

지상파 DMB용 다중 권선 Loop 안테나

Multi-Turn Circular Loop Antenna for Portable Terrestrial DMB

손 원 국 · 최 익 권*

Won-Kuk Son · Ik-Guen Choi*

요 약

이 논문에서는 휴대 장치의 지상파 DMB용 안테나로 다중 권선 loop 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 크기가 작으면서도 지상파 DMB 대역에서 충분한 수신 전력을 확보하도록 권수는 80회, 그리고 직경은 4 mm로 하였으며, 또한 높은 전달 함수 특성을 갖도록 품질 계수를 1로 하였다. 제작된 안테나는 길이가 30 mm로 소형이며, 이득은 약 -15 dBd로 길이 190 mm의 상용 지상파 DMB 모노폴 안테나와 비슷한 수신 능력을 가짐을 측정을 통해 확인하였다.

Abstract

In this paper, we present a multi-turn circular loop antenna for portable terrestrial DMB. In order to satisfy the two contradictory requirements of small antenna size and high receiving capability, the proposed antenna's diameter and turns are fixed to be 4 mm and 80 turns, respectively and its quality factor Q is set 1 in order to have high transfer function. The fabricated antenna length is 30 mm as small and its measured gain is -15 dBd. The antenna receiving power is verified by measurement very comparable with the receiving power of a commercial terrestrial DMB monopole antenna of length 190 mm.

Key words : Terrestrial DMB, Multi-turn Loop Antenna, Quality Factor, Transfer Function

I. 서 론

지상파 DMB(T-DMB: Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting)는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)에 의한 다중 반송파 디지털 전송 방식을 사용함으로써 다중 경로 환경에 강하며, 잡음과 간섭에 의한 수신 음질의 열화를 최소화할 수 있어 이동 수신 음질이 우수하다. 또한, FM 방송과 비교하여 주파수 사용 효율이 4배 정도 우수하고, 아날로그 대비 1/10의 저출력으로 동일한 커버리지 송출이 가능하여 SFN(Single Frequency Network)을 구성하면 효율적으로 난청 지역을 해소할 수 있어서 CD 수준의 고음질 오디오 서비스, 교통, 증권 정보 등

다양한 부가 데이터 서비스와 고속 이동 중에도 선명한 화질의 동영상 수신을 가능하게 한다^[1].

지상파 DMB의 주파수 대역은 EUREKA-147의 규격에 따라서 174~216 MHz대로 비교적 사용 주파수가 낮아서^[2] 현재 출시된 지상파 DMB 안테나에서 보듯이 지상파 DMB 수신용 휴대 장치에 장착되는 안테나는 길이가 최소 12.5 cm 이상으로 길고, 또한 외부로 돌출되는 형태를 갖는 안테나가 대부분이다. 그러나 최근에는 단말기 내부에 장착하는 인테나(intenna)를 선호하는 추세이므로 단말기 내부로 장착할 수 있는 소형 안테나 개발이 필요하다^[3].

다중 권선 loop 안테나의 출력 전압과 입사 자계 강도간의 전달 함수 특성은 품질 계수 Q 값에 비례

충북대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungbuk National University)

*충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(School of Electrical & Computer Engineering and Telecommunications, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20071218-148

· 수정완료일자 : 2008년 5월 16일

한다. 이 전달 함수는 Q 값이 커질수록 좁은 주파수 응답 특성을 갖지만 전달 함수 크기는 커진다.

본 논문에서는 지상파 DMB용 안테나로서 단말기 내부에 장착할 수 있는 소형 안테나 개발을 위해 높은 전달 함수 값을 가지고, 크기가 작은 안테나 제작을 위한 Q 값을 갖는 다중 권선 loop 안테나를 제시하였고, 제시된 안테나를 제작하여 그 특성을 확인하였다.

II. 안테나 설계

2-1 안테나 설계 이론

소형 지상파 DMB용 안테나를 설계하기 위하여 다중 권선 loop 안테나를 이용한 이 안테나는 그림 1에서와 같이 와이어를 N 번 감은 구조로 되어 있으며, 이 그림에서 l_c 는 안테나의 길이이고, b 는 안테나의 지름이다. 다중 권선 loop 안테나의 등가 회로는 그림 2와 같다.

그림 2에서 전압 V_{in} 은 다중 권선 loop 안테나로부터 입사되는 전자기적 입사파에 의해 야기되는 개회로 전압으로 맥스웰 방정식과 스톡 이론에 의해 식 (1)과 같이 주어진다^[4].

$$V_{in} = \int_0^{2\pi} \overline{E}_i \cdot \overline{dl} = -j\omega\mu_1 H_i NA \quad (1)$$

여기서 \overline{E}_i 는 loop의 평면에 입사된 전기 성분, \overline{dl} 은 loop상 미소 길이 벡터, ω 는 E_i 의 각 주파수, μ_1 는 loop 코어 매질의 투자율, H_i 는 자계의 법선 성분, N 은 loop의 권선 수, A 는 loop의 면적이다. 식 (1)으로부터 알 수 있듯이 안테나에 인가되는 전압 V_{in} 은 주파수와 loop의 면적, loop의 권수, loop 코어 매질의 투자율에 비례한다.

그림 2에서 L_a 는 loop 코어의 인덕턴스, C_a 는

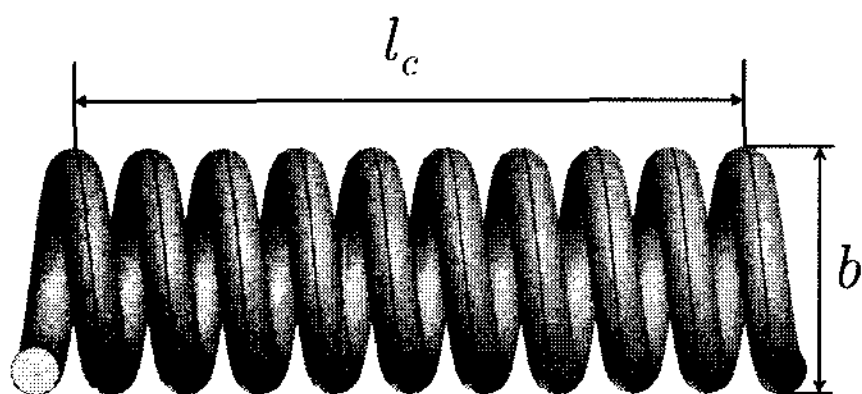


그림 1. Loop 안테나 구조
Fig. 1. Loop antenna structure.

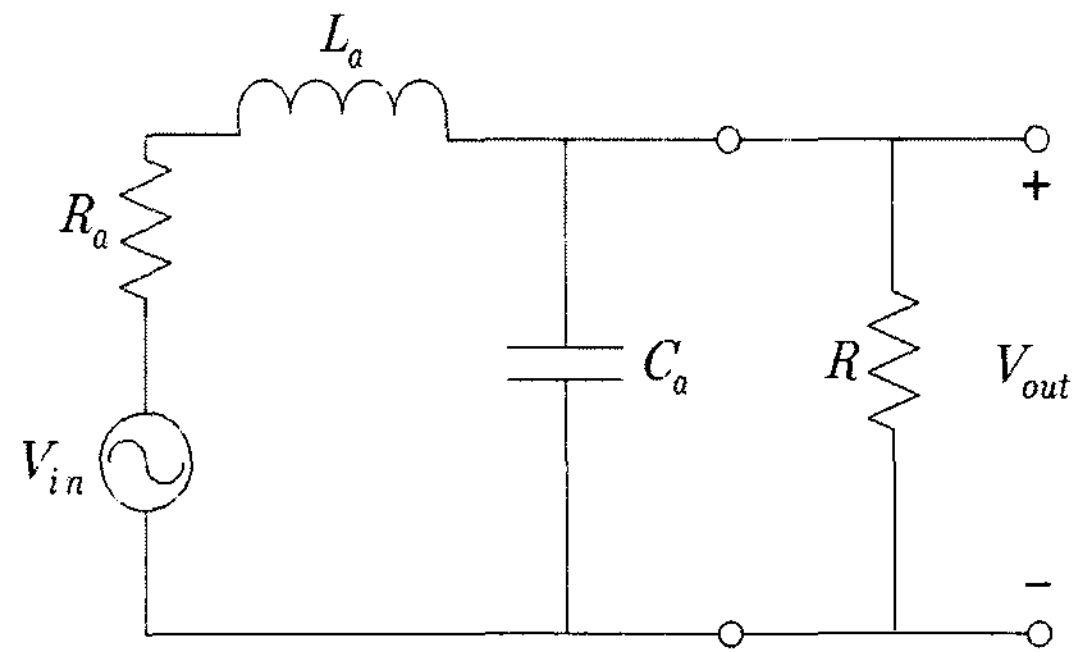


그림 2. Loop 안테나 등가 회로
Fig. 2. Loop antenna equivalent circuit.

loop 코어의 커패시턴스, R_a 는 loop 코어의 내부 저항, R 은 loop 입력 단에서 측정기가 장착된 동축 케이블을 바라보는 부하 임피던스이며, V_{out} 은 loop 입력단에 걸리는 전압이다. 이 등가 회로로부터 입력 전압 V_{in} 과 출력 전압 V_{out} 의 비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-j\frac{1}{\delta}}{\frac{1}{Q} + j\left(\delta - \frac{1}{\delta}\right)} \quad (2)$$

여기서, $Q = \frac{R}{X_0}$, $X_0 = \omega_0 L_a = \frac{1}{\omega_0 C_a}$, $\delta = \frac{\omega}{\omega_0}$ 이다.

식 (1)을 식 (2)에 대입하면 출력 전압 V_{out} 과 입사 자계 강도 H_i 간의 전달 함수는 다음과 같이 계산된다.

$$T(f) = \left| \frac{V_{out}}{H_i} \right| = \omega_0 \mu NA \left| \frac{1}{\frac{1}{Q} + j\left(\delta - \frac{1}{\delta}\right)} \right| \quad (3)$$

그림 3은 Q 값에 따른 일반화된 전달 함수 특성을 나타낸 것이다. 이 전달 함수는 Q 값이 커질수록 좁은 주파수 응답 특성을 갖지만 전달 함수 크기는 커진다^[5].

2-2 안테나 설계

지상파 DMB용 loop 안테나의 Q 값은 일반화된 전달 함수 특성에 따라 지상파 DMB 주파수 대역을 포함하고 높은 전달 함수 값을 갖는 1로 정하였다. 식

III. 제작 및 측정

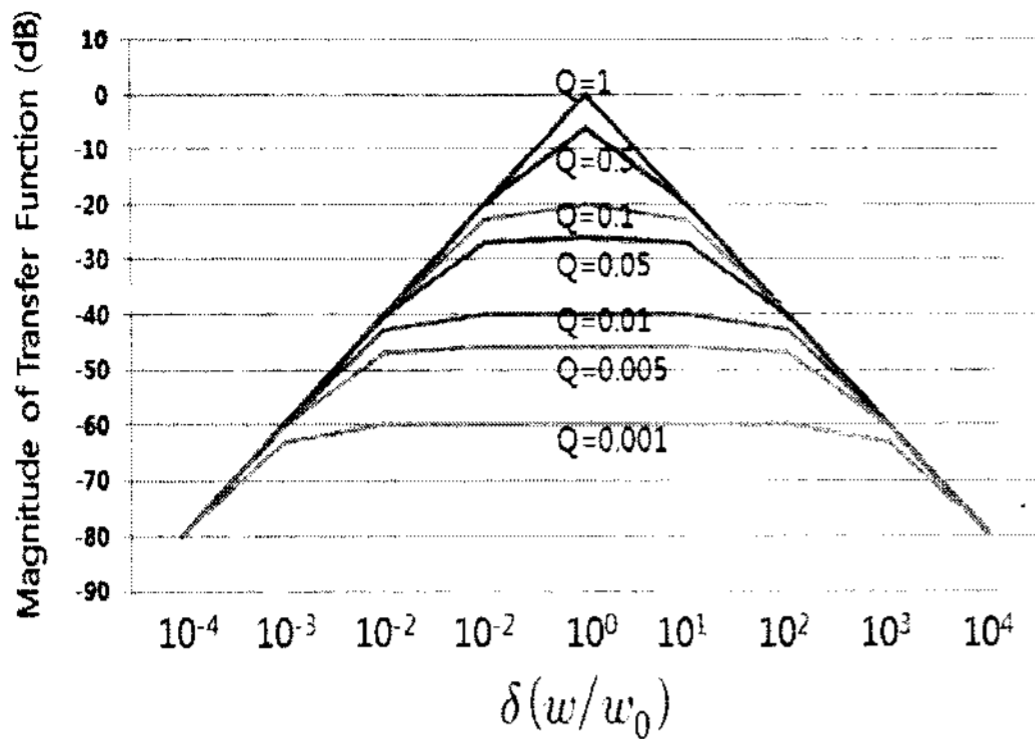


그림 3. 일반화된 전달 함수
Fig. 3. The normalized transfer function.

(3)으로부터 알 수 있듯이 전달 함수 값은 loop의 권수와 loop의 면적에 비례한다. 높은 전달 함수 값을 가지고, 크기가 작은 안테나 제작을 위해 loop의 권수를 80회로 하고, 지름을 4 mm로 하였다. 권수가 80회일 때 loop 안테나의 인덕턴스, 커패시턴스, 내부 저항 값은 상용화 툴인 Ansoft사의 Q3D를 이용하여 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 구한 loop 안테나의 등가 회로는 $L_a=3.03 \mu\text{H}$, $C_a=0.67 \text{ pF}$, $R_a=11.09 \Omega$ 이다. Loop 안테나의 인덕턴스 값에 의해 Q값이 1일 때 $R=3.8 \text{ K}\Omega$ 이다.

그림 4는 제안된 loop 안테나의 등가 회로를 나타낸 것이다. Loop 안테나만으로는 임피던스 매칭이 어려우므로 부가적인 매칭 회로를 설계하였다. 매칭 회로는 상용화 툴인 Ansoft사의 Designer를 이용하여 설계하였다. 시뮬레이션을 통해 설계된 매칭 회로의 각 소자 값은 $L_1=100 \text{ nH}$, $L_2=100 \text{ nH}$, $C_1=5.6 \text{ pF}$ 이다.

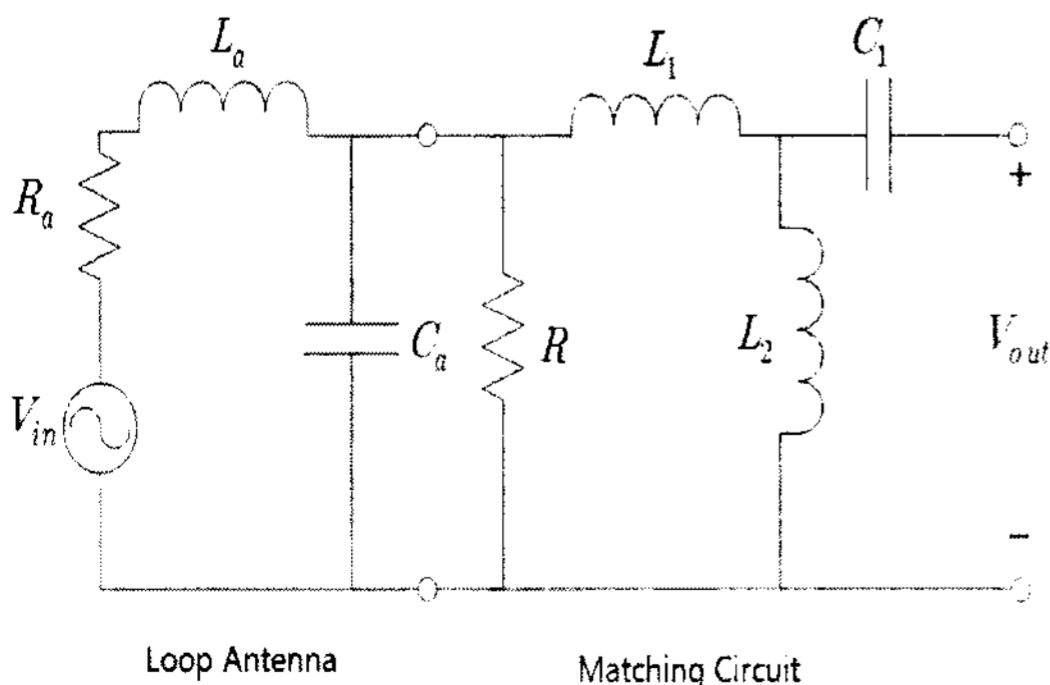


그림 4. 제안된 loop 안테나의 등가 회로
Fig. 4. Equivalent circuit of proposed loop antenna.

제안된 다중 권선 loop 안테나는 직경 0.1 mm에나 멜선을 사용하여 제작하였으며, 제작된 안테나는 그림 5에서 보듯이 가로 45 mm, 세로 60 mm 크기의 FR4($\epsilon_r=4.4$) 기판 위에 50 Ω 전송 선로에 연결하여 그 특성을 측정하였다. 기판에서 안테나의 위치는 최대한 ground와 가깝게 위치하였다. 안테나 크기는 길이 $l_c=30 \text{ mm}$, 직경 $b=4 \text{ mm}$ 이다. 반사 손실은 에질런트사의 E8356A 회로망 분석기를 이용하여 측정하였다. 측정된 반사 손실과 시뮬레이션 결과는 그림 6과 같다.

측정된 반사 손실은 지상파 DMB 대역폭인 174~216 MHz 내에서 -4.4 dB 이하이다.

방사 패턴은 전자파 무반사실에서 200 MHz에 대해 이득을 측정하였다. 그림 7은 수직 편파에 대한 측정된 방사 패턴을 나타낸 것이다. Y-Z 평면의 최대 이득은 $\theta=270^\circ$ 에서 -15.25 dBd이고, X-Y 평면의 최대 이득은 $\phi=90^\circ$ 에서 -15.36 dBd이다. 측정된 방사 패턴은 다중 권선 loop 안테나의 방사 패턴과 유사함을 알 수 있다.

그림 8은 기준 안테나와 loop 안테나 수신 전력을 주파수에 따라 비교했다. 기준 안테나는 상용 지상파 DMB용 안테나로 길이가 190 mm인 휴대폰용 모노폴 안테나이다. Case 1은 안테나를 가로 45 mm, 세로 60 mm 크기의 FR4 기판 위에 50 Ω 전송 선로를 연결하여 측정한 것이고, case 2는 ground 크기와

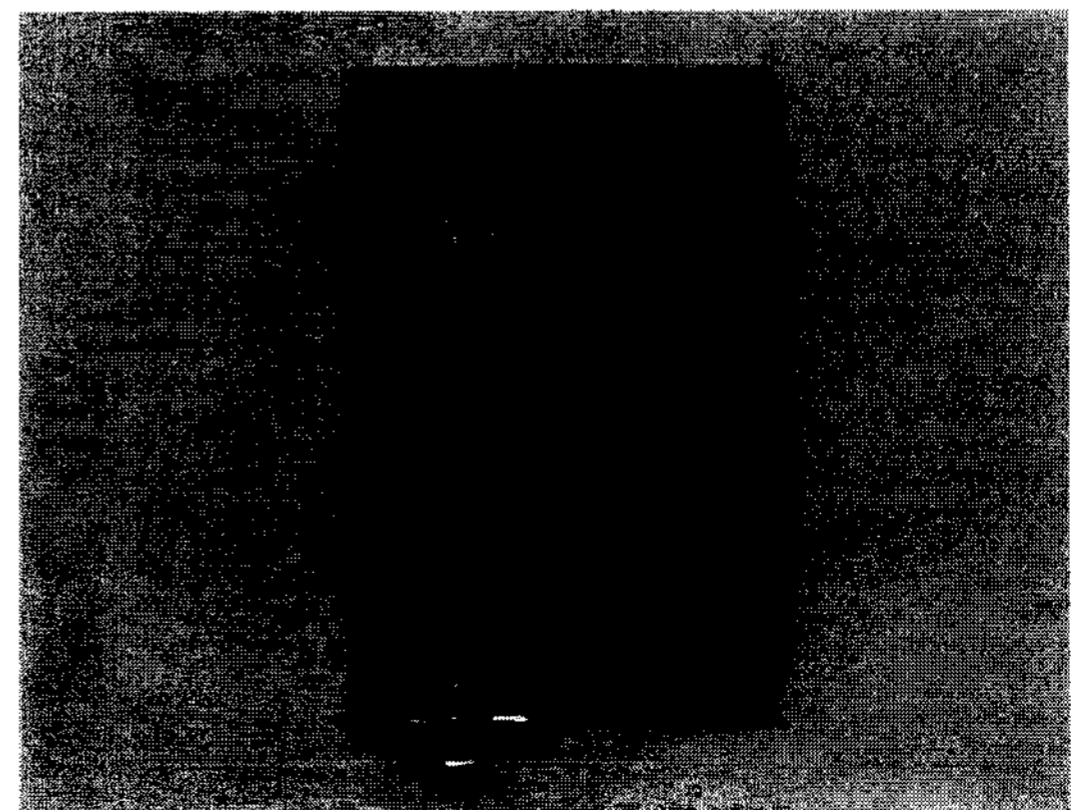


그림 5. 제작한 다중 권선 루프 안테나 사진
Fig. 5. Photograph of fabricated multi-turn circular loop antenna.

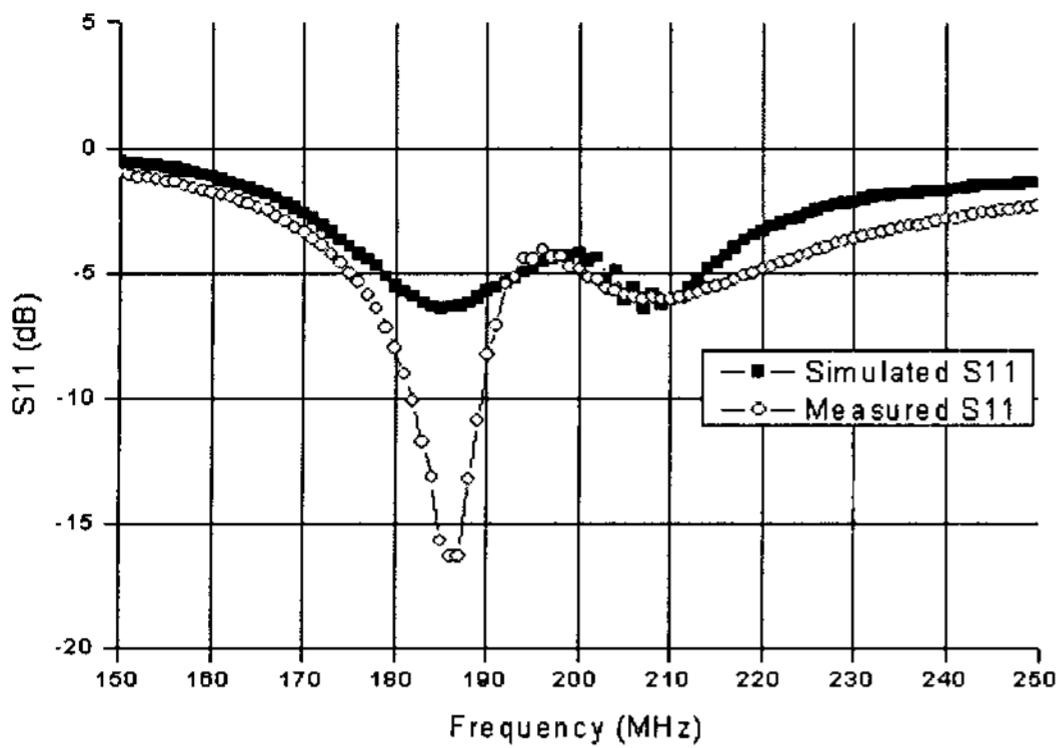


그림 6. 측정된 반사 손실
Fig. 6. Measured return loss(S_{11}).

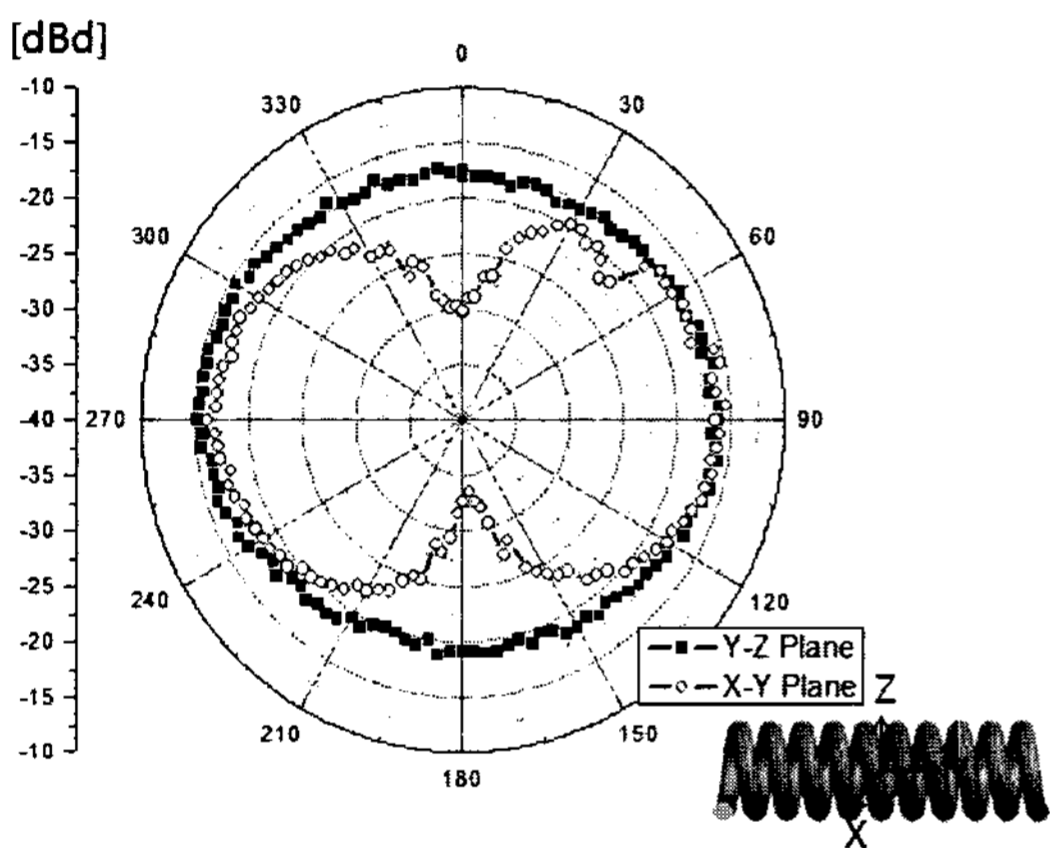


그림 7. 측정된 방사 패턴
Fig. 7. Measured radiation pattern.

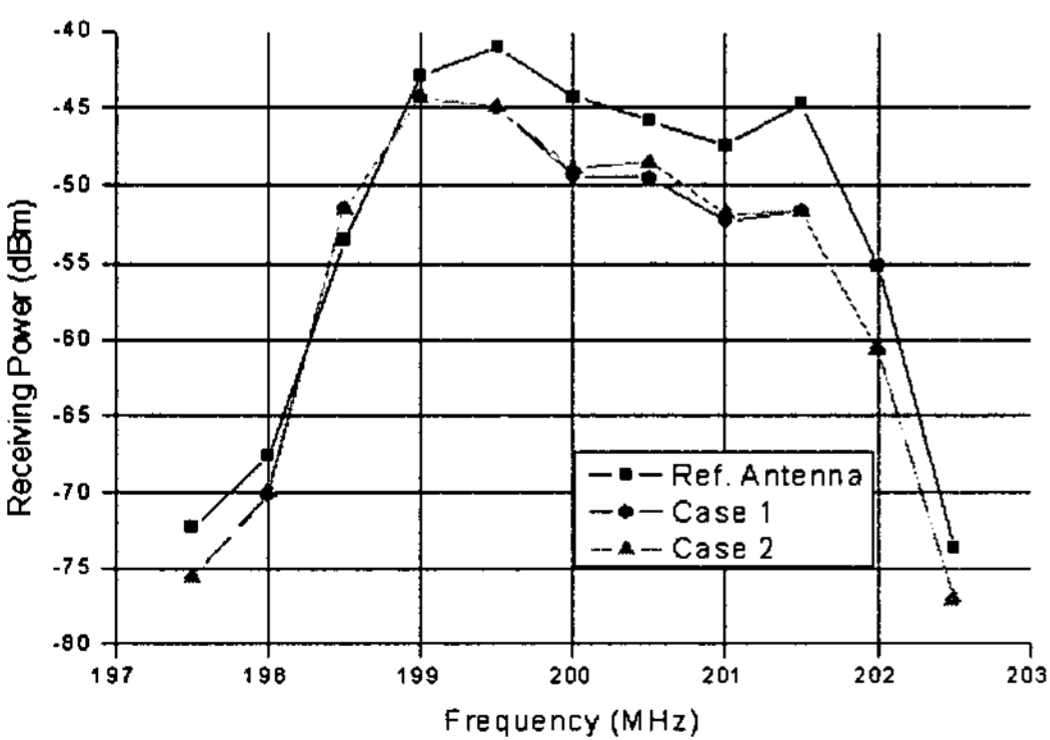


그림 8. 주파수에 따른 안테나 수신 전력
Fig. 8. Antenna receiving power versus frequency.

급전선의 길이를 두 배로 하여 측정하는 것이다.
수신 전력은 현재 송출중인 지상파 DMB 방송중

11번 채널을 자유 공간에서 HP사의 8593E 스펙트럼 분석기를 이용하여 수신 전력을 측정하였다. 그림 8에서 알 수 있듯이 제작된 안테나가 상용 안테나에 비해 수신 전력이 평균 5 dB 낮지만 상용 안테나와 비슷한 수신 능력을 가짐을 알 수 있다. 또한, case 1과 case 2를 비교해 보면 ground 크기와 급전선의 길이에 따라 수신 전력의 차이가 없음을 알 수 있다.

IV. 결 론

지상파 DMB용 안테나로서 단말기 내부에 장착할 수 있는 소형 안테나 개발을 위하여 다중 권선 loop 안테나 이론을 적용한 안테나를 설계 제작하였다. 제안된 안테나는 품질계수 Q 값이 1로 지상파 DMB 주파수 범위에서 높은 전달 함수 값을 갖는다.

제작된 안테나는 길이가 3 cm이고, 직경이 4 mm로 상용 안테나에 비해 소형이며, 지상파 DMB 주파수 대역 내에서 반사 손실 특성이 -4.4 dB 이하이고, 이득은 200 MHz에서 -15.25 dBd이다. 또한, 안테나 복사 특성과 수신 전력 특성은 상용 지상파 DMB 모노폴 안테나와 비슷함을 실험을 통해 확인하였다.

따라서 제작된 다중 권선 loop 안테나는 지상파 DMB 단말기 내부에 장착하여 사용하는 것이 가능하리라 기대한다.

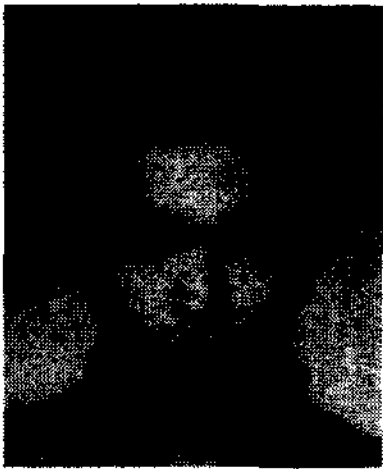
참 고 문 헌

- [1] Byungjun Bae, Young Ho Jeong, Young Kwon Hahm, Soo In Lee, and Kyu-Ik Sohng, "Development of T-DMB system for mobile multimedia broadcasting service", *Consumer Electronics*, pp. 401-402, Jan. 2005.
- [2] Yongjin Kim, Ick-Jae Yoon, and Youngeil Kim, "Inverted-F and Whip antenna combination for Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting(T-DMB) communication with notebook computer", *Microwave Conference*, pp. 1431-1433, Sep. 2006.
- [3] 이동현, 박세현, 김영일, 박위상, "단말기 T-DMB용 안테나로 사용될 수 있는 Open Stub를 가지는 소형 Two-Wire Helical 안테나", 한국전자과학회 논문지, 18(2), pp. 151-157, 2007년 2월.

[4] M. Kanda, "Standard probes for electro-magnetic filed measurements", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 41, no. 10, pp. 1349-1364, Oct.

1993.
[5] Richard C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, MacGrow Hill Inc., 1993.

손 원 국



2006년 2월: 충북대학교 전기전자 컴퓨터공학부 (공학사)
2006년 2월~현재: 충북대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나, 초고주파 회로 설계

최 익 권



1974년 2월: 서울대학교 자원공학과 (공학사)
1976년 2월: 서울대학교 자원공학과 (공학석사)
1986년 8월: 미국 오하이오 주립대학교 전자공학과 (공학박사)
1976년 3월~1979년 6월: 육군 3사관학교 교수부 물리학 교관
1982년 10월~1986년 8월: 미국 오하이오 주립대학교 Elected Science Laboratory 연구조교
1986년 9월~1987년 8월: 미국 메사추세츠 주립대학교 Antenna Laboratory 연구원
1987년 9월~1993년 8월: 한국전자통신연구원 이동통신연구단 전파공학연구실 실장
1993년 9월~1994년 2월: 전북대학교 정보통신공학과 조교수
1994년 3월~현재: 충북대학교 전기전자 컴퓨터공학부 교수
[주 관심분야] DBF 배열안테나, 위상배열 안테나, 휴대단말용 소형안테나