

EMI 측정용 슬리브 다이폴 안테나

(Open Sleeve Dipole Antennas for Measuring Electromagnetic Interference)

주 청현^o 박 은정 김 기채 김 이국*

(Chang-Hyun Ju EunJung Park Ki-Chai Kim Lee-Kook Kim*)

영남대학교 *경일대학교

Department of Electrical Engineering, Yeungnam University

214-1 Dae-dong, Kyeongsan, 712-749, Korea

ele0853@yumail.ac.kr, aha66@yumail.ac.kr, kckim@yu.ac.kr

Abstract

This paper presents the characteristics of antenna factors for sleeve dipole antennas with a broad bandwidth. The coupled integral equations for the unknown current distributions on each elements are derived and solved by applying Galerkin's method of moments. The flatness of antenna factor is considered by variation of the length and number of sleeve elements.

Key words : EMI antennas, sleeve dipole antenna, sleeve antenna factor

1. 서 론

최근 전기, 전자, 정보처리 장치 기술의 발달로 인하여 기기 및 시스템의 동작전류의 크기가 낮아지고, 처리신호도 아날로그에서 디지털화되었으며, 기기 내부도 고밀도와 되어가고 있다. 이에 따라 전기, 전자제품은 상호간 및 기기 내부에서 많은 전자파가 발생하고 있으며, 이로 인한 전도성 및 방사성 잡음에 대하여 내성이 강한 제품이 설계되어야한다[1,2]. 이와 같은 제품의 개발에 있어서 장해 전자파의 측정은 매우 중요하다. 장해 전자파 측정을 위한 EMI 안테나는 여러 가지 종류가 개발되어 사용되고 있으며 평가 파라미터는 안테나 인자이다. EMI 안테나의 안테나 인자에 대한 해석 결과도 여러 연구자들에 의해 보고되어 있다.

본 논문에서는 다이폴 안테나로 구성된 EMI 측정용 슬리브 안테나의 개발을 생각하고 30 ~ 300 MHz 대역에서 슬리브 소자의 길이, 개수 및 간격을 변화시켰을 때 안테나 인자의 주파수 특성에 대하여 검토하였다.

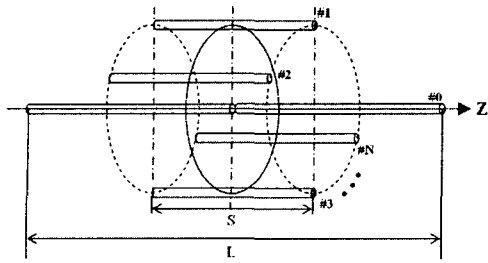
각 슬리브 소자의 상호 결합을 고려하여 다이폴 소자에 흐르는 전류분포에 관한 연립 적분방정식을 유도하고 구분적 정현함수를 사용한 Galerkin의 모멘트법[3]으로 해석하였다. 이론해석 결과, 슬리브 소자의 길이를 50 ~ 60 cm로 하였을 때와 중심 다이폴 안테나와 슬리브 소자의 간격을 10 cm 이하로 하였을 때 안테

나 인자의 평탄도 특성이 가장 양호하였으며, 슬리브 소자의 개수 변화에는 큰 차이를 나타내지 않음을 알 수 있었다.

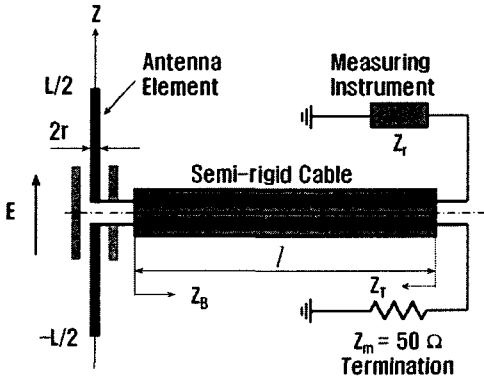
2. 슬리브 다이폴 안테나의 구조

그림 1(a)는 원형으로 배열된 슬리브 소자를 가지는 슬리브 다이폴 안테나의 구조와 좌표계를 나타내고 있다. 그림 1(b)와 같은 동축 케이블 밸런이 중심 안테나 소자의 단자에 연결되어 있으며, 길이가 L이고 반경이 r인 중심 다이폴 안테나가 Z축상에 놓여져 있다. 다이폴 안테나로부터 거리 d인 원주 상의 위치에 길이가 S인 슬리브 소자가 2개 이상 원형으로 N개가 배열되어 있다. 중심 다이폴 안테나에 급전을 하고 원주상의 슬리브 소자는 개수에 따라 각각 같은 간격으로 배열하였다.

본 논문에서는 슬리브 소자의 길이와 개수 및 중심 다이폴 안테나와의 간격을 파라미터로 하여 슬리브 다이폴 안테나 인자의 주파수 특성 변화를 검토하고 있다.



(a) 슬리브 안테나



(b) 동축 케이블 밸런

그림 1. 슬리브 다이폴 안테나의 구조.

3. 안테나 인자의 표현식

그림 1(b)와 같은 동축 케이블로 구성된 밸런이 부착된 EMI 슬리브 다이폴 안테나의 복소 안테나 인자는 다음 식으로 표현된다[5].

$$K_C = \frac{2}{h_e} \sqrt{\frac{R_a}{R_r}} \sqrt{\frac{(Z_B + Z_a)^2}{4R_a Z_B}} \sqrt{2} e^{j\beta l} \quad (1)$$

여기서, h_e 는 안테나의 유효길이, Z_a 는 안테나의 입력 임피던스이고, $Z_B (= Z_1 + Z_2 + Z_3)$ 는 동축케이블 밸런의 입력단에서 수신기 쪽을 바라본 입력 임피던스이며 Z_1 , Z_2 및 Z_3 는 다음과 같다.

$$Z_1 = Z_0 \frac{Z_r + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_r \tan \beta l} \quad (2)$$

$$Z_2 = Z_0 \frac{Z_m + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_m \tan \beta l} \quad (3)$$

$$Z_3 = 0 \quad (4)$$

여기서, Z_0 는 동축 케이블의 특성 임피던스이고 Z_r 은 수신기의 입력 임피던스이다.

4. 적분 방정식과 모멘트 법 해석

그림 1과 같이 구성된 슬리브 다이폴 안테나에 대하여, 각 다이폴 소자에 흐르는 전류분포에 관한 연립 적분방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \iint_{L_1} \bar{\bar{K}}_{m1} \cdot \bar{J}_1(z') dz' \\ & + \sum_{n=2}^N \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \iint_{L_n} \bar{\bar{K}}_{mn} \cdot \bar{J}_n(z') dz' = -V_m \delta(z) \hat{z} \\ & (m=1, 2, \dots, N) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, \bar{J}_n 은 #n 다이폴 안테나 소자의 전류분포를 나타내며, $\delta(*)$ 는 디랙의 델타함수, \hat{z} 는 z방향의 단위벡터이다. 그리고 ω 는 각주파수를 나타내며 ϵ_0 는 진공의 유전율이다. 또한, $m=1$ 일 때 $V_m=V_1$ 이고, $m \geq 2$ 일 때 $V_m=0$ 이다.

그림 1에서 Z축 상의 중심 다이폴 안테나 소자 #0를 급전하고 나머지 소자를 무급전 소자로 사용하면 식 (5)의 우변의 V_m 은 안테나 소자 #0를 제외한 나머지 슬리브 소자에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_m = -Z_L I_m(0) \quad (6)$$

여기서, Z_L 는 각 다이폴 안테나 소자의 중심 단자에 연결된 부하 임피던스이며 단자가 개방이면 $\infty \Omega$, 단락이면 0Ω 이다. 그리고 $I_m(0)$ 는 #m 안테나 소자의 장하점 전류값을 나타낸다. 본 논문에서는 $Z_L=0$ 를 선택하였다

식 (5)의 연립 적분방정식에서 적분핵 $\bar{\bar{K}}_{mn}$ 은 전류원이 전계를 생성하는 다이폴 그린함수이며 다음 식으로 주어진다.

$$\overline{\overline{K}}_{mn}(z, z') = \left(\overline{\overline{I}}k^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \cdot \overline{\overline{G}}_{mn}(z, z') \quad (7)$$

여기서 $k_0 = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$, $\overline{\overline{I}}$ 는 단위 다이애딕이며 자유 공간의 그린함수는 다음과 같다.

$$\overline{\overline{G}}_{mn}(z, z') = \hat{z} \hat{z} \frac{e^{-jkR_{mn}}}{4\pi R_{mn}} \quad (8)$$

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

연립 적분방정식 (5)의 해를 모멘트 법[3]으로 구하기 위해 각 다이폴 안테나 소자에 흐르는 전류분포를 다음과 같이 기지의 함수로 전개한다.

$$J_n(z') = \sum_{q=0}^Q I_{nq} F_{nq}(z'), (n=0, 1, 2, \dots, N) \quad (9)$$

여기서, I_{nq} 는 미지의 복소 전개계수이며, 전개함수 F_{nq} 은 다음과 같이 구분적 정현함수를 사용한다.

$$F_{nq} = \begin{cases} \frac{\sin k(z' - z'_{q-1})}{\sin k\Delta z_q} \hat{z}, & z'_{q-1} \leq z' \leq z'_q \\ \frac{\sin k(z'_{q+1} - z')}{\sin k\Delta z_q} \hat{z}, & z'_q \leq z' \leq z'_{q+1} \end{cases} \quad (10)$$

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

식 (9)를 연립 적분방정식 (5)에 대입하고 Galerkin의 방법을 적용하면 연립 적분방정식 (5)은 다음과 같은 연립 일차방정식으로 귀착된다.

$$\sum_{n=0}^N \sum_{q=1}^Q I_{nq} \tilde{Z}_{mn}^{pq} = V_{mp} \quad (m=1, 2, \dots, N \quad p, q=1, 2, \dots, Q) \quad (11)$$

여기서, 대각행렬 요소는 $\tilde{Z}_{mn}^{pq} = Z_{mn}^{pp} - Z_L$ 이고, 그 외의 행렬요소는 $\tilde{Z}_{mn}^{pq} = Z_{mn}^{pp} (p \neq q)$ 이다.

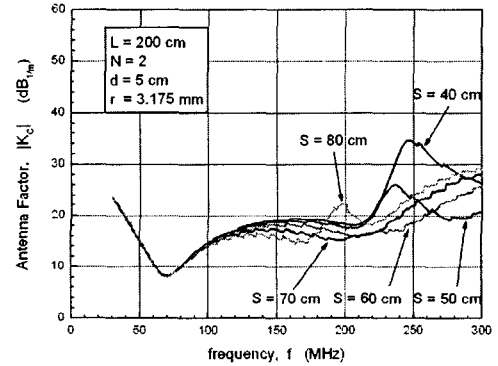
식 (11)로부터 미지의 전개계수 I_{nq} 를 구하면 식(9)로부터 각 다이폴 안테나 소자에 흐르는 전류분포를 구할 수 있으며 이로부터 안테나의 인자 특성을 계산할 수 있다. 본 논문에서는 전류분포가 충분히 수렴하는 $Q=39$ 를 선택하였다.

5. 수치 계산결과 및 검토

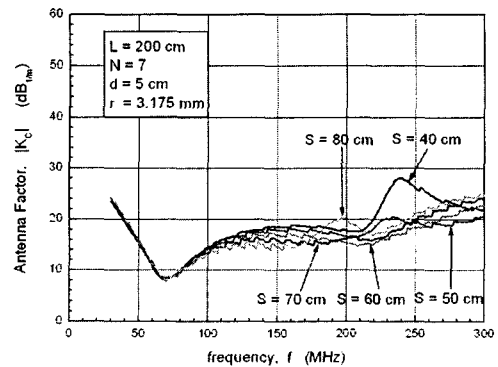
앞의 이론식을 사용하여 슬리브 다이폴 안테나의 안테나 인자 특성을 검토하였다. 본 논문에서는 주파수 영역 30 ~ 300 MHz에서 중심 다이폴 안테나의 길이를 200 cm로 선택하고, 다이폴 소자의 반경을 $r=3.175$ mm로 고정하였다.

그림 3의 (a)와 (b)는 각각 슬리브 소자의 개수를 2개와 7개로 고정하고, 슬리브 소자의 길이 S를 파라미터로 한 안테나 인자의 주파수 특성을 나타낸다. 그림 3으로부터 알 수 있는 것처럼 30 ~ 300 MHz 대역에서는 슬리브 소자의 길이가 50 cm 또는 60 cm일 때 적합한 안테나 인자 특성을 가지며, 슬리브 소자의 개수는 2개일 때 보다 7개일 때가 더 좋은 특성을 나타내고 있다.

그림 4는 슬리브 소자의 길이를 60 cm로 고정하고 중심 다이폴 소자와 슬리브 소자와의 간격 d를



(a) 슬리브 소자 2개



(b) 슬리브 소자 7개

그림 3. 슬리브 소자의 길이를 파라미터로 한 슬리브 다이폴 안테나의 안테나 인자의 주파수 특성.

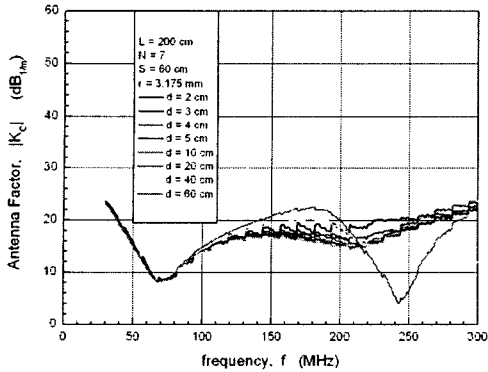


그림 4. 간격을 파라미터로 한 슬리브 다이폴 안테나의 안테나 인자의 주파수 특성.

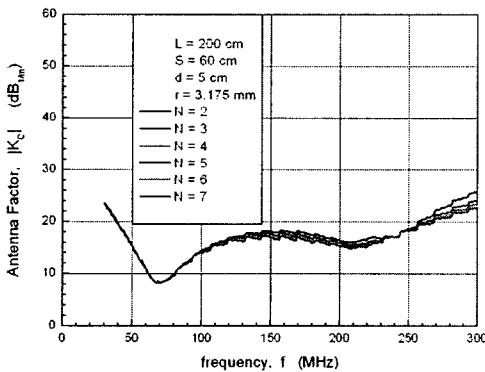


그림 5. 슬리브 소자의 개수를 파라미터로 한 슬리브 다이폴 안테나의 안테나 인자의 주파수 특성.

파라미터로 한 안테나 인자의 주파수 특성을 나타내고 있다. 그림으로부터 간격이 3 ~ 20 cm 사이에서 주파수 특성 평탄도가 개선된다는 것을 알 수 있다.

그림 5는 슬리브 소자의 길이를 60 cm, 중심 다이폴 소자와 슬리브 소자와의 거리를 5 cm로 하고, 슬리브 소자의 개수 N을 2개에서 7개로 변화시켰을 때의 안테나 인자의 주파수 특성이다. 그림 5로부터 슬리브 소자의 개수가 많아질수록 안테나 인자의 특성 변화는 있지만 평탄도 개선에는 거의 효과가 없다는 것을 알 수 있다. 즉, 그림 3과 그림 5를 비교하면 안테나 인자 특성의 평탄도는 슬리브 소자의 개수 보다는 슬리브 소자의 길이에 더 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

6. 결 론

주파수 대역 30 ~ 300 MHz 대역에서 사용하기 위한 슬리브 다이폴 안테나의 안테나 인자에 대해서 검토

하였다. 이론해석으로는 슬리브 다이폴 안테나에 흐르는 미지 전류분포에 관한 연립 적분방정식을 유도하고 적분방정식의 해를 구분적 정현함수를 사용한 Galerkin의 모멘트 법으로 구하여 계산하였다.

30 ~ 300 MHz 대역에서 사용하기 위한 슬리브 다이폴 안테나는 슬리브의 길이를 60 cm로 선택하고, 중심 다이폴 안테나와 슬리브와의 간격을 5 cm 정도로 할 경우 적절한 안테나 인자를 가지는 EMI 측정용 슬리브 다이폴 안테나를 실현할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Acknowledgment

This research was supported by the EMERC(ElectroMagnetic Environment Research center) in Chungnam National University, one of IT Research Centers.

References

- [1] CISPR-16 part 1, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods-Part 1, Radio disturbance and immunity measuring apparatus", 1993.
- [2] ANSI C63.4-1991, "American national standard methods of measurement of radio-noise emissions from low-voltage electrical and electronic equipment in the range of 9 kHz to 1 GHz", 1991.
- [3] R. F. Harrington, Field Computation by moment methods, New York: IEEE Press, 1993.
- [4] Li Jian-Ying, Gan Yeow-Beng, "Study on Sleeve Dipole Antenna", IEEE, March, 2005.
- [5] Chang-Hyun Ju, Dae-Hwa Jun, Ki-Chai Kim, "Complex Antenna Factors of EMI Antenna with Coaxial Cable Balun for Measuring Electromagnetic Fields", JKEES, Vol. 5, no. 2, pp.66-71, JUN 2005.