

전자파 내성 평가 기술 표준화 동향

성 관 영

한국화학융합시험연구원

I. 서 론

정보통신기술(ICT) 발전과 함께 우리 생활을 보다 편리하게 하기 위한 노력이 지속되고 있고, ICT 기술의 진보로 인하여 사회적·경제적 구조가 계속 변하고 있다. 이러한 변화를 가능하게 하는 것은 여러 가지 기술이 있겠지만 핵심에 있는 기술은 전자파를 효율적이고 효과적으로 이용하는 기술이라 생각된다. 이미 우리는 전자파를 이용한 여러 가지 제품과 서비스를 경험하고 있으며 향후에도 놀랄만한 제품이나 서비스의 등장도 예상된다. ICT 기술은 전 세계를 하나로 묶는 인터넷의 확산과 모바일 기기의 급속한 보급이 사람과 사람 및 사람과 사물을 연결하여 거대한 실시간 네트워크 세상을 만들어 가고 있다. 특히 전자파의 효과적이고 효율적인 이용은 시간과 공간적 제약을 벗어나 상호 기기들을 연결시키고, 다른 기술 혹은 산업 분야와 융합하여 모든 영역으로 응용 분야가 확대되고 있다. 초 연결사회의 도래가 확실시 되고 있고, 스마트 기기 확산, 빅 데이터, ICT 융합 가속화 등으로 전자파 수요가 기하급수적으로 증가하고 있어 미래 전자파 기술 개발을 위한 능동적 대처와 준비가 필요하다.

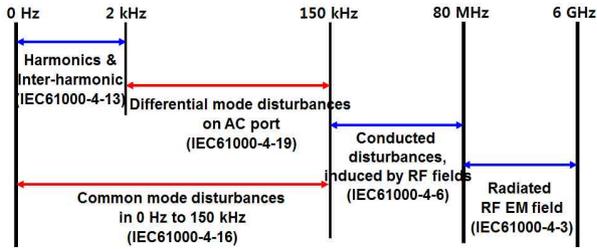
그러나 전자파의 이용이 우리 인류에게 이로운 영향만 미치는 것이 아니다. 이것으로 인하여 항상 반대급부적인 악영향이 도사리고 있다. 다양한 전기·전자 및 통신 기기들의 사용이 시간이 갈수록 기하급수적으로 늘어나게 되어 불필요한 전자파로 인한 다양한 피해 사례가 보고되고 있고, 전자파 간섭 문제가 크게 대두되고 있는 실정이다. 기기들 서로 간에 전자파 간섭을 일으킬만한 영향이 없어야 하며 전자파에 대한 내성이 있어야 의도된 대로 안전하게 동작할 수 있다. 수많은 유·무선 통신 전송선로 및 기기들에서 방출된 전자파에 의해 우리 주변의 전자파 환경은 더욱 나빠질 것이다. 디지털화·저전력화·소형화·고속화·자동화·무선화 기술 개발이 진척됨에 따라 외부 전자파에 의한 간섭위험에 더욱 쉽게 노출되고 있다. 전파환경이 더욱

복잡해지고 전자파에 의존하는 비율이 높아질수록 전자파 이용 시설은 물론, 기기를 통하여 발생하는 전자파가 서로 간섭을 일으킬 수 있는 확률이 그만큼 높을 것이며, 이러한 간섭으로 인하여 통신기기가 오작동을 일으킬 수 있다. 정보전송을 고속·디지털화함으로써 전송신호의 주파수 영역이 늘어나게 되어 점차 고주파 신호의 방사가 늘어나게 된다. 그리고 각종 부품들의 소형화에 따라 인접 부품 간의 상호결합이 늘어나며, 저전력화에 의해 외부 간섭 전자파에 대한 내성도 줄어들게 된다. 이러한 상황에 대비하여 미국, 유럽, 일본 등의 선진국을 비롯한 세계 각국에서는 전기·전자 및 통신 제품에 대한 전자파 간섭 문제와 전자파 내성에 대한 연구에 많은 투자를 하고 있고, 적절하고 강력한 전자파 장해 및 내성에 대한 규제를 시행 중에 있다. 우리나라에서도 국제표준을 근간으로 전자파적합성(EMC)에 대한 기술기준을 마련하고 인증 제도를 운영하고 있다.

현재 국제적으로는 국제전기기술위원회(IEC: International Electrotechnical Commission) 산하 전문위원회인 국제무선장해특별위원회(CISPR: Committee Internationale Special des Perturbations Radio Electriques)와 EMC 관련 표준 제정 기술 위원회인 IEC TC77에서 EMC 국제 표준을 발행하고 있으며, 전자파 장해 및 내성에 대한 측정방법, 측정조건, 허용기준 등에 대하여 조정 및 표준화를 추진해 나가고 있다. 각국에서는 이러한 IEC 국제표준을 거의 수용하여 자국의 표준을 제정하고 있다. 전기·전자 및 통신 기기들은 시장에 출시되기 전에 전자파적합성(EMC) 인증을 받아야 한다.

본 기고에서는 전자파 내성(EMS) 평가 기술과 표준화 동향을 최근 개정되거나 제정되는 IEC 국제표준 중심으로 소개하고자 한다.

[그림 1]은 주파수 Domain에서 전자파 내성 시험에 대한 IEC 표준 현황이고, 0 Hz에서 6 GHz까지 시험 표준이 개발 및 제정되어 있다. 어떤 전자파 내성 시험항목을 적용하는냐는 각 제품 표준에서 정하고 있다.



[그림 1] 주파수 Domain의 전자파 내성 시험 IEC 표준

II. 전자기적 사용 환경 정의와 적합성 레벨

2-1 전자파 적합성 표준 적용 기준

기기의 EMC 표준 적용 순서는 해당 제품표준(product standard) 혹은 제품군표준(product family standard)이 존재하면 그 해당 표준을 적용해야 하고, 만약 제품표준 혹은 제품군표준이 없으면 일반표준(generic standard)을 적용한다. 이런 제품표준, 제품군표준 및 일반표준에는 전자파 적합성에 대한 허용기준 등이 규정되어 있고, 상세한 시험방법 등은 기본표준(basic)을 따르게 되어 있는 구조이다. 전자파 내성 기본표준에는 시험방법, 노이즈 발생기, 노이즈의 커플링/디커플링 방법, 피시험기기(EUT)의 배치 및 시험 레벨 등이 정의되어 있다. 또, 같은 기기라도 사용되는 장소의 전자기적 환경에 따라 전자기 방출(EMI) 혹은 내성(EMS) 허용기준이 다르게 규정되어 있다.

전기·전자기기의 전자파적합성 적용은 첫 번째로 기기가 설치되거나 사용될 위치에서의 사용 환경을 정의하고, 두 번째는 EMC 시험 항목에 대한 적합성 레벨(compatibility level)를 결정하는 것이고, 세 번째는 전자파 적합성을 달성하기 위한 시험 항목 및 시험방법을 결정하는 것이고, 마지막으로 제품표준에서 허용기준, 레벨 및 성능 기준을 정하는 순서이다.

2-2 전자기 환경의 분류 IEC 61000-2-5

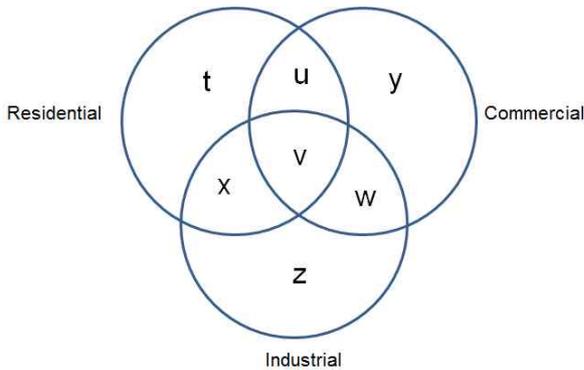
전기·전자 제품 및 시스템이 작동하도록 되어 있는 위치에서 전자기 환경의 기술은 전자파적합성을 달성하는 과정에서 필수적인 전제 조건이다.

IEC 61000-2-5 기술문서는 전자기 환경에 대한 표준으로서 전자파 방해 정도의 개념 소개 및 각각의 전자기 현상에

대한 정의가 되어 있고 다양한 사용 위치를 클래스로 분류하는 것과 특성에 의한 클래스 분류를 설명하고 있다. 또 환경 내에 존재하는 다른 전자기 현상에 대한 배경 정보를 제공하고, 사용 위치 클래스에서 고려된 전자기 현상에 대한 적합성 레벨 테이블이 편집되어 있다. 즉, 방출 시험 고려 사항 및 내성 요구 사항을 개발하기 위한 가이드라인을 제공하고, 내성 레벨의 선택을 위한 기본적인 지침을 준다. 전자기 환경은 주로 고려되어야 할 위치 클래스의 특성에 대한 일반적인 사항이고 그 특정 위치의 환경에서 적용되어야 할 내성 요건을 정하기 위한 것이다. IEC 61000-2-5는 현재 2011년에 발행된 Ed.2.0을 대체하여 기술적인 개정을 포함하여 Ed.3.0으로 전면 개정하는 작업을 IEC TC77 위원회에서 진행 중에 있다. 이 개정 작업에는 우리나라가 제안한 스마트 그리드(Smart Grid) 전자기 환경도 포함되어 있다. 스마트 그리드는 공급자와 수요자 사이에 양방향 및 실시간으로 전력을 교환 환경으로 다양한 통신 방법이 적용되므로 스마트 그리드 전자기 환경은 새롭게 정의되어야 하고, PLT, LAN, GSM, CDMA, WiMax 등의 다양한 통신 시스템이 개발되어 적용되고 있고, 태양광 인버터, 전기에너지 저장 시스템, 전기자동차 충전 시스템 등 다양한 형태의 전력전자 소자 또는 장치들이 적용되는 환경이다. 우리나라가 제안한 스마트 그리드 환경에 관한 사항은 지속적 국제 표준화 참여가 필요하다.

일반적으로 주어진 위치에서 전자기 환경은 자연 발생적인 것과 현존하는 인공 전자기 현상의 조합에 의해서 각 전자기 현상에서 일어나는 방해 레벨에 의해 정해진다. 사용 위치 클래스 구분은 무선 송수신 장치를 포함한 기기들이 주어진 전자기 환경에서 일어나는 전자파 현상의 심각도에 따라 분류한다. IEC 61000-2-5에서는 [그림 2]에서와 같이 주거 지역, 상업지역, 산업지역으로 세 개의 사용 환경에 따른 위치 클래스로 구분하고, 또 이 세 사용 지역들이 서로 중첩되어 있는지에 따라 방해 레벨과 내성 레벨을 정하여야 한다.

주어진 전자기적 사용 환경에서 내성 레벨 선택의 원칙은 기기가 사용될 전자기 환경과 다른 기기와의 간섭을 일으킬 가능성을 충분히 고려하여 결정하여야 한다. 만약 적절한 방법으로 결정되지 않는다면 내성이 높은 수준의 설계, 제조, 설치 및 유지 보수는 비용이 많이 소요되므로 신중히



[그림 2] 위치 클래스 구분 개념

결정하여야 한다. 또, 전자파 내성은 기기 상호간 간섭 문제 뿐만 아니라 안전과 관련된 기능안전(functional safety)성 유지에도 중요한 시험 항목이 된다. 일반적으로 기능안전은 편리성 관점의 안전성보다 더 높은 내성 레벨을 요구한다.

2.3 저주파 전자파 적합성 레벨 IEC 61000-2-2

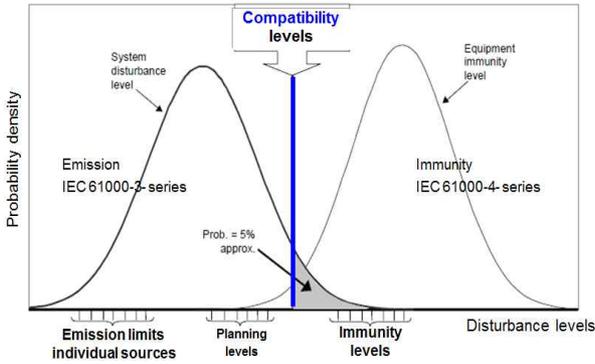
전자파 적합성 레벨은 기기가 동작하는 전자기 환경에서 존재하는 방해로 인하여 발생할 수 있는 성능 저하에 관련된 것으로 적합성 평가를 위해 두 가지 기본적 요구사항이 필요하다. 첫 번째, 전자기 환경에서 방해파 방출은 환경 내에서 구동하는 기기의 성능을 저하시키는 원인이 되는 레벨 이하로 유지되어야 한다. 두 번째, 전자기 환경에서 운용되는 모든 기기는 환경 내에서 존재하는 레벨에서 모든 방해로부터 충분한 내성을 가져야 한다. 방출과 내성의 허용기준은 각각 독립적으로 제정될 수 없다. 좀 더 효과적으로 방출량이 제어될수록 장비가 갖추어야 하는 내성요구 허용기준은 더욱 낮아진다. 유사하게 만약 기기가 높은 내성 값을 가지고 있다면 방해파의 방사에서 엄격한 허용기준 값의 필요성이 줄어든다. 전자기적인 각각의 현상에 대해서 적합성 레벨을 설정하는 것에는 세 가지 고려해야 할 사항이 있다. 첫 번째, 적합성 레벨은 그것이 초과되는 작은 확률(예: 5% 이내)이 허용되는 환경에서 예상될 수 있는 방해 레벨이다. 몇몇 방해 현상에 대해 엄격한 방해 레벨이 발생하며 그래서 장기 전망이 필요하다. 두 번째, 방해 레벨은 방출에 대해 적용되는 실제적인 허용기준 값에 의해서 유지될 수 있다. 세 번째, 방해 레벨은 관련 환경에서 기기의 동작에 있어야

하는 내성으로부터 적절한 마진을 가져야 한다.

적합성 레벨과 내성 레벨 간의 관계에 있어서 각각의 방해 현상의 적합성 레벨은 관련 환경에서 존재할 수 있는 엄격한 레벨로 인지되어야 한다. 모든 기기는 방해 레벨에서 최소한의 내성을 가지는 환경에서 동작하는 것을 목적으로 한다. 일반적으로 마진은 적합성과 내성레벨 간의 차이로 나타낼 것이다. 더욱이 적합성 레벨은 각각의 방해 현상과 각개 주파수에 대한 고조파 및 상호 고조파의 경우에 대해 설정한다. 몇 가지 방해현상의 경우에 환경과 같이 공존하는 것은 일반적이며, 또한 각각의 방해레벨이 적합성 레벨보다 낮음에도 불구하고 특별한 방해의 조합에 의해 어떤 기기의 성능이 저하될 수 있다. 고조파와 상호 고조파의 경우에 주파수, 크기, 위상의 일정한 조합은 실질적으로 전압첨두치 및 영 교차점의 크기를 바꿀 수 있다. 더욱이 이러한 복잡한 사항은 다른 방해파의 존재하면 추가될 수 있다. 이러한 변화의 수가 무한하기 때문에 방해의 조합에 대한 적합성 레벨을 결정하는 것은 불가능하다. 그래서 만약 적합성 레벨 내에서 특정 제품의 성능을 저하시킬 수 있는 방해의 조합이 존재하는 경우에 이러한 조합은 제품의 내성요구레벨을 그에 맞게 적용될 수 있도록 제품에 따라 확인하는 것이 필요하다.

계획 레벨은 대용량 부하와 설비에 대해 전원공급 시스템을 위한 이러한 요구사항은 특별한 역할을 가지고 있다. 이러한 설비에 대해 적절한 방출 허용기준 값을 결정하는 것에 대해 계획 레벨의 개념을 사용한다. 계획 레벨은 일차적으로 중전압(MV)과 고전압(HV) 네트워크에 관련되어 있다. 그러나 저주파 전도 방해는 저압과 고전압 네트워크 사이의 경로를 거친다. 방출 허용기준 값의 동일화는 모든 전압레벨을 참조해야 한다. 계획 레벨은 적합성 레벨보다 더 높을 수 없다. 일반적으로 계획 레벨은 연관되는 방해 현상, 전원 공급 네트워크의 구조와 전기적인 특성, 방해 배경 레벨, 공진 가능성, 부하 형상과 같은 요소에 따르는 마진에 의해 낮은 값을 가진다. 따라서 이것은 지역적으로 특수성을 가진다.

적합성 레벨, 방출 레벨, 내성 레벨 및 계획 레벨의 관계 즉, 다양한 전자파 관련 레벨과 허용기준 값을 [그림 3]에 나타낸다. 수치적으로 정확하지 않지만 이것은 이러한 값 간의 관계를 설명한다.



[그림 3] 내성 레벨, 계획 레벨, 방출레벨과 적합성 레벨과의 관계

IEC 61000-2-2 표준은 주전원선 신호화 시스템에 대해 0 ~150 kHz의 저 주파수 대역 내에서 전도성 방해에 관한 것이고, 단상 420 V와 또는 삼상 690 V까지의 공칭 전압과 50 Hz 또는 60 Hz의 공칭 주파수를 가지는 공공 저압 교류 시스템에 대한 적합성 레벨을 제공한다. 적합성 레벨은 공통 결합 지점(PCC)에 대해 적용하고, 상위 시스템으로부터 전원 공급을 받는 기기의 입력 단자에서의 방해에 대한 엄격한 레벨은 거의 모든 부분에 대한 공통 결합지점에서의 레벨과 같은 값으로 간주될 수 있다. 적합성 레벨은 공공 저압 공급 시스템에서 발생할 수 있는 종류의 전자파 방해로 설명되며, 공공 전력 공급 시스템을 통한 방해 방출에 대해 만들어진 허용기준과 공공 전력 공급 시스템에서 현재 장비가 전도성 방해에 노출되는 경우에 대한 다른 기술위원회에서 만들어진 내성 허용기준 값을 나타낸다. 고려되는 저주파 방해 현상들은 전압변동 및 플리커, 50차까지의 고조파, 50차까지의 상호 고조파, 50차 이상 고조파의 높은 주파수에서 전압 왜곡, 전압 강하 및 일시적 전원 중단, 전압 불균형, 과도 과전압, 전력 주파수 변화, 직류 성분 및 주전원 신호화 등이 있다.

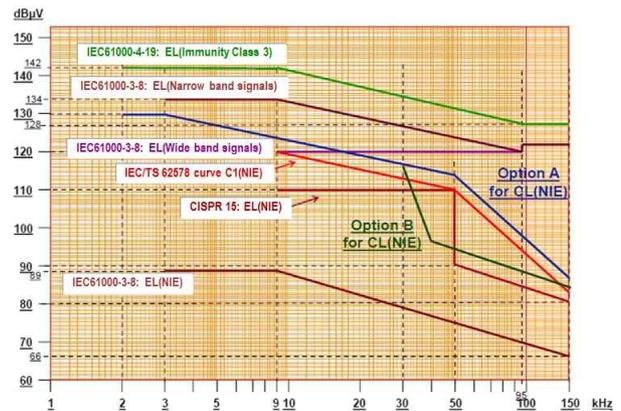
최근 IEC 61000-2-2 표준 개정 작업이 진행 중인데, 주요 개정 내용은 주파수 150 kHz까지 주 통신 시스템으로부터 방출되는 신호에 대한 적합성 레벨을 결정하고, 2~150 kHz 사이의 비의도적 방출에 대한 적합성 레벨, 저전압 공공 전력망에서 예상되는 여러 가지 저주파 전도성 전자기 현상에 대한 적합성 레벨 가이드, 저전압 공공 전력망에서 계획 레

벨을 포함하여 전도성 방출에 대한 허용기준 결정 및 저전압 공공 전력망에서 전도성 방출에 노출된 기기들의 내성 허용기준을 정하는 것이다. [그림 4]는 2~150 kHz 주파수 범위에서 현재 적합성 레벨 현황을 나타내고, Option A와 Option B는 IEC TC77에 제안된 적합성 레벨로서 향후 각국의 의견과 투표를 거쳐 확정 될 것이다.

[그림 4]에서 Option A는 기기 제조자에 의해 제안된 비의도적 방출에 대한 적합성이고, Option B는 DNO(배전 네트워크 조직)에 의해 제안된 비의도적 방출에 대한 적합성 레벨이다. 현재 SC77A WG8에서 논의 중인 적합성 레벨은 30 ~150 kHz 사이에서 비의도적 방출에 대해 두 가지 다른 제안을 정리하면 [그림 5]와 같다. 제안된 적합성 레벨의 전계강도 허용기준은 <표 1> 및 <표 2>의 제안과 같고 0 ~30 kHz 사이 적합성 레벨은 <표 3>과 같이 정해졌다.

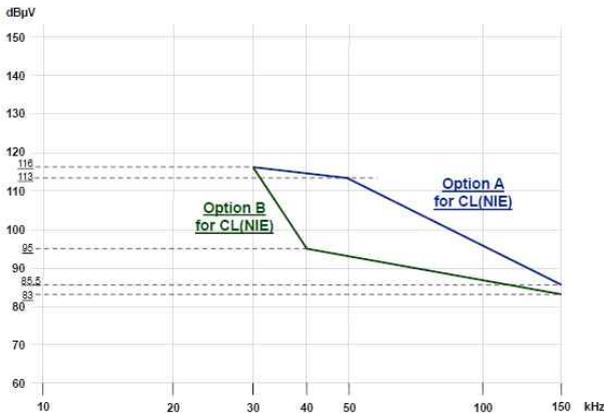
30~150 kHz 사이 적합성 레벨은 향후 워킹그룹에서 토론과 기술위원회 투표를 통해 결정될 것이다. 9 kHz에서 150 kHz까지의 전압왜곡은 10분 또는 그 이상 장기간 왜곡을 고려해야 하고, 적합성 레벨은 어떤 주전원 도체(상 또는 중선선)와 접지 사이에 측정된 방해파 레벨과 관련되어 있다.

방해파 측정은 CISPR 16에 따라 대역폭 200 Hz로 준-점 두 검파기로 측정된 것이다.



EL: Emission Limits
 NIE: Non-Intentional Emissions
 EL(NIE): Emission Limits for Non-intentional Emissions
 CL(NIE): Compatibility Levels for Non-Intentional Emissions

[그림 4] 2~150 kHz 주파수 범위에서 현재 적합성 레벨 현황



[그림 5] 30~150 kHz 주파수 범위에서 NIE(Non-Intentional Emission)의 적합성 레벨 제안

<표 1> 30~150 kHz 전압왜곡에 대한 적합성 레벨(Option A)

주파수 범위(kHz)	적합성 레벨(dB(μV))
30~50	116~113(대수적 레벨 감소)
50~150	113~85.5(대수적 레벨 감소)

<표 2> 30~150 kHz 전압왜곡에 대한 적합성 레벨(Option B)

주파수 범위(kHz)	적합성 레벨(dB(μV))
30~40	116~95(대수적 레벨 감소)
40~150	95~83(대수적 레벨 감소)

<표 3> 9~30 kHz 전압왜곡에 대한 적합성 레벨

주파수 범위(kHz)	적합성 레벨(dB(μV))
9~30	116~95(대수적 레벨 감소)

III. 전자파 내성 시험방법 표준화 동향

3-1 전압강하, 순시정전 및 전압변동 내성시험 IEC 61000-4-11

IEC 61000-4-11 표준은 전압 강하, 순시 정전 및 전압 변동이 일어날 수 있는 저전압 전원 공급 회로망에 연결되는 전자파 내성 시험방법과 선택되는 시험 레벨 범위를 정의하

고, 50 Hz 또는 60 Hz 교류 회로망에 연결될 때 상(phase)당 16 A 이하 정격 입력 전류를 갖는 기기에 적용된다. 이 표준의 목적은 전압 강하, 순시 정전 및 전압 변동이 일어날 때의 기기의 내성 평가를 위한 공통의 기준을 정립하기 위한 것이다.

IEC 61000-4-11 Ed2.0의 유지 보수와 Amendment 1 개정은 SC77A WG06에 할당되어 표준화 작업이 진행 중이다. Amendment 1은 IEC 61000-4-11 Ed.2.0에 Annex를 추가하여 전압 강하의 상승 및 하강 시간(1 μs, 5 μs) 요구사항에 대한 당위성과 정격전류 상당 16 A 이하 기기의 돌입전류에 관한 설명을 추가하는 것이다.

이 표준의 주요 개정내용은 다음과 같다. 전압강하 내성 시험은 위상각 0°에서 시작되고 끝나기 때문에 상승 및 종료 하강시간을 1~5 μs로 정의하고, 현재의 전압강하 1/2주기 시험은 아주 작은 전압강하이기 때문에 의미가 없다는 의견제기에 따라 1/2주기 삭제가 제안되었으나 부결되었다. 현재 정격전류 16 A 이상 75 A 이하 기기의 전압강하 내성 표준인 IEC 61000-4-34에는 1/2주기 시험이 없다. IEC 61000-4-11은 정격전류 16 A 이하 기기의 내성표준에서 전압강하 발생기의 돌입전류(inrush current) 500 A 규정을 완화하였다. 전동기 기동으로 인한 전압강하 문제 때문에 전압강하 시험은 타당하나 전압변동(voltage variation) 시험의 실효성이 떨어지므로 삭제 검토가 제안되었으나 부결되었다.

전압강하 상승 및 하강 시간 정의에 대한 이론적 근거는 기기에 근접한 단락회로의 경우에 하강시간이 1~5 μs 범위를 가진 전압강하가 국제적으로 널리 통용되고 있고 전압강하 상승 시간은 네트워크의 케이블 및 병렬로 접속된 기기들의 임피던스에 의존한다. 상승 및 하강 시간 요구사항은 1994년 첫 번째 판 발행 이래로 전 세계적으로 사용되었다. 그러나 EUT 시험하는 동안 적용되지 않고 100 Ω 저항부하를 가진 Dip 발생기 교정에만 적용하였다. 즉, 상승 및 하강 시간이 실제 EUT 시험 시 일어날 필요는 없다. 대부분의 전압강하 및 순간정전 내성 시험은 0° 또는 180°에서 시작되고 종료되는데, 연구에 의하면 일반적으로 전압 상승-통과 시험을 위한 가장 가혹한 위상각이라는 결론이다. 0°와 180°에서 순간적인 전압은 0이어서 상승 및 하강 시간은 의미가 없다. Pre-compliance 시험은 0° 또는 180°에서 시작하고 끝나는 전

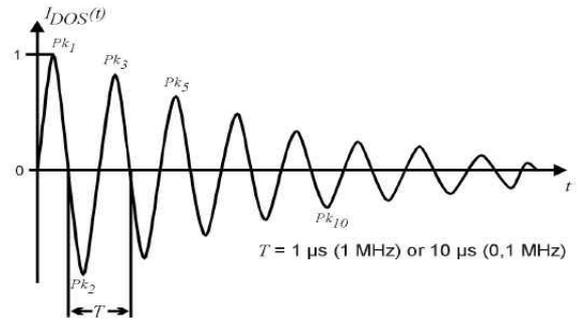
압강하 및 순간정전 시험을 위한 Dip 발생기는 200 μ s까지 더 긴 상승 및 하강 시간이어야 한다. 이때 위상각은 중요하지 않다. 그러나 IEC 61000-4-87 시험방법으로 적합하다는 것은 100 Ω 저항 부하로 시험하였을 때 개정되는 1~5 μ s Dip 발생기를 사용해야 한다.

돌입전류(inrush current) 수용 능력에 대한 이론적 근거를 표준에 추가하였는데, 돌입전류는 용량성 평활회로를 가진 입력 정류기 등에 손상을 일으킬 수 있다. 이런 손상을 방지하기 위해 통상 기기 내부에 있는 돌입전류 제한 장치가 있다. 돌입전류는 전압 강하 또는 순간정전 후 선로 전압 회복 시에도 발생한다. 이 경우 돌입전류 제한 수단은 기기에서 역할을 못할 수도 있다. 그래서 Dip 후 돌입전류가 기기에 손상을 일으킬 수 있다. 이런 이유로 Dip 후 돌입전류가 Dip 발생기에 의해 제한되지 않도록 충분한 전류를 공급할 수 있는 능력을 가진 Dip 발생기가 필요하다. 돌입전류 요구사항이 없으면 그 Dip 발생기로 내성시험 시 합격이 될 가능성이 있고 반면에 돌입전류 손상에 기인하여 불합격될 수도 있다. 실제 상황에서 돌입전류는 네트워크 임피던스에 의해 제한된다. 만약 네트워크 임피던스가 공공 전력 공급망의 선로 기준 임피던스(IEC TR 60725에서 796 μ H)에 따른다면 전형적인 시골지역 저전압 네트워크이고, 돌입전류는 약 15~20 A로 제한될 것이다.

3-2 감쇄진동 자기장 내성시험 IEC 61000-4-10

IEC 61000-4-10 표준은 중·고압 변전소에 관련된 감쇄진동 자기장 방해가 존재하는 동작 조건하에서만 작동하는 기기의 내성 요구 사항이다. 즉, 중·고압 변전소가 감쇄진동 자기장에 노출되었을 때 기기의 성능을 평가하기 위한 일반적이고 재현 가능한 내성 시험방법이다. 2000년 11월 발행된 IEC61000-4-10 Ed.1.0을 전면 개정 및 대체하여 Ed.2.0을 발행하는 프로젝트가 현재 IEC SC77A에서 진행 중이다.

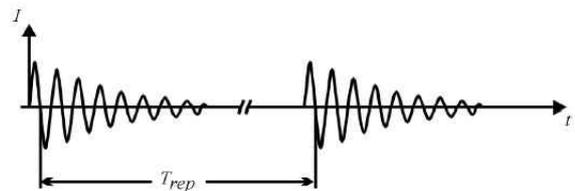
감쇄진동 시험 발생기에서 발생하는 감쇄진동 전류파형은 [그림 6]과 같고, 파형의 상세 사양은 <표 5>와 같다. 펄스 반복은 100 kHz에서는 25 ms, 1 MHz에서는 2.5 ms이고 [그림 7]과 같이 반복 시간에 맞게 감쇄진동 내성시험 발생기에서 전류를 발생하여 표준 유도 코일에 공급한다.



[그림 6] 표준 코일에서 단락회로 전류 감쇄진동 파형

<표 4> 감쇄진동 내성 시험 시스템의 피크 전류 사양

Test level	Peak current $I \pm 20\%$ A	
	System using 1 m × 1 m standard induction coil	System using 1 m × 2.6 m standard induction coil
3	11.1	15.2
4	33.3	45.5
5	111	152



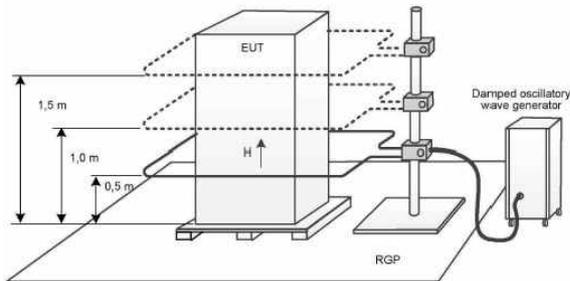
[그림 7] 반복시간 T_{rep} 반영 감쇄진동 파형

<표 5> 감쇄진동 내성 시험 파형 사양

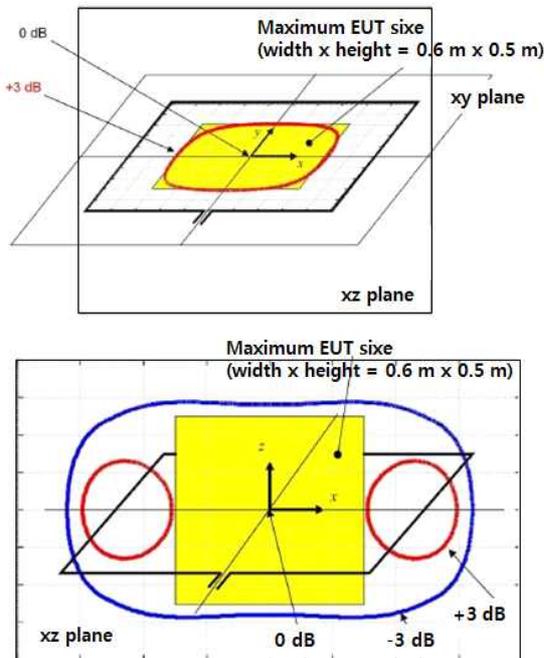
Calibration items	Oscillation frequency	
	100 kHz	1 MHz
Oscillation period	$T = 10 \mu s \pm 1 \mu s$	$T = 1 \mu s \pm 0.1 \mu s$
Repetition time of pulse	$T_{rep} = 25 ms \pm 2.5 ms$	$T_{rep} = 2.5 ms \pm 0.25 ms$
Decay rate of one pulse	$D_{r,1} = I(PK_5) \div I(PK_1) > 50\%$ $D_{r,2} = I(PK_{10}) \div I(PK_1) < 50\%$	$D_{r,1} = I(PK_5) \div I(PK_1) > 50\%$ $D_{r,2} = I(PK_{10}) \div I(PK_1) < 50\%$

교정은 최소 10 MHz 이상 대역폭을 가진 오실로스코프와 전류 프로브로 한다. [그림 8]은 바닥 설치형 기기(EUT)

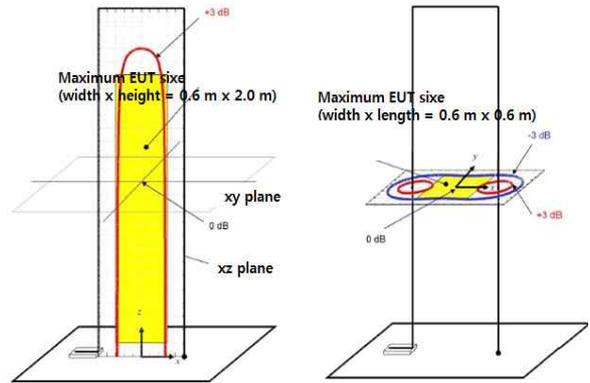
의 시험 셋업 예이고, EUT의 크기와 설치 형태와 기준접지면의 유무에 따라 시험 셋업이 달라진다. 표준에서 제시한 1 m × 1 m와 1 m × 2.6 m 표준 유도 코일을 적용하되, EUT의 상황에 맞게 유도 코일을 제작하여 사용할 수도 있다. 단일 턴(turn) 표준 유도 코일 1 m × 1 m와 1 m × 2.6 m에서 자기장(field) 수직 및 수평 분포는 각각 [그림 9], [그림 10] 및 [그림 11]과 같고, 자기장 검증과 교정은 필요 없다. 즉, 유도 코일에 흐르는 전류만 교정하면 된다.



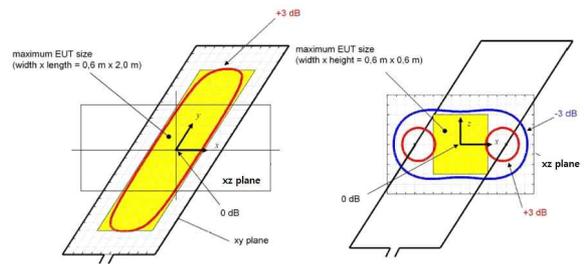
[그림 8] 바닥 설치형 기기의 감쇄진동 자기장 내성 시험 set-up 예



[그림 9] 1 m × 1 m 표준유도코일의 자기장(진폭) +3 dB와 -3 dB 선



[그림 10] 기준 접지면을 가진 1 m × 2.6 m 표준유도코일의 자기장(진폭) +3 dB와 -3 dB 선



[그림 11] 기준 접지면이 없는 1 m × 2.6 m 표준유도코일의 자기장(진폭) +3 dB와 -3 dB 선

3-3 펄스 자기장 내성시험 IEC 61000-4-9

IEC 61000-4-9 표준은 중·고압 변전소 및 산업설비와 발전소 환경 및 철도 시설 환경에서 설치되어 동작하는 기기에 대해 펄스 자기장 내성 요구 사항이다. 펄스 자기장은 빌딩과 안테나 대, 접지 도체나 접지 네트워크를 포함하는 금속 구조물 및 저압(LV), 중압(MV), 고압(HV) 전기 시스템에서의 초기 과도 현상에 의해 발생된다. 고압 변전소에서 펄스 자기장은 회로 차단기에 의한 고압 버스 바(모선, bus-bars)와 선로의 스위칭에 의해 발생된다. 이 내성 시험은 발전소 또는 제어 센터에서 설치되는 전자 기기에 대해 주로 적용될 수 있고, 배전 네트워크 기기에는 적용하지 않는다.

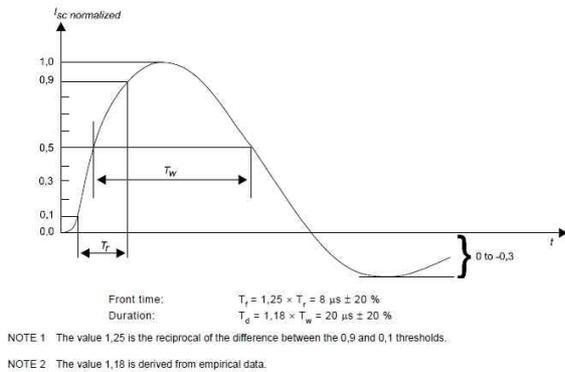
펄스 자기장 내성시험 발생기의 특성은 <표 6>에서와 같고, 시험방법은 감쇄 진동 내성 시험에서와 같은 방법으로 단일 턴(turn) 1 m × 1 m와 1 m × 2.6 m 표준 유도 코일에 <표 7>과 [그림 12]에서 정의한 펄스 전류를 흘려 이 유도

<표 6> 펄스 자기장 내성 시험 발생기 특성

Polarity	Positive and negative
Phase shifting	in range between 0° to 360° relative to phase angle of AC line voltage with ± 10° tolerance
Repetition rate	1 per minute or faster
Short-circuit peak output current	100 A to 1,000 A or required test level divided by the coil factor
Short-circuit peak output current tolerance	± 10 %

<표 7> 펄스 자기장 8/20 μs 파형 파라미터의 정의

	Front time T_f (μs)	Duration T_d (μs)
Short circuit current	$T_f = 1.25 \times T_r$ = 8 ± 20 %	$T_d = 1.18 \times T_w$ = 20 ± 20 %



[그림 12] 펄스 자기장 단락회로 전류(8/20 μs) 파형

코일에서 발생한 자기장을 피측정기기(EUT)에 인가한다.

이 때 유도 코일 인자(factor)를 계산이나 측정으로 결정해야 하는데, 이것은 유도 코일 중앙에서 요구되는 자기장 강도를 얻기 위해 코일에 흘려주는 전류를 계산하는데 사용된다. 유도 코일 인자(factor)는 코일의 모양기 크기에 따라 달라지며, 따라서 EUT의 형태에 따라 다르다.

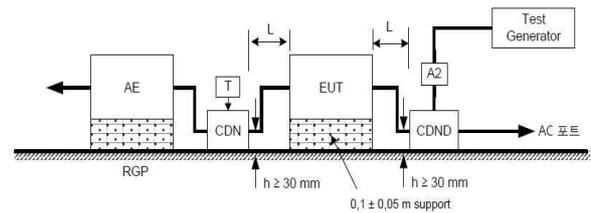
3-4 광대역 전도성 방해 내성시험 IEC 61000-4-31

IEC 61000-4-31 표준은 AC 주전원 포트의 150 kHz~80 MHz 주파수 범위에서 PLC 신호나 LED 램프 방해신호와 같

은 의도적 또는 비의도적 신호원으로부터의 전자파 방해를 방지하고자 광대역 전도성 방해 내성 표준이고, 2011년 9월에 NP로 새롭게 제안되었다. 이 표준은 PLC 및 AC 주전원 포트 신호 및 제어포트 또는 접지포트에서의 비의도적 광대역 신호 유입 시 전도 방해에 내성을 평가하는 기본 표준을 정립하기 위함이다. 광대역 방해 신호는 [그림 13]과 같이 AC 포트 가까이에서 증변환 손실(LCL: Longitudinal Conversion Loss)로 제시되는 CDND를 통해서 광대역 신호를 주입하여 시험한다. CDND에 연결된 EUT에 VSWR ≤ 2의 부정합(mismatch)을 보장하지 못하면 3 dB 또는 더 큰 전력 감쇠기([그림 13]의 A2)를 광대역 신호 발생기와 CDND 사이에 추가하여야 한다.

전도성 광대역 방해 신호 레벨은 선택된 관심 주파수 범위에서 dBm/Hz로 표현되는 전력 스펙트럼 밀도(PSD: Power Spectral Density)로 정의([표 8]의 두 번째 열)된다.

적용 편의성을 위해 시험 레벨은 전체 주파수 범위 150 kHz~80 MHz에서 dBμV/100 kHz로 표현되는 “동등 전압 스펙트럼(Equivalent Voltage Spectrum density)”와([표 8]의 세 번째 열) dBm으로 표현되는 “총 전송 전력(Total forward power) ([표 8]의 네 번째 열)으로 주어진다. 의도적 광대역 방해의 특정 경우에는 제품표준 위원회에서 해당 EUT의 적당한 주파수 범위를 지정할 수 있는데(예를 들어 PLT는 1 MHz~30 MHz) 선택된 주파수 범위와 전력 스펙트럼 밀도를 맞추기 위한 총 전송 전력은 다음 공식에 의해 계산된다.



A2: Optional power attenuator

L: 0.1 m ≤ L ≤ 0.3 m

T: Termination 50 Ω

CDND: 차동 모드에서 시험신호 주입을 위한 결합/감결합 회로망

CDN: IEC 61000-4-6의 결합/감결합 회로망

[그림 13] 광대역 전도성 방해 내성 시험 배치

<표 8> 전도성 광대역 내성 시험 레벨

Frequency range 150 kHz to 80 MHz			
Level	Power spectral density (dBm/Hz)	Equivalent voltage spectrum density (dB(μV)/100 kHz)	Total forward power (dBm)
1	-60	97	19
2	-50	107	29
3	-40	117	39

$$P_{TF} = P_{SD} + 10 \log \left(\frac{f_{stop} - f_{start}}{1 \text{ Hz}} \right)$$

여기서,

P_{TF} : Total Forward power (dBm)

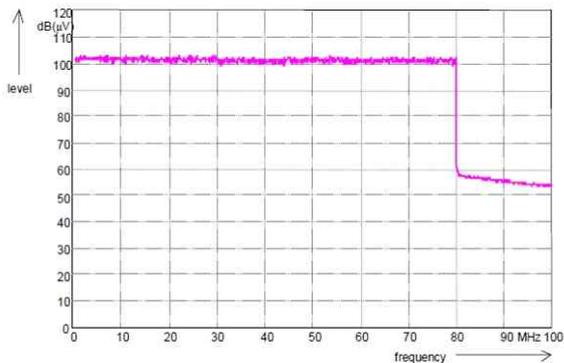
P_{SD} : Power Spectral Density (dBm/Hz)

f_{stop} : Upper frequency of test frequency band (Hz)

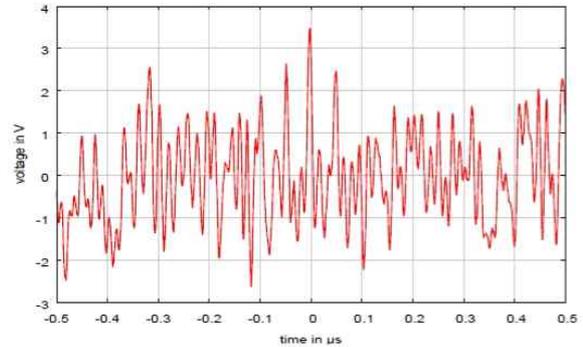
f_{start} : Lower frequency of test frequency band (Hz)

[그림 14]와 [그림 15]는 AC 주전원 포트에 CDND를 통해 커플링되는 전도성 광대역 시험신호의 예를 보여주고 있다.

광대역 전도성 방해 신호는 평탄도(flatness)가 목표 신호 레벨 대비 ±3 dB 범위 내 있어야 하는데, 평탄도 검정 절차는 시험 주파수 범위에서 분해 대역폭(100 ± 30 kHz)를 가진 스펙트럼 분석기를 사용하고, [그림 16]과 같이 목표 신호 레벨의 허용기준 내에 있어야 한다.



[그림 14] 120 kHz 대역폭으로 측정된 광대역 시험 신호의 전압 스펙트럼 예

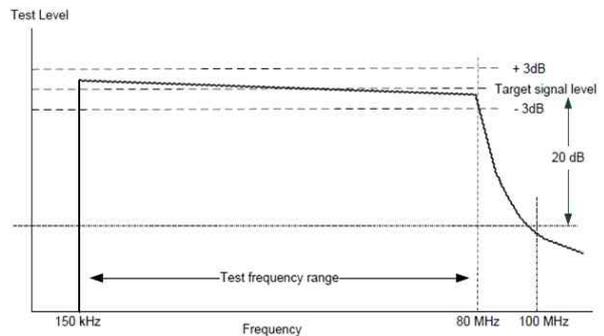


[그림 15] Time domain에서 대역 제한 artificial 잡음 신호

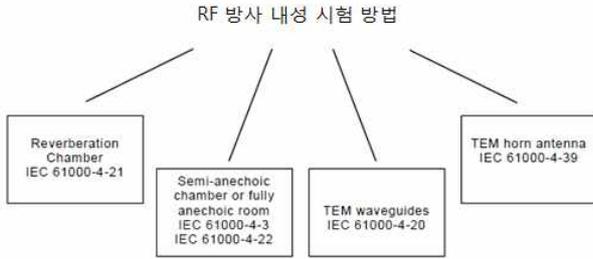
3-5 근접장에서 방사성 방해 내성시험 IEC 61000-4-39

IEC 61000-4-39 표준은 근접거리에서 사용되는 장치의 신호원로부터 발생하는 방사성 방해에 대한 내성 요구사항과 시험절차에 관련된 표준이 새롭게 제정되고 있다. 디지털 기술이 발전함에 따라 기존의 전통적인 AM 및 FM 변조와 더불어 여러 가지 다른 진폭과 대역폭을 가진 변조방식이 존재하고, RFID 등의 의도적 방사 주파수로 동작하는 기기가 다른 기기의 근접거리에서 동작할 때 내성능을 확보하기 위함이다. 기존의 방사 내성 표준 IEC 61000-4-3, IEC-61000-4-20, IEC61000-4-21 및 IEC61000-4-22는 근접한 거리에서 방사성 방출에 노출되었을(수 cm) 때 내성 평가에는 적합하지 않다. [그림 17]은 방사성 내성 시험 표준을 정리한 것이다.

근접장 내성 적용 주파수 범위는 9 kHz~6 GHz이고, 휴대용 송신장치에 노출된 고정시설, 고정된 송신장치와 모바일 기기에 노출된 모바일 기기 및 다른 모바일 송신장치에 노



[그림 16] 광대역 내성 시험 신호의 평탄도 예



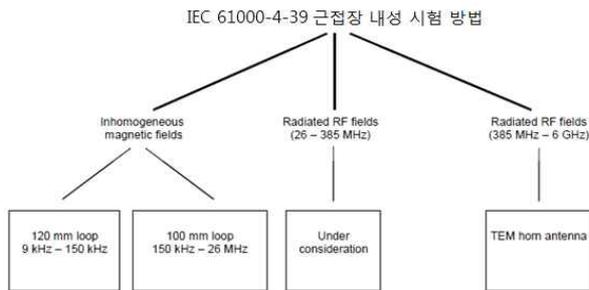
[그림 17] RF송신기 방해파에 대한 내성 평가 개요

출된 모바일 기기 등을 고려한 것이다.

9~150 kHz 주파수의 시험 레벨은 <표 9>와 같고, 시험 파형은 실제 방해파 소스를 묘사하기 위해 [그림 19]와 같이 캐리어 신호는 1 kHz 사인파를 가지고 80 % 진폭 변조를 한다.

150 kHz~26 MHz 주파수의 시험 레벨은 <표 10>과 같고, 캐리어 신호는 펄스 변조를 하고, Duty Cycle 50 %, 변조 주파수 2 Hz 또는 1 kHz, on/off ration은 최소 20 dB로 한다.

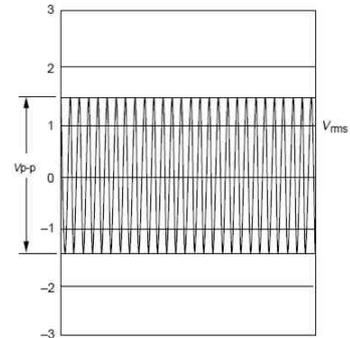
자기장 발생 장치는 [그림 20]과 같이 방사 루프코일 하고 코일 지름 100 mm ± 10 mm, 턴수 3, 선의 지름은 약 1.0 mm 사용한다. 방사 루프 방법은 자기장 강도를 모니터링을 해야 하고 지름 40 mm ± 2 mm, 턴수 1, 선의 지름은 약 0.53 mm



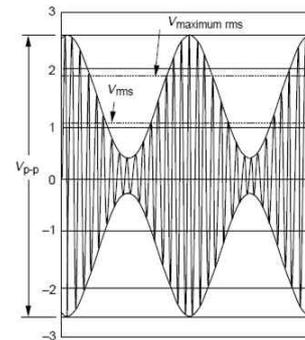
[그림 18] 근접장 신호 내성 시험방법

<표 9> 9~150 kHz 불균질 자기장 시험 레벨

Test level	Test field strength (A/m)
1	1
2	3
3	10
4	30



(a) Unmodulated RF-signal
 $V_{p-p}=2.8 \text{ V}$
 $V_{rms}=1.0 \text{ V}$



(b) Modulated RF-signal 80 % AM
 $V_{p-p}=5.1 \text{ V}$
 $V_{rms}=1.15 \text{ V}$
 $V_{maximum \ rms}=1.8 \text{ V}$

[그림 19] 80 % 진폭변조(AM) 시험레벨과 신호발생기 출력에서 발생하는 파형의 정의

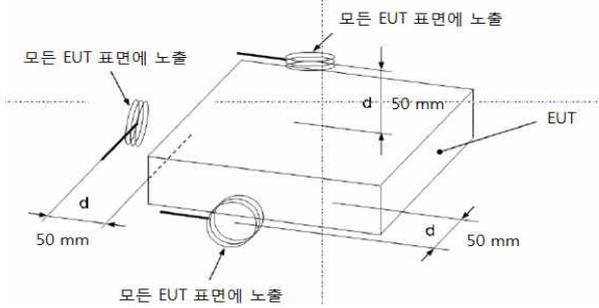
<표 10> 150 kHz~26 MHz 불균질 자기장 시험 레벨

Test level	Test field strength (A/m)
1	0.1
2	0.3
3	1.0
4	3.0

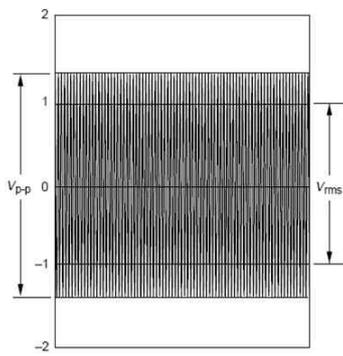
사용, 정전기 차폐 및 제조사 제시 변환인자를 적용한다.

26~385 MHz 주파수는 시험 적용을 하지 않고 현재 고려 중이다. 385 MHz~6 GHz 주파수 범위 시험 레벨은 <표 11>과 같고 캐리어 신호는 [그림 21]과 같이 펄스 변조이다.

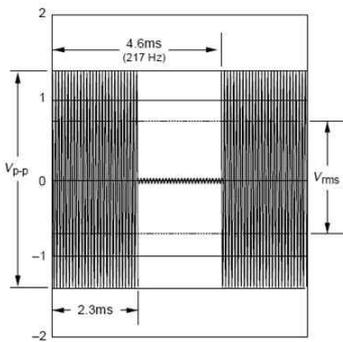
Duty Cycle 50 %, 변조 주파수는 2 Hz, 217 Hz 또는 1



[그림 20] 자기장 방사 루프 시험 set-up



(a) Unmodulated RF-signal
 $V_{p-p}=2.82\text{ V}$
 $V_{rms}=1.00\text{ V}$



(b) Pulse modulated RF-signal
 $V_{p-p}=2.82\text{ V}$
 $V_{rms}=0.71\text{ V}$

[그림 21] 펄스변조(50 % duty cycle, 217 Hz) 시험레벨과 신호 발생기 출력에서 발생하는 파형 예

kHz, On/off ration은 최소 20 dB여야 한다. 사용 안테나는 TEM 혼 안테나를 사용하고 균일장을 형성하여야 한다.

IV. 결 론

<표 11> 385 MHz~6 GHz 근접 RF 전기장 시험 레벨

Test level	Test field strength (A/m)
1	10
2	30
3	100
4	300

전기전자기기 및 통신 기기들의 급속한 보급으로 전파환경이 더욱 복잡해지고, 전자파 간섭문제가 더욱 이슈화가 되고 있다. 또, 다양한 형태의 통신기기들이 사용되고, 사용 주파수 및 변조 방식도 다양해짐에 따라 이러한 전자파 간섭의 확률은 더욱 높아지고 있어 전자파 내성에 대한 기술적 요구 사항이 증가되고 있다. 현재 국제표준화 기구인 IEC에서는 이와 같은 기술 및 디바이스 개발에 따라 기존의 내성 표준들을 개정하거나, 신규로 제정하는 작업을 진행 중에 있다. 특히 모바일 기기 및 인체 근접사용 기기 등의 사용이 일반화 되고 있음에 따라, 이와 관련된 내성 시험 기술들이 새롭게 제안되어 국제 표준화를 진행하고 있다. 표준화의 중요성을 인식하고, 전자파 전문가들은 국제 표준화 활동에 참여하여 적극적인 대응하여 우리나라 기업들이 선제적으로 기술개발을 하고, 글로벌 시장을 선도하도록 해야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 77/501/CD, IEC TR 61000-2-5: *Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 2-5: Environment-Description and classification of electromagnetic environments*, IEC, 7, Oct. 2015.

[2] 77A/914/CD & 77A/915/DC, IEC 61000-2-2 Ed.2 A1: *Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 2-2: Environment-Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*, IEC, 6, Nov. 2015.

[3] 77A/892/CD, IEC 61000-4-11 AMD1 Ed.2.0: *Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-11: Testing and measurement techniques-Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests*, IEC, 5, Jun. 2015.

[4] 77B/730/CDV, IEC 61000-4-10 Ed 2.0: *Electromagnetic com-*

patibility (EMC)-Part 4-10: Testing and measurement techniques-Damped oscillatory magnetic field immunity test, IEC, 17, Apr. 2015.

[5] 77B/713/CD, IEC 61000-4-9 Ed. 2.0 : Electromagnetic Compatibility (EMC)-Part 4-9: Testing and measurement techniques-Impulse magnetic field immunity test, IEC, 28, Feb. 2014.

[6] 77B/726/CDV, IEC 61000-4-31 Ed. 1.0 : Electromagnetic

Compatibility (EMC)-Part 4-31: Testing and measurement techniques-AC mains ports broadband conducted disturbance immunity test, IEC, 27, Mar. 2015.

[7] 77B/736/CD, IEC 61000-4-39 Ed. 1.0 : Electromagnetic Compatibility (EMC)-Part 4-39: Testing and measurement techniques Radiated fields in close proximity immunity test, IEC, 24, Jul. 2015.

≡ 필자소개 ≡

성 관 영



1986년 2월: 경남대학교 전기공학과 (공학사)
2000년 2월: 부산대학교 지능기계시스템전공 (공학석사)
2006년 2월: 창원대학교 신소재나노과학 (공학박사)
2003년 6월~현재: IEC TC77(Electromagnetic Compatibility) Member

2004년 2월~현재: IEC CISPR B & CISPR F Member

[주 관심분야] 전자파적합성