

다중 대역 이동 통신 단말기용 내장형 루프 안테나 설계

Design of a Internal Loop Antenna for Multi-band Mobile Handset Applications

이영중 · 이진성 · 정병운 · 박면주 · 이병제

Young-Joong Lee · Jin-Sung Lee · Byungwoon Jung · Myun-Joo Park · Byungje Lee

요 약

본 논문에서는 4중 대역 이동 통신 단말기에서 사용할 수 있는 내장형 안테나를 설계, 제작하였다. 안테나의 동작 주파수 대역은 GSM(880 MHz~960 MHz), GPS(1,575 MHz±10 MHz), DCS(1,710 MHz~1,880 MHz) 그리고 US-PCS(1,850 MHz~1,990 MHz) 등을 포함한다. 제안된 안테나는 하나의 급전과 단락 그리고 접혀진 루프 형태의 방사체로 구성되어 있으며 루프형 방사체에 형성되는 기본 모드와 고차 모드들을 이용하여 다중 대역 특성을 만들었다. 안테나에서는 모드별 공진 주파수 조절을 위해 방사체의 특정 부분에 전류 분포 분석을 바탕으로 각기 다른 크기의 슬롯을 삽입하였고, 전방향성 방사 패턴 특성을 위해 방사체의 구조를 좌우 대칭형의 접혀진 루프 형태로 설계하여 방사체에 대칭적인 에너지 분포를 가지게 하였다. 제안된 안테나는 대역폭 향상을 위해 안테나의 아랫부분의 접지면을 제거하였으며 제작된 안테나의 측정된 임피던스 대역폭은 GSM 대역에서 정제파비 2.5 : 1 기준으로 10.1 %이고, GPS 대역 및 DCS/US-PCS 대역에서 정제파비 2.5 : 1 기준으로 26.8 % 이다. 안테나의 수평면 방사 패턴 최대 이득은 전 대역에서 -0.37 dBi~2.55 dBi로 측정되었다.

Abstract

In this paper, the quad-band antenna for mobile handsets is proposed and developed. The operating frequency bands include GSM(880 MHz~960 MHz), GPS(1,575 MHz±10 MHz), DCS(1,710 MHz~1,880 MHz), and PCS(1,850 MHz~1,990 MHz). The proposed antenna consists of a feed line, a shorting post, and a radiating element of the folded loop. The multi-band operation is achieved by using the fundamental and higher resonant modes of the radiating element. Based on analysis of the current distribution on the radiator, the resonant frequency of each mode can be adjusted by adding the different sizes of slots on the radiator. The radiator of the folded loop is designed to be symmetrical so that the energy is symmetrically distributed on the radiator, which results in omni-directional radiation pattern. The ground plane under the radiator is removed in order to improve the bandwidth. The measured impedance bandwidths are 10.1 % in GSM band(VSWR<2.5), 26.8 % in GPS band, and DCS/US-PCS bands(VSWR<2.5), respectively. The maximum gains on the H-plane of the fabricated antenna are measured about -0.37 dBi~2.55 dBi for all operating frequency bands.

Key words : Quad-Band, Antenna, Internal Antenna, Loop Antenna, Multi-Mode

I. 서 론

90년대 이후 통신시장의 성장으로 세계 여러 지

역에 다양한 대역의 서비스들이 생겨나게 되었다. 이에 따라 지역에 관계없이 단일 단말기로 다양한 통신망을 사용할 수 있는 로밍 서비스가 확산되었

「이 논문은 2005년도 광운대학교 연구년에 의하여 연구되었음.」

광운대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Kwangwoon University)

· 논문 번호 : 20050607-062

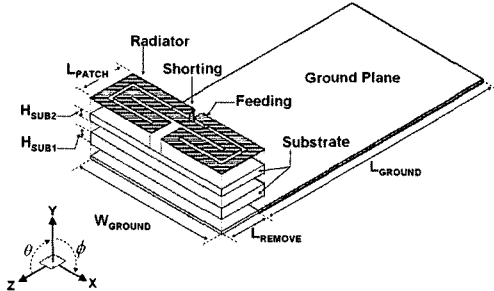
· 수정완료일자 : 2005년 7월 25일

고, 다중 대역 특성을 고려한 단말기들이 생산되기 시작하였다. 최근에 들어 다중 대역 단말기 시장의 급격한 성장으로 다중 대역 특성을 지닌 단말기 안테나의 필요성이 대두되었다. 내장형 안테나에서 다중 대역 특성을 형성하는 다양한 연구가 이미 진행되었다^[1]. 그 방법들은 크게 다중 모드를 형성하는 방법, 다중 방사체를 사용하는 방법 그리고 다중 급전을 하는 방법들이 있다. 각 방법들의 특징으로 다중 방사체를 사용하는 방법은 다중 공진을 개별적으로 조절할 수 있다는 장점이 있으나, 각 방사체별 간섭이나 연결 구조 등의 해석이 복잡하고 많은 대역을 커버하기 위해 많은 방사체를 배치해야 하는 문제가 안테나의 크기를 증가시키는 단점이 있다. 다중 급전의 경우 각각의 공진 특성(대역폭, 반사계수 등)을 조절하기는 용이하나 이 방법 역시 대역의 수가 증가하면서 안테나의 크기나 각 포트간의 간섭 등이 심각한 문제가 될 수 있다. 이에 반해 다중 모드를 형성하는 방법은 동일한 방사체에서 여러 개의 공진을 만들어 내는 방법으로 사이즈나 밴드별 간섭 문제는 적으나 대역별 조절이 힘들고, 고차 모드에서 필드의 방향이 틀어지며, 특정 대역의 대역폭이 좁을 수 있다는 단점이 있다. 본 논문에서는 다중 모드와 대칭형 구조를 이용한 다중 대역 내장형 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 3개의 모드를 이용하여 4중 대역을 커버하는 루프 타입의 안테나로서 모드 별 주파수 조절이 가능하고, 전 대역 전방향성 방사패턴을 형성할 수 있는 장점이 있다.

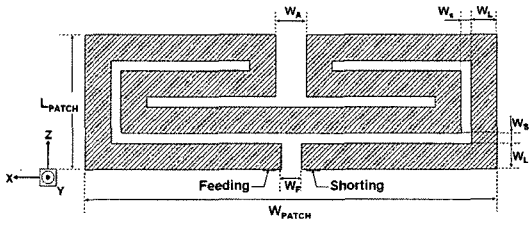
제안된 안테나의 설계는 상용 시뮬레이션 툴인 Ensemble 5.1과 IE 3D를 사용하여 검토하였으며 대역별 주파수 조절에 대한 결과도 비교하였다. 제작된 안테나는 Agilent社의 E5071B와 anechoic chamber로 측정하였다.

II. Prototype 안테나 구조 및 분석

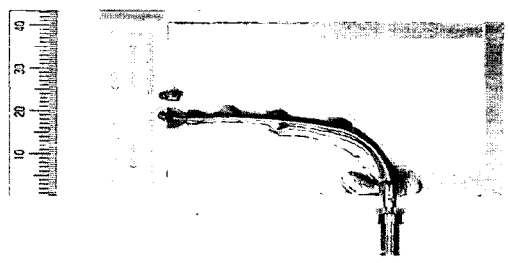
본 논문에서 제안한 프로토타입 안테나는 그림 1에서와 같이 급전부, 단락점 그리고 접혀진 루프형의 스트립으로 구성된다. 접지면의 크기는 40 mm × 80 mm로 상대 유전율 4.7, 두께 1 mm의 FR4 기판을 사용하였고 방사체의 아래 부분은 제거된 형태이다. 이는 방사체의 전기적 부피를 증가시키는 효과



(a) 프로토타입 안테나의 구조
 (a) Geometry of the prototype antenna
 (L_{PATCH} : 13 mm, L_{GROUND} : 69 mm, W_{GROUND} : 40 mm, L_{REMOVE} : 11 mm, H_{SUB1} : 2 mm, H_{SUB2} : 3 mm)



(b) 방사체의 구조
 (b) Geometry of radiator
 (L_{PATCH} : 13 mm, W_{PATCH} : 40 mm, W_L : 2.5 mm, W_S : 1 mm, W_A : 3 mm, W_F : 2 mm)



(c) 프로토타입 안테나의 실물도
 (c) Photograph of prototype antenna

그림 1. 프로토타입 안테나의 구조와 실물도
 Fig. 1. Geometry of the prototype antenna and photograph.

로서 안테나의 성능 향상에 대한 연구가 진행된 바 있었다^[2].

방사체 아래 부분의 유전체는 상대 유전율 4.7, 두께 2 mm의 FR4를 사용하였고, 그 아래 부분은 상대 유전율 1.07, 두께 3 mm의 폼을 사용하였다. 안테나

에서 방사체를 이루고 있는 루프의 폭은 2.5 mm로 동일하고, 스트립과 스트립 사이의 간격도 1 mm로 동일하다. 루프를 모두 펼쳤을 때의 길이는 대략 160 mm로 유효 유전율을 고려하여 계산하면 약 920 MHz 대역에서 반 파장의 길이를 가진다. 프로토 타입 안테나는 방사체의 인접한 곳에 접지면이 있어 급전과 단락을 통해 unbalanced current가 여기되고, 영상 이론에 의해 기본 모드가 반 파장인 루프 안테나로서 동작을 하게 된다^{[3][4]}. 1차 고차 모드는 방사체의 전체 길이를 1파장으로 공진하는 모드로서 단락과 급전에서 전류가 한 방향으로 흐르는 balanced current가 여기되어 일반적인 루프 안테나와 같이 동작하게 된다. 2차 고차 모드의 경우 기본 모드의 3배 수 주파수를 가지는 모드로서 방사체에 다시 unbalanced current가 여기되는 모드이다. 프로토 타입 안테나의 경우 사각형의 루프를 측면을 굽혀 안쪽으로 접은 형태의 구조로서 이러한 공정을 통해 기본 모드의 공진 주파수는 올라가게 되고 상대적으로 측면에 전류의 분포가 적은 1차 고차 모드에서는 공진 주파수의 변화가 작다. 그리고 2차 고차 모드에서는 상대적으로 전류가 밀집한 부분이 많이 접히게 되어 루프의 전기적 길이는 늘어나게 되고, 공진 주파수는 낮아지게 된다. 그림 2는 프로토 타입 안테나의 리턴 로스에 대한 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교한 것이다. 기본 모드의 공진 주파수는 1,120 MHz이고 정재파비 2.5 : 1 기준으로 비 대역폭 약 10.3 %를 얻었다. 그리고 1차 고차 모드와 2차 고차 모드의 공진은 1,785 MHz와 2,210 MHz의 공진 주파수를 가지고 대역폭은 정재파비 2.5 : 1 기준으로 두

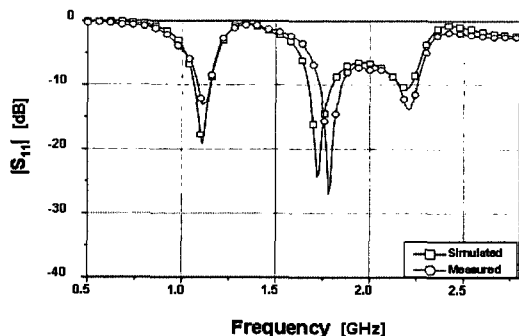
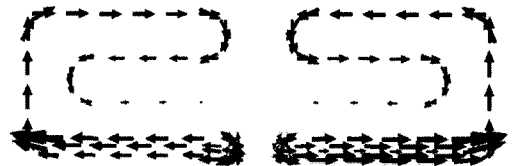


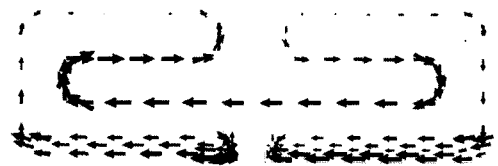
그림 2. 프로토 타입 안테나의 반사 손실
Fig. 2. Return loss of the prototype antenna.

공진의 사이 대역을 모두 만족시켜 29.1 %의 비 대역폭을 갖는다.

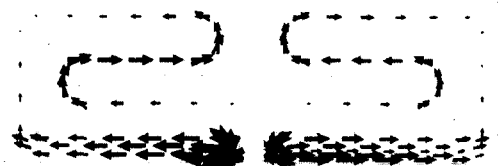
그림 3은 각 모드별 전류분포를 나타낸 그림이다. 기본 모드에서 전류 분포는 급전과 단락에서 가장 많은 전류 분포를 가지고 루프의 중심에서 전류 분포가 최소가 되며 전계의 최대점이 형성됨을 알 수 있다. 1차 고차 모드의 경우 급전과 단락에서 전류의 방향이 한 방향이 되며 1파장의 길이를 갖는 루프 안테나의 공진 형태를 확인할 수 있다. 이와 같은 모드에서는 안테나의 전계 분포가 다른 모드에 대해 90° 틀어진 형태로 안테나의 편파 특성이 수직 선형 편파가 아니라 수평 선형 편파로 형성됨을 알 수 있다. 그리고 2차 고차 모드는 방사체 상에 전류의 변곡점이 3군데 발생하게 되고 이는 방사체의 중심에 1파장과 양쪽 끝 즉 단락과 급전 부근에 약 1/4 파장씩을 가지는 형태로 전체가 대략 3/2 파장의 공진 길



(a) 1,120 MHz에서 방사체상의 전류 분포
(a) Current distribution on the radiator at 1,120 MHz



(b) 1,785 MHz에서 방사체상의 전류 분포
(b) Current distribution on the radiator at 1,785 MHz



(c) 2,210 MHz에서 방사체상의 전류 분포
(c) Current distribution on the radiator at 2,210 MHz

그림 3. 공진 주파수에서 방사체의 전류 분포도
Fig. 3. Current distribution on the radiator at each resonance frequency.

이를 갖는 모드로 동작하게 된다는 것을 보여준다. 이는 방사체 상에 전계의 최대점을 3개 형성하게 되는 결과가 되는데 방사체의 중심에서 하나, 그리고 단락과 급전 부근 1/4 파장 부근에서 중심과 반대의 위상을 동일하게 갖는 전계의 최대점이 형성되게 된다.

위에서 분석한 방사체에 형성되는 각 모드의 전류 분포를 토대로 각 모드에 대한 튜닝 포인트를 찾을 수 있다. 각각의 모드에 전계 최대점을 제외하고 전류가 밀집하는 곳의 폭을 조절함으로써 그 모드의 공진 주파수를 조절할 수 있다. 이는 파장에 비해 짧은 구간의 마이크로 스트립 라인의 폭을 좁게 할 경우 직렬 인덕턴스 효과를 내고 폭을 넓게 할 경우 병렬 캐패시턴스 효과를 내는 것과 동일한 이론이라고 할 수 있다^[5]. 위의 전류 분포도를 분석한 결과를 바탕으로 그림 4에 프로토타입 안테나의 튜닝 포인트를 나타내었다. 각각의 모드에서 전계 최대 점은 A, B, C 포인트이다. 이 세 포인트를 제외하고 각각의 모드에서 전류 분포가 밀집한 부분에 슬롯을 삽입하고 그 크기를 변화시켜 가며 각각의 공진 모드의 주파수 변화를 분석해 보았다. 전류 분포에서 확인한 것처럼 급전과 단락 부근을 제외한 부분에서 특히 전류가 밀집한 곳은 스트립이 꺾이는 부분임을 알 수 있다. 이 부분을 모두 3군대 즉 D, E, F로 나누어 슬롯을 삽입하는 방법으로 루프의 폭을 변화시켜 가며 각 모드의 공진 주파수 변화를 살펴보았다. 그림 5는 각 부분별로 시뮬레이션을 통해 어느 정도의 공진 주파수 이동이 가능한가를 보여주는 결과이다. D 부분의 폭 조절에 따른 안테나의 특성변화는 전류 분포에서도 볼 수 있듯이 기본 모드의 공진 주파수가 가장 많은 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. D 부분, 즉 루프의 모서리를 중심으로 양쪽 3 mm 부

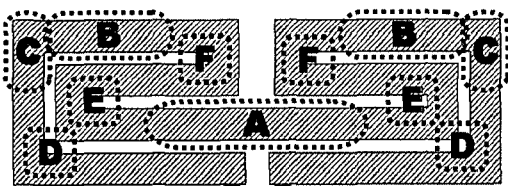
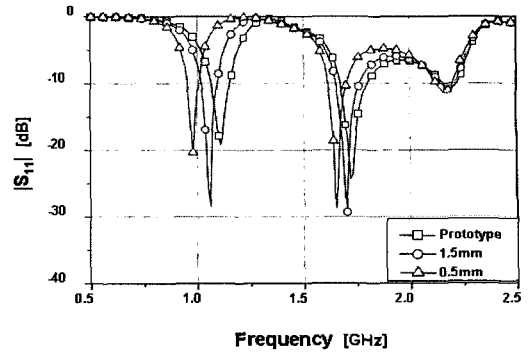
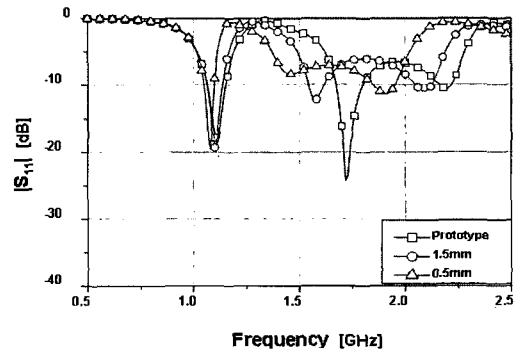


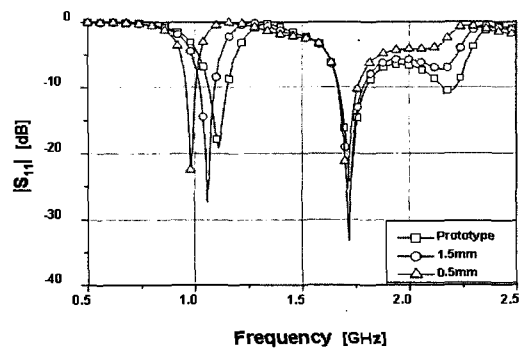
그림 4. 방사체에서 전계 최대점과 튜닝 포인트
Fig. 4. Maximum electric field point and tuning point on the radiator.



(a) D 부분 폭 변화에 따른 안테나의 특성 변화
(a) Characteristics of the antenna according to width variation of D part



(b) E 부분 폭 변화에 따른 안테나의 특성 변화
(b) Characteristics of the antenna according to width variation of E part



(c) F 부분 폭 변화에 따른 안테나의 특성 변화
(c) Characteristics of the antenna according to width variation of F part

그림 5. 각 튜닝 포인트의 폭 변화에 따른 특성
Fig. 5. Characteristics of the antenna according to width variation of each tuning point.

분 즉 양쪽 모서리 각각 6 mm 구간의 폭을 2.5 mm에서 0.5 mm로 줄이는 과정을 통해 기본모드의 공

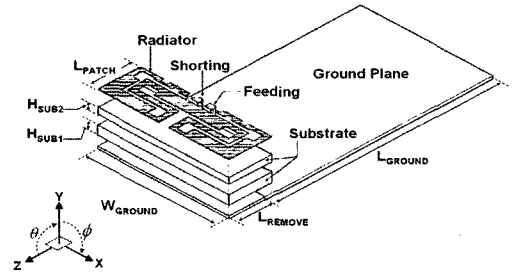
진 주파수는 1,120 MHz에서 약 980 MHz로 약 140 MHz를 낮출 수 있었고, 1차 고차 모드의 경우 1,720 MHz에서 1,650 MHz로 약 70 MHz가 내려감을 볼 수 있다. 하지만 2차 고차 모드의 경우 D 부분 근처에 필드의 최대점이 있기 때문에 전류의 밀도가 그렇게 높다고 볼 수 없고, 결과적으로 루프의 폭 변화에도 전기적 길이가 크게 영향을 받지 않음을 확인할 수 있다. E 부분의 폭 변화에 따른 주파수 변동폭은 기본 모드의 공진 주파수는 크게 영향을 받지 않음을 볼 수 있다. 1차 고차 모드의 경우 1,785 MHz에서 약 1,450 MHz로 약 335 MHz의 공진 주파수가 내려감을 보였고, 2차 고차 모드의 주파수 이동은 2,210 MHz에서 약 1,910 MHz로 약 300 MHz를 낮출 수 있었다. F 부분의 폭 변화에 따른 모드별 공진 주파수 변화는 기본 모드에서 약 990 MHz로 약 130 MHz 이동, 2차 고차 모드에서는 2,130 MHz로 약 80 MHz를 낮출 수 있었다.

III. 재 설계된 안테나 제작 및 측정

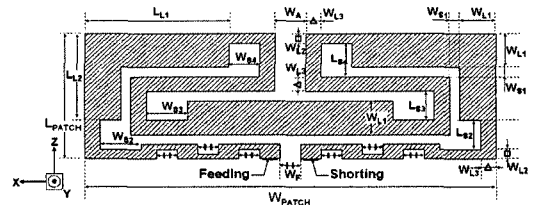
위의 분석을 바탕으로 GSM(880 MHz~960 MHz), GPS(1,575 MHz±10 MHz), DCS(1,710 MHz~1,880 MHz), 그리고 US-PCS(1,850 MHz~1,990 MHz) 대역을 커버하는 4중 대역 루프 안테나를 설계, 제작하였다.

그림 6은 재 설계된 안테나를 나타내고 있다. 안테나의 전체적인 크기나 구성은 프로토타입 안테나와 동일하고 방사체의 설계만 위의 실험을 바탕으로 재 설계하였다. 루프를 형성하는 스트립의 폭은 기본적으로 1 mm~3.5 mm로 구성되어 있으며, 그림 6에서처럼 특정 부분에 각 모드를 조절한 사각형 슬롯이 삽입되었다. 안테나의 방사에는 크게 영향을 주지 않으면서 전체 모드에 대해 공진 주파수를 내려주기 위해 급전과 단락 부분에 폭을 0.5 mm~1.5 mm로 조절하였고, 각 튜닝 포인트에 삽입된 슬롯의 크기는 D 부분은 4 mm×3 mm, F 부분 3 mm×3.5 mm, E 부분은 3 mm×4 mm이다. 슬롯이 삽입된 부분의 루프 폭은 1 mm~1.5 mm이며, 각 부분의 자세한 수치는 표 1에 나타내었다.

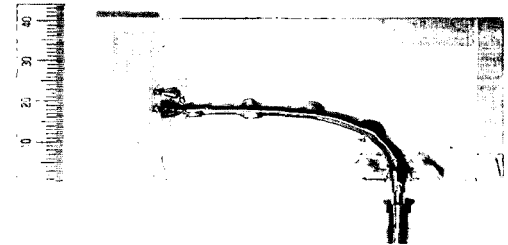
그림 7은 재 설계된 안테나의 각각의 모드에서 방사체 상의 전류 분포를 보여 주는 그림이다. 각각



(a) 재 설계된 안테나의 구조
(a) Geometry of the redesigned antenna



(b) 방사체의 구조
(b) Geometry of radiator

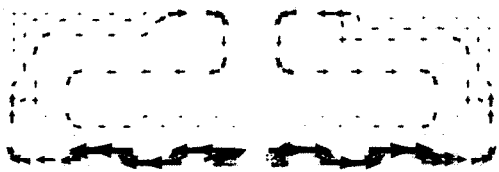


(c) 프로토타입 안테나의 실물도
(c) Photograph of prototype antenna

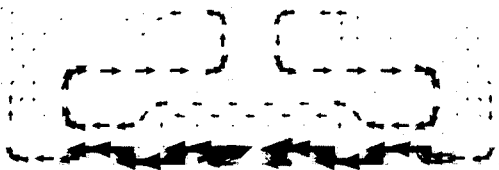
그림 6. 재 설계된 안테나의 구조와 실물도
Fig. 6. Geometry of the redesigned antenna and photograph.

표 1. 안테나에 대한 설계 파라미터 수치
Table 1. Design parameters of the antenna.

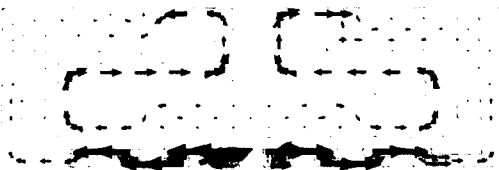
Parameter	Value(mm)	Parameter	Value(mm)
L_PATCH	13	L_L1	14
W_PATCH	40	L_L2	9
W_F	2	W_A	3
W_L1	3.5	W_L2	1
W_L3	1.5	W_S1	1
L_S2	3	W_S2	4
L_S3	3	W_S3	4
L_S4	3.5	W_S4	3



(a) 930 MHz에서 방사체 상의 전류 분포
(a) Current distribution on the radiator at 930 MHz



(b) 1,580 MHz에서 방사체 상의 전류 분포
(b) Current distribution on the radiator at 1,580 MHz



(c) 1,870 MHz에서 방사체 상의 전류 분포
(c) Current distribution on the radiator at 1,870 MHz

그림 7. 공진 주파수에서 방사체의 전류 분포도
Fig. 7. Current distribution on the radiator at each resonance frequencies.

의 모드는 프로토타입 안테나에서와 동일한 모드로 동작하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 8은 재 설계된 안테나의 시뮬레이션과 제작된 안테나를 Agilent 社의 E5071B를 이용하여 측정한 반사 손실을 함께 나타낸 것이다. GSM 대역의 임피던스 대역폭이 정재파비 2.5 : 1 기준에서 약 10.1 %를 만족할 수 있고, GPS 대역과 DCS/US-PCS 대역에서는 정재파비 2.5 : 1 기준으로 약 26.8 %를 만족하였다.

그림 9는 제작된 안테나의 방사 패턴을 anechoic chamber에서 측정한 결과이다. 각각의 통신 대역의 중심 주파수에서 안테나의 수직, 수평면 방사 패턴을 나타낸 것이다. 모든 대역의 H-Plane에서 전 방향성 특성을 가지는 것을 볼 수 있다. GPS 대역의 경우안테나의 H-plane은 다른 대역과 다르게 형성되는데 이는 전류 분포에서 확인한 것처럼 제안된 루프 안테

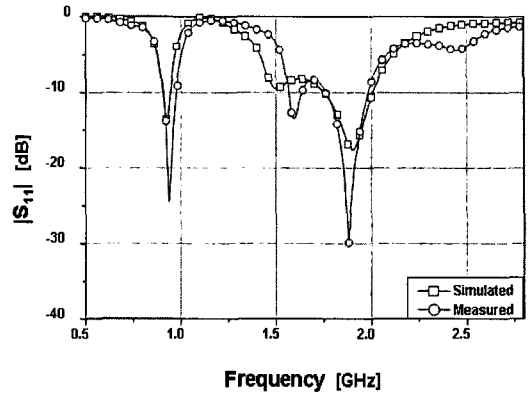
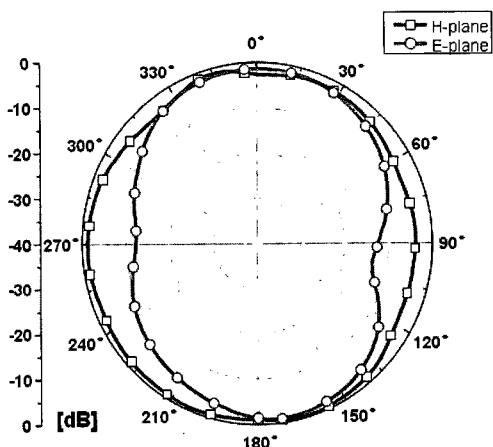


그림 8. 재 설계된 안테나의 반사 손실
Fig. 8. Return loss of the redesigned antenna.

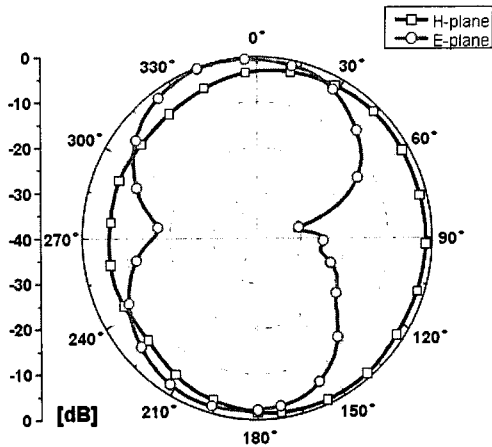
표 2. 재설계된 안테나의 이득 측정 결과
Table 2. Measured gain of the redesigned antenna.

Band	Frq. [MHz]	H-Plane		E-Plane	
		Peak Gain[dBi]	Ave. Gain[dBi]	Peak Gain[dBi]	Ave. Gain[dBi]
GSM	880	-0.37	-3.15	-1.20	-5.14
	920	0.51	-2.10	-0.44	-4.01
	960	0.12	-2.34	-0.32	-3.92
GPS	1565	0.40	-1.62	1.78	-3.15
	1575	2.06	0.12	2.57	-1.80
	1585	2.07	0.03	2.81	-1.67
DCS	1710	0.31	-2.05	1.40	-2.84
	1795	0.52	-1.82	1.65	-2.68
	1880	0.30	-2.01	1.49	-2.91
US-PCS	1850	0.36	-2.14	1.52	-2.71
	1920	1.34	-1.23	2.35	-2.20
	1990	2.55	-0.53	3.28	-1.60

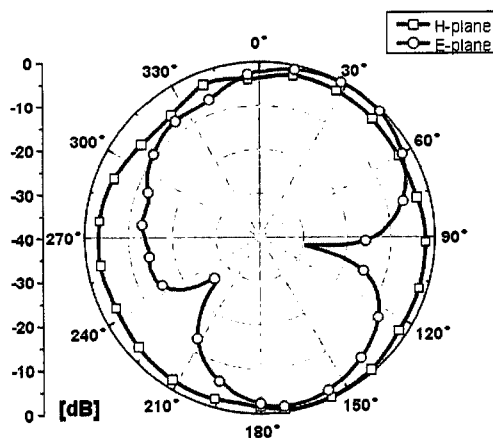
나의 1차 고차 모드로 동작하기 때문에 방사체의 좌우로 서로 다른 위상의 전개 최대점을 형성하기 때문이다. 이는 접지면의 영향을 거의 받지 않는 수평 선형 편파를 형성하게 되고 다른 대역과 달리 안테나를 90도로 회전, 즉 교차 편파를 측정하는 상태에서 측정하였다. 이러한 안테나의 편파 특성 변화는 우수 원형 편파를 사용하는 GPS 신호를 수신하는데 있어서 수평 선형 편파 안테나와 수직 선형 편파 안테나는 동일한 성능을 가지게 되므로 문제가 되지 않음을 알 수 있다. 표 2에는 각 대역에서 측정된 안



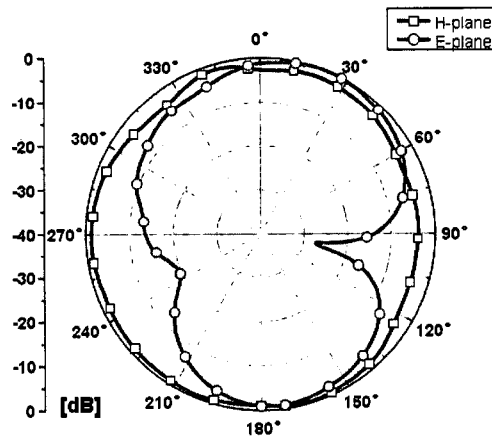
(a) GSM 대역에서 측정된 방사 패턴
(a) Measured radiation pattern at GSM band



(b) GPS 대역에서 측정된 방사 패턴
(b) Measured radiation pattern at GPS band



(c) DCS 대역에서 측정된 방사 패턴
(c) Measured radiation pattern at DCS band



(d) US-PCS 대역에서 측정된 방사 패턴
(d) Measured radiation pattern at US-PCS band

그림 9. 제작된 안테나의 측정된 방사 패턴

Fig. 9. Measured radiation patt fabricated antenna.

테나의 최대 이득을 나타내었다. 안테나의 수평면 최대 이득은 전 대역에서 $-0.37 \text{ dBi} \sim 2.55 \text{ dBi}$ 의 이득을 가지고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 GSM/GPS/DCS/US-PCS 대역 이동 통신 단말기용 내장형 루프 안테나를 설계, 제작하였다. 제작된 안테나는 루프를 구부러서 배치하여 단말기

내부의 공간 제약을 극복할 수 있고, 대칭적인 구조의 설계로 전 방향성 방사 패턴을 가지는 특징이 있다. 특히 모드별 전류 분포의 분석을 통해 전류 분포가 밀집한 부분에 슬롯을 삽입함으로써 루프의 폭을 부분적으로 조절하여 모드별 공진 주파수를 조절할 수 있는 방법을 실험해 보았다. 위의 실험을 통해 각 모드별 공진 주파수의 이동이 기본 모드의 경우 최대 140 MHz, 1차 고차 모드는 335 MHz, 2차

고차 모드는 300 MHz까지 이동시킬 수 있었다. 이러한 방법을 이용하여 루프형 방사체에서 고차 모드를 활용한 다중 대역 내장형 안테나 설계에 가능성을 확인하였다. 제작된 안테나는 전 대역에서 전 방향성의 방사패턴을 얻을 수 있었고, 전 대역에서 양호한 이득 특성을 보였다. 그러나 안테나가 이상과 같이 동작하기 위해서는 좌우 대칭의 구조 형성이 필요한데, 이는 단말기 적용에 있어 급전부 및 단락점의 위치나 안테나 주변부의 대칭성이 확보되어야 할 것이다. 추가적으로 실제 이동 통신 단말기에 안테나를 적용하여 실험을 진행하도록 하겠다.

참 고 문 헌

[1] Kin-Lu Wong, *Planar Antennas for Wireless*

Communication, John Wiley & Sons, Inc., 2003.
 [2] T. Sugiyama, H. Horita, Y. Shirakawa, M. Ikegaya, S. Takaba, and H. Tate, "Triple-band internal antenna for clamshell type mobilephone", *Hitachi Cable Review*, no. 22, 2003.
 [3] A. Henderson, K. Hirasawa, and J. R. James, *Small Antennas*, New York, John Wiley and Sons, Research Studies Press, 1987.
 [4] H. Furuuchi, H. Morishita, H. Ide, Z. Tanaka, and K. Fujimoto, "A balanced-fed loop antenna system for handsets", *Antennas and Propagation Society, IEEE International Symposium*, vol. 1, pp. 6-9, Jul. 1999.
 [5] Peter A. Rizzi, *Microwave Engineering Passive Circuits*, Prentice Hall, Inc., 1988.

이 영 중



2004년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)
 2004년 3월~현재: 광운대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 이동 통신 단말기용 내장형 안테나 설계

정 병 운



2001년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 3월~현재: 광운대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 이동 통신 안테나 시스템 및 RF 수동 소자 설계

이 진 성



2001년 2월: 호서대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 8월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 9월~현재: 광운대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] UWB 안테나 및 이동통신 안테나 시스템

박 면 주



1991년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
 1998년 12월~2002년 8월: 삼성전자(주) 책임연구원

2002년 9월~현재: 광운대학교 전자공학과 조교수
 [주 관심분야] 초고주파 수동회로 및 안테나, 전자파, 초고주파 수치해석, High speed digital system noise, Signal integrity and interconnections, EMI/EMC

이 병 제



1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1993년 12월: 미국 Southern Illinois University 전자공학과 (공학석사)

1997년 5월: 미국 Southern Illinois University 전자공학과 (공학박사)

1998년 3월~현재: 광운대학교 전

파공학과 부교수

[주 관심분야] 초고주파 안테나 해석 및 설계, 전기자기파 해석, 레이더 및 위성통신, 초고주파 응용, RF 능동 및 수동소자