

지향성 절환 4소자 원형 배열 다이폴 안테나

4-Element Circular Array Dipole Antennas with Beam Steering

이 종 녕 · 양 규 식* · 김 기 채**

Joung-Nyung Lee · Gyu Sik Yang* · Ki-Chai Kim**

요 약

본 논문에서는 4개의 다이폴 소자로 구성된 4섹터 지향성 절환 원형 배열 다이폴 안테나의 기본 특성을 검토하고 있다. 이론 해석으로서의 다이폴 소자에 흐르는 미지 전류분포에 관한 연립 적분방정식을 유도하고 이를 Galerkin의 모멘트 법으로 구하고 있다. 안테나의 방사 지향성이 4섹터로 절환이 가능하도록 하기 위해 급전 및 무급전 소자를 적절히 이용하고 있으며, 무급전 소자의 유도 전류에 의한 원형 배열 안테나의 특성 개선을 위해 급전 소자를 제외한 나머지 무급전 소자들을 단락 또는 개방시킨 경우의 방사 지향성 및 이득 특성 등을 검토하고 있다. 방사 지향성의 측정결과를 이론치와 비교하여 이론해석의 타당성도 확인하고 있다.

Abstract

This paper presents a basic characteristics of 4-element circular array dipole antennas for 4-sector beam steering. The coupled integral equations for the unknown current distributions on dipole elements are derived and solved by applying Galerkin's method of moments. The parasitic elements have been used to increase the directional gain and the beam is steered electronically either by switching between the parasitic elements or switching the position of the active element. The parasitic elements are switched short-circuited or open-circuited as required to steer a directional beam. In order to verify the theoretical analysis, the radiation pattern was compared with experiments.

Key words : sector antenna, circular array dipole antenna, beam steering

I. 서 론

정보화 사회의 진전과 함께 고속 멀티미디어 이동통신 서비스의 실현을 목표로 하여 대용량의 고속 정보전송을 위한 대용량 고속 무선 LAN 시스템에 관한 연구가 진행되고 있다. 무선 LAN 시스템의 광대역 전송에 있어서는 다중 경로에 의한 전송품질의 열화가 큰 문제가 된다. 이 문제는 주어진 전파 전파환경에 적절한 지향성 안테나를 설계하여 극복할 수도 있으며, 무선 LAN 시스템의 단말국과

기지국에서 지향성 다이버스티를 이용하여 품질이 양호한 전파경로를 선택함으로써 극복할 수도 있다^[1]. 지향성 다이버스티를 이용하기 위해서는 전방향을 커버할 수 있는 멀티 섹터 안테나가 필요하게 된다. 즉 복수개의 섹터 빔을 절환하여 지향성 다이버스티 특성을 가질 수 있도록 하는 멀티 섹터 안테나가 필요하게 된다.

멀티 섹터 안테나로서는 모노폴을 원형으로 배열한 모노폴 배열 안테나^[2]와 모노폴 야기 우다 어레이를 사용한 섹터 안테나^[3]가 보고되어 있으며, 지

영진전문대학 전자정보계열(Division of Electronic and Info-communication, Yeungjin Junior College)

*한국해양대학교 전파·정보통신공학부(Division of Radio and Information Communication Engineering, Korea Maritime University)

**영남대학교 전자정보공학부(School of Electrical Engineering and Computer Science, Yeungnam University)

· 논문 번호 : 20011217-175

· 수정완료일자 : 2002년 2월 7일

향성을 전자적으로 주사하기 위해 스위칭 기능을 갖는 기생소자를 적극적으로 이용한 안테나도 보고 되어 있다^{[4],[5]}. 이들 안테나는 복수개의 소자를 급전에 사용하고 나머지 무급전 소자의 단자는 모두 단락한 구조를 하고 있거나^[2], 또는 방사소자는 중앙에 고정되어 있고 원주방향의 기생소자를 스위칭하여 지향성을 절환하고 있으며^{[3],[6]}, 전파가 도래하는 방향을 탐지하기 위한 방향 탐지용 안테나 또는 무선 LAN용의 기지국 안테나에 사용되고 있는데, 급전소자를 제외한 무급전 소자들의 단락뿐만 아니라 개방에 따른 안테나의 특성에 대해서도 검토할 필요가 있다.

본 논문에서는 무선 LAN용의 기지국 안테나 또는 핸드용 단말국 안테나의 개발을 목적으로 4개의 다이폴 소자로 원형 배열 다이폴 안테나를 구성하고 각 다이폴 소자를 순차적으로 급전하여 나머지 무급전 소자들을 단락 또는 개방시켜 양호한 방사 지향성 및 이득특성을 갖는 멀티 섹터 안테나를 검토하였다. 이론해석 방법은 각 다이폴 안테나 소자의 상호 결합을 고려하여 다이폴 소자에 흐르는 전류분포에 관한 연립 적분방정식을 유도하고 구분적 정현함수를 사용한 Galerkin의 모멘트법으로 해석하였다. 그 결과, 급전 소자를 제외한 나머지 무급전 소자들의 적절한 단락 또는 개방에 의해 안테나의 방사 지향성 및 이득 특성이 개선되며, 급전 소자를 순차적으로 절환하여 지향성 절환 특성을 갖는 멀티 섹터 안테나를 실현할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 이론해석의 타당성을 확인하기 위하여 방사 지향성의 측정결과를 이론치와도 비교 검토하였다.

II. 이론 해석

2-1 원형 배열 다이폴 안테나의 구조

그림 1은 4개의 다이폴 소자로 구성된 원형 배열 다이폴 안테나의 구조와 좌표계를 나타낸다. 다이폴 안테나 소자의 길이가 $2L$, 안테나 소자의 반경이 a 인 4 개의 다이폴 소자 #1, #2, #3 및 #4가 원주반경 d 로 배치되어 있다. 각 다이폴 안테나 소자의 단자 $p1 \sim p4$ 에는 특성 임피던스가 50Ω (인 동축 급전선로가 연결되어 있으며, 무급전 소자로 이용하기 위

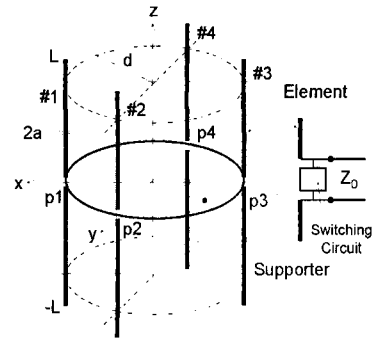


그림 1. 원형 배열 다이폴 안테나의 구조와 좌표계
Fig. 1. Geometry and coordinate system of circular dipole array antennas.

해 단락 또는 개방 회로의 구성을 위한 스위칭 회로가 연결되어 있다.

본 논문에서는 섹터 지향성 특성을 검토하기 위해 안테나 소자 #1을 급전시키고 안테나 소자 #3의 단자를 단락시킨 경우와, 안테나 소자 #2, #4의 단자를 단락시킨 경우 및 안테나 소자 #2, #3, #4의 단자를 단락시킨 경우의 3가지 방식을 생각하고, 이들 각각을 다음과 같이 A형식, B형식 및 C형식이라 명명하였다.

- A 형식 : #1소자에 급전, #3 소자를 단락
- B 형식 : #1소자에 급전, #2, #4소자를 단락
- C 형식 : #1소자에 급전, #2, #3, #4소자를 단락

단, A형식의 경우, 단락하지 않은 #2, #4 소자는 동축선로가 연결된 상태이므로 결과적으로는 동축선로의 특성 임피던스 $Z_0 (=50 \Omega)$ 이 장하된 상태와 같고, B형식의 경우는 단락하지 않은 #3 소자에 특성 임피던스 $Z_0 (=50 \Omega)$ 이 장하된 상태와 같다.

이러한 안테나 소자의 급전 및 단락 방법을 순차적으로 구성하면 방사 지향성은 4 방향으로 구성되며 4 섹터로 지향성이 절환되는 지향성 절환 안테나를 구성할 수 있다.

2-2 적분 방정식

그림 1과 같은 4개의 다이폴 안테나 소자로 구성된 원형 배열 다이폴 안테나에 대하여, 각 다이폴

안테나 소자에 흐르는 전류분포에 관한 연립 적분 방정식을 유도하고 그 해를 Galerkin의 모멘트 법으로 구한다. 그림 1의 안테나 소자에 흐르는 전류분포에 관한 연립 적분방정식은 다음과 같다.

$$\sum_{n=1}^4 \frac{1}{j\omega \epsilon_0} \iint_{L_n} \bar{\mathbf{K}}_{mn} \cdot \mathbf{J}_n(z') dz' = -V_m \delta(z) \hat{\mathbf{z}} \quad (1)$$

(m=1, 2, 3, 4)

여기서, J_n 는 #n 다이폴 안테나 소자의 전류분포를 나타내며, $\delta(*)$ 는 디락의 델타함수, $\hat{\mathbf{z}}$ 는 z방향의 단위벡터이다. 그리고, ω 는 각주파수를 나타내며, ϵ_0 는 진공의 유전율이다.

안테나 소자 #1을 급전하고 나머지 소자를 무급전 소자로 사용하면 식 (1)의 우변에서 V_m 은 안테나 소자 #1을 제외한 무급전 소자에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_m = -Z_0 I_m(0) \quad (2)$$

여기서, Z_0 는 각 다이폴 안테나 소자에 연결된 동축선로의 특성 임피던스이며 본 논문에서는 50Ω을 사용하였다. 그리고, $I_m(0)$ 는 #m 안테나 소자의 장하점 전류값을 나타낸다.

식 (1)의 연립 적분방정식에서 적분핵 $\bar{\mathbf{K}}_{mn}$ 은 전류원이 전계를 생성하는 다이폴 그린함수이며 다음 식으로 주어진다.

$$\bar{\mathbf{K}}_{mn}(z, z') = \left(\bar{\mathbf{I}} k^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \cdot \bar{\mathbf{G}}_{mn}(z, z') \quad (3)$$

여기서, $k = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$, $\bar{\mathbf{I}}$ 는 단위 다이폴이며 자유공간의 그린함수는 다음과 같다.

$$\bar{\mathbf{G}}_{mn}(z, z') = \hat{\mathbf{z}} \hat{\mathbf{z}} \frac{e^{-jkR_{mn}}}{4\pi R_{mn}} \quad (4)$$

단, R_{mn} 는 안테나 소자 #m과 안테나 소자 #n 사이의 거리를 나타낸다.

2-3 모멘트 법 해석

연립 적분방정식 (1)의 해를 모멘트 법^[7]으로 구하기 위해 각 다이폴 안테나 소자에 흐르는 전류분포를 다음과 같이 기지의 함수로 전개한다.

$$\mathbf{J}_n(z') = \sum_{q=1}^Q I_{nq} \mathbf{F}_{nq}(z'), \quad (n=1, 2, 3, 4) \quad (5)$$

여기서, I_{nq} 는 미지의 복소 전개계수이며, 전개함수 \mathbf{F}_{nq} 은 다음과 같은 구분적 정현함수를 사용한다.

$$\mathbf{F}_{nq} = \begin{cases} \frac{\sin k(z' - z'_{q-1})}{\sin k\Delta z_q} \hat{\mathbf{z}}, & z'_{q-1} \leq z' < z'_q \\ \frac{\sin k(z'_{q+1} - z')}{\sin k\Delta z_q} \hat{\mathbf{z}}, & z'_q \leq z' < z'_{q+1} \end{cases} \quad (6)$$

여기서, $\Delta z_q = z'_q - z'_{q-1} = z'_{q+1} - z'_q$ 이다.

식 (5)를 연립 적분방정식 (1)에 대입하고 Galerkin의 방법을 적용하면 연립 적분방정식 (1)은 다음과 같은 연립 일차방정식으로 귀착된다.

$$\sum_{n=1}^4 \sum_{q=1}^Q I_{nq} Z_{mn}^{pq} = V_{mp} \quad (7)$$

(m=1, 2, 3, 4, p, q=1, 2, ..., Q)

식 (7)로부터 미지의 전개계수 I_{nq} 를 구하면 식 (5)로부터 각 다이폴 안테나 소자에 흐르는 전류분포를 구할 수 있으며 이로부터 안테나의 제반 특성을 구할 수 있다.

2-4 방사 지향성

그림 1의 원형 배열 다이폴 안테나에 관한 방사 지향성을 계산하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_\theta = \frac{j\omega \mu_0 e^{-jkr}}{4\pi r} \sin \theta \sum_{n=0}^4 \sum_{q=1}^Q \frac{I_{nq} e^{jkT_{nq}}}{\sin k\Delta z_{nq}} (S_{nq}^L + S_{nq}^U) \quad (8)$$

여기서,

$$S_{nq}^L = \int_{z_{nq-1}}^{z_{nq}} \sin k(z'_{nq} - z_{nq-1}) e^{jkz'_{nq} \cos \theta} dz'_{nq} \quad (9)$$

$$S_{nq}^U = \int_{z_{nq}}^{z_{nq+1}} \sin k(z_{nq+1} - z'_{nq}) e^{jkz'_{nq} \cos \theta} dz'_{nq} \quad (10)$$

$$T_{nq} = x'_{nq} \sin \theta \cos \phi + y'_{nq} \sin \theta \sin \phi \quad (11)$$

이며 구체적인 표현식은 생략하기로 한다.

또한, 전력이득은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi r^2 |E_\theta(\theta, \phi)|^2}{120\pi |I_n(0)|^2 R_{in}} \quad (12)$$

여기서, R_{in} 은 원형 배열 다이폴 안테나의 입력저항이며 $I_n(0)$ 는 급전점 전류치이다.

III. 수치해석 결과 및 검토

앞장의 이론식을 사용하여 원형 배열 다이폴 안테나의 방사 지향성 및 이득 특성을 검토한다. 본 논문에서는 다이폴 안테나 소자의 길이를 $2L=0.5\lambda$, 안테나 소자의 반경을 $a=0.001\lambda$, 전류분포의 분할수 Q 를 39로 선택하고 앞에서 언급한 3가지의 형식에 대하여 방사 지향성 및 이득 특성 등을 검토하기로 한다. 이해를 돕기 위해 앞 절에서 언급한 3가지 형식을 다시 쓰면 다음과 같다.

- A 형식 : #1 소자에 급전, #3 소자를 단락
- B 형식 : #1 소자에 급전, #2, #4 소자를 단락
- C 형식 : #1 소자에 급전, #2, #3, #4 소자를 단락

위의 A형식, B형식 및 C형식에 대하여, 원형 배열의 원주반경에 대한 전력이득 특성을 계산한 결과가 그림 2이다.

그림 2에서 알 수 있는 것처럼, 원형 배열의 반경이 반파장 이하에서는 전력이득의 최대점이 2곳에서 나타나며 전력이득을 높이기 위해서는 급전 소자 이외의 소자는 모두 단락시킬 필요가 있다는 것

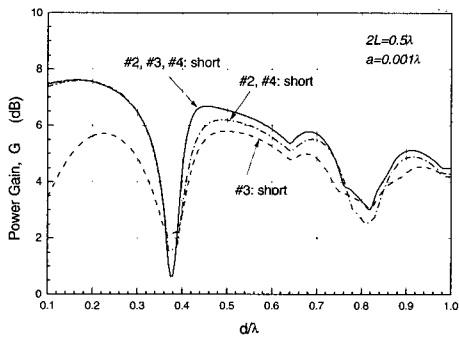
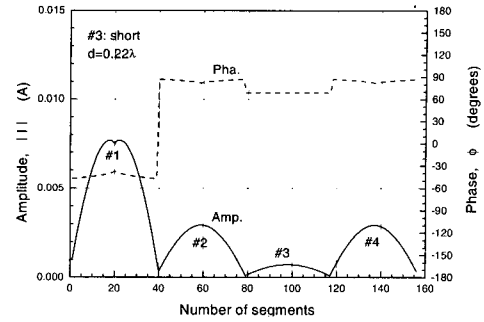
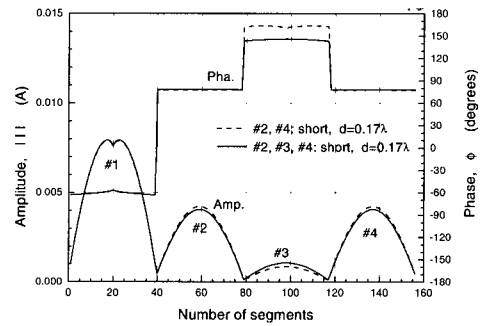


그림 2. 원형 배열의 반경에 대한 전력이득 특성
Fig. 2. Characteristics of power gain for the radius of circular array.



(a) A 형식



(b) B형식 및 C 형식

그림 3. 각 안테나 소자상의 전류분포

(a) A형식, (b) B형식 및 C형식

Fig. 3. Current distributions on dipole antenna elements.

(a) A-type, (b) B-type and C-type

을 알 수 있다. 무선 LAN용의 기지국 안테나로 사용할 경우 서비스 반경이 10 m이면 7 dBi 이상이 적절한데, 그림 2에서 알 수 있는 것처럼 B 형식과 C 형식은 7.5 dBi가 얻어지고 있다.

그림 3은 원형 배열의 반경이 이하에서 전력이득이 최대가 되는 2곳에 대하여, 각 다이폴 안테나 소자에 흐르는 전류분포를 계산한 결과이다. 전류분포로부터 알 수 있는 것처럼, 급전 다이폴 안테나 소자(#1)에 최대의 전류가 흐르며 급전 소자로부터 가장 멀리 위치한 안테나 소자 #3에는 유기 전류가 최소가 되며, #2 및 #4 소자에는 동위상의 전류가 흐른다는 것을 알 수 있다. 또한, A 형식보다는 B 형식 및 C 형식이 단락 소자에 동위상의 큰 전류가 유기된다는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 원형 배열의 반경이 $d=0.5\lambda$ 이하에서

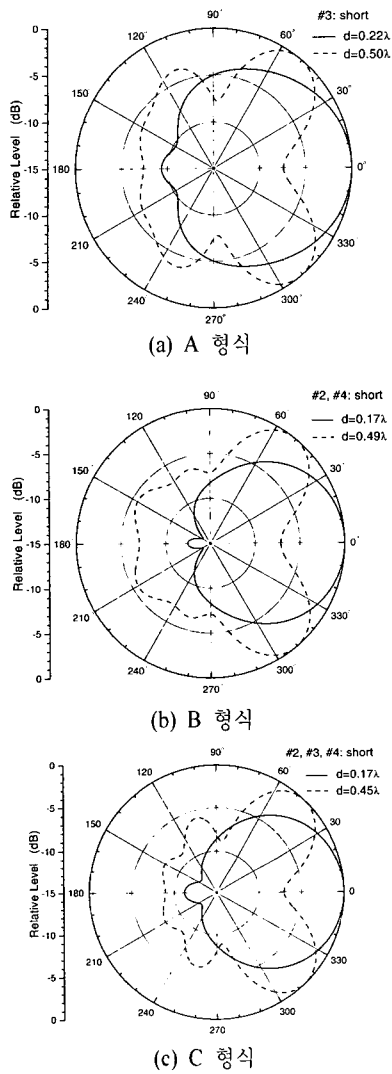


그림 4. 방사 지향성 특성
(a) A형식, (b) B형식, (c) C형식

Fig. 4. Radiation patterns.
(a) A-type, (b) B-type, (c) C-type.

전력이득이 최대가 되는 2곳에 대하여, H면 방사 지향성을 계산한 결과이다. 그림 4에서 보는 것처럼, A형식(#3 소자를 단락)의 경우, 원형 배열의 반경이 $d=0.22\lambda$ 에서는 방사 지향성이 $\phi=0$ 방향으로 형성되지만, $d=0.50\lambda$ 에서는 주엽이 분할됨을 알 수 있다. B형식(#2, #4 소자를 단락)의 경우에도 $d=0.49\lambda$ 에서 주엽이 분할되며 $d=0.17\lambda$ 에서는 $\phi=0$ 방향으로 주엽이 형성된다. 마찬가지로 C형식(#2, #3, #4 소자를 단락)의 경우에도 원형 배열의 반경이

$d=0.17\lambda$ 에서는 방사 지향성이 $\phi=0$ 방향으로 형성되지만, $d=0.45\lambda$ 에서 주엽이 분할된다. 이와 같이, 각 형식에 따라서 주엽의 방향이 하나에서 두개로 나누어지는 안테나의 반경 d 의 크기에 차이가 나는 이유는, 그림 3의 전류분포에서 알 수 있는 것처럼 소자의 단락 여부에 따른 유기 전류의 크기가 달라지기 때문이다.

따라서, 주엽이 분할되지 않고 섹터 안테나로 적합한 방사 지향성이 형성되는 $d=0.22\lambda$ (A형식), $d=0.17\lambda$ (B형식, C형식)에 대하여, E면 및 H면 방사 지향성 특성을 계산한 결과가 그림 5이다. 그림 5에서 알 수 있는 것처럼, A형식(#3 소자 단락)인 경우보다 B형식(#2, #4 소자 단락)의 경우가 방사 지향성의 주엽이 집중되고 부엽레벨도 작아지며, 그림 2로부터도 확인할 수 있는 것처럼 전력이득이 커진다. 또한, 그림 5(b)에서 보는 것처럼, E면의 방사 지향성은 3형식 모두 주엽에는 큰 차이가 보이지 않으나, A형식의 경우 부엽이 커진다는 것을 알 수 있다. 4개의 소자로 최적의 지향성 절환 안테나를 실

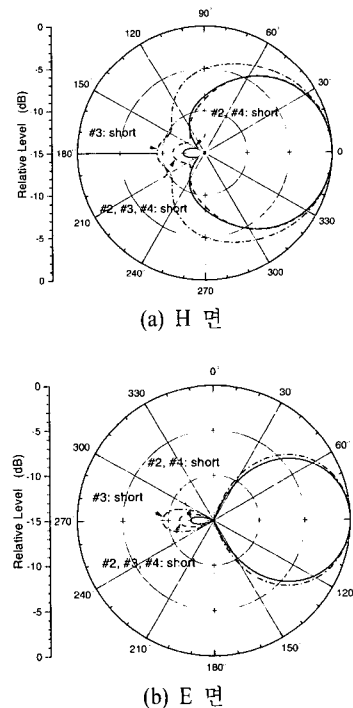


그림 5. 방사 지향성 특성 (a) H면, (b) E면
Fig. 5. Radiation patterns. (a) H-plane, (b) E-plane

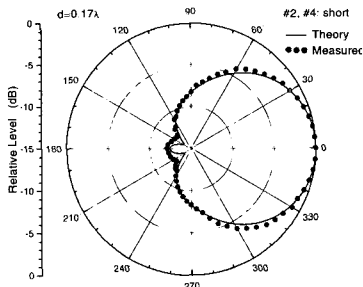


그림 6. 방사 지향성의 측정결과
Fig. 6. Measured and theoretical radiation patterns.

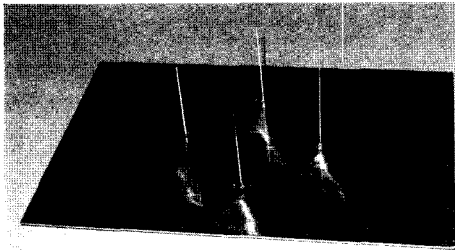


그림 7. 제작된 원형 배열 다이폴 안테나의 사진
Fig. 7. Photograph of the 4-element circular dipole array antenna.

현하기 위해서는 B 형식(#2, #4 소자를 단락)으로 하여 안테나의 반경을 $d=0.17\lambda$ 로 선택하면 된다.

그림 6은 B형식의 안테나를 제작하여 방사 지향성을 측정한 결과를 이론치와 함께 나타내었다. 그림으로부터 알 수 있는 것처럼, 부엽레벨의 측정치와 이론치에 차이가 보이거나 주엽이 형성되는 방향에서의 방사 지향성 이론치는 측정결과와 잘 일치하고 있다. 실험에 사용한 안테나는 250×250 cm의 알루미늄판 위에 모노폴을 설치하고 단락하지 않은 소자에는 50Ω 종단을 연결하여 영남대학교에 설치된 전자파 무향실($4 \times 6 \times 2.5$ m)에서 측정하였다. 측정에 사용한 주파수는 1 GHz이며, 그림 7은 제작된 안테나의 사진이다. 제작을 용이하게 하기 위해 20×30 cm 크기의 알루미늄판 위에 모노폴을 설치하고 접지판의 전체 크기가 250×250 cm가 되도록 구성하여 측정하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 무선 LAN용의 기지국 안테나 또는 핸드용 단말국 안테나의 개발을 목적으로 4개의 다이폴 안테나 소자로 구성된 4 섹터 지향성 절환 원형 배열 다이폴 안테나의 기본 특성을 모멘트 법으로 검토하였다. 안테나의 방사 지향성은 4개의 다이폴 안테나 소자를 순차적으로 급전하여 4 섹터 절환이 가능하며, 무급전 소자의 유도 전류에 의한 원형 배열 안테나의 특성 개선을 위해 무급전 소자들을 단락 또는 개방시켜 방사 지향성 및 이득 특성 등을 검토하였다. 그 결과 급전 소자를 제외한 나머지 무급전 소자들을 단락시키면 섹터 안테나에 적합한 방사 지향성이 형성되며 전력이득도 향상됨을 알 수 있었다. 또한 방사 지향성의 이론치를 측정치와 비교하여 이론해석의 타당성도 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. E. Mitzlaff, "Radio propagation and anti-multipath techniques in the WIN environment", *IEEE Network Magazine*, vol. 5, no. 6, pp. 21-26, Nov. 1991.
- [2] A. Sibille, C. Robin and G. Poncelet, "Circular switched monopole arrays for beam steering wireless communications", *IEE. Electronics letters*, vol. 33, no. 7, pp. 551-52, 1997.
- [3] T. Maruyama, K. Uehara, and K. Kagoshima, "Design and Analysis of Small Multi-sector Antenna for Wireless LANs Made by Monopole Yagi-Uda Array Antenna", *Trans. of IEICE, B-II* vol. J80-B-II, no. 5, pp. 424-433, 1997.
- [4] S. L. Preston, D. V. Thiel, T. A. Smith, S. G. O'Keefe, and J. W. Lu, "Base-station tracking in mobile communications using a switched parasitic antenna array", *IEEE Trans. Antenna Propag.*, AP-46, no. 6, pp. 841-844, 1998.
- [5] R. Vaughan, "Switched parasitic elements for antenna diversity", *IEEE Trans. Antenna Propag.*, AP-47, no. 2, pp. 399-405, 1999.
- [6] 김기채, 최규락, "지향성 절환 다이폴 원형 배열 안테나의 입력 임피던스 특성", 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회, 3-18, pp. 317-320,

1998. 5.

[7] R. F. Harrington, *Field Computation by Moment*

Methods, New York: IEEE Press, 1993.

이 종 념



1996년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
1982년 8월: 영남대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 박사학위수료
1987년~현재: 영진전문대학 전자

정보계열 부교수

[주 관심분야] 안테나 및 마이크로파 능·수동 소자 설계

김 기 채



1984년: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
1986년: Keio Univ. 대학원 (공학석사)
1989년: Keio Univ. 대학원 (공학박사)
1989년 4월~1993년 3월: 한국표준

과학연구원 전자파연구실 선임연구원

1993년 4월~1995년 8월: 일본 후쿠오카공업대학 정보공학과 조교수

1995년 9월~현재: 영남대학교 전기전자공학부 부교수, 한국전자과학회 편집이사

일본 IEICE Young Engineer Award(1988), 일본 전기학회 논문발표상 수상(1994)

[주 관심분야] EMC/EMI 관련 안테나 및 측정시설, 소형 안테나 및 전자파 응용

양 규 식



1974년 2월: 한국항공대학교 통신공학과 (공학사)

1984년 2월: 건국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1991년 8월: 건국대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1986년 9월~현재: 한국해양대학교 전자통신공학과 교수

[주 관심분야] 마이크로파 능·수동 소자 설계, 프린트형 안테나