

커플링 급전 구조를 사용한 역 F형 안테나의 설계

Design of Inverted-F Antenna Using a Coupling Feed

김 상 원 · 최 학 근 · 박 재 현

Sang-Won Kim · Hak-Keun Choi · Jae-Hyun Park

요 약

본 논문에서는 커플링 급전 구조를 사용한 이동 통신 단말기용 프린트형 역 F 안테나를 제안하였다. 일반적으로 커플링 급전 구조를 사용할 경우 추가적인 커패시턴스 성분이 발생되며, 급전부를 직접 연결해준 안테나의 높은 인덕턴스 성분을 부분적으로 보상해 주는 역할을 한다. 제안된 안테나는 커플링 급전 구조를 사용하여 824~960 MHz와 1,710~2,390 MHz에서 다중 대역을 갖도록 대역 특성을 개선시켰으며, 급전부를 직접 연결해준 안테나와 비교하여 제안된 안테나의 대역 특성이 개선됨을 확인하였다. 제안된 안테나는 GSM850/GSM900/DCS/USPCS/WCDMA/Wibro 대역을 만족하며, 최대 이득 $-4.794 \sim 1.648$ dBi의 이득을 가지고 전방향성 복사 패턴을 보인다.

Abstract

This paper propose the printed inverted-F antenna using the coupling feed for the mobile phone. The coupling feed can normally leads the additional capacitances in the antenna, so the high inductive reactance of the antenna can be partly compensated. In this paper, it is shown that the bandwidth of the proposed antenna using the coupling feed is improved at 824~960 MHz and 1,710~2,390 MHz. Then it is compared with the simple direct feed to confirm the improvement of the bandwidth. The proposed antenna covers GSM850/GSM950/DCS/USPCS/WCDMA/Wibro and has the maximum gain of $-4.794 \sim 1.648$ dBi and shows omnidirectional patterns over the operating bands.

Key words : Inverted_F Antenna, Coupling Feed, Multiband Antenna, Mobile Handset

I. 서 론

무선 통신 기술의 급속한 발전과 멀티 시스템의 요구로 인하여 이동 통신 단말기용 내장형 안테나는 소형화 및 다중 대역 동작이 요구된다^[1]. 안테나의 소형화는 이득 및 효율의 감소, 협대역 특성으로 인하여 다중 대역 동작을 어렵게 한다^[2].

이동 통신 단말기용 내장형 안테나의 소형화에 따른 문제점을 해결하기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있으며, PIFA(Planar Inverted-F Antenna), 폴디드 모노폴 안테나(Folded Monopole Antenna) 및 역 F형

안테나(Inverted-F Antenna) 등이 연구되고 있다. 그러나 PIFA는 이득이 높고 부피가 작지만 협대역 특성을 갖고, 폴디드 모노폴 안테나는 광대역을 갖지만 부피가 크며, 역 F형 안테나는 크기가 작지만 다중 대역 특성을 갖기 어렵다^{[3]~[5]}.

내장형 안테나에서 추가적인 대역 특성을 갖기 위한 방법으로는 기생 소자나 브랜치 소자를 사용하는 방법과^{[6],[7]}, 별도의 외부 정합 구조를 사용하는 방법이 있다^{[8],[9]}. 기생 소자(parasitic element)나 브랜치 소자(branch element)를 사용하는 경우, 부가적인 공간이 필요하며^[10], 외부 정합 구조를 사용하는 경

단국대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Dankook University)

· 논문 번호 : 20100217-008

· 교신저자 : 최학근(e-mail : hkchoi@dankook.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 6월 28일

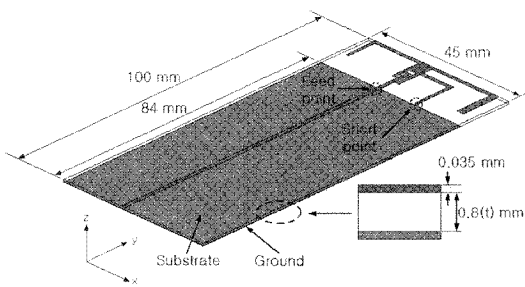
우 역시 별도의 시스템 공간이 필요하며, 삽입 손실을 증가시킬 수 있다^{[11][12]}.

본 논문에서는 커플링 급전 구조를 사용한 프린트형 역 F 안테나를 제안한다. 커플링 급전 구조는 내부 정합 회로라 할 수 있으며^[12] 추가적인 커패시턴스 성분을 갖는다. 따라서 커플링 급전을 사용할 경우, 별도의 추가 공간 없이 급전부가 직접 연결된 안테나가 갖는 높은 인덕턴스 성분을 부분적으로 보상해 주어 공진 특성을 개선시킬 수 있다^{[11]~[15]}.

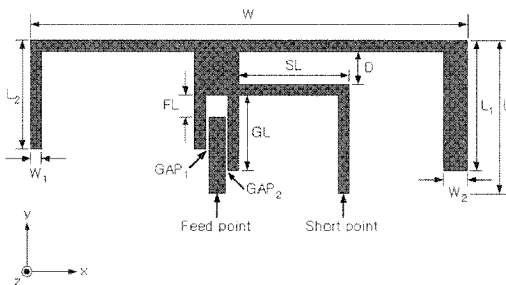
본 논문은 GSM850(824~894 MHz), GSM900(880~960 MHz), DCS(1,710~1,880 MHz), USPCS(1,850~1,990 MHz), WCDMA(1,920~2,170 MHz), Wibro(2,300~2,390 MHz) 대역에서 동작하는 커플링 급전 구조를 갖는 프린트형 역 F 안테나를 제안하며, 설계 및 제작과 측정을 통하여 커플링 급전 구조의 사용 가능성을 보인다.

II. 안테나 구조 및 설계

그림 1은 제안된 안테나의 구조도이다. 그림 1(a)



(a) 측면도
(a) Side view



(b) 평면도
(b) Plane figure

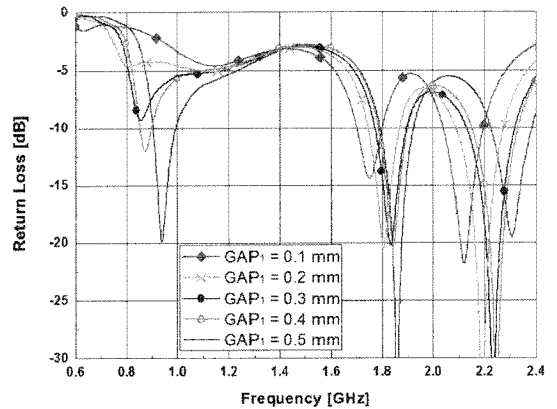
그림 1. 안테나의 구조

Fig. 1. Geometry of the antenna.

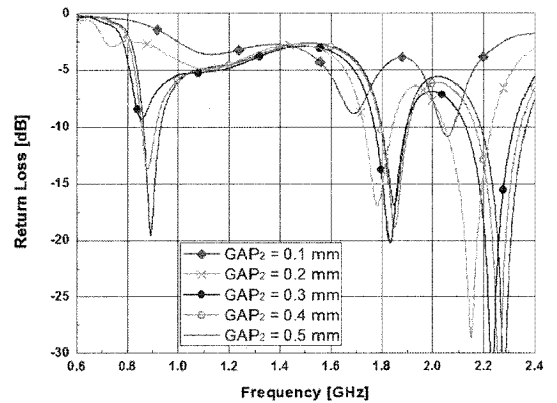
는 안테나와 기관, 접지면이 모두 포함된 전체 모습을 나타낸 구조도이고, 그림 1(b)는 기관과 접지면이 제외된 안테나 부분만 나타낸 평면도이다.

제안된 안테나는 비유전율(ϵ_r) 4.4, 손실 탄젠트($\tan \delta$) 0.02, 두께(t) 0.8 mm와 양면이 구리(도전율, $\sigma = 5.8 \times 10^7$)로 도금된 FR4 기관에 설계되었다.

그림 1(a)에서 기관의 전체 체적은 $45 \times 100 \times 0.8 \text{ mm}^3$ 이며, 접지면의 전체 면적은 $45 \times 84 \text{ mm}^2$ 로 기관의 하단에 위치한다. 제안된 안테나의 전체 체적은 $40(W) \times 14(L) \times 0.8(t) \text{ mm}^3$ 로 기관의 상단 윗부분에 위치한다. 급전부(feed point)는 50 Ω 의 마이크로스트립 라인을 이용하여 급전하였으며, 접지핀(short pin)은 비아(via)를 통하여 안테나와 접지면을 연결

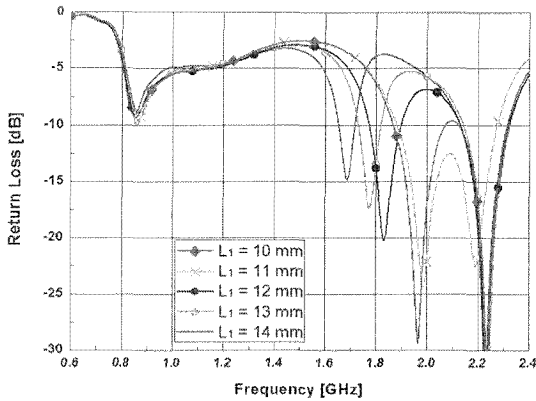


(a) GAP₁에 따른 반사 손실
(a) Return loss as a function of the GAP₁

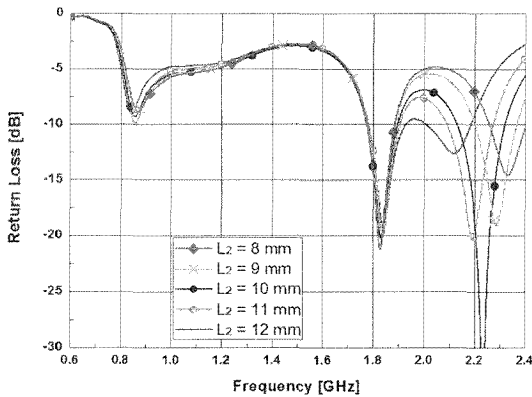


(b) GAP₂에 따른 반사 손실
(b) Return loss as a function of the GAP₂

그림 2. 커플링 간격(GAP₁, GAP₂)에 따른 반사 손실
Fig. 2. Return loss as a function of the coupling interval(GAP₁, GAP₂).



(a) L_1 에 따른 반사 손실
(a) Return loss as a function of the L_1



(b) L_2 에 따른 반사 손실
(b) Return loss as a function of the L_2

그림 3. L_1, L_2 에 따른 반사 손실
Fig. 3. Return loss as functions of the L_1 and L_2 .

하였다.

그림 1(b)의 제안된 안테나는 커플링 급전을 사용한 급전부와 역 F형 안테나 구조로 이루어져 있다. 제안된 안테나는 안테나의 중앙 부분에서 급전이 이루어지며, 급전선에서 일정 간격(GAP_1, GAP_2) 만큼 떨어져 양쪽으로 역 F형 안테나 구조가 위치한다. 단락 핀은 안테나 우측에 위치한다.

안테나의 급전부 우측의 역 F형 안테나의 길이는 급전부에서 우측 안테나가 끝나는 지점까지의 길이가 41 mm로 1,800 MHz에서 약 $\lambda/4$ 이며, 안테나의 급전부 좌측의 안테나 길이 역시 마찬가지로 급전부에서 안테나 좌측 끝나는 지점까지 32 mm로 2,300 MHz에서 약 $\lambda/4$ 이다.

그림 2는 급전부와 안테나 사이의 커플링 간격인

GAP_1, GAP_2 변화에 따른 반사 손실 비교이며, CST사의 MWS를 사용하여 계산 결과를 비교하였다. 그림 1(b)에서 급전부와 안테나의 좌측 간격을 GAP_1 , 급전부와 안테나의 우측 간격을 GAP_2 로 두었으며, 커플링 간격은 0.1 mm에서 0.5 mm까지 변화시켰다. GAP_1, GAP_2 가 0.1, 0.2 mm인 경우, GSM850/900 대역에서 공진 특성이 없어지며, DCS/USPCS/WCDMA/Wibro 대역 역시 대역폭이 감소하였다. 커플링 간격이 0.3~0.5 mm로 넓어지는 경우 공진 특성이 발생되나, 목표 주파수에 가장 적절한 값은 0.3 mm이다.

그림 3은 L_1 과 L_2 의 변화에 따른 반사 손실이다. L_1 은 급전부에서 안테나 우측 부분이 끝나는 부분의 길이 조절 상수이며, L_2 는 급전부에서 안테나 좌측 부분이 끝나는 부분의 길이 조절 상수이다. L_1 은 12 mm, L_2 는 10 mm일 때 안테나 우측 부분의 길이는 1,800 MHz의 약 $\lambda/4$ 인 41 mm, 안테나 좌측 부분의 길이는 2,300 MHz의 약 $\lambda/4$ 인 32 mm로, 그림 3에서 보는 것과 같이 L_1 이 12 mm일 때 약 2,230 MHz, L_2 가 10 mm일 때 약 1,830 MHz에서 공진이 일어나는 것을 확인할 수 있다. L_1 의 경우, 12 mm보다 큰 값에 대하여 1,830 MHz의 공진 주파수가 하향 천이하며, L_2 역시 10 mm보다 큰 값에 대하여 2,230 MHz의 공진 주파수가 하향 천이하며, 반대 경우에는 상향 천이 특성을 보인다. L_1 이 12 mm, L_2 가 10 mm인 경우 목표 대역인 DCS/USPCS/WCDMA/Wibro 대역을 만족한다.

그림 4는 급전부와 접지 핀 사이의 간격 SL의 변

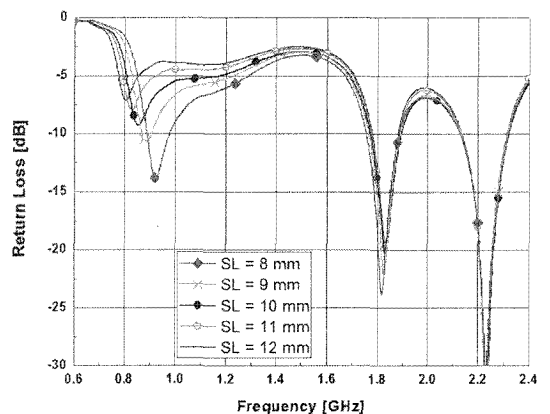
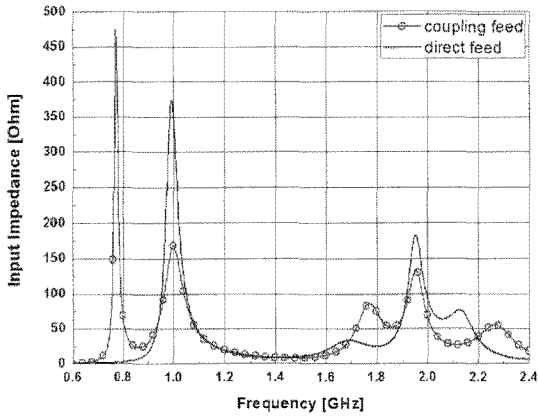
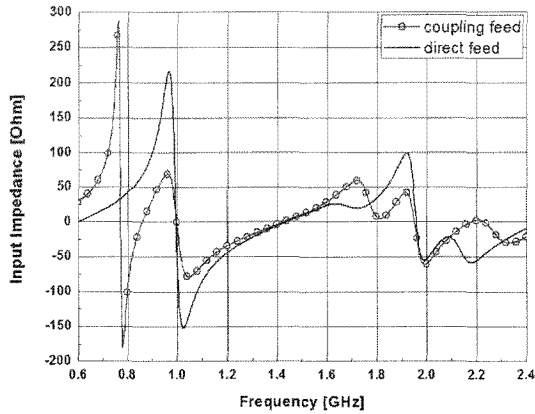


그림 4. SL에 따른 반사 손실
Fig. 4. Return loss as a function of the SL.



(a) 입력 저항
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스
(b) Input reactance

그림 5. 급전 구조에 따른 입력 임피던스
Fig. 5. Return loss as a function of the feeding structure.

표 1. 안테나의 최적 설계 값
Table 1. Optimized values for the geometric parameters of the antenna.

변수	값(mm)	변수	값(mm)
W	40	L_1	12
L	14	L_2	10
GAP_1	0.3	FL	7
GAP_2	0.3	SL	10
W_1	1	D	3
W_2	2	GL	7

화에 따른 반사 손실이다. SL은 약 900 MHz의 공진 주파수 조절 상수이며, 급전부에서 SL을 포함한 단

락 핀까지의 거리는 약 39 mm로 900 MHz의 약 $\lambda/8$ 이다. 안테나의 공진 길이인 $\lambda/4$ 와 비교하여 약 50%의 길이 감소 효과가 있으며, 이것은 커패시턴스 소자를 사용할 경우 안테나를 소형화시킬 수 있기 때문이다^[16]. 본 논문에서는 커패시턴스 소자를 사용하는 대신 커플링 급전 구조를 사용하여 추가적인 커패시턴스 성분을 유도하였다. SL은 8 mm에서 12 mm까지 변화시켜 주었으며, 10 mm인 경우 목표 대역인 GSM850/900(824~960 MHz)에서 VSWR 3:1 이하를 만족한다.

그림 5는 커플링 급전 구조를 사용한 안테나($GAP_1, GAP_2=0.3$ mm)와 급전부를 직접 연결해준 안테나($GAP_1, GAP_2=0$ mm)의 입력 임피던스 비교이다. 커플

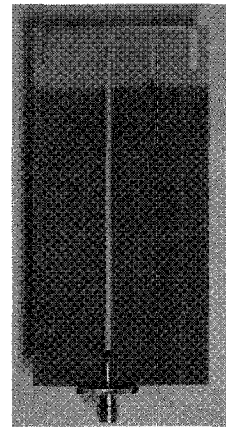


그림 6. 제작된 안테나
Fig. 6. The fabricated antenna.

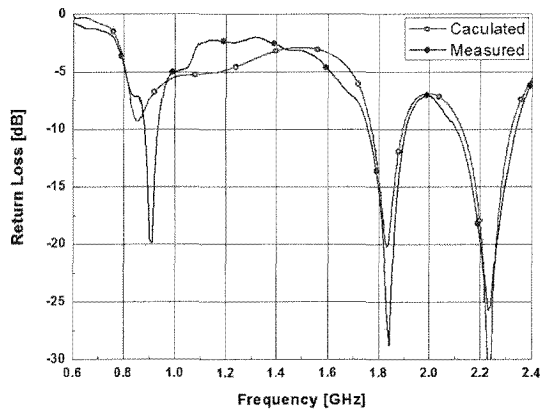


그림 7. 제안된 안테나의 계산치와 측정치 반사 손실
Fig. 7. Calculated and measured return loss of the proposed antenna.

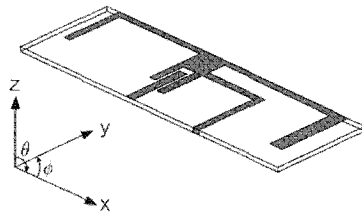
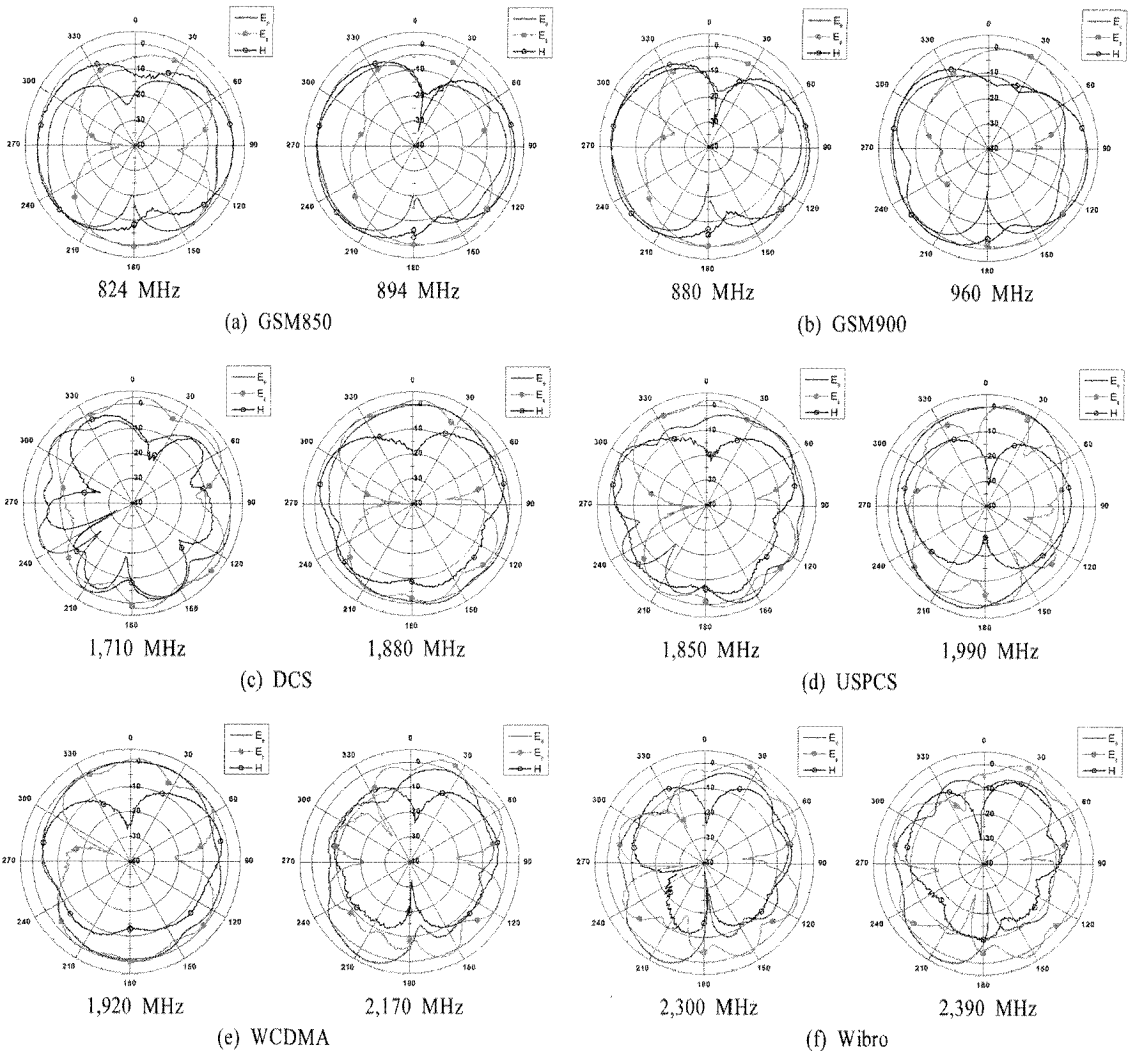


그림 8. 복사 패턴
Fig. 8. Radiation patterns.

링 급전 구조를 사용하였을 경우 806, 928 MHz에서 입력 저항이 50 Ω, 1,860 MHz에서 51.5 Ω이 되며, GSM850/GSM900/DCS/USPCS/WCDMA/Wibro의 목표 대역에서 입력 저항이 증가 또는 감소하여 50 Ω에 더 가까운 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 입력

리액턴스 역시 860 MHz에서 0 Ω, 1,814 MHz에서 4.5 Ω이며, 특히 GSM850/900 대역에서 입력 리액턴스는 급전부를 직접 연결해준 구조와 비교하여 824 MHz에서 51 Ω이 -39.5 Ω으로, 880 MHz에서 83.2 Ω이 16.8 Ω으로, 960 MHz에서 211.6 Ω이 68.84 Ω

으로 인덕턴스 성분이 많이 감소됨을 확인할 수 있다. 따라서 커플링 급전을 사용하였을 경우, 입력 임피던스 성분이 개선되어 공진 특성이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

III. 제작 및 측정 결과

제안된 안테나를 제작하고 측정하여 성능을 평가하였다. 표 1은 제안된 안테나의 최적 설계 파라미터이며, 그림 6은 제작된 안테나의 모습이다.

그림 7은 제안된 안테나의 계산치와 측정치의 반사 손실 비교 그래프이다. 제안된 안테나는 약 910 MHz와 1,840 MHz, 2,230 MHz에서 공진 특성을 가지며, 계산치 818~962 MHz, 1,710~2,390 MHz에서 VSWR 3(Return Loss 6.02 dB) 이하를 만족하고, 측정치 810~960 MHz, 1,650~2,400 MHz에서 VSWR 3:1을 만족한다. 이것은 810~960 MHz에서 약 17%, 1,650~2,400 MHz에서 약 37%의 대역폭을 갖는다. 따라서 제작된 안테나는 GSM850/900과 DCS, USPCS, WCDMA, Wibro 대역폭을 만족한다.

그림 8은 agilent사의 E8364A를 사용하여 무반사실에서 측정된 xz plane E_{θ} , yz plane E_{ϕ} H면의 복사 패턴이다. GSM850, GSM900, DCS, USPCS, WCDMA, Wibro 대역에서 상한 주파수와 하한 주파수를 각각 측정하였다. 표 2는 각 주파수에서 H면의 최대

표 2. H면의 최대 이득 및 효율
Table 2. Gain and efficiency of antenna.

Frequency [MHz]	Peak gain [dBi]	Efficiency [%]
824	0.912	47.995
880	1.632	45.360
894	1.648	44.565
960	1.531	44.088
1,710	0.520	29.084
1,850	-0.567	26.585
1,880	-1.550	25.892
1,920	-2.129	29.316
1,990	-4.794	16.616
2,170	-3.235	22.208
2,300	-3.726	19.834
2,390	-3.946	23.736

이득과 효율이다. GSM850 및 GSM900 대역에서 0.912~1.648 dBi의 이득 및 44.088~47.995%의 효율을 가지며, DCS, USPCS, WCDMA, Wibro 대역에서 -4.794~0.520 dBi의 이득 및 16.616~29.084%의 효율을 갖는다. GSM과 Wibro 대역의 지향성이 서로 다르나, 이것은 GSM 대역에서 y 방향으로의 전류 흐름과 Wibro 대역에서 x 방향으로의 전류 흐름의 차이 때문에 발생하는 것이다.

IV. 결론

본 논문에서는 커플링 급전 구조를 갖는 프린트형 역 F 안테나를 설계하고, 제작 및 측정하여 성능을 확인하였다. 커플링 급전 구조를 사용할 경우, 추가적인 커패시턴스 성분이 급전부가 직접 연결된 안테나가 갖는 높은 인덕턴스 성분을 부분적으로 보상해 주며, 제안된 안테나에서 GSM850/900 및 DCS/USPCS/WCDMA/Wibro에서 공진 특성이 개선되는 장점을 갖는다. 제안된 안테나는 810~960 MHz, 1,650~2,400 MHz에서 VSWR 3:1(return loss 6.02 dB) 이하를 만족하며, 이것은 GSM850, GSM900, DCS, USPCS, WCDMA, Wibro를 만족하는 주파수 대역이다. 안테나의 복사 패턴은 동작 주파수에서 전방향성을 나타내며, -4.794~1.648 dBi의 이득을 갖는다.

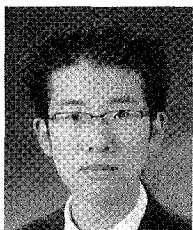
이 결과로부터 본 논문에서 제안한 커플링 급전 구조를 사용한 프린트형 역 F 안테나는 이동 통신 단말기 안테나의 소형화 및 대역 특성 개선에 유용할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] D. M. Nashaat, H. A. Elsadek, "Single feed compact quad-band PIFA antenna for wireless communication applications", *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, vol. 53, no. 8, pp. 2631-2635, Aug. 2005.
- [2] H. A. Wheeler, "Fundamental limitations of small antennas", *Proc. IRE*, vol. 35, pp. 1479-1484, Dec. 1947.
- [3] N. C. Karmakar, "Shorting strap tunable single feed dual-band stacked patch PIFA", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 2, pp. 68-71,

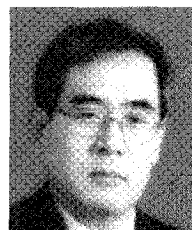
- 2003.
- [4] Y. T. Liu, "Stubby monopole antenna for UMTS/WLAN dual-mode mobile phone", *Electronics Letters*, vol. 43, Mar. 2007.
- [5] Kin-Lu. Wong, *Planar Antennas for Wireless Communications*, Wiley, 2003.
- [6] H. Nakano, N. Ikeda, Y. Wu, R. Suzuki, H. Mimaki, and J. Yamauchi, "Realization of dual-frequency and wide-band VSWR performances using normal-mode helical and inverted-f antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 46, no. 6, pp. 788-793, Jun. 1998.
- [7] D. Liu, B. Gaucher, "A branched inverted-F antenna for dual band WLAN applications", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 1, pp. 2623-2626, Jun. 2004.
- [8] J. Ollikainen, O. Kivekas, C. Icheln, and P. Vainikainen, "Internal multiband handset antenna realized with an integrated matching circuit", in *Proc. 12th Int. Conf. Antennas and Propagation*, vol. 2, pp. 629-632, Apr. 2003.
- [9] J. Villanen, C. Icheln, and P. Vainikainen, "A coupling element-based quad-band antenna structure for mobile terminals", *Microwave Optical Technology Letters*, vol. 49, no. 6, pp. 1277-1282, Jun. 2007.
- [10] C. Wood, B. Sc, "Improved bandwidth of microstrip antennas using parasitic elements", *IEE Proc.*, vol. 127, no. 4, Aug. 1980.
- [11] Kin-Lu Wong, Chih-Hong Huang, "Bandwidth-enhanced internal PIFA with a coupling feed for quad-band operation in the mobile phone", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 50, no. 3, Mar. 2008.
- [12] Kin-Lu Wong, Chih-Hong Huang, "Compact multiband PIFA with a coupling feed for internal mobile phone antenna", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 50, no. 10, Oct. 2008.
- [13] Chih-Hua Chang, Kin-Lu Wong, "Internal coupled-fed shorted monopole antenna for GSM850/900/1800/1900/UMTS operation in the laptop computer", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 5, pp. 3600-3604, Nov. 2008.
- [14] Chih-Hsien Wu, Kin-Lu Wong, "Ultrawideband PIFA with a capacitive feed for penta-band folder-type mobile phone antenna", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 8, Aug. 2009.
- [15] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, Wiley, ch. 5, Second Edition, 1998.
- [16] C. R. Rowell, "A capacitively loaded PIFA for compact mobile telephone handsets", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, no. 5, pp. 837-842, May 1997.

김 상 원



2009년 2월: 단국대학교 전기전자 컴퓨터공학부 (공학사)
 2009년 3월~현재: 단국대학교 전자 전기공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파

최 학 근



1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 교수

2006년 7월~현재: 단국대학교 공학교육혁신센터장
 1989년 3월~현재: (주)하이게인 안테나 기술고문
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로

박 재 현



1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)

1999년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)

2009년 9월~현재: 단국대학교 전자전기공학과 박사과정

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파