

논문 2008-45TC-8-2

접지면 크기가 ENG ZOR 안테나 특성에 미치는 영향

(Effects of ground size on characteristics of ENG ZOR antennas)

이승욱*, 박재현*, 이정해**

(Seung Wook Lee, Jae-Hyun Park, and Jeong-Hae Lee)

요약

본 논문에서는 via가 있는 버섯구조를 이용한 ENG ZOR 안테나와 DGS 구조를 이용한 via-free ENG ZOR 안테나의 접지면 크기의 변화에 따른 입력저항, 대역폭, 방사효율의 영향에 대하여 이론적 연구를 수행하였다. Via-free ZOR 안테나가 via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나보다 접지면 크기에 영향을 더 받는 것으로 확인되었다. DGS가 적절하게 동작하기 위해서는 최소 크기의 접지면이 요구되므로 via-free 안테나의 방사특성은 일정 크기 이상의 접지면이 확보되어야 좋아질 수 있다. Via가 있는 안테나는 기판의 높이가 높아질수록 대역폭과 방사효율이 좋아지고, via-free 안테나의 경우 높이가 높아질수록 대역폭과 방사효율이 떨어지는 것으로 관찰되었다. 또한, via-free ZOR 안테나의 경우 via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나와 비교하여 대역폭이 좁고 방사효율은 떨어지지만 소형화에 유리함을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, the effects of ground size on the characteristics such as input resistance, fractional bandwidth, and radiation efficiency of epsilon negative (ENG) zeroth order resonance (ZOR) antennas were investigated theoretically. Two types of ENG ZOR antennas were studied: mushroom ENG ZOR antenna with via and via-free defected ground structure (DGS) ENG ZOR antenna. It was confirmed that the ground size had more effects on the characteristics of a via-free ZOR antenna than those of mushroom ZOR antenna with via. The via-free antenna could radiate properly with the required size of ground plane since the size of ground plane should exceed some critical value for DGS to suitably operate. As a height of substrate of mushroom ZOR antenna with via increased, the fractional bandwidth and radiation efficiency were improved. On the other hand, as a height of via-free ZOR antenna increased, the fractional bandwidth and radiation efficiency were degraded. Finally, a via-free ZOR antenna had an advantage of compactness even though its fractional bandwidth is narrow and its radiation efficiency is poor, compared with those of mushroom ZOR antenna with via.

Keywords: ENG, ZOR antenna, mushroom, via-free, ground plane size

I. 서론

Metamaterial이란 자연계에서 흔히 볼 수 없는 특수한 전자기적 성질을 나타내도록 인공적으로 합성된 물질을 통칭한다. Metamaterial은 주파수에 따라 유효유전율(effective permittivity)과 유효투자율(effective permeability)이 양수, 음수, 영의 값을 갖는다. 최근 이

러한 특성을 이용한 많은 마이크로파 응용소자 개발 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 특정 주파수에서 유전율과 투자율이 영이 되어 전파상수가 영이 되었을 때 무한파장공진이 나타나며 이를 이용하여 전기적 길이에 무관한 영차(zeroth-order) 공진기 및 안테나 설계가 가능하다^[1~2].

Double negative (DNG) 전송선로의 경우 직렬 캐패시턴스와 병렬인덕턴스를 도입하여 유효투자율이나 유효유전율이 0이 되었을 때 ZOR (zeroth order resonance) 공진 모드를 얻을 수 있다. 반면 ENG (epsilon-negative) 전송선로는 병렬 인덕턴스만을 도입하여 유효유전율이 0이 되었을 때 ZOR 공진 모드를 얻을 수 있으므로 ZOR 안테나의 구현이 더 간단하다는

* 학생회원, ** 정회원, 홍익대학교 전자정보통신공학과 (Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University)

※ 이 연구는 2007학년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (R01-2007-000-10315-0)

접수일자: 2008년7월20일, 수정완료일: 2008년8월1일

장점이 있다^[3].

본 논문에서는 소형화에 유리하고 구조가 간단한 ENG ZOR 안테나의 접지면 크기가 특성에 미치는 영향을 이론적으로 고찰하였다. 일반적인 패치 안테나의 접지면 크기의 변화에 따른 특성에 대한 연구는 많이 이루어 졌으나 metamaterial을 이용한 ZOR 안테나의 접지면 크기에 대한 연구는 아직까지 잘 알려져 있지 않다. 본 논문에서는 metamaterial을 이용한 ENG ZOR 안테나 중에서 via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나와 DGS구조를 이용한 via-free형태의 ZOR 안테나에서의 접지면의 크기 변화가 안테나의 입력저항 및 공진주파수와 대역폭 그리고 방사효율 등의 특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

II-1. Via가 있는 버섯구조 ENG ZOR 안테나

$$\mu_{ENG} = L_{m1}, \quad \epsilon_{ENG} = C_{m1} - \frac{1}{\omega^2 L_{m2}} \quad (1)$$

$$\omega_{EZR} = \omega_E = 1/\sqrt{L_{m2}C_{m1}} \quad (2)$$

Via가 있는 버섯구조 ENG 안테나는 DNG 전송선로와는 달리 그림 1.(a)와 같이 직렬 캐패시턴스 없이 via에 의한 병렬 인덕턴스(L_{m2})만을 인위적으로 첨가한 구조이며 등가회로는 그림 1.(b)와 같이 표현되어진다. 무손실 전송선로 이론에 따라 전파상수는 $\gamma = j\beta = \sqrt{ZY}$ 으로 표현되어지며 여기서 Z' 과 Y' 은 단위길이 당 입력임피던스와 어드미턴스이다. 주파수에 따른 유효유전율과 투자율은 식(1)과 같이 표현되어진다. open-ended 경계조건과 입력임피던스를 이용하여 ZOR 공진 주파수는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다^[3].

급전부 임피던스 정합단의 영향을 배제한 기판의 크기가 안테나의 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 급전부를 제외한 세 방향으로 기판의 길이(g)를 늘려가면서 안테나의 입력임피던스를 확인하였다. 그 후, lump port를 이용 안테나의 공진주파수에서의 임피던스를 정합시켜서 이때의 공진주파수와 대역폭 및 방사효율을 계산하였다. 또한, 기판의 높이 변화에 따른 안테나의 특성변화를 알아보기 위하여 $h=1.57\text{mm}$ 와 $h=3.14\text{mm}$ 두 가지 형태로 시뮬레이션 하였다. 4GHz 대역에서 동작하기 위하여 그림 1.(a)에서의 정사각형 패치의 한 변의 길이(w)는 10mm ($0.15\lambda_0$) 이며, via의

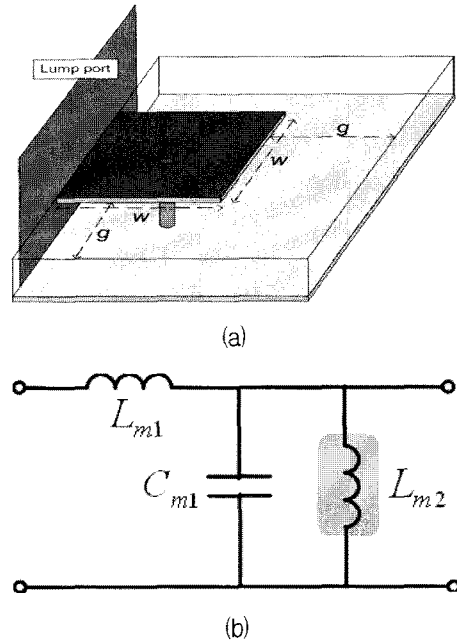


그림 1. (a) 일반적인 버섯구조 ENG ZOR 안테나의 구조
(b) 버섯구조 ENG ZOR 안테나의 등가회로

Fig. 1. (a) Structure of conventional mushroom ENG ZOR antenna. (b) Equivalent circuit of mushroom ENG ZOR antenna.

반경은 0.25mm 이고, 기판의 길이 g 는 사각패치의 끝으로부터 $0\sim 33\text{mm}$ ($0\sim 0.45\lambda_0$)까지 변화시켰다. 특정 기판에서의 결과가 아닌 일반적인 결과를 도출하기 위하여 금속의 컨덕턴스와 기판의 유전율 및 loss tangent 값을 임의로 설정하였으며, 이 때 사각형의 패치와 접지면의 컨덕턴스는 $8 \times 10^7 \text{simens/m}$ 이고 기판의 유전율 및 loss tangent 값은 2.2 와 0.002 이다.

II-2. Via-free ENG ZOR 안테나

$$\omega_{EZR} = \omega_E = 1/\sqrt{L_{v2}C_{v2}} \quad (3)$$

Via-free ENG ZOR 안테나는 via가 있는 버섯구조 ENG ZOR 안테나와는 달리 그림 2.(a)와 같이 DGS (defected ground structure) 구조를 이용하여 필요한 병렬 인덕턴스를 얻는다^[4]. 접지면의 사각형 패치와 접지면 사이에서 발생하는 커패시턴스 C_{v2} 와 인덕턴스 값을 갖는 라인에 의한 L_{v2} 값이 첨가된 구조이며 등가회로는 그림 2.(b)와 같다^[4]. Via-free ENG ZOR 안테나의 ZOR 공진 주파수는 식(3)과 같이 나타내어지며 인덕턴스값 L_{v2} 는 meander-line 등으로 대체하여 그

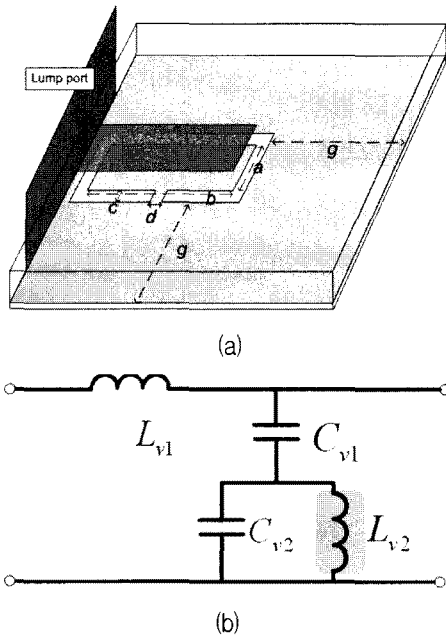


그림 2. (a) via-free ENG ZOR 안테나의 구조
 (b) via-free ENG ZOR 안테나의 등가회로
 Fig. 2. (a) Structure of via-free ENG ZOR antenna.
 (b) Equivalent circuit of via-free ENG ZOR antenna.

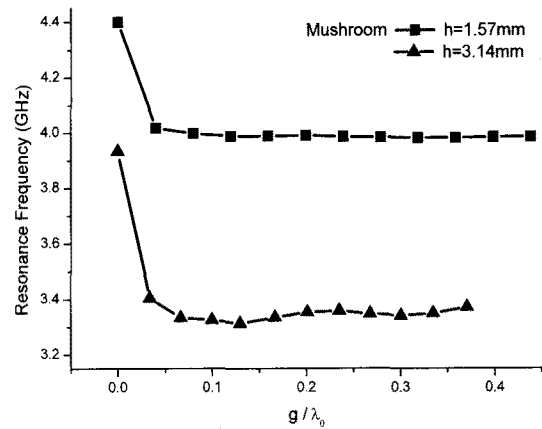
값을 조절 할 수 있다.

Via-free ZOR 안테나에서도 앞의 버섯구조와 같이 급전부 임피던스 정합단의 영향을 배제한 기판의 크기가 안테나의 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 급전부를 제외한 세 방향으로 기판의 길이(g)를 늘려 가면서 안테나의 입력 임피던스를 확인하였다. 그 후, lump port를 이용 공진주파수에서의 안테나의 임피던스를 정합시켜 이 때의 공진주파수와 대역폭 및 방사효율을 계산하였다. 또한 기판의 높이 변화에 따른 안테나의 특성변화를 알아보기 위하여 기판의 높이를 $h=1.57\text{mm}$ 와 $h=3.14\text{mm}$ 두 가지 형태로 시뮬레이션 하였으며 4GHz대역에서 동작하기 위하여 그림 2.(a)에서의 직사각형 패치의 길이 $a \times b$ 는 각각 $2\text{mm} \times 10\text{mm}$ ($0.03\lambda_0 \times 0.14\lambda_0$)이며 접지면상의 사각패치와 접지면과의 거리 $c=0.5\text{mm}$ 이고 인덕턴스 라인의 두께 $d=0.5\text{mm}$ 이다. 기판의 길이 g 는 안테나 접지면 부터 $0-33\text{mm}$ ($0-0.46\lambda_0$)까지 변화시켰다. Via-free ZOR 안테나 또한 앞에서의 버섯구조와 마찬가지로 특정 기판에서의 결과가 아닌 일반적인 결과를 도출하기 위하여 급속의 컨덕턴스와 기판의 유전율 및 loss tangent 값을 임의로 설정하였으며, 이 때 사각형의 패치와 접지면의 컨덕턴스는 $8 \times 10^7 \text{simens/m}$ 이고 기판의 유전율 및 loss tangent 값은 2.2 와 0.002 이다.

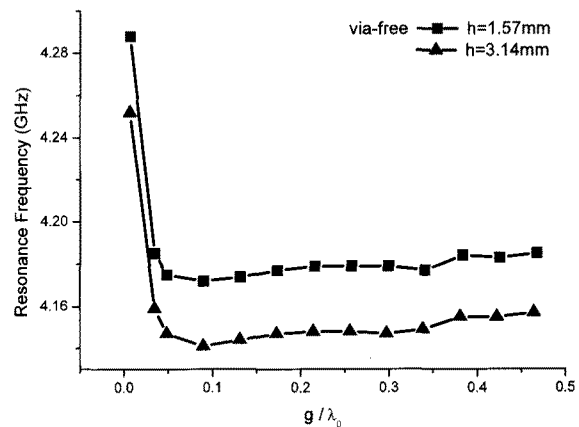
III. 접지면 크기에 따른 안테나의 특성변화

접지면의 길이(g)를 약 $0-33\text{mm}$ ($0.46\lambda_0$)까지 변화시키면서 접지면의 길이(g)를 각 공진주파수에서의 공기중 파장의 길이(λ_0)로 나누어 정규화 시켰으며 이때의 버섯구조 ENG ZOR 안테나와 via-free ENG ZOR 안테나의 입력저항 및 공진주파수와 대역폭 그리고 방사효율의 변화에 대하여 HFSS를 이용하여 시뮬레이션하고 비교하였다.

그림 3은 길이(g)가 늘어남에 따른 접지면 크기와 높이 변화에 의한 via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나와 via-free ZOR 안테나의 공진 주파수 변화를 보여준다. 일반적인 via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나의 경우 접



(a)



(b)

그림 3. 접지면 크기 변화에 따른 공진주파수 변화
 (a) 버섯구조 ZOR 안테나
 (b) via-free ZOR 안테나

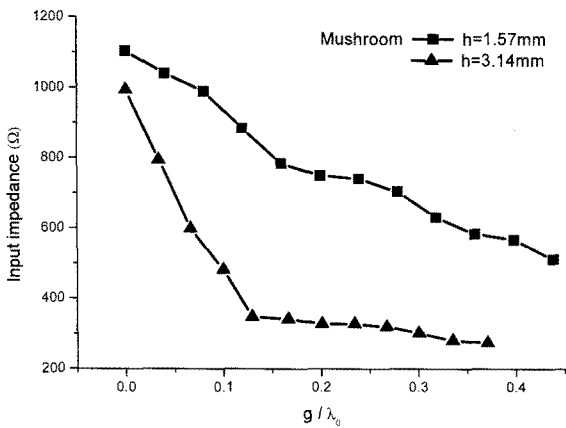
Fig. 3. Variation of resonance frequency on the ground plane size.
 (a) Mushroom ENG ZOR antenna
 (b) via-free ENG ZOR antenna

지면의 길이가 사각패치로부터 약 $3\text{mm}(\lambda_0/16)$ 정도 되었을 때, 표.1에서와 같이 C_{m1} 과 L_{m2} 의 값이 증가하면서 공진주파수가 낮아지며 그 후 접지면의 크기가 늘어

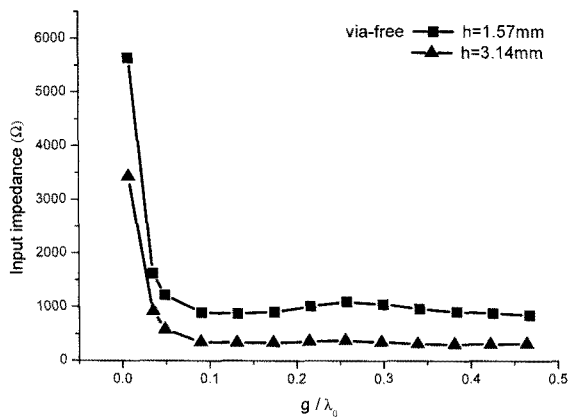
표 1. 접지면 크기변화에 따른 C_{m1} 와 L_{m2} 및 C_{v2} 와 L_{v2} 값의 변화

Table 1. Variation of C_{m1} , L_{m2} , C_{v2} and L_{v2} on the ground plane size.

h=1.57mm	g/λ_0	0	0.04	0.12	0.24
버섯구조	C_{m1} (pF)	1.42	1.63	1.63	1.62
	L_{m2} (nH)	0.92	0.96	0.95	0.99
via-free	C_{v2} (pF)	1.83	4.23	4.13	4.16
	L_{v2} (nH)	0.75	0.34	0.35	0.35



(a)



(b)

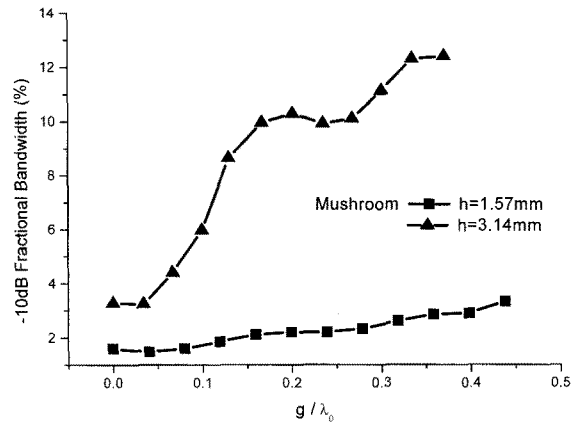
그림 4. 접지면 크기 변화에 따른 입력저항 변화
(a) 버섯구조 ZOR 안테나
(b) via-free ZOR 안테나

Fig. 4. Variation of input impedance on the ground plane size.
(a) Mushroom ENG ZOR antenna
(b) via-free ENG ZOR antenna

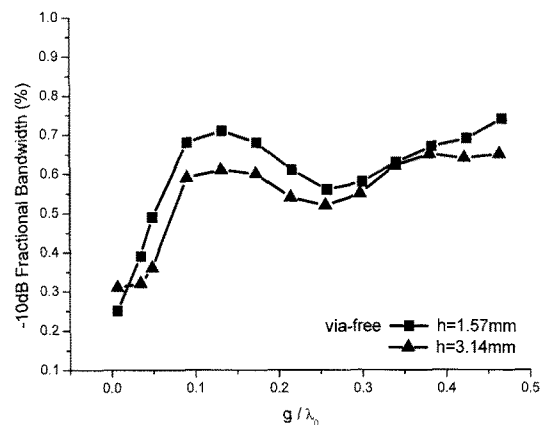
나도 공진주파수는 일정해짐을 확인 할 수 있다.

Via-free ZOR 안테나의 경우 g 의 값이 0에서 $0.04\lambda_0$ 로 변화할 때, L_{v2} 값은 감소하나 C_{v2} 값이 크게 증가함을 볼 수 있으며 이로 인하여 공진 주파수가 낮아진다. 접지면의 크기가 약 $\lambda_0/10$ 가 되는 지점부터 C_{v2} 와 L_{v2} 의 값의 변화가 일정해지면서 공진 주파수가 일정해짐을 확인 할 수 있다. 이로 인하여 일정크기의 이상의 기판크기를 확보하였을 때 공진주파수가 일정하게 결정됨을 확인 할 수 있다.

그림 4.는 접지면 크기변화에 따른 안테나의 입력저항의 변화를 보여준다. Via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나의 경우 접지면의 크기가 커짐에 따라 입력저항이 계



(a)



(b)

그림 5. 접지면 크기 변화에 따른 대역폭의 변화
(a) 버섯구조 ZOR 안테나
(b) via-free ZOR 안테나

Fig. 5. Variation of fractional bandwidth on the ground plane size.
(a) Mushroom ENG ZOR antenna
(b) via-free ENG ZOR antenna

속해서 감소함을 확인 할 수 있으며, 반면 via-free ZOR 안테나의 경우 접지면의 크기가 약 $\lambda_0/10$ 가 되는 지점까지 급격히 감소한 후 입력저항의 변화가 거의 없음을 확인 할 수 있다.

$$Q_m = R\sqrt{\frac{C_{m1}}{L_{m2}}} \quad (4)$$

$$Q_v = R\sqrt{\frac{C_{v2}}{L_{v2}}} \quad (5)$$

버섯구조 ZOR 안테나와 via-free ZOR 안테나에서의 Q는 식(4)와 (5)를 이용하여 구할 수 있다^[5]. Q값을 이용한 -10dB 대역폭은 $1/Q\sqrt{2}$ 이며, 이는 $\sqrt{C_{m1}/L_{m2}}$ 의 값이 일정할 경우 대역폭이 입력저항 R값에 반비례하여 변화함을 확인 할 수 있다.

표. 2-1. 접지면 크기 변화에 따른 입력저항 및 Q값의 변화 (via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나)

Table 2-1. Variation of input impedance and Q on the ground plane size (Mushroom ZOR antenna with via).

버섯구조	g/λ_0	0	0.12	0.12	0.24
h=1.57mm	R	1104	1041	885	741
	$\sqrt{\frac{C_{m1}}{L_{m2}}}$	0.039	0.041	0.041	0.04
	Q	43	42	36	30
h=3.14mm	R	994	794	482	328
	$\sqrt{\frac{C_{m1}}{L_{m2}}}$	0.026	0.026	0.022	0.021
	Q	25	21	10	7

표 2-2 접지면 크기 변화에 따른 입력저항 및 Q값의 변화 (via-free ZOR 안테나)

Table 2-2. Variation of input impedance and Q on the ground plane size (Via-free ZOR antenna).

via-free	g/λ_0	0	0.04	0.12	0.24
h=1.57mm	R	5188	1223	881	1095
	$\sqrt{\frac{C_{v2}}{L_{v2}}}$	0.494	0.111	0.108	0.109
	Q	256	136	95	120
h=3.14mm	R	3432	580	338	378
	$\sqrt{\frac{C_{v2}}{L_{v2}}}$	0.064	0.324	0.337	0.357
	Q	220	188	113	134

그림 5.는 접지면의 크기변화에 따른 -10dB 대역폭의 변화를 보여주고 있으며, Via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나의 경우 표.2.-1을 통하여 접지면의 크기가 약 $\lambda_0/10$ 가 되는 지점 이후 $\sqrt{C_{m1}/L_{m2}}$ 의 값이 일정해짐을 확인 할 수 있고 이는 입력저항(R)의 변화가 대역폭에 미치는 영향을 그림 5.(a)를 통하여 확인 가능하다. Via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나의 경우 일정크기의 접지면이 확보되면 기판의 크기가 커지수록, 기판의 높이가 높아질수록 입력저항(R)의 값이 감소하여 대역폭이 증가함을 관찰할 수 있다.

표.2-2는 via-free ZOR 안테나 에서의 기판의 크기와 높이에 따른 입력저항 및 $\sqrt{C_{m1}/L_{m2}}$ 와 Q값의 변화를 보여주고 있으며, via-free ZOR 안테나의 경우 접지면 크기가 커짐에 따라 버섯구조 ZOR 안테나와 마찬가지로 R값에 반비례하여 대역폭이 변화함을 그림 5. (b)을 통하여 확인 할 수 있다. 또한 기판의 높이가 1.57mm에서 3.14mm로 높아짐에 따른 대역폭의 감소는 표. 3 에서와 같이 L_{v2} 의 값이 크게 감소하면서 $\sqrt{C_{v2}/L_{v2}}$ 값이 증가하였기 때문이고 이는 시그널 라인과 접지면의 사각패치 사이의 거리가 멀어짐에 따라 커플링 효과가 감소함 때문으로 사료된다.

그림 6.은 버섯구조 ZOR 안테나와 va-free ZOR 안테나의 접지면의 크기와 기판의 높이에 따른 방사효율의 변화를 보여주며 두 가지 구조 모두 접지면 크기가 커짐에 따라 방사효율이 증가하고 있음을 확인 할 수 있다. 하지만 via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나의 경우 기판의 높이가 높아졌을 때 방사효율 또한 증가하는 반면 via-free ZOR 안테나의 경우 기판의 높이가 높아짐에 따라 방사효율이 감소함을 관찰 할 수 있었다.

Via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나와 via-free 안테나의 특성비교를 위하여, 표.4는 동일크기의 패치를 갖으며 기판의 높이가 1.57mm이고 접지면의 크기가 $0.1\lambda_0$ 일 때 버섯구조 ZOR 안테나와 via-free ZOR 안테나의 특성을 나타내고 있다. Via-free 구조의 경우 버섯구조

표 3. via-free ZOR 안테나의 높이에 따른 L_{v2} 값의 변화

Table 3. Variation of L_{v2} on the height of via-free ZOR antenna.

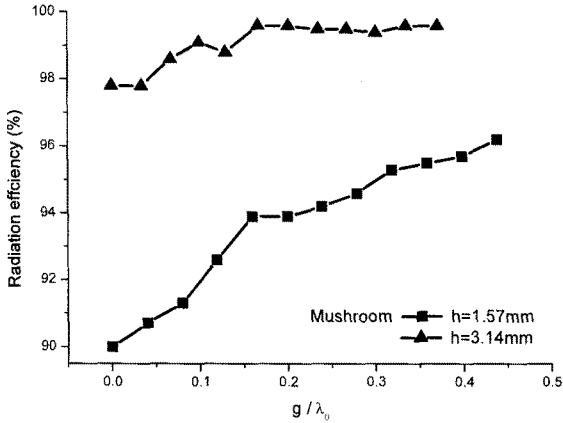
	g/λ_0	0	0.04	0.12	0.24
h=1.57mm	L_{v2} (nH)	0.751	0.343	0.352	0.349
h=3.14mm	L_{v2} (nH)	0.585	0.118	0.114	0.108

V. 결 론

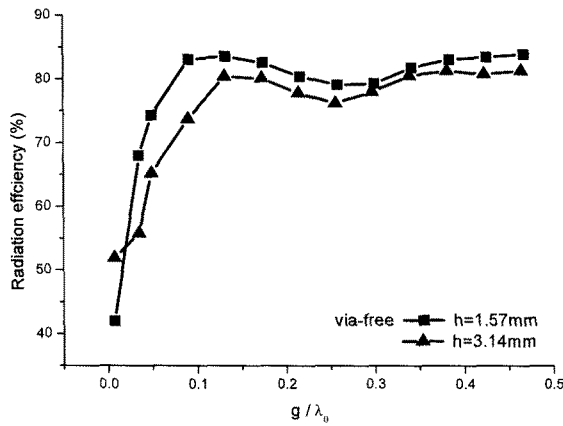
본 논문에서는 via가 있는 버섯구조를 이용한 ENG ZOR 안테나와 DGS 구조를 이용한 via-free ENG ZOR 안테나의 접지면 크기의 변화에 따른 입력저항, 대역폭, 방사효율의 영향에 대하여 이론적 연구를 수행하였다. Via-free ZOR 안테나가 via가 있는 버섯구조 ZOR 안테나보다 접지면 크기에 영향을 더 받는 것으로 확인되었다. 특히, via-free ZOR 안테나의 경우 일정한 크기의 접지면($0.1\lambda_0$)을 확보 하였을 때와 그렇지 못하였을 때($0.007\lambda_0$) $h=1.57\text{mm}$ 일 경우 대역폭과 방사효율이 약 35%, 50% 감소하며, $h=3.14\text{mm}$ 일 경우 대역폭과 방사효율이 약 51%, 65% 감소함을 확인하였다. Via가 있는 안테나는 기판의 높이가 높아질수록 대역폭과 방사효율이 좋아지고, via-free 안테나의 경우 높이가 높아질수록 대역폭과 방사효율이 떨어지는 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

- [1] A. Lai, Itoh, T., Caloz, C., "Composite right/left-handed transmission line metamaterials," IEEE Microwave Magazine, vol.5, no.3, pp.34-50, 2004.
- [2] Jae-Gon Lee and Jeong-Hae Lee, "Zeroth order resonance loop antenna," IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 3, pp. 994-997, March, 2007.
- [3] J. H. Park, Y. H. Ryu, J. G. Lee, and J. H. Lee, "Epsilon negative zeroth-order resonator antenna," IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 12, pp. 3710~3712, 2007.
- [4] J. H. Park, Y. H. Ryu, J. G. Lee, and J. H. Lee, "A novel via-free composite right- and left-handed transmission line using defected ground structure," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 49, No. 8, 2007.
- [5] David M. Posar, Microwave Engineering, Second Edition, John Wiley & Sons, Press.



(a)



(b)

그림 6. 접지면 크기 변화에 따른 방사효율의 변화
(a) 버섯구조 ZOR 안테나
(b) via-free ZOR 안테나

Fig. 6. Variation of radiation efficiency on the ground plane size.
(a) Mushroom ENG ZOR antenna
(b) via-free ENG ZOR antenna

표 4. 동일 크기 버섯구조 ZOR 안테나와 via-free ZOR 안테나의 특성비교

Table 4. Characteristic comparison of mushroom ZOR antenna and via-free ZOR antenna in same dimension.

	공진주파수 (GHz)	-10dB 대역폭 (%)	방사효율 (%)
버섯구조	3.997	1.6	91
via-free	2.491	0.6	77

와 비교하여 대역폭이 좁고 방사효율은 낮지만 소형화에 유리함을 알 수 있다.

저 자 소 개



이 승 욱(학생회원)
 2008년 2월 홍익대학교 전자전기
 공학부 졸업.(공학사)
 2008년 3월 홍익대학교 전자정보
 통신공학과 석사과정.
 <주관심분야 : 마이크로파 및 밀
 리미터와 회로설계, 안테나 설계,
 Metamaterial RF 소자>



박 재 현(학생회원)
 2005년 2월 홍익대학교 전자전기
 공학부 졸업.(공학사)
 2008년 2월 홍익대학교 전자정보
 통신공학과 졸업.
 (공학석사)
 2008년 홍익대학교 전자정보통신
 공학과 박사과정

<주관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 회로설
 계, 안테나 설계, Metamaterial RF 소자>



이 정 해(정회원)
 1985년 2월 서울대학교
 전기공학과 (공학사)
 1988년 2월 서울대학교
 전기공학과 (공학석사)
 1996년 3월 UCLA 전기공학과
 (공학박사)

1993년 3월~1996년 2월 General Atomics
 교환연구원

1996년 3월~1996년 8월 UCLA 전기공학과
 Postdoctor

1996년 9월~현재 홍익대학교 전자전기공학부
 부교수

<주관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 소자,
 안테나, Metamaterial RF 소자>