

추가 단락판을 이용한 소형 및 광대역 특성의 PIFA(Planar Inverted F Antenna) 설계

정희원 오경진*, 한영태* 최재훈**

Design of a compact and broadband PIFA using an additive short-circuit plate.

Kyung-Jin Oh*, Young-Tae Han*, Jae-Hoon Choi** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 기본 PIFA(Planar Inverted F Antenna) 구조에 패치 길이 방향으로 단락판을 추가하여 소형 및 광대역 특성을 갖는 PIFA를 설계하였다. PIFA의 소형화를 위해 패치 폭 방향으로 단락판의 크기를 줄이고 대역폭 확장을 위해 패치 길이방향으로 단락판이 추가된 안테나 구조를 이용하였다. 단일대역 PIFA에서 소형화 및 광대역 특성의 타당성을 제시한 후 이중대역 PIFA에서도 타당성을 검증하였다. 상용툴인 IE3D를 이용하여 설계되었고 측정결과와의 비교를 통해 유효성을 검증하였다.

Key Words : PIFA(Planar Inverted F Antenna), compact & broadband antenna

ABSTRACT

In this paper, a compact and broadband PIFA(Planar Inverted F Antenna) which has an additive short-circuit plate along the patch length was designed. For more compact PIFA short-circuit plate along the patch width is reduced and an additive short-circuit plate along the patch length is used to broaden the bandwidth. The effect of an additive-short-circuit plate along the patch length was verified in single band PIFA and also verified in dual-band PIFA. The commercial software, IE3D, was used to design a PIFA and its performance was verified by comparing simulated results with measurement results.

I. 서 론

무선통신 기술의 급속한 발전으로 셀룰러, PCS, IMT-2000 등 다양한 이동통신 서비스가 활성화 되었고 최근 들어서 노트북 컴퓨터, PDA 등 이동이 자유로운 컴퓨터 사용의 증가와 높은 전송속도에 대한 요구로 Wireless-LAN에 대한 관심이 높아가고 있

다. 특히 이동성이 증시되고 있는 이동통신 시스템에 사용될 수 있는 안테나는 크기가 매우 작으며 부착하기 쉬워야 하고 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있도록 광대역 특성을 가져야 한다.

PIFA(Planar Inverted F Antenna)는 마이크로스트립 패치 안테나의 패치 아래 부분에서의 가운데 지점의 진계가 0이 되는 지점에 전기벽(electrical wall)을 놓아서 안테나 크기를 반 이상 줄일 수 있는 소형 안테나의 일종으로 노트북 컴퓨터 또는

* 한양대학교 대학원 전자통신전공학과 안테나 및 RF 소자 연구실(okj75@ihanyang.ac.kr),

** 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 (choijh@hanyang.ac.kr) 교신책임자

논문번호 : 030171-0424, 접수일자 : 2003년 4월 24일

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-041-D00416)

PDA의 보급이 확대되고 무선 인터넷 접속에 대한 요구가 증대됨에 따라 이동 단말기에 적용 가능한 유망한 안테나 형태이다. 이동통신 시스템에서 안테나의 소형화와 더불어 고속 및 대용량 데이터 전송을 위한 광대역화 역시 배놓을 수 없는 연구대상이다. PIFA에서 대역폭 확장을 위해서 안테나의 높이를 높이거나 기생소자를 추가하는 방법^[1], 슬랏을 이용하는 방법^[2], 이중공진 구조를 이용하는 방법^[3] 등 여러 가지가 있다. 그러나 이러한 방법들은 안테나의 부피가 증가하거나 튜닝과정이 복잡해지는 단점이 있다. 본 논문에서 제시하는 방법은 패치 안테나 위의 표면전류 흐름을 추가 단락판을 이용해 가변시킴으로써 광대역화를 이루었다. 단일대역에서 본 논문의 광대역 기법의 타당성을 제시한 후 이중대역에서의 광대역화 기법의 유효성을 추가 검증하였다. 안테나의 이론적 특성 해석을 위해 IE3D^[4]를 이용하여 기본적인 설계를 하였다.

II. PIFA 기본이론 및 광대역 동작원리

1. PIFA의 기본 이론

그림 1은 기본 PIFA 구조를 도시한 것이다. PIFA는 접지면, 패치, 급전선, 단락판 또는 단락판으로 구성되어 있고 유한 접지면 위에 사각 패치가 놓인 형태로 전류 급전을 통하여 패치를 여기시켜 접지면과 함께 복사 소자로써의 역할을 하게 된다^[5].

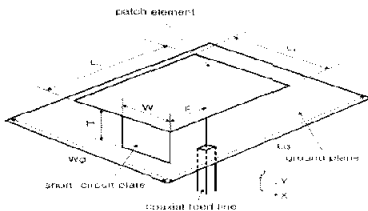


그림 1. PIFA 기본 구조
Fig 1. Basic structure of the PIFA.

안테나가 이동 단말기에 부착되기 위해서 소형화가 큰 제약 조건이다. PIFA의 경우 단락판의 폭을 줄일 경우 그림 2의 단락판의 폭에 따른 도체판에서의 표면전류의 흐름이 단락판의 폭이 좁아짐에 따라 전류의 흐름이 길어지게 되어 공진 주파수가 낮아지게 되어 안테나의 소형화를 이룰 수 있다.

그러나 소형화를 위해 단락판의 폭을 줄일 경우 대역폭이 좁아지는 단점이 있다.

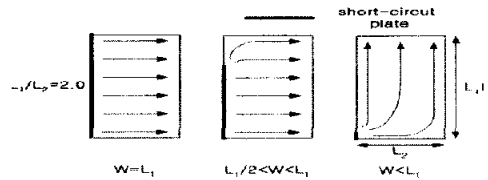


그림 2. L_1/L_2 의 비와 단락판의 폭 W 를 가변하였을 때 도체판에서의 표면전류 흐름 변화.
Fig 2. Distributions of surface current when the short plate width W and the ratio of L_1/L_2 are varied.

그림 3에 단락판의 폭과 안테나 높이 변화에 따른 대역폭 변화를 도시하였고 단락판의 폭이 좁아질수록 대역폭이 작아짐을 알 수 있다.

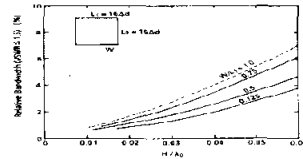


그림 3. 단락판 폭과 안테나 높이 변화에 따른 대역폭 변화 특성.
Fig 3. Bandwidth characteristics by short-circuit plate and antenna height.

2. PIFA의 광대역 동작원리

본 논문에서는 PIFA의 소형화시 발생하는 협대역 특성을 패치 길이 방향으로의 추가 단락판을 삽입하여 광대역화 하였다.

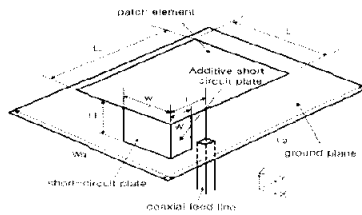


그림 4. 변형된 PIFA 구조.
Fig 4. Modified structure of the PIFA.

그림 4는 본 논문에서 제시한 소형 광대역 특성의 변형된 PIFA 구조이고 패치 길이 방향으로 추가 단락판(W_A)을 추가하여 일반적인 PIFA와 구별하였다.

그림 5에 추가 단락판의 삽입에 따른 표면전류의 흐름 변화를 도시하였다. 패치 길이 방향으로 추가 단락판이 삽입되어서 짧아지는 전류 흐름과 길어지는 전류흐름이 추가되는 것을 알 수 있다. 이 전류흐름의 길이변화의 효과로 대

역폭 확장이 이루어진다.

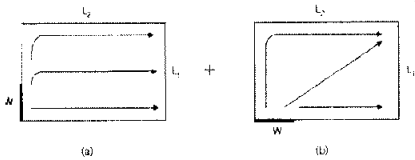


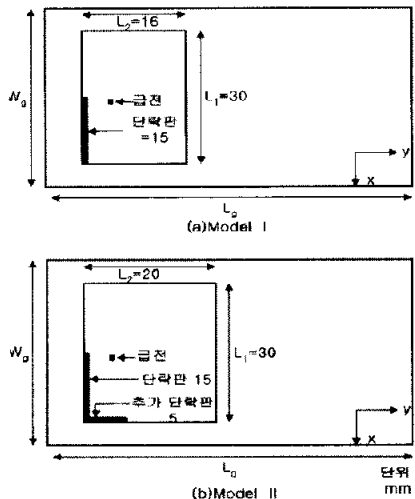
그림 5. 추가적인 단락판 삽입에 따른 표면전류 흐름 변화.
Fig. 5. Variation of surface current on planar element due to additive short-circuit plate.

1) 단일대역 PIFA 설계

본 논문에서는 그림 4와 같이 패치 길이 방향으로의 추가 단락판을 이용하여 광대역 효과를 제시한다. 추가 단락판의 광대역 효과를 확인하기 위해 안테나를 표 1과 같이 구분하였고 2.4GHz 무선랜 주파수 대역을 기준으로 설계하였다.

표 1. 구조에 따른 안테나 정의.
Table 1. Antenna definition.

Model I	단락판의 너비가 패치 폭의 1/2인 경우 (W=L ₁ /2)
Model II	Model I에서 패치 길이 방향으로 단락판이 추가된 경우



PIFA Model I, II.
Fig. 6. PIFA Model I, II.

일반적인 PIFA의 설계 절차는 안테나와 접지판 사이의 유전율이 공기인 경우 그림 2에서 W=L₁인 경우에 패치의 길이 L₂는 λ/4가 될 때 공진이 된다. W/L₁=1인 경우

$$L_2 + H = \frac{\lambda}{4} \quad (1)$$

W << L₁인 경우

$$L_1 + L_2 = \frac{\lambda}{4} \quad (2)$$

로 주어지게 된다. 전류의 흐름이 끝나는 곳에서의 프링징 전계(fringing electric field)를 고려하여 전류 흐름의 길이를 실효길이(effective length) L₁+L₂+H로 표현하게 되면

$$L_1 + L_2 + H = \frac{\lambda}{4} \quad (3)$$

로 주어지게 된다. 단일 안테나의 높이 H가 파장에 비하여 충분히 작은 경우라면 개방회로 예지에서의 프링징 효과(fringing effect)는 무시될 수 있으므로 식 (2)과 식 (3)로부터 계산된 공진 주파수는 거의 동일한 결과를 주게 된다. PIFA의 대역폭은 무한 접지면에서는 2%정도로 좁지만 단발기에 부착되면 단발기 표면에 흐르는 표면전류 때문에 대역폭이 8~10%로 증가한다. 따라서 PIFA 구조를 해석 할 때에는 접지면의 크기를 정해놓고 해석을 해야 한다. 본 논문에서는 무선 단발기의 크기를 고려하여(L_g x W_g = 80 x 60 mm²)로 고정시켰고, 패치의 높이는 단발기의 두께를 고려하여 7mm로 설정하였다.

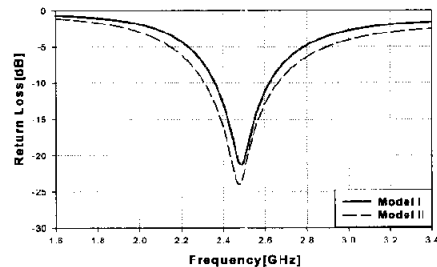


그림 7. Model I과 Model II의 반사손실 비교
Fig. 7. Return Loss characteristic of Model I & Model II

그림 7은 Model I과 Model II의 반사손실 비교이다. Model II의 경우 Model I에서 패치 길이 방향으로의 단락판을 추가하여 설계하였다. 일반적으로 PIFA에서 단락판의 폭이 좁아지면 소형화 되지만 대역폭은 좁아지는 단점이 있다^[5]. 본 논문에서는 단락판의 크기를 줄여서 소형화된 PIFA를 추가 단락판을 이용하여 대역폭을 증가시켰다. 그 결과 Model I의 대역폭은 중심주파수를 기준으로 약 10.8%, Model II의 대역폭은 중심주파수 기준으로 약 14.3%의 대역폭을 얻었다. Model II의 대역폭은 일반

적인 PIFA보다 광대역 특성을 갖는다. Model II의 패치 크기가 Model I에 비해 약간 증가했지만 대역폭은 약 35%증가하였다. Model II의 크기는 패치 폭과 단락판의 폭이 같을 때 식(1)의 패치 길이 ($L_2=25\text{mm}$)보다는 감소($L_2=20\text{mm}$)하여 소형화 목표를 이루었고 추가 단락판 삽입을 통해 광대역화 하였다.

2) 이중대역 PIFA 설계

추가 단락판에 의한 PIFA의 광대역 효과를 이중대역 PIFA에서도 확인하기 위해 이중대역 PIFA에도 추가 단락판을 적용하여 설계하였다. 본 논문에서는 PIFA에서 쓰이는 많은 다중대역 기법^{[1][2][3][6]} 중 기본 패치 크기의 변형없이 다중대역이 가능한 U-슬릿 구조를 적용하여 이중대역 안테나를 구현하였다. U-슬릿에 의한 이중대역 효과를 보기 위해 전류분포를 보면 우선 기본 공진 공진을 갖는 전류분포와 함께 인접한 주파수에서 U-슬릿의 길이 방향 슬릿을 감는 전류의 흐름이 생기는데^[7], 이 두개의 주파수에서의 공진에 의해 이중대역 효과가 생긴다. 낮은 공진주파수는 기본 패치의 너비와 길이에 의해 결정되고 높은 공진주파수는 슬릿 내부 패치의 너비와 길이에 의해 결정된다^[2]. 그림 8과 표 2에 U-슬릿 구조의 안테나와 설계 파라미터를 도시하였다.

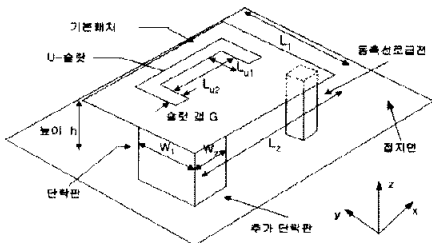


그림 8. 패치 길이방향으로 단락판이 추가된 U-슬릿 PIFA의 구조.
Fig. 8. Structure of a U-slot PIFA having an additive short-circuit plate along the patch length.

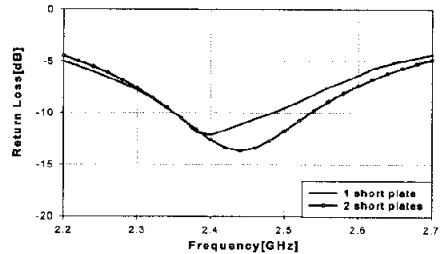
2.4GHz 주파수를 기준으로 기본 패치의 크기, 단락판의 너비, 급전점 등을 조절하여 설계하였고 기본 패치 안쪽의 적당한 위치에 슬릿을 만들고 U-슬릿의 너비, 길이, 슬릿 갭 등을 조절하여 5.25GHz 대역에서 공진이 일어나도록 조절하였다. 기본 패치에 U-슬릿이 들어가서 전반적으로 영향을 주므로 기본 안테나의 크기와 공진주파수가 조금씩 바뀌게 된다. 이중대역 PIFA에서도 안테나의 소형화를 위해 패치 폭 방향으로 단락판의 크기를 줄이고 광대역화를 위

해 패치 길이 방향으로 단락판을 추가하였다.

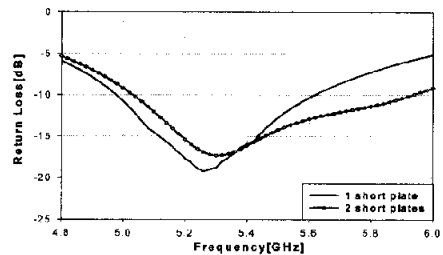
표 2. 이중대역 PIFA 설계 파라미터.
Table 2. Design parameter of a dual-band PIFA.

변수	값
L_1	23 mm
L_2	23 mm
L_{u1}	1.5 mm
L_{u2}	14 mm
W_1	9.5 mm
W_2	6 mm
G	2 mm
높이	7 mm
접지면 크기	$80 \times 60 \text{ mm}^2$

그림 9는 그림 8의 이중대역 PIFA 구조에서 추가 단락판이 삽입되었을 때의 대역폭 특성 변화를 나타낸다.



(a) 2.4GHz



(b) 5.25GHz

그림 9. 추가 단락판 삽입에 따른 반사손실 비교.
Fig. 9. Return Loss characteristic of PIFA due to additive short-circuit plate.

추가 단락판이 부착된 U-슬릿 PIFA는 새로 부가된 패치의 길이 방향으로의 단락판(W_2)에 의해 추가 단락판을 사용하지 않았을 때와 비교하여 각각의 주파수 대역에서 38%와 40%의 증가된 대역폭을 얻었다. 이는 단일대역에서 추가 단락판에 의한 전류 흐름의 성분들이 추가되어 대역폭이 확장되는 효과와

같으며 이를 통해 이중대역 PIFA에서도 추가 단락 판에 의한 대역폭 확장 효과를 확인 할 수 있었다.

III. 제작 및 측정결과

1) 반사손실

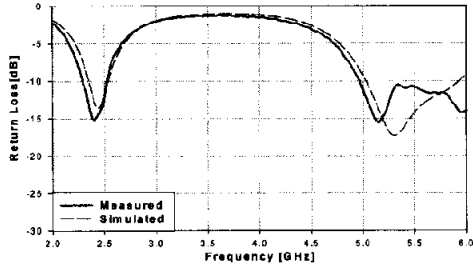


그림 10. 이중대역 U-슬롯 PIFA의 반사손실 특성
Fig. 10. Measured and Simulated return loss characteristic.

그림 10에 표 2의 세원을 갖는 U-슬롯 PIFA를 IE3D를 사용하여 분석한 결과와 측정결과를 제시하였다. 시뮬레이션 결과 2.45GHz와 5.25GHz에서 공진하였고 측정 결과는 2.4GHz와 5.32GHz에서 공진하여 각각의 공진주파수는 약간의 차이는 있었지만 거의 일치 하였다. 대역폭(VSWR \leq 2)은 시뮬레이션 결과 2.45GHz대역에서 180MHz와 5.25GHz대역에서 940MHz였고 측정 결과 각각의 주파수 대역에서 230MHz와 1210MHz로 두 주파수 대역 모두 측정결과가 더 넓었다.

2)안테나 복사패턴

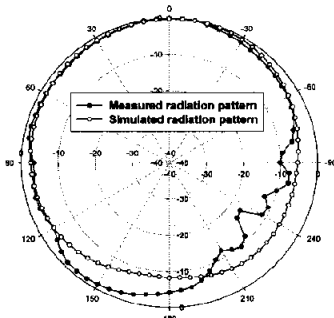


그림 11. 2.45GHz 복사패턴(z-x)
Fig. 11. Radiation pattern 2.45GHz(z-x)

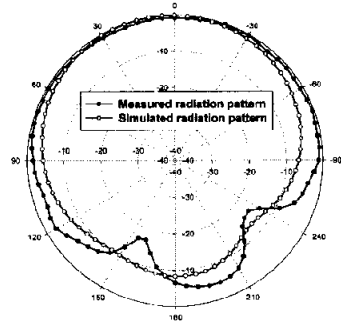


그림 12. 2.45GHz 복사패턴(z-y)
Fig. 12. Radiation pattern at 2.45GHz(z-y)

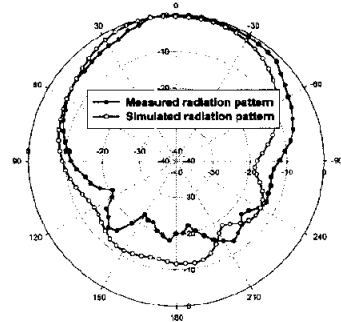


그림 13. 5.25GHz 복사패턴(z-x)
Fig. 13. Radiation pattern at 5.25GHz(z-x)

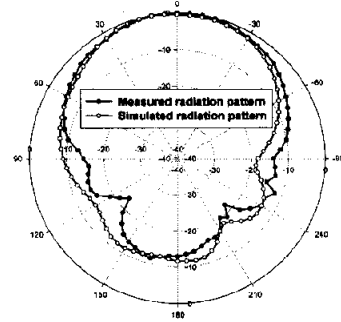


그림 14. 5.25GHz 복사패턴(z-y)
Fig. 14. Radiation pattern at 5.25GHz(z-y)

그림 11에서 14까지는 시뮬레이션 및 제작된 U-슬롯 PIFA의 복사패턴의 비교이다. 복사패턴 측정은 Far field 측정 장치인 FR959 Antenna Measurement System을 사용하여 측정하였다. 수직 및 수평패턴 모두 시뮬레이션 결과와 비슷함을 알 수 있다.

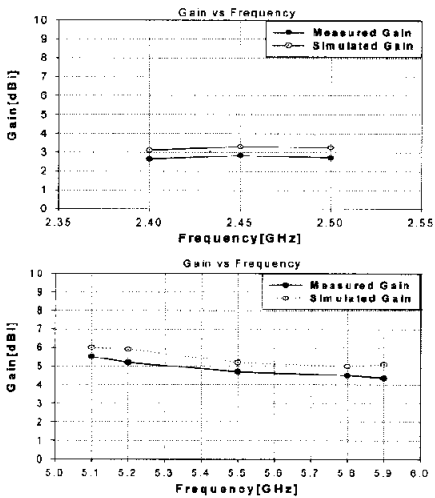
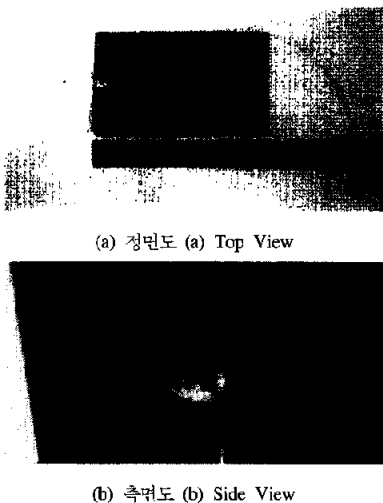


그림 15. 측정 및 시뮬레이션 안테나 이득
Fig. 15. Measured and simulated antenna gains

그림 15에 각각의 대역폭 내에서 측정 및 시뮬레이션된 안테나 이득을 보여주고 있다. 안테나 이득은 2.45GHz에서 최대 2.67dBi, 대역폭 내에서 2.5dBi를 전후로 0.2dB정도 편차를 보였고 5.1GHz에서 최대 5.1dBi, 대역폭 내에서 4.5dBi를 전후로 0.5dB정도 편차를 나타내었다. 이 차이는 제작상의 오차와 측정 환경에 의한 결과라 할 수 있다.

제작된 안테나의 정면도 및 측면도 실제 모습을 그림 16에 나타내고 있다.



(a) 정면도 (a) Top View
(b) 측면도 (b) Side View
그림 16. 제작된 안테나 사진
Fig. 16. Photograph of manufactured antenna.

IV. 결 론

본 논문에서는 기본 PIFA의 소형화를 위해 단락판의 크기를 줄일 경우 발생하는 협대역 특성을 추가 단락판을 이용하여 광대역화 하여 소형이고 광대역 특성을 갖는 PIFA를 설계 하였다. 단일대역에서 추가 단락판에 의한 광대역 특성을 검증하였고 U-슬롯 구조를 적용한 이중대역 안테나에서도 추가 단락판을 적용하여 설계 및 제작하였으며 추가 단락판에 따른 대역폭 확장의 유효성을 고찰하였다. 제안된 안테나 구조는 단일대역 안테나에서 $VSWR \leq 2$ 를 기준으로 추가 단락판이 없는 구조에 비해 35% 증가된 대역폭을 얻었다 또한 같은 대역폭 기준으로 20%의 안테나 소형화를 이루었다. 이중대역 안테나에 적용한 경우 추가 단락판을 사용하지 않았을 때와 비교하여 같은 크기의 안테나에서 각각 38%와 40%의 증가된 대역폭을 얻었다.

수납공간 효율이 좋은 장점이 있는 PIFA의 소형화시 단점인 협대역 특성을 본 논문에서 제시한 방법으로 개선한다면 소형이면서 광대역 특성을 가지는 무선 단말기용 안테나로 널리 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] K. Gabriel, H. Lui and Ross D. Mur, "Compact Dual Frequency PIFA Using LC Resonators", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.49, no.7, pp. 1016-1019, July 2001.
- [2] P. Salonen and M. Keskilam, "Novel dual-band planar inverted-F antenna", *Asia-Pacific Microw. Conf. Dig.*, pp.706-710, 2000.
- [3] Y. Wang and L. C. Kwang, "One novel single-patch dual-frequency planar inverted-F antenna", *proc. Int. conf. microwave millimeter wave tech.*, pp.444-447, 2000.
- [4] IE3D, Zeland Software, Inc., 39120 Argonaut Way, Site 499, Fremont, CA 94538, U.S.A.
- [5] K. Hirasawa and M. Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of small and Low-Profile Antennas* : Artech House.
- [6] Z. D. Liu, P.S. Hall and D. Wa,

"Dual-Frequency planar inverted F antenna",
IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.
45, no. 10, pp. 1451-1457, October 1997.

- [7] R. Bhalla and L. Shafai, " Resonance Behavior of Single U-slot and Dual U-slot Antenna", *IEEE APS Symp., Boston, Massachusetts.*, vol.2, pp.700-703, July 8-13 2001.

최 재 훈(Jae-Hoon Choi)

정회원



1980년 : 한양대학교 전자공학과
1986년 : 미국 Ohio State University 전기공학과 석사
1989년 : 미국 Ohio State University 전기공학과 박사
1989년~1991년: 미국 Arizona State University 연구교수

1991년~1995년 : 한국통신 위성사업본부 연구팀장
1995년~현재 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 부교수

<주관심분야> 이동통신 및 위성통신 안테나 설계, 마이크로파 회로 설계

오 경 진(Kyung-Jin Oh)

정회원



1999년 2월 : 한양대학교
전자전자통신전파공학과 졸업
2001년 2월 : 한양대학교
전자통신전파공학과 석사
2001년 3월~현재 : 한양대학교
전자통신전파공학과 박사과정

<주관심분야> 안테나, RF 회로설계

한 영 태(Young-Tae Han)

정회원



2002년 2월 : 한양대학교
전자전기공학과 졸업
2002년 3월~현재 : 한양대학교
전자통신전파공학과 석사과정

<주관심분야> 안테나, RF 회로설계