

고전압 기중방전을 갖는 정전 방전장치의 전자기 영향

김명석, 오준식, 한규환, 박종화
LS산전주식회사 전력시험기술센터

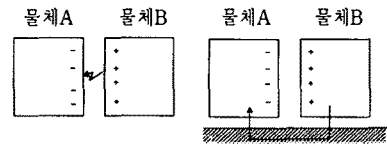
The effect of electromagnetic of the electrostatic discharge device with the high-voltage air discharge

Myoung-Seok Kim, Joon-Sick Oh, Gyu-Hwan Han, Jong-Hwa Park
LS Industrial Systems Co., Ltd.

Abstract - 고전압 방전시험 장치는 국제전기기술위원회 규격(IEC 61000-4-2)에서 규정하고 있는 콘덴서 방식을 사용하며, 매우 짧은 시간에 방전함으로써 펄스 형태의 방전전류가 통전된다. 이러한 정전기적인 방전에 의해 전자기기에 고장을 발생시키며 이를 검증하는 방법으로 정전기 내성 시험법이 있다. 본 논문에서는 첫째로 방전장치가 발생하는 잠음 전계량을 측정하였고, 둘째로 방전장치를 시험시료에 근접하는 방법에 따른 시험시료에 미치는 영향을 실험을 통해 검증하였고, 셋째로 근접방법에 따른 정전유도 현상이 시험시료에 미치는 영향을 실험적으로 검증하였다. 이러한 세 가지 현상을 바탕으로 시험시료가 고전압 방전장치를 근접 방전하여 방전을 유발시켰을 때의 전자파의 영향에 내성을 갖고 있는지를 검증하는 새로운 시험방법을 제안하였다.

는 것으로 최대 전하량이 제한된다. 일반적으로 표면 전하밀도는 $2.7 \times 10^{-5} \text{ C/m}^2$ 이하가 된다. 둘째로 전기전도에 의한 것으로 대전량이 시간과 더불어 식 1과 같이 대수적으로 감소한다. 이때의 시정수 $\tau(s)$ 는 C와 R의 곱이 되며, 대전 물체가 절연물질 경우 거의 같으나 절연체의 체적 저항률과 비유전율에 따라 완화 시정수는 차이가 있다.

$$Q = Q_0 \cdot \exp\left(\frac{t}{\tau}\right) \quad \tau = C \cdot R \quad (1)$$

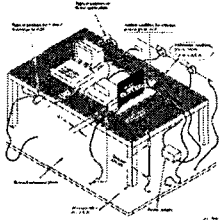


a)기중 전도에 의한 완화 b)전기전도에 의한 완화

<그림 2> 정전기의 완화

1. 서 론

축적된 정전하의 방전은 짧은 시간(수 ns) 큰 에너지를 갖는 전자파 장해를 발생시켜 인접한 전자기기의 집적회로(IC)의 파손, 회로단선, 절연과괴, 저장 데이터의 손실 등 전자기기의 성능 및 기능에 영향을 주어 오동작, 오표시 등과 같은 고장이 나타난다. 이와 같이 전자기기가 충전된 정전하의 방전으로부터 내성을 검증하는 시험 방법을 정전기 방전 내성시험이라고 한다. 정전기 방전 내성시험은 정전기를 인가하는 방법에 따라 직접방전 시험법과 간접방전 시험법으로 구분한다. 직접방전 시험법은 대상이 되는 시험시료에 대하여 고압의 정전기 방전장치를 시험시료의 표면에 직접 정전하를 방전하는 방법이며, 간접방전 시험법은 그림 1과 같이 알루미늄(Al)이나 동(Cu)판인 도전체를 시험시료의 바닥에 놓고 방전시키는 시험법으로 도전체를 수평 결합판(horizontal coupling plan)이라하며, 도전체를 시험시료와 일정거리(10 cm)를 이격시키고 방전을 수직으로 설치된 도전체에 인가하는 시험법으로 도체를 수직 결합판(vertical coupling plan)이라 한다. 또한 직접방전 시험법에는 기중방전(air discharge)과 접촉방전(contact discharge)법이 있다. 본 논문에서는 정전기 방전 내성시험의 직접 방전시험법에서 기중 방전을 인가하기 위해 고전압 방전장치를 근접하는 방법에 대하여 규격 상의 불명확한 부분이 있고, 시험시료에 실질적으로 나타나는 현상이 상이하여 이러한 현상이 발생하는 원인을 규명하기 위해 각 조건에서의 잠음 전계량을 측정하였고 근접방전 시에 방전장치의 전자파 영향을 실험을 통하여 정리하고자 한다.



<그림 1> 간접방전 시험법의 수직 결합판과 수평 결합판

2. 본 론

2.1 전달 경로

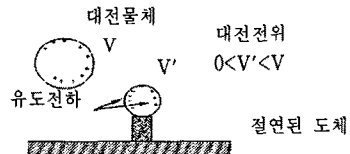
정전하의 방전에 의한 에너지의 경로는 크게 4가지로 구분할 수 있다. 첫째 전원 또는 제어선에 직접 전도되는 경로, 둘째 시험품의 금속성 표면에 통전되면서 2차 방전으로 회로에 전도되는 경로, 셋째 용량성 결합에 의해 전도되는 경로, 넷째 방전으로 발생된 자계에 의해 유도되는 유도성 결합에 의한 경로가 있다. 고압 방전장치의 근접방법은 에너지 전달경로가 발생되기 직전과 직후의 과도적인 현상을 설명할 필요가 있다.

2.1.1 정전기의 완화

정전기의 대전은 물체 상에 축적하는 것으로 대전한 전하량은 물체에 발생한 정전기량에서 대전이 완화된 시점까지 완화된 양을 뺀 나머지의 양이 된다. 정전기의 완화현상은 그림 2와 같이 크게 두 가지 과정이 있으며, 첫째로 기중에서의 방전에 의한 완화로 공기의 절연과괴에 의하여 일어나

2.1.2 정전유도에 의한 대전

대전 물체가 절연된 도체(정전기에 대한 체적 저항률이 $10^4 \Omega\text{m}$ 정도 이하로 인체도 포함된다)에 그림 3과 같이 정전유도 현상에 의하여 전하의 이동이 생기면서 전위가 상승한다. 결과적으로 정전기가 대전한 상태와 등가이고 대전물체와 같이 정전기에 의한 고장이 발생한다. 따라서 방전장치에 의해 대전된 전하는 시험품 표면에 근접하는 경우 유도전하에 의해 정전유도 현상이 발생하여 이로 인한 시험품의 오동작, 오표시가 나타날 수 있다.



<그림 3> 정전유도 현상

2.2 방전에 의한 전자기 영향 분석 절차

- 기중 방전장치의 근접방법에 따른 영향을 분석하기 위한 순서로,
- (1) 시험규격에서 규정하고 있는 내용을 정리하였고,
 - (2) 제형의 영향을 분석하기 위해 다른 회로로 구성된 제품에 근접 방전법을 사용하여 나타난 현상을 정리하였고,
 - (3) 방전장치 및 방전장치의 방전 스위치 동작에 따른 전자파 영향을 측정 및 분석하였다.

2.2.1 시험규격

(1) 정전기 내성시험 규격인 IEC 61000-4-2의 기중방전의 정의는 정전기 방전 발생기의 충전된 전극을 시험시료에 근접시킨 상태에서 시험시료에 스파크(spark)에 의한 방전이 이루어지는 시험법으로 시험절차는 방전 전극의 원형방전 끝은 기계적인 손상이 없이 시험시료와 맞닿기 위해 "가능한 빨리 근접"해야 한다. 각각의 방전 후에 정전기 방전 발생기(방전전극)는 시험시료로부터 제거되어야 한다. 이후에 발생기는 새로운 단일 방전을 위해 재충전되어야 한다. 이런 과정이 방전이 끝날 때까지 계속되어야 한다.

기중 방전에 있어 방전 Tip을 시료에 기계적 손상이 발생하지 않도록 가능한 빠르게 근접하여야 한다. 이러한 시험은 주의 깊게 접근할 가치가 없으며 엄격하고 실질적인 필요가 있다. 시험의 유효성과 재현성의 2가지 인자와 관계가 있다.

측정물에 가까이 있는 물체에 대한 방전의 측정과정은 정확하게 정의되어 있지는 않으나, 공간 방전 측정법은 플라스틱 케이스를 무선 주파수(Radiated frequency) 차폐를 한 물체의 경우에는 매우 유용하다. 또한 공간 방전에 의하여 생성된 펄스는 측정Tip의 접근 속도와 방향에 크게 영향을

받는다. 그러므로 정확하게 측정하기 위해서 측정 Tip에 보상회로를 첨가하여 사용하여야 한다.
공간 방전 측정법의 문제점을 보완하기 위해서 접촉방전 측정법을 이용한다.

2.2.2 시험시료에 미치는 영향

시험시료는 전자회로와 집적회로를 내장하고 있으며 데이터를 저장 전송하는 기능을 갖는 전자기기로 시험시료의 전면 LCD부는 절연체로 ESD 기중 방전이 적용되며, 근접 방식에 따라 다른 현상이 발생하여 기중방전을 위한 전극 Tip 근접 방법을 분리하여 방식 1, 2에 대한 각각의 시험결과를 비교하였다. 이 때, 시험전압은 ± 15 kV를 인가하였다.

- (1) 근접방식 1: 방전 스위치를 On하고 10 cm 높이에서 가능한 빠르게 접근한다.
- (2) 근접방식 2: LCD 전면 바로 위 5~10 mm에서 ESD 기중 방전Tip을 접근하면서 방전 스위치 On함.

시험시료에 대한 현상은 표 1과 같다. EMC 내성시험의 성능평가 기준은 A, B, C로 구분하며, 기준 A는 시험 중이거나 시험 종료 후에도 시험품의 사양에서 정한 성능을 유지하는 상태. 기준 B는 시험 중에는 기기의 성능이 떨어지나 시험 종료 후 정상적으로 동작하는 상태. 기준 C는 시험 중에는 기기의 성능이 떨어지나 시험 종료 후 전원 개폐 또는 재시동 등에 의해 정상적으로 복원되는 상태로 성능평가를 구분한다.

<표 1> 근접방식에 따른 시험결과(성능평가 기준)

시험시료 구분	#1	#2	#3	비고
근접방식 1	A	A	A	IEC 61000-4-2
근접방식 2	A	B	C	입의규격
시험결과 특기사항	-	LCD Display error	LCD CPU Initialization	표시부에 고장 발생됨

2.2.3 방전장치의 스위치 동작에 따른 영향

정전기나 서지와 같은 충격성 노이즈는 전자기기 내부에서 유입하여 부품을 파괴시키거나, 오동작을 발생시킨다. 이러한 노이즈의 방출은 방전 스위치로 개시가 되므로 방전 스위치의 무선 주파수 잡음 전계량을 측정하였다. 측정법은 CISPR 11 규격을 적용하였고, 3 m법을 사용하였다. 측정의 주목적은 방전 스위치가 동작 시 발생하는 전계량을 측정하여 비교한 결과 차이가 없었다.

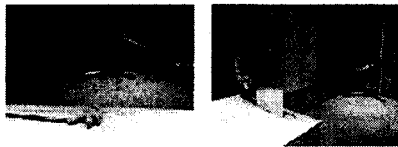
2.3 방전장치의 영향

2.3.1 방전장치의 전자계 측정

정전기 방전이 발생하면 전극사이에 시변전류에 의한 전자기장이 공간을 통하여 전파된다. 이러한 현상의 개시는 방전장치의 스위치를 동작하였을 경우에 발생되므로 수직 결합판을 이용하여 전류파에 대한 잡음전력과 대기 중 방전시의 스위치 동작에 대한 잡음 전계를 측정하였다.

(1) 잡음전계 측정방법

1) 방전장치 자체가 발생하고 있는 잡음 전계량을 그림 4 (a)와 같이 측정하였다.



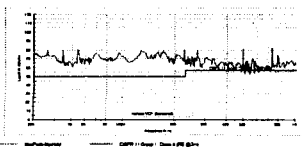
(a) 방전장치 자체 잡음전계 측정 (b) 간접방전 잡음전계 측정
<그림 4> 잡음전계 측정

2) 기중 방전하기 위해 방전장치의 방전 스위치를 On을 1초 간격으로 방전할 경우 발생하는 잡음 전계를 안테나의 지향방향을 수평, 수직으로 방전장치로부터 3 m 거리에서 측정하였다.

3) 수직 결합판을 설치하고, 고전압 방전장치로 간접 방전 시 발생하는 잡음 전계를 안테나의 지향방향을 수평, 수직으로 방전장치로부터 3 m 거리에서 그림 4 (b)와 같이 측정하였다.

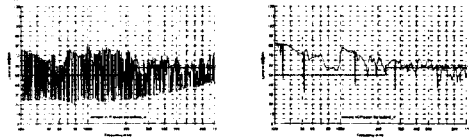
(2) 잡음 전계 측정결과 데이터

1) 방전장치 자체의 잡음전계
잡음 전계량은 그림 5와 같이 CISPR 11(산업, 과학, 의료(ISM)-용 기기의 전자자기장해 및 측정 한계값)을 기준하면 기준값을 초과한 잡음이 발생하는 것으로 나타났으며, 대기 중 방전장치의 방전스위치와 동시에 작동시켰을 때의 잡음전계를 측정하여 그림 6과 같이 나타났다.



<그림 5> 방전장치 자체 잡음전계 측정결과

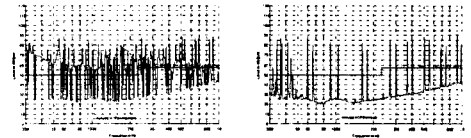
2) 방전장치의 기중방전 잡음전계



(a) 안테나: 수평 (b) 안테나: 수직
<그림 6> 방전장치의 기중방전 잡음전계 측정결과

3) 방전장치의 간접방전 잡음전계

방전장치에서 방전전하는 수직 결합판을 통하여 대지로 방전되므로 자체를 형성하며, 이에 대한 전계량을 측정할 필요가 있다. 그림 7은 안테나를 수직 및 수평으로 간접시험방법을 적용하여 잡음 전계값을 측정하였다.



(a) 안테나: 수평 (b) 안테나: 수직
<그림 7> 방전장치의 간접방전 잡음전계 측정결과

2.3.2 방전장치 측정결과 분석

고압 방전장치의 기중방전을 위해 방전 스위치를 동작시켰을 경우, 기중 방전 전후 잡음전계는 차이가 없었으며(측정값 80 dBμV/m 이상), 이를 비교하면 잡음 전계량의 차이는 없는 것으로 나타났다. 즉 대기 중 고압 방전전압에 의한 잡음은 무시할 수 있다. 따라서 규격에서 가능한 빠르게 근접을 규정하고 있는 것은 대기 중 체류하는 시간을 단축하여 설정된 시험전압이 대기 중 방전되는 것을 최소화하기 위한 방법으로 제시된 것으로 볼 수 있다.

대기 중 방전시의 잡음 전계값, 자체 잡음 전계값과 수직 결합판에 의한 잡음전계는 10 dBμV/m 이상(측정값 최대 90 dBμV/m 이상) 차이가 발생되었다. 이는 대기 중에 체류하는 동안의 잡음 전계량에 대한 영향은 없으며, 방전이 개시되어 전도되는 동안 잡음전계가 발생하는 것으로 나타났다.

3. 결 론

(1) 기중 방전극의 근접방식에 따라 3가지의 시험시료를 비교한 결과, 규격 상의 가능한 빠르게 근접한 경우(근접방식 1)는 양호(성능구분 A)한 결과로 나타났다. 절연체 상단에 접한 상태에서 방전한 경우(근접방식 2: 접 근거리 최대 거리 5 mm 이내) 시험품별 상이한 현상이 나타났다. 시험품별 회로, 절연거리, 유도현상이 동일하지 않으므로 상이한 결과로 나타났고 제품의 성능을 평가하는 요소로 선정할 수 있다. 따라서 근접방식 간에 차이가 있으며, 근접거리를 규정할 필요가 있다.

(2) 기중방전을 위한 시험방법 중 시험설비의 방전 스위치에 대한 영향을 실험을 통해 확인하였으며, 측정결과 데이터에서 방전 스위치의 영향은 없었으며, 간접방전에 의한 잡음전계는 방전전하가 접지를 통해 방전되어 이때의 잡음전계가 약 10 dBμV/m 로 증가되는 결과가 나타났다. 따라서 기중 방전으로 방전스위치를 동작하는 것이 직접적인 영향은 아닌 것으로 나타났다.

(3) 방전장치의 영향을 극소화하고, 시험규격에 충실하기 위해서는 방전 장치에 의한 유도전하가 발생되지 않는 설비를 구비할 필요가 있다.

(4) 제품의 초기 설계 성능을 평가하기 위한 요소 및 제품의 신뢰성 향상을 위한 기중방전 시험방법에 대한 시험법으로 제품 근접방전 방식을 적용 및 검토할 필요가 있다.

향후 과제로 고압 방전 시 고려할 사항으로 측정 불확도 관점에서 온도, 습도, 기압, 시험시료 형상 및 오염 등과 같이 주위 환경적 영향에 민감하여 재현성이 낮은 단점이 있어 직접인가 시험법을 유효한 교정방법으로 사용하고 있으나 간접인가 방법에 대한 단점을 보완한 시험법의 정립이 필요하다.

【참 고 문 헌】

- [1] 김기재, 김동일, 명노훈, 박동철, 이영훈, "전자파환경공학", 대영사, pp89-94, 2001
- [2] Henry W.Ott, "Noise reduction techniques in electronic system", Jone Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed., pp322-331, 1988
- [3] IEC 61000-4-2, "Electromagnetic compatibility(EMC): Testing and measurement techniques-Electrostatic discharge immunity test", 2001.
- [4] CISPR 11, "Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment-Electromagnetic disturbance characteristics-Limits and methods of measurement", 1999
- [5] IEEE Std. 62.47, "IEEE Guide on electrostatic discharge(ESD):Characterization of the ESD environment, pp17-34, 1992