

정전기 방전에 의해 발생하는 전압 파형의 특성

이복희, 이태룡, 이경옥, 김승지
 인하대학교 전자·전기·컴퓨터 공학부

Characteristics of the Voltage Waveforms Caused by Electrostatic Discharges

B.H. Lee, T.R. Lee, K.O. Lee, S.J. Kim
 Inha University

Abstract - With the rapid development of electronics industry and information-oriented society, the threat of fields radiated from electrostatic discharges (ESDs) to the electronic equipments is becoming more and more dangerous. To apply a proper protection method this paper presents the results of the measurement of the voltage and current peaks and the rise time of ESD derived from a charged human body under a variety of experimental conditions.

1. 서 론

컴퓨터를 비롯한 전자기기는 고속성, 신뢰성, 경제성 등을 향상시킬 목적으로 점점 더 초소형화·저전력화 추세에 있으며, 이는 소자들의 내전압 특성을 저하시켜 적은 양의 전압과 전류에도 쉽게 파괴되는 결과를 가져왔다. 최근 정보통신 산업의 발전으로 인해 우리 주변 전자기기에 이런 집적화된 반도체 소자들이 많이 쓰이고 있으며, 이는 대전된 사람과 전자기기의 접촉시 발생하는 정전기 방전에 의해 파손 또는 장애가 발생할 확률이 그 만큼 많아지게 됨을 의미한다.

본 논문에서는 정전기 방전을 해석하기 위해 전압과 전류 파형을 동시에 측정할 수 있는 센서를 제안하였고, 이를 바탕으로 인체에서 흔히 발생하는 정전기 방전현상에 대한 전반적인 해석과 효과적인 보호대책을 마련할 목적으로 실제로 발생빈도가 높은 인간의 행동조건을 모의해서 정전기 방전시에 발생하는 전압과 전류 파형을 측정하고, 그들 파형의 특성을 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 측정 장치

정전기 방전에 의해 발생하는 고속펄스와 고주파성분의 전압과 전류를 동시에 측정할 수 있는 장치의 단면도를 그림 1에 나타내었다. 급속성 파도 고전압이나 고주파 성분을 포함하는 전압은 진행파로서 작용하므로 이를 정확하게 측정하기 위해서는 이러한 피측정 전압의 고주파 성분 검출에 적합하게 설계된 센서가 필요하다. 수 ns 이하의 급상승 시간을 갖는 펄스파의 전장이 입사되면 감지 전극과 집지전극 사이에는 진행파의 반사작용이 발생한다. 이러한 진행파 현상은 센서의 응답도와 특성을 저하시키므로 센서의 감지전극과 동축케이블의 접속점 사이를 그림 1에 나타낸 바와 같이 원추형 동축구조의 센서를 사용, 임피던스 정합을 이루도록 하여 해결하였다.

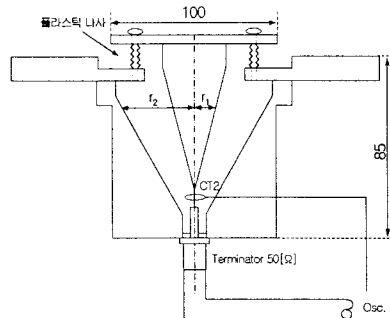


그림 1 ESD에 의한 전압과 전류 측정장치의 단면도
 Fig. 1 Cross-sectional view of the detection device of the voltage and current induced by ESDs

2.2 실험 조건

우리 일상생활공간의 주변에서 흔히 일어나는 정전기 방전 현상시 발생하는 전압과 전류 파형을 측정하기 위하여 아래와 같은 여러 가지 조건을 모의한 실험을 통해 다양한 결과를 얻었다.

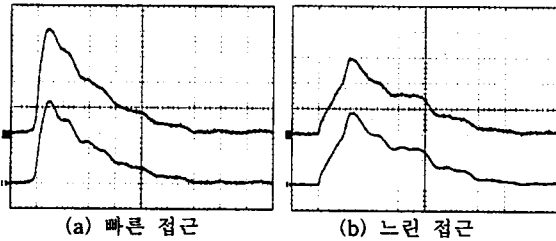
- (1) 옷의 재질 : 정전기가 가장 많이 발생하는 겨울에 흔히 입는 털옷, 나일론, 모직, 면
- (2) 바닥 재질 : 절연바닥(스티로폼), 장판, 비닐, 카펫트, 절연의자
- (3) 접근 속도 : 대전물체의 센서로의 접근 속도 차이
- (4) 바닥과의 접촉(착용상태) : 구두, 운동화
- (5) 상대습도 : 습할 때(상대습도 60%)와 건조할 때(상대습도 40%)
- (6) 인체에 닿은 물체 : 손에 쥔 물체가 (흔히 사용하느) 절연 손잡이 드라이버, 열쇠, 금속펜

3. 실험 결과 및 검토

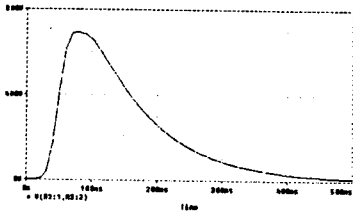
본 연구에서 설계·제작한 측정장치를 여러 가지 조건에서 실제 인체를 통하는 정전기 방전에 의해서 발생한 전압과 전류의 측정에 적용한 실험 결과중 대표적인 파형과 정전기 방전이 일어날 때의 등가회로를 적용하여 PSPICE 시뮬레이션한 결과를 그림 2~5에 나타내었다. 그림 2는 인체에 대전된 상태에서 검출전극에 맨손을 접촉시켰을 때 발생하는 정전기 방전현상에 대한 대표적인 전압과 전류 파형이며, 그림 3과 4는 각각 사람이 금속열쇠와 금속펜을 쥔 상태에서 금속열쇠 또는 금속펜이 검출전극에 접촉했을 때 발생하는 정전기 방전현상에 대한 대표적인 전압과 전류 파형이다. 같은 금속을 두 가지로 나누어 실험을 한 이유는 대전된 물체 끝단의 형상에 따른 결과를 비교하기 위함이다. 그리고 그림 5

는 절연손잡이가 있는 드라이버와 측정계 사이에 발생하는 전압과 전류 파형이다. 각 그림에서 대전된 물체가 측정장치로 빠르게 접근을 할 때가 느리게 접근할 때와 비교해서 가파른 초기 급증성 단펄스를 갖으며 상승시간이 짧은 특성을 보여 구분하였다.

마지막으로 정전기 방전현상으로 발생한 전압 파형의 결과를 피크전압과 상승시간의 파라미터로 나누어 통계적으로 분석한 결과를 그림 6에 나타내었다. 측정은 각각 30~50회씩 이루어졌으며, 수치들은 이를 평균낸 값이고, 각각의 전류와 전위 상승은 피크 값을 취하였다. 그리고 바닥 재질 중 절연의자 항목은 절연의자에서 일어나는 동작을 할 경우 발생하는 전압과 전류 파형을 분석한 결과이다. 검출전극에의 접근속도에 따라 다소 다르기는 하지만 맨손으로 접촉하는 경우를 제외하고는 상승시간이 5ns 이하였으며, 대부분이 1ns 정도의 급상승하는 단펄스성의 정전기 방전전압이 발생하였다. 또한 맨손으로 검출전극을 접촉하는 경우의 상승시간은 10~30ns 정도였으며, 상승시간의 증가와 더불어 전압의 피크값은 작은, 역비례의 관계를 나타내었다.



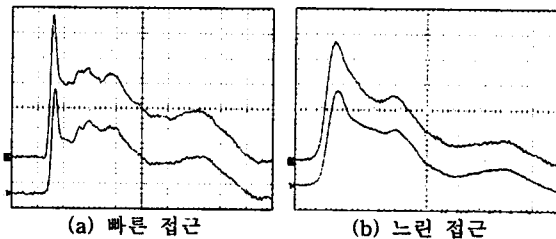
아래 전압파형 : 320 V/div, 50ns/div
 위 전류파형 : 5 A/div, 50ns/div
 바닥재질 : 절연재, 운동화 착용



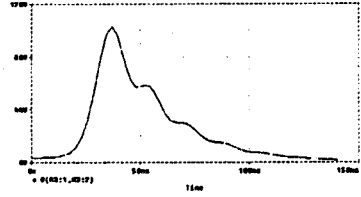
(c) 시뮬레이션 결과

그림 2. 인체에 의한 직접 방전시에 발생한 전압과 전류 파형

Fig. 2 Waveforms of the voltage and current resulting from direct finger ESDs



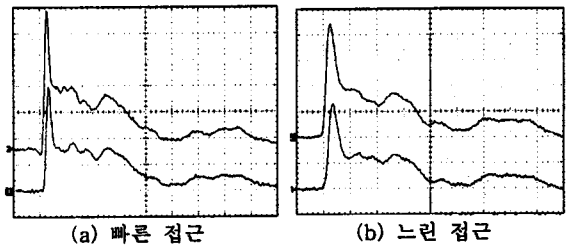
아래 전압파형 : 320 V/div, 10ns/div
 위 전류파형 : 5 A/div, 10ns/div
 바닥재질 : 장판, 운동화 착용



(c) 시뮬레이션 결과

그림 3. 손에 잡은 열쇠에 의한 방전시에 발생하는 전압과 전류 파형

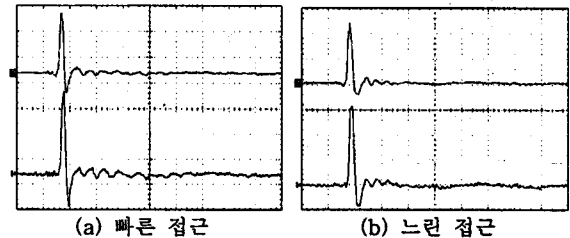
Fig. 3 Waveforms of the voltage and current resulting from direct hand/metal-key ESDs



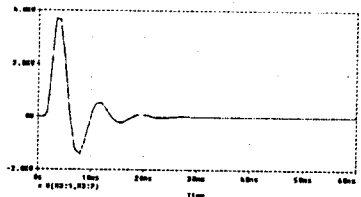
아래 전압파형 : 320 V/div, 10ns/div
 위 전류파형 : 5 A/div, 10ns/div
 바닥재질 : 장판, 운동화 착용

그림 4. 손에 잡은 금속펜에 의한 방전시에 발생하는 전압과 전류 파형

Fig. 4 Waveforms of the voltage and current resulting from direct hand/metal-pen ESDs



아래 전압파형 : 640 V/div, 10ns/div
 위 전류파형 : 20 A/div, 10ns/div
 바닥재질 : 절연재, 운동화 착용



(c) 시뮬레이션 결과

그림 5. 절연손잡이가 있는 드라이버에 의한 방전시에 발생하는 전압과 전류 파형

Fig. 5 Waveforms of the voltage and current resulting from screwdriver with insulated handle ESDs

4. 결 론

여러 가지 실험조건에서 측정된 결과를 분석하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 사람이 입고 있는 옷의 재질이나 습도는 전압 전류 파형의 피크값에만 영향을 미칠 뿐 파형의 형태는 거의 변동이 없다. 같은 조건일 때 60% 습도에서 전압, 전류의 피크 값이 40% 습도에서의 값보다 70% 정도의 감소를 보였다.

(2) 전압, 전류의 피크값은 바닥이 절연물일 때가 가장 컸고, 절연의자, 장판 또는 비닐바닥 순으로 크기가 감소하였다. 털옷과 모직, 털옷과 나일론 또는 이들의 조합으로 옷을 입었을 때 전압, 전류 피크값의 크기가 가장 컸고 털과 면, 모직과 면일 때 30% 정도의 감소를 보였다.

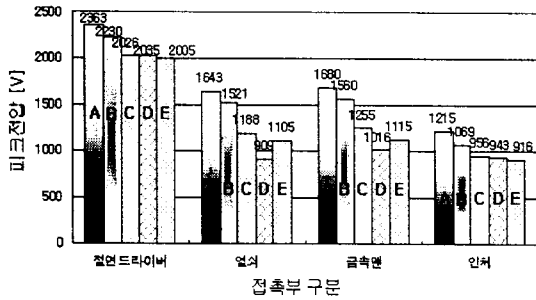
(3) 열쇠의 경우 측정장치로의 접근속도가 빠를 경우, 느린 접근속도에 비해 급준성의 초기 펄스를 나타내었고, 뾰족한 금속인 금속펜의 경우 측정장치로 느리게 접근시킬 때도 상승시간이 평균 3ns 정도 느려지긴 했지만 초기 펄스를 가졌다. 그리고 구두를 착용한 상태에서 절연이 잘 되지 않는 조건인 비닐장판이나 콘크리트 바닥에서 방전이 일어날 경우 전체 에너지 양은 적었지만 지속시간이 2~4 ns 정도의 짧은 급준성 초기 펄스형태를 나타냈다.

(4) 정전기 방전의 전압과 전류의 피크값은 진동성 파형의 특징을 나타낸 절연 손잡이를 갖는 드라이버 방전일 때가 가장 컸으며, 비슷한 값을 갖는 열쇠와 금속펜 그리고 인체방전 순으로 그 크기가 감소하였다. 그리고 상승시간은 절연 손잡이 드라이버와 금속펜이 구두를 착용하였을 때를 제외하고 1ns 정도 값으로 비슷하였으며 열쇠, 인체방전 순으로 증가하였다.

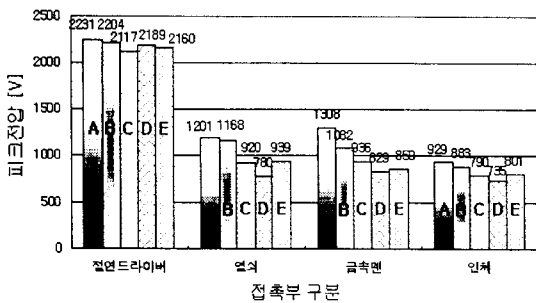
향후 이 결과를 바탕으로 데이터에 나타난 상승시간에 효과적으로 동작하고 피크전압을 적당히 차단할 수 있는 ESD 보호회로에 관한 연구를 계속 할 예정이다.

(참 고 문 헌)

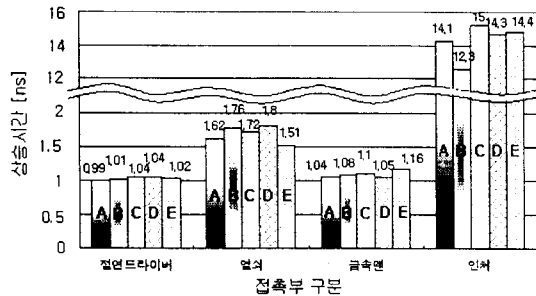
- [1] James E. Vinson, Juin J. Liou, "Electrostatic Discharge in Semiconductor Devices", Proceeding of the IEEE, Vol. 86, pp.399~420, 1998.
- [2] Owen J. Mcatter, Electrostatic Discharge Control, McGraw-Hill, pp.169~202, 1990.
- [3] 이복희, 유인선, 이태룡, "정전기 방전에 의해 발생하는 전압파형의 새로운 측정장치", 01 대한전기학회 방전고전압 연구회 춘계학술대회 논문집, pp.186~188, 2001
- [4] Wilson, P.F., Ma, M.T. "Fields radiated by electrostatic discharges", IEEE Trans., Vol. EMC-33, No.1, pp.10 ~18, 1999.



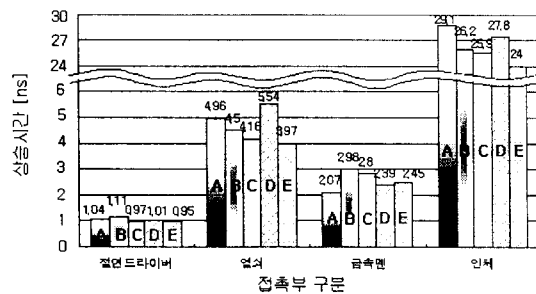
(a) 접근속도가 빠를 때의 피크전압 (운동화)



(b) 접근속도가 느릴 때의 피크전압 (운동화)



(c) 접근속도가 빠를 때의 상승시간 (운동화)



(d) 접근속도가 느릴 때의 상승시간 (운동화)

A : 절연재 B : 카펫 C : 장판 및 비닐바닥
D : 절연의자 E : 콘크리트 바닥

그림 6. 바닥재질과 손에 권 물체 따른 피크전압과 상승시간의 분포(습도 40%, 털옷과 모직옷 기준)
Fig. 6 Histograms of the peak value of voltage and the rise time according to floor state and object in hand