

1.9 GHz 대 소형 역 F 안테나의 설계 및 제작

Design and Manufacture of a Small Inverted F Antenna in 1.9 GHz band

유재욱* · 박병권*** · 한상철**** · 임인성***** · 민경일***** · 오승엽**

Jae-Wook Yu* · Byung-Kwon Park*** · Sang-Chul Han**** · In-Sung Yim***** ·
Kyoung-Il Min***** · Seung-Yeub Oh**

요 약

본 논문에서는 1.9 GHz 대역의 소형 역 F 안테나에 대하여 이론적으로 고찰하고 컴퓨터에 의한 수치 해석적 방법으로 특성을 살펴본 후 근접 감지 시스템에 적합하도록 이를 설계 제작하였다. 근접 감지 시스템에서는 안테나가 차지할 수 있는 공간이 작으므로 $\lambda/4$ 길이의 평판 도체 사이에 유전체를 사용하여 안테나 크기를 줄이고 대역폭을 넓힐 수 있도록 하였다. 유한 접지에 의한 영향을 유전체 부하 효과에 의해 보상하여 전(前)방향 전력을 약 4 dB만큼 증대하였다. 제작된 안테나는 공진주파수 1900.05 MHz, 정재파비(VSWR) 1.02, 대역폭 194 MHz, 그리고 입력 임피던스 $50.45-j0.108 [\Omega]$ 으로 측정되었다.

Abstract

In this paper, A small inverted F Antenna with 1.9 GHz frequency band is studied theoretically, characterized by numerical analysis with computer and fabricated in order to use in the proximity sensor. Because of small space for antenna in proximity sensor, $\lambda/4$ length plate and dielectric material are used to reduce the size of antenna and broaden the bandwidth. Finite ground body's affection is compensated by dielectric top loading effect which strengthen front direction power about 4 dB.

Fabricated antenna is measured and the result is that resonant frequency is 1900.05 MHz, VSWR is 1.02, bandwidth is 194 MHz and input impedance is $50.45-j0.108 [\Omega]$.

I. 서 론

현재 사용 주파수 대역 중에서 UHF 대역은 TV

방송, 휴대 전화기, 호출기, 무선 전화기 등의 여러 분야에서 이용하고 있다. 최근에는 개인 휴대 통신(PCS)이 추진되면서 사용 주파수인 1.9 GHz 대역에 맞는 안테나의 연구가 활발히 진행 중이고 이

- * LG정보통신(LG Information & Communications Ltd.)
- ** 충남대학교 공과대학 전자공학과(Dept. of Electronics Eng., Chungnam Nat'l Univ.)
- *** 대림공전 전자통신과(Dept. of Electronic Communications Eng., Dae Lim College of Technology)
- **** 상지대병설 전문대 전자계산과(Dept. of Computer Eng., Sang Ji Junior College)
- ***** 한국표준과학연구원 부설 천문대(Korea Astronomy Observatory)
- ***** 영동공과대학 전자공학부(Dept. of Electronics Eng., Young Dong Technical College)

· 논문 번호 : 970328-020
· 수정완료일자 : 1997년 6월 16일

동 및 휴대에 적합하도록 소형화, 경량화 하기 위한 관련 기술의 개발이 요구되고 있다.

소형 역 F 안테나는 반파장 길이를 사용해온 기존의 여러 안테나 대신에 파장의 1/4 길이를 기본적으로 사용하므로 크기를 줄일 수 있고 평면형 도체를 사용하여 대역폭을 증가시키기 쉽다. 또한 다른 추가적인 정합 회로없이도 임피던스 정합이 쉬우며 다른 추가적인 정합 회로없이도 임피던스 정합이 쉽다^{[1],[2]}.

소형 역 F 안테나는 수직과 수평편파를 갖기 때문에 교차 편파결합(cross-polarization coupling)이 비교적 큰 도시지역에서 평균수신 전력을 향상시키는 장점이 있다. 또 구조적으로도 튼튼하여 안테나 평판도체의 높이를 높여 대역폭과 이득을 증가시키면서 안테나 전체크기를 줄일 수 있다.

본 논문에서는 위와 같은 특성을 갖는 소형 역 F 안테나에 대하여 이론과 수치 해석적 방법을 통해 안테나 변수들의 변화에 따른 안테나 특성과 안테나에 유전체를 채워 그 유전체에 의한 안테나 특성의 변화 및 유한 접지의 영향 등을 살펴본 후 이를 바탕으로 정확히 1.9 GHz에서 공진하면서, 공간적 제약으로 소형 안테나를 필요로 하는 전파 근접 감지 시스템의 필요조건을 만족하는 안테나를 설계, 제작하였다. 실험을 통해 최적 사양을 결정하여 그 안테나의 정재파비, 대역폭, 임피던스 등의 결과를 측정하고 소형 역 F 안테나가 전파 근접 감지 시스템용으로 적합한 특성을 갖음을 확인하였다.

II. 소형 역 F 안테나

2-1 소형 역 F 안테나의 구조 및 해석^{[3],[4]}

그림 1은 소형 역 F 안테나의 구조이다. h 는 안테나의 높이, L 은 복사 평면판과 접지면 사이 단락판의 폭, S_1 은 단락판과 급전점 사이의 거리, W 는 복사 평면판의 폭, S 는 복사 평면판의 길이이다. t 는 안테나 판의 두께, a 는 급전선의 반지름이고 S_2 는 S 에서 S_1 을 제외한 나머지 길이이다.

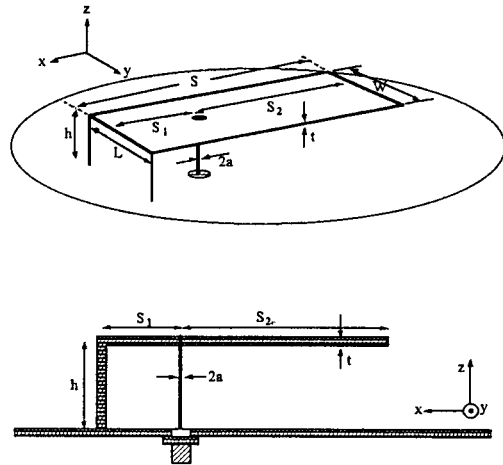


그림 1. 소형 역 F 안테나의 구조

Fig. 1. Structure of small inverted F antenna.

안테나 길이 방향으로 임의의 점에서 동축선으로 급전되는 소형 역 F 안테나의 전송선 모델 표현은 마이크로스트립 패치의 경우처럼 사각형 복사 평면판의 길이 방향 양끝에서 복사하는 radiating edge를 좁은 슬롯으로 모델링 할 수 있다는 것이다.

위 등가 모델은 등가 슬롯 개념과 개방단 효과(open-end effect)에 기초를 둔다. 그림 2에서 복사 평면판은 길이가 S 인 전송선으로 모델링되고 그 양끝에 두 개의 복사 슬롯으로 나타낼 수 있다. 이 두 복사 슬롯은 각각 자기 어드미턴스인 Y_{s1} , Y_{s2} 로 나타낼 수 있다. 복사 평면판의 전기장은 개방된 끝에서 프링징 효과에 의한 전기장이 발생되고 전기적인 길이가 ΔS 만큼 늘어난다. ΔS 는^[5]

$$\Delta S = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W_{eff}}{h} + 0.262 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W_{eff}}{h} + 0.813 \right)} \quad (1)$$

여기서, ϵ_{eff} 는 유전체의 유효 상대 유전율이고 유전체 물질의 순수 상대 유전율 ϵ_r 과의 관계는 식 (4), (5)의 두 번째 식과 같고 W_{eff} 는 두께가 t 인 복사

평면판의 유효 폭으로 식 (2), (3)과 같다. $t < h$ 이고 $t < W/2$ 라는 조건하에

$$\frac{W_{eff}}{h} = \frac{W}{h} + \frac{t}{\pi h} \left(1 + \ln \frac{2h}{t}\right), \text{ when } \frac{W}{h} \geq \frac{1}{2\pi} \quad (2)$$

$$\frac{W_{eff}}{h} = \frac{W}{h} + \frac{t}{\pi h} \left(1 + \ln \frac{4\pi W}{t}\right), \text{ when } \frac{W}{h} \leq \frac{1}{2\pi} \quad (3)$$

이어야 한다.

복사 평면판의 옆면에서도(폭 W) 전기적인 길이가 다소 늘어나지만 이것은 일종의 보상 효과에 의해 상쇄되어 복사에 영향을 크게 미치지 않으므로 기본 동작 모드의 경우 두 개의 주 슬롯에 의한 복사만을 생각할 수 있어서 폭 W 는 단지 두께 t 만을 고려한 유효 폭 W_{eff} 로 나타낼 수 있다.

소형 역 F 안테나의 일반적 등가 회로인 그림 2에서 Y_o 는 전송 선로의 특성 어드미턴스이고 그 값은 아래 식에서 구할 수 있다.

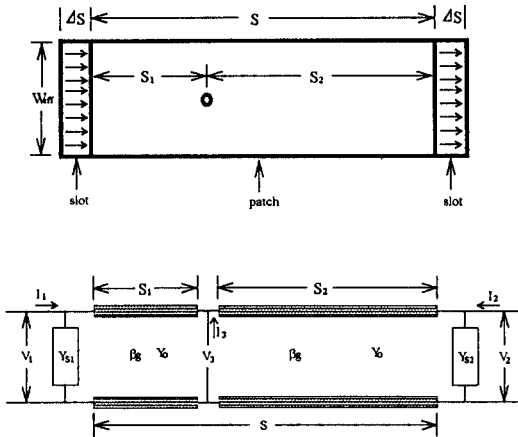


그림 2. 소형 역 F 안테나의 전송선 등가 모델
Fig. 2. Equivalent transmission line model of small inverted F antenna.

$$Z_o = \frac{1}{Y_o} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(8 \frac{h}{W_{eff}} + 0.25 \frac{W_{eff}}{h}\right)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + 12 \frac{h}{W_{eff}}\right)^{-\frac{1}{2}} + 0.04 \left(1 - \frac{W_{eff}}{h}\right)^2 \right], \text{ when } W_{eff} \leq h \quad (4)$$

$$Z_o = \frac{1}{Y_o} = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \left[\frac{W_{eff}}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_{eff}}{h} + 1.444\right) \right]^{-1}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W_{eff}}\right)^{-\frac{1}{2}}, \text{ when } W_{eff} \geq h. \quad (5)$$

안테나의 손실이 없다고 가정하면 위상 상수 β_g 는

$$\beta_g = k_o \sqrt{\epsilon_{eff}} \quad (6)$$

여기서, k_o 는 공기중의 전파 상수로 $2\pi/\lambda_o$ 이고 λ_o 는 c/f 로 공기중의 파장이다.

안테나 길이 방향의 임의점에서 급전하는 소형 역 F 안테나의 등가 회로는 3-포트를 갖는 전송선으로 나타낼 수 있으므로 이 3-포트 전송선 모델의 어드미턴스 행렬은

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_{s1} - jY_o \cot(\beta_g S_1) & 0 \\ 0 & Y_{s2} - jY_o \cot(\beta_g S_2) \\ jY_o \csc(\beta_g S_1) & jY_o \csc(\beta_g S_2) \end{bmatrix} \quad (7)$$

소형 역 F 안테나의 경우, 등가 회로 그림 2에서 포트 1은 단락판에 의해 단락되어 있어서 $V_1 = 0, I_1 \neq 0$ 이고 포트 2는 개방되어 있어서 $V_2 \neq 0, I_2 = 0$ 과 같다. 포트 3은 급전점이 되고 전류 행렬은

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2=0 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{s1} - jY_o \cot(\beta_g S_1) & 0 \\ 0 & Y_{s2} - jY_o \cot(\beta_g S_2) \\ jY_o \csc(\beta_g S_1) & jY_o \csc(\beta_g S_2) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} jY_o \csc(\beta_g S_1) \\ jY_o \csc(\beta_g S_2) \\ -jY_o [\cot(\beta_g S_1) + \cot(\beta_g S_2)] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1=0 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad (8)$$

위의 행렬식을 전개하여 풀어보면 소형 역 F 안테나의 입력 어드미턴스 Y_{in} 을 구할 수 있어서

$$Y_{in} = \frac{I_3}{V_3} = \frac{Y_o^2 \cos^2(\beta_g S_2)}{[Y_{s2} - jY_o \cot(\beta_g S_2)] - jY_o [\cot(\beta_g S_1) + \cot(\beta_g S_2)]} \quad (9)$$

이 된다. 여기서, Y_o 는 특성 어드미턴스로 식 (4), (5)에 주어지고 있고 β_g 는 위상 상수로 식 (6)에 주어지고 있다. Y_{s2} 는 포트 2의 자기 어드미턴스로 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_{s2} = G_r + jB \quad (10)$$

위의 식에서 Y_{s2} 는 서셉턴스 성분인 B 와 컨덕턴스 성분인 G_r 로 나눌 수 있다. B 를 구하기 위한 등가적인 개방단의 커패시턴스 C 는 다음과 같다.

$$C = \frac{\Delta S}{v_p Z_o} \quad (11)$$

여기서, v_p 는 위상 속도이고 서셉턴스 B 는

$$B = \omega C = \frac{k_o \sqrt{\epsilon_{eff}} \Delta S}{Z_o} \quad (12)$$

이고 컨덕턴스 G_r 은 다음 식 (13)과 같다.

$$G_r \approx \begin{cases} \frac{W_{eff}^2}{90\lambda_o^2} & \text{when, } W_{eff} < 0.35\lambda_o \\ \frac{W_{eff}}{120\lambda_o} - \frac{1}{60\pi^2} & \text{when, } 0.35\lambda_o \leq W_{eff} \leq 2\lambda_o \\ \frac{W_{eff}}{120\lambda_o} & \text{when, } 2\lambda_o < W_{eff} \end{cases} \quad (13)$$

여기서, W_{eff} 는 식 (2), (3)에 주어지고 있다.

위에서 구한 포트 2의 자기 어드미턴스 Y_{s2} 의 식을 식 (9)의 Y_{in} 에 대입하면 소형 역 F 안테나의 입력 어드미턴스를 구할 수 있다. 그런데 소형 역 F 안테나의 경우 동축선에 의해 접지판의 뒷면으로부터 복사 평면판으로 급전되는 경우이므로 급전선의 영향에 의해 입력 어드미턴스는 다음과 같이 나타내진다^[1].

$$\frac{1}{Y_{in}} = \frac{1}{Y_{in}} + j \frac{60k_0 h}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\ln \frac{2h}{a} - 1 + \frac{a}{h} \right)$$

여기서 a 는 급전선의 반지름이고 공진조건은 Y_{in} 의 허수부가 0일 때 즉

표 1. 식 (14)에 의한 이론과 프로그램의 공진주파수 비교

Table 1. Comparison of resonant frequency by eq.(14) and programs.

S_1 [mm]	S_2 [mm]	h [mm]	W [mm]	a [mm]	공진주파수 [MHz]		
					식(14)에 의한 이론	WIPL에 의한 (이론과의 편차)	ENSEMBLE에 의한 (이론과의 편차)
9	29	10	8	0.5	1930	1936 (+ 6)	1942 (+12)
10	28	10	8	0.5	1964	1968 (+ 4)	1977 (+13)
10	29	11	8	0.5	1887	1899 (+12)	1907 (+20)
10	29	10	9	0.5	1901	1903 (+ 2)	1910 (+ 9)
10	29	10	8	0.4	1905	1907 (+ 2)	1918 (+13)

$$\text{Im}\{Y_{in}\} = 0 \quad (14)$$

에서 찾을 수 있다.

2-2 해석 결과

표 1은 두께가 매우 작은 도체를 사용했을 때 소형 역 F 안테나 각 부분의 길이 변화에 따른 공진주파수의 변화를 평면형 안테나 상용 컴퓨터 프로그램인 WIPL^[6]과 ENSEMBLE^[7]의 결과와 비교를 나타낸다. 공진주파수의 차이가 비교적 매우 작음을 확인해 볼 수 있는데 ENSEMBLE의 경우는 단락판 표현이 제한되어서 몇 개의 단락판으로 표현되어 비교적 편차가 더 큰 것으로 나타났다.

그림 3에서 그림 6까지는 $S_1=10$ mm, $S_2=29$ mm, $h=10$ mm, $W=8$ mm, $a=0.5$ mm를 기준 모델로 설계하여 S_1 , S_2 , h , W , a 의 미세조정에 따른 어드미턴스 변화를 나타낸다. 그림 3은 S_1 의 길이에 따른 어드미턴스 변화를 1.9 GHz 주파수를 중심으로 살펴본 그림인데 실선은 어드미턴스의 실수부인 컨덕턴스 값이고 점선은 어드미턴스의 허수부인 서셉턴스의 값이다. S_1 의 길이가 8 mm에서 12 mm까지 길어질수록 단위길이당 공진주파수의 변화량은 줄어드는 것을 알 수 있고 평균적으로 약 15.5

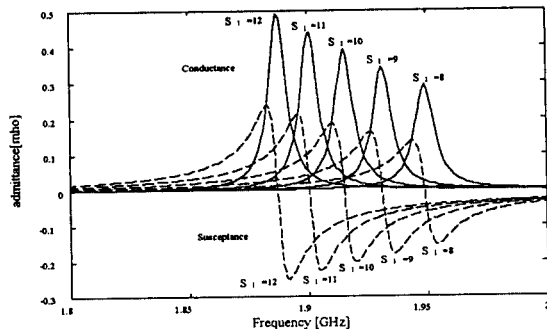


그림 3. S_1 길이에 따른 주파수별 어드미턴스
Fig. 3. Admittance versus frequency for length S_1 .

MHz/mm 변함을 확인할 수 있다. S_1 의 길이가 길어질수록 공진점 근처에서 어드미턴스 값이 증가한다. 이러한 S_1 의 길이는 보통 임피던스 정합에 영향을 많이 끼치므로^[8] 후에 임피던스 정합을 위해 알맞은 길이를 선택해야 한다.

그림 4는 S_2 의 길이에 따른 어드미턴스 변화를 나타내는 그림이다. 단위길이에 따른 공진주파수의 변화량이 가장 크고 어드미턴스 값의 변화가 거의 없어 안테나 특성을 변화시키지 않고 공진주파수 결정에 가장 중요한 역할을 한다는 것을 확인할 수 있다. 49 MHz/mm의 변화량으로 공진주파수에 가장 민감하다는 사실을 알 수 있다.

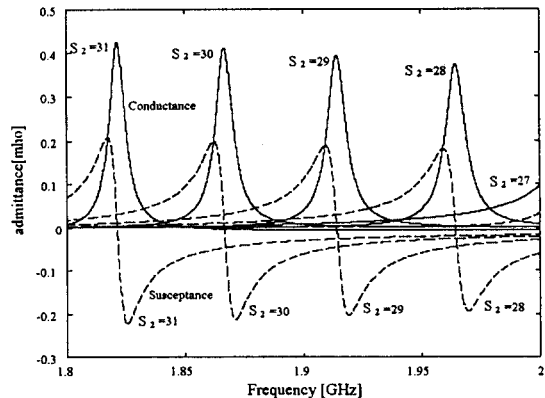


그림 4. S_2 길이에 따른 주파수별 어드미턴스
Fig. 4. Admittance versus frequency for length S_2 .

그림 5와 그림 6은 높이 h 와 폭 W 의 변화에 따른 어드미턴스 변화를 보여준다. 높이 h 에 따른 변화는 평균 28.4 MHz/mm로 S_1 과 S_2 에 따른 경우의 중간 정도 변화량을 갖고 폭 W 에 따른 변화는 평균 13.75 MHz/mm로 길이에 따른 공진주파수의 변화량이 여러 변수 가운데 가장 적다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 유전체가 있을 때 유전율에 따른 공진주파수의 변화를 알아보기 위해 $S_1=6$ mm, $S_2=22$ mm, $h=8$ mm, $W=8$ mm, $a=0.5$ mm인 경우에

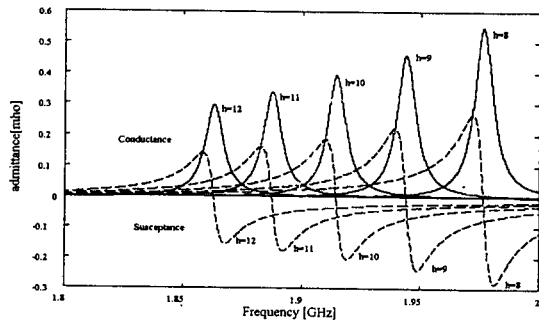


그림 5. 높이에 따른 주파수별 어드미턴스
Fig. 5. Admittance versus frequency for height.

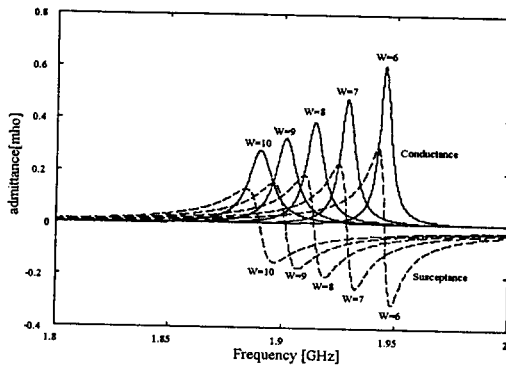


그림 6. 폭에 따른 주파수별 어드미턴스
Fig. 6. Admittance versus frequency for width.

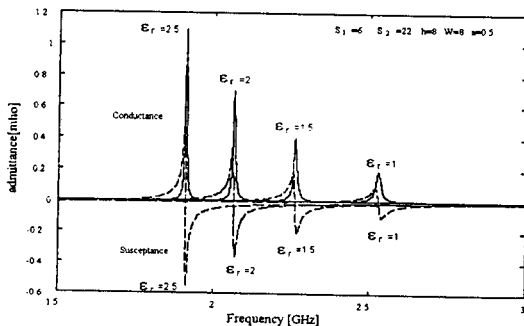


그림 7. 유전율에 따른 주파수별 어드미턴스
Fig. 7. Admittance versus frequency for permittivity.

공기중에서 2.5 GHz 근처 주파수에서 공진할 때 유전율에 따른 변화를 살펴보았다. 보통의 경우는 유전율이 증가하면 공진주파수와 대역폭과 이득은 감소한다^{[8],[9]}. 같은 크기의 안테나에 순수 상대 유전율 ϵ_r 이 2정도인 유전체가 사용된다면 공진주파수가 약 500 MHz 정도 감소함을 살펴볼 수 있다.

그림 8은 소형 역 F 안테나의 복사 평면판에 흐르는 전류밀도의 y방향(안테나 폭방향) 성분의 크기를 나타내는데 구동점 근처에서 단락판 쪽으로 전류가 가장 큰 곳이 길이방향에 대칭으로 나타난다. 그림 9는 복사 평면판에 흐르는 전류밀도의 x방향(안테나의 길이방향) 성분의 크기를 나타내는데 구동점 근처에서 가장 크고 그림 8의 y방향 성분의 크기에 비해 크므로 전류의 방향은 주로 안테나의 길이방향으로 흐르고 있다는 것을 알 수 있고 이러한 사실은 단락판에서부터 올라온 전류가 구동점을 지나서 가장 크기가 커진 다음 복사 평면판의 끝으로 흘러 변위전류 형태로 바뀐다는 것을 알 수 있다.

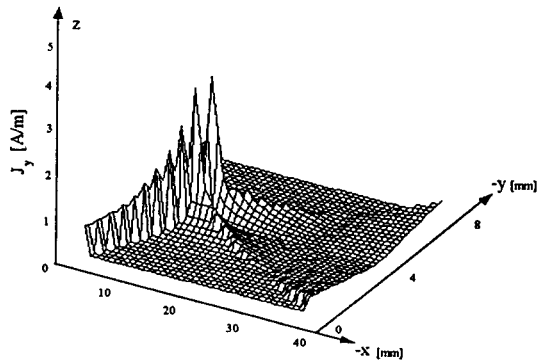


그림 8. 안테나의 복사 평면판에서 y방향 전류밀도 크기
Fig. 8. Amplitude of y-directional current density in antenna radiation plate.

Ⅲ. 근접 감지 시스템용 소형 역 F 안테나의 제작

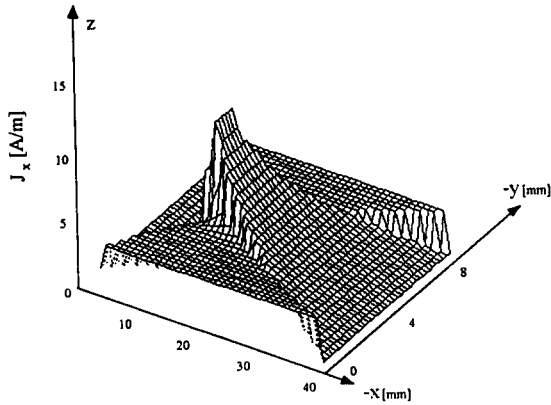


그림 9. 안테나의 복사 평면판에서 x방향 전류밀도 크기

Fig. 9. Amplitude of x-directional current density in antenna radiation plate.

앞의 이론적 고찰에서 본 바와 같은 소형 역 F 안테나의 기본적인 특성을 바탕으로 소형 역 F 안테나를 전파 근접 감지 시스템용으로 알맞게 제작, 실험해 보았다. 실제 실험에서는 근접 감지 시스템은 안테나를 덮는 덮개가 있고 시스템과 안테나를 충격으로부터 보호하고 변형을 방지하기 위해 덮개 내부에 유전체(발포 우레탄 : 유전율 1.94)를 채운다. 또한, 약 80 cm 길이와 15 cm 지름을 갖는 도체가 근접 감지 시스템의 뒷부분에 부착하여 안테나의 유한 접지 역할을 하게 하였다. 이러한 덮개, 유전체와 몸체가 앞의 이론적인 안테나와는 또다른 변수로 작용하게 되는데 이런 모든 면을 고려하여 근접 감지 시스템용으로 소형 역 F 안테나를 사용하기 위해 시스템의 요구 조건에 맞는 안테나의 최적 사양을 반복실험을 통해 알아보았다. 안테나는 근접 감지 시스템의 사용 주파수인 1.9 GHz에서 공진하면서 덮개 내부공간에 변형없이 장착될 수 있어야 한다. 송신과 수신 효율을 좋게 하기 위해 시스템과 임피던스 정합이 잘 이루어져야 하고 시스템의 요구 대역폭 이상의 충분한 대역폭을 가져야 한다. 또한 복사 패턴은 몸체에 의한 영향을 최소화

시켜야 전(前)방향을 강화해야 할 필요가 있다.

근접 감지 시스템용으로 설계하여 제작한 소형 역 F 안테나의 정재파비, 대역폭, 임피던스를 회로망 분석기로 측정하여 그 측정 결과를 고찰해 보았고 유전체를 채워서 얻어진 전(前)방향성을 살펴 보았다.

3-1 공기중의 소형 역 F 안테나

소형 역 F 안테나의 일반적인 특성을 살펴보기 위해 두께가 0.45 mm, 지름 48 mm인 원형동판을 유한 접지면으로 하여 그 위에 그림 1에서와 같은 안테나를 $t=0.4$ mm인 동판으로 제작하였다. 급전되는 부분의 커넥터는 3.5 mm SMA Flange Mount형을 사용하였다.

유전체에 의한 공진주파수 감소를 고려하여 1.9 GHz 주파수보다 높은 주파수 대역에서 살펴본 안테나의 특성은 h, S, W 가 증가하면 공진주파수는 감소하고 L 이 감소하면 공진주파수는 감소하였다. 그 중에서 S_2 의 길이가 공진주파수에 가장 민감하였고 S_1 의 길이는 정재파비에 민감하므로 S_1 길이는 안테나 임피던스 정합에 중요한 역할을 함을 알 수 있었다. $L=W$ 일 때가 정재파비가 제일 낮고 대역폭도 가장 넓었다.

반복실험 결과 W 의 길이가 8 mm일 때에 정재파비와 대역폭을 고려한다면 가장 좋은 결과가 나와 안테나의 변수 중에 $W=8$ mm, $t=0.4$ mm, $a=0.6$ mm로 고정시키고 그 밖의 변수의 변화에 따른 공진주파수, 정재파비, 대역폭의 변화를 측정한 결과가 그림 10에서 그림 11까지와 같다.

그림 10의 (a)(b)(c)는 $h+S$ 의 길이가 일정한 경우인데 그 중 그림 10(a)는 높이 h 와 S_1 길이 변화에 따른 공진주파수의 변화를 나타낸다. 보통은 h 와 S 의 길이가 일정하면 공진주파수의 변화가 없을 것 같다는 생각과는 다르게 S_1 의 길이가 증가함에 따라 공진주파수도 증가함을 보여준다. 보통 안테나 길이의 증가는 공진주파수를 감소시킨다는 것

을 고려한다면 S_1 의 길이는 h 나 S_2 의 길이에 비하면 공진주파수와는 관련성이 비교적 적음을 확인해 볼 수가 있다.

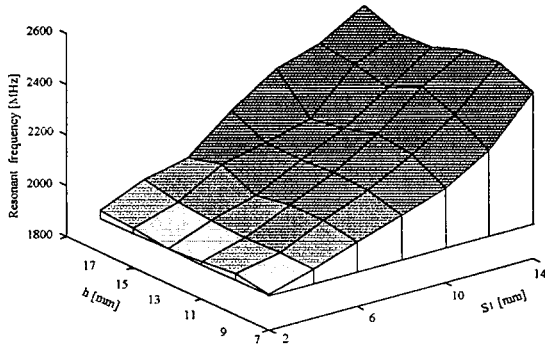


그림 10(a). 공기중에서 h 와 S_1 의 변화에 따른 공진주파수

Fig. 10(a). Resonant frequency for h and S_1 variation in air.

그림 10(b)는 높이 h 와 S_1 의 길이 변화에 따른 정재파비의 변화를 나타내는데 높이 h 나 S_1 의 길이가 정해진다면 정재파비가 가장 좋은 경우를 찾을 수 있다는 것을 알 수 있다.

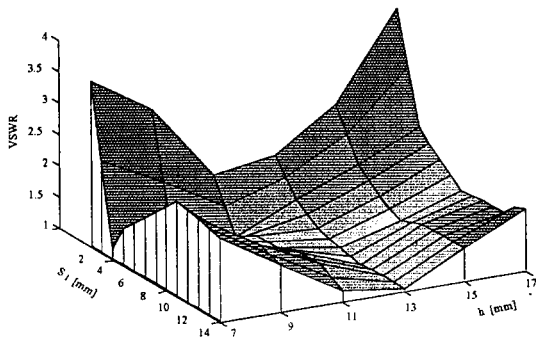


그림 10(b). 공기중에서 h 와 S_1 의 변화에 따른 정재파비

Fig. 10(b). VSWR for h and S_1 variation in air.

그림 10(c)는 높이 h 와 S_1 의 길이 변화에 따른 대역폭의 변화를 나타낸다. 높이 h 와 S_1 길이에 따라

대역폭이 가장 좋은 경우를 찾을 수 있다는 것을 알 수 있다.

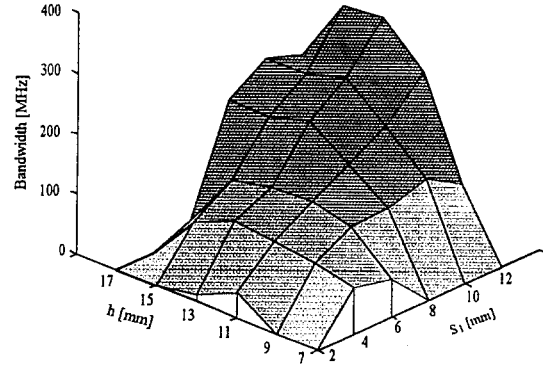


그림 10(c). 공기중에서 h 와 S_1 의 변화에 따른 대역폭

Fig. 10(c). Bandwidth for h and S_1 variation in air.

그림 11의 (a)(b)(c)는 S_1 의 길이가 일정한 경우인데 그림 11(a)는 높이 h 와 S_2 의 길이에 따른 공진주파수의 변화를 나타낸다. h 나 S_2 의 길이 증가

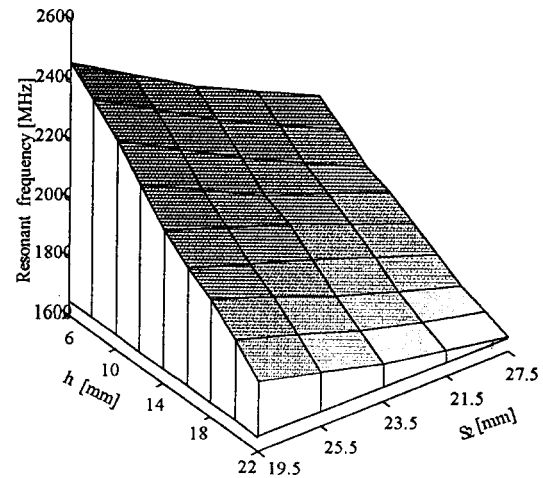


그림 11(a). 공기중에서 h 와 S_2 의 변화에 따른 공진주파수

Fig. 11(a). Resonant frequency for h and S_2 variation in air.

는 모두 공진주파수의 감소를 의미하며 변화가 거의 선형적임을 알 수 있다.

그림 11의 (b)와 (c)는 높이 h 와 S_2 의 길이에 따른 정재파비와 대역폭의 변화를 각각 나타내는데 정재파비와 대역폭이 가장 좋을 때의 h 와 S_2 의 길이를 알 수 있다.

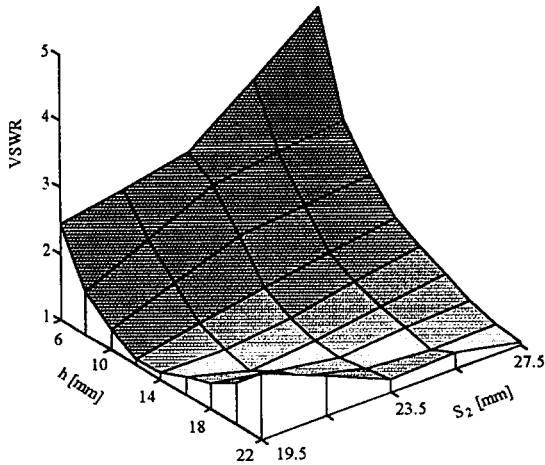


그림 11(b). 공기중에서 h 와 S_2 의 변화에 따른 정재파비

Fig. 11(b). VSWR for h and S_2 variation in air.

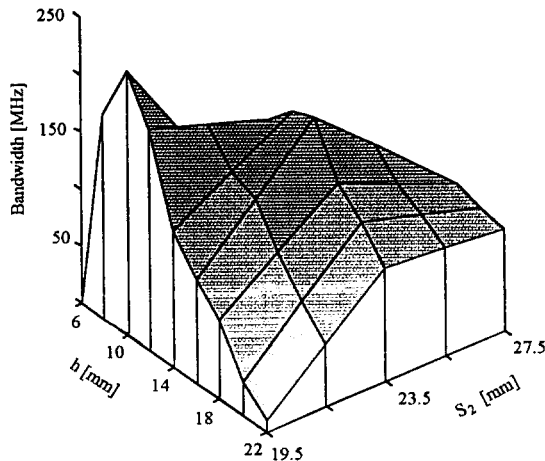


그림 11(c). 공기중에서 h 와 S_2 의 변화에 따른 대역폭
Fig. 11(c). Bandwidth for h and S_2 variation in air.

3-2 유전체를 넣은 소형 역 F 안테나

소형 역 F 안테나와 같은 평면형 안테나는 3가지의 주요 손실을 갖는데 공간으로 복사되는 것과 안테나 도체판에 흐르는 도선 전류의 저항손실과 유전체를 통하는 변위전류의 유전체 손실이다^[10]. 도체판에 흐르는 도선 전류의 저항손실은 비교적 도전율이 좋은 구리판을 사용하여 매우 적다고 할 때 변위전류의 유전체 손실을 최소화하고 공간으로 복사되는 양을 최대로 할 때 안테나는 좋은 특성을 갖게 될 것이다.

전파 근접 감지 시스템용으로 만든 소형 역 F 안테나는 안테나의 복사 평면판의 위와 아래에 모두 유전체 물질로 채워진다. 기존의 연구들은 도체판의 위에 유전체를 채우면 부하효과에 의한 이득 증가 특성을 보여주었다^[11]. 이와 같은 특성에 의해 유전체를 넣은 소형 역 F 안테나의 전(前)방향성을 강화할 수 있다.

근접 감지 시스템의 안테나가 차지할 수 있는 공간은 한정되어 있어서 안테나 크기에 제한을 받는데 이러한 문제는 유전체를 사용하고 비교적 공간이 여유로운 방향인 높이를 증가시키는 방법으로 해결할 수 있다. 높이가 높아지면 이득과 대역폭이 좋아지는 장점이 있지만 표면 전류(surface current)가 생기는 단점이 있다. 그러나 유전율이 낮은 유전체를 쓰면 표면 전류를 억제하고 복사를 강화할 수 있다^{[5],[8]}.

유전체 물질을 사용하면 공진주파수를 약 $1/\sqrt{\epsilon_{eff}}$ 배 감소시키므로 주어진 동작주파수에서 안테나 소자의 크기를 상대적으로 줄여 준다. 근접 감지 시스템용 안테나의 제작은 비교적 적은 유전율(약 $\epsilon_r = 1.94$)을 갖는 발포 우레탄을 사용하여 구조적으로 튼튼하나 안테나 크기는 작게 되도록 하였다. 그림 7에서도 이를 확인해 볼 수 있다.

소형 역 F 안테나에 유전체를 넣었을 때의 변화를 살펴보기 위해 제작한 안테나에 유전체를 내부에 채우고 $W=7$ mm, $h=12$ mm, $S_1=5$ mm,

$S_2=15$ mm를 기준치수로 하여 각각의 변수 하나씩만을 변화시켜 실험한 결과는 공진주파수가 약 500 MHz 정도 감소된 가운데 공기중에서와 비슷한 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

실제 근접 감지 시스템 내부에는 유전체 가루를 넣지 않고 유전체(우레탄)를 발포하여 포팅한다. 이 경우 유전체가 부풀어 오르므로 유전율이 유전체 가루의 경우보다 약간 낮아지면서 포팅이 된다. 따라서 포팅에 의한 영향을 살펴보기 위해 만든 $W=8$ mm, $h=12$ mm, $S_1=6$ mm, $S_2=15$ mm, $t=0.4$ mm, $a=0.6$ mm로 같은 크기를 가지는 여러 안테나를 제작하여 포팅한 후 실험한 결과를 살펴보면 표 2와 같다.

공기중일 때와 비교하면 포팅한 경우는 공진주파수가 약 400 MHz 감소하고 정재파비는 약 0.6 정도 낮아지며 대역폭은 100 MHz 이상 넓어진다. 유전체 가루일 때와 비교하면 공진주파수는 180 MHz 증가하고 정재파비와 대역폭은 비슷하다.

3-3 안테나의 측정 및 분석

표 2. 유전체의 영향

Table 2. Effect of dielectric materials.

유전체 종류	공진주파수 [MHz]	정재파비 (VSWR)	대역폭 (정재파비=2기준) [MHz]	유효 유전율 (ϵ_{eff})
공기	2490	1.63	82	1
유전체 가루	1915	1.04	191	1.691
유전체 포팅	2095	1.02	189	1.413

표 3. 근접 감지 시스템용 소형 역 F 안테나의 최적 크기와 실험 결과 측정

Table 3. Optimum size and experimental measurements of small inverted F antenna for proximity sensor.

안테나의 크기 (단위는 mm)						실험 결과			
폭 (W)	높이 (h)	S_1 길이	S_2 길이	두께 (t)	도선 반경 (a)	공진 주파수 [MHz]	정재파비 (VSWR)	대역폭 (VSWR=2기준) [MHz]	입력 임피던스 [Ω]
8	9	6	20.5	0.4	0.5	1900.05	1.02	194(10.2%)	50.45-j0.108

반복 실험 결과 1.9 GHz에 공진하는 전파 근접 감지 시스템용 소형 역 F 안테나의 최적 크기와 그 크기로 만든 안테나를 회로망 분석기로 측정된 실험 결과가 아래 표 3과 같다.

그림 12는 최적 크기로 제작된 안테나의 주파수

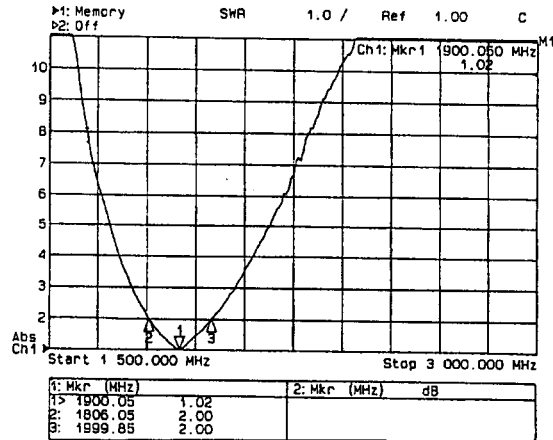


그림 12. 제작된 안테나의 정재파비

Fig. 12. VSWR of a fabricated antenna.

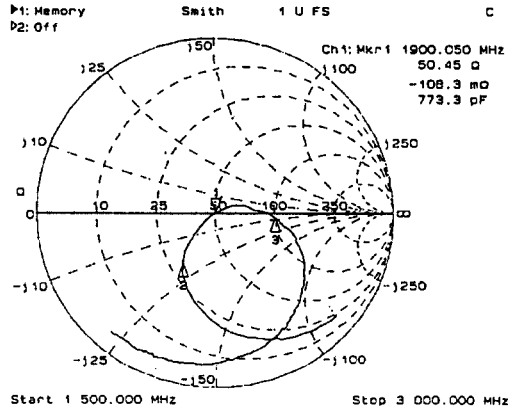


그림 13. 제작된 안테나의 입력 임피던스
Fig. 13. Input impedance of a fabricated antenna.

에 따른 정재파비 특성을 보여주고 그림 13은 Smith 차트상에서 안테나의 주파수에 따른 입력 임피던스의 특성을 보여준다.

측정 결과는 공진주파수가 정확히 1.9 GHz 이고 이때 정재파비는 1.02로 안테나에서 반사가 거의 없음을 확인할 수 있다. 대역폭은 정재파비가 2인 때를 기준으로 194 MHz로 공진주파수의 10.2 %로 측정되었다. 입력 임피던스는 $50.45 - j0.108 [\Omega]$ 으로 $50 [\Omega]$ 전송로와 정합이 잘 될 수 있다는 것을 알 수 있다.

표 4에서 보면 유한 접지를 갖는 경우에 전(前) 방향으로 전력의 감소가 약 12 dB로 확실히 줄고 최대 복사 방향도 몸체 아래쪽으로 향하는 경향을 볼 수 있었는데 이것은 유한 접지의 도체 몸통으로 표면 전류가 흐르게 되어 복사 방향이 몸체 쪽으

표 4. 최대 전력에 대한 전(前)방향 전력의 상대비

Table 4. Relative ratio of front direction power to maximum direction power.

Case	A	B	C
전(前)방향전력 / 최대 전력	-3 dB	-12 dB	-8 dB

- A : 무한 접지면 위의 소형 역 F 안테나 (공기중)
- B : 유한 접지면 위의 소형 역 F 안테나 (공기중)
- C : 유한 접지면 위의 소형 역 F 안테나 (유전체, $\epsilon_r=1.94$)

로 기울어지기 때문이다^[1]. 따라서 이러한 원치 않는 몸체의 영향을 유전체를 채워서 유전체 부하효과 등에 의해 보상해 줄 필요가 있다. C의 경우가 B의 경우보다 유전체 부하효과에 의한 전(前)방향성이 약 4 dB만큼 강화되었음을 확인할 수 있다.

위와 같은 특성을 갖는 소형 역 F 안테나를 전파 근접 감지 시스템에 사용하여 실험한 결과는 전파 근접 감지 시스템에 알맞은 특성을 보여주었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 소형 역 F 안테나를 이론적으로 해석하여 특성을 살펴보고 전파 근접 감지 시스템용 안테나로 사용하기 위해 시스템의 요구 조건을 만족시키도록 설계 및 제작하여 그 특성을 고찰하였다. 소형 역 F 안테나의 특징은 $\lambda/4$ 길이를 사용하므로 같은 공진주파수를 갖는 다른 안테나들에 비하여 크기가 작고 또한 유전체를 사용하여 크기를 더욱더 줄일 수 있다. 1.9 GHz 주파수 근처에서 알아본 특성은 S_1 길이는 임피던스 정합을 위해 알맞게 선택되어야 하고 S_2 길이는 공진주파수 결정에 가장 민감하였다. 높이 h 는 공진주파수 결정에 S_1 과 S_2 의 중간 정도 역할을 해주고 폭 W 의 변화는 비교적 다른 변수에 비해 적은 특성 변화량을 갖는다.

유전체 포팅에 의한 부하효과로 몸체 효과를 보상하여 빔의 전(前)방향성을 강화할 수 있었고 최종적으로 설계된 1.9 GHz 근접 감지 시스템용 소형 역 F 안테나의 크기는 폭 W 가 8 mm, 높이 h 는 9 mm, S_1 길이는 6 mm, S_2 길이는 20.5 mm, 도체

판의 두께 t 는 0.4 mm, 급전선의 반경 a 는 0.5 mm 였다. 측정된 결과는 공진주파수가 1900.05 MHz로 원하는 공진주파수를 갖고 정재파비 1.02로 안테나에서의 반사 전력은 약 0.01 % 정도로 매우 작음을 알 수 있었다. 정재파비 2를 기준으로 대역폭은 194 MHz(10.2 %)로 측정되었다. 입력 임피던스는 $50.45-j0.108 [\Omega]$ 로 시스템의 출력측 50 $[\Omega]$ 선로와 정합이 잘 될 수 있었다.

본 논문에서 연구한 소형 역 F 안테나는 전파 근접 감지 시스템뿐만 아니라 휴대 전화기나 호출기 등의 유한 접지를 갖는 경우 및 소형 안테나가 요구되는 곳에서 응용되어 쓰일 수 있다. 특히 개인 휴대 통신(PCS)의 주파수 대역이 1.9 GHz 근처이므로 PCS용 단말기 등에서도 그대로 쓰일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

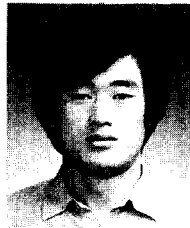
- [1] K. Hirasawa and M. Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antennas*. Norwood, MA : Artech House, 1992.
- [2] K. Fujimoto, A. Henderson, K. Hirasawa, and J. R. James, *Small Antennas. Research Studies*, 1987.
- [3] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, London, Peter Peregrinus, 1989.
- [4] B. Belentepe, "Modeling and Design of Electromagnetically Coupled Microstrip-Patch Antennas and Antenna Arrays," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 37, no. 1, February 1995, pp. 31-39.
- [5] J. F. Zurcher and F. E. Gardiol, *Broadband Patch Antennas*. Norwood, MA : Artech House, 1995.
- [6] B. M. Kolundzija, J. S. Ognjanovic, T. K. Sarkar, and R. F. Harrington, *Electromagnetic Modeling of Composite Wire and Plate Structures : Software and User's Manual*. Artech House, INC, 1995.
- [7] ENSEMBLE 4.0, *Design, Review, and 1D Array Synthesis-User's Guide*. Boulder Microwave Technologies, Inc, February 1996.
- [8] K. Fujimoto and J. R. James, *Mobile Antenna Systems Handbook*. Norwood, MA : Artech House, 1994.
- [9] K. Ogawa and T. Uwano, "A Diversity Antenna for Very Small 800-MHz Band Portable Telephones," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-42, no. 9, Sept. 1994, pp. 1342-1345.
- [10] A. D. Krall, J. M. Mccorkle, J. F. Scarzello, and A. M. Syeles, "The OmniMicrostrip Antenna : A New Small Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-27, no. 6, Nov. 1979, pp. 850-853.
- [11] D. R. Jackson and N. R. Alexopoulos, "Gain Enhancement Methods for Printed Circuit Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-33, no. 9, Sept. 1985, pp. 976-987.

유 재 욱



1995년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1997년 3월 ~ 현재 : LG정보통신 연구원

박 병 권



충남대학교 전자공학과 (학사)
 충남대학교 전자공학과 (석사)
 한국표준과학연구원 전자파연구실
 충남대학교 대학원 박사과정수료
 대림전문대학 전자통신과 교수
 [주 관심분야] 안테나 및 전자파 등

한 상 철



1981년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (학사)
 1984년 2월 : 한양대학교 공업교육학과 (석사)
 1993년 3월 ~ 1996년 2월 : 충남대학교 대학원 박사과정수료

현재 : 상지대학교 병설 전문대 전산학과 교수
 [주 관심분야] 초고주파 회로 및 안테나 등

임 인 성



1979년 2월 : 충남대학교 공과대학 (공학사)
 1986년 2월 : 충남대학교 대학원 (공학석사)
 1996년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료

1986년 12월 ~ 현재 : 한국표준과학연구원 부설 천문대 선임 연구원

민 경 일



1977년 2월 : 울산대학교 전자공학과 (공학사)
 1984년 8월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1995년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1996년 2월 ~ 현재 : 영동공과대학교 조교수
 [주 관심분야] 안테나 및 초고주파 회로

오 승 엽



1971년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (학사)
 1973년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (석사)
 1982년 8월 : 연세대학교 대학원 (공학박사)

1980년 8월 ~ 1981년 8월 : 일본 동북대학 전기통신연구소 객원 연구원
 1985년 5월 ~ 1986년 5월 : 미국 펜실베이니아 주립대학 전기과 객원 연구원
 1975년 10월 ~ 현재 : 충남대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] 초고주파 회로, 안테나 공학 및 위성통신 등