

모멘트법에 의한 접힌 안테나의 특성解析 (Analysis of Folded Dipole Antenna by Moment Methods)

李 相 高*
(Lee, Sang Seol)

要 約

入力임피던스를 크게 하기 위하여 널리 사용되는 접힌 안테나의 임피던스 변환비와 주파수에 따른 입력어드미턴스의 변화모양을 Moment법에 의하여 계산했다. 계산 결과는 Guertler의 공식에 의한 것과 비교하여 이론의妥當性を 確認한다.

접힌 안테나의 입력어드미턴스는 共振周波數보다 다소 낮은 주파數에서 最大로 되고 susceptance는 周期的性質을 가져서 안테나 두 素子の 굵기가 매우 다르지 않을 때는 몇 個의 周波數에서 0으로 된다. 또한 안테나 두 素子の 굵기차가 甚할 수록 入力어드미턴스의 周波數에 對한 變化가 完滿하여 좋은 周波數 特性을 갖는다.

Abstract

The impedance step up ratio and variations of input admittances of the folded dipole antenna are calculated by the moment method. The results are compared with those calculated by Guertler's formula.

The input admittance of the folded dipole antenna has the maximum value at the frequency somewhat lower than the resonance frequency and its susceptance which has periodic property is null for several different frequencies if radius ratio of two elements is not very large. Frequency characteristic of folded dipole antenna is improved when its radius ratio is increased.

1. 序 論

접힌 안테나는 Yagi 안테나 등에서 主輻射素子の 入力임피던스를 크게 할 목적으로 널리 이용되고 있다.

이제 까지 접힌 안테나의 入力임피던스는 그의 두 素子を 같은 電流가 흐르는 等價다이폴로 생각하여 入力임피던스를 計算하고, 거기에 두 素子에 흐르는 電流비로 주어지는 임피던스 變換비를 곱하여 求했다. (1), (2)

그와 같은 解析으로는 周波數에 따른 入力임피던스의 變化나 共振周波數에서 크게 벗어난 周波數에 對한 電流分布를 알기 어렵다.

안테나의 어느 部分에 電流가 흐르면 다른 部分에 電界를 發生시키고 그 電界는 다시 電流를 흐르게 하여 다른 部分에 電界를 發生시키므로써 相互結合되어 있다는 생각에서 안테나 電流分布에 對한 微積分方程式을 세울 수 있고, 안테나를 여러 個의 작은 部分으로 分割하여 各 分割素子에서는 電流變化를 無視한다는 가정에서 微積分方程式을 行列關係式으로 變換할 수 있다. 안테나는 給電點外에는 電壓을 供給하지 않는 경우이므로 任意의 給電點에 對한 入力임피던스와 電流分布를 計算할 수 있다.

本 論文에서는 접힌 안테나의 入力임피던스가 周波數에 따라 變化하는 모양과 임피던스 變換비를 Moment法⁽³⁾으로 計算하여 Guertler 公式⁽⁴⁾에 의한 結果와 比較하므로써 理論의 妥當性を 確認한다.

*正會員, 漢陽大學校 工科大學 電子通信工學科
(Dept. of Electronic Communication Engineering,
Hanyang University)

接受日字: 1978年 2月 6日

1. 電流分布에 對한 微積分方程式

그림 1.1은 접힌 안테나의 構造를 表示한다.

안테나에 入射된 電界를 E^i , 안테나 表面電荷密度를 σ_s , 電流密度를 J_s , σ_s 와 J_s 에 依해서 誘起된 電界를 E_s 라 할 때

$$E^i = -j\omega A - \nabla\phi \quad (1.1)$$

$$A = \mu \int_s J_s \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} ds \quad (1.2)$$

$$\phi = \frac{1}{\epsilon} \int_s \sigma_s \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} ds \quad (1.3)$$

$$\sigma_s = -\frac{1}{j\omega} \nabla \cdot J_s \quad (1.4)$$

로 된다. 여기서 s 는 안테나 表面, r 은 電流點에서 電界點까지의 距離, k 는 傳播常數, μ 는 媒質의 透磁率, ϵ 는 媒質의 誘電率이다. 안테나 表面 s 에서의 境界條件,

$$n \times E^i = -n \times E^s \quad (1.5)$$

n : 表面에 垂直되는 單位 벡터

가 成立하므로 안테나素子의 길이 方向(그림 1.1에서 z 方向)에 對한 微積分方程式은 (1.1)~(1.5)에 依하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E^i = j\omega\mu_0 \int_s I(z') G(z, z') dz' + \frac{j}{\omega\epsilon_0} \frac{d}{dz} \left[\int_s \frac{dI(z')}{dz'} G(z, z') dz' \right] \quad (1.6)$$

여기서

$$G(z, z') = \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} \quad (1.7)$$

$$r = \sqrt{(z-z')^2 + a^2} \quad (1.8)$$

이다. (1.6)에서 積分은 두 素子에 對하여 行하고, (1.8)에서 a 는 電流點과 電界點이 같은 素子에 있을 때는 그림 (1.1)의 左側素子에 對하여는 a_1 , 右側素子에 對하여는 a_2 이고, 다른 素子에 있을 때는 s 이다.

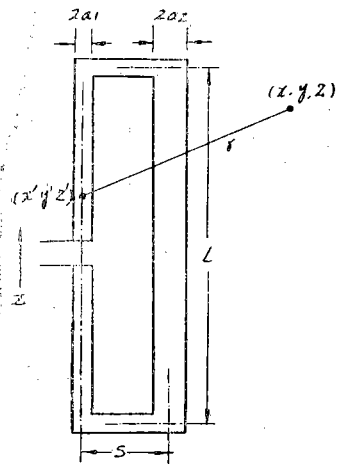


그림 1.1 접힌안테나의 構造
Fig. 1.1 Dimensions of folded dipole antenna.

2. 안테나 電流分布 및 入力임피던스

그림 2.1과 같이 안테나를 N 個의 작은 素子로 分割하여 Δl_m 을 觀測點의 素子, Δl_n 을 電流點의 素子로 한다.

(1.6)에서

$$I(z') = \sum_{n=1}^N I_n f_n, \quad f_n = \begin{cases} 1 & \Delta l_n \text{에서} \\ 0 & \Delta l_n \text{外에서} \end{cases} \quad (2.1)$$

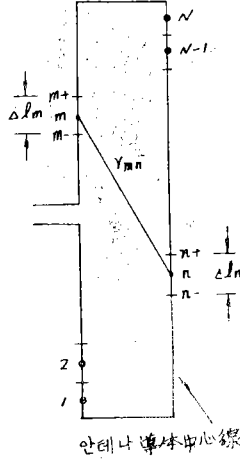


그림 2.1 안테나 分割素子
Fig. 2.1 Divided segments of antenna.

이라 놓으면 다음 式을 얻는다.

$$E^i(m) = j\omega\mu_0 \sum_n I_n \int_{\Delta l_n} G(m, n) dz' + \frac{j}{\omega\epsilon_0} \frac{d}{dz} \int_{\Delta l_n} \frac{d}{dz'} G(m, n) dz' \quad (2.2)$$

Δl_n 에서 I_n 이 一定하다고 하면

$$\frac{d}{dz'} (\sum_n I_n) \cong \sum_n \frac{I_{n+1} - I_{n-1}}{\Delta l_n}$$

므로

$$E^i(m) = j\omega\mu_0 \sum_n I_n \int_{\Delta l_n} G(m, n) dz' + \frac{j}{\omega\epsilon_0} \frac{d}{dz} \left\{ \sum_n \frac{1}{\Delta l_n} (I_{n+1} - I_{n-1}) \int_{\Delta l_n} G(m, n) dz' \right\} \quad (2.2)$$

로 된다. 그림 2.1과 같이 定義하면

$$\frac{d}{dz} \int_{\Delta l_n} G(m, n) dz' \cong \frac{1}{\Delta l_m} \left\{ \int_{\Delta l_n} G(m+, n) dz' - \int_{\Delta l_n} G(m-, n) dz' \right\}$$

이므로 (2.2)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E^i(m) = \sum_n I_n j\omega\mu_0 \int_{\Delta l_n} G(m, n) dz' + \sum_n (I_{n+1} - I_{n-1}) \cdot \frac{j}{\omega\epsilon_0} \frac{1}{\Delta l_m} \frac{1}{\Delta l_n} \cdot \left[\int_{\Delta l_n} G(m+, n) dz' - \int_{\Delta l_n} G(m-, n) dz' \right] \quad (2.3)$$

또 式을 簡單히 하기 爲하여

$$\int_{\Delta l_n} G(m, n) dz' = \phi(m, n) \quad (2.4)$$

$$\int_{\Delta l_n} G(m\pm, n) dz' = \phi(m\pm, n) \quad (2.5)$$

라 하면

$$E^i(m) = \sum_n I_n j\omega\mu_0 \phi(m, n) + \sum_n (I_{n+1} - I_{n-1}) \frac{j}{\omega\epsilon_0} \frac{1}{\Delta l_m} \frac{1}{\Delta l_n} \cdot [\phi(m+, n) - \phi(m-, n)] \quad (2.6)$$

로 된다.

V_m 을 m 番계 分割素子에 供給한 電壓이라 할 때 $V_m \cong E^i(m) \Delta l_m$ 이므로 (2.6)의 兩邊에 Δl_m 을 곱하여

$$V_m = \sum_n I_n j\omega\mu_0 \Delta l_m \phi(m, n) + \sum_n (I_{n+1} - I_{n-1}) \cdot \frac{j}{\omega\epsilon_0} \frac{1}{\Delta l_n} [\phi(m+, n) - \phi(m-, n)] \quad (2.7)$$

를 얻는다. (2.7)을 展開하여 I_n 의 係數를 함께 묶으면

$$V_m = [X(m, 1) - Y(m, 2)] I_1 + [X(m, 2) + Y(m, 1) - Y(m, 3)] I_2 + \dots + [X(m, N-1) + Y(m, N-2) - Y(m, N)] I_{N-1} + [X(m, N) + Y(m, N-1)] I_N \quad (2.8)$$

$$m=1, 2, \dots, N$$

으로 된다. 여기서

$$X(m, n) = j\omega\mu_0\Delta l_m\psi(m, n) \quad (2.9)$$

$$Y(m, n) = \frac{j}{\omega\epsilon_0} \frac{1}{\Delta l_n} [\psi(m+, n) - \psi(m-, n)] \quad (2.10)$$

이다. (2.8)에서 m 은 1에서 N 까지 變할 수 있으므로 行列로 表示하면

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{pmatrix} = [L_{mn}] \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

로 된다. 여기서 行列 $[L_{mn}]$ 은 (2.8)에서 I_n 의 係數로 이루어진 行列이다. (2.11)을 다시 쓰면

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{pmatrix} = [L_{mn}]^{-1} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

로 되어 안테나 電流分布를 計算할 수 있다. 안테나의 給電點을 m 번째 分割素子로 하면 다른 素子에는 電壓이 供給되지 않으므로

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_m \\ \vdots \\ I_N \end{pmatrix} = [L_{mn}]^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ V_m \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

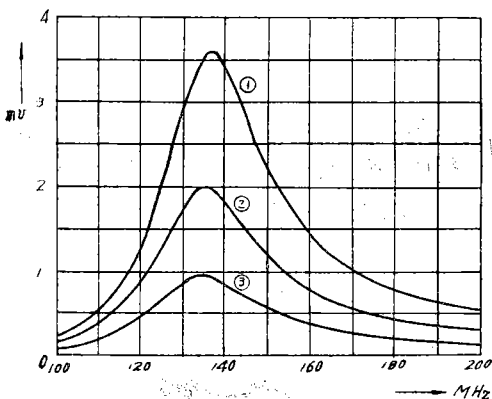
으로 된다. 따라서 給電點의 入力어드미턴스 y_m 은

$$y_m = \frac{I_m}{V_m} = l_{m1}^{-1} + l_{m2}^{-1} + \dots + l_{mN}^{-1} \quad (2.14)$$

로 주어진다. 여기서 l_{mn}^{-1} 은 $[L_{mn}]^{-1}$ 의 要素이다. 또한 안테나 두 素子 中心部の 電流를 各各, I_{a1} , I_{a2} 라 할 때 임피던스變換比 mf 는

$$mf = \frac{(I_{a1} + I_{a2})^2}{I_{a1}^2} \quad (2.15)$$

로 計算된다.



<가> 콘덕턴스

그림 3.1 안테나 入力어드미턴스의 變化
Fig. 3.1 Variations of input admittances of antennas.

3. 計算結果

위에서 展開한 理論의 妥當性을 確認하기 爲하여 안테나를 34個의 分割素子로 等分하고 周波數變化에 따른 入力어드미턴스와 임피던스變換比를 몇 個의 안테나 數值에 對하여 計算한다.

(2.13)에서 行列 $[L_{mn}]$ 의 要素를 計算하기 爲하여 (2.4)를 다시 쓰면

$$\psi(m, n) = \int_{\Delta l_n} \frac{e^{-jkr_{mn}}}{4\pi r_{mn}} dz' \quad (3.1)$$

$$r_{mn} = \sqrt{(z_m - z_n)^2 + a^2} \quad (3.2)$$

로 된다. r_{mn} 이 클 때는 Δl_n 內에서 r_{mn} 의 變化를 無視할 수 있으므로

$$\psi(m, n) \cong \Delta l_n \frac{e^{jhr_{mn}}}{4\pi r_{mn}} \quad (3.3)$$

으로 計算할 수 있다. r_{mn} 이 작을 때는 $e^{jhr_{mn}}$ 을 Maclaurin 數列로 展開하여

$$\psi(m, n) = -\frac{1}{4\pi} \int_{\Delta l_n} \left(\frac{1}{r_{mn}} - jk - \frac{1}{2} k^2 r_{mn} + \dots \right) dz'$$

으로 쓸 수 있다. 특히 $m=n$ 이고 $a \ll \Delta l_n$ 일 때 ψ 는 다음과 같이 計算된다.

$$\psi(m, n) \cong \frac{1}{2\pi} \log_e \frac{\Delta l_m}{a} - \frac{jk}{4\pi} \Delta l_m \quad (3.4)$$

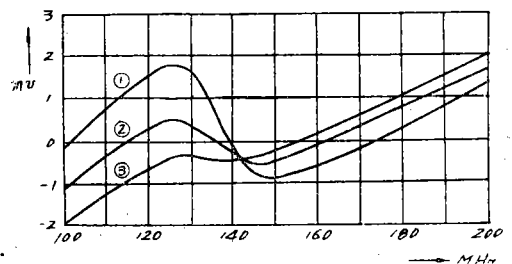
표 3.1은 임피던스變換比의 計算結果이고, 그림 3.1은 入力어드미턴스가 周波數에 따라 變化하는 모양이다.

안테나數值(波長)			임피던스 變換比	
a_1	a_2	s	Moment法	(3.5)式
0.0024	0.0024	0.019	4.0	4.0
0.0016	0.0024	0.019	4.6	4.8
0.0016	0.0032	0.019	5.3	5.7
0.0012	0.0032	0.019	5.8	6.4
0.0016	0.0016	0.0127	5.8	6.25
0.0016	0.0016	0.0095	6.4	6.9
0.0016	0.0016	0.0064	8.4	9.0

표 3.1 접힌 안테나의 임피던스變換比
Impedance step up ratio of folded dipole antenna

$$L = 1m \quad 2a = 1cm \quad s = 25cm$$

- ① $2a_z = 1cm$
- ② $2a_z = 2cm$
- ③ $2a_z = 3cm$



<나> 임피던스

접힌 안테나의 임피던스變換비를 計算하는 데 一般的으로 使用되는 近似公式⁽⁴⁾에 따르면 mf 는 다음 式으로 計算할 수 있다.

$$mf = \left(1 + \frac{\log \frac{s}{a_1}}{\log \frac{s}{a_2}} \right)^2 \quad (3.5)$$

표 3.1은 Moment法과 (3.5)에 依한 計算結果를 比較하고 있다. 안테나 두 素子の 굵기가 같을 때는 서로 一致되나 素子の 굵기차가 甚해질 수록, 또는 素子間의 距離가 적어질 수록 結果의 差가 甚해진다.

그림 3.1에서 周波數는 150MHz(共振周波數) \pm 50 MHz에서 計算하고 안테나는 素子の 굵기비가 1, 2, 3倍 되는 경우를 例로 들었다.

3. 맺는 말

Moment法에 依해서 접힌안테나의 入力임피던스變換비 및 周波數에 따른 入力어드미턴스變化가 計算되었다. 그림 3.1에 나타난 바와 같이 안테나의 入力

콘덕턴스는 共振周波數보다 다소 낮은 周波數에서 最大値를 보이고 안테나 두 素子の 굵기차가 甚할 수록 안테나 入力어드미턴스의 變化가 완만하여 좋은 周波數特性을 나타낸다.

參 考 文 獻

- 1) Leonhard, J. Mattuck, R.D., and Poté, A.J.: "Folded unipole antennas", IRE Trans., 1955, AP-3, pp. 111-117
- 2) Harrison, C.W., and King, R.W.P.: "Folded dipoles and loops", IRE Trans, 1961, AP-9, pp. 171-187
- 3) Harrington, R.F.: "Field computations by moment methods" Macmillan, 1968
- 4) Guertler, R.: "Impedance transformation in folded dipoles", IRE Proc., 38, September 1950, pp. 1042-1047