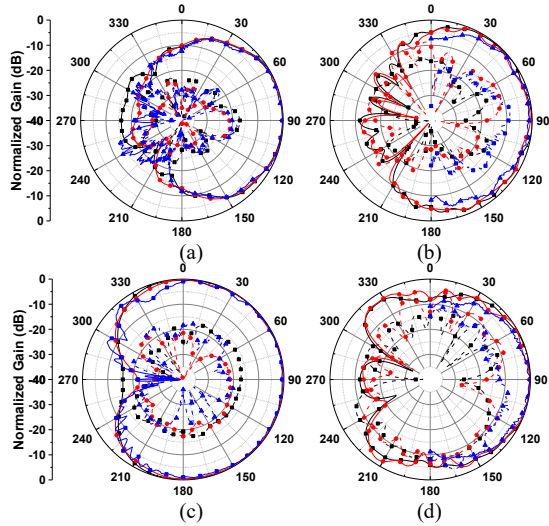


그림 5. 제안된 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 정규화된 방사 패턴. (a) 25GHz 에서의 E-평면, (b) 35GHz 에서의 E-평면, (c) 45GHz 에서의 E-평면, (d) 25GHz 에서의 H-평면, (e) 35GHz 에서의 H-평면, (f) 45GHz 에서의 H-평면.

그림 4 은 제안된 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 반사 계수와 실현 이득을 나타낸다. 시뮬레이션 결과, S11 대역폭은 23.4GHz 에서 51.7GHz 까지 75.3%이며, 보어사이트 방향 이득은 2.6dBi 에서 3.65dBi 까지 1.05dB 범위 내에서 변화한다. 측정 결과는 22.5GHz 에서 55.8GHz 까지 83.8%의 S11 대역폭과 3.72dBi 의 최대 이득을 보여준다. 22GHz 에서 50GHz 까지의 주파수 범위에서 보어사이트 방향 이득은 2.94dBi 에서 3.72dBi 까지 0.78dB 범위 내에서만 변화한다. 또한, 이 안테나는 20GHz 에서 50GHz 까지 85.7%의 3dB 이득 대역폭을 나타낸다. 커넥터를 안테나에 통합했을 때, S11 및 이득에 미치는 영향은 무시할 수 있을 정도로 미미한 것으로 나타났습니다.

그림 5 는 제안된 안테나의 25GHz 및 45GHz 에서의 시뮬레이션 및 측정된 정규화된 방사 패턴을 비교한 것이다. 전반적으로 측정된 방사 패턴은 시뮬레이션

결과와 잘 일치한다. 그러나 45GHz 에서는 측정된 교차 편파 레벨이 시뮬레이션 결과보다 높게 나타났다. 이는 단자 연결부와 제작 오차의 영향 때문으로 추정된다.

V. 결론

본 연구에서는 광대역 엔드파이어 밀리미터파 비대칭 보우타이 ME 다이폴 안테나를 제시합니다. 45GHz 에서 대칭 보우타이 안테나는 밀접하게 배치된 암 사이의 E-field 집중으로 인해 방사 패턴이 왜곡되고 보어사이트 방향으로 이득이 증가하는 문제를 겪습니다. 본 연구에서 제안하는 비대칭 설계는 보우타이 암 각도를 감소시켜 중심 E-field 집중을 줄입니다. 이를 통해 보어사이트 및 오프보어사이트 방향 모두에서 이득 변화가 크게 개선되어 보다 균일한 방사 패턴으로 더 넓은 진행과 전파가 가능합니다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행되었음 (RS-2024-00335614).

참 고 문 헌

- [1] Wei Zhu, Jiawen Wang, Xiaohan Zhang, Wei Lv, Bingbing Liao, Yanping Zhu, Yan Wang, "A 24–28-GHz Four-Element Phased-Array Transceiver Front End With 21.1%/16.6% Transmitter Peak/OP1dB PAE and Subdegree Phase Resolution Supporting 2.4 Gb/s in 256-QAM for 5-G Communications," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol.69, no.6, pp.2854-2869, Apr. 2021.
- [2] J. Pang et al., "A 50.1-Gb/s 60-GHz CMOS transceiver for IEEE 802.11ay with calibration of LO feedthrough and I/Q imbalance," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 54, no. 5, pp. 1375–1390, May 2019.
- [3] R. Wu et al., "64-QAM 60-GHz CMOS Transceivers for IEEE 802.11ad/ay," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 52, no. 11, pp. 2871–2891, Nov. 2017.
- [4] J. Zeng and K. M. Luk, "Wideband Millimeter-Wave End-Fire Magnetoelectric Dipole Antenna with Microstrip-Line Feed," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 68, no. 4, pp. 2658–2665, Apr. 2020.