

자유기고문

CDN을 이용한 전자파 전도내성시험의 측정불확도

문준철 · 임영채

정보통신부 전파연구소

요 약

본 논문은 CDN(Coupling/Decoupling Network)을 이용한 전자파 전도 내성 시험의 측정 불확도를 연구하였다. 측정 불확도의 영향 인자를 추출하여 인자별 불확도를 산출하였다. 측정 불확도 인자는 인가 레벨 교정시 반복 측정, 150~50 Ω 아답터의 삽입 손실, 신호 발생기의 정확도, 파워미터의 정확도, 전력 증폭기의 하모닉, 전력 증폭기와 CDN의 부정합, CDN과 파워미터 사이의 부정합에 의한 불확도를 고려하였다. 불확도 산출 결과 확장 불확도는 95% 신뢰 구간에서 1.17 dB(k=2)를 가지며, 정보기기의 경우 시험 전압 3 V에서 ±0.42 V의 오차 범위를 가지는 것을 알 수 있었다. 또한 시험기간의 부정합에 의한 불확도가 불확도 인자에서 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 전자파 전도 내성 시험의 경우 임피던스 매칭이 가장 중요한 것으로 나타났다.

I. 서 론

정보기기의 이용이 급증하고 IT 및 반도체 기술이 발달됨에 따라 정보기기의 소형화, 경량화, 고속화 되고 있다. 이러한 산업 기술의 발달은 정보기기의 기능이 다양해지고 대용량의 데이터를 처리할 수 있게 되었지만, 성능이 향상될수록 운용 환경의 미

세한 변화에도 민감하게 반응하게 되어 성능의 저하를 초래하게 된다. 특히 전자파 환경이 날로 악화되고 열악해짐에 따라 방해 전자파에 노출된 정보기기가 오동작을 일으킬 확률이 더욱 높아지고 있다. 이러한 전자파 장애 문제로 인해 IEC(International Electric-technical Commission) 및 CISPR(Special Committee on Radio Frequency Interference) 등은 전자파 장애 및 내성에 관련된 시험 기준을 강화하고 있다. 이에 따라 우리나라에서는 1990년에 전자파 장애 검정규칙을 제정하여 전자파 장애 시험에 대해 규제하고 있으며, 전자파 내성 분야는 2000년부터 정전기 방전, 전자파 방사, 전기적 빠른 과도 현상, 서지 내성 시험의 4개 항목을 시작으로 2002년에는 전도 내성, 전원 주파수 자계 내성, 전압 강하 및 순시 정전 내성 시험을 추가하여 규제하고 있다.

ISO/IEC 17025에서는 시험 및 교정기관의 자격에 대한 일반 요구 조건으로 측정 불확도를 추정하는 절차를 보유하도록 규정하고 있으며, 시험 성적서에 불확도 사항을 표기하도록 규정하고 있다. 또한 CISPR 16-4에서는 EMI의 측정 불확도 산출 기준 및 불확도 산출 지침을 권고하고 있으며, EMS 분야도 머지않아 불확도 산출을 요구할 것으로 예상된다.

따라서 본 연구를 통해 전자파 전도 내성 시험의 측정 불확도를 산출하여 시험의 정확성과 신뢰성을 확보하고 국제적으로 활발하게 논의되고 있는 MRA (Mutual Recognition Arrangement) 등 국제적인 변화

에 대처하고자 한다. 본 연구에서 제시한 측정 불확도 산출방법 및 절차가 정보통신기기 지정 시험 기관과 교정 기관 및 측정 업무가 수반되는 산업 현장에서 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 구성은 제2장에서는 불확도 개념에 대해 설명하였으며, 제3장에서는 측정 시스템 및 시험 방법, 제4장에서는 측정 불확도 산출, 제5장에서는 결론을 맺었다.

II. 불확도 개념

2-1 수학적 모델링

측정 결과에 대한 기술은 그것이 측정량에 기인된 값(측정 값)과 그 값과 관련이 있는 측정 불확도를 포함하고 있을 때에만 완전해진다. 측정 불확도는 측정 값에 영향을 줄 수 있는 값(영향량)을 포함하여 정확히 알고 있지 않은 모든 양은 임의의 변수로 취급된다. 측정 불확도는 충분히 타당성 있는 이유에 의해 측정량에 영향을 미칠 수 있는 값들의 분포를 특성화한 측정 결과와 관련된 파라미터를 의미한다.

측정량은 측정의 대상이 되는 특정한 양이다. 일반적으로 단 하나의 측정량이나 함수적인 관계에 따르는 많은 입력량들 $X_i(i=1, 2, \dots, N)$ 에 의존하는 출력량 Y 만을 다룬다.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (1)$$

모델함수 f 는 입력량 X_i 의 값으로부터 출력량 Y 의 값이 어떻게 얻어지는지를 기술하고 있다. 대부분의 경우에 이것은 분석적으로 표현되지만 하나의 함수로서 나타낼 수 없는 복잡한 체계적인 결과에 대한 시험 절차와 불확도 요인을 포함하는 표현의 집합이 될 수도 있다. 또한 f 는 실험적으로 결정되거나 수치해석적인 방법의 컴퓨터 알고리즘으로 정해지거나 앞의 2가지 경우의 조합으로 결정된다. 입력량 X_i 의 집합은 표현된 값에 따라 'A형'이나 'B형'과 같은

평가방법에 따라 평가된다.

2-2 A형 표준 불확도

동일한 측정 조건에서 한 개의 입력량에 대하여 몇 개의 독립된 관측을 수행하는 경우에 표준 불확도의 A형 평가를 적용할 수 있다. 측정 과정에서 충분한 분해능이 있다면 얻어진 값의 분산이나 산포를 얻을 수 있다. 반복적으로 측정된 입력량 X_i 를 Q 라고 가정하자. 통계적으로 독립적인 반복횟수를 $n(n>1)$ 이라 하고, Q 의 추정 값을 \bar{q} 라 하면, 개개의 관측된 값들 q_j 의 산술평균(평균) ($j=1, 2, \dots, n$)은

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j \quad (2)$$

이며, 추정량 \bar{q} 와 관련된 측정 불확도는 다음과 같은 방법들 중의 하나에 따라 평가된다. 확률 분포의 분산 추정 값은 관측 값 q_j 의 실험분산 $s^2(q)$ 이며, 다음 식으로 주어진다. 관측 값의 실험분산 $s^2(q)$ 은

$$s^2(\bar{q}) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (3)$$

이며, 이것의 양의 제곱근을 실험표준편차라고 부른다. 산술 평균 \bar{q} 의 분산의 가장 근사한 추정 값은 실험 평균 분산이며 다음 식으로 주어진다.

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q)}{n} \quad (4)$$

이것의 양의 제곱근을 평균의 실험 표준 편차라고 부른다. 입력 추정 값 \bar{q} 와 관련된 표준 불확도 $u(\bar{q})$ 는 평균의 실험 표준 편차이며 다음 식으로 주어진다.

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q}) \quad (5)$$

2-3 B형 표준 불확도

표준 불확도의 B형 평가는 일례의 관측의 통계적인 분석이 아닌 다른 방법에 의해 입력량 X_i 의 추정

값 x_i 와 관련된 불확도의 평가이다. 표준 불확도 $u(x_i)$ 는 X_i 의 변동성에 관하여 얻을 수 있는 모든 정보에 근거한 과학적인 판단에 의해 평가된다. 이러한 범주에 속하는 값들은 과거 측정 데이터, 관련 물질이나 장비의 거동 및 특성에 대한 경험이나 일반지식, 제작사의 사양, 교정 성적서 및 기타 인증서에 주어진 데이터, 핸드북에서 인용한 참고 자료의 불확도 등에 의해 얻을 수 있다. 측정 표준 불확도의 B형 평가에 관련된 유용한 정보를 잘 사용하기 위해서는 경험과 일반 지식에 기반을 둔 통찰력이 필요하다. 이것은 실습을 통하여 습득된다. 제대로 된 기반 하에서 얻어진 표준불확도의 B형 평가는 특별히 A형 평가가 비교적 통계적으로 적은 횟수만의 독립적인 관측에 기반을 둔 측정 상황에서 A형 평가처럼 신뢰할 수 있다. EMC 측정에 관련하는 주요 분포로는 3종류가 있으며, 이것은 정규분포, 직각확률분포 그리고 U 분포이다.

2-3-1 정규분포

정규분포는 복수의 관여로부터 얻어진 불확실성을 대상으로 한 것이다. 예를 들면 교정 부문이 측정기에 불확실성을 부여한 경우에는 95 %의 최소 신뢰 level로 계산한 것이며 정규분포에 있다고 생각한다. 가정한 정규분포의 불확실성에 관여하는 표준불확실성에 대해서는 규정의 신뢰 level에 근사한 계수 k 로 불확실성을 할당하는 것에 의해 구할 수가 있다. 정규분포에 있어서는 다음의 공식으로 계산된다.

$$u(x_1) = \frac{\text{불확실도}}{k} \tag{6}$$

2-3-2 직각분포

직각분포는 규정의 허용 범위에 몇 개의 부분에 존재하는 참값이 그 범위에 동일하게 존재할 가능성이 있는 것을 의미한다. 예를 들어 제조업자가 지정하는 범위를 불확실성으로서 채용하도록 한 경우에

는 직각분포를 생각할 수가 있다. 직각분포에 있어서는

$$u(x_1) = \frac{a}{\sqrt{3}} \tag{7}$$

여기서, a 는 각각의 불확실성 관여 성분의 반값 범위로 한다.

2-3-3 U 분포

U 분포는 부정합에 의한 불확실성에 대한 불확도이다. 접속점에서 전력전송에 관련하는 부정합 불확실성의 범위는 $\Gamma_{\#}$ 와 Γ_{\downarrow} 을 신호원 및 부하의 반사계수로 하면

$$\begin{aligned} u(x_1) &= 20 \log(1 \pm |\Gamma_{\#}| |\Gamma_{\downarrow}|) \text{dB} \\ &= 100(1 \pm |\Gamma_{\#}| |\Gamma_{\downarrow}|) \% \end{aligned} \tag{8}$$

에 의해 산출할 수 있다. 부정합의 불확실성은 측정 결과에 대해 대칭이다.

2-4 합성 표준 불확도

합성 표준 불확도는 A형 평가 또는 B형 평가방법을 통하여 각각 구하여 이들을 적절한 방법을 사용하여 측정 대상의 표준 불확도로 합성하게 된다. 측정 결과의 합성 표준 불확도는 u_c 로 표기하며 측정 대상의 추정 표준 편차를 나타낸다. 통상적으로 표준 불확도의 결합은 불확도 전파법칙을 통해 얻어진다. n 개의 입력량 $X_i(i=1, 2, \dots, N)$ 들이 서로 상관 관계가 없는 경우, 서로 독립적으로 구해질 때 합성 불확도는 다음의 식과 같이 구할 수 있다.

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \tag{9}$$

$u_i(y)$ ($i = 1, 2, \dots, N$)는 입력 추정 값 x_i 와 관련된 표준 불확도로서 출력 추정 값 y 의 표준 불확도에 미치는 기여도를 나타내는 값으로 다음 식과 같다.

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \tag{10}$$

여기서 c_i 는 입력 추정값 x_i 의 감도계수를 나타낸다. 감도계수는 입력 추정 값 x_i 에서 평가된 값인 X_i 와 비교한 모델 함수 f 의 편미분 값이다.

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial X_i} \quad X_1 = x_1, \dots, X_N = x_N \quad (11)$$

2-5 확장 불확도

확장 불확도는 출력 추정 값의 표준 불확도 $u(y)$ 와 포함인자(coverage factor) k 의 곱으로 나타낸다.

$$U = ku(y) \quad (12)$$

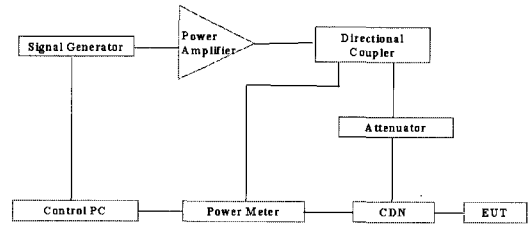
정규분포가 추정값에 적용되고 출력 추정값과 연관된 표준 불확도가 충분한 신뢰도를 가지고 있다면, 표준 포함인자는 $k=2$ 로 사용된다. 주어진 확장 불확도는 약 95 %의 포함확률에 대응한다. 그리고 정규분포로 가정할 수 없는 경우, 실제 출력 추정값의 확률 분포의 약 95 %의 포함 확률에 상응하는 포함인자(coverage factor) k 의 값을 구하여 사용해야 한다.

Ⅲ. 측정 시스템 및 시험 방법

전자파 전도 내성 시험은 150 kHz~80 MHz의 주파수 대역에서 EUT에 RF 송신기에서 의도적으로 발생하는 전자계와 같도록 시뮬레이션된 방해원을 가하여 EUT가 오동작하지 않고 충분한 내성을 갖는지를 시험한다. 이때 결합 및 감결합 장치를 사용하여 방해 신호를 EUT측 케이블에 인가하고 다른 케이블은 비 여기 상태를 유지한다.

3-1 측정 시스템

[그림 1]은 전자파 전도 내성 시험의 측정 시스템의 구성도를 나타내고 있다. 신호 발생기로부터 발생된 RF 신호는 증폭기에서 필요한 전압 레벨을 증폭한다. 증폭된 전압은 커플러와 6 dB 감쇄기를 통해



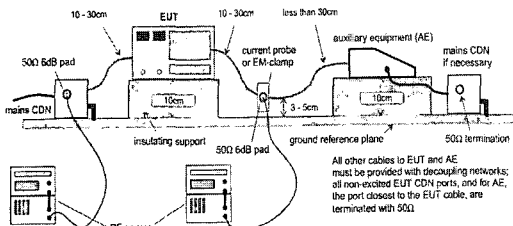
[그림 1] 전자파 전도 내성 시험의 측정 시스템 구성도

CDN에 인가된다. 이때 CDN는 EUT에는 결합시키고 AE(주변기기) 쪽으로는 감결합하여 방해신호가 EUT에만 영향을 미치도록 한다. 또한 파워미터(PM)에서는 전력 증폭기에서 출력되는 forward 전력과 EUT에 인가되는 전력을 확인할 수 있다.

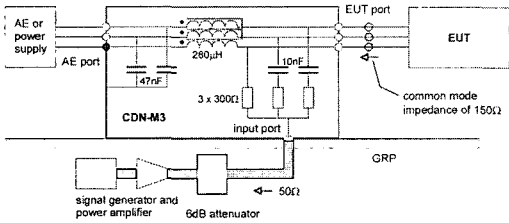
3-2 시험방법

[그림 2]는 전자파 전도 내성 시험의 시험기기 및 EUT의 배치도이다. 기준 접지면에 10 cm 지지대 설치하고 지지대 위에 피 시험 장치를 놓고 CDN를 피 시험장치 연결한다. RF 발생기로 CDN에 전도 노이즈를 발생시켜 피 시험장치가 견디는가를 시험한다. 그리고 모든 관련된 케이블은 기준 접지면에 놓인 수검기기의 계획된 구조로부터 10 cm와 30 cm 거리에 있는 적합한 결합과 감결합 장치들을 위해 준비되어야 한다.

시험 발생기에서 오는 방해 신호는 케이블의 결합 회로를 통해 케이블의 각각의 전도체로 분사되어 모든 전도체의 공통 모드에 영향을 미치게 된다. 커플링 회로뿐만 아니라 디 커플링 회로는 주 전원 장치 혹은 다른 장비로부터 EUT와 AE에 유입되는 신호를 통과 및 차단하게 된다. 직렬 저항 100 Ω과 전력 증폭기의 출력 저항 50 Ω의 결합은 EUT 포트의 150 Ω에서의 RF 공통 모드 임피던스를 매칭시켜 주어야 한다. CDN은 모든 전원 공급 연결에 적용되지만 높은 전력(전류가 16 A 이상인 경우) 혹은 복잡한 공급시



[그림 2] 전자파 전도 내성 시험



[그림 3] CDN을 이용한 전도 내성 시험

스텝(멀티 전원 공급 시스템 등)에서는 다른 주입 방법으로 시험하여야 한다. 그리고 최소 6 dB 감쇄기는 전력 증폭기와 CDN 사이에 위치하는데 이것은 전력 증폭기의 출력 정재파비의 변화에 따른 회로에 영향을 미치는 것을 막기 위함이다. [그림 3]은 CDN을 이용한 전도 내성 시험의 원리이다.

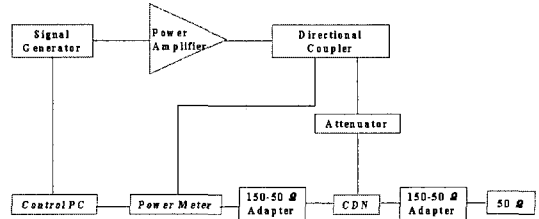
CDN 방식의 장점은 변환기의 손실이 매우 낮으므로 작은 전력으로도 원하는 인가 레벨을 얻을 수 있으며, EUT와 AE(주변기기)의 감결합이 매우 잘 이루어진다는 것이다. AE(주변기기)에서의 출력이나 연결에서의 변화는 시험에 큰 영향을 미치지 않는다.

CDN 방식의 단점은 차폐 케이블이나 주 전원선 등(예를 들어 M1, M2, M3, T2, T4, AF-2 등)은 적용 가능하지만 멀티 케이블인 경우 적용되기가 힘들다.

<표 1>은 CDN의 공통모드 임피던스($|Z_{cd}|$)의 주파수 대역에 따른 허용 범위를 나타내고 있다. $|Z_{cd}|$

<표 1> CDN의 임피던스 허용범위

주파수 대역	0.15~26 MHz	26~80 MHz
$ Z_{cd} $	$150 \Omega \pm 20 \Omega$	$150 \Omega + 60 \Omega - 45 \Omega$



[그림 4] 인가 레벨 교정시 측정 시스템 구성도

의 허용 범위는 접지 기준면에 개방 또는 단락시킨 보조 장비 단자를 만족해야 좋은 커플링이 이루어진다. 작은 장비(크기가 λ 보다 작은 장비)의 몇몇 경우에는 정지 주파수가 최대 230 MHz까지 확장되도록 제품 표준은 규정하고 있다. 그때 결합, 감결합 장치 변수들은 80 MHz에서 230 MHz까지 확장되도록 요구된다. 이 시험 방식을 더 높은 주파수까지 사용할 때 장비의 크기, 상호 연결 사용된 케이블의 형태와 특별한 CDN의 유용성 등이 결과에 영향을 주게 되므로 적합한 적용에 대한 안내는 주어진 제품 표준에서 제공되어야 한다.

3-3 인가레벨의 교정

실제 시험에 인가될 기준 레벨을 설정하기 위해 인가 레벨의 교정이 필요하다. 그림과 같이 CDN 양단에 150~50 Ω 아답터를 설치하여 임피던스 매칭을 시킨 후 인가 레벨을 교정한다. 150 Ω 시스템에서의 전력 레벨은 $V_{stress}/6$ 혹은 $V_{stress} - 15.6$ dB이고 50 Ω 시스템에서는 $V_{stress}/2$ 혹은 $V_{stress} - 6$ dB이어야 한다.

IV. 측정 불확도 산출

전자과 전도 내성 시험의 인가 전계 E_S 에 대한 수학적 모델링은 다음과 같다.

$$E_S = R_S + A_{150-50} + P_S + P_{PM} + P_{AH} + M_{AC} + M_{PC} \quad (13)$$

R_S : 반복 측정에 의한 불확도

$A_{50\sim 150}$: 50~150 아답터의 삽입 손실 불확도

P_S : 신호 발생기 정확도의 불확도

P_{PM} : 파워미터 정확도의 불확도

P_{AH} : 전력 증폭기의 하모닉에 의한 불확도

M_{AC} : 전력 증폭기와 CDN의 부정합에 의한 불확도

M_{PC} : 파워미터와 CDN의 부정합에 의한 불확도

4-1 반복 측정에 의한 불확도(R_S)

인가 레벨 교정시 반복 측정을 하여 기준 레벨의 오차를 최소화 하여야 한다. EUT가 없는 상태에서 무변조 신호를 인가하여 주며, 정보기기의 경우 150 kHz~80 MHz에서 3 V를 인가한다. 10회 반복 측정된 결과 평균은 3.13 V이고 표준편차는 0.05 V 이므로

$$20 \log(3.13 - 0.05) \leq u(R_S) \leq 20 \log(3.13 + 0.05) \quad (14)$$

따라서 불확도는 다음과 같다.

$$20 \log(3.13 + 0.05) - 20 \log(3.13 - 0.05) = 0.293 \text{ dB} \quad (15)$$

4-2 50~150 Ω 아답터의 삽입 손실 불확도($A_{50\sim 150}$)

인가레벨 교정시 임피던스 매칭을 하기 위해 CDN 양단에 150~50 Ω 아답터를 연결하여 교정한 다. 이때 CDN과 150~50 Ω 아답터 사이에 삽입 손실이 발생한다. IEC61000-4-6에서는 150~50 Ω 아답터의 삽입 손실은 9.5 ± 0.5 dB로 규정하고 있다. 실제 측정 결과 75 MHz에서 기준값에서 가장 큰 차이를 보였으며 삽입 손실 값은 9.1 dB로 나타났 다. 따라서 기준값에서 0.4 dB 오차 범위를 가지므로 불확도는

$$u(A_{150-50}) = \frac{0.4}{2\sqrt{3}} = 0.115 \text{ dB} \quad (16)$$

4-3 신호 발생기 정확도의 불확도(P_S)

신호 발생기 정확도의 불확도는 교정 성적서에서 최대 오차범위 값을 적용하면 0.13 dB이고 직사각형 분포로 적용하면, 불확도는 다음과 같다.

$$u(P_S) = \frac{0.13}{\sqrt{3}} = 0.075 \text{ dB} \quad (17)$$

4-4 파워미터 정확도의 불확도(PPM)

파워미터 정확도의 불확도는 교정 성적서에서 최대 오차 범위 값을 적용하면 0.14 dB이고 직사각형 분포로 적용하면, 불확도는 다음과 같다.

$$u(P_{PM}) = \frac{0.14}{\sqrt{3}} = 0.081 \text{ dB} \quad (18)$$

4-5 전력 증폭기의 하모닉에 의한 불확도(P_{AH})

전력 증폭기의 하모닉은 전력 증폭기의 비선형성으로 인하여 인가되는 전계 강도에 영향을 미치게 된다. 특히 이러한 영향은 전력 증폭기가 최대 출력에 가까워질수록 보다 커지게 된다. 따라서 시험시 안테나에 인가되는 전력 레벨에 대한 하모닉 성분을 고려하여야 한다. 전력 증폭기의 제작 규격에 의한 하모닉은 150 W에서 -20 dBc를 갖는다. 따라서

$$10 \log\left(\frac{X}{150}\right) = -20 \text{ dBc} \quad (19)$$

$$X = 1.5 \text{ W} \quad (20)$$

$$10 \log(150 + 1.5) - 10 \log(150 - 1.5) = 0.09 \text{ dB} \quad (21)$$

가 된다. 따라서 직사각형 분포로 적용하면 불확도는 다음과 같다.

$$u(P_{AH}) = \frac{0.09}{2\sqrt{3}} = 0.025 \text{ dB} \quad (22)$$

4-6 전력 증폭기와 CDN의 부정합에 의한 불확도 (M_{PC})

부정합에 의한 불확도는 U 분포에 의해 정의된다. M_{AC} 는 전력 증폭기와 CDN 사이에 감쇄기가 있으므로 전력 증폭기와 감쇄기의 부정합에 의한 불확도와 감쇄기와 CDN의 부정합에 의한 불확도의 합성 불확도로 나타난다.

4-6-1 전력 증폭기와 감쇄기의 부정합에 의한 불확도

전력 증폭기의 반사계수는 0.429이고 감쇄기의 반사계수는 0.13이다. 또한 전력 증폭기와 CDN은 케이블로 연결되어 있으므로 케이블에 의한 감쇄 $S_{12}=S_{21}=0.87$ 로 측정되었다. 따라서 불확도는

$$\frac{0.5 \times 0.13 \times 0.87^2 \times 100\%}{\sqrt{2} \times 11.5} = 0.26 \text{ dB} \quad (23)$$

여기서 % Voltage를 dB로 환산하기 위해 11.5로 나누어 주었다.

4-6-2 감쇄기와 CDN의 부정합에 의한 불확도

감쇄기의 반사계수는 0.13이고 CDN의 반사계수는 0.5이다. 감쇄기와 CDN은 직접 연결되어 있으므로 $S_{12}=S_{21}=1$ 이 된다. 따라서 불확도는

$$\frac{0.13 \times 0.5 \times 100\%}{\sqrt{2} \times 11.5} = 0.4 \text{ dB} \quad (24)$$

여기서 % Voltage를 dB로 환산하기 위해 11.5로 나누어 주었다.

4-6-3 합성 불확도

전력 증폭기와 감쇄기의 부정합에 의한 불확도 0.26 dB와 감쇄기와 CDN의 부정합에 의한 불확도 0.4 dB의 합성 불확도는

$$u(M_{AC}) = \sqrt{0.26^2 + 0.4^2} = 0.477 \text{ dB} \quad (25)$$

$$u(E_S) = \sqrt{0.293^2 + 0.115^2 + 0.075^2 + 0.081^2 + 0.05^2 + 0.477^2 + 0.035^2} = 0.58 \text{ dB} \quad (27)$$

4-7 파워미터와 CDN의 부정합에 의한 불확도 (M_{PC})

파워미터와 CDN의 부정합에 의한 불확도는 U 분포에 의해 산출된다. CDN의 반사계수는 0.5이고 파워미터의 반사계수는 0.015이다. CDN과 파워미터는 케이블로 연결되어 있으므로 케이블에 의한 감쇄 $S_{12}=S_{21}=0.87$ 로 측정되었다. 따라서 불확도는

$$u(M_{PC}) = \frac{0.5 \times 0.015 \times 0.87^2 \times 100\%}{\sqrt{2} \times 11.5} = 0.035 \text{ dB} \quad (26)$$

4-8 합성 표준 불확도

각각의 불확도 인자에 의한 표준 불확도를 합성한 합성 표준 불확도 $u(E_S)$ 는 식 (27)과 같이 구할 수 있다.

또한 유효 자유도는 다음의 Welch-Satterthwaite 공식에 의해 구할 수 있다.

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(E_S)}{\sum \frac{u_i^4(E_S)}{\nu_i}} \quad (28)$$

따라서 식 (27)에 의해 구해보면 $\nu_{eff}=143$ 이다.

4-9 확장 불확도

확장 불확도는 95 % 신뢰 구간을 갖는 정규분포에서 포함인자 $k=2$ 를 적용하여 합성 불확도에 k 값을 곱한 값으로

$$U(E_S) = 0.58 \times 2 = 1.17 \text{ dB} \quad (29)$$

4-10 불확도 총괄표 및 산출 결과

<표 2>는 불확도 총괄표이며 <표 3>은 dB 값으로 산출된 확장 불확도를 실제 시험전계에 적용한 값이다. 시험레벨에 의한 분류는 EUT 종류에 따라 적용된다.

V. 결 론

본 논문은 CDN을 이용한 전자파 전도 내성 시험의 측정 불확도를 연구하였다. 측정 불확도의 영향 인자를 추출하여 인자별 측정 불확도를 산출하였다. 인자별 측정 불확도는 인가 레벨 교정시 반복 측정에 의한 불확도 0.293 dB, 150~50 Ω 아답터의 삽입 손실의 삽입 손실에 의한 불확도 0.115 dB, 신호 발생기의 정확도의 불확도 0.075 dB, 파워미터 정확도 불확도는 0.081 dB, 전력 증폭기의 하모닉에 의한 불확도가 0.05 dB이며, 전력 증폭기와 CDN 사이의 부

정합에 의한 불확도는 0.477 dB, CDN과 파워미터 사이의 부정합에 의한 불확도는 0.035 dB로 산출되었다. 각각의 인자의 측정 불확도를 합성한 합성 불확도는 0.57 dB이고 확장 불확도는 1.14 dB이다. 산출된 측정 불확도를 실제 시험에 적용해 보면 1 V에서는 ±0.14 V, 3 V에서는 ±0.43 V, 10 V에서는 ±1.44 V의 오차범위를 가짐을 알 수 있었다. 이러한 결과는 시험기간의 부정합에 의한 불확도가 불확도 인자에서 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 따라서 전자파 전도 내성 시험을 할 경우 전류 프로브를 통해 임피던스 매칭을 확인해야 할 것이다. 본 연구는 전자파 내성 시험의 정확성과 신뢰성을 향상시키고 제시된 측정 불확도 산출방법 및 절차가 정보통신기기 지정 시험 기관과 교정 기관 및 측정 업무가 수반되는 산업 현장에서도 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

〈표 2〉 전자파 전도 내성 시험의 불확도 총괄표

양	표준 불확도	확률분포	감도 계수	불확도 기여도	자유도
R_S	0.293 dB	정규분포	1	0.293 dB	9
$A_{150\sim50}$	0.115 dB	직사각형 분포	1	0.115 dB	∞
P_S	0.075 dB	직사각형 분포	1	0.075 dB	∞
P_{PM}	0.081 dB	직사각형 분포	1	0.081 dB	∞
P_{AH}	0.050 dB	직사각형 분포	1	0.050 dB	∞
M_{AC}	0.477 dB	U 분포	1	0.477 dB	∞
M_{PC}	0.035 dB	U 분포	1	0.035 dB	∞
$u_c(E_S)$	정규분포			0.58 dB	143
$U(E_S)$	$k=2$			1.17 dB	

〈표 3〉 전자파 전도 내성 시험 레벨별 측정 불확도

레벨	인가전계	불확도
1	1 V	± 0.14 V
2	3 V	± 0.43 V
3	10 V	± 1.44 V

참 고 문 헌

- [1] UKAS Publication LAB34, The expression of uncertainty in EMC testing, Edition 1, 2002.
- [2] Schaffner EMC System, Uncertainty of immunity measurements, 2002.
- [3] EA-4/02, The Expression of the uncertainty of measurement in calibration, 1999.
- [4] ISO/IEC 17025, General requirement for competence of testing and calibration laboratories, Dec. 1999.
- [5] ISO, Guide to expression of uncertainty in measurement, 1993.
- [6] CISPR 16, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods-uncertainties, statistics and limit modelling-uncertainties in standardized EMC tests, Part 4-1, 2003.
- [7] IEC, Testing and measurement techniques-immunity

to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields, IEC 61000-4-6, 2003.

- [8] D. N. Heirman, "CISPR subcommittee a uncertainty", *IEEE Transactions on EMC*, vol. 44, no. 1, Feb. 2002.
- [9] E. L. Bronaugh, J. D. M. Osburn, "Estimating EMC measurement uncertainty using logarithmic terms

(dB)", *1999 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility Record*, Seattle, WA, 1999.

- [10] 전파연구소, 전자파 보호 기준(2001-106호), 2001년.
- [11] 전파연구소, 전자파 전도내성 시험방법(KN61000-4-6), 2000년.

≡ 필자소개 ≡

문 준 철



2000년 2월: 광운대학교 전기공학과 (공학사)
 2003년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 5월~현재: 정보통신부 전파연구소 공업연구사
 2004년 3월~현재: 충북대학교 정보통신

공학과 박사과정

[주 관심분야] EMI/EMS, 전자파 수치해석 등

임 영 채



2005년 3월: 서울산업대학교 전자공학과 (공학석사)
 1995년 8월~현재: 정보통신부 전파연구소 근무
 [주 관심분야] EMI/EMS, 전자파 시험 및 기술기준 등