



# 1. 서론

안테나는 전기신호를 전자파 에너지로 변환하여 공간으로 효율 좋게 방사시키든가 또는 전자파 에너지를 수신하여 효율 좋게 전기신호로 변환하는 트랜스듀서의 일종으로 생각할 수 있으며 사용목적에 따라서 두 가지로 구분할 수 있다. 즉, 정보전달의 목적으로 사용하는 통신용 안테나와 방사 전자파의 크기를 검출하기 위한 목적으로 사용하는 측정용 안테나(센서로서의 안테나)로 구분할 수 있다.

통신용 안테나는 사용 주파수에서 전자파 에너지를 효율 좋게 송수신 할 수 있도록 안테나의 형상과 구조 등이 연구 개발되어진다. 이러한 통신용 안테나의 평가 파라미터는 입력 임피던스, 정재파비, 대역폭 및 반사손실과 원역장에서 정의되는 방사 지향성, 지향성 이득, 편파특성, 교차편파식별도, 전후방비 등이 있다. 사용 주파수와 방사 지향성의 형태, 대역폭 등 안테나에 관한 요구사항이 결정되면 요구 특성에 맞는 안테나의 형상과 구조 등을 결정하게 된다.

EMC/EMI 분야에서는 전기, 전자, 정보처리 장치 및 시스템 등으로부터 방출되는 불요전자파의 크기(전계강도 또는 자계강도)를 측정하기 위해 측정용 안테나(이하 EMC 안테나, 또는 EMI 측정용 안테나

라고 함)가 필요하다. 이러한 EMC 안테나는 정보의 전달을 목적으로 하는 통신용 안테나와는 평가 파라미터가 다르다. EMC 측정용 안테나의 평가 파라미터는 안테나 인자 (antenna factor)이며 불요 전자파의 크기 측정에서 대단히 중요한 역할을 한다[1],[2]. 왜냐하면, 안테나 인자의 적용방법에 따라서 측정된 전계강도의 크기가 달라지기 때문이다. 따라서, 전계강도의 측정에서 정확한 안테나 인자를 적용할 수 있도록 안테나 인자를 정밀 정확하게 평가할 수 있는 평가 기술이 확립되어 있어야 한다.

주파수 대역	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF
주파수	30 kHz ~ 300 kHz	300 kHz ~ 3 MHz	3 MHz ~ 30 MHz	30 MHz ~ 300 MHz	300 MHz ~ 3 GHz	3 GHz ~ 30 GHz
미소 루프 안테나	→			→		
미소 다이폴 안테나					→	→
모노폴 안테나				→		
반파장 다이폴 안테나				→	→	→
바이코니컬 안테나				→	→	→
대수 주기 다이폴 안테나				→	→	→
혼 안테나					→	→

→ : 일반적으로 이용되는 방해 전자파 측정용 안테나

그림 1. EMI 측정용 안테나의 종류

본 고에서는 EMI 측정용 안테나가 필요한 이유와

중요성에 대하여 개관하고 EMC 측정용 안테나의 종류와 측정용 안테나의 평가 파라미터인 안테나 인자 및 안테나 인자의 측정법에 대하여 간략히 설명하고자 한다.

## 2. EMC 안테나의 평가 파라미터

### 2.1 안테나 인자

EMC 측정용 안테나는 전계강도의 측정에 사용하므로 주목해야 할 안테나의 특성도 통신용 안테나와는 다르다. EMC 안테나는 그림 2와 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 피측정기로부터 방출되는 전계강도의 크기이므로 방해파측정기로 측정한 전압으로부터 전계강도를 산출해야 한다.

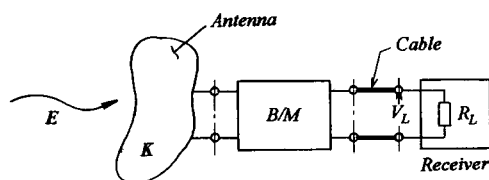


그림 2. 안테나 인자의 정의

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 공간의 전계강도와의 비를 안테나 인자로 정의하며 식으로 표현하면 다음과 같다[3].

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

여기서,  $E$ 는 공간의 전계강도이며  $V_L$ 은 안테나에 연결된 전송선로를 거쳐서 방해파측정기에 나타나는 전압이다. 식(1)을 데시벨로 표현하면

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

와 같고, 안테나 인자의 역할을 음미하는데 도움이 된다. 식(2)를 전계강도에 주목하여 정리하면 다음 식을 얻는다.

$$E = K + V_L \text{ (dB)} \quad (3)$$

식(3)을 보면, 방해파측정기에 나타나는 전압  $V_L$ 에 안테나 인자  $K$ 를 더하면 전계강도가 구해진다. 이것을 알 수 있다. 이와 같이 안테나 인자는 전압을 전계강도로 변환하는 변환계수임을 알 수 있으며 EMC 측정용 안테나가 갖는 고유의 특성이다.

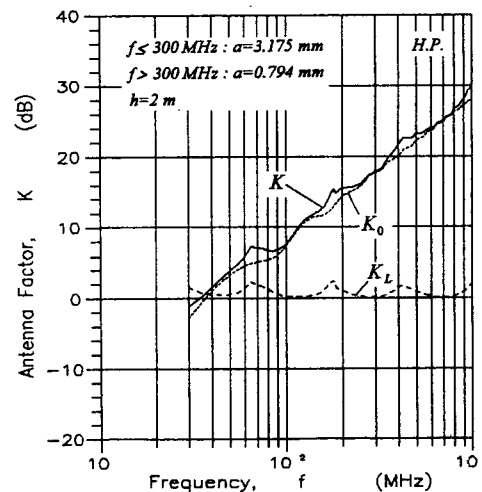


그림 3. 안테나 인자의 주파수 특성(반파장 공진 다이폴 안테나)

이러한 안테나 인자는 EMI 측정에만 사용하는 것이 아니라, EMI 측정에 사용하는 시험장인 야외시험장(open area test site)의 특성평가에도 사용된다. 야외시험장의 특성 평가용 파라미터인 정규화 시험장 감쇠량은 평가에 사용하는 안테나의 안테나 인자를 알고 있어야 하기 때문이다.

그림 3은 Roberts 밸런[4]이 부착된 반파장 공진 다이폴 안테나의 안테나 인자를 모멘트법으로 계산한 결과이다[5],[6]. 그림에서  $K_L$ 는 Roberts 밸런의 영향을 나타내고 있다.

## 2.2 복소 안테나 인자

뇌방전 또는 정전기 방전 등에서 발생하는 광대역인 과도 전자계는 시간영역에서 측정하는 것이 보다 더 직접적이다. 시판되고 있는 EMI 측정용 안테나(주파수 영역 측정용)로서는 시간영역의 펄스파형을 정확하게 재현할 수 없다. 그 이유는 주파수 대역폭이 좁고 전계강도를 구할 때 사용하는 안테나 인자의 위상항을 고려하고 있지 않기 때문이다.

시간영역에서의 전자계 강도를 측정하기 위해서는 광대역에서 균일한 감도특성을 갖는 안테나가 필요하며 안테나 인자의 위상항도 고려되어야 한다. 안테나 인자에 위상항을 고려한 복소 안테나 인자는 다음과 같이 정의한다. 즉, 각주파수가  $\omega$ 인 평면파의 전계  $E(\omega)$  중에 놓여진 안테나의 정합부하  $Z_L$ 에 나타나는 복소출력 전압을  $V_L(\omega)$ 라 하면 복소안테나 인자  $K_c(\omega)$ 는

$$K_c(\omega) = E(\omega) / V_L(\omega) \quad (4)$$

과 같이 정의한다.

주파수 영역의 측정에서 일반적으로 사용되고 있는 안테나 인자는 식(4)의 절대치만을 고려하고 있으며 식(1)이 바로 그것이다.

식(4)로부터 절대치와 위상항을 고려한 복소 안테나 인자는 다음과 같다.

$$K_c(\omega) = \frac{|E(\omega)|}{|V_L(\omega)|} e^{j\phi(\omega)} \quad (5)$$

안테나에서 측정된 복소 정합출력전압  $V_L(t)$ 로부터 복소전계강도는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E(\omega) = K_c(\omega) F\{V_L(t)\} \quad (6)$$

여기서,  $F$ 는 푸리에 변환을 나타낸다. 따라서 시간영역 전계강도의 파형은 복소 안테나 인자와 복소정합출력전압을 이용하여 다음과 같이 구해진다.

$$E(t) = F^{-1}\{K_c(\omega)F\{V_L(t)\}\} \quad (7)$$

단, 여기서  $F^{-1}$ 는 역푸리에 변환이다.

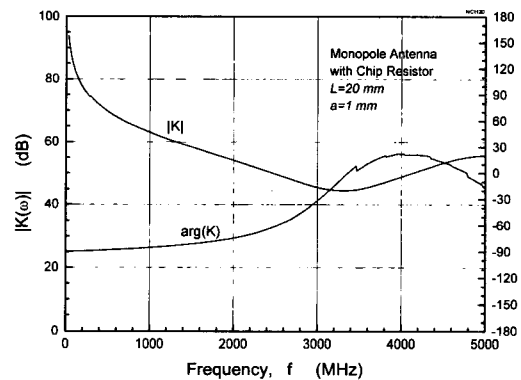


그림 4. 복소 안테나 인자의 주파수 특성(모노폴 안테나)

그림 4는 칩저항이 병렬로 연결된 모노폴 안테나의 복소 안테나 인자의 계산 결과이다[7].

## 3. EMI 측정용 안테나의 종류

전기, 전자, 정보처리 장치 및 시스템 등으로부터 방출되는 불요 전자파의 전계강도를 측정(EMI 측정이라 함)하는 안테나는 통신용 안테나와는 달리 종류

가 한정되어 있다. 방사성 불요 전자파의 측정은 30-1000[MHz](현재 18GHz까지 확장되어 있음) 대역에서 실시되고 있으며 반파장 공진 다이폴 안테나의 사용이 기본이다. 반파장 공진 다이폴 안테나란, 안테나 전체의 길이가 반파장 부근에서 공진하는 다이폴 안테나를 말하며 안테나의 전체 길이가 반파장보다 약간 짧은 안테나이다.

30-80[MHz] 대역에서는 80[MHz]에 공진하는 반파장 공진 다이폴 안테나를 사용하기도 한다. 주파수가 낮아지면 안테나의 길이가 길어지므로 취급이 어려울 뿐만 아니라 안테나 소자의 처짐이 발생하므로 낮은 주파수 대역에서는 80[MHz]에 공진하는 단축 다이폴 안테나를 사용하는 것이다. 이러한 반파장 공진 다이폴 안테나는 측정 주파수 각각에 대하여 안테나를 준비하던가 또는 안테나의 길이를 측정 주파수 마다 조정해야 하는 번거로움이 있다.

이 때문에 일정 조건하에서는 광대역 안테나를 사용하기도 한다. 광대역 특성을 갖는 EMC 안테나로서는 대수주기 다이폴 안테나(log periodic dipole antennas, LPDA, 사용 주파수 대역: 200-1000[MHz])와 바이코니칼 안테나(biconical antennas, 사용 주파수 대역: 30-300[MHz])가 대표적이다. 이들 안테나는 모두 직선 편파(수평편파 또는 수직편파)의 특성을 갖는 안테나이며 EMI 측정의 자동화를 목적으로 많이 사용된다.

방사 전자계를 정확히 측정하기 위해서는 소형 안테나가 요구되는데 안테나의 크기가 소형이 되면 안테나에 접속된 동축 케이블이 안테나 소자의 길이에 비해 길어지게 되므로 동축 케이블의 영향이 문제가 된다. 이와 같이 안테나의 급전부에 연결된 동축 선로의 영향을 배제하기 위해서는 광기술을 이용하는 경우가 있는데, 이러한 안테나의 대표적인 예로서는 (1) 안테나 내부에 O/E 변환기를 내장한 안테나, (2)  $\text{LiNbO}_3$  등의 광 변조기를 이용한 광대역 전계센서가 있다. 광기술을 이용하면 케이블에 의한 전자파의 교란은 발생하지 않으므로 측정목적에 따라서는 이를 적극적으로 사용하는 것을 검토하고 있기도 하지만

가격이 고가인 것이 결점이다.

또한, EMC 측정용 안테나는 측정 목적에 따라서 주파수 영역의 측정과 시간 영역의 측정으로 구분할 수 있다. 위에서 언급한 반파장 공진 다이폴 안테나, 대수주기 다이폴 안테나, 바이코니칼 안테나는 주파수 영역에서 사용하는 대표적인 안테나이다. 뇌방전 또는 정전기 방전 등과 같은 펄스형태의 전자파를 측정하기 위해서는 시간영역에서 측정하는 것이 바람직하며 TEM 전송선로형의 광대역 안테나가 개발되어 연구용으로 사용되고 있기도 하다.

#### 4. 안테나 인자의 측정법

일반적인 EMC 안테나에 대한 안테나 인자의 직접적이고도 정밀정확한 측정법은 아직 개발되어 있지 않다. 몇가지의 측정법은 개발되어 있으나 신뢰할 수 있는 오차평가법이 아직 제시되어 있지 않으며 현재까지 알려져 있는 안테나 인자의 측정법으로서 표준 전자계법, 표준 안테나법, 표준 사이트법, 참조 안테나법, 3 안테나법 등이 있다[3].

##### 4.1 표준 전자계법

표준 전자계법(standard field methods, SFM)은 정확히 이론계산이 가능한 송신 안테나를 필요로 한다. 즉 송신 안테나로부터 임의의 거리에 떨어진 위치의 전자계를 이론적으로 예측할 수 있어야 한다. 표준 전자계법에 의한 안테나 인자의 측정은 주로 루프안테나의 안테나 인자를 측정하기 위해 많이 이용하고 있다.

##### 4.2 표준 안테나법

표준 안테나법(standard antenna methods, SAM)은 정확히 이론계산이 가능한 수신 안테나를 필요로 한다. 즉 수신 안테나에 유기되는 전자계를 이론적으로 예측할 수 있어야 한다. 이 방법은 수신 안테나의 유효길이 및 개방단자전압으로부터 안테나 부근의 전계의 세기(전계강도)를 구하여 피측정 안테나의 안

테나 인자를 구하는 방법이며 기본이 되는 표준은 수신측에 있다. 이 방법은 표준 안테나로 사용할 반파장 공진 다이폴 안테나와 개방 단자전압을 측정하기 위한 안테나 전압계가 필요하다.

표준 안테나법에 의한 안테나 인자의 측정은 미국의 국립표준과학기술원(NIST)을 비롯한 많은 나라에서 사용하고 있다. 국내에서는 한국표준과학연구원의 전자파연구실에서 이 방법을 이용한 안테나 인자 측정시스템을 개발하였다.

이 방법의 문제점으로는 대형의 안테나 시험장이 필요하다는 것과 개방단자 전압의 측정이 어렵다는 점이다. 경우에 따라서는 상당히 큰 측정오차를 발생시키기도 한다. 측정 시스템에 대한 신뢰성 있는 측정오차의 평가가 필요하다.

### 4.3 표준 사이트법

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 사이트를 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 근본문제에 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 시험장

감쇠량을  $S_{ij}$  ( $i$ =송신 안테나의 번호,  $j$ =수신 안테나의 번호)로 표현하면 정규화 시험장감쇠량(Normalize Site Attenuation, NSA)의 정의

$$NSA = \frac{S_{ij}}{K_i K_j} \quad (8)$$

로부터 다음식을 얻는다.

$$S_{12} = K_1 + K_2 + NSA \quad (\text{dB}) \quad (9a)$$

$$S_{13} = K_1 + K_3 + NSA \quad (\text{dB}) \quad (9b)$$

$$S_{23} = K_2 + K_3 + NSA \quad (\text{dB}) \quad (9c)$$

위의 식으로부터 3 안테나의 안테나 인자는 다음 식과 같이 구해진다.

$$K_1 = \frac{1}{2} [ S_{12} + S_{13} - S_{23} - NSA ] \quad (10a)$$

$$K_2 = \frac{1}{2} [ S_{12} - S_{13} + S_{23} - NSA ] \quad (10b)$$

$$K_3 = \frac{1}{2} [ S_{13} - S_{12} + S_{23} - NSA ] \quad (10c)$$

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.

### 4.4 참조 안테나법

참조 안테나법(reference antenna methods, RAM)은 참조 안테나의 정확한 안테나 인자가 알려져 있어야 한다. 이 방법은 안테나 인자의 값이 알려져 있는 참조 안테나를 준비하면 되므로 기업체 등에서는 보유하고 있는 EMC 안테나의 안테나 인자를 확인하기 위해 간편하게 적용할 수 있다.

참조 안테나법에 의한 안테나 인자의 측정법은 다음과 같다. 즉, 안테나 인자의 값을 알고 있는 참조안테나를 준비한다. 안테나 인자가  $K_0$ 인 참조안

테나로 측정된 단자전압이  $V_0$  이면 송신안테나로부터의 전계강도  $E$  가 다음 식으로부터 구해진다.

$$K_0 = \frac{E}{V_0} \quad (11)$$

이므로

$$E = K_0 + V_0 \text{ (dB)} \quad (12)$$

이다. 그 다음, 참조안테나를 제거하고 같은 위치에 피측정안테나(antenna under test, AUT)를 위치시켜, AUT의 단자에 측정되는 단자전압  $V_1$  를 측정하면 AUT의 안테나 인자는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} K_1 &= E - V_1 \\ &= (K_0 + V_0) - V_1 \text{ (dB)} \end{aligned} \quad (13)$$

이 식으로부터 알 수 있는 것과 같이 AUT의 안테나 인자는 참조안테나의 안테나 인자에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있다.

## 5. 맺음말

EMI 측정용 안테나의 필요성과 중요성 및 평가 파라미터인 안테나 인자의 정의에 대하여 간단히 설명하였다. 또한, EMI 측정용 안테나의 종류 및 안테나 인자의 측정법에 대해서도 필요한 부분은 자세히 설명하였다. EMC 안테나는 통신용 안테나와는 달리 평가 파라미터가 안테나 인자이며, 사용 안테나의 정확한 안테나 인자 값을 모르거나 또는 틀린 안테나 인자 값을 모르고 사용할 경우에는 측정된 전계강도가 참값인지 아닌지를 판단할 수 없게 된다. 자유공간의 안테나 인자값을 그대로 야외시험장에서 적용하는 경우 등이 좋은 예이다. 이상의 내용이 독자 여

리분에게 조금이나마 참고가 되었으면 더 없는 기쁨으로 생각한다.

## 참고 문헌

- [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] M.T.Ma and M.Kanda; "Electromagnetic Compatibility and Interference Metrology", NBS Tech. Note 1099, July 1986.
- [4] W.K. Roberts; "A New Wide-Band Balun", Proc. of the IRE, vol.45,no.12,pp.1628-1631, Dec. 1957.
- [5] K.C.Kim and S. Tokumanu; "Antenna Factors of Half-wavelength Dipole Antennas with Roberts Balun", IECE Trans., vol.J78-B-II,no.11,pp.717-724, Nov.1995.
- [6] 김기채; "접지판 위에 놓여진 반파장 공진다이폴 안테나의 안테나 인자", 한국전자파기술학회지, 제2권, 제4호, pp.3-9, 1991.
- [7] 김기채; "EMC 모노폴 안테나의 복소 안테나 인자", 한국전자파기술학회논문지, 제11권, 제8호, pp.1322-1328, 2000.

## ◇ 著 者 紹 介 ◇



김 기 채(金基采)

1984년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업. 1986년 3월 일본 Keio Univ. 대학원 졸업(공학석사). 1989년 3월 일본 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 조교수, 부교수, 한국전자파학회 평의원, 편집이사. 주관 분야는 EMC/EMI 안테나 및 측정시설, 전자파 이론 및 전자파 응용.