

800 MHz대 스트립 할로 안테나의 설계 및 특성 고찰

The Fabrication of Strip Halo Antenna and the Measurement of Its Characteristics in 800 MHz Band

이성재* · 한상철** · 박병권*** · 김용호* · 오승엽*

Sung-Jae Lee* · Sang-Chul Han** · Byung-Kwon Park*** · Yong-Ho Kim* · Seung-Yeub Oh*

요 약

본 논문에서는 근접 감지 시스템에 사용하기 위한 800 MHz대 스트립 할로 안테나를 유전율이 6.15인 유전체 기판을 사용하여 제작하였다. 유전체기판에서 스트립 할로 안테나를 구성하는 스트립 폭(w)과 간격(s), 그리고 안테나의 유효길이는 이론적인 시뮬레이션과 많은 반복실험을 통해서 최적조건을 찾았다. 그러나 이 안테나를 근접감지기에 설치할 경우, 무한 접지면이 아닌 한정된 원형 접지면 위에 설치한 스트립 할로 안테나로서 임피던스를 측정할 결과 $16.5+j1.1[\Omega]$ 이었다. 이 안테나의 정합 특성을 개선하기 위하여 유전체 기판의 뒷면에 실험에 의해 설계된 정합부를 구현함으로써 스트립 할로 안테나의 정합 특성을 크게 향상시켰다. 정합부를 갖는 스트립 할로 안테나의 임피던스는 $43.79-j0.04[\Omega]$ 으로 측정되었으며, 이 안테나의 복사패턴의 3 dB 빔폭은 약 90° 로 측정되었다.

Abstract

In this paper, Strip Halo Antenna used for the proximity sensor in 800 MHz band was fabricated by using a dielectric board with the relative dielectric constant of 6.15. Dimensions of the strip halo antenna were optimized by the theoretical simulation and many experiments. The impedance of the strip halo antenna mounted on the proximity sensor with the finite circular ground plane was measured as $16.5+j1.1[\Omega]$. The matching characteristic of the strip halo antenna was greatly improved by attaching the matching section designed through experiments to the rear side of dielectric board. The impedance of the strip halo antenna with the matching section was measured as $43.79-j0.04[\Omega]$, and the 3 dB beam width of its radiation pattern was measured about 90° .

I. 서 론

현재 사용 주파수 대역중에서 UHF 대역은 TV

방송, 휴대전화기, 무선전화기 및 근접 감지기의 전파 근접 감지 시스템 등에서 이용하고 있다. 800 MHz대의 주파수 범위를 갖는 휴대전화기의 이용이 매우 빠른 속도로 확산되고 있으며, 최근에는

* 충남대학교 전자공학과

** 상지대 병설 전문대

*** 대림전문대학

· 논문번호 : 96-1-009

· 접수일자 : 1996년 2월 27일

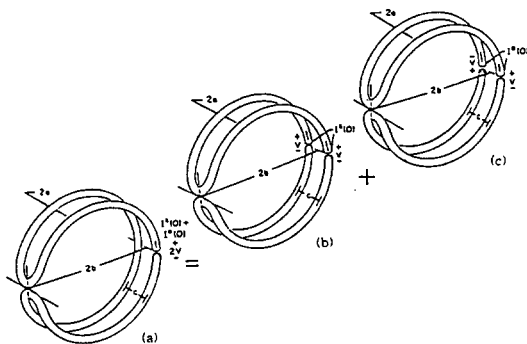
UHF CW/FM 전파 근접 감지 시스템을 개발하여 근접 감지기에 사용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

현재 개발중인 근접 감지기의 경우, 안테나가 차지할 수 있는 공간이 매우 작기 때문에 안테나의 크기가 크게 제한을 받는다. 따라서 안테나의 전체 크기를 줄이기 위한 방법으로는 도선(wire) 대신 유전체 기판을 이용하여 안테나의 유효 길이를 줄이고, 또한 공간을 최대한 활용하여 안테나의 효율을 높이기 위한 관련 기술의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 UHF CW/FM 전파 근접 감지 시스템용 안테나로서 유전율이 6.15, 두께가 31mil 인 유전체 기판으로 스트립 할로 안테나를 설계하여 안테나의 크기를 줄이고, 임피던스 정합을 위해 기판의 뒷면에 정합부를 설계하여 중심주파수가 836 MHz인 스트립 할로 안테나를 설계, 제작하여 그 특성을 측정하고 결과 UHF대역에서 작은 안테나로서 좋은 특성을 갖음을 확인하였다.

II. 도선 할로 안테나

도선 할로 안테나는 두 개의 접은(folded) 다이폴 안테나가 원형의 구조를 갖는 안테나로 [그림 1]의 (a)와 같은 구조를 가지며, 중첩의 원리를 이용해서 [그림 1]의 (b)의 대칭루프와 [그림 1]의 (c)의 반대칭루프의 합으로 표현할 수 있다.



[그림 1] 도선 할로 안테나
[Fig. 1] Wire halo antenna.

2-1. 원형 루프 안테나의 해석

도선 할로 안테나를 해석하기 위해 도선의 반지름이 a 이고 원형 루프의 반지름이 b 인 원형 루프 안테나상의 전류는 식 (1)로 주어진다[2,3].

$$I(\Phi) = -\frac{jV_0}{\xi\pi} \left(\frac{1}{a_0} + 2\sum_1^{\infty} \frac{\cos n\Phi}{a_n} \right) \quad (1)$$

식 (1)에서 V_0 는 구동점($\Phi=0$)에서의 전압, $\xi = \omega\mu/k$ 를 나타내고, a_n 은 식 (2)와 같다.

$$a_n = \left(kb - \frac{n^2}{kb} \right) K_n \quad (2)$$

식 (2)에서 K_n 은 다음과 같이 구해진다.[3]

$$K_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left[\frac{b}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} d\Psi \right] e^{jn(\Phi-\Phi')} d\Phi' \quad (3)$$

식 (3)에서 $\frac{b}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} d\Psi$ 는 커널(kernel)을 나타내며, 적분 구간으로 표시된 $d\Psi$ 는 안테나 도선이 원형의 굽기를 가지므로 이를 고려하기 위해 도선의 단면에서 도선의 원주를 따라 적분하기 위한 미소 적분소이다.

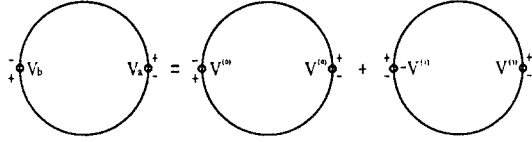
구동점 어드미턴스는 식 (4)와 같이 구해진다.

$$Y = \frac{I(0)}{V_0} = -\frac{j}{\xi\pi} \left(\frac{1}{a_0} + 2\sum_1^{\infty} \frac{1}{a_n} \right) \quad (4)$$

[그림 2]는 $\Phi=0$ 와 $\Phi=\pi$ 에 각각의 제너레이터 V_a 와 V_b 에 의해 구동되는 원형 루프 안테나로 루프의 전류는 식 (5)와 같다.

$$I(\Phi) = I^{(0)}(\Phi) + I^{(1)}(\Phi) = V^{(0)}v^{(0)}(\Phi) + V^{(1)}v^{(1)}(\Phi) \quad (5)$$

식 (5)에서 $V^{(0)} = \frac{1}{2}(V_a + V_b)$, $V^{(1)} = \frac{1}{2}(V_a - V_b)$ 이고, $v^{(0)}(\Phi)$ 와 $v^{(1)}(\Phi)$ 는 $I(\Phi) = V_0 v(\Phi)$ 의 관계로 표시되는 어드미턴스이다.



[그림 2] $\Phi=0$ 에서 V_a , $\Phi=\pi$ 에서 V_b 로 구동되는 루프의 중첩의 원리를 이용한 등가모델
[Fig. 2] Equivalent model of loop by generator V_a at $\Phi=0$ and V_b at $\Phi=\pi$, respectively.

만약 $\Phi=\pi$ 에 부하 Z_L 이 있다면 $V_b = -I(\pi)Z_L$ 이고, 이때 식 (4)는 식 (6)과 같이 된다.

$$Y_{in} = \frac{I(0)}{V_a} = \frac{Y + Z_L Y^{(0)} Y^{(1)}}{1 + Z_L Y} \quad (6)$$

식 (6)에서 $Y^{(0)} = v^{(0)}(0)$, $Y^{(1)} = v^{(1)}(0)$ 이다. $Z_L=0$ 인 경우에 $\Phi=\pi$ 에서와 $\Phi=0$ 에서의 전류비를 식 (7)로 표현하자.

$$K_\pi = \left[\frac{I(\pi)}{I(0)} \right]_{Z_L=0} \quad (7)$$

식 (6)은 식 (8)과 같이 구해진다.

$$Y_{in} = Y \frac{1 + Z_L Y (1 - K_\pi)}{1 + Z_L Y} \quad (8)$$

식 (8)에서 $Z_L = \infty$ 라면 식 (9)와 같이 간단히 표시할 수 있다.

$$Y_{in} = Y(1 - K_\pi^2) \quad (9)$$

2-2. 도선 할로 안테나의 임피던스 및 복사패턴

[그림 1](b)의 대칭루프는 유효반지름 $d = \sqrt{ac}$ 를 갖는 단일 루프로 $Z_L = \infty$ 인 경우로 볼 수 있다. 따라서 대칭 어드미턴스(symmetrical admittance)는 식 (10)과 같이 구해지는데[2] 아래첨자 d 는 유효반지름 $d = \sqrt{ac}$ 인 단일루프를 의미한다.

$$Y^{(s)} = \frac{Y_d^{(0)} Y_d^{(1)}}{2Y_d} = \frac{1}{2} Y_d (1 - K_\pi^2) \quad (10)$$

[그림 1] (c)의 반대칭 어드미턴스는 식 (11)과 같이 구해진다.[1]

$$Y^{(a)} = -\frac{j}{Z_c} \cot \pi kb \quad (11)$$

식 (11)에서 $Z_c = \frac{\xi}{\pi} \ln \frac{c}{a}$ 이다.

따라서, [그림 1] (a)에서 도선 할로 안테나의 어드미턴스는 식 (12)와 같이 대칭 어드미턴스와 반대칭 어드미턴스의 합으로 표시된다.

$$\begin{aligned} Y_H &= \frac{I_1^{(0)}}{V_{10}} = \frac{I^{(s)}(0) + I^{(a)}(0)}{2V} \\ &= \frac{1}{2} [Y^{(s)} + Y^{(a)}] = \frac{1}{4} Y_d (1 - K_\pi^2) \\ &\quad - \frac{j}{2Z_c} \cot \pi kb \end{aligned} \quad (12)$$

만약 $2\pi b = \frac{\lambda}{2}$ 라면, 식 (12)는 식 (13)과 같이 간소화된다.

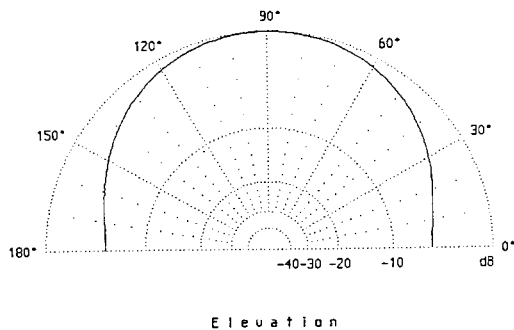
$$Y_H = \frac{1}{4} Y_d (1 - K_\pi^2) = \frac{1}{Z_H} \quad (13)$$

앞으로 설계하고자 하는 스트립 할로 안테나는 836 MHz에서 $2\pi b = \lambda/2$ 일 때이므로 식 (13)으로 부터 도선의 반경 a 가 0.5, 1 mm일 때 두 도선 중심사이의 거리 c 가 각각 5, 7, 9 mm인 경우에 대해 주파수에 따른 임피던스를 계산하였다. 그 결과 a 와 c 가 증가함에 따라 저항과 리액턴스가 더 커지고, 주파수가 증가할수록 그 차이도 점점 더 커짐을 알 수 있다.

다음, 도선 안테나를 해석할 수 있는 시뮬레이션 프로그램인 NEC-2[4]를 이용해 도선 할로 안테나의 임피던스와 복사패턴을 계산한 결과 임피던스는 주파수에 따른 임피던스 변화가 수식에 의해 계산된 것과 비슷한 경향을 보였다. 복사패턴은 a, c 가 커질수록 3 dB 빔폭이 작아져서 전(前)방향으로의 지향성이 더 좋아짐을 알 수 있었다. 따라서 <표 1>

<표 1> 중심주파수 836 MHz에서 도선 할로 안테나의 임피던스

c	식 (13)에 의해		NEC-2에 의해	
	$a=0.5\text{mm}$	$a=1\text{mm}$	$a=0.5\text{mm}$	$a=1\text{mm}$
5mm	29.7+j173	32.1+j193	25.0+j178	25.6+j199
7mm	30.6+j196	33.8+j218	25.6+j200	26.6+j223
9mm	31.6+j220	35.7+j245	26.2+j220	27.6+j245



[그림 3] 무한 접지면 위의 도선 할로 안테나의 복사 패턴

[Fig. 3] Radiation pattern of wire halo antenna over infinite ground plane.

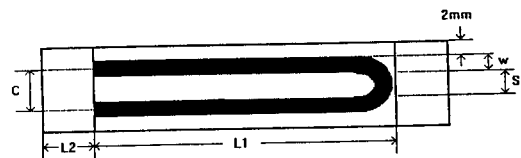
에 중심주파수 836 MHz에서 수식과 NEC-2에 의한 임피던스를 나타내었다. [그림 3]은 무한 접지면 위에 $a=1\text{mm}, c=9\text{mm}$ 인 경우에 대한 복사패턴으로 무한 접지면은 image plane 역할을 한다.

III. 스트립 할로 안테나의 제작 및 실험 결과

3-1. 스트립 할로 안테나의 설계 및 제작

원형 도선 할로 안테나의 경우가 근접 감지기 등에 사용될 경우 주어진 내부공간에 안테나를 구현 시키기가 어려운 경우가 발생할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 안테나 전체의 유효길이를 유전체의 유전율을 이용하여 변화시킬 수 있게 유전체 기판을 이용하였다. 유전체 기판 위에 스트립으로 안테나를 제작할 경우에 반경이 a 인 도선을 동판 높이 t 가 거의 영(zero)이라고 가정할 때 폭 $w=4a$ 가 되게 유전체 기판의 도체로 등가화시킬 수 있다.[5,6] 이와같이 도선 대신 유전체 기판으로 안테나를 제작할 경우에 유효 유전율이 커져서 안테나의 유효 길이를 줄이는 효과를 얻을 수 있고, 안테나의 제작이 용이하고, 또한 정합부를 설계하여 임피던스 정합에 도움을 줄 수 있는 장점이 있다.

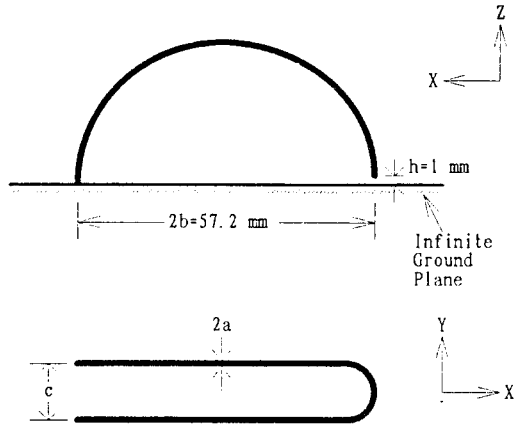
유전율이 6.15이고, 기판의 두께가 31 mil인 유전체 기판에 설계한 스트립 할로 안테나를 [그림 4]에 나타내었다. [그림 4]에서 L_1 은 동작주파수 836MHz에서 $\lambda/4$ 의 유효길이이고, L_2 는 접지면에서 $\Phi=0$ (급전부분)과 $\Phi=\pi$ 사이의 거리의 1/2로 근접 감지 시스템으로부터 급전되는 위치를 맞추기



[그림 4] 유전체기판 위에 설계한 스트립 할로 안테나의 설계도

[Fig. 4] A designed strip halo antenna on dielectric board.

위해 15mm로 고정시켰다. 또한 w 와 s 는 스트립 폭과 간격이다. [그림 5]는 설계된 안테나 소자를 직경 47mm인 유한 접지면($2\pi b/\lambda=0.4$) 위에 제작할 경우의 모습으로 안테나가 반(half)타원의 모양을 갖는다.



[그림 5] 유한 접지면($2\pi b/\lambda=0.4$) 위의 스트립 할로 안테나

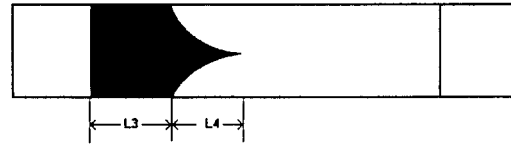
[Fig. 5] Strip halo antenna over finite ground plane ($2\pi b/\lambda=0.4$).

$L1=73$ mm, $w=4$ mm, $s=3$ mm로 설계하여 제작된 안테나의 임피던스를 측정한 결과 중심주파수 836 MHz에서 $16.5+j1.1[\Omega]$ 이었고, 무한 접지면 위의 도선 할로 안테나의 임피던스의 계산 결과는 중심주파수 836 MHz에서 $33.8+j218[\Omega]$ 이었다. 이러한 차는 저항 성분의 경우에 접지면이 무한에서 유한($2\pi b/\lambda=0.4$)으로 바뀌었고, 안테나의 모양이 원형에서 타원형으로 바뀌어 안테나의 면적이 감소되었기 때문이고, 리액턴스 성분의 경우에는 유한 접지면에 의한 커패시턴스 성분이 크게 증가하였기 때문인 것으로 생각된다.

위에서 제작된 유한 접지면 위의 스트립 할로 안테나는 $50[\Omega]$ 급전선과의 부정합에 의해 송수신된 신호 전력이 시스템과 안테나가 완전하게 정합되었을 경우의 약 56%밖에 되지 않는다. 이러한 안테나의 부정합을 줄이기 위해서 여러 방법들을 실험하

여 본 결과, [그림 6]과 같이 유전체 기판의 뒷면에 정합부를 설계하였을 때 가장 좋은 효과를 얻었다.

정합부가 있고, $w=4$ mm, $s=3$ mm, $L1=73$ mm 일 경우, 스트립 할로 안테나의 임피던스는 중심주파수 836 MHz에서 $41.51-j7.8[\Omega]$ 으로 측정되었다. 따라서 이러한 정합부를 구현함으로써 안테나의 정합특성이 크게 개선됨을 확인할 수 있었다.



[그림 6] 유전체 기판 뒷면의 정합부

[Fig. 6] Matching section in the rear side of dielectric board.

3-2. 근접 감지기용 스트립 할로 안테나의 제작

근접 감지기에는 안테나를 덮는 덮개, 안테나와 시스템을 보호하기 위한 유전율이 1.94인 발포우레탄, 그리고 근접 감지기 뒤에 부착되는 몸체가 유효 유전율을 변화시키기 때문에 근접감지기에 사용할 안테나를 제작하기 위해서는 $L1$, w , s 도 그에 따라 영향을 받으므로 이것을 반복실험을 통해 살펴보았다. 먼저 유전체 기판, 덮개, 발포우레탄, 몸체에 의

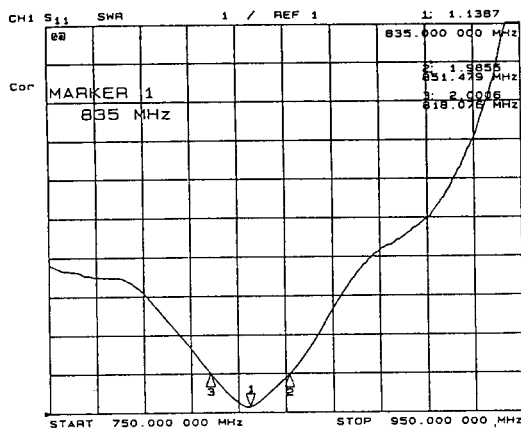
<표 2> 안테나의 공진 길이 변화

case	$L1=\lambda_{\text{eff}}/4$ (mm)
A	89.9
B	73.1
C	69.7
D	62.0
E	60.0

- A : 무한 접지면 위의 도선 할로 안테나
- B : 유한 접지면($2\pi b/\lambda=0.4$) 위의 스트립 할로 안테나
- C : 유한 접지면($2\pi b/\lambda=0.4$) 위의 스트립 할로 안테나에 덮개를 씌운 경우
- D : C의 경우에 발포우레탄을 넣었을 경우
- E : D의 경우에 몸체를 달았을 경우

해 안테나의 공진 길이가 변하므로 공진 길이의 변화를 <표 2>에 나타내었다.

다음, 안테나의 임피던스에 큰 영향을 주는 w 와 s 를 조절할 수 있는 적당한 이론적 해석이 없기 때문에 반복실험을 통해 구할 수 밖에 없다. 따라서 반복실험을 통해 얻은 최적의 w 와 s 의 값은 안테나의 유효유전율에 가장 큰 영향을 주는 발포우레탄의 유무에 따라 크게 두 가지로 나누어진다. 즉 발포우레탄을 넣지 않았을 경우는 w 가 4mm, s 가 3mm일 때, 발포우레탄을 넣었을 경우는 w 가 3mm, s 가 2mm일 때 임피던스가 가장 잘 정합됨을 반복실험을 통해 알 수 있었다. 따라서 최종적으로 설계된 전파 근접 감지 시스템용 스트립 할로 안테나는 E의 경우로 w 는 3mm, s 는 2mm, L 은 60mm이다. 이때 중심주파수 836 MHz에서 측정된 임피던스는 $43.79 - j0.04[\Omega]$, 정재파비=2를 기준으로 했을 때의 대역폭은 33 MHz로 측정되었고, 그 결과를 [그림 7]에 나타내었다.



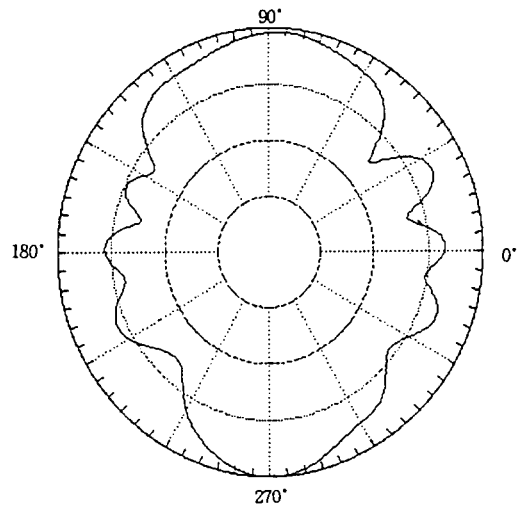
[그림 7] 제작된 안테나의 정재파비
[Fig. 7] VSWR of a fabricated antenna.

3-3. 안테나의 복사패턴 측정 및 분석

스트립 할로 안테나의 복사패턴은 한국표준과학연구원의 야외시험장(open site)에서 측정하였다.

송신안테나로는 사용 주파수 범위가 200~1,300 MHz인 ROHDE & SCHWARZ사의 LP Antenna를 사용하였고, 수신안테나로는 본 연구에서 개발한 스트립 할로 안테나를 실제 사용할 근접 감지기에 부착시켜서 송신안테나로부터 50m의 거리를 두고 측정하였다.

안테나의 복사패턴 측정 시스템에 의해 측정된 스트립 할로 안테나의 복사패턴을 [그림 8]에 나타내었다. [그림 8]의 수직패턴은 전(前)방향이 후(後)방향보다 약 1dB 정도 작고, 패턴모양은 부엽(side-lobe)이 있어 약간 왜곡은 되었는데 이는 접지면인 몸체가 장(field)에 영향을 주기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 3dB 빔폭은 약 90°로 전방향으로 지향성을 가짐을 알 수 있다.



[그림 8] 스트립 할로 안테나의 복사패턴(수직패턴)
[Fig. 8] Radiation pattern of a strip halo antenna (elevation pattern).

IV. 결 론

본 논문에서는 UHF CW/FM 전파 근접 감지 시스템을 근접 감지기에 사용할 때 근접 감지기용 안테나로서 도선 할로 안테나를 유전체 기판으로 등가화시켜서 중심주파수가 836 MHz인 스트립 할

로 안테나를 설계 및 제작하여 그 특성을 살펴보았다.

먼저, 무한 접지면 위의 도선 할로 안테나의 임피던스를 계산한 결과, 두 도선 중심사이의 거리 c 와 도선의 반경 a 가 커질수록 임피던스가 더 크고, 주파수가 증가할수록 그 임피던스의 차가 점점 더 커짐을 알 수 있었다. 또한 복사패턴도 a , c 가 커질수록 전방향으로의 지향성이 더 좋아짐을 알 수 있었다.

안테나의 크기를 줄이기 위해 유전율이 6.15, 두께가 31mil인 유전체 기판의 도체로 등가화시키고, 임피던스 정합을 위해 유전체 기판의 뒷면에 여러 가지 반복실험을 통해 정합부를 구현하였다.

근접 감지기에는 덮개, 발포우레탄, 그리고 몸체가 안테나의 유효길이를 변화시키고, 또한 그에 따라 스트립 폭(w)과 간격(s)이 안테나의 임피던스에 큰 영향을 주기 때문에 반복실험을 통해 최적조건을 찾았다. 최종적으로 설계하여 제작된 스트립 할로 안테나는 $w=3\text{mm}$, $s=2\text{mm}$, $L1=60\text{mm}$ 의 치수를 갖는다. 이 안테나의 중심주파수 836 MHz에서 측정된 임피던스는 $43.79-j0.04[\Omega]$ 으로 이는 본 논문에서 설계, 제작된 스트립 할로 안테나가 작은 루프 안테나의 일종이면서도 아주 좋은 정합특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 정재파비=2를 기준으로 한 대역폭도 33 MHz로 충분한 대역

폭을 얻을 수 있었으며 836 MHz에서 복사패턴을 측정하여 본 결과 3dB 빔폭이 약 90° 정도로 나타났다. 따라서 UHF대역에서 부피가 작은 안테나로서 좋은 특성을 갖음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Richard C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, third edition, chap. 27, McGraw-Hill, 1993.
- [2] Ronold W. P. King, Charles W. Harrison, *ANTENNAS AND WAVES : A Modern Approach*, chap. 9, M.I.T. Press, 1969.
- [3] James E. Storer, "Impedance of Thin-Wire Loop Antennas", *Am. Inst. Elec. Engrs. Trans.*, vol. 75, part 1, no. 27, pp. 606-619, November 1956.
- [4] NEC-2, Numerical Electromagnetics Code 2, Brian Beezley, K6STI, 1994.
- [5] Constantine A. Balanis, *ANTENNA THEORY-Analysis and Design*, John Wiley & Sons, 1982.
- [6] Brian C. Wadell, *Transmission Line Design Handbook*, chap. 3, Artech House, 1991.

이 성 재



1994년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (학사)
 1996년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (석사)
 1996년 3월~현재 : 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] antenna 및 전자파

한 상 철



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

상지대학교 병설 전문대 전산학과 교수

[주 관심분야] 초고주파 회로 및 안테나 등

박 병 권

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

김 용 호



1975년 2월 : 연세대학교 물리학
과 (이학사)
1985년 8월 : 미국 University
of Wyoming 전기 및 컴퓨터
공학과 (공학석사)
1985년 12월~1990년 8월 : 한국

전자통신연구소

1990년 8월~현재 : 배재대학교 전자공학과 조교수

오 승 업



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

1980년 8월~1981년 8월 : 일본 동북대학 전기통신연구소 객
원 연구원

1985년 5월~1986년 5월 : 미국 펜실바니아 주립대학 전기과
객원 연구원

1975년 10월~현재 : 충남대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 초고주파 회로, 안테나 공학 및 위성통신 등