

## 이중 주파수에서 동작하는 PIFA의 설계 및 분석

## Design and Analysis of PIFA with Dual Frequency Operation

박 정 호\* · 김 남\*\*

Jung-Ho Park\* · Nam Kim\*\*

## 요 약

본 논문은 이중 주파수에서 동작하는 소형의 PIFA(dual-PIFA)를 설계하고 각 파라미터의 변화에 따른 안테나 성능의 분석에 대한 내용을 다루었다. 안테나는 높은 주파수 성분에서 동작하는 작은 패치 부분과 낮은 주파수 성분에서 동작하는 큰 패치로 구성되었다. 안테나의 크기는 실험적으로 handset 단말기에 부착하기 위하여 크기를 고정시켰다. 작은 패치의 면적, 단락 스트립 및 접은 도체판의 면적을 가변 파라미터로 설정하였고 이중의 공진 주파수(900 MHz 및 1800 MHz)에서 동작하게 변화시켰다. 소형 안테나는 2-layer 형태로 구현되었고 두 주파수에서의 전계강도 및 방사패턴을 알아보았다. 안테나의 각 파라미터 변화에 따른 특성을 해석하기 위해 FDTD 기법을 이용하였다.

## Abstract

In this thesis, characteristics of compact PIFA is analyzed for operation in dual frequencies(dual-PIFA) as variety of parameters. The antenna is composed of two patches. These are operated in high frequency and low frequency. The dimension of experiential antenna is fixed for attaching at the handset. The variable parameters are dimension of small patch, length of shorting strip and dimension of folded conductor plate, the frequencies are 900 MHz and 1800 MHz. The compact antenna is implemented with 2-layer type, electric field intensities and radiation patterns are simulated. In order to analyze characteristics of a performance as variety of parameters, FDTD method is used.

## I. 서 론

이동통신서비스에 이용되는 개인 휴대 단말기는 소형화, 다기능화, 경량화 등의 목표로 발전되어 왔으며 안테나는 통화 품질을 결정하는 중요한 핵심 부품이다. 소형 안테나에 대한 연구는 단말기에 부착하기 위해 돌출되는 부분을 가진 기존의 안테나와 달리 돌출된 부분을 없애 휴대가 간편함을 원하고 또한 최근 전자파의 인체에 미치는 영향에 대한 관심의 증가로 단말기 면에 부착하는 평면형 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 또한 이중 대역

안테나에 관한 연구는 선진외국 업체들에 의해 활발히 진행되고 있고 국내에서도 활발히 연구 중에 있다. 평면형 안테나 중 PIFA(Planar Inverted-F Antenna)에 관한 연구는 활발하여 일본에서는 이미 PIFA에 대해 상용화에 이용하는 등 안테나 개발의 방향은 평면형 안테나에 대한 관심으로 증가하고 있으나 아직 국내 기술은 외국에 비해 부족한 점이 많다.

소형의 dual PIFA는 두 개의 PIFA를 가진 것처럼 동작하여 이중-주파수를 얻을 수 있다. 안테나의 크기는 실험적으로 handset 단말기 사용을 위해 고정시켰으며, 두 방사요소, 단락 스트립(shorting strip),

\*충북대학교 정보통신공학과(Dept. of Information &amp; Communication Engineering, Chungbuk National University)

\*\*충북대학교 전기전자공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Choongbuk National University)

· 논문 번호 : 20000504-051

· 수정완료일자 : 2000년 10월 4일

접은 도체판의 길이에 대한 파라미터 변화는 두 동작 주파수를 제어할 수 있다. 안테나는 상용화된 900 MHz 및 1800 MHz에서 동작을 위해 접은 도체판을 부착하여 안테나 크기를 감소시킨 2-layer 형태이며 공기층을 유전층으로 하고 coaxial probe 급전을 가지도록 하였다.

본 논문에서 dual PIFA는 각 파라미터로 두 공진 주파수의 제어 및 안테나의 소형화에 중점을 두었으며, 여러 파라미터의 변화에 따른 특성 분석을 위해 FDTD법을 이용하였다.

## II. FDTD 해석

유한차분 시간영역해석법(Finite Difference Time Domain, FDTD)은 Maxwell의 시간 영역 curl 방정식에 대한 직접적인 해법으로 전자기 현상의 해석에 광범위하게 이용되고 있다. 이 방법은 유한 체적에 걸쳐 Maxwell의 시간 의존 curl 방정식을 이산화하고 매시간 단계마다 유한공간에 대해 반복 진행을 산출하도록 하므로 이 알고리즘은 다른 해석 방법에 비해 구현이 매우 직접적이고 인가함수의 선택도 자유로와 회로주변이나 내부에서의 순간적인 영향뿐 아니라 광대역에 대한 응답을 제공할 수 있다.

전자계의 모든 성분은 그림 1에 보이는 격자를 갖는 단위 셀 내에 위치 가능하다. 임의의 격자점에서의 전계와 자계 성분의 새로운 값은 단지 그것의

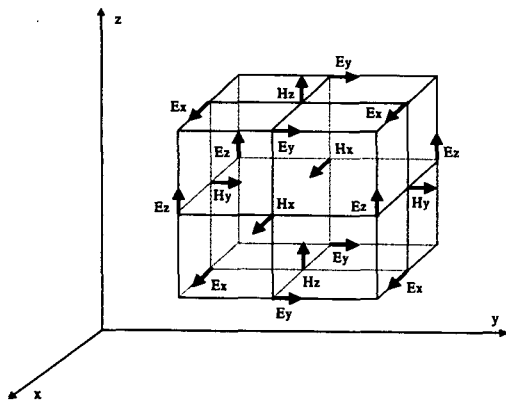


그림 1. Yee의 격자 단위 셀  
Fig. 1. Grid unit cell of Yee.

이전 시각에서의 전계와 자계값과 격자내의 주변 네 지점에서 자계와 전계값과 관련된다.

FDTD 기법에서 고려해야 할 사항들로 한 cell의 크기, 이산화 시간 간격, 입사파의 구현, 산란체의 구조 표현, 전체 계(total field)에 대한 직접적인 계산, 흡수 경계 조건, 전파 인가원 등이 있다. 그 중 한 cell의 크기를 결정하는 것은 FDTD 해석법에서 매우 중요한 요소이다. FDTD 기법의 안정성을 확보하기 위한  $1/20 \lambda \leq \Delta x, \Delta y, \Delta z \leq 1/10 \lambda$ 의 시분할 조건과  $\Delta t \leq \sqrt{1/\Delta x^2 + 1/\Delta y^2 + 1/\Delta z^2}$ 의 공간 분할 조건을 가진다.

본 논문에서 FDTD 계산 공간은 x, y, z 방향으로 각각  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 의 셀 크기를 가지는 3차원의 직사각형 격자로 나누어진다. 셀 크기는  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 1 \text{ mm}$ 로 30 GHz 까지의 값을 구할 수 있다. FDTD 계산 공간의 바깥 경계는 산란된 필드의 반사를 줄이기 위해 2차 Mur 흡수 경계 조건을 사용하였다. 흡수 경계는 모든 방향에서 안테나로부터 20cell 이상 떨어져 있게 했다. 급전점은 급전핀과 접지면 사이에 위치하여 50Ω의 내부 임피던스를 가지며 1개의 cell 폭 간격을 가지고 급전하는 gap 방식을 사용하였다. 입사파의 구현은 가우시안 입사파로 임피던스나 S-파라미터의 광대역 해석을 위해 이용되었고 푸리에 변환은 시간영역을 주파수 영역으로 변환하기 위해 사용되었다. 또한 사인파 형태의 입력파  $V_s = \sin(2\pi ft)$ 는 단일 주파수에서 방사패턴과 전자기장을 계산하기 위해 사용되었다.

## III. 이중-주파수를 위한 Dual-PIFA 설계

### 3-1 PIFA(Planar inverted-F antenna)

PIFA(Planar Inverted-F Antenna)는 평면형 역-F 안테나라고도 한다. 이것은 역으로 본 F자를 닮았다고 하여 붙여진 것으로 top plate, 단락 핀 및 스트립, 급전부의 안테나 모양에서 볼 수 있다. 그림 2는 PIFA의 구조를 나타낸다. 단락 스트립은 안테나의 전체적인 크기를 일정하게 유지하면서 동일한 동작 주파수를 지닌 안테나 크기를 소형화하고, 동작 주파수를 조절하는데 이용된다.

PIFA는  $\lambda/4$  모노폴 안테나와 같고 평면 형태로

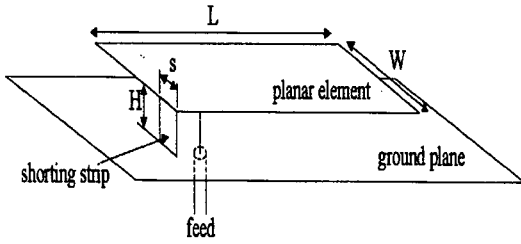


그림 2. PIFA 구조  
Fig. 2. Structure of PIFA.

펼쳐 놓은 것과 같다. 이것은 복사 저항을 증가시킨다. 임피던스 대역폭은 접지 평면으로부터 PIFA까지의 높이에 의해 제한될 수 있다. 안테나의 매칭은 PIFA의 단락된 에지로부터 급전까지의 거리에 의해 제어된다. 안테나의 동작원리는 마이크로스트립 안테나의 패치 아래 부분에서의 전계 분포를 생각해 보면 패치 가운데 지점에서의 전계(z성분)가 영이 되어야 함을 알 수 있고, 그 지점에 전계 벽(electric wall)을 놓을 수 있으며 이러한 전계벽을 패치폭 전체에 걸쳐 단락회로(short circuit)로 구성할 수 있다. 이렇게 되면 동일한 동작주파수를 지닌 안테나 크기를 반으로 줄게 하여 소형화의 목표를 부분적으로 달성하는 셈이 된다. 따라서 단락 스트립은 안테나의 전체적인 크기를 일정하게 유지하면서 동일한 동작 주파수를 지닌 안테나 크기를 소형화하고, 동작 주파수를 조절하는데 이용된다.

$S=W$ 인 경우 단락 스트립으로부터 복사 에지까지 전류흐름의 길이는  $L$ 로 주어지지만,  $S \ll W$ 인 경우  $W+L$ 로 주어진다. 따라서  $S < W$ 인 경우에 공진 주파수가 낮아지게 되어 소형화의 역할을 할 수 있다.  $S=W$ 인 경우에 패치의 길이  $L$ 은  $\lambda/4$ 가 될 때 공진이 되고  $\lambda$ 는 자유공간파장을 의미한다. 동시에  $S \ll W$ 인 경우의 공진파장은  $L+W = \lambda/4$ 와 같다. 또한  $0 \ll S/W \ll 1$ 인 경우의 공진 주파수는 경험적으로  $WL \leq 1$ 일 경우 식 (1)으로 주어진다.

$$f_r = \frac{S}{W} \times \frac{c}{4(L+H)} + \left(1 - \frac{S}{W}\right) \times \frac{c}{4(L+W+H-S)} \quad (1)$$

또한,  $WL \geq 1$ 일 경우 식 (2)로 주어진다.

$$f_r = \left(\frac{S}{W}\right)^{WL} \times \frac{c}{4(L+H)} + \left(1 - \left(\frac{S}{W}\right)^{WL}\right) \times \frac{c}{4(L+W+H-S)} \quad (2)$$

### 3-2 Dual PIFA

이중 대역을 얻기 위한 방법 중 두 개의 방사요소를 포함하는 구조를 제안한다. 두 방사 요소로 이중 대역의 안테나를 얻기 위해 하나 또는 두 개의 급전을 가지는 두 가지의 구조를 생각할 수 있다. 이 선택은 송수화기 설계와 시스템 고려사항에 의해 어느 정도 결정될 수 있다. 하지만 두 급전을 가지는 구조는 두 방사 요소의 물리적인 분리를 가져온다. 그리고 급전 스위칭에 대한 시스템이 요구되어 비효율적인 것이고, 비용 측면에서 봐서도 하나의 급전을 이용하여 이중 대역을 얻는 것이 더 효율적일 것이다.

PIFA를 이용하여 두 방사 요소로 소형화된 이중 주파수를 갖는 안테나를 얻을 수 있다. 두 방사요소로 이중-주파수로 동작하게 할 때 두 방사요소의 모양을 직사각형 패치의 단일 안테나에 고정하므로 각각의 방사요소는 직사각형 패치 모양이 아닌 변형된 구조를 가진다. 이 구조는 그림 3에 보여진다. 제안된 dual-PIFA는 각각의 방사요소에 각각의 급전 및 단락 스트립을 사용한 것이 아니라 단일의 급전 및 단락 스트립을 사용한 구조이다. 단락 스트립, 급전부, 방사체로 인해 각각 역시 PIFA의 구조를 가지며, 두 개의 PIFA가 동작하는 것과 같이 동작할 수 있다(Dual-PIFA). 이 안테나는 실험적으로 handset 단말기의 크기를 고려하여 크기를 제한하여 길이×폭×높이는 32 mm×22 mm×6 mm로 고정시켰다. 공기를 유전층으로 하고, coaxial probe 급전

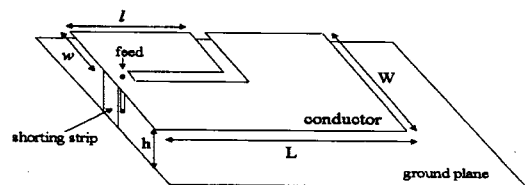


그림 3. Dual PIFA 구조  
Fig. 3. Structure of dual PIFA.

을 가진다.

급전의 위치는 단락 스트립 근처에서 급전되고 단락 스트립의 폭은 안테나의 소형화를 위해 스트립 폭( $S$ ) ≪ 안테나 폭( $W$ )의 값을 가지도록 하였고, 물론 더 작은 폭의 스트립을 사용할 수 있지만  $S \ll W$ 의 범위인 2 mm에서 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 급전 및 단락 스트립의 위치는 동일한 폭과 위치로  $w$ 의 변화에 따라 같이 이동되었다.

Dual-PIFA는 고정된 전체 안테나의 크기로 인해 동작 주파수의 제어가 쉽진 않을 것이다. 설계 파라미터는 고정 파라미터와 가변 파라미터로 나뉘어진다. 이러한 분류는 공진 주파수에 가장 크게 영향을 미치는 파라미터를 주 가변 파라미터로 놓았다.

- 고정 설계 파라미터
  - 안테나 길이( $L=32$  mm)
  - 안테나 폭( $W=22$  mm)
  - ground plane으로부터 안테나의 높이( $h=6$  mm)
- 가변 설계 파라미터
  - 작은 방사요소의 길이( $l$ )
  - 작은 방사요소의 폭( $w$ )

### 3-3 변형된 dual-PIFA

32 mm × 22 mm × 6 mm로 고정시킨 제안된 dual-PIFA에서는 900 MHz 및 1800 MHz의 이중-주파수를 갖는 것에는 한계가 있다. 고정된 안테나 크기에서 좀 더 낮은 주파수까지 두 동작 주파수를 이동시켜 안테나 소형화의 효과를 얻는 방법이 필요하다. 그 중 한 가지로 주 방사가 에지에서 일어나므로 복사 에지의 길이를 증가시켜 주는 방법을 택한다.

900 MHz 및 1800 MHz에서 동작하도록 설계하기 위해 두 방사요소에 대해 설계 파라미터를 선택한다. 이러한 변형된 dual-PIFA의 구조는 다양한 파라미터를 가져오지만 3-2절에서의 가변 파라미터는 적절한 선택에 의해 고정하고 새로운 가변 파라미터로 두 주파수를 제어하였다. 이러한 접은 형태의 도체판은 위 도체판과 붙여진 도체판 사이에서 또 다른 coupling 효과를 가져오지만 두 주파수에 대해 훌륭히 제어하는 요소가 된다. 3-2절에서의 고정 설

계 파라미터는 그대로이므로 추가된 고정 설계 파라미터와 새로운 가변 설계 파라미터로 나눌 수 있다.

- 고정 설계 파라미터
  - 작은 방사요소의 길이( $l$ )
  - 작은 방사요소의 폭( $w$ )
  - ground plane으로부터 접은 도체판의 높이
 
$$\left( h' = \frac{1}{2} h = 3 \text{ mm} \right)$$
- 가변 설계 파라미터
  - 접은 작은 도체판의 길이( $s_1$ )
  - 접은 작은 도체판의 길이( $s_2$ )

그림 4는 고정된 크기의 dual PIFA를 가지고 상용 주파수인 900 MHz 및 1800 MHz에 맞추기 위하여 안으로 접은 형태의 도체 판을 부착한 2-layer 형태를 가지게 하였다. 여기서  $h' = h/2$ 로 하여 위치시켰다.

## IV. Dual-PIFA의 동작 특성 분석

### 4-1 설계 파라미터에 따른 이중-주파수의 변화

#### 4-1-1 Dual-PIFA의 파라미터에 따른 주파수 변화

그림 5에서 보면 dual-PIFA가 10 dB 이하의 반사 손실 값을 갖는 이중 대역의 공진 주파수를 갖는다는 것을 보여주며,  $l$  및  $w$ 의 길이 변화에 따른 이중 공진 주파수의 변화를 보여준다. 그림 5의 (a)는  $l$ 의 길이를 2 mm씩 늘릴 때마다 높은 주파수 성분의 낮은 주파수 성분 쪽으로의 이동을 볼 수 있고, (b)

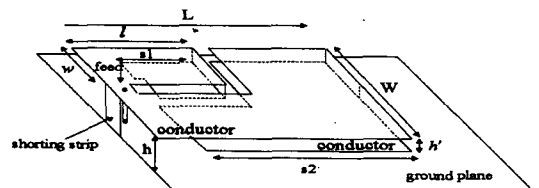


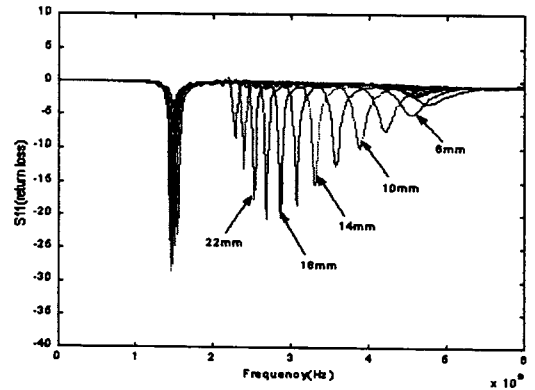
그림 4. 접은 도체판을 가진 Dual PIFA 구조  
Fig. 4. Dual PIFA structure with folded conductor.

에서는  $w$ 의 길이를 2 mm씩 늘릴 때마다 높은 주파수 성분의 낮은 주파수 성분으로의 이동을 볼 수 있다. (c)는  $l, w$ 를 동시에 2 mm씩 증가시킬 때의 주파수 이동을 보여주며, (a), (b)의 결과를 보면 당연히 보다 큰 폭의 주파수로 이동한다는 것을 알 수 있다. 그림 6은 그림 5의 (a), (b), (c)에 대하여  $l, w$ 의 길이 변화에 따른 공진 주파수를 그래프로 보여 준다. 똑같은  $l, w$  길이의 변화에도 불구하고 그림 6의 (c)에서 보면  $l$ 에 의한 공진 주파수의 변화가  $w$ 에 의한 공진 주파수의 변화보다 큰 것을 알 수 있다. 이것은 식 (1) 및 식 (2)를 이용하여 그림 (c)와 비교하면 이론적으로도 알 수 있다.

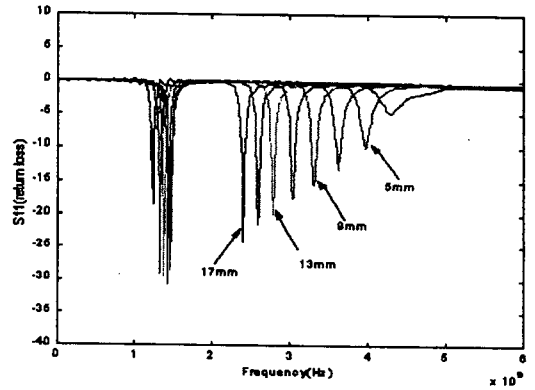
Dual-PIFA에서 두 가변 파라미터  $l, w$ 의 변화로 두 주파수 중 높은 주파수 성분을 제어할 수 있었다. 하지만 낮은 주파수 성분은  $l, w$ 의 변화에 거의 변화가 없었다. 그것은  $l, w$ 의 길이 변화에 따라 작은 패치의 복사에지의 길이는 계속 변화를 하지만 큰 패치의 복사에지의 길이에는 변함이 없기 때문 일 것이다.  $l$ 이 커질 경우 큰 패치의 길이 성분은 한 쪽에서는 줄어들지만 또한 한쪽에서는 같은 양으로 늘어난다. 또한 작은 패치에서  $w$  변화 역시 큰 패치에서는 길이의 손실 및 보상으로 공진 주파수의 변화가 작은 패치의 공진 주파수의 변화와는 달리 거의 고정될 수 있을 것이다. 이것은 식 (1)에서 볼 수 있듯이 큰 패치의  $L+W$  길이성분의 변화가 없으므로 공진 주파수는 거의 변화하지 않을 것이다. 다만 방사가 급전부분과 많이 떨어진 에지 부분에서 크게 일어나므로 손실된 길이에서 일어나는 방사량과 보상된 길이에서 일어나는 방사량은 차이가 있을 것이므로 공진 주파수의 약간의 변화가 있을 것이다. 또한 두 패치 사이에서의 커플링 효과도 변화하므로 그림 6에서 보듯이 낮은 주파수 부분의 약간의 변화를 보일 것이다.

4-1-2 변형된 dual PIFA의 파라미터에 따른 주파수 변화

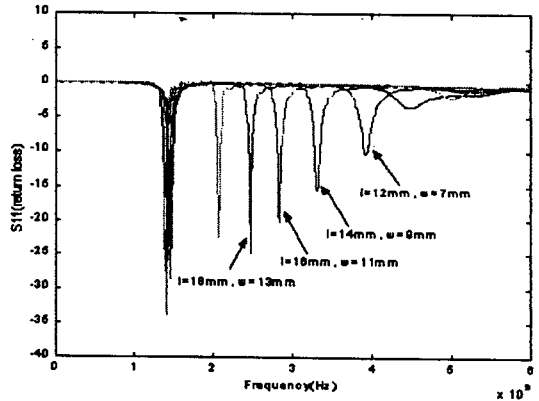
3-2절에서 제안된 dual-PIFA를 가지고 4-1-1에서 적절히 선택된 두 방사요소의 크기는 단락 스트립 쪽으로 보면 폭이 각각 8 mm 및 12 mm인 큰 패치와 작은 패치의 두 방사 요소를 가진다. 이 두 방사



(a)  $l$ 의 길이 변화( $w=9$  mm)



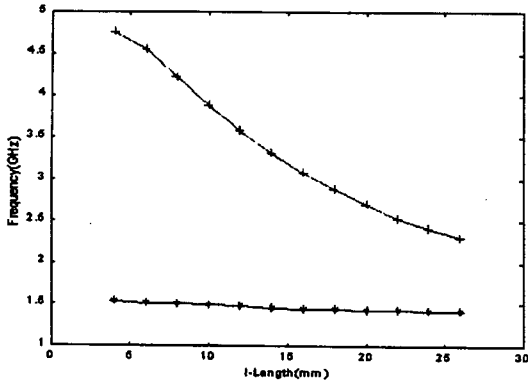
(b)  $w$ 의 길이 변화( $l=14$  mm)



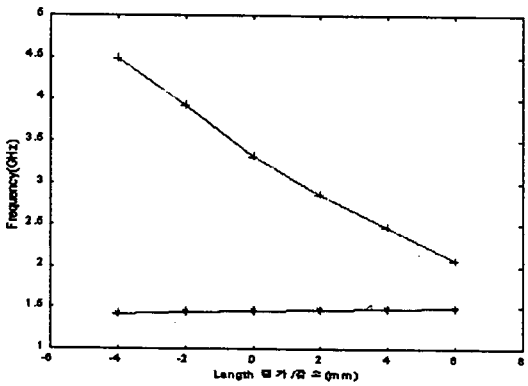
(c)  $l, w$ 의 길이 변화

그림 5.  $l, w$  길이 변화에 따른 반사손실 값( $S_{11}$ )  
Fig. 5. Return loss( $S_{11}$ ) as variety of  $l, w$  length.

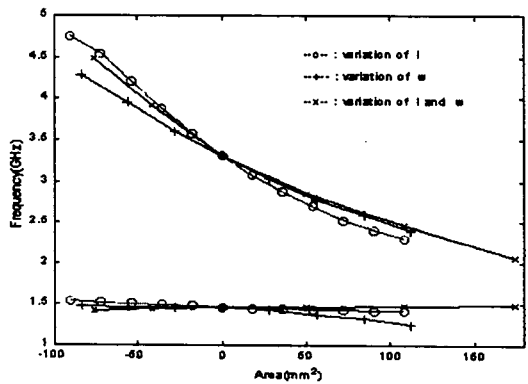
요소로 900 MHz 및 1800 MHz에서 동작하도록 하기 위해서 식 (1)을 이용하여 계산하여 보면  $W/L \leq$



(a)  $l$ 의 길이 변화



(b)  $w$ 의 길이 변화



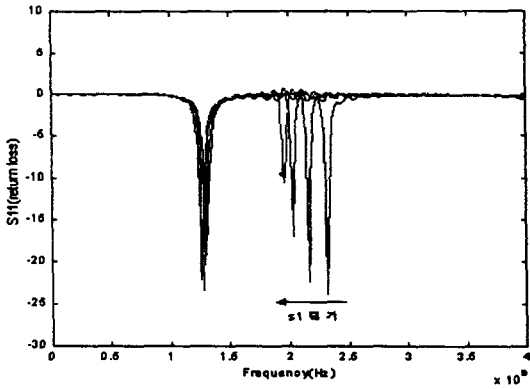
(c) 면적 변화에 따른 반사 손실 값( $l=14$  mm,  $w=9$  mm 일 때의 면적을 0으로 함)

그림 6. 작은 패치의 면적 변화에 따른 공진 주파수  
Fig. 6. Resonant frequency as variety of small patch dimension.

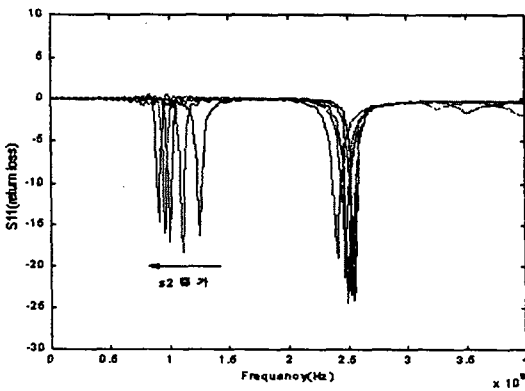
1이므로 패치의 길이는 이론적으로 각각 72.46 mm 및 27.45 mm가 되어야 한다. 이론적인 길이의 크기는 고정된 전체 안테나의 크기인 32 mm × 22 mm 보다 훨씬 크다. 따라서 같은 높이의 연장된 패치 길이를 증가시킬 수 없다. 따라서 같은 효과를 얻기 위해 또 다른 도체판을 도체 방사판에 연결하여 안으로 접은 형태로 ground plane과 방사판 사이에 위치시켰고 각각 파라미터에 따른 동작 특성을 살펴 보았다.

접은 도체판의 길이에 따른 공진 주파수를 조절할 수 있었다. 그림 7은 작은 방사요소에 접은 형태로 붙인 작은 도체판과 큰 방사요소에 붙인 큰 도체판의 길이인  $s1$  및  $s2$ 의 변화에 따른 공진 주파수를 살펴 보았다. 그림 7의 (a), (b)에서 보면 길이  $s1$ 은 고주파 성분을,  $s2$ 는 저주파 성분의 큰 변화를 볼 수 있었다. (c)에서는  $s1$ 과  $s2$ 를 동시에 변화시킴으로써, 두 주파수 성분의 변화를 현저히 볼 수 있다. 따라서 두 접은 도체판의 적절한 변화로 원하는 공진 특성을 얻을 수 있다. 또한 식 (1)에서 보면 높은 주파수 성분에서는 폭의 길이가 증가함에 따라 큰 폭의 주파수 이동을 볼 수 있지만 낮은 주파수에서는 폭의 길이에 따라 약간의 주파수만 이동하는 것을 알 수 있다. 따라서 3-3절의 변형된 dual-PIFA의 그림 4에서 보면 접은 도체판의 면적이 큰 패치의 도체판이 작은 패치의 도체판보다 현저히 큰 것을 알 수 있다.

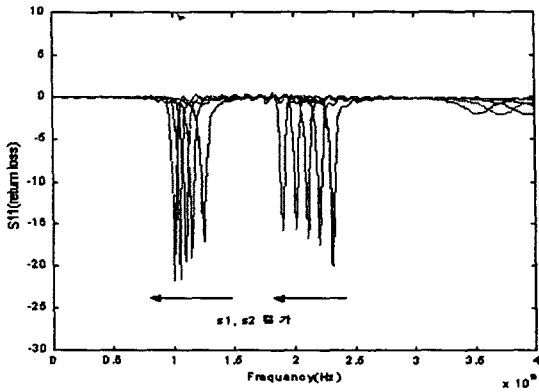
4-1-1에서도 언급한 바와 같이 길이와 폭 변화 중 어떤 변화를 취하느냐에 따라 주파수의 변화에도 약간의 차이를 보인다. 접은 도체판의 사용 목적은 고정된 크기의 안테나로 낮은 주파수 성분 및 높은 주파수 성분을 좀 더 낮은 주파수 성분으로 이동시키기 위해 동일 안테나의 연장 효과를 위해 사용되었다. 기본적인 이론으로 알 수 있듯이 주파수를 낮추기 위해 안테나의 크기를 증가시킬 때, 안테나 크기가 일정하게 커짐에 따라 낮은 주파수로의 변화는 높은 주파수 부분에서는 급격한 변화가 일어나지만 점점 그 변화 폭은 현저히 줄어드는 반비례 관계를 가진다. 고정된 크기로 인해서 설계 주파수인 900 MHz 및 1800 MHz를 얻기 위해 연장된 방사판을 접은 형태로 붙인 dual-PIFA에서 큰 패치에 붙인 접은 도체판은 거의 큰 패치와 맞먹을 정도의 크기



(a)  $s_1$ 의 길이에 따른 변화



(b)  $s_2$ 의 길이에 따른 변화



(c)  $s_1, s_2$ 의 길이의 동시 변화

그림 7. 접은 도체판의 길이 변화에 따른 반사손실 값( $S_{11}$ )

Fig. 7. Return loss( $S_{11}$ ) as variety of folded conductor length.

를 가진다. 이것은 식 (1)에서의 이론적인 길이 72.46 mm의 길이와 폭의 길이를 합한 것과 유사한 전체 복사예지 길이를 가진다.

단락 스트립은 안테나의 소형화를 위해서 사용되었으며 그 폭이 전체 안테나 폭보다 훨씬 작을 때 안테나의 소형화는 구현된다. 본 논문의 안테나 구조에서 단락 스트립의 폭은 2 mm로  $S \ll W$ 로 고정하여 소형화를 하였다. 고정된 직사각형 패치를 슬롯을 두어 두 개의 방사요소로 결합하게 동작하도록 한 dual-PIFA에서 파라미터 변화에 따른 이중-주파수를 제어할 수 있고 변형된 구조로 안테나의 소형화를 할 수 있었다.

소형화를 위한 단락 스트립을 가지고 단일 급전을 가진 dual-PIFA에서 물리적으로 두 방사 요소로 나뉘고, 파라미터를 변화시켜 살펴봄으로써 dual-PIFA가 두 방사 요소로 인하여 이중 대역의 공진 주파수를 얻을 수 있고 주파수의 변화를 제어할 수 있다는 것을 볼 수 있었다. 또한 고정된 크기와 두 방사요소를 나누는 방법에 의해 설계 파라미터로 두 동작 주파수 중 높은 주파수 성분의 변화를 제어할 수 있다는 것을 볼 수 있었고, 낮은 주파수 성분은 거의 변화 없이 고정된다는 것을 볼 수 있었다.

이와 같은 과정을 통해 접은 도체판을 부착한 dual PIFA를 설계하여 900 MHz 및 1800 MHz의 공진 특성을 얻을 수 있다. 그림 8은 이를 보여준다.

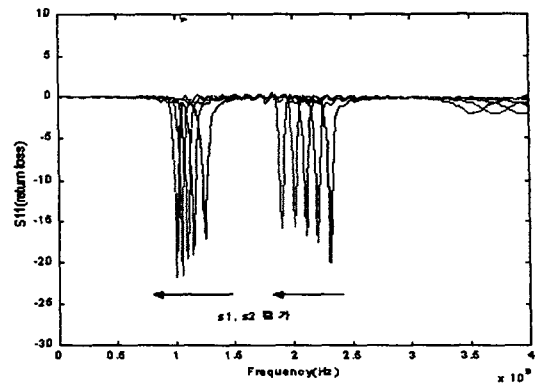


그림 8. 변형된 Dual PIFA의 901 MHz 및 1807 MHz 이중-주파수 동작( $l=18$  mm,  $w=12$  mm,  $s_1=12$  mm,  $s_2=28$  mm)

Fig. 8. Dual-frequency operation of 901/1807 MHz with folded conductor.

4-2 두 동작 주파수에서의 전계 및 방사 패턴

그림 9는 접은 도체판을 갖는 변형된 dual PIFA 에서 901 MHz 및 1807 MHz의 각각에서의 전계 분포를 보여준다. 이 전계 분포는 901 MHz 및 1807 MHz로 각각 급전 후 일정한 시간이 흐른 후 가장 큰 전계 분포를 갖는 시간 스템에서 살펴본 것이다. (a)에서 보면 901 MHz에서는 큰 방사 요소에 의해 저주파 성분의 특성을 크게 보이고 (b)에서 보면 1807 MHz에서는 고주파 성분은 작은 방사 요소에 의한 큰 특성을 가진다. 전계는 중앙보다 외각 부근에서 크게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이와 같이 이중 대역을 위해 설계된 안테나는 두 주파수 대역이 두 방사요소에 의해 잘 분리됨을 볼 수 있다.

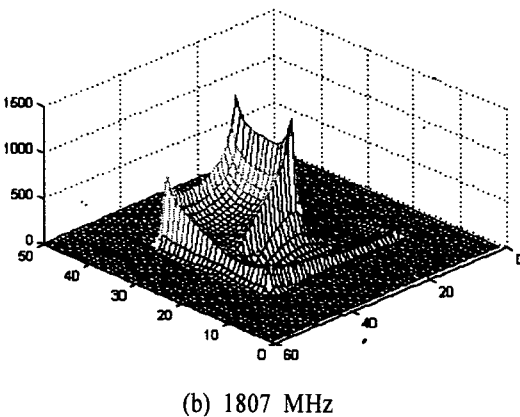
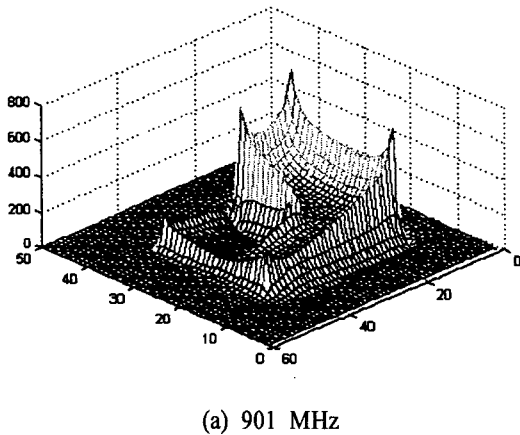


그림 9. 901 MHz 및 1807 MHz에서의 전계( $E_z$ )  
Fig. 9. Electric field at 901 MHz and 1807 MHz.

두 방사요소를 물리적으로 완전히 나누어 각각의 급전을 가했을 경우 각각에 대한 전계를 형성시킬 것이고 옆 방사 요소에는 근접한 만큼의 커플링 효과에 의해 서로에 약간의 전계를 형성시킬 것이다. 하지만 단일의 안테나에 두 방사요소를 가지므로 독립된 방사요소에 의한 전계나 공진 주파수보다는 서로에게 영향을 더 미칠 것이고 제어하기 까다로울 것이다.

그림 10과 그림 11은 901 MHz 및 1807 MHz에 방사 패턴을 보여주고 있다. 그림 10의 (a) xy-plane 패턴에서 보면 최고 수신전력 방향에 대해 360° 중 양쪽의 60°씩 전체 120° 정도가 적은 방사를 나타내는 나비모양의 방사 패턴을 보여주고, (b) yz-plane 패턴에서는 양쪽 측면에서 최고 수신전력 방향을 보여준다. 그림 11의 (a) xy-plane 패턴에서 보면 최고 수신전력 방향에 대해 360° 중 대각선 방향으로 90°씩 전체 180° 정도가 낮은 방사를 나타내는 타원모양의 방사 패턴을 보여주고, (b) yz-plane 패턴에서는 한쪽 측면으로 최고 수신전력 방향을 나타냄을 보여준다.

그림 10과 그림 11을 비교하면 두 주파수에서의

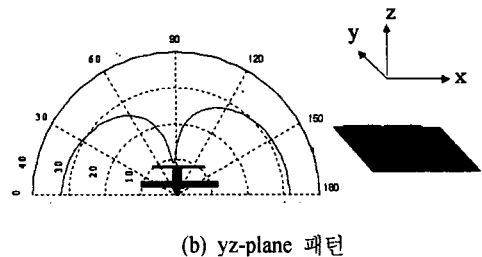
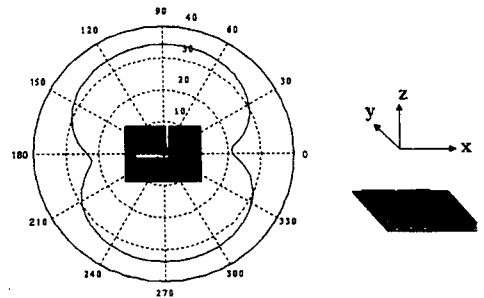


그림 10. 901 MHz 대역에서의 방사 패턴  
Fig. 10. Radiation pattern of 901 MHz band.



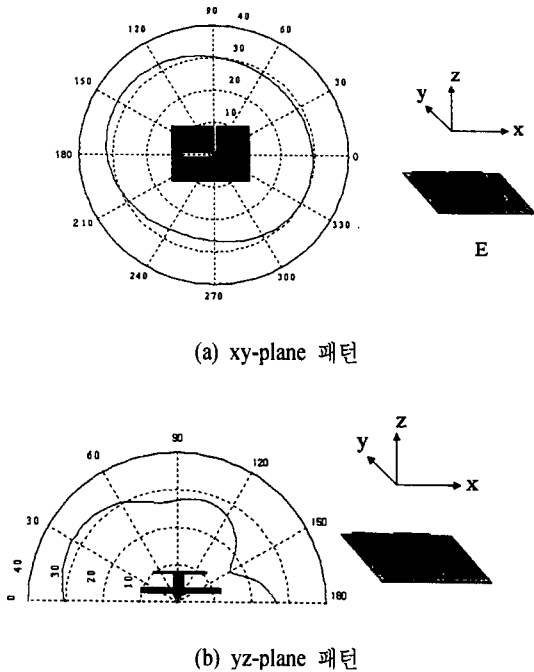


그림 11. 1807 MHz 대역에서의 방사 패턴  
Fig. 11. Radiation pattern of 1807 MHz band.

xy-plane에 대한 방사패턴은 유사하게 나오지만 넓게 분포한 큰 방사요소에 의한 901 MHz에서 방사되는 값이 전 방향에 걸쳐 작은 방사요소에 의한 1807 MHz에서 방사되는 값보다 큰 것을 알 수 있다. 또한 yz-plane 패턴에서 보면 역시 901 MHz의 큰 방사 요소에 의한 far field 값이 1807 MHz의 작은 방사 요소에 의한 far field 값보다 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 901 MHz로 동작하는 큰 방사 요소는 안테나 전반에 걸쳐 크게 펼쳐져 있지만, 1807 MHz로 동작하는 작은 방사 요소를 물리적으로 한 쪽으로 치우쳐 있기 때문에 그림 11의 (b) yz-plane 패턴 같은 형태를 가질 것이다.

## V. 결 론

단일 안테나로 이중-모드 서비스를 위한 연구로 이중-주파수를 갖는 소형의 dual PIFA를 설계하고 각종 파라미터에 대하여 분석하였다. 실험적으로 안테나 크기를 고정시킨 상태에서 두 방사요소, shorting strip, 접은 도체판의 길이에 대한 파라미터를

변화시켜 두 동작 주파수를 제어할 수 있었다. 고정된 크기로 저주파성분의 주파수를 얻기 위해 shorting strip를 사용하고 또한 접은 도체판을 불임으로써 2-layer 형태의 소형화된 안테나 효과를 볼 수 있었고, 900 MHz 및 1800 MHz의 이중-주파수 및 방사패턴을 볼 수 있었다.

두 방사요소를 갖는 고정된 크기의 PIFA(dual-PIFA)는 이중 대역의 안테나를 설계시 주파수 변화를 위해, 주파수의 제어를 위해 슬롯의 위치를 변화함에 따라 두 방사요소를 나누어 설계 공진 주파수를 제어할 수 있는 자료로 사용될 수 있다. 또한, 단일 공진 PIFA에서도 공진주파수의 제어를 위해 스텐더를 달 때 그 방법적인 면을 제시할 수도 있다.

본 논문은 고정된 크기에서 각각의 파라미터의 변화에 따라 이중 대역의 동작 주파수를 얻고, 제어하고, 연장된 접은 도체판을 사용하여 2-layer 형태의 안테나 구조로 안테나의 소형화시키기 위해 FD-TD법을 이용하였다.

안테나는 고정된 크기로 단일 주파수가 아닌 이중-주파수 동작의 제어 및 안테나의 소형화의 목적을 둠으로써 평면형 안테나의 단점인 협대역에 대한 연구와 작은 방사요소의 한쪽의 치우침으로 방사 패턴이 단방향으로 단조롭게 나왔으며 그에 대한 연구도 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] B. F. Wang and Y. T. Lo, "Microstrip antennas for dual-frequency operation", *IEEE Trans. on AP.*, vol. AP-32, no. 9, Sept., 1984.
- [2] C. R. Rowell, R. D. Murch "A compact PIFA suitable for dual-frequency 900/1800 MHz operation", *IEEE Trans. on AP.*, vol. 46. no. 4, April, 1998.
- [3] Z. D. Liu, P. S. Hall "Dual-frequency planar inverted-F antenna", *IEEE Trans. AP.*, vol. 45, no. 10, October, 1997.
- [4] W. S. Chen, "Single-fed dual-frequency rectangular microstrip antenna with square slot", *Electronics Letters*, vol. 34, no. 3, Feb., 1998.
- [5] S. I. Watanabe and Masao Taki "An improved

FDTD model for the feeding gap of a thin-wire antenna", *IEEE Microwave and Guide Wave Letters*, vol. 8, no. 4, April, 1998.

[6] S. M. Shum and K. M. Luk, "FDTD analysis of probe-fed cylindrical dielectric resonator

antenna", *IEEE Trans. on AP.*, vol. 46, no. 3, March, 1998.

[7] 조영기, "이동통신용 안테나의 동작원리 및 설계방법," 전자공학회지 제 24권 제 1호, pp. 86-105, Jan., 1997.

박 정 호



19998년: 충북대학교 정보통신공학과(공학사)  
1998년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 석사과정  
[주 관심분야] 전자파 수치 해석

김 남



1983년: 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1988년: 연세대학교 전자공학과(공학박사)  
1992년: 미 Stanford 대학 방문 교수  
1992년~현재: 충북대학교 전기전자공학부 교수

[주 관심분야] 전파전파, EMI/EMC, 전자파 해석, 전자파 인체 영향