

# 손실이 있는 대지 위의 대수주기 다이폴 안테나 해석

## Analysis of Log-Periodic Dipole Antennas above Lossy Grounds

최 학 근

Hak-Keun Choi

### 요 약

본 논문에서는 HF 대의 대수주기 다이폴 안테나(LPDA: Log-Periodic Dipole Antennas)와 변형된 대수 주기 다이폴 안테나(MLPDA: Modified Log-Periodic Dipole Antennas)를 대지의 매질 종류에 따라 자유공간이나 완전도체에 놓인 것으로 근사화하지 않고, 실제 대지의 매질을 고려하여 모멘트법을 적용함으로써 복사전계를 해석하였다. 대지에 설치된 LPDA와 MLPDA에 대하여 주파수, 안테나 높이, 경사각에 따른 복사 패턴과 이득의 변화를 나타내고 대지가 안테나 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 그 결과 MLPDA가 LPDA보다 주파수에 따른 복사패턴 및 이득의 변화가 적고 최대 빔 방향이 다소 높게 나타났으며, 또한 LPDA와 MLPDA 모두 대지의 매질 종류와 안테나의 높이가 안테나이득 변화에 주로 관계함을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, HF band LPDA(Log-periodic Dipole Antenna) and MLPDA(Modified Log-periodic Dipole Antenna) above lossy grounds were analyzed using moment method by considering the practical media parameter of lossy grounds, not assuming free space or perfect ground approximation. The radiation pattern and gain of LPDA and MLPDA as functions of frequency, antenna height from ground, and antenna tilt angle are presented, and the lossy ground effect on antennas characteristics are described. MLPDA was found to exhibit a smaller variation for gain and radiation pattern and a higher maximum beam direction relative to LPDA. It was shown that media parameter of lossy grounds and antenna height have a direct influence on the antenna gain of both LPDA and MLPDA.

### I. 서 론

1961년 Carrel에 의하여 처음으로 해석 검토된 대수주기 다이폴 안테나(LPDA : Log-Periodic Dipole Antenna)는 광대역 특성으로 인해 HF 대에

서 UHF 대에 걸쳐 통신용 또는 EMI/EMC 측정용 안테나로 널리 쓰이고 있다<sup>[1],[2]</sup>. 이 안테나의 설계는 주로 자유공간에 위치한 안테나의 복사특성을 고려하여 이루어진다. 그러나 HF 대에서 실제 안테나를 사용할 때에는 대지의 영향으로 안테

「이 연구는 단국대학교 대학연구지원금의 지원으로 연구되었음」

단국대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Engineering, Dankook University)

· 논문 번호 : 981017-104

· 수정완료일자 : 1998년 12월 28일

나가 자유공간에 위치한 경우와는 달리 복사패턴이 왜곡되고 이득과 VSWR 등의 특성이 달라지게 된다<sup>[3]~[5]</sup>. 전리층의 회절을 이용하는 HF 대의 LPDA는 안테나의 크기가 매우 커서 이득 및 복사패턴을 측정할 때 항공기에 source 안테나 및 측정장비를 탑재하고 이루어진다<sup>[6]</sup>. 따라서 대지의 매질을 고려한 LPDA의 복사특성이 해석될 수 있다면 측정과정에서 나타나는 어려움없이 안테나의 성능을 평가할 수 있다.

대지 위에 설치된 안테나의 복사특성에 관한 연구보고로는 수직 다이폴, 수평 다이폴 등 비교적 간단한 안테나에 대하여 그 동안 많은 연구가 이루어졌으나<sup>[7],[8]</sup> 대지 위의 LPDA에 대한 연구는 M. T. Ma와 G. D. Vito의 연구를 제외하고는 아직 발표되고 있지 않다<sup>[3]~[5]</sup>. M. T. Ma는 안테나 소자의 전류분포를 R. W. P. King과 T. T. Wu의 3항 전류분포로 가정하고 대지를 poor ground인 경우는 자유공간으로 sea water인 경우는 완전도체로 근사화하여 기전력법(induced EMF method)과 반사계수법(RCM : Reflection Coefficient Method)을 이용하여 복사특성을 해석하였다<sup>[5]</sup>. 3항 전류분포를 가정한 해석방법은 안테나 소자의 길이가  $5\lambda/4$  이하일 때는 비교적 정확한 해석 결과를 준다. 그러나 HF 대의 LPDA처럼 가장 긴 소자가 가장 높은 주파수에서 수 파장 정도되는 경우는 정확한 결과를 주지 못한다<sup>[9]</sup>. G. D. Vito도 3항 전류분포로 가정하여 대지에 수직 또는 수평으로 세워진 LPDA에 대하여 안테나 높이에 따른 복사패턴 변화를 고찰하였다.

HF 대의 LPDA를 대지 위에 설치할 때 LPDA의 다이폴 소자를 대지에 수직 또는 수평으로 설치함에 따라 수직 또는 수평 LPDA라 하고 대지면의 반사를 적극 이용하기 위하여 안테나 축을 대지 방향으로 기울이는 형태의 변형된 LPDA(MLPDA : Modified Log-Periodic Dipole Antenna)가 있다. 수평 MLPDA는 대지에 대한 경사각을 제외하고는 수평 LPDA와 동일하지만 수직

MLPDA는 경사각뿐 아니라 구조가 다소 변형된다.

따라서 본 논문에서는 LPDA와 MLPDA를 대지의 매질 종류에 따라 자유공간이나 완전도체에 놓인 것으로 근사화하지 않고 실제 대지의 매질을 고려하여 모멘트법<sup>[9],[10]</sup>을 적용함으로써 안테나의 복사전계를 해석한다. 해석시 대지의 매질은 균일하고 대지면은 평평한 것으로 가정한다. 대지 위에 설치된 LPDA와 MLPDA에 대하여 주파수, 안테나 높이, 경사각에 따른 복사패턴과 이득을 계산하여 대지가 안테나 복사특성에 미치는 영향을 서로 비교·검토한다.

## II. 안테나 해석

### 2-1 전류분포 및 입력임피던스

그림 1은 대지 위에 세워진 수직 MLPDA와 수평 MLPDA의 구조를 나타내고 있다. 여기서 대수주기 특성을 갖도록 하는 구조정수로서 다이폴의 길이를 결정하는 대수주기비는 다음과 같이 정의된다<sup>[5]</sup>.

$$\tau_V = \tau_H = \frac{L_{k+1}}{L_k} = \frac{a_{k+1}}{a_k} \quad (k=1, 2, \dots, N-1) \quad (1)$$

여기서  $\tau_V$ 는 수직 MLPDA의 대수주기비,  $\tau_H$ 는 수평 MLPDA의 대수주기비이고,  $L_k$ 와  $a_k$ 는  $k$ 번째 다이폴의 길이와 반경을 나타낸다. 다이폴과 간격을 결정하는 간격정수는

$$\begin{aligned} \sigma_V &= \frac{d_k}{2L_k} = \frac{d_{N+k}}{2L_{N+k}} \\ &= \frac{1}{4} \frac{(1 - \tau_V)}{\sin \alpha_0 - \tan(\alpha_0 - \alpha_2) \cos \alpha_0} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\sigma_H = \frac{d_k}{2L_k} = \frac{d_{N+k}}{2L_{N+k}}$$

$$= \frac{1}{4} (1 - \tau_H) \cot \alpha \quad (3)$$

로 주어진다<sup>[5]</sup>. 여기서,  $\alpha_1, \alpha_2$ 는 수직 MLPDA의 축으로부터의 반개각,  $\alpha$ 는 수평 MLPDA의 반개각을 나타내고  $\alpha_0$ 는 대지면에 대한 안테나 축의 경사각,  $d_k$ 는  $k$  번째 다이폴과  $k-1$  번째 다이폴의 간격이다. 식 (2)와 (3)에서  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ 이고  $\alpha_0 = 0$  이면 일반적인 LPDA의 구조가 된다. 대지면으로부터 다이폴 소자의 중심까지의 높이는 각각 다음과 같이 주어진다<sup>[5]</sup>.

$$H_{V_k} = \frac{L_k}{2} \left[ 1 + \frac{\sin(\alpha_0 - \alpha_2) \cos \alpha_0}{\sin \alpha_2} \right] > \frac{L_k}{2} \quad (4)$$

$$H_{H_k} = H_{H_{k-1}} - d_k \sin \alpha \quad (5)$$

여기서  $H_{V_k}$ 와  $H_{H_k}$ 는 각각 수직 MLPDA와 수평 MLPDA의  $k$  번째 소자의 높이이다.  $H_{V_k}, H_{H_k}$ 가 일정하면 일반적인 수평, 수직 LPDA가 대지 위에 설치된 것과 같다.

안테나의 해석은 Carrel이 제한한 회로망해석법<sup>[1],[9],[10]</sup>과 모멘트법을 이용한다. LPDA에서 소자의 반경이 길이 및 파장에 비하여 매우 작고, 전류가 소자의 축 방향으로만 흐른다고 가정하면 다음과 같은 전류  $I(s')$ 에 대한 적분방정식으로 나타낼 수 있다<sup>[9],[10]</sup>.

$$j\omega \epsilon E_s^i = \int_L I(s') \left( \frac{\partial^2}{\partial s \partial s'} - k^2 \right) \cdot G(s, s') ds' \quad (6)$$

여기서,  $G(s, s') = e^{-jkR} / 4\pi R$ ,  $R$ 은 source 점  $s'$ 와 관측점  $s$ 사이의 거리,  $E_s^i$ 는 입사전계의 접선성분이다.

모멘트법을 이용하여 MLPDA의 전류분포를 해석하기 위해서 그림 1의 영상안테나를 포함하여 각 소자를  $P$  개의 미소 다이폴 소자로 분할하고 안테나의 전류를 총  $2N \times P$ 개의 구분적 정현파 전개함수(piecewise sinusoidal expansion function)를 이용하여 다음과 같이 나타낸다.

$$I(s') = \sum_{n=1}^{2N \times P} I_n B_n \quad (7)$$

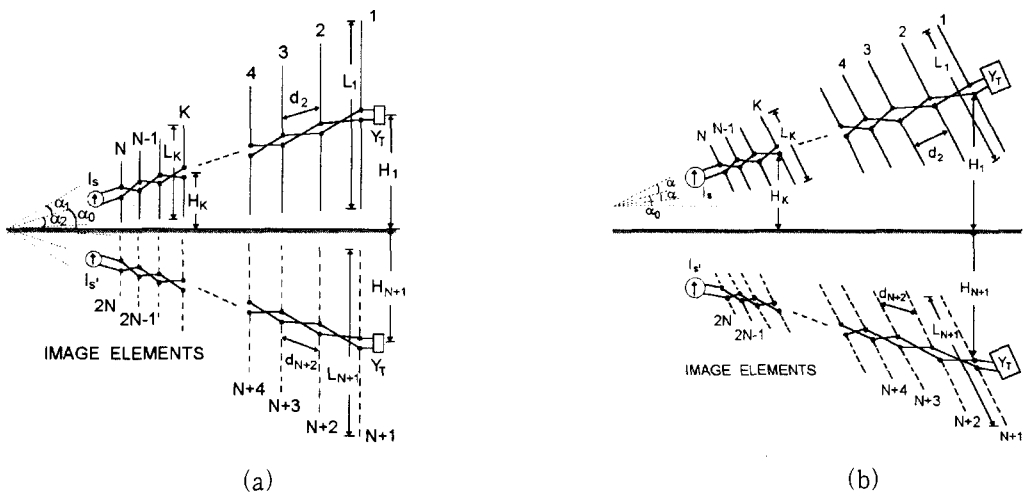


그림 1. 안테나 구조 (a) 수직 MLPDA (b) 수평 MLPDA

Fig. 1. Antenna geometry. (a) Modified vertical LPDA. (b) Modified horizontal LPDA.

$$B_n = \begin{cases} \frac{\sin ks'}{\sin kd_{n-1}} & , 0 \leq s' \leq d_{n-1} \\ \frac{\sin k(d_n - s')}{\sin d_n} & , 0 \leq s' \leq d_n \end{cases} \quad (8)$$

여기서,  $I_n$ 은 미지의 전류계수이고,  $d_n$ 과  $d_{n-1}$ 은 그림 2에 나타난 것처럼  $n$ 번째 미소 다이폴의 상하도체의 길이를 나타낸다. 식 (6)에 식 (7)을 대입하고 전개함수와 동일한 가중함수(weighting function)로 내적을 취하면 다음과 같은 행렬방정식으로 나타낼 수 있다.

$$[Z_{mn}][I_n] = [V_m] \quad (9)$$

$(m, n = 1, 2, 3, \dots, 2N \times P)$

여기서  $[Z_{mn}]$ 은 임피던스 행렬로 다음과 같이 주어진다.

$$Z_{mn} = \int_0^{d_{m-1}} \frac{\sin ks}{\sin kd_{m-1}} E_m ds + \int_0^{d_n} \frac{\sin k(d_m - s)}{\sin kd_m} E_m ds \quad (10)$$

$$E_m = \frac{30}{j \sin kd_{n-1}} \cdot \left( \frac{e^{-jkR_{n-1}}}{R_{n-1}} - \cos kd_{n-1} \frac{e^{-jkR_n}}{R_n} \right) + \frac{30}{j \sin kd_n} \cdot \left( \frac{e^{-jkR_{n+1}}}{R_{n+1}} - \cos kd_n \frac{e^{-jkR_n}}{R_n} \right) \quad (11)$$

여기서  $R_{n+1}$ ,  $R_n$ ,  $R_{n-1}$ 은 그림 2에 나타내었다.

MLPDA는 안테나 소자계와 급전선로계가 서로 병렬로 연결되어 있고 모든 소자의 중앙에서 교차 급전되므로 두 개의 2N-포트 회로망의 병렬연결로 생각할 수 있다. 하나의 2N-포트 회로망은 다이폴 소자들의 상호결합을 나타내고 다른 2N-포트 회로

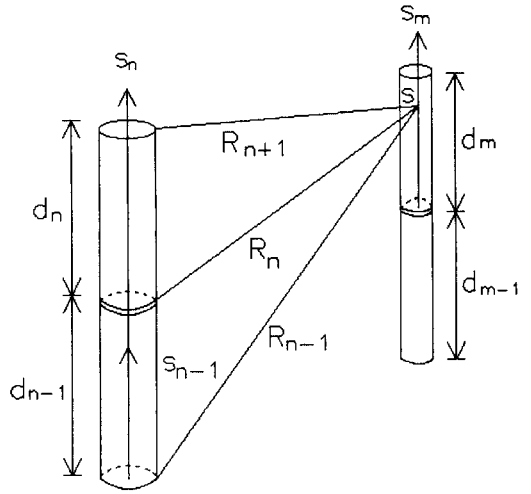


그림 2. 미소소자와 좌표계  
Fig. 2. Wire segment and coordinate.

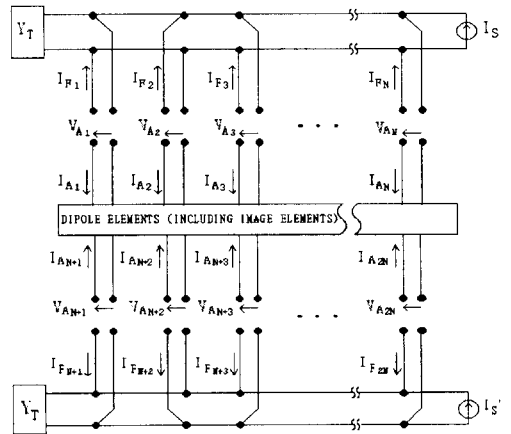


그림 3. 등가회로  
Fig. 3. Equivalent circuit.

망은 다이폴을 연결하는 전송선로를 나타낸다. 따라서 그림 1을 그림 3과 같이 등가회로로 나타낸다.

그림 3에서 안테나의 소자들이 평행 급전선과 병렬 연결되어 있으므로 다음의 관계가 성립한다.

$$[I_S] = [I_A] + [I_F] = [[Y_A] + [Y_F]][V_A] \quad (12)$$

여기서,  $[I_s]$ 는 인가전류원으로서  $N$ 번째 원소와 영상전류원으로서  $2N$ 번째 원소를 제외하고는 모두 0이다.  $[Y_A]$ 는 각 다이폴 소자의 급전부에 대한  $(2N \times 2N)$ 차원의 어드미턴스 행렬로서  $[Y_{mn}] = [Z_{mn}]^{-1}$ 에서 각 소자의 중심에 있는 미소 다이폴의 상호결합과 관련된 원소이다.  $[Y_F]$ 는 다이폴 소자와 평행 급전선이 연결된 위치에서 평행 급전선으로 들여다 본 어드미턴스 행렬로 전송선로에 대한 어드미턴스 파라미터 관계를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$[Y_F] = \begin{bmatrix} [Y'_F] & [0] \\ [0] & [Y'_F] \end{bmatrix} \quad (13)$$

식 (13)에서 행렬  $[0]$ 의 원소는 모두 0이다. 전송선로의 어드미턴스 행렬  $[Y'_F]$ 는 다음과 같은 행렬로 주어진다<sup>[1],[5],[9],[10]</sup>.

$$[Y'_F] = \begin{bmatrix} Y_T - jY_0 \cot \beta d_1 & -jY_0 \csc \beta d_1 & & & \\ -jY_0 \csc \beta d_1 & -jY_0(\cot \beta d_1 + \cot \beta d_2) & & & \\ 0 & -jY_0 \csc \beta d_2 & & & \\ \dots & \dots & & & \\ 0 & 0 & & & \\ & & 0 & \dots & 0 \\ & & -jY_0 \csc \beta d_2 & \dots & 0 \\ -jY_0(\cot \beta d_2 + \cot \beta d_3) & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & -jY_0 \csc \beta d_{N-1} & -jY_0 \cot \beta d_{N-1} & & \end{bmatrix} \quad (14)$$

식 (13)에서  $Y_0$ 는 전송선로의 특성어드미턴스,  $\beta$ 는 전송선로의 전파정수,  $d_1, d_2, \dots$ 는 다이폴 소자들 사이의 간격,  $Y_T$ 는 부하어드미턴스이다. 또한 식 (12)의 전류행렬  $[I_s]$ 의  $N$ 번째 원소  $I_s$

와  $2N$ 번째 원소  $I_s$ 는 급전전류 및 영상전류로 다음과 같은 관계가 있다<sup>[5]</sup>.

$$I_s = \begin{cases} \Gamma_V(0) I_s & : \text{수직 LPDA} \\ \Gamma_H(0) I_s & : \text{수평 LPDA} \end{cases} \quad (15)$$

여기서,  $\Gamma_V(0)$ 와  $\Gamma_H(0)$ 는

$$\Gamma_V(\theta) = \frac{\cos \theta - \left(\frac{k}{k'}\right) \left\{1 - \left[\left(\frac{k}{k'}\right) \sin \theta\right]^2\right\}^{1/2}}{\cos \theta + \left(\frac{k}{k'}\right) \left\{1 - \left[\left(\frac{k}{k'}\right) \sin \theta\right]^2\right\}^{1/2}} \quad (16)$$

$$\Gamma_H(\theta) = \frac{\cos \theta - \left(\frac{k'}{k}\right) \left\{1 - \left[\left(\frac{k}{k'}\right) \sin \theta\right]^2\right\}^{1/2}}{\cos \theta + \left(\frac{k'}{k}\right) \left\{1 - \left[\left(\frac{k}{k'}\right) \sin \theta\right]^2\right\}^{1/2}} \quad (17)$$

$$k' = k \left( \epsilon_r - j \frac{18 \sigma 10^3}{f_{MHz}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

에서  $\theta=0$ 일 때의 대지면의 수직, 수평편파에 대한 반사계수이다<sup>[5]</sup>. 식 (18)에서  $k$ 는 전파정수,  $\epsilon_r$ 는 대지의 비유전율,  $\sigma$ 는 대지의 도전률,  $f_{MHz}$ 는 MHz로 나타낸 주파수이다. 대지가 완전도체 ( $\sigma = \infty, k' = \infty$ )라 가정하면  $\Gamma_V(0)=1, \Gamma_H(0)=-1$ 이 된다. 식 (12)에  $[Y_A]$ 와  $[Y_F]$ 를 대입하여  $[V_A]$ 를 구한 후 이것을 전압행렬  $[V_m]$ 에 대입하여 식 (6)의 행렬방정식을 구하면 대지에 설치된 MLPDA의 전류분포  $[I_n]$ 을 구할 수 있다. 또한 MLPDA의 입력 임피던스는  $Z_{in} = V_N / I_s$ 에 의하여 계산된다. 단,  $V_N$ 은  $[V_A]$ 의  $N$ 번째 원소이다.

2-2 복사전계 및 이득

식 (9)의 행렬방정식으로부터 구한 전류분포를 이용하여 far-field의 복사전계를 구한다.

전류  $I(s')$ 에 대한 복사전계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{\theta} = -\frac{jk\eta}{4\pi r} e^{-jkr} \int_s I(s') (s_x' \cos \theta \cos \phi + s_y' \cos \theta \sin \phi - s_z' \sin \theta) \cdot e^{jk(x' \sin \theta \cos \phi + y' \sin \theta \sin \phi + z' \cos \theta)} ds' \quad (19)$$

$$E_{\phi} = -\frac{jk\eta}{4\pi r} e^{-jkr} \int_s I(s') \cdot (-s_x' \sin \phi + s_y' \cos \phi) \cdot e^{jk(x' \sin \theta \cos \phi + y' \sin \theta \sin \phi + z' \cos \theta)} ds' \quad (20)$$

단,  $x', y', z'$ 는 source 점의 위치를 나타내고,  $s_x', s_y', s_z'$ 는 source 점에서 전류방향에 대한 단위벡터의 성분이다.  $\eta$ 는 자유공간의 파동임피던스로  $120 \pi$ 이고,  $k$ 는 전파상수로  $2\pi/\lambda$ 이다. 식 (19)와 (20)에 식 (7)을 대입하여 대지의 반사계수를 고려하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$E_{\theta} = E_{\theta,H} + E_{\theta,V} \quad (21)$$

$$E_{\phi} = E_{\phi,H} + E_{\phi,V} \quad (22)$$

단,

$$E_{\theta,H} = -\frac{jk\eta}{4\pi r} e^{-jkr} \sum_{n=1}^{N \times P} I_n \cdot \left\{ \int_0^{d_n} \frac{\sin k(d_n - s')}{\sin kd_n} \cdot (s'_{xn} \cos \theta \cos \phi + s'_{yn} \cos \theta \sin \phi) \cdot e^{jk(x'_n \sin \theta \cos \phi + y'_n \sin \theta \sin \phi + z'_n \cos \theta)} ds' + \int_0^{d_{n-1}} \frac{\sin ks'}{\sin kd_{n-1}} \right.$$

$$\cdot (s'_{xn-1} \cos \theta \cos \phi + s'_{yn-1} \cos \theta \sin \phi) \cdot e^{jk(x'_{n-1} \cos \theta \cos \phi + y'_{n-1} \sin \theta \sin \phi + z'_{n-1} \cos \theta)} ds' \cdot (1 - \Gamma_v(\theta) e^{-jk2H_n \cos \theta}) \quad (23)$$

$$E_{\theta,V} = -\frac{jk\eta}{4\pi r} e^{-jkr} \sum_{n=1}^{N \times P} I_n \cdot \left\{ \int_0^{d_n} \frac{\sin k(d_n - s')}{\sin kd_n} (-s'_{zn} \sin \theta) \cdot e^{jk(x'_n \sin \theta \cos \phi + y'_n \sin \theta \sin \phi + z'_n \cos \theta)} ds' + \int_0^{d_{n-1}} \frac{\sin ks'}{\sin kd_{n-1}} (-s'_{zn-1} \sin \theta) \cdot e^{jk(x'_{n-1} \cos \theta \cos \phi + y'_{n-1} \sin \theta \sin \phi + z'_{n-1} \cos \theta)} ds' \right\} \cdot (1 + \Gamma_v(\theta) e^{-jk2H_n \cos \theta}) \quad (24)$$

$$E_{\phi,H} = -\frac{jk\eta}{4\pi r} e^{-jkr} \sum_{n=1}^{N \times P} I_n \cdot \left\{ \int_0^{d_n} \frac{\sin k(d_n - s_n')}{\sin kd_n} \cdot (-s_{xn}' \sin \phi + s_{yn}' \cos \phi) \cdot e^{jk(x'_n \sin \theta \cos \phi + y'_n \sin \theta \sin \phi + z'_n \cos \theta)} ds' + \int_0^{d_{n-1}} \frac{\sin k(s_{n-1}')}{\sin kd_{n-1}} \cdot (-s_{xn-1}' \sin \phi + s_{yn-1}' \cos \phi) \cdot e^{jk(x_{n-1}' \sin \theta \cos \phi + y_{n-1}' \sin \theta \sin \phi + z_{n-1}' \cos \theta)} ds' \right\} \cdot (1 + \Gamma_H(\theta) e^{-j2kH_n \cos \theta}) \quad (25)$$

$$E_{\phi,V} = 0 \quad (26)$$

여기서,  $s'_{xn}, s'_{yn}, s'_{zn}$ 은  $n$ 번째 분할점을 원점으로 하는 좌표계에서 source점으로 향하는 단위 벡터성분,  $x'_n, y'_n, z'_n$ 은 좌표중심에서  $n$ 번째 미소소자의 source 점의 위치,  $H_n$ 은 대지면으로부터  $n$ 번째 미소소자까지의 높이이다. 또한 안테나 지향성이득은 다음 식으로부터 구해진다.

손실이 있는 대지 위의 대수주기 다이폴 안테나 해석

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi r^2}{\eta} \frac{|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2}{\text{Re}\{V_N I_s^*\}} \quad (27)$$

### III. 수치계산 및 결과

여기서는 손실이 있는 대지 위의 LPDA와 MLPDA에 대하여 모멘트법을 이용하여 안테나 높이, 매질의 종류, 안테나 경사각에 따라 안테나 복사특성을 수치계산하고 그 특성을 비교·검토한다.

#### 3-1 자유공간의 LPDA

자유공간에 놓여진 LPDA의 복사패턴을 모멘트법을 이용하여 수치계산한다. 안테나의 하한주파수는  $f_L = 10 \text{ MHz}$ , 상한주파수는  $f_H = 30 \text{ MHz}$  이고 안테나의 구조파라미터는 다음과 같다.

$$N = 12, \quad \tau = 0.87, \quad \sigma = 0.1466,$$

$$Z_T = 0, \quad Z_0 = 450 \text{ ohms},$$

$$L_k/a_k = 1000, \quad L_1 = 15 \text{ m}$$

그림 4는 주파수 10 MHz, 20 MHz, 30 MHz에서

계산된 복사패턴이다. E면 및 H면 패턴 모두 후방 로브(back lobe)를 제외하고 복사패턴이 모든 주파수에서 거의 일정하고 이득도 거의 변화가 없다.

#### 3-2 손실대지 위의 LPDA

그림 5는 자유공간에서 그림 4의 복사패턴을 갖는 LPDA가 각각 poor ground 및 sea water 위 8 m 높이에 수직으로 설치되어 있을 때 대지의 영향을 고려하여 수치계산한 복사패턴이다. poor ground는 도전률이 매우 낮은 매질로서  $\epsilon_r = 4, \sigma = 0.001 \text{ } \Omega/\text{m}$ , sea water는 도전률이 비교적 높은 매질로서  $\epsilon_r = 80, \sigma = 5 \text{ } \Omega/\text{m}$ 를 사용한다. 그림 5 (a)는 대지가 poor ground인 경우의 수직 복사패턴으로서 주파수가 증가할수록 안테나 이득이 증가하고 최대 빔 방향이 대지에 가까워지고 있다. 그림 5 (b)는 sea water 경우의 수직 복사패턴으로 주파수가 증가할수록 사이드로브 레벨이 증가하고, 최대 빔 방향이 대지면에 가까워짐을 보이고 있다. 또한 sea water의 경우가 poor ground 경우보다 다소 이득이 높게 나타난다. 이것은 sea water의 도전률이 poor ground의 도전률보다 높기 때문이다.

그림 5에서 매질을 근사화하지 않고 모멘트법을 이용한 본 논문의 계산결과와 3항 전류분포 가정

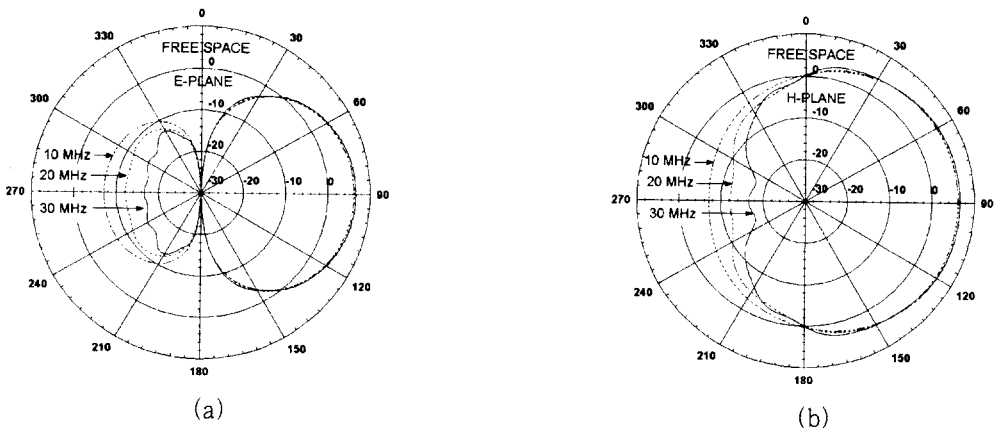


그림 4. 자유공간 내의 복사패턴. (a) E면 패턴 (b) H면 패턴

Fig. 4. Radiation pattern in free space. (a) E-plane pattern, (b) H-plane pattern.

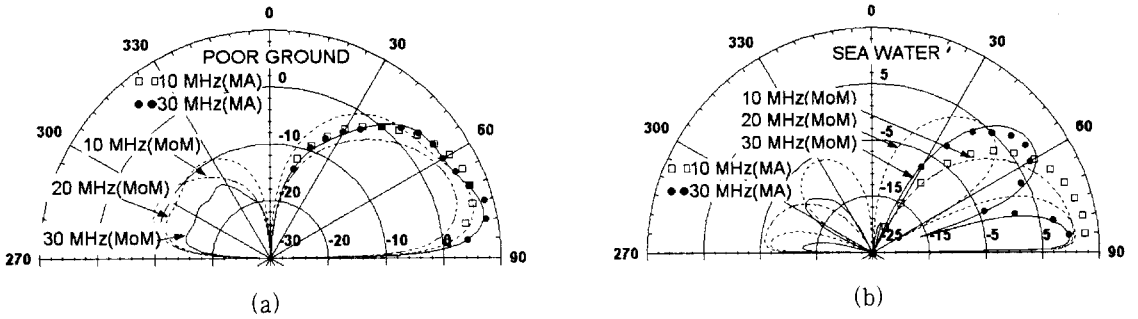


그림 5. 수직 LPDA의 복사패턴 (a) Poor ground. (b) Sea water.  
 Fig. 5. Vertical LPDA pattern. (a) Poor ground. (b) Sea water.

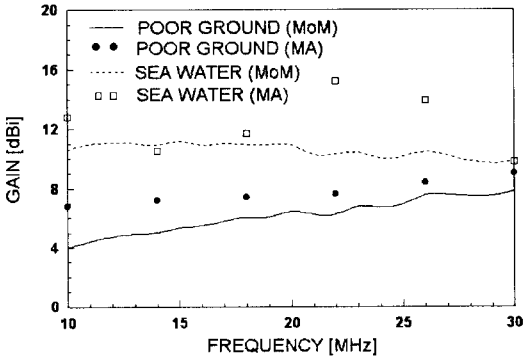


그림 6. 수직 LPDA의 이득  
 Fig. 6. Vertical LPDA gain.

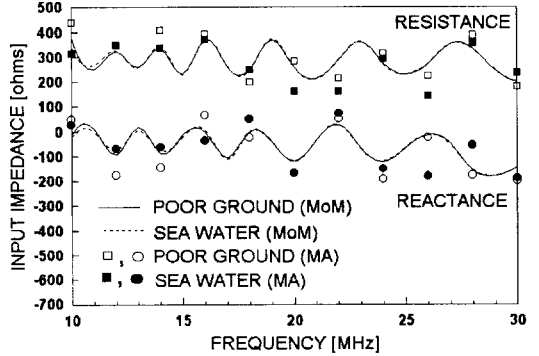


그림 7. 수직 LPDA의 입력임피던스  
 Fig. 7. Input impedance of vertical LPDA.

과 poor ground는 자유공간 sea water는 완전도체로 가정하여 계산한 M. T. MA의 계산결과 사이에 다소 차이를 보이고 있다.

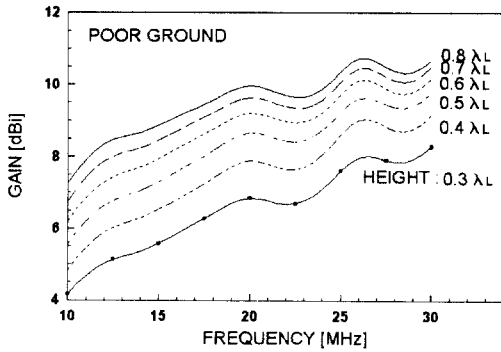
그림 6과 그림 7은 그림 5의 복사패턴을 갖는 수직 LPDA의 주파수에 따른 이득과 입력임피던스 변화를 나타낸다. 그림 5, 6, 7에서 본 논문의 계산결과와 M. T. MA의 계산결과 사이에 다소 차이를 보이고 있다. 이런 차이는 poor ground는 자유공간 sea water는 완전도체로 가정하여 계산한 M. T. MA의 방법과 매질을 근사화하지 않은 본 논문의 모멘트법에 의한 차이로 생각된다.

그림 8은 그림 4의 복사패턴을 갖는 수직 LPDA가 각각 poor ground 및 sea water 위에 설치되어 있을 때 주파수 및 안테나 높이에 따른 안테

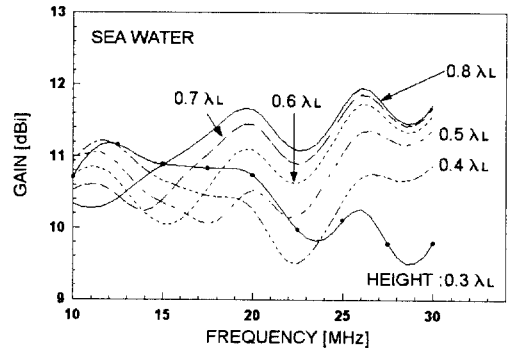
나 이득의 변화를 나타낸다. 그림에서  $\lambda_L$ 은 하한 주파수 10 MHz에 대한 파장으로 30 m이다. 그림 8 (a)는 LPDA가 poor ground 위에 놓여진 경우로서 안테나 높이가 증가할수록 또 주파수가 증가할수록 이득이 증가한다. 그림 8 (b)는 sea water 위에 안테나가 놓여진 경우로서 주파수 증가에 따라 이득이 진동을 하고, 안테나 높이가 증가함에 따라 낮은 주파수에서는 감소하고 높은 주파수에서는 증가한다. 주파수와 안테나 높이가 같을 때 poor ground보다 sea water 경우가 이득이 높게 나타난다.

그림 9는 자유공간에서 그림 4의 복사패턴을 갖는 LPDA가 각각 poor ground 및 sea water 위 8 m 높이에 수평으로 설치되어 있을 때의 복사패턴





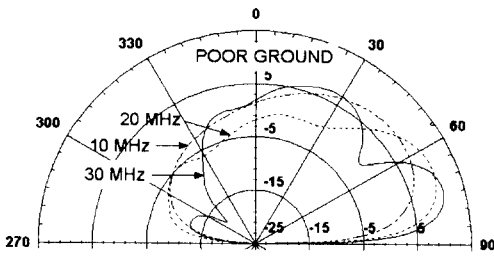
(a)



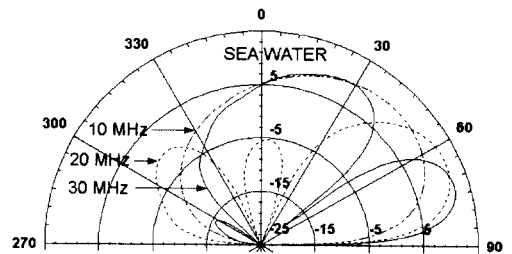
(b)

그림 8. 수직 LPDA의 이득 (a) Poor ground, (b) Sea water.

Fig. 8. Vertical LPDA gain, (a) Poor ground, (b) Sea water.



(a)



(b)

그림 9. 수평 LPDA의 복사패턴 (a) Poor ground, (b) Sea water.

Fig. 9. Horizontal LPDA pattern, (a) Poor ground, (b) Sea water.

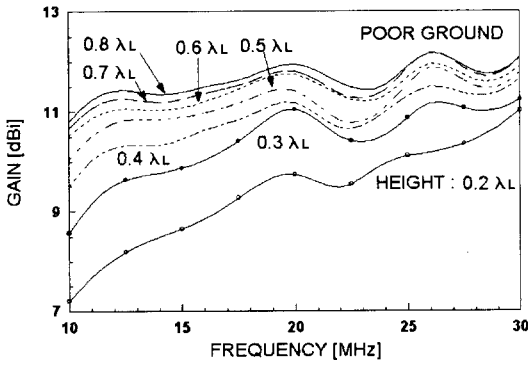
이다. 그림 9 (a)는 대지가 poor ground인 경우의 수직 복사패턴으로서 주파수가 증가할수록 안테나 이득이 증가하고 최대 빔 방향이 대지면에 가까워지고 있다. 그림 9 (b)도 sea water 경우의 수직 복사패턴으로 주파수가 증가할수록 사이드로브 레벨이 증가하고 최대 빔 방향이 대지에 가까워진다. 그림 8과 그림 9로부터 대지에 수평으로 설치된 LPDA가 수직으로 설치된 LPDA에 비하여 안테나 이득이 다소 높고 대지에 대한 수직방향의 복사가 크게 나타나며 최대 빔 방향도 다소 높게 나타남을 알 수 있다.

그림 10은 수평으로 설치된 LPDA의 주파수 및 안테나 높이 따른 안테나이득을 나타낸다. 그림 10 (a)은 poor ground의 경우로서 주파수가 증가할수

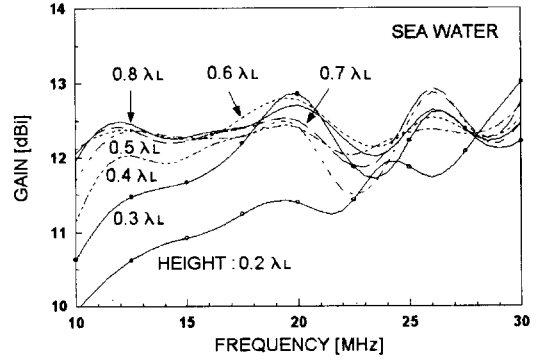
록 이득이 증가하고, 안테나 높이에 따라서도 이득이 증가하나 높이가  $0.6 \lambda_L$  이상에서는 높이에 따른 이득 변화가 매우 적게 나타난다. 그림 10 (b)는 sea water 경우로서 주파수 증가에 따라 이득이 진동을 하나 높이에 따라서는 대체적으로 증가하고 있으나 높이가  $0.6 \lambda_L$  이상에서는 안테나 높이에 따른 이득 증가가 매우 적음을 알 수 있다. 따라서 LPDA를 대지에 수평으로 설치할 경우 안테나 높이는 약  $0.5 \sim 0.7 \lambda_L$  정도의 높이가 적당하다고 생각한다.

### 3-3 손실대지 위의 MLPDA

그림 11은 대지 위에 설치된 수직 MLPDA의



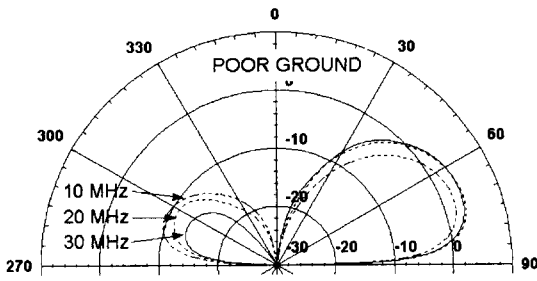
(a)



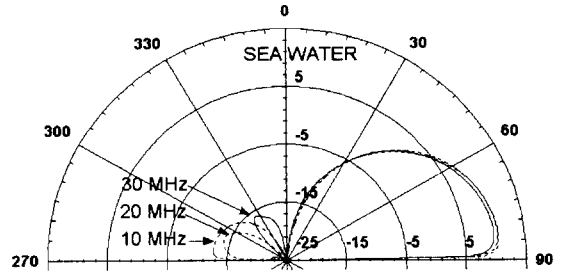
(b)

그림 10. 수평 LPDA의 이득 (a) Poor ground, (b) Sea water.

Fig. 10. Horizontal LPDA gain. (a) Poor ground, (b) Sea water.



(a)



(b)

그림 11. 수직 MLPDA의 복사패턴 (a) Poor ground, (b) Sea water.

Fig. 11. Vertical MLPDA pattern. (a) Poor ground, (b) Sea water.

복사패턴을 나타낸다. 동작주파수는 10 MHz~30 MHz이고 안테나 구조는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 N &= 12, \quad \tau = 0.87, \quad \sigma = 0.1466, \quad Z_T = 0, \\
 Z_0 &= 450 \text{ ohms}, \quad L_k/a_k = 1000, \\
 H_1 &= 7.61 \text{ m}, \quad \alpha_0 = 13^\circ, \quad \alpha_1 = 11.626^\circ, \\
 \alpha_2 &= 12.808^\circ
 \end{aligned}$$

그림 11(a)는 대지가 poor ground인 경우의 수직 복사패턴으로서 주파수 변화에 따라 복사패턴의 형상이 거의 일정하며 전방에 사이드로브가 나타나지 않는다. 그림 11 (b)의 sea water 경우도 주파수에 따른 안테나 복사패턴 형상이 거의 일정

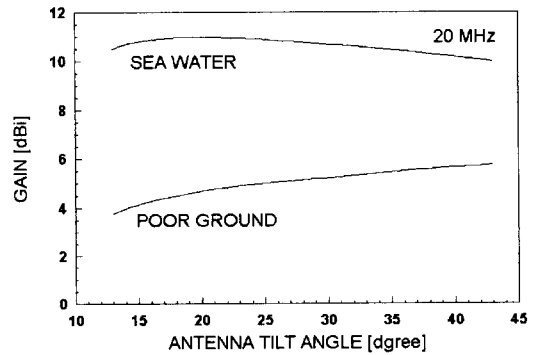


그림 12. 수직 MLPDA의 이득

Fig. 12. Vertical MLPDA gain.

하게 나타나고 있다. 또한 poor ground 경우가 sea

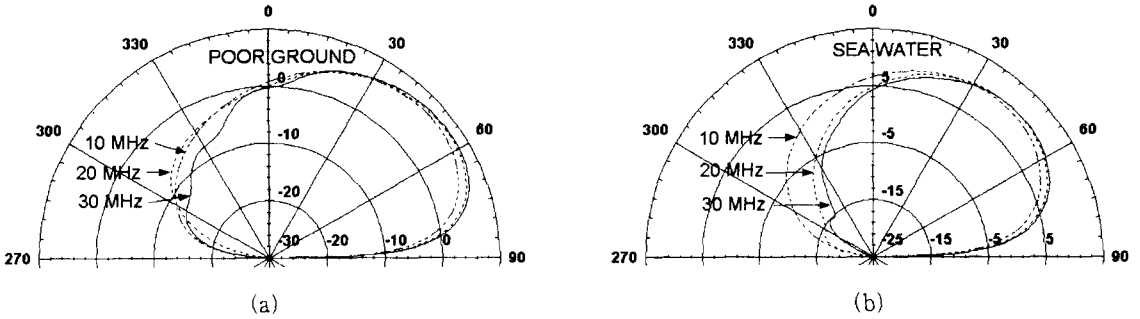


그림 13. 수평 MLPDA의 복사패턴 (a) Poor ground, (b) Sea water.  
 Fig. 13. Horizontal MLPDA pattern, (a) Poor ground, (b) Sea water.

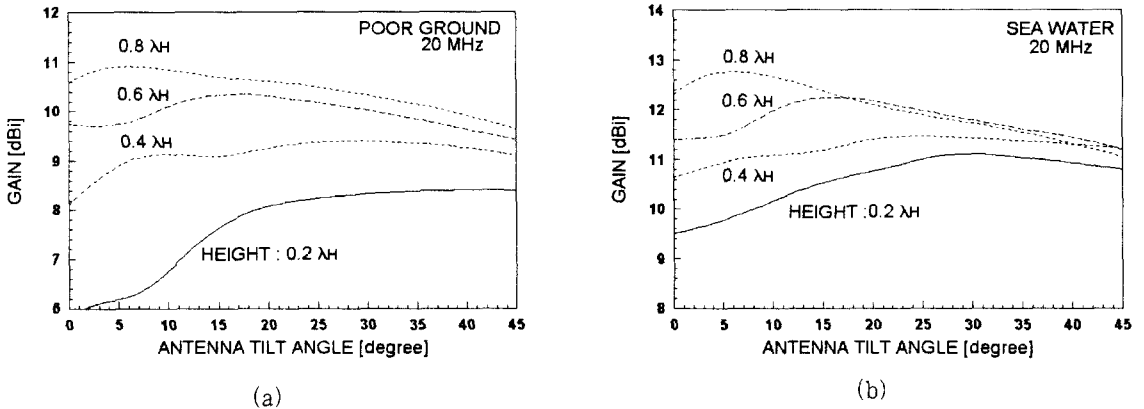


그림 14. 수평 MLPDA의 이득 (a) Poor ground, (b) Sea water.  
 Fig. 14. Horizontal MLPDA gain, (a) Poor ground, (b) Sea water.

water 경우보다 최대 빔 방향이 다소 높게 나타나고 있다.

그림 12는 대지면으로부터 가장 긴 소자의 중심점까지의 높이를  $H_1 = 7.61$  m로 고정하고 안테나의 경사각  $\alpha_0$ 를  $13^\circ$ 에서  $43^\circ$ 까지 변화시키면서 주파수 20 MHz에서 계산한 안테나 이득이다. poor ground 경우는 안테나 경사각이 증가할수록 이득이 서서히 증가하며 sea water 경우는 약간 감소한다. 또한 MLPDA가 poor ground에 놓여진 경우보다 sea water에 놓여진 경우가 약 4~6 dB 정도 이득이 높게 나타난다.

그림 13은 대지에 설치된 수평 MLPDA의 복사패턴을 나타낸다. 동작주파수는 10 MHz~30 MHz

이고 안테나 구조 파라미터는 다음과 같다.

$$N = 12, \quad r = 0.87, \quad \sigma = 0.1466, \quad Z_T = 0, \\ Z_0 = 450 \text{ ohms}, \quad L/a = 1000, \quad \alpha = 12^\circ, \\ H_{12} = 2.5 m$$

그림 13 (a)는 대지가 poor ground인 경우의 수직 복사패턴으로서 주파수 변화에 따른 복사패턴이 거의 일정하게 나타나고 사이드로브가 나타나지 않는다. 그림 13 (b)의 sea water 경우도 주파수에 따른 안테나 복사패턴 형상이 거의 일정하게 나타나고 있다. 그림 11과 그림 13으로부터 수직 MLPDA와 달리 수평 MLPDA에서는 대지에 수직

한 방향으로 복사가 많이 일어나고 있음을 알 수 있다.

그림 14는 주파수 20 MHz에서 안테나 경사각  $\alpha$  를 증가시키면서 안테나 높이에 따른 안테나 이득을 계산한 것이다. 여기서 안테나 높이는 가장 짧은 다이폴 소자의 대지에 대한 높이이다.  $\lambda_H$ 는 30 MHz에서의 파장으로 10 m이다. poor ground 경우나 sea water 경우나 모두 경사각이 증가할수록 안테나 높이에 따른 이득의 차가 좁아진다. 경사각과 안테나 높이가 같을 때에서 sea water 경우가 poor ground 경우보다 다소 이득이 높게 나타난다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 대지 위에 설치된 HF 대의 대수 주기 다이폴 안테나를 해석함으로써 대지가 복사 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 안테나 해석은 모멘트법을 사용하였고 모멘트법 사용시 대지를 자유공간이나 완전도체로 근사화하지 않고 대지의 매질 파라미터를 그대로 사용하였다. 또한 복사특성을 고찰한 안테나로는 대지에 수직 또는 수평으로 세워진 LPDA와 수직, 수평 MLPDA로서 복사 패턴과 대지의 종류, 안테나 높이, 안테나의 경사각에 따른 안테나 이득 변화를 계산하여 비교·검토하였다.

MLPDA가 LPDA보다 주파수에 따른 복사패턴 및 이득의 변화가 적고 최대 빔 방향이 다소 높게 나타났으며, 또한 LPDA의 경우 안테나 이득이 대지의 종류와 안테나의 높이에 따라 변화함을 알았고, MLPDA의 경우는 안테나의 경사각도 이득 변화에 관계하나 안테나 높이와 대지의 매질이 주로 관계함을 알 수 있었다.

본 논문의 해석방법과 계산결과는 측정에 어려움이 있는 HF 대의 LPDA와 MLPDA의 복사특성을 평가하는데 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. L. Carrel, "An analysis of the log-periodic dipole antenna", *10th Ann. Symp. USAF Antenna Res. and Dev. Prog.*, 4, Oct. 1960.
- [2] Robert H. Kyle, "Mutual coupling between log-periodic dipole antennas", *IEEE Trans. AP.* vol 18, no. 1, pp. 15-22, Jan. 1970.
- [3] G. D. Vito, G. B. Stracca, "Further comments on the design of log-periodic dipole antennas", *IEEE Trans. AP.* vol 22, no. 5, pp. 714-718, Sep. 1974.
- [4] G. D. Vito, "Influence of the earth in the HF transmission of LPD antenna", *IEEE Trans. AP.* vol. 22, no. 6, pp. 891-896, Nov. 1977.
- [5] M. T. Ma, *Theory and Application of Antenna Arrays*, John Wiley & Sons Inc., ch. 4, 5, 1974.
- [6] R. G. Fitzgerrell, "Gain measurements of vertically polarized antennas over imperfect ground", *IEEE Trans. AP.* vol. 15, no. 2, pp. 211-216, March 1967.
- [7] P. Parhami, R. Mittra, "Wire antennas over lossy half-space", *IEEE Trans. AP.* vol 28, no. 3, pp. 397-403, May 1990.
- [8] J. R. Wait, K. S. Spies, "On the radiation from a vertical dipole with inductive wire grid ground system", *IEEE Trans. AP.* vol. 18, pp. 558-560, July 1970.
- [9] W. A. Imbriale, "Application of the method of moments to thin-wire elements and arrays", *Chapter 2 in Numerical and Asymptotic Techniques in Electromagnetics*, Springer-Verlag, New York, 1975.
- [10] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna*

*Theory and Design*, John Wiely & Sons

Inc., ch. 8, 1981.

최 학 근



1979년 2월: 고려대학교 전자공학과  
(공학사)

1981년 2월: 고려대학교 대학원 전  
자공학과(공학석사)

1988년 8월: 고려대학교 대학원 전  
자공학과(공학박사)

1991년~현재: 단국대학교 전자공학

과 부교수

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파