

모바일 소형 안테나의 유한 그라운드 활용

김기진 · 유종원

한국과학기술원

요 약

최근 개인 무선통신 기술의 발달과 모바일화로 인해 안테나의 소형화가 요구되어 왔다. 소형화 과정에서 안테나가 가지고 있는 본질적인 특성(이득, 대역폭, 다이버시티 등)은 유지되기를 희망하고 있다. 이를 위해 소형 안테나의 그라운드 면이 또 다른 안테나 방사체임을 이용하여 안테나의 고유 특성의 열화를 조절할 수 있겠다. 본문에서는 소형 안테나의 그라운드 크기가 안테나의 특성에 미치는 영향을 분석하고, 최적의 그라운드 조건을 제시한다.

I. 서 론

무선 통신 기술의 급격한 발달로, 모바일 환경에 적합한 새로운 안테나 개발이 요구되고 있으며, 특히 단말기 내에 소형 내장형 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1].

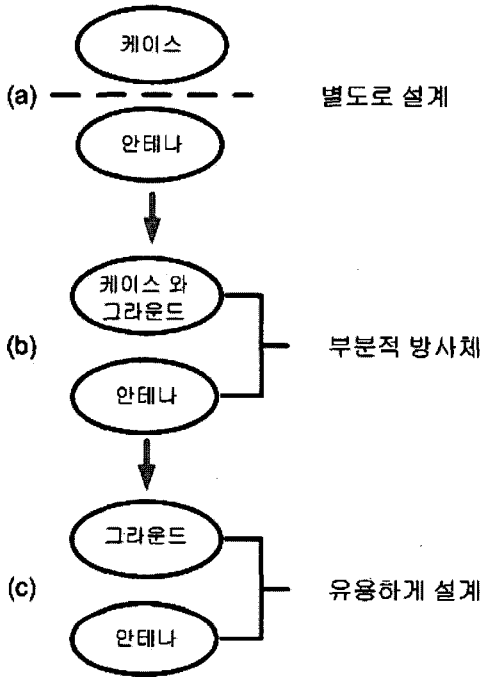
안테나의 사이즈가 작아짐에 따라, 안테나 복사 효율과 대역폭이 감소하고 이득이 줄어 들며 이미 이런 관점으로 많은 연구가 진행되었다^{[2][3]}. 반면 무선 통신 기기들의 경향은 저 전력 소모, 빠른 데이터 전송속도를 요구하면서, 안테나의 적당한 이득과 충분한 대역폭 확보가 점차 중요시되고 있다. 그러므로 이를 극복하기 위한 새로운 관점의 전환이 필요하다. 관점의 전환이라는 측면에서 이 글에서는 최근 활발히 연구되고 있는 안테나의 그라운드 효과에 대해 언급하려고 한다^{[4][5]}.

현재 모바일 단말기 안테나의 대부분은 $\lambda/4$ 모노폴(monopole) 안테나 구조이다. 이는 $\lambda/2$ 다이폴(di-

pole) 안테나에 이미지 이론(image theory)를 적용하여 안테나 길이를 $\lambda/4$ 로 줄여 소형 안테나에 적합하기 때문이다. 이미지 이론이란 무한이 큰 접지면 위에 전하나 전류 같은 전자기 소스가 있는 경우와 접지 면을 제거하고 크기는 같고 벡터 방향이 반대인 소스를 등가 치환한 경우와 같다는 이론이다. 다른 시각에서 설명하면, 모노폴 안테나의 경우는 그라운드에 흐르는 전류가 다이폴의 경우와 같이 방사체로 중요한 역할을 한다는 것이다.

단말기의 소형화는 결국 또 다른 방사체인 그라운드 크기를 줄이는 역할을 함으로써, 최종적으로 얻고자 하는 안테나 특성을 제한할 수 있다. 그런 특성을 설명하기 위해서 주어진 안테나 모양에 최대 특성을 끌어내기 위한 그라운드 사이즈에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 또한 그라운드 방사체의 효과를 보기 위해 단말기를 둘러싼 케이스나 배터리 효과 역시 많이 연구가 되고 있다^[6]. 소형 안테나 설계에 있어서의 최근 경향을 [그림 1]에 나타내었다.

물론 그라운드를 방사체로 적극 활용하는 구조가 가지는 단점들은 존재한다. 그라운드가 방사체이기 때문에 인접한 물체(사람의 머리, 손)에 의해 안테나 특성이 쉽게 변할 수 있다는 점이 가장 큰 예이다. 사실 사람의 손에 의해 안테나의 이득이 6 dB 떨어진다는 것은 알려진 예이다. 또한 그라운드 내에 흐르는 전류의 변화가 안테나의 공진 주파수, 그리고 대역폭의 변화를 가져올 수 있다는 점에서 그 문제는 더욱 크다. 이를 원천적으로 봉쇄하기 위한 구조로써 $3\lambda/8$ 안테나 또는 $5\lambda/8$ 안테나의 사용을 하기도 하고 대칭 타입(balanced type)의 안테나를 사용하기도 하였다. 그러나 전자는 안테나의 크기면에서



[그림 1] 안테나 설계시에 그라운드 활용 변화

모바일 환경에 부적합하고, 후자는 별론(balun)이 필요하다라는 점이 문제가 된다.

하지만, 안테나의 설계 초기부터 그라운드 효과를 명확히 이해하고 안테나와 그라운드의 설계를 동시에 하여 최적점을 찾는다면, 소형 안테나 설계에서는 장점이 더욱 많을 것이다. 실제로 안테나 그라운드를 활용하여 대역폭을 넓힌 예가 많이 발표되었고^[7], 칩 안테나의 경우 안테나 이득이 -6 dB에서 -2 dB로 향상되는 결과를 가져왔다.

여기서 다루고자 하는 내용은 PIFA(Planar Inverted F Antenna)에서 대칭과 비대칭 그라운드 사이즈 별로 안테나의 특성 변화와 최적의 포인트 그리고 그 포인트를 만들 수 있는 방법에 대해 논의해 보고자 한다.

다음 절부터 연구된 내용은 선행 연구 결과를 유한 적분법과 구조 근사법을 기본 이론으로 하는

CST Microwave Studio 상용 프로그램을 사용하여 검증하였고^[5], 비대칭 그라운드 사이즈가 안테나의 성능에 미치는 효과를 추가 제시하였다.

II. 유한 대칭 그라운드

2-1 PIFA 구조

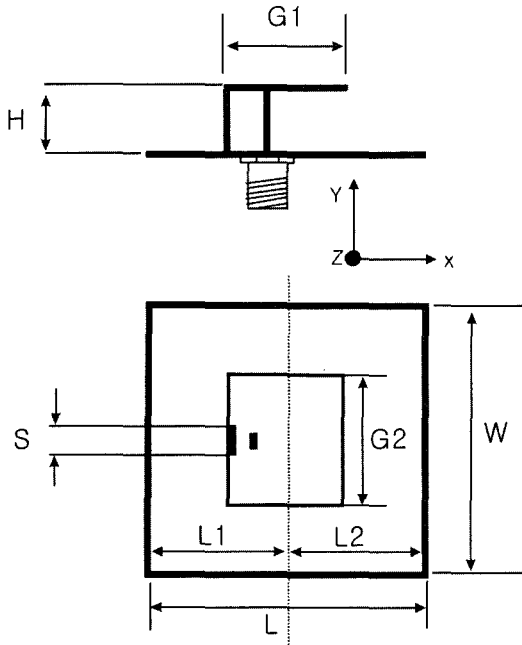
그라운드 효과에 대한 연구는 1950년대부터 계속 되었다^{[8]~[10]}. 대부분의 연구는 원형 그라운드 위에 모노폴 안테나의 특성에 관한 연구였다. 그 후 다른 안테나 타입(ex: 패치 안테나)에 대한 연구 결과도 발표되었다^[11]. 이번 절에서는 PIFA 안테나의 그라운드의 크기에 따른 특성 변화를 살펴볼 것이다.

PIFA는 그 특성이 모노폴과 유사하며, low-profile이라는 장점을 가지고 있어 소형 이동통신 기기의 안테나로 널리 이용되고 있다.

우선 논문에 나온 내용의 검증을 통해 대칭형 그라운드를 가진 효과를 알아보자^[5]. PIFA([그림 2])는 PCS 대역을 커버할 수 있는 공진 주파수(resonance frequency)를 가지도록 $G1=G2=0.125\lambda$, $H=0.065\lambda$, $S=0.03125\lambda$ 의 구성을 가진다. 그라운드 크기는 $L=W$ 로써 정사각형을 이루고 있고 그라운드 효과를 보기 위해 무한 그라운드로 가정된 안테나와 L 값을 변화하면서 발생하는 현상을 비교하여 안테나의 특성 변화를 살펴보자.

2-2 공진 주파수와 대역폭의 변화

그라운드 크기 L 의 값을 1.4λ 부터 0.15λ 까지 변화시켜가면서 공진 주파수의 변화를 살펴보았다. [그림 3]에서 안테나의 크기를 작게 하는 공진 주파수의 경우에는 무한 그라운드의 경우보다 오히려 1λ 정도의 그라운드 사이즈에서 더 유리함을 확인할 수 있으며, 0.4λ 이내의 아주 작은 그라운드 사이즈에서는 오히려 공진 주파수가 상승하여 안테나



[그림 2] PIFA의 구조

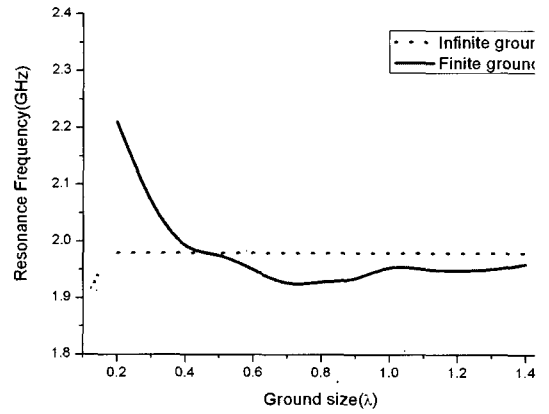
의 소형화 관점에서는 불리함을 보여 주었다.

두 번째 특성으로 사이즈 변화에 따른 대역폭의 변화를 [그림 4]에 나타내었다. 대역폭의 측면에서도 무한 그라운드보다 1.4λ 와 0.9λ 에서 더 좋은 특성을 보여 주었고, 0.8λ 이하의 그라운드 크기에서는 상용 무선 시스템에서 요구하는 대역폭을 만족시킬 수 없음을 알았다.

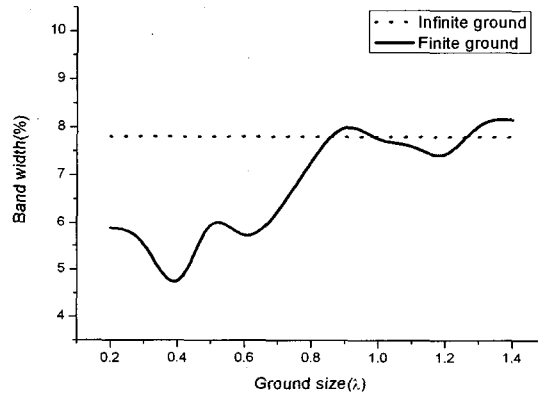
마지막으로 [그림 5]에서 방향성의 경향을 살펴보았으며, 그라운드 크기가 1.3λ 이내부터는 방향성이 계속 감소함을 보여줬다. 결과적으로 PIFA에 대칭적인 그라운드 조건으로 설계하였을 경우 0.8λ 이내에서는 안테나 특성의 많은 열하를 가져와 안테나 설계시 어려움에 부딪치게 된다.

2-3 빔 패턴의 변화

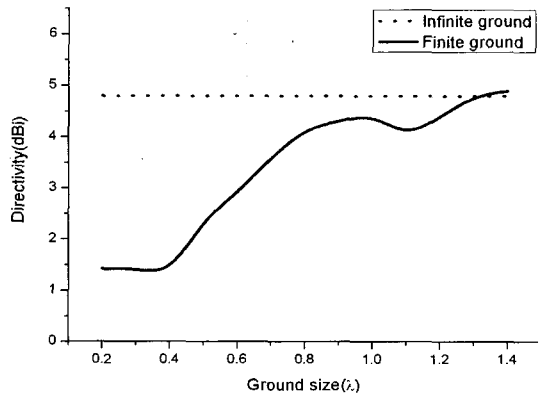
무한 그라운드 위의 모노폴과 PIFA의 빔 패턴은 azimuth 각도에서 θ 방향의 선형 편파(polarization)



[그림 3] 그라운드 크기에 따른 공진 주파수 변화



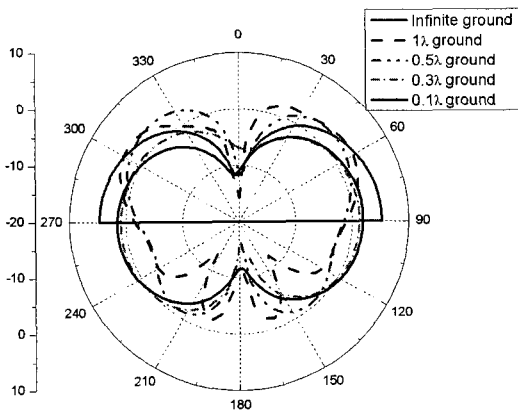
[그림 4] 그라운드 크기에 따른 대역폭 변화



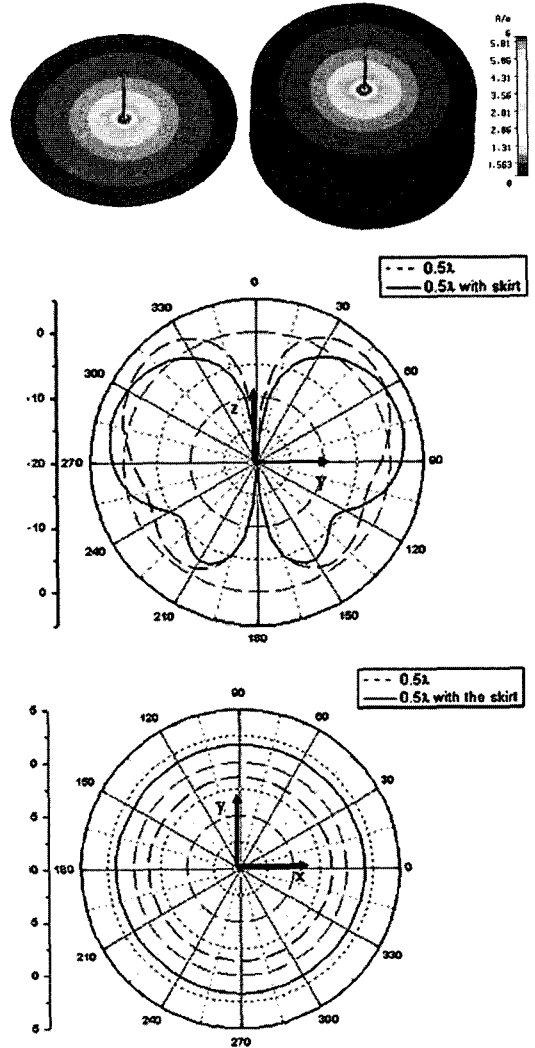
[그림 5] 그라운드 크기에 따른 방향성 변화

로 omni-direction 하게 방사된다. 하지만 그라운드 사이즈가 작아짐에 따라 그라운드 모서리에 전류 굴절(current edge diffraction) 현상이 발생하여 θ 방향의 선형 편파 외에 ϕ 방향의 직교 편파가 발생하여 최대 빔이 형성되는 각도를 θ 가 90도가 아닌 다른 각도로 만들게 된다. 이런 현상을 살펴보기 위하여 [그림 1]의 PIFA 구조에 원형 그라운드를 치환하여 그 크기를 조절해가면서 빔 패턴을 살펴보았다.

[그림 6]의 결과를 보면 무한 그라운드에서는 $\theta = 90^\circ$ 에서 최대 빔이 형성되는 것을 볼 수 있지만, 그라운드 반경이 λ 에서는 $\theta = 60^\circ$, 0.5λ 에서는 $\theta = 45^\circ$ 에서 최대 빔이 형성되어 작은 그라운드일수록 수직 편파의 세기가 강해지고 있음을 확인할 수 있다. 반면 그라운드 반경이 0.3λ 이내에서는 빔 패턴이 마치 dipole의 빔 패턴과 유사한 성질을 가지게 된다. 이는 그라운드 모서리에 전류 유기가 너무 강하게 되어 유기된 전류 방향으로 빔이 형성됨을 알 수 있고, 이로써 그라운드 표면 전류의 조절로 인한 빔 패턴의 조절이 가능하다는 단서를 제시한다 하겠다. 한편 안테나의 azimuth 각도 방향으로 최대 빔을 형성시켜야 하는 많은 application들이 존재한다. 무한히 큰 그라운드 사이즈가 불가피할 경우 다른 방법



[그림 6] 그라운드 크기에 따른 빔 패턴



[그림 7] Skirt를 달았을 때의 빔 조절 모습. 표면 전류의 분포(상), Elevation 각도의 빔 패턴(중), Azimuth 방향의 빔 패턴(하)

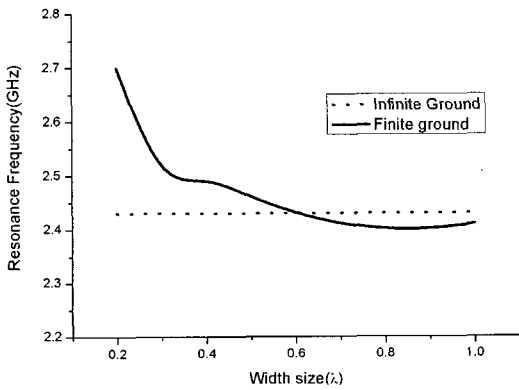
을 찾아야 한다. 이를 연구한 자료에 의하면, 그라운드 반경이 0.5λ 이고 그라운드에 0.25λ 의 skirt를 연결하면 최대 빔을 $\theta = 90^\circ$ 에 가깝게 할 수 있다고 한다. 이 역시 표면 전류가 그라운드 모서리에서 굴절하는 것을 아래로 향하게 하여 $-z$ 방향의 전류 성분

을 생성함으로써 빔 패턴을 조절한 예라 할 수 있다.

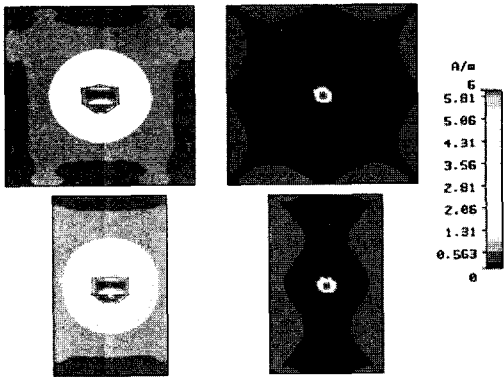
Ⅲ. 유한 비대칭 그라운드

3-1 그라운드 폭의 영향

[그림 2]에서 L 은 1λ 로 고정시켜 놓고 W 를 변화시켜 가면서 안테나에 미치는 영향에 대해 살펴보고자 한다. 공진 주파수는 WLAN 주파수 대역을 포함하도록 $G1=0.088\lambda$, $G2=0.192\lambda$, $H=0.064\lambda$, $S=0.016\lambda$ 로 설계하였다. W 의 조절 범위는 $1\lambda \sim 0.2\lambda$ 로 하



(a)



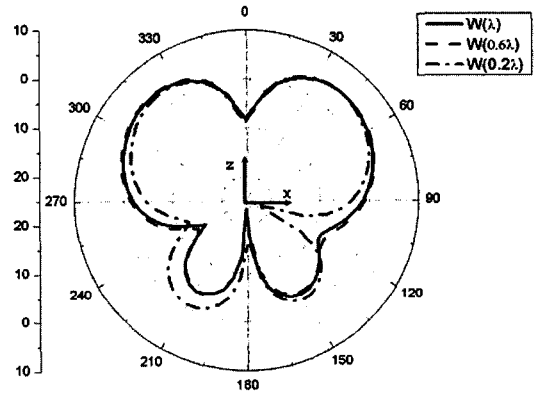
(b)

[그림 8] (a) W 변화가 공진 주파수에 미치는 영향, (b) 그라운드 크기에 따른 표면 전류 분포($W=1\lambda$ 위, $W=0.6\lambda$ 아래)

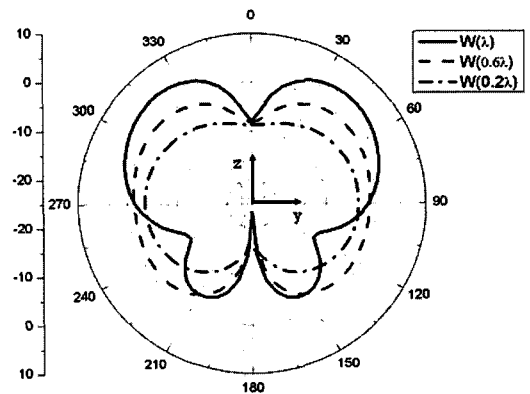
였다.

공진 주파수를 살펴보면 [그림 8(a)] 폭의 길이가 0.6λ 보다 작아지면 공진 주파수가 급격히 올라가는 것을 확인할 수 있다. 이는 [그림 8(b)]에서 보는 바와 같이 W 방향으로 존재하던 그라운드 전류의 모드가 억제되면서 공진 주파수가 올라가는 현상이 발생한다.

이와 함께, 그라운드의 표면전류 다시 말해 전류 모드가 방사 패턴을 결정한다는 점을 [그림 9(b)]에서 다시 한 번 확인할 수 있다. [그림 9(a)]의 전류 모



(a)



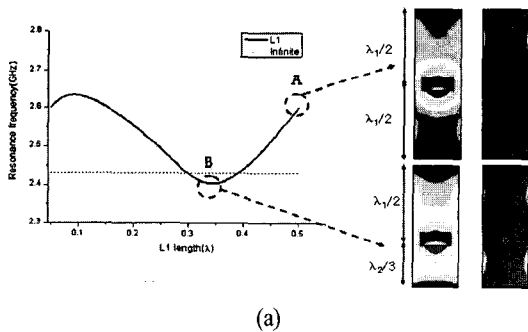
(b)

[그림 9] (a) L 방향으로의 빔 패턴, (b) W 방향으로 빔 패턴(크기가 0.6λ 이내가 되면 y 방향의 전류가 억압되어 빔 패턴도 형성되지 않고 있다.)

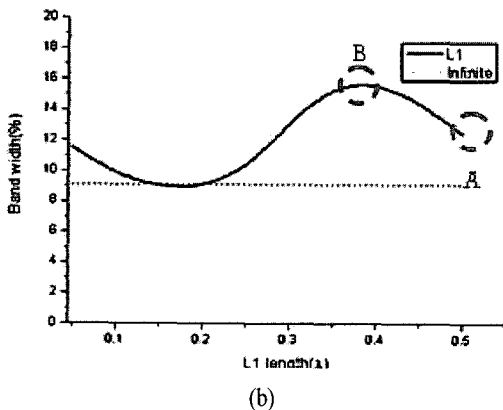
드는 변함이 없어서 방사 패턴이 그라운드에 따라 영향이 없지만, [그림 9(b)]와 같은 경우 0.6λ 의 W 크기보다 작아지면서 y 방향 빔이 억제되는 것으로 부터 이를 입증하였다.

3-2 전류 모드와 안테나 특성

이번 절에서는 전류 모드가 어떻게 안테나의 특성에 영향을 미치는지 좀 더 자세히 살펴보도록 하겠다. 이를 보기 위한 조건으로 [그림 2]의 $W=0.3\lambda$, $L_2=0.5\lambda$ 인 조건에서 안테나의 위치 L_1 을 $0.05\lambda \sim 0.5\lambda$ 까지 조절해 가면서 특징의 변화를 관찰하였다. [그림 10(a)]에 보이는 바와 같이 점 A에서는 $L_1 \cong$



(a)



(b)

[그림 10] (a) L_1 길이 조절에 의한 표면 전류의 공진, (b) L_1 조절에 의한 대역폭의 변화(전류 모드의 다양화로 인해 점 B가 대역폭이 가장 넓다.)

$L_2=0.5\lambda_1$ 인 그라운드 사이즈 구조이고, 안테나를 기준으로 위쪽 그라운드와 아래쪽 그라운드의 전류 모드가 λ_1 에 해당하는 모드를 가지고 있어 안테나의 공진 주파수가 f_1 이 된다. 반면, 점 B의 위치에서는 L_1 은 $0.33\lambda_2$ 에 길이에 해당하는 길이를 가지고 있어 f_2 의 공진 주파수를 가지고 있고, L_2 는 $0.5\lambda_1$ 에 해당하는 공진 모드를 가지고 있어서 대역폭은 [그림 10(b)]처럼 두 개의 공진이 합쳐져 확장되었다. 그러므로 그라운드에 다양한 전류 모드를 형성시키는 조건을 만들면 대역폭의 증가를 가져올 수 있다는 결과를 보여주었다.

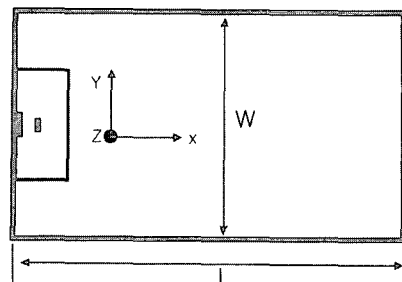
3-3 그라운드 에지 위의 안테나

좀 더 실제 모바일 환경에 적합한 안테나의 위치는 그라운드의 끝 모서리 부분에 위치해야 다른 부분에 미치는 영향도 줄이고 안테나가 시스템에 차지하는 부피도 줄일 수 있다.

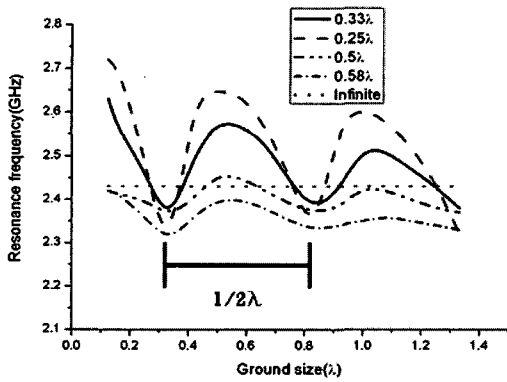
L_1 을 줄여서 안테나가 그라운드 모서리에 위치 ([그림 11])하였고 조절할 파라미터로는 그라운드의 폭 W 와 길이 L 을 변경하였다.

W 는 0.25λ , 0.33λ , 0.5λ , 0.58λ 의 경우에 대해 조사를 하였고 L 은 $0.1\lambda \sim 1.4\lambda$ 까지 변화시켜 가면서 특성 변화를 시뮬레이션 하였다.

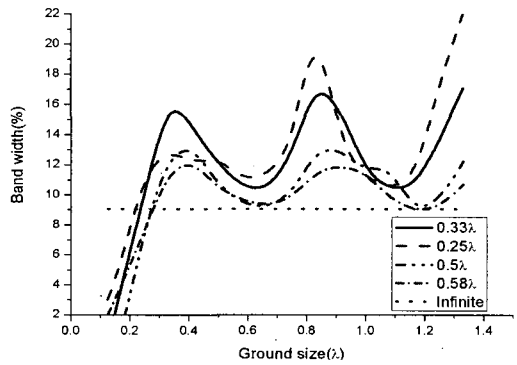
제일 먼저 공진 주파수의 변화를 살펴보면 [그림 12(a)]에 보인 것처럼 0.5λ 의 주기를 가지고 공진 주



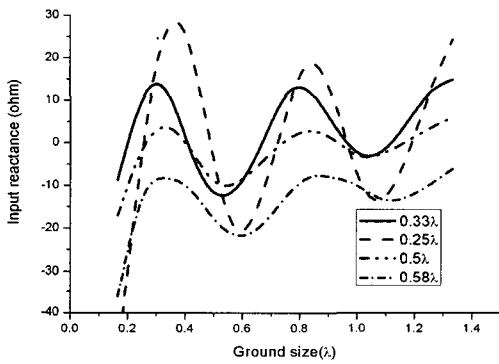
[그림 11] 안테나를 그라운드 끝에 위치한 모습



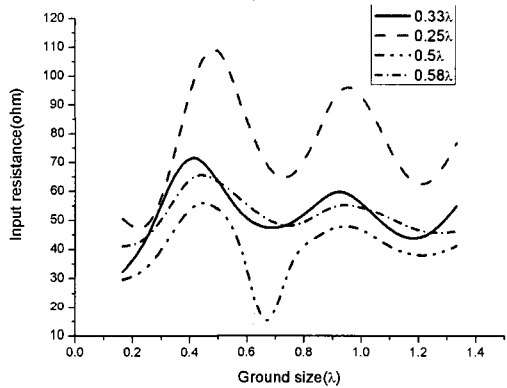
(a)



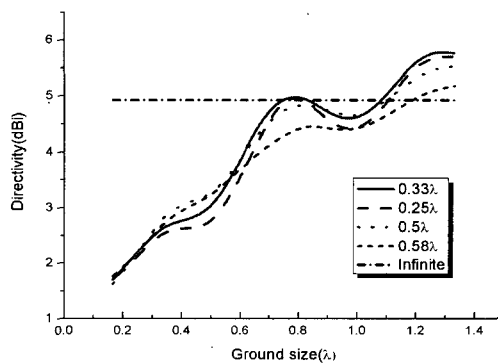
(b)



(c)



(d)



(e)

[그림 12] (a) 그라운드 에지에서 그라운드 크기에 따른 공진 주파수의 변화, (b) 그라운드 에지에서 그라운드 크기에 따른 대역폭의 변화, (c) 그라운드 에지에서 그라운드 크기에 따른 안테나 입력 임피던스 허수 값의 변화, (d) 그라운드 에지에서 그라운드 크기에 따른 안테나 입력 임피던스의 실수 값의 변화, (e) 그라운드 에지에서 그라운드 크기에 따른 안테나, 방향성 좁은 그라운드 사이즈에서 방향성 증가

파수가 흔들리는 것을 확인하였다. 즉 전류의 공진 모드가 0.5λ 주기로 존재하는데, 그라운드의 크기가 커질수록 전류 모드의 세기가 약해지면서 무한 그라운드에서의 공진 주파수로 수렴해 가는 경향을 나타낸다. 또, W 의 사이즈가 작을수록 공진을 유발하는 전류가 더 강하게 존재하면서 더 큰 공진 주파수 스윙을 하게 된다. 결국, 공진을 유발하는 전류의 모드가 다양하게 존재할 수 있는 그라운드 사이즈에서는 폭이 좁은 그라운드의 경우가 더 넓은 대역폭을 확보할 수 있음을 의미하고 이를 [그림 12(b)]에서 입증하였다.

공진 주파수와 대역폭의 변화를 안테나의 입력 임피던스 측면에서 살펴보면([그림 12(c)]) 입력 임피던스중 허수 성분의 스윙이 전류 모드의 변화와 같은 모습을 보여주고 실수 성분의 스윙은 안테나 매칭의 관점을 잘 나타내 주고 있다.

입력 임피던스의 실수부를 살펴보면 너무 스윙 폭이 심해서 주변 환경에 의한 안테나 방사 패턴이 왜곡될 우려가 심해 안테나 설계에 더욱 신경을 써야 한다. 방향성의 경우를 살펴보면 0.8λ 길이의 그라운드 길이 전류 분포에서는 방향성이 증가하는 경향을 보였으며, 전체적으로 폭이 좁은 경우가 표면 전류의 세기를 더 강화시키므로 방향성을 향상을 가져온다.

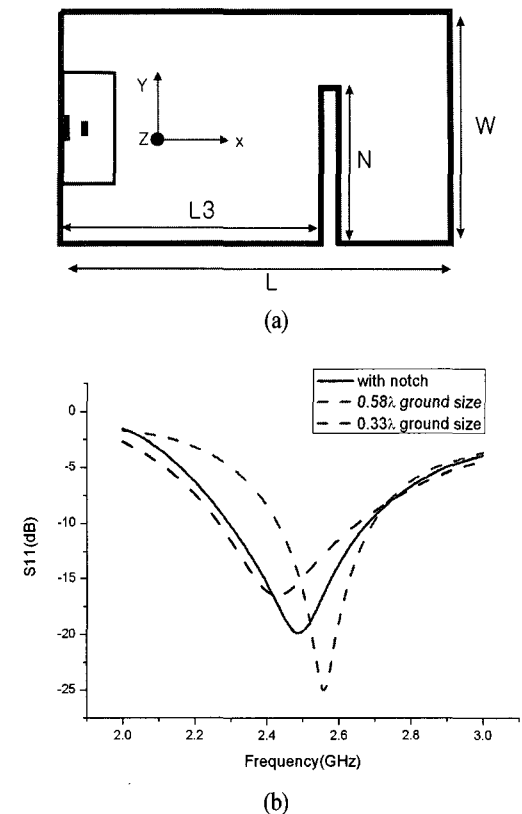
3.4 그라운드 크기 조절

본 논거의 마지막 내용으로 그라운드의 크기 조절에 관한 내용을 다루고자 한다. 앞 절에서는 특정 그라운드 크기가 안테나에 어떤 영향을 미치는지 살펴봐왔으나, 실제 무선 시스템에서는 주어진 단말기 크기가 있어 앞선 논의와 같은 물리적인 그라운드 크기의 변화는 불가능하다.

그라운드 크기에 있어서는 적용 시스템이 최적의 그라운드 크기보다 큰 경우와 작은 경우 두 가지가

존재한다. 선행 연구에서 그라운드 크기를 조절할 수 있는 방법이 시도되었다. 적용 시스템의 그라운드 크기가 작을 경우 그라운드를 미앤더(meander) 타입으로 corrugation을 만들어 그라운드 표면 전류의 이동 길이를 증가시키는 방법이 있다. 적용 시스템의 그라운드 크기가 큰 경우는 0.25λ 너치(notch)를 삽입하여 표면전류 입장에서 너치 부분에서 오픈인 것처럼 하여 전류의 전파를 막는 방법이 있겠다.

여기서는 후자의 경우를 예제로 제시하려 한다. 안테나의 구성은([그림 13(a)]) $W=0.33\lambda$, $L=0.58\lambda$, $L3=0.33\lambda$, $N=0.25\lambda$ 로 하여 0.58λ 의 원래 크기 그라운드가 있을 때 이를 0.33λ 크기로 만들기 위한



[그림 13] (a) 너치를 삽입한 PIFA 구조, (b) 0.58λ 의 그라운드 크기에 0.25λ 너치를 삽입하여 두 개의 전류 모드를 형성하여 나온 대역폭

경우를 만들어 보았다.

[그림 13(b)]을 보면 0.58λ 일 때의 상대적으로 높은 공진 주파수가 너치를 삽입한 후 그라운드 크기가 0.33λ 의 공진 주파수 방향으로 낮아진 점을 확인할 수 있으며, 대역폭은 0.58λ 의 경우 최대 주파수와 0.33λ 의 경우 최소 주파수의 특징을 너치를 삽입한 0.58λ 의 그라운드에서 보여줌으로써 두 개의 전류 모드를 강제로 만들 수 있다.

IV. 결 론

소형 안테나의 성능을 최대한 끌어올리기 위해서 본 연구에서는 다양한 그라운드 크기가 소형 안테나에 어떤 영향을 미치는지 살펴보았다. 안테나와 그라운드가 대칭을 이루는 구조에서는 그라운드의 한 변이 0.8λ 이내에서는 무선 통신 시스템에 적합한 대역폭과 이득을 얻기 어려움을 보여 주었고, azimuth 방향의 최대 빔을 형성하기 위한 skirt가 있는 그라운드 효과와 이유에 대해서도 설명해 보았다.

그라운드 표면에 유기된 전류가 또 다른 방사체라는 관점에서 유기된 전류의 모드를 복수로 만들면 각각의 전류 모드 특성이 더해져서 나타남으로써 안테나의 대역폭, 이득, 공진 주파수의 조절을 가능하게 함을 증명하였다. 전류 모드의 조합에 의해 대역폭을 20%까지 높일 수 있다는 자료는 전류 모드 조합의 중요성을 나타낸다.

작은 그라운드 내에서 이런 전류 모드의 조합을 통해 소형 안테나의 특성을 개선할 수 있기에 안테나를 설계함에 있어 그라운드의 효과를 적극적으로 검토하고 설계해야 최적의 안테나 설계가 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] K. Fujimoto, "Electrically small antenna", *Trans.*

IEICE Japan, vol. 55, no. 9, pp. 1235-1239, Sep. 1972.

- [2] Hisashi Morishita, Yongho Kim, and Kyohei Fujimoto, "Design concept of antennas for small mobile terminals and the future perspective", *IEEE Antenna's and Propagation Magazine*, vol. 44, no. 5, Oct. 2002.
- [3] K. Fujimoto, "A review of research on small antennas", *IEICE Trans.*, vol. J70, no. 8, pp. 830-838, Aug. 1987.
- [4] Brian J. Herting, "Finite ground plane packaging effects on a dual-band PIFA", *Electrical Performance of Electronic Packaging*, pp. 95-98, Oct. 2002.
- [5] M. C. Huynh, W. Stutzman, "Ground plane effects on planar inverted-F antenna(PIFA) performance", *IEE Proc.-Microwave. Antennas Propag.*, vol. 150, no. 4, Aug. 2003.
- [6] D. Manteuffel, A. Bahr, D. Heberling, and I. Wolff, "Design considerations for integrated mobile phone antennas", *11th International Conference on Antennas and Propagation*, Conference Publication IEE, no. 480, Apr. 2001.
- [7] G. Tsachtsiris, C. Soras, M. Karaboikis, and V. Makios, "Ground plane effect on the performance of a printed minkowski monopole antenna-proceedings of the 17th international conference on applied electromagnetic and communications 1-3", Oct. 2003.
- [8] A. S. Meier, W. P. Summers, "Measured impedance of vertical antennas and effects of finite ground planes", *Proc. IEEE*, pp. 609-616, 1969.
- [9] K. H. Awadalla, T. S. M. Maclean, "Input impedance of a monopole antenna at the center of a finite ground plane", *IEEE Trans. Antennas Pro-*

pag., pp. 244-248, 1978.

- [10] M. M. Weiner, "Monopole element at the center of a circular ground plane whose radius is small or comparable to a wavelength", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, pp. 1282-1287, 1987.

pp. 1282-1287, 1987.

- [11] J. Huang, "The finite ground plane effect on the microstrip antenna radiation patterns", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, pp. 649-655, 1983.

≡ 필자소개 ≡

김 기 진



2003년 8월: 국민대학교 전자공학부 (공학사)
2004년 3월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자과 석사과정

유 중 원



1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 (공학사)
1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 (공학석사)
1998년 7월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 (공학박사)
1995년 6월~2000년 3월: 삼성전자 system LSI 선임연구원

2000년 4월~2001년 9월: Wide Telecom CDMA 단말기 H/W 팀장

2001년 10월~2004년 1월: Telson USA 책임연구원

2004년 2월~현재: 한국과학기술원 조교수