

산업체 기고문	
대용측정시설에 대한 규제치 설정을 위한 통계적 방법	
권 종 화	
ETRI 디지털방송연구단 전파기술연구그룹	

I. 개 요

최근 국제적으로 정보화 사회로의 발전이 활발이 진행되는 가운데 컴퓨터를 비롯한 각종 정보기술 장치(ITE)의 동작 주파수가 급속하게 높아지고 있으며, PCS, IMT-2000 등과 같은 이동통신 서비스의 사용 주파수도 계속해서 높아지고 있다. 또한, 디지털 기술과 반도체 기술 등 전기·전자 분야의 기술도 급속히 발전함에 따라서 ITE 관련 첨단 기기들은 이전 보다 작아진 크기에 보다 많은 기능을 보다 적은 전력을 사용하여 구현하는 등 소형화, 저전력화 및 광대역화 특성을 갖게 되었다. 그러나 기가헤르츠 대역의 고속 신호를 사용하는 이러한 기기들로부터 방출되는 불요 전자파는 각종 기기들에 오동작의 원인이 될 뿐만 아니라, Bluetooth, 무선랜 등의 이동 통신 서비스에 장애를 유발시키는 장애원이 된다. 이러한 전자파 환경 변화에 따라 발생하는 여러가지 문제점들에 대해 효과적으로 대처하기 위해 전자파 적합성(EMC) 분야의 국제 표준화 위원회인 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission: IEC) 산하의 국제무선장해특별위원회(International Special Committee on Radio Interference: CISPR)에서는 규제 주파수 범위를 ~ 18 GHz 대역까지 확장하여 허용 기준치 및 시험 방법 등에 대한 표준화 작업을 수행하고 있다^{[1],[2]}.

EMC 복사 방출 시험을 위해 사용되는 기준 측정

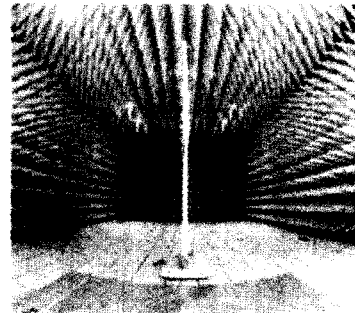
시설은 [그림 1]의 (a)에서와 같은 야외시험장(Open Area Test Site)으로 전자파장해 측정을 위해서는 환경 잡음이 낮은 야외시험장이 가장 바람직하나, 근래 전자기기 사용의 증가와 방송·무선통신 시스템의 다양화로 인한 인공 잡음의 증대로 적합한 부지의 선정이 어렵고 설치 비용이 매우 크며, 날씨 변화에 따라 시험 계획이 변경될 수도 있는 단점이 있다. 야외시험장의 단점을 보완하면서도 전기적으로는 동일한 특성을 갖도록 개발된 시설이 [그림 1]의 (b)의 전자파 반-무반사실(Semi-Anechoic Chamber)이다. 전자파 반-무반사실은 대부분의 환경 잡음을 감쇠시키므로 야외시험장처럼 장소의 구애를 받지 않기 때문에 도시나 제품 생산지 가까이에 설치 운용이 가능하지만 큰 설치 공간과 많은 시설 유지 비용을 필요로 하며, 저주파 대역에서는 반사에 의한 공진을 완전히 제거할 수 없어 성능이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

야외시험장이나 전자파 반 무반사실 등과 같은 기존의 기준 측정 시설의 문제점들을 보완하여 최근에는 전자파 무반사실(Fully Anechoic Chamber), TEM cell이나 GTEM cell과 같은 TEM 도파관(waveguide)이나 전자파 잔향실(reverberation chamber)을 전자파적합성 시험을 위한 대용 측정 시설(alternative test facility)로 사용하기 위한 움직임이 활발히 진행되고 있다^[3].

본 고에서는 보다 효율적인 전자파적합성 시험을



(a) 야외시험장(Open Area Test Site)



(b) 전자파 반-무반사실(Semi Anechoic Chamber)

[그림 1] 전자파 적합성 시험을 위한 기준 측정 시설

위해 연구·개발되고 있는 전자파 무반사실, TEM 도파관, 그리고 전자파 잔향실 등의 측정 시설들이 기존의 측정 시설과 동일한 효력을 갖는 대용 측정 기법으로 사용되기 위해 필요한 조건, 즉 기준 시설과 동일한 규제 특성을 갖도록 각각의 측정 시설에 대해 적절한 규제치(limit)를 설정하는 방법에 대해 기술하였다. 본 고의 내용은 현재 IEC/CISPR 산하 A 소위원회에서 표준화 활동이 진행중인 내용(CISPR/A/473/CD)¹⁴⁻¹⁶⁾을 토대로 작성되었으며, 세부 내용은 표준화 활동의 결과에 따라 변경되거나 보완될 수 있다.

II. 대용 측정 시설로서 사용하기 위한 조건

최근에 전자파 무반사실, TEM 도파관, 그리고 전자파 잔향실 등 복사 전자파 측정을 위한 새로운 시험 방법이 개발되었으며, 이러한 시설들을 이용한 복사 전자파 측정법이 가까운 미래에 규범적 표준(normative standards)에 포함될 것으로 예상되며, 따라서 동일한 형식의 측정을 위한 다양한 시험 방법들이 표준에 포함될 것이다. 다양한 대용 측정 시설들을 이용한 복사 전자파 측정 방법이 규범적 표준으로 존재하는 상황에서는 적용되는 측정 시설과는 상관 없이 보호하고자 하는 무선 서비스(radio service)에 대해 동일한 보호 효과가 달성되도록 하는

것이 필수적이다. 따라서 전자파 방출(EMI) 측정의 기본적인 목적과 관련하여 대용 측정 시설 및 측정 방법에 관한 가장 중요한 요구 사항은 규범적 표준에 정의된 대용 측정 시설을 이용한 시험 방법은 무선 서비스에 대해 기존에 명시된 시험 방법과 동일한 정도의 보호를 보장해야만 한다는 것이다.

일반적으로 측정 시설이나 시험 방법은 관련 규제치(limits) 자체에 부분적으로 영향을 미치기 때문에 측정 시설과 동시에 관련된 규제치가 함께 검토되어야 한다. 야외시험장이나 전자파 반-무반사실 등과 같이 현재 사용되고 있는 기준 시설에 대한 규제치는 무선 서비스를 적절하게 보호하고 있는 것으로 가정하고, 이를 기준으로 대용 측정시설에 대해서는 기존의 규제치를 그대로 적용할 수 있는지 혹은 새로운 규제치를 개발해야 하는지에 대한 검증이 필요하다. 이를 위해 임의의 측정 시설이나 시험 방법에 대해 전자파적합성 시험을 위한 대용 측정 시설로서 사용 가능한지의 여부를 입증하는 방법, 즉 기존 시험 방법의 규제치로부터 대용 측정 방법의 규제치를 도출하는 방법에 대해 다음 절에서 단계별로 자세히 기술하였다.

III. 대용 측정 시설에 대한 규제치 도출 절차

3-1 물리적 기준량 선택

대용 측정 시설에 대한 규제치(limit)를 도출하는 첫 번째 단계는 물리적 기준량(physical reference quantity), Q 를 선택하는 일이다. 물리적 기준량(Q)은 무선 서비스에 간섭을 일으킬 가능성이 있는 양을 고려하여 선택하여야 한다. 예를 들면, 30~1,000 MHz 주파수 범위에서 복사 방출 측정의 경우 EUT 주변에서 측정된 최대 전기장 강도를 물리적 기준량으로 선정한다. 반면에 30 MHz 미만의 주파수 범위에서의 물리적 기준량은 수직 성분의 전기장 강도, 자기장 강도 혹은 전압 등이 될 수 있다.

3.2 시험 방법 기술

기준 측정 시설과 대용 측정 시설에서의 측정 혹은 시험 방법이 자세히 기술되어야 한다. 이러한 기술에는 시험을 위한 EUT 및 측정 기기들의 배치, EUT의 방출 측정 방법과 측정값이 추출되는 과정 등이 포함된다. 시험 방법에 대한 기술은 각 시설에서 관련 측정 및 시험이 어떻게 이루어지는 지를 이해하는 기초로서 두 시험 방법을 비교·분석하는데 활용된다.

3.3 측정치와 물리적 기준량의 편차를 결정

각 측정 시설을 사용하여 측정된 결과들은 물리적 기준량인 Q 와 다르다. 이러한 편차는 EUT의 특성뿐만 아니라 시험 방법의 특성에 따라서도 달라진다. 특정 EUT를 고려하여 대용 측정 방법과 기존의 시험 방법에 대해 주파수에 따라 달라지는 물리적 기준량과의 편차를 측정할 수 있다. i 번째 EUT에 대해 대용 측정 방법의 물리적 기준량과의 편차는 다음과 같이 구한다.

$$D_{AM}(f) = Q(f) - M_{AM}(f) \quad (1)$$

여기서 i 는 i 번째 EUT를, f 는 주파수를 의미한다. 또한, $D_{AM}(f)$ 는 대용 측정 시설에서 물리적 기준량과 i 번째 EUT의 측정 결과 사이의 편차를, $Q(f)$ 는 i 번째

EUT에 대해 3-1에 정의된 물리적 기준량을, 그리고 $M_{AM}(f)$ 는 i 번째 EUT에 대한 대용 측정 시설에서의 측정 결과를 각각 나타낸다.

또한 기존의 기준 시험 방법을 이용하여 얻어진 결과 역시 물리적 기준량과 차이가 난다. 기준 시험 방법의 물리적 기준량과의 편차는 다음 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$D_{EM}(f) = Q(f) - M_{EM}(f) \quad (2)$$

여기서 $Q_i(f)$ 는 식 (1)과 동일하고, $D_{EM}(f)$ 는 기준 시험 시설에서 물리적 기준량과 i 번째 EUT의 측정 결과의 편차를, $M_{EM}(f)$ 는 i 번째 EUT에 대한 대용 측정 시설에서의 측정 결과를 각각 나타낸다.

3.4 편차의 평균 값 결정

식 (1)과 (2)에 따른 편차는 측정되는 EUT에 따라 다르다. 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해서는 보다 다양한 EUT 특성들이 고려되어야 한다. N 개의 EUT를 고려하면 대용 측정 방법과 기준 시험 방법 모두에 대해 물리적 기준량과의 편차(D)에 대한 N 개의 값들을 얻을 수 있다. 대용 측정 방법의 편차의 평균은 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\tilde{\mu}(D_{AM}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_{AMi} \quad (3)$$

여기서,

- N : 고찰된 EUT의 수(통계적 신뢰성 확보를 위해 가능한 한 커야 함)
- D_{AM} : 대용 측정 방법의 편차의 집합
- $\tilde{\mu}(D_{AM})$: 대용 측정 방법의 편차 평균의 추정치

식 (3)과 마찬가지로 기준 시험 방법에 대한 편차 평균의 추정치는 다음과 같이 주어진다

$$\tilde{\mu}(D_{EM}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_{EMi} \quad (4)$$

여기서

- D_{EM} 는 기존 시험 방법의 편차 집합
- $\bar{\mu}(D_{EM})$ 는 편차 평균의 추정치

3.5 시험 방법의 표준 불확정도 결정

측정 시설 및 시험 방법에 대한 보다 정확한 비교를 위해서는 모든 측정 결과가 연관되어 있는 측정 불확정도(measurement uncertainty)를 고려해야 한다. 복사 방출 측정에서의 불확정도는 측정 기기에 의한 표준 불확정도(u_m)와 EUT의 복사 특성과 측정 시설의 설치 등에 의한 고유 불확정도($u_{intrinsic}$) 등의 요소로 구성되어 있다. 각 시험 방법에서의 측정 결과와 물리적 기준량과의 편차는 EUT의 복사 특성에 따라 달라지지만 측정되는 각각 EUT의 복사 특성은 알 수 없다. 따라서 서로 다른 특성을 가진 EUT들을 측정하고 검토할 경우 관련 고유 불확정도($u_{intrinsic}$)만을 확인할 수 있다. 통계적인 분석을 위해 N 개의 EUT를 고려하면 대용 측정 방법과 기존 시험 방법 모두에 대해 N 개의 편차(D) 값을 얻게 된다. 이 값들로부터 불확정도에 대한 추정치로서의 표준 편차를 획득할 수 있다.

통계적 표준 편차 공식을 이용하면 대용 측정 방법의 고유 불확정도는 다음과 같이 주어진다.

$$u_{EM,intrinsic} = s(D_{EM}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (D_{EMi} - \bar{\mu}(D_{EM}))^2}{N-1}} \quad (5)$$

식 (5)에서 $u_{AM,intrinsic}$ 는 대용 측정 방법의 고유 불확정도를 나타내고, $s(D_{AM})$ 는 D_{EM} 의 통계적 표준 편차를 나타낸다. 이와 유사하게, 기존 시험 방법의 고유 불확정도는 다음과 같이 주어진다.

$$u_{EM,intrinsic} = s(D_{EM}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (D_{EMi} - \bar{\mu}(D_{EM}))^2}{N-1}} \quad (6)$$

식 (5)와 마찬가지로 식 (6)에서 $u_{EM,intrinsic}$ 는 기존 시험 방법의 고유 불확정도를, $s(D_{AM})$ 는 D_{EM} 의 통계적 표준 편차를 각각 나타낸다.

3.6 시험 방법의 확장 불확정도 결정

대용 측정 방법의 불확정도는 표준 불확정도(u_m)와 고유 불확정도($u_{intrinsic}$)를 이용하여 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$u_{AM} = \sqrt{u_{AMm}^2 + u_{AM,intrinsic}^2} \quad (7)$$

여기서, u_{AMm} 는 대용 측정 방법의 표준 불확정도를, $u_{AM,intrinsic}$ 는 식 (5)에서 결정되는 대용 측정 방법의 고유 불확정도를 각각 나타낸다.

확장 측정 불확정도(expanded measurement uncertainty)는 불확정도와 포함 인자(coverage factor) k 의 결합의 결과로 알려져 있다. 대용 측정 방법의 확장 불확정도(U_{AM})는 포함 인자(k)와 식 (7)을 이용하여 다음과 같이 결정될 수 있다.

$$U_{AM} = k \cdot u_{AM} \quad (8)$$

이와 유사하게, 기존 시험 방법의 불확정도는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$u_{EM} = \sqrt{u_{EMm}^2 + u_{EM,intrinsic}^2} \quad (9)$$

여기서 u_{EMm} 는 계측기로 인해 발생하는, 기존 시험 방법에서 사용되는 계측기로 인해 발생하는 전체 표준 불확정도를 나타내고, $u_{EM,intrinsic}$ 는 식 (6)에 따라 측정되는 기존 시험 방법의 EUT에 따라 달라지는 고유 불확정도를 나타낸다.

기존 시험 방법의 확장 불확정도(U_{EM})는 식 (8)과 같이 포함 인자와 식 (9)를 이용하여 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$U_{EM} = k \cdot u_{EM} \quad (10)$$

3.7 평균 변환 인자 계산

각 EUT에 대해 기존 시험 방법의 규제치로부터 대용 측정 방법에 적용 가능한 규제치를 도출하는데

사용되는 변환 인자(Conversion Factor: C)는 다음과 식 (11)에서와 같이 표현할 수 있다. 여기서, 변환 인자는 주파수에 따라 변하는 특성을 보여준다.

$$C_i(f) = D_{AMi}(f) - D_{EMi}(f) \quad (11)$$

식 (11)에서 $D_{AMi}(f)$ 는 대용 측정 시설에서 물리적 기준량과 EUT의 측정 결과의 편차를 나타내고, 반면에 $D_{EMi}(f)$ 는 기존 시험 시설에서 물리적 기준량으로부터 나오는 EUT의 측정 결과의 편차를 나타낸다. 또한, 대용 측정 방법과 기존 시험 방법의 평균 편차로부터 평균 변환 인자를 식 (12)와 같이 표현할 수 있다.

$$\tilde{\mu}(C(f)) = \tilde{\mu}(D_{AM}(f)) - \tilde{\mu}(D_{EM}(f)) \quad (12)$$

여기서

- $C(f)$: 변환 인자(Conversion Factor)
- $\tilde{\mu}(C(f))$: 변환 인자의 평균
- $\tilde{\mu}(D_{AM}(f))$: 물리적 기준량과 대용 측정 방법의 평균 편차 [dB]
- $\tilde{\mu}(D_{EM}(f))$: 물리적 기준량과 기존 시험 방법의 평균 편차 [dB]

식 (1)-(4)를 식 (12)에 대입하고 정리하면, 평균 변환 인자는 N 개의 EUT에 대한 측정 결과를 활용하여 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{\mu}(C) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - M_{AM}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - M_{EM}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_{EM} - M_{AM}) \quad (13)$$

여기서, C 와 $\tilde{\mu}(C)$ 는 식 (11)과 식 (12)에서와 동일하며 M_{EM} 와 M_{AM} 는 식 (1) 및 (2)에서와 동일하다.

3-8 규제치 변환 적용

기존 시험 방법에 대해 정의된 규제치를 대용 측정 방법을 위한 규제치로 변환해야 하는 경우 식 (8), (10), (12), 그리고 (13)이 각각 필요하다. 기존 시험

방법의 규제치는 다음 식 (14)에서와 같이 평균 변환 인자를 이용하여 대용 측정 방법에 대한 규제치로 변환될 수 있다.

$$L_{AM}(f) = L_{EM}(f) + \tilde{\mu}(C(f)) \quad (14)$$

여기서 $L_{EM}(f)$ 는 기존 시험 방법의 규제치를, $L_{AM}(f)$ 는 불확정도를 고려하지 않은 상태에서 기존 시험 방법의 규제치와 동일한 효력을 갖는 대용 측정 방법의 규제치를 각각 나타낸다.

규제치에 대한 보다 정확한 정의를 위해 대용 측정 방법과 기존 시험 방법의 불확정도가 고려되어야 한다. 대용 측정 방법의 불확정도 U_{AM} 과 기존 시험 방법의 불확정도 U_{EM} 사이의 차이 Δ 를 정의하면

$$\Delta = U_{AM}(f) - U_{EM}(f) \quad (15)$$

여기서 측정 불확정도를 어떻게 처리해야 하는지에 대한 규칙은 다음과 같다. 대용 측정 방법의 불확정도가 기존의 시험 방법의 불확정도보다 큰 경우 대용 측정 방법의 규제치를 보정하기 위해 다음 식 (16)이 사용되어야 한다.

$$L_{AM,U} = \begin{cases} L_{AM} - \Delta & \text{if } \Delta > 0 \\ L_{AM} & \text{if } \Delta \leq 0 \end{cases} \quad (16)$$

여기서, $L_{AM,U}$ 는 대용 측정 시설을 위해 사용되는 측정 불확정도가 고려된 규제치이다.

IV. 결 론

야외시험장이나 전자파 반 무반사실 등과 같은 기존의 기준 측정 시설의 문제점들을 보완하여 최근에는 전자파 무반사실(Fully Anechoic Chamber), TEM cell이나 GTEM cell과 같은 TEM 도파관(waveguide)이나 전자파 잔향실(reverberation chamber)을 대용 측정 시설(alternative test facility)로 사용하기 위한 움직임이 활발히 진행되고 있다.

본 고에서는 전자파적합성 시험을 위해 연구·개발되고 있는 각종 측정 시설들이 기존의 기준 측정 시설과 동일한 효력을 갖는 대용 측정 기법으로 사용되기 위해 필요한 조건, 즉 기준 시설과 동일한 불요 전자파 규제 특성을 갖도록 각각의 측정 시설에 대해 규제치(limit)를 설정하는 통계적인 방법에 대해 기술하였다. 본 고의 내용은 현재 IEC/CISPR 산하 A 소위원회에서 표준화 활동이 진행중인 내용(CISPR/A/473/CD)을 토대로 작성되었으며, 세부 내용은 표준화 활동의 결과에 따라 변경되거나 보완될 수 있다.

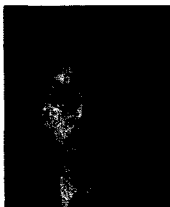
참 고 문 헌

[1] 국제전기기술위원회(IEC), <http://www.iec.ch>
 [2] 국제무선장해특별위원회(CISPR), http://www.iec.ch/zone/emc/emc_cis.htm
 [3] 권중화, 박현호, 최형도, 이형수, “전자파장해(EMI/EMC) 표준화 및 연구동향”, 전자통신동향분석, 16(3), 2001년 6월.
 [4] CISPR/A/366/NP, "Conditions for the use of alter-

native test methods", *IEC/CISPR SC A*, June 2001.
 [5] CISPR/A/473/CD, "Amendment to CISPR 16-2: Conditions for the use of alternative test methods", *IEC/CISPR SC A*, Sep. 2003.
 [6] CISPR 16-2: 1999, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods-Part 2: Methods of measurement of disturbances and immunity.
 [7] CISPR 16-4: 2002, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods-Part 4: Uncertainty in EMC measurements.
 [8] IEC 61000-4-20: 2003, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-20: Testing and measurement techniques - Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides.
 [9] IEC 61000-4-21 FDIS: 2002, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-21: Testing and measurement techniques - Reverberation Chamber Test Methods.

≡ 필자소개 ≡

권 중 화



1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 2월: 충남대학교 전파공학과 대학원 전파공학 전공 (공학석사)
 1999년 1월~현재: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 전파기술연구그룹 선임연구원

[주 관심분야] 전자기 이론, 전자파 수치해석, EMI/EMC