THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2012 Apr.; 23(4), 424～430.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2012.23.4.424
ISSN 1226-3133 (Print)

그라운드 안테나의 커패시터의 위치에 따른 방사 성능 변화 분석

Analysis of Effect of Capacitor Position in Ground Radiation Antenna

박범기 · 류 양 · 최형철 · 김형훈* · 김형동

Bumki Park · Yang Liu · Hyengchul Choi · Hyung-Hoon Kim* · Hyeongdong Kim

요 약

그라운드 안테나는 그라운드의 두 지점을 잇는 스트립에 커패시터를 넣어 설계가 된다. 본 논문에서는 이 커패시터의 실장 위치가 변할 때 안테나의 방사 성능의 변화가 발생하게 되는 이유에 대해 분석한다. 커패시터 위치를 변화시키며 그라운드 안테나의 표면 전류 분포를 관찰함으로써 커패시터의 위치가 대역폭 및 안테나 효율에 미치는 영향을 살펴보았다. 본 논문에서 사용된 그라운드 안테나는 Wi-Fi 대역에서 동작하도록 설계되었으며, 스트립의 끝 쪽에 커패시터를 위치할 경우 Wi-Fi 대역(2.4～2.5 GHz)에서 −10 dB 기준 7.2 %의 넓은 상대 대역폭과 66 %의 높은 안테나 평균 효율을 얻을 수 있음을 확인하였다.

Abstract

A ground radiation antenna is designed using a capacitor connected between two ground points by a strip line. This paper analyzes the variations of radiation performance when changing the capacitor position. The surface current distribution of the ground antenna was investigated as the capacitor position is changed, in order to demonstrate the effects on the impedance bandwidth and antenna efficiency. Our antenna is for the Wi-Fi application. It is verified that the capacitor at the end of the strip line provides a wide impedance bandwidth(7.2 % at the 2.45 GHz frequency) and good antenna efficiency(measured as 66 % averaged over the overall Wi-Fi frequency band).

Key words : Ground Radiation Antenna, Reactive Component, Capacitor, Current Distribution, Radiation Efficiency

Ⅰ. 서 론

최근 단말기용 안테나가 점차 소형화, 경량화 됨에 따라 안테나도 소형화, 경량화 등의 특성을 갖춘 안테나가 요구되고 있다. 하지만 안테나의 체적이 감소할수록 안테나의 성능 또한 감소한다는 연구 결과에서도 알 수 있듯이, 안테나의 소형화에 대한 요구와 안테나의 방사 성능에 대한 요구는 서로 상충된다[1],[2]. 이 문제를 극복하기 위해 다양한 안테나 형태와 제조 기법을 통하여 고효율 소형 안테나에 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 과정에서 개발된 안테나의 대표적인 예가 인쇄 회로 기판(PCB)에 표면 실장이 가능한 칩 안테나이다. 칩 안테나는 패턴을 어떤 형식으로 유전체에 적용시키느냐에 따라 여러 가지 방식으로 구분되지만, 어떤 방식이든 제작하는 데 복잡하고 세밀한 공정이 필요하

「이 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2011-0015540).」

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronics Computer Engineering, Hanyang University)

*광주여자대학교 보건의료공학과(Biomedical Engineering, Kwangju Women's University)

· Manuscript received November 3, 2011 ; Revised January 6, 2012 ; Accepted January 9, 2012. (ID No. 20111103-136)

· Corresponding Author : Hyeongdong Kim (e-mail : hdkim@hanyang.ac.kr)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

고 제작 단가가 상승하게 되는 단점이 있다. 최근 상용 칩 소자만를 사용함으로써 이와 같은 칩 안테나의 단점을 극복한 방사 기법이 제안되었다[3],[4]. 이 기법은 커패시터나 인덕터와 같은 상용 리액티브 집중 소자와 간단한 패턴을 이용하여 그라운드에 루프 형태의 전류 모드를 만들어 낼 수 있다. 이 방사 기법에서 사용되는 리액티브 소자는 그라운드에 큰 루프형태의 전류를 형성하게 하는 스트립과 급전 구조에 사용되며, 이 리액티브 소자들이 갖는 값과 위치는 안테나의 특성을 크게 변화시킬 수 있다. 주어진 안테나 공간 안에서 최대 성능을 끌어내기 위해서는 이와 같은 튜닝 요소들 각각에 대한 분석을 할 필요가 있다. 본 논문에서는, 이 기법에서 사용되는 리액티브 소자 중 그라운드를 잇는 스트립에 사용되는 리액티브 소자의 실장 위치가 만들어내는 안테나의 특성 변화에 대해 분석하고, 이를 이용하여 안테나 설계 시 적용할 수 있는 리액티브 소자의 최적화된 위치를 찾고자 한다. 이를 위해 시뮬레이션 툴을 사용하여 커패시터의 각 위치마다의 전류 패턴과 방사 효율을 관찰하고 비교한다. 이 시뮬레이션을 위해 Ansoft사의 HFSS v.13을 사용하였다.

Ⅱ. 본 론

2-1 안테나 원리 및 구조

그라운드 안테나는 기본적으로 급전 구조(feeder)와 그라운드 방사체로 구성된다. 급전체로부터의 루프 전류는 자속을 발생시키게 되며, 이 자속은 그라운드 방사체로 결합되어 그라운드에 커다란 루프 방사 전류가 흐르게 하여 방사가 이루어지도록 한다.

그림 1은 그라운드 안테나의 구조를 도식화한 것이다. 그라운드는 현재 출시되어 있는 USB Dongle에서 사용되는 그라운드 크기와 비슷하거나 더 작은 정도인 40×12 mm^2를 선택하였고, 0.8 mm 두께의 FR4(ε_r=4.4, $\tan\delta$=0.02) 유전체를 사용하였다. 그라운드 안테나의 크기는 10×6 mm^2를 갖도록 하였고, 안테나를 실제 모델에 적용할 수 있도록 그라운드의 모서리 쪽에 배치하였다.

이 안테나를 설계하는데 있어서 리액턴스 소자는 두 개의 커패시터 C_s와 C_f를 사용하였다. 급전 구조에 존재하는 C_f는 임피던스를 조절을 위해 사용하였다[5]. C_s는 그라운드에 루프 형태의 전류를 흐를 수 있게 하는 스트립에 존재하는 커패시터이며, 이 커패시터를 사용함으로써 안테나의 소형화가 가능하다[6]. 또한, C_s의 리액턴스 값을 조절하면 공진 주파수를 제어할 수 있다. 이는 그라운드의 루프 전류에서 발생하는 인덕턴스와 C_s가 갖는 커패시턴스의 조합으로 공진 주파수가 정해지기 때문이다. 본 논문에서는 세 개의 커패시터를 사용하였으며, 이는 직렬로 커패시터를 연결하여 공진을 원하는 주파수에서 정확하게 만들어내고, 커패시터가 갖는 오차(tolerance)를 줄이기 위함이다.

2-2 C_s의 위치 변화에 따른 특성 분석

먼저 그림 1과 같이 C_s를 A 지점에 위치시키고, C_s값을 조절하여 공진 주파수를 Wi-Fi 대역(2.4～2.5 GHz)의 중심 주파수인 2.45 GHz에 맞추었다. C_s의 위치를 A 지점에서 B 지점으로 2 mm 단위(d=0, 2, 4, 6, 8 mm)로 이동시키면서 안테나의 특성 변화를 시뮬레이션을 통해 관찰하였다. 2.45 GHz에 맞추어져 있던 공진 주파수는 C_s의 위치가 변경되면서 공진 주파수가 변하게 된다. 이를 그림 2에 도시하였다. C_s가 A 지점에서 B 지점으로 이동하면서 공진 주파수는 2.45 GHz보다 높아지게 된다. 이는 C_s가 전류가 적게 흐르는 부분으로 이동하게 됨으로써 공진 주파수를 끌어내리는 C_s의 영향이 줄어들기 때문이다. 이를 확인하기 위해 급전과 커패시터의 위치

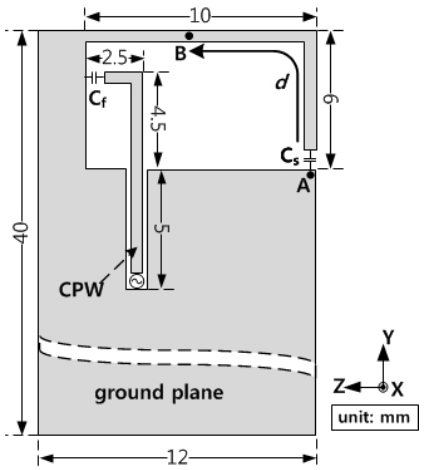


그림 1. 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of the antenna.

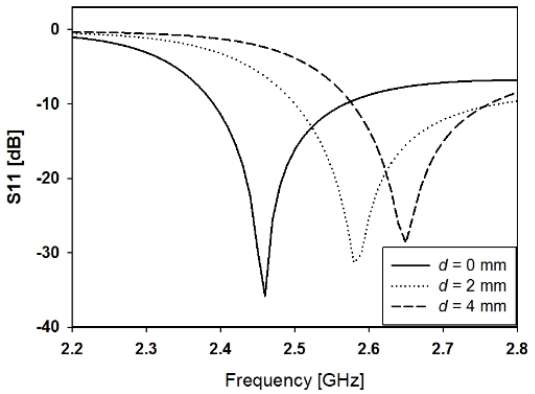


그림 2. 커패시터 위치 변경에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 2. Resonant frequency variation with the positions (d) of the capacitor(C_s).

와의 커플링의 정도를 확인해 보는 시뮬레이션을 수행하였다. 커패시터 위치에 새로운 포트(Port 2)를 만들어, 급전(Port 1)과 커패시터의 각 위치마다의 S_{21}을 확인하여 급전과 커패시터의 위치 사이의 커플링 정도를 파악하였다. 커패시터의 위치가 A 지점에 있을 때, S_{21}이 2.45 GHz에서 −11.8 dB였고, A 지점에서 멀어지면서 점차 S_{21}값이 감소하여 8 mm 떨어진 B 지점에서는 −19.9 dB의 S_{21}값을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 이런 사실을 통해 커패시터가 A 지점에 있을 때가 B 지점에 있을 때보다 급전과의 커플링이 더 크게 발생한다는 것을 알 수 있다. 이는 A 지점이 B 지점보다 더 많은 전류가 흐른다는 것을 의미한다.

커패시터가 실장되는 각 위치마다의 방사 성능을 확인하고, 이를 비교하기 위해서 커패시터가 이동하는 모든 위치에서 커패시터의 값을 조절하여 동일한 공진 주파수(2.45 GHz에서 S_{11} −25 dB 이하)를 갖도록 하였다. 그림 3에 커패시터의 위치변화에 따른 대역폭의 변화를 도시하였다. C_s가 A 지점 (d=0 mm)에 위치할 때, S_{11} −10 dB 기준(VSWR 2:1)으로 약 180 MHz의 가장 넓은 대역폭을 갖고, A 지점에서 가장 먼 위치(d=8 mm)에서는 약 30 MHz의 매우 좁은 대역폭을 가진다. 이와 같은 대역폭의 차이를 나타내게 되는 원인은 커패시터의 값의 변화에서 찾아볼 수 있다. 각 커패시터의 위치에서 공진 주파수를 2.45 GHz에 맞추기 위해 사용된 커패시터 값과 해당하는 Q factor의 값을 표 1에 작성하였다. Total Q

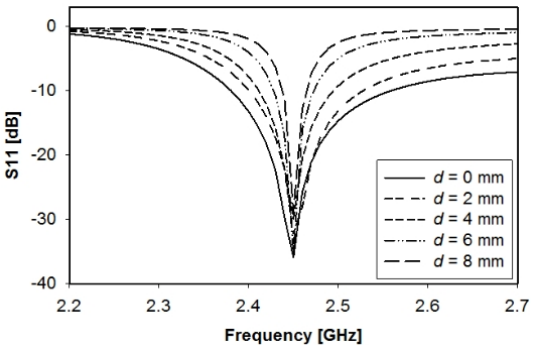


그림 3. 커패시터 위치 변경에 따른 대역폭 변화
Fig. 3. Computed bandwidth variation with the positions(d) of the capacitor(C_s).

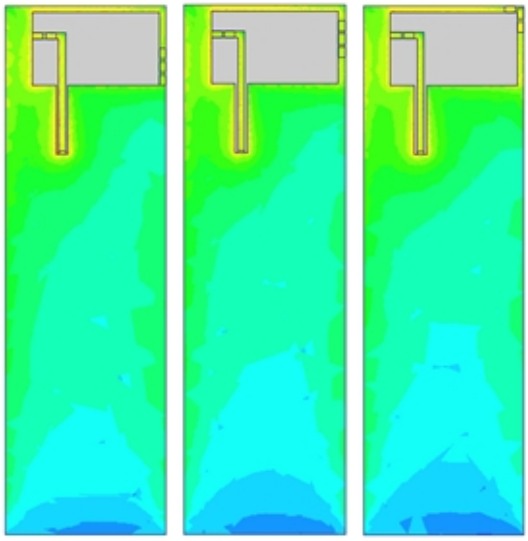
표 1. 각 커패시터의 위치에서 동일한 공진 주파수를 갖도록 하는 커패시터 값
Table 1. Capacitance and total Q factor at the each position(d) of the capacitor(C_s) for the same resonant frequency(2.45 GHz).

C_s의 위치(d)		0 mm	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm
Capacitor 값 [pF]	C_f	0.25	0.25	0.24	0.22	0.22
	C_s	0.07	0.09	0.10	0.13	0.15
Total Q factor		39	55	84	155	254

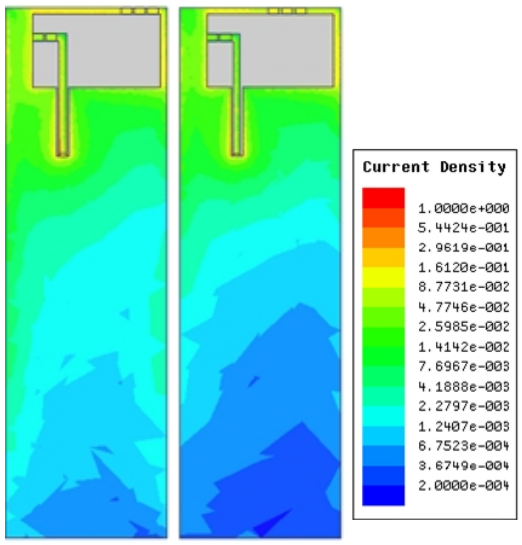
factor는 다음 식을 통해 계산할 수 있다[7](VSWR 2:1 기준).

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{VSWR-1}{Q_t\sqrt{VSWR}}$$

가장 넓은 대역폭을 갖는 커패시터 위치인 A 지점(d=0mm)에서 가장 작은 커패시터 값이 사용되었고, B 지점으로 커패시터가 이동하면서 점점 더 큰 커패시터 값이 필요하게 되었다. 이는 A 지점에서 전류가 가장 많이 흐르게 되므로 낮은 값의 커패시터를 사용하여 공진 주파수를 2.45 GHz에 맞출 수 있고, 반대로 B 지점에서는 전류가 적게 흐르기 때문에, 동일한 공진 주파수를 만들기 위해서는 큰 값의 커패시터가 필요하게 된다. 이 안테나는 그라운드의 흐르게 되는 루프 전류에서 발생하는 인덕턴스와 C_s가 갖는 커패시턴스의 조합으로 공진 주파수가 정해지기 때문에, 커패시터의 값을 통해 그라운드에서 발생하는 인덕턴스를 예상할 수 있다. 이를 확인하기 위해 커패시터의 각 위치마다 형성되는 전류



(a) d=0 mm (b) d=2 mm (c) d=4 mm



(d) d=6 mm (e) d=8 mm

그림 4. 커패시터(C_s) 위치 변경에 따른 정규화된 표면 전류 밀도

Fig. 4. Computed normalized surface current density with varying the positions(d) of the capacitor (C_s).

밀도를 그림 4에서 도시하였다. 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이 A 지점에 커패시터가 위치할 때는 전류가 그라운드 전체에 넓게 분포하지만, 커패시터가 B 지점에 가까워지면서 그라운드 쪽으로 전류가 흐르지 못하고 그라운드의 일부만을 사용하게 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(a)와 같이 그라운드의 많은 부분을 활용하는 경우에는 상대적으로 넓은 대역폭을 갖게 된다. 이는 커패시터(C_s)가 A 지점에 있을 때가 B 지점에 있을 때보다 안테나의 전기적 크기가 커졌기 때문이다.

지금까지의 내용을 다시 정리하면, A 지점에 커패시터가 위치할 때 급전과의 커플링이 가장 크게 일어나기 때문에 작은 커패시터 값을 사용하여 원하는 공진 주파수를 만들 수 있게 된다. 작은 값의 커패시턴스를 사용한다는 것은 그라운드에서 많은 인덕턴스가 생성된다는 것을 의미하며, 다시 말해서 많은 전류가 그라운드 상에 발생한다는 것을 말한다. 결과적으로 전기적으로 안테나의 크기가 더 커졌으므로 넓은 대역폭을 가질 수 있게 되는 것이다.

그림 5는 커패시터의 위치에 따라 안테나의 효율 변화를 도시한 것이다. 이는 매칭을 고려하지 않은 안테나 자체의 효율이다. 대역폭이 가장 넓었던 C_s가 A 지점에 위치할 때 2.4~2.5 GHz 대역에서 90 % 이상의 효율을 보이며, 대역폭이 가장 좁았던 B 지점에 위치할 때는 대략적으로 40 %에서 60 % 사이의 효율에 그치는 것을 확인할 수 있다. 이로써 대역폭의 차이만큼 효율의 차이도 명확하게 나타남을 확인할 수 있다. 이 효율의 차이는 커패시터가 실장되는 위치 변화에 따라 전류 패턴의 크기가 변하게 되어 발생한다고 볼 수 있다. 본 논문에서 사용하는 안테나는 기본적으로 루프형태의 전류 패턴을 갖기 때문에 루프 안테나의 특성을 갖게 되는데, 루프 안테나의 방사 저항값은 루프 안테나의 면적의 제곱에

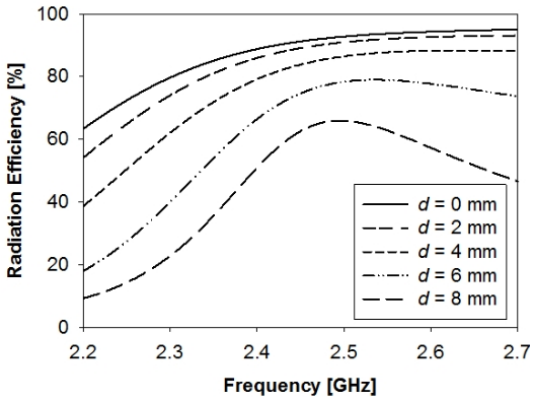


그림 5. 커패시터(C_s) 위치 변경에 따른 효율 변화

Fig. 5. Computed radiation efficiency variation with the positions(d) of the capacitor(C_s).

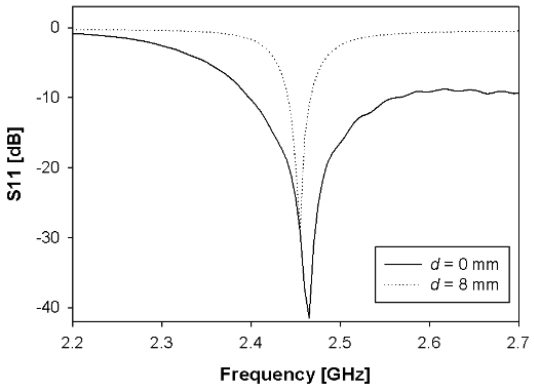


그림 6. 커패시터(C_s) 위치 변경에 따른 대역폭 변화(측정 결과)

Fig. 6. Measured bandwidth variation with the positions(d) of the capacitor(C_s).

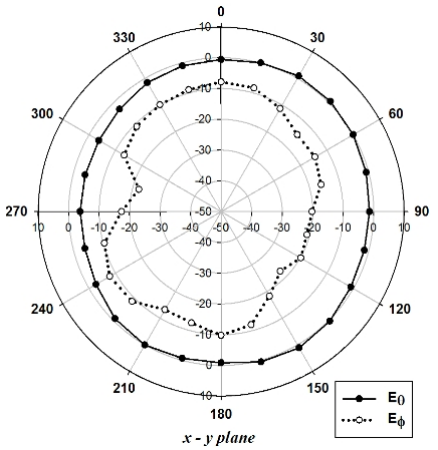
비례한다. 이를 통해 그라운드를 가장 넓게 사용하는 지점에 커패시터를 위치시키면 가장 큰 값의 방사저항을 갖게 되며, 그림 5와 같이 상대적으로 높은 방사 효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 6은 커패시터의 위치가 A 지점(d=0 mm)과 B 지점(d=8 mm)에 실장되었을 때의 측정 결과를 보여준다. C_s는 A 지점과 B 지점에서 각각 0.07 pF와 0.13 pF가 사용되었고, C_f는 두 경우 모두 0.25 pF를 사용하였다. 전체적으로 시뮬레이션으로 얻은 결과와 측정으로 얻은 결과가 일치함을 확인할 수 있다. B 지점에 커패시터가 위치시켰을 때의 측정 효율은 Wi-Fi 대역 평균 34 %의 효율을 보이는데 그치는 반면, A 지점에 커패시터를 실장시켰을 경우에는 66 %의 높은 효율을 가지는 것을 확인하였다. 피크 효율값은 각각 68 %(A 지점), 50 %(B 지점)로 18 %의 차이를 나타냈지만, 그림 6에서 볼 수 있듯이 두 케이스의 대역폭의 차이가 매우 크기 때문에, 전체적인 평균 효율의 차이는 더욱 극명하게 나타내게 되었

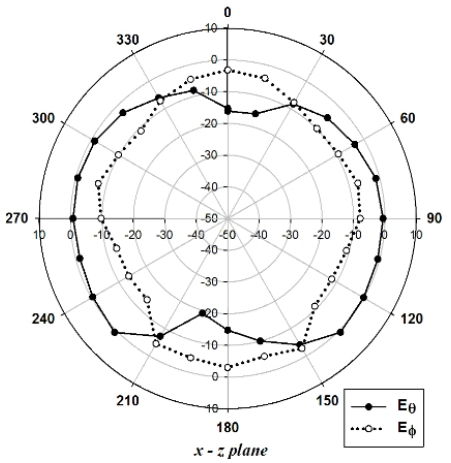
표 2. 커패시터 위치 변경에 따른 측정 효율 변화

Table 2. Measured realized efficiency variation with the capacitor(C_s)-positions(d).

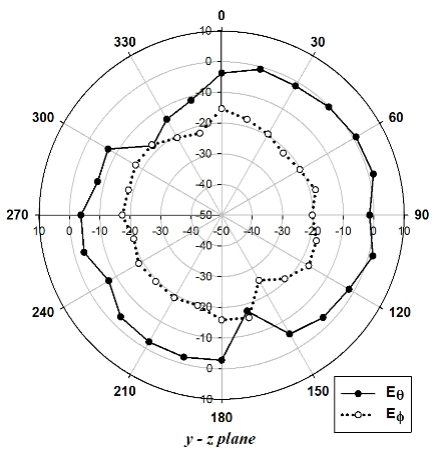
Frequency [GHz]		2.40	2.42	2.44	2.46	2.48	2.50
효율 [%]	A 지점 (d=0 mm)	65.3	66.1	65.1	65.6	68.1	67.9
	B 지점 (d=8 mm)	14.6	26.4	43.7	50.2	36.4	25.7



(a) H-plane(xy plane)



(b) E1-plane(xz plane)



(c) E2-plane(yz plane)

그림 7. 측정된 2D 방사 패턴

Fig. 7. Measured 2D radiation patterns of ground radiation antenna.

다. 이를 표 2에 나타내었다. 결과적으로 같은 안테나 공간에서 커패시터의 실장 위치에 따라 2배에 가까운 방사 효율을 만들 수 있음을 확인할 수 있었다. 그림 7은 커패시터가 A 지점에 위치한 상태의 2D 방사 패턴을 나타낸 것이다.

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 리액티브 소자만을 사용하여 그라운드를 방사체로 동작시키는 안테나 설계함에 있어서, 방사 효율을 크게 좌우하는 커패시터의 실장 위치에 대한 분석을 하였다. 분석을 위해 커패시터가 실장되는 위치와 급전과의 커플링 되는 정도를 확인하였고, 이는 사용되는 커패시터의 값을 결정하게 함을 설명하였다. 또한, 이 커패시터의 값은 그라운드의 발생하는 전류 분포의 크고 작음을 정하게 하며, 이는 대역폭 및 방사 효율에도 크게 영향을 미치는 것을 확인하였다.

이와 같은 내용을 통해 급전과의 커플링이 가장 크게 일어나는 위치는 작은 값의 커패시터를 사용하여 원하는 공진 주파수를 얻을 수 있는 위치가 되며, 이는 곧 최대 효율 및 최대 대역폭을 얻을 수 있는 위치가 된다는 것을 알 수 있다.

본 논문을 통해서 최대 성능을 낼 수 있는 커패시터의 최적 위치가 존재함을 확인하였고, 이를 통해 안테나를 설계함에 있어서 방사 성능의 큰 향상을 꾀할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

안테나 제작 및 측정에 도움을 준 라디나(주)(http://www.radina.co.kr)에 깊은 감사의 말씀을 전합니다.

참 고 문 헌

[1] J. S. McLean, "A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antenna", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 44, pp. 672-676, May 2002.

[2] G. A. Thiele, P. L. Detweiler, and R. P. Penno, "On the lower bound of the radiation Q for electrically small antenna", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 51, pp. 1263-1269, Jun. 2003.

[3] O. Cho, H. Choi, and H. Kim, "Loop-type ground antenna using capacitor", *Electronics Letters*, vol. 46, no. 1, pp. 11-12, Jan. 2011.

[4] 최형철, 이재석, 조얼, 이형진, 박범기, "그라운드 방사 안테나", 특허 제10-2010-0133919호, 2010년 12월.

[5] Y. Liu, X. Lu, H. Jang, H. Choi, K. Jung, and H. Kim, "Loop-type ground antenna using resonated loop feeding, intended for mobile devices", *Electronics Letters*, vol. 47, no. 7, pp. 426-427, Mar. 2011.

[6] R. W. P. King, "The shunt-driven circular loop antenna", *IEEE Transaction on Antenna and Propagation*, vol. AP-19, Sep. 1971.

[7] C. A. Balanis, *Antenna Theory : Analysis and Design*, Wiley, pp. 852-854, 2005.

박 범 기

2010년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 (공학사)
2012년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
2012년 4월～현재: LG이노텍 안산연구소 통신부품개발팀 연구원
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

류 양

2008년 2월: 동양대학교 전자공학부 (공학사)
2010년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (공학석사)
2010년 6월～현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
[주 관심분야] RFIC 및 안테나 설계

최 형 철

2000년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 (공학사)
2007년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (공학석사)
2011년 8월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (공학박사)
2011년 7월～현재: LG전자 MC연구소 선임연구원
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

김 형 동

1984년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 5월: University of Texas at Austin 전기공학과 (공학박사)
1989년 5월～1992년 5월: University of Texas at Austin (Research Assistant)
1992년 6월～1993년 1월: University of Texas at Austin (Post-doctoral Fellow)
1993년 3월～현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 마이크로파 회로, 전자파 해석

김 형 훈

1986년 2월: 전남대학교 계산통계학과 (이학사)
1988년 2월: 한국과학기술원 전산학과 (이학석사)
1997년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (공학박사)
1988년 3월～1990년 9월: 기아자동차 기술센터 연구원
1990년 9월～1994년 7월: 휴먼컴퓨터 선임연구원
1994년 9월～현재: 광주여자대학교 보건의료공학과 교수
[주 관심분야] 전자파수치해석