

4 섹터 지향성 절환 원형 배열 다이폴 안테나

이 중녕 김기채 양규식
영진전문대학, 영남대학교, 한국해양대학교

4-Sector Circular Array Dipole Antennas with Beam Steering for Wireless LAN Communications

Joung-Nyung Lee, Ki-Chai Kim, Gyu Sik Yang
Yeungjin Junior College, Yeungnam University, Korea Maritime University

ABSTRACT

본 논문에서는 4 개의 다이폴 소자로 구성된 4 섹터 지향성 절환 원형 배열 다이폴 안테나의 기본 특성을 검토하고 있다. 안테나의 방사 지향성이 순차적으로 4 섹터 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 소자들을 단락 또는 개방시켜 방사 지향성 및 이득 특성 등을 계산하고 있다.

I. 서론

정보화 사회의 진전과 함께 고속 멀티미디어 이동통신 서비스의 실현을 목표로 하여 대용량의 고속 정보 전송을 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 문제를 해결하기 위해 복수개의 섹터 빔을 절환하여 지향성 다이버시티 특성을 갖는 멀티 섹터 안테나가 필요하게 된다.

멀티 섹터 안테나로서는 원형 배열 모노폴 안테나에 관한 연구가 있으며[1], 모노폴 야기 우다 어레이를 사용한 안테나도 보고되어 있다[2]. 또한 원형의 중심에 소자를 배열하여 원형 배열 안테나의 특성 개선을 검토한 연구결과도 보고되어 있다[3].

본 논문에서는 4 개의 다이폴 소자로 구성된 원형 배열 다이폴 안테나에 대하여 방사 지향성을 4 섹터로 절환시키기 위한 방법에 관하여 검토하고 있다. 이론해석 방법은 각 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 소자들의 적절한 단락에 의해 이득 특성이 개선되며 지향성 절환 특성을 갖는 멀티 섹터 안테나를 실현할 수 있음을 알 수 있었다.

II. 이론 해석

1. 안테나의 구조와 적분방정식

그림 1은 4 개의 다이폴 소자로 구성된 원형 배열 다이폴 안테나의 구조와 좌표계를 나타낸다. 안테나의

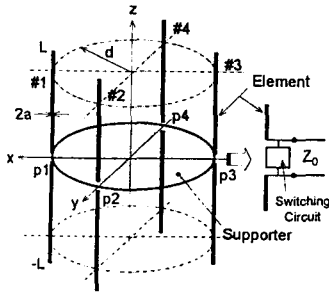


그림 1 원형 배열 다이폴 안테나의 구조

길이가 $2L$, 안테나 소자의 반경이 r 인 4 개의 다이폴 소자 (#1, #2, #3, #4) 가 원주 반경 d 로 배치되어 있다. 각 다이폴 안테나 소자의 단자($p1 \sim p4$)에는 특성 임피던스가 50Ω 인 동축 급전선로가 연결되어 있으며, 무급전 소자로 이용할 경우 단락/개방 회로구성을 위해 스위칭 회로가 연결되어 있다.

섹터 지향성 특성을 검토하기 위해 #1 안테나를 급전시키고 #3 소자를 단락시킨 경우와, #1 소자를 급전시키고 #2, #3, #4 소자를 단락시킨 경우의 2 가지 경우를 생각한다. 이러한 급전 및 단락 방법을 순차적으로 구성하면 방사 지향성은 4 방향으로 구성되며 4 섹터 지향성 절환 안테나를 구성할 수 있다.

섹터 지향성 특성의 검토는 #1 소자를 급전하여 $\phi=0$ 도 방향으로 지향성이 형성되는 경우만을 생각하도록 한다.

이론해석을 위해 각 안테나 소자에 흐르는 전류 분포에 관한 연립 적분방정식을 유도하여 그 해를 Galerkin 의 모멘트 법으로 구한다. 그림 1 의 안테나 소자에 흐르는 전류 분포에 관한 연립 적분 방정식은 다음과 같다.

$$\sum_{n=1}^4 \iint_{z_n} \bar{K}_{mn} \cdot J_n(z') dz = -V_m \delta(z) \hat{z} \quad (1)$$

($m, n=1, 2, 3, 4$)

여기서, J_n 는 n 다이폴 소자의 전류 분포를 나타낸다. 그리고, #1 소자를 급전하고 나머지 소자를 무급전

소자로 사용하므로 식(1)의 우변에서 V_n 은 다음과 같이 표현된다.

$$V_n = -Z_0 I_n(0) \quad (2)$$

여기서, Z_0 는 각 다이폴 소자에 연결된 동축 선로의 특성 임피던스이며 본 연구에서는 50Ω 을 사용하였다. 그리고, $I_n(0)$ 는 n 소자의 장하점 전류값을 나타낸다.

식 (1)의 연립 적분방정식에서 적분핵 \bar{K}_{mn} 은 전류원이 전계를 생성하는 다이애덕 그린함수이며 다음 식과 같다.

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

여기서, 자유 공간의 그린함수는 다음과 같다.

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

단, R_{mn} 는 m 소자와 n 소자 사이의 거리를 나타낸다.

2. Moment 법 해석

연립 적분 방정식 (1)의 해를 구하기 위해 각 다이폴 안테나 소자에 흐르는 전류 분포를 다음과 같이 기지의 함수로 전개한다.

$$J_n(z') = \sum_{q=1}^Q I_{nq} F_{nq}(z') \quad , \quad (n=1, 2, 3, 4) \quad (5)$$

여기서, 전개 함수 F_{nq} 은 다음과 같은 구분적 정현 함수를 사용한다.

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

$$\Delta z_q = z'_q - z'_{q-1} = z'_{q+1} - z'_q$$

식 (5)를 연립 적분 방정식 (1)에 대입하고 Galerkin

의 방법을 적용하면 연립적분 방정식(1)은 다음과 같은 연립 1차방정식으로 귀착된다.

$$\sum_{n=0}^4 \sum_{q=1}^Q I_{nq} Z_{mn}^{pq} = V_{mp} \quad (7)$$

$(m, n=1, 2, 3, 4, \quad p, q=1, 2, \dots, Q)$

식 (7)에서 미정 계수 I_{nq} 를 구하면 식 (5)로부터 각 다이폴 안테나 소자에 흐르는 전류분포를 구할 수 있으며, 이로부터 입력 임피던스, 방사 지향성, 이득 등 안테나의 제반 특성을 구할 수 있다.

3. 방사 지향성

그림 1의 원형 배열 안테나에 관한 방사 지향성은 다음 식과 같다.

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

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

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

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

여기서, $\hat{\theta}$ 는 θ 방향의 단위 벡터이다. 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 입력 저항이며, $I_n(0)$ 는 급전점 전류치이다.

IV. 수치해석 결과 및 검토

다이폴 소자의 길이를 $2L=0.5\lambda$, 안테나 소자의 반경을 $a=0.001\lambda$ 로 고정하고,

A 형식: #1 소자에 급전, #3 소자를 단락

B 형식: #1 소자에 급전, #2, #3, #4 소자를 단락

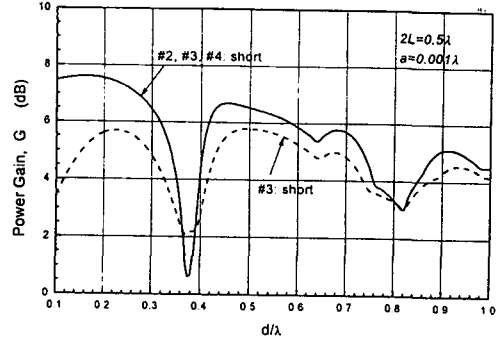
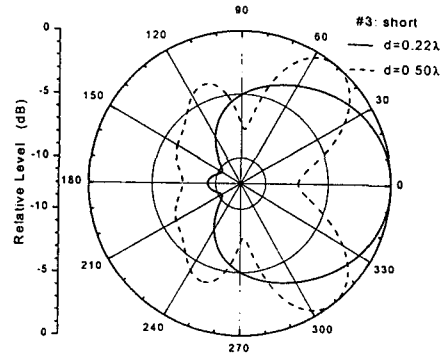
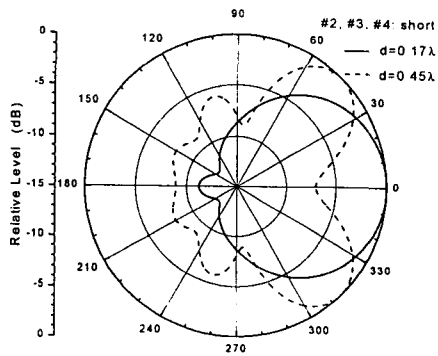


그림 2 원형 배열의 반경에 대한 전력이득 특성



(a) A 형식



(b) B 형식

그림 3 원형 배열 다이폴 안테나의 방사 지향성

인 구조를 생각한다. 단, A 형식의 경우, #2, #4 소자는 동축선로가 연결된 상태이므로 결과적으로 동축선로의 특성 임피던스 50 Ω이 장하된 상태와 같다.

위의 A 형식 및 B 형식에 대하여, 원형 배열의 환경에 대한 전력이득 특성을 계산한 결과가 그림 2 이다. 그림 2에서 알 수 있는 것처럼, 반파장 이하의 원형 배열 환경에서는 전력이득의 최대점이 2 곳 나타남을 알 수 있다. 이들 2 곳에 대하여 방사 지향성을 계산하면 그림 3과 같다. 그림 3(a)로부터 알 수 있는 것처럼, A 형식의 구조에 대하여 배열의 반경을 $d=0.50\lambda$ 로 선택하면 보어 사이트 방향을 중심으로 지향성이 분할됨을 알 수 있다. 따라서, 배열의 반경을 $d=0.22\lambda$ 로 선택하면 멀티 섹터 안테나로서 유효한 방사 지향성이 형성됨을 알 수 있다. 또한, 그림 3(b)로부터 알 수 있는 것처럼, B 형식의 구조에 대하여 배열의 반경을 $d=0.45\lambda$ 로 선택하면 A 형식과 마찬가지로 보어 사이트 방향을 중심으로 지향성이 분할됨을 알 수 있다. 따라서, 배열의 반경을 $d=0.17\lambda$ 로 선택하면 멀티 섹터 안테나로서 유효한 방사 지향성이 형성됨을 알 수 있다.

V. 결 론

배열 안테나의 반경과 중심 안테 소자의 길이를 적절히 조절하여 입력 임피던스 특성 및 전력 이득이 양호한 안테나를 실현할 수 있음을 알 수 있었다. 수치해석 결과, #0 안테나 소자의 길이가 0.6λ , 반경 a 가 0.86λ 일 때 최대 이득 20.9 dB 를 얻을수 있었고, 정재파비가 2:1 이하인 대역폭이 약 2.9 GHz 정도임을 알 수 있었다. 특정 구조에서는 이득 특성이 양호하므로, 다중 경로에 의한 페이딩 현상을 억제할 수 있다. 본 안테나는 무선 LAN 용 안테나로서 적합하며, 이후 실험을 통하여 해석 결과를 비교할 계획이다.

참고문헌

- [1] A. Sibille, C. Robin and G. Poncelet, "Circularswitched monopole arrays for beam steering wireless communications", IEE. Electronics

letters 1997, vol. 33, No.7

[2] Tamami MARUYAMA, Kazuhiro UEHARA, Kenichi 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.

[3] 김기채, 최규락: 지향성 절환 다이폴 원형 배열 안테나의 입력 임피던스 특성, 춘계 마이크로파 및 전파 전파 학술대회, 3-18, pp.317-320, 1998. 5.

[4] 최규락, 김기채: 무선 LAN 용 지향성 절환 원형 배열 다이폴 안테나, 한국전자과학회 종합학술발표회 논문집, pp.435-439, Nov. 1998.