

EMC 측정 시험장과 EMC 안테나에 관한 문제점

On the Problems of EMC Test Site and EMC Antennas

김기채 · 영남대학교 전기공학부

ABSTRACT

One of the most difficult and important problems associated with radiated electromagnetic emissions from digital devices are the determination of antenna factor and site acceptability of an open area test site. This paper presents the problems of the open area test site and EMC antennas for measuring electromagnetic interferences radiated from the equipments. It seems desirable that the antenna factor of EMC antennas be revised to the antenna factor with zero reflection presented in this paper for accurate measurements.

I. 서론

전기전자정보처리 장치 및 시스템으로부터 방출되는 방사성의 장해 전자파(EMI)는 기기 및 시스템의 크기가 파장과 같은 정도가 되는 30MHz 이상의 주파수 대역에서 특히 문제가 된다. 이 때문에 장해 전자파의 규제를 심의하는

국제무선장해 특별위원회(CISPR : International Special Committee on Radio Interference)에서는 30MHz 이상의 주파수 대역에 대하여 EMC 측정 시험장으로서 야외시험장(OATS : Open Area Test Site)을 사용하도록 규정하고 있다. 측정 장소에 따라서 장해 전자파의 측정 결과가 달라지면 장해 전자파의 규제는 불가능 해진다. 따라서, EMC 측정 시험장(야외시험장)이 장해 전자파의 측정에 적절 한가 적절하지 않은가의 평가를 거쳐야 한다. EMC 측정 시험장의 평가는 시험장의 시험장 감쇠량(Site Attenuation)의 개념을 도입하여 1970년대부터 연구되었으며 CISPR 규격 및 각국의 규격으로 정해지게 되었다[1],[2].

또한, 야외시험장에서 방사성 장해 전자파의 측정을 위해서는 전자계 측정용의 EMC 안테나가 필요하다. 이러한 EMC 안테나는 안테나에 연결된 전자파장해 수신기에서 측정되는 전압으로부터 전계로 변환하기 위한 안테나 인자(Antenna Factor)의 개념이 도입되어 사용되고 있다. EMC 안테나의 안테나 인자는 전자계 계측용 안테나에 있어서 가장 중요한 특성이지만 현재 사용되고 있는 안테나 인자의 정의는 불명확한 점이 많다. 안테나 인자의 정의가 명

확하지 않으면 측정 결과에 포함되는 오차의 평가는 불가능하다. 그러나, 정의의 불명확함으로 인하여 오차의 평가가 불가능하더라도 실용적으로는 크게 문제가 되지 않을 수도 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 발생은 반드시 해결하여야 할 중요한 문제이다.

현재 정의되어 사용되고 있는 안테나 인자는 안테나 소자 자체의 특성뿐만 아니라, B/M회로(Balun/Matching 회로)와 안테나 케이블을 포함한 부하의 특성도 포함되도록 되어 있다 [3][8]. 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 큰 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서, 전계강도의 측정에서 정확한 안테나 인자를 적용할 수 있도록 안테나 인자를 정밀 정확하게 평가할 수 있는 평가 기술이 확립되어 있어야 한다.

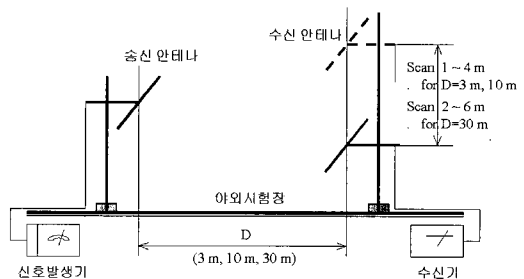
결정적인 안테나 인자 측정법은 아직 개발되어 있지 않지만 현재까지 알려져 있는 안테나 인자의 측정법으로는 표준전자계법, 표준안테나법, 표준사이트법 및 참조안테나법, 3 안테나법 등이 있다. 표준 전자계법과 표준 안테나법은 측정표준을 위한 표준 안테나를 필요로 하지만 나머지 방법들은 표준 안테나를 필요로 하지 않는다.

이와 같이 전기전자정보 통신기로부터 방출되는 방사성의 장해 전자파를 측정하기 위해서

는 야외시험장으로 불리우는 EMC 측정용 시험장과 EMC 안테나가 필요하며, 이들 시험장과 EMC 안테나의 적합성이 잘못 평가되어 있으면 장해 전자파의 측정 결과는 신뢰할 수 없게 되므로 주의가 필요하다. 부적절하게 평가된 야외시험장과 안테나 인자 및 안테나 인자의 적용방법에 따라서 측정된 전계강도(방사성 장해 전자파)의 크기가 달라지기 때문이다. 본 논문에서는 장해 전자파의 측정에서 주의해야 할 측정용 시험장과 EMC 안테나에 관련한 문제점에 관하여 논의하였다.

II. 시험장 감쇠량의 문제점

야외시험장이 방사성 장해 전자파의 측정시설로서 적합한가 적합하지 않은가를 판정하기 위해서는 야외시험장의 시험장감쇠량(SA; Site Attenuation)을 측정하여 이상적인 야외시험장의 시험장감쇠량 기준 이론값과 비교하는 방법을 사용한다. 시험장감쇠량은 정규화 시험장감쇠량(NSA; Normalized Site Attenuation)과 구별하기 위해 일반적인 시험장감쇠량(CSA; Classical or Conventional Site Attenuation)이라고도 하며, 현재의 CISPR 규격에서 규정하고 있는 시험장감쇠량의 평가법을 설명하면 다음과 같다.



[그림 1] EMC 측정용 시험장의 시험장감쇠량 측정 시스템

[Fig. 1] Measurement systems for site attenuation of EMC measuring site

[그림 1]과 같이 야외시험장에 송수신 안테나를 설치하고 다음 식으로 정의되는 송수신 안테나 사이의 전송손실을 측정한다.

$$CSA = \frac{P_t}{P_r} \quad (1)$$

여기서, P_t 및 P_r 는 각각 송신 전력 및 수신 전력을 나타낸다. 송수신 안테나 사이의 거리는 장해 전자파를 측정하는 거리(3m, 10m, 30m)와 동일하게 정하고, 수신 안테나를 규정의 범위내에서 상하로 스캔하여 전송손실의 최소치(전계강도의 최대치)를 측정한다. 이를 EMC 측정 시험장의 시험장감쇠량이라 하며, 측정된 결과를 이상적인 측정 시험장의 시험장감쇠량 이론치(이를 시험장감쇠량의 규격치라 하며 미리 정해 둠)와 비교하여 야외시험장의 적합성을 평가한다. 단, 송수신 안테나의 편파는 수평 및 수직 편파를 사용하며 이론치는 각각의 편파에 대하여 규정되어 있다.

이와 같이 시험장감쇠량의 측정치를 이론치(규격치)와 비교하여 규정의 범위내에서 일치하면 문제가 없지만 경우에 따라서는 특정 주파수의 특정 편파에서 규정의 범위를 벗어나는 경우가 발생한다. 이러한 벗어남이 발생하는 주 원인은 야외시험장을 구성하는 접지평면의 불완전성과 주위 산란체(예를 들면, 비가 온 후는 주위의 나무가 산란체 역할을 함)에 의한 전자파 산란 등으로 인한 것이다. 또한 현재의 규격에 의하면 수평 및 수직 편파를 사용하여 적합성 평가를 실시하므로, 이들 편파 특성으로부터 산란체의 유무를 평가할 수 없는 경우도 발생한다. 이에 대해서는 별도의 연구가 필요하다.

야외시험장의 시험장감쇠량 기준 이론치(규격치)는 다이폴 안테나에 대해서만 비교적 정

확한 이론치가 얻어진다. 따라서, 여러 가지 형태의 안테나에도 적용할 수 있도록 하기 위해 정규화 시험장감쇠량(NSA)이 제안되어 있다. 이것은 위에서 설명한 일반적인 시험장감쇠량에서 시험장감쇠량의 측정에 사용한 송수신 안테나의 안테나 인자로 정규화 한 것이며 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$NSA = \frac{CSA}{K_1 K_2} \quad (2)$$

여기서, K_1 및 K_2 는 각각 송신 및 수신 안테나의 안테나 인자이다. 이러한 정규화 시험장감쇠량은 미국 규격인 ANSI-C 63.4 (1988)이 채용하고, 1993년에는 국제규격인 CISPR-6에서도 도입하였다.

NSA의 측정에 사용한 안테나의 안테나 인자는 안테나의 높이에 따라서 달라지며, 또한 ANSI가 NSA의 규격치로 정한 것은 Friss의 전달공식에 바탕을 둔 것이므로 안테나 인자가 안테나 높이에 따라서 변하는 경우나 송수신 안테나가 가까이 배치되어 상호결합 특성을 무시할 수 없는 경우에는 ANSI의 규격치를 그대로 적용할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 ANSI에서는 1991년에 이를 보정한 ANSI-C 63.4을 제시하였다[1]. CISPR-16 (1993년)은 이를 바탕으로 하고 있다.

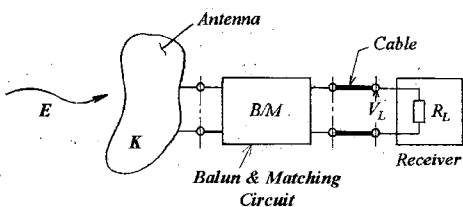
그러나, 이들 규격에 제시되어 있는 보정치는 특정한 안테나(다이폴 안테나)를 상정하여 구한 것이므로 여전히 문제점을 가지고 있다. 일본에서는 이러한 문제점을 인식하고 1992년 전기통신심의위원회에서 새로운 보정계수를 계산하여 일본의 자국 규격치로 정하였다.

이와 같이, EMC 측정 시험장의 적합성 평가법은 오래 전부터 연구되어 왔으나 시판되고

있는 안테나의 특성이 제각기 다르기 때문에 결정적인 평가법은 아직 확정되어 있지 않다. 따라서 야외시험장의 적합성 평가법에 대한 근본적인 재검토가 요구되고 있다. 안테나 교정용의 시험장은 특정한 안테나를 사용하여 시험장감쇠량(CSA)으로 평가하고, 장애 전자파 측정용의 시험장은 정규화 시험장감쇠량(NSA)으로 평가하는 것이 바람직 할 것이다. 이에 대해서는 앞으로 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

Ⅲ. 안테나 인자의 문제점

불필요한 장애 전자파의 크기를 측정하는데 사용하는 EMC 안테나는 [그림 2]와 같이 전자파장애 수신기(EMI receiver) 또는 스펙트럼 분석기(spectrum analyzer)의 입력측에 연결된 전송선로(동축 케이블)에 접속하여 사용한다. EMI측정에 사용하는 전자파장애 수신기 또는 스펙트럼분석기는 전송선로의 부하에 나타나는 전압을 측정하게 되는데, 우리가 필요로 하는 양은 피측정기기로부터 방출되는 전계강도의 크기이므로 장애전자파 측정기로 측정한 전압으로부터 전계강도를 산출해야 한다. 따라서, 안테나계의 특성을 나타내는 파라미터인 전계강도와 부하전압과의 비를 결정해 두어야 한다.



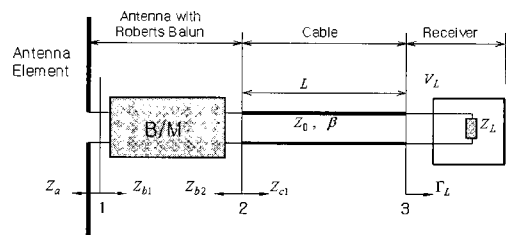
[그림 2] EMC 안테나
[Fig. 2] EMC antennas

이 비를 EMC 안테나의 안테나 인자라고 하며 일반적으로 특별한 언급이 없으면 최대 전계강도를 수신할 때, 전자파장애 측정기에 나타나는 전압과 전계강도와의 비를 안테나 인자로 정의한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$K = \frac{E}{V_L} \quad (3)$$

여기서, E 는 공간의 전계강도이며 V_L 은 안테나의 B/M 회로에 연결된 전송선로를 거쳐서 전자파장애 측정기에 나타나는 전압이다. 식 (3)의 정의에서 전계강도는 평면파를 가정하고 있으므로 안테나 인자는 자유공간에서 정의되며 원역장(far field)에서 사용되어야 한다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 반파장 공진 다이폴 안테나가 자유공간 속에 놓여져 있는 경우를 예로들어 안테나 인자의 문제점을 고찰하기 위해 안테나 인자의 표현식을 구한다. [그림 3]과 같이 반파장 공진 다이폴 안테나의 단자에는 Roberts 밸런[9]이 접속되어 있으며 케이블을 거쳐서 장애전자파 수신기가 접속되어 있다.



[그림 3] 전자파장애 수신기가 연결된 EMC 안테나

[Fig. 3] EMC antennas connected to EMI receiver

[그림 3]으로부터 안테나 인자는 수신기에 나타나는 전압을 사용하여 식 (3)으로 정의된다. 식 (3)의 안테나 인자를 이론적으로 계산하기 위해서는 수신기의 입력단자에 나타나는 전압을 구해야 하는데, 안테나에 접속되어 있는 B/M회로의 형상이 복잡하면 Maxwell방정식의 경계치 문제로 평가하기는 대단히 어렵다. 그러므로, 여기서는 안테나 부분의 평가는 경계치 문제로 취급하고, B/M회로의 평가는 전력의 흐름에 따라서 생기는 전력손실의 개념을 이용하여 회로 이론적으로 취급하기로 한다 [6][8].

[그림 3]에서 B/M 회로 및 케이블의 도체손실은 무시하고(동축선로의 도체손실은 약 0.01 dB 이하) 안테나의 유효장 h_e 를 도입하면, 식 (3)의 안테나 인자는 다음과 같이 계산된다.

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

여기서, R_a 는 안테나의 입력저항이며 R_L 은 수신기의 입력저항이다. 식 (4)에서 B/M회로가 무손실이라면 K_L 은 다음과 같다.

$$K_L = \sqrt{\frac{|Z_{b1} + Z_{a1}|^2}{4R_a R_{b1}}} \quad (5)$$

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

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

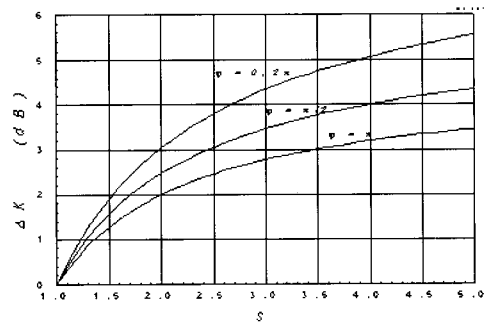
여기서, X_c 및 X_p 는 B/M회로를 4단자회

로망으로 나타냈을 때의 임피던스 파라미터이며, Z_{c1} 은 부하측에서의 반사(정재파비 S)를 고려하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

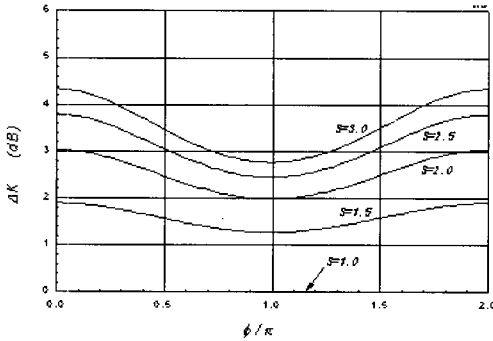
여기서, ϕ 는 부하측 반사계수의 위상, β 는 케이블의 전파정수를 나타낸다. 또한, L 은 밸런의 출력단에서 부하(수신기)를 연결하는 케이블의 길이이다.

본 논문에서는 안테나에 흐르는 전류분포에 관한 Pocklington의 적분방정식을 구분적 정현함수를 사용한 Galerkin의 방법을 적용하여 근사수치해를 구하고 이로부터 식 (4)의 안테나 인자를 계산하였다. 계산에 사용한 안테나의 제원은 반경 $a=3.175\text{mm}$, 사용 주파수 $f=45\text{MHz}$, 길이 L =반파장 부근에서 공진하는 길이의 것을 사용하였으며, 케이블의 파장 단축율은 고려하지 않았다. 안테나에 접속된 밸런은 중심 주파수가 45MHz이며 20~65MHz 대역에서 동작하는 Roberts 밸런을 사용하였다[9].



[그림 4] 부하측의 정재파비에 대한 안테나 인자의 차

[Fig. 4] Difference of antenna factors versus standing wave ratio



[그림 5] 부하측 반사계수의 위상에 대한 안테나 인자의 차

[Fig. 5] Difference of antenna factors versus phase of reflection coefficient

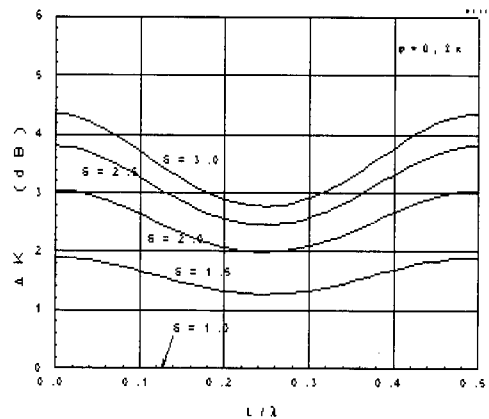
[그림 4]는 Roberts 밸런이 접속된 반파장 공진 다이폴 안테나에 있어서 부하측의 반사계수 Γ_L 의 위상변화를 파라미터로 하였을 때 부하측의 반사계수(정재파비)에 대한 안테나 인자의 차를 나타낸다. [그림 5]는 부하측의 정재파비를 파라미터로 하여 부하측 반사계수의 위상에 대한 안테나 인자의 차를 나타낸다. 여기서, 안테나 인자의 차란 반사계수가 0인 경우의 안테나 인자로부터 반사계수가 유한인 경우의 안테나 인자를 뺀 것($\Delta K = K(\Gamma_L = 0) - K(\Gamma_L \neq 0)$, dB)으로 정의한다. [그림 4] 및 [그림 5]로부터 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 변동폭은 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 3

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

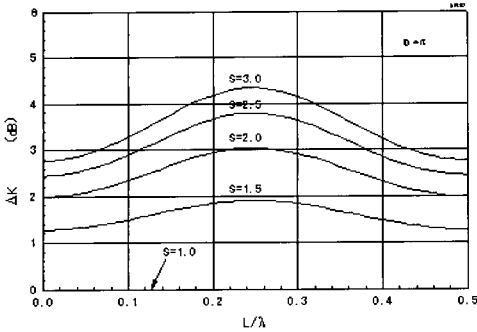
$$K = \frac{E}{V_L} \Big|_{|\Gamma_L|=0} \quad (8)$$

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 특성을 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 6] 반사계수의 위상이 변화한 경우의 케이블 길이에 대한 안테나 인자의 차

[Fig. 6] Difference of antenna factors versus cable length



[그림 7] 반사계수의 위상이 변화한 경우의 케이블 길이에 대한 안테나 인자의 차
 [Fig. 7] Difference of antenna factors versus cable length

[그림 6] 및 [그림 7]은 반사계수의 위상이 0 및 π 인 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.

IV. 표준 사이트법의 문제점

결정적인 안테나 인자의 측정법은 아직 개발되어 있지 않지만 현재까지 알려져 있는 안테나 인자의 측정법으로는 표준전자계법, 표준안테나법, 표준사이트법 및 참조안테나법, 3안테나법 등이 있다. 표준 사이트법(standard site methods, SSM)은 정확히 특성이 평가된 이상적인 사이트(안테나 시험장, antenna test site, open area test site)를 필요로 한다. 표준 사이트법은 이상적인 측정 사이트(측정 시험장)를 필요로 하는데 사이트의 적합성을 평가하기 위해서는 안테나계 고유의 특성인 안테나 인자가 필요 한데도, 안테나 인자를 측정하기 위해서는 완전한 사이트가 필요하게 된다. 따라서, 이 방법을 사용하자면 사이트의 불완전성과 안테나 인자의 관계를 검토해 두지 않으면 안된다. 이 때문에 표준 사이트법은 계란이 먼저냐 닭이 먼저냐라는 근본 문제에 봉착하게 된다.

표준 사이트법은 이득 측정방법의 하나인 3-안테나법을 이용한 방법이다. 이 방법에 의한 안테나 인자의 측정방법은 다음과 같다. 즉, 안테나 인자로 표현한 시험장감쇠량의 식을 이용하면 되는데 구체적으로는 다음과 같다. 먼저 피측정 안테나를 포함하여 3개의 안테나를 준비한다. 각각의 안테나를 #1, #2, #3로 번호를 정하고, #1과 #2, #1과 #3, 그리고 #2와 #3의 안테나를 쌍으로 하여 시험장감쇠량(Classical Site Attenuation, CSA)을 측정한다. 이때의 시험장감쇠량을 S_{ij} (i =송신 안테나의 번호, j =수신 안테나의 번호)로 표현하면 정규화 시험장감쇠량(Normalize Site Attenuation, NSA)의 정의

$$NSA = \frac{S_{ij}}{K_i K_j} \quad (9)$$

로부터 다음식을 얻는다.

$$S_{12} = K_1 + K_2 + NSA(dB) \quad (10a)$$

$$S_{13} = K_1 + K_3 + NSA(dB) \quad (10b)$$

$$S_{23} = K_2 + K_3 + NSA(dB) \quad (10c)$$

위의 식으로부터 3 안테나의 안테나 인자는 다음 식과 같이 구해진다.

$$K_1 = \frac{1}{2} [S_{12} + S_{13} - S_{23} - NSA] \quad (11a)$$

$$K_2 = \frac{1}{2} [S_{12} - S_{13} + S_{23} - NSA] \quad (11b)$$

$$K_3 = \frac{1}{2} [S_{13} - S_{12} + S_{23} - NSA] \quad (11c)$$

이 방법의 문제점은 #2 안테나가 송신과 수신 양쪽에 사용되므로 오차발생의 요인이 된다는 점이다. 왜냐하면 $K_2(h_1) \neq K_2(h_2)$ 이기 때문이다. 따라서 현재 규격에 규정되어 사용하고 있는 표준 사이트법은 결정적인 문제점을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 EMI 측정을 위해 가장 기본적으로 필요한 측정용 시험장과 EMC 안테나의 평가 파라미터에 관한 문제점을 지적하고 검토하였다. 측정에 사용하는 야외시험장의 측정장으로서의 적합성이 확인되어 있지 않거나 안테나의 정확한 안테나 인자를 모르거나 또는 틀린 안테나 인자를 적용하게 되면 측정된 장해 전자파의 크기는 신뢰할 수 없게 된다. 본

논문에서는 특히 EMC 안테나 중에서도 가장 기본이 되는 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 0 일때의 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.

■ 참고문헌

- [1] 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.
- [2] CISPR-16 part 1, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods-Part 1, Radio disturbance and immunity measuring apparatus", 1993.
- [3] 김 기채, 정연춘, 정낙삼, "모멘트법을 적용한 다이폴 안테나의 안테나 인자", 한국전자파기술학회지, 창간호, pp.28-34, 1990.
- [4] 김기채, "접지판 위에 놓여진 반파장 공진 다이폴 안테나의 안테나 인자", 한국전자파기술학회지, 제2권, 제4호, pp.3-9, 1991.
- [5] M.T.Ma and M.Kanda, "Electromagnetic Compatibility and Interference Metrology", NBS Tech. Note 1099, July

- 1986.
- [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] 김기채, "Roberts 밸런을 갖는 단축 다이폴 안테나의 안테나 인자", 한국통신학회 논문지, 제22권, 제3호, pp.532-538, Mar. 1997.
- [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.
- [9] W.K. Roberts, "A New Wide-Band Balun", *Proc. of the IRE*, vol.45, no.12, pp.1628-1631, Dec. 1957.

저자 소개



김기채

(金基采, Ki-Chai Kim)

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 전자정보공학부 부교수, 한국전자파학회 편집상임이사

일본 IEICE Young Engineer Award (1988), 일본 전기학회 논문발표상 수상 (1994).

주관심분야 EMC/EMI 관련 안테나 및 측정시설, 소형 안테나, 전자파 이론 및 응용.