

논문 2004-41TC-7-10

전기적 다운 틸팅 기능을 갖는 이중 편파 기지국 안테나 개발

(Development of Dual Polarized Base station Antenna with Electrical Down tilting)

이창은*, 윤종섭*, 문영찬*, 허정**

(ChangEun Lee, JongSup Yun, YoungChan Moon, and Jung Hur)

요약

안테나의 기계적 다운 틸팅의 경우에 있어서, 틸팅각이 커지게 되면 수평 패턴의 왜곡 및 수평 빔폭의 증가 현상이 발생한다. 이는 핸드 오프 영역의 증가 및 기지국의 부하 증대를 유발한다. 이에 반해 전기적인 다운 틸팅은 틸팅 시에도 수평 빔폭이 일정하게 유지된다는 장점을 갖는다. 본 논문에서는 위상 배열 안테나 기술을 적용하여, 전기적인 다운 틸팅 기능을 갖는 800MHz 대역의 이중 편파 기지국 안테나를 개발하였다. 이 안테나는 15dBi의 이득과 0°~14°의 다운 틸팅 범위를 갖는다. 복사 소자로는 적층형 마이크로스트립 패치 안테나를 사용하였으며, 단자간 분리도 및 교차 편파 특성 개선을 위하여 balanced feed technique을 적용하였다. 개발된 안테나에 대한 필드 테스트를 수행하였으며, 이를 통해 전기적 다운 틸팅 안테나의 효과를 확인하였다.

Abstract

In case of mechanical down tilting, a horizontal pattern is distorted and beam width widens when increasing tilt angle, which causes an expansion of hand off region and burden base station equipment. In contrast, electrical down tilting has advantage that horizontal HPBW is kept constant with down tilting. In this paper, based on a phased array technology, dual polarized base station antenna with electrical down tilting was developed at 800MHz band. The antenna has down tilting range of 0° to 14°, and 15dBi gain. We use stacked microstrip patch as a radiated element and apply balanced feed technique to improve isolation between ports and discrimination of cross polarization. The effect of electrical down tilting was verified by field test.

Keywords : Dual polarized base station antenna, electrical down tilting, EMCP, balanced feed technique

I. 서론

이동 통신용 기지국 안테나를 다운 틸팅(down tilt-ing)하면, 안테나의 복사 전력이 커버리지 영역 내로 제한되고, 또한 인접 기지국에서 발생하는 신호의 간섭이 감소되며, 이로 인해 시스템 용량이 증대되는 효과가 나타난다^[1].

다운 틸팅 방법은 기계적인 다운 틸팅 (mechanical

down tilting)과 전기적인 다운 틸팅(electrical down tilt-ing)으로 구분되어지며, 현재까지는 기계적인 방법이 보편적으로 사용되고 있다.

기계적인 다운 틸팅의 경우에 있어서, 틸팅 각이 커지게 되면 수평 패턴의 변형이 발생되며, 또한 수평 빔폭이 증가한다. 이는 복사되는 빔의 틸팅 각이 방위각에 따라 각기 다르기 때문에 발생하는 현상이다. 수평 패턴의 왜곡과 빔폭의 증가는 섹터간 중첩 영역을 확대시켜, 소프트 핸드 오프의 증가 및 주파수 자원의 손실을 야기한다. 또한, 안테나의 boresight에서 ±90° 근방의 각도에서는 빔의 틸팅이 거의 없기 때문에, 이 영역에서는 인접 셀에 대한 간섭 감소와 같은 다운 틸팅의 효과가 발생하지 않는다. 반면에 전기적인 다운 틸팅의

* 정회원, (주)케이엠더블유 (KMW Inc.),

** 정회원, 건국대학교 전자·정보통신공학과 (Dep. of Electronics, Information & Communication Eng., KonKuk University)

접수일자: 2004년3월3일, 수정완료일: 2004년6월7일

경우에는, 모든 방위각에 대해서 빔의 틸팅 각이 동일하게 유지되며, 따라서 수평 패턴의 형태 및 빔폭이 틸팅 각과는 관계없이 일정하게 유지된다. 이러한 장점은 핸드 오프 영역의 조정을 용이하게 하며, 간섭 신호의 억제 효과를 증대시킨다^[2,3,4].

본 논문에서는 위상배열 안테나 기술을 적용하여, 전기적인 다운 틸팅이 가능한 이중 편파 기지국 안테나를 설계 및 제작하였다. 개발된 안테나의 가변 틸팅 범위는 0°~14°이며, 설계 대역은 800MHz 대역이다.

복사 소자로는 광대역의 특성을 갖는 구조인 정방향의 적층형 마이크로스트립 패치 안테나를 채택하여 설계하였으며, 단자간 분리도의 개선을 위하여 balanced feed technique을 사용하였다.

실제 제작 및 패턴 측정을 수행하여 개발된 안테나의 성능에 대한 검증을 하였으며, 또한 필드 테스트를 통하여 전기적 다운 틸팅 안테나의 효용을 확인하였다.

II. 안테나 설계

1. 설계 목표

표 1에서 안테나의 목표 규격을 보였다. ±45°의 편파 방향을 갖는 이중 편파 안테나이며, 다운 틸팅 범위는 도심 내의 작은 셀 반경을 고려하여 충분한 각도인 14°까지 가능하게끔 설정하였다. 그리고, 안테나 이득, 빔폭 등의 규격들은 상용 안테나의 규격과 동일하게 설정하였다.

2. 복사 소자 설계 및 특성

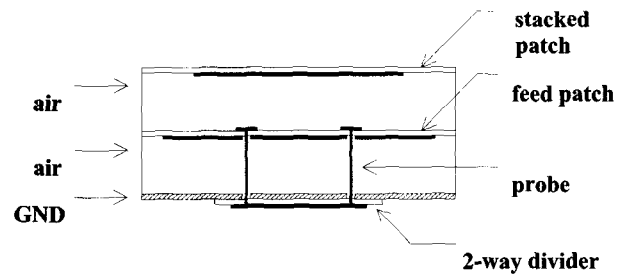
복사 소자로는 정방향의 적층형 EMCP (stacked electromagnetically coupled patch) 안테나를 사용하였다. 적층형 EMCP 안테나는 VSWR이 2:1 미만의 조건에서 20% 이상의 광대역 구현이 가능한 구조이며, 또한 임피던스 대역 내에서의 빔 패턴의 변화가 적은 장점이 있다^[5,6]. 그리고, 급전 방식은 프로브 급전이며, 이중 편파 안테나의 중요한 성능인 CPR (cross polarization ratio)이나 단자간 분리도의 개선을 위하여 balanced feed technique을 사용하였다. 이 기법은 입력 신호를 180° 위상차를 갖는 두개의 신호로 분리하여 이를 대칭적으로 위치하는 두 곳의 급전 점에 급전하는 방식이며, 이로써 패치 안테나의 고차 모드(higher mode)에 의해 발생하는 교차 편파 성분을 상쇄시키는 기술이다^[7].

프로브 급전 방식은 정확한 임피던스 포인트에 급전하기 용이하다는 장점이 있는 반면, 직렬 인덕턴스에

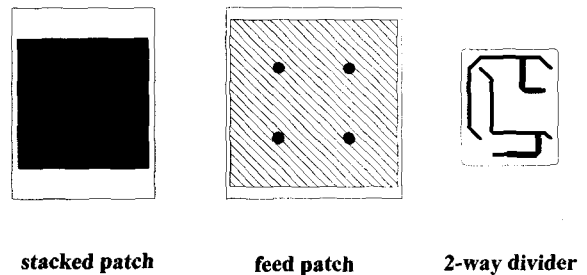
표 1. 안테나 설계 규격

Table 1. Specification of antenna.

항목	규격	
frequency	824~894 MHz	
gain	15dBi	
HPBW	vertical	15° ± 3°
	horizontal	65° ± 5°
VSWR	1.4 : 1 이하	
down tilt range	0°~14°	
side lobe suppression	18dB 이하	
polarization	Dual, slant ±45°	
cross polarization ratio	20dB 이하	
isolation between ports	30dB 이하	



(a)



(b)

그림 1. 복사 소자의 구조 (a) 단면도 (b) PCB layout
Fig. 1. Structure of radiator.

(a) Cross-sectional view (b) PCB layout

의한 대역폭 열화가 발생한다는 단점이 있다. 이 인덕턴스 성분은 급전점과 복사 소자 사이에 직렬 캐패시턴스 성분을 추가하여 보상할 수 있으며, 구조적으로는 PCB 상에 원형의 인쇄 패턴을 형성하여 직렬 캐패시턴스 성분을 구현하였다^[5].

그림 1은 설계된 복사 소자의 구조를 보여 주고 있다. 그림 1(b)에서 feed patch의 4개의 원형 인쇄 패턴은 직렬 캐패시턴스 구현을 위한 구조이며, 또한, 빗금 친 영역은 PCB 배면의 인쇄 패턴을 나타낸다.

표 2. 복사 소자의 설계 치수
Table 2. Dimension of radiator.

변수	설계 치수
size of stacked patch	128 × 128 mm
size of feed patch	164 × 164 mm
height of stacked patch	32 mm
height of feed patch	16 mm
circular disk radius	6 mm

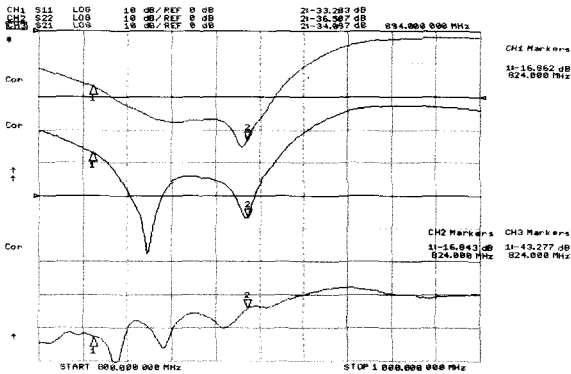


그림 2. 단일 소자의 측정결과
Fig. 2. Measured results of single radiator.

표 2는 설계된 복사 소자의 설계 치수를 정리한 것이다. 복사 소자의 치수는 기초적인 시뮬레이션과 실제 제작 및 측정에 의한 하드웨어 튜닝을 통해 결정하였으며, 이 과정에서 공진 주파수에 큰 영향을 주는 레이돔(radome)에 대한 효과도 고려하였다.

그림 2는 제작된 복사 소자의 반사손실 및 단자간 분리도를 측정한 결과이다. 이 결과에서 보여지듯이, 대역 내에서 S₁₁과 S₂₂은 -16dB 이하이며, 또한 S₂₁이 -34dB 이하인 좋은 결과가 확인되었다.

3. 배열 안테나 설계

그림 3은 본 논문의 배열 안테나 구조에 대한 개념도이다. 홀수 개의 복사 소자가 사용되어지며, 중심에 배치된 소자는 고정된 입력 위상을 갖는다. 또한, 상하측에 대하여 반대의 위상 천이가 요구되며, 등간격의 배열 구조이다.

소자 개수나 배열 간격 등의 배열 파라미터 값은 수직 빔폭, SLL(side lobe level) 성능, 배열 이득, 다운 틸팅각 범위, 물리적인 크기 등을 고려하여 설계하였다.

배열 설계는 식 (1)을 기초로 수행하였으며, 표 3은 설계된 배열 파라미터의 값을 정리한 결과이다^[8].

$$AF = \sum_{n=-M}^{+M} A_n e^{jn\beta d(\sin\theta - \sin\theta_0)} \quad (1)$$

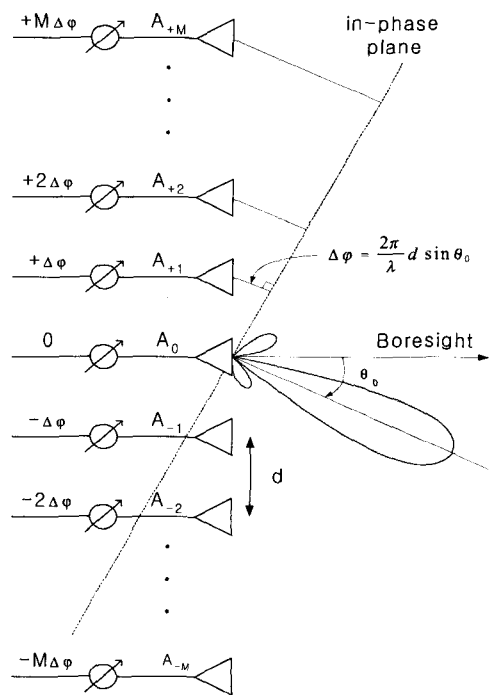


그림 3. 안테나 배열 구조
Fig. 3. Array scheme.

표 3. 배열 파라미터
Table 3. Array parameter.

파라미터	값
소자 수	5
배열 간격(d)	0.773 λ
전력 분배비 (A _n)	1: 1.8: 2.5: 1.8: 1
Δφ	67.3°

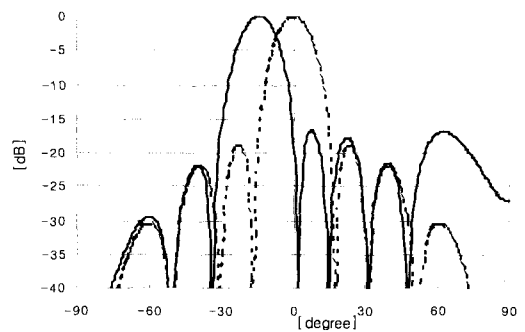


그림 4. 수직 패턴 (시뮬레이션 결과)
Fig. 4. Simulation results of Vertical pattern.

(AF는 array factor이며, β는 전파 상수, d 는 배열 간격, θ₀는 빔 지향 각도이다.)

여기서, 가변 위상량은 Δφ=βd sinθ₀로 정의되며, 전력 분배비는 Taylor method를 사용하여 설계하였다.

그림 4는 시뮬레이션 결과이며, 틸팅 각이 0°와 14°일 때의 수직 패턴을 겹쳐서 보였다.

배열 소자로 인가되는 신호의 분기 및 전력 분배비의 구현을 위해 5-way의 전력 분배기 회로를 구성하였다. 이 전력 분배기는 T-junction 형태의 비균등 분배기 (unequal divider)를 직렬(cascade)로 연결한 구조로 설

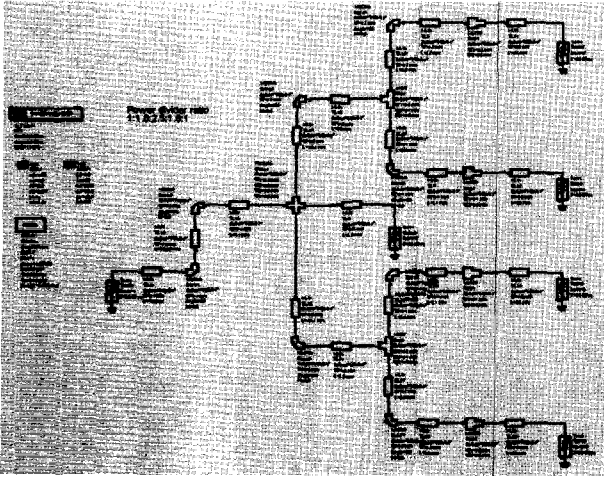
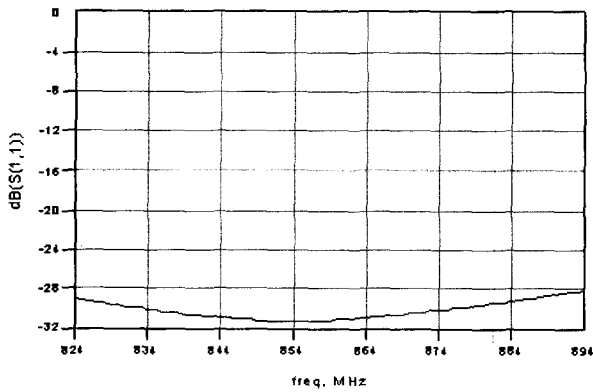
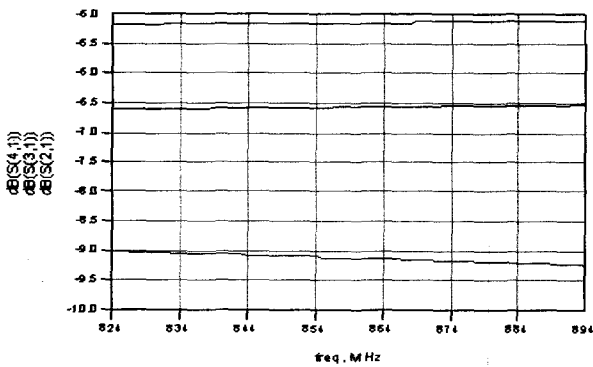


그림 5. 5-way 전력 분배기 회로의 배선도
Fig. 5. Schematic of 5-way divider circuit.



(a)



(b)

그림 6. 5-way 전력 분배기의 시뮬레이션 결과
(a) 반사손실 (b) 전력 분배비
Fig. 6. Simulation results of 5-way divider circuit.
(a) Return loss (b) Dividing ratio

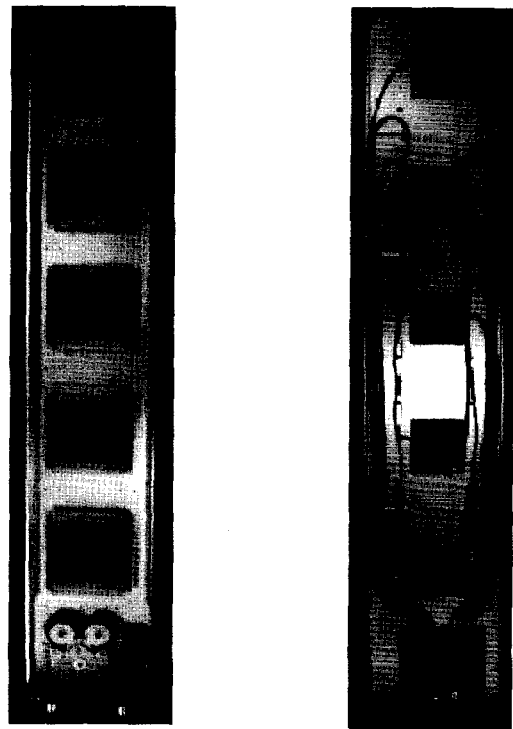
계하였으며, 마이크로스트립 선로를 이용하여 구현하였다. 그림 5는 Agilent사의 시뮬레이션 툴인 ADS에서의 배선도이며, 그림 6은 시뮬레이션 결과이다.

가변 위상량을 구현하기 위한 위상 천이기로는 마이크로 스트립 선로 위로 유전율이 높은 세라믹이 이동하면서 위상이 천이 되는 구조인 variable dielectric strip-line phase shifter를 사용하였으며^[9], 이는 연속적인 위상 천이가 가능한 구조이다. 또한, 이 제품은 복수개의 위상 천이 선로가 하나의 원형의 하우징(housing) 안에 집적되었으며, 이를 하나의 회전축을 이용하여 구동하여 할 수 있다는 특징이 있다. 즉, 회전축의 회전 각도에 따라 위상 천이량이 변경되며, 각각의 위상 천이 선로들의 출력 위상량은 서로 간에 등비(等比)의 관계를 갖는 구조이다.

III. 안테나 제작 및 측정

1. 안테나 제작

제작된 안테나의 사진을 그림 7에서 보였다. 복사 소자가 5단으로 배열되었으며, 안테나 하단부에는 위상 천이기 2개와 위상 천이기의 회전축에 회전 운동력을



(a)

(b)

그림 7. 제작된 안테나 사진 (a) 전면 (b) 후면
Fig. 7. Photograph of fabricated antenna.
(a) Front view (b) Rear view

전달하기 위해 1개의 모터가 내장하였다. 2개의 위상 천이기는 각각 2개의 편파 신호의 위상 조절을 담당한다. 또한, 모터의 회전각 제어를 위한 전용의 제어기를 제작하여 다운 틸팅 각을 조종하였다.

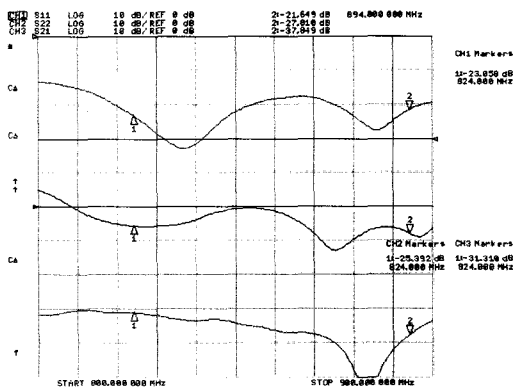
안테나 후면의 하단부에는 5-way 분배기가 장착되었으며, 이의 설계 및 제작에 사용된 PCB는 유전율이 3.2인 Teflon 계열의 제품이다.

RF신호의 입력 커넥터는 7/16 DIN Female를 사용하였고, 안테나와 전용 제어기와의 결선을 위한 별도의 커넥터를 부착하였다.

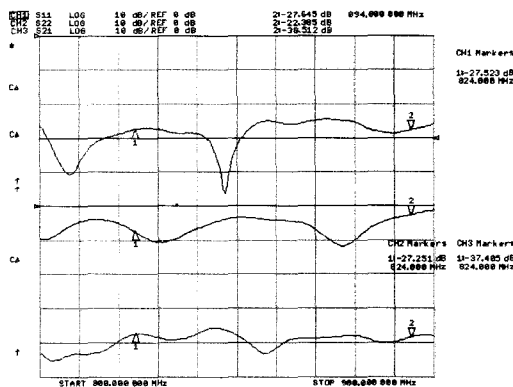
안테나의 레이돔 재질은 강도가 높고, 가혹한 환경에서도 잘 견디는 열경화성 수지인 FRP(Fiber Reinforced Plastic)를 사용하였다.

2. 측정 결과

그림 8은 안테나의 반사손실 및 단자간 분리도를 측정된 결과이다. 그림 8(a)는 다운 틸팅각이 0°일 때 측정된 결과이며, 그림 8(b)는 14°일 때 측정된 결과이

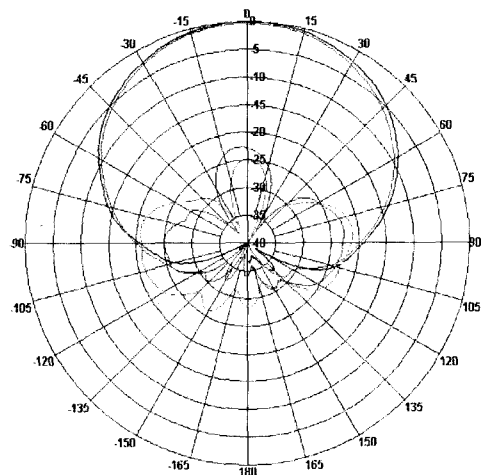


(a)

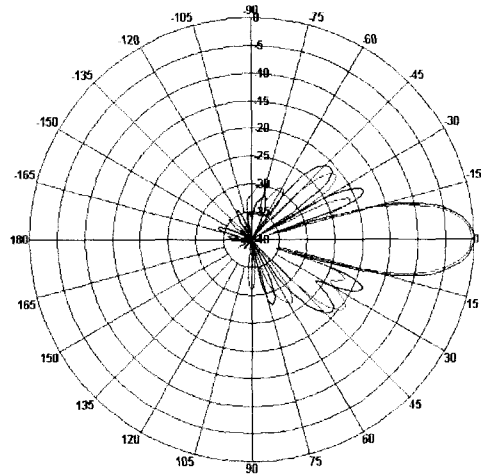


(b)

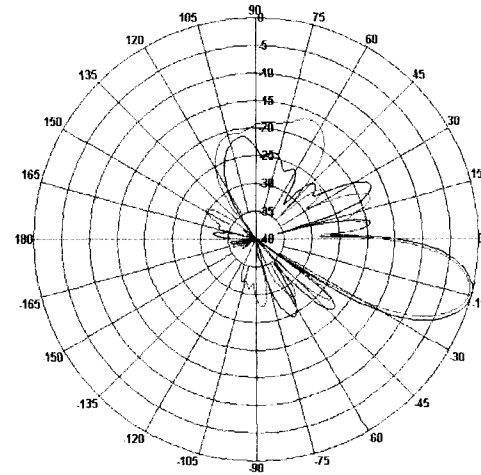
그림 8. S₁₁, S₂₂ 및 S₂₁ 측정 결과
(a) 0°일 때 (b) 14°일 때
Fig. 8. Measured results of S₁₁, S₂₂ and S₂₁.
(a) at 0° (b) at 14°



(a)



(b)



(c)

그림 9. 안테나 패턴 측정 결과 (a) 수평 패턴 (b) 수직 패턴 (0°일 때) (c) 수직 패턴 (14°일 때)
Fig. 9. Measured results of radiation pattern. (a) Horizontal pattern (b) Vertical pattern (at 0°) (c) Vertical pattern (at 14°)

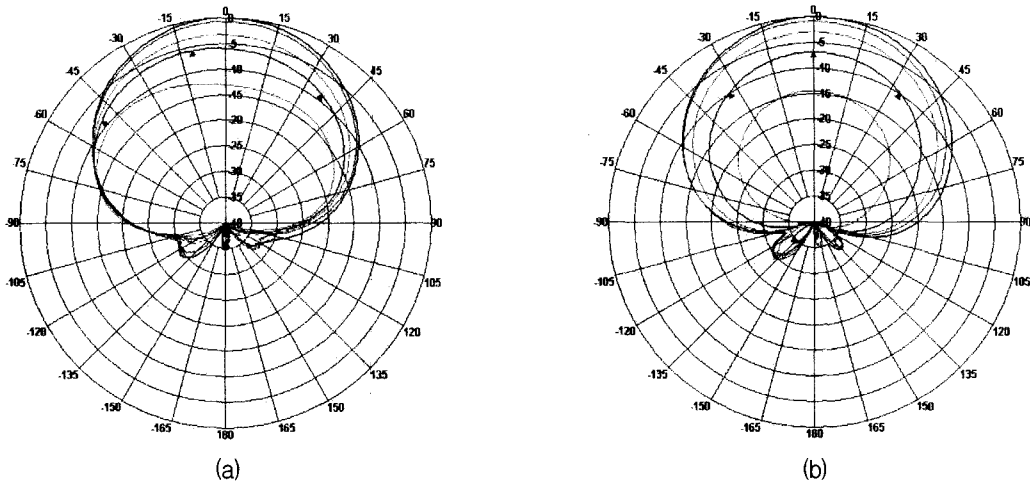


그림 10. 다운 틸팅 시의 수평 패턴 변화 (a) 기계적 다운 틸팅 (b) 전기적 다운 틸팅
 Fig. 10. Variation of horizontal pattern with down tilting.
 (a) Case of mechanical down tilting (b) Case of electrical down tilting.

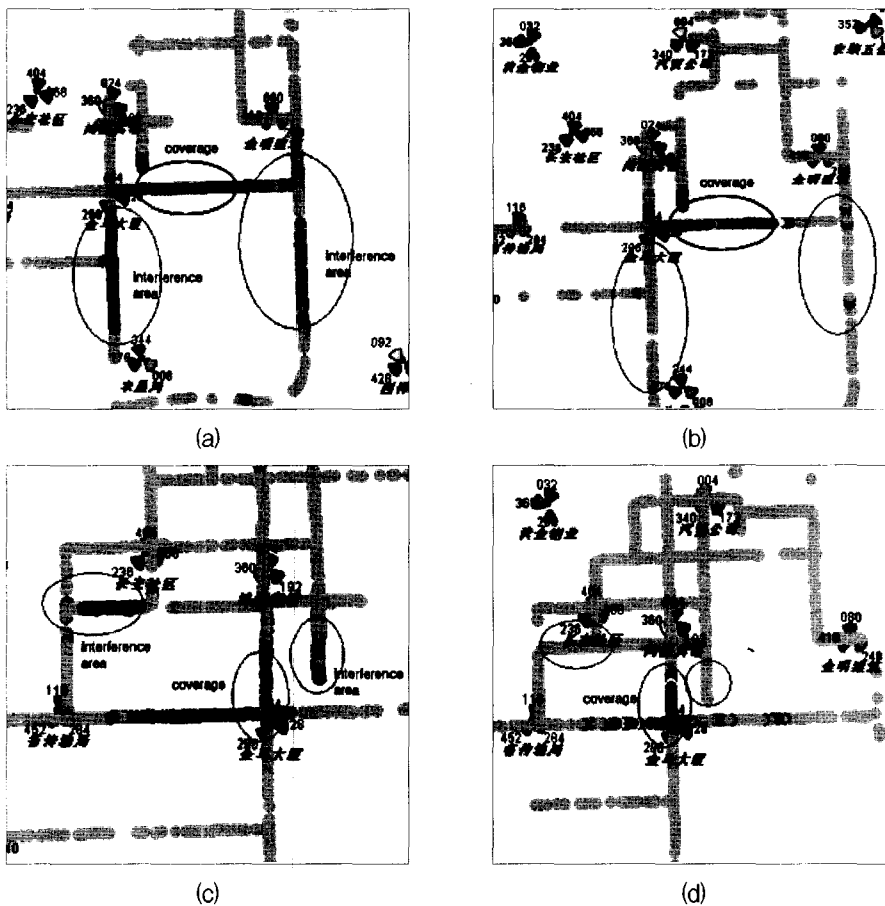


그림 11. DM 측정 결과 (a) α 섹터 (기계적인 다운 틸팅) (b) α 섹터 (전기적인 다운 틸팅)
 (c) γ 섹터 (기계적인 다운 틸팅) (d) γ 섹터 (전기적인 다운 틸팅)
 Fig. 11. Measured results of DM test. (a) α sector (mechanical down tilting) (b) α sector (electrical down tilting) (c) γ sector (mechanical down tilting) (d) γ sector (electrical down tilting)

다. 대역 내에서 -18dB 이하의 반사 손실과 -31.3dB 이상의 단자간 분리도 특성을 보인다.

그림 9는 안테나의 수평 및 수직 복사 패턴을 측정한

결과이며, 측정 주파수는 824MHz 및 894 MHz이다. 그림 9(a)는 다운 틸팅각이 0°일 때의 수평 패턴이며, co-polarization 패턴과 cross-polarization 패턴을 겹쳐서

나타내었다. 약 65°의 수평 빔폭과 14.7dBi 이상의 이득 성능이 확인되었다. 또한, CPR 특성은 0°에서는 -20dB 이상이며, ±60°에서 -15dB 이상이다. 그림 9(b),(c)는 각각 다운 틸팅각이 0°와 14°일 때의 수직 복사 패턴이다. 측정된 수직 빔폭은 14.8°~14°이며, 스캔 손실(scan loss)는 약 0.4dB이다. 그리고, 최대 -17.5dB의 상측 SLL 특성을 보이며, 이는 시뮬레이션 결과와 거의 유사하다. 또한, 다운 틸팅 시에도 SLL의 변화가 크지 않음을 알 수 있다.

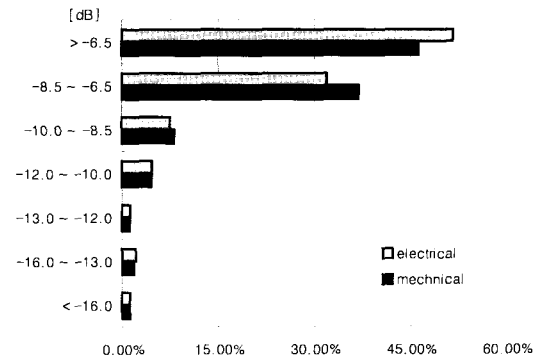
그림 10는 기계적 다운 틸팅인 경우의 수직면 패턴과 전기적 다운 틸팅의 수평면 패턴을 동일한 안테나를 사용하여 측정한 결과이다. 측정 주파수는 859MHz이며, 각각의 경우에 대해서 0°, 3°, 7°, 10°, 14°로 다운 틸팅하여 측정하였다. 이 결과에서 보여지듯이, 기계적인 다운 틸팅인 경우에 수평 빔폭이 최대 102°까지 확장되었으며, 최대 빔 방향의 변화도 매우 심하게 나타났다. 반면에 전기적인 다운 틸팅인 경우에는 수평 빔폭이 65°~69°로 유지 되었다.

3. 필드 테스트

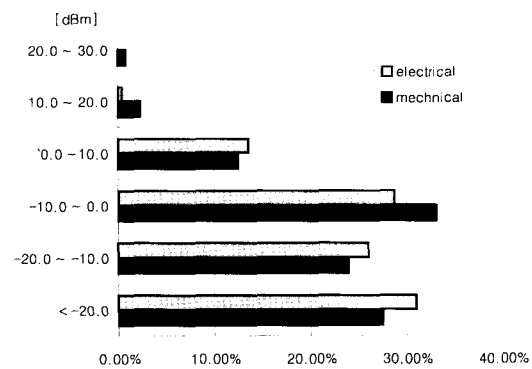
중국 석가장 시(市)의 도심 내 기지국에서 필드 테스트를 수행하였다. 인접한 3개의 기지국을 대상으로 하였으며, 총 9개의 섹터에 대해 기계적 다운 틸팅 안테나를 전기적인 다운 틸팅 안테나로 교체하였다. 교체 전의 안테나의 수평 빔폭과 이득은 각각 65°와 15dBi이며, 설정된 기계적 다운 틸팅 각은 약 9°~13° 정도이었다. 안테나의 교체 후에 같은 조건으로 전기적인 다운 틸팅 각을 조정하였으며, 안테나의 교체 전후에 대해 DM (diagnostic monitor) 측정을 수행하였다.

그림 11은 세 개의 기지국 중 하나인 금마 빌딩 기지국의 α 섹터와 v 섹터에 대한 측정 결과이다. 중앙의 타원은 자체의 커버리지 영역을, 좌우 측의 타원은 간섭이 일어나는 인접 지역을 나타내며, 색이 진할수록 신호의 세기도 크다. 위의 결과에서 알 수 있듯이 안테나 교체 후에, 인접 셀이나 섹터로의 신호 침범이 많이 감소함을 알 수 있으며, 이는 다운 틸팅 시에도 수평 빔폭을 균일하게 유지시키는 전기적인 다운 틸팅의 특성으로 분석 될 수 있다.

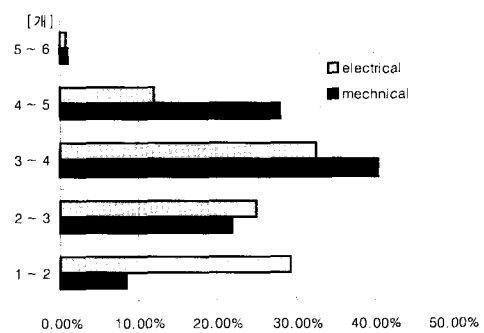
그림 12는 안테나의 교체 전후에 대한 DM 측정 결과를 도수 분포도(histogram)의 형태로 나타낸 것이다. 전반적으로 전파 수신 환경이 개선됨을 알 수 있으며, 특히 active PN 개수가 많이 감소하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 12. DM 측정 결과에 대한 도수 분포도 (a) Ec/Io (b) 단말기 출력 전력 (c) Active PN 개수

Fig. 12. Histogram of results of DM test. (a) Ec/Io (b) TX power of mobile (c) The number of active PN

IV. 결 론

본 논문에서는 전기적인 다운 틸팅 기능을 갖는 이중 편파의 기지국용 안테나의 개발 및 필드 테스트를 수행하였다. 복사소자로는 balanced feed technique을 사용한 정방향의 적층형 EMCP 안테나를 사용하였으며, 이

구조가 CPR과 단자간 분리도의 성능 면에서 우수함을 검증하였다. 제작한 안테나를 측정한 결과, 개발된 안테나가 14.7dBi의 이득과 0°~14°의 가변 틸팅 범위, 그리고 약 0.4dB의 낮은 스캔 손실을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 전기적인 다운 틸팅 시의 수평 빔폭이 65°~69° 내에서 유지됨을 확인하였다.

그리고, 필드 테스트의 결과를 통하여, 전기적 다운 틸팅 안테나를 사용하였을 때, 단말기가 수신하는 active PN 개수가 많이 감소하였음을 알 수 있다. 이는 핸드오프 영역의 감소를 의미하며, 전기적인 다운 틸팅의 효과를 잘 보여주는 결과라고 사료된다.

참 고 문 헌

[1] C. Y. Lee, *Mobile Communication Design Fundamentals*, John Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed., pp. 207-210, 1993.

[2] C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications*, McGraw-Hill, Inc., 2nd Ed., pp.193-199, 1995.

[3] G. Wilson, "Electrical Downtilt Through Beam-Steering versus Mechanical Downtilt," *Vehicular Technology Conf.*, vol.1, pp.1-4, 1992.

[4] http://www.andrew.com/products/antennas/base_station/teletilt

[5] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, Peter Peregrinus Ltd., pp.320-330, 1989.

[6] G. Kumar and K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House, Inc., Norwood, MA, pp.131-132, 2003.

[7] K. Hirasawa and M. Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antennas*, Artech House, Inc., Norwood, MA, pp. 136-143, 1992.

[8] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, Inc., ch.3, 1981.

[9] S. K. Koul and B. Bhat, *Microwave and Millimeter Wave Phase Shifters*, Artech House, Inc., Norwood, MA, pp.73-75, 1991.

저 자 소 개



이 창 은(정회원)
 1993년 건국대학교 전자공학과 (공학사).
 1995년 건국대학교 전자공학과 (공학석사).
 1995년~현재 건국대학교 전자공학과 박사 과정
 1998년 2월~현재 KMW(주) 중앙연구소 책임연구원.
 <주관심분야: 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로 설계>



문 영 찬(정회원)
 1990년 서강대학교 전자공학과 (공학사).
 1992년 서강대학교 전자공학과 (공학석사).
 1996년 8월 서강대학교 전자공학과 (공학박사).
 1996년 11월~2000년 9월 한국전자통신연구원 무선방송연구소 선임연구원.
 2000년 10월~현재 KMW(주) 중앙연구소 수석연구원
 <주관심분야: 마이크로파 및 밀리미터파 소자, 이동통신 안테나, 위상배열 안테나>



윤 종 섭(정회원)
 1995년 건국대학교 전자공학과 (공학사).
 2000년 건국대학교 전자·정보통신공학과(공학석사).
 2001년~현재 KMW(주) 중앙연구소 선임연구원.
 <주관심분야: 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로 설계>



허 정(정회원)
 1981년 서울대학교 전자공학과 (공학사).
 1983년 서울대학교 전자공학과 (공학석사).
 1991년 서울대학교 전자공학과 (공학박사).
 현재 건국대학교 전자·정보통신공학과 교수
 <주관심분야: 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로설계, 마이크로파 소자 등>