

# 휴대 단말기용 내장형 FM 라디오 안테나의 설계

## Design of Internal FM Radio Antenna for Mobile Terminal

한 승 목 · 민 경 식

Seung-Mok Han · Kyeong-Sik Min

### 요 약

이 논문은 휴대 단말기의 내장형 FM(Frequency Modulation) 라디오 안테나의 설계에 관하여 기술하고 있다. 설계 안테나의 동작 주파수에서의 임피던스를 조절하기 위해서 집중 정수 소자인 R과 L칩 소자를 사용하였다. 안테나 후면의 패치와 스텐드는 설계 안테나의 정확한 공진 주파수의 조절과 소형화를 위해 추가하였다. 제작된 안테나의 크기, 측정된 반사 손실, 임피던스, 대역폭, 이득은 각각 40×70×1 mm, 99 MHz에서 -23 dB, 55-j7 Ω, -10 dB 이하 22 MHz(88~110 MHz), -15 dBi이고, 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였다. 특히 제작된 안테나의 측정 이득은 설계 주파수 대역 내에서 기존의 이어폰 안테나의 이득과 유사한 값을 보였다. 측정된 방사 패턴도 계산된 무지향성 패턴과 잘 일치하였다.

### Abstract

This paper describes a design of internal frequency modulation(FM) radio antenna for mobile terminal. In order to control of impedance at an operating frequency of the designed antenna, the lumped constant elements of R and L chip components are used. Patch and stubs located at antenna backside are added to control an exact resonance frequency and miniaturization. A fabricated antenna size, the measured return loss, impedance, bandwidth, and gain are 40×70×1 mm, -23 dB at 99 MHz, 55-j7 Ω, 22 MHz(88~110 MHz) below -10 dB, and -15 dBi, respectively. These measured results show a good agreement with simulated results. Especially, the measured gain of fabricated antenna is similar with value of a conventional ear-phone antenna in the designed frequency band. The measured radiation pattern agrees well with the calculated omni-directional pattern.

Key words : FM Radio, R and L Chip Component, Patch, Stubs

### I. 서 론

전 세계적으로 최근 휴대단말기 소지자의 수가 급진적인 증가 추세를 보이며, 이동통신 분야도 하루가 다르게 발전하고 있다. 특히 디지털 제품의 슬림화 추세에 맞추어 휴대단말기에도 GPS(Global Positioning System), MP3(MPEG Audio Layer-3), 카메라, 멀티미디어 전송, 블루투스, 위성·지상파 DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 등의 기능을 모두 포함

하고 있는 소형·박형의 제품들이 출시되고 있다. 제품이 비록 슬림화 되었다고 하더라도 정확한 정보 전송을 위해서는 안테나의 역할이 중요하다. 셀룰러, PCS(Personal Communication Services), GPS, 위성 DMB 등의 서비스를 지원하는 휴대단말기의 내장형 안테나가 이미 개발되어 제품이 출시되고 있으며<sup>[1],[2]</sup>, 공급과 수요가 나날이 급증하고 있다. 하지만 FM 라디오를 수신하기 위한 내장형 안테나의 개발은 아직 미미한 수준으로 현재 개발이 진행중이다.

「본 연구는 Post-BK21과 산업자원부의 지역혁신인력양성사업 지원으로 이루어졌음.  
한국해양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science and Engineering, Korea Maritime University)

· 논문 번호 : 20071211-145  
· 수정완료일자 : 2008년 5월 2일

FM 라디오의 서비스를 지원하는 안테나는 주파수가 VHF(Very High Frequency) 대역에서 동작하는 것으로 현재까지 개발된 FM 라디오(88~108 MHz) 안테나는 이어폰을 안테나로 활용하여 사용하고 있다.

사용자의 대용량 멀티미디어 서비스 제공과 휴대 제품의 슬림화 동향에 견주어 보면 FM 라디오 서비스를 위한 단말기 내장형 안테나의 개발이 시급하나, 매우 낮은 주파수 대역으로 인해 개발이 매우 어려운 실정이다<sup>[3],[4]</sup>. 안테나는 기본적으로 제공하고자 하는 서비스의 주파수에 맞추어 동작하기 때문에 FM 라디오의 경우, 주파수가 낮아 안테나의 크기가 매우 커지게 되므로, 이를 휴대단말기의 크기에 맞추어 내장형의 소형화를 하기란 매우 어렵다. 본 논문에서는 휴대단말기 내장형으로 적합한 소형 FM 라디오 안테나를 기판의 가장자리를 이용하여 캐패시턴스 성분을 얻고, 저항과 인덕턴스 칩을 이용하여 강제 공진을 하는 방법의 설계를 제안하고, 그 특성에 대해 서술하였다.

## II. FM 라디오 안테나 설계

일반적으로 사용하고 있는 휴대단말기의 평균 크기를 고려하여 FM 라디오 수신용 안테나의 크기를 40×80 mm<sup>2</sup>로 선택하였으며, 그 구조를 그림 1(a)에 보였다. 그림 1(a)에 제안된 안테나 모델은 좌측 상단에서 급전이 이루어지며, 폭 1 mm의 마이크로스트립 선로를 유전체 가장자리에 '7' 형태로 배치하였으며, 선로간 0.5 mm의 간격을 가지고 다시 급전점으로 되돌아 오는 구조이다. 이는 FM 라디오 주파수 대역이 88~108 MHz로 매우 낮은데, 마이크로스트립 선로를 가장자리에 배치함으로써 선형 안테나와 같은 효과를 나타내기 위함이다. 또한, 실제 사용에 있어서 손으로 휴대단말기를 쥐었을 경우, 근방계 유도 현상에 의해 인체가 저주파수의 보조적 안테나 역할을 해 줌으로써 성능을 향상시킬 수 있다는 경험을 고려하여 설계 위치를 정하였다. 그리고 나머지 도체는 안테나의 그라운드로서 사용하였다. 이 안테나는 두 개의 선로가 나란히 배치되어 있어 마치 미앤더 안테나처럼 마이크로스트립 선로에 걸리는 전계가 서로 반대가 되어 원거리장 필드가 서로 상쇄되며, 마이크로스트립 선로 간 용량성 특성으로

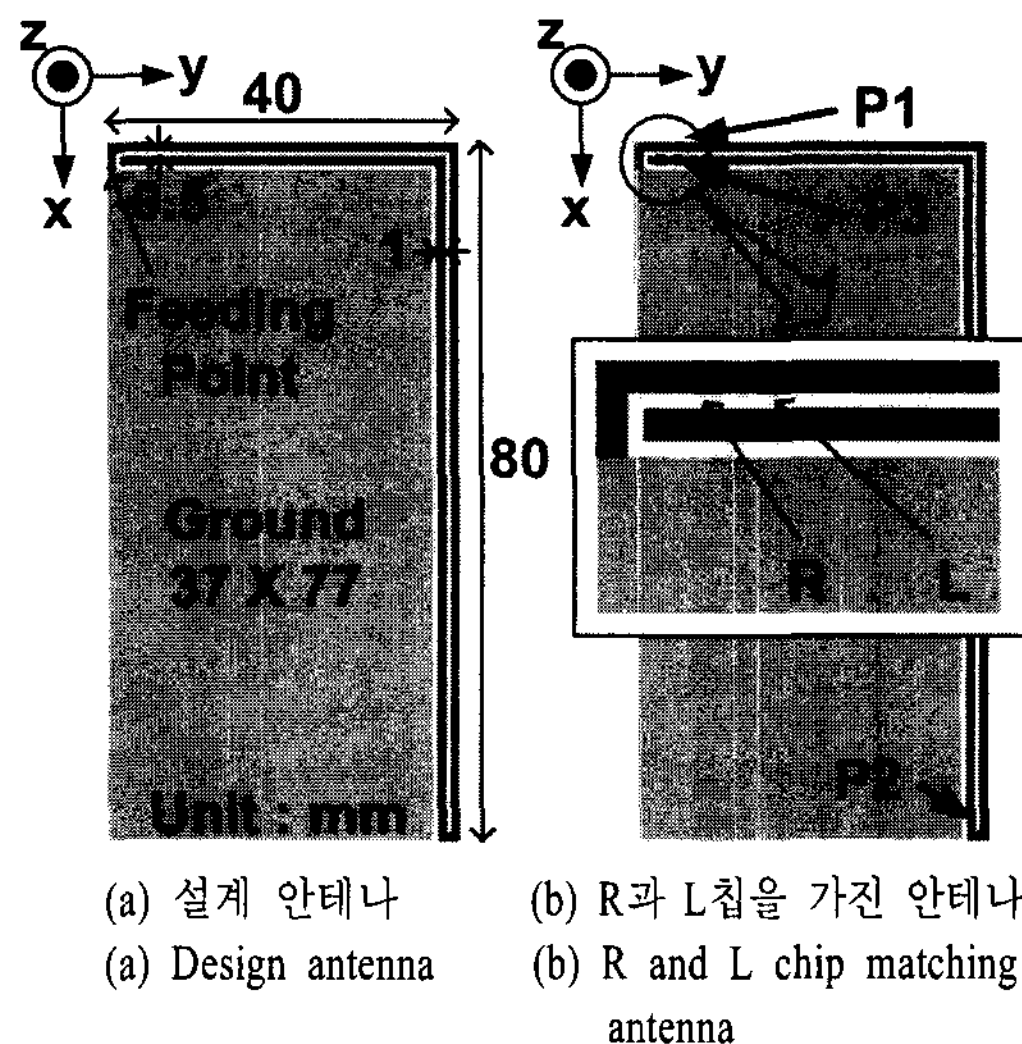


그림 1. 설계 안테나와 정합된 안테나의 구조  
Fig. 1. Structure of designed & matched antenna.

인해 임피던스 부정합이 발생하게 된다<sup>[5],[6]</sup>.

식 (1)은 안테나의 임피던스 값으로부터 안테나의 특성이 용량성인지 유도성인지 구분할 수 있는 관계를 나타낸다<sup>[7]</sup>.

$$Z = R + jX = R + \begin{cases} + j\omega L \\ - \frac{1}{j\omega C} \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $R$ 과  $X$ 는 각각 임피던스의 실수부와 허수부를 나타내며,  $L$ 과  $C$ 는 허수부 성분 중에서 유도성과 용량성 성분을 나타낸다. 임피던스의 허수부 값이 (-)값을 가진다면, 그 안테나는 용량성 특성, (+)값을 가지면 유도성 특성을 가지는 것이다. 따라서 이들의 특성을 적절히 조절하면 원하는 값을 얻을 수 있다. 그림 1에서 제안한 안테나의 임피던스 값은 100 MHz에서 2.4-j230 Ω으로 계산되었다. 임피던스 허수부가 (-)값을 가지므로 용량성 특성을 가진다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 유도성 특성을 증가시켜줄 필요가 있다. 이를 위해서는 안테나의 크기를 크게 하여야 하지만 한정된 휴대단말기의 크기 때문에 집중정수 소자인 R, L 칩을 사용하였다. R 성분은 임피던스의 실수부를 50 Ω, L 성분은 허수부를 0 Ω으로 정합하기 위함이며, 그림 1(b)에 보인 바와 같이 칩을 고려한 설계를 하였다. 정합을 위해 사용된 R과 L 소자의 값은 계산으로부터 48 Ω, 215

nH이다. 먼저 최적화된 칩의 손실 특성을 가지는 위치를 찾기 위해 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 칩의 위치를 그라운드와 근접한 곳( $P_1$ ), 안테나부의 중간 지점( $P_2$ ), 안테나 끝단( $P_3$ )으로 나누어서 시뮬레이션을 하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 칩의 위치가 각각  $P_1, P_2, P_3$ 일 때 안테나의 공진 주파수는 각각 125 MHz, 89 MHz, 131 MHz였다. 안테나의 중간 지점인  $P_2$ 의 경우는 칩의 위치에 의해 저주파수에서 동작하므로 안테나 소형화 설계에 더욱 유리할 수 있지만, -10 dB 이하에서 동작하는 대역폭이 7 MHz 정도로 좁은 단점이 있다. 또한, 칩이 안테나의 끝단인  $P_3$ 의 위치에 존재할 경우에는 그림 2에서 보는 바와 같이, 소형화에도 불리하며 -10 dB 이하 대역폭은 존재하지 않았다. 이는 칩의 위치가 임피던스 매칭에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 칩의 위치를  $P_1$ 으로 정하여 설계하였다.

그림 3과 4는 그림 1(a)의 초기 설계 안테나 모델과 R과 L칩 소자를 이용하여 정합시킨 안테나의 반사 손실 및 임피던스 특성을 나타낸다. 그림 3로부터 알 수 있는 것처럼 집중 정수 소자를 사용하지 않은 그림 1(a)의 안테나는 설계 주파수 대역에서 공진 특성을 거의 보이지 않지만, R과 L칩을 사용한 그림 1(b)의 안테나는 125 MHz에서 -35 dB의 반사 손실 특성을 보였다.

하지만 목표 주파수 대역의 중심 주파수인 100 MHz에서 반사 손실 -5 dB, 임피던스  $52 - j94 \Omega$ 의 특성을 보였다. 이 값은 초기 설계 안테나의 임피던스 값에 비해 용량성이 현저히 보상된 값이기는 하

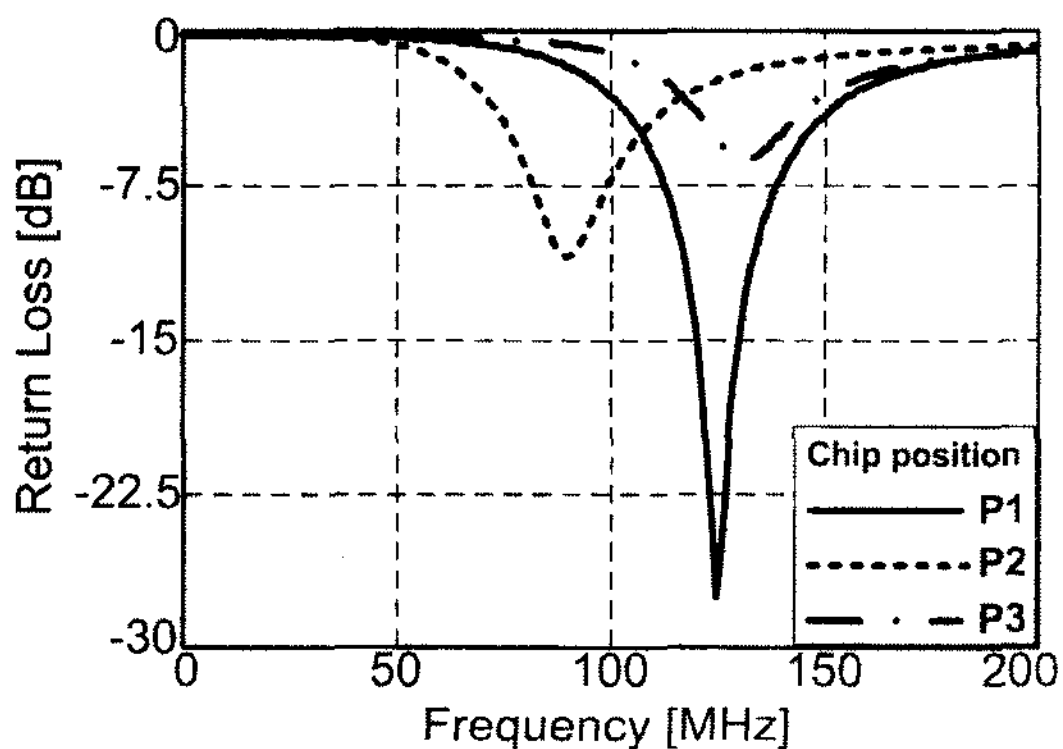


그림 2. 칩 위치 변화에 의한 반사 손실  
Fig. 2. Return loss by variation of chip position.

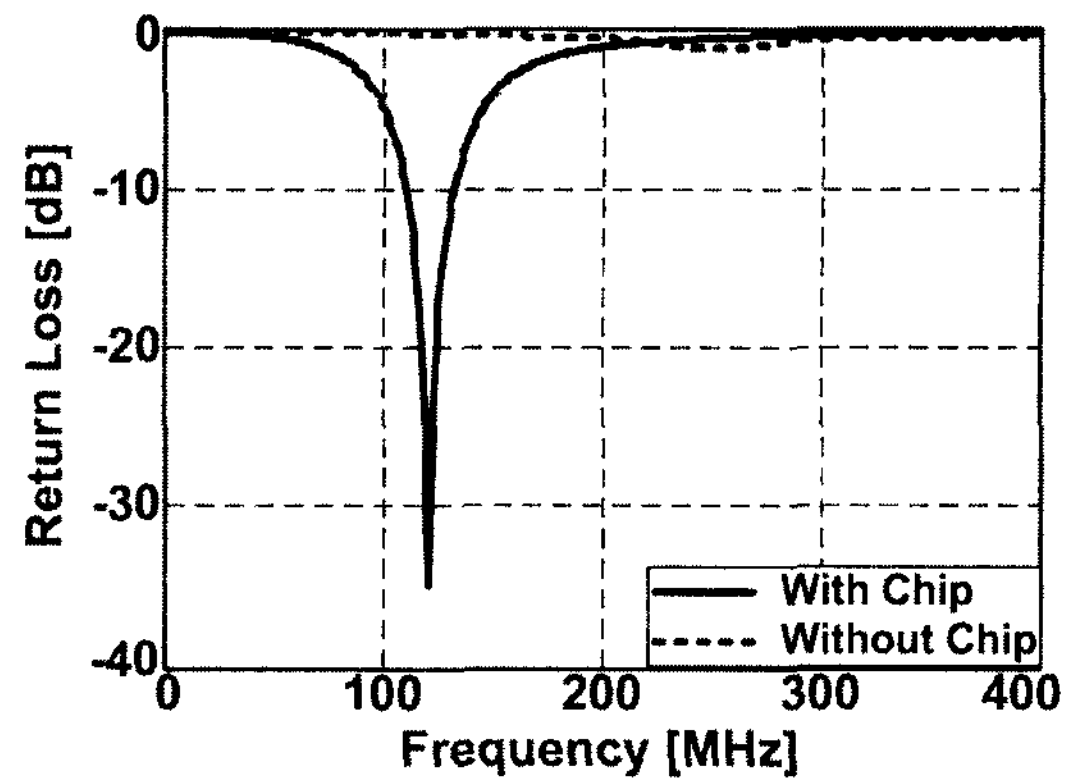


그림 3. 안테나의 계산된 반사 손실  
Fig. 3. The calculated return loss of antennas.

지만, 임피던스의 허수부가  $-j94 \Omega$ 의 값을 보이므로 여전히 높은 용량성 특성에 의해 설계하고자 하는 주파수보다 높은 주파수 대에서 공진하고 있다.

이 문제를 해결하기 위해 인덕턴스를 높이는 방법을 사용하였다. 그림 5는 안테나의 물리적 길이를 증가시켜 유도성 성분을 높여 줌으로써 용량성 성분에 의한 고주파수 동작 특성을 제어하기 위해 후면에 선로와 스테르브를 배치한 구조를 나타낸다.  $W$ 는 제안된 안테나의 공진 길이를 확보하기 위해 추가한 패치의 폭,  $L$ 은 공진 주파수 및 대역폭을 조절하기 위한 스테르브의 길이,  $D$ 는 안테나의 x축 길이를 조절하기 위한 두 스테르브 간의 거리,  $H$ 는 전체 안테나 크기를 나타낸다. 안테나 후면에 배치한 도체면은 전면의 안테나 끝 부분에서 비아홀을 이용하여 연결하였다.

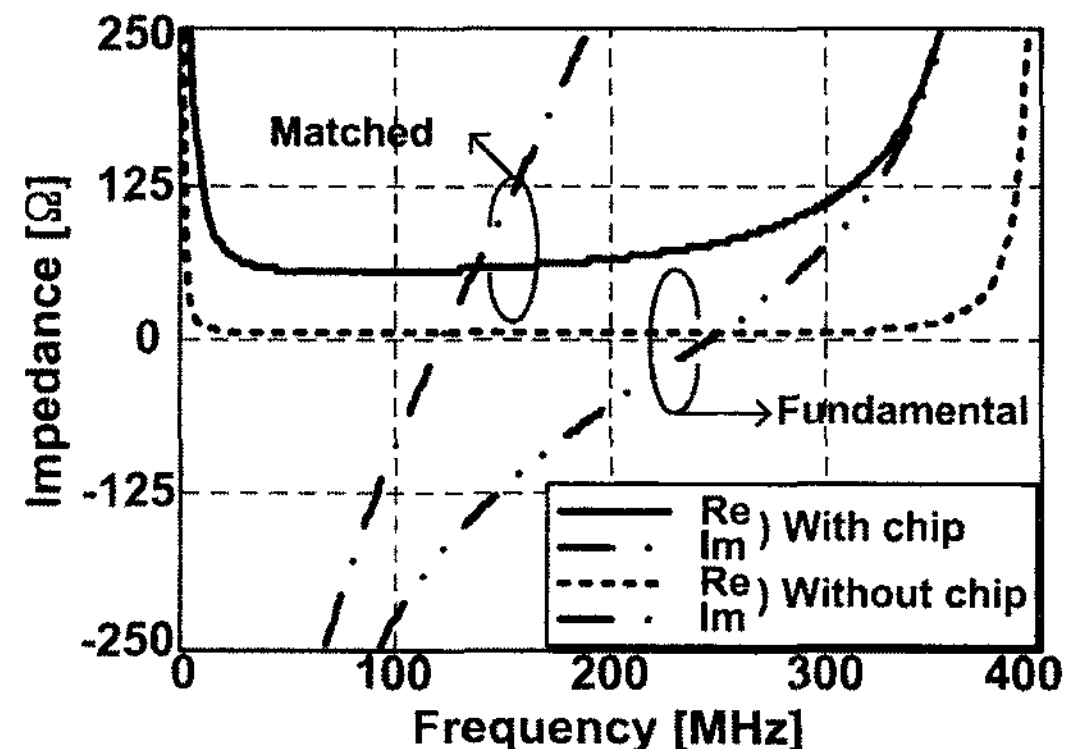


그림 4. 안테나 임피던스  
Fig. 4. The impedance of antennas.

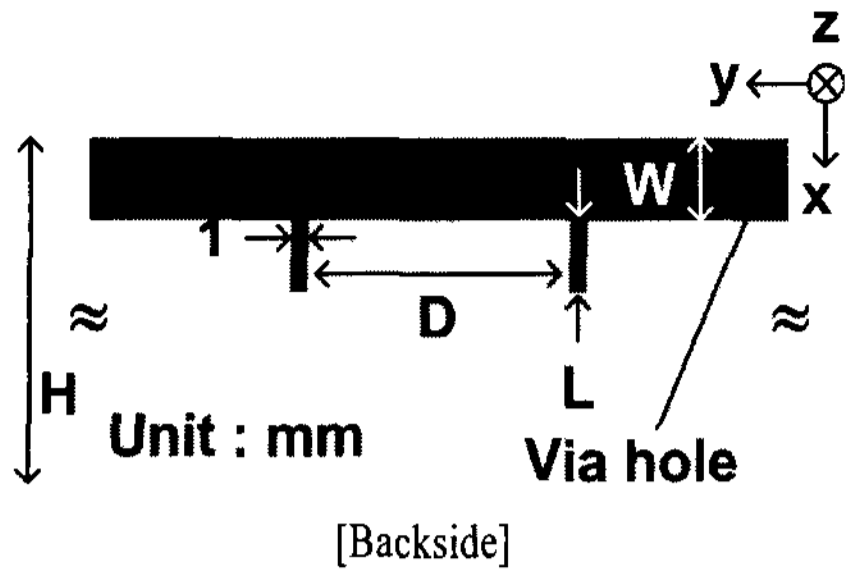


그림 5. 안테나 정합을 위한 후면 구조  
Fig. 5. Backside structure for antenna matching.

그림 6은 안테나 후면에 추가한 패치 도체면의 폭  $W$  변화에 따른 반사 손실 특성을 나타낸 것이며, 스테르브를 추가하기 전 모델의 결과이다.  $W$ 의 값을 4 mm에서 10 mm까지 변화시켰을 때, 즉,  $W$ 가 증가할수록 안테나의 길이는 증가하여, 등가적으로 유도성 성분인  $L$ 의 증가 효과에 의해 저주파수로의 이동이 나타났으며, 이는 안테나의 용량성 성분인  $C$ 를 보상하는 효과를 보여주고 있다. 다시 말해서, 안테나의 물리적 길이가 증가하여 공진 주파수가 낮은 주파수 대역으로 이동하게 된 것이다.  $W$ 가 4.5 mm일 때 100 MHz에서 반사 손실이 -28 dB, 임피던스가  $52+j2 \Omega$ 으로 좋은 특성을 보였다. 대역폭은 -10 dB를 기준으로 했을 때 18 MHz(91~109 MHz)였다.

그림 7은 휴대폰의 크기와 안테나의 소형화를 위해 추가된 스테르브의 길이  $L$  변화에 따른 반사 손실 특성을 나타낸다.  $L$ 을 3 mm에서 5 mm까지 변화시켰으며, 4 mm일 때 -10 dB를 기준으로 대역폭 19

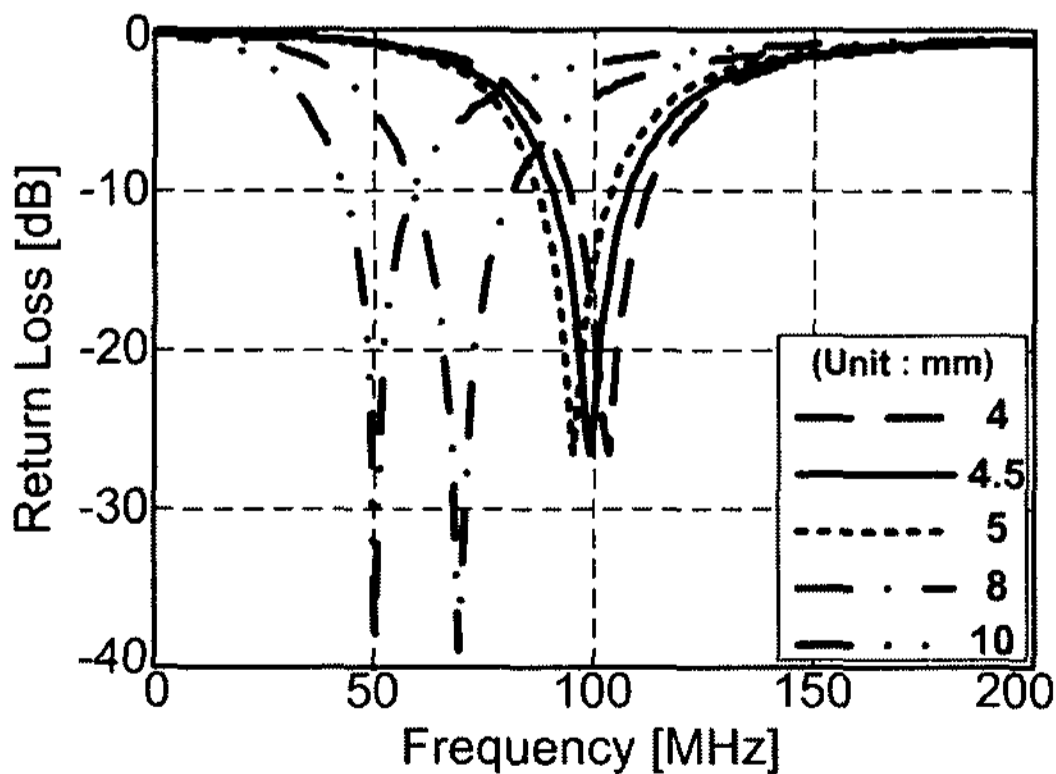


그림 6. 반사 손실[W 변화]  
Fig. 6. Return loss[W variation].

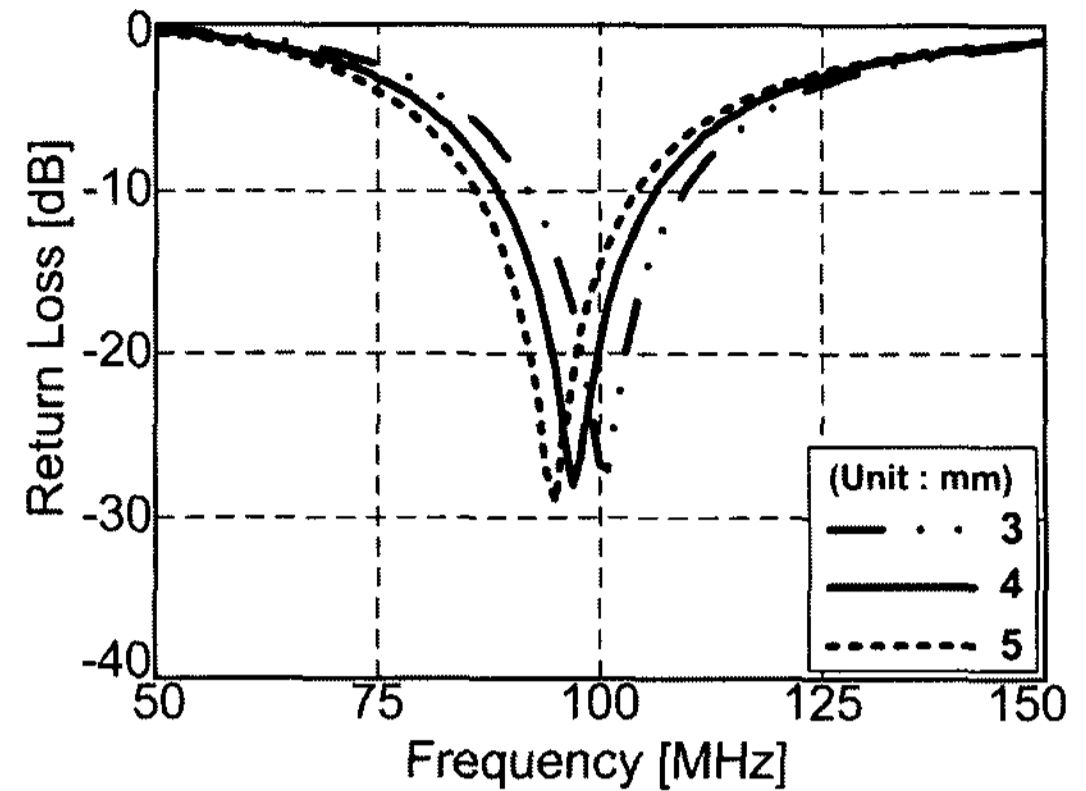


그림 7. 반사 손실[L 변화]  
Fig. 7. Return loss[L variation].

MHz(88~107 MHz)의 결과를 보였다. 반사 손실 특성은 97 MHz에서 최대 -27 dB, 임피던스는  $53+j2 \Omega$ 으로 좋은 특성을 보였다.

그림 8은 안테나의 소형화를 위하여 스테르브간의 간격  $D$ 를 변화시켰을 때, 안테나의 반사 손실 특성을 나타낸다. 두 개의 스테르브를 대칭 형태로 배치함으로써 각각의 스테르브에 의한 유도성 성분뿐만 아니라, 두 스테르브 간에 발생하는 상호 유도 결합으로 인해 안테나를 보다 더 소형화 할 수 있다. 하지만 스테르브 간의 거리가 가까워질수록 안테나의 용량성 성분이 증가하여, 공진 주파수가 다시 높아지는 현상을 보였으며, 스테르브 간의 간격이 15 mm일 때 54 MHz에서 -39 dB로 공진하였다. 이 결과로부터 스테르브간의 간격을 조절함으로써 안테나를 소형화시

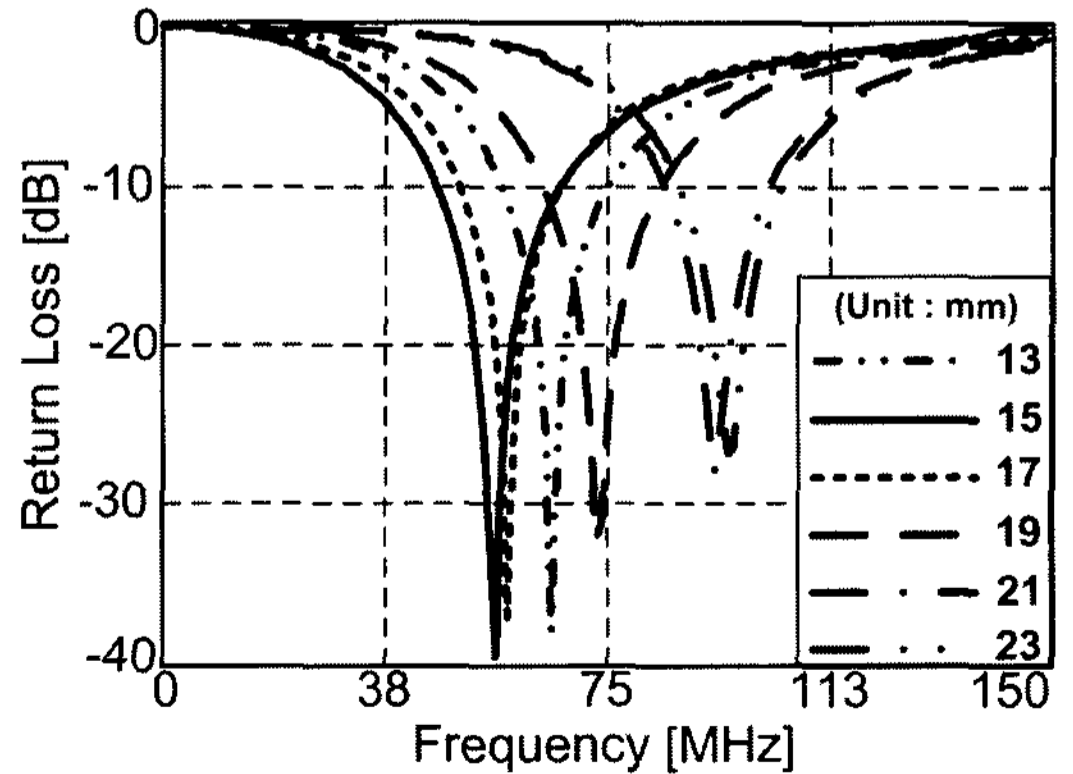


그림 8. 반사 손실[D 변화]  
Fig. 8. Return loss[D variation].

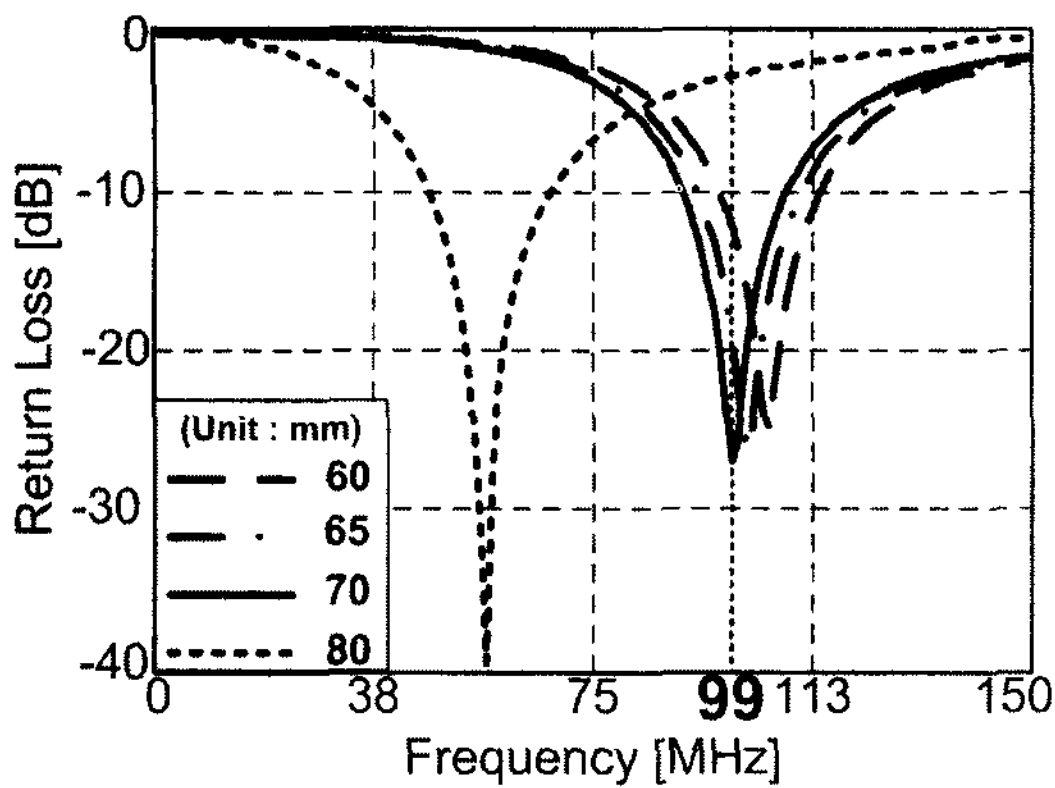


그림 9. 반사 손실[H 변화]  
Fig. 9. Return loss[H variation].

킬 수 있음을 확인하였다.

그림 9는 안테나의 길이와 그라운드의 크기  $H$ 를 동시에 변화시켰을 때 반사 손실 특성을 나타낸다. 그림 8에서 보인 결과로부터  $D$ 를 15 mm로 하고, 안테나의 길이를 80 mm와 그라운드의 길이 77 mm를 동시에 변화시켜 안테나의 길이 60 mm(그라운드의 길이 57 mm)까지 변화시켰다. 안테나의 길이가 70 mm(그라운드의 길이 67 mm)일 때 99 MHz에서 -28 dB로 공진하는 최적의 특성을 보였다. 임피던스는  $54+j3 \Omega$ , -10 dB 이하 대역폭은 20 MHz(88~108 MHz)였다. 안테나의 크기를 60 mm 동시에 그라운드 크기를 57 mm까지 줄일 수 있으나, 대역폭을 -10 dB 이하 값을 기준으로 하였기 때문에 FM 라디오 주파수 대역을 만족하는 70 mm를 선택하였다.

### III. 실험 결과 및 토론

2절에서 언급한 안테나 설계 단계에서 그림 1과 그림 5에 표시된 파라미터의 최적화된 값들을 표 1에 나타낸다. 그림 10에 제작된 안테나의 사진을 나타내었다. 안테나의 설계를 위해 Ansoft사의 HFSS를 사용하였으며, 유전율이 4.4, 두께가 1 mm, 손실 탄젠트가 0.02인 FR-4 유전체 기판을 사용하여 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나는 Anritsu사의 네트워크 분석기(37369D, 40 MHz~40 GHz)로 반사 손실, 임피던스 특성을 측정하였으며, 대형 전파 암실( $20 \times 7 \times 6.6 \text{ m}^3$ )에서 방사 패턴과 이득을 측정하였다.

그림 11~14는 제작된 안테나의 반사 손실, 임피

표 1. 최적 파라미터  
Table 1. Optimum parameter.

파라미터	수치
$W$	4.5 mm
$L$	4 mm
$D$	15 mm
$H$	70 mm
R chip	48 $\Omega$
L chip	215 nH

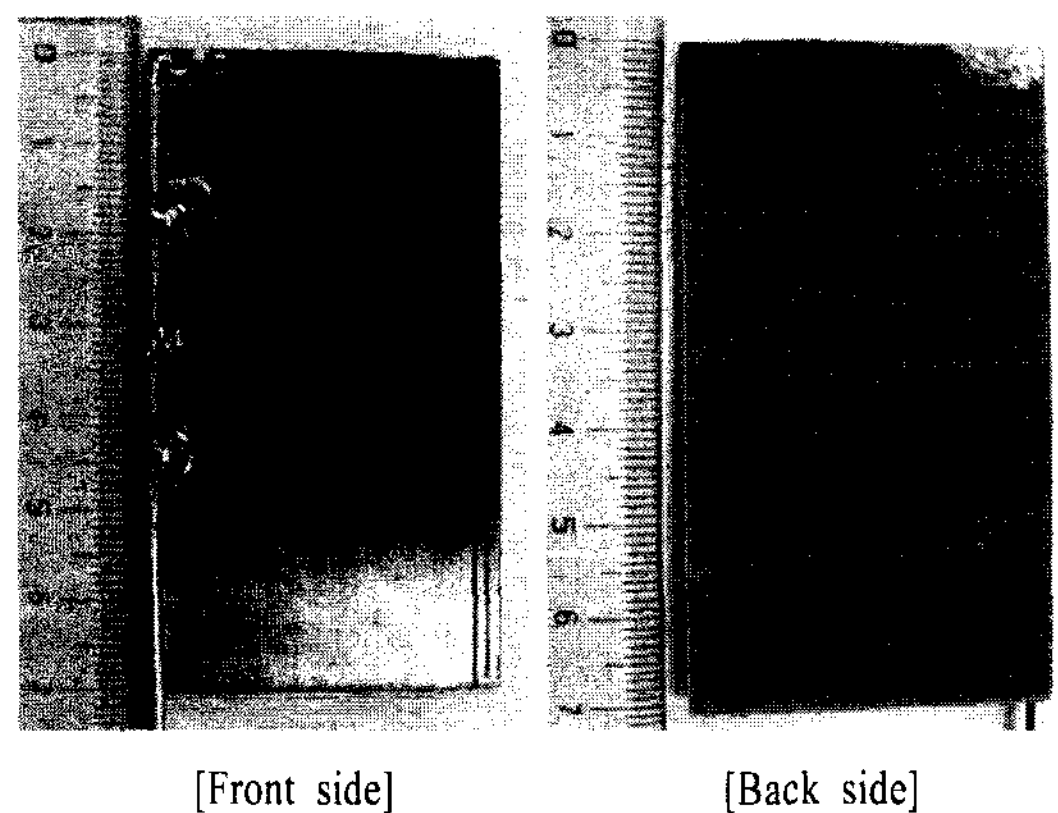


그림 10. 제작된 안테나의 사진  
Fig. 10. Photograph of fabricated antenna.

던스, 방사 패턴, 이득을 각각 나타낸다. 반사 손실은 99 MHz에서 -23 dB, 대역폭은 -10 dB 이하에서 22 MHz(88~110 MHz), 임피던스는  $55-j7 \Omega$ 로 측정되었다. VSWR 2를 기준으로 22 MHz의 대역폭을 보이나 VSWR 3을 기준으로 하면 38 MHz(82~120 MHz)로 넓은 대역폭을 가지므로 FM 라디오 신호 수신에 아무런 문제가 없을 것으로 생각된다.

그림 11에 보인 반사 손실의 경우, 이론치가 실험치보다 대역폭도 1~2 MHz 정도 넓고 중심 주파수인 100 MHz에서 반사 계수도 7 dB 정도 좋은 성능을 보인다. 또한, 동작 주파수 대역이 잘 일치하고 대역폭도 거의 일치한다. 반사 계수가 100 MHz 근방에서 약간의 차이를 보이지만, 이는 -20 dB 이하의 레벨에서 나타나기 때문에 큰 의미는 없다. 그림 12에서 시뮬레이션과 실제로 제작하여 측정한 안테나의 임피던스 값이 틀린 것은 시뮬레이션의 경우, 가장 이상적인 환경에서 시뮬레이션이 이루어지며 정

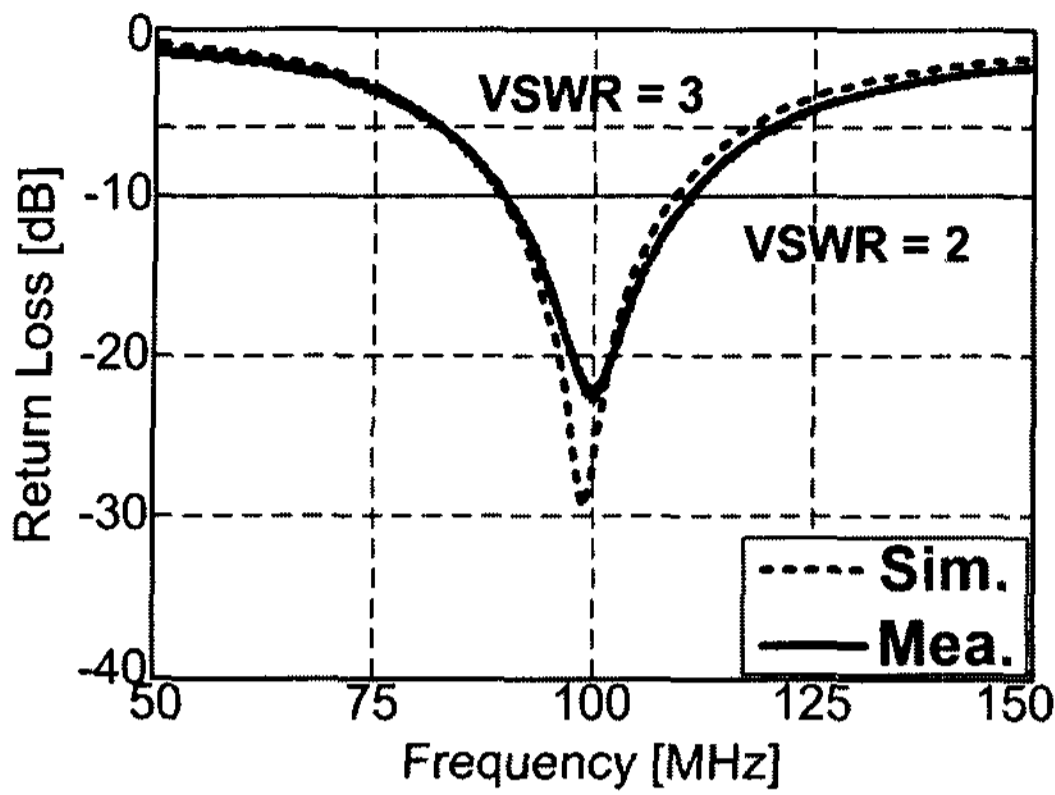


그림 11. 제안된 안테나의 반사 손실  
Fig. 11. The return loss of proposed antenna.

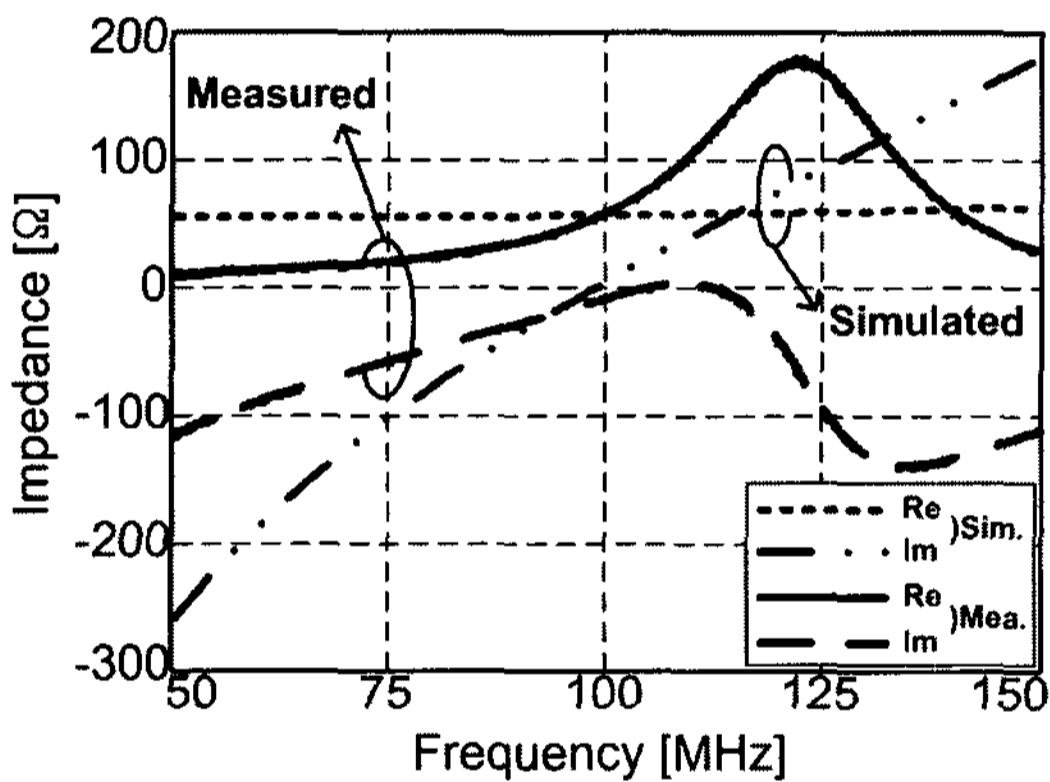
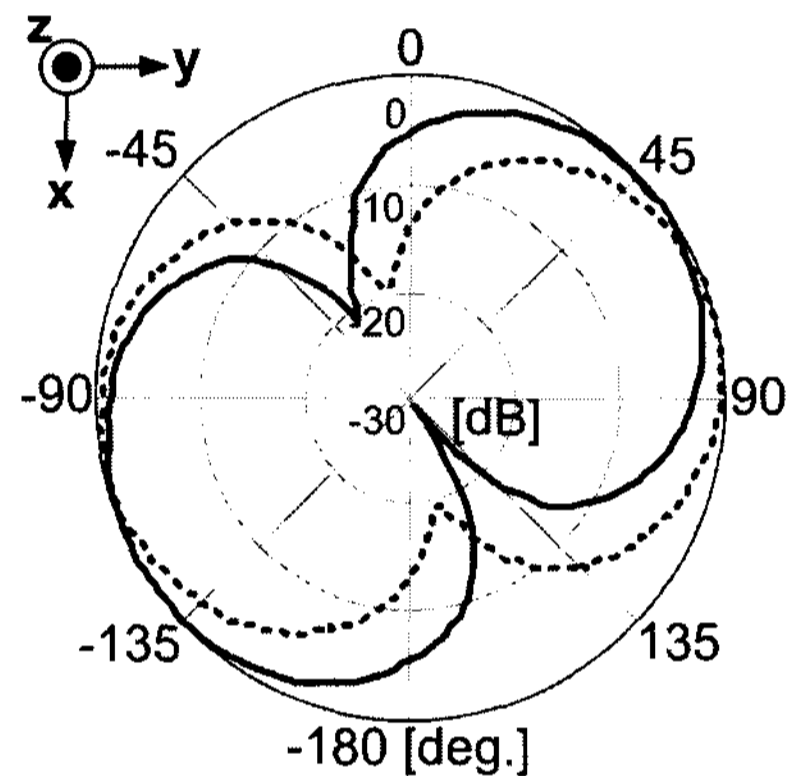


그림 12. 제안된 안테나의 임피던스  
Fig. 12. Impedance of proposed antenna.

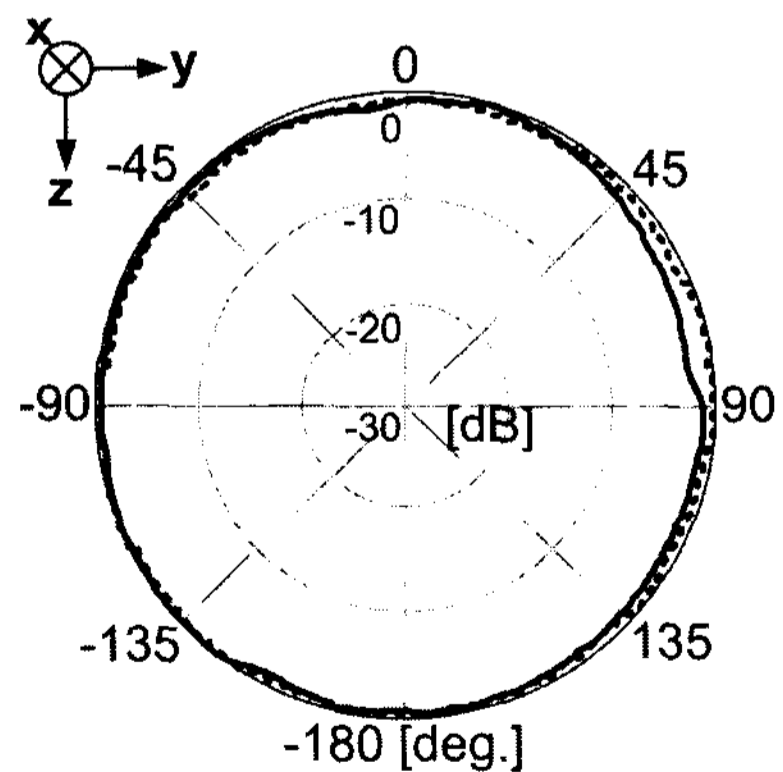
량적인 칩을 이용하였기 때문에, 실수부가 50 Ω으로 일정하며 허수부 또한 균일하게 증가하는 특성을 보이지만, 실제로 제작하여 측정한 결과의 임피던스 경우에는 시뮬레이션 환경과는 다르게 시간에 따라 환경이 변화하며 또한 주파수가 변화함에 따라서 임피던스 수치 또한 변화하는 특성을 보인다. 하지만 목표 주파수인 100 MHz에서는 시뮬레이션과 실제 제작하여 측정한 임피던스 값이 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 2의 결과와 비교해 보면, 단락 스테브의 보상으로 인하여 허수부가 안정적으로 0 Ω 근처로 수렴함을 알 수 있다. 그림 13은 제안한 안테나의 방사 패턴 시뮬레이션과 측정값을 비교한 것이다. 1 mm 폭의 마이크로스트립 선로가 유전체 가장자리에 배치된 구조이므로, 방사 패턴은 일반적인 다이폴 안테나와 같은 특성을 가진다. 그림 13(a)는 전체

면 패턴을 나타낸 그림으로 그림 1과 8에서 보는 바와 같이 캐패시턴스 성분을 제어하기 위해 기판의 한 면과 결합을 하도록 제안한 안테나의 설계 방침에 따라, 방사체가 '7' 형태의 구조를 하고 있어 주빔의 방사 패턴은 y축을 기준으로 x축 방향으로 약 30도 기울어져서 형성되었다. 그림 13(b)의 자계면은 전 방향에 대해 무지향성 특성을 잘 보이고 있다. 따라서 그림 13으로부터 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 14는 제안한 안테나의 이득 시뮬레이션과 측정값을 나타내었다. FM 주파수 대역에서 최대 이



Sim. E(xy) Plane .....  
Mea. E(xy) Plane ———  
(a) E면  
(a) E plane



Sim. H(yz) Plane .....  
Mea. H(yz) Plane ———  
(b) H면  
(b) H plane

그림 13. 제안된 안테나의 방사 패턴(99 MHz)  
Fig. 13. Radiation pattern of proposed antenna(99 MHz).

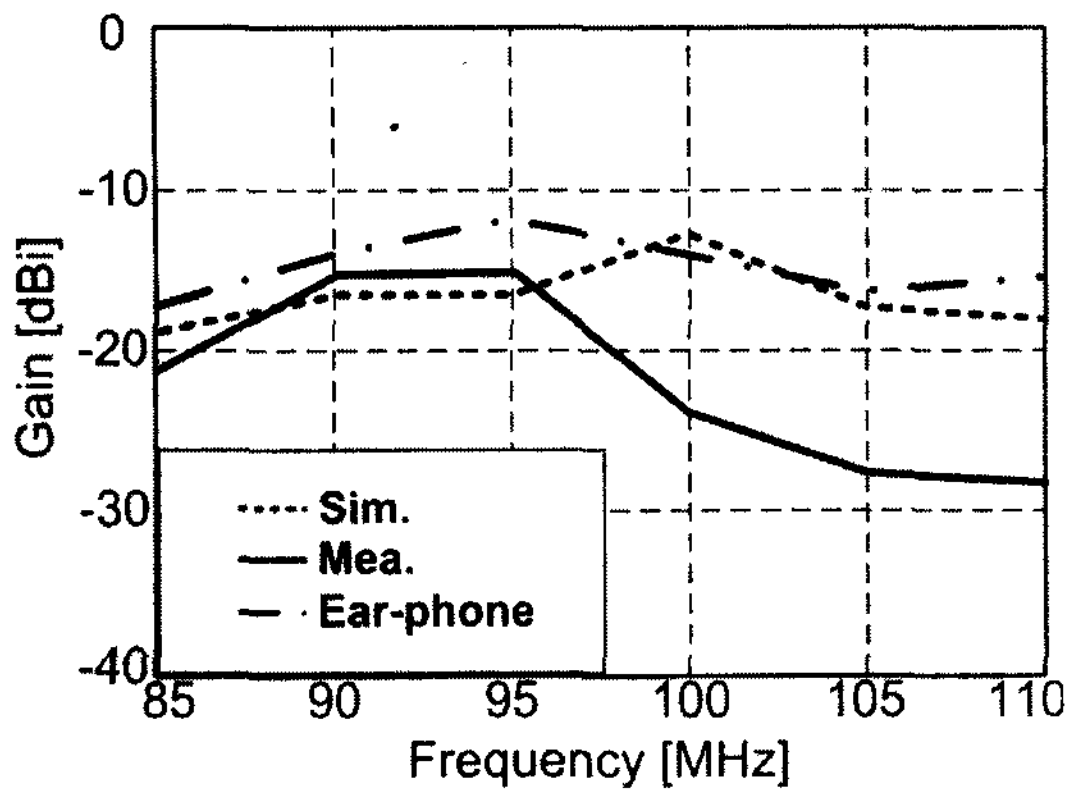


그림 14. 제안된 안테나의 이득  
Fig. 14. Gain of proposed antenna.

득은  $-15$  dBi로 측정되었으며,  $90 \sim 95$  MHz 대역에서 좋은 특성을 보이고 있다. 일점쇄선은 실제로 사용되고 있는 삼성전자에서 개발된 이어폰 안테나의 이득을 측정한 것으로 최대 이득  $-12$  dBi,  $100$  MHz에서  $-15$  dBi로 나타났다. 설계 주파수 대역에서는 제안된 내장형 안테나의 이득과 유사한 값을 보이나, 전체적으로는 제안된 안테나보다 양호한 이득을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 동작 주파수가 저주파수이므로 이어폰의 길이에 따라 이득이 변하며, 길이의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

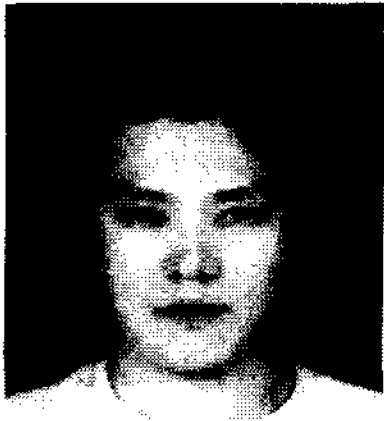
이 논문에서는 휴대단말기의 내장형 FM 라디오용 안테나를 설계하였다. 안테나를 소형화 하면서 휴대 단말기에 내장하기 위하여 R과 L칩 소자를 이용하여 저주파수 정합을 얻을 수 있었다. 후면 패치와 단락 스텐브를 이용하여 대역폭을 조절하고 등가적인 길이의 연장 효과를 구함으로써 안테나를 소형화시켰다. 제안된 안테나의 크기는  $40 \times 70$  mm, 반사 손실은  $99$  MHz에서  $-23$  dB, 임피던스는  $55 - j7 \Omega$ ,

대역폭은  $-10$  dB를 기준으로  $22$  MHz( $88 \sim 110$  MHz), 방사 패턴은 무지향성을 보였으며, 이득은 FM 라디오 대역에서 최대  $-15$  dBi의 특성을 보였다. 특히 제작된 안테나의 이득은 설계 주파수 대역 내에서 기존의 이어폰 안테나의 이득과 유사한 값을 보였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Yong-Sun Shin, Seong-Ook Park, "A compact loop type antenna for Bluetooth, S-DMB, Wibro, WiMax, and WLAN applications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 6, pp. 320-323, Jun. 2007.
- [2] B. Jung, J. -S. Lee, M. -J. Park, Y. -S. Chung, F. J. Harackiewicz, and B. Lee, "TDMB/AMPS/GSM/DCS /PCS/SDMB internal antenna using parasitic element with switching circuit", *Electronics Letters*, vol. 42, no. 13, pp. 734-736, Jun. 2006.
- [3] Kamal Sarabandi, "Design of an efficient miniaturized UHF planar antenna", *IEEE Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 6, pp. 1270-1276, Jun. 2003.
- [4] S. D. Eason, R. Libonati, "UHF fractal antennas", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 3, Jul. 2001.
- [5] H. Y. Wang, M. J. Lancaster, "Aperture-coupled thin-film superconducting meander antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 47, no. 5, pp. 829-836, May 1999.
- [6] C. J. Wang, C. F. Jou, "Compact microstrip meander antenna", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 22, no. 6, pp. 413-414, Sep. 1999.
- [7] Balanis, Constantine. A, *Antenna Theory*, Wiley, p. 76, 2001.

한 승 목



2007년 2월: 한국해양대학교 전파  
공학과 (공학사)  
2007년 3월~현재: 한국해양대학교  
전파공학과 석사과정  
[주 관심분야] MDM(Magneto-Die-  
lectric Material), RFID, 소형 안테  
나 설계

민 경 식



1989년 2월: 한국해양대학교 전자  
통신공학과 (공학사)  
1991년 2월: 한국해양대학교 전자  
통신공학과 (공학석사)  
1996년 2월: 일본동경공업대학교  
전기전자공학과 (공학박사)  
1997년 3월~현재: 한국해양대학교

전파공학과 교수

[주 관심분야] FDTD 해석법 및 프로그램 개발, RFID,  
MDM(Magneto-Dielectric Material), MIMO 안테나, 위성  
통신 및 이동통신용 안테나 설계 등