

논문 2010-47TC-11-12

U-형 슬랏을 이용한 이중 공진 PIFA 설계

(Design of A Dual-resonance PIFA Using U-Type Slot)

김 윤 호*, 이 중 근**, 김 정 훈*, 장 태 현***

(Yoon-Ho Kim, Joong-Geun Rhee, Jung-Hun Kim, and TaeHeon Jang)

요 약

본 논문은 2.4 GHz 와 5 GHz 대역에서 802.11n 규격에 사용가능한 이중 공진 PIFA(Planar Inverted F-Antenna)를 제안하였다. 이중 공진을 위해 2.4 GHz 대역에서는 패치, 5 GHz 대역에서는 U-형 슬랏을 이용하여 PIFA를 설계하였다. 단락판과 급전핀의 위치, 단락판의 폭, U-형 슬랏의 두께, U-형 슬랏의 위치를 변경시키며 HFSS(High Frequency Structure Simulation)를 이용하여 안테나의 특성변화를 조사하였다. 실제 시제품을 제작하여 측정된 값과 시뮬레이션 값을 비교 분석한 결과, U-형 슬랏의 위치가 급전핀과 멀어질수록, 그 두께가 얇아질수록 안테나의 특성이 좋아지는 것을 알 수 있었다.

Abstract

This paper presents the dual resonance PIFA(Planar Inverted F-Antenna) which satisfies the requirements of the 802.11n standard at both 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands. Patch for 2.4 GHz and U-Type slot for 5 GHz were used for dual resonance, respectively. In this paper, the characteristics of an antenna were investigated by varying locations of short plate and feed point, the width of the short plate, the thickness and the location of U-Type slot. To investigate the characteristics of the PIFA, HFSS(High Frequency Structure Simulation) for the simulation was used. And the measurement results of a fabricated PIFA were compared with the simulated ones. The measurement and simulation results show that good dual resonance characteristics as the thickness of U-type slot decreases and when the location of U-type slot is far from the feed point.

Keywords : PIFA, HFSS, U-Type Slot, Dual-Resonance

I. 서 론

최근에는 무선통신 환경을 쉽게 접할 수 있으며, 그 중에서도 무선 랜은 우리의 생활에 큰 영향을 주고 있다. 지금도 무선 랜의 발전은 진행 중에 있으며, 최근에는 802.11n 규격이 이슈가 되고 있다. 802.11n 무선 랜 규격은 기존에 사용된 무선 기술에 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 기술을 추가로 도입하면서 최대 전송 속도를 획기적으로 향상 시켰으며, 사용 주파수도 2.4 GHz와 5 GHz 모두 지원하고 기존

규격에 맞은 동작 모드도 포함하고 있다. 주로 무선 인터넷 공유기와 노트북에서 많이 사용하고 있다. 이는 안테나의 크기가 커서 최근에 이슈가 되고 있는 스마트폰에는 적용하기가 힘들어 내장형 안테나를 고려해 보았다. 내장형 안테나 중에서도 작고 저렴하며, 제작이 간편한 PIFA (Planar Inverted F-Antenna)를 고려하였다^[1]. 안테나의 수치 해석 방법으로는 MoM (Method of Moments)과 FDTD (Finite Difference Time Domain) 등이 있으나, 이 방법들을 사용하면 안테나 설계 시 수치 해석의 어려움으로, 임의의 위치에서 안테나의 임피던스를 계산하고, 급전 위치만 예측하여 안테나를 제작하게 되어 정확한 급전 홈의 폭과 길이에 대해서는 이해하기 힘들었다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고 정확한 결과를 얻기 위하여

* 학생회원, ** 평생회원, *** 정회원, 한양대학교 전자전 기제어계측공학과

(Department of Electronics Electrical Control & Instrumentation Engineering, Hanyang University)

접수일자: 2010년7월9일, 수정완료일: 2010년11월10일

HFSS(High Frequency Structure Simulator) version 11 프로그램을 사용하였으며, 기판의 높이와 유전율을 고정시키고 PIFA 안테나에 영향을 주는 단락판과 급전핀의 위치, 단락판의 폭의 길이, U-형 슬랏의 두께, U-형 슬랏의 위치를 변경하며 각 인자가 안테나특성에 미치는 영향을 조사 및 분석 하였다.

II. 이중 공진 PIFA 설계

1. PIFA 의 크기 결정

그림 1은 PIFA 의 구조를 나타낸 것이다. 여기서 패치의 폭 L_1 , 패치의 길이 L_2 , 접지면에서 패치까지의 높이 H , 단락판의 지름 또는 단락판의 폭 W 는 식(1.1) - (1.5)와 같이 공진주파수 f_r 에 의하여 결정된다^[2~3].

$$f_r = r f_1 + (1-r) f_2 \quad \text{for } k \leq 1$$

$$= r^k f_1 + (1-r^k) f_2 \quad \text{for } k > 1$$
(1.1)

$$f_1 = c/4(L_2 + H)$$
(1.2)

$$f_2 = c/4(L_1 + L_2 + H - W)$$
(1.3)

$$r = W/L_1$$
(1.4)

$$k = L_1/L_2$$
(1.4)

여기서 c 는 3×10^8 [m/s], f_r 은 2.45 GHz이다. 계산된 PIFA 의 최종 수치는 $L_1 = 15$ mm, $L_2 = 20$ mm, $H = 5$ mm, $W = 4$ mm 이며, 유전율이 4.4이며 크기가 50 mm × 100 mm 인 FR-4 기판 아랫면의 0.35 um 높이의 동 도금면을 접지면으로 설정 하였다.

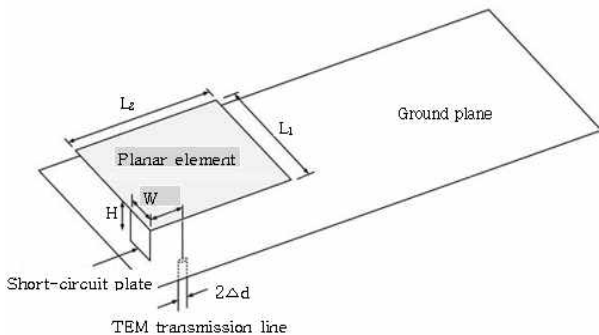


그림 1. PIFA의 기본구조
Fig. 1. The basic structure of PIFA.

2. U-형 슬랏의 크기 결정

그림 2는 PIFA 에 슬랏을 이용하여 다중공진의 구조^[4~6]를 나타낸 것이다. 여기에서 낮은 공진주파수는 전체 패치의 너비와 길이에 의해 결정되고 높은 공진주파수는 슬랏 내부 패치의 너비와 길이에 의해 결정된다^[7]. 이때 사용하는 슬랏의 크기 및 다중 공진을 위하여 추가하는 슬랏의 개수의 경우에도 전체 패치의 크기를 고려해야 한다.

$$F_{ri} = c/4(W_i + L_i)$$
(2.1)

(단 $i = 2, 3$, F_{ri} : 슬랏에 의해 생성된 공진주파수)

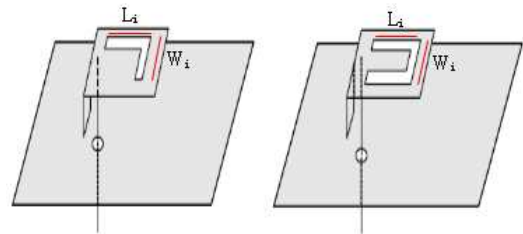


그림 2. 슬랏을 사용한 다중공진 PIFA 설계
Fig. 2. Multi-resonant PIFA designs using slot.

3. HFSS 시뮬레이션

그림 3은 PIFA 에 U-형 슬랏을 추가한 안테나의 HFSS 시뮬레이션 모습을 보여준다. 2.4 GHz와 5 GHz 대역에서 사용되는 PIFA 의 설계이므로, 주파수를 50 MHz씩 증가시키면서 1.5-6 GHz 대역까지 해석하였다. HFSS 시뮬레이션에서 해석 방법은 Driven Modal을 사용하였다.

HFSS는 시뮬레이션 시 급전되는 곳의 정확한 해석이 필요하기 때문에 경계면의 크기는 해석을 원하는 주

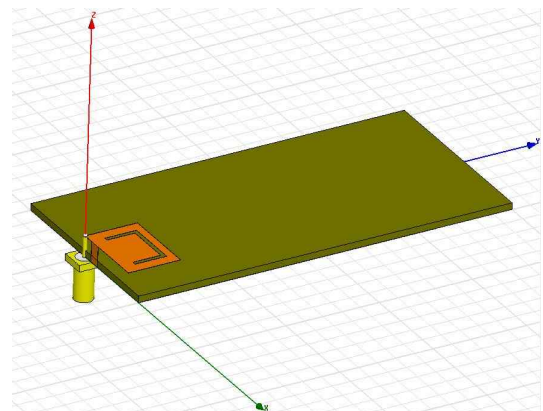


그림 3. U-형 슬랏을 사용한 PIFA 의 HFSS 시뮬레이션
Fig. 3. HFSS simulation of PIFA using U-Type slot.

파수의 1/4을 넘어서도록 설정해야 한다. 또한, 포트 신호가 입사될 때 안테나의 패치부분을 거쳐 자유 공간으로 복사되는 전자기파의 패턴을 확인하기 위해 경계면의 매질은 공기로 선택하였다. 고주파에서는 신호와 접지면의 조건이 명확해야 하므로, 포트의 위치는 접지면과 FR-4기판을 연결하는 곳에 설정하였다.

III. U-형 슬랏의 변화에 따른 결과 해석

1. 급전핀과 단락판의 거리 결정

그림 4는 결정된 패치와 U-형 슬랏을 갖는 PIFA 에 급전핀과 단락판의 위치를 변경하며 수행한 시뮬레이션 결과를 보여주며, 급전핀과 단락판 사이의 거리가 일정하게 증가하는 경우에는 2 GHz 대역의 공진 주파수와 S11 값이 일정하게 증가하다가 수렴하게 되고, 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 낮은 쪽의 공진 주파수에 맞추어 패치를 설계하여 급전핀과 단락판의 거

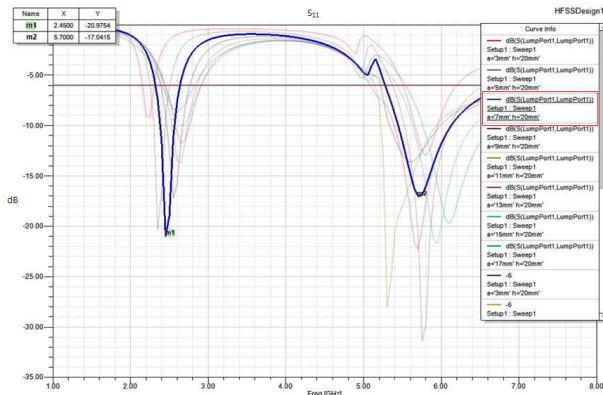


그림 4. 급전핀과 단락판의 거리에 따른 S11 변화
Fig. 4. Result of S11 with various distances.

표 1. 급전핀과 단락판 사이의 거리에 따른 공진주파수와 S11 변화

Table 1. Resonant frequency and S11 at various distances.

급전핀과 단락판의 거리 [mm]	공진 주파수 [GHz]	S11 [dB]	공진 주파수 [GHz]	S11 [dB]
3	2.25	-9.28	5.8	-12.96
5	2.35	-20.28	5.75	-31.34
7	2.45	-20.97	5.70	-17.04
9	2.55	-17.18	5.60	-13.61
11	2.65	-13.74	5.30	-28.00
13	2.65	-11.74	5.70	-22.30
15	2.65	-10.04	5.95	-21.69
17	2.60	-8.59	6.10	-19.74

리가 직접적인 영향을 주는 것으로 생각된다. 또한, 표 1의 결과를 통하여 PIFA 의 목표치를 만족하는 최적의 조건은 급전핀과 단락판의 사이의 거리가 7 mm 인 경우임을 알 수 있었다.

가. U-형 슬랏의 두께 결정

U-형 슬랏의 두께를 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, 2 mm 로 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 U-형 슬랏의 위치는 패치의 가운데에 놓이도록 하였다. 표 2는 시뮬레이션 결과로, U-형 슬랏의 두께가 두꺼워질수록 5 GHz 대역의 공진주파수가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 U-형 슬랏 두께의 변화로 인한 U-형 슬랏 안쪽의 패치크기의 변화가 발생하기 때문으로 생각된다. 2.4 GHz 대역의 공진주파수는 변화가 없었고, S11 값의 변화만 발생 하였다. 시뮬레이션 결과 U-형 슬랏의 두께가 0.5 mm, 1.0 mm 경우에 원하는 안테나의 특성을 얻을 수 있었다.

표 2. U-형 슬랏 두께에 따른 공진주파수와 S11 변화
Table 2. Resonant frequency and S11 at various thickness.

U-형 슬랏의 두께 [mm]	공진 주파수 [GHz]	S11 [dB]	공진 주파수 [GHz]	S11 [dB]
0.5	2.40	-20.67	5.60	-28.20
1.0	2.40	-17.64	5.60	-22.46
1.5	2.40	-18.43	5.50	-19.13
2.0	2.40	-22.65	5.40	-16.48

나. U-형 슬랏의 패치에서의 위치 결정

U-형 슬랏의 두께 변화 시뮬레이션 결과를 토대로 U-형 슬랏의 급전핀과 단락판으로 부터의 거리를

변경하고, 이 결과를 바탕으로 U-형 슬랏의 패치에서의 좌, 우 위치를 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였다. U-형 슬랏의 두께는 1.0 mm 로 설정하였다.

(1) 급전핀과 단락판으로 부터의 거리 결정

급전핀과 단락판으로 부터의 거리를 1.0 mm 부터 6.0 mm 까지 0.5 mm 씩 변경하며 시뮬레이션을 수행하였다. 표 3을 살펴보면, 거리가 멀어질수록 공진주파수가 2.3 GHz 에서 2.4 GHz 로, 5.9 GHz 에서 5.7 GHz 로 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 이때, 거리가 5.5 mm 만큼 떨어져 있는 경우에 원하는 안테나의 특성을 얻을 수 있었다.

표 3. U-형 슬랏의 급전핀과 단락판으로 부터의 거리에 따른 공진주파수와 S₁₁ 변화

Table 3. Resonant frequency and S₁₁ with various locations.

P ₁ [mm]	공진 주파수 [GHz]	S ₁₁ [dB]	P ₁ [mm]	공진 주파수 [GHz]	S ₁₁ [dB]
1	2.30 5.90	-14 -16	4.0	2.40 5.70	-18 -18
1.5	2.30 5.90	-19 -16	4.5	2.40 5.60	-19 -17
2.0	2.30 5.90	-22 -16	5.0	2.40 5.70	-29 -18
2.5	2.30 5.90	-17 -15	5.5	2.40 5.70	-30 -19
3.0	2.30 5.80	-14 -16	6.0	2.40 5.70	-24 -16
3.5	2.40 5.70	-14 -17	P ₁ : U-형 슬랏의 전핀과 단락판으로 부터의 거리		

(2) 패치에서의 좌, 우 위치 결정

표 3의 결과를 바탕으로 U-형 슬랏이 패치에서의 좌,

표 4. U-형 슬랏의 패치에서의 좌, 우 위치에 따른 공진주파수와 S₁₁ 변화

Table 4. Resonant frequency and S₁₁ with various locations.

P ₂ [mm]	공진 주파수 [GHz]	S ₁₁ [dB]	P ₂ [mm]	공진 주파수 [GHz]	S ₁₁ [dB]
1	2.40 5.50	-32 -20	3.5	2.40 5.70	-26 -19
1.5	2.40 5.50	-32 -17	4.0	2.40 5.80	-25 -19
2.0	2.40 5.60	-34 -16	4.5	2.40 5.70	-31 -17
2.5	2.40 5.60	-32 -19	5.0	2.40 5.80	-22 -21
3.0	2.40 5.70	-30 -19	P ₂ : U-형 슬랏의 패치에서의 좌, 우 위치		

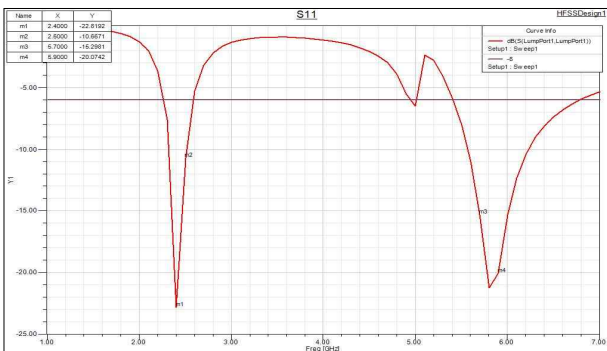
우 위치를 1 mm부터, 5 mm까지 0.5 mm씩 변경하며 시뮬레이션을 수행하였다. 표 4를 살펴보면, U-형 슬랏이 급전의 우측으로 5 mm 떨어져 있는 경우의 결과 값이 가장 좋은 것을 확인할 수 있다. 또한, U-형 슬랏의 패치에서의 좌, 우 위치는 2.4 GHz 대역의 공진주파수에는 거의 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있었고, 패치의 우측으로 멀리 떨어질수록 5 GHz 대역의 공진주파수가 올라가는 것을 확인할 수 있었다.

3. 제안된 PIFA 의 제작 및 비교분석

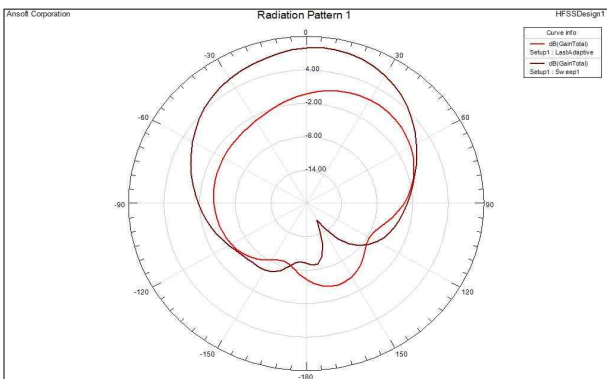
지금까지 2.4 GHz 대역의 기본 패치크기, 5 GHz 대역의 U-형 슬랏 크기, 급전핀과 단락판의 거리, U-형 슬랏의 급전핀과 단락판과의 거리, 패치에서의 U-형 슬랏의 위치 변경의 각각의 시뮬레이션을 통하여 가장 최적의 값을 표 5에 나타내었다. 이 결과를 바탕으로 최종적인 시뮬레이션을 수행하였으며, 그림 5의 (a)는

표 5. 최종 시뮬레이션 PIFA 데이터
Table 5. The final simulation data values of PIFA.

구분	기호와 수치	비고
패치 길이	$L_1 = 15.0 \text{ mm}$	
패치 폭	$L_2 = 20.0 \text{ mm}$	
패치 높이	$H = 5.0 \text{ mm}$	
급전 형태	SMA 커넥터	
단락판 폭	$W = 4.0 \text{ mm}$	
급전핀과 단락판 사이의 거리	7.0 mm	
U 형 슬랏의 두께	1.0 mm	
U 형 슬랏의 크기	4 mm X 14 mm	
U 형 슬랏의 위치	급전으로부터 5.5 mm, 5.0 mm	
기판 두께	1.6 mm	
기판 유전율	$\epsilon = 4.4$	



(a) S_{11}



(b) 복사 패턴

그림 5. 제안된 PIFA 의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. The simulation results of the proposed PIFA.

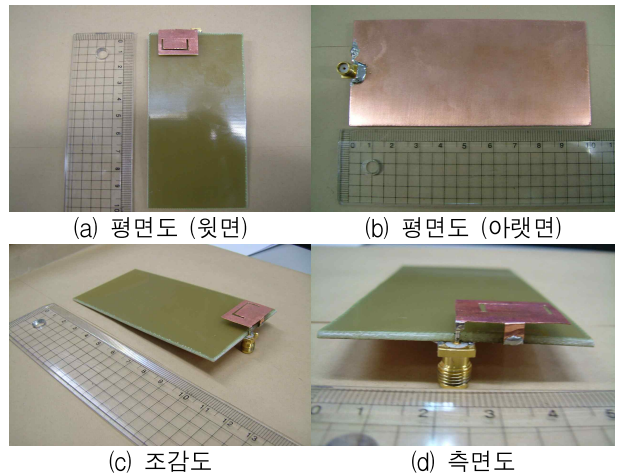


그림 6. 제작된 PIFA
Fig. 6. Fabricated PIFA.

표 6. 시뮬레이션 결과와 실제 측정값의 비교 결과
Table 6. Comparison of simulation results with measurement ones.

시뮬레이션 결과 값	공진 주파수 [GHz]	S_{11} [dB]	공진 주파수 [GHz]	S_{11} [dB]
S_{11}	2.40	-22	5.80	-21
6 dB 이하 대역폭	2.6-2.3 = 0.3 [GHz]		6.8-5.4 = 1.4 [GHz]	
VSWR	2.40 => 1.2579		5.80 => 1.7281	
실제 측정 결과 값	공진 주파수 [GHz]	S_{11} [dB]	공진 주파수 [GHz]	S_{11} [dB]
S_{11}	2.60	-12	6.00	-14
6 dB 이하 대역폭	2.8-2.5 = 0.3 [GHz]		6.0-5.7 = 0.3 [GHz]	
VSWR	2.40 => 1.7521		5.80 => 1.8975	

시뮬레이션의 S_{11} 값을, (b)는 시뮬레이션의 복사패턴을 보여준다.

이처럼 제안된 PIFA의 시뮬레이션 결과는 802.11n 규격에서 사용이 가능한 수치이며, 이를 바탕으로 실제 제작한 PIFA 를 그림 6에 나타내었다. 표 6은 시뮬레이션 결과와 실제 측정값을 비교 한 것이다. 측정은 HP사의 Network Analyzer 8753D, 85033D 3.5-mm 교정 세트, 50 cm × 50 cm 크기의 접지면을 사용하였다. 측정값의 비교 결과 공진주파수의 대역이 시뮬레이션의 결과보다 상향된 모습을 확인 할 수 있었으며, 이러한 결과는 제작된 PIFA의 패치와 U-형 슬랏의 크기 및 접지면과 이루는 각도의 문제로 보인다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역에서 802.11n 규격에 사용될 수 있는 PIFA를 설계함에 있어서 이중 공진을 만족하기 위해 2.4 GHz 대역에서는 패치, 5 GHz 대역에서는 U-형 슬랏을 이용하였다. 이때, 단락판과 급전핀의 위치, 단락판의 폭, U-형 슬랏의 두께, U-형 슬랏의 위치를 변경하였다. 이러한 인자를 변경하면서 얻은 시뮬레이션 결과를 토대로 U-형 슬랏의 위치가 급전핀과 멀어질수록, 그 두께가 얇을수록 안테나의 특성이 좋아지는 것을 알 수 있었다. 또한, U-형 슬랏의 위치가 패치의 가장자리와 매우 근접한 경우에는 특성이 나빠지는 것도 알 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 실제 제작을 통하여 측정한 값과 시뮬레이션 값을 비교 분석한 결과, 시뮬레이션 결과 보다 공진주파수가 상향된 것을 보여주었다. 이러한 결과는 제작된 PIFA의 패치와 U-형 슬랏의 크기 및 접지면과 이루는 각도 등의 문제로 판단된다. 실제 전자제품에서 사용할 경우에는 수차에 걸친 시행착오 적 시험(Trial and Error)을 통하여 차이점을 해결 할 수 있을 것이다.

dual-band planar inverted-F antenna,” Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 706-710, 2000.

참 고 문 헌

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*. 3rd edition, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2005.
- [2] Y. Wang and C. K. Lee, “One novel single-patch dual-frequency planar inverted-F antenna,” International conference on microwave and millimeter wave technology proceedings, pp. 444-447, 2000.
- [3] 압둘라자크, 이중근, “Miniaturized PIFA for WSN Nodes,” SCORED 2009, pp. 16-18, Nov. 2009.
- [4] A. F. Muscat and C. G. Parini, “Novel Compact Handset Antenna”, International Conference on Antennas and Propagation, vol.1,no.480, pp. 336-339, April, 2001.
- [5] P. Salonen, M. Keskilammi and M. Kivikoski, “New slot configurations for dualband planar inverted-f antenna”, Microwave and Optical Technology Letters, vol.28, no.5, pp. 293-298, March, 2001.
- [6] Y. X. Guo, H. S. Tan, “New Compact Six-Band Internal Antenna” IEEE Antennas and wireless propagation letters, vol.3, 2004.
- [7] P. Salonen and M. Keskilammi, “Novel

저 자 소 개



김 윤 호(학생회원)
 2008년 한양대학교 전자통신
 공학과 (공학사)
 2010년 한양대학교 전자전기 제어
 계측공학 (공학석사)
 <주관심분야 : EMC, 소형 안테
 나, 수치해석>



이 중 근(평생회원)
 1967년 서울대학교 전기공학과
 (공학사)
 1973년 Univ. of South Florida
 전자공학과 (공학석사)
 1979년 Univ. of South Florida
 전자공학과 (공학박사)
 1990년 한국전자과학회 초대회장
 1993년~1997년 한국 아마추어 무선연맹 이사장
 1988년~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수
 <주관심분야 : EMC, MW 부품, Antenna,
 CISPR, ITU-R>



김 정 훈(학생회원)-교신저자
 1999년 한양대학교 전자공학과
 (공학사)
 2001년 한양대학교 전자통신전과
 공학과 (공학석사)
 2010년 한양대학교 전자전기 제어
 계측공학과 (공학박사)
 <주관심분야 : EMI/EMC, 전자파 수치해석,
 Antenna, MW 부품>



장 태 현(정회원)
 1996년 한양대학교 전자공학과
 (공학사)
 2002년 아주대학교 정보전자
 공학과 (공학석사)
 2008년~현재 한양대학교 전자전
 기제어계측공학과 박사과정
 <주관심분야 : EMI/EMC, 전자파 수치해석,
 Antenna, MW 부품>