

논문 2005-42TC-1-14

# 성형 빔 패턴을 갖는 전기적인 다운 틸팅 안테나의 설계에 관한 연구

(A Study on Design of the Electrical Down Tilting Antenna with Shaped Beam Pattern)

이 창 은\*, 허 정\*\*

(ChangEun Lee and Jung Hur)

## 요 약

기지국 안테나의 수직 패턴 형태는 자기 셀뿐만 아니라 인접 셀의 통신 품질에도 크게 영향을 미치므로, 셀의 설계에 있어서 매우 중요한 고려 사항이다. 현재 기지국 안테나에 적용되는 수직 패턴의 형태는 크게 5가지로 분류될 수 있다. 안테나의 설계에 있어서, 5가지의 수직 패턴은 단독으로 적용되기도 하고, 또는 복합적으로도 적용될 수 있다. 본 논문에서는 상측의 부엽이 억압되고, 하측의 널이 널 필링된 수직 패턴을 갖으며, 또한, 수직면 상에서 연속적인 전기적 다운 틸팅이 가능한 이중 편파의 기지국용 안테나를 설계 및 제작하였다. 성형 빔 합성은 R. S. Elliott이 제안한 패턴 합성법들을 순차적으로 사용하여 구현하였으며, 또한 전기적인 다운 틸팅 기능을 위해 위상 배열 안테나 기술이 적용되었다. 측정된 결과, 0°~14°의 연속적인 다운 틸팅 범위와 13.3dBi 이상의 이득, 그리고 최대 -23dB의 상측 부엽 성능이 나타났다. 또한, 다운 틸팅 시에도 상측 부엽의 변화가 크지 않음을 확인할 수 있었으며, 패턴의 널 필링 특성도 전반적으로 양호하다.

## Abstract

The shape of vertical pattern of base station antenna affects greatly quality of the communication of not only a service zone but also adjacent cells and then it is an important point to be considered in designing cell coverage. Currently type of vertical patterns to be applied to base station antenna are divided into five classes. In designing antenna, these five classes are applied solely or compositely according to the environment to be used antenna. In this paper, the dual polarized antenna for base station that is with a continuous electrical down tilting and with a shaped beam pattern, that an upper side lobe is suppressed and a lower null is filled, is designed and fabricated. For synthesizing of the shape beam, the pattern synthesis methods proposed by R. S. Elliott is used sequentially and for the electrical down tilting, the phased array theory is applied. Measured results show the down tilting range from 0° to 14°, the gain of Min. 13.3dBi and the upper side lobe of Max. -23dB. And we verified that upper side lobe is not to vary greatly and null filling performance is favorable overall.

**Keywords**: base station antenna, electrical tilting, shaped beam, stacked patch, phase shifter

## I. 서 론

현재 이동 통신 시스템에 사용되는 기지국용 안테나는 수직 패턴의 형태에 따라 크게 5가지로 분류될 수

있다. 첫 번째는 높은 이득과 좁은 수직 빔 폭 (beam width)을 갖는 안테나이며, 이는 개활지와 같이 넓은 커버리지 (coverage)가 요구될 때에 사용된다. 이 패턴은 거의 균일한 전력 분배비로 설계되며, 높은 부엽 (side lobe) 크기를 갖는다. 두 번째는 상측의 부엽을 억압한 복사 패턴을 갖는 경우이다. 자기 셀 (cell) 내로 복사되는 하측 부엽과는 달리, 상측 부엽으로부터 복사되는 전력은 인접 셀에 간섭을 야기하며, 이로 인해 주파수 재사용 거리 (frequency reuse distance) 등에도 악영향

\* 정회원, (주)케이엠더블유 (KMW Inc.),

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

접수일자: 2004년10월25일, 수정완료일: 2004년12월14일

을 끼친다. 따라서, 이러한 불필요한 간섭을 줄이기 위하여, 상측 부엽이 억압된 패턴이 요구된다. 그러나, 모든 상측 부엽의 억압은 주엽(main lobe)의 빔 폭을 크게 변화시킬 수 있으므로, 제한적인 각도의 상측 부엽만을 억압하는 것이 일반적이다<sup>[1]</sup>.

세 번째는 하측의 널(null)이 널 필링(null filling)된 수직 패턴을 갖는 안테나이며, 이는 복사 패턴의 널로 인한 통신 품질의 열화를 방지하고자 하는 목적을 갖는다. 복사 패턴의 널 지역에 있는 가입자는 낮은 수신 전력을 받게 되며, 또한 전력 제어 과정에 의해서 다른 가입자에 비해 보다 큰 전력을 송신하게 된다. 이는 기지국의 용량 감소를 야기하게 되며, 또한 인접 기지국에 대한 간섭 신호로 작용한다<sup>[2]</sup>. 네 번째는 코시컨트 제곱 패턴(cosecant square pattern)을 갖는 경우이며, 이는 커버리지 내의 모든 단말기의 수신 신호가 기지국과의 거리와는 무관하게 일정하도록 설계된 복사 패턴이다. 이 경우에 전력 분배비의 테이퍼(taper)가 심하므로, 안테나의 이득 감소가 심하다는 단점이 있다<sup>[1]</sup>.

다섯 번째는 전기적인 다운 틸팅 안테나(electrical down tilting antenna)이다. 일반적으로 기지국 안테나를 다운 틸팅(down tilting)하면, 안테나의 복사 전력이 커버리지 영역 내로 제한되고, 또한 인접 기지국에서 발생하는 신호의 간섭이 감소되며, 이로 인해 시스템 용량이 증대되는 효과가 나타난다. 또한, 전기적인 다운 틸팅의 경우에는, 모든 방위각에 대해서 복사 빔의 틸팅 각이 동일하게 유지되며, 따라서 수평 패턴의 형태 및 빔 폭이 틸팅 각과는 관계없이 일정하게 유지된다. 이러한 장점은 핸드 오프(hand off) 영역의 조정을 용이하게 한다<sup>[3]</sup>. 기지국 안테나의 설계에 있어서, 위의 5가지의 수직 패턴이 단독으로 적용되기도 하며, 또는 안테나가 사용되는 곳의 전파 환경에 따라서 복합적으로도 적용될 수 있다.

상측 부엽이 억압된 패턴이나 널 필링 패턴 그리고, 코시컨트 제곱의 패턴은 모두 성형 빔(shaped beam)의 영역에 속하므로, 일반적으로 안테나의 패턴 합성법에 의해 설계된다.

본 논문에서는 성형 빔 패턴을 갖는 전기적인 다운 틸팅 안테나를 설계 및 제작하였다. 이는 상측 부엽이 억압되고, 하측 널이 널 필링된 복합적인 수직 패턴을 가지며, 또한, 수직면 상에서 최대 빔 방향의 가변이 가능한 기지국용의 안테나이다. 그리고, 설계하고자 하는 안테나는 편파 다이버시티 (polarization diversity) 시스템에 적용될 수 있도록  $\pm 45^\circ$ 의 이중 편파의 성능을 갖

는다. 성형 빔 설계는 엘리엇 (R. S. Elliott)의 패턴 합성법들을 순차적으로 적용하여 수행하였으며, 매쓰매티카(mathematica)로 작성한 프로그램을 이용하여 안테나의 급전 계수를 구하였다. 또한, 전기적인 다운 틸팅 기능은 위상 배열 안테나 기술과 상용의 위상 천이기를 이용하여 구현하였다.

## II. 안테나 설계 및 제작

### 1. 설계 목표

상측의 첫 번째 부엽이  $-24\text{dB}$  이하로 억압되고, 또한 주엽에서 가장 근접된 하측 널이  $-20\text{dB}$  이상으로 널 필링된 수직 패턴을 갖는 기지국용 안테나를 설계하고자 한다. 또한,  $0^\circ \sim 14^\circ$ 의 가변 틸팅 범위와 1.5 : 1 이하의 VSWR 성능을 목표로 하였다.

표 1에서 구체적인 설계 목표 규격을 보였다.

### 2. 수직 패턴 설계

설계하고자 하는 수직 패턴은 성형 빔(shaped beam)의 영역에 속하며, 구체적으로 성형 빔이란 부엽의 포락선 형태가 조절된 패턴이나 널 필링 패턴, 그리고 코시컨트(cosecant) 패턴과 같은 특정한 형태의 안테나 복사 패턴을 의미한다<sup>[4]</sup>.

성형 빔의 합성에는 엘리엇(R. S. Elliott)의 합성법<sup>[5,6]</sup>과 전력 패턴 합성법(power pattern synthesis method)<sup>[7]</sup>등이 이용될 수 있으며, 또한 우드워드-라우슨 표본화법도 가능하다<sup>[8]</sup>.

표 1. 설계 규격  
Table 1. Specification.

항목	규격	
주파수	824 ~ 894[MHz]	
이득	14dBi 이상	
빔폭	수직면	$15^\circ \pm 3^\circ$
	수평면	$65^\circ \pm 5^\circ$
VSWR	1.5 : 1 이하	
다운 틸트 범위	$0^\circ \sim 14^\circ$	
SLL	상측	$-24\text{dB}$ 이하
	하측	$-16\text{dB}$ 이하
편파	Dual, slant $\pm 45^\circ$	
편파 분리도	$-15\text{dB}$ 이하	
널 필링	$-20\text{dB}$ 이상	

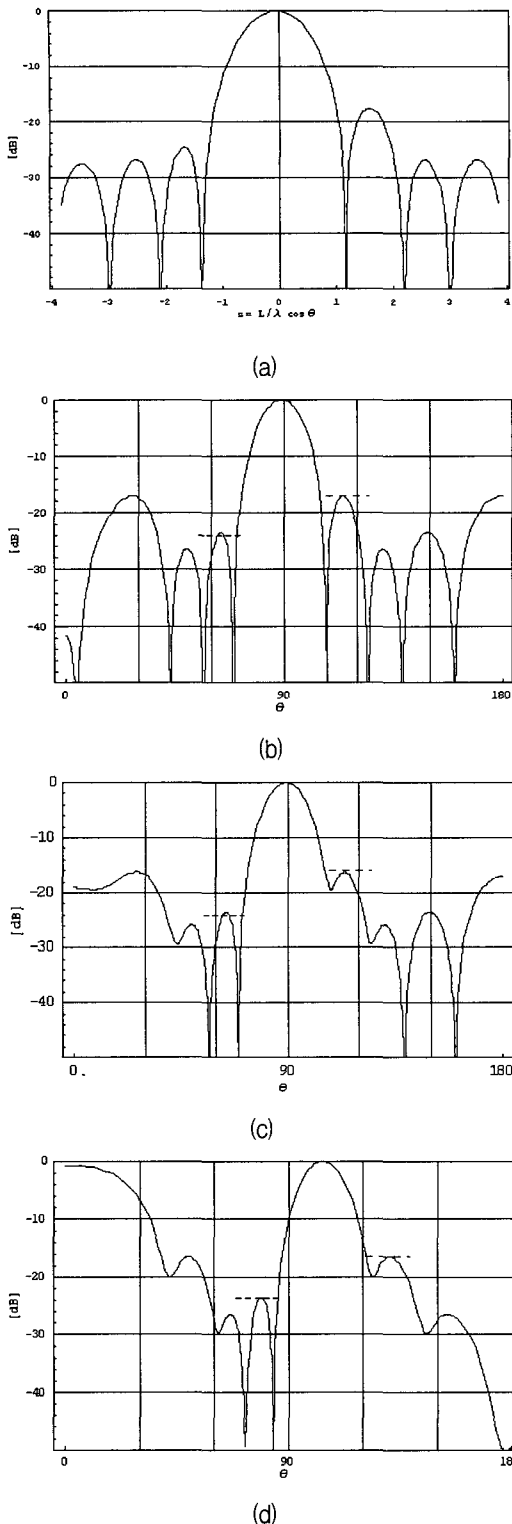


그림 1. 설계된 수직 패턴 (a) 선전원 합성 패턴 (b) (a)를 근 정합법에 의해 변환한 배열 안테나 패턴 (c) 널 필링된 패턴 (d) (c)를 14° 다운 틸팅한 패턴

Fig. 1. Designed vertical patterns. (a) Synthesized pattern of line source. (b) Array pattern transformed from (a) using root matching method. (c) Null filling pattern (d) Down tilting pattern of (c).

본 논문에서는 엘리엇(R. S. Elliott)이 제안한 임의의 부엽 포락선을 갖는 패턴 합성법과 근 정합법(root matching)<sup>[9]</sup>, 그리고, 널 필링 기법을 순차적으로 사용하여 원하는 수직 패턴을 합성하였다.

임의의 부엽 포락선을 갖는 패턴 합성법은 테일러의 선 전원 합성법(Taylor line source method)을 근간으로 한 설계 기법이다. 이는 패턴의 각 널의 위치를 조정하면 개별적으로 부엽들의 크기를 제어할 수 있다는 개념에서 출발하였으며, 교란 과정(perturbation procedure)과 반복적인 계산을 통하여 목표 패턴을 구할 수 있다.

테일러 선 전원 합성법이나 위에서 언급한 임의의 부엽 포락선을 갖는 복사 패턴 합성법은 연속적인 선전원을 생성한다. 따라서 설계된 합성 패턴과 전류 분포를 이산적인 배열 안테나에 적용하기 위해서는 특정한 전환 과정이 요구되며, 이를 근 정합법을 사용하여 수행하였다.

근 정합법은 연속적인 선전원으로부터 형성된 복사 패턴의 근이 이산적인 배열 안테나의 복사 패턴의 근과 같게 되도록 배열 소자의 전류 성분의 값을 설정하는 방법이다. 이 방법은 소형 배열 안테나의 설계에 적용하기 적당한 기법이다.

엘리엇의 널 필링 기법은 셸크노프(S. A. Schelkuoff)의 배열 안테나 개념을 기본으로 하였으며, 또한 셸크노프의 단위 원 상에 존재하던 어레이 팩터(array factor)의 복소근을 방사상으로 이동시킴으로 널 필링이 가능하다는 점을 이용한 기법이다. 그리고, 설계자가 선택할 수 있는 다양한 해를 제공하므로, 실제 제작 시에 발생할 수 있는 문제(예를 들면, 급전 구조의 구성에 대한 제한 등)를 피할 수 있다는 장점이 있다.

수직 패턴 설계에 있어서 복사 소자의 수는 5개, 그리고 소자 간격은 0.77λ로 선정하였으며, 이는 그레이팅 로브(grating lobe), 상호 결합, 수직 빔폭 규격, 위상 천이기의 성능 및 구조 등을 고려하여 결정하였다.

그림 1은 계산된 수직 패턴을 보인 것이며, 설계 과정의 순서대로 나열하였다. 설계에 필요한 수학적 연산은 매크매티카로 작성한 프로그램을 사용하여 수행하였다. 그리고, 최종적으로 결정된 배열 소자들 간의 전력 분배비는 2 : 6.1 : 6 : 4 : 1이며, 또한 비선형 위상량은 4° : -9° : -8° : -2° : 0° 이다.

수직 면 상에서 복사 빔의 다운 틸팅을 구현하기 위해서는 위상 배열 기술이 적용되어야 하며, 이에 요구되는 선형 위상량은 별도의 위상 천이기에서 공급된다.

목표 규격에서 제시한 0°~14°의 다운 틸팅 범위를 구현하기 위해서는, 67.3° 이상의 소자간 위상차가 요구되어 진다.

### 3. 안테나의 구성 및 feeding network 설계

그림 2는 설계하고자 하는 안테나의 전체적인 구조를 보인다. 두 개의 단자로 입력된 각 편파의 신호는 전력 분배기에서 소자의 수만큼 분기되며, 또한 이 회로에서 수직 패턴 합성을 위한 분배비가 구현된다.

전력 분배기에서 분기된 신호는 위상 보정 케이블을 통과하여 위상 천이기로 입력되며, 위상 보정 케이블은 전력 분배기의 위상 오차 보정과 빔 성형에 요구되는 비선형 위상량의 구현을 위해 사용되었다. 그리고, 위상 천이기는 전기적 다운 틸팅의 구현에 필요한 선형 위상량을 제공하는 역할을 한다.

그림 3에서 설계된 전력분배기의 PCB layout을 보였으며, 또한 이에 각 선로의 특성 임피던스를 표시하였다. 설계된 전력 분배비는 앞서 언급한 2 : 6.1 : 6 : 4 : 1이며, 반사 손실의 설계목표는 -20dB 이하이다. 그림 4는 제작된 전력 분배기의 측정 결과이며, 이는 Agilent사의 8753ES를 이용하여 측정하였다. 이 결과에서 알

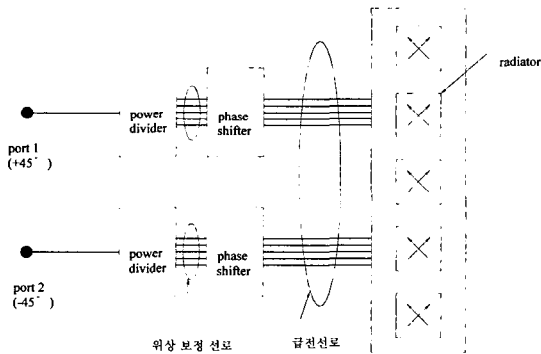


그림 2. 안테나 구성도  
Fig. 2. Block diagram of the designed antenna.

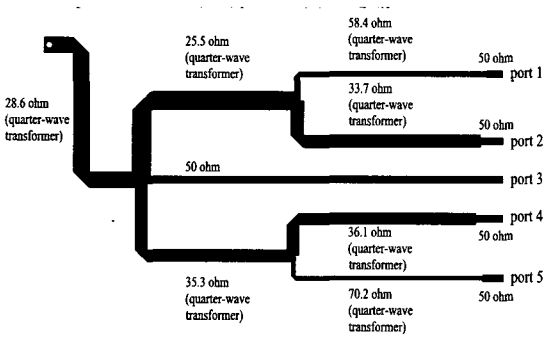


그림 3. 5-way 전력 분배기의 PCB layout  
Fig. 3. PCB layout of 5-way divider.

수 있듯이, 전력 분배가 거의 정확히 구현되었으며, 또한 대역 내에서 S21의 리플 특성도 매우 양호하다. 그리고, -25dB 이하의 반사 손실 특성을 보인다.

가변 위상량을 구현하기 위한 위상 천이기로는 KMW사의 제품을 사용하였으며, 이 제품은 variable dielectric strip-line phase shifter의 기본 구조를 갖는다<sup>[3]</sup>. 이 구조의 위상 천이기는 연속적인 위상 변화가 가능하며, 또한 적당한 금속 선로 폭과 두께를 갖는 경우에는 높은 전력의 구동이 가능하다는 장점이 있다. 또한, 이 제품은 서로 다른 물리적인 길이를 갖는 복수개의 위상 천이 선로가 하나의 원형의 하우징(housing) 안에 집적되었으며, 이들을 하나의 회전축을 이용하여 동시에 구동하여 할 수 있다는 특징이 있다. 그리고, 각각의 위상 천이 선로들의 위상 변화량이 서로 간에 등비(等比)의 관계를 갖게끔 설계되었으며, 따라서, 선형 위상 배열 안테나의 실제 제작에 적합한 제품이다.

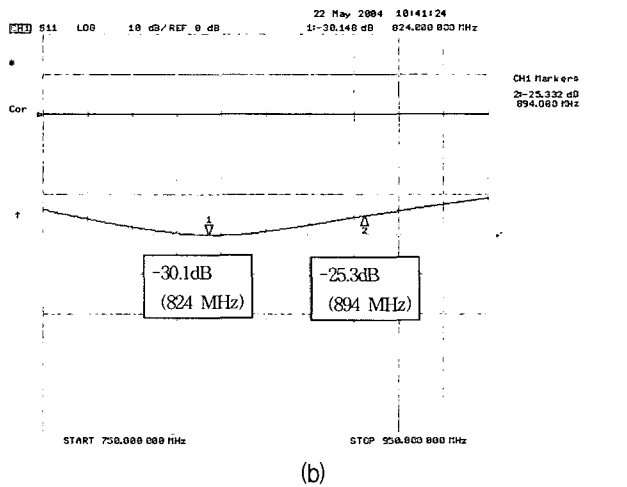
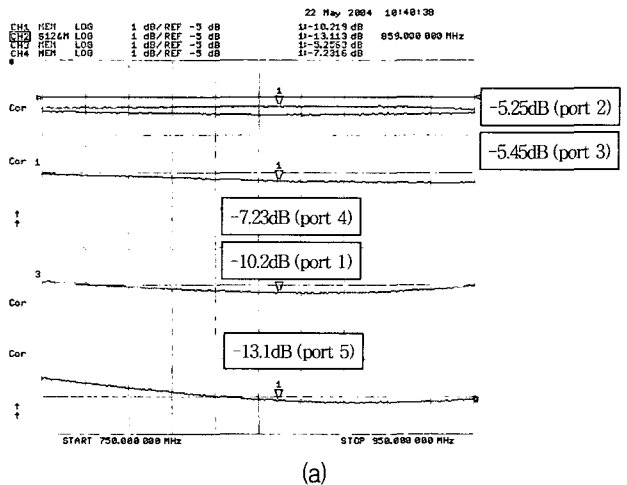


그림 4. 5-way 전력 분배기의 측정 결과 (a) 전력 분배비(b) 반사 손실  
Fig. 4. Measured results of 5-way divider. (a) Power dividing ratio. (b) Reflection loss.

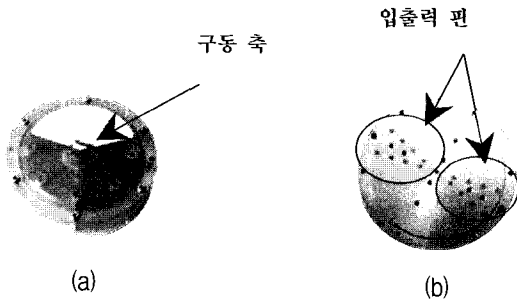


그림 5. 위상 천이기 사진 (a) 전면 (b) 후면  
Fig. 5. Photograph of phase shifter. (a) Front view (b) Rear view.

그림 5는 위상 천이기의 전면 및 후면 사진을 보이고 있다. 이 사진은 위상 천이기가 복수 개의 입출력 단자와 하나의 구동 축이 있음을 보인다. 그리고, 후면 사진에서 보여지듯이 입출력 단자가 핀(pin)의 구조로 되어 있으며, 따라서 별도의 PCB가 요구되어 진다.

4. 복사 소자

그림 6은 복사 소자<sup>[3]</sup>의 구조를 보인 것이다. 복사 소자의 기본 형태는 적층형 패치 안테나 (stacked patch antenna)이며, 광대역 특성과 튜닝의 용이성을 위하여 Suspended 구조를 채택하였다<sup>[10]</sup>. 그리고, 이중 편파의 복사가 가능해야 하므로 정방형의 구조를 선택하였으며, 급전 위치가 패치의 대각선 상에 존재한다. 만일 급전 위치가 패치의 중심선 상에 놓이게 되면, 목표로 하는  $\pm 45^\circ$  기울어진 편파의 구현을 위해서 복사 소자를  $45^\circ$  회전시켜야 한다. 이는 소자 간의 수직 거리가 가까워 지는 효과가 발생하므로, 배열 안테나의 설계 시에 불리하다. 그리고, 급전 방식은 프로브 급전(probe feeding)이며, 프로브에 의해 발생하는 직렬 인덕턴스(inductance)를 보상하기 위하여 D. A. Paschen이 제안한 보상 구조를 변형하여 사용하였다.

마이크로 스트립패치 안테나의 단점 중의 하나가 기본 모드(dominant mode)와 고차 모드(higher mode)가 동시에 발생된다는 점이며, 이런 고차 모드는 안테나의 편파 특성을 열화시킨다. 특히, 대역폭이 6%이상 되는 패치 안테나에 있어서는 고차 모드의 영향은 무시할 수 없으며, 따라서 이에 대한 주의 깊은 고려 없이 대역폭을 넓혔을 경우에는 심각한 편파 특성의 문제가 발생될 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해서 balanced-feed 기법을 적용하여 설계하였다.

그림 7은 단일 소자의 수평 복사 패턴을 측정한 결과이다. 수평 빔폭은  $63^\circ \sim 66^\circ$ 이며, 또한, 이득은 대역 내

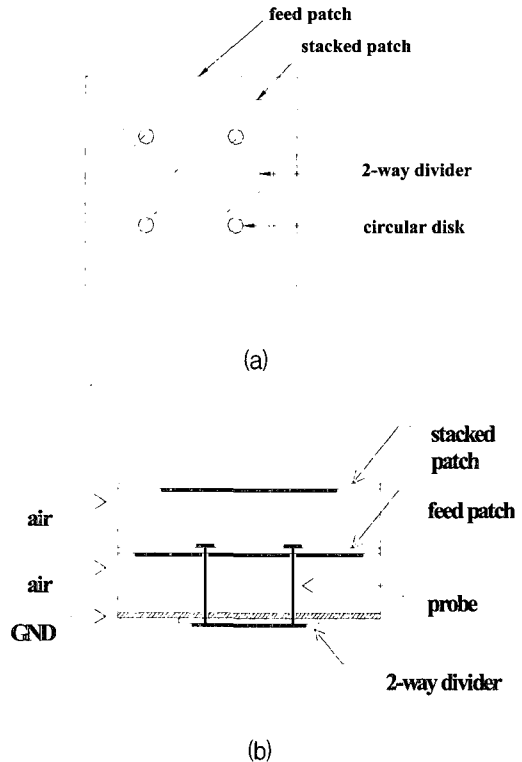


그림 6. 복사 소자의 구조 (a) 투시도 (b) 단면도  
Fig. 6. Structure of radiator. (a) Transparent view. (b) Cross sectional view.

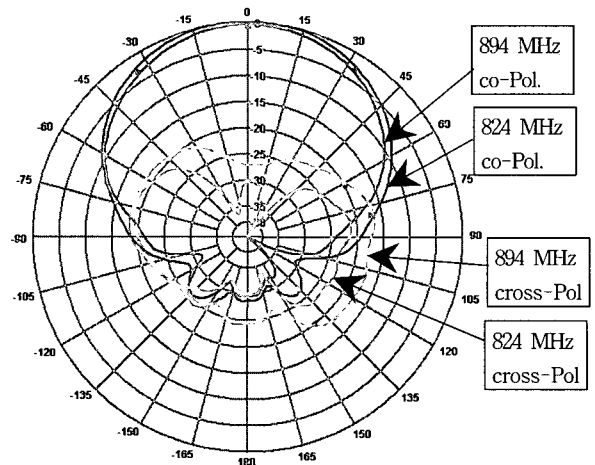
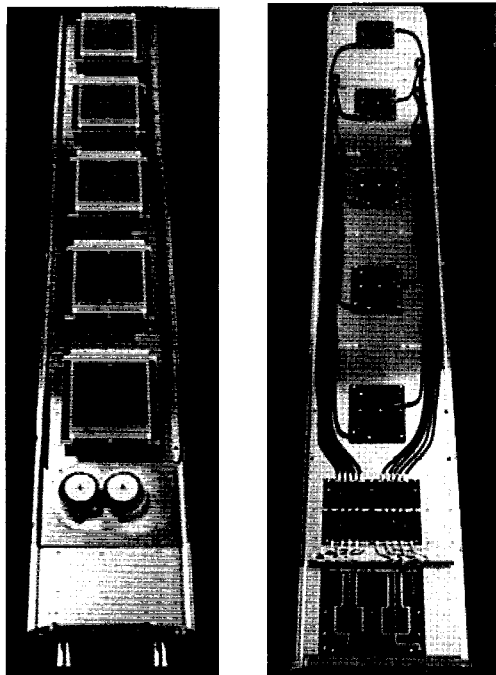


그림 7. 단일 소자의 수평 패턴 측정 결과  
Fig. 7. Measured results of radiation pattern of single radiator.

에서 8.1~9dB이다. 또한, CPR은 -25dB 이하로 매우 좋은 결과를 보였으며, 이는 balanced feed 기법을 사용한 효과라고 사료된다. 그리고, 약 -23dB의 전후방비 성능을 보인다.

5. 제작된 안테나 사진

그림 8은 제작된 안테나 사진을 보이고 있다. 그림



(a) (b)

그림 8. 제작된 안테나 사진 (a) 전면 (b) 후면

Fig. 8. Photograph of fabricated antenna. (a) Front view (b) Rear view.

8(a)는 안테나 전면의 사진이며, 5단의 복사 소자가 배열되어 있음을 알 수 있다. 또한 하단부에 2개의 위상 천이기가 장착되어 있다. 그림 8(b)는 안테나 후면의 사진이며, 하단부에 전력 분배기 PCB와 위상 천이기를 PCB가 위치한다. 그리고, 복사 소자까지의 급전을 위한 급전 선로로는 저 손실의 RF 동축 케이블을 사용하였으며, 또한 위상 보정 케이블도 RF 동축 케이블을 사용하였다.

### III. 측정 결과

그림 9는 안테나의 다운 틸트 각이 0°일 때의 반사 손실 측정 결과이며, 양쪽 단자 모두가 최대 -17dB 이하의 반사 손실 특성을 보인다. 그림 10은 안테나의 다운 틸트 각이 14°일 때의 측정 결과이다. 대역 내에서의 반사 손실은 최대 -20dB이다. 또한, 단자간 분리도는 모든 다운 틸트각 범위 내에서 최대 -32dB의 결과를 보였다.

복사 패턴 측정은 12×12×24 m의 전파 무반사실에서 수행하였으며, 측정 주파수는 824MHz 및 894 MHz 이다. 그림 11은 제작된 안테나의 수평 복사 패턴을 측정한 결과이며, 동일 편파 패턴과 교차 편파 패턴을 겹쳐

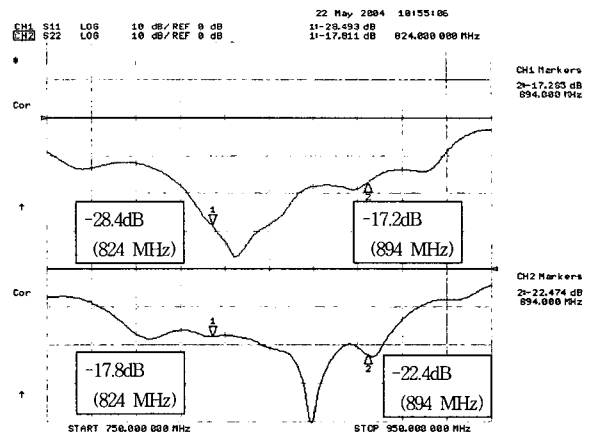


그림 9. 틸팅 각이 0°일 때의 S11, S22 측정 결과  
Fig. 9. Measured results of S11, S22 at tilting angle of 0°.

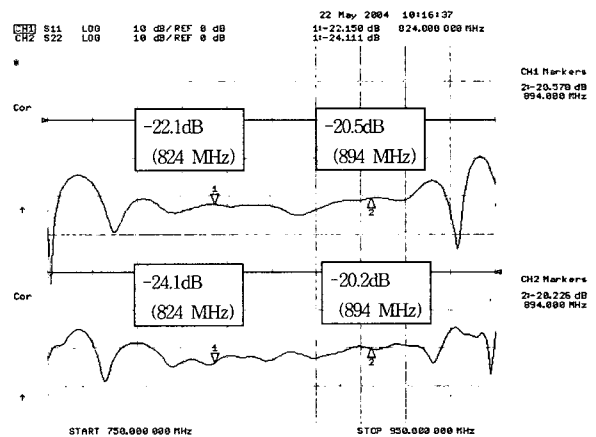


그림 10. 틸팅 각이 14°일 때의 S11, S22 측정 결과  
Fig. 10. Measured results of S11, S22 at tilting angle of 14°.

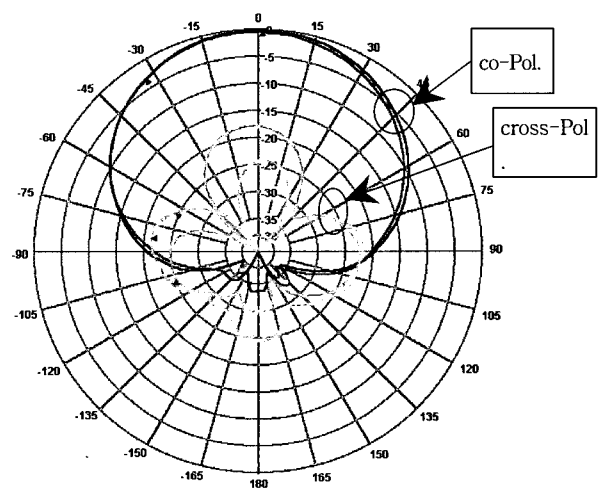


그림 11. 제작된 안테나의 수평 패턴 측정 결과  
Fig. 11. Measured results of horizontal pattern of fabricated antenna.

서 나타내었다. 이 측정 결과에서 보여지듯이, 65°~67°의 안정적인 수평 빔폭과 13.3dBi 이상의 이득 성능이

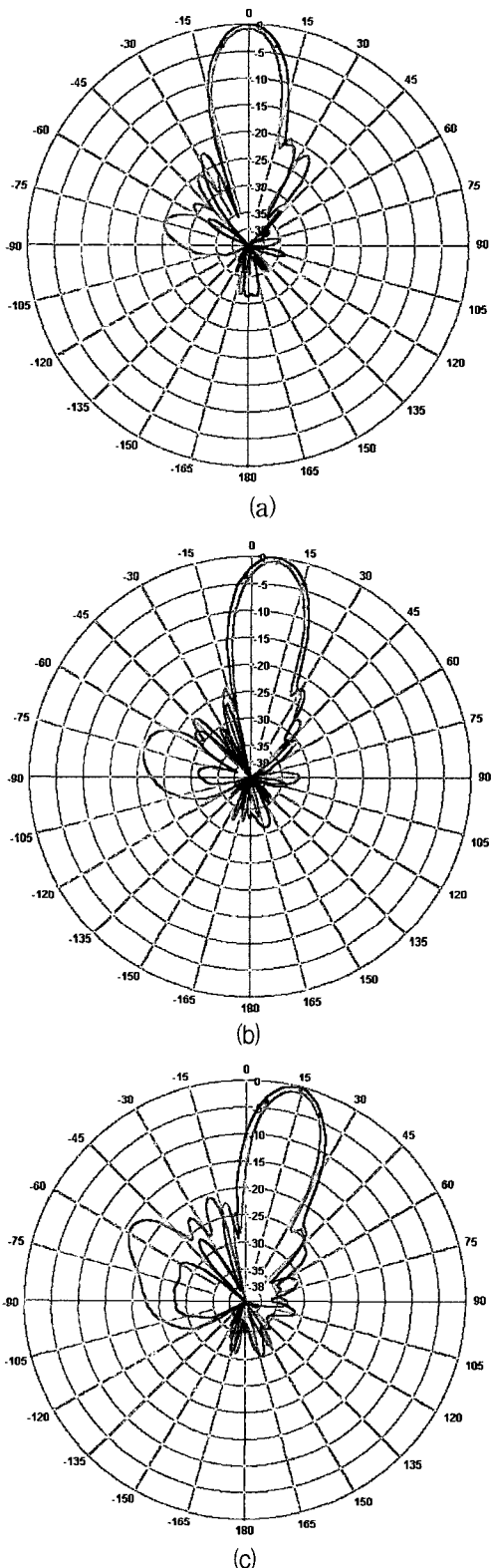


그림 12. 제작된 안테나의 수직 패턴 측정 결과  
 (a) down tilt angle : 0° (b) down tilt angle : 7° (c) down tilt angle : 14°  
 Fig. 12. Measured results of vertical pattern of fabricated antenna. (a) down tilt angle : 0°. (b) down tilt angle : 7°. (c) down tilt angle : 14°.

확인되었다. 또한, -18dB 이하의 CPR 특성을 보이며, 전후방비 성능은 -30dB 이하이다.

그림 12는 각각 다운 틸팅각이 0°, 7°, 14°일 때의 수직 복사 패턴이다. 측정된 수직 빔폭은 14.0°~16.4°이며, 0°~14°까지의 연속적인 다운 틸팅이 가능함을 알 수 있다. 그리고, 최대 -23dB의 상측 부엽 특성이 나타났으며, 또한 하측 패턴의 널 필링도 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 첫 번째의 상측 부엽이 억압되고 또한, 하측 패턴에서 주엽에 가장 가까운 널을 널 필링한 수직 패턴을 갖는 기지국용의 전기적인 다운 틸팅 안테나를 설계 및 제작하였다.

측정한 결과, 0°~14°의 연속적인 다운 틸팅 범위와 65°~67°의 수평 빔폭, 그리고 13.3dBi 이상의 이득 성능을 확인할 수 있었다. 또한, 상측 부엽은 최대 -23dB의 결과를 보이며, 또한, 다운 틸팅 시에도 상측 부엽의 변화가 크지 않음을 확인할 수 있다. 그리고, 제작된 안테나의 하측 패턴의 널 필링 특성은 전반적으로 양호하다고 판단되지만, 다운 틸트 각에 따라 널 필링 값이 변동하는 문제도 발생되었다. 이는 널 필링 설계가 위상 오차에 민감하기 때문이라고 판단되며, 향후에는 이런 문제가 고려된 패턴 합성 과정에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

본 논문에서 제안한 안테나는 보다 진보된 형태의 수직 패턴과 기능을 가지고 있으므로, 이를 복잡한 전파 환경을 갖는 도심지의 기지국 안테나로 사용하였을 때, 인접 기지국에 의한 간섭과 불필요한 핸드 오프 영역이 감소하는 효과를 얻을 수 있다. 따라서, 이로 인한 시스템의 용량 증대와 통신 품질의 향상 등을 기대할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] K. Fujimoto and J. R. James, Mobile Antenna Handbook, Artech House, Inc., Norwood, MA, 1994.
- [2] 박주완, 이정흠, 김형동, 홍성철, “정형 빔 안테나에 의한 CDMA 통신 시스템 성능 향상,” Telecommunications Review, 제 7권, 제 5호, 1997년 9-10월.
- [3] 이창은, 윤종섭, 문영찬, 허정, “전기적 다운 틸팅 기능을 갖는 이중 편파 기지국 안테나 개발,” 대한

전자공학회 논문지, 제41권 TC편, 제7호, 81-88쪽,  
2004년 7월.

- [4] R. J. Mailloux, Phased Array Antenna Handbook, Artech House, Inc., Norwood, MA, 1994.
- [5] R. S. Elliott, "Design of Line-Source Antennas for Sum Patterns With Sidelobes of Individually Arbitrary Heights," IEEE Trans., Vol. AP-24, pp. 76-83, 1976.
- [6] R. S. Elliott and G. J. Stern, "A New Technology for Shaped Beam Synthesis of Equispaced Arrays," IEEE Trans., Vol. AP-32, pp. 1129-1133, 1984.
- [7] H. J. Orchard, R. S. Elliott, and G.J. Stern, "Optimizing the Synthesis of Shaped Antenna Patterns," IEEE Proc. (London), Pt. H, No. 1, pp. 63-68, 1984.
- [8] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antenna Theory and Design, John Wiley & Sons, Inc., 1981.
- [9] R. S. Elliott, "On Discretizing Continuous Aperture Distributions," IEEE Trans., Vol. AP-25, pp.617-621, Sept. 1977.
- [10] J. R. James and P. S. Hall, Handbook of Microstrip Antennas, Peter Peregrinus Ltd., pp.320-330, 1989.

---

#### 저 자 소 개



이 창 은(정회원)  
1993년 건국대학교 전자공학과  
(공학사).  
1995년 건국대학교 전자공학과  
(공학석사).  
2004년 건국대학교 전자공학과  
(공학 박사)

1998년 2월~현재 KMW(주) 중앙연구소  
책임연구원.

<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>