

테이퍼 구조를 갖는 광대역 바이코니컬 안테나의 설계

A Design of Broadband Biconical Antenna with Tapered Section

김 준 규 · 이 인 재 · 윤 현 보
 Jun-Kyu Kim · In-Jae Lee · Hyun-Bo Yoon

요 약

본 논문에서는 Cellular/PCS/IMT-2000/Wibro 및 S-DMB의 서비스 대역을 모두 만족하는 통합 기지국용 광대역 안테나를 설계하였다. 바이코니컬 종단 부분에 테이퍼 구조를 적용하여 광대역 임피던스 정합을 구현하였으며, 시간영역 유한차분법(FDTD)을 통해 설계 및 시뮬레이션을 수행하였다. 측정 결과, 제작된 안테나는 대역폭 0.79 GHz~2.93 GHz에서 5.50 dBi 이상 최대 8.19 dBi의 이득 특성을 갖는다.

Abstract

In this paper, the broadband antenna for the combined base station of Cellular/PCS/IMT-2000/Wibro and S-DMB services is designed and the proposed antenna allows having sufficient coverage for each service band. In order to get the broadband impedance matching, the tapered sections are applied on the both terminus of bi-conical respectively.

The design parameter is calculated and simulated by using FDTD method. As a result, the measured bandwidth of the proposed antenna is 0.79 GHz~2.93 GHz and the gain is distributed from 5.5 dBi up to 8.19 dBi.

Key words : Broadband Biconical Antenna, Reflector, Combined Base Station, Tapered Section

I. 서 론

기술의 발달과 더불어 무선 통신 기술도 급속히 발전하여, 현재 이동 전화에서는 서로 다른 주파수 영역에서 Cellular/PCS/IMT-2000/Wibro 및 S-DMB 등 다양한 통신 서비스가 이용되고 있다. 새로운 통신 서비스의 출현은 기존의 서비스와의 기술적인 문제로 새로운 주파수 대역에서 서비스할 수밖에 없기 때문에 기존의 서비스와는 다른 새로운 안테나가 사용된다. 그러나 각 대역의 서비스를 위해 안테나와 기지국을 개별적으로 운영한다면, 비용적인 측면과 도시 미관적인 측면에서 부적절하기 때문에 기존 서비스와 신규 서비스를 통합할 수 있는 통합 기지국용 광대역 안테나의 개발이 필요하다.

기존에 개발된 통합 기지국용 안테나^[1]는 Cellular

/PCS/IMT-2000의 서비스 대역에서 동작하지만, 본 논문에서는 Wibro와 S-DMB 대역까지 운영 가능한 안테나를 바이코니컬 구조를 통해 구현하였다.

그러나 일반적인 바이코니컬^{[2]-[7]}의 단순한 안테나 구조로는 여러 서비스를 동시에 수용하는 광대역 특성을 만족시키기에는 대역이 좁고, 구조적으로 부피가 커지게 될 뿐 아니라 실제 적용에는 많은 제한을 받기 때문에, 본 논문에서는 테이퍼 구조를 적용한 통합 기지국용 광대역 바이코니컬 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 광대역 특성으로 인해 하나의 안테나로 Cellular/PCS/IMT-2000/Wibro 및 S-DMB 등 다양한 통신 서비스를 수용할 수 있다.

시간 영역 유한 차분법(FDTD)을 이용하여 설계·시뮬레이션하여 실제 제작하였다. 측정 결과 반사 손실 -10 dB 이하의 구간이 0.79 GHz~2.93 GHz로

동국대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Dongguk University)

· 논문 번호 : 20060918-112

· 수정완료일자 : 2006년 10월 9일

115.05 %의 광대역 특성을 나타내며, 반사판을 부착하여 각 서비스에 필요한 이득을 얻었다.

측정 결과 Cellular 대역에서 7.42 dBi, PCS 대역에서 6.63 dBi, IMT-2000 대역에서 6.29 dBi, Wibro 대역에서 6.32 dBi, S-DMB 대역에서 7.94 dBi의 이득 특성을 갖는다.

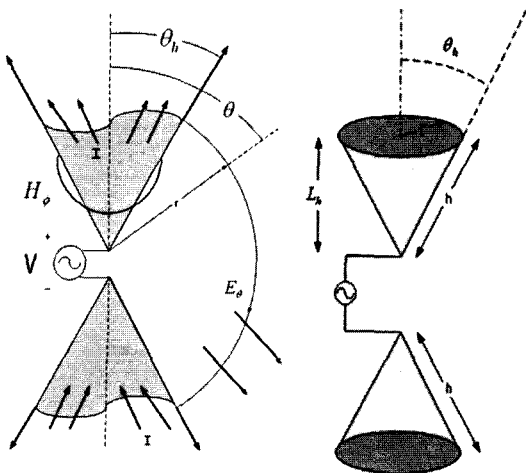
II. 본 론

2-1 바이코니컬 안테나 시뮬레이션

전형적인 무한 바이코니컬 안테나는 그림 1(a)와 같으며, 구조가 무한하므로, 전송 선로처럼 해석한다. 시변 전압이 간격 양단에 주어질 때, 전류는 도체의 표면을 따라 두 원뿔 사이로 퍼져 흘러가며, 이러한 전류는 교대로 회전하는 자장 H_ϕ 를 만든다.

광대역 바이코니컬 안테나를 설계하기 위해 먼저 바이코니컬 안테나를 FDTD 방법을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 실제 바이코니컬 안테나는 무한 바이코니컬 안테나의 두 원뿔을 중단하여 만들며, 그림 1(b)에 나타냈다.

안테나를 감싸는 반지름 h 의 가상의 구 내부에는 TEM파와 함께 원뿔의 중단에서 생성된 고차 모드가 존재한다. 이 고차 모드는 안테나의 리액턴스를 형성하는 주된 요인이다. 원뿔의 중단 부분은 복소



(a) 무한 바이코니컬 안테나 (b) 유한 바이코니컬 안테나
(a) Infinite biconical antenna (b) Finite Biconical antenna

그림 1. 바이코니컬 안테나

Fig. 1. Biconical antenna.

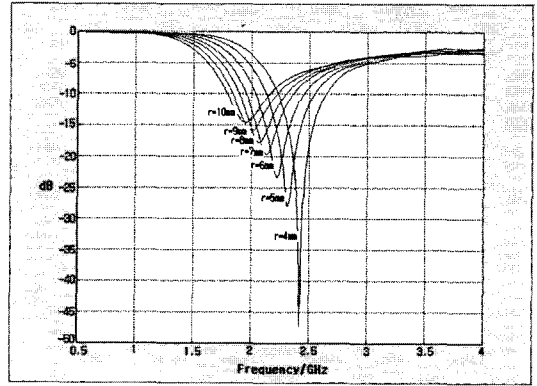


그림 2. r 의 길이에 따른 바이코니컬 안테나의 반사 손실 변화

Fig. 2. Return loss of a biconical antenna as function of the length of r .

입력 임피던스를 유도하는 정재파를 만들어 내는 반사를 일으킨다.

2-1-1 반지름 r 에 따른 변화

그림 2에서 r 의 길이를 변화시켜 θ_h 각의 변화에 따른 바이코니컬의 특성을 시뮬레이션 하였다.

그림 2는 L_h 를 19 mm로 고정시킨 후 r 값을 변화시킨 바이코니컬 안테나의 특성을 시뮬레이션 한 것이며, 시뮬레이션 결과 $r=8$ mm, $\theta_h=22.83^\circ$ 일 때 최대 19.52 %의 대역폭을 가지며, θ_h 의 각이 증가할수록 대역폭은 증가하다가 다시 감소하고, θ_h 가 작을수록 더 우수한 반사 손실 특성을 보여준다. 이는 r 의 값이 증가함에 따라 실효 공진 길이(effective length)가 증가하여 동작 주파수가 낮아지기 때문이다.

2-1-2 높이 L_h 에 따른 변화

그림 3에서는 2-1-1에서 시뮬레이션한 결과 중에 가장 넓은 대역폭을 나타낸 θ_h 를 22.83로 고정시킨 후 L_h 변화에 따른 바이코니컬의 특성을 시뮬레이션 하였다.

그림 3에서 확인할 수 있듯이 L_h 의 길이 변화는 θ_h 의 변화에 대한 반사 손실 특성과 비교해 봤을 때, 대역폭의 증감과 반사 손실의 변화에는 별다른 영향을 주지 않지만, 동작 주파수를 결정하는데 큰 영향을 줄 수 있으며, 이는 실효 공진 길이(effective length)가 L_h 에 의해 변환에 따라 동작 주파

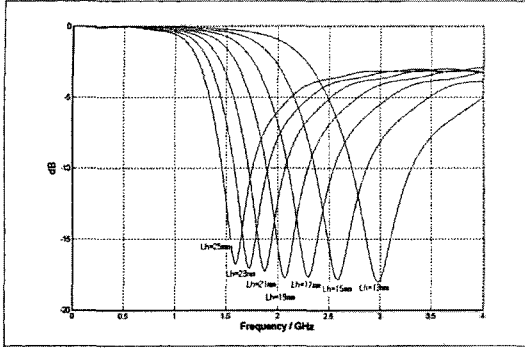


그림 3. L_h 의 길에 따른 바이코니컬 안테나의 반사 손실 변화

Fig. 3. Return loss of a biconical antenna as function of the length of L_h .

수는 바뀌지만 θ_h 가 일정하여, 동작 주파수에 대한 임피던스 매칭의 변화가 크지 않기 때문이며, 시뮬레이션 결과 최대 22.89%의 대역폭을 갖는다.

따라서, 바이코니컬 안테나를 설계할 때 동작 주파수와 대역폭, 반사 손실 등 원하는 특성을 θ_h 와 L_h 를 적절히 조절하여 얻을 수 있음을 확인했다.

2-2 광대역 바이코니컬 안테나 제안 및 시뮬레이션

본 논문에서는 Cellular/PCS/IMT-2000/Wibro 및 S-DMB 등 다양한 통신 서비스에 실제 적용 가능한 광대역 안테나의 설계를 목표로 하였다. 이를 위해 그림 4와 같이 바이코니컬의 끝부분에 테이퍼 구조를 부착하여 광대역 임피던스 매칭을 구현하였으며, 테

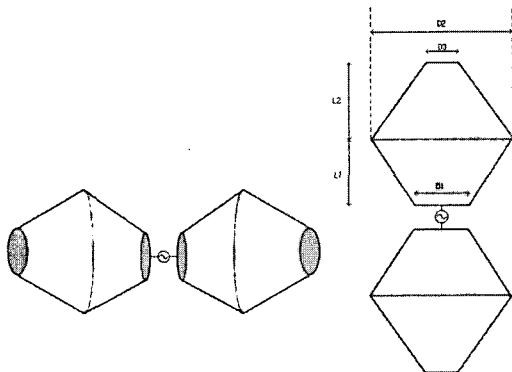


그림 4. 광대역 바이코니컬 안테나의 구조
Fig. 4. Structure of broadband biconical antenna.

이퍼 구조를 이용하였기 때문에 디스크 형태^[8]에 비해 안테나의 실효 공진 길이(effective length)가 길어 안테나 크기를 줄이는데 효과적이다.

2-2-1 테이퍼 구조의 적용과 D_2 의 길이 따른 변화

바이코니컬의 중단 부분에 부착한 테이퍼 구조의 영향을 알아보기 위해 그림과 같은 구조의 안테나를 기준으로 $L_1=32.5$ mm, $L_2=35$ mm, $D_1=16$ mm, $D_3=12$ mm로 정한 후 D_2 의 변화에 따른 반사 손실의 변화를 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션의 결과를 그림 5에 나타냈으며, 유한 바이코니컬 안테나의 경우, D_2 의 길이가 증가할수록 동작 주파수는 낮아지고 대역은 넓어지는 특성을 나타냈지만, 테이퍼 구조를 부착한 광대역 안테나는 저주파 대역에는 별다른 영향을 받지 않고 고주파 대역에서는 그 값이 커질수록 안테나의 동작 주파수가 높아지며, 대역폭이 확장됨을 확인하였다. 이는 D_2 의 길이가 증가함에 따라 바이코니컬 안테나와 테이퍼 구조와의 결합각이 감소하여, 상호간의 공진에 의해 고주파 대역에서의 반사 손실에 영향을 주기 때문이다.

2-2-2 테이퍼 구조의 길이(L_2)에 따른 변화

$L_1=32.5$ mm, $D_1=16$ mm, $D_2=72$ mm, $D_3=12$ mm로 고정시킨 후 L_2 의 변화에 따른 반사 손실의 변화는 그림 6과 같다.

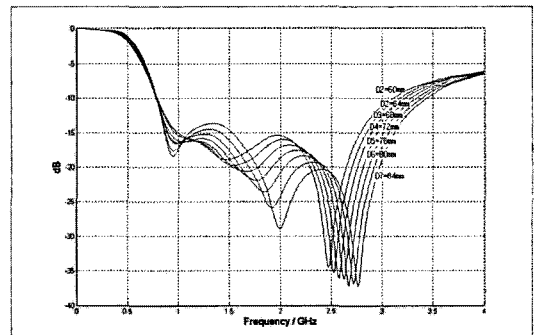


그림 5. D_2 의 길이에 따른 광대역 바이코니컬 안테나의 반사 손실 변화

Fig. 5. Return loss of a broadband biconical antenna as function of the length of D_2 .

테이퍼 구조를 갖는 광대역 바이코니컬 안테나의 설계

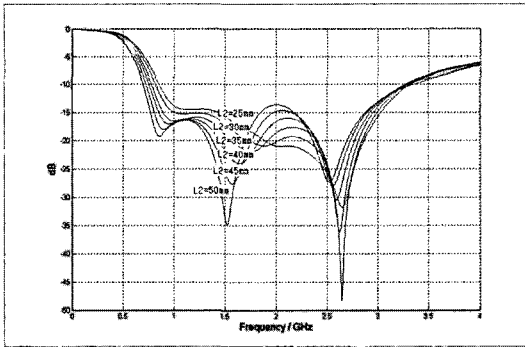


그림 6. L_2 의 길이에 따른 반사 손실의 변화
Fig. 6. Return loss of a broadband biconical antenna as function of the length of L_2 .

그림 6에서 나타나듯이 L_2 의 길이 변화는 높은 주파수에서는 그 영향이 크지 않지만 1 GHz 이하의 낮은 주파수에서는 L_2 의 값이 증가할수록 동작 주파수는 낮아져 대역폭이 넓어진다. 이는 L_2 의 길이가 증가할수록 안테나의 실효 공진 길이(effective length)가 증가하여 저주파수 대역의 동작 주파수가 낮아지기 때문이다.

이러한 시뮬레이션의 결과, D_2 와 L_2 의 길이를 조절하여 동작 주파수와 대역폭을 결정할 수 있음을 확인하였다.

그림 7은 $L_1=32.5$ mm, $L_2=35$ mm, $D_1=16$ mm, $D_2=72$ mm, $D_3=12$ mm 일 때, 시뮬레이션과 실제 제작한

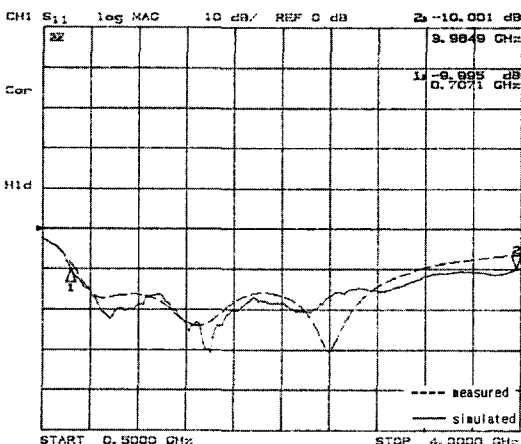


그림 7. 광대역 바이코니컬 안테나의 시뮬레이션과 측정 결과
Fig. 7. Simulated and measured results of the broadband biconical antenna.

테이퍼 구조를 이용한 광대역 바이코니컬 안테나의 반사 손실 측정 결과를 비교한 것이며, 이를 통해 시뮬레이션과 실제 제작된 안테나의 반사 손실 특성이 거의 비슷함을 확인하였으며, 이러한 결과를 토대로 Cellular/PCS/IMT-2000 및 S-DMB 서비스를 모두 충족시키며 지향성을 갖는 바이코니컬 안테나를 설계하였다.

2.3 통합 기지국용 안테나 시뮬레이션

실제 각 통신 서비스에서 요구하는 빔 폭을 부여하기 위해 반사판¹⁸⁾을 부착하였다. 앞에서 제안한 광대역 바이코니컬 안테나의 광대역 특성을 유지하면서 지향성을 얻기 위해서는 반사판과 안테나와의 간격 H_d 와 반사판의 물리적인 크기 L_{rd} , L_{ru} , H_r 는 중요한 요소이며, 반사판과 안테나의 공진 때문에 반사판을 부착할 경우, 안테나의 각 파라미터에 대한 조정이 필요하다.

2.3.1 H_d 의 길이에 따른 변화

그림 8의 바이코니컬 안테나의 경우, 각 콘을 30° 로 기울여 반사판의 바닥부분과 날개 부분이 최대한 바이코니컬 안테나와 수평을 이루도록 하였다. 이를 통해 안테나와 반사판 사이의 거리를 일정하게 유지하여, 상호간 공진 주파수의 항상성을 유지하도록 하였다.

반사판의 $L_{rd}=160$ mm, $L_{ru}=270$ mm, $H_r=90$ mm으

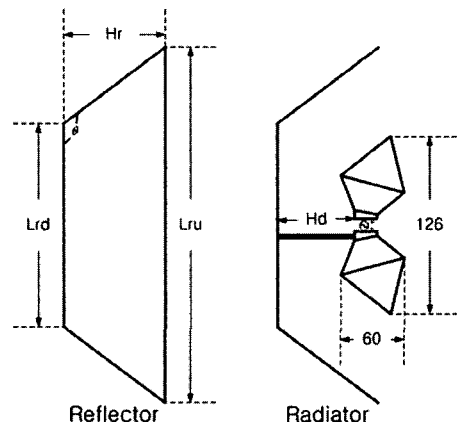


그림 8. 통합 기지국용 광대역 안테나의 기본 구조
Fig. 8. Structure of broadband antenna for combined base station.

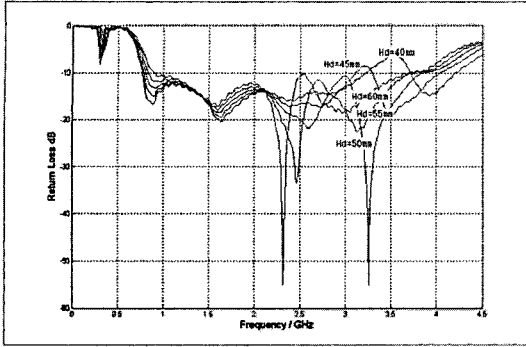


그림 9. H_d 의 길이에 따른 제안된 안테나의 반사 손실 변화

Fig. 9. Return loss of the proposed antenna as function of the length of H_d .

로 고정시킨 후 H_d 의 변화에 따른 반사 손실을 그림 9에 나타내었다. H_d 가 커질수록 저주파수 대역이 증가함을 확인하였으며, 반사판과 광대역 바이코니컬 안테나 사이의 길이가 일정 길이 이하(50 mm)로 가까워지면 3 GHz 대역의 반사 손실 특성이 급격히 감소함을 확인할 수 있다. 이는 H_d 가 증가할수록 안테나와 반사판 사이의 공진 주파수가 낮아져 저주파수 대역에서의 동작 주파수는 내려가지만, H_d 의 길이가 50 mm 이하가 되면 안테나와 반사판 사이의 커플링에 의해 고주파 대역에서의 특성이 변화하기 때문이다.

2-3-2 H_r 의 길이에 따른 변화

그림 10은 $\theta=121.4^\circ$ 로 유지하고, $L_{rd}=160$ mm, L_{ru}

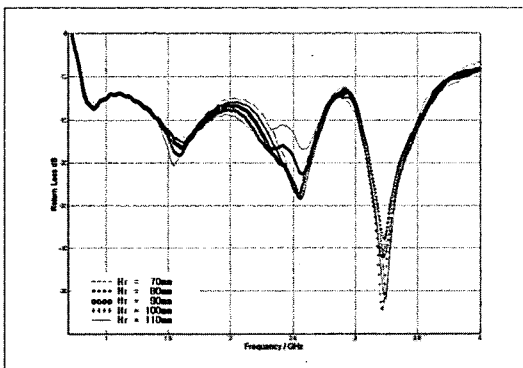


그림 10. H_r 의 길이에 따른 제안된 안테나의 반사 손실 변화

Fig. 10. Return loss of the proposed antenna as function of the length of H_r .

$=270$ mm, $H_r=51.7$ mm으로 고정시킨 후 H_r 의 변화에 따른 반사 손실을 나타내었다.

H_r 의 길이 변화에 대해 반사 손실의 특성은 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 반사판의 날개 부분은 안테나의 반사 손실에는 큰 영향을 주지 않고, 복사 패턴에 영향을 주기 때문이다.

2-3-3 제작 결과

제안된 안테나는 0.2 mm의 동판으로 제작하였고, 동축 선로를 이용하여 동축 선로의 표피를 반사판과 연결하여 그림처럼 급전하였으며, 그림 12는 제작된 안테나의 실제 사진이다. 최종 제작된 안테나의 반사판은 $L_{rd}=160$ mm, $L_{ru}=270$ mm, $H_r=90$ mm, $H_d=51.7$ mm로 하였다.

측정 결과 반사 손실 -10 dB를 기준으로 동작 주파수 0.79 GHz~2.93 GHz로 115.05 %의 광대역 특성

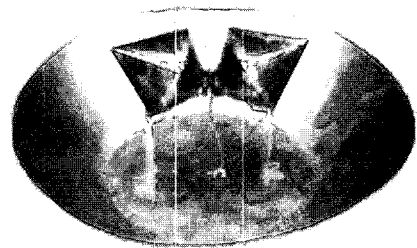


그림 11. 제작된 안테나

Fig. 11. Fabricated antenna.

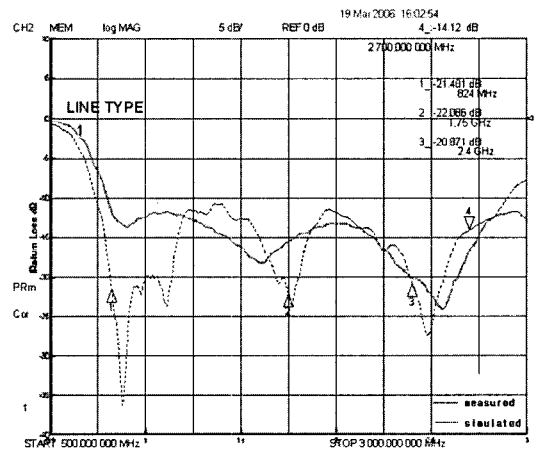
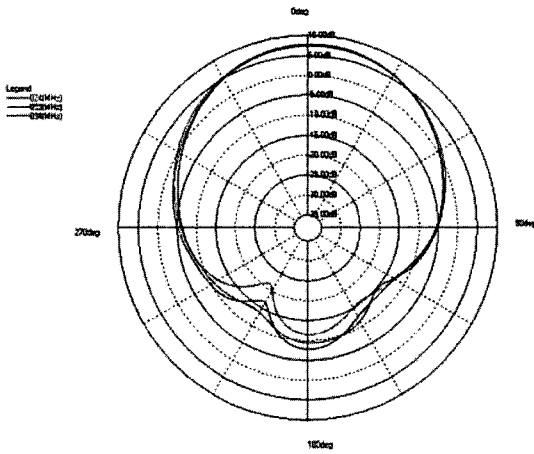
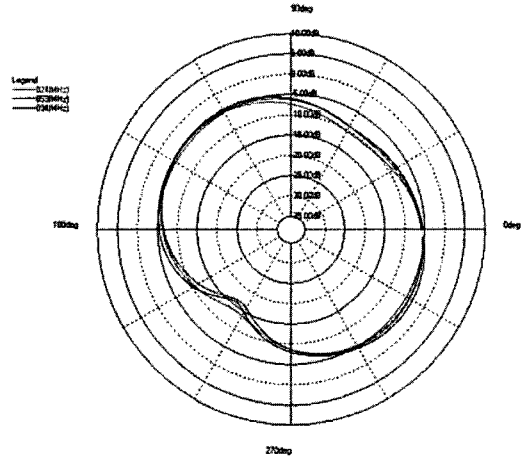


그림 12. 시뮬레이션 결과 및 측정 결과

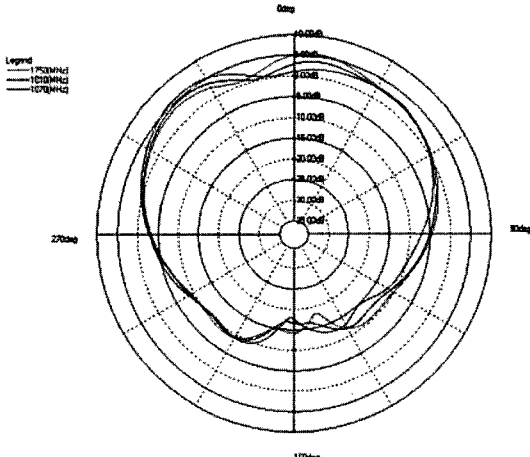
Fig. 12. Simulated and measured results of the proposed antenna.



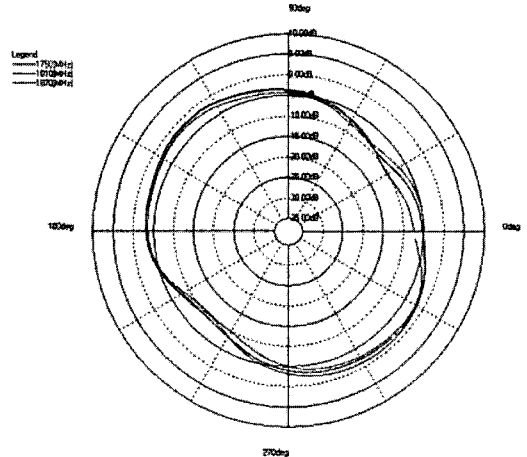
(a) 셀룰러 대역에서의 수직 패턴
(a) E-plane pattern at cellular



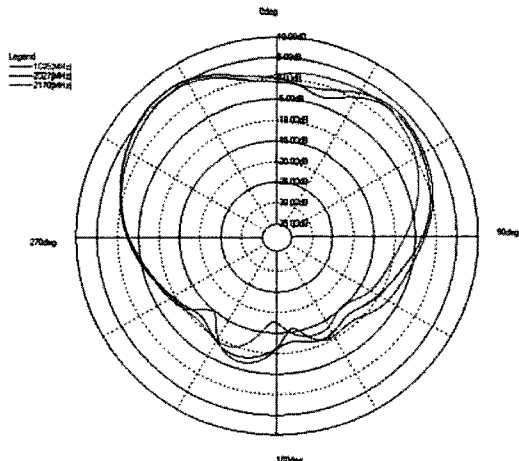
(b) 셀룰러 대역에서의 수평 패턴
(b) H-plane pattern at cellular



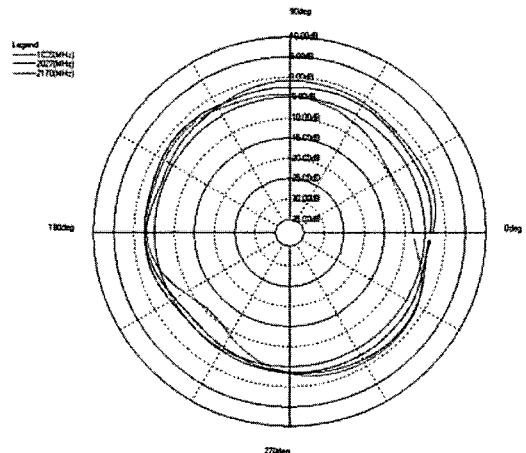
(c) PCS 대역에서의 수직 패턴
(c) E-plane pattern at PCS



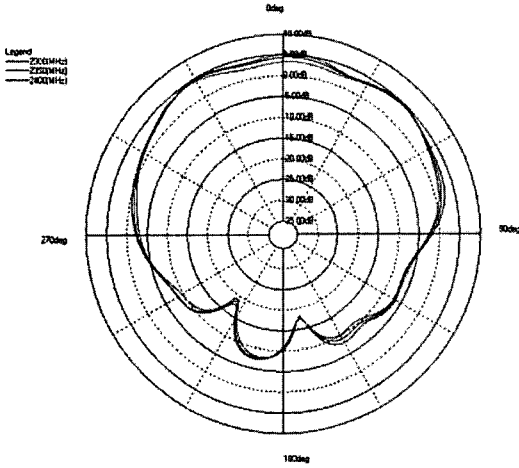
(d) PCS 대역에서의 수평 패턴
(d) H-plane pattern at PCS



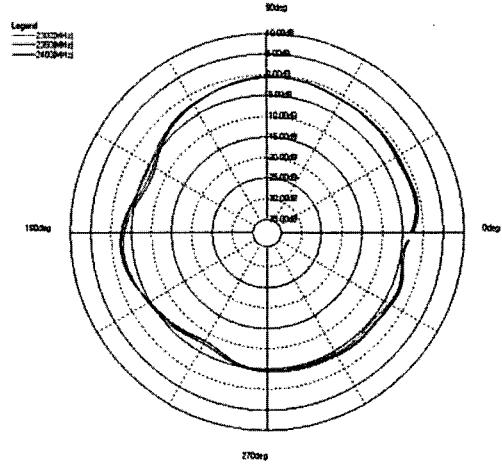
(e) IMT-2000 대역에서의 수직 패턴
(e) E-plane pattern at IMT-2000



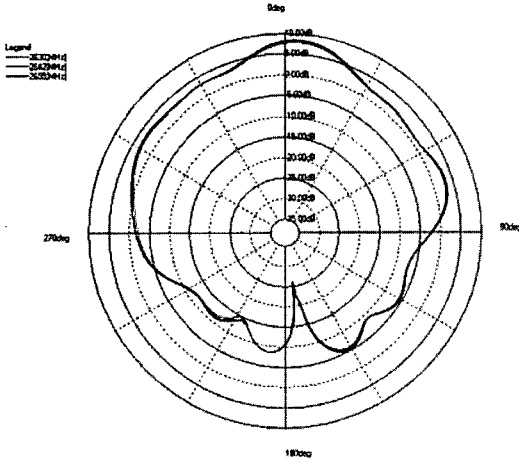
(f) IMT-2000 대역에서의 수평 패턴
(f) H-plane pattern at IMT-2000



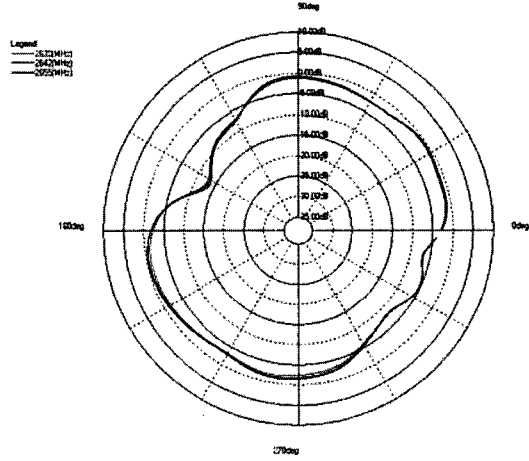
(g) Wibro 대역에서의 수직 패턴
(g) E-plane pattern at Wibro



(h) Wibro 대역에서의 수평 패턴
(h) H-plane pattern at Wibro



(i) S-DMB 대역에서의 수직 패턴
(i) E-plane pattern at S-DMB



(j) S-DMB 대역에서의 수평 패턴
(j) H-plane pattern at S-DMB

그림 13. 제안된 안테나의 주파수에 따른 복사 패턴
Fig. 13. Radiation pattern of the proposed antenna.

을 나타내며, Cellular/PCS/IMT-2000 및 S-DMB 서비스의 대역폭을 전대역에서 만족하며, 시뮬레이션 결과와 실제 측정 결과를 그림 12에서 비교하였다.

그림 13은 안테나의 복사 패턴을 각 서비스 대역에 대해 3개 구간으로 나누어 측정한 결과이며, 그림 14는 주파수에 따른 안테나의 이득이다. 복사 패턴에서 보이듯이 안테나는 반사판에 의해 지향성을 가짐을 확인할 수 있다.

2-3-4 결과 고찰

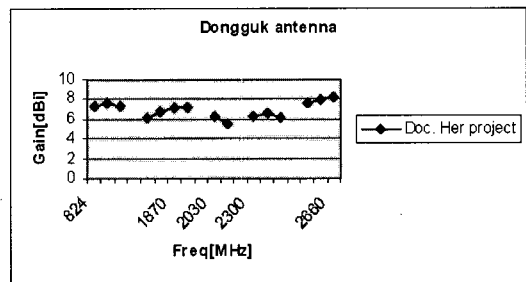


그림 14. 제안된 안테나의 주파수에 따른 이득
Fig. 14. Gain of the proposed antenna.

측정 결과 632 MHz~1,700 MHz까지는 시물레이션과 다르게 상당히 낮은 반사 손실을 갖는다. 이는 테이퍼 콘을 부착할 때 약간의 길이 오차가 발생하여 L_2 의 길이가 증가하고, 안테나와 반사판을 연결할 때 안테나와 반사판의 간격 H_d 가 계산값보다 커져, 시물레이션보다 낮은 동작 주파수를 가지며, L_2 의 증가분만큼 D_2 가 감소하여 고주파수 대역에서 동작 주파수가 감소한 것으로 분석된다.

각 서비스 대역에서 측정된 안테나의 복사 패턴의 경우, 전반적으로 대칭 형태로 나타나지만 E-plane pattern의 경우, 왼쪽으로 다소 치우쳐 있다. 이는 안테나와 반사판의 결합 과정에서 안테나가 반사판의 정가운데 위치하지 못하고, 패턴의 치우친 쪽으로 중앙에서 벗어나 부착된 것으로 생각되며, 반사판의 영향으로 그림 14에서 나타나듯이 전대역에서 지향성을 갖는다.

III. 결 론

본 논문에서는 테이퍼 구조에 의해 광대역 특성을 나타내는 새로운 바이코니컬 안테나 구조의 통합 기지국용 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 바이코니컬 안테나의 끝에 테이퍼 구조를 부착하여 크기를 줄이고, 주파수에 따른 입력 임피던스를 개선하여 Cellular /PCS/IMT-2000/wibro 및 S-DMB 서비스를 수용할 수 있으며, 그림 4에서의 단순 바이코니컬 안테나의 동작 주파수 대역이 최대 22.89 %인 것에 비해 0.79 GHz~2.93 GHz(115.05 %)로 광대역 특성을 나타낸다.

복사 패턴을 개선시키기 위해 접시 형태의 반사판을 부착하였고, 실제 측정에서 그림 15와 같은 이득 결과를 얻었으며, 이를 통해 제작된 안테나가 동작 주파수 대역에서 최대 8.19 dBi에서 최소 5.5 dBi의 이득 특성을 가짐을 확인하였다. 이러한 결과는 제안된 안테나가 다양한 통신 서비스가 이용되고 있

는 이 시점에서 Cellular/PCS/IMT-2000/Wibro 및 S-DMB 서비스를 하나의 기지국으로 통합하여 하나의 안테나로 운영할 수 있음을 보여준다.

참 고 문 헌

- [1] 오경진, 김봉준, 최재훈, "셀룰러/PCS/IMT-2000 기지국용 다중대역 평판 안테나 설계 및 구현", 한국전자과학회논문지, 15(8), pp. 781-787, 2004년 8월.
- [2] S. N. Sammaddar, E. L. Mokole, "Biconical antennas with unequal cone angles", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 46, no. 2, pp. 181-193, Feb. 1998.
- [3] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Desig*, John Wiley & Son, pp. 270-278, 1981.
- [4] K. Nagasawa, I. Matsuzuka, "Radiation field consideration of biconical horn antenna with different flare angles", *IEEE Trans. Antenna and Propagation*, vol. 36, no. 9, pp. 1306-1310, Sep. 1998.
- [5] S. A. Saoudy, M. Hamid, "Input admittance of a biconical antenna with wide feed gap", *IEEE Trans. Antenna and Propagation*, vol. 38, no. 11, pp. 1784-1790, Nov. 1990.
- [6] M. Mazur, "The approach to exact and fast design of biconical antenna with unequal cone angles", *Microwaves, Radar and Wireless Communications*, vol. 3, pp. 793-796, May 2002.
- [7] J. D. Morrow, "Shorted biconical antenna for ultra-wideband applications", *Radio and Wireless Conference 2003, Boston, Proceedings 10-13*, pp. 143-146, Aug. 2003.
- [8] 한성민, 이호선, 우종명, "반사판 부착 원편파 다이폴 안테나", 한국전자과학회논문지, 11(7), pp. 1139-1146, 2000년 10월.

김 준 규



2004년 8월: 동국대학교 전자공학과 (공학사)

2005년 3월~현재: 동국대학교 전자공학과 석사과정

[주 관심분야] 안테나, 전자파 수치해석, 이동통신

윤 현 보

1979년 3월~현재: 동국대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] EMI/EMC, 안테나 설계 및 해석, 이동통신

이 인 재



1993년 8월: 동국대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학석사)

2001년 8월: 동국대학교 전자공학과 박사수료

2003년 5월~현재: STMicroelectronics 사업개발담당 부장

[주 관심분야] 안테나, 전자파 수치해석, 이동통신