

벤트 다이폴 안테나의 輻射 패턴 (The Radiation Patterns of Bent Dipole Antennas)

姜玟鎬*, 文尚進*

(Min Ho Kang and Sang Jin Moon)

要 約

本 論文에서는 傳播 벡터를 Dyadic Green의 함수로 誘導하여 롱 와이어 안테나의 輻射 패턴을 計算하였다. 또한 이 結果를 利用하여 幾何學的 構造에 따른 벤트 다이폴 안테나의 輻射 패턴과 편파상태를 分析하였다.

안테나의 전체 길이에 대한 수직부분의 비가 0.4일때 방위각의 회전에 대하여 메이저 앵글 및 축비가 민감하게 변화되고, 복사 전계는 안테나가 이루는 평면의 수직 방향으로 강하게 전파됨을 알 수 있다.

Abstract

In this paper, the radiation patterns of long wire antennas are computed by applying Dyadic Green's Function to the propagation vector. This result is used to analyze the polarized radiation patterns for the various geometrical structures of the bent dipole antennas.

When the ratio of the vertical portion over the total length of the bent dipole antenna is 0.4 major angle and axial ratio are changed most sensitively for the azimuth rotation, and the radiation field propagates strongly perpendicular to the bent antenna plane.

I. 序 論

Maxwell 方程式은 運動하고 있는 電荷에 依하여 電界와 磁界가 發生하는 物理的 現象을 數學的으로 表現하고 있다.^[1]

輻射체에 依한 電界와 磁界의 發生은 19세기말 Hertz, Larmor, Lienard 그리고 Wiechert 등에 依하여 數學的으로 說明되어 왔다.

Hertz는 輻射체에 따라 發生되는 電界와 磁界가 다르므로, 가장 기본이 되는 輻射체를 모델로 定하여 이 작은 모델을 Hertz 다이폴이라 불렀다.^[2]

本 論文에서는 롱 와이어 안테나를 그림 1 과 같이

2n+1개의 미소다이폴 안테나로 분할하고 분할된 미소 다이폴 안테나를 Hertz 다이폴로 가정하였다.^[3]

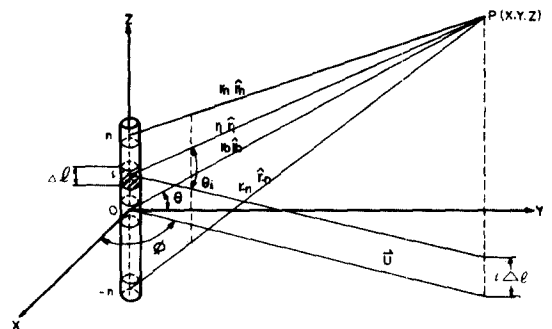


그림1. $\frac{\lambda}{2}$ 롱 와이어 안테나

Fig. 1. $\frac{\lambda}{2}$ long wire antenna.

* 正會員, 韓國電氣通信研究所

(Korea Electrical Telecommunications Research Institute)

接受日字: 1981年 12月 4日

Hertz 다이폴 안테나의 電流로 관측점의 電界를 數學的으로 表現하고, 電界方向을 명확히 결정하기 위하여 그림 1과 같이 원점에 있는 미소다이폴에서 xy 평면으로 傳播되는 평면파의 진행방향을 球座標系에 의하여 傳播單位 벡터 \hat{u} 로 나타내었다.

그리고 원점에 있는 미소다이폴에서 임의의 관측점 $P(x, y, z)$ 로 진행하는 평면파의 傳播벡터는 Dyadic 노테이션을 사용하여 傳播單位 벡터(\hat{u})와 이에 수직인 벡터(\hat{az})로 表現할 수 있다.^{[1],[2]}

롱 와이어 안테나에서는 中心 다이폴에서 xy 평면으로 진행하는 평면파의 傳播單位 벡터와 이에 수직인 電流方向의 單位 벡터를 기준좌표계로 설정하여 $2n+1$ 개의 미소다이폴에서 임의의 관측점 $P(x, y, z)$ 로 진행하는 평면파의 傳播벡터에 의하여 임의의 관측점의 電界를 나타낼 수 있으며, 그 점에서의 電界方向은 그 각각을 벡터적으로 합성함으로써 결정할 수 있다. 같은 방법을 사용하여 벡트 다이폴 안테나의 幾何學的 構造에 따른 輻射패턴과 편파상태를 韓國電氣通信研究所의 사이버 173 컴퓨터에 의하여 計算하였다.

本 論文에서는 傳播벡터를 Dyadic Green의 함수에서 誘導하여 롱와이어 안테나 및 벡트 다이폴 안테나의 構造에 따른 輻射패턴과 편파상태를 간단 명료하게 해석할 수 있음을 보였다. 이 방법은 임의 형태의 안테나 및 공간 어레이 안테나의 輻射패턴 및 편파상태 해석에도 적용할 수 있다.

II. 롱 와이어 안테나의 輻射 패턴

롱 와이어 안테나의 輻射패턴을 計算하기 위하여 안테나를 그림 1과 같이 $2n+1$ 개의 미소다이폴 안테나로 분할하였다. 그리고 분할된 미소다이폴의 電流密度를 $\vec{J}(i\Delta\ell) = ci \hat{a} z \delta(x) \delta(y)$ 로 가정하였다.

여기서 \hat{az} 는 z방향의 單位 벡터이다. 그림 1에서 관측점 $P(x, y, z)$ 의 電界는 $2n+1$ 개의 미소다이폴 안테나에 의한 電界를 중첩하여 求할 수 있다. 그림 1과 같이 원점에 있는 미소다이폴 안테나를 롱 와이어 안테나의 중심 다이폴이라 하면 중심다이폴의 傳播單位 벡터는 다음과 같이 表現할 수 있다.

$$\vec{U} = \cos\phi \hat{ax} + \sin\phi \hat{ay} \tag{1}$$

여기서 \hat{ax} 및 \hat{ay} 는 각각 x 및 y방향의 單位 벡터이다. 그림 1과 (1)식에 의하여 i번째 미소다이폴에서 관측점 $P(x, y, z)$ 까지의 距離벡터는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$r_i \hat{r}_i = r_0 \cos\theta_i \hat{u} + \{ r_0 \sin\theta_i - i\Delta\ell \} \hat{az} \tag{2}$$

여기서 \hat{r}_i 는 i번째 미소다이폴에서 관측점으로 향하는 單位 벡터, $\Delta\ell$ 은 미소다이폴의 크기, θ_i 는 \hat{r}_i 와 傳播單位 벡터 \vec{U} 가 이루는 각이다.

그림 1에서 傳播벡터 \vec{U} 方向에 대하여 θ_i 만큼 회전한 관측점 $P(x, y, z)$ 方向으로 향하는 i번째 미소다이폴의 傳播벡터는 다음과 같다.

$$\vec{K}_i = k \cos\theta_i \hat{u} + k \sin\theta_i \hat{az} \tag{3}$$

그림 1에서 i번째 미소다이폴에 의한 관측점 $P(x, y, z)$ 의 電界를 (2) 및 (3)에 의하여 다음과 같이 Dyadic Green의 함수로 나타낼 수 있다.^{[4],[5]}

$$\vec{E}_i(r) = jwu \left(\Pi + \frac{\nabla\nabla}{k^2} \right) \cdot \int_v \frac{e^{jk_i \cdot r_i} \hat{r}_i}{4\pi r_i} \vec{J}(i\Delta\ell) dv \tag{4}$$

여기서 w 는 각 주파수이고, μ 는 자유 공간의 투자율, $\vec{J}(i\Delta\ell)$ 은 i번째 미소다이폴 안테나의 電流密度이며, $\Pi (= \hat{ax}\hat{ax} + \hat{ay}\hat{ay} + \hat{az}\hat{az})$ 는 단위다이아딕 함수이다.

그림 1에서 롱 와이어 안테나의 직경이 미소다이폴의 길이에 비하여 매우 작다고 하면 i번째 미소다이폴 안테나에 의한 관측점 $P(x, y, z)$ 에서의 電界輻射벡터 \vec{R}_i 는 (4)에 의하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\vec{R}_i = \int_{-\frac{\Delta\ell}{2}}^{\frac{\Delta\ell}{2}} \frac{e^{jk_i \cdot r_i} \hat{r}_i}{4\pi r_i} \vec{J}(i\Delta\ell) dz \tag{5}$$

(4)에 $\vec{J}(i\Delta\ell) = ci \hat{az} \delta(x) \delta(y)$ 와 (2), (3)을 대입하여 輻射 벡터를 傳播方向과 관측점 $P(x, y, z)$ 사이의 기하학적인 관계 및 미소다이폴 안테나의 위치와 관측점 사이의 기하학적인 관계를 α, β 로 表現하면 (5)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\vec{R}_i = \frac{ci\Delta\ell \sin\alpha \left(\frac{k\beta}{2} \right)}{4\pi r_i} e^{-jk_i r_0 x + j\beta z} \hat{az} \tag{6}$$

여기서 $\alpha = \cos\theta \cos\theta_i + \sin\theta \sin\theta_i$,

$$\beta = \Delta\ell \sin\theta_i,$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{r \sin\theta - i\Delta\ell}{r \cos\theta} \right),$$

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 로 傳播상수이다.

그림 1에서 i번째 미소다이폴 안테나에 의하여 복사되

는 관측점 $p(x, y, z)$ 의 電界輻射條件^[2]은 다음과 같다.

$$\lim_{r_i \rightarrow \infty} r_i [\nabla \times (\vec{E}_i) - \vec{j}k_i \times (\vec{E}_i)] = 0 \quad (7)$$

(7)에 의하여 얻은 관계식 $(\nabla = \vec{j}k_i)$ 을 式(4)에 대입하여 관측점 $p(x, y, z)$ 의 電界를 計算하면 다음과 같다.

$$\vec{E}_i = jw\mu [(1 - (\vec{U} \cos \theta_i + az \sin \theta_i) (\vec{U} \cos \theta_i + az \sin \theta_i)) \vec{R}_i \quad (8)$$

(8)은 다이아틱 함수의 정의에 의하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\vec{E}_i = jw\mu [(1 - \sin^2 \theta_i) a_z - (\cos \theta_i \sin \theta_i) \vec{U}] R_i \quad (9)$$

여기서 R_i 는 輻射벡터의 크기이다.

기준좌표계에 의하여 (9)式的 a_z 성분을 電界의 수직 성분, a_y 성분을 電界의 수평 성분으로 정의하면 i 번째 미소다이폴에 의한 관측점 $p(x, y, z)$ 의 電界의 수직 성분과 수평 성분은 다음과 같이 表現할 수 있다.

$$E_{vi} = \vec{E}_i \cdot a_z = jw\mu (1 - \sin^2 \theta_i) R_i \quad (10)$$

$$E_{hi} = \vec{E}_i \cdot a_y = -jw\mu \cos \theta_i \sin \theta_i R_i (\vec{u} \cdot a_y) \quad (11)$$

여기서 E_{vi} 및 E_{hi} 는 i 번째 미소다이폴에서 복사되는 관측점 $p(x, y, z)$ 의 수직 및 수평 전계 성분이다.

(10) 및 (11)에 의하여 $2n+1$ 개의 미소다이폴 안테나에 의한 관측점 $p(x, y, z)$ 의 수직 및 수평 전계 성분을 각각 벡터 합성하여 表現하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E_v = \sum_{i=-n}^n jw\mu (1 - \sin^2 \theta_i) R_i \quad (12)$$

$$E_h = \sum_{i=-n}^n -jw\mu \cos \theta_i \sin \theta_i R_i (\vec{u} \cdot a_y) \quad (13)$$

III. 벤트 다이폴 안테나의 輻射 패턴

그림 2와 같이 벤트 다이폴 안테나는 수평 다이폴 안테나와 수직 다이폴 안테나로 構成되어 있으며, 이 안테나의 電流分布는 그림 3과 같다.^[6]

그림 2에서 수직 다이폴의 電流方向單位 벡터 a_z , 수평 다이폴의 電流方向單位 벡터 a_y , 수직다이폴의 傳播單位 벡터 \vec{U}_1 , 수평다이폴의 傳播單位 벡터 \vec{U}_2 에 의하여 기준좌표계를 정할 수 있다. 그러므로 관측점 $p(x, y, z)$ 의 電界는 벤트 다이폴 안테나를 구성하고 있는 수

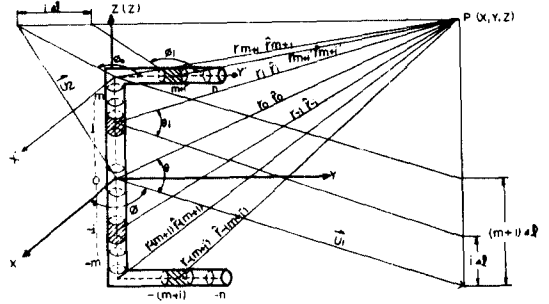


그림 2. 벤트 다이폴 안테나의 구조
Fig. 2. The structure of bent dipole antennas.

직 다이폴에 의한 電界와 수평다이폴에 의한 電界를 (12) 및 (13)에 의하여 중첩하여 計算할 수 있다.

여기서 $z=0$ 인 xy 평면을 輻射面이라고 한다.

그림 2에서 수직다이폴에 의한 관측점 $p(x, y, z)$ 의 電界는 M 개의 미소다이폴에 의한 電界와 반사파에 의

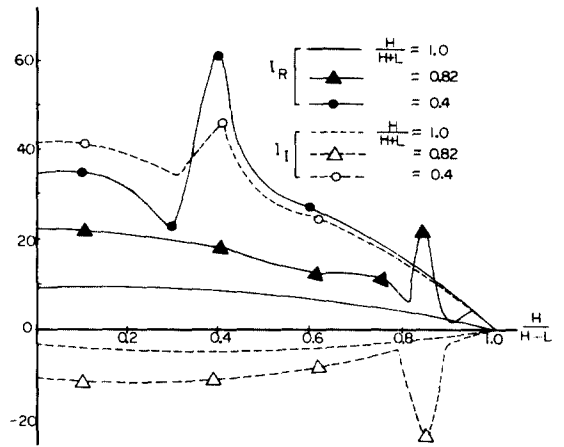


그림 3. 전체 길이가 $\frac{\lambda}{4}$ 인 벤트다이폴 안테나의 수직 부분에 따른 전류분포
(여기서 H: 안테나의 수직길이, L: 수평길이)
Fig. 3. Current distribution of an bent dipole antenna for various ratios of the vertical portion over the total length $\frac{\lambda}{4}$.
(H: Vertical portion, L: Horizontal portion)

한 電界를 (12) 및 (13)에 의하여 중첩하여 表現하면 다음과 같다.

$$E_{Vv} = \sum_{l=-m}^m j\omega\mu (1 - \sin^2\theta_l) R_{Vl} \quad (14)$$

$$E_{VH} = \sum_{l=-m}^m -j\omega\mu (\cos\theta_l \sin\theta_l \mathbf{u}_l \cdot \mathbf{a}_v) R_{Vl} \quad (15)$$

여기서 $\vec{U}_l = \cos\phi_l \mathbf{a}_x + \sin\phi_l \mathbf{a}_y$,
 $R_{Vl} = R_l$ 이다.

그림 2에서 수평다이폴 안테나는 x축에 대해서 수직다이폴 안테나이므로 관측점 p(x, y, z)의 電界는 수직다이폴에 의한 電界와 같은 방법으로 求할 수 있다. 그러므로 수평다이폴 안테나에 의한 관측점 p(x, y, z)의 電界는 (14), (15)에 의하여 (n-m)개의 수평 미소다이폴에 의한 電界와 반사파에 의한 電界를 중첩하여 計算할 수 있으므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E_{Hv} = \sum_{l'=-n-m}^{n-m} -j\omega\mu \cos\phi_{l'} \sin\phi_{l'} (\vec{u}_2 \cdot \mathbf{a}_z) R_{Hl'} \quad (16)$$

$$E_{HH} = \sum_{l'=-n-m}^{n-m} j\omega\mu (1 - \sin^2\phi_{l'}) R_{Hl'} \quad (17)$$

여기서 n은 벤트 다이폴 안테나에서 미소다이폴의 전체수,

$$\vec{U}_2 = \cos\theta \mathbf{a}_y + \sin\theta \mathbf{a}_z,$$

$$R_{Hl'} = \frac{c_l' \Delta l \sin\left(\frac{K\beta'}{2}\right)}{4\pi r_{l'}} e^{jk(r_{z(m+1)} \alpha' + l' \beta')}$$

$$\alpha' = \cos\phi_0 \cos\phi_{l'} + \sin\phi_0 \sin\phi_{l'},$$

$$\beta' = \Delta l \sin\phi_{l'},$$

$$\phi_{l'} = \tan^{-1} \frac{r_{z(m+1)} \sin\phi_0 - i' \Delta l}{r_{z(m+1)} \cos\phi_0}$$

$$\phi_0 = \tan^{-1} \frac{r_0 \sin\phi' - (m+1) \Delta l}{r_0 \cos\phi'}$$

$$\phi' = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \sin^2\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)^2 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)}}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)^2 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)}$$

이다.

그림 2에서 벤트 다이폴 안테나에 의한 관측점 p(x, y, z)의 電界는 수직 다이폴에 의한 電界와 수평 다이폴에 의한 電界의 중첩이라고 생각할 수 있으므로 (14), (15), (16), (17)에 의하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E_v = E_{Vv} + E_{Hv} = D_1 e^{jk(\alpha r_0 + i\beta)} + D_2 e^{jk(r_{z(m+1)} \alpha' + i' \beta')} \quad (18)$$

$$E_H = E_{VH} + E_{HH} = D_3 e^{jk(\alpha r_0 + i\beta)} + D_4 e^{jk(r_{z(m+1)} \alpha' + i' \beta')} \quad (19)$$

여기서 $D_1 = \sum_{l=-n-m}^m j\omega\mu (1 - \sin^2\theta_l) \frac{c_l \Delta l \sin\left(\frac{K\beta}{2}\right)}{4\pi r_l}$

$$D_2 = \sum_{l'=-n-m}^{n-m} -j\omega\mu \cos\phi_{l'} \sin\phi_{l'} \frac{c_l' \Delta l \sin\left(\frac{K\beta'}{2}\right)}{4\pi r_{l'}}$$

$$D_3 = \sum_{l=-n-m}^m -j\omega\mu \cos\theta_l \sin\theta_l \frac{c_l \Delta l \sin\left(\frac{K\beta}{2}\right)}{4\pi r_l}$$

$$D_4 = \sum_{l'=-n-m}^{n-m} j\omega\mu (1 - \sin^2\phi_{l'}) \frac{c_l' \Delta l \sin\left(\frac{K\beta'}{2}\right)}{4\pi r_{l'}}$$

이다.

IV. 벤트 다이폴 안테나의 편파상태 (Polarization State)

그림 2에서 벤트 안테나의 기하학적 구조와 관측점 p(x, y, z) 사이의 기하학적인 파라미터 η, ξ, η', ξ' 로 관측점 p(x, y, z)의 편파상태를 나타내기 위하여 (18), (19)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E_v = (\eta - j\xi) \quad (20)$$

$$E_H = (\eta' - j\xi') \quad (21)$$

여기서

$$\eta = D_1 \cos k(\alpha r_0 + i\beta) + D_2 \cos k(r_{z(m+1)} \alpha' + i' \beta')$$

$$\xi = D_1 \sin k(\alpha r_0 + i\beta) + D_2 \sin k(r_{z(m+1)} \alpha' + i' \beta')$$

$$\eta' = D_3 \cos k(\alpha r_0 + i\beta) + D_4 \cos k(r_{z(m+1)} \alpha' + i' \beta')$$

(20), (21)에 의하여 관측점 p(x, y, z)의 電界方向 (ψ)^[8]는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\psi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2 |E_H| |E_v| \cos \delta}{|E_H| - |E_v|} \right] \quad (22)$$

여기서 $|E_v| = \sqrt{\eta^2 + \xi^2}$,

$$|E_H| = \sqrt{\eta'^2 + \xi'^2}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\xi}{\eta} - \tan^{-1} \frac{\xi'}{\eta'}$$

수평성분의 電界가 최대가 되는 축을 主軸 (major axis)라고 하며 (22)를 利用하여 表現하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$a = \sqrt{|E_H|^2 \cos^2 \psi + |E_v|^2 \sin^2 \psi + |E_H| |E_v| \sin 2\psi \cos \delta} \quad (23)$$

수직성분의 電界가 되는 축을 從軸 (minor axis) 라고 하며 (22)를 利用하여 表現하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$b = \frac{\sqrt{|E_v|^2 \sin^2 \psi + |E_h|^2 \cos^2 \psi - |E'_h|^2 |E_v|}}{\sin 2\psi \cos \delta} \quad (24)$$

(23), (24)에 依하여 주축과 종축의 비를 축비(axialratio)라고 하며 다음과 같이 表現할 수 있다.

$$AR = \frac{b}{a} \quad 1 < AR < \infty \quad (25)$$

관측점 p(x, y, z)의 편파상태는 電界의 수직 성분과 수평 성분의 진폭과 위상차에 의하여 결정되며 $\delta=0^\circ$ 일때 선형편파, $AR \approx 1$, $0^\circ < \delta < 90^\circ$ 혹은 $90^\circ < \delta < 360^\circ$ 일때 타원편파, $AR \approx 1$, $\delta = \pm 90^\circ$ 일때 원편파가 생긴다. 그리고 $AR \approx 1$, $0^\circ < \delta < 180^\circ$ 일때 우선 타원편파, $AR \approx 1$, $180^\circ < \delta < 360^\circ$ 일때 좌선 타원편파가 생긴다.

V. 計算結果

그림 2 와 같이 벤트 다이폴 안테나의 수직부분과 수평부분의 비($\rho=M/N$)에 따른 輻射패턴과 편파상태의 計算結果는 표1, 2 및 그림 4, 5 와 같이 나타내었다.

그림 4 에서 양각 0° 일때 $\rho=1$ 즉, 수직 안테나에서는 예상대로 전방향인 수직편파 복사패턴을 보여 주고 있으며 $\rho=0.4$ 에서는 방위각 0° 및 180° 방향으로 수직편파 및 수평편파가 동시에 강하게 전파되고 있음을

보여 주고 있다. 표 1 및 2 에서는 양각 0° 일때 방위각 별 메이저 앵글의 변화를 나타내었으며 수직 안테나 ($\rho=1$)에서는 예상대로 양각에 따라 메이저 앵글(ψ)은 변화하지만 방위각(ϕ)에 따라서는 일정하다. $\rho=0.4$ 일 때에는 양각(θ)가 0° 이고 방위각(ϕ)가 0° 이면 $\psi = -33.57^\circ$, $AR=32.33$, 방위각(ϕ)가 90° 이면 $\psi=0^\circ$, $AR=\infty$ 로 되고 있음을 표 1 및 표 2 에서 알 수 있다. 그림 5 의 양각이 10° 일 때는, 양각이 0° 일 때와는 다른 복사 패턴을 보여 준다. 이 結果에 의하면 안테나의 기하학적인 파라미터 α, β 에 의하여 메이저 앵글과 축비가 민감하게 변화하고 있음을 보여 주고 있다. 그러므로 방위각(ϕ) 별 메이저 앵글(ψ)의 변화는 $\rho=1$, $\rho=0.83$ 일때 보다 $\rho=0.4$ 일 때가 아주 민감하게 변화하고 있으며 지향성도 우수하다.

그림 4, 5 및 표 1, 2 에 의하여 양각 0° 일때 방위각 0° 및 180° 방향으로 수직편파 성분 및 수평편파 성분에 의한 電界 강도가 가장 敏感하다.

그러므로 통신을 하고자 하는 물체의 수직축과 수평축이 기준좌표계에 대해서 회전하는 경우에는 수평 다이폴 안테나 혹은 수직 다이폴 안테나에 의하여 통신을 하는 것보다 벤트 다이폴 안테나를 사용함으로써 보다 원활한 통신이 가능하다는 것을 이 計算 結果에 의하여 알 수 있다.

VI. 結 論

本 論文에서는 傳播 벡터를 Dyadic Green 의 함수로

표 1. 벤트 다이폴 안테나의 이득(dB)과 범폭(degree) EV : 수직편파 EH : 수평편파

양각 θ°	1		0.83				0.4					
	EV		EH		EV		EH		EV		EH	
	이득	범폭	이득	범폭	이득	범폭	이득	범폭	이득	범폭	이득	범폭
0°	-4.84	전방향	없음	없음	-1.15	전방향	-19.21	60°	0	Star형	-1.71	60°
10°	-4.99	"	-12.52	전방향	-1.30	"	-9.21	전방향	-0.07	80°	-2.99	60°
20°	-5.45	"	-9.83	"	-1.75	"	-6.14	"	-0.49	80°	-4.53	60°
30°	-6.23	"	-8.63	"	-2.53	"	-4.93	"	-1.22	60°	-5.13	Star형
40°	-7.40	"	-8.15	"	-3.68	"	-4.47	"	-2.31	40°	-5.54	60°
50°	-9.03	"	-8.27	"	-5.29	"	-3.43	"	-3.87	40°	-7.06	전방향
60°	-11.31	"	-8.89	"	-7.57	"	-5.35	"	-6.09	40°	-6.00	"
70°	-14.69	"	-10.27	"	-10.92	"	-6.72	"	-9.00	80°	-4.43	"
80°	-20.46	"	-13.01	"	-16.78	"	-9.75	"	-10.46	80°	-2.93	"
90°	없음	없음	없음	없음	없음	없음	-19.21	"	-30	전방향	-1.70	"

표 2. 輻射 電界의 편파상태

Table 2. The polarization states of radiation field.

비례계수 (ρ) 편파상태	1			0.83			0.4		
	편 파	AR	ψ	편 파	AR	ψ	편 파	AR	ψ
방위각 (ϕ) 0°	Left	31549.44	-0.05	Right	319.09	-0.85	Left	32.33	-33.57
10°	"	"	"	"	172.10	-0.77	Right	18.43	-35.50
20°	"	"	"	"	132.23	-0.63	"	7.00	-35.20
30°	"	"	"	"	124.35	-0.46	"	4.62	-31.98
40°	"	"	"	"	137.39	0.29	"	4.03	-25.57
50°	"	"	"	Left	177.79	0.15	"	4.63	-17.35
60°	"	"	"	"	277.70	-0.05	"	7.26	-9.78
70°	"	"	"	"	575.74	-0.01	"	16.54	-4.20
80°	"	"	"	"	2220.2	-0.04	"	72.80	-0.96
90°	"	"	"	Right	∞	-0.05	Left	∞	-0.03

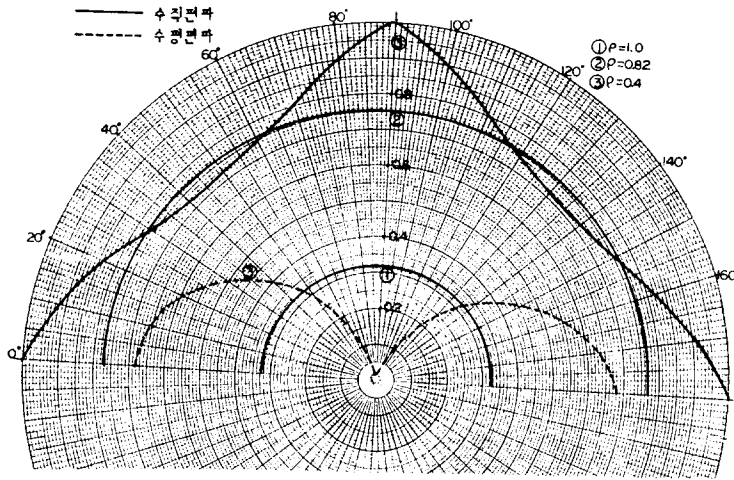


그림4. $\theta=0^\circ$ 일때 벤트 다이폴 안테나의 복사 패턴

Fig. 4. Radiation pattern of bent dipole antennas at $\theta=0^\circ$.

유도하여 미소다이폴 안테나, 봉와이어 안테나 및 벤트 다이폴 안테나의 輻射 패턴을 매우 간단 명료하게 해석할 수 있었으며, 方位角 및 양각에 따른 電界의 편파상태를 보다 명료하게 분석할 수 있었다.

벤트 다이폴 안테나의 수평전계 성분과 수직전계 성분의 비는 안테나의 기하학적 構造에 따라 변화되었다. 그리고 벤트 다이폴 안테나의 전체 길이에 대하여 수직부분의 비가 0.4일때는 방위각에 따라 메이저 앵글 및

축비가 민감하게 변화하고, 복사전계는 수평 안테나에 수직인 방향으로 강하게 輻射됨을 알 수 있다. 따라서 이 방향으로 벤트 다이폴 안테나의 電波를 받으면서 船舶이 航進할 때 롤링 및 피칭의 영향을 받지 않게 되며 指向性도 우수하다. 또한 이 計算 結果에 의하여 임의 형태의 안테나 및 공간 어레이 안테나의 輻射 패턴을 매우 간단 명료하게 계산됨을 제시하고 있다.

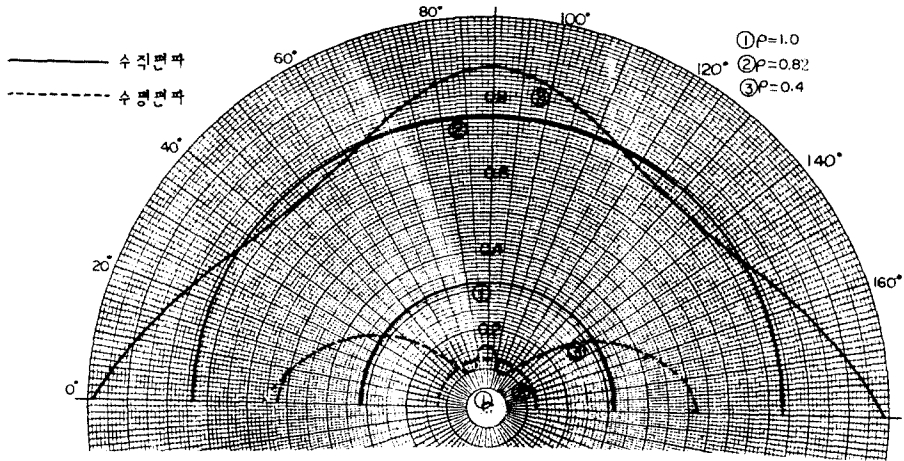


그림5. $\theta = 10^\circ$ 일때 벤트 다이폴 안테나의 복사 패턴

Fig. 5. Radiation pattern of bent dipole antennas at $\theta = 10^\circ$.

参 考 文 献

- [1] George Bekefi and Alen H. Barrett, *Electromagnetic Vibrations, Waves, and Radiation*. MIT Press, Massachusetts, pp. 151-312, 1979.
- [2] Jin Au Kong, *Theory of Electromagnetic Waves*. Wiley-Interscience Publication, Chapter 2, 3, 4, 6.
- [3] R. F. Harrington, *Field Computation by Moment Methods*. Macmillan, New York, pp. 62-70, 1968.
- [4] M. G. Andersen and R. L. Tanner, *Exact Calculation of Arbitrary Wire Antennas*. pp. 12-26.
- [5] S. Silver, *Microwave antenna theory and design*. MIT Radiation Lab. Series, McGraw-Hill, Company, Inc., New York, vol. 12. pp. 61-106, 1949.
- [6] M. H. Kang, *Numerical Calculation of the Currents in Bent Wire Antennas*. M. S. Thesis the university of Missouri-Rolla. pp. 14-27, 1973.
- [7] P. S. Theocarris and E. E. Gdoutos, *Matrix Theory of Photoelasticity*. Springer-verag, Berlin, pp. 20-44, 1979.
- [8] S. Cornbleet, *Microwave Optics*, Academic Press, New York, pp. 291-401, 1976.