

# 휴대용 스마트 단말기 안테나 타입에 따른 디지털 노이즈와 안테나의 결합 분석

## Analysis of Coupling Between Digital Noise and Portable Smart Terminal Antenna According to Antenna Types

김 준 철\*<sup>★</sup>

Joonchul Kim\*<sup>★</sup>

### Abstract

In this paper, we analyze the degree of digital noise coupling for Inverted F Antenna (IFA) and Loop Antenna, which are representative types of portable terminal antenna, using characteristic mode. Firstly, the degree of coupling according to the direction of digital signal lines and characteristic mode current of the printed circuit board (PCB) including the antenna is compared and analyzed, and based on this result, the coupling between WiFi antenna and the front camera noise is analyzed.

For analysis, the digital signal line and ground line of the FPCB of the camera module are modeled as a loop feeder that excites the characteristic mode of the PCB ground and the change of noise coupling according to the antenna types are analyzed.

### 요 약

본 논문에서는 휴대단말기 안테나의 대표적 형태인 역 F 안테나(Inverted F Antenna, IFA)와 루프(Loop) 안테나에 따른 디지털 노이즈의 결합(coupling) 정도를 특성모드(characteristic mode)를 사용하여 분석한다. 우선, 안테나를 포함한 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB)의 특성모드 전류와 디지털 신호라인의 방향에 따른 결합 정도를 비교 분석하고, 이를 토대로 휴대단말기의 WiFi 안테나와 전방 카메라(front camera)의 결합에 대해서 분석한다.

분석을 위해서 카메라 모듈의 FPCB의 디지털 신호선과 그라운드 선을 PCB 그라운드의 특성 모드를 여기(excitation) 시키는 루프형 피더(feeder)로 모델링 했고, 안테나 타입(type)에 따른 노이즈 결합 변화에 대해서 분석을 했다.

*Key words : Digital noise coupling, RFI, RF sensitivity, ground mode, characteristic mode*

### 1. 서론

최근의 휴대용 스마트 단말기들은 소비자들로 부터 점점 더 많은 기능과 소형화에 대한 요구를 받

고 있다. 새로운 기능을 추가하기 위해서는 스마트 단말기의 내부 디지털 신호의 증가가 필요하고 이는 결과적으로 단말기 내에 더 많은 내부 디지털 노이즈를 생성하게 된다[1]. 또한 소형화에 대한 요

\* Dept. of Information Systems Engineering, Sungshin University

★ Corresponding author

E-mail : greensday@sungshin.ac.kr, Tel : +82-02-920-7563

Manuscript received Sep. 5, 2019; revised Sep. 16, 2019; accepted Sep. 17, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

구로 인해서 내부 디지털 노이즈를 생성하는 IC(Integrated Circuit)와 RF(Radio Frequency) 소자, 특히 안테나가 전기적으로 더 가까운 거리에 위치하여 안테나의 수신감도 열화(sensitivity degradation) 문제를 야기한다[2].

최근의 휴대용 스마트 단말기의 구조에서 카메라(Camera)와 WiFi(Wireless Fidelity), GPS(Global Positioning System) 등의 안테나는 일반적으로 모두 스마트 단말기의 상단에 실장(mount)되고, 전기적으로 서로 가까이 위치한다. 이로 인해 카메라 노이즈와 안테나 간의 결합(coupling)은 크게 일어나게 되고 심각한 수신감도 열화 문제를 일으킨다[3]. 특히 WiFi를 이용한 화상통화 기능은 WiFi전파를 수신하는 과정에서 전면 카메라(front camera)가 동작하여 수신감도를 크게 열화 시키는데 이것은 전면 카메라의 클럭(clock), 데이터(data), 전원(power) 등의 노이즈가 전기적으로 가까이 있는 WiFi 안테나로 강하게 결합되어 나타나는 현상이다. 이를 개선하기 위해서 회로적으로 노이즈 원(noise source)에 디커플링 캐패시터(decoupling capacitor)를 사용하거나 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB)의 레이아웃(Layout)의 개선을 시도 하지만, 이는 많은 개선 시간과 비용의 낭비를 초래한다[4].

이 같은 문제에 대한 원인 분석 및 해결책을 고안하기 위해서 본 논문에서는 휴대용 스마트 단말기의 안테나와 노이즈의 결합 원리를 보이고, 안테나 형태의 변화로 노이즈 결합을 줄이는 방법을 보인다. 예제로 스마트 단말기의 WiFi안테나와 카메라 모듈(Camera Module)을 모델링하여 안테나와 디지털 노이즈 간의 커플을 줄이는 것을 보이고, 스마트 단말기의 안테나 설계 시 디지털 신호의 고주파 하모닉 노이즈(high frequency harmonic noise)가 여기(exciting)하는 PCB의 그라운드 특성 모드(ground characteristic mode)를 고려하면 안테나의 수신감도 열화문제를 줄일 수 있는 것을 보일 것이다.

## II. 본론

### 1. 디지털 노이즈와 안테나의 결합 분석

디지털 신호와 안테나의 결합을 분석하기 위해서 디지털 신호선 종단부에 디지털 신호 포트(port)로  $port-a$ , 안테나 입력부에 안테나 포트로  $port-b$ 를

만들어서 분석한다.

두 개의 포트의 결합을 살펴보기 위해서 리액션(reaction concept)을 이용할 수 있다.  $port-a$ 의 등가 자계소스로 부터 생성된 자계장이  $port-b$ 의 등가 자계 전류로 영향을 미치는 것은 다음 식으로 정의된다[5], [6].

$$\begin{aligned} \langle port-a, port-b \rangle \\ = - \int_v \mathbf{H}_{ba} \cdot \mathbf{M}_b dv = V_b I_{ba} \end{aligned} \quad (1)$$

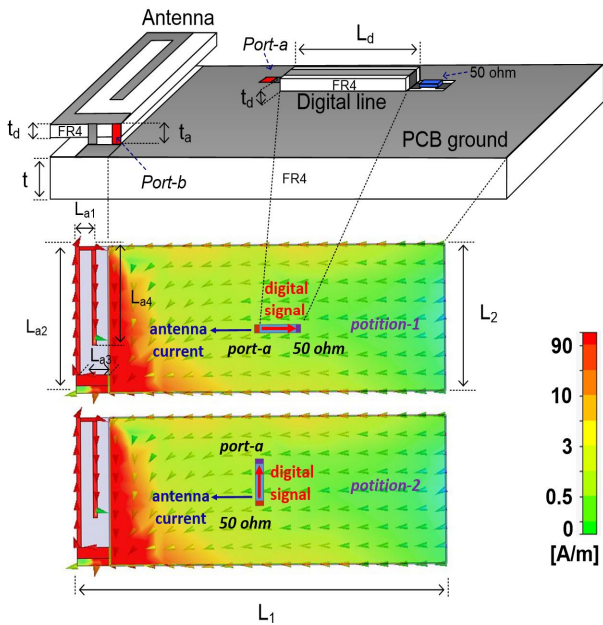
$\mathbf{H}_{ba}$ 는  $port-a$ 의 소스로 인해 생성된  $port-b$ 의 자계장이고  $I_{ba}$ 는  $port-a$ 의 소스로 인해 생성된  $port-b$ 의 전류이다.  $\mathbf{M}_b$ 와  $V_b$ 는  $port-b$ 의 등가 자계 전류 소스와 전압 소스이다. 결합을 나타내는 산란 파라미터(scattering parameter)의  $S_{ba}$ 는 아래와 같이 표현 된다[7].

$$Z_{ba} = \frac{V_a V_b}{\langle port-a, port-b \rangle} = \frac{1}{Y_{ba}} \quad (2)$$

$$S_{ba} = \frac{-2Y_{ba}Y_0}{(Y_{aa}+Y_0)(Y_{bb}+Y_0)-Y_{ab}Y_{ba}} \quad (3)$$

그림 1은 바(bar) 형태의 휴대용 단말기의 모델을 나타낸다. 디지털 노이즈와 안테나와의 결합을 분석하기 위해서 디지털 신호선에  $port-a$ , 안테나 입력부에  $port-b$ 의 이름으로 포트를 만들었다. 그림 1의 시뮬레이션 결과는  $port-b$ 가 여기될 때, 첫 번째 공진 주파수에서의 자계장 분포의 절대값을 보여준다.

디지털 신호선의 방향에 따른 안테나와의 결합을 확인하기 위해서 디지털 신호선을  $position-1$ 과  $position-2$ 에 각각 위치시켰다. 그림 2는 그림 1의 디지털 신호선( $port-a$ )을 여기 시켰을 때 안테나( $port-b$ )로의 결합을 보이는 시뮬레이션 결과이다. 안테나의 공진을 900MHz로 했을 때,  $position-1$ 에 디지털 신호선이 배치 된 경우의 안테나와 디지털 신호선과의 결합은 -53dB이고  $position-2$ 의 경우는 -58dB로 5dB 차이를 보인다. 시뮬레이션 결과를 보면 안테나 입력부와 신호선의 거리는 전기적으로는 같지만, 커플은  $position-1$ 에 위치했을 때 더 크게 일어난다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 디지털 신호와 안테나 사이의 결합이 둘 사이의 거리에 영향을 받을 뿐 아니라 디지털 신호선의 방향에도 영향을 받는다는 것을 보여준다. 또, 디지털 신호선



$L_1=90$  mm,  $L_2=40$  mm,  $L_d=5$  mm,  $L_{a1}=5$  mm,  $L_{a2}=38$  mm,  $L_{a3}=8$  mm,  $L_{a4}=27$  mm,  $t=1.6$  mm,  $t_d=0.8$  mm,  $t_a=4$ , digital line width=0.5 mm, source and load impedance=50  $\Omega$ , permittivity of PCB=4.5

Fig. 1. magnetic field at first resonance frequency of PCB with antenna in bar type Smart Terminal model.

그림 1. 안테나를 포함한 바 타입 스마트 단말기 PCB의 첫 번째 공진 주파수의 전류 분포

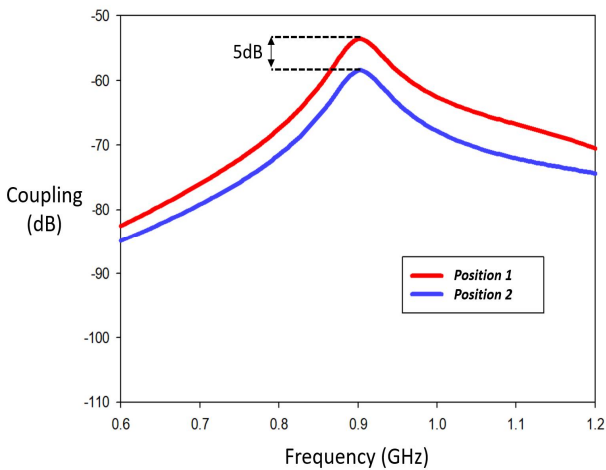


Fig. 2. Coupling between digital line(port-a) and antenna (port-b).

그림 2. 디지털 신호선(port-a)을 여기 시켰을 때 안테나(port-a)로의 결합

에 의해 유도된 등가 자계 전류원이 안테나에 의한 그라운드 모드 전류와 평행할 때, 그라운드 모드 전류는 강하게 여기되고 결합이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

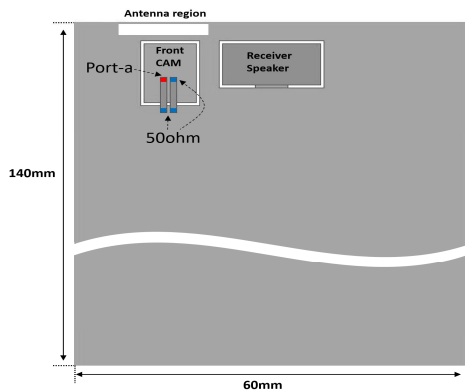
## 2. WiFi안테나 모델의 노이즈 결합 비교 분석

최근 출시된 많은 휴대용 스마트 단말기들은 안테나 실장 공간의 부족으로 카메라 등 디지털 노이즈가 매우 큰 부품 주변에 안테나를 실장하고 있다.

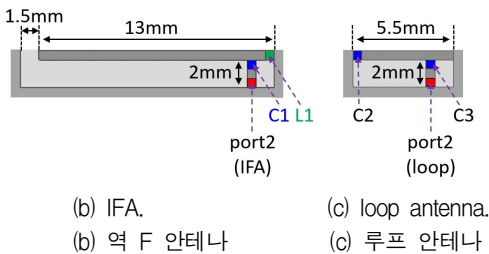
그림 3 (a)는 최근의 경향을 반영한 전방 카메라 모듈을 포함한 바 형태의 휴대용 스마트 단말기 모델을 보여준다. 일반적으로 카메라 모듈은 단말기 PCB에 FPCB(Flexible PCB)를 사용해서 연결되고, FPCB의 디지털 신호선은 보통 PCB의 긴축 방향으로 실장되기 때문에 모델에서도 같은 형태로 구현했다. FPCB를 모델링한 신호선은 그림1의 디지털 신호선과 동일한 방법으로 모델링했고 신호선의 길이는 6mm, 너비는 0.5mm이다. (b)는 PCB의 안테나 공간에 실장한 역 F 안테나(inverted F 안테나, IFA)이고, (c)는 안테나 공간에 실장한 루프(loop) 안테나이다.

그림 4는 안테나 포트(port-b)를 여기했을 때, PCB에 형성되는 전류 분포의 시뮬레이션 결과를 두 가지 안테나 타입별로 나타낸 그림이다. 그림에서  $L_1$ 는 1nH,  $C_1$ 은 0.2pF,  $C_2$ 와  $C_3$ 는 0.5pF이다. 시뮬레이션 결과, IFA를 사용한 모델은 PCB의 긴축 방향으로 안테나 전류가 형성되고 루프 안테나를 사용한 모델은 PCB의 짧은 축 방향으로 안테나 전류가 형성된다. 디지털 신호선의 방향과 비교해보면 IFA를 사용한 PCB의 모드 전류는 디지털 신호선과 동일 방향으로 형성되고, 루프 안테나를 사용한 PCB의 모드 전류는 디지털 신호선과 수직 방향으로 형성된다. 식(1)과 식(3)을 고려하면, IFA를 사용한 안테나는 디지털 신호와 커플이 클 것이고, 루프 안테나를 사용한 경우는 커플이 작을 것임을 예상할 수 있다.

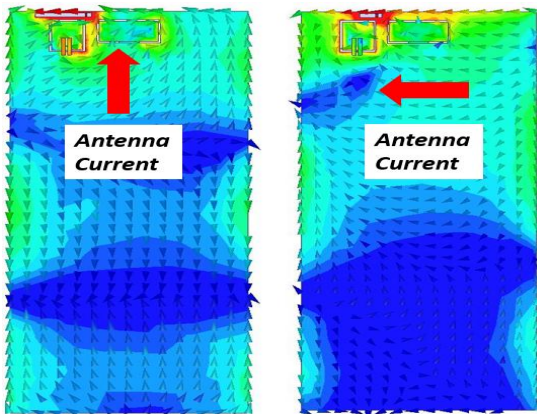
그림 5는 모델링한 두 가지 안테나와 카메라 모듈의 디지털 신호선과의 결합( $S_{21}$ )에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과이다. 결과를 보면 IFA를 사용한 안테나가 루프 안테나를 사용한 경우보다 10dB 이상 커플이 크게 일어났다. 이 결과는 PCB의 동일 위치에 실장된 안테나와 카메라 모듈간의 결합은 안테나 타입에 따라 달라짐을 보여준다. 그리고 카메라 모듈의 FPCB에 흐르는 디지털 신호의 방향과 설계하려는 안테나의 모드전류 방향이 수직이 되도록 안테나 타입을 결정하고 안테나를 설계해야 디지털 노이즈로부터 안테나의 수신감도 열화를 줄일 수 있다는 것을 보여준다.



digital line width=0.5 mm, source and load impedance=50 Ω, permittivity of PCB=4.5  
 (a) PCB with antenna and camera module.  
 (a)안테나와 카메라 모듈을 포함한 PCB



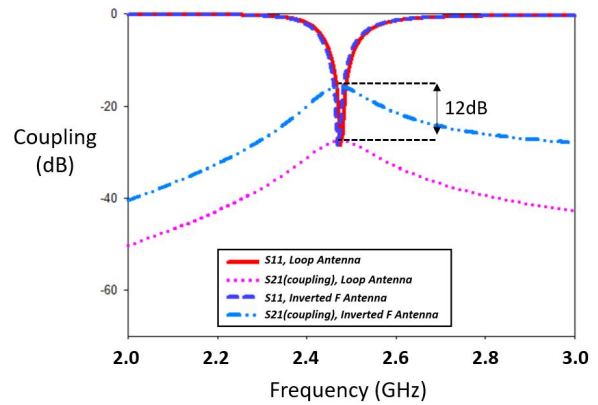
(b) IFA. (b) 역 F 안테나  
 (c) loop antenna. (c) 루프 안테나  
 Fig. 3. Bar type handheld model with front camera module.  
 그림 3. 전방(front) 카메라 모듈을 포함한 바 형태의 휴대용 스마트 단말기 모델



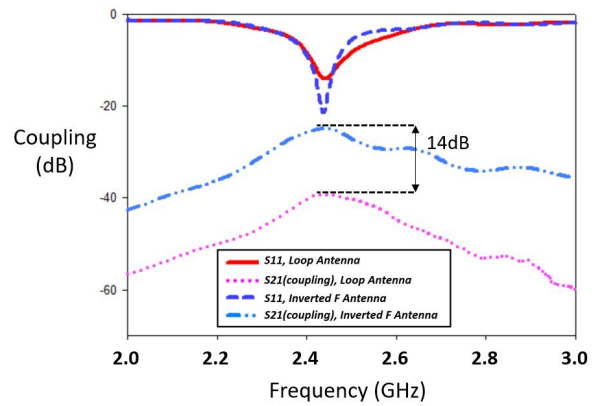
(a) IFA. (a) 역 F 안테나  
 (b) loop antenna. (b) 루프 안테나

Fig. 4. Bar type handheld model with front camera module.  
 그림 4. 두 가지 안테나 타입에 따른 전류분포 형태

설계된 두 안테나의 방사 특성을 확인해 보면 루프 안테나를 사용한 모델의 효율은 -1.5dB, IFA를 사용한 모델의 효율은 -5dB로 루프 안테나를 사용한 모델이 디지털 신호와 결합도가 낮고 방사 특성 또한 좋게 나타난다. 이는 본 논문에서 사용한 루프 안테나의 방사성능이 IFA 보다 좋지 않아서 디



(a) Digital signal loop model and current distribution.  
 (a) 디지털 신호 루프 모델 및 전류분포



(a) Digital signal loop model and current distribution.  
 (a) 디지털 신호 루프 모델 및 전류분포

Fig. 5. Simulation and measurement results of coupling between camera module signal port and antenna port.  
 그림 5. 카메라 모듈 신호 포트와 안테나 포트간의 결합에 대한 시뮬레이션과 측정 결과

지털 회로와의 결합도가 낮은 것이 아니라는 것을 보여준다.

### III. 결론

본 논문에서는 안테나 타입에 따른 디지털 노이즈의 결합 정도를 특성모드를 사용하여 분석했다.

휴대용 스마트 단말기에서 카메라 모듈의 FPCB에 흐르는 디지털 신호는 FPCB의 방향에 따라 흐르고, 안테나에 의해서 형성되는 그라운드 모드 전류는 안테나 타입에 따라 다르게 형성된다. 따라서 카메라 모듈의 FPCB에 흐르는 디지털 신호의 방향과 설계하려는 안테나의 모드전류 방향을 수직이 되도록 안테나 타입을 결정하고 설계를 해야 노이즈로 인한 안테나의 수신감도 열화를 줄일 수 있다. 이 결과는 안테나와 노이즈원이 가깝게 위치하

고 있는 최근의 휴대용 스마트 단말기에서 노이즈와의 결합도가 낮은 안테나를 설계하는데 큰 도움이 될 것이다.

## References

- [1] H. W. Johnson and M. Graham, *High-speed digital design*, Prentice-Hall, 1993.
- [2] D. Lim, Y. Kim, and A. Kim, "Digital to RF coupling analysis methodology for mixed-signal," *IEEE Int'l, Symp. Electromagn. Comp.*, pp.1-5, 2008. DOI: 10.1109/ISEMC.2008.4652067
- [3] L. Qu, R. Zhang, and H. Kim, "High-sensitivity ground radiation antenna system using an adjacent slot for bluetooth headsets," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.63, no.12, pp.5903-5907, 2015. DOI: 10.1109/TAP.2015.2481919
- [4] B. Archambeault, J. Drewniak, *PCB Design for Real-World EMI Control*, Springer, 2002.
- [5] J. Kim, "Analysis of Improvement Method of Isolation Between Digital Noise and the Mobile Handset Antenna," *Journal of IKEEE.*, vol.23, no.2, pp.474-478, 2019. DOI: 10.7471/ikeee.2019.23.2.474
- [6] R. F. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, Macgraw-Hill, 1961.
- [7] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, Wiley, 2012.

---

## BIOGRAPHY

---

### Joonchul Kim (Member)



2011 : Ph.D degree in Electronics and  
Computer Engineering, Hanyang  
University

2005.2~2007.2 : Mobile Handset R&D  
Center, LG Electronics

2011.3~2016.12 : Mobile Communication  
Division, Samsung Electronics

2017.3~Present : Dept. of Information Systems  
Engineering, Sungshin University