

I. 서론

전기전자기기 등으로부터 방출되는 방사성의 방해 전자파를 측정하기 위해서는 전자계 측정용의 안테나(이하 EMC 안테나라고 함)가 필요하다. EMC 안테나로서는 반파장 다이폴 안테나의 사용이 기본이며 일정한 조건하에서는 바이코니칼 안테나 또는 대수주기 안테나와 같은 광대역 안테나의 사용도 허용되고 있다.

통신용 안테나는 안테나 단자에서 정의되는 입력 임피던스를 비롯하여 전류분포나 대역폭, 원역장에서 정의되는 방사 지향성, 이득 및 편파특성 등이 중요한 평가 파라미터이지만 EMC 안테나는 전계와 전압의 변환계수에 해당하는 안테나 인자(antenna factor)가 중요한 평가 파라미터이다. 본 고에서는 EMC 안테나에서 가장 기본이 되는 반파장 공진/단축 다이폴 안테나(Roberts 밸런이 부착된)의 안테나 인자에 관하여 필자가 검토한 내용을 소개한다.

방사성 불요전자파의 측정은 현재로서는 30~1000 MHz대역에서 실시되고 있으며, 반파장 공진 다이폴 안테나의 사용이 기본이다. 30~80 MHz대역에서는 80 MHz에 공진하는 안테나를 사용하기도 하는데, 80 MHz 이하의 주파수 대역에서는 결과적으로 단축 다이폴 안테나가 된다. 본 해설에서는 이러한 단축 다이폴 안테나의 안테나 인자에 대해서도 언급한다.

반파장 공진/단축 다이폴 안테나는 측정 주파수 각각에 대하여 안테나를 준비하던가 또는 안테나의 길이를 측정 주파수 마다 조정해야 하는 번거로움이 있다. 이 때문에 일정한 조건하에서는 광대역 안테나를 사용하기도 한다. 광대역 특성을 갖는 EMC

안테나로서는 대수주기 다이폴 안테나(log periodic dipole antennas, LPDA)와 바이코니칼 안테나(biconical antennas)가 대표적이다. 이들 안테나는 모두 직선편파의 특성을 갖는 안테나이며 EMI측정의 자동화를 목적으로 많이 사용된다.

본 해설에서 논의하는 반파장 공진 다이폴 안테나는 방사성 방해파의 측정에 사용하는 기본 안테나로 사용되며, 야외시험장의 시험장 감쇠량 평가용으로도 사용된다. 이뿐만 아니라, 반파장 공진 다이폴 안테나는 안테나 인자의 측정(교정)을 위한 표준 안테나(standard antenna method을 사용할 경우) 또는 참조 안테나(reference antenna method를 사용할 경우)로서도 이용할 수 있다.

II. 안테나 인자

2-1 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 전계강도와 부하전압과의 비를 결정해 두어야 할 필요가 있다. 이 비를 EMC 안테나의 안테나 인자라고 한다. 일반적으로 특별한 언급이 없으면 최대 전계강도를

수신할 때, 방해파측정기에 나타나는 전압과 전계 강도와의 비를 안테나 인자로 정의하며 식으로 표현하면 다음과 같다.

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

여기서, E 는 공간의 전계강도이며 V_L 은 안테나에 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.

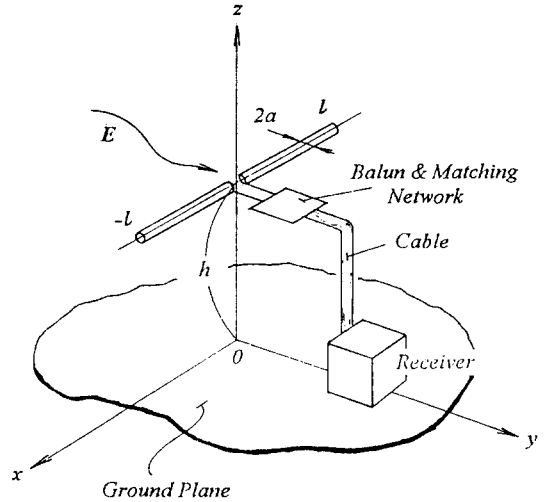
$$E_{(\text{dB})} = K_{(\text{dB})} + V_{L(\text{dB})} \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

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.

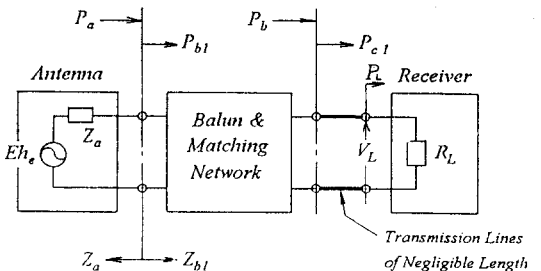
2-2 유효장으로 표현한 안테나 인자

[그림 1]은 반파장 공진/단축 다이폴 안테나가 접지판 위에 놓여져 있는 경우를 나타낸다. 안테나 단자에는 밸런 및 정합회로(이하 B/M회로라 함)가 접속되어 있으며 케이블을 거쳐서 수신기(방해파측정기)가 접속되어 있다. [그림 1]에 나타낸 것처럼 전계강도 E 속에 안테나가 놓여져 있고, 안테나의 단자에 유기된 전압은 B/M회로를 거쳐서 수신기에 나타난다.

[그림 2]는 [그림 1]에 나타낸 반파장 공진/단축 다이폴 안테나의 등가회로이며 안테나 인자는



[그림 1] 접지판 위에 놓여진 반파장 공진/단축 다이폴 안테나



[그림 2] 그림 1의 안테나 계의 등가회로

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 전력의 흐름에 따라서 생기는 손실의 개념을 이용하여 회로론적으로 취급하기로 한다.

안테나 인자의 표현식으로는 유효장으로 표현하는 방법과 이득으로 표현하는 방법의 두 가지를 생각할 수 있는데, 본 고에서는 유효장으로 표현한 안테나 인자의 표현식을 사용하도록 한다.

[그림 2]의 등가회로에서 안테나로부터 출력되는 유효전력(available power) P_a 는 안테나의 유효장 h_e 를 도입하면, 전계 \mathbf{E} 와 벡터유효장 \mathbf{h}_e 가 평행인 경우 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_a = \frac{|E|^2 h_e^2}{4 R_a} \quad (4)$$

여기서 R_a 는 안테나의 입력저항이다. 또한 수신기에 나타나는 수신전력 P_L 은

$$P_L = \frac{|V_L|^2}{R_L} \quad (5)$$

로 주어진다. 여기서 R_L 은 수신기의 입력저항이다.

식(4)와 식(5)로부터 안테나와 수신기 사이에서 발생하는 전력손실을 구할 수 있으며 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{loss}^h = \frac{|E|^2 h_e^2 R_L}{4 R_a |V_L|^2} \quad (6)$$

이 전력손실은 B/M회로 및 동축선로에 의한 전력손실로부터 발생되는데, 크게 나누어 (가) B/M회로의 입출력단에서 임피던스의 부정합으로 인한 부정합 손실, (나) B/M회로 및 동축선로의 도체 손실의 두 가지로 나누어 진다. 여기서는 이들의 두 가지 손실 중에서 (나)의 도체손실은 무시하고(동축선로의 도체손실은 약 0.01 dB이하임이 알려져 있다), (가)의 부정합 손실만을 취급하도록 한다.

즉, 임피던스의 부정합에 따른 전력손실은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$P_{loss}^h = \frac{P_a}{P_{b1}} \frac{P_{a1}}{P_b} \frac{P_b}{P_{c1}} = L_A L_B L_C \quad (7)$$

여기서, P_b 는 B/M회로로부터의 유효전력이며, P_{b1} 및 P_{c1} 는 각각 B/M회로에 전달되는 전력 및 동축선로에 전달되는 전력이다. 여기서는 동축선로와 수신기가 완전히 정합되어 있다고 가정하고, 동축선로의 손실을 무시하고 있으므로 $P_{c1} = P_L$ 로 생각해도 무방하다.

식 (7)에서 주어지는 구분 전력손실 L_A , L_B 및 L_C 는 각각 다음 식으로 주어진다.

$$L_A = \frac{|Z_{b1} + Z_a|^2}{4 R_a R_{b1}} \quad (8)$$

$$L_B = \frac{4 R_{b1} R_T}{|Z_{b1} + Z_a|^2} \frac{|Z_{11} + Z_a|^2}{|Z_{12}|^2} \quad (9)$$

$$L_C = \frac{|Z_T + Z_L|^2}{4 R_T R_L} \quad (10)$$

여기서, 식 (8)의 $Z_{b1}(=R_{b1} + jX_{b1})$ 은 B/M회로의 입력단에서 본 임피던스이고, B/M회로를 4단 차회로망으로 나타냈을 때의 임피던스 파라미터 또는 어드미턴스 파라미터 등을 이용하여 구할 수 있다.

또한, 식 (9)의 R_T 를 주는 Z_T 는 [그림 2]를 Thevenin의 등가회로로 나타냈을 때의 임피던스이고 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Z_T = \frac{(Z_{11}Z_{22} - Z_{12}^2) + Z_{22}Z_a}{Z_{11} + Z_a} = R_T + jX_T \quad (11)$$

여기서, $Z_y(i, j=1, 2)$ 는 B/M회로의 임피던스 파라미터이다.

이상과 같이, 안테나의 유효장을 도입하면 식 (6)과 식 (7)로부터 식 (1)의 안테나 인자는 다음과 같

이 나타낼 수 있다.

$$K = \frac{2}{h_e} \sqrt{\frac{R_a}{R_L}} \quad K_L = K_0 K_L \quad (12)$$

여기서, K_0 는 이상적인 B/M회로를 사용했을 때의 안테나 인자이며, 또한 K_L 은

$$K_L = \sqrt{L_A L_B L_C} \quad (13)$$

이다. 이것은 B/M회로의 삽입에 따른 임피던스 부정합으로 인한 안테나 인자의 변동분이다. 식 (12)는 문헌 (1)과 같은 표현식이다.

이상과 같이, 안테나의 유효장을 도입했을 때의 안테나 인자에 관한 식 (12)를 이용하면, B/M회로의 영향을 고려한 안테나 인자를 계산할 수 있다.

2-3 B/M회로가 무손실인 경우의 안테나 인자

B/M회로가 무손실이라면 $P_a = P_b$, $P_{b1} = P_{c1}$ 이고, 또한 $L_A L_B = L_B L_C$ 로부터 $L_A = L_C$ 가 되므로, K_L 은

$$K_L = \sqrt{\frac{|Z_T + Z_L|^2}{4 R_T R_L}} \quad (14)$$

또는

$$K_L = \sqrt{\frac{|Z_{b1} + Z_a|^2}{4 R_a R_{b1}}} \quad (15)$$

로 나타낼 수 있다. 위의 식 (14)와 식 (15)는 동가이며 어느 식을 사용해도 결과는 동일하지만, 실제적인 측면에서는 식 (15)를 사용하는 것이 바람직하다. 그 이유는 다음과 같다. 식 (14)는 Thevenin 임피던스 Z_T 를 포함하고 있고, 이 값은 안테나의 높이(접지판으로부터의 높이)의 함수가 되기 때문에 실제적으로는 측정도 번잡하고 어렵다. 그 반면 식 (15)의 Z_{b1} 은 B/M회로의 입력단에서 수신기측을

본 임피던스이기 때문에 안테나 및 안테나의 높이에는 의존하지 않으며 실제의 측정에 있어서도 Z_T 의 측정보다는 간단하다. 따라서, 본 해설에서는 식 (15)를 사용하도록 한다.

이상은 무손실 B/M회로의 경우이지만, Schwarzbeck 다이폴 안테나와 같은 B/M회로에 손실이 있는 경우는 식 (14)를 사용하여 K_L 을 계산하지 않으면 안된다. 또한, B/M회로의 구조에 따라서는 Z_{b1} 의 계산이 어려운 경우도 있다. 이러한 경우에는 Z_{b1} 의 측정치를 식 (15)에 대입하는 방법도 생각할 수 있는데 실제적인 문제로서는 유용하다. 단, 이 측정은 안테나와 분리한 후에 측정하게 되는데, 이 측정치가 안테나에 B/M회로를 연결하였을 때의 값으로 볼 수 있는지 어떤지는 아직 확실하지가 않으므로 주의해야 한다.

2-4 안테나 인자의 다른 표현식

[그림 2]에서 안테나와 B/M회로 및 수신기가 완전히 정합된 이상적인 경우, 또는 안테나의 단자에 수신기가 직접 연결되어 있는 경우는 다음과 같은 안테나 인자의 표현식을 얻을 수 있다.

$$K = \frac{1}{h_e} \left(1 + \frac{Z_a}{R_L}\right) \quad (16)$$

이 식을 이용한 다이폴 안테나의 자유공간 안테나 인자 및 안테나 인자의 높이 의존성에 관해서는 이미 보고되어 있으므로 문헌 (2), (3)을 참고하기 바란다. 미국의 NIST(미국 국립표준과학기술국)에서 계산한 안테나 인자는 이 식을 사용한 값이다^[4]. 즉, B/M회로의 영향은 고려되어 있지 않다.

Ⅲ. 입력 임피던스 및 유효장의 계산

안테나 인자의 구체적인 계산을 위해서는 안테나 인자의 식에 나타나는 안테나의 입력 임피던스와

유효장을 계산하지 않으면 안된다. 이들의 값은 안테나에 흐르는 전류분포를 구하면 계산할 수 있지만 전류분포의 계산은 간단하지가 않다. 다이폴 안테나와 같이 비교적 구조가 간단한 안테나인 경우에는 계산의 간편성을 위해 전류분포를 미리 가정하여 입력 임피던스를 구하는 근사적인 방법을 이용하기도 한다. 대표적인 근사법이 바로 기전력법(induced electromotive force method, EMF법)이다. 기전력법을 이용한 입력 임피던스의 계산에는 근본적인 모순을 포함하고 있으므로 안테나에 흐르는 전류분포를 진ちに 가깝게 구하는 방법을 생각해야 한다.

안테나에 흐르는 전류분포를 구하기 위한 가장 일반적인 방법은 전류분포에 관한 적분방정식을 유도하여 이 적분방정식을 풀어서 구하는 방법이다. 일반적으로 이 적분방정식의 해(전류분포)는 해석적인 엄밀해가 구해져 있지 않고 근사해가 알려져 있다. 1960년대 초기부터는 컴퓨터의 발달과 함께 미분방정식 또는 적분방정식의 근사수치해를 구하기 위한 수치해석법이 연구되기 시작하여 상당한 성과를 거두고 있다. 대표적인 것으로서 모멘트법(method of moments)이 있는데 이 방법을 사용하면 해석적인 엄밀해는 구해지지 않지만 공학적인 측면에서는 상당히 유용한 근사수치해를 얻을 수 있다.

여기서는 다이폴 안테나를 대상으로 하여 기전력법과 모멘트법을 사용한 안테나 인자의 계산결과를 제시한다. 바이코니칼 안테나 또는 대수주기 안테나 등도 모멘트법을 이용하면 전류분포를 계산할 수 있으며 이득을 구하면 안테나 인자를 구할 수 있다.

3-1 기전력법에 의한 계산

기전력법은 전류분포를 미리 가정하여 안테나 계의 임피던스를 구하는 방법이다. 안테나 계의 상호 임피던스는 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Z_{ij} = \frac{-1}{I_j(0)I_i(0)^*} \int_S E_{ij}(s)I_i(s)^* dS \quad (17)$$

여기서, I_i 는 #i안테나에 흐르는 전류분포, $I_i(0)$ 및 $I_i(0)^*$ 는 각각 #i 및 #j안테나의 급전점에서의 전류치이다. 또한 E_{ij} 는 #j안테나에 흐르는 전류에 의해서 #i안테나의 표면에 생성되는 전기이며, (*)는 공액 복소수, S는 안테나의 표면을 나타낸다.

안테나가 자유공간에 놓여져 있을 경우, 입력 임피던스를 구하기 위한 식은 식 (17)에서 $i=j$ 인 경우를 생각하면 되므로 다음과 같은 간단한 식이 된다.

$$Z = \frac{-1}{|I(0)|^2} \int_S E(s)I(s)^* dS \quad (18)$$

안테나가 접지판 위에 놓여져 있을 경우(EMI 측정에서는 실제로 이와 같은 상황에서 사용된다)에는 식 (17) 및 식 (18)을 이용하여 자기 및 상호 임피던스를 구해야 하는데, 이 때 주의해야 할 점은 자기 및 상호 임피던스의 계산결과에는 기전력법이 가지고 있는 근본적인 모순이 포함된다는 사실이다. 이는 간과하기 쉬우므로 계산결과에의 음미에 있어서는 주의를 필요로 한다.

안테나의 유효장(effective length 또는 effective height)은 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$h_e = \frac{2}{I_0} \int_{s_1}^{s_2} I(s) ds \quad (19)$$

여기서, I_0 는 안테나의 급전전류이며 $I(s)$ 는 안테나의 전류분포이다.

일예로서 반파장 다이폴 안테나가 자유공간 속에 놓여진 경우의 유효장을 계산해 보면, 전류분포를 정현파로 가정하여 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$h_e = \frac{\lambda}{\pi} \tan \frac{\pi}{4} \quad (20)$$

실제로 반파장 다이폴 안테나의 유효장은 이러한 근사치를 사용하여도 큰 오차를 수반하지 않는다는 것이 확인되어 있다.

3-2 모멘트법에 의한 계산

미분방정식 또는 적분방정식 등과 같은 함수방정식을 이산화시켜 적분방정식을 연립일차방정식으로 변환하여 해를 구하는 방법인 모멘트법을 사용하면 안테나에 흐르는 전류분포의 수치근사해를 용이하게 구할 수 있다.

이 방법은 안테나에 흐르는 전류분포에 관한 적분방정식의 해를 수치적으로 구하는 수치해석법의 하나이다. 모멘트법의 정식화는 간단히 설명하면 다음과 같다. 먼저 미지의 전류분포를 기지의 함수열을 사용하여 미지계수를 포함한 선형결합의 형태로 전개한다. 그 다음 이를 적분방정식에 대입하면 원래의 적분방정식과는 잔차(residual)가 발생하게 되는데, 가중함수를 사용하여 고려하고 있는 함수공간에서 내적을 취해 이 잔차가 0이 되도록 한다. 이러한 과정을 거치면 적분방정식은 이산화되어 연립일차방정식으로 변환되며 연립일차방정식의 해(전류분포의 미지계수)는 컴퓨터를 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

즉 전류분포에 관한 적분방정식의 근사수치해를 구하면 입력 임피던스뿐만 아니라 안테나의 유효장 및 이득 등을 계산할 수 있다. 이 방법을 사용하면 안테나에 흐르는 전류분포를 구할 수 있으므로, 전류분포를 가정해야 하는 기전력법보다 근사도가 더 양호한 입력 임피던스를 구할 수 있다. 기전력법 및 모멘트법으로 계산한 입력 임피던스와 유효장을 이용하여 안테나 인자를 계산한 결과의 비교는 [그림 10]을 참조하기 바란다.

본 고에서는 전류분포에 관한 Pocklington의 적분방정식을 구분적 정현함수를 사용한 Galerkin의 방법을 적용하여 근사수치해를 구하고 이로부터 안테나 인자를 계산하였다. 모멘트법의 구체적인 정식화에 관해서는 잘 알려져 있으므로 생략하기로 한다.

IV. 계산결과 및 검토

[그림 1]과 같이 Roberts 밸런을 갖는 반파장 공진/단축 다이폴 안테나가 접지판 위에 놓여져 있는 경우에 대하여 모멘트법을 사용하여 안테나 인자를 계산하였다^{[6],[8]}.

계산에 사용한 안테나의 제원과 밸런의 주파수 대역은 다음과 같다.

-안테나의 제원

반경 a : (a) 3.175 mm for 30 MHz ≤ f ≤ 300 MHz

(b) 0.794 mm for 300 MHz < f ≤ 1,000 MHz

길이 L : (a) 반파장 공진 다이폴 안테나:
반파장 부근에서 공진하는 길이

(b) 단축 다이폴 안테나:

80 MHz에 공진하는 길이

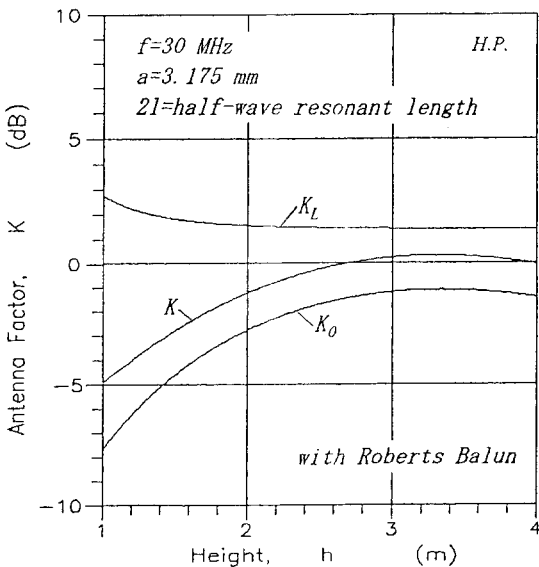
-밸런의 주파수 대역[5]

주파수 f (MHz)	중심주파수 f _c (MHz)
20~65	45
65~180	120
180~400	290
400~1,000	700

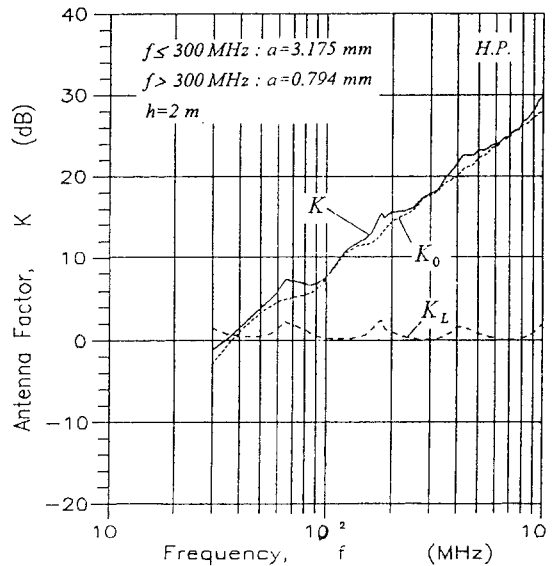
4-1 반파장 공진 다이폴 안테나^[6]

반파장 공진 / 단축 다이폴 안테나에 Roberts 밸런을 접속한 안테나를 접지면 위에 수평으로 배치한 경우, 안테나 높이에 대한 안테나 인자의 계산예를 [그림 3]에 나타낸다. 30 MHz인 경우 높이에 따른 안테나 인자의 변화폭은 5 dB정도이지만 주파수가 높아짐에 따라서 변화폭은 작아진다. 또한 수직편파인 경우는 높이에 따른 안테나 인자의 변화폭이 수평편파의 경우보다 작으며 약 1.2 dB 이내이다. [그림 3]에는 K_0 와 B/M회로에 의한 K_L 및 이들을 종합한 전체의 안테나 인자 K ($=K_0+K_L$)을 함께 나타내었다. 이로부터 B/M회로의 영향을 추측할 수가 있다.

[그림 4]는 일례로서 선택한 $h=2$ m인 경우의 K_0 와 K_L 및 K 의 주파수특성을 나타낸다. 정재파비가 커지면 K_L 이 커지므로 [그림 4]로부터 B/M회로가 안테나 인자에 미치는 영향을 알 수 있다.



[그림 3] 안테나 높이에 대한 안테나 인자의 변화(수평편파의 경우)



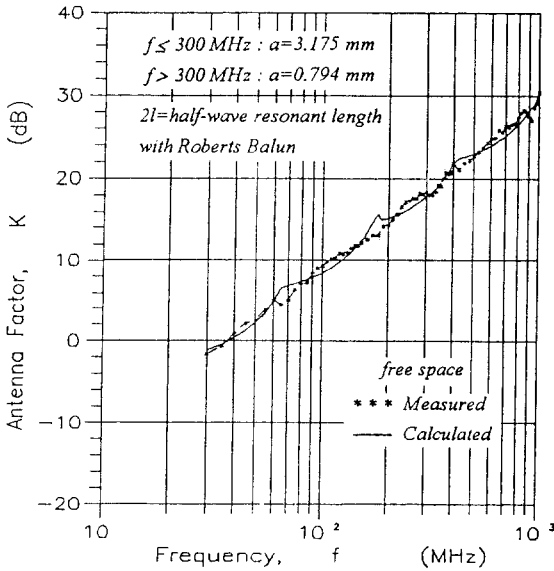
[그림 4] 안테나 인자의 주파수 특성(수평편파의 경우)

자유공간 안테나 인자의 주파수특성에 관한 계산치와 표준 사이트법에 의한 안테나 인자의 측정치(10 m 세퍼레이션)^[7]를 [그림 5]에 나타내었다. 표준 사이트법을 이용한 3, 10, 30 m 세퍼레이션 및 표준 안테나법을 이용한 측정의 결과 이들의 측정 결과는 2 dB이내에서 일치하고 있으며, [그림 5]에는 10 m 세퍼레이션의 측정결과만을 제시하였다. 표준 사이트법의 문제점 등을 고려하면 [그림 5]로부터 알 수 있는 것처럼 이론치와 측정치는 그 경향이 잘 일치하고 있다고 할 수 있다.

안테나가 자유공간에 놓여 있을 경우와 접지면위에 놓여 있을 경우의 안테나 인자의 차이를 검토하기 위하여 다음과 같은 안테나 인자의 차이 ΔK 를 정의한다.

$$\Delta K(h) = K_f - K(h) \quad (\text{dB}) \quad (21)$$

여기서, K_f 는 자유공간 안테나 인자이며, $K(h)$

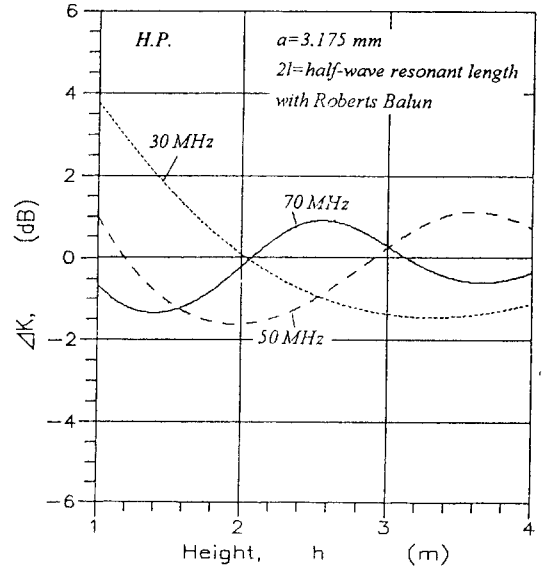


[그림 5] 안테나 인자의 주파수 특성, 실험치와 이론치의 비교(수평편파의 경우)

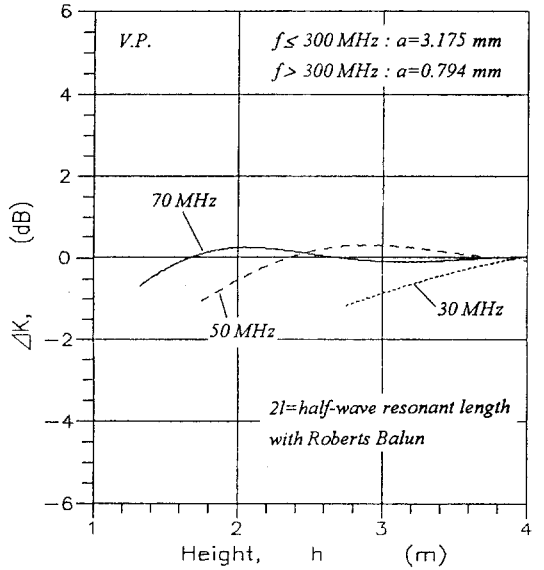
는 안테나가 접지판위에 놓여 있을때의 안테나 인자이다.

[그림 6]은 안테나의 높이를 변화시켰을 때 안테나 인자의 차이 ΔK 를 계산한 일이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 방사성 방해전자파의 측정에 있어서는 자유공간의 안테나 인자를 그대로 적용하면 실제의 전계강도에는 수평편파인 경우([그림 6(a)]) 최대 3.8 dB정도의 차가 발생한다. 또한 수직편파인 경우([그림 6(b)])에는 ΔK 의 폭이 약 ± 1.5 dB 이내임을 알 수 있다. 수직편파인 경우 안테나 인자의 차이는 수평편파인 경우에 비해 약 반정도가 된다는 것을 알 수 있다.

그런데, 자유공간의 안테나 인자 값을 그대로 이용할 경우에는 실제의 전계강도치를 얻기 위해서는 [그림 6]에 나타낸 안테나 인자의 차이 ΔK 로 보정할 필요가 있다. 즉, 자유공간 안테나 인자로부터 ΔK 를 뺀 안테나 인자를 사용하면 실제의 전계강도치가 얻어진다.



(a) 수평편파



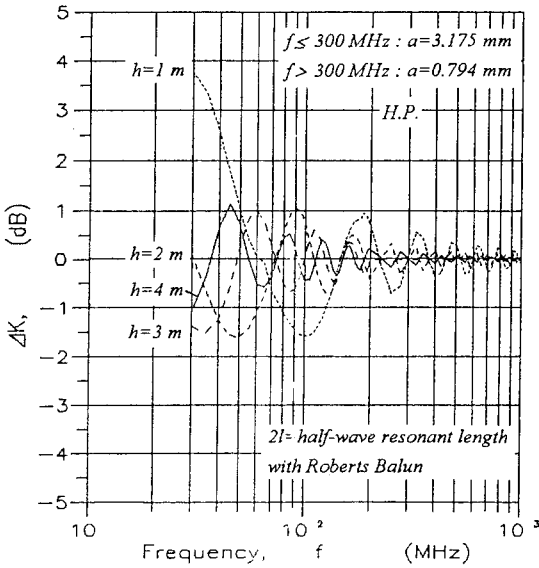
(b) 수직편파

[그림 6] 안테나 높이에 대한 안테나 인자 차이의 변화

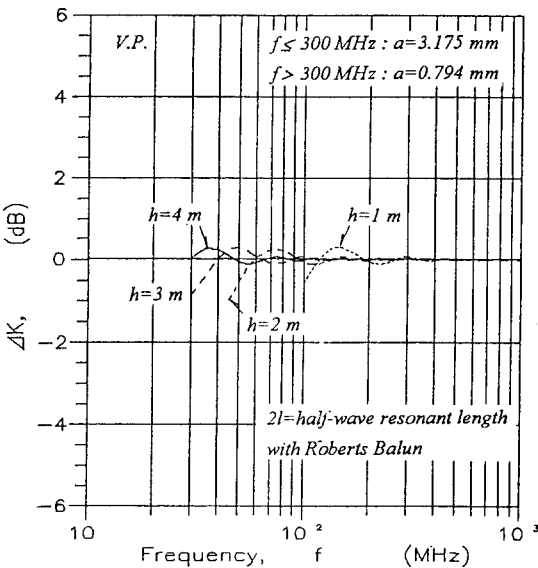
또한, 저주파수 대역에서는 최대 전계강도를 수신하는 안테나의 높이가 4 m 쪽으로(높은 쪽) 나타난다는 것을 고려하면 ΔK 는 이 ± 1.5 dB이내가 된

다는 것도 알 수 있다.

[그림 7]은 안테나의 높이를 파라미터로 한 경우 ΔK 의 주파수특성을 나타낸다. 주파수가 약 200 MHz 이상이 되면 수평편파인 경우[그림 7(a)]는



(a) 수평편파



(b) 수직편파

[그림 7] 안테나 인자 차이의 주파수 특성

ΔK 가 ± 1 dB 이내이고, 수직편파인 경우([그림 7 (b)])에는 ΔK 가 0 dB에 가깝다는 것을 알 수 있다. 이상으로부터, 수직편파인 경우는 수평편파인 경우보다 접지판과의 결합이 작다는 것을 확인할 수 있다.

4-2 단축 다이폴 안테나^[8]

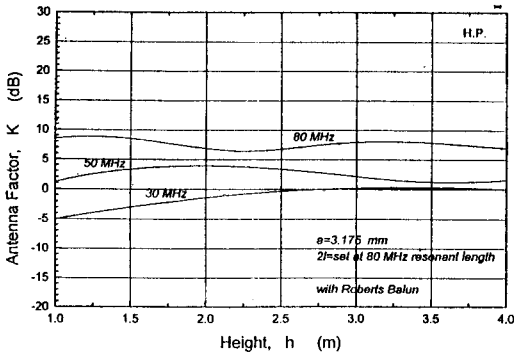
80 MHz 이하의 주파수 대역에서는 80 MHz에서 공진하는 안테나 길이로 고정하여 사용하도록 규정하고 있는데, 80 MHz 이하에서는 결과적으로 단축 다이폴 안테나가 된다.

80 MHz에서 공진하는 Roberts 밸런을 접속한 다이폴 안테나를 접지판 위에 수평으로 배치한 경우, 안테나 높이를 변화시켰을 때의 안테나 인자의 계산치를 [그림 8]에 나타낸다. 안테나 높이가 1~4 m 사이에서 변화할 때, 수평편파인 경우 ([그림 8 (a)]) 주파수 30 MHz에서 안테나 인자의 변화폭은 5.1 dB 정도이며, 수직편파인 경우 ([그림 8 (b)])는 2 dB 정도로서 수평편파보다 변동폭이 작다는 것을 알 수 있다.

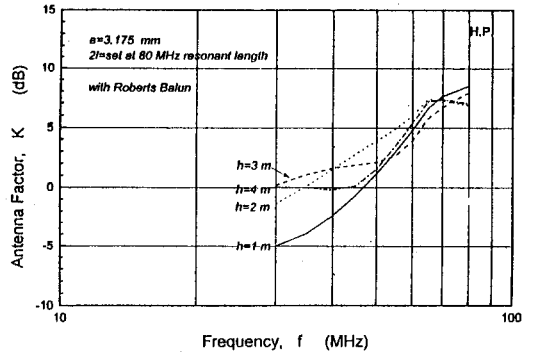
[그림 9]는 안테나의 높이를 파라미터로 했을 때, 수평 및 수직편파 단축 다이폴 안테나에 대한 안테나 인자의 주파수 특성을 나타낸다. 실제의 EMI 측정에서는 [그림 9]의 안테나 인자 값을 적용해야 한다. [그림 9]로부터 알 수 있는 것처럼, 주파수에 대한 안테나 인자의 변화폭은 수평편파가 수직편파보다 1.6배 정도 크다.

4-3 기전력법에 의한 결과와의 비교^[6]

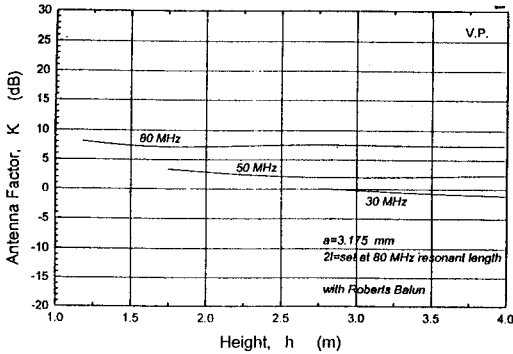
이상의 결과들은 안테나 인자의 계산식에 나타나는 안테나의 입력 임피던스 및 유효길이를 구하기 위해 모멘트법을 사용했다. 본 절에서는 계산정도는 떨어지지만 계산이 비교적 간단한 기전력법을 사용했을 때의 안테나 인자와 모멘트법으로 계산한 안테나 인자를 비교 검토한다.



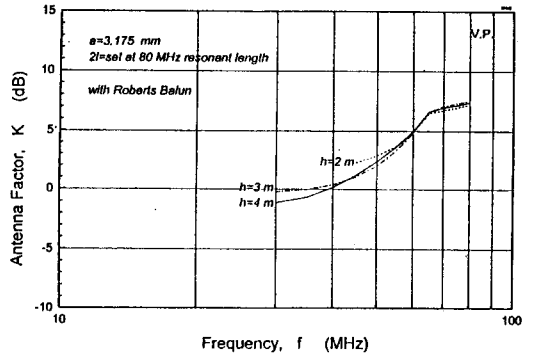
(a) 수평편파



(a) 수평편파



(b) 수직편파



(b) 수직편파

[그림 8] 안테나 높이에 대한 안테나 인자의 변화(단축 다이폴 안테나)

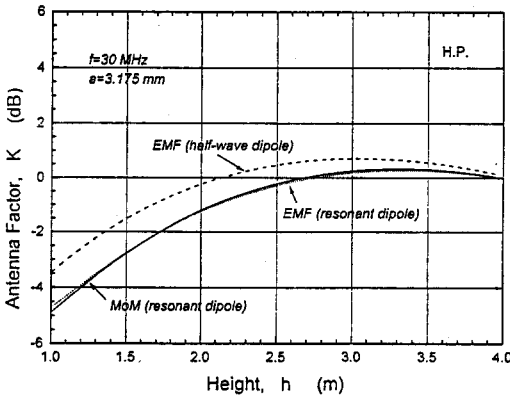
[그림 9] 안테나 인자의 주파수 특성(단축 다이폴 안테나)

[그림 10]은 모멘트법(MoM) 및 기전력법(E-MF)으로 계산한 안테나 인자의 높이 의존성의 일 예를 나타낸다. 모멘트법에 의한 계산에서는 반파장 공진 다이폴 안테나를 사용하고, 기전력법에 의한 계산에는 반파장 다이폴 안테나를 사용했다. 단, 기전력법에 의한 계산에 있어서는 전류분포로서 정현파를 가정하고 있기 때문에 유효길이로는 $h_e = \lambda/\pi \tan(\pi/4)$ 이다. [그림 10]으로부터 양자의 차이는 최대 1.4 dB 정도임을 알 수 있다. 또한, 주파수특성을 검토한 결과 80 MHz 이상의 대역에서는 양자의 차이가 0.6 dB 이내가 된다는 것도 확인되었다.

그리고, 반파장 공진다이폴 안테나에 기전력법을 사용하여 계산한 결과([그림 10]의 점선 참조)를 모멘트법으로 계산한 결과와 비교하여 보면, 양자의 차이는 최대 0.3 dB 정도이며 큰 차이가 없다는 것도 알 수 있다.

V. 맺음말

EMC 측정용 안테나의 평가 파라미터는 안테나 인자이다. EMC 측정에 사용하는 안테나의 정확한 안테나 인자를 모르거나 또는 틀린 안테나 인자를



[그림 10] 모멘트법과 기전력법에 의한 안테나 인자의 비교

사용할 경우에는 측정된 전계강도를 신뢰할 수 없다.

본 고에서는 EMC 안테나 중에서도 가장 기본이 되는 반파장 공진 다이폴 안테나 및 단축 다이폴 안테나에 Roberts 밸런이 부착된 경우의 안테나 인자에 대해서 논의하였고, 자유공간 안테나 인자를 야외시험장에서 그대로 사용할 경우에 발생하는 오차에 대해서도 언급하였다.

안테나 인자의 측정방법은 아직 확립되어 있지 않지만 지금까지 알려져 있는 방법으로 측정된 결과를 계산치와도 비교하였다. 안테나 인자의 측정법에 대해서는 여러 측면에서 검토되고 있는데, 미국의 NIST에서는 표준 안테나법을 사용하고 있으며 최근에는 3 안테나법도 검토하고 있다. 일본에서는 표준 안테나법이 여러가지 문제점을 갖고 있다는 것을 인식하고 3 안테나법 및 표준 사이트법을 연구하고 있으며, 안테나의 교정업무에는 참조 안테나법을 적용하고 있다.

참조 안테나법으로 안테나 인자를 교정할 경우에는 참조 안테나의 정확한 안테나 인자를 알고 있어야 하는데, 본 해설에서 논의한 반파장 공진 다이폴 안테나의 안테나 인자 계산결과는 참조 안테나로

사용할 수 있다.

정보 전달을 목적으로 하는 통신용 안테나는 목적에 따라서 여러가지 종류의 안테나가 개발되어 사용되고 있지만, 전계강도의 측정을 목적으로 하는 EMC 안테나는 이외로 그 종류가 한정되어 있는 실정이다. 효율적으로 EMI 측정을 할 수 있는 새로운 형태의 안테나가 연구 개발되어야 함은 남겨진 과제이기도 하다.

참고문헌

- [1] W. S. Bennett : "Properly Applied Antenna Factors", *IEEE Trans. Elect. Comp.*, vol. EMC-28, no. 1, pp. 2-6, Feb. 1986.
- [2] 김기채, 정연춘, 정낙삼; "모멘트법을 적용한 다이폴 안테나의 안테나 인자", 한국전자파기술학회지, 창간호, pp. 28-34, 1990.
- [3] 김기채; "절지판 위에 놓여진 반파장 공진 다이폴 안테나의 안테나 인자", 한국전자파기술학회지, 제2권, 제4호, pp. 3-9, 1991.
- [4] M. T. Ma and M. Kanda : "Electromagnetic Compatibility and Interference Metrology", *NBS Tech. Note* 1099, July 1986.
- [5] W. K. Roberts : "A New Wide-Band Balun", *Proc. of the IRE*, vol. 45, no. 12, pp. 1628-1631, Dec. 1957.
- [6] 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.
- [7] B. K. Park, J. H. Kim, J. I. Park, C. K. Kang and U. T. Kang ; "Development of EMC Antenna Evaluation Techniques", *Final Report of Ministry of Science and Tech-*

nology(in Korean), KRISS-94-081-IR, Apr. 1994.

- [8] 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.

== 필자소개 ==

김기채

1984년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)

1986년 3월: 일본 Keio Univ. 대학원, (공학석사)

1989년 3월: 일본 Keio Univ. 대학원, (공학박사)

1989년 4월~1993년 3월: 한국표준과학연구원 전자파연구실 선임연구원

1993년 4월~1995년 8월: 일본 후쿠오카공업대학 정보공학과 조교수

1995년 9월~현재: 영남대학교 전기전자공학부 조교수, 본 학회 평의원

일본 전자정보통신학회 Young Engineer Award, 일본 전기학회 논문발표상을 수상.

주관심분야: 안테나 및 전자파이론, EMC/EMI

