

Design a Dual-band Microstrip Antenna using Slots

고현정* · 김원규* · 신재철** · 이학용** · 정용식*** · 천창율†
 (Hyun-Jung Ko · Won-Kyu Kim · Jae-Cheol Shin · Hak-Yong Lee ·
 Young-Seek Chung · Chang-Yul Cheon)

Abstract - In this paper, a dual-band antenna aimed for a mobile communication repeater was designed and measured. The operating frequency ranges are GSM(870~960 MHz) and WCDMA(1920~2170 MHz) bands. Experimental and numerical studies are performed for various design variables such as slot lengths. Using two meandering slots in the ground plane, we can obtain two higher resonant frequencies significantly with broader bandwidths. The measured maximum gain of antenna is 2 dBi in the GSM band and 2.45 dBi in the WCDMA band.

Key Words : Dual-frequency, Dual-band, GSM, WCDMA, Meander

1. 서론

국내 이동통신시장은 음성통화만 가능하던 1세대에서 문자서비스가 가능해진 2세대를 걸쳐 영상까지 주고받을 수 있는 3세대(3G) 단계에 이르렀다. 이 3G에 해당하는 WCDMA는 영상통화가 가능할 뿐만 아니라 국제 표준 주파수인 2 GHz를 사용하기 때문에 '해외로밍' 서비스의 폭을 기존에 비해 크게 넓힐 수 있다. WCDMA는 현재 전 세계적으로 100여개의 국가에서 사용되고 있으며 시장점유율이 점차 늘어날 전망이다. 하지만 아직 전 세계 이동통신 시장에서 유럽식 GSM 방식의 점유율이 80%에 달하기 때문에 GSM과 WCDMA 두 대역을 한 번에 이용할 수 있는 이중 대역 안테나에 대한 연구가 필요하다.

주로 중계기용 이중대역 안테나에는 모노폴 안테나 구조나 마이크로스트립 패치 안테나 구조가 쓰이고 있다. 모노폴 안테나 구조는 약 $\lambda/2$ 크기를 갖는 디스크 형태의 접지판위에 모노폴 안테나가 오게 되는데 이로 인해 광대역 특성을 내게 되며, U자 형태의 슬롯을 사용하거나, 슬롯 외에도 기생소자들을 이용하여 설계함으로써 이중대역 이상의 공진 특성을 갖게 된다[1][2]. 마이크로스트립 안테나의 경우에는 서로 다른 공진점을 가지도록 2개 이상의 전류 경로를 설계하여 이중대역 공진을 구현하게 된다. 주로 다층 기판을 사용하거나 패치면에 슬롯을 사용하여 다중 대역의 안테

나를 설계하였다[3]~[7]. 이러한 다양한 형태의 슬롯을 이용하여 안테나의 물리적 크기를 줄여도 전기적 길이는 유지하는 효과를 얻게 된다. 그러나 마이크로스트립 안테나는 대역폭이 좁다는 단점이 있는데, 기판두께를 크게 하거나 저유전율을 갖는 기판을 사용함으로써 대역폭과 효율을 확장할 수 있다. 이러한 기법들을 적용한 기존의 중계기 안테나를 아래의 표 1에 나타내었다.

표 1 기존의 중계기 안테나 종류 및 특성

Table 1 Types and characteristics of the conventional repeater antennas

안테나 종류	주파수 범위 [MHz]	크기 [mm]	대역폭 [%]	이득 [dBi]
프린트 모노폴 안테나[1]	800 ~ 1200	150 × 29 × 97.5	4	1.7 ~ 4.6
모노폴 안테나[2]	824 ~ 894 1825 ~ 2170	221 × 221 × 68	8.1 ~ 14	2.38 ~ 4.02
마이크로스트립 격층 패치 안테나[3]	836 ~ 960	320 × 220 × 23	36	6.4 ~ 6.5
협행 마이크로스트립 패치 2x1 배열 안테나[4]	2400 ~ 2630	190 × 120 × 5	10	12
IB(Integrated Balun Dipole) 안테나[5]	1850 ~ 1990	200 × 200 × 40	8.4 ~ 13.5	8 ~ 12

위의 표에서 볼 수 있는 기존의 중계기 안테나들은 주로 단일대역에서 동작하며, 큰 이득을 갖고 있는데 이로 인해 안테나의 크기가 매우 크다. 그러나 그 크기에 비해 대역폭은 좁은 편이라고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 안테나의 크기를 같은 이중대역 안테나인 [2]와 비교해 보았을 때 50%이상 소형화시킨 안테나를 설계하였으며, 매우 간단한 구조 및 재질로 이루어져 있기 때문에 쉽게 또 저가로 제작할 수 있도록 하였다. 이 안테나는 GSM(870 ~ 960 MHz)과 WCDMA(1920 ~ 2170 MHz)의 두 대역에서 VSWR 2:1을 충분히 만족하였다.

* 준회원 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정

** 정회원 : C&S Microwave

*** 정회원 : 광운대학교 전자공학과 교수

† 교신저자, 정회원 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수

E-mail : changyul@uos.ac.kr

접수일자 : 2009년 7월 7일

최종완료 : 2009년 8월 17일

2. 본 론

2.1 안테나 설계

본 논문에서 제안하는 안테나는 패치면과 접지면이 동일한 크기를 가지며, 그 사이에는 대역폭을 넓히기 위해 공기층을 삽입하였다. 패치면의 폭과 길이는 사각형 마이크로스트립 패치 안테나의 크기를 정하는데 사용되는 다음 수식 (1), (2)를 이용하였다.

$$W = \frac{\lambda_0}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_r} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2)$$

그러나 기본적인 사각형 마이크로스트립 패치 안테나와 달리 제안하는 안테나는 접지면과 패치면의 슬롯으로 인하여 위의 수식 (1)로 구한 크기와는 오차가 존재하게 된다. 따라서 GSM대역과 WCDMA 두 대역에서 동작하는 최적의 패치 크기는 여러 번의 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 안테나를 그림 1에 나타내었다. 안테나의 급전은 동축케이블을 이용하였고 안테나의 모서리 부분에 위치해 있도록 설계하였다. 패치면과 접지면에는 슬롯을 삽입하여 접지면은 미앤더형태를 띄게 된다. 접지면의 2개의 슬롯으로 인해 GSM (870 ~ 960 MHz)과 WCDMA (1920 ~ 2170 MHz)의 두 대역에서 공진하게 되며 슬롯 크기를 조절함으로써 GSM 대역을 넓히고, 패치면의 슬롯은 WCDMA대역을 넓게 하는 효과를 준다.

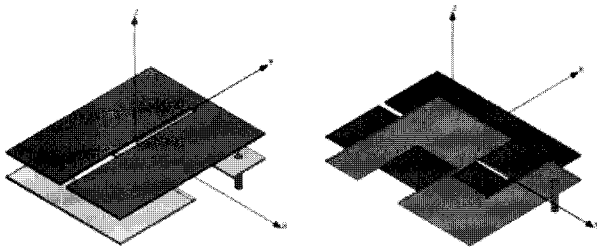


그림 1 제안한 안테나의 구조
Fig. 1 Configuration of the proposed antenna

2.2 안테나 특성 및 해석

앞 절에서 언급했듯이, 기존의 사각형 마이크로스트립 패치 안테나의 크기와 제안하는 안테나는 차이가 존재하므로 시뮬레이션을 통하여 최적의 크기를 찾아내었다. 패치면과 접지면의 슬롯의 크기, 급전의 위치, 공기층의 두께에 따른 반사손실 값을 확인하며 안테나의 크기를 결정하였고, 각각의 길이 변화에 의한 안테나 특성을 확인하였다. 패치면의 구조는 그림 2에 나타내었다.

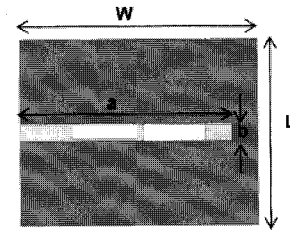
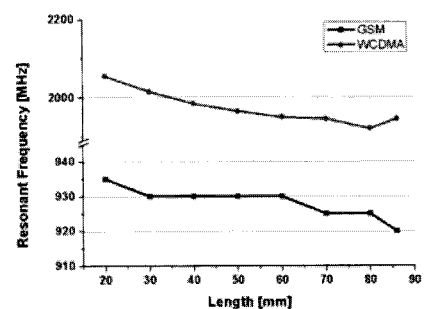
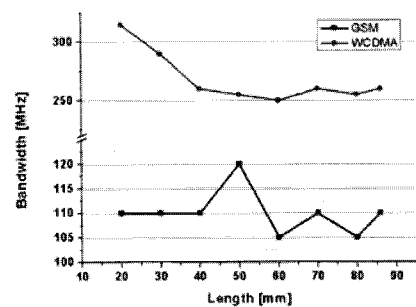


그림 2 패치면의 구조
Fig. 2 Configuration of the patch

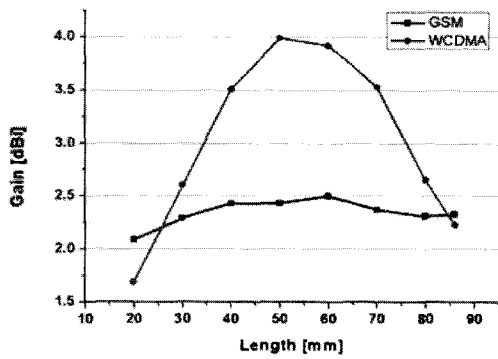
패치의 전체적인 크기는 $W \times L$ 이며, 가운데에 $a \times b$ 크기의 슬롯이 위치해 있다. 먼저, a 의 길이 변화에 따른 안테나 특성을 살펴보았다. a 를 10 mm에서 80 mm까지 10 mm 간격으로 증가시키면서 시뮬레이션을 하였을 때 다음 그림 3과 같은 결과를 보였다. a 의 길이가 증가함에 따라 GSM과 WCDMA 두 대역에서 그림 3(a)에서 나타내듯이 공진 주파수가 점점 낮아짐을 알 수 있다. GSM대역의 경우에는 15 MHz 정도로 큰 변화는 없었지만 WCDMA대역에서는 최대 135 MHz까지 공진 주파수 점이 낮아짐을 보였다. 다음으로 그림 3(b)에서는 a 의 증가에 따른 대역폭의 변화를 그래프로 나타내었는데, GSM대역에서는 일정한 특성을 보이기도는 a 가 50 mm일 때 가장 넓은 대역폭을 가졌다. 반면에 WCDMA대역에서는 a 의 길이가 길어짐에 따라 최대 65 MHz까지 대역폭이 좁아지는 현상을 보였다. 그림 3(c)은 매 특 변화에 대한 그래프이다. GSM대역의 경우 길이 변화에 상관없이 2 ~ 2.5 dBi 사이의 이득을 갖지만, WCDMA대역은 a 가 50 mm일 때 3.99 dBi로 가장 높은 이득 값을 갖고 그 이상으로 길어지면 점차 이득이 감소하는 형태를 띄었다.



(a) 공진 주파수 특성



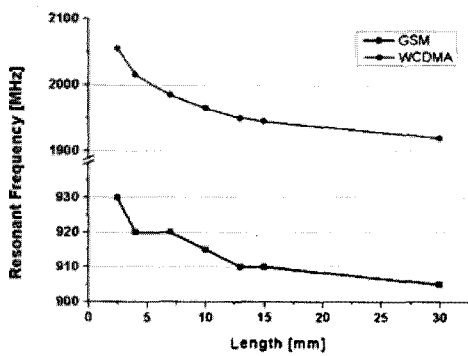
(b) 대역폭 특성



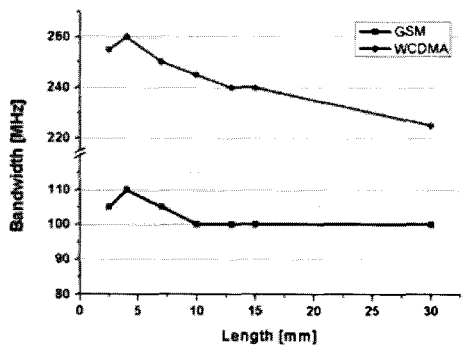
(c) 이득 특성

그림 3 'a'의 길이 증가에 따른 안테나 특성
 Fig. 3 Characteristics of the proposed antenna as increasing the length 'a'

a에 이어 패치면 슬롯의 다른 변수인 b에 변화를 주며 그에 따른 안테나 특성을 확인하였다. b의 길이 역시 2.5 mm에서 30 mm까지 증가시켜가며 공진 주파수 점, 대역폭 그리고 이득 변화를 살펴보았다. 그에 대한 그래프는 그림 4에 나타내었다. a의 길이가 증가할 때와 마찬가지로 b의 길이가 증가함에 따라 공진 주파수와 대역폭이 점점 작아짐을 그림 4(a), (b)에서 확인할 수 있다.



(a) 공진 주파수 특성



(b) 대역폭 특성

그림 4 'b'의 길이 증가에 따른 안테나 특성
 Fig. 4 Characteristics of the proposed antenna as increasing the length 'b'

그림 3, 4와 같이 패치의 슬롯에 변화를 주면서 그에 따른 안테나의 특성을 확인했을 때, 직렬 인덕턴스의 증가로 인해 WCDMA 대역의 대역폭이 줄어들고 두 대역 모두 공진 주파수 점이 내려감을 알 수 있었다.

다음으로 접지면의 슬롯에 대해 수치해석 작업을 수행하였는데, 접지면의 구조는 그림 5에 나타내었다. 접지면은 두 슬롯 사이에 좁은 폭을 가지고 meander 형태를 띄고 있는데, 이 폭이 넓어질수록 GSM과 WCDMA 대역 사이에 또 하나의 공진점이 생기게 된다. 따라서 본 논문에서는 최소한의 폭만 남겨놓고 설계하였으며, 그림 1에서 보이는 구조와 패치면은 동일하지만 접지면의 슬롯의 크기는 다르게 안테나를 수치해석을 통하여 그 영향을 확인하였다.

그림 5는 슬롯의 c, d, e, f 각 길이가 길어짐에 따른 공진주파수, 대역폭, 이득 특성에 대한 그래프이다.

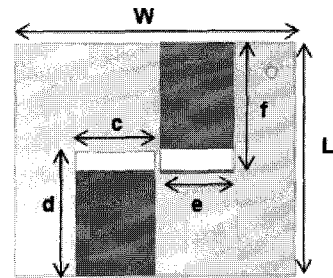
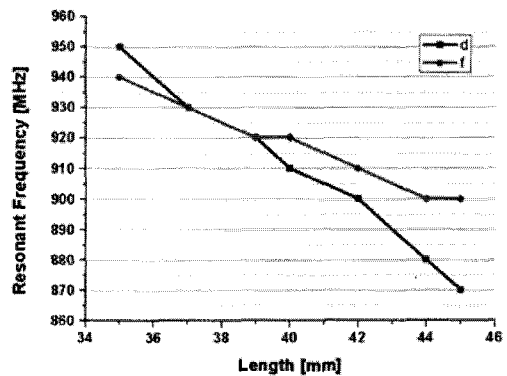
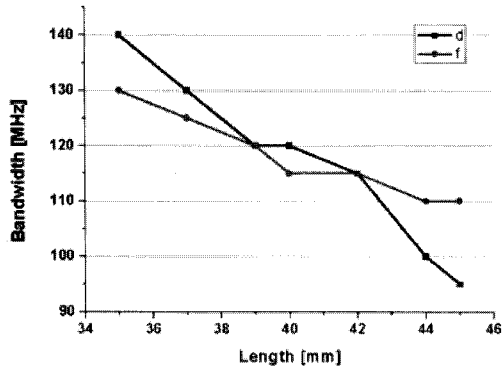


그림 5 접지면의 구조
 Fig. 5 Configuration of the ground plane

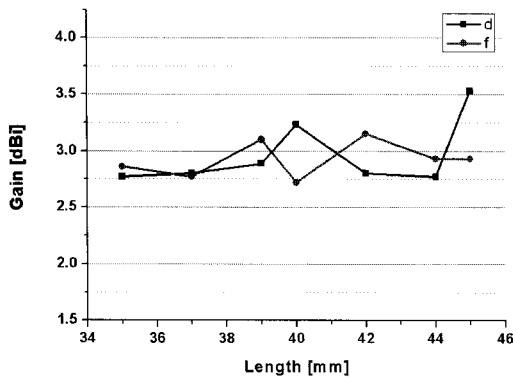
d와 f는 길이를 35 ~ 45 mm까지 증가시켰고, c와 e는 20 ~ 30 mm까지 변화를 주면서 그에 따른 값을 비교하였다. 접지면의 슬롯 크기변화는 WCDMA대역에는 거의 영향을 주지 않기 때문에 GSM대역에서만 특성을 확인하였다. 접지면의 슬롯의 크기가 커짐에 따라 패치면과 마찬가지로 직렬 인덕턴스가 증가하게 되는데, 그림 6(a)나 그림 6(b)를 보면 슬롯의 가로, 세로 각 길이가 길어질수록 공진주파수가 내려가고 대역폭 특성이 안 좋아짐을 알 수 있다. 그러나 6(c)에서 볼 수 있듯이 안테나는 d나 f의 길이가 증가하여도 약 3 dBi의 이득 특성을 갖고 동작하였다.



(a) 공진 주파수 특성



(b) 대역폭 특성



(c) 이득 특성

그림 6 'd, f'의 길이 증가에 따른 안테나 특성

Fig. 6 Characteristics of the proposed antenna as increasing the length 'd, f'

또한 슬롯의 가로 길이인 c와 e의 길이 증가에 따라 GSM 대역에서 대역폭이 125 MHz에서 100 MHz로 동일하게 점차 좁아지는 현상을 보인다. 위의 그래프들을 통해 제안한 안테나의 특성은 다른 슬롯의 길이 보다 d의 길이에 크게 영향을 받음을 알 수 있다. 또한 패치면의 슬롯은 WCDMA 대역의 공진주파수·대역폭에 영향을 주고, 접지면의 슬롯은 GSM 대역의 공진 특성과 관련이 있음을 확인하였다.

세 번째로 안테나의 공기층의 두께에 따른 반사손실 값을 확인하였다. 안테나의 높이 h를 10 mm에서 15 mm까지 증가시켜 보았을 때의 반사계수 값의 변화를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 볼 수 있듯이, 공기층의 두께가 두꺼워짐에 따라 GSM 대역의 반사손실 값은 점점 커지고, WCDMA 대역은 공진 주파수가 낮아지면서 반사손실 값도 나빠지는 특성을 보임을 확인할 수 있다.

따라서 위의 수치해석 결과를 종합해보면, 패치면과 접지면의 각 슬롯이 그 크기가 증가함에 따라 공진점과 대역폭에 영향을 미침을 알 수 있다. 특히 접지면의 d의 길이를 줄여 GSM 대역에서 보다 넓은 대역폭을 얻을 수 있다. 또한 패치면의 슬롯 역시 크기를 줄임으로써 GSM과 WCDMA 두 대역에서의 대역폭을 좀 더 넓게 하는 효과를 얻을 수 있다.

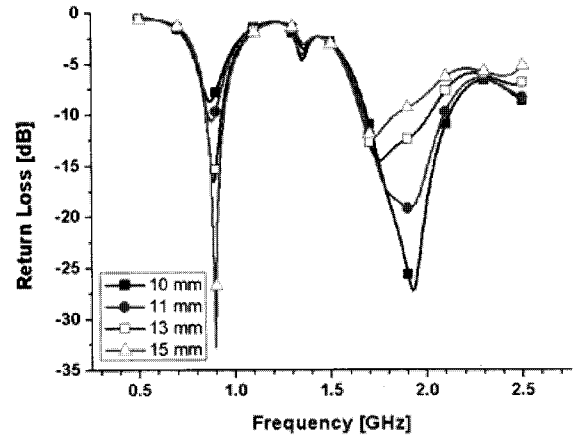


그림 7 안테나 높이 'h'에 따른 반사손실

Fig. 7 Return Loss as varying the height 'h'

2.3 안테나 제작

이전 절에서 얻은 수치해석의 결과를 토대로 안테나를 제작하였다. 안테나의 크기는 $W=96.2$ mm, $L=75$ mm, $h=13$ mm이며, 1mm 두께의 copper를 사용하였다. 패치면과 접지면 사이는 유전율이 거의 1에 가까운 스티로폼을 사용하였다. 패치면과 접지면의 각 슬롯의 크기는 위의 수치해석 결과에서 공진점과 대역폭을 둘 다 만족할 수 있는 수치로 결정하여 안테나를 제작하였다.

2.4 안테나 측정 결과

본 논문에서는 접지면에 미앤더 슬롯을 이용하여 GSM(870 ~ 960 MHz), WCDMA(1920 ~ 2170 MHz) 이중 대역에서 동작하는 안테나를 제작하였다. 안테나의 반사손실은 HP8510을 이용하여 VSWR 2:1을 기준으로 측정하였다. 측정값은 수치해석 값과 비교하여 그림 8에 나타내었다. 두 공진점을 비교해 보았을 때 GSM 대역에서는 측정 값과 수치해석 값이 일치하지만 WCDMA 대역에서는 공진점이 약 100 MHz 정도 낮게 나옴을 확인하였다. 제작 과정에서 안테나 모서리 부분의 처리와 패치와 접지면 사이의 스티로폼의 영향으로 오차가 발생하였다고 생각된다. 또한 시뮬레이션 상에서의 측정환경은 이상적인 반면에 실제 측정환경은 주위의 영향이 존재하기 때문에 이 역시 오차의 원인이라고 생각된다. 반사손실 값은 사손실 dB 정도의 오차를 보이고 있다. 그러나 두 대역에서 대역폭은 충분히 만족하므로 측정환경은 주성능에는 문제가 없음을 알 수 있다. 그림 9에서 안테나 이득을 그림 1의 안테나 구조의 좌표축을 이용하여 나타내었는데, GSM 대역에서는 최대 이득 값이 2 dBi이고 WCDMA 대역에서는 2.45 dBi의 이득을 얻을 수 있었다. 추가적으로 안테나를 외벽에 부착하여 그에 따른 특성 변화를 확인하였으며 그림 10에 나타내었다. 이 때 별다른 변화없이 이전의 특성을 유지한 채 동작함을 알 수 있었다.

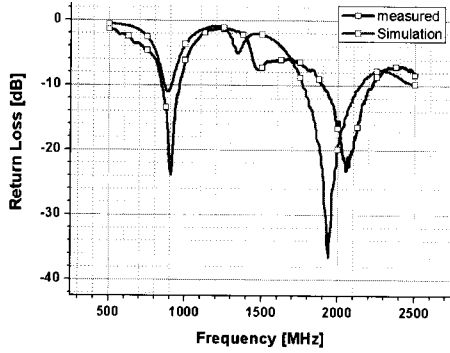
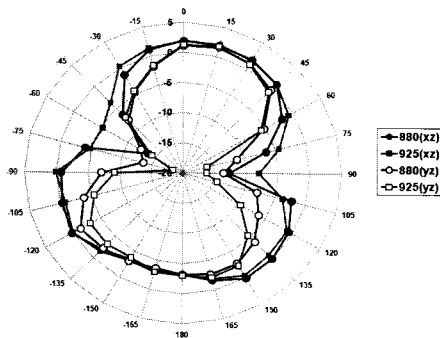
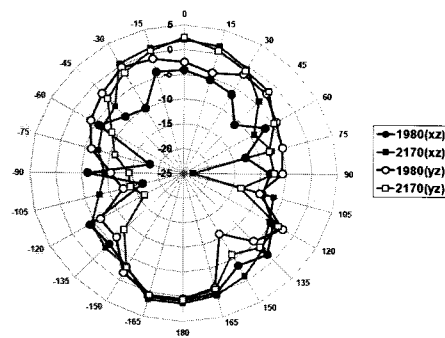


그림 8 제안한 안테나의 반사손실
Fig. 8 Return loss of the proposed antenna



(a) GSM 대역



(b) WCDMA 대역

그림 9 제안한 안테나의 방사패턴
Fig. 9 Radiation pattern of the proposed antenna

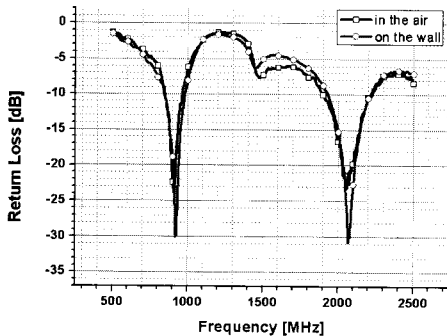


그림 10 안테나 위치에 따른 반사손실
Fig. 10 Return loss of antenna position

3. 결론

본 논문에서는 미앤더 슬롯을 이용한 GSM, WCDMA 이중대역에서 동작하는 증계기 안테나에 대해 연구하였다. 또한 안테나를 직접 제작해 측정해 봄으로써 안테나의 성능을 검증하였다. 안테나의 접지면에 슬롯으로 공진특성에 영향을 주어 이중대역에서 동작이 가능하도록 하였고, 패치면과 접지면 각각에 슬롯의 크기를 조절하여 원하는 대역폭을 만족시켰다. 안테나의 크기를 기존 증계기 안테나에 비해 소형화하였지만, 이로 인해 비교적 낮은 이득을 보였다. 향후 연구 방향으로는, 좀 더 높은 이득을 갖는 구조 뿐 아니라 유럽식 방식을 고려하여 DCS(1710 ~ 1880 MHz) 대역까지 동작하는 삼중대역 안테나에 대한 연구가 필요할 것이라 생각된다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 서울시립대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] 서승업, 이윤복, 양묘근, 성원모, “기생 소자를 이용한 광대역 프린트 모노폴 안테나의 설계”, 한국전자과학회 논문지, 19(7), pp.719-726, 2008년 7월.
- [2] 오중대, 김창일, 공성신, 양운근, “셀룰러 CDMA와 IMT-2000 증계기용 슬롯 구조 이중대역 모노폴 안테나의 설계 및 구현”, 한국전자과학회논문지, 14(9), pp.912-918, 2003년 9월.
- [3] 김갑기, “선박기지국 응용을 위한 800 MHz 대역 증계기용 안테나 설계”. 해양환경안전학회, 13(3), pp.219-222, 2007년 9월.
- [4] 박창현, 김갑기, “S-band 증계기용 원형 마이크로스트립 패치 2x1 배열 안테나 설계”, 한국정보기술학회논문지, 5(4), pp. 151-158, 2007년 12월.
- [5] S. D. Targonski, R. B. Waterhouse, and D. M. Pozar, “Design of Wide-Band Aperture-Stacked Patch Microstrip Antennas” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 46, no. 9, pp. 1245-1251, September, 1998.
- [6] S. Maci and G. B. Gentili, “Dual-Frequency Patch Antennas” *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 39, no. 6, pp. 13-20, December, 1997.
- [7] J. Lu and K. Wong, “Slot-loaded, meandered rectangular microstrip antenna with compact dual-frequency operation,” *Electronics Letters*, vol. 34, no. 11, pp. 1048-1050, May, 1998.
- [8] 안정선, 이진성, 정병운, 이병제, “격리도가 향상된 US-PCS 대역 맥내용 증계기 안테나 설계”, 한국전자과학회논문지, 16(1), pp. 9-18, 2005년 1월.

저 자 소 개



고 현 정 (高 炫 貞)

2008년 서울시립대학교 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 2008년~현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정 재학 중. 관심분야는 안테나, RF수동 소자 설계.



이 학 용 (李 學 龍)

서울대학교 전기공학과(공학사).
서울대학교 전기공학과(공학석사).
서울대학교 전기공학과(공학박사).
현재C&S Microwave 연구소장



김 원 규 (金 沅 圭)

2008년 서울시립대학교 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 2008년~현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정 재학 중. 관심분야는 안테나, RF수동 소자 설계.



정 용 식 (鄭 容 植)

1989년 서울대학교 전기공학과(공학사).
1991년 서울대학교 전기공학과(공학석사).
2000년 서울대학교 전기공학과(공학박사).
2003년~2006년 명지대학교 통신공학과 조교수.
2006년~현재 광운대학교 전파공학과 조교수.
관심분야는 전자파 수치해석 및 EMI/EMC.



신 재 철 (申 在 澈)

인천 시립대학교 전자공학과(공학사).
서울 시립대학교 전자공학과 (공학석사).
현재C&S Microwave 연구개발실장.



천 창 울 (千 昌 律)

1983년 서울대학교 전기공학과(공학사).
1985년 서울대학교 전기공학과(공학석사).
1992년 미국University of Michigan, Ann arbor(공학박사).
1992년~1995년 강원대학교 전기공학과 조교수.
1995년~현재 서울시립대학교 전자전기 컴퓨터 공학부 교수. 관심분야는 RF, RF Power Amplifier, EMC 등.