

논문 2004-41TC-5-10

위상배열 안테나 기술을 적용한 기지국용 안테나 개발

(Development of Base station Antenna Using Phased Array Technology)

이 창 은*, 윤 중 섭*, 문 영 찬*, 허 정**

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

요 약

위상 배열 안테나 기술을 이용하여 2차원적으로 빔의 방향을 조정할 수 있는 셀룰라 대역의 기지국 안테나를 개발하였다. 이 안테나는 복사 소자를 2×5로 배열하였으며, 14dBi의 이득과 60°의 수평 빔폭, 그리고 13°의 수직 빔폭을 갖는다. 또한, 수직 면에서의 다운 틸팅 범위는 0°에서 12°이며, 수평면에서의 스티어링 범위는 -15°에서 15°이다. 안테나를 필드에 설치한 후 DM 측정을 실시하여 빔 제어 성능을 확인하였다.

Abstract

Based on a phased array technology, 2-dimensionally steerable base station antenna was developed at cellular band. The antenna, which consists of 2 by 5 radiating element, can provide 14dBi gain with half power beam width of 60° and 13° in horizontal and vertical plane respectively. It has beam scanning range of 0° to 12° in vertical down tilting and -15° to 15° in horizontal steering. The beam control performance of antenna was verified by DM measurement on field trial.

Keywords : Base station antenna, Down tilting, Steering, EMCP, Phased array

I. 서 론

기지국 안테나는 높은 빌딩이나 철탑에 설치되고 인접 기지국 간의 간섭을 줄이기 위하여 물리적으로 수직 빔의 지향각을 조절하는 기구적 다운 틸팅(down tilting)을 한다. 기구적 다운 틸팅은 섹터간 중첩 영역을 확대시켜 소프트 핸드오프의 발생을 증가시키는 단점이 있다. 이로 인해 주파수 자원의 손실 및 기지국 내 핸드오프 처리의 부하가 증대된다.^{[1],[2]} 또한, 기구적 다운 틸팅 안테나는 정밀한 망 최적화 작업이 용이치 않고, 유지 보수 비용 및 작업자의 사고 위험 등의 문제가 존재한다. 이러한 문제점이 부각되어 근래에는 위상 배열 기술을 적용하여 안테나의 지향각을 전기적으로 다운

틸팅하는 안테나를 주로 사용하고 있다.

기지국용 안테나의 수평 스티어링(steering) 기능은 섹터 내의 가입자 밀집 지역으로의 빔 조향 및 섹터간 중첩 영역의 정확한 조정을 가능케 한다. 그리고, 3섹터에 모두 수평 스티어링이 가능한 안테나를 설치할 경우, 스마트 안테나의 기능인 트래픽 균등 배분(load balancing)을 위한 adaptive sectorization를 부분적으로 구현할 수 있다.

본 논문에서는 위상배열 안테나 기술을 적용하여 전기적인 다운 틸팅과 수평 스티어링이 가능한 기지국용 안테나를 설계 및 제작하였다.

설계 목표는 800MHz 대역에서 상용되는 기지국 안테나의 규격에 다운 틸팅 및 스티어링 기능을 추가하여 설정하였으며, 이는 상용화 시에 기존의 안테나에 대한 호환성을 염두에 둔 것이다.

위상 배열 설계 이론을 이용하여 안테나의 배열 구조와 배열 파라미터 값을 결정하였으며, 또한 빔 방향 조절 기능과 복사 패턴 형성을 위한 feeding network을

* 정희원, (주)케이엠더블유 (KMW Inc.),

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

접수일자: 2003년12월26일, 수정완료일: 2004년5월3일

표 1. 안테나 설계 규격
Table 1. Specification of antenna.

항목		specification
frequency [MHz]		824 ~ 894
gain		14dBi
HPBW	vertical	13° ± 3°
	horizontal	60° ± 5°
VSWR		1.5 : 1
downtilt range		0° ~ 12°
steering range		-15° ~ +15°
sidelobe suppression		14dB
front to back ratio		25dB
polarization		vertical
dimension [mm]		1540 × 260 × 90

표 2. 배열 파라미터
Table 2. Array parameter.

파라미터	값
수직 배열 수	5
수평 배열 수	2
수직 배열 간격	0.8 λ
수평 배열 간격	0.36 λ
전력 분배비	1: 1.8: 2.8: 1.8: 1

구성하였다.

그리고, 복사 소자로는 광대역의 특성을 가지며, 튜닝이 용이한 구조인 프로브 급전의 적층형 마이크로스트립 패치 안테나를 채택하여 설계하였다.

실제 제작 및 패턴 측정을 수행하여 성능에 대한 검증을 하였으며, field test를 통하여 개발된 안테나의 효용을 확인하였다.

II. 안테나 설계

1. 설계 목표

안테나 이득, 빔폭 등의 규격들은 현재 800MHz대역에서 3섹터용으로 사용되는 상용 안테나의 규격과 동일하게 설정하였다. 다운 틸팅 범위는 도심 내의 작은 셀 반경을 고려하여 충분한 각도인 12°까지 가능하게끔 설정하였다. 또한, 수평 스티어링 각도 범위는 ±15°로 설정하였으며, 이는 ±15° 이상의 스티어링을 하면 섹터 경계선에서의 감쇄가 너무 커져서 추가적인 음영지역의 발생을 야기할 수 있기 때문이다. 표1에서 안테나의 목표 규격을 보였다.

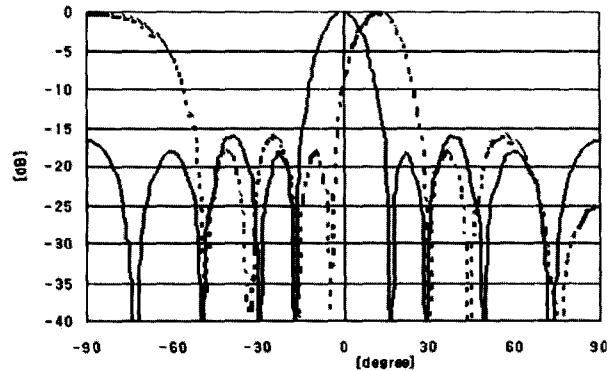


그림 1. 수직 패턴 (시뮬레이션 결과)
Fig. 1. Vertical pattern. (result of simulation)

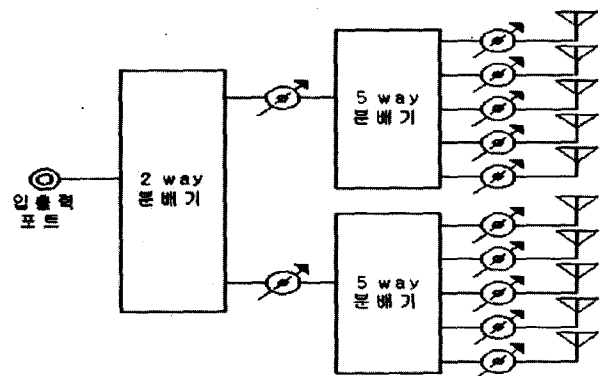


그림 2. Feeding network
Fig. 2. Feeding network

2. 배열 안테나 설계

안테나 배열의 설계에서는 복사 소자의 수와 배열 간격, 그리고 복사 소자 각각에 인가되는 전력 분배비 등의 배열 파라미터 값을 결정하여야 한다. 각각의 파라미터는 안테나 전체의 물리적인 크기와 빔폭 그리고, SLL(side lobe level) 성능, 배열 이득 등을 고려하여 결정된다.^{[3],[4]}

배열 설계는 식 (1) 을 기초로 하였으며, 표 2는 설계된 배열 파라미터의 값을 정리한 결과이다.

또한, 12°의 수직 다운 틸팅 기능과 ±15°의 수평 스티어링 기능을 만족하기 위해 요구되는 복사 소자 당 가변 위상량은 각각 59.87°, ±33.54° 이며, 이는 다음의 식 (2)을 이용하여 계산하였다.

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j n \beta d (\cos \theta - \cos \theta_0)} \quad (1)$$

$$\Delta \Psi = \beta d \cos \theta_0 \quad (2)$$

(여기서 N은 소자의 갯수이고, β는 전파상수, d는 배열 간격, θ₀는 빔 지향 각도, ΔΨ는 필요 위상량이다.)

그림 1은 시뮬레이션 결과이며, 0°와 12° 일 때의 수직 패턴을 겹쳐서 보였다.

그림 2는 feeding network을 나타내었다. 여기서, 수평 스티어링 기능을 위해 복사 소자의 배열은 2열로 구성되며, 2 way 분배기와 수평 스티어링용 위상 천이기(phase shifter)가 장착된다. 또한 각각의 수직 열로 급전되는 신호는 5way 분배기와 수직 틸팅용 위상 천이기를 통과하여 5개의 복사 소자로 전달되며, 안테나의 수직 패턴을 형성한다.

2 way 분배기는 설계 초기에 T-junction 형태를 사용하였으나, 수평 스티어링 시에 VSWR 성능이 열화되는 현상이 발생하였다. 이 현상에 대한 원인은 수평적으로 매우 인접하여 배열된 두 열의 복사 소자가 급전 위상 조건에 따라 상호 결합(mutual coupling)의 양이 달라지며, 이로 인해 복사 소자의 입력 임피던스의 변화가 발생되기 때문이다. 따라서, 부하(load) 조건에 민감하며, 출력 포트 간 분리도가 보장되지 않는 T-junction 형태의 분배기는 적합하지 않다.

이에 대한 대안으로 본 논문에서는 90° 하이브리드(quadrature hybrid) 형태의 분배기를 채택하였고, VSWR 문제가 개선됨을 확인하였다.

5 way 분배기는 T-junction 형태의 비균등 분배기(unequal divider)를 직렬(cascade)로 연결한 구조로 설계하였다.

가변 위상량을 구현하기 위한 위상 천이기로는 마이크로스트립 선로 위로 유전율이 높은 세라믹이 이동하면서 위상이 천이되는 구조인 variable dielectric strip-line phase shifter를 사용하였으며^[5], 이는 연속적인 위상 천이가 가능한 구조이다. 또한, 이 제품은 복수개의 위상 천이 선로가 하나의 원형의 하우징(housing) 안에 집적되었으며, 이를 하나의 회전축을 이용하여 구동할 수 있다는 특징이 있다.

3. 복사소자 설계 및 특성

복사소자로는 광대역 구현이 용이하며, 또한 임피던스 대역 내에서 빔 패턴의 변화가 적은 적층형 EMCP(Stacked Electromagnetically coupled patch)안테나를 사용하였다.^[6]

그리고, 급전 방식으로는 프루브(probe) 급전을 사용하였고, 이는 정확한 임피던스 포인트에 급전하기 용이하다는 장점이 있다. 그러나, 이 방식은 프루브에 의해 발생되어지는 직렬 인덕턴스 성분이 복사 소자의 매칭을 어렵게 한다는 단점이 있다^[7]. 이러한 인덕턴스 성분

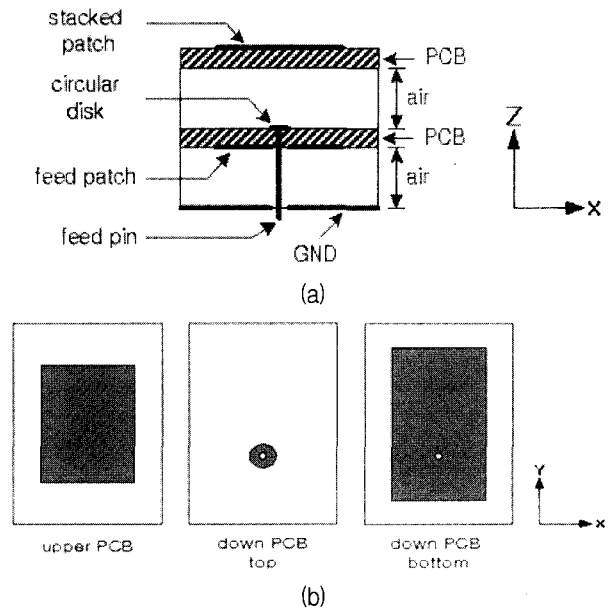


그림 3. 복사 소자의 구조 (a) 단면도 (b) PCB layout
Fig. 3. Structure of radiator.

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

표 3. 복사 소자의 설계 치수
Table 3. Dimension of radiator.

변수	설계 치수
stacked patch size	118 × 78 mm
feed patch size	154 × 78 mm
stacked patch 높이	14 mm
feed patch 높이	12 mm
circular disk radius	5mm

은 급전점과 복사 소자 사이에 직렬 캐패시턴스 성분을 추가하여 보상할 수 있으며, 구조적으로는 PCB 상에 원형의 패턴을 형성하여 직렬 캐패시턴스 성분을 구현하였다. 이 방식은 Annular Gap에 의한 인덕턴스 보상 방식보다 더 큰 캐패시턴스 값을 가질 수 있는 방법이며, 제작 상의 오류에 덜 민감한 구조이다.

그림 3는 설계된 복사 소자의 구조를 보여 주고 있다.

수평 빔 스티어링을 위해서는 2열 이상의 배열이 필요하다. 동시에 기존의 3섹터 안테나의 수평 빔폭 60°를 유지하기 위해서는 개별 복사 소자의 빔폭이 넓고 배열 간격이 좁아야 한다.

수평 배열 간격의 감소는 복사 소자 간의 mutual coupling양을 급격하게 증가 시키며^[8], 따라서 복사 소자의 매칭 및 패턴에 큰 영향을 끼친다.

표 3은 설계된 복사 소자의 설계 치수를 정리한 것이다. 복사 소자의 치수는 기초적인 시뮬레이션과 실제 제작 및 측정에 의한 하드웨어 튜닝을 통해 결정하였

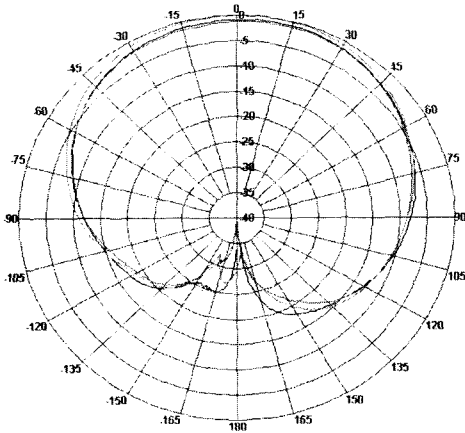
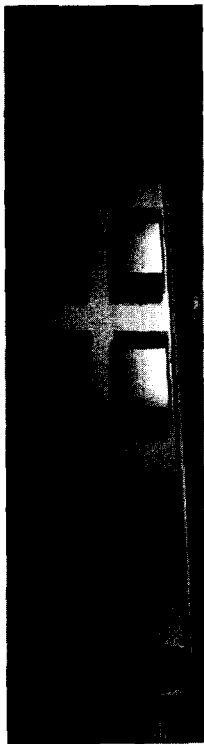
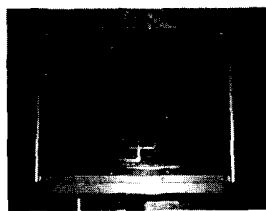


그림 4. 단일 소자의 측정 복사 패턴
Fig. 4. Measured radiation pattern of single radiator



(a)



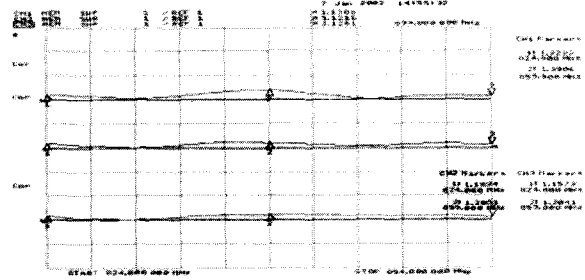
(b)

그림 5. (a) 제작된 안테나 사진 (b) 급전 회로용 PCB

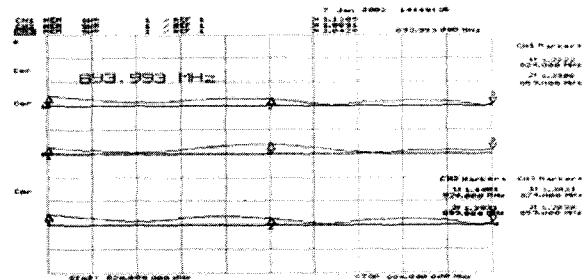
Fig. 5. (a) Photograph of fabricated antenna. (b) PCB of feeding circuit.

다. 이 과정에서 인접 소자에 의한 mutual coupling 및 공간 주파수에 큰 영향을 주는 레이돔(radome)에 대한 효과도 고려하였다.

복사 소자 제작에 사용한 PCB는 가격이 저렴한 FR4 재질의 제품이며, 두께는 0.8mm이다. 또한, 전기적인 성능에는 영향을 주지 않도록 플라스틱 재질의 기구물을 사용하여 복사 소자를 지지하였다.



(a)



(b)

그림 6. VSWR 측정 결과

- (a) 다운 톨팅 시의 VSWR (0°, 6°, 12°)
- (b) 스티어링 시의 VSWR (-15°, 0°, +15°)

Fig. 6. Measured result of VSWR.

- (a) VSWR result at down tilting. (0, 6, 12)
- (b) VSWR result at steering. (-15, 0, +15)

그림 4은 단일 소자의 수평면 복사 패턴을 측정한 결과이다. 수평 빔폭이 약 103° 이상이며, 이득은 약 6 dBi이다.

III. 안테나 제작 및 측정

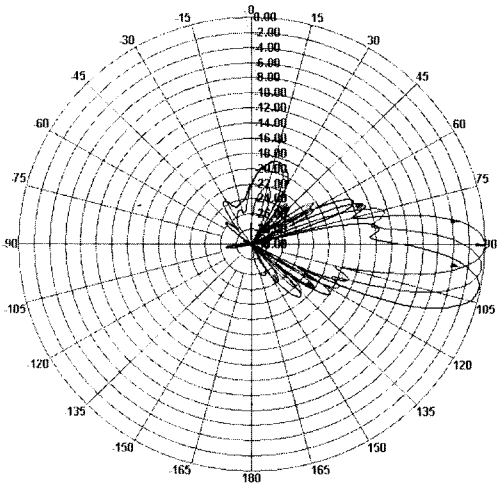
1. 안테나 제작

제작된 안테나의 사진을 그림 5에서 나타내었다. 복사 소자가 2x5 배열로 구성되었으며, 안테나 하단부에는 위상 천이기 3개와 이를 구동하기 위한 2개의 모터가 내장하였다. 2개의 위상 천위기와 한 개의 모터는 수직 2열의 다운 톨팅을 담당하고, 나머지 하나의 위상 천위기와 모터는 수평 스티어링을 수행한다. 또한 모터 제어를 위한 전용의 제어기를 제작하여 다운 톨팅 각 및 수평 스티어링 각을 제어하였다.

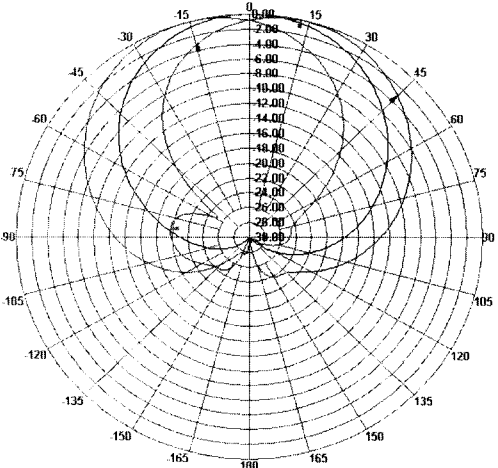
5 way 분배기와 90도 하이브리드 회로, 위상 보정 선로 등의 급전 회로부는 마이크로스트립 선로로 구현하였다. 이에 사용된 PCB는 Teflon 계열의 제품이며, 유전율은 3.2 이다.

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

안테나의 레이돔 재질은 강도가 높고, 가혹한 환경에



(a)



(b)

그림 7. 안테나 패턴 측정 결과

(a) 수직 패턴, (b) 수평 패턴

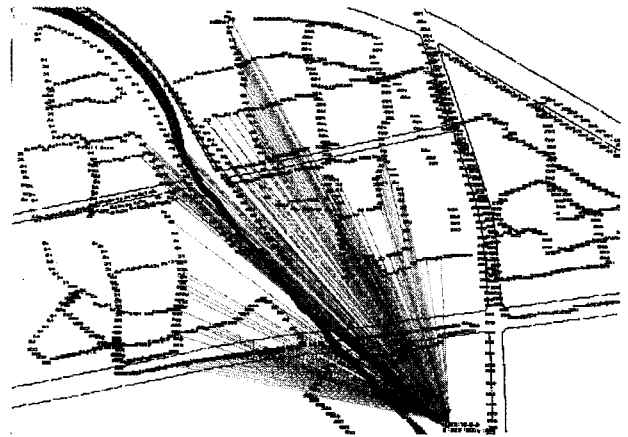
Fig. 7. Measured result of radiation pattern.

(a) Vertical pattern, (b) Horizontal pattern.

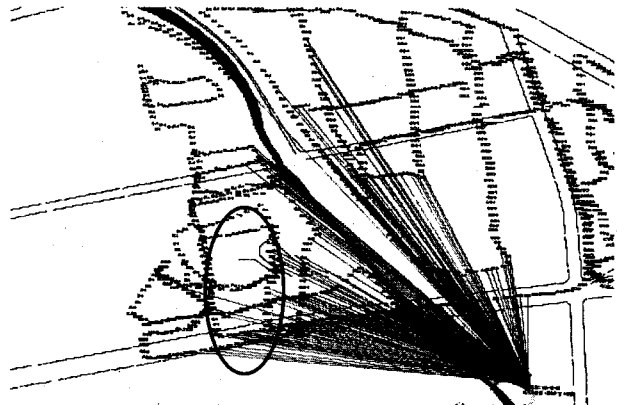
서도 잘 견디는 열경화성 수지인 FRP(Fiber Reinforced Plastic)를 사용하였다. FRP는 일반적으로 기지국 안테나의 레이돔으로 많이 사용되는 열가소성 수지인 Poly styrene 계열의 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene Monomer)보다 유전율이 높으므로 복사소자 설계 시에 레이돔 효과를 충분히 고려해야 한다.

2. 측정 결과

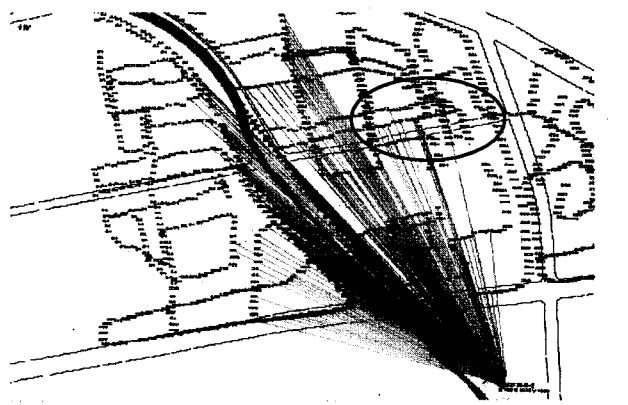
그림 6(a)는 안테나의 수직 빔을 각각 0°, 6°, 12°로 다운 틸팅 하였을 때의 VSWR 특성을 측정한 결과이며, 그림 6(b)는 안테나의 수평 빔을 각각 -15°, 0°, 15°로 스티어링 하였을 때의 VSWR 특성을 출력한 결과이다. 이 결과에서 보여지듯이, 제작된 안테나는 VSWR의 최대값이 1.44 : 1 이며, 안테나 빔 방향의 가변 범



(a)



(b)



(c)

그림 8. 스티어링 각도에 따른 DM 측정 결과

(a) 0° 일 때, (b) -15° 일 때, (c) +15° 일 때

Fig. 8. Measured result of DM test with steering angle.

(a) at 0°. (b) at -15°. (c) at +15°.

위 내에서 안정적인 VSWR 성능이 나타난다.

그림 7은 안테나의 복사 패턴을 측정한 결과이다. 측정 주파수는 대역 내의 중심 주파수인 859MHz이며, 10m×5m×5m 크기의 전자파 무반사실에서 측정하였다.

그림 7(a)는 빔 틸팅 각을 조정하여 측정한 수직 복사 패턴을 겹쳐서 보인 결과이며, 12° 이상의 수직 다운

틸팅 범위를 만족함을 알 수 있다. 그리고, 다운 틸팅 시에도 상측 사이드로브가 크게 증가하지 않았는데, 이는 복수의 방사 소자를 하나의 위상 천위기에 연결하는 Sub-array 기법을 도입하지 않고, 복사소자에 위상 천이기를 개별적으로 연결하여 안테나를 구성하였기 때문이다. 그림 7(b)는 수평 스티어링 각을 조정하여 측정된 수평 복사 패턴을 겹쳐서 보인 결과이다. $+15^{\circ} \sim -15^{\circ}$ 의 조정 범위 내에서 수평 빔폭은 $62 \sim 64^{\circ}$ 이며, 또한, 14dBi 이상의 안테나 이득이 확인되었다.

그림 6(b)와 그림 7(b)의 결과에서 보여지듯이, 스티어링 각도에 따라서 안테나의 VSWR 특성과 수평 패턴의 변화가 크지 않음을 알 수 있으며, 이는 수평 스티어링을 위한 2분배 회로로 90도 하이브리드 회로가 효과적임을 보여준다.

3. field test

field test는 도심 내에 위치한 기지국에서 실시하였으며, 3개의 섹터 중 α 섹터에만 피측정 안테나를 설치하였다. 안테나 설치 후에 안테나의 수평 빔 제어 동작 확인을 위하여 스티어링 각도를 각각 0° 와 $+15^{\circ}$, -15° 로 설정하고, DM (diagnostic monitor) 측정을 수행하였다. 그림 8은 측정된 결과이며, 표시선의 끝점은 수신된 여러 개의 PN 코드 중에서 α 섹터의 PN 코드 전력이 가장 큰 수신 지점들을 나타낸다. 이 결과에서 나타나듯이, 스티어링 기능을 통하여 섹터 내에서 원하는 방향으로 빔이 조향됨을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

위상 배열 안테나 기술을 기지국 안테나에 적용하여 이차원적으로 빔 방향의 제어가 가능한 안테나를 개발하였고, field test를 통하여 안테나의 성능을 검증하였다. 근래에 부각되고 있는 전기적 다운 틸팅 기능과 수평 스티어링을 활용하면 복잡한 전파 환경에서 주파수 자원의 효율적 사용과 함께 가입자 용량 증대의 효과를 가질 수 있다. 이는 스마트 안테나의 주요 기능인 adaptive sectorization을 일정 정도 구현할 수 있다는 장점에서 기인한다. 그러나 빔을 수평으로 일정 각도 이상 조향할 경우, 섹터 경계에서 음영 지역이 발생할 수 있다. 이 문제는 3열 이상의 복사소자 배열로 수평 빔폭의 제어가 가능해지면 극복할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] K. Fujimoto and J. R. James, *Mobile Antenna Handbook*, Artech House, Inc., Norwood, MA, 1994.
- [2] C. Y. Lee, *Mobile Communication Design Fundamentals*, John Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed., 1993.
- [3] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, Inc., 1981.
- [4] R. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, Artech House, Inc., Norwood, MA, 1994.
- [5] S. K. Koul and B. Bhat, *Microwave and Millimeter Wave Phase Shifters*, Artech House, Inc., Norwood, MA, 1991.
- [6] G. Kumar, K .P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House, Inc., Norwood, MA, 2003.
- [7] F. S. Fong, H. F. Poes, M. J. Withers, "Wide band Multilayer Coaxial-Fed Microstrip Antenna Element," *Electronics Letters*, vol.21,1985, pp.497-499
- [8] D. M. Pozar, "Input Impedance and Mutual Coupling of Rectangular Microstrip Antennas," *IEEE Trans.*, vol. AP-30, pp.1191-1196, Nov.1982.

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 회
 로 설계>



문 영 찬(정회원)
 1990년 서강대 전자공학과
 (공학사)
 1992년 서강대 전자공학과
 (공학석사)
 1996년 8월 서강대 전자공학과
 (공학박사)

1996년 11월~2000년 9월 한국전자통신연구원
 무선방송연구소 선임연구원.
 2000년 10월~현재 KMW(주) 중앙연구소
 수석연구원
 <주관심분야: 마이크로파 및 밀리미터파 소자, 이
 동통신 안테나, 위상배열 안테나>



윤 종 섭(정회원)
 1995년 건국대학교 전자공학과
 (공학사)
 2000년 건국대학교 전자·정보통
 신공학과(공학석사)
 2001년~현재 KMW(주)
 중앙연구소 선임연구원

<주관심분야: 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회
 로 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 회
 로설계, 마이크로파 소자 등>

