

휴대 단말기 내장형 5중 대역 칩 안테나 설계

A Design of Miniaturized Built-in Penta-Band Chip Antenna for Mobile Handset

최형철 · 김형훈* · 박종일 · 김형동

Hyeng-Cheul Choi · Hyung-Hoon Kim* · Jong-Il Park · Hyeong-Dong Kim

요 약

본 논문에서는 GSM850/GSM900/DCS/USPCS/WCDMA의 5개의 대역을 수용하는 휴대 단말기에 내장하여 사용할 수 있는 모노폴 칩 안테나를 제안하였다. 이 안테나는 휴대 단말기에 내장할 수 있도록 $8 \times 3.2 \times 20 \text{ mm}^3$ 의 부피를 가진다. 제안된 안테나의 소형화를 위해 FR-4 유전체($\epsilon_r=4.4$) 위에 나선형 패턴과 미연더 패턴을 사용하였다. 설계된 안테나는 상위 동작 대역에서 고조파 공진을 겹치게 함으로써 광대역 특성을 갖는다. 이 안테나의 측정된 VSWR 3:1내의 대역폭은 하위 공진 대역에서 150 MHz(1,030~1,180 MHz)이며, 상위 공진 대역에서 650 MHz(1,760~2,410 MHz)이다. 이 대역내의 방사효율은 모두 50 %를 넘기는 것으로 측정되었다. 안테나의 설계는 상용 프로그램인 HFSS를 이용하여 진행하였다.

Abstract

The novel internal monopole chip antenna of penta-band operation for GSM850/GSM900/DCS/USPCS/WCDMA bands for mobile phones is proposed. This antenna occupies a small volume $8 \times 3.2 \times 20 \text{ mm}^3$ and is suitable to be embedded in a mobile phone as an internal antenna. The minimization of the proposed antenna was realized by using spiral line structure and meander line structure on FR-4 of dielectric ($\epsilon_r=4.4$). The designed antenna has the wide-band operation in the upper band by overlapping high order resonances. The measured bandwidth of this antenna (VSWR >3) is 150 MHz(1,030~1,180 MHz) in the lower band operation and 650 MHz(1,760~2,410 MHz) in higher band operation. The measured radiation efficiency within bandwidth(VSWR 3:1) is over 50 %. The antenna has been designed by a commercial software HFSS.

Key words : Pent-Band Antenna, Chip Antenna, Spiral Antenna, Meander Antenna

I. 서 론

휴대 단말기 시장의 경쟁이 심화됨에 따라 더 좋은 디자인을 위해 휴대 단말기 외부의 안테나가 내부로 장착되게 되었다. 그로 인하여 휴대 단말기 안테나의 소형화 연구가 꾸준히 이루어졌으며, 현재에는 많은 내장형 안테나가 연구된 상태이다^[1]. 현재

휴대 단말기 사업은 내수뿐만 아니라 국외에서도 활발하게 진행되고 있기 때문에 한 번의 제품 개발로 여러 국가에서 판매할 수 있는 글로벌 로밍 폰에 대한 관심이 커지고 있다. 이 휴대 단말기는 제품의 튜닝 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있는 장점이 있지만 수용할 수 있는 대역이 많으므로 여러 개의 통신 대역을 수용할 수 있는 다중 대역 안테나를 사용

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음.(ITA-2006-(C1090-0602-0011))」

한양대학교 전자공학과(Department of Electronics & Computer Engineering, Hanyang University, hdkim@hanyang.ac.kr)

*광주여자대학교 웹디자인학과(Department of Web Design, Kwangju Women's University)

· 논문 번호 : 20061024-131

· 수정완료일자 : 2007년 3월 6일

해야만 한다. 최근 연구된 4중 대역(Quad-band) 이상에서 사용 가능한 내장형 안테나들은 대다수가 PIFA 형태이며, 이러한 구조의 안테나는 대역폭의 확보를 위해 휴대 단말기 기판으로부터 높게 장착되어야만 하는 단점이 있다^{[2],[3]}. 그러므로 얇은 형태의 핸드폰에 장착하기 위한 안테나를 개발하기 위하여 칩 형태의 초소형 다중 대역 안테나에 대한 연구들이 진행되고 있다. 현재까지는 유전체 위에 미앤더 패턴 혹은 나선형 패턴과 같은 형태를 이용한 초소형 2, 3중 대역 안테나가 많이 연구된 상태이다^{[4]~[6]}.

본 논문에서는 2중 대역 칩 안테나 기술을 활용하여 글로벌 로밍 폰 내부에 장착될 안테나를 제시하고자 한다. 제안된 안테나는 $8 \times 3.2 \times 20 \text{ mm}^3$ 의 크기로 휴대 단말기에 내장하기에 적절한 크기를 가지며, 대역폭은 정재파비 3 또는 반사 손실 -6.02 dB 를 기준으로 $150 \text{ MHz}(1,030 \sim 1,180 \text{ MHz})$, $650 \text{ MHz}(1,760 \sim 2,410 \text{ MHz})$ 두 개의 광대역을 가진다. 내장형 안테나를 사용하는 단말기는 최소 35~50% 이상의 방사효율을 가져야 상용화가 가능하므로 안테나 내부 손실과 실장 시 손실을 고려하였을 때 안테나로 최소 70% 이상의 전력이 들어가야만 사용이 가능하다. 그러므로 본 논문에서는 안테나의 정재파비 특성이 3 이하인 대역을 안테나의 대역폭으로 정의하였다.

제안된 안테나는 인쇄 회로 기판(PCB) 기술을 사용하여 저렴한 생산 가격, 제작 시간 단축, 여러 모델의 동시 생산 가능 등 다른 안테나에 비해 생산성이 높으며 표면실장(SMD) 형태로 제작되어 휴대 단말기에 장착이 용이하다는 장점을 갖는다. 제안된 안테나의 제작에는 FR-4 유전체($\epsilon_r=4.4$)를 사용했으며 미앤더 패턴과 나선형 패턴의 이중 공진을 이용하도록 설계된 가지 형태의 구조이다.

II. 본 론

2-1 병렬구조 안테나의 모델링

현재까지 개발된 칩 안테나들은 작은 크기를 가지지만 수용할 수 있는 대역은 3중 대역(triple-band) 이하인 것이 대부분이었다. 또한 공진 주파수 또한 GPS/PCS/WLAN과 같은 1.5 GHz 이상의 높은 주파수 대역들이 대부분이다^{[4],[5]}. 본 논문에서 제안된 안

테나처럼 작은 크기를 가지면서 GSM 대역과 같은 낮은 주파수에서 공진하는 안테나를 설계하기 위해서는 일반적으로 미앤더 구조를 이용하는 것이 효과적이다^{[6]~[8]}. 하지만 넓은 평면을 방사체로 이용하는 평면형 안테나(planar antenna)와 달리 소형 칩 안테나에서는 가는 패턴을 방사체로 이용하기 때문에 대역 확보에 다소 어려움이 있다^[9]. 그러므로 단일 협대역을 가지는 안테나에서는 다중 대역 혹은 광대역 확보를 위하여 가지 구조나 기생 소자를 이용하기도 한다^{[1],[10]}. 그러나 5중 대역을 수용하는 안테나를 설계하기 위해서는 단일 광대역이나 다중 협대역이 아닌 다중 광대역 특성을 얻어야만 한다.

소형 칩 안테나에서 가지 구조나 기생 소자를 사용할 경우, 각 방사체 사이가 가까워짐에 따라 상호 간섭 캐패시턴스의 값이 커지게 된다. 이 병렬 캐패시턴스의 값을 변화시키면 공진 주파수를 움직일 수 있는^[4] 장점이 있지만 일반적으로 안테나의 병렬 캐패시턴스 값이 커지면 기본 공진 주파수의 대역폭이 감소하게 되는 현상을 나타낸다. 이에 대한 이론적 접근을 위하여 가지 구조 또는 기생 성분을 이용한 소형 안테나의 모델링을 통한 입력 임피던스의 변화를 살펴보도록 하자. 그림 1의 실선 안에 있는 안테나를 낮은 공진 주파수를 가지는 안테나로, 점선 안에 있는 안테나를 광대역 또는 다중 대역 확보를 위해 추가적으로 구현된 안테나로 정의하였다.

실선 안의 안테나가 공진할 때 점선 안의 안테나는 공진하지 않으며 그 때 일반적인 모노폴 안테나의 입력 임피던스는 음의 허수부 값이 주요하므로 캐패시터로 등가 변환하여 나타낼 수 있다. 안테나

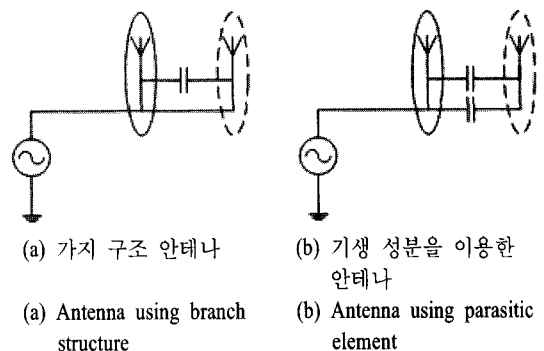


그림 1. 안테나 구조 도식
Fig. 1. Illustration of the structure of antenna.

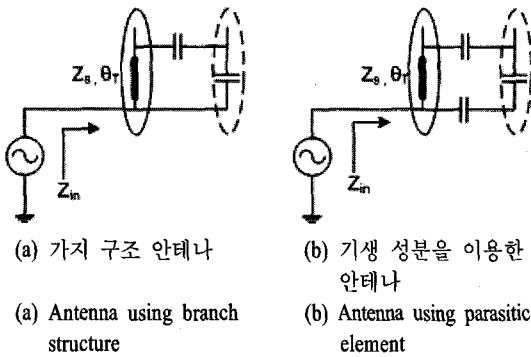


그림 2. 그림 1의 등가 모형
Fig. 2. Equivalent model of Fig. 1.

를 개방된 전송 선로로써 등가적으로 표현하면 그림 2와 같다.

그림 2에서 보면 실선 내의 안테나가 공진할 때까지 구조의 안테나와 기생 소자를 사용한 안테나에서는 점선 내의 안테나가 병렬 캐패시터로 보이게 된다. 그러므로 그림 2의 모형을 그림 3과 같은 간단한 등가 회로로 변환 가능하다.

일반적으로 안테나는 등가 회로로 표현하기 힘든 소자이며, 내장형 안테나처럼 패턴간의 간격이 가깝고 패턴의 구조가 매우 복잡한 경우 등가 회로로 완벽히 변환하는 것은 불가능하다. 그러나 본 절에서는 안테나 내부에서 발생하는 상호 간섭 캐패시터에 의한 안테나의 대역폭 또는 주파수의 변화를 관찰하기 위해 매우 단순한 모델을 바탕으로 해석을 진행하였다. 그림 3의 입력 임피던스 값을 구하는 과정은 참고문헌 [11]에 상세히 소개되어 있다. 그림 3에서의 입력 임피던스는 다음 식 (1)로 표현된다.

$$Z_{in} = \frac{jZ_s \sin \theta_r + \cos \theta_r / j\omega C_T}{-(1 - \cos \theta_r)^2 + j \sin \theta_r \times (jZ_s \sin \theta_r + 1 / j\omega C_T) / Z_s} \quad (1)$$

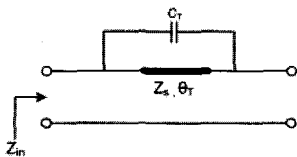


그림 3. 가지 구조 또는 기생 소자를 사용한 안테나의 등가 회로
Fig. 3. Equivalent circuit of antenna using branch structure or parasitic element.

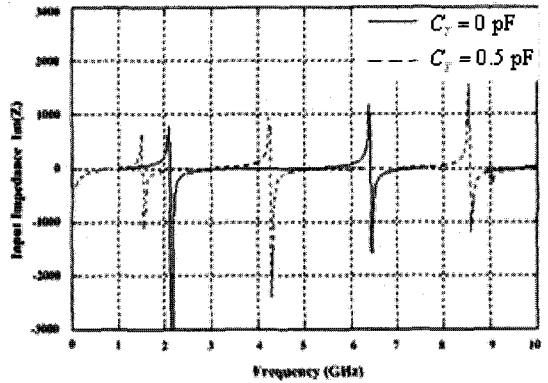


그림 4. $C_T=0$ pF(실선)과 $C_T=0.5$ pF(점선)일 때 입력 리액턴스의 변화
Fig. 4. Change of input reactance $C_T=0$ pF(solid line) $C_T=0.5$ pF(dashed line).

C_T 의 값을 0 pF에서 0.5 pF으로 변환하였을 때 입력 리액턴스 값의 변화를 그림 4를 통해 확인할 수 있다.

그림 4를 보면 안테나의 상호 간섭 캐패시터에 의하여 3차 공진 주파수가 하락하고 있는 것을 알 수 있다. 이를 이용하여 이중 대역 안테나를 설계할 수 있으나 캐패시터 값이 커짐에 따라 1.2 GHz 공진에서의 입력 리액턴스 값의 변화가 커지게 되므로 기본 공진 주파수에서의 대역폭 감소가 일어나게 된다. 그러므로 다음 절에서는 대역폭의 감소를 최소로 하는 이중 광대역 안테나를 제안하고자 한다.

2-2 소형 칩 안테나 설계

GSM850/GSM900/DCS/USPCS/WCDMA(824~960 MHz/1,710~2,170 MHz)의 5개의 대역을 수용하는 안테나는 1 GHz와 2 GHz 근처에서 광대역 특성을 가져야 한다. 그러나 크기가 제한된 상황에서 효과적으로 공진 주파수를 낮추기 위해 위하여 미앤더 패턴 구조를 사용하였다^[7]. 그러나 주어진 높이 상에서 매우 많은 미앤더 패턴 단을 사용하면 우리가 원하는 만큼 선형적으로 공진 주파수를 떨어뜨릴 수가 없으며, 이 때 대역폭 감소 또한 발생하게 되므로^[8] 낮은 주파수 대역에서 대역폭을 확보하기 위해서는 안테나의 크기를 무조건 줄일 수는 없다. 그러므로 안테나의 상품성과 성능을 고려하여 안테나의 높이를 20 mm로 제한하여 설계하였다.

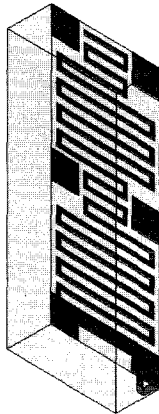
그림 5는 높이 20 mm를 가지는 미앤더 안테나이며, 안테나 패턴 근처에 6개의 정사각형 모형(2×2 mm²)은 안테나의 공진에는 직접적으로 관여하지 않는 표면 실장(SMD)을 위한 패드이다. 이 안테나는 980~1,110 MHz와 2,100~2,190 MHz에서 공진하는 이중 대역 안테나이다.

그림 5의 이중 대역 안테나는 GSM 대역용으로 사용할 수 있지만 2 GHz 근처의 대역이 협대역이기 때문에 광대역 특성을 얻을 수 있도록 설계해야 한다. 그러나 2-1절에서 살펴보았듯이 광대역 특성을 얻기 위해 다중 공진을 이용할 경우, 안테나 내부에서 발생하는 상호 간섭 캐패시턴스가 커지게 되어 안테나의 기본 공진 대역이 좁아지게 되는 문제점이 있다. 이 현상은 그림 5의 안테나에 간극 급전(gap

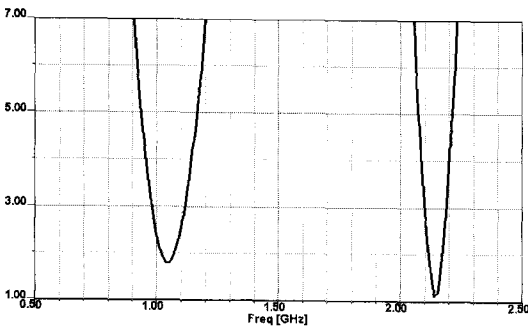
feeding) 방식을 사용하여 다중 공진을 특성을 얻도록 설계된 그림 6의 안테나를 통해 재차 증명될 수 있다. 그림 5와 그림 6의 기본 공진 주파수 대역폭의 변화량을 표 1에 정리하였다.

표 1의 결과 값을 살펴보면 일반적인 미앤더 구조의 안테나는 기본 공진 주파수에서 130 MHz(12.4%)의 대역폭을 가지는 반면 간극 급전을 이용하여 다른 미앤더 패턴을 추가로 구현하였을 경우 기본 공진 대역에서의 대역폭은 60 MHz(6.8%)로 약 6%가량의 대역폭 감소가 일어남을 볼 수 있다. 비록 고차 공진 주파수 대역의 대역폭은 다소 확보되었지만 GSM 대역을 수용할 수 없는 안테나가 되어 5중 대역 안테나로는 부적절함을 알 수 있다.

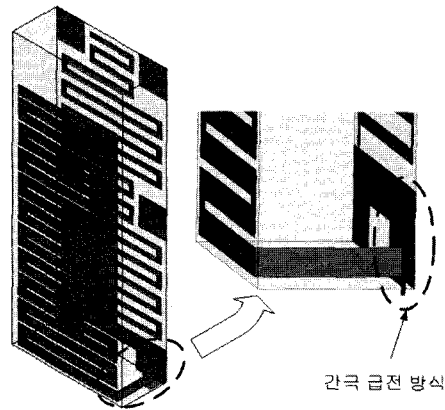
그러므로 본 논문에서는 상호 간섭 캐패시턴스를



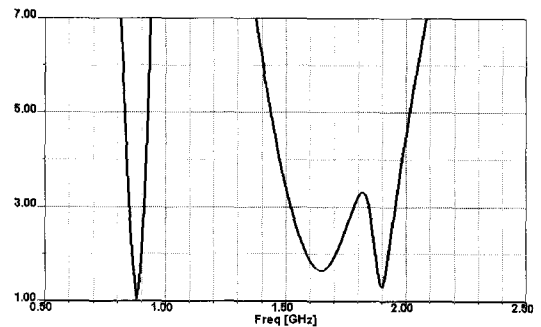
(a) 전반적 도시
(a) Overall figure



(b) VSWR 그래프
(b) VSWR graph



(a) 전반적 도시
(a) Overall figure



(b) VSWR 그래프
(b) VSWR graph

그림 5. 미앤더 구조를 이용한 이중 대역 안테나
Fig. 5. Dual-band antenna using meander structure.

그림 6. 간극 급전을 이용한 이중 대역 안테나
Fig. 6. Dual-band antenna using gap feeding.

표 1. 그림 5와 그림 6의 안테나 대역폭의 비교
Table 1. Comparison with bandwidth of antenna at Fig. 5 and Fig. 6.

안테나 종류	대역폭 (MHz)	대역폭 (%)
미앤더 안테나	980~1,110	12.4 %
간극 급전 안테나	850~910	6.8 %

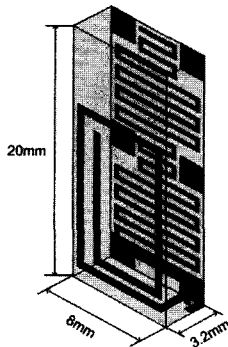
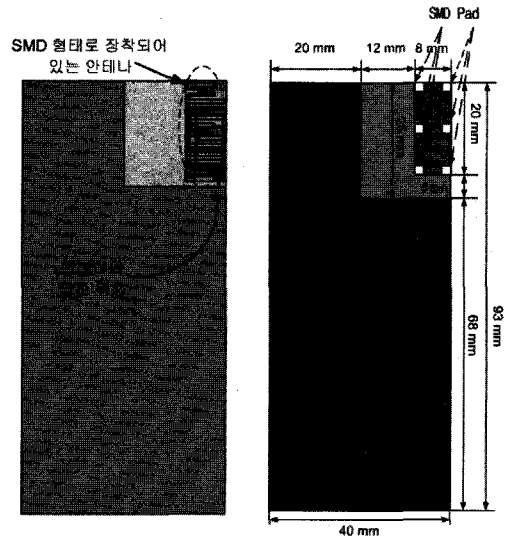


그림 7. 제안된 안테나의 구조
Fig. 7. Structure of the proposed antenna.

줄이기 위하여 그림 7과 같은 미앤더 패턴과 나선형 패턴을 이용한 가지형 구조의 안테나를 제작하였다. 그림 7은 안테나의 전체 구조를 보여주고 있는데 안테나 두 개의 구조는 via로 연결되어 있으며 인쇄 회로 기판(PCB)상의 원형 via를 등가 모형으로 변환시켜 나타내었다^[9].

그림 8에서는 제작된 안테나의 시뮬레이션 조건과 실제 장착될 테스트 기판의 세부 규격을 나타내었다. 일반적으로 안테나가 장착되는 휴대 단말기의 기판 크기가 커짐에 따라 안테나의 대역폭이 넓어지는 이점이 있으나^[12] 본 논문에서는 현재 판매되어지고 있는 휴대 단말기의 크기에 기초하여 테스트 기판의 규격을 정하였다.

그림 9(a)를 보면 나선형 구조의 안테나는 미앤더 구조 안테나에 비하여 기본 공진 주파수 대역의 대역폭이 좁은 단점이 있으나 고조파 공진 주파수의 대역폭이 미앤더 구조보다는 넓다는 장점이 있음을 알 수 있다. 그림 9(b)의 미앤더 구조의 안테나는 나선형 구조의 안테나와는 반대로 기본 공진 주파수의 대역폭이 넓고 고조파 공진 주파수의 대역폭이 좁음을 알 수 있다. 5중 대역 안테나를 위해서는 고조파



(a) 시뮬레이션 상의 구조 (b) 세부 형태
(a) Structure at simulation (b) Specific geometry

그림 8. 테스트 기판의 도시
Fig. 8. Illustration of test board.

표 2. 그림 9의 안테나 대역폭의 비교
Table 2. Comparison with bandwidth of antenna at Fig. 9.

안테나 종류	대역폭 (MHz)	대역폭 (%)
(b)	980~1,110	12.4 %
(c)	1,100~1,240	11.9 %

공진 주파수의 대역폭이 더 넓어져야만 하며, 그림 9(a), (b)의 고조파 공진을 결합하여 광대역 특성을 얻을 수 있음을 그림 9(c)를 통하여 확인할 수 있다.

표 2는 그림 9(b)와 (c) 안테나의 1 GHz 근처에서의 대역폭을 정리하여 표시한 것으로써 미앤더 구조와 나선형 구조를 이용하는 방법이 간극 급전을 이용한 두 개의 미앤더 구조에서 나타났던 기본 공진 주파수의 대역폭 감소 줄일 수 있는 하나의 해결책이 될 수 있음을 보여준다. 비록 그림 9(c)에서 나선형 구조의 기본 공진 주파수 대역이 두 개의 다른 구조를 결합하면서 700 MHz 부근으로 이동하긴 하였으나, 미앤더 구조의 기본 공진 대역을 이용하여 GSM 대역을 충분히 수용할 수 있으며 고차 공진 주파수 대역에서 광대역 특성을 얻었으므로 제안된 안테나를 5중 대역 안테나로 활용할 수 있다.

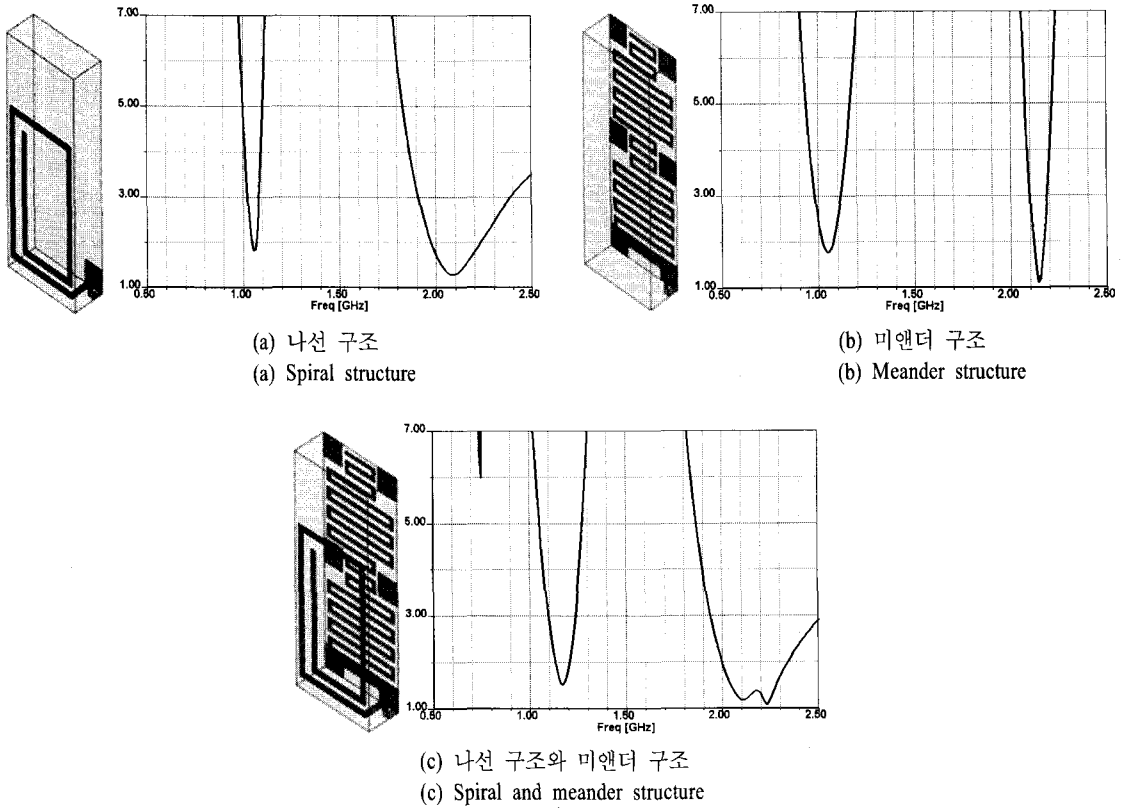


그림 9. 각 구조의 형태와 VSWR
Fig. 9. Geometry and VSWR of each structure.

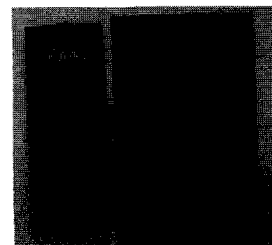
III. 제작한 안테나 및 측정 결과

3-1 안테나 제작

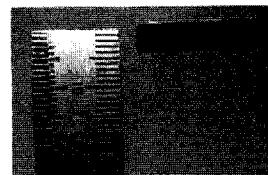
앞 절에서 설계한 안테나를 인쇄 회로 기판 기법을 사용하여 제작한 모습을 그림 10에 나타내었다. 제작된 안테나는 비유전율 4.4(F/m)인 FR-4 물질을 사용하였으며, 안테나의 윗 평면과 아래 평면에 구리 재질의 방사 패턴을 구현하였다. 안테나의 가로, 세로, 두께는 각각 8, 20, 3.2 mm이다.

PCB 기술을 이용하면 그림 11에서와 같이 다양한 공진 특성을 갖는 모델을 한 번에 생산할 수 있어 제품 개발 시간을 줄일 수 있으며 저렴한 가격에 안테나를 생산할 수 있다.

그림 12는 동축 케이블 이용하여 테스트 기판에 표면 실장된 안테나를 네트워크 분석기로 측정할 수 있게 제작한 모습이다. 제작된 테스트 기판의 세



(a) 정면
(a) Front



(b) 측면
(b) Side

그림 10. 제작된 안테나
Fig. 10. Manufactured antenna.

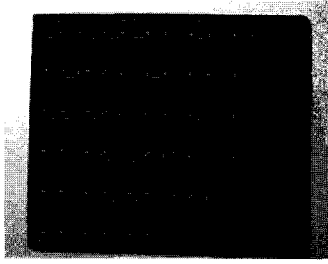


그림 11. 인쇄 회로 기판 기법으로 제작된 안테나
Fig. 11. Antennas manufactured by PCB technology.



그림 12. 테스트 기판에 장착된 안테나
Fig. 12. Installation of designed antenna to test jig.

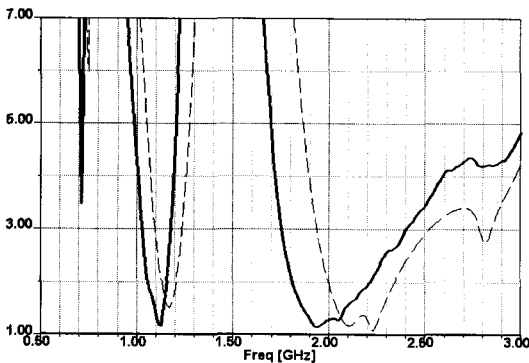


그림 13. 안테나의 측정된 VSWR 값(실선)과 시뮬레이션 상의 VSWR 값(점선)
Fig. 13. Measured(solid line) and simulated (dashed line) VSWR of the proposed antenna.

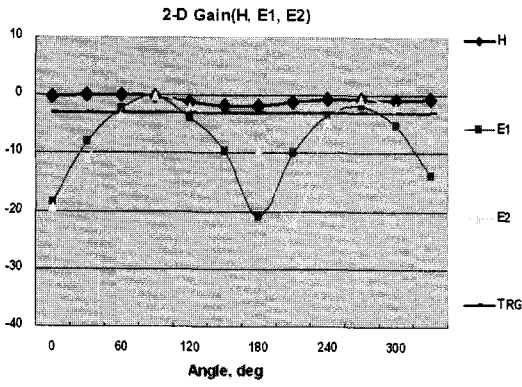
부 규격은 그림 8(b)과 같으며 전체 크기는 $40 \times 93 \text{ mm}^2$ 이다. 기판 내에 그라운드만의 넓이는 약 $3,000$

mm^2 으로 현재 판매되고 있는 휴대 단말기와 비슷하다.

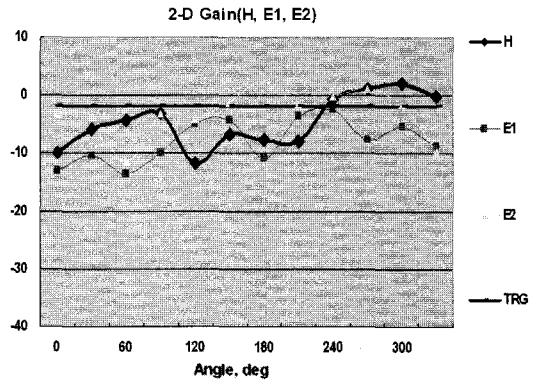
그림 13에서는 그림 9의 안테나의 시뮬레이션 VSWR 값을 추출하여 측정 안테나의 VSWR 값과 비교하였다. 그림 12를 통하여 안테나를 실제 제작하였을 경우, 공진 주파수가 $100 \sim 200 \text{ MHz}$ 정도 하락하게 되나 실제 측정값과 시뮬레이션 값의 경향이 일치함을 확인할 수 있다. 측정 결과 제안된 안테나의 대역폭은 기본 공진 주파수 대역에서 150 MHz ($1,030 \sim 1,180 \text{ MHz}$)이며 고차 공진 주파수 대역에서 650 MHz ($1,760 \sim 2,410 \text{ MHz}$)이다. 측정 대역은 안테나가 수용하고자 하는 GSM 대역과 DCS 대역보다 다소 높으나 실제 핸드폰에 실장 시 많은 주파수 하락이 존재하므로 사용 주파수 대역보다 다소 높은 대역에서 공진하게 설계할 필요가 있다^[13]. 또한 핸드폰에 실장할 경우, 핸드폰 케이스에 의한 공진 주파수의 하락뿐만 아니라 안테나 주변의 부품들에 의해 안테나의 입력 임피던스 값이 변화하게 되는데, 이때 일반적으로 안테나의 입력 저항을 상승시키기 위해서 병렬 인덕터로 매칭을 하게 된다. 이 매칭의 결과로 GSM 대역폭이 확보되고 동시에 공진 주파수가 하락하게 되므로 제안된 안테나처럼 테스트 기판 상에서 사용 주파수보다 다소 높은 주파수에서 공진 할 수 있도록 설계해야만 한다.

그림 14와 그림 15는 1 GHz 대역과 2 GHz 대역에서의 공진 시작 지점, 중간 지점, 끝 지점에서의 측정된 각각의 방사 패턴을 나타내었다. 그림 15를 통하여 2 GHz 대역에서 고차 공진에 의한 많은 엽(Lobe)이 발생됨을^[14] 볼 수 있다. 그러나 휴대 단말기는 전파를 특정 방향에서 수신하는 것이 아니므로 대역내의 방사효율 값이 중요한 요인이 된다.

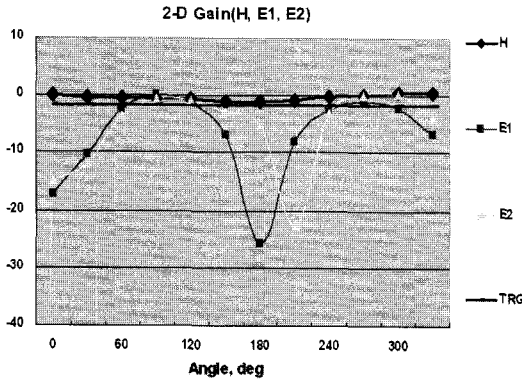
그림 14와 15에서 TRG(Total Radiated Gain) 값을 표기하였는데, 이는 각 주파수에서 E1, E2, H-plane에서의 이득을 종합한 총 이득을 나타낸 것이며, 방사효율을 나타내는 지표가 된다. 여기서 E1, E2-plane은 안테나의 접지면에 각각 수직, 수평인 평면을 의미한다. 이 값들을 정리하여 표 3에 표기하였다. 이 표를 통하여 제안된 안테나는 VSWR 3:1 이하의 대역 내에 방사효율이 최소 50%를 넘음을 확인할 수 있다.



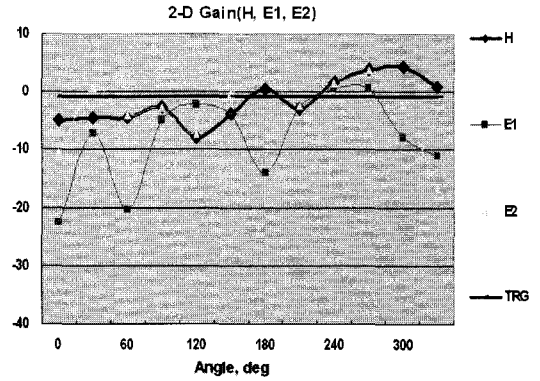
(a) 1,030 MHz



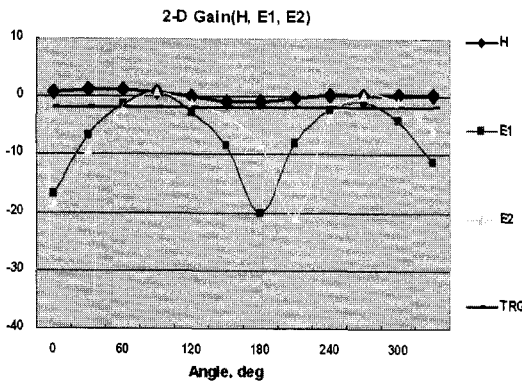
(a) 1,760 MHz



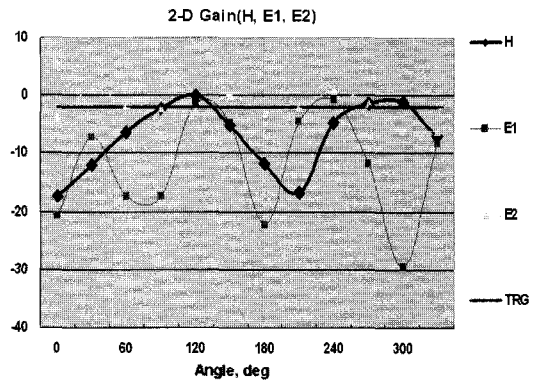
(b) 1,105 MHz



(b) 2,085 MHz



(c) 1,180 MHz



(c) 2,410 MHz

그림 14. 1 GHz 대역에서 측정된 방사 패턴
Fig. 14. Measured radiation efficiency around 1 GHz.

그림 15. 2 GHz 대역에서 측정된 방사 패턴
Fig. 15. Measured radiation efficiency around 2 GHz.

IV. 결 론

본 연구에서는 미앤더 패턴과 직각 나선형 패턴을 이용한 가지형 구조의 이중 광대역 모노폴 칩 안테나를 제작하였다. 제안된 안테나는 기본 공진 주파수의 손실의 최소화와 고차 공진 주파수의 다중 공진을 통하

여 5중 대역 안테나 설계에 필요한 이중 광대역 특성을 얻을 수 있었다. 설계된 안테나는 PCB 공법을 이용하였으며 표면 실장형(SMD type)으로 제작하여 양상성과 실장성을 모두 향상시켰다. 그러므로 이 안테나는 현재 많은 기업에서 연구 개발 중인 글로벌 로밍 폰에 장착되어 사용 가능할 것으로 예상된다.

표 3. 제안된 안테나의 방사효율

Table 3. The radiation efficiency of the proposed antenna.

(a) 1 GHz 주파수 대역

(a) Around 1 GHz

	Start	Center	Stop
Frequency (MHz)	1,030	1,105	1,180
Efficiency (dB)	-2.98	-1.91	-2.54
Efficiency (%)	50.37	64.42	55.74

(b) 2 GHz 주파수 대역

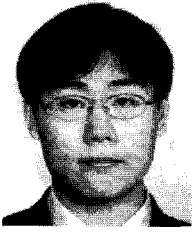
(b) Around 2 GHz

	Start	Center	Stop
Frequency (MHz)	1,760	2,085	2,410
Efficiency (dB)	-1.56	-1.33	-2.45
Efficiency (%)	69.75	73.58	56.85

참 고 문 헌

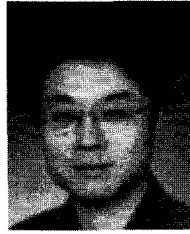
- [1] Kin-Lu Wong, *Planar Antenna for Wireless Communication*, New York, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] Yong-Xin Guo, M. Y. W. Chia, and Zhi Ning Chen, "Miniature built-in multiband antennas for mobile handsets", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 52, no. 8, pp. 1936-1944, Aug. 2004.
- [3] D. M. Nashaat, H. A. Elsadek, and H. Ghali, "Single feed compact quad-band PIFA antenna for wireless communication applications", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 53, no. 8, part 2, pp. 2631-2635, Aug. 2005.
- [4] Young-do Kim, Myoung-seok Kim, Ho-yong Kim, and Hong-min Lee, "Dual-band chip antenna using LTCC multilayer technology for mobile communication applications", *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004 IEEE*, vol. 3, pp. 3115-3118, Jun. 2004.
- [5] Hao-Chun Tung, Wen-Shyang Chen, and Kin-Lu Wong, "Integrated rectangular spiral monopole antenna for 2.4/5.2 GHz dual-band operation", *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2002 IEEE*, vol. 3, pp. 496-499 Jun. 2002.
- [6] Yong-an Lee, Hyung-jun Lim, and Hong-min Lee, "Triple-band compact chip antenna using coupled meander line structure for mobile RFID/PCS/Wi-Bro", *Antennas and Propagation Society International Symposium 2006, IEEE 9-14*, pp. 2649-2652, Jul. 2006.
- [7] S. R. Best, J. D. Morrow, "Limitations of inductive circuit model representations of meander line antennas", *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2003 IEEE*, vol. 1, pp. 852-855, Jun. 2003.
- [8] S. R. Best, "A comparison of the performance properties of the Hilbert curve fractal and meander line monopole antennas", *Microwave opt. Tech. Lett.*, vol. 35, no. 4, pp. 258-262, Nov. 2002.
- [9] C. A Balanis, *Antenna Theory 3/E-analysis and Design*, Chap. 9, New York, John Wiley And Sons, 2004.
- [10] Zhi Ning Chen, Michael Y. W. Chia, *Broadband Planar Antennas: Design and Applications*, Hoboken, NJ, John Wiley And Sons, 2005.
- [11] Mitsuo Makimoto, Sadahiko Yamashita, *Microwave Resonators and Filters for Wireless Communication*, Chap. 4, New York, Springer Verlag, 2000.
- [12] J. Villanen, J. Iikainen, O. Ivekka, and P. Vainikainen, "Coupling element based mobile terminal antenna structures", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 54, no. 7, pp. 2142-2153, Jul. 2006.
- [13] Dong-Uk Sim, Seong-Ook Park, "The effects of the handset case, battery, and human head on the performance of a triple-band internal antenna", *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004 IEEE*, vol. 2, pp. 1951-1954, Jun. 2004.
- [14] C. A Balanis, *Antenna Theory 3/E-analysis and Design*, Chap. 4, New York, John Wiley & Sons, 2004.

최 형 철



2000년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터공학부 (공학사)
2007년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 (공학석사)
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

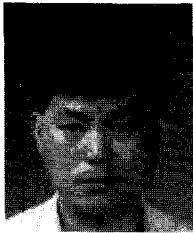
박 중 일



1987년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1995년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
1999년~현재: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 부교수

[주 관심분야] 전자기 컴퓨터 모델링

김 형 훈



1986년 2월: 전남대학교 전산학과 (공학사)
1988년 2월: 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
2007년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 (공학박사)
1994년 9월~현재: 광주여자대학교

교수

[주 관심분야] 전자기 컴퓨터 모델링

김 형 동



1984년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 5월: 텍사스 오스틴 주립대학교 (공학박사)
1992년 6월~1993년 1월: 텍사스오스틴 주립대학교 Post. Doc. Fellow

1993년 3월~현재: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 교수
[주 관심분야] 컴퓨터 전자기 모델링, 마이크로파 공학, 안테나 설계 및 해석