

반파장 로디드 라인 구조를 이용한 이동 통신 단말기용 다중 대역 내장형 안테나 설계

Design of a Multi-band Internal Antenna Using Half Wavelength Loaded Line Structure for Mobile Handset Applications

신 후 · 정우재 · 정병운 · 박면주 · 이병제

Hoo Shin · Woo-Jae Jung · Byungwoon Jung · Myun-Joo Park · Byungje Lee

요 약

본 논문에서는 3중 대역 이상의 이동 통신 단말기를 위해 주파수 튜닝이 가능한 새로운 형태의 내장형 안테나를 제안하였다. 설계된 안테나의 동작 주파수 대역은 GSM(880~960 MHz)/GPS(1,575±10 MHz)/DCS(1,710~1,880 MHz)/US-PCS(1,850~1,990 MHz)/W-CDMA(1,920~2,170 MHz) 대역을 포함한다. 제안된 안테나는 반파장 로디드 라인 구조와 모노폴 구조를 결합한 형태를 띄고 있으며 하나의 단락점과 급전점을 공유한다. 그리고 단락점과 접지면 사이의 집중형 인덕턴스 소자의 값을 조절함으로써 GSM과 GPS 대역을 그대로 유지하면서 각각 DCS, US-PCS, W-CDMA 대역을 만족시킬 수 있다. 사용된 인덕터 소자의 값은 주파수 튜닝에 따른 이득 저하를 최소화하기 위하여 최대 3.3 nH로 한정하였으며 이에 따른 안테나의 최대 이득은 GSM 대역에서 -0.58~-0.30 dBi, GPS 대역에서 -0.57~0.43 dBi, DCS/US-PCS/W-CDMA 대역에서 0.38~1.15 dBi로 측정되었다. 시뮬레이션과 측정을 통해 제안된 안테나가 높은 주파수 대역에서 약 0.77 dB의 이득 변화 폭 내에서 약 240 MHz의 공진 주파수를 효과적으로 조절할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, novel internal antenna with its controllable resonant frequency is presented for triple-band or over mobile handsets. The operating range can include GSM(880~960 MHz), GPS(1,575±10 MHz), DCS(1,710~1,880 MHz), US-PCS(1,850~1,990 MHz), and W-CDMA(1,920~2,170 MHz). The proposed antenna is realized by combination of a half wavelength loaded line and a shorted monopole. A single shorting and feeding points are used and they are common to both antenna structures. By controlling a value of lumped inductance element between shorting point and ground plane, the antenna provides enough bandwidth to cover DCS, US-PCS, and W-CDMA respectively. When these higher bands are controlled by the values of inductance, resonant characteristics in GSM and GPS bands are maintained. In this work, maximum value of the inductor is limited within 3.3 nH to mitigate gain degradation from frequency tuning. As a result, measured maximum gain of antenna is -0.58~-0.30 dBi in the GSM band, -0.57~0.43 dBi in the GPS band and 0.38~1.15 dBi in the DCS/US-PCS/W-CDMA band. In higher band, the proposed antenna is certified that resonant frequency of about 240 MHz can be effectively controlled within gain variation of about 0.77 dB by simulation and measurement.

Key words : Internal Antenna, Controllable, Half Wavelength Loaded Line, Shorted Monopole

I. 서 론

근래 들어 이동 통신 단말기용 안테나 시장에서

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

· 논문 번호 : 20050830-096

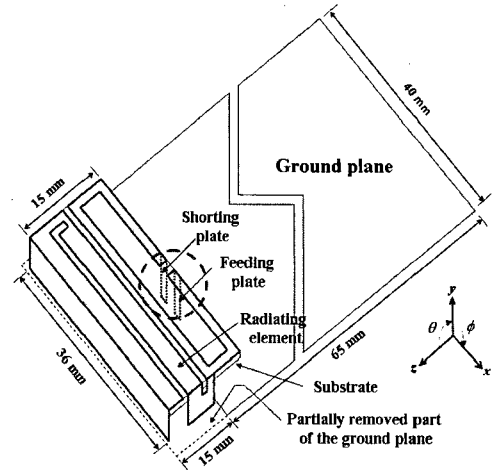
· 수정완료일자 : 2005년 12월 15일

는 좀더 많은 대역을 커버할 수 있는 내장형 안테나에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다^[1]. 이러한 현상은 단말기 가입자 수의 증가는 물론 하나의 단말기로 통신·방송, 유·무선, 음성·데이터 서비스를 이용할 수 있는 광대역 통신망(BcN: Broadband Convergence Network) 서비스의 활성화와도 무관하지 않다. 하지만 내장형 안테나들은 단말기의 제한된 공간 내에 설치되어야 하기 때문에 ESA (Electrically Small Antenna)로 구현되는 것이 대부분이며, 일반적으로 ESA의 임피던스 대역폭은 Chu와 Wheeler에 의해 정의되어진 방사 Q값으로 결정되어질 수 있다. 결론적으로 ESA의 대역폭은 안테나가 차지하는 부피에 비례하기 때문에 기본적으로 협소한 공간내에서 구현되어지는 ESA는 좁은 임피던스 대역폭을 갖게 된다^[2]. 따라서 안테나 크기의 증가 없이 단일 안테나 구조를 사용하여 유효 대역폭을 증가시킬 수 있는 주파수 조절형 안테나의 필요성이 증대되고 있다^[3]. 집중형 소자를 사용하여 주파수를 조절하는 방법은 일반적으로 사용되어지고 있으나, 서로 다른 주파수 대역에서 독립적으로 동작하지 않으며, 주파수의 조절 범위가 넓지 않다는 단점이 있다^[4]. 본 논문에서는 반파장 로디드 라인 구조^[5]와 단락 회로를 가지는 모노폴 구조를 결합하여 높은 주파수 대역에서는 보다 넓은 주파수 조절 범위를 가지며 낮은 주파수 대역과는 서로 독립적으로 작동되어지는 안테나를 제안하였다.

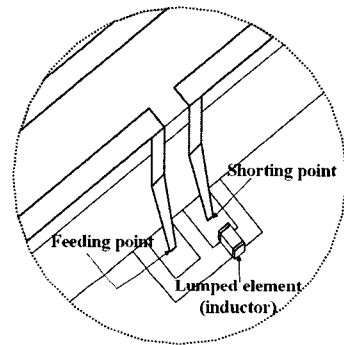
제안된 안테나의 설계는 Ansoft HFSS ver. 9.2를 사용하여 분석하였으며, 시뮬레이션을 토대로 실제 제작된 안테나는 Agilent사의 E5071B와 orbit far field measurement ver. 3.6을 이용하여 안테나의 반사 손실과 방사 패턴을 측정하였다.

II. 제안된 안테나 구조 및 분석

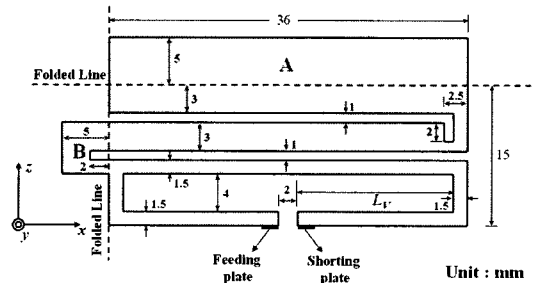
본 논문에서 제안된 구조는 그림 1(a)와 같이 반파장 로디드 라인 구조와 단락 회로를 갖는 모노폴 구조를 결합한 형태를 띄고 있으며 급전점과 단락점을 서로 공유하고 있다. 안테나의 전체적인 크기는 $36 \times 15 \times 5(\text{mm}^3)$ 이고 접지면은 크기 $40 \times 65(\text{mm}^2)$ 이며 상대 유전율 4.7, 두께 1 mm를 가지는 FR4 기판을 사용하였다. 방사체 아래 부분의 접지면은 제거



(a) 삼차원 구조
(a) 3-dimensional view



(b) 추가된 인덕터의 위치
(b) Position of added inductor



(c) 방사체의 구조
(c) Geometry of radiating element

그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of the proposed antenna.

하였으며 이는 안테나의 유효 공간을 증가시켜 대역폭을 확장시키는 방법으로 이미 연구된 바 있다^[6]. 그림 1(b)는 단락점과 접지면 사이에 추가되어지는

집중형 인덕턴스 소자의 위치를 나타내고 있다. 또한 제안된 방사체의 구조는 그림 1(c)에 도시했다. A와 B 부분은 제한된 공간을 충분히 활용하여 추가적인 공진 길이의 확보와 컨덕터에서 발생하는 손실을 줄이기 위하여 접혀진 형태를 가지고 있다. 특히 A 부분은 방사체의 면적 증가로 인한 GSM 대역에서의 대역폭 확장에도 도움을 준다. 슬랏의 폭은 1 mm로 동일하고 반파장 로디드 라인 안테나의 폭은 1.5 mm로 유지되었다.

그림 2는 급전점과 단락점의 위치는 고정시키고 L_v 의 길이를 각각 15.5 mm, 10.5 mm, 5.5 mm, 0 mm로 변화시켰을 때 공진 주파수의 변화를 Ansoft HFSS ver. 9.2를 사용하여 계산한 결과이다. 이 때, GSM 대역과 GPS 대역의 공진 주파수 변화 폭은 각각 40 MHz, 100 MHz로 총 30 mm의 길이 변화에 비하여 변화가 적었으며 W-CDMA 대역 공진 주파수는 2,060 MHz, 2,330 MHz, 2,650 MHz, 2,920 MHz로 높아진다. 이는 반파장 로디드 라인 안테나가 가장 높은 주파수 대역에서 주방사체의 역할을 담당하며, 안테나의 구조적인 변화(단락점과 급전점 사이의 거리)는 단락 회로를 갖는 모노폴이 담당하는 주파수 대역의 공진 주파수들보다는 상대적으로 안테나의 입력 임피던스에 더 큰 영향을 준다고 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 안테나의 자체 구조의 형태는 그대로 유지하면서 집중형 인덕턴스 소자를 추가하여 반파장 로디드 라인 안테나를 구성하여 높은 주파수 대역 주파수 조절하고, 부수적으로 주파수 조

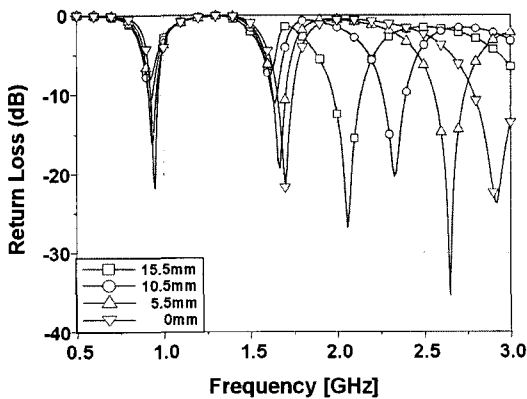


그림 2. L_v 변화에 따른 안테나의 반사 손실
Fig. 2. Return loss of antenna due to L_v .

절에 따른 다른 주파수 대역의 변화를 줄이고자 하였다. 인덕터가 추가된 반파장 로디드 라인 안테나의 등가 회로를 그림 3과 같이 나타낼 수 있으며 이때의 입력 어드미턴스는 식 (1)과 같이 정의될 수 있다.

$$Y_{in} = \frac{1}{R_r} + \frac{1}{R_{loss}} + j \left(\frac{1 - \omega^2 (L_T + L_A)C}{\omega (L_T + L_A)} \right) \quad (1)$$

여기서, R_r 은 방사 저항, R_{loss} 는 길이에 따른 손실 저항, L_T 은 길이에 따른 인덕턴스 성분, L_A 은 추가된 인덕턴스 성분, C 는 방사체와 접지면의 높이에 따른 캐패시턴스 성분, ω 는 각주파수($2\pi f$)로써 각각 정의된다. 이 회로의 공진 조건은 다음과 같다.

$$1 - \omega^2 (L_T + L_A)C = 0 \quad (2)$$

또한 그 때의 공진 주파수는 식 (3)과 같이 계산되어진다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_T + L_A)C}} \quad (3)$$

식 (3)을 통하여 추가적인 인덕턴스 성분(L_A)의 조절을 통하여 안테나의 공진 주파수를 변화시킬 수 있음을 알 수 있다^[7]. 그림 4는 HFSS ver. 9.2로부터 얻어진 각각 공진 주파수별 안테나의 방사체 위의 표면 전류 분포를 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 GSM 대역으로 동작하는 모노폴 구조에서의 기본 모드 전류 분포로 C 부분에서 전류 분포가 최소가 되어 전체의 최대점이 형성됨을 알 수 있다. 그림 4(b)는 GPS

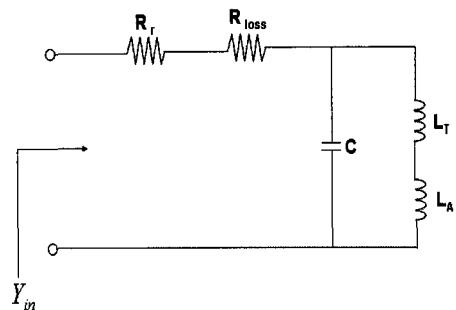


그림 3. 반파장 로디드 라인 안테나의 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit of half wavelength loaded line antenna.

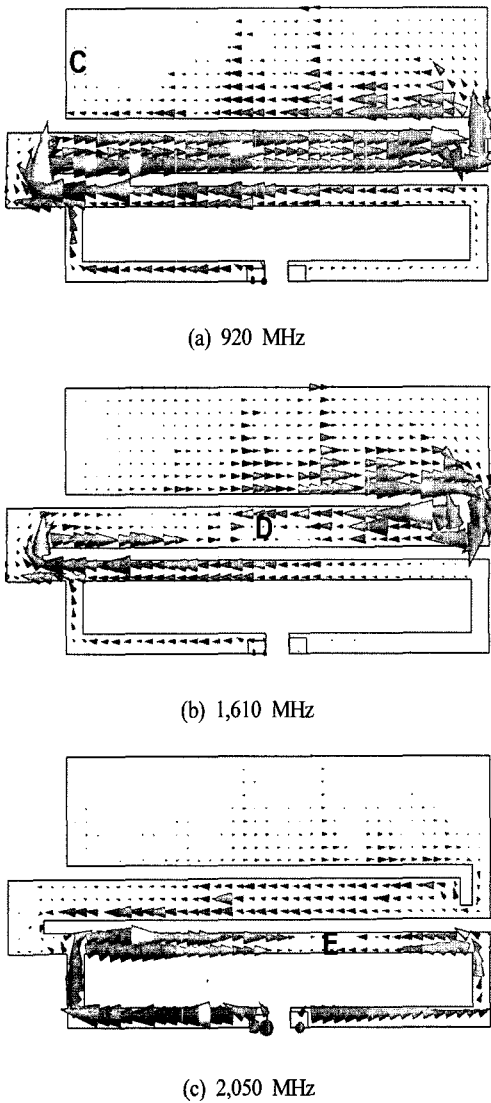


그림 4. 공진 주파수별 방사체의 표면 전류 분포
 Fig. 4. Surface current distributions on the radiator at each resonant frequency.

대역으로 동작하는 모노폴 구조의 1차 고차 모드의 전류 분포를 나타내고 있으며 D 부분에 최대 방사점이 형성된다. 그림 4(c)는 급전점과 단락점 사이에 설계되어 있는 반파장 로디드 라인 안테나의 전류 분포를 나타내고 있으며 E 부분에서 전계의 최대점이 형성됨을 보인다.

그림 5는 L_p 를 15.5 mm로 고정한 상태에서 단락점과 접지면 사이에 위치한 집중형 인덕턴스 소자의 값을 0~3.3 nH로 변화시켰을 때의 안테나의 반사

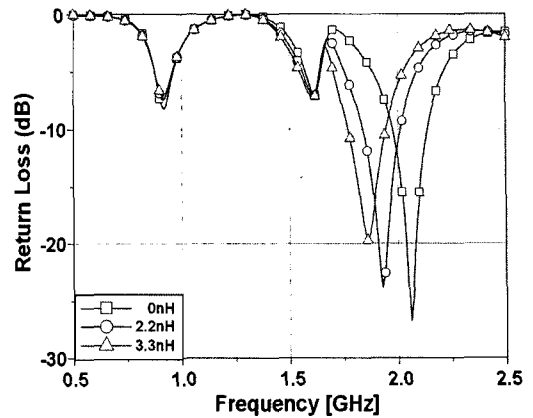


그림 5. 집중형 인덕턴스 소자의 값에 따른 공진 주파수의 시뮬레이션 결과
 Fig. 5. Simulated result of resonant frequency due to value of the lumped inductance element.

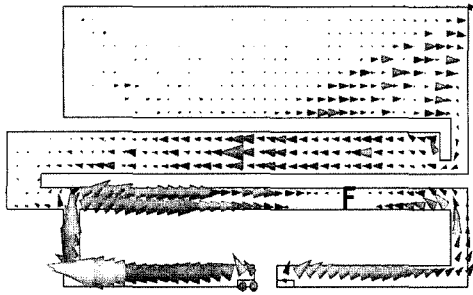
손실을 시뮬레이션한 결과이다. 높은 주파수 대역의 공진 주파수는 약 200 MHz 조절될 수 있음을 확인하였고 이 때 GSM 대역과 GPS 대역의 공진 특성의 변화는 매우 작았다.

그림 6은 인덕터 값을 2.2 nH, 3.3 nH로 변화시켰을 때, 높은 주파수 대역 공진 주파수에서의 전류 분포를 나타내고 있다. 인덕터의 값이 커질수록 최대 방사점의 위치가 단락점 쪽으로 이동하며, 각각 F, G점에 형성되는 것을 볼 수 있다. 이는 큰 값을 가지는 인덕터를 추가할 경우 최대 방사점이 단락점 가까이로 이동하게 되어 안테나의 패턴 및 이득에 영향을 미침을 알 수 있으며, 인덕터의 값에 한계를 두어야 한다는 것을 보여준다.

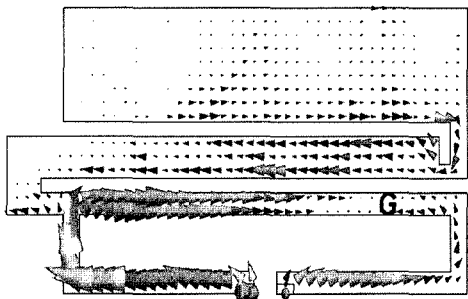
그림 7은 시뮬레이션된 방사 패턴을 나타내고 있다. X-Y plane에서 전방향성 패턴을 가지고 있음을 알 수 있다.

III. 측정 결과

그림 8은 실제 제작된 안테나에서의 공진 주파수 변화를 Agilent社의 E5071B를 사용하여 측정한 값이다. 시뮬레이션 조건과 같이 인덕터 값은 0~3.3 nH로 한정하였으며 이 때의 높은 주파수 대역의 공진 주파수는 각각 2,080 MHz, 2,000 MHz, 1,840 MHz로 측정되었다. 임피던스 대역폭은 VSWR 3:1을 기준으로 하여 0 nH일 때 15.9% (1,890~2,220 MHz), 2.2



(a) 1,930 MHz



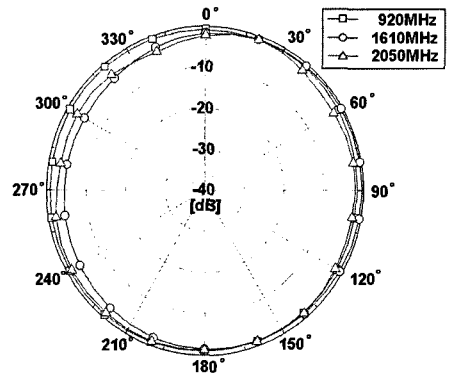
(a) 1,810 MHz

그림 6. 높은 주파수 대역에서의 표면 전류 분포 변화
Fig. 6. Variation of surface current distributions at higher frequency band.

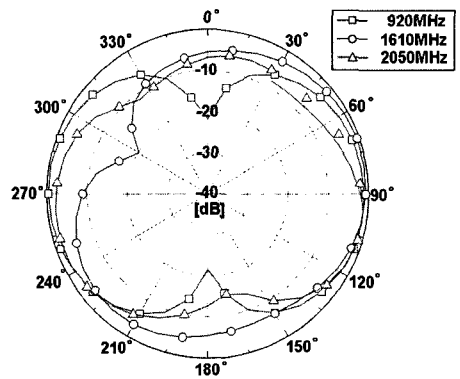
nH일 때 14.8 % (1,785~2,080 MHz), 3.3 nH일 때 14.4 % (1,665~1,930 MHz)로 측정되었으며 각각 W-CDMA, US-PCS, DCS 대역을 만족시킨다. 또한 GSM 대역에서는 11.9 % (860~970 MHz)의 대역폭을 가지고 있으며 인덕턴스 값의 변화에 따른 공진 특성은 변하지 않았음을 확인할 수 있다. 모노폴 구조의 1차 고차 모드로 동작하는 GPS 대역 또한 인덕턴스 값의 변화에 따른 공진 특성은 변하지 않았다.

그림 9는 인덕터의 값이 0 nH일 때 각 대역의 중심 주파수에서의 X-Y plane과 Y-Z plane을 Orbit社 far field measurement ver. 3.6을 사용하여 측정한 결과이다. 인덕터의 값을 2.2 nH와 3.3 nH로 변화시켜 측정을 해보았을 때에도 거의 동일한 방사 패턴을 얻을 수 있었다.

표 1은 인덕터 값에 따른 각 주파수 대역에서의 최대 이득을 나타내고 있다. 제안된 안테나는 측정 결과를 통하여 0.77 dB의 이득 편차 범위 내에서



(a) X-Y plane



(b) Y-Z plane

그림 7. 제안된 안테나의 시뮬레이션된 방사 패턴
Fig. 7. Simulated radiation pattern of proposed antenna.

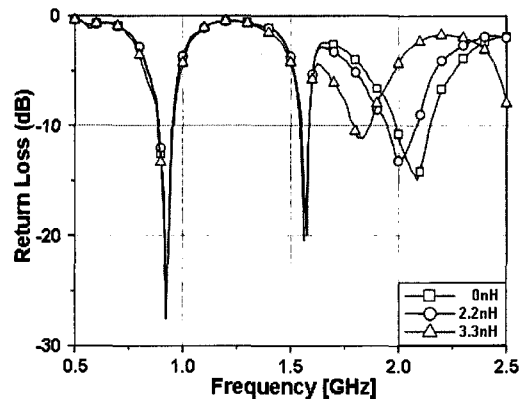
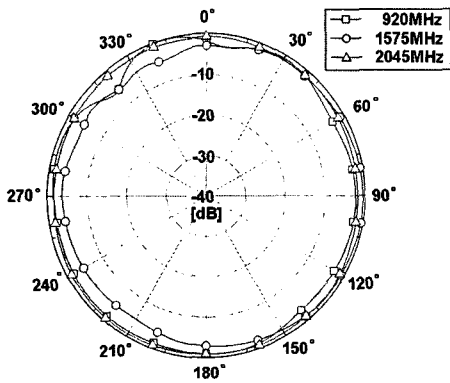
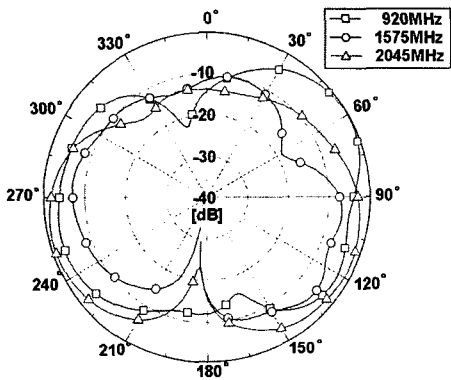


그림 8. 집중형 인덕턴스 소자의 값에 따른 공진 주파수의 측정 결과
Fig. 8. Measured result of resonant frequency due to value of the lumped inductance element.



(a) X-Y plane



(b) Y-Z plane

그림 9. 제안된 안테나의 방사 패턴
Fig. 9. Radiation pattern of proposed antenna.

DCS, US-PCS, W-CDMA를 효과적으로 커버할 수 있음을 알 수 있다. 또한 이러한 적은 이득 편차는 반파장 로디드 라인 구조를 사용함으로써 비교적 작은 3.3 nH의 인덕터 값으로도 원하는 대역을 만족할 수 있었기 때문에 집중형 소자에서 발생하는 손실을 최소화할 수 있었고, 전계의 세기가 약한 지점인 단락점에 인덕터를 추가하였기 때문으로 사료된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 반파장 로디드 라인 구조와 추가적인 집중형 인덕턴스 소자를 이용하여 높은 주파수 대역을 효과적으로 조절할 수 있는 단말기 내장형 안테나를 설계 및 구현하였다. 제안된 안테나는 반

표 1. 제안된 안테나의 최대 이득 측정 결과
Table 1. Measured peak gain of the proposed antenna.

L (nH)	주파수 대역	측정 주파수 (MHz)	최대 이득(dBi)		
			Y-Z plane	X-Y plane	
0	GSM	880	-2.25	-1.11	
		920	-0.57	-0.58	
		960	-1.40	-1.60	
	GPS	1,575	-1.18	0.43	
		W-CDMA	1,920	2.62	-0.01
			2,045	3.63	0.89
2.2	GSM	2,170	3.44	0.38	
		880	-2.23	-0.94	
		920	-0.65	-0.30	
	GPS	960	-1.48	-1.29	
		1,575	-1.80	0.42	
		US-PCS	1,850	2.75	-0.06
1,920	3.20		0.38		
1,990	2.60		0.27		
3.3	GSM	880	-2.04	-1.02	
		920	-0.58	-0.36	
		960	-1.36	-1.43	
	GPS	1,575	-2.03	-0.57	
		DCS	1,710	3.33	1.15
			1,795	3.19	0.15
1,880	2.62		-0.09		

파장 로디드 라인 구조와 단락 회로를 가진 모노폴 구조를 결합한 형태를 가지고 있기 때문에 추가된 집중형 인덕턴스 소자의 값에 의해 GSM/GPS 대역과는 독립적으로 높은 주파수 대역(DCS/US-PCS/W-CDMA)을 효과적으로 조절할 수 있다. 또한 비교적 적은 집중형 소자 값으로도 넓은 주파수 튜닝 범위를 가질 수 있기 때문에 다른 여러 응용 분야에도 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대한다. 차후에 집중형 소자는 스위치 혹은 가변 소자로 대체하여 좀 더 능동적인 주파수 조절형 안테나에 대해 연구를 진행할 것이다.

참 고 문 헌

[1] H. Tamaoka, H. Hamada, and T. Ueno, "A multi-

- band antenna for mobile phones", *Furukawa Review*, no. 26, 2005.
- [2] A. K. Skriverik, J. F. Zurcher, O. Staub, and J. R. Mosig, "PCS antenna design: the challenge of miniaturization", *IEEE Antenna and Propagation Magazine*, vol. 43, pp. 12-17, Aug. 2001.
- [3] S. Onat, L. Alatan, and S. Demir, "Design of triple-band reconfigurable microstrip antenna employing RF-MEMS switches", *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, vol. 2, pp. 20-25, Jun. 2004.
- [4] P. K. Panayi, M. Al-Nuaimi, and L. P. Ivrisimtzis, "Tuning techniques for the planar inverted-F antenna", *IEE National Conference on Antennas and Propagation*, pp. 259-262, Mar. 1999.
- [5] A. Henderson, K. Hirasawa, and J. R. James, *Small Antennas*, New York, John Wiley and Sons, Research Studies Press, 1987.
- [6] 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.
- [7] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, 1998.

신 후



2004년 2월: 호서대학교 정보통신 공학과 (공학사)
 2004년 9월~현재: 광운대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 이동통신 단말기용 내장형 안테나 설계

정 우 재



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

정 병 운



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

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