

# IMT-2000 단말기용 광대역 PIFA 설계

정회원 김승환\*, 오경진\*, 김정표\*, 최재훈\*\*, 이태윤\*\*\*

## Design of a Broadband PIFA for IMT-2000 Handheld Terminal

Seung-Hwan Kim\*, Kyung-Jin Oh\*, Jeong-Pyo Kim\*, Jae-Hoon Choi\*\*, Tae-Yune Lee\*\*\*

Regular Members

### 요약

본 논문에서는 IMT-2000 단말기용 광대역 특성을 갖는 PIFA를 설계하였다. 일반적인 PIFA 구조는 협대역과 저이득의 특성을 갖는데, 대역폭과 이득을 동시에 확보하기 위해 이중 L 안테나 구조를 이용하였다. 설계 제작된 안테나는 1920MHz~2170MHz에서  $VSWR < 2$ 를 만족하였고, 복사패턴과 이득도 성능규격을 만족하였다. 안테나는 상용툴인 IE3D를 이용하여 설계되었다. 성능은 FDTD 해석결과와 측정결과와의 비교를 통해 검증하였다.

### ABSTRACT

In this paper, a broadband PIFA for IMT-2000 hand-held terminal was designed. Since PIFA usually has a narrowband characteristic and low gain, dual L antenna structure is utilized in order to satisfy the bandwidth and gain requirement. The bandwidth of a designed antenna is 250MHz(1920MHz~2170MHz) for  $VSWR < 2$ , and the pattern and gain requirements are satisfied. The commercial software, IE3D, was used to design a PIFA. Its performance was verified by comparing simulated results with FDTD analysis and measurement results.

## I. 서론

본 논문에서는 IMT-2000 단말기용 광대역 특성을 갖는 PIFA(Planar Inverted F Antenna)를 설계 및 제작하여 그 특성을 확인하였다.

PIFA와 같은 낮은 자세(low-profile) 구조의 안테나는 기존의 모노폴 안테나에 비해 8~10%의 낮은 대역폭을 갖지만, 일반적인 마이크로스트립 안테나와 유사하게 PIFA도 접지면으로부터의 소자 높이가 증가함에 따라 대역폭이 넓어지는 특성이 있다<sup>[1]</sup>. 그러나 단말기의 두께를 고려하여야 하기 때문에 대역폭 증가를 위해 복사 소자의 높이를 무한정 높이는 것 역시 문제가 된다. 따라서 본 논문에서는 설계 시 높이와 대역폭의 관계를 고려해 높이를 8mm로 설정하여 PIFA를 설계 제작하였다. 기존의 PIFA의 경우 대역폭을 증가시키기 위하여 높이를

증가시키는 방법, chip resistor를 이용한 방법, 높은 유전물질을 이용한 방법<sup>[2]</sup> 등을 사용하였고 이중 급전으로 두 대역의 서비스를 가능케 하는 연구가 진행되었다<sup>[3]</sup>. 본 논문에서는 IMT-2000 대역을 만족하도록 이중 L 안테나 구조를 이용하여 대역폭과 이득 특성을 개선하였다. 본 논문에서는 상용툴인 IE3D를 이용하여 설계를 하였고 FDTD 해석 결과와 측정결과와의 비교를 하였다.

## II. PIFA 이론

### 1. PIFA의 기본 이론

PIFA는 접지면, 패치, 급전선, 단락판 또는 단락핀으로 구성되어있다. 단락판은 접지면과 패치의 사이에 부착되어 있고, 안테나는 접지면에 연결되어있는 와이어를 통해 급전된다. PIFA는 패치의 높이,

\* 한양대학교 전자통신전파공학과

\*\* 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부

\*\*\* 한국전자통신연구원(ETRI)

논문번호 : 000011-1229, 접수일자 : 2000년 12월 29일

※ 본 연구는 2000년도 한국전자통신연구원의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

넓이, 길이와 급전선의 위치, 그리고 단락판의 폭 너비에 따라 대역폭, 이득, 공진 주파수 등이 결정되므로 설계 시 이들 전반적인 사항을 고려해야 할 것이다<sup>[4]</sup>.

그림 2.1은 PIFA 안테나를 도시한 것이다. PIFA는 유한 접지면 위에 사각 패치가 놓인 형태로 전류 급전을 통하여 패치를 여기시켜 접지면과 함께 복사 소자로써의 역할을 하게 된다<sup>[1]</sup>.

PIFA는 복사소자의 한쪽 방사면을 단락판을 이용해  $TM_{100}$  모드에서 전계가 0이되는 지점을 접지면에 단락시켜 마이크로 스트립 안테나의 크기를 종래의 전형적인 1/2파장이 아닌 1/4파장 이하에서 공진하게 함으로써 안테나의 크기를 반 이상 줄일 수 있다. 그리고 단락판이 패치의 폭보다 좁을 때는 안테나의 인덕턴스 성분이 증가하고, 그에 따라 단락판과 패치의 폭이 같은 경우보다 공진주파수가 낮아지기 때문에 같은 공진 주파수를 유지하기 위해서는 단락 마이크로 스트립 안테나의 길이가 짧아져야 한다. 또한 패치보다 단락판의 폭이 좁은 PIFA의 경우 대역폭은 단락 마이크로 스트립 안테나보다 좁고, 단락판의 좁아질수록 대역폭 역시 좁아지는 특성을 갖는다<sup>[1]</sup>.

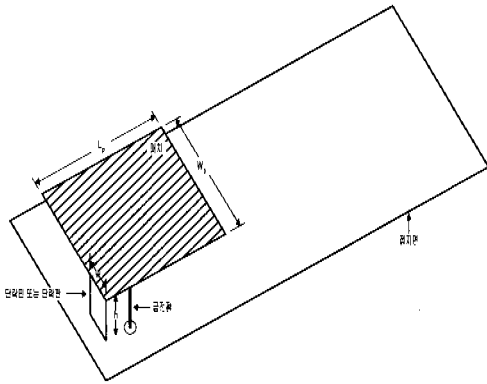


그림 2.1 PIFA의 기본 구조

한편 대역폭( $VSWR < 2$ )은 무한 접지면에서는 2% 정도로 좁지만 단말기에 부착되면 단말기 표면에 흐르는 표면전류 때문에 대역폭이 8~10%로 증가한다<sup>[5]</sup>. 따라서 PIFA 구조를 해석 할 때에는 접지면의 크기를 단말기의 크기로 정해놓고 해석을 해야 한다.

PIFA를 설계하는 경우, 식 (1)-(5)<sup>[4]</sup>를 이용하여 대략적인 안테나의 파라미터를 설정한 후 패치의 크기와 단락판의 폭을 조절하여 동작 주파수에서 공진이 일어나도록 재설계를 한다. 이 때 접지면의 크기에 따라 특성이 바뀔 수 있으므로 접지면의 크기를 일정하게 설정한 후 설계에 들어가는 것이 좋다.

$$f_r = \begin{cases} r f_1 + (1-r) f_2 & \text{for } k \leq 1 \\ r^k f_1 + (1-r^k) f_2 & \text{for } k > 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$f_1 = c / (4(L_p + h)) \quad (2)$$

$$f_2 = c / (4(W_p + L_p + h - w)) \quad (3)$$

$$r = w / W_p \quad (4)$$

$$k = W_p / L_p \quad (5)$$

식(1)에서  $f_r$ 은 안테나의 공진 주파수를 나타내며,  $w$ 는 단락판의 폭이다.  $W_p$ 는 패치의 폭,  $L_p$ 는 패치의 길이,  $h$ 는 높이이다. PIFA 형태의 안테나는 마이크로 스트립 안테나와 유사한 특징을 갖기 때문에 안테나의 높이가 낮아질 경우 주파수 대역폭이 좁아지는 반면 높이  $h$ 가 증가함에 따라 대역폭이 넓어진다. 그러나 이동단말기의 소형, 경량 특성을 고려할 때 무조건 높이를 증가시키는 방법은 적당하지 않으므로 높이와 대역폭을 고려하여 적절하게 설계해야 할 것이다<sup>[4]</sup>.

## 2. 대역폭 확장

현재 단말기가 소형 경량화 하는 추세에 맞춰 PIFA는 단말기 내에 내장될 수 있는 구조(low-profile)라는 점과 인체 두부에 단말기를 위치시켰을 때 후방복사가 낮은 특성으로 전자파가 인체에 미치는 영향을 줄일 수 있다는 점에서 설계 조건을 만족시키기 위해 최적의 구조를 지니고 있지만 협대역 특성을 가지고 있기 때문에 광대역화가 필요하다.

그림 2.2는 패치의 너비  $L_1(W_p)$ 와 단락판의 너비가 같은 경우에 패치의 높이에 따른 대역폭( $VSWR < 1.5$ )의 변화를 보여주고 있다.  $L_1(W_p) / L_2(L_p)$ 의 비가 높아지고 높이가 증가함에 따라 대역폭이 확장됨을 확인할 수 있다.

그림 2.3은 단락판의 너비가 패치의 폭  $L_1(W_p)$ 보다 적은 경우에 패치의 높이에 따른 대역폭( $VSWR$

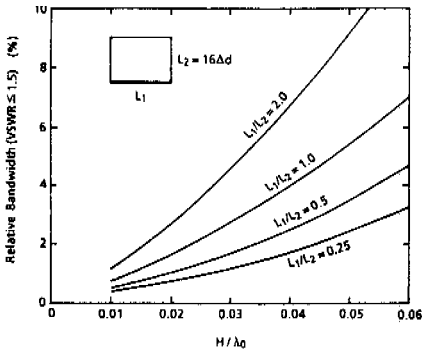


그림 2.2 단락판 폭이 L1과 같을 때의 대역폭 변화

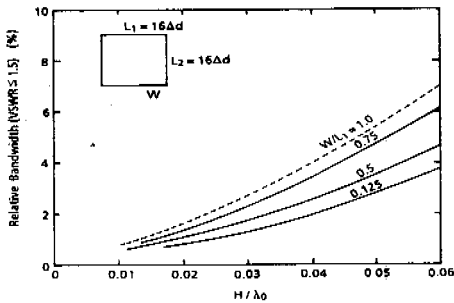


그림 2.3 단락판 폭이 L1보다 작을 때의 대역폭 변화

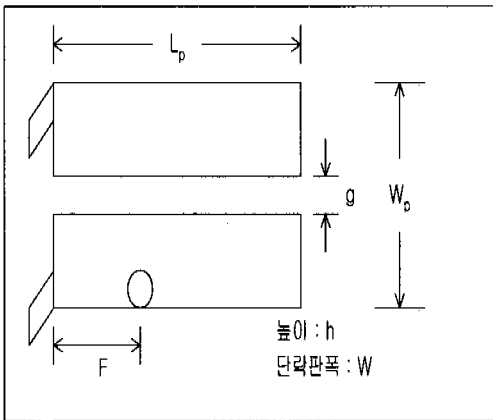


그림 2.4 이중 L 안테나 구조

<1.5)의 변화를 도시하였다.  $L_1(W_p)/L_2(L_p)$ 의 비와 패치의 높이가 증가함에 따라 대역폭이 확장된다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 IMT-2000 주파수 대역을 만족시키기 위해 그림 2.4와 같은 이중 L 안테나 구조를 설계하였다.

이중 L 안테나는 2개의 공진주파수를 갖도록 설계할 수 있는데, 주공진 요소의 크기를 적절히 조절

하여 한 주파수에서 공진시키고, 두 번째 요소의 각 부분별 크기를 조절하여 주 요소와는 다른 주파수에서 공진시킨다. 이 때 두 공진주파수가 서로 접근해 있다면 대역폭이 증가하게 된다. 하지만 이중 L 안테나는 PIFA 보다 두 배 이상의 설계파라미터를 고려해야 한다<sup>[4]</sup>.

### III. 시뮬레이션 결과

PIFA를 설계함에 있어서 접지판의 크기는  $80 \times 40 \text{ mm}^2$ 로 정하였고, 높이는 8mm로 정한 후 식(1)~(5)를 이용하여 단일 패치의 크기를 정하였다. 하지만 대역폭을 만족하지 못하였기 때문에 이중 L 안테나를 이용하여 재설계하였다. 이중 L 안테나의 경우는 두 요소 간의 간격이 새로운 변수로 나타나기 때문에 설계 시 급전선의 위치를 우선 정한 후 두 요소간의 간격 g와 단락판 폭 W, 두 파라미터를 조절함으로써 공진주파수를 최적화시켰다. 본 논문에서의 설계 목표는 표 3.1과 같다.

표 3.1 IMT-2000 단말기의 안테나 성능 요구조건

항 목	성 능 규 격
주파수 대역	송신 : 1920 ~ 1980 MHz 수신 : 2110 ~ 2170 MHz
입력 임피던스	50Ω
이득	2.1 dBi 이상
VSWR	≤ 2

#### 1. IE3D를 이용한 시뮬레이션

##### 1) 급전점의 위치에 따른 공진주파수의 변화

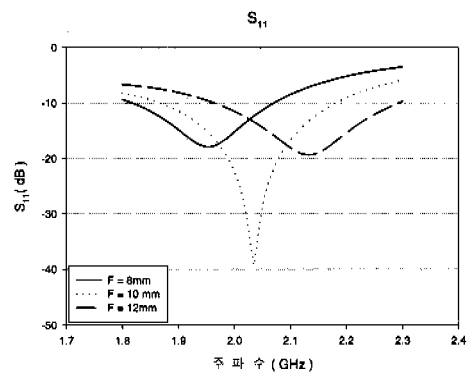


그림 3.1 급전점의 위치에 따른 공진주파수의 변화

그림 3.1은 급전점의 위치 F가 8mm, 10mm,

12mm로 변할 때의  $S_{11}$ 의 값을 나타내는데, 10mm인 경우에  $S_{11}$ 값이 2.04GHz에서 약 -40dB로 최적 상태가 됨을 확인할 수 있다. 그리고 급전점의 위치 F 값이 작아질수록 공진주파수가 낮아지고, 커질수록 공진주파수가 높아짐을 알 수 있다.

2) 단락판 폭에 따른 공진주파수의 변화

그림 3.2는 단락판의 폭이 5mm, 7mm, 10mm로 변할 때의  $S_{11}$ 의 값을 나타내는데, 7mm인 경우에  $S_{11}$ 값이 2.04GHz에서 약 -40dB로 최적 상태가 됨을 확인할 수 있다. 그리고 단락판 폭이 좁아질수록 공진주파수가 낮아지고, 단락판 폭이 넓어질수록 공진주파수가 높아짐을 알 수 있다.

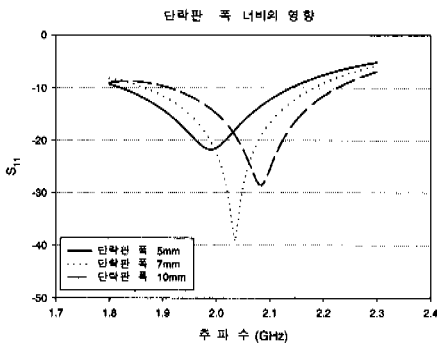


그림 3.2 단락판 폭의 너비에 따른 공진주파수의 변화

3) 두 요소 사이의 거리 g 에 따른 공진주파수의 변화

그림 3.3은 두 요소간의 거리 g가 1mm, 2mm, 3mm로 변할 때의  $S_{11}$ 의 값을 나타내는데, 2mm인 경우에  $S_{11}$ 값이 2.04GHz에서 약 -40dB로 최적 상태가 됨을 확인할 수 있다. 그리고 두 요소 사이의 거리 g가 작아질수록 공진주파수가 낮아지고, g 값이 커질수록 공진주파수가 높아짐을 알 수 있다.

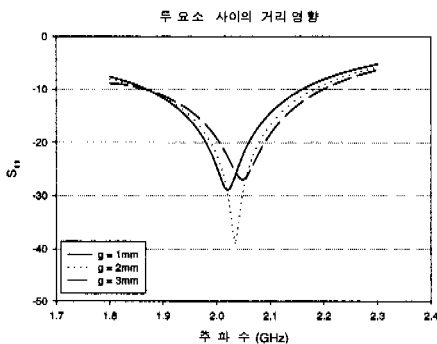


그림 3.3 두 요소 사이의 거리 g에 따른 공진주파수의 변화

2. 시뮬레이션 결과

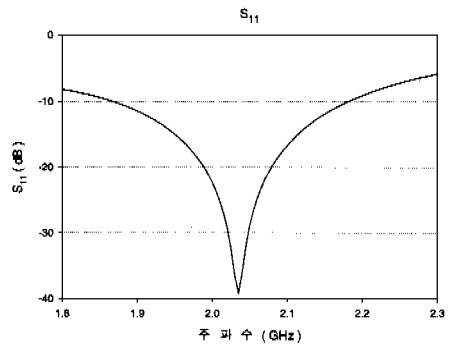
본 논문에서 설계된 이중 L형 PIFA의 제원은 표 3.2와 같다.

1)  $S_{11}$  및 VSWR

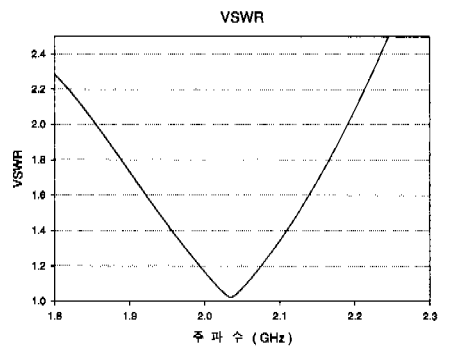
그림 3.4에는 표 3.2의 제원을 갖는 PIFA를 IE3D를 사용하여 분석한 결과를 제시하였다. 공진주파수에서  $S_{11}$ 은 약 -40dB이고 VSWR은 약 1.02이다.

표 3.2 최종 설계 파라미터

구 분	값
공진주파수	2.02 GHz
패치의 길이( $L_p$ )	32 mm
패치의 폭( $W_p$ )	30 mm
단락판의 폭( $W$ )	각 7 mm
급전점( $F$ )	10 mm
높이( $h$ )	8 mm
패치와 복사소자 간격( $g$ )	2 mm
접지판 크기	80×40 mm



(a)  $S_{11}$

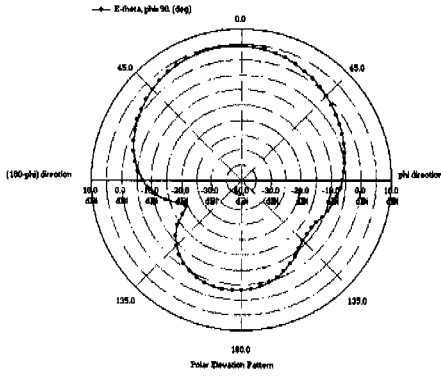


(b) VSWR

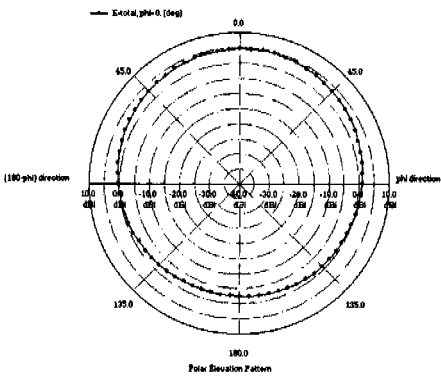
그림 3.4  $S_{11}$ , VSWR 특성(시뮬레이션 결과)

2) 안테나의 복사 패턴

그림 3.5와 3.6은 각각 IE3D와 FDTD로 해석한 안테나의 복사패턴이다.



(a) 수직패턴



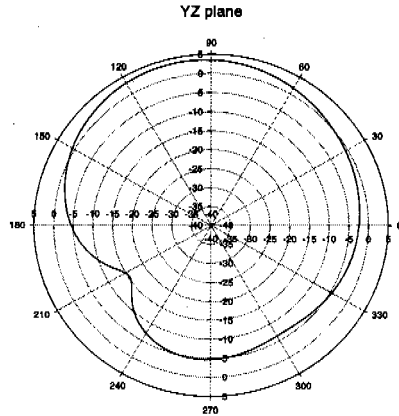
(b) 수평패턴

그림 3.5 IE3D를 이용한 복사패턴(2GHz)

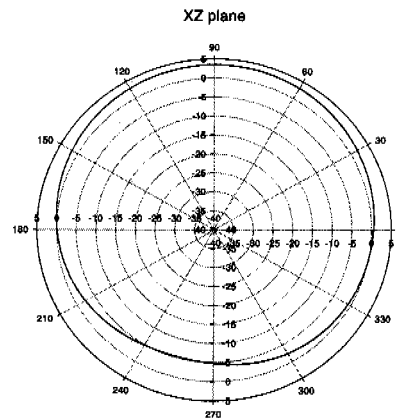
IE3D의 해석결과를 살펴보면 중심 주파수인 2GHz에서 안테나 이득이 약 5dBi이고, 후방 복사는 -3dBi로 전후방비(F/B)는 8dB 이다. 그리고 FDTD[7][8][9]의 해석 결과의 경우는 이득이 3.4dBi이고, 후방복사가 -4.7dBi로 전후방비(F/B)가 약 8dB로 IE3D를 이용한 시뮬레이션 결과와 같았다. 이득은 모두 2.15dBi 이상을 만족하고 있다.

시뮬레이션 결과 대역폭(VSWR $\leq$ 2)은 1.85GHz ~2.2GHz로 약 350MHz이다. 이는 IMT-2000 사용 대역 전체를 만족한다. 1.92GHz에서 2.17GHz까지의 안테나 이득은  $\lambda/4$  모노폴 안테나 보다 약 3dB 높고 수직 및 수평패턴은  $\lambda/4$  모노폴 안테나와 유

사하게 수직면에서는 8자 패턴을, 수평면에서는 등방성 패턴을 나타내고 있다. 주파수가 높아짐에 따라 이득이 높아지고 F/B비가 커지는 현상을 보이고 있다.



(a) 수직 패턴



(b) 수평 패턴

그림 3.6 FDTD를 이용한 복사패턴(2GHz) (단위 : dBi)

IV. 측정 결과

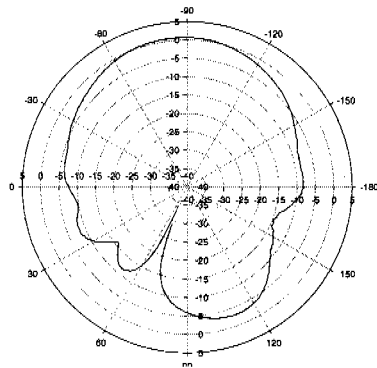
IMT-2000의 주파수 대역은 1885MHz ~ 2200MHz이다. 이 대역을 만족시키기 위해서는 이중 L 안테나에서 두 공진 주파수를 근접시켜 대역폭을 넓혀야 한다. 그러나 실제 안테나를 제작하여 측정한 결과 전 대역폭을 만족시키기 위해서는 안테나의 복사 소자의 크기가 줄어들게 되는데, 이 때 복사 소자의 크기에 따라 이득도 동시에 떨어져 전 대역에 대해서는 이득 조건(>2.15dBi)을 만족시키지



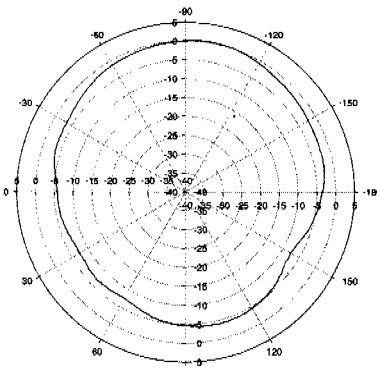
그림 4.1 제작된 안테나

못하였다. 그에 따라 본 논문에서는 휴대용 단말기의 사용 주파수 대역으로 예상되는 1920MHz~2170MHz 대역에 맞추어 안테나를 설계·제작하였다. 그림 4.1은 제작된 PIFA이며, 크기는 80×40 mm<sup>2</sup> 이고 높이는 8mm이다.

그림 4.2는 제작된 PIFA의 복사패턴이다. 여기서 측정된 안테나 이득의 단위는 dBd (1dBd=2.15dBi)이다.



(a) 수직패턴



(b) 수평패턴

그림 4.2 제작된 PIFA의 복사 패턴 (단위 : dBd)

수직 및 수평패턴은  $\lambda/4$  모노폴 안테나와 유사하게 수직면에서는 찌그러진 8자 패턴을 나타내고, 수평면에서는 동방성 패턴을 나타내고 있다. 안테나 이득은 0.7dBd(2.22dBi)이고, 후방복사 이득은 -3dBd (-0.85dBi)로 전후방비(F/B)는 3.07dB이다. 이득이 시뮬레이션이나 FDTD 해석 결과보다는 낮았지만 2.15dBi를 넘었기 때문에 안테나로서의 역할이 가능할 것으로 판단된다.

그림 4.3은 제작된 PIFA의 VSWR 특성을 나타내고 있다. 2.04GHz와 1.65GHz에서 이중 L 안테나 구조에 따른 이중 공진 현상이 나타나고 있다.

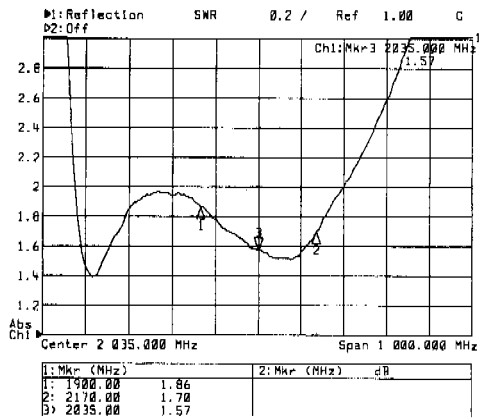


그림 4.3 제작된 안테나의 VSWR

## V. 결론

본 논문에서 IE3D를 이용하여 설계한 PIFA는, 중심주파수에서 S<sub>11</sub>이 35dB 이상 떨어지고, 대역폭(VSWR < 2)은 1850MHz~2200MHz 사이의 약 350MHz를 만족하였다.

시뮬레이션 결과를 토대로 안테나를 제작 측정하였을 때, S<sub>11</sub>은 중심주파수에서 -18 dB 이하로 시뮬레이션 결과와 비교적 일치했지만 이득은 시뮬레이션 결과보다 약 2.5dB 정도가 낮으며, 중심주파수보다 높은 주파수에서의 특성이 더 좋음을 알 수 있다. 이러한 차이는 시뮬레이션과 제작상의 오차뿐만 아니라 측정상의 오차 등에 의한 영향으로 생각된다.

비록 측정된 결과가 예측치와 다소 차이를 나타내고 있으나, 설계 제작한 PIFA는 설계 주파수 대역인 1920MHz~2170MHz까지의 대역(250 MHz)에서 이득이 2.15dBi 이상을 만족하고 있어 단말기

의 헬리컬 안테나를 대체하여 사용될 수 있다고 판단된다.

[감사의 글] 본 연구는 2000년도 한국전자통신연구원의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] K. Hirasawa and M Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of small and Low-Profile Antennas* : Artech House,inc, 1992.

[2] Kin-Lu wong and Kai-Ping Yang, "Modified planar inverted F antenna", *Electronics Letters*, vol. 34, No.1, pp.7-8, January, 1998.

[3] Zi Dong Liu, Piter S. Hall and David Wake, "Dual-Frequency planar inverted F antenna", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 45, no. 10, pp. 1451-1457, October, 1997

[3] Kathleen L. Virga, and Yahya Rahmat -Sami, "Low-profile enhanced bandwidth PIFA antennas for wireless communications packaging", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*,vol. 45, no. 10, pp. 1879-1888, October, 1997.

[4] T. Taga and K. Tsunekawa, "Performance analysis of a built-in planar inverted F antenna for 800 MHz band portable radio units, "*IEEE Trans. Selected Areas in Communication.*, Vol. 5, pp. 921-929, June 1987.

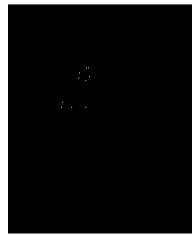
[5] 손정곤, 김규성, 최재훈, "PCS용 내장형 안테나 설계", 1998년도 한국통신학회 하계학술발표회 논문집(하권), pp.691-694, 1998 7월 9-11일, 경북 경산, 영남대학교

[6] Allen Taflove, *Computational Electrodynamics The Finite-Difference Time-Domain Method*, Artech House, Inc., London, 1995

[7] Karl S. Kunz, Raymond J. Luebbers, *The Finit Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC Press, Inc, 1993

[8] A. Taflove, K. Umashankar, B. Beker, "Calculation and Experimental Validation of Induced Currents on Coupled Wires in an Arbitrary Shaped Cavity," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 35, pp. 1248-1257, Nov. 1987.

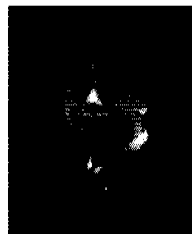
김 승 환(Seung-Hwan Kim)



1998년 2월 : 한양대학교  
전파공학과 졸업  
2000년 2월 : 한양대학교  
전자통신전파공학과 석사  
2000년 3월~현재 : 한양대학교  
전자통신전파공학과  
박사과정

<주관심 분야> 전자파 수치해석

오 경 진(Kyung-Jin Oh)

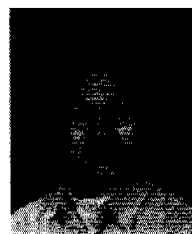


1999년 2월 : 한양대학교  
전자통신전파공학과  
졸업  
2001년 2월 : 한양대학교  
전자통신전파공학과  
졸업

2001년 3월~현재 : 한양대학교 전자통신전파공학과  
박사과정

<주관심 분야> 안테나 설계

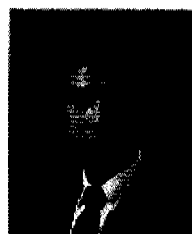
김 정 표(Jeong-Pyo Kim)



2000년 2월 : 제주대학교  
통신공학과 졸업  
2000년 3월~현재 : 한양대학교  
전자통신전파공학과  
석사과정

<주관심 분야> 마이크로파 능·수동 소자 설계

최 재 훈(Jae-Hoon Choi)



1980년 : 한양대 전자공학과  
1986년 : 미국 Ohio State  
University 전기공학과  
석사  
1989년 : 미국 Ohio State  
University 전기공학과  
박사

1989년~1991년 : 미국 Arizona State University 연  
구교수

1991년~1995년: 한국통신 위성사업본부 연구팀장  
1995년~현재: 한양대 전자전기컴퓨터공학부 부교수  
<주관심 분야> 이동통신 및 위성통신, 안테나 설계  
및 분석, 마이크로파 수동소자 설계, 전파  
전파 모델링

이 태 윤(Tae-Yune Lee)

1996년 2월: 연세대학교 전파공학과 (공학사)  
1998년 2월: 연세대학교 전파공학과 (공학석사)  
현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 안테  
나기반기술연구팀 연구원  
<주관심 분야> 안테나공학