

## 금속 프레임 태블릿을 위한 저지향성 안테나 설계

## Low-Directivity Antenna Design for Metal-Framed Tablets

이 한 빈<sup>1</sup> · 김 병 성<sup>2</sup>

Han-Bin Lee<sup>1</sup> · Byung-Sung Kim<sup>2</sup>

### 요 약

본 논문에서는 금속 프레임을 가지는 모바일 기기에 적용할 수 있는 저 지향성 안테나 구조를 제안한다. 제안된 안테나 구조는 금속 프레임을 가지는 태블릿 모델에서 외각 프레임으로 IFA(inverted F antenna)를 설계하고 시스템 그라운드에 슬릿을 삽입하여 안테나의 효율 저하 없이 최대 지향성을 저감시켰다. 추가한 슬릿은 LCD의 금속 영역과 중첩되지 않도록 꺾인 슬릿 구조를 사용하였다. 제안된 안테나의  $-10$  dB 임피던스 대역폭은  $3.5 \sim 3.7$  GHz 대역으로 미국 FCC(federal communications commission)에서 EIRP(effective isotropic radiated power) 값을  $23$  dBm 이하로 LTE 주파수 중 가장 낮게 관리하는 LTE Band 48( $3.5 \sim 3.7$  GHz) 대역을 완전히 포함한다. 해당 대역에서 최대 지향성은  $4$  dBi 이하이다.

### Abstract

This paper proposes a low-directivity antenna structure applicable to devices with a metal frame. The proposed antenna structure is designed as an Inverted-F Antenna (IFA) using the outer frame of a tablet with a metal frame, and a slit is inserted into the system ground to reduce the maximum directivity without degrading antenna efficiency. The added slit adopts a bent structure to prevent overlapping with the metallic area of the LCD. The proposed antenna has a  $-10$  dB impedance bandwidth of  $3.5 \sim 3.7$  GHz, fully covering the LTE Band 48 ( $3.5 \sim 3.7$  GHz), which is regulated by the U.S. Federal Communications Commission (FCC) with an effective isotropic radiated power (EIRP) limit of  $23$  dBm, the lowest among LTE frequency bands. The maximum directivity in this band remains below  $4$  dBi.

Key words: Antenna, Tablets, Metal-Framed Device, Low-Directivity, EIRP

### I. 서 론

미국 FCC는 LTE 대역에서 단말기 안테나의 EIRP를 규제하며<sup>[1]</sup>, 특히 LTE Band 48( $3.55 \sim 3.7$ GHz) 대역은 공공 및 사설 네트워크, 해군 레이더 시스템, 고출력 위성 지구국 시스템에서 사용된다. 이러한 주파수 공유 환경에

서 장치 간 간섭을 최소화하기 위해 FCC는 LTE Band 48 대역에서 단말기의 EIRP를  $23$  dBm 미만으로 LTE Band 중 가장 낮게 제한하고 있다. 따라서 단말기 통신 성능을 유지하면서도 EIRP 규제를 만족시키기 위해 안테나의 방사 패턴을 조절하여 효율 저하 없이 최대 지향성을 줄이는 방법이 필요하다.

성균관대학교 DMC공학과(Department of Digital Media Communication Engineering, Sungkyunkwan University)

1: 석사과정(<https://orcid.org/0009-0005-3880-0171>), 2: 교수(<https://orcid.org/0000-0003-3084-6499>)

· Manuscript received April 8, 2025 ; Revised April 28, 2025 ; Accepted May 13, 2025. (ID No. 20250408-035)

· Corresponding Author: Byung-Sung Kim (e-mail: [bskimce@skku.edu](mailto:bskimce@skku.edu))

특히 태블릿과 같이 시스템 그라운드가 큰 제품에는 단일 안테나를 사용하더라도 태블릿 구조 전체에 걸쳐 반복되는 전류가 형성되며, 이는 복수의 방사체가 존재하는 것과 유사한 효과를 유발하여 높은 지향성이 나타난다.

기존 태블릿 안테나에 관한 연구들은 주로 주파수 대역 확보 및 안테나 효율 개선에 초점을 맞추고 있으며<sup>[2]~[3]</sup>, 낮은 지향성을 확보하기 위한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 또한, 낮은 지향성을 갖는 안테나 연구는 대부분 자유 공간에서 준 등방성(quasi-isotropic) 방사 패턴을 구현하는 데 초점이 맞춰져 있으며<sup>[4]~[7]</sup>, 실제 단말기 환경에서의 구현 방법에 대한 연구는 부족하다.

본 논문에서는 금속 프레임에 가진 태블릿 단말기에서 시스템 그라운드의 특정 위치에 슬릿을 삽입하여 동일한 주파수와 안테나 구조임에도 전류의 분포 강도를 줄여 최대 지향성을 저감 시키는 안테나 구조를 제안하였다.

시뮬레이션은 Dassault Systems 사의 CST Studio Suite Tool을 사용하여 수행하였다.

## II. 금속 태블릿 안테나 구조 및 설계

그림 1(a)은 실제 금속 태블릿에서 안테나 동작에 중요한 구성 요소들을 단순화한 구조를 나타낸다. 실제 출시되는 태블릿 기기 중 가장 큰 Galaxy S10 Ultra 크기로 설계하였고 LCD와 aluminum 프레임 사이에 회로 구성을 위한 PCB 기판으로 구성하였다. 그림 2는 태블릿 상, 하단에 polycarbonate 유전체를 삽입하여 최외각에 있는 금속 프레임을 안테나로 활용할 수 있도록 전체 금속과 이격시킨 구조를 나타낸다. 지향성 저감을 위한 슬릿은 그림 1(b)처럼 태블릿 측면에 설계하였고 슬릿의 내부가 LCD의 Cu sheet와 중첩되지 않도록 꺾인 구조로 설계하였다.

그림 2는 PCB에서 금속 프레임으로 C-clip을 사용하여 안테나 급전과 단락을 위한 컨택 구조를 나타내었다. C-clip은 PCB의 안테나 매칭 배선을 외곽 금속프레임에 컨택하기 위한 구조물이며 일반적으로 aluminum을 사용한다. 목표한 LTE Band 48 대역(3.5~3.7 GHz)에 공진이 형성되도록 LC 매칭 소자를 추가하였다(표 1).

그림 3은 시스템 그라운드 영역에 추가된 슬릿 길이  $L_4$ 에 따른 반사계수와 최대 지향성 변화를 시뮬레이션으로

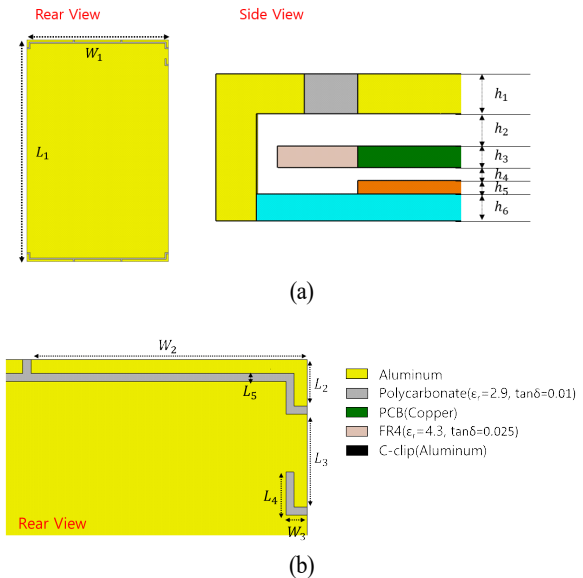


그림 1. 제안된 태블릿 안테나 구조

Fig. 1. Proposed antenna structure applied to the tablet.

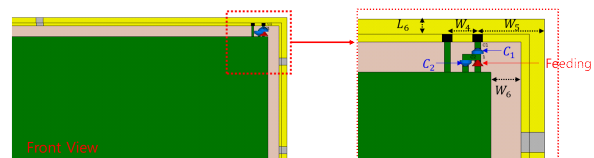


그림 2. 안테나 급전 구조,  $C_1=2$  pF,  $C_2=1.2$  pF

Fig. 2. Antenna feeding structure.

표 1. 태블릿 설계 파라미터(단위: mm)

Table 1. Design parameters of tablet (unit: mm).

$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$L_1$	$L_2$	$L_3$
208	68	3.3	2.5	6.6	3	326	11.3	23
$L_4$	$L_5$	$L_6$	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$
11	2	1.5	1.5	1.2	1	0.5	0.5	1

확인한 결과를 나타낸 것으로  $L_4$ 가 11 mm인 경우  $-10$  dB 임피던스 대역폭이 목표 대역인 3.5~3.7GHz 대역을 온전히 포함하며 지향성 또한 목표 대역 내에서 가장 낮은 최댓값을 가진다.

그림 4는  $L_4$ 가 11 mm로 고정된 조건에서 안테나 종단에서부터 슬릿 시작 위치  $L_3$ 에 따른 반사계수와 최대 지

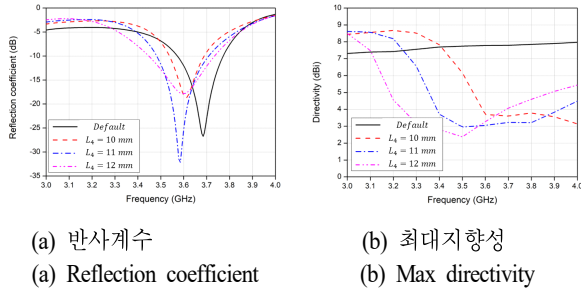


그림 3.  $L_4$  값에 따른 안테나 특성 변화  
Fig. 3. Simulation results depending on  $L_4$ .

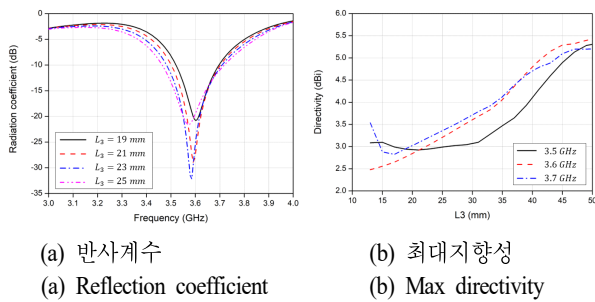


그림 4.  $L_3$  값에 따른 안테나 특성 변화  
Fig. 4. Simulation results depending on  $L_3$ .

향성을 나타낸 것이다.  $L_3$ 가 줄어들 때 3.5~3.7 GHz 대역의 최대 지향성이 점점 더 줄어드는 경향을 보이지만  $L_3$  23 mm보다 줄어들면 목표 대역 내에서 임피던스 대역폭이 확보되지 않는다.

그림 5는 최종 사양( $L_3=23$  mm,  $L_4=11$  mm)에서 시스템 그라운드 슬릿 유무에 따라 그라운드의 장축으로 흐르는 표면전류가 변화를 나타낸 것이다. 기존 사양에서는 세로방향으로 다이폴 안테나처럼 반복되는 전류 분포가 형성되어 어레이 안테나처럼 동작하며 위에서 아래까지 상대적으로 균일한 전류 세기를 가진다. 반면에 슬릿이 추가된 구조에서는 이 전류의 반복 구조는 유지되지만, 아래쪽으로 갈수록 전류의 세기가 점진적으로 감소하는 양상이 나타난다.

그림 6은 3.6 GHz에서 시스템 그라운드의 슬릿 유무에 따른 방사 패턴과 최대 지향성 값을 나타낸 것이다. 슬릿이 없는 경우 최대 지향성은 7.79 dBi로 태블릿 구조 전체에 걸친 전류 분포로 인해 아래 방향으로 높은 지향성을

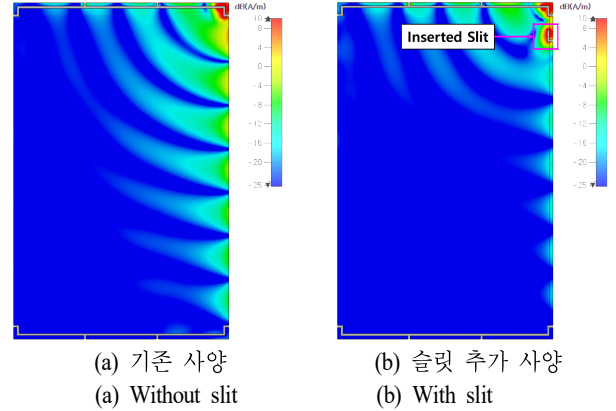


그림 5. 3.6 GHz에서 슬릿 유무에 따른 표면전류 분포  
Fig. 5. Surface current distribution with and without slit at 3.6 GHz.

나타낸다. 반면 슬릿을 추가한 경우 최대 지향성은 3.22 dBi로 약 4.5 dB 감소하며, 이는 추가된 슬릿 삽입 구조에서 전 방향 방사 특성이 크게 향상된 것을 확인할 수 있다.

결과적으로 삽입된 슬릿 구조는 시스템 그라운드 내부에 흐르는 표면전류의 연속적인 흐름을 방해하여 특정 방향으로 강하게 몰리던 전류를 효과적으로 약화시키고 다른 방향으로 전류를 재분포시키는 역할을 수행한다. 이러한 결과는 전류 재분포 현상은 그림 5(b)의 세로로 흐르는 표면전류의 세기가 감소한 것과, 그림 6(b)에서 방사패턴이 등방성에 가깝게 변한 것을 통해 확인할 수 있다. 그림 3 및 그림 4에서 확인할 수 있듯이 슬릿의 길이와 위치에 따라 효과적으로 약화시키는 주파수 대역이 변화하는 특

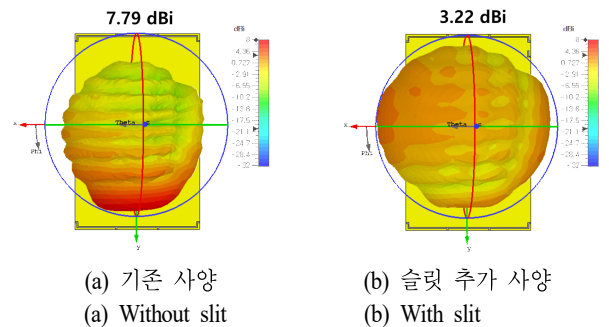


그림 6. 3.6 GHz에서 슬릿 유무에 따른 방사패턴 및 최대 지향성  
Fig. 6. Radiation pattern and max-directivity at 3.6 GHz with and without slit.

성이 나타난다. 따라서 목표로 하는 주파수 대역에 맞추어 슬릿의 길이와 위치를 최적화하는 설계가 필요하다.

### III. 결 론

본 논문에서는 금속 프레임을 가진 태블릿에서 높은 지향성으로 인한 문제를 해결하기 위한 저 지향성 안테나 설계 방법을 제안하였다. 시스템 그라운드에 슬릿을 삽입하여 큰 그라운드 크기에 의해 발생하는 전류의 세로방향 확산을 효과적으로 제어하였으며, 이를 통해 어레이와 유사한 공진 효과를 억제하였다.

시뮬레이션을 통해 방사 특성을 분석한 결과, 제안된 구조는  $-10$  dB 이하의 임피던스 대역폭은  $3.48 \sim 3.71$  GHz로 목표로 했던 LTE Band 48 대역을 안정적으로 커버할 수 있음을 확인하였다. 또한, 최대 지향성은 기존 구조의  $7.79$  dBi 대비  $3.22$  dBi로 약  $4.5$  dB 감소하였다. 이러한 분석을 통해 슬릿 삽입 방식은 통신 성능의 손실 없이 지향성을 효과적으로 제어할 수 있으며, 금속 프레임 기반 모바일 기기에서의 설계 전략으로 활용 가능성을 확인하였다.

### References

[1] FCC, "Part 96.41 General Radio Requirements, Title 47 Code of Federal Regulations(CFR): Citizens Broadband

Radio Service," FCC 96.41, Jun. 2015.

- [2] K. L. Wong, C. Y. Tsai, "IFA-based metal-frame antenna without ground clearance for the LTE/WWAN operation in the metal-casing tablet computer," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 1, pp. 53-60, Jan. 2016.
- [3] K. L. Wong, C. Y. Tsai, "Half-loop frame antenna for the LTE metal-casing tablet device," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 1, pp. 71-81, Jan. 2017.
- [4] Y. M. Pan, K. W. Leung, and K. Lu, "Compact quasi-isotropic dielectric resonator antenna with small ground plane," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 2, pp. 577-585, Feb. 2014.
- [5] Y. Pan, S. Zheng, "A compact quasi-isotropic shorted patch antenna," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 2771-2778, Jan. 2017.
- [6] Q. Li, W. J. Lu, S. G. Wang, and L. Zhu, "Planar quasi-isotropic magnetic dipole antenna using fractional-order circular sector cavity resonant mode," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 8515-8525, Apr. 2017.
- [7] J. Ouyang, Y. M. Pan, S. Y. Zheng, and P. F. Hu, "An electrically small planar quasi-isotropic antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 2, pp. 303-306, Feb. 2018.