이동 통신 단말기용 초소형 3차원 안테나 제작

Fabrication of a Subminiature 3 Dimensional Antenna for the Mobile Phone Handset

홍 민 기 · 손 태 호

Mingi Hong · Taeho Son

요 약

휴대폰 내 수납 공간 체적이 1 cc 정도 되는 초소형 안테나를 제작하였다. 기본적인 형태는 IFA(Inverted F Antenna)이며, 전류 상쇄가 적도록 설계함으로써 안테나 효율을 높여 작은 체적에도 불구하고 높은 이득을 갖도록 하였다. 멀티 밴드의 구현에서 낮은 주파수 대역의 짧은 길이에 대한 보상은 헤릭스를 적용하였으며, 높은 주파수 대역을 위하여 3차원 구조의 패턴을 만들어 넣었다. 제작은 보드를 세트로 한 GSM/DCS 대역용 1 cc 안테나와 GSM/USPCS 대역 휴대폰 세트용 1.5 cc 안테나를 제작하고 제반 특성을 측정하였다. 각 안테나에 대한 측정 결과, 각 대역에서 평균 이득이 각각 −3.46～−0.45 dBi 및 −4.80～−3.29 dBi로 매우 양호한 특성을 얻었다.

Abstract

We implemented a subminiature internal antenna that is around 1 cc volume for the mobile phone. The fundamental type of studied antenna is IFA(Inverted F Antenna), and this antenna is designed to be improved efficiency and gain due to minimum current cancellation by the avoidance of multiple bending pattern. For the implementation of multiple band, helix is applied to compensate for short antenna length for low frequency band, and a 3 dimensional pattern is used for high frequency band. We made two kinds of 3D structure antenna. One is a 1 cc volume antenna for GSM/DCS band on the bare board set, and the other is a 1.5 cc volume for the GSM/USPCS mobile phone set. Measurements showed good gain performance that average gain of two antenna on each band are −3.46～−0.45 dBi and −4.80～−3.29 dBi respectively.

Key words : Mobile Antenna, IFA, Current Cancelation, 3D Antenna

Ⅰ. 서 론

휴대폰 단말기의 글로벌 로밍(roaming) 서비스에 따라 내장된 안테나는 여러 밴드를 만족해야 하는 멀티 밴드 특성을 가져야 한다. 더구나 한 휴대폰으로 여러 서비스를 받는 다기능화에 따라 안테나 수납 공간이 협소해지고 있다. 최근에는 안테나 체적이 1 cc 정도인 크기임에도 3～4 밴드 특성을 만족해야 하는 휴대폰이 많이 등장하고 있다. 이러한 안테나의 소형화 추세는 더욱 낮은 방사 저항과 좁은 대역 특성으로 인한 효율 및 이득 저하를 초래하고 있다[1],[2].

휴대폰 내장형 안테나의 종류로는 PIFA(Planar Inverted F Antenna), 다이폴, FMA(Folded Monopole Antenna), 칩(chip) 및 IFA(Inverted F Antenna) 등이 있다. 이들 중 IFA는 소형이면서도 방사 효율이 양호하여 현재 주로 적용되고 있다. IFA는 1980년대 차량용 혹은 이동 단말기용으로 개발되었다. 당시

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

· 논 문 번 호 : 20081128-05S

· 수정완료일자 : 2008년 11월 12일

안테나 수납 공간이 현재보다 여유가 있었기 때문에 이득이 작은 IFA는 연구 대상이 되지 못하였다. 그러나 수납 공간에 제한을 받고 있는 요즘, 원래 IFA가 가진 단점을 보완한 변형된 IFA(MIFA)가 휴대폰에 널리 적용되고 있다. 현재 적용되고 있는 MIFA는 공진 길이를 확보하기 위하여 안테나와 스텁(stub)을 구부리거나 가지를 친 구조이다. 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].

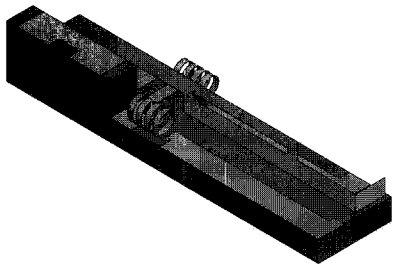
본 연구는 1 cc급 휴대폰 안테나 실현을 위한 3차원 구조를 갖는 안테나를 제안한 연구이다. 멀티 밴드 중 낮은 밴드를 위해 헤릭스(helix)를 적용함으로써 안테나 구부림을 최소화한다. 높은 주파수 밴드를 위해 안테나와 수직 방향으로 놓여진 패턴을 추가함으로써 전체적으로 3차원 형상의 안테나가 되도록 한다. GSM(880~960 MHz), DCS(1,710~1,880 MHz) 대역용 1 cc급 안테나를 설계 제작하고, 또한 1.5 cc급 GSM, USPCS 대역(1,850~1,990 MHz)용 안테나를 제작하여 측정하고 그 결과를 고찰한다.

Ⅱ. 파라미터별 특성

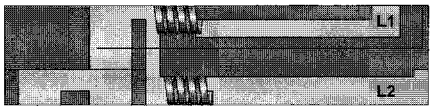
그림 1은 실험을 위하여 휴대폰 크기의 bare 보드에 장착할 체적 1 cc를 갖는 3차원 안테나 모델 그림이다.

급전 부분은 그림 1(a)의 좌 하단이며, 급전 간격은 2.5 mm이다. 안테나 전체 크기는 가로×세로×높이=30×7×5 mm로 체적은 1 cc가 된다. 그림 1(b)는 정면도로서, L_1, L_2 패턴으로 GSM 대역을 담당한다. 따라서 길이가 짧기 때문에 그림에서 보듯이 헤릭스를 적용하였다. 헤릭스의 위치별 안테나의 S_{11} 특성 변화를 나타내면 그림 2와 같다. 특성 변화는 시뮬레이션 툴인 Ansoft사 HFSS가 사용되었다.

헤릭스 위치가 안테나 종단부로 갈수록 공진 주파수가 높아지므로 길이의 단축 효과가 없어짐을 알 수 있다. 이는 안테나이론에 잘 부합되고 있다[6]. 헤릭스 위치가 급전부와 가까울수록 단축 효과는 있으나, S_{11} 특성이 나빠지므로 본 연구에서는 3번 위치를 선택하였다.

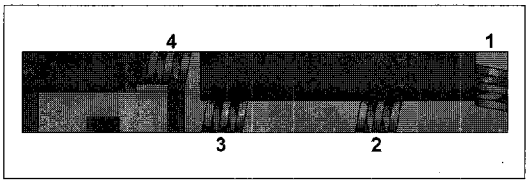


(a) 입체도
(a) Solid view



(b) 정면도
(b) Top view

그림 1. 1 cc 3차원 안테나 모델
Fig. 1. 1 cc 3D antenna model.



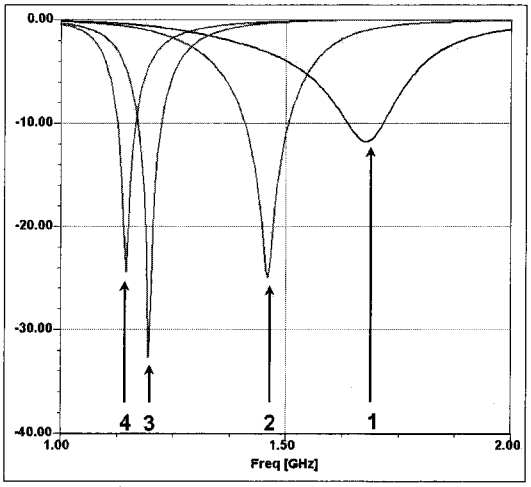
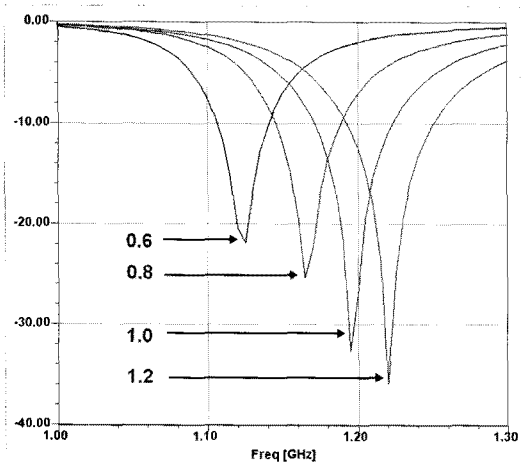
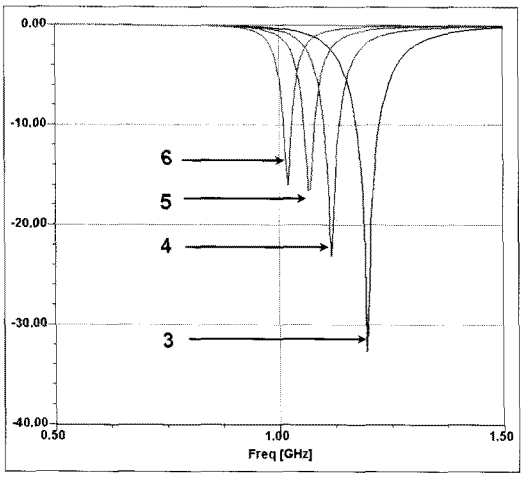


그림 2. 헤릭스 위치별 S_{11} 특성
Fig. 2. S_{11} due to helix location.

그림 3(a)는 턴 수를 고정시키고 헤릭스의 피치를 0.6~1.2 mm, 0.2 mm 간격으로 변화시켰을 때 S_{11} 특성이며, 그림 3(b)는 피치를 고정시키고 헤릭스 턴 수를 3~6턴까지 변화했을 때에 대한 S_{11} 특성 변화



(a)



(b)

그림 3. 헤릭스 피치 변화(a) 및 턴 수 변화(b)에 따른 S_{11} 특성

Fig. 3. S_{11} due to variation of helix pitch(a) and number of turn(b).

를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 피치가 좁아지면 헤릭스 전체 길이가 짧아지므로 인덕턴스 증가에 따라 공진 주파수가 하향화됨을 알 수 있다.

또한, 일정 길이에서 턴 수의 증가는 역시 인덕턴스를 증가시키므로 공진 주파수가 하향화하고 있음을 잘 나타내고 있다. 그림 1에서 헤릭스를 2개 사용한 것은 안테나 패턴인 L_1과 L_2의 공진을 가깝게 만듦으로써 보다 넓은 대역을 확보하기 위함이다. GSM 밴드를 담당하는 패턴인 L_1, L_2 패턴과 DCS 밴드를 담당할 수직으로 세워진 패턴의 위치와 길이를

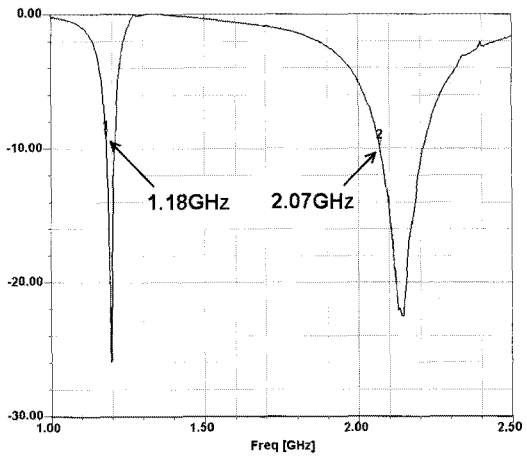


그림 4. 그림 1 안테나의 시뮬레이션 S_{11}

Fig. 4. Simulated S_{11} of Fig. 1 antenna.

조정하여 S_{11} 특성으로 trade off하며 설계하였다. 설계된 안테나의 그림은 앞에서 나타낸 그림 1과 같고, 이 안테나의 시뮬레이션 된 S_{11} 특성은 그림 4와 같다.

그림 4에서 나타난 공진 주파수는 실제 사용 GSM 및 DCS 주파수보다 높게 나타나고 있다. 이는 bare 보드일 경우 실제 세트 상황과는 높기 때문에 차이가 나더라도 무방하다. 즉, bare 보드 상태에서 높게 나타나면 실 세트에 적용하면 경우에 따라 차이가 있지만 100~300 MHz 정도 낮아지기 때문이다.

그림 5는 그림 1 안테나에 대한 낮은 주파수 대역인 1.18 GHz에서 시뮬레이션한 전류 밀도 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 전류의 방향이 왼쪽과 아래쪽으로 형성됨으로써 전류의 상쇄 작용이 거의 없게 나타남을 볼 수 있다.

본 연구에서는 실제 휴대폰 세트에 장착할 1.5 cc 체적의 3차원 안테나를 하나 더 설계하였다. 이 안테나에 대한 파라미터별 안테나 특성은 기 발표된

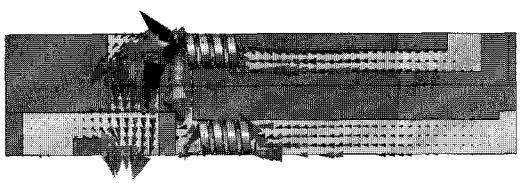
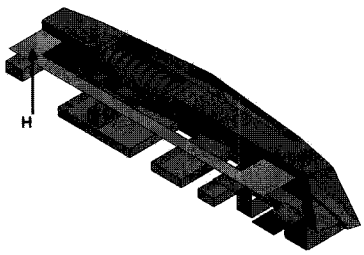
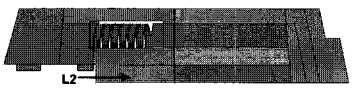


그림 5. 그림 1 안테나의 전류 밀도

Fig. 5. Current density of Fig. 1 antenna.



(a) 입체도
(a) Solid view



(b) 정면도
(b) Top view

그림 6. 1.5 cc 세트용 3차원 안테나 모델
Fig. 6. 1.5 cc 3D antenna model for mobile phone.

논문을 참조하기 바란다[4]. 이 안테나는 세트에 장착되어야 하므로 세트용 캐리어(carrier)에 3차원 안테나를 적용하였다. 캐리어의 재질은 PC(Poly Carbonate)이며, 비유전율은 3.0이다. 설계된 안테나는 그림 6과 같다.

안테나의 크기는 가로×세로×높이=28×8×7 mm로 체적은 1.5 cc가 된다. 그림에서 헤릭스를 포함한 부분이 GSM 밴드를 담당하며, H로 표시된 튀어 나온 부분이 높은 밴드인 USPCS 밴드용 안테나이다. 그림 5 안테나의 시뮬레이션 S_{11} 특성은 그림 7과 같다.

그림 6의 헤릭스를 포함한 패턴에 의해 GSM 대역인 1.06 GHz, H패턴으로 USPCS 대역인 2.07 GHz에서 −10 dB를 만족함을 보이고 있다. 시뮬레이션 S_{11} 특성이 실제 적용 주파수보다 다소 크게 나타나는데, 이는 유전체로 이루어진 휴대폰의 커버를 닫으면 공진 주파수가 내려가는 것을 간주한 것이다.

그림 8은 그림 6 안테나에 대한 GSM 주파수에서 시뮬레이션한 전류 밀도를 나타낸 그림이다.

그림 8에서 전류 밀도 방향을 보면 왼쪽으로 흐르는 것을 확인할 수 있다. 오른쪽으로 흐르는 반대 방향 전류가 거의 없음으로써 전류 상쇄가 작게 일어나고 있다. 전류 밀도의 크기는 최대 300 [A/m]로 비교적 큰 값으로 나타나고 있다. 그림에서 헤릭스에서도 전류 밀도가 생성된 것을 볼 수 있다. 이는 헤릭스가 방사 소자로 동작해 길이 보상 이외 안테나 방사에 도움을 주고 있음을 의미하고 있다.

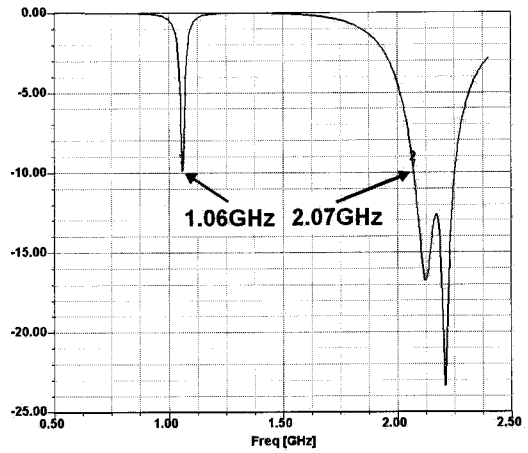


그림 7. 그림 6 안테나의 시뮬레이션 S_{11}
Fig. 7. Simulated S_{11} of Fig. 6 antenna.

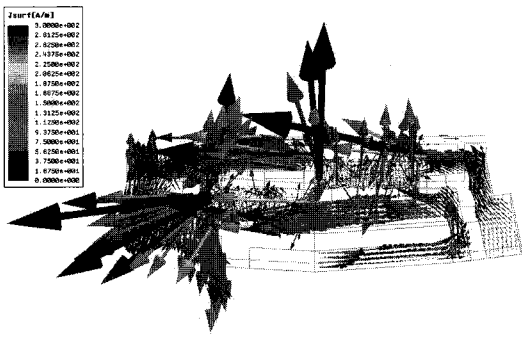


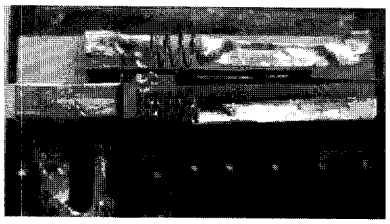
그림 8. 그림 6 안테나의 전류 밀도
Fig. 8. Current density of Fig. 6 antenna.

Ⅲ. 제작 및 측정

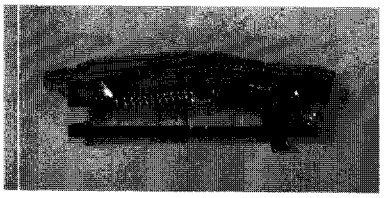
그림 1과 같은 1 cc급 및 그림 6의 1.5 cc급 3차원 안테나에 대한 특성을 측정하기 위하여 제작한 그림은 그림 9와 같다.

앞에서 언급하였듯이 그림 9에서 (a)는 bare 보드용에 적용하기 위한 안테나이며, (b)는 실제 휴대폰 세트에 적용하기 위한 것이다. 제작은 (a)의 경우, 간이형 캐리어에 동판으로 패턴을 제작한 것이며, (b)는 프레스 금형에 의해 제작된 것이다.

그림 9(a)와 같이 제작된 1 cc 안테나를 Agilent사의 Network Analyzer로 측정한 smith chart 및 VSWR은 그림 10과 같다. 안테나를 bare 보드에 장착하여



(a) 1 cc용
(a) 1 cc



(b) 1.5 cc용
(b) 1.5 cc

그림 9. 제작된 3차원 안테나
Fig. 9. Fabricated 3D antenna.

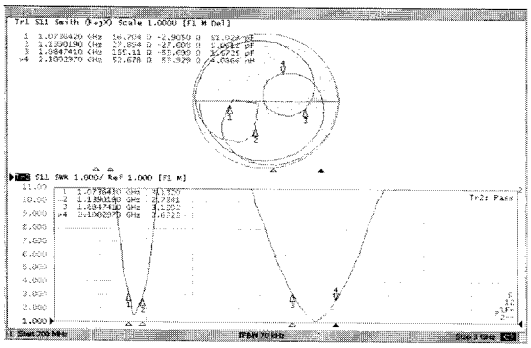


그림 10. 1 cc 안테나의 VSWR 측정치
Fig. 10. Measured VSWR of 1 cc antenna.

측정하였기 때문에 bar 형태 휴대폰과 같이 측정치는 하나이다. 측정된 S_{11}에서 보듯이 모든 대역에서 3:1 이하의 특성을 보이고 있다.

그림 9(b) 안테나에 대한 슬라이드 업(up)과 다운(down) 상태에 따른 측정 VSWR 특성은 그림 11과 같다. GSM 대역에서 슬라이드 업, 다운일 때 각각 3.5:1 및 6:1 이하의 특성이 나타났고, USPCS 대역에서는 공히 4:1 이하의 특성을 보이고 있다.

제작된 1 cc 및 1.5 cc 안테나에 대한 방사 특성은 그림 12, 13과 같다. 측정을 위해 사용된 무반사실은 MTG사 챔버이다.

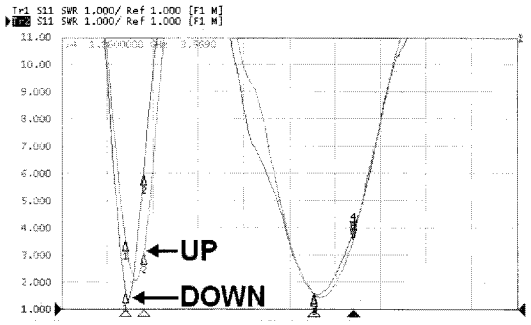
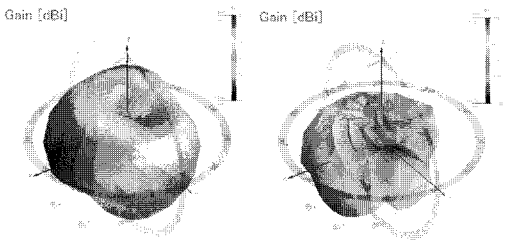
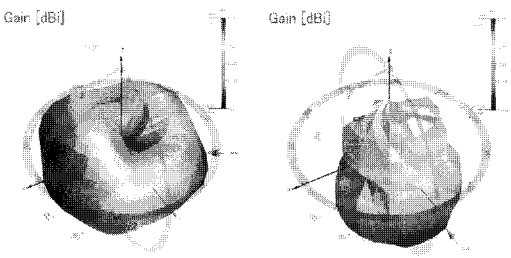


그림 11. 1.5 cc 안테나의 VSWR 측정치
Fig. 11. Measured VSWR of 1.5 cc antenna.



(a) GSM (b) DCS

그림 12. 1 cc 안테나의 3차원 방사 패턴
Fig. 12. 3 dimensional radiation pattern of 1 cc antenna.



(a) GSM (b) USPCS

그림 13. 1.5 cc 안테나의 3차원 방사 패턴(슬라이드 업)
Fig. 13. 3 dimensional radiation pattern of 1.5 cc antenna(slide up).

측정된 방사 패턴에 대한 주파수별 세부 데이터는 측정시 방사 패턴과 함께 출력되어 나온다. 이들 데이터 중 중요한 데이터인 피크 이득(peak gain), 평균 이득(average gain) 및 효율(efficiency)을 나타내면 표 1 및 2와 같다. 그림 13과 표 2에서는 1.5 cc 안테나의 방사 특성 중 슬라이드 업 상태에 대한 특성을

표 1. 1 cc 안테나의 이득과 효율
Table 1. Gain and efficiency of 1 cc antenna.

Freq. [MHz]	Peak gain [dBi]	Avg gain [dBi]	Eff. [%]
1,073	2.76	−2.82	52.30
1,100	1.90	−3.46	45.05
1,120	2.76	−2.11	61.48
1,139	2.06	−2.45	56.88
1,884	3.19	−1.91	64.42
1,930	3.47	−1.73	67.20
1,960	4.49	−0.82	82.82
1,990	4.90	−0.45	90.19
2,100	4.42	−1.35	73.36

표 2. 1.5 cc 안테나의 이득과 효율(슬라이드 업)
Table 2. Gain and efficiency of 1.5 cc antenna(slide up).

Freq. [MHz]	Peak gain [dBi]	Avg gain [dBi]	Eff. [%]
880	−1.06	−4.75	33.49
915	0.19	−3.30	46.82
925	−0.16	−3.60	43.61
960	−1.26	−4.80	33.15
1,850	1.29	−4.32	37.00
1,910	1.92	−3.80	41.71
1,930	2.27	−3.29	46.84
1,990	0.96	−4.54	35.19

나타낸 것이다. 이는 지면 관계상 모든 상태를 나타낼 수 없고 통화 모드인 슬라이드 업에서의 특성이 중요하기 때문이다.

그림 12, 13에서 보듯이 모든 대역에서 방사 패턴이 휴대폰 단말기가 요구하는 전방향성 특성을 거의 만족하고 있다. 표 1에서 1 cc 안테나에 대한 평균 이득 특성은 GSM 대역에서 −3.46～−2.11 dBi, DCS 대역에서 −1.91～−0.45 dBi의 결과 값을 얻었다. 효율은 GSM 대역에서 45.05～61.48 %, DCS 대역에서 64.42～90.19 %로 1 cc의 소형 안테나임에도 불구하고 매우 높은 이득과 효율을 얻었다. 휴대폰 안테나의 경우 최대 이득보다 평균 이득을 중요하게 여긴다. 이는 휴대폰이 어느 방향에서든 통화가 가능해야 하기 때문이다.

1.5 cc 안테나의 이득 특성은 표 2에서와 같다. 평균 이득 특성은 슬라이드 다운일 때 GSM 대역에서 −8.39～−5.96 dBi, USPCS 대역에서 −6.84～−5.57 dBi(표에는 나타내지 않음), 슬라이드 업일 때 GSM 대역에서 −4.80～−3.30 dBi, USPCS 대역에서 −4.54～−3.29 dBi의 특성 값을 얻었다. 효율에 있어서도 슬라이드 다운일 때 GSM 대역에서 14.53～25.37 %, USPCS 대역에서 20.68～27.73 %(표에는 나타내지 않음), 슬라이드 업일 때 GSM 대역에서 33.15～46.82 %, USPCS 대역에서 35.19～46.84 %의 양호한 결과를 보이고 있다. 이 결과는 본 연구 안테나보다 큰 휴대폰용 내장형 안테나에 비해 손색이 없는 양호한 이득과 효율 특성이다. GSM 대역에 대한 좁은 대역 특성의 개선은 광대역 정합으로 개선시킬 수 있을 것으로 생각한다. 본 안테나는 비록 3차원 형상이고, 헤릭스를 추가해야 하는 복잡한 제작 공정을 가지고 있다. 그러나 동일한 전류 방향 특성을 가지고 있기 때문에 정합회로의 수정만으로 다양한 휴대폰에 적용하는 범용 안테나로 시도될 수 있는 장점을 가지고 있다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 안테나 체적이 1 cc 정도 되는 휴대폰용 초소형 안테나를 설계하였다. 작은 크기임에도 불구하고 안테나 전류의 방향을 일정하게 함으로써 이득과 효율을 향상시킬 수 있음을 보였다. 짧은 안테나 길이의 보상은 헤릭스를 적용하여 길이를 보상하였다. 다중 대역의 높은 주파수 대역을 위해 안테나를 입체적으로 세우는 3차원 형상을 갖는 안테나로 설계하였다.

GSM/DCS 대역용 1 cc 체적의 안테나와 GSM/USPCS 대역용 1.5 cc 체적을 갖는 안테나를 설계하고 이를 제작하였다. 제작된 안테나를 휴대폰에 적용하여 VSWR, 방사 패턴, 이득 및 효율을 대역별로 측정하였다. 측정 결과, 1 cc 및 1.5 cc 안테나의 평균 이득과 효율은 전 대역에서 각각 −3.46～−0.45 dBi와 −4.80～−3.29 dBi 및 45.05～90.19 %와 33.15～46.84 %로 초소형 내장형 안테나로써 매우 만족할 만한 결과를 얻었다. 다만 GSM 대역에서 나타나는

협대역 특성은 개선되어야 할 사항이다. 본 연구는 휴대폰용 내장형 안테나의 소형화 및 범용 규격화 연구에도 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

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.

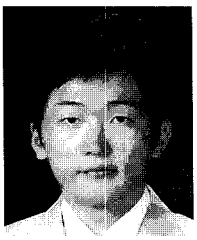
[3] 손태호, "이동 통신 안테나 이론", 교육자료, 삼성전자인재개발그룹, 2008년 6월.

[4] 홍민기, 손태호, "헤릭스를 이용한 3차원 구조의 휴대폰 내장형안테나", 한국전자파학회논문지, 19(8), pp. 906-912, 2008년 8월.

[5] 홍용의, 이치우, 김기호, 양묘근, 성원모 "PCB를 이용한 T-DMB/DAB/Wibro 삼중 대역 안테나", 한국전자파학회논문지, 18(2), pp. 227-232, 2007년 2월.

[6] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, 1997.

홍 민 기



2007년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
2007년~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 휴대폰 안테나, 전자파 이론, RFID

손 태 호

1979년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
1986년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
1990년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
1980년~1981년: 영국 Ferranti사 연구원
1978년~1987년: LIG넥스원 중앙연구소 근무
1992년~1994년: 천문우주연구원 객원연구원
1999년~2000년: University of lllinois 연구교수
2000년~2003년: (주)닛시텔레콤 위촉 연구소장
2002년~2006년: (주)에스비텔콤 기술고문
2005년~2007년: (주)하이트랙스 기술고문
2007년~현재: (주)동원 위촉연구소장
2007년~현재: (주)스카이크로스코리아 기술고문
1990년~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 교수
[주 관심분야] 위성 통신, 휴대폰, RFID용 안테나 설계, 자동차용 전장품 개발, 전자파 생체 영향 등