

## 이동통신 광대역 PIFA 안테나 설계 및 해석

### The Design of Broadband PIFA for Hand-Held Mobile Phones

김 상 준 · 이 대 헌\* · 박 천 석

Sang-June Kim · Dae-Hun Lee\* · Cheon-Seok Park

#### 요 약

본 논문에서 제안하는 안테나는 기존 내장형 안테나의 일종인 PIFA의 단점으로 협대역 문제를 해결하기 위하여, 복사 소자와 접지면 사이에 단락판을 위치시키는 변형된 안테나 형태인 PIFA(Planar Inverted-F Antenna) 구조를 제안하였다. 또한 보다 넓은 대역폭을 가지도록 방사 패치에 톱니모양의 perturbation을 주었다. 제안된 방식으로 단말기에 내장형으로 사용하기 위하여 안테나의 높이( $h=0.015 \lambda$ )를 최소한으로 하여 원하는 대역폭(5.2 %)을 얻었다. slim형으로 하기 위해 안테나의 특성을 급전위치( $Y_f, Z_f$ ), 단락 스트립(Short plate)의 위치( $Z_s$ ), 폭( $W_s$ ), perturbation 폭( $w$ ), 길이( $d$ ), 단락 스트립 높이( $h$ ), 유전율 변화( $\epsilon_r$ )가 안테나에 어떤 변화를 미치는지를 조사하였다. 또한 기존 PIFA 안테나와의 대역을 비교하고, 제안된 패턴을 H, E plane으로 나타내었다. 논문의 객관성을 입증하기 위하여 FIM(Finite Integration Method) 방식에 기반인 MWS(Microwave Studio) 소프트웨어를 이용하여 Simulation 하였으며, 각각의 구조 파라미터 변화에 따른 안테나 특성을 분석하였다. 그리고 실제 제작한 안테나의 실험결과와 비교하여 증명한 결과, 제안된 방식의 PIFA 안테나 실용화가 가능성을 확인하였다.

#### Abstract

This paper suggests the PIFA structure modified antenna in which short-circuit plate is located between planar element and ground plane, in order to solve the problem of narrow band of existing internal antenna, PIFA. It is also suggested that internal antenna has the perturbation in the patch to broaden the frequency bandwidth. It is possible that the antenna is installed into the mobile telephone with a low profile condition( $h=0.015 \lambda$ ) to use internally, and acquired desired bandwidth(5.2 %) through double resonance structure, remodeling the PIFA that is already well-known as an internal antenna.

This paper investigated how characteristic is affected by the feeding point( $Y_f, Z_f$ ), short strip plate( $Z_s$ ), short strip width( $W_s$ ), perturbation width( $w$ ), length( $d$ ), short plate height( $h$ ), dielectric( $\epsilon_r$ ) to be slim type antenna. It is compared with existing PIFA bandwidth, and is suggested pattern as the H.E plane. It is simulated using the Microwave Studio of the CST Inc. based on FIM(Finite Integration Method) method and analyzed antenna characteristic following the variation each parameters. The result proved the practical use of PIFA antenna by comparing the measured and simulated data of the antenna.

Key words : PIFA Antenna, Small Antenna, Dual-Band Antenna, Perturbation Antenna

#### I. 서 론

이동 통신 서비스에 이용되는 개인 휴대 단말기는 소형화, 다기능화, 경량화 되고 있는 추세이다.

성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부(School of information & Communication Engineering, SungKyunKwan University)

\*국방과학연구소(Application antenna team, Electronics and Telecommunication Research Institute)

· 논문 번호 : 20030310-041

· 수정완료일자 : 2003년 6월 25일

기존의 개인 휴대 단말기의 안테나는  $\lambda/4$  모노폴이나 헬리칼 형태로써 단말기 외부로 돌출되어 사용자가 휴대하기에 불편하고 견고성의 문제도 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 내장형 안테나에 대한 연구가 선진외국 업체들에 의해 활발히 진행되고 있고 국내에서도 연구 중에 있다. 평면형 안테나 중에 PIFA(Planar Inverted-F Antenna)에 관한 연구가 가장 활발하며<sup>[1]</sup>, 국내외에서도 이미 상용화되고 있다. 그러나 기존의 내장형 안테나는 단말기의 좁은 공간에 장착하기 위해 그 크기가 제약될 수밖에 없고 당연히 안테나의 효율 감소라는 문제가 발생한다. 이에 본 논문에서는 개인 휴대 단말기의 배터리가 여러 셀이 하나의 패키지로 Shielding 되어 있다는 점에 착안하여 이 배터리를 PIFA의 복사 패치로 이용하고자 한다. 배터리를 안테나 복사 소자로 이용해 휴대 단말기에 직접 장착하기 위해서는 휴대 단말기의 전체적인 두께를 고려해야 하므로 PIFA 구조에서 안테나 높이를 최소로 하여야 한다. 그러나 기존 PIFA 구조에서는 낮은 높이의 안테나로 인해 원하는 주파수 대역폭을 얻을 수 없었다. 따라서 PIFA를 변형하여 주파수 대역폭을 확장하는 것이 필요하다.

지금까지 PIFA의 주파수 대역폭을 확장하기 위한 많은 연구가 이루어져 왔다. 먼저 기존의 PIFA 구조에 복사 커플링을 이용한 이중 역-L 방식구조를 더해 이중공진 구조를 갖게 하여 주파수 대역폭을 확장하거나, Varactor 튜닝 다이오드를 이용하여 복사 패치를 전기적으로 결합하여 관심 주파수 영역에서 VSWR 2:1에 대해 55 % 광대역 특성을 얻었다<sup>[2]</sup>. 또 단락스트립을 대체하여 Chip 저항을 사용함으로써 낮은 안테나 높이( $h=3.2$  mm)에서도 10 % 대역폭을 얻는데 성공하였으며<sup>[3]</sup>, 단락 편과 튜닝 Capacitor를 이용하여 기존의 PIFA 구조를 매칭하는 연구가 이루어졌다<sup>[4]</sup>. 한편으로는 급전 방식에서 이중급전을 이용해 패치를 두개 사용하여 이중공진을 얻거나, 패치에 곧바로 급전하지 않고 용량성 결합을 이용하여 대역폭을 확장하는 연구도 행해졌다<sup>[5]</sup>. 그러나 이러한 연구들은 근본적으로 낮은 안테나 높이에 대해서 연구가 이루어지지 않았고 부가적인 매칭 회로와 튜닝 회로가 필요하며, 이중 급전 방식이나 이중의 패치를 이용하므로 상대적으로 구

조가 복잡해 점점 소형화되어 가는 휴대 단말기에 직접 장착하기가 어렵고 고비용이 요구되는 상황이다. 또한 낮은 안테나 높이( $h=3.2$  mm)에 대해 이루어진 연구에서도 5.6  $\Omega$ 의 chip 저항을 사용함으로 저항성 손실에 따른 6 dB 이상의 안테나 이득저하를 야기하였다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 PCS 1800 MHz 휴대 단말기의 배터리 자체를 안테나 복사 이중공진 구조를 채택하였다. 이는 기존 이중공진 방법에 비해서 구조가 단순한 장점을 지니고 있어 쉽게 휴대 단말기에 장착이 가능하다. 또한 종래의 모노폴 안테나, 헬리칼 안테나에 비해 휴대성과 내구성 문제를 해결해 줄 것으로 기대한다.

## II. PIFA(Planar Inverted-F antenna) 안테나 주파수 특성 분석

### 2-1 PIFA 안테나 설계

PIFA(Planar Inverted-F Antenna)는 이미 잘 알려진 바와 같이 직사각 평면소자, 접지면, 단락스트립(short plate), 그리고 급전부로 구성되어진다. 이것은 선형 IFA(Linear Inverted-F Antenna)의 복사소자를 판(plate) 형태로 바꿈으로써 대역폭을 증가시킨 형태로도 생각되어진다. 그림 (a)는 기존 PIFA 구조에 배터리를 이용하기 위하여  $L_p$ 를 확장한 구조이며, 급전 위치를 변화하여 원하는 대역에 공진시킨다. 단락 스트립(Short plate) 위치, 폭을 변화함으로써 공진 주파수 변화를 알 수 있다. 그림 (b)는 본 논문에서 제안하는 구조로써 슬림화하여 대역폭을 넓히기 위해 perturbation 폭( $w$ ), 길이( $d$ )를 변화하였다. 그림 (c)는 제안한 구조의 배터리 형태 그림이다.

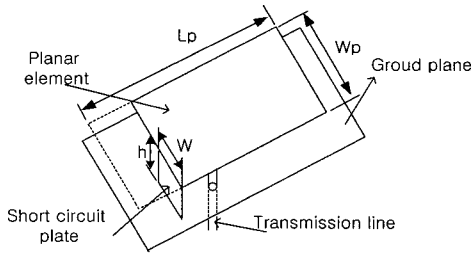
그림 (a)의 PIFA 공진 주파수는 전류의 흐름이 끝나는 곳에서의 프링징 전계(Fringing electric field)를 고려하여, 단락스트립과 평면소자에 흐르는 전류의 실효길이(effective length)와 같다고 가정하여 다음과 같이 주어진다.

- 1)  $W/W_p=1$  (단락회로 MSA: Microstrip antenna)

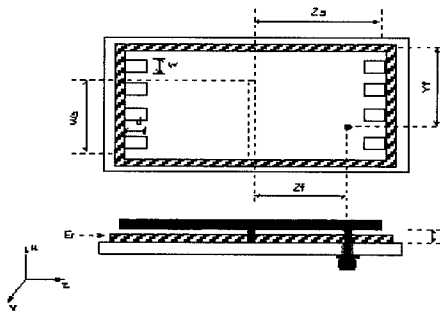
$$L_p + W_p + h = \lambda / 4$$

- 2)  $W=0$  (단락스트립이 없을 때)

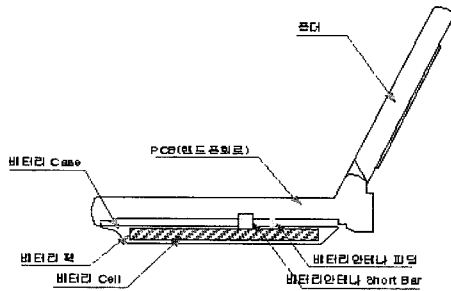
$$L_p + W_p = \lambda / 4$$



(a) 기존 PIFA 구조  
(a) PIFA structure



(b) 변형된 PIFA 구조  
(b) Modified PIFA structure



(c) 단말기에 적용된 PIFA 구조  
(c) Application PIFA structure for cellphone

그림 1. PIFA의 기본구조  
Fig. 1. The geometry of the PIFA.

로 주어지게 된다. 안테나의 높이 \$h\$가 파장에 비하여 충분히 작은 경우라면 개방회로 에지(open circuit edge)에서의 프링징 효과(fringing effect)는 무시될 수 있으므로 식 (1)과 식 (2)로부터 계산된 공진 주파수는 동일한 결과를 주게 된다<sup>[6]</sup>.

3)  $0 \leq W/W_p \leq 1$  경우(PIFA) 공진주파수는 다음과 같다.

$$(3-1) L_p/W_p \leq 1$$

$$f_r = \frac{W}{W_p} \times \frac{c}{4(L_p + h)} + (1 - \frac{W}{W_p}) \times \frac{c}{4(L_p + W_p + h - W)}$$

$$(3-2) L_p/W_p \geq 1$$

$$f_r = (\frac{W}{W_p})^{W_p/L_p} \times \frac{c}{4(L_p + h)} + (1 - (\frac{W}{W_p})^{W_p/L_p}) \times \frac{c}{4(L_p + W_p + h - W)}$$

여기서  $C=3 \times 10^8$  [m/s] PIFA의 대역폭은  $W=W_p$ 일 때 가장 넓으며, 주로 접지면과 패치 사이의 간격에 의해서 결정된다.

### 2-2 변형된 PIFA 안테나 설계

본 논문에서 제안하는 안테나는 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 휴대용 무선 통신용 단말기의 뒷면 접지면과 급전부, 단락스트립 그리고 단말기의 축전지(안테나 복사 소자)로 구성된 방사 구조이다. 기존의 PIFA 구조에서 달라진 점은 역-F형 안테나의 단락 스트립에 대칭으로 단락스트립에서 확장된 역-L자형 방사구조를 더한 것이다. 이는 기존의 단락 Microstrip 안테나의 단락스트립 하측 부분을 제거하지 않은 구조와 동일하다. 또한 보다 넓은 대역폭을 가지도록 방사 패치에 톱니모양의 perturbation을 주었다. 단말기의 배터리를 복사 소자로 이용하기 때문에 공간상의 제약을 받지 않으므로 소형화할 필요가 없기 때문이다. 이러한 구조는 단락스트립을 기준으로 상측 부분과 하측 부분이 공진 구조를 가져서, 사용 주파수 대역을 증가시킬 수 있는 역할을 한다. 이로써 기존의 내장형 안테나의 소형 구조로 인한 사용 주파수 대역 내에서 25 % 이상 효율이 감소되는 것을 방지하며<sup>[3]</sup>, 기존의 내장형 안테나가 삽입되어야 하는 부피만큼을 없애므로 무선통신 단말기의 부피가 크게 증가되지 않아서 단말기 회로 설계시 많은 이점을 준다.

PCS 대역(1800 MHz)의 동작 주파수를 갖는 안테나를 설계하였으며, 접지면의 크기는 실제 사용되고 있는 무선 통신 단말기의 크기를 고려하여 80 mm(길이)×50 mm(폭)×5 mm(두께)로 고정시켰다. 또한 패치의 크기도 60 mm(길이)×34 mm(폭)×4 mm(두께)로 하여 접지면의 가운데에 위치시켰다.

접지면과 패치 사이의 간격은 패치가 장착되었을 때 단말기의 전체 두께를 고려하여 2.5 mm( $h \approx 0.015 \lambda$ )로 고정하여 실제 휴대 단말기에 장착 가능하도록 하였다. 휴대 단말기의 케이스를 고려하여 접지면과 패치 사이에 유전체 층을 Polycarbonate ( $\epsilon_r=2.95$ )로 모델링 하였으며, Coaxial Probe 급전을 하였다. 아래와 같이 가변 파라미터 값에 대해서 급전 위치와 단락스트립 폭의 변화에 의한 안테나 특성 변화를 살펴보고자 한다.

- 고정 파라미터
  - 접지면의 크기(80 mm×50 mm×5 mm)
  - 패치의 크기(60 mm×34 mm×4 mm)
  - 안테나 높이 2.5 mm( $h \approx 0.015 \lambda$ )
  - 유전체 층의 유전율( $\epsilon_r=2.95$ )
  - 유전체 층의 크기(70 mm×50 mm×1.3 mm)
- 가변 설계 파라미터
  - 급전(Feeding point) 위치( $Y_f$ )
  - 급전(Feeding point) 위치( $Z_f$ )
  - 단락 스트립(SHORT plate)의 위치( $Z_s$ )
  - 단락 스트립(SHORT plate)의 폭( $W_s$ )
  - perturbation 폭( $w$ )
  - perturbation 길이( $d$ )
  - 단락 스트립 (SHORT plate) 높이( $h$ )
  - 유전율 변화 ( $\epsilon_r$ )

### III. 변형된 PIFA 안테나의 임피던스 특성 분석

제안하는 구조에 대하여 공진 안테나의 경우 파라미터들의 변화에 의해 공진 주파수가 달라지기 때문에, 각각의 파라미터 변화를 통한 안테나의 적절한 설계가 필요하다. 본 논문에서 다루고자 하는 내용은 주어진 공진 안테나의 구조에서 급전 위치와 단락스트립의 변화를 통해 실제 요구하는 최적의 안테나를 설계하고자 한다. 본 연구는 기존의 배터리를 평면 복사소자로 사용하는 형태로서 그 크기는 제한되어 있다. 앞서 말한 바와 같이 변화시킬 수 있는 파라미터들은 급전 위치, 단락스트립의 폭과 위치, 높이, 유전율 및 perturbation 변화 등이다. 이들 파라미터의 변화에 따른 안테나의 특성 변화

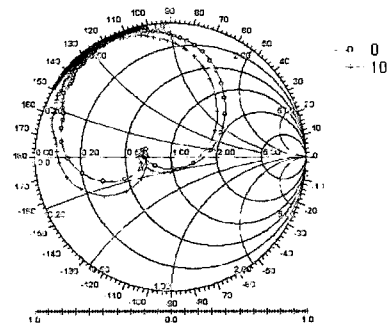


그림 2. 급전 위치( $Y_f$ )의 변화에 따른 impedance 특성  
Fig. 2. Impedance characteristics according to the feeding point( $Y_f$ ) variation.

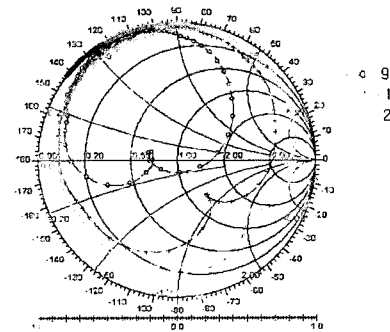


그림 3. 급전 위치( $Z_f$ )의 변화에 따른 impedance 특성  
Fig. 3. Impedance characteristics according to feeding point( $Z_f$ ) variation.

를 살펴보면 다음과 같다.

그림 2는 Feeding Point 변화( $Y$ 축)에 의한 안테나의 공진 주파수 특성을 나타내었다. 급전위치 증가에 따라 circle 변화량은 적으며, inductance 성분이 증가됨을 알 수 있다.

$Z_f$ 는 그림 1에서 보듯이 단락스트립에서 급전점까지의  $Z$ 축 거리를 의미하는데, 그림 3에서 알 수 있듯이 안테나 공진 특성은  $Y$ 축 거리( $Y_f$ )보다는  $Z_f$ 에 민감하게 반응한다. 이는  $Z$ 축 길이 방향이 PIFA 안테나의 공진 길이를 의미하기 때문이다. 급전위치 증가에 따라 circle 변화량이 점차적으로 커지면서 capacitance 성분이 커짐을 알 수 있다. 또한, 특정 급전 위치( $Z_f=9$  mm)에서 공진 특성을 나타냄을 알 수 있다.

다음은 단락스트립 폭( $W_s$ ) 변화에 의한 안테나 공진 특성 변화를 살펴보고자 한다. 그림 4에 단락

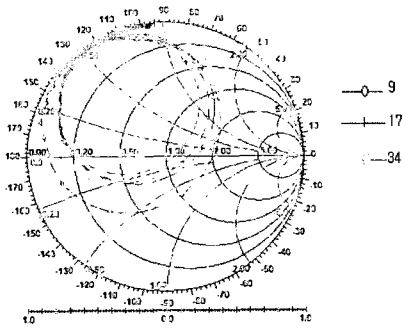


그림 4. 단락스트립 폭( $W_s$ )의 변화에 따른 impedance 특성  
 Fig. 4. Impedance characteristics according to the short strip width.

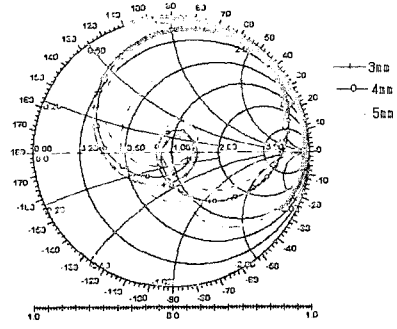


그림 7. perturbation 폭( $w$ ) 변화에 따른 impedance 특성  
 Fig. 7. Impedance characteristics according to the perturbation width( $w$ ).

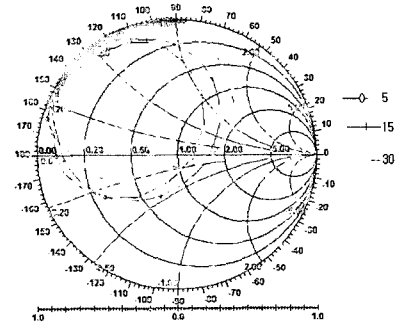


그림 5. 단락스트립 위치( $Z_s$ )의 변화에 따른 impedance 특성  
 Fig. 5. Impedance characteristics according to the short strip plate.

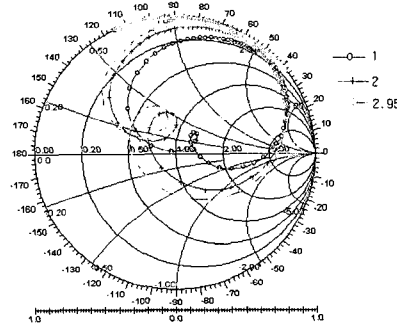


그림 8. 유전율 변화에 따른 impedance 특성  
 Fig. 8. Impedance characteristics according to the Dielectric.

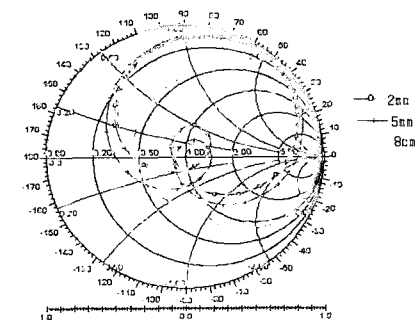


그림 6. perturbation 길이( $d$ ) 변화에 따른 impedance 특성  
 Fig. 6. Impedance characteristics according to the perturbation length( $d$ ).

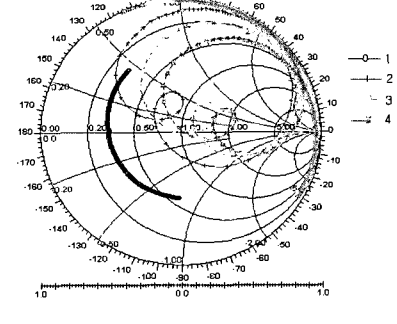


그림 9. 높이의 변화에 따른 impedance 특성  
 Fig. 9. Impedance characteristics for gap.

스트립 폭이 커질수록 circle 크기는 적어지며, capacitance 성분이 커짐을 알 수 있다. 또한 단락스트

립의 폭이 패치의 폭과 같을 때( $W_s=34$  mm) 10 dBbandwidth를 만족하고 있다.

그림 5는 패치의 전체 길이가 60 mm일 때 단락 스트립을 패치의 중간 지점(30 mm) 근처에서 움직

였을 때 안테나 특성 변화를 보여 주고 있다. 그림에서도 알 수 있지만, 단락스트립의 위치, 즉 공진 안테나의 PIFA부 길이와 역-L형 파라스틱부의 길이 변화가 공진 주파수 특성에 많은 영향을 줄 수 있다.

그림 8은 유전을 변화에 따라서도 공진 주파수와 bandwidth가 변화하는 현상을 알 수 있다.

그림 9는 높이의 변화에 따라 주파수 변화 현상을 알 수 있다. 이러한 6개의 파라미터 변화에 따라 주파수와 bandwidth를 가변할 수 있다는 것을 알 수 있다.

#### IV. 안테나 대역 및 패턴

본 파라미터를 이용하여 가장 매칭이 잘 되는 최적치를 사용하여 smithchart와 방사패턴을 나타내었다.

H 패턴과 E 패턴을 보면 인체 두부 쪽으로 영향이 미치지 않음을 알 수 있다.

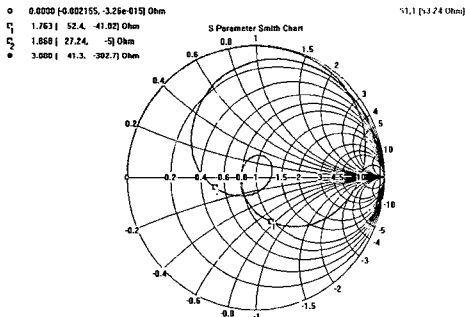


그림 10. 최적치 값에 따른 Smithchart 특성  
 Fig. 10. Smithchart according to the normalized.

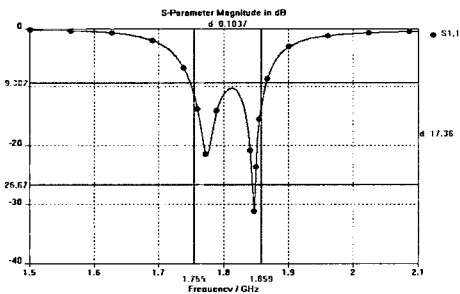


그림 11. Perturbation 있는 PIFA 구조의 측정값  
 Fig. 11. Return loss with perturbation PIFA.

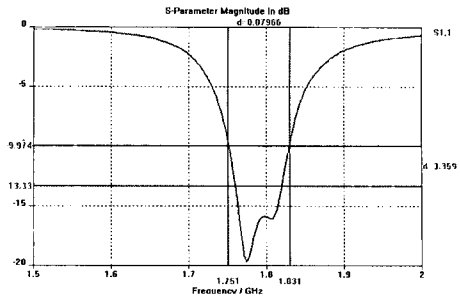


그림 12. Perturbation 없는 PIFA 구조의 측정값  
 Fig. 12. Return loss without perturbation PIFA.

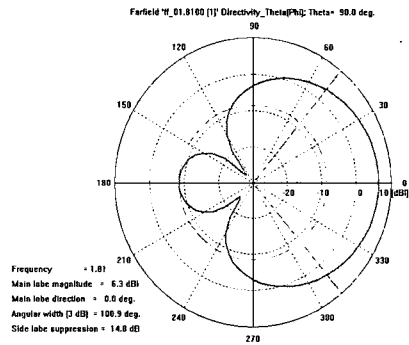


그림 13. PIFA 안테나의 H면 복사패턴  
 Fig. 13. Radiation pattern(H-plane).

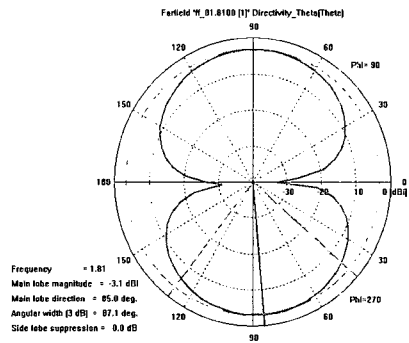


그림 14. PIFA 안테나의 E면 복사패턴  
 Fig. 14. Radiation pattern(E-plane).

#### V. 제작 및 측정

##### 5-1 제작

PCS 대역(1800 MHz)의 동작 주파수를 갖는 안테나를 제작하였으며, 접지면의 크기는 실제 사용되고 있는 무선 통신 단말기의 크기를 고려하여

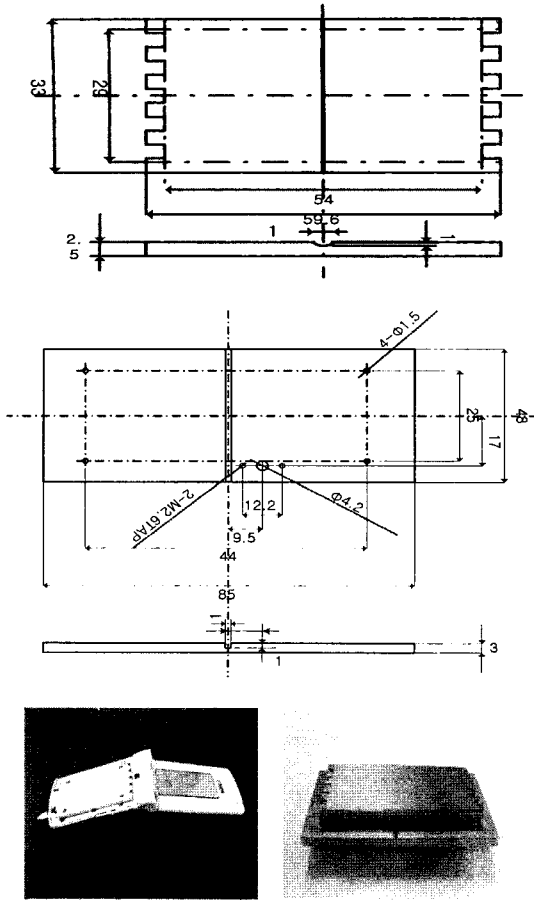


그림 15. 제작된 PIFA 안테나  
Fig. 15. Photograph of the manufactured antenna.

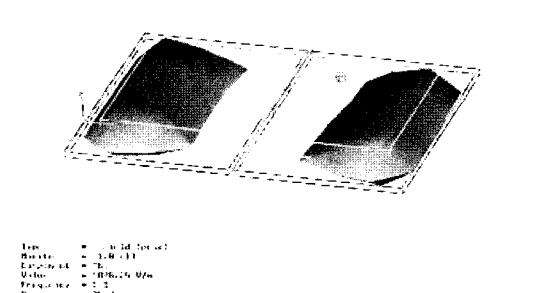


그림 16. PIFA 안테나의 near field 자계분포세기  
Fig. 16. The electric field distribution at  $f=1800$  MHz.

80 mm(길이)×50 mm(폭)×5 mm(두께)로 고정시켰다. 또한 패치의 크기도 60 mm(길이)×33 mm(폭)×4 mm(두께)로 하여 접지면의 가운데에 위치시켰다.

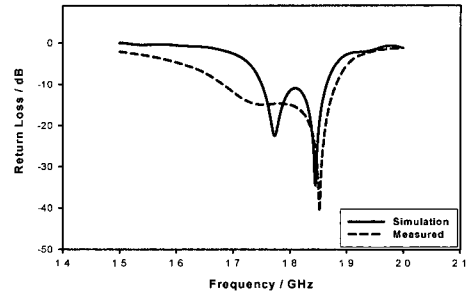


그림 17. 안테나의 실험치와 시뮬레이션 비교  
Fig. 17. Comparison of the antenna return loss.

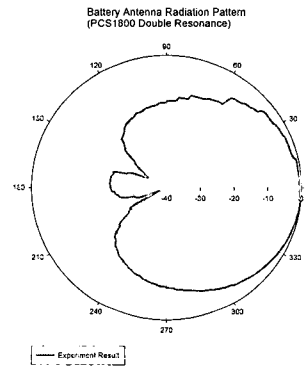


그림 18. PIFA 안테나의 복사패턴  
Fig. 18. The radiation pattern of the manufactured double resonance antenna(Horizontal Pattern).

접지면과 패치 사이의 간격은 패치가 장착되었을 때 단말기의 전체 두께를 고려하여  $2.5 \text{ mm}(h \approx 0.015 \lambda)$ 로 고정하여 실제 휴대 단말기에 장착 가능하도록 하였다.

### 5-2 측정

그림 16은 공진 안테나의  $f=1800 \text{ MHz}$ 에서의 자계 분포를 보여 주고 있다. PIFA부와 역-L형 파라스틱부 두 곳 모두에서 공진이 일어남을 알 수 있다. 실제 제작한 안테나의 반사 손실을 측정해 시험 결과와 비교하였다(그림 17, 18). 시험 결과에 비해 측정결과가 더 넓은  $-10 \text{ dB}$  대역폭을 보여주고 있다. 이는 여러 가지 시험적인 오차라고 판단된다. 수평 방사 패턴을 측정한 결과 전후방비가 우수함을 위 그림에서 볼 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 휴대 단말기의 배터리를 복사 소자로 이용하여 기존의 PIFA 구조에 역 L형 파라스틱부를 더하여 이중공진 안테나로 동작하도록 하여 주파수 bandwidth를 확장하였다. 상용화 단말기를 모델로 하여 복사 소자의 크기를 고정시킨 다음 급전 위치, 단락스트립의 위치와 폭의 변화에 따른 안테나 특성을 분석하였으며 직접 안테나를 제작, 시험하여 FIM(finite integration method)으로 설계한 안테나를 검증하였다. 본 논문에서 제안하는 안테나는 2.5 mm의 낮은 안테나 높이( $h \approx 0.015 \lambda$ )에서도 (perturbation이 없는 경우 Bandwidth 4.4 %) PCS 1800 MHz 대역에서 -10 dB bandwidth를 만족하고 있으며 기존 소형 내장 안테나의 문제점인 방사 효율 저하 문제를 극복하였으며 부가적인 matching 회로가 필요 없는 장점이 있어 앞으로 상용화 가능성이 높을 것으로 예상된다.

향후에는 낮은 높이에서 bandwidth를 넓이는 방법을 설계할 예정이며, 안테나 특성을 분석하여 인체의 손에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 연구가 필요하며, 인체 두부쪽에서의 SAR 수치를 정량적으로 분석할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Michael A. Jensen, Yahya Rahmat-Samii, "Performance Analysis of Antennas for Hand-Held Transceivers Using FDTD", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 42, no. 8, Aug. 1994.
- [2] Kalthleen L. Virga, Yahya Rahmat-Samii, "Low-Profile Enhanced-Bandwidth PIFA Antennas for Wireless Communications Packaging", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 45, no. 10, Oct. 1997.
- [3] Kin-Lu Wong, Kai-Ping Yang, "Modified Planar Inverted F Antenna", *Electronics Letters*, vol. 34, no. 1, 8th January 1998.
- [4] P. K. Panayi, M. Al-Nuaimi and L. P. Ivrisimtzis, "Tuning Techniques For The Planar Inverted-F Antenna", *National Conference on Antennas and Propagation: 30 Mar.-1 Apr. 1999*.
- [5] Corbett R. Rowell, R. D. Murch, "A Capacitively Loaded PIFA for Compact Mobile Telephone Handsets", *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, vol. 45, no. 5, May 1997.
- [6] Kazuhiro Hirasawa, Misao Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antennas*, Artech House, Boston · London, 1992.

### 김 상 준

1980년: 동아대학교 전자공학과 (공학사)  
 1985년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1999년: 성균관대학교 정보통신공학부 전파공학과 (공학박사수료)  
 2002년~현재: 데이 시스템 연구소장  
 [주 관심분야] 마이크로파 능동 및 수동소자, 안테나

### 이 대 현

1999년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 2001년: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2003년~현재: 한국전자통신연구원  
 [주 관심분야] 전자장 수치해석, 마이크로파 및 수동소자, 안테나

### 박 천 석



1988년: 서울대 전기공학과 (공학사)  
 1990년: 과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)  
 1995년: 과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)  
 1995년~현재: 성균관대 정보통신

공학부 교수

[주 관심분야] 전자장 수치해석, 마이크로파 능동 및 수동소자, 안테나