

휴대폰용 2중 대역 고효율 FPCB 안테나

High Efficiency FPCB Antenna for the Dual Band Mobile Phone

서 상 혁 · 손 태 호 · 조 영 민*

Sanghyuk Seo · Taeho Son · Youngmin Jo*

요 약

1 cc 체적을 갖는 휴대폰 내장형 안테나를 FPCB(Flexible Printed Circuit Board)로 구현하였다. 안테나 전류의 방향이 가급적 일정하도록 설계함으로써 소형이지만 효율을 높여 이득을 증가시켰다. GSM 대역의 공진을 위한 짧은 길이의 보상은 맴돌이 인덕터를 FPCB상에 구현하여 보상하였다. 2개 맴돌이 인덕터를 적용하여 GSM 대역의 대역폭을 넓혔다. DCS 대역의 방사 소자는 FPCB와 수직인 형태의 도체 패턴을 부설하여 설계하였다. 비유전율 4.4를 갖는 두께 0.05 mm의 FPCB로 구현하고 길이×폭×높이=30×7×5 mm인 캐리어(carrier)에 부착하여 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나를 측정한 결과, GSM 대역에서 VSWR 2:1 이하, 효율 42.49~60.95 % 및 평균 이득 -3.72~-2.15 dBi를 보였고, DCS 대역에서 VSWR 2:1 이하, 효율 47.95~73.21 % 및 평균 이득 -3.19~-1.35 dBi가 나타나 2대역 공히 우수한 특성을 보였다. 방사 패턴은 2대역 모두 H-면 전방향성 특성을 보였다.

Abstract

An internal antenna which has 1 cc volume was implemented on the FPCB(Flexible Printed Circuit Board) for the mobile phone. We increased antenna gain and efficiency by the applying of current direction concept on the antenna pattern for this small antenna. Short antenna length for the GSM band was compensated by the spiral inductor on the FPCB. For broadening bandwidth on GSM band, it's applied 2 spiral inductors. A conductor pattern for the DCS band was positioned perpendicular with the FPCB. Antenna was implemented on FPCB that is dielectric constant 4.4 and thickness 0.05 mm, and FPCB was attached on a carrier dimensioned $L \times W \times H = 30 \times 7 \times 5$ mm. Measurements showed that max. VSWR 2:1, efficiency 42.49~60.95 % and 47.95~73.21 %, average gain -3.72~-2.15 dBi and -3.19~-1.35 dBi on the GSM and DCS band, respectively. These results are good performances among the small antenna. And the radiation patterns are omnidirectional on the H-plane to both band.

Key words : Internal Antenna, FPCB, Spiral Inductors

I. 서 론

최근 휴대 단말기에 사용되는 내장형 안테나는 휴대 단말기가 소형화, 슬림화 및 다기능 고성능화에 따라 소형이면서 높은 효율과 이득 특성이 요구되고 있다. 더구나 국제 로밍 서비스에 따라 2대역 이상의 다중 대역 특성을 가져야 한다. 내장형 안테

나의 소형화는 낮은 방사 저항과 좁은 대역 특성으로 인하여 이득의 저하와 더불어 다중 대역 특성을 어렵게 한다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위한 안테나의 연구가 진행되고 있다^[1].

휴대폰 내장형 안테나의 종류로는 PIFA(Planar Inverted F Antenna), 다이폴, FMA(Folded Monopole Antenna), 칩(chip) 및 IFA(Inverted F Antenna) 등이

순천향대학교 정보통신공학과(Dept. of IT Engineering, SoonChunHyang University)

*미국 SkyCross Inc.

· 논문 번호 : 20090825-093

· 수정완료일자 : 2009년 10월 29일

있다. 이들 중 IFA는 1980년대 차량용 혹은 이동기기 단말기용으로 개발되었다. 당시부터 최근까지는 단말기 내 안테나 수납 공간이 넓어서 IFA보다는 이득이 큰 PIFA, 다이폴, FMA 등이 적용되었다. 그러나 안테나의 공간이 매우 협소한 요즘, 다시금 IFA가 활용되고 있다. 현재의 IFA는 원래 IFA를 변형시킨 IFA(M-IFA)로 휴대폰에 널리 적용되고 있다. M-IFA는 안테나를 많이 구부려 공진 길이를 확보하고, 더불어 종단 스텝(short stub)에 개방(open) 스텝을 첨가하여 양호한 다중 대역 특성을 갖도록 한 구조이다. 하지만 안테나의 다중 구부림은 전류의 방향을 바꾸기 때문에 전류 상쇄 작용을 일으킨다. 이러한 현상은 방사 전자계의 약화에 의해 안테나의 효율 및 이득을 감소하게 만들게 된다^{[2]~[5]}.

본 연구는 휴대폰 안테나로는 초소형인 체적 1 cc 급 안테나를 FPCB로 설계한 연구이다. FPCB는 금속 프레스에 비해 복잡하고 세밀한 구조를 구현할 수 있으므로 소형 안테나의 경우 양산성이 우수하다. GSM 대역(880~960 MHz)의 짧은 길이에 대한 보상을 위해 사용했던 기존의 헬릭스(helix) 대신 맴돌이 인덕터를 FPCB 양면에 적용한다. 또한 좁은 대역폭을 넓이기 위해 이러한 인덕터를 2개 적용한다. 높은 주파수인 DCS 대역(1,710~1,880 MHz)를 위해 안테나와 수직 방향으로 패턴을 추가한다. 설계된 안테나에 대한 제반 특성을 측정하여 설계치와 비교하며, 그 결과를 고찰한다.

II. 안테나 설계

그림 1은 본 연구에서 나타내는 안테나의 형상이다. 안테나는 FPCB로 구현되며 길이×폭×높이가 30×7×5 mm인 캐리어 상에 부착된다. 따라서 안테나의 체적은 1 cc이다. 그림 1에서 캐리어의 높이는 급전 부분(좌하단)의 높이 5 mm를 제외한 부분은 2 mm이지만 가장 높은 길이가 체적으로 적용되기 때문에 안테나의 높이는 5 mm로 된다.

그림 1(a)는 상단면로서 L_1 과 L_2 의 길이의 GSM 대역용 안테나를 보여주고 있다. 안테나의 길이가 GSM 공진 길이에 비해 매우 짧기 때문에 길이 효과가 가장 높은 중간 부분^[4]에 맴돌이 인덕터를 적용한다. 그림 1(b)는 안테나의 측면 그림이다. 적용된 FPCB

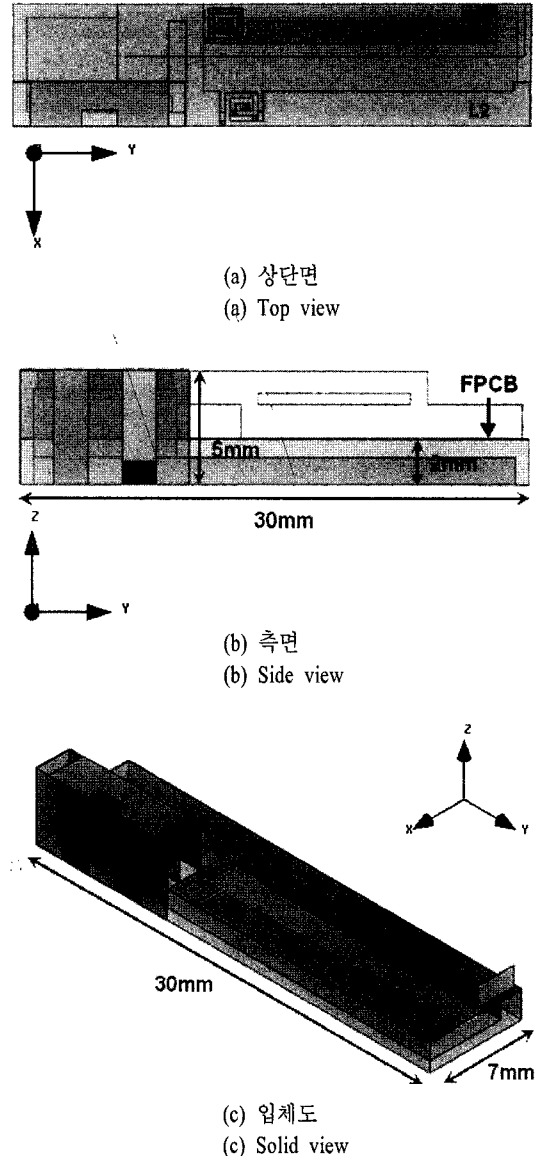
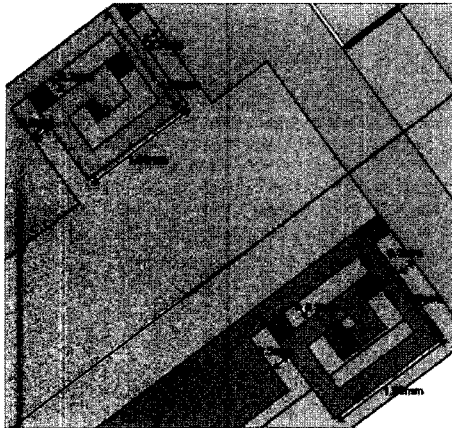


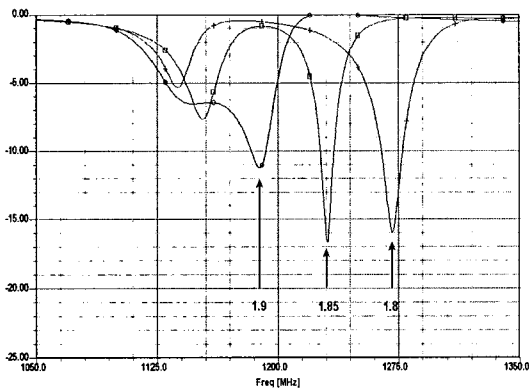
그림 1. 안테나 형태
Fig. 1. Antenna shape.

는 비유전율이 4.4, 높이는 0.05 mm이다. 그림 1(c)는 안테나 형상을 이해하기 쉽도록 나타낸 입체도이다. 여기서 FPCB와 수직인 도체 패턴이 DCS 주파수 대역을 담당하는 안테나 패턴이다.

그림 1에서 맴돌이 인덕터에 의한 공진 특성은 본 안테나 연구에서 매우 중요하다. 따라서 맴돌이 인덕터의 크기 제원 따른 방사 손실을 시뮬레이션한 결과는 다음과 같다. 시뮬레이션에 사용된 툴(tool)은 Ansoft사의 HFSS이다.



(a)



(b)

그림 2. 맴들이 인덕터 형상(a) 및 크기에 따른 반사 손실 특성(b)

Fig. 2. Shape of spiral inductor(a) and return loss due to spiral dimension(b).

그림 2(a)는 맴들이 인덕터 구조를 확대한 것이며, (b)는 크기 변화에 따른 반사 손실의 변화를 나타낸 것이다. 설계를 위해서 여러 가지 크기 변화에 대한 데이터가 필요하나, 지면상 본 논문에서는 가장 대표적인 1가지에 대한 결과를 나타내기로 한다. 그림 2(a)에서 아래 맴들이 인덕터에 속한 맴들이 한 변의 길이를 1.98 mm로 고정시키고, 위 맴들이 인덕터에 속한 맴들이 크기를 1.8, 1.85 및 1.9 mm로 변화시켜 반사 손실을 시뮬레이션 한 결과는 그림 2(b)와 같다. 그림에서 보듯이 맴들이 크기가 작을수록 인덕턴스가 작아지기 때문에 공진 특성이 높은 주파수로 상향 천이됨을 알 수 있다. 반면에 크기가 커지면 인덕턴스가 증가하여 공진 주파수가 낮아지게 되며, 아래 맴들이에 의한 특성과 더불어 넓은 대역 특성

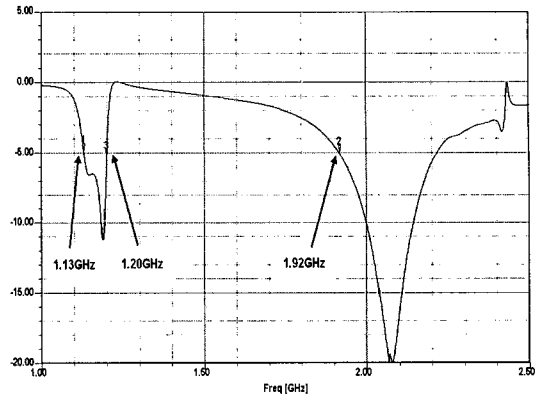


그림 3. 설계된 안테나의 시뮬레이션 반사 손실
Fig. 3. Simulated return loss for designed antenna.

을 나타나게 된다. 이러한 특성 변화를 이용하여 길이가 다른 GSM 대역용 L_1 및 L_2 의 2패턴에 맴들이 인덕터의 크기를 적절하게 변화시키면 GSM 대역을 만족하는 비교적 넓은 대역을 갖는 안테나를 설계할 수 있다.

이상과 같이 최적 설계된 맴들이 인덕터의 크기는 L_1 에 속한 맴들이의 한 변의 길이는 1.98 mm이고, L_2 의 맴들이 한 변의 길이는 1.9 mm이다. 이때 L_1 , L_2 의 폭은 각각 0.3 mm이고, 맴들이로부터 패턴 끝까지의 길이는 각각 17 mm 및 18 mm이다. 이와 같이 설계된 안테나의 시뮬레이션 반사 손실 특성은 그림 3과 같다.

그림 3과 같이 설계된 제원에 의해 시뮬레이션된 반사 손실은 VSWR 3:1 기준에서 GSM의 70 MHz 대역폭 및 DCS의 280 MHz 대역폭을 가점으로써 2대역 모두 만족하고 있음을 보이고 있다. 여기서 나타난 공진 주파수는 실제 사용 GSM 및 DCS 주파수보다 높게 나타내고 있다. 이는 bare 보드 상태로 제작하였기 때문에 휴대폰일 경우 유전체로 이루어져 있는 커버를 닫게 되면 공진 주파수는 내려가므로 이를 간주하여 시뮬레이션을 한 것이다. 또한 본 연구 결과의 특성을 기존 결과^[4]와 비교해 보기 위하여 공진 주파수를 높게 맞춘 것이다.

GSM 대역을 담당하는 안테나 패턴과 맴들이 인덕터를 1개 적용하였을 경우에 대한 시뮬레이션 대역 특성은 VSWR 3:1 기준에서 약 40 MHz 정도로 그림 3의 60 % 수준에 불과하다. 따라서 2개의 안테나 패턴과 맴들이 인덕터로 대역을 넓힐 수 있음

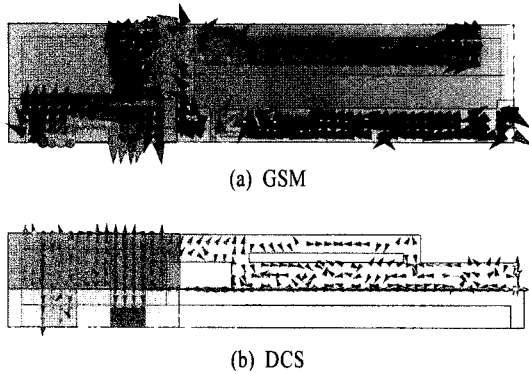


그림 4. FPCB 안테나의 전류 밀도
Fig. 4. Current density of FPCB antenna.

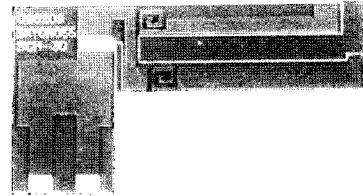
보였다.

설계된 안테나에 대한 전류 밀도 특성은 그림 4와 같다.

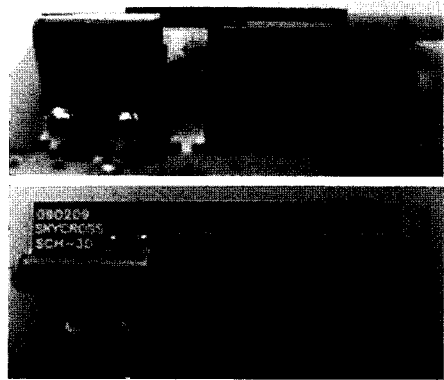
그림 4는 GSM 주파수 대역인 1.13 GHz 및 DCS 주파수 대역인 1.92 GHz에서 시뮬레이션 한 전류 밀도 특성을 나타낸 것이다. 그림 4(a)에서 보듯이 낮은 주파수에서는 전류가 FPCB 면에서 생성되고 전체적인 전류의 흐름은 왼쪽 방향과 아래쪽 방향인 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 4(b)에서는 높은 주파수에서의 전류는 FPCB가 아닌 수직 도체 면에 생성되며, 전류의 흐름은 낮은 주파수와 같은 방향임을 알 수 있다. 따라서 반대 방향인 오른쪽 방향으로 흐르는 전류가 거의 없으므로 전류 상쇄 또한 매우 적게 일어나고 있음을 말해주고 있다. 그림 4에서 전류 밀도의 크기는 1.13 GHz에서 300 [A/m]로 비교적 큰 값이 나타나고, 1.92 GHz에서 150 [A/m]로 값이 나타난다.

III. 제작 및 측정

그림 1과 같은 형상을 갖는 체적 1 cc로 제작된 FPCB 안테나는 그림 5와 같다. 그림 5에서 (a)는 제작된 FPCB의 평면이며, (b)는 FPCB를 접어서 캐리어에 조립한 안테나의 형상이다. 앞에서 언급한 바와 같이 제작된 그림 5의 안테나는 실제 휴대폰에 적용되기 위한 것이 아니라, 사전 시험용으로 휴대폰과 같은 크기인 베어(bare) 보드에 적용되기 위해 제작되었다. FPCB는 두께 0.05 mm를 갖는 FPCB를 적용하였다.



(a) 제작된 FPCB
(a) Implemented FPCB



(b) 조립된 FPCB 안테나
(b) Assembled FPCB antenna

그림 5. 제작된 FPCB 안테나
Fig. 5. Implemented FPCB antenna.

그림 5와 같이 제작된 FPCB 안테나를 Agilent사의 Network Analyzer로 측정된 S_{11} , smith chart 및 VSWR은 그림 6과 같다. 그림 6에서 같은 의미를 갖는 데이터를 3가지 형태로 나타내는 형식은 휴대폰 안테나 업계에서 널리 사용하는 방법으로, 안테나가 대역별로 나타내는 회로적인 특성을 나타냄으로써 정합 특성 등에 적용하기 위한 것이다. 그림 6에서 보면 제작된 안테나는 모든 대역에서 2:1 이하의 특성이 나타나 양호한 임피던스 특성이 나타나고 있다.

측정된 S_{11} 은 -10 dB 기준에서 1.17~1.26 GHz 및 1.79~1.94 GHz로 그림 3의 시뮬레이션 값인 1.13~1.2 GHz 및 1.92~2.2 GHz(-5 dB 기준)과 다소 차이가 나고 있다. 이는 시뮬레이션 상황과 실제 휴대폰의 차이에 의한 것이나, 이 정도 차이는 시뮬레이션을 할 때 실 상황과 같이 완벽하게 고려하지 못하는 것 치고는 비교적 잘 맞고 있다고 볼 수 있다.

제작된 FPCB의 안테나에 대한 3차원 방사 특성은 그림 7과 같다. 측정을 위해 사용된 무반사실은

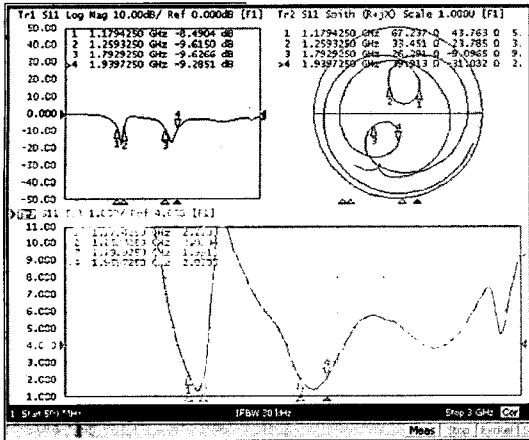


그림 6. FPCB 안테나의 측정 VSWR
Fig. 6. Measured VSWR of FPCB antenna.

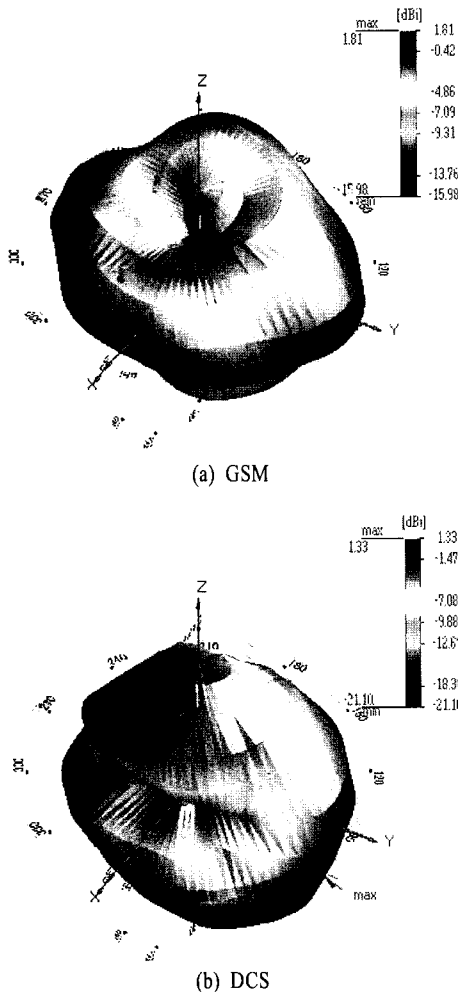


그림 7. FPCB 안테나의 측정 방사 패턴
Fig. 7. Measured radiation pattern of FPCB antenna.

표 1. FPCB 안테나의 이득과 효율

Table 1. Gain and efficiency of FPCB antenna.

Freq. [MHz]	Peak gain [dBi]	Avg. gain [dBi]	Eff. [%]
1,180	2.18	-2.41	57.45
1,200	2.27	-2.15	60.95
1,220	2.16	-2.19	60.42
1,240	1.81	-2.55	55.53
1,260	0.71	-3.72	42.49
1,790	2.17	-2.22	59.93
1,850	3.06	-1.35	73.21
1,910	2.12	-2.23	59.78
1,930	1.76	-2.68	54.00
1,990	1.33	-3.19	47.95

MTG사 챔버이다. 그림 7에서 x-y평면은 E1 패턴, x-z평면은 E2 패턴이고, y-z평면은 H 패턴이다.

그림 7에서 (a)는 GSM 대역의 중심 주파수, (b)는 DCS 대역의 중심 주파수에서 측정한 것이다. 그림에서 보듯이 2대역 공히 H면 전방향성 특성을 보이고 있다.

측정된 방사 패턴의 세부적인 데이터 값을 나타낸 표는 표 1과 같다. 제작된 FPCB 안테나의 평균 이득 특성은 표 1에서와 같이 GSM 대역에서 -3.72 ~ -2.15 dBi, DCS 대역에서 -3.19 ~ -1.35 dBi의 결과 값을 얻었다. 측정된 효율은 GSM 대역에서 42.49 ~ 60.95 %, DCS 대역에서는 47.95 ~ 73.21 %로 양호한 결과를 보이고 있다. 이득과 효율은 MTG 사 방사 챔버 측정 시 자동으로 측정되는 값이다. 이들 관계를 수식으로 표현하면 다음 수식과 같다.

$$G = 10 \log \left[\frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \right] \text{ [dBi]} \quad (1)$$

여기서, G는 평균 이득, η는 효율이며, A와 λ는 각각 안테나 실제면적 및 적용된 파장이다.

시뮬레이션을 통한 최대 이득(peak gain)은 1,220, 1,910 MHz에서 각각 3.93, 3.55 dBi의 값을 얻었고, 측정치는 표 1에서와 같이 2.16 및 2.12 dBi로 약 1.77 및 1.43 dB 차이가 나고는 있으나 경험적으로 볼 때 잘 맞고 있다고 할 수 있다.

이러한 FPCB 안테나는 기존에 개발된 헬릭스 소자를 이용한 안테나보다 제작 공정을 줄일 수 있을

뿐만 아니라 안테나 기구물의 신뢰성 시험에서도 신뢰도가 높은 장점을 가지고 있다. 더구나 측정된 결과는 우수한 임피던스 특성 및 이득과 효율을 가지고 있으므로 향후 1 cc 이하 급의 소형 안테나에 널리 적용될 수 있다고 생각한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 안테나의 전류 상쇄를 줄이도록 설계한 안테나를 FPCB로 구현하였다. 1 cc 체적의 안테나를 설계 제작하여 효율과 이득을 측정하였다. 전류 상쇄를 최소화시키기 위해 짧아진 안테나 길이는 FPCB상 맴돌이 인덕터를 적용하여 물리적인 길이를 보상하였다. 소형 안테나의 좁은 대역 특성은 2개의 안테나 패턴 및 맴돌이 인덕터를 이용하여 개선하였다.

베어 보드를 이용하여 GSM/DCS 2중 대역용 1 cc 체적의 안테나를 설계하고 이를 제작하였다. 제작한 안테나를 측정한 결과 VSWR은 2중 대역 공히 2:1 이하의 특성을 보였다. 또한 안테나의 평균 이득과 효율은 전 대역에서 $-3.72 \sim -1.35$ dBi, 42.49~73.21 %로 소형 안테나임에도 불구하고 매우 양호한 특성을 보였다. 본 연구는 FPCB로 구현하였으므로 프레스 등과 같은 여타의 복잡한 제작 공정을 줄일 수 있고 미세한 패턴도 실현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 휴대폰용 소형 내장형 안테나의 연

구 및 개발에 도움을 줄 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Kin-lu Wong, *Planar Antennas for Wireless Communications*, Wiley Interscience, 2003.
- [2] 손태호, "2007 휴대폰 내장형 안테나의 해석 및 설계법", 교육자료, 순천향대학교 차세대 BIT 무선부품지역혁신센터, 2007년 6월.
- [3] 손태호, "이득 향상을 위한 휴대폰용 IPI 급전 안테나", "2006 안테나기술 워크샵 논문집, 한국전자과학회, pp. 219-238, 2006년 4월.
- [4] 홍민기, 손태호, "이동 통신 단말기용 초소형 3차원 안테나 제작", 한국전자과학회논문지, 19(12), pp. 1455-1461, 2008년 12월.
- [5] 홍민기, 박동규, 손태호, "1 cc 이하급 초소형 고효율 멀티밴드 휴대폰 내장형 안테나 설계", 한국전자과학회 추계종합학술발표회 논문집, pp. 131-134, 2007년 11월.
- [6] 서상혁, 손태호, 이강훈, 조영민, "FPCB를 이용한 휴대폰용 M-IFA 설계", 한국전자과학회 춘계마이크로파 및 전파전파학술대회논문집, p. 137, 2009년 5월.
- [7] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, 1997.

서 상 혁



2008년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
2008년~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 휴대폰 안테나, 전자파 이론, RFID

조 영 민



1992년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학과 (공학사)
1996년 6월: 미국 Florida Institute of Technology, Electrical Engineering (공학석사)
2001년 12월: 미국 Florida Institute of Technology, Electrical Engineering (공학박사)

1992년~1992년: 삼성전자 반도체 부문 연구원
1993년~1994년: Mac Trans International, 매니저
2007년~2008년: 고려대학교 전기전자전파공학부 겸임교수
2000년~현재: 미국 SkyCross Inc. Chief Operating Officer
[주 관심분야] 휴대폰, 이동통신 기기용 안테나 설계 등

손 태 호



1979년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
1986년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
1990년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
1978년~1987년: LIG넥스원 중앙연구

구 소 근 무

1980년~1981년: 영국 Ferranti사 연구원
1992년~1994년: 천문우주연구원 객원연구원
1999년~2000년: University of Illinois 연구교수
2000년~2003년: (주)넷시텔레콤 위축 연구소장
2002년~2006년: (주)에스비텔콤 기술고문
2005년~2007년: (주)하이트렉스 기술고문
2007년~2009년: (주)동원 위축연구소장
2007년~현재: (주)스카이크로스코리아 기술고문
1990년~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 교수
[주 관심분야] 위성통신, 휴대폰, RFID용 안테나 설계, 자동차용 전장품 개발, 전자파 생체영향 등