

기지국 배열안테나의 빔틸트 패턴특성 분석

최정환*, 임계재**

*한국폴리텍 III 대학 전기제어계측과, **관동대학교 정보통신공학부

The Analysis of beam tile pattern properties of the base station array antenna

Jeon-hwan Choe*, Gye-jae Lim**

요약

기지국 섹터 배열안테나의 하향 빔틸트 각도를 조절하기 위해 전압제어 이상기를 사용하였다. 틸트 각도에 따른 각 안테나의 위상각을 도출하였으며 이때 생성되는 패턴의 수직과 수평 방향 성능을 분석 평가하였다.

이러한 분석을 통해 이동통신 기지국안테나의 셀커버리지 확보와 통화율 증대, 간섭 저감을 이룰 수 있어 최적의 기지국안테나 설계에 적용 가능할 것이다.

ABSTRACT

For the purpose of controlling the beam tilt angle of the base station sector array antenna, phase shifter is used. Phase angles of this antenna depending on the tilt angles are designed, and the patterns on the vertical and horizontal planes are simulated and analyzed for the evaluation of base station antenna.

This analysis is used in the optimal design of base station antenna because of maximum cell coverage and incremented traffic capacity, decreased interference.

키워드 : 기지국, 배열안테나, 빔틸트, 빔패턴, 이상기

1. 서론

기지국 안테나 성능의 고도화에 따라 스마트 안테나 기술 및 적응 빔포밍 기술, 빔틸팅 기술[1], 공간 빔 다중화 기술, 간섭제거 기술 등의 배열 소자의 진폭 및 위상제어에 의한 패턴 제어 기술이

일반화되어 가고 있으며, 이에 따라 기지국 안테나 패턴의 성능 분석이 요구된다. [2]

본 논문에서는 전파사용의 효율성을 높이기 위한 방안으로, 이동통신 기지국 마이크로셀 내의 통화자가 최대 통화율과 최소 간섭을 갖도록 하기 위해 기지국 안테나의 빔패턴을 성형하여 최적화된 섹터

* 한국폴리텍 III 대학 전기제어계측과 교수

** 교신저자 관동대학교 정보통신공학부 교수(gilim@kd.ac.kr)

접수일자 : 2010년 9월 18일, 수정일자 : 2010년 10월 30일, 심사완료일자 : 2010년 11월 23일

안테나의 수직과 수평 방향 패턴을 분석하였다.

빔패턴의 최적화는 두가지 관점에서 볼 수 있는데, 첫 번째는 마이크로셀화에 따라 전파측면에서 볼 때 각 셀내의 지형 및 건물 등이 매크로셀에 비해 복잡하고 다양한 됴므로서 수평 방향의 안테나 빔패턴이 더 이상 등방성으로 표준화되어서는 안되며, 기지국 안테나는 각 셀 지역에 적합한 이득과 지향특성을 갖기 위해 빔패턴의 유연성 있는 조절 기능이 요구된다. [3]

두 번째로, 고 이득 배열안테나를 기지국 안테나로 사용하게 되며 수직방향 빔패턴에 null point 가 증가하여, 통화중인 이동국이 null point 근처로 접근할 때 수신전력이 급격하게 떨어지게 되므로 통화가 단절되는 현상이 발생하며, 또한 기지국 주변에 null point 가 생기는 경우 이동전화 교환국(MTSO : Mobile Telephone Switching Office)이 이를 셀간의 경계로 오인하여 불필요한 핸드오프가 이루어질 가능성이 매우 높아지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 수직방향 빔패턴의 null point 를 없애기 위한 빔 패턴의 고지향성화와 빔 하향 조절이 가능하여야 한다.

이를 위해 본 논문에서는 코너 반사판 콜리니어 안테나의 구조에 따른 수평면 및 수직면 빔패턴을 시뮬레이션하고 이상기 및 전력분배기를 설계하여 전기적 빔 하향 조절이 가능한 기지국 섹터 배열안테나를 설계하였다.

이러한 안테나는 현재 사용중인 각종 이동통신 시스템에 있어서 셀커버리지를 최대로 확보할 수 있고, 통화율을 증대시키며 간섭을 저감시켜 MTSO 오류를 극복할 수 있기 때문에 양질의 통화 품질을 제공함으로써 주파수의 재사용 기회를 높일 수 있는 최적 안테나로 사용 가능하다.

II. 본 론

1. 기지국 배열 안테나의 배열이론

수직 다이폴이 4개 코리니어 배열된 1.8GHz 대역의 기지국 배열안테나를 그림 1 에 보였다. 각

배열 소자는 그림 2와 같이 반과장 다이폴 소자가 접지면 상에 약 1/4 과장 높이에 수평으로 위치하는 구조로 되어 있다. [4-8]



그림 1. 코너 반사판 안테나의 구조
Fig. 1. Cinfiguration of the corner reflector antenna.

일반적으로 배열 안테나의 해석 및 합성 이론은 배열되는 각 소자들을 등방성 소자로 가정하여 이론적인 연구가 수행되고 있으나, 실제로 배열 안테나를 실현하는 경우에 등방성 소자를 이용하는 것은 매우 어려운 문제이다.

특히 다이폴 안테나 소자를 이용하여 선형 또는 임의의 평면 배열 안테나를 설계하여 해석하는 것은 등방성 소자를 이용한 경우를 기초로 하나 다이폴 안테나 소자와 같은 비등방성 소자의 원거리 전개 (far-field) 패턴에 대해서는 각 비등방성 소자가 기준 좌표계에 대해서 위치하는 방향을 고려하여야 하기 때문에 등방성 소자를 이용하는 경우보다 복잡한 전개가 필요하다. 즉, 다이폴 안테나의 평면 배열 안테나는 비등방성 소자로서 다이폴 안테나 소자를 평면 배열 안테나 이론에 적용함으로써 원거리 전개 패턴 식을 전개할 수 있다.

그림 2 와 같이 임의의 단일 안테나 소자가 기준 좌표계의 임의의 위치 (r', θ', ϕ)에 위치하고, 또

한 이 안테나 소자가 복사 패턴함수 $f(\theta, \phi)$ 가 구해질 때의 안테나 기준 방향과 동일한 방향으로 배치될 경우 측정점 $P(r, \theta, \phi)$ 에서 구해진 정규화된 원거리 전계 E 는

$$E(\theta, \phi) = F(\theta^A, \phi^A) I \exp[j(kr' \cos \Psi + \alpha)] \quad (1)$$

이다.

여기서 θ^A, ϕ^A 는 점 r', θ', ϕ' 를 원점으로 하는 새로운 A 좌표계 공간에서 바라본 측정점 P의 새로운 좌표값 $P^A(r^A, \theta^A, \phi^A)$ 의 양각과 방위각이다.

$f(\theta^A, \phi^A)$ 는 A 좌표계에 대한 복사 패턴함수의 표현이며, I 는 안테나 소자의 정규화된 급전 전류이다.

특히 이 안테나 소자가 다이폴 안테나로 코리너 형태로 배열된 경우에 $f(\theta, \phi)$ 는 아래 식이 이용된다.

지수항은 이 안테나 소자와 측정점 P^A 사이의 거리 r' 에 따른 위상관계를 나타내며, k 는 파수 (wave number)이며, α 는 급전 위상차이다. 구좌표계 상에서 단일 안테나 소자의 위치 (r', θ', ϕ') 와 원거리 상의 임의의 측정점 $P(r, \theta, \phi)$ 와의 관계를 나타내는 방향여현 (directional cosine) $\cos \Psi$ 는

$$\cos \Psi = \cos \theta \cos \theta' + \sin \theta \sin \theta' \cos(\phi - \phi') \quad (2)$$

으로 표현된다.

특히, 이 안테나 소자가 그림 2와 같이 x-y 평면에 위치하는 경우에는 $\theta' = \pi/2$ 이므로, 방향여현 $\cos \Psi$ 는

$$\cos \Psi = \sin \theta \cos(\phi - \phi') \quad (3)$$

가 되어, 식 (1) 은

$$E(\theta, \phi) = F(\theta^A, \phi^A) I \exp[j(kr' \sin \theta \cos(\phi - \phi') + \alpha)] \quad (4)$$

가 된다.

다음에 그림 3 과 같이 안테나 소자가 $f(\theta, \phi)$ 가 구해질 때의 안테나 기준 방향에서 각도 τ 만큼 회전한 방향으로 배치된다면, 이때 측정점 $P(r, \theta, \phi)$ 에서 구해진 정규화된 원거리 전계 식은

$$E(\theta, \phi) = F(\theta^B, \phi^B) I \exp[j(kr' \cos \Psi + \alpha)] \quad (5)$$

가 된다.

이때 안테나 소자의 위치 (r', θ', ϕ') 는 그림 2의 경우와 같고, 단지 회전 각도 τ 만 변환 것이므로 방향여현 $\cos \Psi$ 는 동일하며, θ^B, ϕ^B 는 그림 3 과 같이 A 좌표계가 τ 만큼 회전한 새로운 B 좌표계 공간에서 바라본 측정점 P의 새로운 좌표값 $P^B(r^B, \theta^B, \phi^B)$ 의 양각과 방위각이다. 그러므로 A 좌표계의 점 $P^A(r^A, \theta^A, \phi^A)$ 와 B 좌표계의 점 $P^B(r^B, \theta^B, \phi^B)$ 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

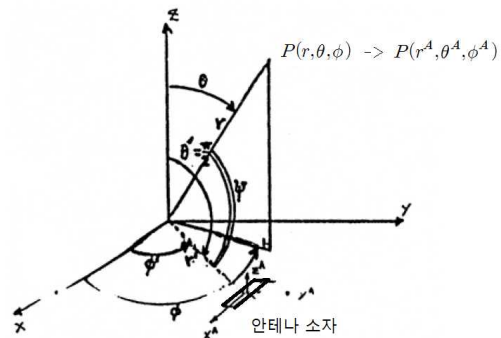


그림 2. 안테나 소자의 좌표계.
Fig. 2. The coordination system of an antenna element.

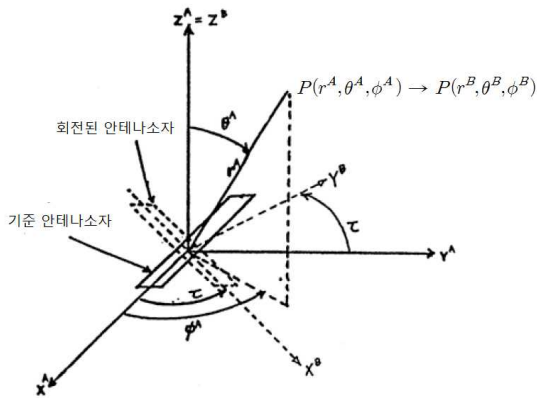


그림 3. 각도 τ 회전된 안테나 소자의 좌표계.
Fig. 3. The coordination system of an antenna element that is rotated by τ angle.

$$\begin{aligned} r^B &= r^A \\ \theta^B &= \theta^A \\ \phi^B &= \phi^A - \tau \end{aligned} \quad (6)$$

이 관계를 식 (5)에 대입하면,

$$E(\theta, \phi) = F(\theta^A, \phi^A - \tau) I \exp[j(kr' \cos \Psi + \alpha)] \quad (7)$$

다음에 기준 좌표공간 상에 N개의 서로 다른 안테나 소자들이 임의의 위치에 임의의 방향으로 배열되어 있는 일반적인 경우를 다루어본다. 이때 모든 안테나 소자의 복사로 인해 측정점 $P(r, \theta, \phi)$ 에서 구해지는 정규화된 원거리 전개식은 각 개별 소자에 대한 정규화된 원거리 전계의 벡터 합으로 나타난다.

$$\begin{aligned} E_T(\theta, \phi) &= \sum_{i=1}^N E_i(\theta, \phi) \\ &= \sum_{i=1}^N f_i(\theta_i^A, \phi_i^A - \tau_i) I_i \exp[j(kr'_i \cos \Psi_i + \alpha_i)] \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 i 번째 소자의 복사 패턴함수

$f_i(\theta_i^A, \phi_i^A - \tau_i)$ 는 각 안테나 소자가 서로 다른 형태인 경우에 사용하며, 일반적인 배열 안테나에서는 동일한 소자들(identical elements)을 사용하므로 $f(\theta_i^A, \phi_i^A - \tau_i)$ 로 쓸 수 있다.

그리고, θ_i^A, ϕ_i^A 는 i 번째 소자에서 측정점 $P(r, \theta, \phi)$ 를 바라본 A 좌표계에서의 양각과 방위각이며, $(r'_i, \theta'_i, \phi'_i)$ 는 기준 좌표계 상에 i 번째 소자가 위치한 점이며, $\cos \Psi_i$ 와 α_i 는 i 번째 소자의 방향여현과 급전 위상이다.

2. 비렉터 다이오드를 이용한 이상기 설계

1.8 GHz 대역의 이동통신에 적용하기 위해 비렉터 다이오드와 3 dB 커플러를 이용한 반사형 이상기를 그림 4 와 같이 설계하였다.

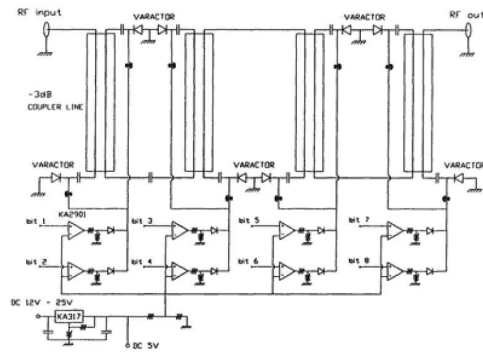


그림 4. 반사형 페이저시프터.
Fig. 4. Reflection type phase shifter.

설계된 이상기의 위상각과 감쇄량을 1.8 GHz에서 측정된 결과를 표 1 에 보였다. 역 바이어스 전압 0 - 20 V 사이에서 사용가능한 위상각의 범위는 192.34. 로 나타났으며, 3-dB 커플러를 사용한 결과도 양호하게 나타났다.

그림 5 에 보인바와 같이 역 바이어스 전압에 따른 위상 변화의 기울기가 매우 양호한 선형성을 유지하기 때문에 인가전압에 따른 위상각의 변동을 용이하게 제어할 수 있을 것이다.

표 1. 위상과 감쇄량의 측정.
Table 1. Measured phase and attenuation.

| 역바이어스 전압 [V] | 이상각 [deg] | | 감쇄량 [dB] |
|--------------|-----------|---------|----------|
| | 측정치 | 기준비교치 | |
| 0 | 106.08 | -192.34 | -3.67 |
| 1 | 111.24 | -187.18 | -3.67 |
| 2 | 115.81 | -182.61 | -3.66 |
| 3 | 120.65 | -177.77 | -3.66 |
| 4 | 125.88 | -172.54 | -3.64 |
| 5 | 133.71 | -164.71 | -3.62 |
| 6 | 143.73 | -154.69 | -3.57 |
| 7 | 156.63 | -141.79 | -3.53 |
| 8 | 171.00 | -127.42 | -3.45 |
| 9 | 185.20 | -113.22 | -3.36 |
| 10 | 200.15 | -98.27 | -3.25 |
| 11 | 211.75 | -86.67 | -3.16 |
| 12 | 221.67 | -76.75 | -3.08 |
| 13 | 227.84 | -70.58 | -3.02 |
| 14 | 232.80 | -65.62 | -2.99 |
| 15 | 236.60 | -61.82 | -2.97 |
| 16 | 241.54 | -56.88 | -2.95 |
| 17 | 250.94 | -47.48 | -2.94 |
| 18 | 263.55 | -34.87 | -2.93 |
| 19 | 279.82 | -18.60 | -2.91 |
| 20 | 298.42 | 0.00 | -2.92 |

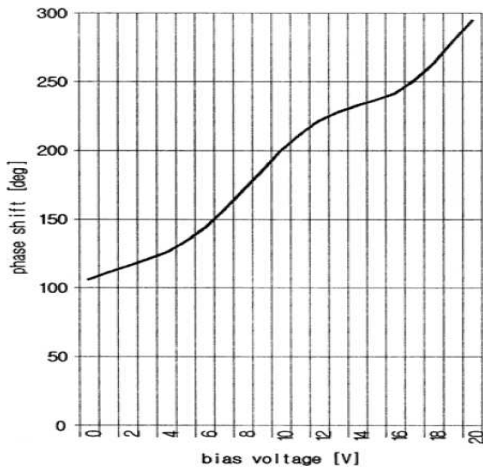


그림 5. 역바이어스 전압에 따른 위상각 곡선.
Fig. 5. Phase curve depending on reverse bias voltage.

3. 수직면 패턴

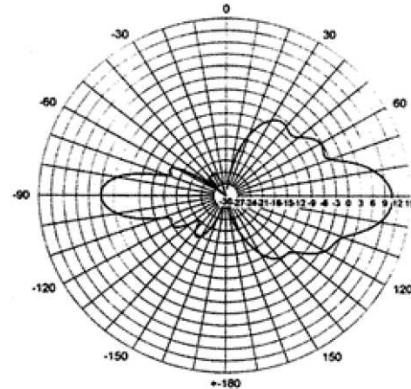
이동통신 기지국용 콜리니어 코너반사판 안테나의 전기적 하향 빔틸트를 조절하기 위해 측엽억제 급전방식으로 시뮬레이션을 수행하였다.

전기적 하향을 위한 각 소자의 위상각을 아래 표 2에 보였으며, 이 위상각은 2절에서 설계한 이상기의 위상조절 범위와 부합하고 있다.

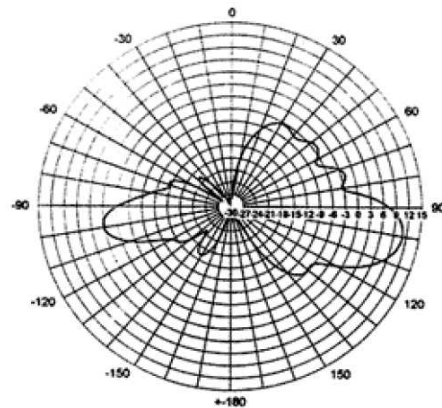
4개 소자를 갖는 배열 콜리니어 안테나소자들 사이의 간격 ele_dis 를 0.75λ 로 두고, 반사판과 소자 사이의 거리 s 를 0.25λ 로 두었으며, 측엽억제 급전방식에 따른 수직 방향의 빔틸트 각도 0, 10, 20, 30도 각각의 경우의 빔 패턴을 그림 6에 보였다.

표 2. 빔틸트 각도에 따른 각 안테나소자들의 위상각.
Table 2. Phase angles of each elements depending on beam tilt angle.

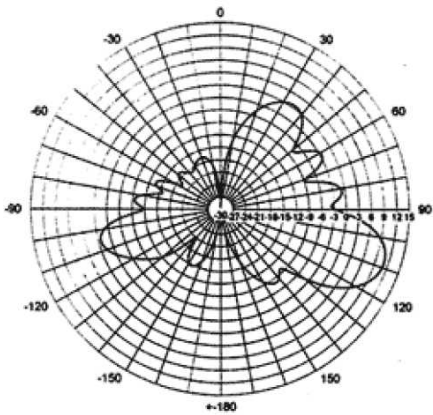
| tilt_angle | ele 1 | ele 2 | ele 3 | ele 4 |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.00 | -18.85 | -14.14 | -9.42 | -4.71 |
| 2.00 | -37.69 | -28.27 | -18.85 | -9.42 |
| 3.00 | -56.52 | -42.39 | -28.26 | -14.13 |
| 4.00 | -75.34 | -56.50 | -37.67 | -18.83 |
| 5.00 | -94.13 | -70.60 | -47.06 | -23.53 |
| 6.00 | -112.89 | -84.67 | -56.45 | -28.22 |
| 7.00 | -131.62 | -98.71 | -65.81 | -32.90 |
| 8.00 | -150.31 | -112.73 | -75.16 | -37.58 |
| 9.00 | -168.95 | -126.71 | -84.47 | -42.24 |
| 10.00 | -187.54 | -140.66 | -93.77 | -46.89 |
| 11.00 | -206.07 | -154.56 | -103.04 | -51.52 |
| 12.00 | -224.54 | -168.41 | -112.27 | -56.14 |
| 13.00 | -242.95 | -182.21 | -121.47 | -60.74 |
| 14.00 | -261.28 | -195.96 | -130.64 | -65.32 |
| 15.00 | -279.52 | -209.64 | -139.76 | -69.88 |
| 16.00 | -297.69 | -223.27 | -148.84 | -74.42 |
| 17.00 | -315.76 | -236.82 | -157.88 | -78.94 |
| 18.00 | -333.74 | -250.30 | -166.87 | -83.43 |
| 19.00 | -351.61 | -263.71 | -175.81 | -87.90 |
| 20.00 | -369.38 | -277.04 | -184.69 | -92.35 |
| 21.00 | -387.04 | -290.28 | -193.52 | -96.76 |
| 22.00 | -404.58 | -303.43 | -202.29 | -101.14 |
| 23.00 | -421.99 | -316.49 | -210.99 | -105.50 |
| 24.00 | -439.28 | -329.46 | -219.64 | -109.82 |
| 25.00 | -456.43 | -342.32 | -228.21 | -114.11 |
| 26.00 | -473.44 | -355.06 | -236.72 | -118.36 |
| 27.00 | -490.31 | -367.73 | -245.15 | -122.58 |
| 28.00 | -507.03 | -380.27 | -253.51 | -126.76 |
| 29.00 | -523.59 | -392.70 | -261.80 | -130.90 |
| 30.00 | -540.00 | -405.00 | -270.00 | -135.00 |



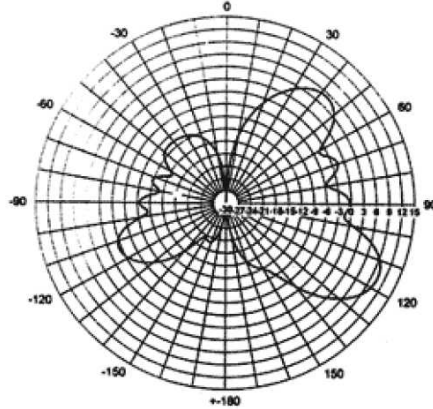
(a) 0 degree



(b) 10 degree



(c) 20 degree



(d) 30 degree

그림 6. 수직면 상의 빔패턴.

Fig. 6. Beam patterns on the vertical plane.

4. 수평면 패턴

전기적 빔 하향에 의해 수평방향에서의 빔레벨은 다른 셀사이트와의 동일채널 간섭과 중요한 관련이 있다. 때문에 측엽억제 급전방식을 통한 빔하향에 의해 수평면에서의 빔레벨을 분석함으로써 동일채널간섭에 의한 시스템의 성능을 분석할 수 있다.

측엽억제 급전방식의 4개 배열 안테나에 대한 빔틸트 각도에서의 수평면 빔레벨을 그림 7에 보였으며, 10°부터 30°전반에 걸쳐 가장 양호한 저감레벨을 보였다.

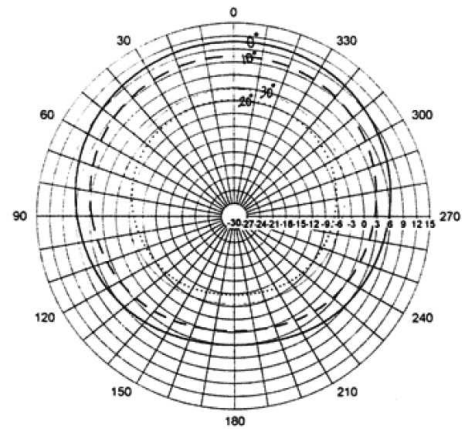


그림 7. 빔틸트 각도에 따른 수평면 상의 빔레벨 변화.
Fig. 7. Beam level variation on the horizontal plane depending on the tilt angle.

5. 패턴 분석

개 소자가 코리너 배열된 기지국 안테나의 경우에, 수직면 빔틸트 패턴을 보면 측엽억제 급전방식을 사용하였기 때문에 전반적으로 측엽레벨이 낮으면서 틸트 각도에 따라 고이득의 빔이득을 얻고 있다. 또한 수평면 패턴을 보면 빔틸트 각도에 따라 수평면 빔레벨이 0도에서 11 dB, 10도에서 7.3 dB, 20도에서 -3 dB, 30도에서 0 dB로 변하고 있음을 확인할 수 있다.

이는 4개 배열 안테나로써 가질 수 있는 최적의 셀 커버리지와 간섭저감 특성을 나타내고 있다.

III. 결론

기지국 배열안테나의 빔패턴을 성형하여 동일채널 간섭을 줄이고 채널용량을 최적으로 사용하기 위해 이상기를 갖는 1.8 GHz 대역 이동통신용 빔틸트 기지국안테나의 패턴을 분석하였다.

본 연구를 통해 이동통신 기술분야에서 셀 커버리지 개선기술, C/I 개선기술, 위상배열이론 및 시뮬레이션 기술, 이상기 설계기술, 빔틸트 기술, 빔성형 기술 등이 이루어졌으며, 이 기술들은 적용배열안테나, 스마트안테나, 위상배열안테나, 다중빔안테나 등의 차세대 안테나 설계 기반기술로 활용될 것이다.

참고문헌

- [1] W. C. Y. Lee, "Cellular Mobile Radiotelephone system Using Tilted Antenna Radiation Pattern," U.S. Patent 4,249,181, February 3, 1981.
- [2] William C. Y. Lee, Mobile Communications Design Fundamentals, 2nd edition, John wiley & Sons, 1993.
- [3] G. Wilson, "Electrical Downtilt Through Beam-Steering Versus Mechanical Downtilt," IEEE VTC-92, pp. 1-4, 1992.
- [4] T.S.M.Maclean, "Principles of antennas : wire and aperture," Cambridge Univ., London, 1986.
- [5] M.T. Ma, Theory and Application of Antenna Arrays; John wiley & sons, Inc., New York, 1974.
- [6] H.P. Coleman, "An Iterative Technique for reducing Sidelobes of Circular Arrays", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-18, No.4, PP.566-567, July 1970.
- [7] R.W.Redlich, "Sampling Synthesis of Ring Arrays", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-18, No.1, PP.116-118, Jan. 1970.
- [8] F. Watanabe, et al., "A Pattern synthesis of Circular Arrays by Phase Adjustment", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-28, No.6, PP.857-863, July 1980.

저자약력

최정환 (Jeong-Hwan, Choe)



1982. 3. 5 ~ 1990. 8. 21
한국방송통신대학 (경제학과)
1995. 9. 1 ~ 1997. 8. 20
관동대학교 대학원 공학석사
(전자공학)
2009. 3. 1 ~ 현재 관동대학교
대학원 전자통신공학과
박사과정 재학중

1981. 3. 1 ~ 현재 한국폴리텍 III 대학
전기제어계측과 교수

<관심분야> 전자장 및 전파전파, 안테나 및
무선통신공학, 이동통신 공학

임계재 (Gye-Jae, Lim)



1983년 2월: 동국대학교
전자공학과 졸업
1988년 8월: 동국대학교
전자공학과 석사
1993년 2월: 동국대학교
전자공학과 박사

1994년 2월 - 현재 : 관동대학교 전자정보
통신공학부 교수

<관심분야> 전자장 및 전파전파, 안테나 및
무선통신공학, 위성통신 공학

본 연구는 지식경제부 지역혁신센터사업(관동대학교 첨단해양공간개발연구센터)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.