

스트립 급전 평면 모노폴 배열을 이용한 직사각형 방사패턴 기지국용 안테나

Base Station Antenna with Rectangular Radiation Pattern using Strip Feeding Planar Monopole Array

신헌철* · 문상만** · 우종명**

Hun-Cheol Shin* · Sang-Man Moon** · Jong-Myung Woo**

요 약

본 논문에서는 시가지 마이크로 셀에 적합한 직사각형 방사 패턴을 갖는 이동통신 기지국용 배열 안테나의 설계 방법을 제안하였으며, 직사각형 방사패턴을 만들기 위해서 수정된 Woodward-Lawson 법을 사용하여 여진 전류를 계산하여 설계하였다. 안테나의 패턴을 확인하기 위하여 주파수 2 GHz 대역에서 12 배열로 스트립선로를 사용하여 전력분배 및 급전하였고, 안테나는 평면형 모노폴을 배열하여 전력 분배기와 안테나를 일체화시킨 형태로 설계 및 제작하여 제특성을 측정하였다. 패턴 측정 결과 단변과 장변이 5 dB 차이 나는 원하는 직사각형 빔 패턴을 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, an array antenna is designed for base station of a street micro-cell in urban areas. It has a rectangular radiation pattern. The current distribution of the array is decided by using a modified Woodward-Lawson sampling pattern synthesis method. To confirm the realization of the array antenna with rectangular pattern, 12 array antenna with a planar type monopole fed by stripline is fabricated and measured. In the results of the measured values, H-plane pattern of the antenna nearly yields a rectangular radiation pattern.

I. 서 론

이동 통신을 사용하는 가입자가 늘어나면서 그에 따른 안테나 수요는 점점 증가하였다. 주로 복잡한 도심에서 생활하는 가입자가 사용자의 대부분이고 더 많은 기지국의 설치를 요구하게 되고 이에 따라 시가지의 도로 셀에 적합한 다양한 안테나들이 사용되고 있다.

여기에 사용되는 안테나의 방사패턴은 그림 1(a)와 같이 수평면내 무지향성 또는 그림 1(b)와 같이 타원형인 것과 도로의 긴 방향으로 최대 지향성을 갖는 8자 지향성을 들 수 있다. 그러나 무지향성 또는 타원 패턴의 경우, 도로의 긴 방향으로 원하는 전계 강도를 만족하면 도로의 측면 방향에 여분의 전력을 방사하게 되고, 8자 지향성 특성은 도로의 측면 방향에 null을 발생하게 된다. 또한 null을 제거

「본 연구는 주성대학의 연구비 지원에 의해 수행되었음」

* 주성대학 전파통신과(Dept. of Radio Communication, Juseong College)

** 충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science and Eng., Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20010726-100

· 수정완료일자 : 2001년 9월 8일

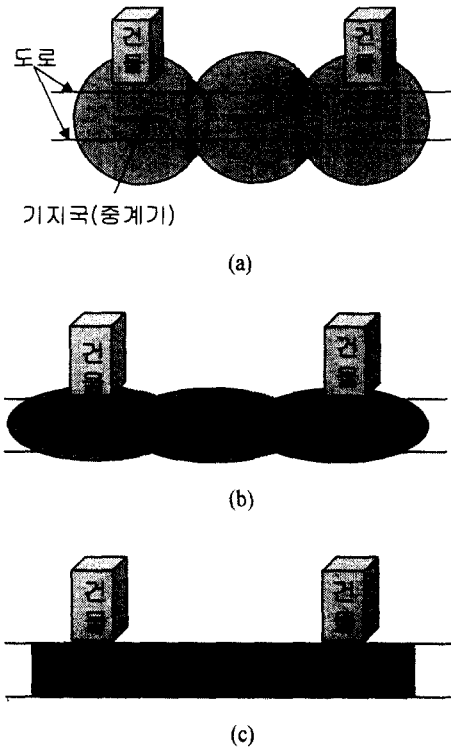


그림 1. 기지국 방사패턴
 (a) 원형 패턴, (b) 타원형 패턴,
 (c) 직사각형 패턴
 Fig. 1. Radiation pattern of base station.
 (a) circle pattern, (b) ellipse pattern,
 (c) rectangular pattern.

하기 위해서는 셀 영역이 겹치는 문제가 발생하게 된다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 도로 환경을 고려하여 셀의 최대 거리를 정하고 그림 1(c)와 같이 기지국 패턴을 직사각형 패턴으로 하면 도로 양측의 보도 상의 보행자가 갖고 있는 단말기에 대하여 거리 ρ 에 의존하지 않으며 전계 강도를 일정하게 유지할 수 있다. 위와 같은 방사 패턴을 얻기 위하여 안테나의 방사량이 ρ 에 비례하게 하면 직사각형 방사 패턴을 갖는다. 그러므로 안테나는 도로의 측면 방향에 null과 여분의 전력을 방사하지 않고 같은 전력으로 셀의 면적을 넓힐 수 있다.

일반적으로 안테나의 방사 패턴을 합성하는 방법은 세 범주로 분류할 수 있는데 방사 패턴이 원하는 방향에서 null을 갖도록 하는 방법이 Schelkunoff 방법이고, 방사 패턴이 전체 가시영역에서 원하는 분포를 나타내도록 하는 빔 합성법이 Fourier transform 또는 Woodward-Lawson 방법이다. 또한 날카로운 빔이나 낮은 사이드로브를 가지는 방사 패턴을 얻는 기술이 binomial method 또는 Dolph-Tchebyscheff, Taylor line-source가 있다^[1].

본 논문에서는 직사각형 빔 패턴을 갖는 배열 안테나 소자의 여진전류를 결정하는 방법으로 Woodward-Lawson 방법^{[1],[2]}을 수정하여 사용하였다. 이 방법에서 얻어진 전류 분포를 얻기 위하여 스트립 선로로 구성된 전력 분배기를 설계하였다. 급전선로는 전력 분배기의 크기를 줄이기 위하여 전력 분배 및 임피던스 정합이 동시에 이루어지는 구조로 하였으며, 방사소자는 평면형 모노폴을 채택하여 안테나와 전력 분배기를 일체화 시켰다. 또한 직사각형 빔 패턴을 얻을 수 있는가를 확인하기 위하여 12 배열 안테나를 설계 및 제작하여 측정하였다.

II. 본 론

2-1 직사각형 빔 패턴을 위한 전류분포

직사각형 패턴을 얻을 수 있는 배열 소자의 전류 분포를 결정하기 위한 지향성 합성법에 있어서 타원식을 적절히 조합하면 직사각형 패턴에 가까운 모양을 얻을 수 있고 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\rho_m = \frac{xy}{\sqrt{x^2 + (y^2 - x^2)w_1^2}} + \frac{xy}{\sqrt{x^2 + (y^2 - x^2)w_2^2}} \quad (1)$$

여기서 $w_1 = \cos(\phi_m + \phi)$, $w_2 = \cos(\phi_m - \phi)$ 이고, x 와 y 는 각각 긴 변과 짧은 변의 반지름이다. 그림 2는 $x=0.15$, $y=0.65$, $\phi=39.6^\circ$ 일 때이다.

이 패턴 값을 직사각형 패턴을 얻을 수 있는 원하는 패턴으로 하여, 직사각형 패턴에 근접하는 ρ_m 의 샘플링 점의 각에 대한 값을 전류 분포식 (4)에 대입하여 전류 분포 값을 얻는다.

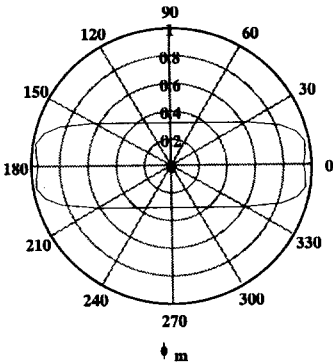


그림 2. 타원패턴 합성에 의한 구형 패턴
Fig. 2. Rectangular pattern by ellipse composition.

샘플링 각은 다음과 같다.

$$\phi_m = \cos^{-1}\left(\frac{m\lambda}{L}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{m\lambda}{Nd}\right) \quad (2)$$

여기서, d 는 소자간격, N 은 소자수, L 은 배열의 길이로 배열 양끝에 $d/2$ 를 더한 값이고 다음 조건을 만족해야 한다^[3].

$$|\cos \phi_m| \leq 1.0, \quad Nd = L, \quad |m| \leq M \quad (3)$$

여기서 M 은 $M \leq \frac{L}{\lambda}$ 에 가장 가까운 정수이다. N 개의 소자를 x 축에 배열한 경우 전류 분포식은 다음과 같다.

$$i_n = \frac{1}{N} \sum_{m=-M}^M \rho_m \cos\left(\frac{2\pi x_n}{\lambda} \cos \phi_m\right) \quad (4)$$

여기서 x_n 은 배열 소자의 위치로 배열 소자수가 홀수일 경우($N=2n+1$)

$$x_n = nd, \quad |n| \leq \frac{N}{2} \quad (5)$$

이고, Array Factor는

$$f(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}} i_n \cos\left[\frac{2\pi nd}{\lambda} \sin \theta \cos \phi\right] \quad (6)$$

이다. 또한 배열 소자수가 짝수일 경우($N=2n$) x_n 은

$$x_n = \frac{2n-1}{2} d, \quad 1 \leq n \leq \frac{N}{2} \quad (7a)$$

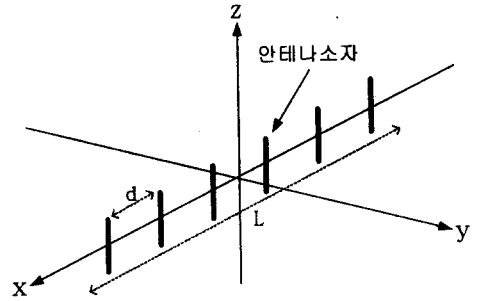


그림 3. 안테나 소자의 배열
Fig. 3. Array of antenna element.

$$x_n = \frac{1-2n}{2} d, \quad -\frac{N}{2} \leq n \leq -1 \quad (7b)$$

이고, Array Factor는

$$f(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} i_n \cos\left[\frac{\pi d(2n-1)}{\lambda} \sin \theta \cos \phi\right] \quad (8)$$

로 n 은 소자번호이고, 안테나 소자의 방사패턴과 조합하므로 배열 안테나 패턴이 얻어진다.

그림 3은 안테나 소자의 배열 구조이다. 도로의 긴 방향을 x 축, 이와 직교하는 방향을 y 축으로 하고 배열을 x 축 방향으로 간격 d 로 배열한다.

2-2 전력 분배기

마이크로스트립 선로를 이용한 전력 분배기에 의한 전류진폭제어를 위하여 Wilkinson 전력 분배기를 사용하면 각 포트의 특성 임피던스와 정합을 위하여 $\lambda/4$ 임피던스 변환기를 사용해야 하므로 전력 분배기의 길이가 길어지는 문제가 있다. 이를 최소화하기 위하여 전력 분배비를 $1:K_2$ 로 했을 때, 그림 4의 전력 분배기 선로의 특성 임피던스를

$$Z_1 = Z_0 \sqrt{1+K^2} \quad (9a)$$

$$Z_2 = Z_0 \sqrt{\frac{1+K^2}{K^2}} \quad (9b)$$

로 하면 $1:K^2$ 의 전력 분배비를 가지면서 임피던스 변환기의 역할도 하여 $\lambda/4$ 의 길이를 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

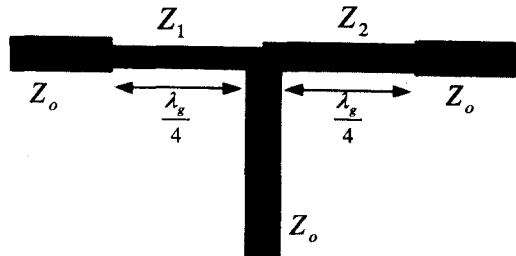


그림 4. 최소 길이를 갖는 비균등 전력 분배기
Fig. 4. Unequal power divider with reduced length.

III. 설계 및 측정 결과

본 연구에서는 12개의 모노폴 안테나 소자를 배열하여 12 GHz에서 직사각형 빔 패턴을 얻는 실험을 하였다. 12개의 배열소자는 직사각형 빔을 만드는 데 적절한 소자의 갯수로 소자수를 늘리면 보다 직사각형에 가까운 빔 패턴을 얻을 수 있으나 안테나의 크기와 전력 분배기가 복잡해지고 소자수를 줄이면 안테나의 크기가 적어지고 분배기도 간단해지나 방사 빔 패턴이 직사각형과 차이가 커져 시뮬레이션 결과 12개의 소자가 적절한 것으로 판단하였다.

12소자 배열의 경우 소자간격을 $d=0.5\lambda$ 로 하면 샘플링 점은 13개이고, 간격이 $d < 0.5\lambda$ 이면 13보다 작아진다. 그러나 배열 안테나의 크기를 작게 하기 위하여 간격이 너무 작으면 샘플링 수가 너무 적어져 원하는 패턴과 차이가 커 원하는 패턴에 근접하는 패턴을 얻기 어려우며, 또한 샘플링 수를 많게 하기 위하여 소자 간격을 크게 하면 안테나의 크기가 커진다. 본 논문에서는 도로의 길이 방향으로 100 m, 도로 측방향으로 33 m로 하였을 때 이에 적절한 직사각형 빔 패턴을 얻기 위하여 12소자, $y/x=0.33$, $d=0.43\lambda$ 로 하고 식 (3)을 이용하면 샘플링 수는 11이 된다. 이 샘플링 점을 식 (1)에 대입하여 각 점의 ρ_m 의 값을 구하고 식 (4)에 대입하여 전류 분포를 구한다. 표 1은 샘플링 각과 각에 대한 ρ_m 의 값을 나타내고 표 2는 각 소자의 전류 분포를 나타내었다. 이러한 전류 분포를 얻기 위하여 스트

표 1. 샘플 점에서의 각과 계수

Table 1. Angle and coefficient at sample point

m	θ m	ρ m	m	θ m	ρ m
0	90	0.307			
+1	78.83	0.31	-1	101.17	0.31
+2	67.19	0.33	-2	112.81	0.33
+3	54.45	0.38	-3	125.55	0.38
+4	39.18	0.49	-4	140.82	0.49
+5	14.3	0.95	-5	165.70	0.95

표 2. 배열 소자의 위치와 전류 분포

Table 2. Element location and current distribution

소자번호 n	소자위치 zn	급전전류 in
± 1	$\pm 0.215\lambda$	0.2305
± 2	$\pm 0.645\lambda$	-0.1627
± 3	$\pm 1.075\lambda$	0.1295
± 4	$\pm 1.505\lambda$	-0.0948
± 5	$\pm 1.935\lambda$	0.0592
± 6	$\pm 2.365\lambda$	-0.0199

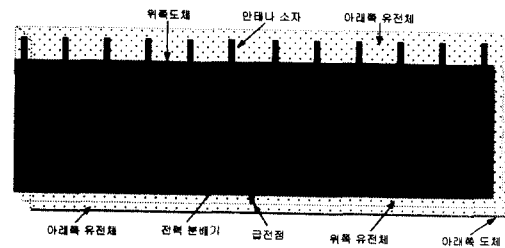


그림 5. 제작된 12소자 배열 안테나 구조

Fig. 5. Structure of 12 array antenna.

립 급전선로를 이용하여 전력 분배기를 구성하였다. 제작은 유전율 3.05, 두께 1.6 mm의 IPC-TM-650 기판을 이용하여 전체 크기가 80 mm × 15 mm인 그림 5와 같은 구조의 안테나를 제작하였다.

그림 5는 프린트 기판 상에 평면형 모노폴 안테나^[4] 12소자를 배열하고 스트립선로를 전력분배기로 사용한 배열 안테나 구조를 나타내었다. 그림 6은 12소자를 배열한 안테나를 시뮬레이션한 것이다.

그림 7은 안테나의 측정된 반사손실로 2.12 GHz에서 -27 dB를 나타낸다. 주파수 2.00 GHz, 2.05 GHz

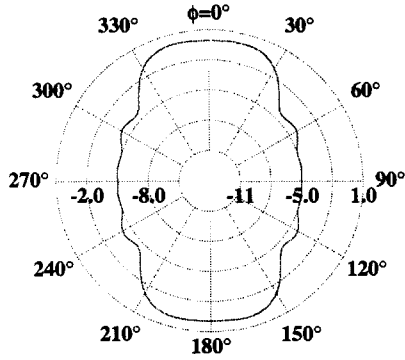


그림 6. 12배열 안테나의 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulated result of 12 array antenna.

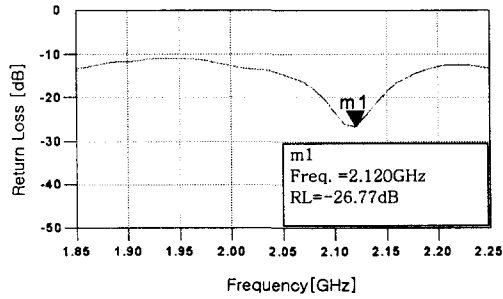


그림 7. 반사손실
Fig. 7. Return loss.

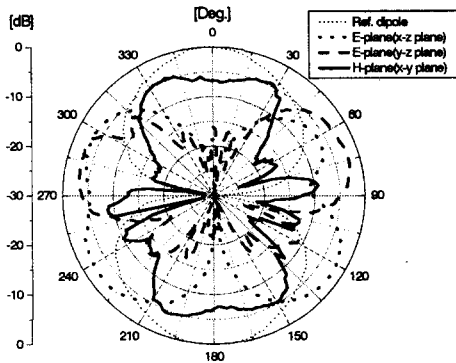


그림 8. 방사패턴(2.00 GHz)
Fig. 8. Radiation pattern(2 GHz).

에서 방사 패턴을 측정된 결과가 그림 8, 9에 나타냈다. 그림 8, 9는 그림 3의 좌표에 대하여 E-plane 및 H-plane 패턴으로, x-z면의 E면 패턴은 단일소자

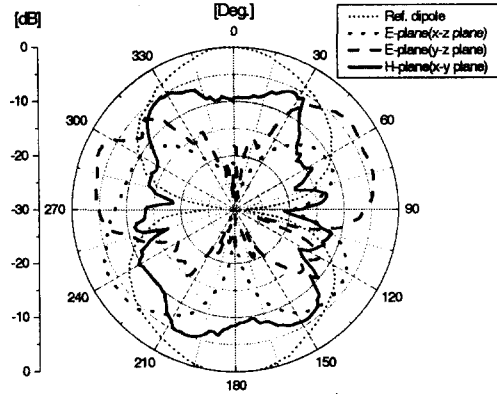


그림 9. 방사패턴(2.05 GHz)
Fig. 9. Radiation pattern(2.05 GHz)

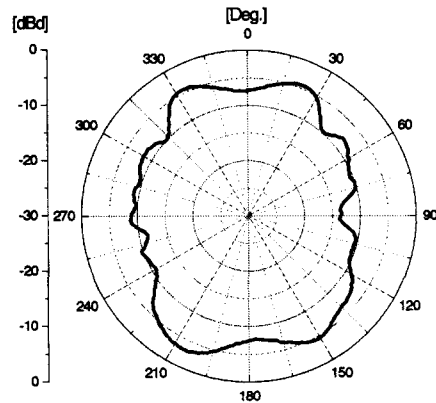


그림 10. 방사패턴(2.10 GHz)
Fig. 10. Radiation pattern(2.10 GHz).

평면형 모노폴 안테나의 특성을 얻을 수 있으나, y-z면의 E면 패턴은 배열소자 영향으로 다소 리플과 null점이 나타났다.

x-y면의 H면 패턴에서는 그림 8의 2.00 GHz에서는 $\phi=90^\circ, 270^\circ$ 방향의 단변 패턴에 큰 리플이 생겼으나 그림 8의 2.05 GHz에서는 장변과 단변의 차가 약 5 dB인 비교적 직사각형에 가까운 패턴을 얻을 수 있었다. 여기서 설계주파수 2.00 GHz에 비해 2.05 GHz 이상에서 목적인 직사각형 패턴이 나타나는 것은 모노폴 소자를 유전체 기판상에 위치시킴으로 인해 유전체로 인한 소자간 간격이 다소 변화가 있

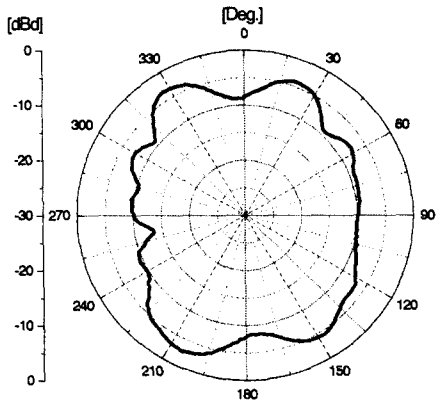


그림 11. 방사패턴(2.15 GHz)
Fig. 11. Radiation pattern(2.15 GHz).

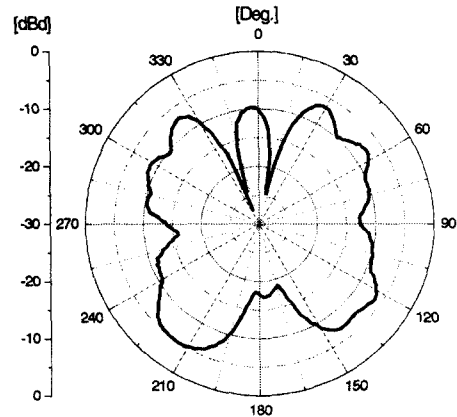


그림 13. 방사패턴(2.25 GHz)
Fig. 13. Radiation pattern(2.25 GHz).

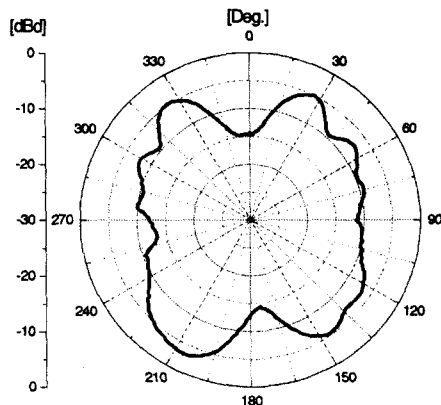


그림 12. 방사패턴(2.20 GHz)
Fig. 12. Radiation pattern(2.20 GHz).

어 나타나는 현상으로 사료되며, 적당한 간격이 이루어지면 설계치대로 패턴 조성이 가능함을 예측할 수 있다.

그림 10, 11은 주파수 2.10, 2.15 GHz에서 방사 패턴을 측정된 결과로 그림 8, 9에 비하여 비교적 직사각형에 가장 가까운 패턴으로 리플이나 null이 거의 없는 비교적 그림 6의 시뮬레이션 결과에 가까운 안정된 패턴이다. 그러나 $\phi=0^\circ, 180^\circ$ 에 비해 $30^\circ, 150^\circ, 210^\circ, 330^\circ$ 부근의 방사레벨이 높은 것은 배열 숫자 증가에 의해 조정될 수 있다. 그림 12, 13은 주파수를 2.20, 2.25 GHz로 높여 측정된 결과로 주파수

2.25 GHz에서는 그림 8의 주파수 2.00 GHz에서와 같이 직사각형 패턴으로 보기 어려운 패턴으로 직사각형 패턴을 갖는 범위는 약 2.05~2.20 GHz으로 150 MHz가 된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 도심지에 적합한 직사각형 빔 패턴을 갖는 안테나의 패턴 합성에 관하여 이론 및 실험 결과를 평면형 모노폴을 12 배열하여 나타내었다.

직사각형 빔 패턴은 안테나 소자에 급전되는 전류 및 위상과 소자 간격을 조절하여 얻었으며, 전력 분배기를 이용하여 전류 및 위상을 조절하였다. 전력 분배기는 전력 분배 및 임피던스 정합을 동시에 만족할 수 있는 구조로 만들어 안테나의 크기를 최소화하였으며, 보통 제한된 접지면을 갖는 모노폴이 최대 지향성이 수평 방향에서 위쪽으로 약 45° 이 동된 나비 날개 모양을 나타내지만 평면형 모노폴은 수평 방향으로 최대 지향성을 나타내므로 수평 방향에서 -3 dB 레벨 저하를 개선할 수 있다.

안테나의 특성 측정 결과 주파수 2.05 GHz~2.20 GHz에서 직사각형의 장변과 단변의 비가 약 5 dB인 직사각형 빔 패턴을 얻을 수 있었다. 이는 직사각형 패턴을 얻을 수 있는 대역폭이 150 MHz가 되는 것으로 IMT-2000의 기지국 안테나로 사용될

수 있음을 나타낸다.

또한 간단한 급전구조인 스트립선로에 직접 연결되는 평면 모노폴 소자를 배열하여 같은 평면상에 인쇄기술로 대량생산이 가능한 직사각형 빔 패턴의 빔 합성 안테나 설계 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] C. A. Balanis *Antenna Theory Analysis and Design*, pp.353-358, 1997, Wiley

[2] Koji Nagasawa, Akihiro Kitahama, Isama Matsuzuka, Nozomu Hasebe, Harsige Urata, Tseyosi Okuda, "Array Antenna with a Rectangular Pattern for PHS Terminal station in Urban Area", *TECHNICAL REPORT OF IEICE*, A.P. 96-36 (1996-07)

[3] W. L. Stutzman, G. A. Thiele *Antenna Theory and Design*, pp.365-377, 1998, Wiley

[4] 문상만, 이종환, 우종명, 신현철, 이기환, "평면형 모노폴 야기-우다 안테나", 10차 유도무기 학술대회 논문집, pp.413-417, Dec. 2000.

신 현 철



1985년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
1989년 6월: 대우전자 기술연구소
1992년 2월~현재: 주성대학 전파

통신과 부교수
[주 관심분야] 초고주파회로 및 안테나

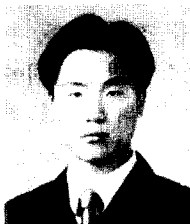
우 종 명



1985년: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
1990년: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년: Univ. of Japan Microwave Master
1996년: Univ. of Japan Microwave Ph.D.

1996년~현재: 충남대학교 전파공학과 조교수
[주 관심분야] 안테나 설계

문 상 만



2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 설계