

인체에 대전된 정전기 방전에 의해 발생한 급속과도전압의 측정

(Measurements of Fast Transient Voltages due to Human Electrostatic Discharges)

이복희* · 이동문 · 강성만 · 엄주홍 · 이태룡 · 이승철

(Bok-Hee Lee · Dong-Moon Lee · Sung-Man Kang · Ju-Hong Eom · Tae-Ryong Lee · Seung-Chil Lee)

요 약

본 논문은 인체에 대전된 정전기 방전전압 파형의 측정과 특성 분석에 관한 것으로 정전기 급속과도전압 측정기의 동작원리와 설계기법에 대하여 기술하였다. 여러 가지 실험조건에서 인체에 대전된 전하에 의해 발생한 정전기 방전전압의 피크값과 상승시간을 분석하였다. 제안된 전압측정계의 주파수대역은 DC-400[MHz]이다. 각 실험조건에서 정전기 방전전압과 전류의 파형은 거의 비슷하였으며, 크기도 비례적 관계를 나타내었다. 빠른 접근일 때가 느린 접근일 때 보다 빠른 초기상승시간의 정전기방전전압이 나타났다. 인체에 의한 직접 방전전압은 비교적 초기상승시간이 10~30[ns]로 길었으나, 크기는 작았다. 반면에 손에 쥔 금속체를 통한 방전전압은 1~3[ns]의 짧은 상승시간을 가지며 피크값은 매우 크게 나타났다. 결국 정전기 방전전압과 전류 파형은 정전기 방전을 일으키는 접촉 물체와 접근속도에 깊은 관계가 있음을 알았으며, 본 연구의 결과는 정전기 장해방지장치의 설계를 위한 기초자료로 활용될 것이다.

Abstract

This paper presents the measurements and evaluation of voltage waveforms due to human electrostatic discharge(ESD). The principle of operation and design rule of a new device for measuring the ESD fast transient voltages with very fast rise time were described. Peak values and rise time of ESD voltages derived from a charged human body under a variety of experimental conditions were examined. The frequency bandwidth of the proposed voltage measuring system ranges from DC to 400[MHz]. The ESD voltage waveform is nearly equal to the ESD current waveform and the peak amplitude of ESD current waveform is roughly proportional to the ESD voltage in each experimental conditions. A rapid approach results in a discharge voltage with a faster initial rise time than for a slow approach. The voltages caused by direct finger ESDs have an initial slope with a relatively long, 10~30[ns] rise time, but the amplitude is small. On the other hand, the voltages caused by direct hand/metal ESDs have a steep initial slope with 1~3[ns] rise time, but an initial spike is very big. As a consequence, it was found that the ESD voltage and current waveforms strongly depend on the approach speed and material of intruder. These measurement results would be useful to design the ESD protective devices.

Key Words : Electrostatic discharge(ESD), Charged human body, ESD voltage waveform, Voltage measuring system,

* 주저자 : 인하대학교 전자전기공학부 교수
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr

접수일자 : 2002년 5월 10일

1차심사 : 2002년 5월 15일

심사완료 : 2002년 6월 10일

1. 서 론

최근 전자·정보통신 산업의 발전으로 인해 집적화된 반도체 소자들이 많이 쓰이고 있으며, 인체에 대

전된 정전기 방전(electrostatic discharge: ESD)에 의해 전자기기의 파손 또는 오동작 등의 장애가 증가하였다. 대전된 물체에 전자 부품의 금속(IC의 핀)이 근접하게 되면 정전유도가 일어난다. 대전된 물체가 가까이 접근하거나 멀어질 때 유도된 전하가 방전을 일으키는 현상이 일어나, 또 취약한 IC는 정전유도현상만으로도 파괴되는 경우도 있다. 집적회로의 사용과 고밀도 기억 소자를 주축으로 제작된 전자·정보화 기기의 정전기 방전에 의한 파손은 기기 자체의 소손에 의한 손실과 이에 부수하는 막대한 2차적인 경제적 손실을 가져오게 한다[1-4].

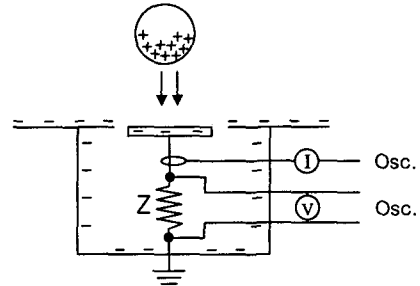
따라서 정전기 방전의 특성을 정확히 파악하고, 이에 대한 효과적인 보호기술 적용은 컴퓨터 및 정보·통신기기 이용의 신뢰도 향상에 있어서 매우 중요하며 심층적인 연구가 필요하다. 그러나 이제까지 연구의 대부분은 정전기 방전시 등가모델을 제작하기 위해 방전전류 파형에만 주로 초점이 맞춰졌거나, 정전기 방전이 발생할 때 방사되는 전자파에 의한 통신선의 잡음 혹은 전자기기의 오동작에 초점을 두고, 대전된 전하를 임의의 물체로 방전시킨 후 전장의 변화를 간접적으로 측정하는 방법이 주를 이루어 왔다[5].

본 연구에서는 인체에서 흔히 발생하는 정전기 방전현상에 대한 특성의 분석과 효과적인 보호대책에 필요한 기초자료를 얻기 위한 목적으로 정전기 방전에 의해서 발생하는 전압과 전류의 파형을 정확하게 측정할 수 있는 고주파 검출용 전압센서를 제안하였다. 실제의 일상 생활에서 발생빈도가 높은 인간의 행동조건을 모의해서 바닥재질의 절연상태, 접촉물체의 종류와 접근속도 등 여러 가지 실험조건에서 정전기 방전전압과 전류 파형을 측정하고, 피크값과 상승시간 등의 파라미터를 통계적으로 분석하였다.

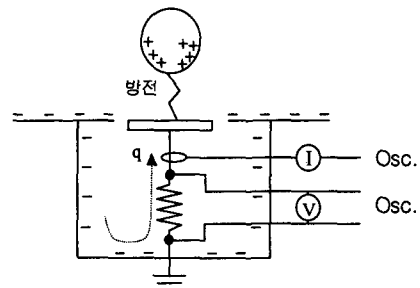
2. 실험장치 및 방법

2.1 측정원리

대전된 전하가 방전되는 동안 이동하는 모든 전하가 검출임피던스 Z 를 통해 흐르도록 하는 구조로 센서를 설계하는 것이 가장 바람직하다. 그림 1에는 대전된 물체를 검출전극에 접근시켜 방전이 일어날 때 전하의 이동과정을 나타내었다.



(a) 방전이 일어나기 전(접근시)



(b) 방전이 일어나는 순간

그림 1. 정전기 방전의 전압검출

Fig. 1. The voltage detection of electrostatic discharges

대전된 물체를 검출전극에 접근시키면 정전유도작용에 의해서 검출전극에는 반대 극성의 전하가 모이고 보다 가까이 접근하면 절연과파괴가 일어나 도전성을 갖게 되어 방전이 일어나는데 이 방전은 수십~수백 ns의 아주 짧은 시간 동안 지속된다. 이 때 내측 도체의 전하가 먼저 소멸되며, 내측 도체의 전하는 0이 되고 검출임피던스 Z 때문에 빠져나가지 못한 전하에 의해 전위차가 발생한다. 이 값이 정전기 방전전압 파형에서 초기 피크값과 상승시간을 결정하고 시간이 지나 전하가 서서히 빠져나가며 방전이 끝나게 된다[6].

2.2 측정장치

급상승 시간을 갖는 펄스파의 전장이 입사되면 검출전극과 접지전극 사이에는 진행파의 반사작용 또는 굴절현상이 발생한다. 이러한 진행파 현상은 센서의 응답특성을 저하시키며, 주파수대역이 센서의 기하학적 크기에 의하여 제한되는 문제점을 특성임피

인체에 대전된 정전기 방전에 의해 발생한 급속과도전압의 측정

던스가 균일한 신호전송로를 구성하여 극소화시키기 위해서 센서를 그림 2와 같이 원추형 동축구조로 하였다[7,8].

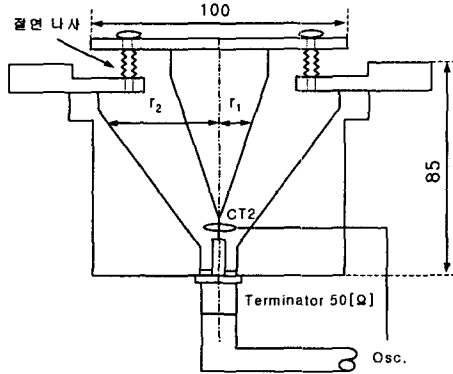


그림 2. 정전기 방전전압 측정용 센서의 단면도
Fig. 2. Cross-sectional view of the sensor for detecting ESDs voltages

검출전극과 연결된 내측 도체의 반경(r_1), 외측도체의 반경(r_2)인 동축부분의 특성임피던스는 식 (1)로 표현되며, ϵ_s 는 센서의 전극사이 매질의 비유전율이다[9].

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_s}} \times \log_{10} \frac{r_2}{r_1} \quad (1)$$

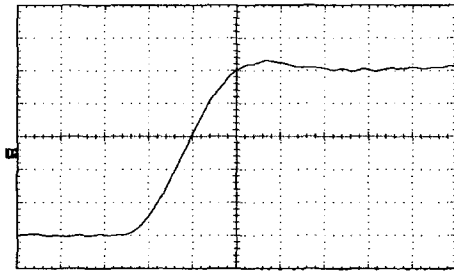
r_1 과 r_2 의 비가 정해지면 특성임피던스는 일정하게 유지된다. 따라서 센서를 공기중에서 사용할 때 ϵ_s 는 약 1이며, 동축부분의 특성임피던스를 오실로스코프의 입력임피던스 $50[\Omega]$ 으로 정합시키기 위해 r_1/r_2 의 값이 2.302가 되도록 설계하였다. 또한 정전기 방전시 전하의 이동에 의한 전류를 측정하기 위해 고주파용 변류기(CT-2)를 내측 도체의 하단부에 설치하였다.

2.3 측정장치의 응답특성

전압측정기의 단위계단응답특성을 측정하기 위해서 인가한 직각파 전압의 파형을 그림 3에 나타내었으며, 상승시간은 $3.5[\text{ns}]$ 이다. 측정계의 직각파 응답의 순수상승시간은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다[8].

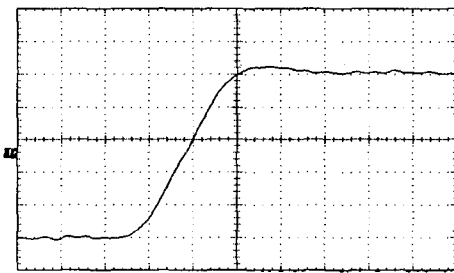
$$T_r = \sqrt{T_{r2}^2 - T_{r1}^2} \quad (2)$$

여기서 T_r 은 측정계 최종단의 순수상승시간 [ns], T_{r1} 은 입력전압의 상승시간 [ns], T_{r2} 는 센서를 포함한 측정기기 응답의 상승시간이다.



[2 ns / div]

그림 3. 입력전압의 파형
Fig. 3. Waveform of the input voltage



[2 ns / div]

그림 4. 측정계의 계단응답파형
Fig. 4. Step response waveform of the measuring system

또한 전압측정계의 주파수대역폭과 직각파 응답의 상승시간사이의 관계는 식 (3)과 같이 표현된다[8].

$$B_w \cdot T_r = 350 \quad (3)$$

B_w 는 주파수대역폭 [MHz]이고, T_r 은 센서응답의 순수상승시간 [ns]이다. 그림 3의 입력전압에 대한 측정계의 응답 파형을 그림 4에 나타내었으며, 상승시간은 약 $3.6[\text{ns}]$ 이다. 따라서 식 (2)을 적용하여 센서의 순수응답의 상승시간을 산출하면 $0.84[\text{ns}]$ 이므로 주파수대역폭은 약 $400[\text{MHz}]$ 이다. 본 전압측정계의 직

류 전압에 대한 응답 파형은 시간의 경과에 따라 거의 감쇠하지 않았으므로 주파수대역은 DC-400MHz이다.

2.4 실험조건 및 방법

일상의 활동으로 인체에 발생하는 정전기 방전전압과 전류 파형을 측정하기 위하여 아래와 같은 여러 가지 조건에서 실험하였다.

(1) 바닥 재질 : 스티로폼, 카펫트, 비닐장판, 콘크리트

(2) 상대습도 : 40[%]

(3) 손과 검출전극의 접촉방법 : 손의 직접 접촉, 손에 절연손잡이 드라이버 또는 열쇠를 쥔 상태의 접촉.

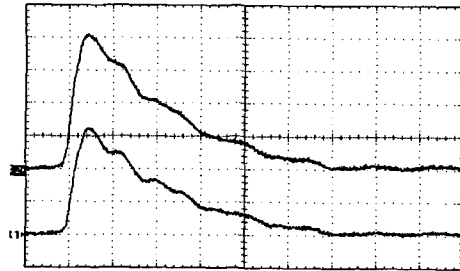
정전기가 비교적 잘 발생하는 털옷, 나일론, 모직 등의 옷을 입은 상태에서 운동화를 신고 움직인 후 인체와 의복사이의 마찰에 의해 대전된 전하를 측정계에 방전시켜 전압·전류 파형을 측정하였다. 전류 파형은 전압 파형의 측정결과의 정확도를 확인하기 위하여 측정한 것이며, 전류 파형은 전압 파형과 거의 동일하므로 파라미터의 분석은 전압 파형에 대하여만 수행하였다. 각각의 실험조건에서 30회씩 정전기 방전전압과 전류 파형을 측정하고, 정전기 방전전압의 피크값과 상승시간을 통계적으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

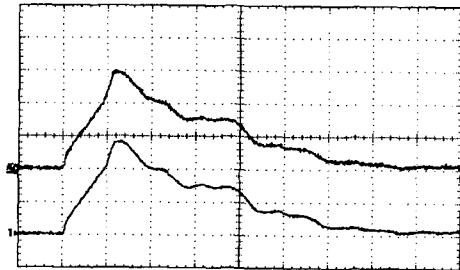
3.1 손을 통한 직접 방전

일상 생활동안에 인체에 대전된 정전기가 인체의 손을 통하여 직접 방전된 경우의 대표적인 방전전압과 전류 파형을 그림 5에 나타내었다. 인체는 고유저항이 큰 절연체는 아니지만 절연성이 우수한 신발, 절연재 바닥에 의해 대지와 전기적으로 연결되어 있지 않으면 대지로부터 얼마나 잘 절연되어 있는가에 따라 충전되는 전하량이 결정되는 커패시턴스성분으로 볼 수 있다. 대전전하량은 인체의 접촉부 상태 즉, 신발의 재질, 바닥재질 그리고 손에 쥔 물체등에 따라 달라진다[10,11]. 커패시턴스만을 고려한 정전기 방전시 전하의 흐름을 그림 6에 나타내었다. C_1 과 C_2 는 인체와 대지사이의 정전용량, C_3 는 기기와 대지사이의 정전용량, C_4 는 인체와 기기사이 그리고 C_4 는 손과 기기사이의 정전용량을 나타낸다. 하지만 실제의 정전

기 방전에서는 인체의 피부 전기저항과 인덕턴스성분이 있고 대지와 접촉하거나 접지된 기기에는 접지저항은 작지만 인덕턴스가 존재하므로 이들의 영향이 나타나게 된다.



위 전류파형 : 5 A/div, 50 ns/div
아래 전압파형 : 320 V/div, 50 ns/div
(a) 빠른 접근



위 전류파형 : 5 A/div, 50 ns/div
아래 전압파형 : 320 V/div, 50 ns/div
(b) 느린 접근

그림 5. 손을 통한 직접 접촉에 의해 발생한 방전 전압과 전류 파형

Fig. 5. Typical waveforms of the voltage and current due to direct finger ESDs

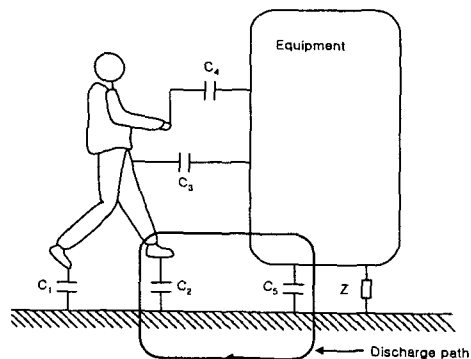
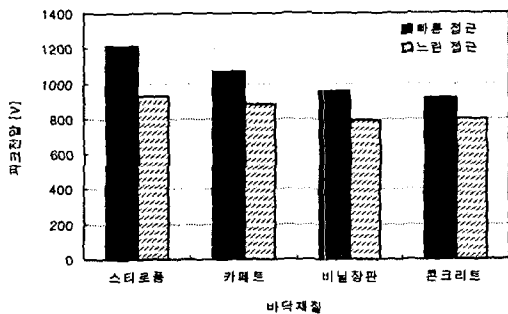


그림 6. 커패시턴스 성분만을 고려한 정전기 방전 의 경로

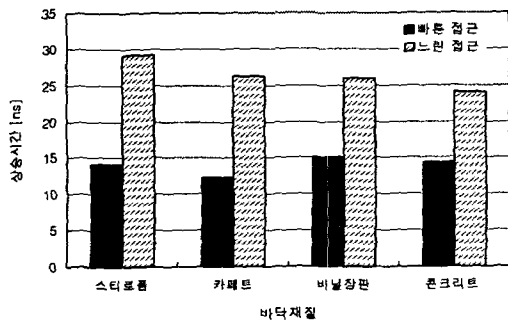
Fig. 6. Discharge path of ESD considering the capacitive component only

인체에 대전된 정전기 방전에 의해 발생한 급속과도전압의 측정

정전기 방전전압 파형의 결과를 피크값과 상승시간의 파라미터로 나누어 통계적으로 분석하였으며, 각 실험조건에서 30회씩 측정된 평균값을 그림 7에 나타내었으며, 방전전압의 크기는 피크값이다. 바닥재가 스티로폼의 경우 방전전압의 피크값은 검출전극으로의 접근이 빠를 때 1000~1200[V] 정도 그리고 느릴 때는 850~900[V]으로 차이를 보였지만 전압과 전류 파형의 전체 면적 즉, 에너지의 양은 거의 비슷함을 알 수 있다.



(a) 피크값의 분포



(b) 상승시간의 분포

그림 7. 손을 통한 직접 접촉시 방전전압의 피크값과 상승시간의 분포

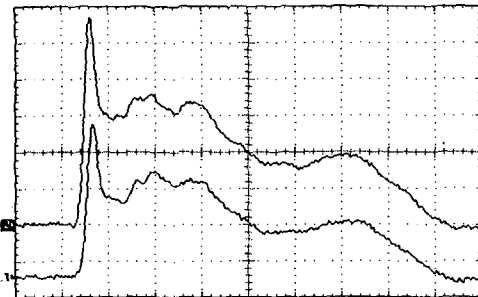
Fig. 7. Histograms of the peak amplitude and rise time of voltages due to direct finger ESDs

정전기 방전전압 파형의 상승시간은 인체의 인덕턴스 때문에 비교적 긴 10~30[ns]정도이었다. 빠른 접근의 경우 정전기 방전전압의 피크값은 높았지만 상승시간은 짧게 나타났다. 바닥재질이 스티로폼, 카펫, 비닐장판, 콘크리트의 순으로 느린 접근의 경우 방전전압의 피크값은 낮아지고 상승시간도 짧게 나

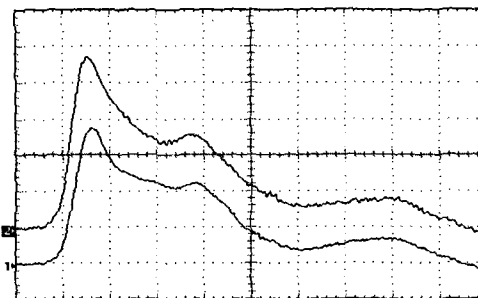
타났다. 그러나 빠른 접근의 경우 방전전압의 상승시간의 바닥재질에 대한 의존성은 나타나지 않았다. 빠른 접근의 경우 느린 접근의 경우에 비하여 동일한 바닥재질에서 전압의 피크값은 약 1.2배정도 높았지만 상승시간은 거의 1/2정도 짧게 나타났다.

3.2 손에 잡은 금속물체에 의한 방전

손에 잡은 금속 물체를 통하여 정전기 방전이 일어날 때의 대표적인 방전전압과 전류 파형의 예를 그림 8에 나타내었으며, 전압 파형의 피크값과 상승시간을 통계적으로 분석한 결과를 그림 9에 나타내었다. 손에 금속물체를 쥐고 있을 때는 그 물체와 손 사이의 커패시턴스와 손에 쥐 물체의 인덕턴스 및 전기저항이 존재하므로 방전전압 파형의 급상승이 나타나며 진동의 자태를 나타내며 감쇠한다.



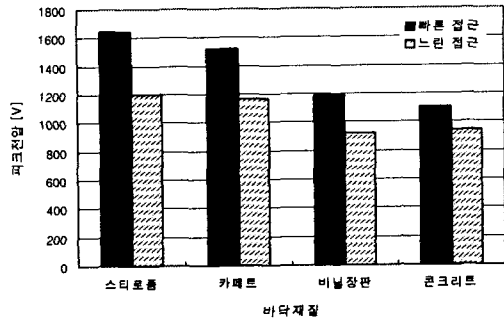
위 전류파형 : 5 A/div, 10 ns/div
아래 전압파형 : 320 V/div, 10 ns/div
(a) 빠른 접근



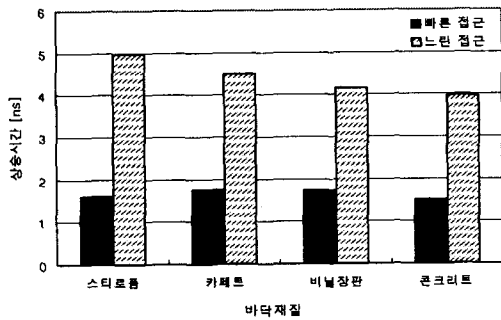
위 전류파형 : 5 A/div, 10 ns/div
아래 전압파형 : 320 V/div, 10 ns/div
(b) 느린 접근

그림 8. 손에 잡은 열쇠에 의한 정전기 방전전압 과 전류 파형

Fig. 8. Typical waveforms of the voltage and current due to hand/metal-key ESDs



(a) 피크값의 분포



(b) 상승시간의 분포

그림 9. 손에 전 열쇠에 의한 정전기 방전전압의 피크값과 상승시간의 분포

Fig. 9. Histograms of the peak amplitude and rise time of the voltage due to direct hand/metal-key ESDs

검출전극이 접촉되는 열쇠의 끝단이 뾰족하므로 방전 직전에 전하가 열쇠의 끝단에 집중되기 때문에 방전전압의 상승시간이 매우 빠르게 나타났다. 인체에 의한 직접 방전시의 전압의 피크값에 비해 500[V] 정도 높지만 방전이 모두 끝나는데 걸리는 지속시간이 인체 방전의 경우 500[ns]인데 비해 금속 물체에 의한 방전인 경우는 90[ns] 정도로 비교적 짧았다. 바닥재질이 스티로폼, 카펫, 비닐장판, 콘크리트의 순으로 방전전압의 피크값은 낮아지고 상승시간은 짧아졌다. 그러나 빠른 접근의 경우 바닥재질에 관계없이 상승시간은 거의 변동이 없었다.

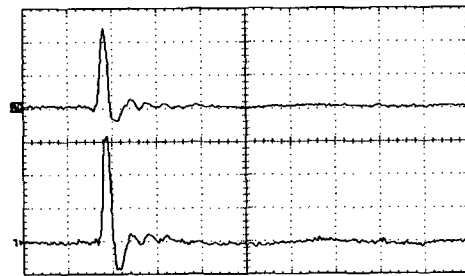
3.3 손에 잡은 절연손잡이 드라이버에 의한 방전

손에 잡은 절연손잡이 드라이버를 통한 정전기 방전으로 발생한 대표적인 방전전압과 전류 파형을 그

림 10에 나타내었다. 드라이버 절연손잡이와 인체사이의 커패시턴스 때문에 정전기 방전이 발생할 때 인체에 충전된 전하가 인체를 통하여 대지로 방출되지 못하고 인체에 충전된 전하에 의해 절연손잡이 드라이버의 금속부분에 유도되는 전하만 소멸된다.



위 전류파형 : 20 A/div, 10 ns/div
아래 전압파형 : 640 V/div, 10 ns/div
(a) 빠른 접근



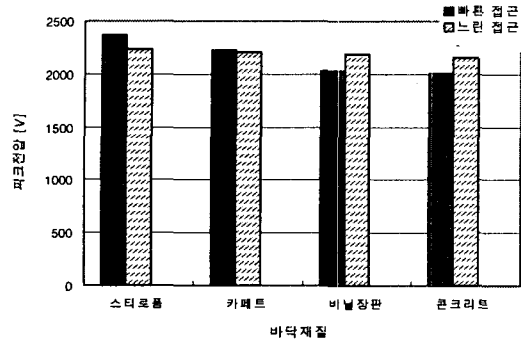
위 전류파형 : 20 A/div, 10 ns/div
아래 전압파형 : 640 V/div, 10 ns/div
(b) 느린 접근

그림 10. 절연손잡이 드라이버에 의한 정전기 방전전압과 전류 파형

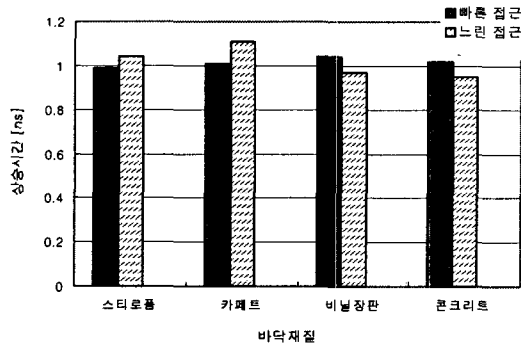
Fig. 10. Typical waveforms of the ESD voltage and current due to screwdriver with insulating handle

손에 잡은 절연손잡이 드라이버의 접촉에 의한 정전기 방전전압 파형의 피크값과 상승시간을 통계적으로 분석한 결과를 그림 11에 나타내었다. 다른 실험 조건에서의 정전기 방전과는 달리 방전전압의 크기는 크지만 상승시간이 1[ns]정도이며, 지속시간도 10[ns]이하로 전체 에너지량이 매우 적었다. 이는 대전된 인체와 드라이버 절연손잡이 부분의 절연물이 인체에 대전된 전하의 흐름을 방해하기 때문이다. 이때의 방전은 인체에 대전된 전하에 의해 드라이버 금속부분에 유도된 전하에 의한 것이며, 인체에 대전된 전

인체에 대전된 정전기 방전에 의해 발생한 급속과도전압의 측정



(a) 피크값의 분포



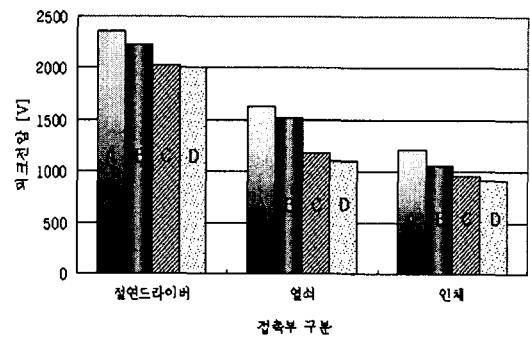
(b) 상승시간의 분포

그림 11. 절연손잡이 드라이버에 의한 정전기 방전전압의 피크값과 상승시간의 분포
Fig. 11. Histograms of the peak amplitude and rise time of ESD voltage due to screwdriver with insulating handle

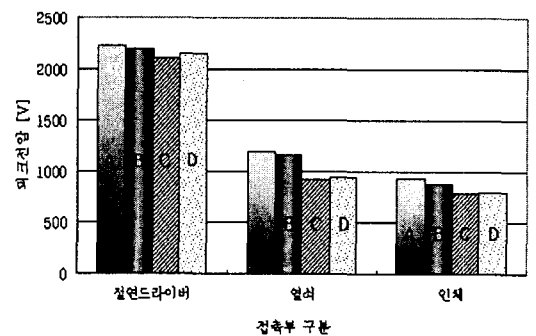
하가 외부로 방출되지 못 하므로 전체 방전에너지는 적은 것으로 볼 수 있다. 인체에 대전된 전하에 의해 절연손잡이 드라이버 금속 부분에 유도될 수 있는 전하의 양이 한정되기 때문에 절연손잡이가 있는 드라이버에 의한 정전기 방전은 인체나 손에 권 금속을 통한 방전과 달리 바닥재질이나 옷 그리고 접근속도 등에 크게 영향을 받지 않았으며, 각 실험조건에서 발생한 정전기 방전전압의 피크값과 상승시간을 통계적으로 분석한 결과를 종합하여 그림 12와 그림 13에 나타내었다.

정전기 방전전압 파형의 특성을 살펴보면 인체와 바닥사이의 절연 조건보다는 접촉물체(intruder)와 접근속도에 크게 영향을 받는다. 인체와 바닥 사이의 절연상태가 양호할수록 축적되는 전하가 많아 피크

전압이 높으며 방전에너지도 큰 것으로 나타났다. 또한 방전전압 파형의 상승시간은 절연손잡이를 갖는 드라이버를 통하여 방전된 경우가 가장 짧았으며, 인체의 직접 방전에 의한 경우가 상승시간은 가장 완만하였다. 이에 반하여 방전전압의 피크값은 인체의 직접 방전에 의한 경우가 가장 낮았으며, 절연손잡이를 갖는 드라이버에 의한 정전기 방전시의 전압이 가장 높았지만 전체 방전에너지는 작은 것으로 평가되었다. 따라서 정전기 방전에 의해서 발생하는 전압 파형의 상승시간은 매우 빠르며 대체로 1[ns]이하에서 수십[ns] 범위이므로 정전기 방전에 의한 서지보호기의 응답속도가 매우 빠른 것이 요구된다. 그러나 지속시간은 수십~수백[ns] 정도로 정전기 방전에너지는 비교적 적으므로 보호기의 에너지내량은 크게 요구되



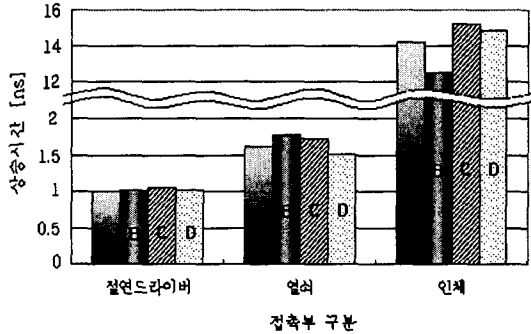
(a) 접근속도가 빠를 때의 피크전압



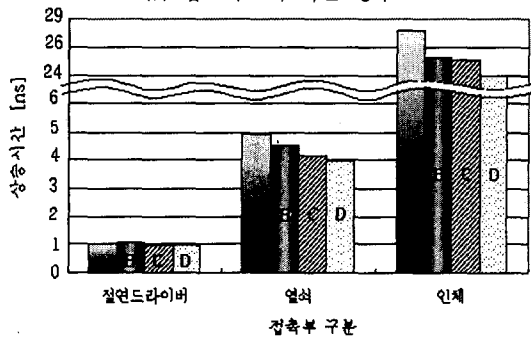
(b) 접근속도가 느릴 때의 피크전압

A : 스티로폼 B : 카펫 C : 비닐장판
D : 콘크리트

그림 12. 바닥재와 손에 천 물체에 따른 정전기 방전 전압의 피크값의 분포
Fig. 12. Histograms of the peak amplitude of ESDs voltage according to floor state and object in hand



(a) 접근속도가 빠른 경우



(b) 접근속도가 느린 경우

A : 스티로폼 B : 카펫 C : 비닐장판 D : 콘크리트
그림 13. 바닥재와 손에 전 물체에 따른 정전기 방전 전압의 상승시간의 분포

Fig. 13. Histograms of the rise time of ESDs voltage according to floor state and object in hand

지 않으나 고속응답과 정확한 차단특성을 가지는 소자가 필요하며, 방사에 의한 잡음에 대한 대책의 검토도 앞으로 연구하여야 할 과제이다.

4. 결 론

본 연구에서는 정전기 방전전압 파형을 정확하게 측정할 수 있는 광대역 계측시스템을 제안하였으며, 인체에 대전된 정전기 방전전압과 전류를 측정하고, 이들 파형의 특성과 파라미터를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 원추형으로 설계·제작한 전압센서와 신호전송로를 포함하여 주파수대역이 DC~400[MHz]인 광대역의 전압계측시스템을 제작하였다.

(2) 정전기 방전전압의 피크값과 상승시간은 바닥

재질의 종류, 접근속도와 접촉방법에 크게 의존하는 특성을 나타내었다.

(3) 손에 권 금속 물체를 통한 정전기 방전시 검출 전극으로의 접근속도가 빠를 경우 초기부분이 급격하게 상승하는 펄스성의 방전전압을 나타내었다.

(4) 절연손잡이를 갖는 드라이버에 의한 정전기 방전전압과 전류의 파형은 진동 양상을 나타내었다. 절연손잡이 드라이버, 열쇠, 인체의 직접 방전 순으로 방전전압의 피크값은 감소하였으며, 상승시간은 피크값이 큰 조건일수록 짧게 나타났다.

References

- (1) Vinson, J.E., Liou, J.J. "Electrostatic discharge in semiconductor devices: protection techniques", IEEE Proceedings, Vol. 88, pp.1878 ~1902, 2000.
- (2) S. U. Kim, "ESD Induced Gate Oxide Damage During Wafer Fabrication Process ", EOS/ESD Symposium Proceeding, Vol. EOS-14, pp.99~105, 1992.
- (3) E. W. Chase, "Electrostatic Discharge Mechanism and on Chip Protection Techniques to Ensure Device Reliability", J. Electrostatics, Vol. 24, pp.111~130, 1990.
- (4) James E. Vinson and Juin J. Liou, "Electrostatic Discharge in Semiconductor Devices", Proceeding of the IEEE, Vol. 86, pp.399~420, 1998.
- (5) Wilson, P.F., Ma, M.T. "Fields radiated by electrostatic discharges", IEEE Trans., Vol. EMC-33, No.1, pp.10~18, 1999.
- (6) W. P. O'Neill, B. R. Varlow, "Electrostatic Discharge from the Human Body", IEE Proceeding, Vol. 133, No. 9, pp.606~610, 1986.
- (7) J. Lalot, "Generation and Measurement of Fast Transient Overvoltage with Special Reference to Disconnecter Operation in GIS", CIGRE Int. Conf. on Larger High Voltage Electric Systems, No.36~88, WG-03, 1986.
- (8) Edmund K. Miller, Time-Domain Measurement in Electromagnetics, Van Norstand Reinhold Co., pp.175~290, 1986.
- (9) 백용현, 이복희, 안창환, "전계측정용 센서의 개발", 전기학회 논문지, Vol. 40, No. 6, pp. 630~637, 1991.
- (10) Jonassen, N., "Human body capacitance: static or dynamic concept", Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium Proceedings, pp.111~117, 1998.
- (11) "IEEE Guide on Electrostatic Discharge : ESD Withstand Capability Evaluation Methods for Electronic Equipment Subassemblies", IEEE Std., C62.38, pp.5~11, 1995.

인체에 대전된 정전기 방전에 의해 발생한 급속과도전압의 측정

◇ 저자소개 ◇

이 복 희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~89년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전자전기 컴퓨터공학부 교수.
Tel. (032) 860-7398, Fax. (032) 863-5822, e-mail : bhlee@inha.ac.kr.

이 동 문 (姜成萬)

1958년 4월 20일생. 1987년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.
Tel. (032) 860-7398, Fax. (032) 863-5822, e-mail : lidm7@hanmail.net.

강 성 만 (姜成萬)

1973년 4월 6일생. 1998년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.
Tel. (032) 860-7398, Fax. (032) 863-5822, e-mail : webmaster@smilepia.com.

엄 주 홍 (嚴柱弘)

1972년 9월 5일생. 1998년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. Tel. (032) 860-7398, Fax. (032) 863-5822, e-mail : g2001100@inhavision.inha.ac.kr.

이 태 룡 (李太龍)

1977년 1월 3일생. 2000년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정. Tel. (032) 860-7398, Fax. (032) 863-5822, e-mail : g2001094@inhavision.inha.ac.kr.

이 승 칠 (李承七)

1943년 4월 1일생. 1971년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 2월 서울산업대 산업대학원 안전공학과 졸업(석사). 2002년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한진중공업주식회사 상무. e-mail : scllee@hjcnst.co.kr.