

主題

EMC 안테나의 안테나 인자에 관한 문제점

영남대학교 전기전자공학부 김 기 채

차 례

- I. 서론
- II. 안테나 인자의 정의
- III. 안테나 인자의 표현식
- IV. 안테나 인자의 문제점
- V. 맺음말

I. 서론

전기전자정보처리장치 및 시스템으로부터 방출되는 방사성의 전자파 잡음을 측정하기 위해서는 전자계 측정용의 EMC 안테나(또는 EMI 안테나)가 필요하다. EMC 안테나의 안테나 인자(또는 안테나 계수, antenna factor)는 전자계 계측용 안테나에 있어서 가장 중요한 특성이지만 현재 사용되고 있는 안테나 인자의 정의는 불명확한 점이 많다.

안테나 인자의 정의가 명확하지 않으면 측정결과에 포함되는 오차의 평가는 불가능하다. 그러나, 정의의 불명확함으로 인하여 오차의 평가가 불가능하다 해도 실용적으로는 그렇게 문제가 되지 않는 경우가 있다. 그 이유는 정의 자체의 불명확함으로 인한 오차보다도 다른 요인에 의한 오차가 훨씬 크기 때문이다. 이와 같은 특별한 경우를 제외하면 정의의 불명확함 때문에 발생하는 오차의 생성은 반드시

해결하여야 할 중요한 문제이다.

현재 정의되어 사용되고 있는 안테나 인자는 안테나 소자 자체의 특성 뿐만 아니라, B/M회로(Balun/Matching 회로)와 안테나 케이블을 포함한 부하의 특성도 포함되도록 되어 있다[1][6]. 이와 같이 부하의 특성이 안테나 인자에 포함되기 때문에 어떤 특정 부하를 접속한 상태에서 교정한 안테나를 교정에 사용한 부하와 다른 값을 갖는 기기에 접속하여 사용하면 오차가 발생하게 된다. 사용 주파수가 낮은 경우에는 집중정수회로로 볼 수 있으므로 크게 문제가 되지 않지만, 분포정수회로로 생각해야 하는 마이크로파 대역 이상에서는 아주 큰 문제를 발생시킬 수 있다.

본 고에서는 EMC 안테나에서 가장 기본이 되는 반파장 공진 다이폴 안테나(Roberts 밸런이 부착된)에 대하여 현재 정의되어 사용되고 있는 안테나

인자의 문제점을 논의하고자 한다.

II. 안테나 인자의 정의

불요 전자파의 크기를 측정하는데 사용하는 EMC 안테나는 그림 1과 같이 방해파측정기(EMI receiver) 또는 스펙트럼분석기(spectrum analyzer)의 입력측에 연결된 전송선로(동축 케이블)에 접속하여 사용한다. EMI측정에 사용하는 방해파측정기 또는 스펙트럼분석기는 전송선로의 부하에 나타나는 전압을 측정하게 되는데, 우리가 필요로 하는 양은 피측정기기로부터 방출되는 전계강도의 크기이므로 방해파측정기로 측정된 전압으로부터 전계강도를 산출해야 한다.

따라서, 안테나계의 특성을 나타내는 파라미터인 전계강도와 부하전압과의 비를 결정해 두어야 한다. 이 비를 EMC 안테나의 안테나 인자라고 하며 일반적으로 특별한 언급이 없으면 최대 전계강도를 수신할 때, 방해파측정기에 나타나는 전압과 전계강도와의 비를 안테나 인자로 정의한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$K = \frac{E}{V_L} \quad (1)$$

여기서, E 는 공간의 전계강도이며 V_L 은 안테나의 B/M 회로에 연결된 전송선로를 거쳐서 방해파측정기에 나타나는 전압이다.

식(1)을 데시벨로 표현하면

$$10 \log_{10} K = 10 \log_{10} E - 10 \log_{10} V_L \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

와 같다. 식(2)를 전계강도에 주목하여 정리하면 다음 식을 얻는다.

$$E_{(\text{dB})} = K_{(\text{dB})} + V_{L(\text{dB})} \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

식(3)으로부터, 방해파 측정기에 나타나는 전압 V_L 에 안테나 인자 K 를 더하면 전계강도 E 가 구해진다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 안테나 인자는 전압을 전계강도로 변환하는 변환계수임을 알 수 있으며 EMC 안테나가 갖는 고유의 특성이다.

식(1)의 정의에서 전계강도는 평면파를 가정하고 있으므로 안테나 인자는 자유공간에서 정의되며 원역장(far field)에서 사용되어야 한다는 것을 알 수 있다.

III. 안테나 인자의 표현식

본 장에서는 반파장 공진 다이폴 안테나가 자유공간 속에 놓여져 있는 경우를 예로들어 안테나 인자의 문제점을 고찰하기 위해 안테나 인자의 표현식을 구한다. 그림 1과 같이 반파장 공진 다이폴 안테나의 단자에는 Roberts 밸런이 접속되어 있으며 케이블을 거쳐서 수신기(방해파측정기)가 접속되어 있다.

그림 1로부터 안테나 인자는 수신기에 나타나는 전압을 사용하여 식(1)로 정의된다. 식(1)의 안테나 인자를 이론적으로 계산하기 위해서는 수신기의 입력단자에 나타나는 전압을 구해야 하는데, 안테나에 접속되어 있는 B/M회로의 형상이 복잡하면 Maxwell 방정식의 경계치 문제로 평가하기는 대단히 어렵다. 그러므로, 여기서는 안테나 부분의 평가는 경계치 문제로 취급하고, B/M회로의 평가는

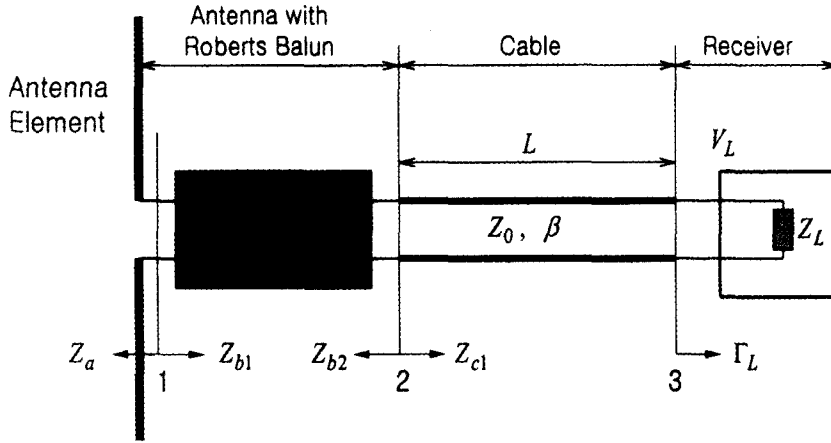


그림 1. 수신기에 연결된 반파장 공진 다이폴 안테나

전력의 흐름에 따라서 생기는 손실의 개념을 이용하여 회로론적으로 취급하기로 한다[4]-[6].

그림 1에서 B/M 회로 및 케이블의 도체손실은 무시하고(동축선로의 도체손실은 약 0.01 dB 이하) 안테나의 유효장 h_e 를 도입하면, 식(1)의 안테나 인자는 다음과 같이 계산된다.

$$K = \frac{2}{h_e} \sqrt{\frac{R_a}{R_L}} \quad K_L = K_0 K_L \quad (4)$$

여기서, R_a 는 안테나의 입력저항이며 R_L 은 수신기의 입력저항이다.

식(4)에서 B/M회로가 무손실이라면 K_L 은 다음과 같다.

$$K_L = \sqrt{\frac{|Z_{b1} + Z_a|^2}{4R_a R_{b1}}} \quad (5)$$

여기서, $Z_{b1}(=R_{b1} + jX_{b1})$ 은 B/M회로의 입력단에서 수신기측을 바라본 임피던스이며 다음 식으로

$$Z_{b1} = \frac{Z_{c1} X_p^2 + j[Z_{c1}^2 X_p + X_p X_c (X_p + X_c)]}{Z_{c1}^2 + (X_p + X_c)^2} \quad (6)$$

여기서, X_c 및 X_p 는 B/M회로를 4단자회로망으로 나타냈을 때의 임피던스 파라미터이며, Z_{c1} 은 부하측에서의 반사계수(정재파비 S)를 고려하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{c1} = Z_0 \frac{S + 1 + (S - 1)e^{j\phi} e^{-j2\beta L}}{S + 1 - (S - 1)e^{j\phi} e^{-j2\beta L}} \quad (7)$$

여기서, ϕ 는 부하측 반사계수의 위상, β 는 케이블의 전파정수를 나타낸다. 또한, L은 밸런의 출력단에서 부하(수신기)를 연결하는 케이블의 길이이다.

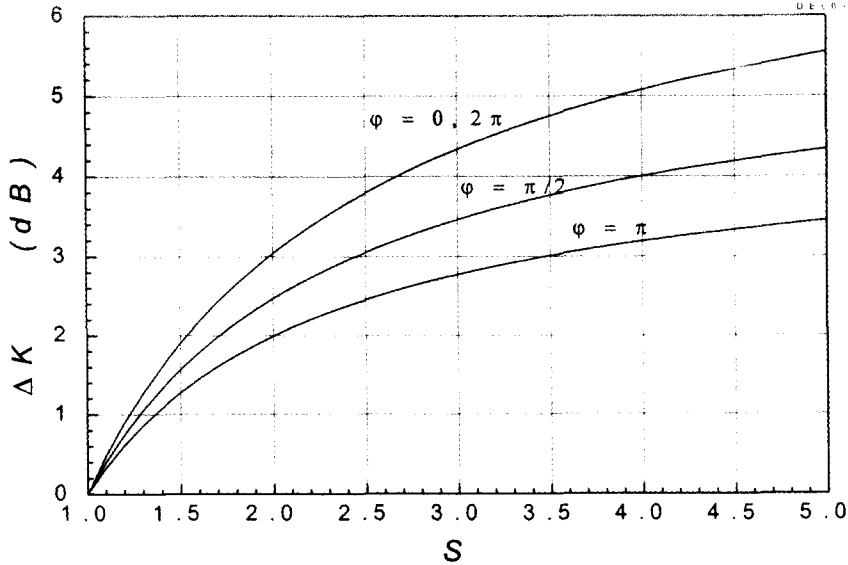


그림 2. 부하측의 정재파비에 대한 안테나 인자의 차

IV. 안테나 인자의 문제점

본 해설에서는 안테나에 흐르는 전류분포에 관한 Pocklington의 적분방정식을 구분적 정현함수를 사용한 Galerkin의 방법을 적용하여 근사수치해를 구하고 이로부터 식(4)의 안테나 인자를 계산하였다. 계산에 사용한 안테나의 재원은 반경 $a=3.175\text{mm}$, 사용 주파수 $f=45\text{MHz}$, 길이 L =반파장 부근에서 공진하는 길이의 것을 사용하였으며, 안테나에 접속된 밸런은 중심주파수가 45MHz이며 20~65MHz 대역에서 동작하는 Roberts 밸런을 사용하였다[7]. 또한, 계산에서는 케이블의 파장 단축율은 고려하지 않았다.

그림 2는 Roberts 밸런이 접속된 반파장 공진 다이폴 안테나에 있어서 부하측의 반사계수 Γ_L 의 위상변화를 파라미터로 하였을 때 부하측의 반사계수(정재파비)에 대한 안테나 인자의 차를 나타낸다. 그림 3은 부하측의 정재파비를 파라미터로 하여 부하측 반사계수의 위상에 대한 안테나 인자의 차를 나타낸다. 여기서, 안테나 인자의 차란 반사계수가

0인 경우의 안테나 인자로부터 반사계수가 유한인 경우의 안테나 인자를 뺀 것 ($\Delta K=K(\Gamma_L=0)-K(\Gamma_L \neq 0)$, dB)으로 정의한다. 그림 2 및 3으로부터 알 수 있는 것처럼, 부하측의 반사의 크기를 어떤 특정값으로 규정한다고 하더라도 반사계수의 위상에 의해서 안테나 인자가 변화한다. 정재파비가 2.0인 경우를 보면 위상이 2π 변화하면 안테나 인자의 변동 폭은 3dB 정도임을 알 수 있다. 즉, 반사계수의 크기를 어떤 값 이하로 규정하여 안테나 인자를 정의한다고 하여도 문제는 해결되지 않는다는 것을 의미한다.

반사계수 Γ_L 의 위상은 부하측의 기준면 3과 부하(방해파 측정기)를 연결하는 케이블의 길이가 변하면 변화하므로 주파수가 높아지면 더욱 문제가 된다. 따라서, 식(1)과 같이 정의되어 사용하여 온 기존의 안테나 인자는 다음과 같이 수정되어 정의하여야 할 것이다.

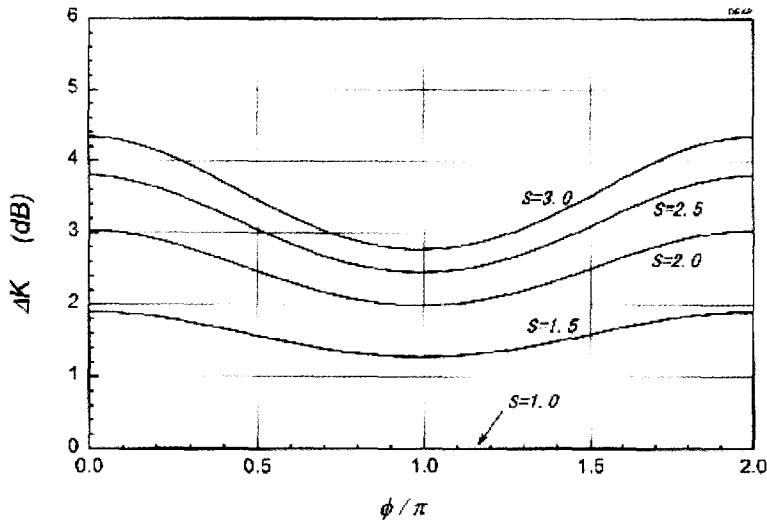


그림 3. 부하측 반사계수의 위상에 대한 안테나 인자의 차

$$K = \frac{E}{V_L} \Big|_{|\Gamma_L|=0} \quad (8)$$

즉, 마이크로파와 같은 높은 주파수 대역에서는 $|\Gamma_L|=0$ 인 경우에 대한 전계와 부하전압과의 비로서 안테나 인자를 정의하여야 한다. 이와 같이 정의하면 안테나 인자는 안테나가 갖고 있는 고유의 특

성을 나타내게 된다. 그러나, 현실적으로는 $|\Gamma_L|=0$ 의 조건을 만족시키기 어려우므로 가능한 한 오차를 줄이는 방법을 생각하지 않으면 안된다. 이러한 관점에서는 부하(수신기)의 조건으로서 정재파비가 규정값 이하일 것을 강제적인 규격으로 정해야 할 것이다. 이렇게 하면 오차를 최소로 줄일 수 있다.

그림 4 및 그림 5는 반사계수의 위상이 0 및 π 인

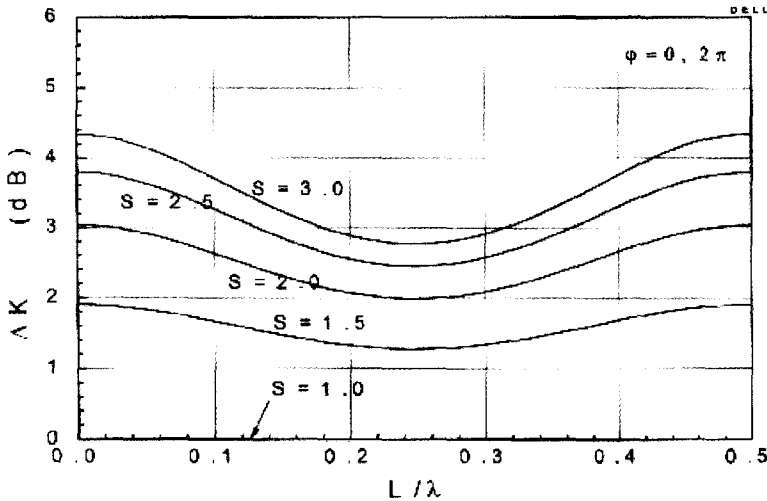


그림 4. 반사계수의 위상이 2π 변화한 경우의 케이블 길이에 대한 안테나 인자의 차

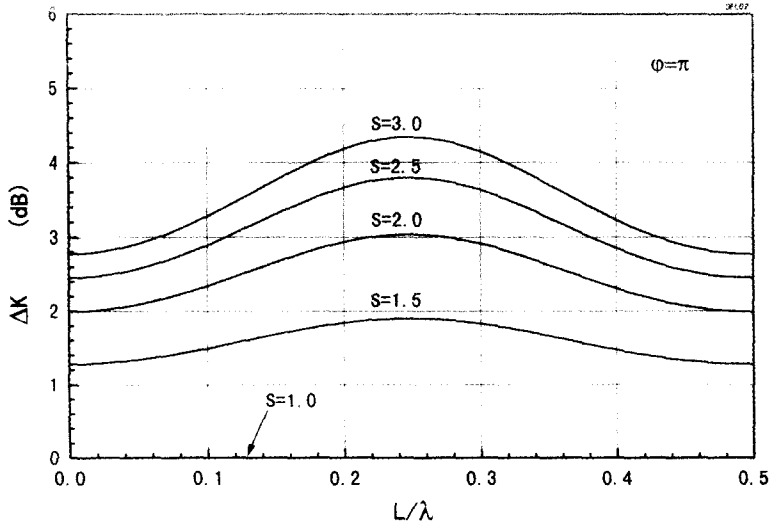


그림 5. 반사계수의 위상이 π 변화한 경우의 케이블 길이에 대한 안테나 인자의 차

경우에 대하여, 부하측의 정재파비를 파라미터로 하였을 때 밸런에 접속된 케이블의 길이 변화에 따른 안테나 인자의 차를 나타낸 것이다. 그림으로부터 부하측 반사계수의 위상에 의해서 케이블의 길이가 안테나 인자에 영향을 준다는 것을 알 수 있으며, 안테나 인자의 변동폭을 최소로 하기 위해서는 반사계수의 위상을 미리 알아야 함을 시사하고 있다. 일례로서 반사계수의 위상이 0 또는 2π 이면, 밸런과 수신기를 연결하는 케이블의 길이를 $\lambda/4$ 의 정수배로 선택하여야 안테나 인자의 변동폭을 최소로 할 수 있다. 반면에 반사계수의 위상이 π 이면 케이블의 길이를 $\lambda/2$ 의 정수배로 선택하여야 안테나 인자의 변동폭을 최소로 할 수 있다.

이와 같이, 안테나 인자의 변동폭을 최소로 하기 위해서는 반사계수의 위상을 미리 알고 있어야 하며, 이에 따라서 케이블의 길이를 결정하여야 하므로 실제적인 문제에서는 귀찮은 일이지만 오차를 줄이기 위해서는 이러한 사실을 숙지하고 있어야 할 것이다.

V. 맺음말

EMI 측정을 위한 EMC 안테나의 평가 파라미터는 안테나 인자이다. 측정에 사용하는 안테나의 정확한 안테나 인자를 모르거나 또는 틀린 안테나 인자를 적용하게 되면 측정된 전계강도를 신뢰할 수 없게 된다.

본 고에서는 EMC 안테나 중에서도 가장 기본이 되는 Roberts 밸런이 부착된 반파장 공진 다이폴 안테나를 예로 들어 안테나 인자의 정의에 관한 문제점을 논의하였다. 주파수가 높아지면 기존의 안테나 인자에 관한 정의는 사용할 수 없게되고 부하의 반사계수 크기가 0일 때의 안테나 인자를 정의하여 사용해야 한다는 것을 지적하였다. 그러나, 실제적으로는 반사계수의 크기가 0인 조건을 만족시키기 어려우므로 부하측에서의 반사계수(정재파비)의 값을 특정치 이하로 규정하면 오차를 최소로 줄일 수 있을 것이다.

* 참고 문헌

1. 김기채, 정연준, 정낙삼: 모멘트법을 적용한 다이폴 안테나의 안테나 인자, 한국전자파기술학회지, 창간호, pp.28-34, 1990.
2. 김기채: 접지판 위에 놓여진 반파장 공진다이폴 안테나의 안테나 인자, 한국전자파기술학회지, 제2권, 제4호, pp.3-9, 1991.
3. M.T.Ma and M.Kanda: Electro-magnetic Compatibility and Interference Metrology, NBS Tech. Note 1099, July 1986.
4. K.C.Kim and S. Tokumaru: Antenna Factors of Half-wavelength Dipole Antennas with Roberts Balun, IEICE Trans., vol.J78-B-II,no.11,pp.717-724, Nov.1995.
5. 김기채: Roberts 밸런을 갖는 단축 다이폴 안테나의 안테나 인자, 한국통신학회논문지, 제22권, 제3호, pp.532-538, Mar. 1997.
6. K.C.Kim and S. Tokumaru: Antenna Factors of Short Dipole Antennas with Roberts Balun, IEICE Trans., vol.J81-B-II, no.1, pp.119-122, Jan. 1998.
7. W.K. Roberts: A New Wide-Band Balun, Proc. of the IRE, vol.45, no.12, pp.1628-1631, Dec. 1957.



김기채

1984년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업
 1986년 3월 Keio Univ. 대학원 졸업, 공학석사
 1989년 3월 Keio Univ. 대학원 졸업, 공학박사
 1989년 4월~1993년 3월 한국표준과학연구원 전자파연구실 선임연구원
 1993년 4월~1995년 8월 일본 후쿠오카공업대학 정보공학과 조교수
 1995년 9월~현재 영남대학교 전기전자공학부 조교수, 한국전자파학회 평의원
 *일본 IEICE Young Engineer Award (1988), 일본 전기학회 논문발표상 수상(1994)
 *주관심분야: EMC/EMI 관련 안테나 및 측정시설, 소형 안테나 및 전자파 응용