

[별표 1-1]

KN 61000-4-2

정전기방전 내성 시험방법

목 차

1. 적용 범위	3
2. 참조 규격	3
3. 용어 정의	4
4. 일반 사항	6
5. 시험 레벨	6
6. 정전기 방전 시험발생기	7
7. 시험 배치	12
8. 시험 절차	21
9. 시험결과의 평가	25
10. 시험보고서	26
부록 A(정보) 해석 요약	27
부록 B (규격) 전류 측정 시스템의 교정과 방전 전류 측정	33
부록 C (정보) 부록 B의 요구사항을 충족하는 교정 표적의 예	40
부록 D (정보) 인체 금속 방전과 정전기 방전 발생기로부터의 방사 전자기장	46
부록 E (정보) 측정 불확도(MU) 고찰	57
부록 F (정보) 시험 결과의 변화와 단계적 확대 방법	65

1. 적용 범위

이 시험방법은 기기 운용자와 주변 물체로부터 발생할 수 있는 정전기 방전으로 인해 전기, 전자기기가 받는 영향에 대한 내성 요구사항과 시험방법에 관한 것이다. 또한, 서로 다른 환경조건과 설치조건에 따른 시험레벨 범위를 정의하고 시험절차를 확립한다.

이 시험방법의 목적은 정전기 방전에 영향을 받는 전기, 전자기기의 성능을 평가하기 위한 일반적이고 재현 가능한 기본 사항을 확립하는 것이다. 또한, 정전기 방전에 취약한 기기 근처의 물체에서 운용자로부터 발생할 수 있는 정전기 방전의 영향을 포함한다.

이 시험방법은 다음 사항들을 정의한다.

- 방전전류의 전형적인 파형
- 시험레벨의 범위
- 시험장비
- 시험설치
- 시험절차
- 교정절차
- 측정불확도

이 시험방법은 “시험인증기관”에서 수행하는 시험과 최종 설치된 피시험기기에 대해 수행하는 “설치후 시험”에 대한 규격을 제시한다.

이 시험방법은 특별한 기기나 시스템에 적용되는 시험방법을 설명하기 위한 것은 아니며, 주요 목적은 모든 관련 EMC 기준전문위원회에 일반적인 기본기준을 제공하는 것이다. EMC 기준전문위원회(또는 사용자와 기기 제조자)는 시험방법의 적절한 선택과 피시험기기에 적용되는 가혹치 레벨의 선택에 대한 책임이 있다.

이 시험방법의 조정 작업과 표준화 작업에 방해되지 않도록, 이 시험방법에 규정된 해당 내성시험방법을 채택할 것을 EMC 기준전문위원회 또는 사용자 및 기기 제조자에게 강력히 권고한다.

2. 참조 규격

다음의 참조규격은 이 시험방법의 적용에 반드시 필요하다. 출판연도가 표기된 참조 규격은 인용된 판만을 적용한다. 출판연도가 표기되지 않은 참조규격은 개정 본을 포함하여 가장 최신판을 적용한다.

IEC 60050(161) : 1990, 국제전기공학 용어사전(IEV) - 161장 : 전자기 적합성

IEC 60068-1 : 1988, 환경시험 -1부 : 일반사항과 지침

3. 용어 정의

이 시험방법의 용어정의는 다음과 같다. 이 시험방법에서 규정하는 것 외의 용어는 전파법, 전파법 시행령, 전자파 장애방지 기준 및 전자파 보호 기준, 전자파적합성 관련 국제표준 및 국가표준에서 정하는 바에 따른다.

3.1 기중 방전법 (air discharge method)

정전기방전 시험발생기의 대전 전극을 피시험기기에 근접시킨 상태에서, 피시험기기에 스파크 방전을 일으키는 시험법

3.2 정전기 방지물질 (antistatic material)

동일 물질 또는 기타 유사 물질이 분리될 때 발생하는 전하가 매우 적거나 또는 이들을 문지를 때 발생하는 전하가 매우 적은 특성을 갖는 물질

3.3 교정 (calibration)

규정된 조건하에서 지시값과 측정 결과 간의 관계를 규격을 참조하여 확정하는 일련의 작업

주1) 이 용어는 "불확도" 접근방식을 토대로 한다.

주2) 지시값과 측정 결과의 관계는 원칙적으로 교정도로 표현할 수 있다.[IEV 311-01-09]

3.4 적합성 시험 (conformance test)

설계 제조된 장비가 이 규격의 요구사항을 충족하는지를 결정할 목적으로 장비의 대표 시료에 대해 실시하는 시험

3.5 접촉 방전법 (contact discharge method)

정전기방전 시험발생기의 전극을 피시험기기에 접촉시킨 상태에서, 이 시험발생기 내의 방전 스위치로 방전을 일으키는 시험법

3.6 결합면 (coupling plane)

금속판이나 금속면이며, 피시험기기에 근접한 물체에 정전기 방전을 모사할 때 이 면에 방전을 인가한다. HCP : 수평 결합면 , VCP : 수직 결합면

3.7 성능 저하 (degradation (of performance))

기기, 장비 또는 시스템의 동작성능이 의도된 성능에서 벗어난 상태 [IEV 161-01-19]

주)“저하(degradation)”라는 용어는 일시적 또는 영구적 고장을 의미할 수 있다.

3.8 직접방전 적용 (direct application)

피시험기기에 직접 방전을 적용시키는 것

3.9 전자파 적합성 (EMC)

장비나 시스템이, 존재하는 전자파환경 내에서 만족스럽게 동작하며 그리고 이 환경 내의 다른 어떤 것(장비나 시스템 등)에 허용기준 이상의 전자파방해를 주지 않는 능력. [IEV 161-01-07]

3.10 정전기 방전 (electrostatic discharge : ESD)

정전 전위가 다른 물체들이 근접해 있거나 직접 접촉하였을 때 이들 사이에서 발생하는 전하의 이동 현상 [IEV 161-01-22]

3.11 에너지 충전 커패시터 (energy storage capacitor)

대전된 인체의 시험 전압값을 갖는 커패시터로, 정전기방전 발생기에 사용되며, 이커패시터는 집중소자 또는 분포소자 커패시터 형태로 제공된다.

3.12 EUT

피시험기기

3.13 기준접지면 (Ground Reference Plane : GRP)

평평한 도전성 평면이며, 그 전위를 공통 기준전위로 사용한다. [IEV 161-04-36]

3.14 유지시간 (holding time)

시험방전에 앞서, 정전기방전 발생기의 시험전압이 누설로 인해 최대치의 10 % 이하로 감소하는 시간간격

3.15 (방해에 대한) 내성 (immunity (to a disturbance))

전자과방해가 존재할 때, 장치, 기기 또는 시스템이 성능저하 없이 동작할 수 있는 능력.
[IEV 161-01-20]

3.16 간접방전 적용 (indirect application)

피시험기기에 근접한 결합면에 방전을 적용시키는 것으로, 피시험기기에 근접한 물체에 대한 인체 방전을 모의 적용한 것

3.17 상승시간 (rise time)

초기 펄스의 순시값이 규정된 하한과 상한에 도달하는 순간 사이의 시간 간격

주) 달리 규정하지 않는 한 하위값과 상위값은 펄스 크기의 10 % 및 90 %로 고정된다.[IEV 161-02-05, 수정]

3.18 검증 (verification)

시험 장비 시스템(예, 시험 발생기와 상호접속 케이블)을 검사하고 이 시험 시스템이 정상 동작하는 것을 입증하기 위한 일련의 작업

주1) 검증 방법은 교정 방법과 다를 수도 있다.

주2) 기본 전기자기적합성(EMC) 규격의 목적상 이 정의는 IEC 311-01-13에 명시된 정의와 다르다.

4. 일반 사항

이 시험방법은 상대적으로 낮은 습도를 갖는 환경조건과 시설조건 하에서 인공섬유와 같은 저도전성 카페트의 사용, 비닐옷 등의 사용으로 인해 발생하는 정전기 방전에 영향을 받을 수 있는 기기, 시스템, 부속-시스템과 주변장치들에 관한 것이다. 상세한 정보에 대해서는 부록 A의 A.1을 참조한다.

주) 기술적 관점에서, 이 현상에 대한 정확한 용어는 “정전기 방전(static electricity discharge)”이다. 그러나 “정전기 방전(electrostatic discharge)”이라는 용어가 기술계와 기술문헌에서 널리 사용되고 있으므로, 이 시험방법의 제목을 “정전기 방전(electrostatic discharge : ESD)”이라는 용어로 사용할 것을 결정하였다.

5. 시험레벨

정전기방전 시험을 위한 시험레벨의 권장 범위를 표 1에 보인다.

접촉 방전이 우선되며, 기중 방전은 접촉 방전이 적용될 수 없는 곳에서 사용되어야 한다, 각 시험 방법에 대한 전압은 표 1에 있다. 표시된 전압은 시험 방법이 다르기 때문에 방법마다 다르다. 이것은 시험 방법 간에 시험 가혹도가 동등하다는 것을 의미하는 것은 아니다.

부록 A의 A.2에서는 인체가 대전될 수 있는 전압레벨에 영향을 미치는 다양한 파라미터들을 기술한다. 또한, A.4에는 환경(시설) 등급에 관련된 시험레벨의 적용 예를 포함한다.

기중 방전 시험의 경우, 표 1의 모든 시험 레벨에서 규정된 시험 레벨까지 시험을 적용하여야 한다. 접촉 방전 시험의 경우, 제품 위원회에서 달리 규정하지 않는 한 시험에는 규정된 시험 레벨에서만 시험을 적용하여야 한다.

더 많은 정보는 부록 A의 A.3, A.4, A.5에 주어져 있다.

표.1 시험 레벨

1a - 접촉 방전		1b - 기중 방전	
수준	시험 전압 kV	수준	시험 전압 kV
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
X ^{주1)}	특별	X ^{주1)}	특별

주1)“X”는 미정 레벨. 해당 제품규격에는 이 레벨이 규정되어 있어야 한다. 만약 위의 레벨보다 더 높게 규정되어 있으면, 특수한 시험장비가 필요할 수 있다.

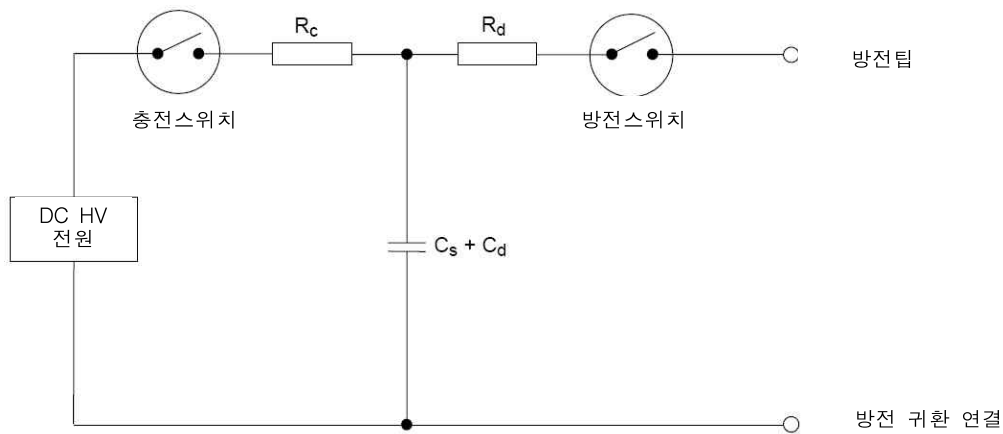
6. 정전기 방전 시험발생기

6.1 일반사항

시험 발생기는 다음의 주요 부분으로 구성된다.

- 충전용 저항 R_c
- 에너지 충전 커패시터 C_s
- 분포소자 커패시터 C_d
- 방전 저항 R_d
- 전압 지시기
- 방전 스위치
- 방전 전극의 상호교환 팁(그림 4 참조)
- 방전 회귀선
- 전력 공급기

그림 1은 정전기방전 발생기의 간단한 회로도이며, 상세한 구조는 주어지지 않았다.



주1) C_d 는 발생기와 주위환경 사이에 존재하는 분포 용량이다.

주2) $C_d + C_s$ 는 150 pF의 대표값을 갖는다.

주3) R_d 는 330 Ω 의 대표값을 갖는다.

그림 1. 정전기 방전 발생기의 간이 배치도

시험 발생기는 부록 B의 절차에 따라 평가할 때 6.2절에 명시한 요구사항을 충족하여야 한다. 따라서 그림 1의 배치나 소자 값은 개별적으로 규정되지 않는다.

6.2 정전기방전 시험발생기의 특성과 성능

시험 발생기는 표 2와 표 3에 기재한 사양을 충족하여야 한다. 그림 2는 표 2와 표 3에서 언급한 이상적인 전류 파형과 측정점을 나타낸 것이다. 이러한 사양과의 적합 여부는 부록 B에서 설명한 방법에 따라 입증하여야 한다.

표 2. 일반 규격

파라미터	값
출력 전압, 접촉 방전 모드 (주1) 참조)	최소 1 kV에서 8 kV, 공칭
출력 전압, 기중 방전 모드 (주1) 참조)	최소 2 kV에서 15 kV, 공칭 (주3) 참조)
출력 전압의 허용차	$\pm 5 \%$
출력 전압의 극성	정극성 및 부극성
유지 시간	≥ 5 초
방전 동작 모드	단일방전(주2) 참조)
주1) 정전기 방전 발생기 방전 전극에서 측정된 개방 회로 전압	
주2) 발생기는 시험목적상 적어도 초당 20회 방전의 반복율로 발생할 수 있어야 한다.	
주3) 사용하고자 하는 최대 시험 전압이 더 낮다면 15 kV 기중 방전 용량을 갖는 발생기를 사용할 필요없다.	

표.3 접촉 방전 전류 파형 파라미터

레벨	지시된 전압 [kV]	첫번째 방전 첨두전류 $\pm 15 \%$ [A]	상승시간 t_r ($\pm 25 \%$) [ns]	30 ns에서 전류($\pm 30 \%$) [A]	60 ns에서 전류($\pm 30 \%$) [A]
1	2	7.5	0.8	4	2
2	4	15	0.8	8	4
3	6	22.5	0.8	12	6
4	8	30	0.8	16	8
30 ns와 60 ns에서 전류 시간을 측정하기 위한 기준점은 방전 전류 1차 첨두의 10 %에 전류가 도달하는 순간이다.					
주) 상승시간 t_r 은 1차 첨두 전류의 10 %와 90 % 사이 시간 간격이다					

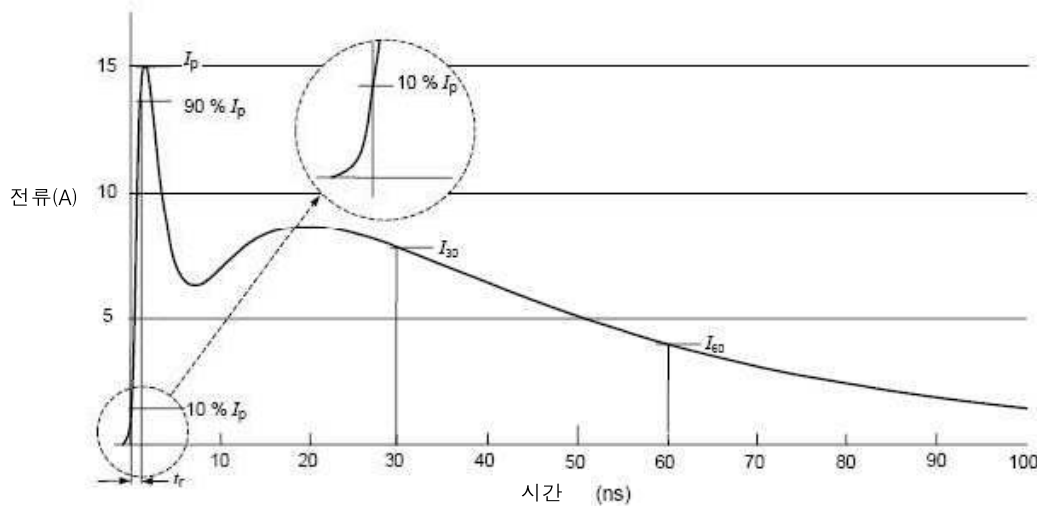


그림 2. 4 kV에서의 이상적인 접촉 방전 전류 파형

그림 2, $I(t)$ 의 이상적인 파형에 대한 식은 다음과 같다.

$$I(t) = \frac{I_1}{k_1} \times \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n} \times \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right) + \frac{I_2}{k_2} \times \frac{\left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n} \times \exp\left(\frac{-t}{\tau_4}\right)$$

여기에서

$$k_1 = \exp\left(-\frac{\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{n\tau_2}{\tau_1}\right)^{1/n}\right)$$

$$k_2 = \exp\left(-\frac{\tau_3}{\tau_4} \left(\frac{n\tau_4}{\tau_3}\right)^{1/n}\right)$$

그리고

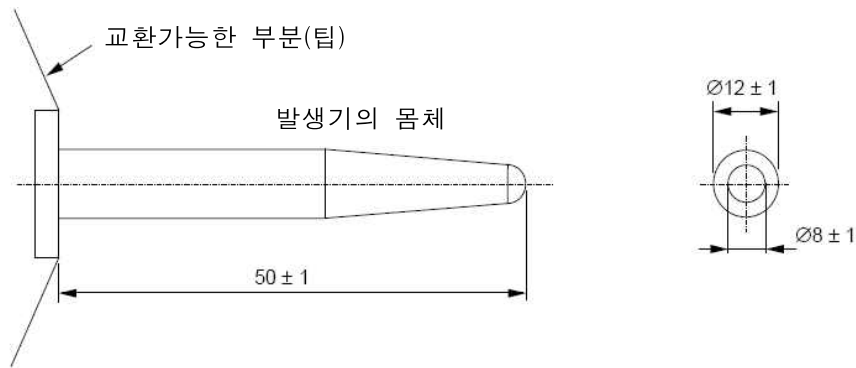
$$\tau_1 = 1.1 \text{ ns}, \quad \tau_2 = 2 \text{ ns}, \quad \tau_3 = 12 \text{ ns}, \quad \tau_4 = 37 \text{ ns}$$

$$I_1 = 16.6 \text{ A (4 kV에서)}, \quad I_2 = 9.3 \text{ A (4 kV에서)},$$

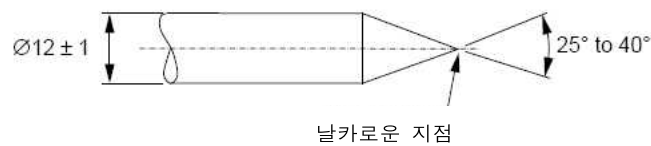
$$n = 1.8$$

정전기방전 발생기는 기생효과(부록 D 참조)에 의해 피시험기기 또는 보조시험기기에 방해를 주지 않도록 하기 위해서, 의도되지 않은 펄스성 또는 연속성 방출(방사성 또는 전도성)을 막을 수 있는 방법을 갖추어야 한다.

방전 전극은 그림 3에 나타난 형상과 치수에 부합하여야 한다. 이 전극은 방전 전류 파형 사양을 충족한다면 절연 피복을 입힐 수도 있다.



3a) 기준 방전용 방전 전극



3b) 접촉 방전용 방전 전극

그림 3. 정전기 방전 발생기의 방전 전극

기준 방전 시험법에 대해서도 동일한 발생기를 사용하며, 방전 스위치는 단혀 있어야 한다. 그림 3a)에 나타낸 둥근 팁을 부착하여야 한다. 동일한 정전기 방전 발생기를 사용하기 때문에 기준방전법에 대한 더 이상의 사양은 존재하지 않는다.

시험 발생기의 방전 회귀용 선로는 일반적으로 (2 ± 0.05) m 길이어야 하며, 발생기는 파형의 규격을 만족하도록 구성하여야 한다. 방전 귀환 케이블의 길이는 정전기 방전 발생기 몸체에서부터 연결점의 끝까지 측정한다. 정전기방전 시험 도중에 포트를 통하여 인체 또는 도체면에 방전전류가 흐르는 것을 막기 위해 충분히 절연시켜야 한다.

시험에 사용된 방전 귀환 케이블은 교정 중에 사용된 케이블과 동일하여야 한다.

2 m 길이의 방전 회귀용 선로가 불충분한 경우(예를 들어, 대형 피시험기기들에), 3 m 이하의 길이를 사용하여야 하며, 그러나 이때 파형 규격이 부합됨을 확인하여야 한다.

6.3 정전기 방전 배치의 검증

검증의 목적은 정전기 방전 시험 배치가 구동하는지를 확인하기 위함이다. 정전기 방전 시험 배치에는 다음이 포함된다.

- 정전기 방전 발생기
- 방전 귀환 케이블

- 470 kΩ 블리더 저항기
- 기준접지면
- 방전 경로를 구성하는 모든 연결부

탁상형 기기에 대한 정전기 방전시험 배치는 그림 4에, 바닥거치형 기기에 대해서는 그림 5에 제시되었다.

정전기 방전 시험 배치가 올바른지를 검증하기 위해서 저전압 설정값에서 기중 방전 중에 작은 스파크가 결합면에 생기고 더 큰 스파크는 더 높은 설정값에서 생기느지를 관찰하는 것은 한 가지 검증 방법이 될 수 있다. 검증에 앞서 접지 스트립 연결과 위치를 검증하는 것은 필수적이다.

이론적 근거 : 정전기 방전 발생기의 파형은 대체로 민감한 방식으로는 변하지 않으므로(가령 파형의 상승시간과 지속시간이 변하지 않음), 대부분의 정전기 방전 발생기 고장은 방전 전극으로 어떤 전압도 전달되지 않았거나 어떤 전압 제어도 존재하지 않는다는 것이 될 것이다. 방전 경로를 따라 있는 케이블, 저항기, 연결부 중 어떤 것이 손상되거나, 느슨해지거나, 손실되어 방전이 되지 않을 수 있다.

정전기 방전 시험 배치는 시험 전에 검증하는 것이 바람직하다.

7. 시험배치

7.1 시험 장비

시험배치는, 다음 방법에 따라 피시험기기에 직접, 간접 방전을 인가시키기 위해 필요한 시험 발생기, 피시험기기와 보조 기구로 구성된다.

- 가) 도체면과 결합면에 대한 접촉 방전
- 나) 절연면에서의 기중 방전

시험은 두 가지 다른 형식으로 구분된다.

- 시험인증기관에서 수행되는 형식시험
- 기기가 최종 설치된 조건에서 수행되는 설치 후 시험

권장하는 측정방법은 시험인증기관에서 수행되는 형식시험이다.

피시험기기는 만약 설치에 대한 제조자의 지시가 있다면 그것에 맞추어 배치하여야 한다.

7.2 시험인증기관에서 수행된 시험을 위한 시험배치

7.2.1 시험 요구사항

다음 요구사항은 8.1에 기술된 환경기준 조건하에서 시험인증기관에서 시험을 수행할 때 적용된다.

기준접지면은 시험인증기관 바닥에 설치되어야 한다. 최소한 두께가 0.25 mm인 금속판(구리 또는 알루미늄)이어야 한다; 다른 금속물질이 사용될 수 있으나 그것은 최소한 0.65 mm 두께이어야 한다.

기준접지면(GRP)는 피시험기기 또는 수평 결합면(해당하는 경우)보다 모든 면에서 적어도 0.5 m 커야하며, 보호 접지 계통에 연결되어야 한다.

지역별 안전규격 규정을 항상 만족해야 한다.

피시험기기는 그 기능 요구사항에 따라서 정렬되고 연결되어 있어야 한다.

시험인증기관 벽과 그 밖의 금속구조물로부터 피시험기기는 최소 10.8 m 거리를 유지해야 한다.

피시험기기는 그 설치규격에 따라서 접지에 연결되어 있어야 하며, 부가적인 접지 연결은 허용되지 않는다.

전원 케이블과 신호 케이블의 위치지정은 실제 설치의 대표적인 위치이어야 한다.

정전기방전 발생기의 방전 회귀용 선로를 기준접지면에 연결하여야 한다. 이 선로의 전체 길이는 일반적으로 2 m이다.

정전기 방전 발생기의 방전 귀환 케이블은 기준접지면에 연결되어야 한다. 선택된 지점에 방전을 적용시키기 위해 필요로 하는 길이를 초과하는 경우의 케이블 길이에 대해서는 가능한 한 초과된 길이는 접지면으로부터 유도성이 없는 곳에 놓여져야 한다. 방전 귀환 케이블은 기준접지면을 제외하고 시험 배치의 다른 도전부에서 0.2 m 이내에 있지 않아야 한다.

주1) 방전 귀환 케이블을 시험소의 금속성 벽에 연결하는 것은 허용된다. 다만 이 벽은 기준접지면에 전기적으로 접합되어 있어야 한다.

접지 케이블을 접지기준면에 연결하는 부분과 모든 본딩 부위는 고주파 응용 클램핑 장치와 같은 것을 사용하여 낮은 임피던스로 만들어 주어야 한다.

간접방전을 인가시키도록 허용된 예에서와 같이 방전 결합면이 규정되어 있는 경우에, 이들은 두께가 최소 0.25 mm 인 금속성 판재(구리 또는 알루미늄)로 구성되어야 하며 (다른 금속 재료를 사용할 경우에는 두께가 최소 0.65 mm 이어야 한다), 470 kΩ 저항이 각 끝단에 위치한 케이블을 통해 기준접지면에 접속되어야 한다. 이들 저항은 방전전압을 견딜수

있어야 하며, 케이블이 기준접지면 위에 놓일 단락되는 것을 방지하기 위해 절연되어 있어야 한다.

주2) 수평결합면(HCP)과 수직결합면(VCP)의 접지 케이블에 포함되어 있는 470 kΩ 블리더 저항기(그림 4에서 그림 8 참조)는 정전기 방전 발생기로부터 이러한 결합면에 인가된 전하가 즉시 사라지지 않도록 막아준다. 이것은 피시험기기에 대한 정전기 방전 사건의 영향을 증가시킨다. 저항기는 시험 중에 피시험기기면에 가해진 최대 방전 전압을 견딜 수 있는 것이 좋다. 또 분포 저항을 생성하기 위해 접지 케이블의 각 끝과 가깝게 놓는 것이 좋다.

서로 다른 유형의 기기에 대한 부가적 규정은 다음에 주어져 있다.

7.2.2 탁상설치형기기

기준접지면에서 (0.8 ± 0.08) m 높이에 있는 목재 테이블 위에 시험배치를 하여야 한다. (1.6 ± 0.02) m \times (0.8 ± 0.02) m 크기의 수평결합면(HCP)을 테이블 위에 놓아야 한다. 피시험기기와 케이블들은 (0.5 ± 0.05) mm 두께의 절연 지지물로 결합면과 격리되어 있어야 한다.

주) 절연 특성을 유지하는 것이 바람직하다.

만약 피시험기기가 너무 커서 수평결합면의 모든 측면으로부터 최소 0.1 m 의 여유를 남길 수 없다면, 추가적으로 동일한 수평결합면을 사용하여야 하며, 시작점부터 (0.3 ± 0.02) m 인 곳에 짧은 면이 접하게 설치하여야 한다. 테이블을 키워야 하거나 또는 두 개의 테이블을 사용하여야 한다. 이때 수평결합면들은 서로 접합시켜서는 안 되며, 기준접지면까지 저항성 케이블을 통해 연결해야 한다.

피시험기기와 관련된 어떤 설치 지지물이 있으면, 제 위치에 설치하여야 한다.

탁상설치형기기에 대한 시험배치의 예를 그림 4에 보인다.

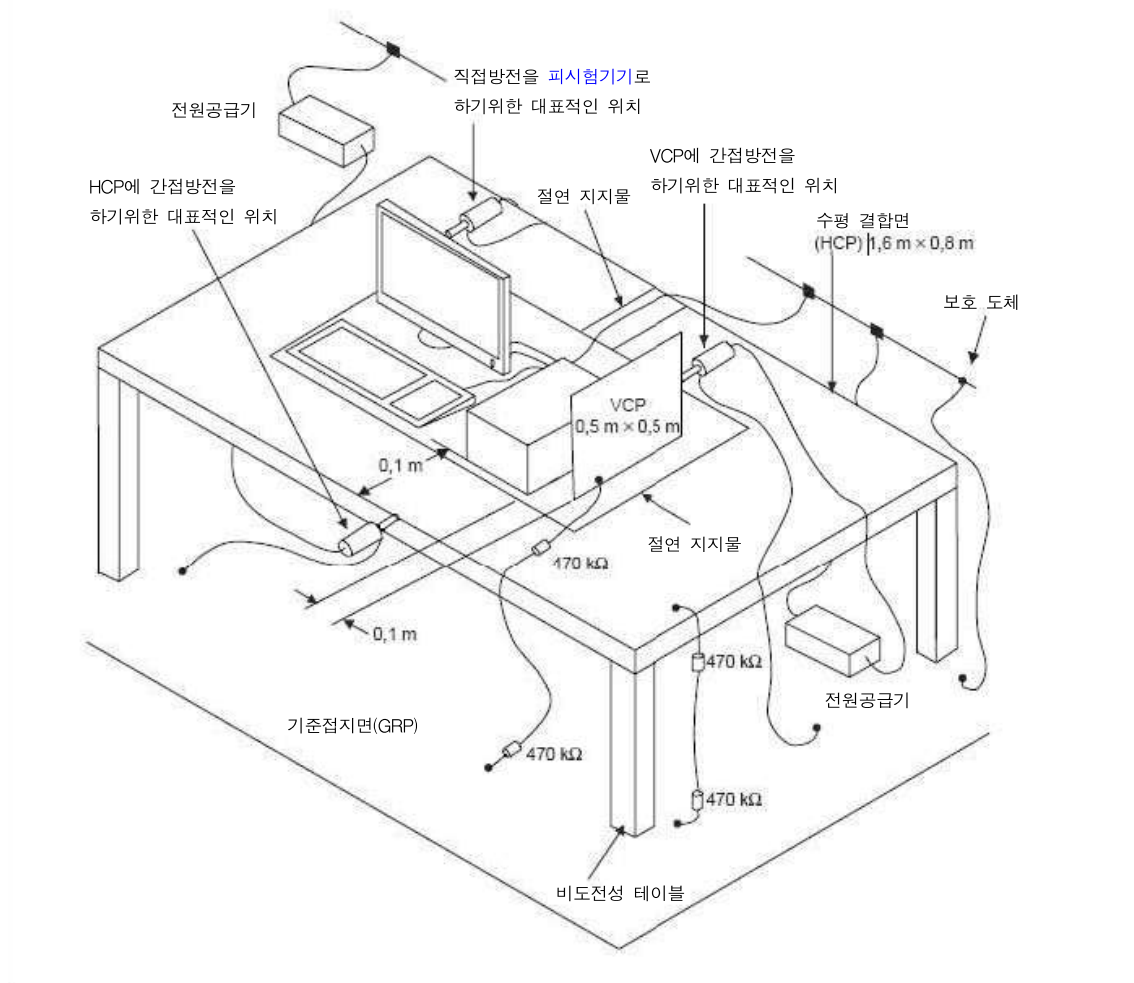


그림 4. 탁상형 기기 시험소 시험을 위한 시험 배치의 예

7.2.3 바닥설치형기기

피시험기기는 0.05 m에서 0.15 m두께의 절연 지지물에 의해 기준접지면에서 절연되어야 한다. 피시험기기 케이블은 (0.5 ± 0.05) mm의 절연 지지물에 의해 기준접지면에서 절연되어야 한다. 이러한 케이블 절연은 피시험기기 절연 모서리 밖으로 연장되어야 한다.

바닥설치형기기에 대한 시험배치의 예가 그림 5에 보인다.

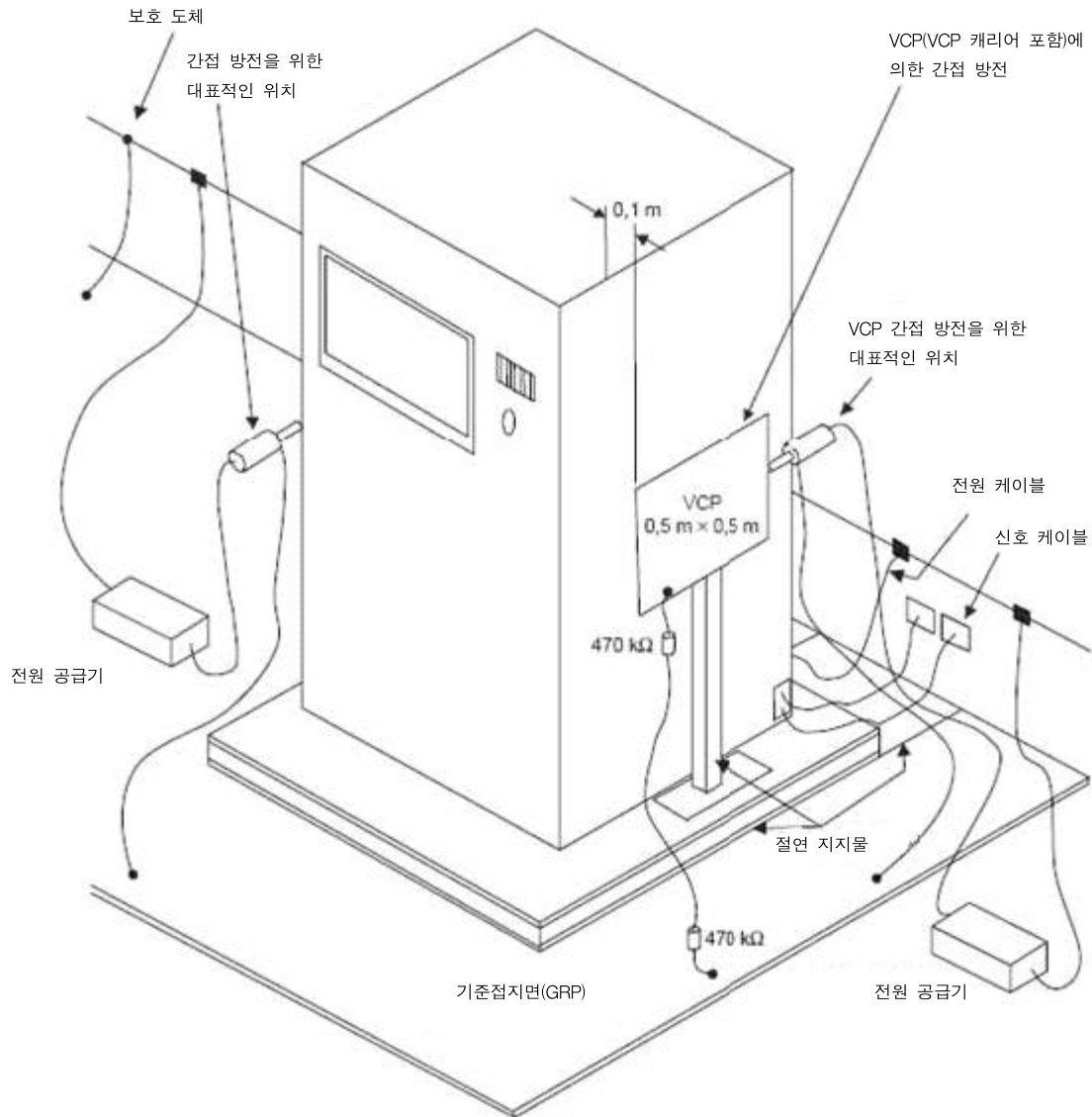


그림 5. 바닥설치형 기기의 시험소 시험을 위한 시험 배치의 예

피시험기기와 관련된 어떤 설치 지지물이 있으면, 제 위치에 설치하여야 한다.

7.2.4 접지되지 않은 기기에 대한 시험방법

7.2.4.1 일반사항

본 절에서 설명된 시험방법은 어떤 접지연결도 하지 않게 설치하거나 설계한 기기 또는 이 기기의 부분품에 적용할 수 있다. 이러한 기기에는 휴대용 기기, 충전기 유무에 관계없는 배터리 내/외장형 구동 기기, 이중 절연기기(보호등급 II 기기)가 있다.

원리적 배경 : 접지되지 않은 기기 또는 이 기기의 부분품은 보호등급 I 기기의 주전원공급 기기와 유사하게 스스로 정전기 방전을 일으킬 수 없다. 만약 다음 정전기방전 펄스가 인가

되기 전에 이전의 충전 전하를 제거하지 않는다면, 피시험기기 또는 피시험기기의 부분품에는 의도된 시험전압의 2배 이상의 스트레스가 인가될 수 있다. 그러므로 이중 절연된 기기는 등급 II 기기의 절연 용량에 여러 번의 정전기방전 에너지가 축적되어 비현실적으로 높은 전하로 충전될 수 있으며, 이에 따라 매우 높은 에너지에 의해 절연파괴 전압으로 방전된다.

일반적인 시험배치는 7.1.1과 7.1.2 각각에서 설명된 것과 동일해야 한다.

단일 정전기방전(기중방전 또는 접촉방전 중 하나를)을 모사하기 위해, 매번의 정전기 방전 펄스 인가 전에 피시험기기에 충전된 전하를 제거하여야 한다.

정전기방전 펄스를 인가하여야 하는 금속지점이나 금속부분(예를 들면, 커넥터 외피, 배터리 충전 핀, 금속성 안테나)에 있는 전하를 매번의 정전기방전 펄스 인가 전에 제거하여야 한다.

하나 또는 여러 개의 금속성 접근부에 정전기 방전시험을 하여야 하는 경우에, 정전기방전 펄스를 인가하여야 하는 지점의 전하를 제거하여야 하며, 이때 이 지점과 제품의 다른 접근점 사이의 저항에 대해서는 어떤 보증도 제공할 수 없다.

수평과 수직 결합면에 사용한 것과 유사한, 470 kΩ 블리더 저항이 달린 케이블을 사용하여 한다(7.2 참조.)

피시험기기와 수평결합면 (탁상설치형 기기) 사이의 용량성과, 피시험기기와 기준접지면(바닥설치형 기기) 사이의 용량은 피시험기기의 크기에 의해 결정되고, 블리더 저항이 달린 케이블은 기능적으로 허용된다면 정전기방전 시험 중에도 그대로 설치되어 있을 수 있다. 방전 케이블에 있는 저항은, 피시험기기의 시험지점으로부터 20 mm 이내로 가능한 근접하게 연결되어 있어야 한다. 두 번째 저항은 탁상설치형 기기(그림 6 참조)의 수평결합면 또는 바닥설치형 기기(그림 7 참조)의 기준접지면에 연결된 케이블의 끝단 가까이에 연결되어 있어야 한다.

블리더 저항이 달린 케이블로 인해, 어떤 기기에서는 시험결과에 영향을 줄 수 있다. 논쟁이 있는 경우에는, 연속되는 방전사이에서 충분히 전하가 감쇠되었다는 것을 알리기 위해, 케이블이 설치된 시험보다 연결이 안 된 상태에서 정전기 펄스를 가하는 시험이 우선적으로 수행된다.

대체 방법으로, 다음의 선택사항을 사용할 수 있다.

- 연속적인 방전사이의 시간 간격은, 피시험기기로부터 전하가 자연적으로 감쇠되도록 충분히 시간을 연장해야 한다.
- 접지 케이블에는 블리더 저항(예를 들면, $2 \times 470\text{k}\Omega$)이 달린 탄소섬유 브러쉬(Brush)를

사용한다.

주) 전하 감쇠에 관련하여 논쟁이 있는 경우에는, 비접촉식 전기장 측정기로 피시험기기의 전하를 관측할 수 있다. 전하가 초기값의 10% 이하로 감쇠되었을 때, 이 피시험기기는 방전된 것으로 간주한다.

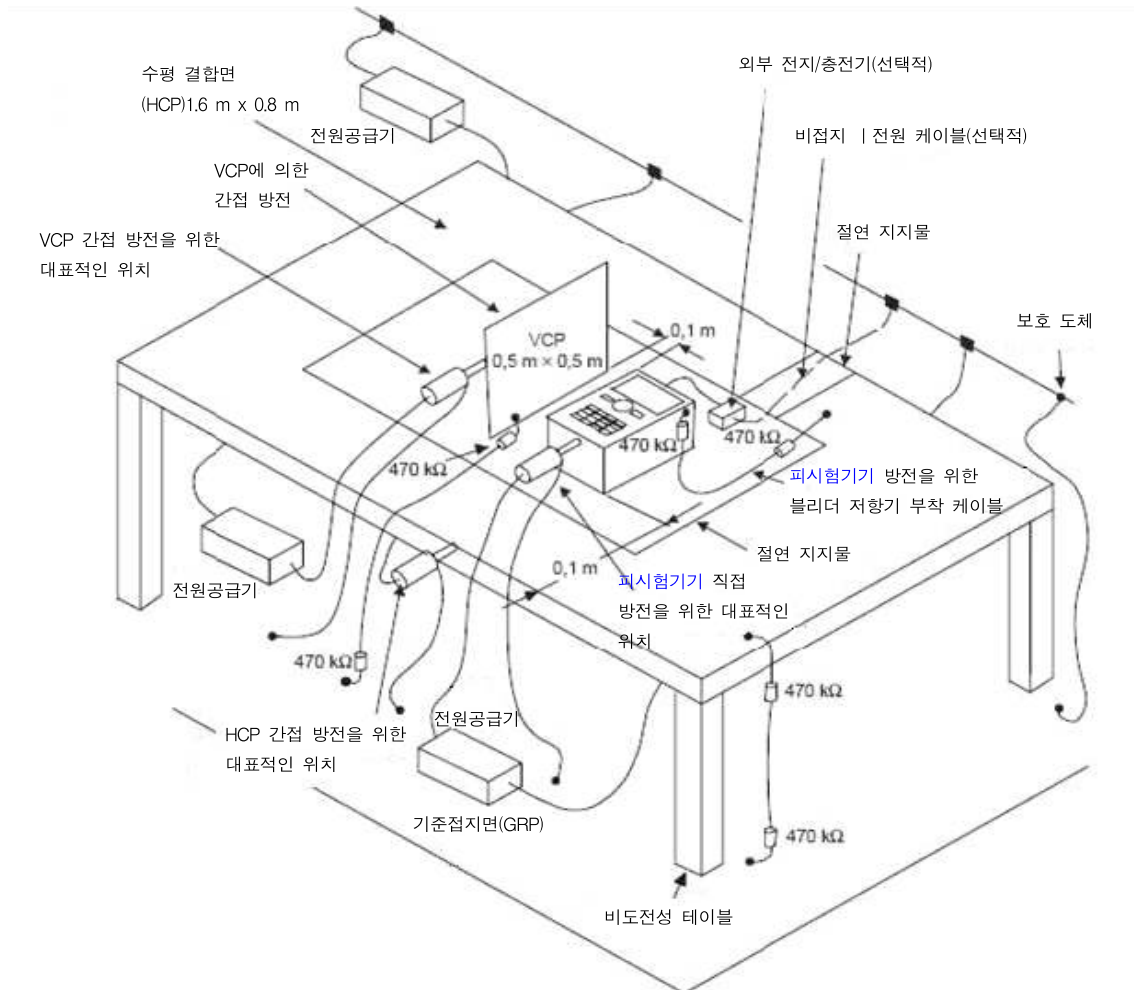


그림 6. 비접지 탁상형 기기에 대한 시험 배치의 예

7.3 현장설치 후 시험에 대한 시험배치

현장에서 행해지는 이러한 현장 설치 시험은, 제조자와 소비자 사이에 동의하에 적용될 수 있다. 공동으로 배치된 다른 기기가 예상치 않은 영향을 받는 것을 고려해야 한다.

주) 또한, 피시험기기 자체는 현장 ESD 시험으로부터 상당한 노화를 경험할 수도 있다. 대부분의 현대식 전자회로의 평균 고장 시간은 이 회로들이 정전기 방전을 1회 견디어야 한다면 현저하게 감소된다. 오동작은 ESD 시험 중에 즉시 발생하지 않지만 장치는 ESD 시험을 견디지 못한 장치보다 훨씬 더 빠르게 고장이 나곤 한다. 이를 감안하여 현장 ESD 시험을 실시하지 않기로 결정하 것이 현명할 수도 있다.

설치 후 ESD 시험을 수행하기로 결정하였다면 기기나 시스템의 마지막 설치 조건 상태에서 시험하여야 한다.

방전 회귀용 케이블의 용이한 연결을 위해, 기준접지면은 설치할 바닥에 있어야 한다. 즉 피시험기기와 대략 0.1 m 거리에 가까이 놓여야 한다. 이 면은 최소 두께가 0.25 mm 이상인 구리나 알루미늄이어야 한다. 두께가 최소 0.65 mm 정도라면, 다른 금속을 사용하여도 된다. 설치가 허용되는 면은 대략 폭이 0.3 m, 길이가 2 m 정도이어야 한다.

이 기준접지면은 보호 접지시스템에 연결되어 있어야 한다. 이것이 불가능한 장소에서는 가능하면 피시험기기의 접지포트에 연결되어 있어야 한다.

정전기방전 발생기의 방전 회귀용 케이블은 피시험기기와 가까운 지점에 있는 기준접지면에 연결되어 있어야 한다. 피시험기기가 금속 테이블위에 설치된 경우에, 이 테이블에 전하가 대전되는 것을 막기 위해 각각의 끝단에 470 kΩ 저항이 달린 케이블을 통해 접지면과 연결시켜야 한다.

설치 후 시험을 위한 배치 예를 그림 78에 보인다.

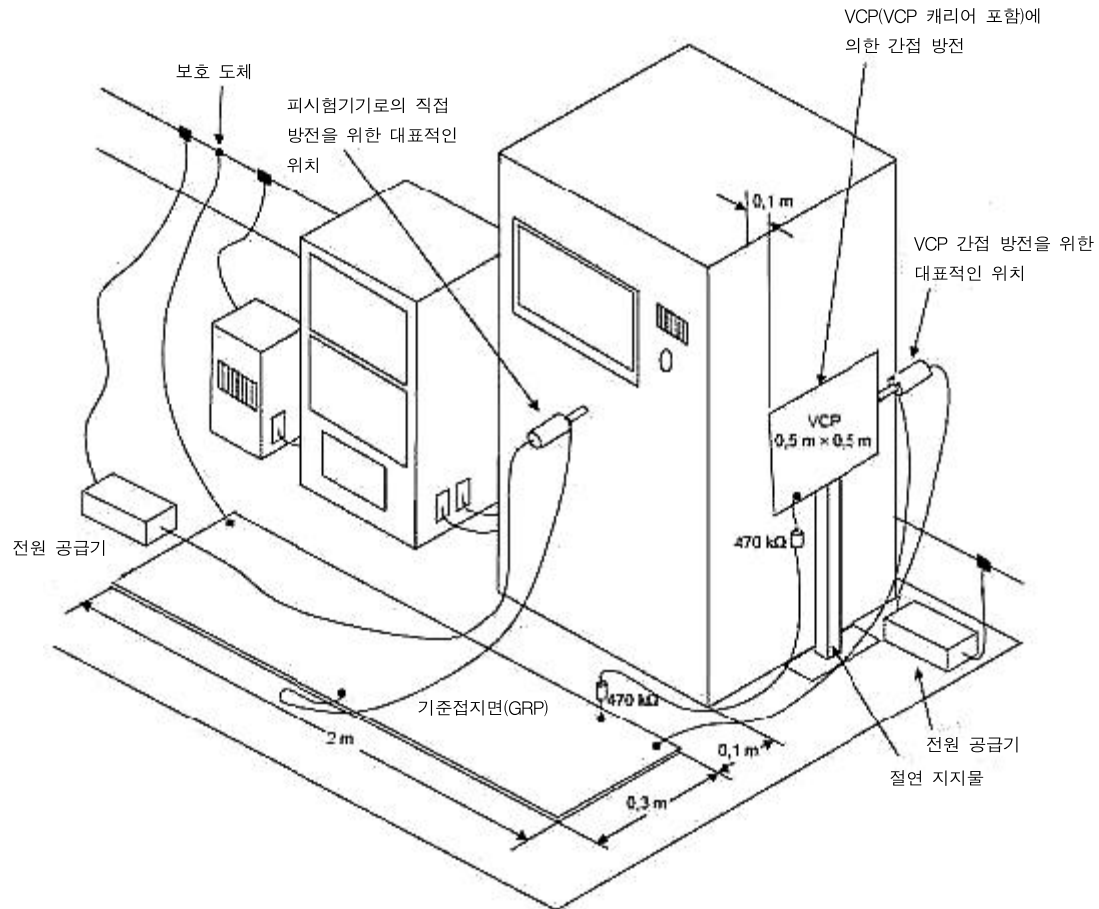


그림 8. 바닥설치형 기기의 설치 후 시험을 위한 시험 구성도의 예

8. 시험 절차

8.1 시험인증기관 기준조건

8.1.1 환경 파라미터

시험결과에서 환경 요인의 영향을 최소화하기 위해, 본 시험은 8.1.2과 8.1.3에 정해진 기후적, 전자기적 기준조건에서 수행되어야 한다.

8.1.2 기후적 조건

피시험기기는 의도된 기후 조건에서 동작하여야 한다.

기중 방전시험의 경우에, 기후 조건은 다음의 범위 내에 있어야 한다.

- 주위 온도 : 15 °C 에서 35 °C 사이
- 상대 습도 : 30% 에서 60% 사이
- 대기 압력 : 86 kPa (860 mbar) 에서 106 kPa (1060 mbar) 사이

주) 특정한 기후 환경에서만 사용하는 장비에는 다른 값을 적용할 수도 있다.

8.1.3 전자기적 환경조건

시험소의 전자파 조건은 시험 결과에 영향을 미치지 않도록 피시험기기의 정확한 동작을 보증하는 것이어야 한다.

8.2 피시험기기의 동작

시험 프로그램과 소프트웨어는 피시험기기가 동작하는 모든 정상 모드에서 동작하도록 선택되어야 한다. 특별한 동작 소프트웨어의 사용도 가능하나, 피시험기기가 충분히 동작됨을 보일 때만 허용된다.

적합성 시험을 위해 피시험기기는 예비시험에 의해 결정되어야만 하는 가장 민감한 모드(프로그램 주기)에서 계속해서 동작하여야 한다.

만약 감시장치가 필요하다면, 잘못된 결과 판정 가능성을 줄이기 위해 감결합되어야 한다.

8.3 시험의 수행

8.3.1 피시험기기에 대한 방전

시험은 계획에 따라 피시험기기에 방전을 직접, 간접적으로 인가함으로써 수행된다. 시험은 다음을 포함해야 한다:

- 피시험기기의 대표적인 동작 조건;
- 피시험기기가 탁자위에서 시험되어야하는가 또는 바닥에서 시험되어야하는가;
- 방전이 인가되는 지점;
- 각 지점에서 접촉방전이 적용될지 또는 **기중** 방전이 적용될 지에 대한 내용;
- 적용될 시험레벨;
- 적합성 시험을 위해 각 지점에서 인가될 방전 회수;
- 설치 후 시험이 또한 적용되어야만 할지에 대한 내용.

여러 관점에서 시험 계획을 세우기 위해, 몇 가지 조사시험을 수행하는 것이 필요할 수 있다.

주1) 측정 불확도를 제공할 필요가 있는 경우에는 불확도 산출에 관한 부록 E를 참조한다.

주2) 시험 결과가 변한 경우에 부록 F에서는 차이 발생원을 결정하기 위한 ESD 단계적 조정 전략을 제안하고 있다.

8.3.2 피시험기기로의 직접방전

일반, 관련제품 또는 제품군 규격에 명확히 규정되어 있지 않았다면, 통상 사용하는 동안 사람의 접촉이 가능한 피시험기기 표면과 이들 지점에 정전기방전을 인가하여야 한다. 다음의 경우는 제외하여 인가한다. (즉, 이들 항목에는 정전기방전을 인가하지 않는다.)

- 가) 유지관리를 위해서만 접근 가능한 지점과 표면의 경우에, 특별히 정전기방전을 완화한 절차를 문서에 포함시켜야 한다.
- 나) 사용자가 서비스를 위해서만 접근 가능한 지점과 표면에 적용한다. 드물게 접근 가능한 지점의 예는 다음과 같다. 예를 들면, 배터리 교체를 위한 배터리 접촉부, 자동응답 전화기 등.
- 다) 사용자를 위한 사용 교육 후 또는 고정 설치 후에 더 이상 접촉할 수 없는 제품의 표면과 지점에 적용한다. 예를 들면, 제품의 벽면 또는 바닥, 끼워진 커넥터의 뒷면.
- 라) 금속 커넥터 외피가 있는 다중핀 커넥터와 동축 커넥터의 접촉부. 이 경우에 접촉방전은 커넥터의 금속 외관에만 인가되어야 한다.

비도전성(예를 들면, 플라스틱) 커넥터 내의 접촉부로서 접근 가능한 것은, **기중** 방전으로만 시험하여야 한다. 이 시험은 정전기 시험발생기의 둥근 팁 핑거를 사용하여 수행하여야 한다.

일반적으로 6가지 경우가 고려된다.

표 4. 커넥터에 ESD를 적용하는 경우

경우	커넥터 외관	커버 물질	기중 방전	접촉방전
1	금속성	없음	-	외관
2	금속성	절연	커버	접근 가능한 외관
3	금속성	금속성	-	외관과 커버
4	절연	없음	가)	-
5	절연	절연	커버	-
6	절연	금속성	-	커버
주) 커넥터 핀에 정전기 차폐가 제공된 커버의 경우에, 정전기방전 경고 라벨이 제품의 커버 위 또는 커넥터 가까운 곳에 부착되어야 한다.				
가) 제품(군) 규격에서 절연된 커넥터의 개별 핀에 시험이 요구된다면 기중 방전을 인가하여야 한다.				

- 마) 기능적인 이유 때문에 커넥터 접촉부 또는 다른 접촉 가능한 부분에는 정전기방전 경고 라벨을 제공하여야 한다. 예를 들면, 측정, 수신 또는 기타 통신 기능을 갖는 무선 주파수 입력단.

원리적 배경 : 많은 커넥터 포트는 아날로그 또는 디지털 등의 고주파 정보를 처리하도록 설계되어 있으며, 따라서 충분한 과전압 보호장치가 설계되어 있지 않다. 아날로그 신호의 경우에는 대역통과 필터로 해결할 수 있다. 과전압 보호 다이오드는, 피시험기기의 동작 주파수에서 사용하기에는 너무 높은 부유용량을 가지고 있다.

앞의 모든 경우에서, 특별한 정전기방전 저감 절차가 권장되며, 문건에 첨부하여 제공하여야 한다.

최종 시험레벨은 장비에 해가 되는 것을 막기 위해 제품규격을 넘어선 안 된다.

시험은 단일방전들로 수행되어야 한다. 미리 선택된 지점에 대해 적어도 10 회의 단일방전 (가장 민감한 극성으로)을 인가하여야 한다.

주1) 적용해야 할 최소 방전 횟수는 피시험기기에 따라 다르다. 동기 회로가 내장된 제품의 경우 방전 횟수는 더 많을수록 좋다.

연속적인 단일방전 사이의 시간 간격에 대해서 초기값은 1 초를 권장한다. 시스템 오류가 일어나는지를 결정하기 위해서는 더 긴 시간 간격이 필요할 수도 있다.

주2) 방전을 인가하여야 하는 지점은 초 당 20회 이상의 방전 반복률로 조사하여 선택할 수 있다.

정전기방전 발생기는 방전이 인가되어지는 표면에 수직되게 놓아야 한다. 이것이 시험결과가 재현성을 개선한다. 정전기 방전 발생기를 표면과 수직하게 놓을 수 없다면 방전을 수행하는데 사용된 시험 조건을 시험 보고서에 기재하여야 한다.

정전기방전 시험발생기의 방전 회귀용 케이블은 방전이 되는 동안 피시험기로부터 적어도 0.2 m 정도 떨어져 있어야 하며, 조작자가 잡지 않는 것이 바람직하다.

접촉방전의 경우에는, 방전 전극의 팁이 방전 스위치가 작동되기 전에 피시험기와 닿아야 한다.

전도 물질을 덮고 있는 페인트칠이 된 표면의 경우에는 다음 과정을 적용하여야 한다.

코팅이 장비 제조업자에 의해 절연 코팅이라고 명시되어있지 않다면, 그 때는 발생기의 뽀족한 팁은 전도 물질과 닿도록 코팅을 통과해야 한다. 제조업자에 의해 절연으로 명시된 코팅은 **기중** 방전 시험하여야만 한다. 접촉방전 시험은 그러한 표면에 적용되어선 안 된다.

기중 방전의 경우에 방전 전극의 원형 방전 팁은 기계적인 손상이 없이 피시험기와 맞닿기 위해 가능한 한 빨리 근접해야 한다. 각각의 방전 후에 정전기방전 발생기(방전 전극)는 피시험기로부터 제거되어야 한다. 그리고 나서 발생기는 새로운 단일방전을 위해 재충전

되어야 한다. 이런 과정이 방전이 끝날 때까지 계속되어야 한다. **기중** 방전시험의 경우에 접촉방전에 대해 사용되어지는 방전 스위치는 꺼야 한다.

8.3.3 간접방전 적용 피시험기기

8.3.3.1 피시험기기 근처 물체에 대한 방전

피시험기기 근처에 위치하거나 설치된 물체에의 방전은, 접촉방전 모드에서 정전기방전 발생기의 방전을 결합면에 인가하여 모사되어야 한다.

8.3.2에서 기술된 시험절차와 더불어 8.3.3.2과 8.3.3.3에 주어진 요구사항을 만족하여야 한다.

8.3.3.2 피시험기기 아래의 수평결합면 (HCP)

수평결합면에 방전을 인가시킬 때는 수평결합면의 모서리에 수평으로 인가하여야 한다.

최소 10회 단일방전(가장 민감한 극성에서)은 피시험기기의 전면으로부터 0.1 m 이며, 피시험기기의 각 장치 중심점의 반대에 있는 각 수평결합면의 전면 모서리에 인가하여야 한다. 방전하는 중에, 방전 전극의 긴 축은 수평결합면에 있어야 하며 또한 이 수평결합면 전면 모서리에 수직으로 있어야 한다.

방전 전극은 수평결합면의 모서리에 접촉되어 있어야 한다(그림 54 참조).

추가적으로, 이 시험에서 피시험기기의 모든 측면을 노출시키는 것을 요구할 수도 있다.

8.3.3.3 수직결합면 (VCP)

최소 10회의 단일방전(가장 민감한 극성에서)을 결합면 중에서 한 수직 모서리의 중앙에 인가하여야 한다(그림 5와 그림 6 참조). 넓이가 0.5 m × 0.5 m 인 결합면은 피시험기기와 평행되게 놓고 피시험기기로부터 0.1 m 떨어진 거리에 위치해야 한다.

피시험기기의 4면이 완전히 노출되도록 충분히 다른 위치에서 결합면에 방전을 인가하여야 한다. VCP의 1개 위치는 피시험기기 표면의 0.5 m x 0.5 m 면적을 방사하는 것으로 간주한다.

9. 시험결과의 평가

시험결과는 제조자나 시험 요청자에 의해 정의된 성능레벨 관점에서, 또는 제조자와 제품 구매자 사이에 합의된 관점에서 기능의 손실이나 성능저하 상태에 따라 분류하여야 한다. 권장되는 분류 방법은 다음과 같다.

- 가) 제조자, 요청자 또는 구매자에 의해 규정된 허용기준 내의 정상 성능.
- 나) 방해(방전의 인가)가 중단된 후, 운용자의 개입 없이도 일시적 기능 손실이나 성능저하가 멈추며, 피시험기기의 정상성능이 회복되는 경우.
- 다) 운용자가 개입하여 일시적 기능 손실이나 성능저하가 바로잡히는 경우.
- 라) 기능 손실이나 성능저하가 회복될 수 없고, 이로 인해 하드웨어 또는 소프트웨어가 손상되고 데이터의 손실이 일어나는 경우.

제조자의 규격에는 무시할 수 있다고 생각되는 피시험기기에의 영향을 정의할 수 있으며, 이러한 경우는 합격으로 간주한다.

이 분류 방법은, 일반규격, 제품규격 및 제품군 규격에 책임이 있는 위원회에 의해 성능기준을 형식화하는 지침으로서, 또는 제조자와 구매자 사이의 성능기준을 합의하기 위한 기본틀로서 사용할 수 있다. 예를 들면, 일반규격, 제품규격 및 제품군 규격이 존재하지 않는 경우에 사용할 수 있다.

10. 시험 보고서

시험 보고서에는 시험을 재현하기에 필요한 모든 정보가 포함되어 있어야 한다. 특히 다음 사항이 기록되어 있어야 한다:

- 이 시험방법의 8에서 요구되는 시험계획에서 규정된 항목들
- 피시험기와 관련 기기의 확인, 예를 들면, 상표명, 제품형식, 생산일련번호
- 시험장비의 확인, 예를 들면, 상표명, 제품형식, 생산일련번호
- 시험이 수행된 특별한 환경조건, 예를 들면, 차폐함체
- 시험을 수행하기 위한 어떤 특별한 조건
- 제조자, 요청자 또는 구매자에 의해 정의된 성능레벨
- 일반규격, 제품규격 및 제품군 규격에 규정된 성능기준
- 시험 방해(방전)신호를 인가하는 동안 또는 인가 후에 관측되는 피시험기기에의 영향 정도와 이 영향이 유지되는 기간
- 적합/부적합 판정에 대한 합리적인 근거 (일반규격, 제품규격 및 제품군 규격에서 규정된 성능기준에 근거하여 또는 제조자와 구매자 사이의 합의에 근거하여)
- 적합성을 얻기 위해 필요한 특정 사용조건, 예를 들면, 케이블 길이 또는 유형, 차폐 또는 접지, 피시험기기의 동작 조건
- 기후 조건
- 시험 구성도와 피시험기기 배치 도면이나 그림

부록 A (정보)

해석 요약

A.1 전반적인 고찰

정전기방전으로부터 장비를 보호하는 문제는 제조업자와 사용자에게 매우 중요하다.

마이크로전자 부품이 광범위하게 사용됨에 따라, 제품과 시스템의 신뢰성을 높이기 위한 문제점의 실태를 정의하고 그 해결 방안을 찾을 필요성이 대두되어 왔다.

다양한 산업공장에서의 장비와 시스템의 광범위한 적용과 통제가 되지 않는 환경이 정전기 축적과 그로 인한 방전 문제에 점점 관계되고 있다.

인체로부터 근처의 물체로 방전이 일어날 때는 언제나 전자기 에너지에 의해 장비가 영향을 받을 수도 있다. 또한 장비 근처에 있는 의자와 탁자와 같은 금속 물체 사이에서도 방전이 일어날 수 있다. 이 시험방법에서 설명된 시험은 후자의 금속 물체 사이에서 방전 현상에 대한 영향만을 적절히 모사할 수 있으리라 생각한다.

장비 운용자로부터의 발생하는 방전 영향은 단순히 장비의 오작동이나 전자 부품의 손상을 초래할 수 있다. 주요 영향은 방전전류에 관련된 파라미터(상승시간, 지속시간 등)로부터 나타날 수 있다.

장비에서 발생하는 정전기방전에 기인한 원하지 않은 영향을 방지할 방안의 필요성과 그러한 문제의 인식이, 본 표준규격에서 서술된 표준 시험절차의 개발을 촉진하였다.

A.2 전하 레벨에서 환경조건의 영향

정전 전하는 합성섬유와 건조한 대기가 함께 존재할 때 특히 많이 발생한다. 전하의 대전 과정에는 다양한 변수들이 존재한다. 일반적인 상황은 사람이 양탄자 위를 걷을 때, 각 발걸음마다 몸으로부터 직물로 전자를 잃거나 얻게 된다. 사람의 옷과 의자 사이의 마찰이 또한 전하의 교환을 일으킨다. 인체는 직접 접촉에 의해 또는 정전기 유도에 의해 대전될 수 있다. 후자의 경우에, 인체가 적절하게 접지되어 있지 않으면, 전도성 양탄자는 어떠한 보호도 제공하지 못한다.

그림 A.1은 서로 다른 섬유들이 대기의 상대습도에 따라 대전될 수 있는 전압을 보인다.

합성섬유의 종류와 대기의 상대습도에 따라 수 kV 까지의 전압 방전이 장비에 직접적으로 발생할 수 있다.

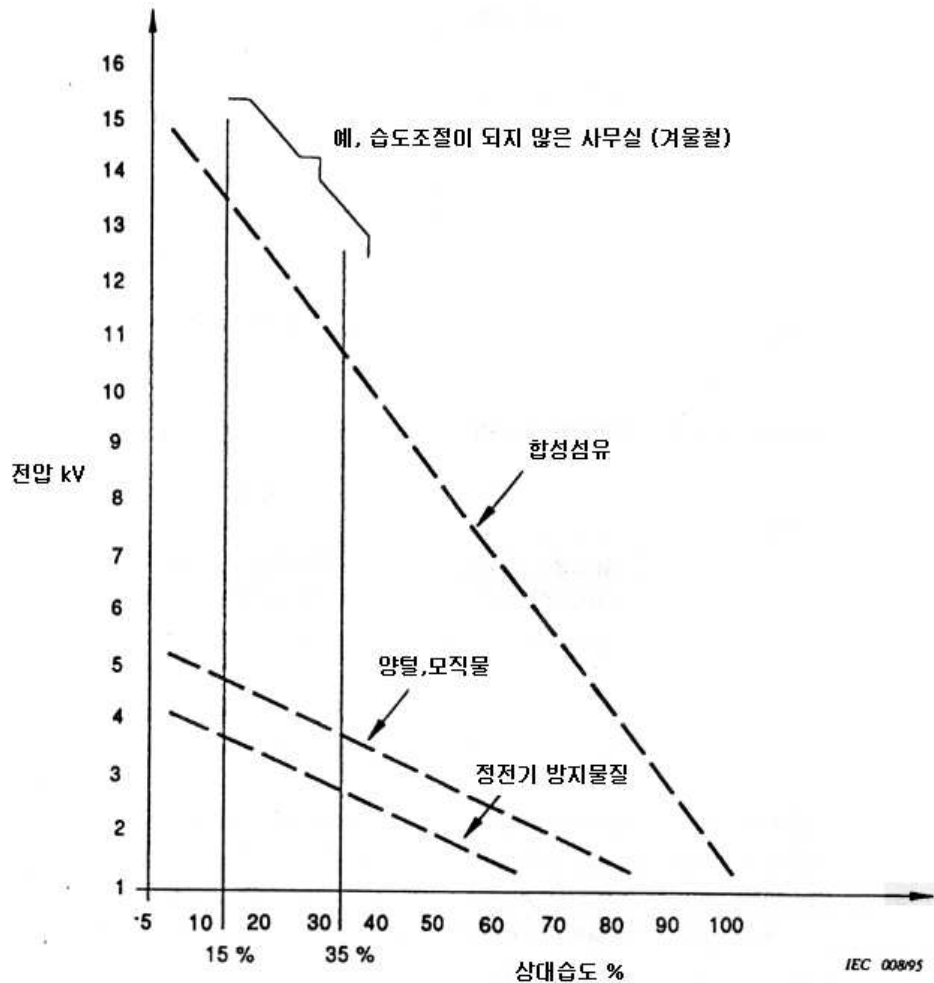


그림 A.1 A.2에서 언급된 물질에 접촉해 있는 동안 운용자가 대전될 수 있는 최대 정전 전압

A.3 기중 방전과 접촉방전에서 환경레벨과의 관련성

내성 요구사항을 정의하기 위해, 측정 가능한 양으로서 사용자 환경에서 나타나는 정전 전압 레벨을 사용하여 왔다. 그러나 방전 에너지의 전달 특성은 방전에 앞서 존재하는 정전 전압의 함수이기 보다는 방전전류의 함수라는 것이 알려져 있다. 더구나 일반적으로 방전전류는 보다 높은 전압레벨을 갖는 방전 전에 존재하는 전압에 비례하는 전류 이하가 되는 것으로 알려져 있다.

방전 전에 존재하는 전압과 방전전류 사이가 정비례하지 않는 가능한 이유들은 다음과 같다.

- 고전압 대전에 의한 방전으로 긴 아크방전 경로가 발생하게 되어 상승시간이 증가하게 되며, 이에 따라 방전 전에 존재하는 전압에 비례하는 것보다 적으며 보다 높은 스펙트럼 성분들을

갖는 방전전류가 나타난다.

- 전형적인 대전 과정에서 생성된 총 전하량이 일정하다고 가정하면, 작은 값의 커패시턴스 양단에 높은 대전 전압이 걸리게 된다. 따라서 큰 값의 커패시턴스 양단에 높은 대전 전압이 걸리기 위해서는 많은 연속적인 대전 과정이 필요하며, 현실적으로 이러한 일은 거의 일어나지 않을 것이다. 즉, 사용자의 환경에는 여러 종류의 높은 대전 전압들이 존재할지라도 대전 에너지는 거의 일정하게 되는 경향이 있음을 의미한다.

결론적으로, 주어진 사용자 환경에서의 내성 요구사항은 방전전류 진폭의 향으로 정의될 필요가 있다.

이러한 개념을 인식함으로써, 시험기기의 설계가 용이해 지며, 시험기기의 충전전압과 방전 임피던스의 선택에 따라 원하는 방전전류 진폭을 얻기 위한 설계에 적용할 수 있다.

A.4 시험레벨의 선택

시험레벨은 가장 현실적인 설치와 환경조건에 따라 선택되어야 한다. 이에 대한 지침이 표 A.1에 나와 있다.

표 A.1 시험레벨의 선택에 대한 지침

분류	상대 습도 [%]	정전방지 물질	합성섬유	최대 전압 [kV]
1	35	X		2
2	10	X		4
3	50		X	8
4	10		X	15

권장되는 설치 방법과 환경등급은 본 표준규격의 5 절에 요약되어 있는 시험레벨과 관련이 있다.

예를 들어, 나무, 콘크리트 및 세라믹과 같은 몇몇 물질에 있어서 가능한 레벨은 레벨 2 보다 높지 않다.

주) 특정 환경에 대한 적절한 시험레벨을 선택하고자 하는 경우에, 정전기방전 영향에 가장 위험한 파라미터를 이해하는 것이 중요하다.

어쩌면 가장 위험한 파라미터는 충전전압, 침투 방전전류 및 상승시간의 다양한 조합을 통해 얻어질 수 있는 방전전류의 변화율일 것이다.

예를 들면, 15 kV 의 합성섬유 환경을 위해 필요한 정전기방전 스트레스는 본 표준규격에서 정의된 정전기방전 시험발생기의 접촉방전을 사용한 8 kV/30 A, 등급 4의 시험에 의해 적절하게 만들

어진 것보다 크다.

그러나 합성섬유를 갖는 매우 건조한 환경에서는 15 kV 이상의 높은 전압이 발생한다.

절연표면을 가지는 시험장비의 경우에는, 15 kV까지의 전압을 갖는 **기중** 방전 방법을 사용할 수 있다.

A.5 시험점의 선택

예를 들어, 다음 위치들을 시험점으로 고려할 수 있다:

- 접지부와 전기적으로 떨어진 캐비닛의 금속 부분에 있는 점들
- 제어 장치나 키보드 부분에 있는 임의의 점과, 스위치, 손잡이, 버튼 및 운용자가 접근할 수 있는 부분과 같이 사람-기계 인터페이스 부분의 점들
- 표시기, LED, 구멍, 창살, 커넥터 외피 등

A.6 접촉방전 방법의 적용에 대한 기술적 원리

일반적으로 이전에 하였던 시험방법(**기중** 방전)의 재현성은 방전 팁의 접근 속도, 습도 및 시험장비의 구성과 같은 것들에 의해 영향을 받으며, 이에 따라 펄스 상승시간과 방전전류의 진폭이 변화된다.

과거의 정전기방전 시험기기의 설계에서는, 정전기방전 과정은 방전 팁을 통해 피시험기기에 충전 커패시터를 방전시켜 모사되었으며, 이때 방전 팁은 피시험기기의 표면에 스파크 갭을 형성하였다.

이 스파크는 매우 복잡한 물리현상이다. 스파크 갭의 접근속도에 따라 방전전류의 상승시간(또는 상승 슬로프)을 조정할 수 있다. 즉, 접근속도를 변화시켜 1 ns 이하부터 20 ns 이상까지 변화시킬 수 있다.

접근속도를 일정하게 유지하는 것이 상승시간을 일정하게 하지는 않는다. 전압/속도의 어떤 조합에 따라 상승시간이 30 배 정도까지 변한다.

주) 고전압에서 기중 방전은 복수의 연속 방전 시에 생길 수 있다.

반복가능하며 빠르게 상승하는 방전전류를 만들어 낼 수 있는 유일한 트리거 소자는 릴레이이다. 릴레이는 충분한 내압 성능과 단일 접촉 성능(상승부에서 이중방전을 피하기 위해)을 가져야 한다. 보다 높은 전압에서는, 진공형 릴레이가 유용한 것으로 알려져 있다. 트리거 소자로 릴레이를 사용하면 측정된 방전 펄스 형태가 상승부에서 훨씬 더 재현성이 좋을 뿐만 아니라 실제 피시험기기를 가지고 시험한 결과에서도 재현성이 더욱 좋은 것으로 알려져 있다.

따라서 릴레이를 사용한 임펄스 시험기가 규정된 전류 펄스(진폭과 상승시간)를 만드는 장치이다.

이 전류는 A.3 에 기술된 바와 같이 실제 정전기방전 전압에 관련되어 있다.

A.7 정전기방전 시험발생기에 대한 전극 선택

인체의 용량을 대신하기 위한 축전 커패시터를 사용하여야 한다. 150 pF 의 공칭값이 이러한 목적에 적당한 것으로 알려져 있다.

열쇠나 도구와 같은 금속 물체를 잡고 있는 인체의 저항을 대신하기 위해 330 Ω 의 저항이 선택되어 있다. 이러한 금속 방전 상황은 현장에서의 모든 인체로부터의 방전을 대신하기에 충분히 높은 레벨이다.

A.8 발생기 사양에 관한 이론적 근거

정전기 방전 시험을 실제 피시험기기에 적용할 때 수많은 이유들이 재현성 차이의 원인이 되는 것으로 입증되었다. 시험 구성, 교정 문제 등을 고찰하여 이 시험방법에 제안을 포함시켰다.

정전기 방전 발생기 사양의 변화도 고려하였지만 이 시험방법에서는 어떤 변화도 제안하지 않았다. 다음은 이러한 결정에 대한 이론적 근거를 요약한 것이다.

발생기 사양에 대하여 재현성 원인과 관련된 것으로 제기되었던 두 가지 기술적 원인은 다음과 같다.

- 첫 번째 침두 후 발생기 방전 전류 파형(즉, 2 ns에서 60 ns)
- 정전기 방전이 피시험기기에 진행될 때 발생기가 복사한 전기장

첫 번째 이유는 유지보수 팀에서 다루었는데, 그림 2에 나타난 이상적 파형의 35 % 허용차는 2ns에서 60 ns에서 규정되었다. 이 규격을 작성하는 동안에 초기 침두의 60 %에서 (2.5 \pm 1) ns에 대한 첫 번째 침두의 하강시간을 제어하기 위해 방전 전류 사양의 잠재적 변화를 추가로 수정하였다.

두 종류의 발생기를 이용하여 시험소 세 곳에서 각각의 피시험기기에 대해 순환 순서 시험을 실시하였다. 발생기 한 종류는 KN 61000-4-2, 1판을 따르는 것이고 다른 한 종류는 위에 명시한 추가 사양을 갖는 것이었다. 이에 따라 각 유형의 다섯 가지 발생기는 다섯 곳의 제조자가 제공하였다.

수정된 정전기 방전 발생기의 순환 순서 시험 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 시험 레벨의 변화가 있었다. 이 시험 레벨에서 고려 중인 피시험기기는 각각의 정전기 방전 발생기로부터 영향을 받았다.
- 방전 파형이 변경되면 시간과 주파수 영역에서 모두 방전 전류 파형이 제거될 것처럼 보였다.
- 하지만 새 파형은 실제 피시험기기에서 시험 결과의 재현성을 현저하게 향상시키지 못했다.

하지만 두 번째 이유에서는 이 파라미터가 재현성 문제의 원인이었다는 것을 보장하지 못한 다면 추가로 순환 순서 시험을 실시하는데 필요한 자원이 중요해질 것임을 고려하였다. 실제 피시험기기에서 복사된 장의 영향을 정량화하고 시험 결과의 재현성에 영향을 미치는 관련 파라미터를 어떻게 제어할 것인지를 이해하기 위해서는 실질적인 기술적 연구가 필요하다.

이 규격에서 명시한 변화는 시험 재현성을 향상시킬 것임을 고찰하였다. 재현성에 관한 전기장 복사의 영향을 추정하는데 있어 이 규격의 향후 개정판에서는 추가 조사를 제안할 것이다.

부록 B (규격)

전류 측정 시스템의 교정과 방전 전류 측정

B.1 전류 표적 사양 - 입력 임피던스

정전기 방전 발생기의 방전 전류를 측정하는데 사용된 동축 전류 표적은 내부 전극과 접지 사이에서 측정하였을 때 직류에서 2.1 Ω 이하의 입력 임피던스를 가져야 한다.

주1) 표적은 완벽한 접지면에 흐르는 정전기 방전 전류를 측정하도록 되어 있다. 완벽한 도전성 면과 표적의 입력 임피던스의 차로 인해 발생하는 오차를 최소화하기 위해서 입력 임피던스에 2.1 Ω 의 한계값을 설정하였다. 그러나 표적의 입력임피던스가 너무 낮다면 출력 신호는 매우 작게 될 것이고, 그렇게 되면 케이블과 오실로스코프에 결합되어 오차가 생길 수도 있다. 더구나 훨씬 더 낮은 저항값을 사용할 때는 기생 인덕턴스가 더 심해지게 된다.

주2) 입력 임피던스와 전달 임피던스(Z_{sys} , B.3절)는 직류에서 또는 저주파수에서 높은 정확도로 측정할 수 있다.

B.2 전류 표적 사양 - 삽입 손실

B.2.1 측정 연쇄

동축 전류 표적의 삽입 손실을 규정하는 대신 표적, 감쇠기, 케이블로 이루어진 측정 연쇄(chain)를 규정한다. 이렇게 하면 각 소자 대신에 이 연쇄와 오실로스코프를 개별적으로 특성화할 필요가 있을 때 측정 계통 특성화가 단순화된다.

표적-감쇠기-케이블 연쇄의 삽입 손실 변화는 다음을 초과해서는 안된다.

1 GHz 이하에서는 ± 0.5 dB

1 GHz에서 4 GHz에서는 ± 1.2 dB

삽입 손실의 공칭값 S_{21} 에 대하여:

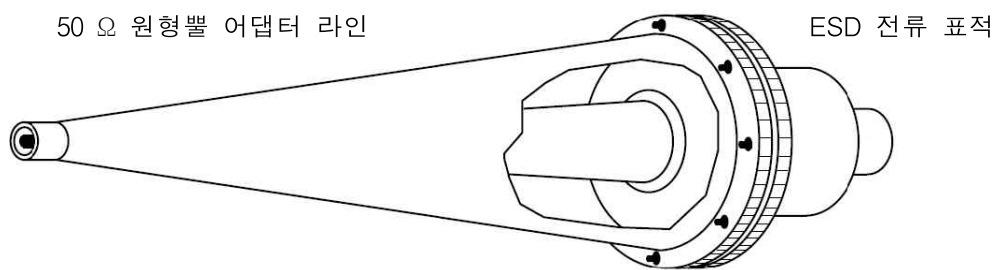
$S_{21} = 20 \log [2Z_{sys}/(R_{in} + 50 \Omega)]$ dB, 여기에서 R_{in} 은 50 Ω 으로 부하를 가할 때 표적-감쇠기-케이블 연쇄의 직류 입력 임피던스이다.

주1) 각각의 교정 시간 간격은 직류 전달 임피던스와 삽입 손실 측정에 사용할 수 있다. 직류 전달 임피던스를 반복 측정한 결과 원래 측정값과 1 % 미만으로 차이가 날 경우 사용자는 동일한 케이블과 감쇠기를 사용하고 다른 징후(예: 커넥터의 느슨함이나 손상)를 보이지 않는다면 표적-감쇠기-케이블 연쇄의 삽입 손실이 변하지 않았다고 가정할 수 있다.

주2) 표적-감쇠기-케이블 연쇄는 항상 하나의 개체로 간주하는 것이 좋다. 소자가 하나 교체되거나 분해 혹은 재조립되더라도 표준과의 적합성을 보장하기 위해 전체 연쇄를 재교정해야 한다.

B.2.2 표적 어댑터 라인

그림 B.1에 나타난 표적 어댑터 라인은 50 Ω 동축 케이블을 정전기 방전 전류 표적의 입력에 연결한다. 기하학적으로 이것은 동축 케이블의 지름에서부터 표적 지름까지 매끄럽게 확장한다. 지름 비율 " d " 대 " D "(그림 B.2 참조)가 50 Ω이 아니도록 표적이 만들어진다면 표적 어댑터 라인은 내부 도체의 외경이 전류 표적의 내부 전극 지름과 동일하도록 만들어야 한다. 임피던스는 원뿔형 어댑터 라인을 채운 재료(대개 공기)의 유전 상수를 이용하여 산출하여야 한다. 표적 어댑터 라인은 4 GHz 대역폭 내에서 (50 ± 1) Ω을 유지하여야 한다. 마주보도록 놓은 두 개의 표적 어댑터 라인의 반사 손실은 1 GHz 이하에서는 30 dB보다 높아야 하고, 4 GHz 이하에서는 20 dB보다 높아야 한다. 총 삽입 손실은 4 GHz 이하에서 0.3 dB 미만이다.



주) 원뿔형이 아닌 다른 형상도 허용된다.

그림 B.1. 전류 표적에 부착한 표적 어댑터 라인의 예

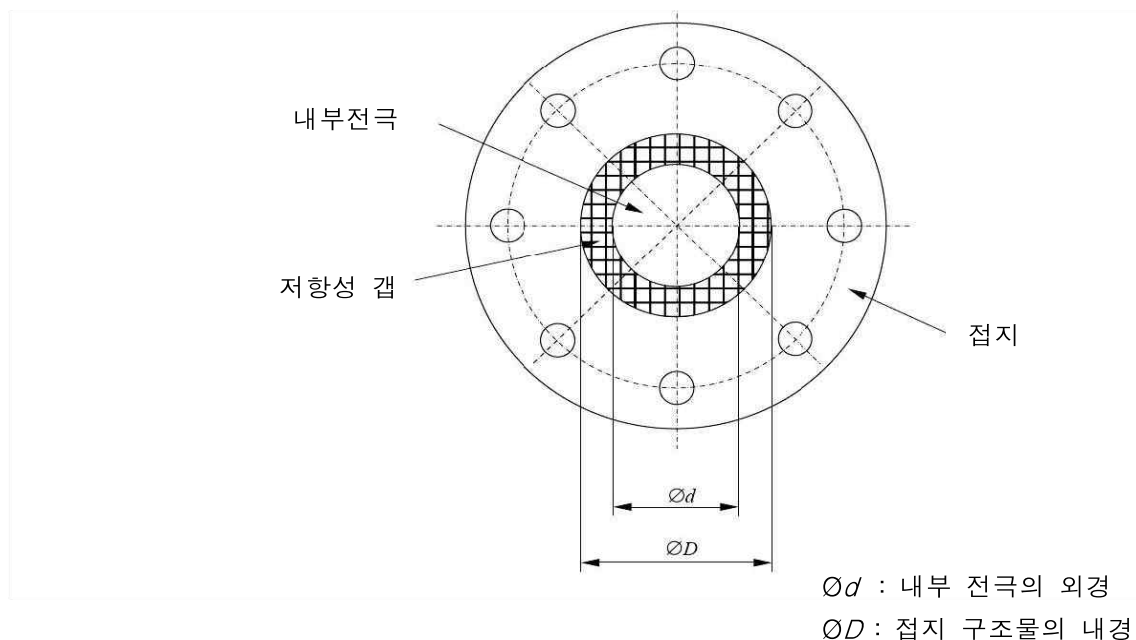


그림 B.2. 전류 표적 앞면의 예

B.2.3 전류 표적-감쇠기-케이블 연쇄의 삽입 손실 측정

측정 연쇄의 삽입 손실은 벡터 회로망 분석기(VNA)로 측정한다. 정확도가 충분하다면 삽입 손실크기를 측정하는 다른 계통도 사용할 수 있다.

삽입 손실 측정 절차는 다음과 같다.

- 그림 B.3에 나타낸(교정점에서 감쇠기와 표적 사이 및 감쇠기와 표적 어댑터 사이) 회로망 분석기를 교정한다.

주1) 회로망 분석기를 사용하지 않는다면 그에 맞게 절차를 변경하여야 한다.

주2) 직류 대신에 회로망 분석기에 사용 가능한 최저 주파수를 사용하는 것이 좋다. 직류 특성은 개별적으로 측정한다.

주3) 두 어댑터 라인 또는 어댑터 라인과 표적의 중심 접점의 안정성은 각기 다른 중심 라인 각을 사용하여 반복 측정이나 장치의 분리 및 재연결을 통해 검증하는 것이 좋다.

- 표적 어댑터 라인을 표적 감쇠기(≥ 20 dB)-케이블 연쇄에 연결하고, 그림 B.3과 같이 삽입한다.

- 삽입 손실을 측정한다.

삽입 손실 변화는 B.2절에 명시한 요구사항을 충족하여야 한다.

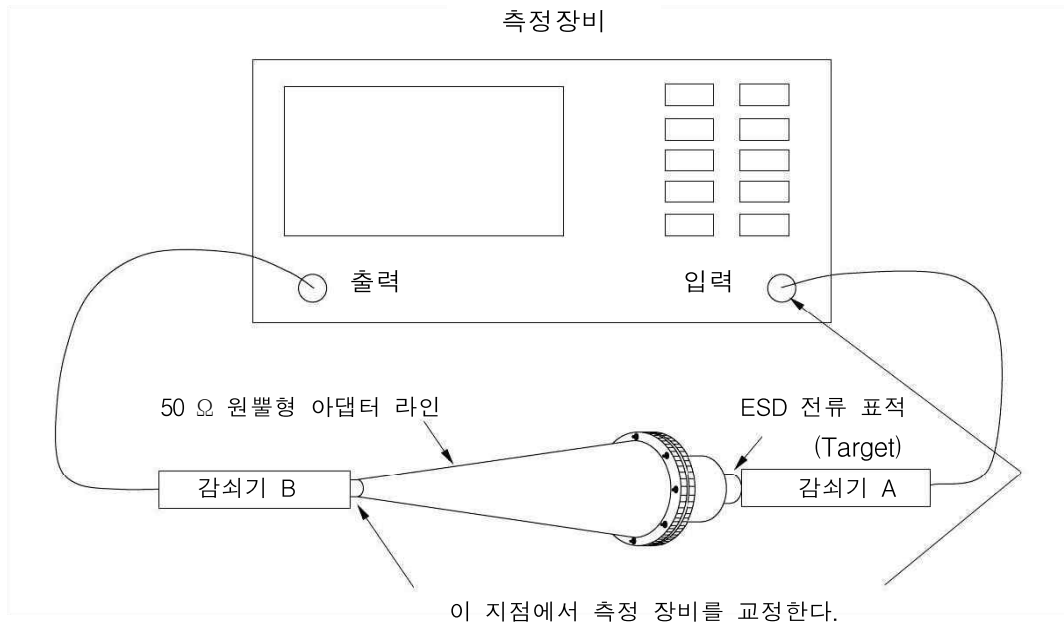


그림 B.3. 전류 표적-감쇠기-케이블 연쇄 삽입 손실의 측정 예

B.3 표적-감쇠기-케이블 연쇄의 저주파 전달 임피던스의 측정

표적-감쇠기-케이블 연쇄의 저주파 전달 임피던스는 표적 입력에 주입된 전류와 케이블 출력에서 50 Ω 부하 양단(오실로스코프 대신 케이블 끝에 놓여 있는 것)의 전압의 비로 정의된다.

정전기 방전 측정에서 오실로스코프는 전류 I_{sys} 가 표적에 주입되면 전압 V_{osc} 를 표시한다. 표시된 전압으로부터 미지의 전류를 산출하기 위해서 이 전압을 저주파 계통 전달 임피던스 Z_{sys} 로 나눈다.

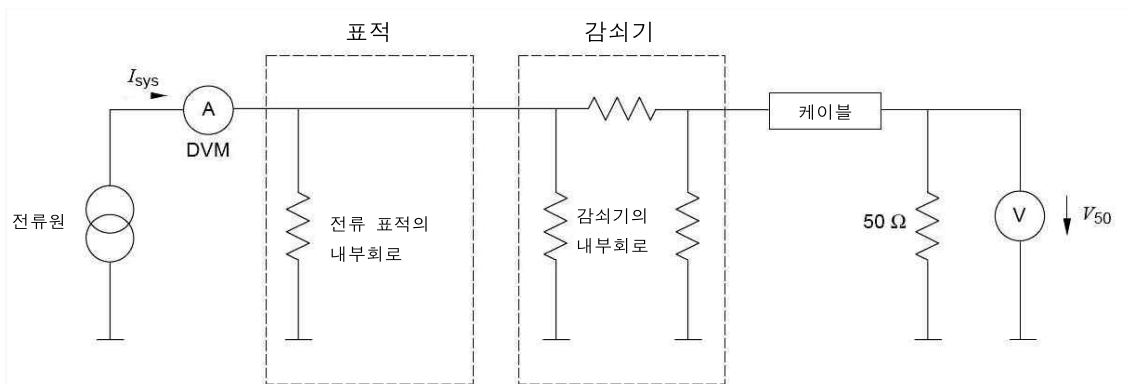


그림 B.4. 저주파 계통 전달 임피던스를 측정하는 회로도

주1) 표시한 표적의 내부 회로는 단지 예일 뿐이다. 다른 내부 회로도 가능하다.

표적-감쇠기-케이블 연쇄의 저주파 계통 전달 임피던스는 다음과 같이 측정할 수 있다.

- 약 1 A의 전류 I_{sys} 를 전류 표적의 앞 쪽에 주입한다. 앞 쪽이란 방전이 이루어지는 쪽을 말한다.
- Z_{sys} 발생기 교정을 위한 주요한 양이다. 50 Ω 부하는 최대 ±1 %의 허용치를 가져야 한다.
- 정밀 50 Ω 양단에서 전압 V_{50} 을 측정한다.
- 다음 식으로 전달 임피던스를 산출한다.

$$Z_{sys} = \frac{V_{50}}{I_{sys}}$$

주2) 열 전압이 결과에 영향을 미치지 않는지를 검증하기 위해서 양 전류와 음 전류로 측정을 실시할 수 있다. 두 결과는 서로 0.5 % 미만 이내에 있는 것이 바람직하다.

전체 표적-감쇠기-케이블 연쇄의 전달 특성을 결정하는데 다른 방법을 사용할 수도 있다.

B.4 정전기 방전 발생기의 교정

B.4.1 교정 결과

정전기 방전 평가의 비교 가능한 교정 결과는 매우 중요하다. 특히 각기 다른 제조자의 정전기 발생기를 사용하여 시험을 수행할 때나 시험이 장기간 진행될 것이라 예상될 경우가 그렇다. 평가에 있어 반복성은 영향요인이 되어야 한다. 정전기 발생기는 인정된 품질 보증 시스템에 대해서는 정의된 시간 간격 내에서 교정되어야 한다.

주) 이 부속서의 절차는 교정 목적을 위해 제시한 것이다. 시험 전 발생기의 검증 절차를 6.3절에 언급하였다.

정전기 발생기는 8.1.2절에서 규정한 기후 조건 범위 내에서 교정하여야 한다.

B.4.2 정전기 방전 발생기 교정에 필요한 시험 장비

정전기 방전 발생기를 교정하는 데는 다음의 장비가 필요하다.

- 대역폭이 충분한 오실로스코프 (아날로그 대역폭 2 GHz 이상)
- 동축 전류 표적 감쇠기케이블 연쇄
- 적어도 15 kV의 전압을 측정할 수 있는 고전압계 출력 전압을 인가하지 않도록 정전 전압계를 사용해야 할 경우도 있다.
- 동축 전류 표적을 이 표적에서 교정면의 가장자리까지 적어도 0.6 m 떨어져 있도록 부착한 수직 교정면
- 전역 용량(power capability)이 충분한 감쇠기

주) 적합한 동축 전류 표적의 예를 부록 C에 기술하였다.

B.4.3 접촉 모드 발생기 교정 절차

전류 표적은 B.4.2의 요구사항을 충족하는 수직 고정면 중심에 부착하여야 한다. 정전기 방전발생기 귀환 전류 케이블(접지 스트랩)에 대한 연결은 표적보다 0.5 m 밑에 있는 평면의 하단 중심에서 하여야 한다. 접지 스트랩은 이등변 삼각형을 형성하도록 케이블 중앙에서 뒤쪽으로 당겨야 한다. 교정 중에는 접지 스트랩을 바닥에 놓아서는 안된다.

아래에 명시한 절차를 따라서 정전기 방전 발생기의 전류 파형이 사양 내에 있는지 검증한다. 파형을 기록하고 다음 파라미터를 측정한다.

I_p 방전 전류의 첨두값 [A]

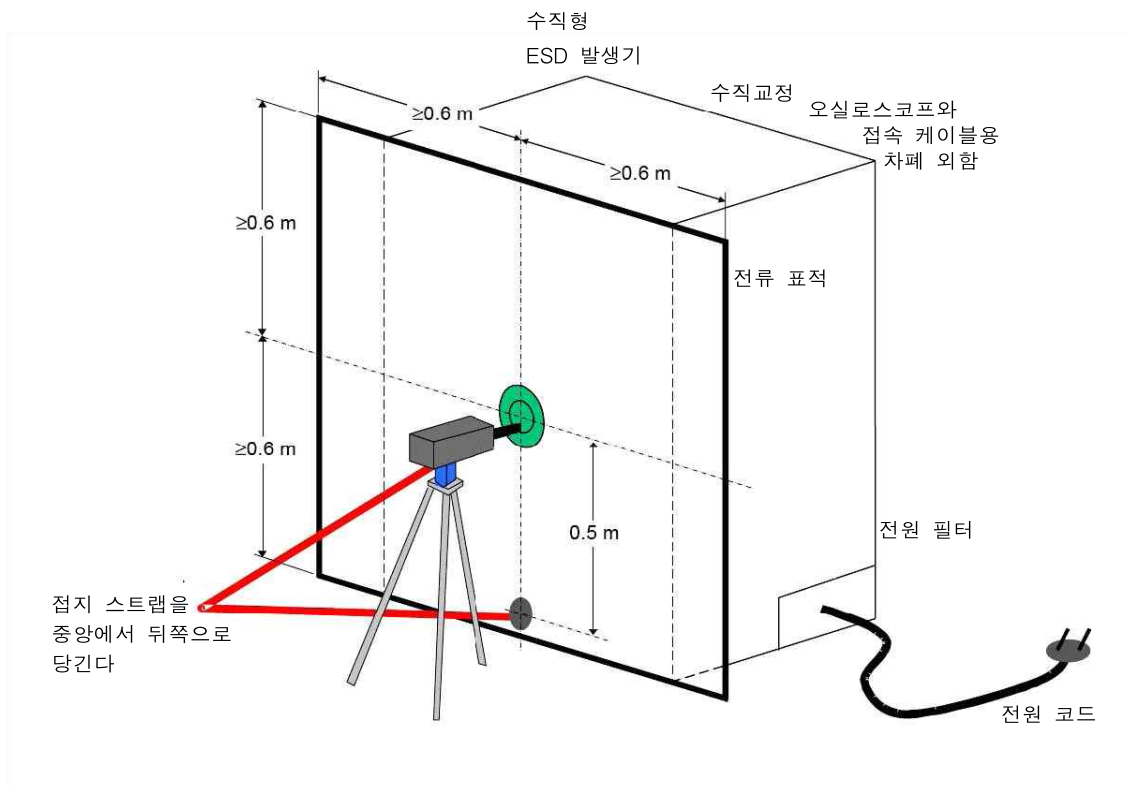
I_{30} 첨두 전류가 I_p 의 0.1배에 도달한 30 ns 후의 전류값 [A]

I_{60} 첨두 전류가 I_p 의 0.1배에 도달한 60 ns 후의 전류값 [A]

t_r 전류의 상승시간 [ns]

표 B.1. 접촉 방전 교정 절차

절차	설명
정전기 방전 발생기를 표 1에 정의한 각 시험 레벨에서 양 극성에 대해 5회 방전하고 각각의 결과를 저장한다.	5회 방전 모두 사양을 충족하여야 한다.
각 파형에 대한 I_p , I_{30} , I_{60} , t_r 을 측정한다.	각각의 시험 레벨에서 파라미터를 검사한다.
30 ns에서의 전류 I_{30} 이 2 A \pm 30 %인지 검사한다.	각 시험 레벨에서 파라미터를 검사한다. ^a
60 ns에서의 전류 I_{60} 이 1 A \pm 30 %인지 검사한다.	각 시험 레벨에서 파라미터를 검사한다. ^a
첨두 전류 I_p 가 3.75 A \pm 15 %인지 검사한다.	각 시험 레벨에서 파라미터를 검사한다. ^a
상승 시간 t_r 이 0.8 ns \pm 25 %인지 검사한다.	각 시험 레벨에서 파라미터를 검사한다. ^a
^a 이 표에 기재한 전류 값은 1 kV 전압에 해당한다. 이 측정값은 발생기 전압에 비례하여 변한다.	



주1) 발생기는 삼각대 또는 이와 동등한 비금속성 저손실 지지물 위에 설치하는 것이 좋다.

주2) 발생기에는 시험 중에 사용할 방법과 동일하게 전원을 인가하는 것이 좋다.

주3) 그림 B.5와 비교하였을 때 반대로 된 배치 사용할 수 있다.

그림 B.5. 정전기 방전 발생기 성능을 교정하기 위한 대표적인 배치

측정 계통 위의 간접 결합 경로가 교정 결과에 영향을 미치지 않는다는 것을 측정으로 입증할 수 있다면 오실로스코프를 차폐할 필요는 없다.

다음의 경우에 오실로스코프 결과가 트리거되지 않는다면 교정 계통은 충분한 내성을 갖는 것으로 간주할 수 있다(즉, 패러데이 케이지가 필요 없다).

- 오실로스코프 트리거 레벨이 최저 시험 레벨의 10 % 이하로 설정되어 있다.
- 정전기 방전 발생기는 최고 시험 레벨로 표적의 외부 링(내부 링이 아니라)으로 방전된다.

부록 C

(정보)

부록 B의 요구사항을 충족하는 교정 표적의 예

그림 C.1에서 그림 C.5는 부록 B의 요구사항을 충족하는 표적의 세부 구조를 나타낸 것이다. 이 표적은 RG 400 케이블 1 m를 사용할 경우 일률적인 삽입 손실을 제공하도록 설계되었다. 다중반사를 피하기 위해서 20 dB 이상의 감쇠기를 표적의 출력 포트에 직접 연결할 것을 제안한다.

주) 그림 C.1에서 그림 C.5는 단지 예를 든 것이므로 허용차는 명시하지 않았다.

중심 황동 부분 - 대략 1:1

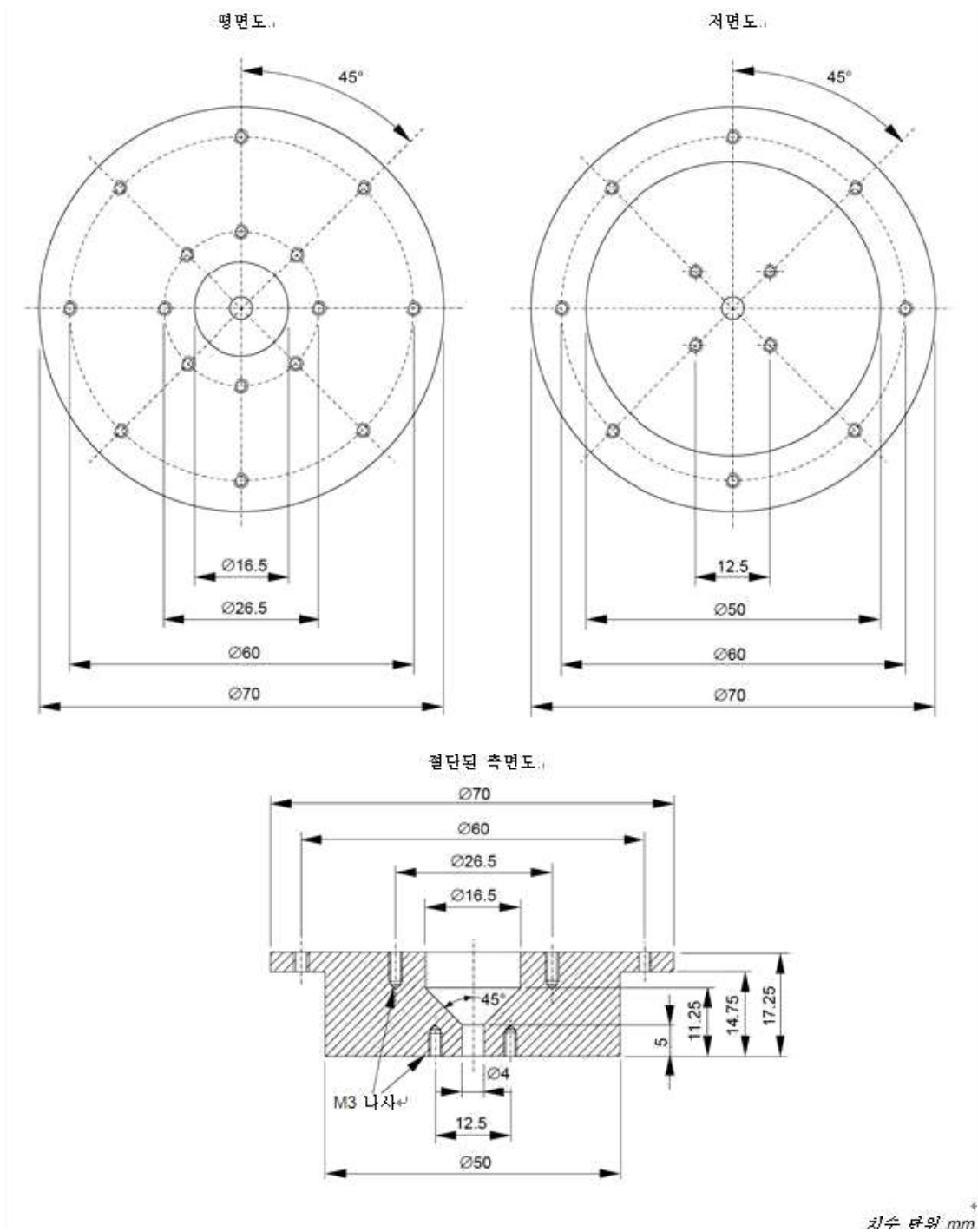
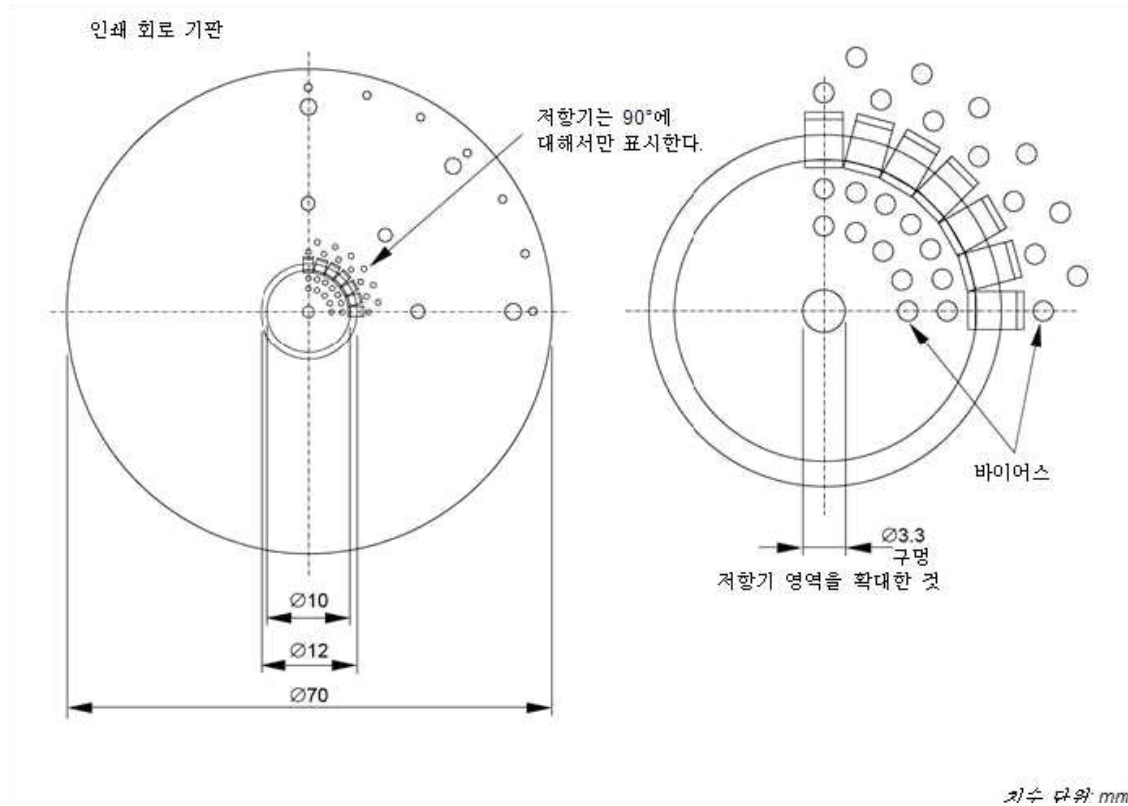


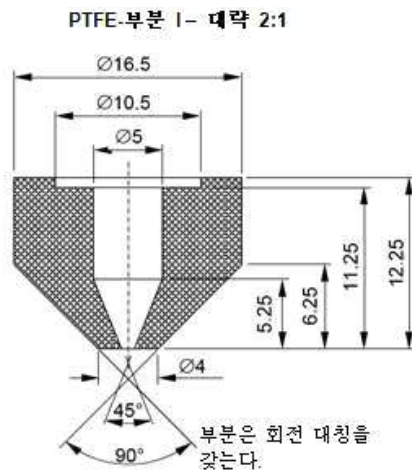
그림 C.1. 동축 표적의 기계적 도면 (5개 도면 중 첫 번째)



주요 사항

저항기 크기	0805
값	51 Ω
배치	접촉, 정확히 대칭 (형판 사용)
재료	0.5 mm FR - 4, 금 도금
바이어스	저항기 각 면에 바이어스의 링 두 개와 인쇄 회로 기판의 바깥쪽 모서리에 가까운 한 개의 링. 대략 저항기 25개가 필요하다.

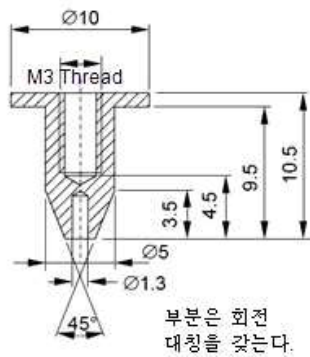
그림 C.2. 동축 표적의 기계적 도면 (5개 도면 중 두 번째)



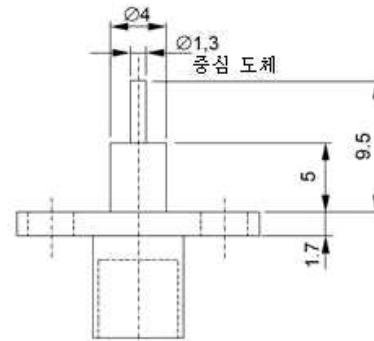
PTFE-부분 II - 대략 2:1



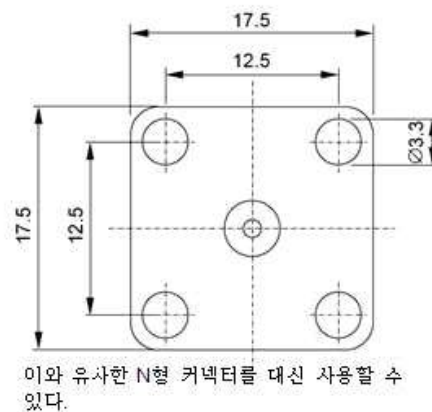
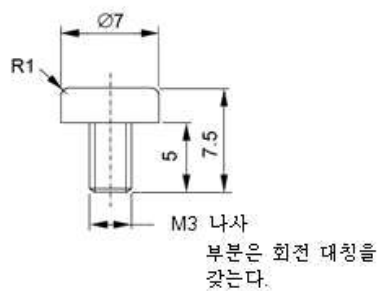
중심 도체 황동 - 대략 2:1



SMA-커넥터 - 대략 2:1

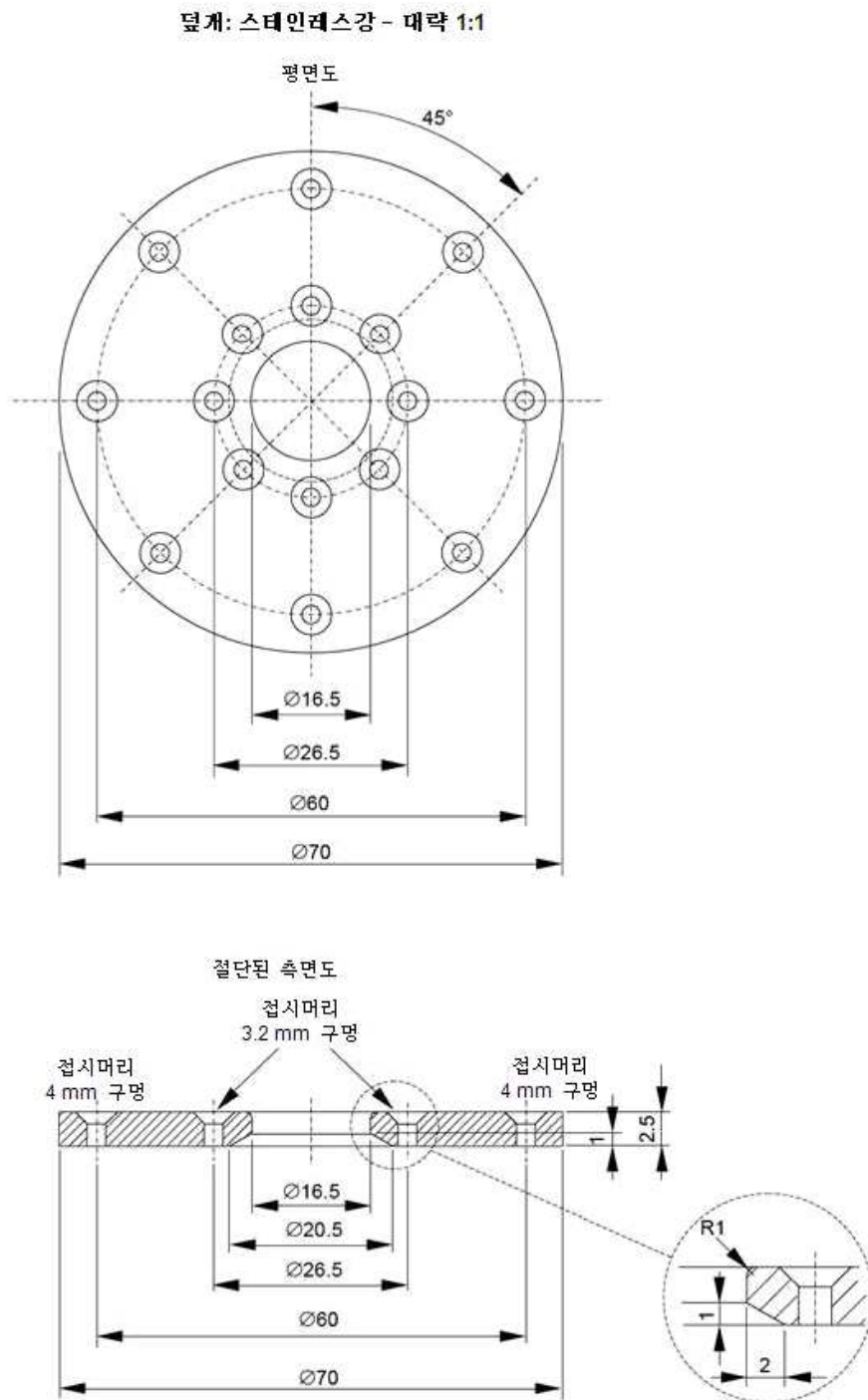


중심 도체 스테인레스강의 상단부 - 대략 2:1



치수 단위: mm

그림 C.3. 동축 표적의 기계적 도면 (5개 도면 중 세 번째)



지수 및 ρ : mm

그림 C.4. 동축 표적의 기계적 도면 (5개 도면 중 네 번째)

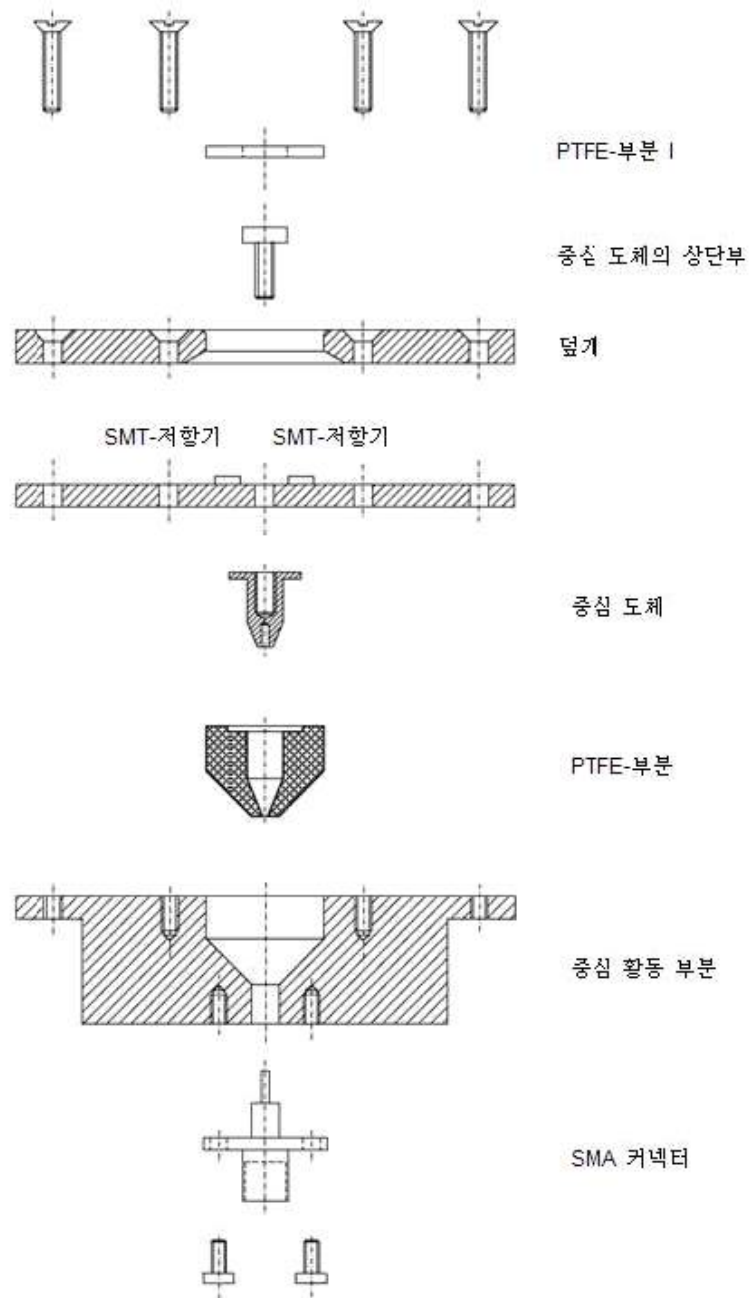


그림 C.5. 동축 표적의 기계적 도면 (5개 도면 중 다섯 번째)

부록 D

(정보)

인체 금속 방전과 정전기 방전 발생기로부터의 방사 전자기장

D.1 의도성 및 비의도성 전자기장을 유발하는 과정에 대한 개요

D.1.1 일반사항

인체로부터의 정전기 방전(작은 수지형 금속체 등을 통해)은 이 표준 및 그 이전 표준에서 규정한 전류 파형의 기준이다. 인체로부터의 방전뿐만 아니라 정전기 방전 발생기로부터의 방전은 관련된 강한 전자기장을 발생시키는 원인이다.

다음 항에서는 인체 방전의 과정을 먼저 고찰하고, 정전기 방전 발생기에서 방전이 될 때의 과정을 고찰한다.

D.1.2 인체 ESD

인체에서 피시험기기으로의 정전기 방전 사건에서는 다음의 사건들이 발생한다.

- a) 수지형 금속체가 피시험기기의 금속성 표면에 접근할 때와 전류가 방전되기 전에는 정전기장이 존재한다. 흐르는 전류는 없으며(있다고 해도 매우 작은) 이에 상응하는 자기장도 존재하지 않는다.
- b) 수지형 금속부와 피시험기기 사이에서 방전이 개시되면 정전기장이 둘의 간극에서 붕괴된다. 그 초기값부터 시작하여 정전기장은 50 ps에서 5 ns 내에 간극 양단의 전압은 약 25 V에서 40 V으로 붕괴한다. 그 붕괴 시간은 아크 파라미터나 전압 등에 따라 달라진다. 전기장의 초기 붕괴는 강한 과도 전자기장을 유발하는 일련의 사건 중에서 첫 단계다.
- c) 인간이 쥐고 있는 금속부나 피시험기기에 전류가 흐르기 시작한다. 먼저 전류 앞부분은 광속으로 약 0.8 ns 내에 확산되어 사람의 팔에 도달한다. 전류는 피시험기기과 팔 위에서 더 계속 확산되므로 복사와 저항으로 인해 반사와 손실을 경험하게 되어 피시험기기과 인체에는 복잡한 패턴의 전류밀도가 생기게 된다.
- d) 방전 과정이 계속됨에 따라, 전류의 최고 주파수 성분은 주로 복사에 의해 신속하게 감소될 것이다. 그 다음 시간이 흐름에 따라 전류는 더 평활하게(고주파 함량이 낮아지게) 되어 인체는 마침내 피시험기기과 새로운 정전 평형에 도달한다. 하지만 인체에 남아 있는 전하는 0이 아닐 수도 있다. 인체가 완전히 방전하기 전에 아크가 소멸될 수도 있기 때문이다. 손과 금속 물체가 계속 피시험기기에 접근한다면 두 번째 방전이 더 낮은 전압에서 발생하여 일련의 정전기 방전이 생기게 된다. 각각은 더 낮은 전압에서, 더 빠른 상승시간(부분적으로는 더 낮은 전압 때문에)을 갖게 된다.
- e) 각각의 방전이 진행되는 동안 손이나 신체, 피시험기기의 어느 지점에 놓여 있는 관찰장비는 방전 전에는 전하 밀도를, 방전 중에는 빠르게 변하는 전류를, 방전 후에는 남아 있

는 작은 전하를 관찰할 것이다.

- f) 안테나 이론에 따르면 변하는 전하 밀도와 변하는 전류는 복사 전자기장을 유발하는 것으로 알려져 있다. 가까운 거리에서는 전류와 전하 밀도가 전자기장을 지배하며, 더 먼 거리에서는 전류와 전하 시간 미분이 전자기장을 결정할 것이다. 근접 전자기장(근거리장)과 더 먼 거리에서 보이는 전자기장(원거리장)의 전이 영역은 더 복잡하다. 측정과 시뮬레이션에 따르면 정전기 방전의 과도전자기장은 적어도 가장 방해가 심한 첫 나노초 동안에 아크로부터 10 cm 떨어진 거리에서 원거리장 상태에 도달하는 것으로 나타났다.
- g) 상기 내용으로 미루어보아 전류와 전하 시간 미분은 전자 계통의 이상상태(비파괴 오차)에 대해 매우 중요하다는 것은 분명하다.
- h) 인체 방전에서는 전류와 전하 미분이 아크에서의 전압의 붕괴 시간에 의해 결정된다는 것을 유념하는 것이 중요하다. 따라서 방전시 전류 상승 시간은 고주파 성분을 결정한다.

상기 내용으로 미루어보아, 인체-금속 정전기 방전의 과도 전자기장은 정전기 방전의 중요한 부분이라는 것은 분명하다. 이상적인 정전기 방전 발생기는 정량화된 방식으로 이를 재현할 것이다. 인체-금속 정전기 방전의 전기장 강도 등은 잘 알려져 있다.

D.1.3 정전기 방전 발생기

다음 단계는 현재의 정전기 방전 발생기에서 생긴 과정을 분석하고 비교하는 것이다. 정전기 방전시험은 대부분 접촉 모드에서 수행하기 때문에 재현성의 이유로 다음은 접촉 모드 정전기 방전발생기로 제한된다.

- a) 정전기 방전 발생기의 방전 끝은 (대부분의 경우에) 피시험기기의 접지된 부분과 접촉한다.
- b) 방전에 앞서 커패시터는 정전기 방전 발생기 내에서 충전된다. 대부분의 설계에서 충전 과정에서 생긴 정전기장은 대부분 동일한 전압으로 충전된 인체로부터 떨어진 동일한 지점에서 측정하는 정전기장보다 훨씬 적다.
- c) 방전은 정전기 방전 발생기에 내장된 계전기가 단힘으로써 개시된다. 이러한 특수 계전기 설계 덕분에 방전 전류의 재현성은 매우 양호하게 된다. 하지만 계전기는 내장되어 있고 정전기 방전발생기가 피시험기기와 접촉하는 지점에 있지 않기 때문에 방전 전류 흐름의 개시는 인체 방전과 매우 다르다.
- d) 계전기 내에서 전압 붕괴 시간은 매우 빠르다(100 ps 미만). 이로 인해 전류파는 모든 방향으로, 그리고 접촉하는 모든 금속부와 인접한 기타 금속부에서 계전기로부터 멀리 떨어져 진행하게 된다. 전류파는 광속으로 전파한다(유전체에서는 감소된 속도로). 이 전류파의 상승시간은 전압 붕괴시간과 같다.
- e) 전압 붕괴 시간은 100 ps 미만이지만, 이 표준에서는 표적 접촉점에서 측정한 전류 상승시간을 $(0.8 \pm 0.2) \text{ ns}$ 로 요구한다. 이를 얻기 위해서는 계전기 내에서의 매우 낮은 값에서부터 방전 끝에서의 표준화된 값으로 상승시간을 증가시키는 정전기 방전 발생기로 대책을 마련한다.

f) 과도 전자기장은 모든 전류 시간 미분과 전하 밀도 시간 미분 때문에 발생한다. 발생기로부터의 방전과 금속이 부착된 인체로부터의 방전의 중요한 차이에 주목하여야 한다. 인체 방전의 경우 아크에서의 전류 상승시간은 가장 빠른 과정이며, 이것은 과도 전자기장의 스펙트럼을 결정한다.

하지만 정전기 방전 발생기가 접촉 모드에 있을 때 고주파 스펙트럼은 방전 끝에서의 전류 상승 시간에 의해서가 아니라 계전기의 전압 붕괴에 의해 결정된다.

g) 발생기의 모든 충전 전류는 과도 전자기장을 유발하므로 계전기의 100 ps 상승 전류는 정전기방전 발생기로부터 생긴 과도 전자기장에 기여할 뿐만 아니라 방전점에서는 (0.8 ± 0.2) ns 상승전류도 기여한다. 발생기의 더 빠른 사건에 기인하는 과도 전자기장은 일반적으로 불요 과도 전자기장인데, 이들은 이 복사 전자기장의 고주파 함량을 방전점에서의 전류 상승시간과 침투깊이 동일한 등가 인간-금속 방전으로부터 생긴 것 이상으로 증가시키기 때문이다.

상기 내용으로 미루어 보아, 고속 상승 전류가 과도 전자기장에 기여하는 정도는 정전기 방전 발생기의 설계에 따라 크게 좌우된다는 것을 알 수 있다. 이 전자기장 기여는 잘 억제할 수도 있고, 어떤 특정한 발생기에서 과도 전자기장을 지배할 수도 있다. 안타깝게도 이러한 기여는 이 표준에서는 다루지 않는다. 정전기 방전 시험 중에 이상상태 사건은 사용하는 특정 발생기에 따라 크게 달라질 수 있기 때문이다.

D.2 정전기 방전 시험에 대한 피시험기기 반응

정전기 방전 시험 중에 광범위한 전기적 방해에 대한 피시험기기의 응답을 시험한다. 그 범위에는 절연 파괴 전압, 주입점에서 멀리 떨어진 갭에서의 2차 절연파괴, RI 강하를 위한 전류, Ldi/dt 강하를 위한 자기장, 유도 전압을 위한 자기장, 유도 전압을 위한 전기장(계는 원거리장과 근거리장이 모두 될 수 있다) 등이 포함된다. 이런 점에서 정전기 방전 시험은 복수의 시험을 하나로 결합함으로써 전기자기파장해(EMI) 시험과 다르다.

정전기 방전 방해에 의한 피시험기기 고장을 예로 들면 다음과 같다.

- IC 손상을 유발하는 커넥터 PIN으로 방전한다.

이 예에서 IC에서 소모된 에너지, 최대 전류, IC를 통해 전달된 전하는 손상 임계치를 결정할 가능성이 높다.

- IC에 스파크가 도달하게 하는 플라스틱 외함에서 갭을 통해 방전한다.

이 경우에 정전기 방전 시험은 플라스틱 틈을 통해 갭의 절연 내력을 결정한다.

- 샤시로 방전하여 샤시에 포함된 계통이 이상상태가 된다.

이 예에서는 트레이스나 와이어에 결합된 또는 계통의 IC에 직접 결합된 정전기 방전 사건의 과도 전자기장은 계통의 논리 기능을 이상상태로 하는 전압이나 전류를 유발할 가능성이 높다.

정전기 방전 발생기 내의 전류가 전자기장으로 결합하는 방식은 가령 비교적 적당한 거리인

20 cm에서도 전류의 시간 미분에 의해 지배된다. 더구나 전자기장과 피시험기기의 와이어, 트레이스, IC 간의 결합은 전기장과 자기장의 변화율의 함수다. 요약하면, 전자기장 생성과 유도 과정에 모두 관련된 시간 미분은 주입 전류에 기여하며, 이것은 방전 끝에서 전류에 각기 다른 펄스 형상을 만들며, 전자기장에 의한 트레이스에서 각기 다른 유도 전압을 만든다. 트레이스에서의 유도 전압은 대체로 이 표준에서 정의한 초기 정전기 방전 전류보다 훨씬 더 좁은 폭을 가지며 링잉(ringing)을 보일 수도 있다.

과도 전자기장은 특정 정전기 방전 발생기의 설계에 의존하기 때문에(특히 300 MHz 초과 주파수에서 에너지를 갖는 전자기장 성분), 트레이스나 와이어 또는 IC 내에서 유도 전류는 정전기 방전 발생기의 설계에 크게 영향을 받을 것으로 예상하여야 한다. 이것은 각기 다른 정전기 방전 발생기로 동일한 피시험기기를 시험하거나 정전기 방전 발생기 제조자가 계전기 내 고속 전압 붕괴로 인해 생긴 전자기장의 불요 부분을 최소화하는 조치를 취하지 않았다면 시험 결과에 큰 변화를 야기할 수 있다(대부분의 경우에는 파괴가 아닌 시스템 이상상태). 이러한 시험 결과의 차이는 피시험기기이 1 GHz를 초과하는 고주파 전자기장에 민감한 경우에만 발생한다는 것에 주의한다.

D.3 정전기 방전 기준 사건의 과도 전자기장

5 kV 충전 전압에서 약 850 ps의 상승시간을 갖는 인체 금속 정전기 방전의 과도 전자기장을 측정하였다. 이상적인 정전기 방전 발생기라면 5 kV 접촉 모드 시험에서 과도 전자기장을 생성할 것이다. 데이터를 얻기 위해서는 광대역(1.5 MHz에서 1.5 GHz에서 ± 1 dB) 전자기장 센서를 방전점(표적 위치)에서 0.1 m 떨어진 거리에 있는 수직 기준면 위에 놓았다.

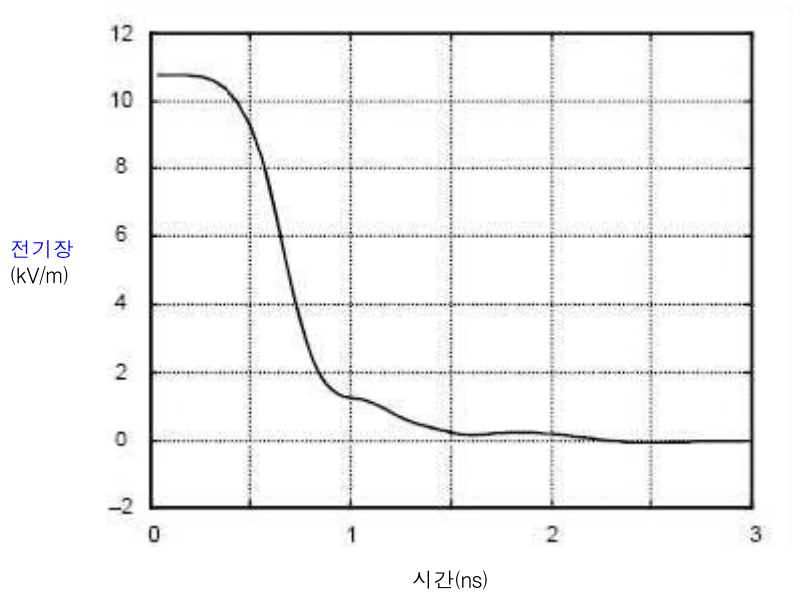


그림 D.1. 아크 길이 0.7 mm에 대하여 0.1 m 거리에서 측정하였을 때 5 kV로 충전된 금속을 잡고 있는 실제 인간의 전기장

정전기장이 전기장을 지배한다. 이 계는 전류 상승 시간과 유사한 하강 시간에 정전값에서부터 초기값의 20 %로 감소한다.

상승 시간이 500 ps인 방전 전류를 토대로 자기장의 예를 그림 D.2에 나타내었다.

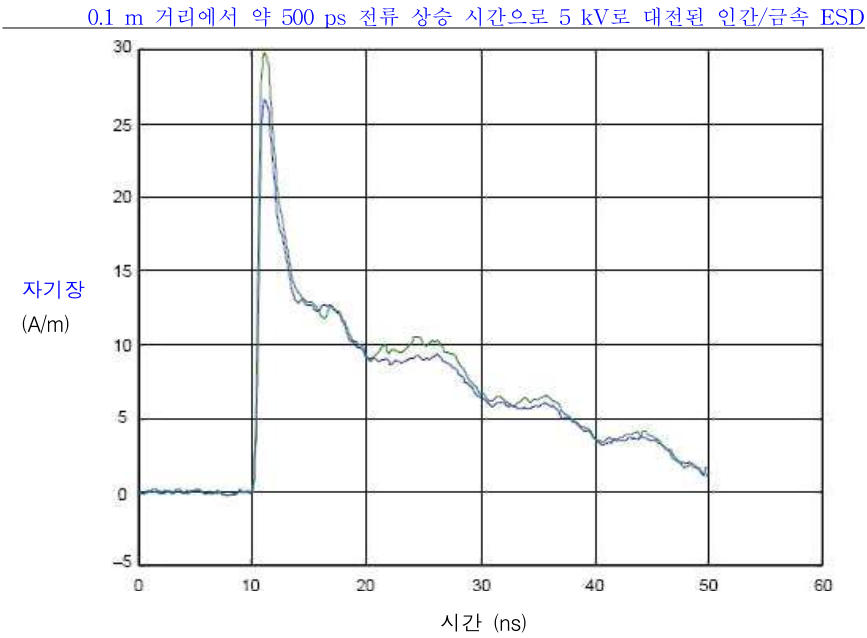


그림 D.2. 아크 길이 약 0.5 mm에 대하여 0.1 m 거리에서 측정하였을 때 5 kV로 방전된 금속을 잡고 있는 실제 인간의 자기장

자기장 파형은 전류 파형을 따른다.

정전기 방전 발생기로부터 생기는 자기장 파형의 문제는 링잉(ringing)이다. 정전기 방전 발생기의 전자기장 값은 인간/금속 전자기장 파형보다 훨씬 적거나 훨씬 클 수 있다. 물론 정전기 방전 발생기와 접지 스트랩이 전자기장 센서를 향하는 각에 따라 크게 달라진다.

D.4 소형 루프에서의 유도 전압

정전기 방전의 과도 전자기장은 PC 기판에서 트레이스에 전압을 유도할 것이다. 접지면 위에 소형루프가 놓여 있다면 과도 전자기장의 고주파 함량의 측정은 교정된 광대역 전기장 센서가 필요하지 않으면서 전기장 측정보다 더 직접적으로 트레이스로의 유도 과정을 반영하는 방식으로 유도할 수 있다. 시험 배치를 그림 D.3에 나타내었다.

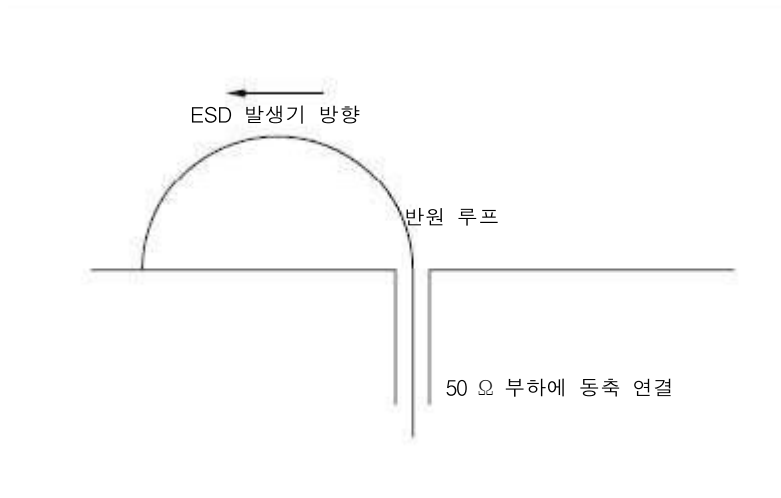


그림 D.3. 접지면 위에 있는 반원 루프

그림 D.3에서 루프 반경은 14 mm이다. 와이어 지름은 0.7 mm이다. 이 루프는 정전기 방전 발생기로부터 0.1 m 떨어진 거리에 놓여 있다.

약 850 ps 상승시간을 갖는 5 kV에서의 인간-금속 정전기 방전의 전형적인 유도 전압을 그림 D.4에 나타내었다.

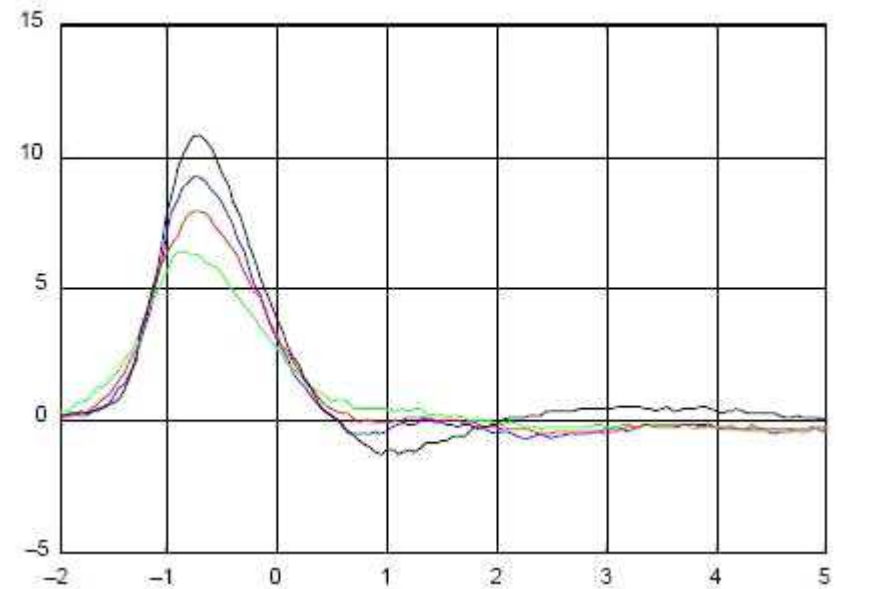


그림 D.4. 반원 루프에 유도된 전압

그림 D.4에서 14 mm의 루프 반경은 인간-금속 정전기 방전에 대해 0.1 m 떨어진 거리에 놓여 있다(5 kV, 상승시간 약 850 ps, 아크 길이 약 800 μ m). 반원 루프에는 50 Ω 부하가 가해져 있다.

D.5 상용 전기장 프로브와 정전기 방전 발생기를 사용하여 정전기 방전에 의한 복사 전자기장 측정

복사 정전기 방전 전자기장을 측정하기 위한 시험 배치의 예를 그림 D.5에 나타내었다.

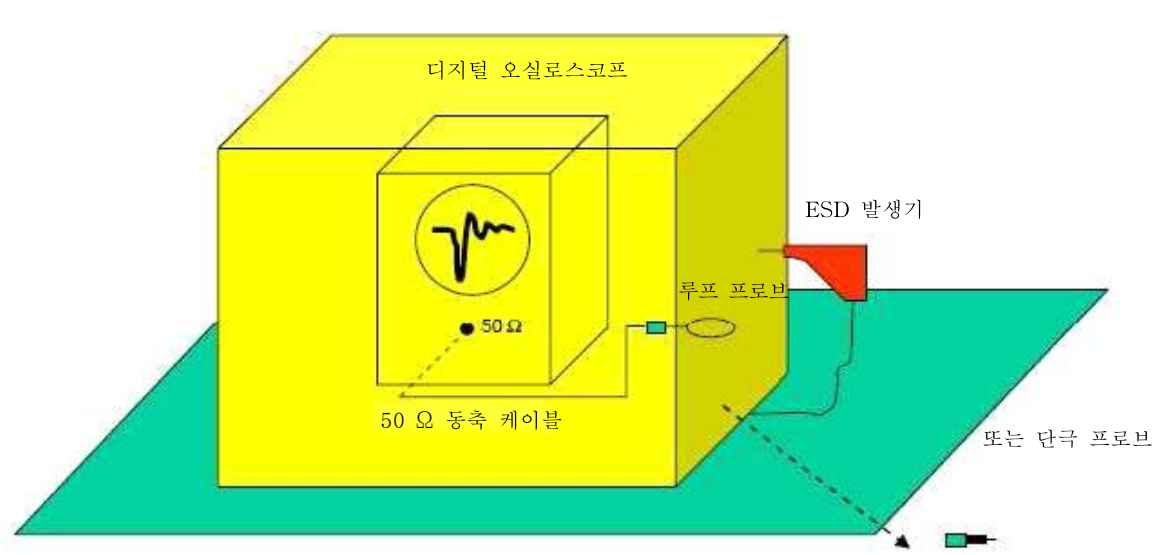


그림 D.5. 복사 정전기 방전 전자기장을 측정하는 시험 배치의 예

전기장(E)와 자기장(H)를 측정하기 위해서는 다음의 지침을 따르는 것이 좋다.

- 대역폭이 적어도 2 GHz인 메모리 디지털 오실로스코프
- 상용 자기장(전기장 제거 차폐체가 있는 소형 루프)와 전기장(소형 단극자) 프로브 세트
- 50 Ω 동축 케이블
- 정전기 방전 발생기

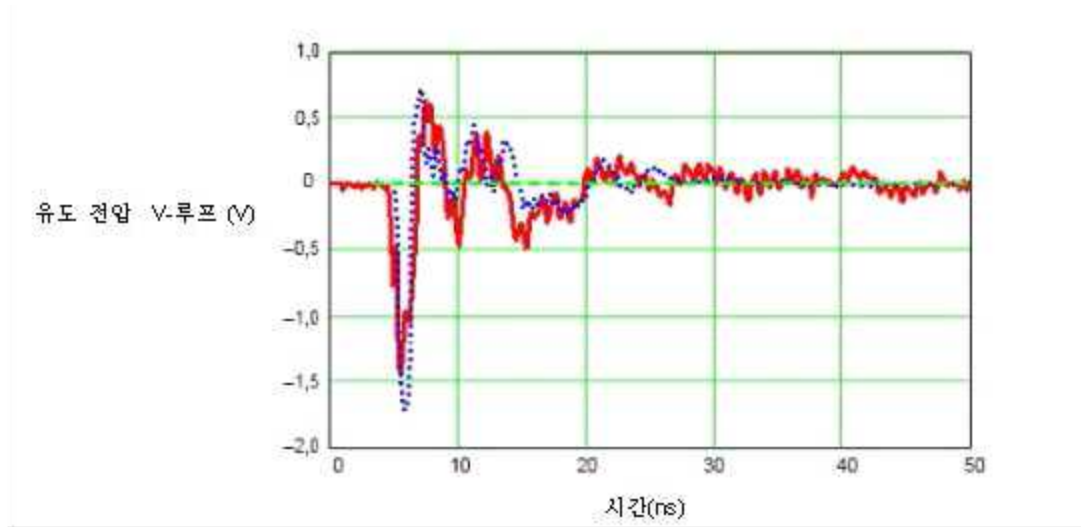
측정 배치(그림 D.5 참조)

- 측정은 차폐실에서 실시하는 것이 좋다(환경이 상당한 장애를 일으키지 않는다면 필요하지 않다).
- 정전기 방전 발생기는 5 kV로 설정하는 것이 좋다.
- 정전기 방전 전류는 정전기 방전 기준 수학적 파형과 비교하기 위해 표준에 보고된 설정값에 따라 측정하는 것이 좋다.
- 디지털 오실로스코프는 차폐 외함 안에 있는 것이 좋다.
- 전기장 프로브는 50 Ω 동축 케이블로 오실로스코프에 연결하여 그림 D.5와 같이 차폐된 박스모서리에 놓는 것이 좋다.
- 동축 케이블은 복사 전자기장의 포착을 방지하는 방식으로 놓는 것이 좋다(가령 동축 케이블을 차폐된 박스에 매우 가깝게 놓고 차폐 케이블을 이 박스에 연결한다).
- 오실로스코프의 50 Ω 임피던스에서의 전압 강하를 측정한다. 정전기 방전은 차폐 외함의 큰 표면에서 접촉모드에 의해 실행되는 것이 좋다.
- 정전기 방전 발생기는 프로브로부터 둘 이상의 거리에서 복사 전자기장을 측정할 수 있도록 옮기는 것이 좋다.

프로브 부하에서 측정한 유도 전압으로부터 전기장(E)와 자기장(H) 산출:

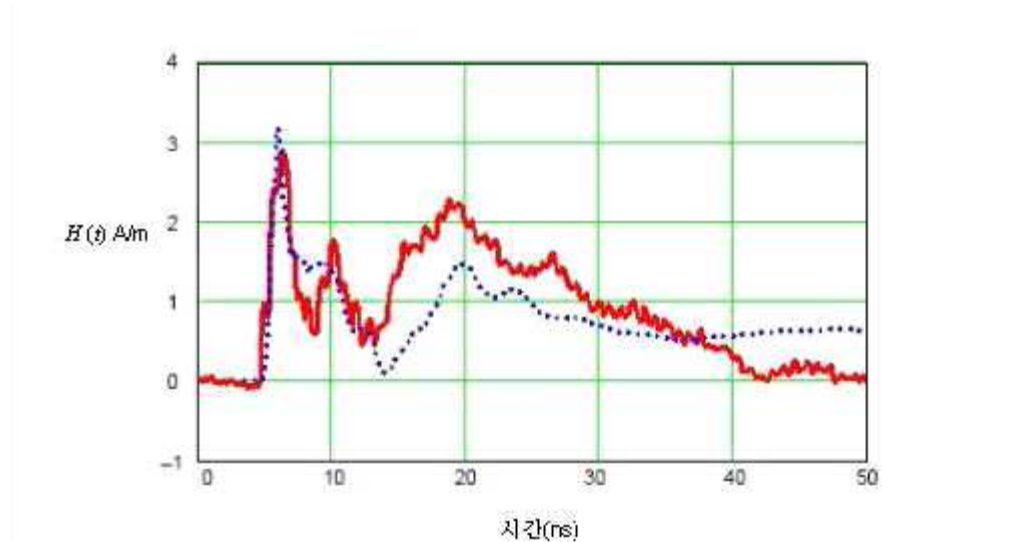
- 정전기 방전 발생기에 의해 생성된 복사 전자기장에 기인하는 50 Ω 부하에서의 전압 강하를 디지털 오실로스코프로 측정한다.
- $V(\omega)$ 를 $v(t)$ 의 푸리에 변환(FT)으로 산출한다.
- 사용한 전기장 프로브에 대한 전달 함수 $T(\omega)$ 를 산출하거나 측정한다.
- $E(t)$ 와 $H(t)$ 를 $V(\omega)/T(\omega)$ 의 역푸리에 변환(IFT)로 산출한다.

일부 결과를 그림 D.6과 D.7에 나타내었다. 수치 시뮬레이션 데이터는 루프에서 측정된 전압 강하 데이터로부터 자기장을 산출하는 절차를 입증하거나 그 반대의 경우에 사용된다.



IEC 2230/08

그림 D.6. 45 cm 떨어진 거리에서 루프에 측정된 전압 강하(실선)와 수치적으로 산출된 전압 강하(점선)의 비교



IEC 2231/08

그림 D.7. 45 cm 떨어진 거리에서 측정된 데이터로 산출한 자기장(실선)과 수치 시뮬레이션으로 산출한 자기장(점선)의 비교

D.6 ESD 발생기에 의해 유도된 복사 전자기장과 전압을 추정하는 간단한 절차

측정된 ESD 전류를 사용하여 ESD 발생기에 의해 복사된 전자기장을 추정할 때는 다음 절차를 사용할 수 있다.

- 끝 레벨에서 표준화된/측정된 ESD 전류를 사용한다.
- 피해 회로는 전기적 길이가 짧고 1차 근사시에 단위 선로 파라미터는 무시할 수 있다고 간주한다.
- 장해 전자기장을 시간 영역에서 알고 있다면 유도 전압은 그림 D.8의 등가회로로 산출할 수 있다.
- 적어도 하나의 낮은 부하 임피던스를 갖는 회로(예: 고속 디지털 소자)에서는 전기장의 기여를 무시할 수 있다.
- 자기장은 간단한 식, $H = I/(2\pi r)$ 로 산출한다. 여기에서 r 은 끝 전류와 피해 회로 사이의 거리다. ESD 계전기의 전류, 변위 전류, 접지 스트랩 등과 같은 그 밖의 기여는 무시한다.
- 추정된(최악의 경우) 결과와 시험 구성장치에서 얻은 실제 결과를 비교하면 그 차를 정량화 할 수 있다(예로 자기장에 대한 그림 D.9를 참조한다).

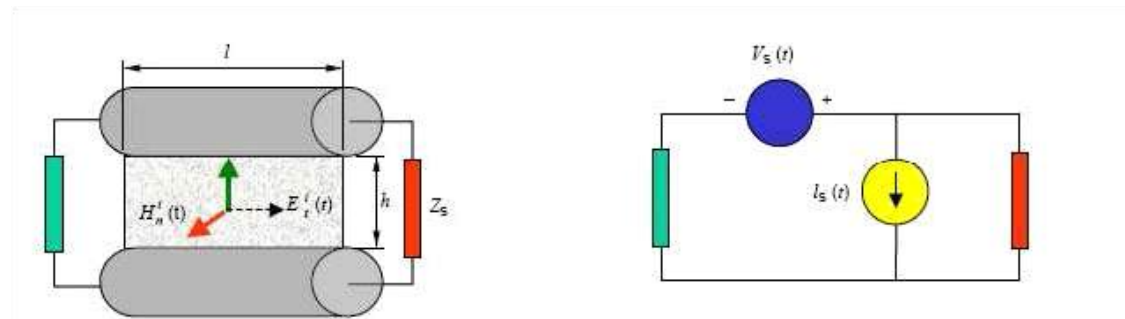


그림 D.8. 복사 전자기장과 등가 회로에 의해 방사된 구조

$$V_s(t) = \mu A \frac{\partial}{\partial t} H_n^i(t)$$

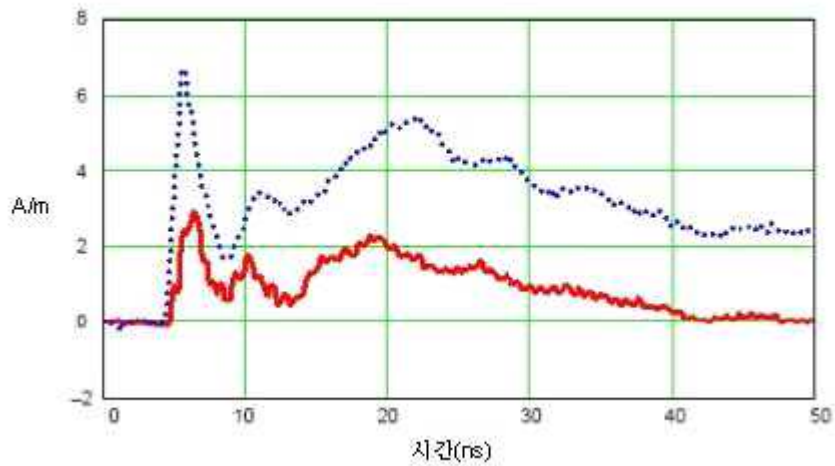
$$I_s(t) = C \times I \times h \frac{\partial}{\partial t} E_t^i(t)$$

여기에서

$A = l/h$

루프 면적

$C =$ 선로 정전용량/미터(m)



IEC 2233/08

$r = 45 \text{ cm}$ 떨어진 거리에서의 복사 자기장

실선 측정된 자기장

점선 $I/(2\pi r)$ 를 이용해 산출된 자기장

I 측정된 ESD 전류

그림 D.9. 복사 자기장

D.7 참고문헌

S. Caniggia, F. Maradei, 자유공간 전기장 센서를 이용한 ESD 복사 전자기장의 수치 예측과 측정, IEEE Trans. on EMC, Vol.49, August 2007.

부록 E
(정보)
측정 불확도(MU) 고찰

E.1 일반사항

EMC 시험의 반복성은 시험 결과에 영향을 미치는 많은 요인이나 영향에 의존한다. 이러한 영향들은 오차를 유발하여 방해량을 발생시킨다. 이 방해량은 무작위 효과나 계통 효과로 분류할 수 있다. 현실화된 방해량이 이 시험방법에서 정의한 방해량에 적합한지의 여부는 대개 일련의 측정(예: 감쇠기를 이용하여 오실로스코프로 상승 시간 측정)으로 확인된다. 각 측정 결과는 측정량 값으로만 근사화되고, 측정된 양은 측정 불확도 때문에 실제 값과 어느 정도 다를 수도 있다. 측정 불확도를 결정하는데 있어 중요한 요소는 시험 계기의 교정과 관련된 불확도이다.

신뢰성이 높은 교정 결과를 얻기 위해서는 측정 계기에 관련된 불확도원을 파악하고 측정 불확도를 진술할 필요가 있다.

E.2 불확도의 범주

측정 오차는 대개 두 개의 성분, 다시 말해 무작위 성분(이후 A형이라 함)과 계통 성분(이후 B형이라 함)을 갖는다. 무작위 불확도는 예측 불가능한 효과와 관련되어 있다. 계통 불확도는 대개 측정에 사용된 계기와 관련되어 있다. 계통 성분은 간혹 보정되거나 감소될 수 있지만, 무작위 성분은 정의에 의해 그럴 수 없다. 주어진 측정 계통 내에서는 이러한 성분들에 영향을 줄 수 있는 효과가 많을 수 있다.

한 시험 방법의 무작위 불확도는 첫 번째 결과를 적

용한 다른 시험 방법에서 계통 불확도가 될 수 있다. 이러한 혼동을 피하기 위해서 계통 불확도와 무작위 불확도 대신에 불확도 기여 유형을 두 범주로 나눈다.

- A형: 일련의 시험에 대한 표준 편차를 추정하는 통계 방법으로 평가한 것. 일반적으로 정규 분포나 가우스 분포를 따른다.

분포	합성 불확도	설명
정규 또는 가우스	$U_c(y) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (u_j - \bar{u})^2}$	대체로 검증 기록으로부터 정보를 얻음

- B형: 다른 방법으로 평가한 것. 대체로 계기의 부정합, 케이블 손실, 비선형 특성 등의 영향과 관련이 있다. B형 불확도의 크기와 분포를 분석할 때는 교정 데이터, 기기 제조자의 사양을 토대로 또는 지식과 경험을 토대로 추정할 수 있다.

A형과 B형으로 분류한 것은 성분의 성질에 차이가 있다는 것을 의미하는 것은 아니며, 성질의 평가를 토대로 구분한다. 이 두 유형은 확률 분포를 가질 수 있으며, 이 두 유형으로 생긴 불확도 성분은 표준 편차로 정량화할 수 있다.

E.3 제한

다음의 제한과 조건을 불확도 고찰에 적용한다.

- 불확도 총괄표는 측정계기로 인한 불확도(B형 불확도)로 제한된다. 하지만 이것이 시험소에서는 A형 불확도의 영향을 무시하는 것이 좋다는 것을 의미하는 것은 아니지만 더 완전한 측정 불확도의 모습을 얻기 위해서는 개별시험소에서 개별적으로 이를 평가하는 것이 바람직하다.
- 모든 기여는 비상관적이라고 가정한다.
- 신뢰 수준 95%는 채택 가능한 것으로 간주한다.

주 B형 불확도 총괄표의 예를 표 E.1, E.2, E.3에 나타내었다.

E.4 B형 불확도의 산출

표준 불확도는 확률 분포에 지정된 인자를 적용하여 결정한 값으로 산출한다.

이 시험방법에서 고찰한 개별 확률 분포에 대한 인자는 다음과 같다.

분 포	인 자	설 명
정규	포함계수, k	95% 신뢰 수준에서 $k = 2$ 대체로 교정 성적서로부터 정보를 얻음
직사각형	$\sqrt{3}$	대체로 계기 제조자의 데이터로부터 정보를 얻음
U자형	$\sqrt{2}$	부정합 불확도 불확도 기여는 한계값에 있을 가능성이 높다.

불확도 분포를 모르는 모든 경우에는 직사각형 분포를 기본 모형으로 간주한다.

어떤 시험에 대한 합성 표준 불확도를 산출하는 것에는 개별 표준 불확도를 결합시키는 것이 포함된다. 이것은 모든 양이 같은 단위이고 상관성이 없으며 로그 눈금(대개 dB)으로 추가하여 결합한다면 유효하다. 그러나 ESD 교정 및 측정 장치는 %로 명시하는 것이 바람직하다. 이를 산출하면 다음과 같다.

$$\frac{\frac{(\text{unit_in_dB})}{10}}{20} \times 100$$

이 산출 결과는 합성 표준 불확도 $u_c(y)$ 이다. 여기에서

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)}$$

이 때 $u_i(y)$ 는 개별 표준 불확도로 정의된다.

스튜던트의 t분포는 출력 변수 y가 정규 분포를 따른다고 가정하여 불확도에 대한 포함 인자(즉, 승수)를 제공한다.

$u_c(y)$ 에 포함 인자(k)를 곱하면 더 큰 신뢰 수준을 제공하는 확장 불확도 U_c 를 얻을 수 있다. 포함 인자는 자유도로 구하고, A형과 B형 불확도 상관관계로부터 산출한다.

E.5 불확도 총괄표의 작성

불확도 총괄표는 확률 분포를 추정하여 측정할 때 가능한 오차원의 목록이다.

불확도 총괄표를 산출할 때는 다음 절차를 따라야 한다.

- a) 방해량(계기에 의해 발생하는 것)의 특성을 규정한다.
- b) 불확도 기여와 그 값을 파악한다.
- c) 각 기여의 확률 분포를 정의한다.
- d) 각 기여에 대한 표준 불확도 $u(x_i)$ 를 산출한다.
- e) 합성 불확도 $u_c(y)$, 포함 인자 k, 확장 불확도 $U_c = u_c(y) \times k$ 를 산출한다.
- f) 확장 불확도를 적용한다.
- g) 필요한 경우 확장 불확도를 품질 문서로 발행한다(발행하도록 요구하지 않는다면 시험소에서 이수치를 발행할 필요는 없다).

기여자를 비롯해 관련 값을 파악한 불확도 총괄표의 예를 E.6에 나타내었다. 이 예들은 단지 지침을 제시하기 위한 것임에 주의한다. 교정소나 시험소는 개별 시험 구성장치에 대한 실제 기여자와 값들을 파악하는 것이 바람직하다(다시 말해 최종 총괄표는 고려해야 할 기여자의 최소 목록을 파악할 수 있다. 그리고 나서 시험소는 추가 기여자를 파악한다. 그렇게 하면 시험소 간의 불확도를 더 잘 비교할 수 있게 된다.

E.6 ESD의 불확도 기여자

ESD 시험뿐만 아니라 ESD 교정에 대한 불확도는 방사와 다른 측정에 대한 것처럼 ESD 시험은 수치 결과를 갖지 않기 때문에 동일한 방법으로 처리할 수 없다. 그러나 시험 결과를 간단하게 합격이나 불합격으로 판정하기 할 것이다. ESD 시험 중에는 몇 가지 파라미터로 특성되어지는 방해량이 피시험기기에 적용되어진다. 하나 이상의 관찰 가능한 피시험기기의 신호는 모니터링 되어지거나 관찰되어지고 시험결과(합격/불합격)를 내기 위해 판단 기준과 비교한다.

주1) 교정의 경우 단어 피시험기기는 교정 대상인 ESD 발생기와 같은 의미다.

주2) 위상 측정 계기는 교정에 사용된 계기를 말한다.

원칙적으로 고전적인 측정 불확도는 피시험기에서 나온 신호 측정에 적용할 수 있다. 모니터링을 위한 측정 과정은 피시험기에 고유하기 때문에, 기본 규격에서는 모니터링 계통(관찰자)에 대한 측정 불확도를 처리할 수 없으며 그렇게 하지 않는 것이 바람직하지만 이를 수행할 수는 있다.

불확도는 방해량 파라미터에 대해 또한 명기되어 질 수 있다. 이와 같이 본 기본 규격의 표준을 가진 특정 기기의 판단 범위를 설명한다.

개별 측정 계기에서 유도된 이러한 불확도들은 기본 표준에 정의된 모의 전자파 현상과 시험소 밖 실제 전자파 현상 간의 일치도를 설명하지 않는다. 그러므로 방해량(예 표적면에 대한 ESD 발생기 위치)의 정의에 관한 의문은 측정 계기 불확도와 관련이 없다.

방해량 파라미터가 피시험기기에 미치는 영향은 사전에 알지 못하며 대부분의 경우에 피시험기기는 비선형 계통 동작양상을 보이기 때문에 방해량에 대한 단일 불확도 번호는 전체 불확도로 정의할 수 없다. 방해량 파라미터는 각각 특정 불확도를 수반하게 되는데, 이로 인해 시험에 대한 둘 이상의 불확도 총괄표를 얻을 수 있다.

주3) 이 부록은 예로서 교정 불확도에 주안점을 두고 있다.

다음 목록은 측정 계기와 시험 구성장치 영향을 평가하는데 사용된 기여자를 열거한 것이다.

- 침투값의 판독
- 10% 레벨의 판독
- 90% 레벨의 판독
- 30 ns와 60 ns에서의 시간 판독
- 저주파 전달 임피던스 Z_{sys}
- 정적 전압
- 부정합 고리 - 오실로스코프
- 표적-감쇠기-케이블 고리
- 오실로스코프 수평 측정 기여
- 오실로스코프 수직 측정 기여
- 측정 계통 반복성(A형)
- ESD 발생기 방향(A형)
- ESD 발생기 위치(A형)
- 시험 구성장치의 변화(A형)
- 표적, 오실로스코프, 감쇠기의 교정

교정과 시험에 적용하는 기여는 같아서 안된다는 것을 인정하여야 한다. 결국 각 과정에 대한 불확도 총괄표는(약간) 달라지게 된다.

ESD건 방향과 같은 측면은 A형 불확도인 것으로 간주하고 본 기본 규격에서는 이러한 불확도는 일반적으로 다루지 않는다. 측정 및 교정에 대한 측정 계통 반복성을 설명하기 위해 이 규칙에 대한 예외를 만들었다.

E.7 교정 결과의 불확도

각 교정 항목(I_p , I_{30} , I_{60} , tr)에 대한 독립적 불확도 총괄표를 생성하는 것이 바람직하다. ESD 시험의 경우 방해량은 피시험기기에 적용된 ESD 발생기에서 나온 방전 전류다. 이 방해량의 교정 항목은 I_p , I_{30} , I_{60} , tr 이다. E.6에서 설명한 바와 같이 독립적 불확도 총괄표는 이러한 파라미터들 각각에 대해 산출하여야 한다..

표 E.1, E.2, E.3는 이러한 파라미터들에 대해 산출된 불확도 총괄표의 예를 나타낸 것이다. 이 표는 이러한 예에서 가장 중요한 것으로 여겨지는 불확도 총괄표 기여자와 각 기여자의 세부사항(수치값, 분포 유형, 등) 그리고 각 불확도 총괄표를 결정하는데 필요한 산출 결과가 포함되어 있다.

표 E.1. ESD 상승시간 교정을 위한 불확도 총괄표의 예

기여자	분포	값 ps	ui(y) ps	ui(y) ² Ps2	설명
첨두값의 판독	정규 k = 2	50	25	625	첨두값 6.2 %%(표 E.2)의 불확도 x 측정된 상승 시간 800 ps
90% 첨두 전류에 의한 시간의 판독	직사각형 인자 = $\sqrt{3}$	25	14	196	20 GS/s 오실로스코프 샘플링 속도
10% 첨두 전류에 의한 시간의 판독	직사각형 인자 = $\sqrt{3}$	25	14	196	20 GS/s 오실로스코프 샘플링 속도
총 오실로스코프 수평측정기여(주1)	정규 k = 2	36	18	324	오실로스코프의 교정시험소로부터 얻은 것
표적-감쇠기-케이블 고리	정규 k = 2	30	15	225	오실로스코프의 교정시험소로부터 얻은 것(주2)
반복성	정규 인자 = 1	45	45	2 025	A형 평가에서 얻은 것(주3)
			합	3 591	
상승시간에 대한 합성 표준 불확도uc			근	60 ps	
상승 시간에 대한 확장불확도 U	정규 k = 2	120 ps (15%)			신뢰 수준 95 %

주1) 오실로스코프 총 수평 측정 기여에는 오실로스코프 수평 분해능, 보간 분해능, 시간축 분해능, 주파수 측정, 상승시간 보정 등의 불확도 기여가 포함되어 있다.

주2) 이 고리에 대한 교정 성적서는 종종 감쇠에 대한 주파수 응답만 포함된다. 여기서 상승시간 측정에 대한 불확도 기여를 교정시험소에서 제공한 것으로 가정하였다. 따라서 k = 2이다.

주3) 반복성은 적어도 5개의 연속 측정으로부터 얻는다. 이것은 A형 평가이며 n 반복 측정에 대한 표준 편차 s(q) 공식은 다음으로 주어진다.

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

여기에서 qj는 j번째 측정 결과이고, q는 결과의 산술 평균이다.

표 E.2. ESD 침두 전류 교정에 대한 측정 불확도의 예

기여자	분포	값 %	$u_i(y)$ %	$u_i(y)^2$ % ²	설명
오실로스코프 총 수직 측정 기여(주1)	정규 $k = 2$	3.2	1.6	2.56	교정시험소로부터 얻은 것
표적-감쇠기-케이블 고리	정규 $k = 2$	3.6	1.8	3.24	교정시험소로부터 얻은 것
부정합: 오실로스코프에 대한 고리	U자형 인자 = $\sqrt{2}$	2	1.4	2	교정 또는 표준으로부터 얻은 것(주2)
저주파 전달 임피던스	정규 $k = 2$	6×10^{-6}	3×10^{-6}	9×10^{-12}	내부 교정(주3)
반복성	인자 = 1	1.5	1.5	2.25	A형 평가에서 얻은 것(주4)
			합	10.05	
침두 전류에 대한 합성 표준불확도 u_c			근	3.17	
침두 전류의 확장불확도 U	$k = 2$	6.3 %			신뢰 수준 95 %

주1) 오실로스코프 총 수직 측정 기여에는 오실로스코프 수직 분해능, LF 선형성, HF 선형성, 오프셋 분해능 등이 포함되어 있다. 이 교정은 전체 주파수 범위($f \leq 2$ GHz)를 포함하여야 한다. 하지만 그 평탄도는 $f_c = 2$ GHz(차단주파수)를 갖는 1차 필터의 것보다 더 좋지 않아야 한다. (수식) $A(f) \sim 1 + (f/f_c)^2$

주2) 부정합 기여의 원인은 표적-감쇠기-케이블 고리의 출력 반사 계수 Γ_C 와 오실로스코프의 입력 반사 계수 Γ_O 이다. 이들은 교정 성적서나 표준으로부터 얻는 것이 바람직하다. Γ 에서 오차의 2차 기여 때문에 신뢰할 수 있는 표준이면 충분하다. 하지만 표준은 전체 주파수 범위를 포함하여야 하며, 오실로스코프에는 종종 해당하지 않는다. 왜냐하면 추가 측정이 필요할 수도 있기 때문이다.

부정합 기여는 $\Gamma_C \times \Gamma_O$ 이다. U자형 분포일 때 인자는 $\sqrt{2}$ 가 된다

이 부정합 불확도 공식은 오실로스코프의 진폭 응답을 무선 주파수 교정 개념에 따라서 교정하였다고 가정한다. 즉, 전압 오차는 50 %전원의 입사 전압을 기준으로 하며 입력에서의 실제 전압을 기준으로 하지 않는다. 이것은 증명서에서 검증하는 것이 바람직하며, 그렇지 않을 때는 다른 공식을 적용하여야 한다.

주3) 시험소는 개별 교정 지침을 갖고 있다고 가정한다. 불확도 평가에서는 이 교정의 확장 불확도 U를 산출한다.

주4) 반복성은 적어도 5개의 연속 측정으로부터 얻는다. 이것은 A형 평가이며 n 반복 측정에 대한 표준 편차 $s(\bar{q})$ 공식은 다음으로 주어진다.

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

여기에서 q_j 는 j번째 측정 결과이고, \bar{q} 는 결과의 산술 평균이다.

표 E.3. ESD I30, I60 교정에 대한 불확도 총괄표의 예

기여자	분포	값 %	$u_i(y)$ %	$u_i(y)^2$ % ²	설명
표 E.2	정규 $k = 2$	6.3	3.15	9.92	첨두 전류의 불확도(E.2)
30 ns 와 60 ns 에서의 시간 판독	직사각형 $k = \sqrt{3}$	0.17	0.098	0.0096	10% 첨두 전류값과 30 ns 또는 60 ns 사이의 시간 간격에서 측정하는 경우 30 ns 또는 60 ns에서 전류 판독값의 민감도 20 GS/s 오실로스코프 샘플링 속도(두 판독값은 각각 50 ps 불확도를 갖는다)
			합	9.93	
uc			근	3.15 %	
I ₃₀ 과 I ₆₀ 에서의 확장 불확도 U	정규 $k = 2$	6.3 %			신뢰 수준 95 %

제품 위원회나 인정기관에서는 다른 해석을 부여할 수도 있다.

E.8 ESD 발생기 적합 기준에 불확도의 적용

일반적으로, 발생기가 그 사양 내에 있도록 보장하기 위해서는 교정 결과는 이 시험방법의 규정 한계값 내에 있는 것이 바람직하다(허용차는 측정 불확도에 의해 감소되지 않는다).

교정을 수행하는 시험소에 대해서는 다음의 측정 불확도를 권고한다.

상승시간 t_r	$MU \leq 15 \%$
첨두 전류 I_p	$MU \leq 7 \%$
30 ns에서의 전류	$MU \leq 7 \%$
60 ns에서의 전류	$MU \leq 7 \%$

부록 F (정보)

시험 결과의 변화와 단계적 확대 방법

F.1 시험 결과의 변화

ESD의 복잡한 성질과 시험 장비의 필요한 허용차 때문에 ESD 시험 결과는 약간 변할 수 있을 것이라 예상할 수 있다. 종종 이러한 변화는 오차가 발생하는 시험 레벨의 차이이거나 시험 중에 피시험기기이 경험하는 오차의 유형이 된다. 오차가 발생하는 시험 레벨에 따라 이러한 시험 결과의 변화는 피시험기기이 시험에 합격/불합격하는지의 여부를 결정하는데 영향을 미칠 수 있다.

시험 결과의 차이인 경우에는 다음 절차에 따라서 그 차이의 원인을 결정하는 것이 좋다.

- 시험 구성장치를 검증하라. 각 케이블과 피시험기기 상태(예: 덮개, 도어 등) 등 모든 세 부사항을 조사한다.
- 피시험기기 동작 모드, 보조장비의 위치, 운영자 위치, 소프트웨어 상태, 피시험기기에 방전 적용 등 시험 절차를 검증하라.
- 시험 발생기가 올바르게 동작하는지, 마지막 교정일은 언제인지, 제품사양 내에서 작동하는지, 시험 결과 차이의 원인이 각기 다른 발생기를 사용하였기 때문인지를 검증하라.

시험 결과의 차이가 각기 다른 ESD 발생기를 사용하여 발생하였다면 6.2의 요구사항을 충족하는 발생기로 얻은 시험 결과를 이 시험방법과의 적합 여부 판정에 사용할 수 있다.

F.2 단계적 확대 방법

ESD 발생기를 포함한 시험의 모든 조건이 동일할 때 시험 결과의 차이가 발생하였다면 이 규격과의 적합 여부 판정에 다음의 단계적 확대 방법을 적용할 수 있다. 이 방법은 변할 수 있는 시험 결과에 대해 수행한 각 시험 지점에 개별적으로 적용한다.

- a) 첫 번째 시험은 의도하는 시험 레벨로 8.3에 따라(예: 50회 방전) 시험 지점에 정해진 방전 횟수를 적용한다. 만약 첫 번째 일련의 방전에서 허용할 수 없는 결과가 발생하지 않는다면 그 시험 지점에 대한 시험은 합격이다. 만약 이 일련의 방전에서 허용할 수 없는 한 번의 결과가 발생한다면, 다음 사항 b)에 따라서 추가 시험을 실시한다. 만약 이 일련의 방전에서 허용할 수 없는 1회 초과 결과 발생한다면 피시험기기는 그 시험 지점에서 시험에 불합격한 것이다

- b) 두 번째 시험은 의도하는 시험 레벨로 시험 지점에 2배 방전 횟수로 새로운 일련 시험을 적용한다. 만약 이 일련의 방전에서 허용할 수 없는 결과가 발생하지 않는다면

피시험기기는 그 시험 지점과 시험 레벨에 합격한 것이다. 만약 이 일련의 방전에서 허용할 수 없는 한번의 결과가 발생하면 다음 사항 c)에 따라서 추가 시험을 실시한다. 그렇지 않다면 피시험기기는 그 시험 지점에서 시험에 불합격한 것이다. 만약 일련의 방전에서 1회 초과의 허용할 수 없는 결과가 발생한다면, 피시험기기는 그 시험 지점에서의 시험에 불합격한 것이다.

c) 세 번째 시험은 의도하는 시험 레벨로 그 시험 지점에 사항 b)에서와 동일한 새로운 방전횟수로 새로운 일련의 시험을 적용한다. 만약 이 일련의 방전에서 허용할 수 없는 결과가 발생하지 않는다면 피시험기기는 그 시험 지점에서의 시험에 합격한 것이다. 만약 이 일련의 방전에서 허용할 수 없는 결과가 1회나 이상 발생한다면 피시험기기는 그 시험 지점에서의 시험에 불합격한 것이다.