

## 인체에 의한 정전기 방전전압 파형의 특성

(Characteristics of the Voltage Waveforms Caused by Human Electrostatic Discharges)

이복희\* · 강성만 · 엄주홍 · 이태룡

(Bok-Hee Lee · Sung-Man Kang · Ju-Hong Eom · Tae-Ryong Lee)

### 요 약

본 논문은 인체에 의해 발생하는 정전기 방전과도전압 파형의 특성에 관한 것으로 정전기 방전전압의 피크 크기와 초기상승부분의 특성에 대한 통계를 분석하기 위해서 여러 가지 실험조건에서 정전기 방전전압을 측정하였다. 정전기 방전전압의 측정에는 주파수대역이 DC~400[MHz]인 전압측정계를 사용하였으며, 정전기 방전전압의 파형은 전류 파형과 거의 동일하였다. 또한 본 연구에서 제안한 등가회로를 적용한 시뮬레이션결과는 측정결과와 거의 일치하였다. 정전기 방전전압 파형은 접촉 물체의 재질과 접근속도에 크게 영향을 받으며, 빠른 접근일 때가 느린 접근일 때보다 초기상승시간이 짧은 파형으로 나타났다. 손에 의한 정전기 방전전압의 상승시간은 10~30[ns]로 비교적 길었으나, 크기는 작았다. 반면에 절연손잡이를 갖는 드라이버를 통한 정전기 방전전압 파형은 1[ns]이하의 매우 짧은 상승시간과 매우 큰 피크값을 나타내었다. 본 연구결과는 저전압 소전류인 전자기기의 정전기 장해에 대한 대책의 마련에 응용될 것이다.

### Abstract

This paper describes characteristics of transient voltage waveforms caused by human electrostatic discharges(ESDs). For purpose of achieving the statistics on the meaningful amplitude and initial slope for transient ESD voltage waveforms, transient voltages due to human ESDs in various conditions were observed. A voltage measuring system with a wide bandwidth from DC to 400[MHz] was employed.

ESD voltage waveforms are approximately the same as ESD current waveforms. Also the simulated results, which are calculated by the proposed equivalent circuit, are closely similar to the measured voltage waveforms. ESD voltage waveforms are strongly dependent on the approach speed and material of intruder, a fast approach causes ESD voltage waveform with a steep rise time than for a slow approach. The voltage waveforms from direct finger ESDs have a relatively long rise time of 10~30[ns], but their peaks are low. On the other side ESD voltage waveforms caused by screwdriver with insulating handle have a steep slope with a very short, less than 1[ns] rise time, but their initial spikes are extremely high. The obtained results in this work would be applied to solve ESD problems for low voltage and small current electronic devices.

Key Words : (ESD, Transient voltage, simulation, Voltage sensor)

\* 주저자 : 인하대학교 전자전기공학부 교수

Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr

접수일자 : 2002년 2월 6일

1차심사 : 2002년 2월 14일

심사완료 : 2002년 2월 28일

照明 · 電氣設備學會論文誌 第16卷 第2號, 2002年 3月

## 1. 서 론

전자·정보화기기의 보급이 급증하고 사용범위 역시 넓어지고 있으며 핵심 역할을 맡고 있는 집적회로들은 고속성, 신뢰성, 경제성 등을 향상시킬 목적

## 인체에 의한 정전기 방전전압 파형의 특성

으로 점점 더 초소형화·저전력화 추세에 있다. 따라서 반도체 소자들은 낮은 서지 전압과 전류에도 쉽게 파괴되는 결과를 가져왔다. 정전기 방전 (electrostatic discharge : ESD)에 의한 피해에는 전자부품 또는 소자의 완전한 파손과 시스템 기능의 잠재적인 기능저하 등이 있다. ESD에 의한 혼란은 반도체 부품뿐만 아니라 시스템적인 문제도 야기시키며, 일반적으로 상태(state)를 바꾸는데 작은 에너지가 요구되거나 작은 전압변화로 구동되는 논리소자들은 모두 ESD에 민감하다. 이 피해는 즉시 알 수 없으므로 시스템의 신뢰도를 떨어뜨리게 되는 등 심각한 영향을 끼치게 된다.[1~3] 정전기 방전시 전하의 이동은 매우 빠르게 일어나며 방전전압과 유도된 전류에 의해 발생하는 주울열에 의해서 ESD 보호소자의 손상을 야기할 수 있다.[4]

본 연구에서는 인체에 대전된 정전기에 의해서 발생하는 ESD에 대한 효과적인 보호대책의 수립에 필요한 기초자료를 얻기 위하여 정전기 방전전압과 전류의 특성을 분석하였다. 즉, 전자기기의 정전기 장해를 방지할 수 있는 보호장치의 설계에 있어 핵심적 요소인 정전기 방전전압의 크기와 상승시간의 통계적 분석을 중점적으로 연구하였다. 즉, 주파수대역이 DC~400[MHz]인 과도전압측정기를 이용하여 실제로 발생빈도가 높은 인간의 행동조건을 모의해서 정전기 방전에 의해서 발생하는 고속과도전압과 전류 파형을 측정하였다. 여러 가지 실험조건에 대한 정전기 방전의 시뮬레이션 등가모델을 제시하였으며, 측정된 정전기 방전에 의한 고속과도전압 파형의 특성과 파라미터를 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 측정장치

대전된 물체를 검출전극에 접근시키면 정전유도작용에 의해서 반대 극성의 전하가 모이고 보다 가까이 접근하면 절연파괴가 일어나는 정전기 방전은 아주 짧은 시간동안 지속된다. 정전기 방전전압은 1~10 [ns] 정도의 매우 빠른 상승시간을 가지며 지속시간도 매우 짧은 펄스이므로 진행파로 작용하여 반사작용 또는 굴절현상이 발생하여 측정하기가 매우 어렵다. 검출전극과 신호전송용 동축케이블과의 접속거리를 정재파의 반파장이 되도록 하는 방법이 제안되었

으나, 센서의 기하학적 크기에 의하여 제한되는 문제점은 해결하지 못하였다. 이러한 문제점은 센서의 구조를 특성임피던스가 균일한 신호전송로가 되도록 설계하면 해결할 수 있다.[5,6]

따라서 본 연구에서는 센서의 검출전극과 동축케이블의 접속점 사이를 그림 1에 나타낸 바와 같은 원추형 동축구조로 하였으며, 검출임피던스는 오실로스코프의 입력임피던스와 정합시킬 목적으로 50 [Ω] 터미네이터를 사용하였으며, 측정계의 주파수대역은 DC~400[MHz]이다. 또한 정전기 방전시 전하의 이동에 의한 전류를 측정하기 위해 검출임피던스의 리드선이 고주파용 변류기(CT-2)를 관통하도록 설치하였다.

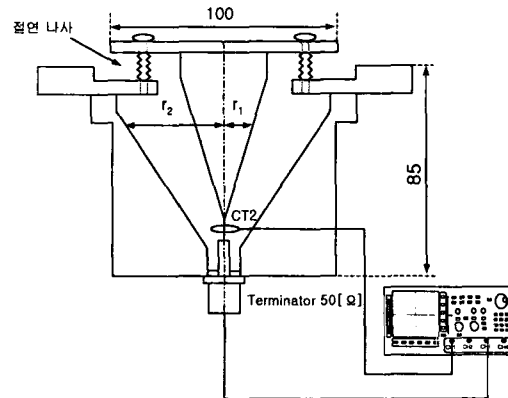


그림 1. 정전기 방전전압 측정기의 개략도  
Fig. 1. Schematic diagram of the fast transient ESD voltages

### 2.2 실험조건 및 방법

겨울철에 사람이 컴퓨터의 키보드를 접촉한 경우 정전기 방전에 의해서 시스템이 다운되는 경우가 있으며, 자동차의 문을 열거나 철제 의자 등을 접촉할 때 따끔한 정전기 방전을 일으켜 기분이 좋지 않은 경우가 있다. 일상생활 공간에서 인체가 흔히 일어나는 정전기 방전전압을 측정하고 특성을 분석하기 위하여 다음의 여러 가지 모의조건에서 실험하였다.

- (1) 바닥 재질 : 스티로폼, 카펫트, 비닐장판, 콘크리트
- (2) 대전물체의 검출전극에의 접근속도 : 빠름, 느림
- (3) 상대습도 : 40%
- (4) 인체의 손을 통하여 검출전극에 접촉하는 방법 : 직접, 손에 권 물체가 금속펜, 절연손잡이 드러이버

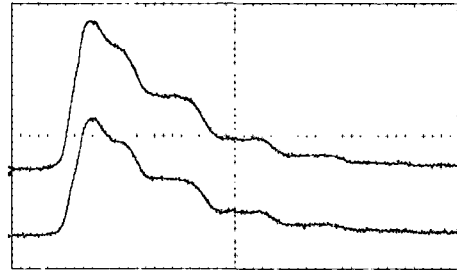
일상의 생활환경 및 의복착용과 활동 그대로를 최대한 모의하였으며, 정전기가 많이 발생하는 털옷, 나일론, 모직의 의복을 입고, 구두를 착용하고 활발하게 움직인 후 정전기 방전전압을 측정하였다. 각각의 실험조건에서 30회씩의 정전기 방전전압을 측정하고, 피크값과 상승시간 등의 파형 파라미터를 분석하였다. 또한 인체의 대전상태와 측정계 회로를 포함한 전기적 등가회로를 구하고, Pspice 프로그램을 이용하여 계산한 방전전압을 측정 파형과 비교·검토하였다.

### 3. 결과 및 고찰

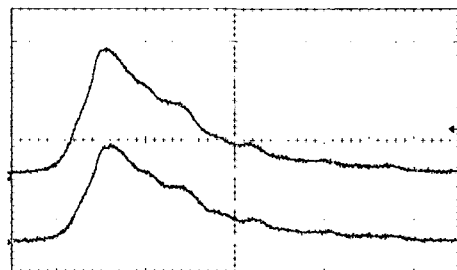
#### 3.1 인체에 의한 직접 방전

사람의 활동으로 인체에 대전된 전하가 사람이 다른 물건과 접촉하였을 때 방전되는 것을 모의한 조건으로 인체의 손이 검출전극에 직접 접촉한 경우 정전기 방전전압과 전류 파형의 예를 그림 2에 나타내었다. 정전기 방전전압의 파형은 전류 파형과 거의 동일한 형상을 나타내었으며, 이는 임피던스정합이 정확하게 이루어져 있음을 의미하며, 측정의 신뢰성이 대단히 우수함을 알 수 있다. 각 실험에서 대전된 물체가 측정장치로 빠르게 접근할 때 발생하는 정전기 방전전압 파형은 느리게 접근할 때와 비교하면 가파른 초기 급증성 단펄스이며, 상승시간이 짧은 특성을 나타내었다. 파두부가 비교적 완만하게 상승하고 파미부에 진동이 포함되어 있는 단펄스성의 전압 파형을 나타내었다. 이와 같이 인체는 대지와 절연되어 있으므로 커패시턴스 성분으로 볼 수 있으며, 인체와 의복사이의 마찰에 의해 정전기가 대전된 것이며, 파두의 완만한 상승과 파미에 진동성분이 포함되어 있음은 전기적으로 인체와 방전경로에 인덕턴스 성분이 있음을 의미한다. 또한 파미부의 감쇠시정수는 인체의 커패시턴스와 인덕턴스 성분보다도 전기저항의 영향이 큰 것으로 볼 수 있다.

인체는 절연체가 아니지만 절연성이 좋은 신발을 신거나 절연재 바닥에서 있게 되면 대지와 전기적으로 절연되는 상태로 된다. 또한 인체를 통하여 전하가 이동하는 것을 방해하는 전기저항과 인덕턴스 성분이 있으므로 손을 통하여 정전기 방전이 일어나는 경우 인체의 전기적 등가회로는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.[7]



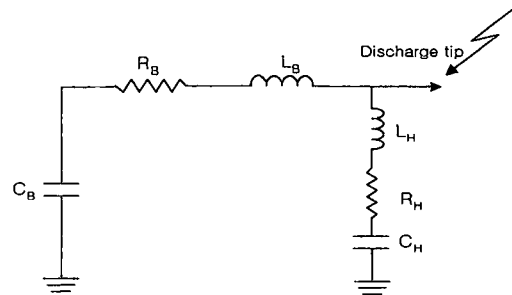
위 전류파형 : 5 A/div, 50 ns/div  
아래 전압파형 : 320 V/div, 50 ns/div  
① 빠른 접근



위 전류파형 : 5 A/div, 50 ns/div  
아래 전압파형 : 320 V/div, 50 ns/div  
② 느린 접근

그림 2. 손가락을 통한 직접 방전에 의한 방전전압과 전류 파형

Fig. 2. Typical waveforms of the voltage and current caused by direct finger ESDs



침자 B는 몸체, 침자 H는 팔과 손 부분의 회로정수를 나타냄.

그림 3. 인체의 손을 통한 정전기방전의 회로모델  
Fig. 3. ESD circuit model from human hand

그림 2의 정전기 방전전압의 파형으로부터 인체를 포함한 방전경로의 전기적 등가회로는 2중 지수형의 형태임을 알 수 있다. 인체의 커패시턴스는 대지로부

인체에 의한 정전기 방전전압 파형의 특성

터 얼마나 잘 절연되어 있느냐에 의존하며 충전되는 전하량이 결정된다. 정전기 방전전압은 대개 인체의 접촉부 상태 즉, 신발의 재질, 서있거나 앉은 곳의 바닥재질 그리고 손에 쥔 물체에 따라 그 값이 달라진다.[8] 또한 전하가 대전된 인체와 측정계의 전기적 등가회로 및 그 회로를 적용하여 Pspice 프로그램으로 시뮬레이션한 결과를 그림 4에 나타내었다.

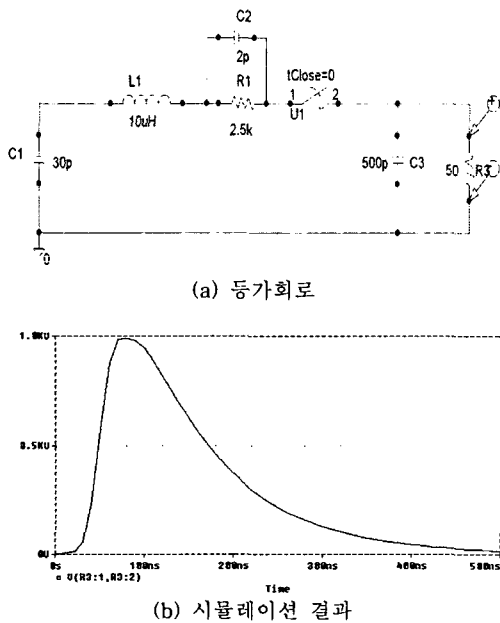


그림 4. 손에 의한 직접 방전시의 등가회로와 시뮬레이션 결과  
Fig. 4. Equivalent circuit and simulation result for direct finger ESDs

본 연구에서 제시한 손을 통한 정전기 방전에 대한 등가회로에서는 ESD가 일어날 때 대전물체와 측정계 사이에 발생하는 불꽃방전에 의한 열에너지와 빛에너지로 인해 소실되는 전하를 고려해서 인체의 등가커패시턴스를 30[pF]으로 설정하였다. C1은 인체의 정전용량을 나타냈고 L1, R1, C2는 각각 인체와 인체에 접촉한 물체의 인덕턴스와 저항, 커패시턴스를 고려한 값이며 측정부의 C3와 R3는 각각 검출전극과 외측 도체사이에 존재하는 정전용량과 검출임피던스이다.[9~11] 인체의 등가모델에서 전압 파형의 느린 상승시간은 L1값에 의하여 결정되고, C2와 R1은 급준성 펄스파의 지속시간을 결정짓는 요소로 작용함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 그리고 시

뮬레이션결과를 파미부의 고주파 진동성분의 영향을 제외한 파형의 개략은 측정결과와 거의 유사하므로 등가회로에 대한 타당성을 알 수 있었다. 대전된 물체가 검출전극으로의 접근속도의 영향까지를 포함한 등가회로의 구현은 불가능하였으며, 앞으로 이에 대한 연구가 필요하다.

정전기 방전전압 파형의 피크값과 상승시간을 통계적으로 분석하였다. 각 실험조건에서 30회씩의 방전전압과 전류 파형을 측정하였으며, 피크값과 상승시간의 평균값의 분포를 그림 5에 나타내었다.

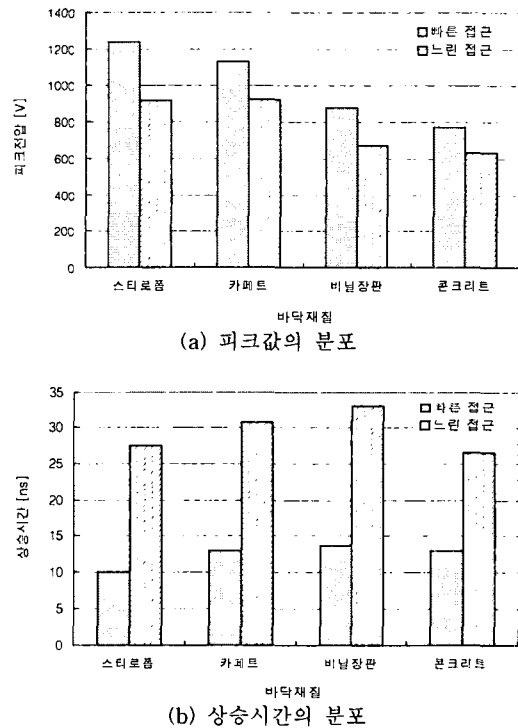


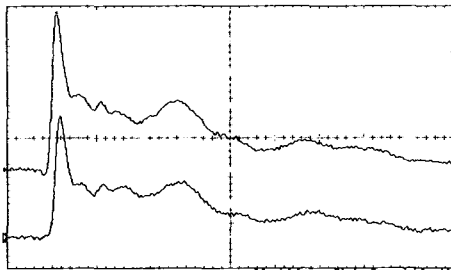
그림 5. 손에 의한 직접 방전시의 전압의 피크값과 상승시간의 분포  
Fig. 5. Histograms of the peak amplitude and rise time of voltages caused by direct finger ESDs

정전기 방전전압의 피크값은 바닥의 절연재에 따라 다소 다르지만 대전물체가 검출전극으로의 접근이 빠를 때는 대략 800~1200[V], 그리고 느릴 때는 600~900[V]범위이다. 방전전압 파형의 상승시간은 바닥절연재의 종류에 대한 의존성은 적었으나 대전물체의 검출전극으로의 접근속도의 영향이 크게 나

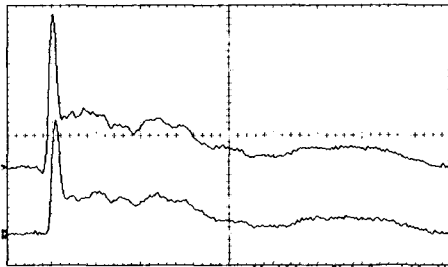
타났다. 즉, 방전전압의 상승시간은 빠른 접근속도일 때는 10~15[ns]의 분포이며, 느린 접근속도에서는 대략 25~35[ns]의 범위로 빠른 접근의 경우보다 약 2배정도 완만하게 상승하는 결과를 나타내었다.

### 3.2 손에 잡은 금속펜에 의한 방전

손에 잡은 뾰족한 금속펜을 통하여 정전기 방전이 일어날 때의 대표적인 방전전압과 전류 파형, 그리고 등가회로 및 그 회로를 적용하여 Pspice 프로그램으로 시뮬레이션한 결과를 각각 그림 6과 그림 7에 나타내었다.



위 전류파형 : 5 A/div, 10 ns/div  
아래 전압파형 : 320 V/div, 10 ns/div  
① 빠른 접근



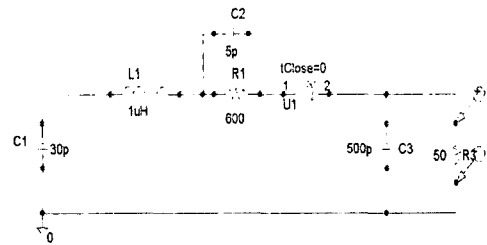
위 전류파형 : 5 A/div, 10 ns/div  
아래 전압파형 : 320 V/div, 10 ns/div  
② 느린 접근

그림 6. 손에 잡은 금속펜에 의한 정전기 방전전압과 전류 파형

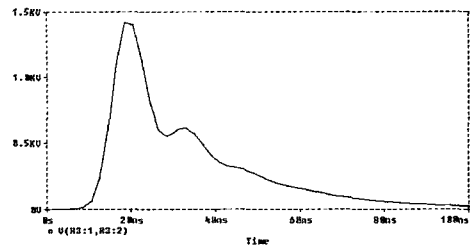
Fig. 6. Typical waveforms of the voltage and current caused by direct hand/metal-pen ESDs

손에 물체를 쥐고 있을 때는 물체와 손 사이의 커패시턴스와 손에 쥐는 물체의 인덕턴스 및 전기저항이 존재하므로 이를 고려해서 등가회로를 구성하였다. C1은 인체의 정전용량, L1, R1, C2는 각각 인체와 인체에 접촉한 물체의 인덕턴스와 저항, 커패시턴스

를 고려한 값이며, 측정부의 C3와 R3은 각각 검출전극과 외측 도체사이에 존재하는 정전용량과 검출임피던스를 나타낸다.[9~11] 방전전압 파형의 상승시간은 주로 등가모델의 L1값에 의존하며, C2와 R1은 전압 파형의 중반부에 돌기부(spike)를 만들거나 급준성 펄스파의 지속시간을 결정하는 요소로 작용하였다. 바닥의 절연재, 접근속도에 따른 손에 잡은 금속펜에 의한 정전기 방전전압의 피크값과 상승시간에 대한 통계적 분석결과를 그림 8에 나타내었다.



(a) 등가회로



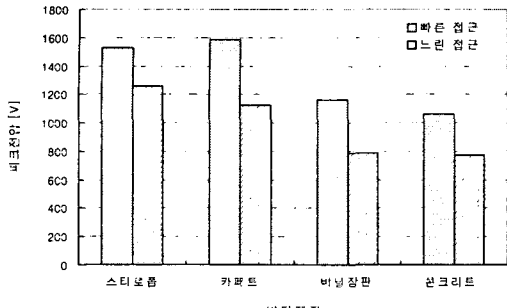
(b) 시뮬레이션 결과

그림 7. 손에 잡은 금속펜에 의한 정전기 방전에 대한 등가회로와 시뮬레이션결과

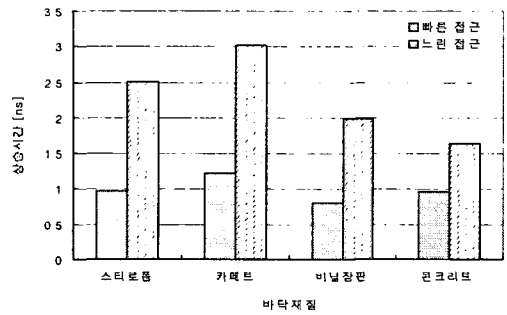
Fig. 7. Equivalent circuit and simulation result for direct hand/metal-pen ESDs

방전전압은 초기에 매우 급격하게 변동하는 돌기부가 있으므로 인체에 의한 직접 방전시의 전압의 피크값에 비해 200~400[V]정도 크지만 방전의 지속시간은 인체의 직접 방전의 경우 500[ns]인데 비해 100[ns]이하로 짧게 나타났다. 방전전압의 상승시간은 대전 물체의 검출전극으로의 접근속도의 영향이 크게 나타났으며, 접근속도가 빠른 경우 상승시간은 바닥절연재에 관계없이 약 1[ns]정도이었다. 접근속도가 느린 경우 방전전압의 상승시간은 1.5~3[ns]범위로 바닥절연재의 영향이 약간 나타났다.

인체에 의한 정전기 방전전압 파형의 특성

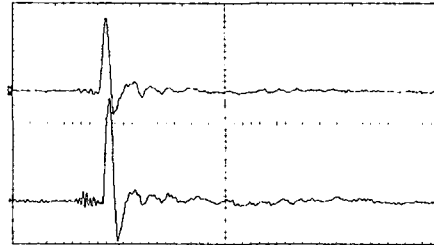


(a) 피크값의 분포

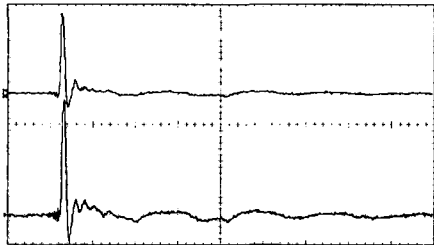


(b) 상승시간의 분포

그림 8. 손에 잡은 금속펜에 의한 정전기 방전전압의 피크값과 상승시간의 분포  
Fig. 8. Histograms of the peak amplitude and rise time of the voltage caused by direct hand/metal-pen ESDs



위 전류파형 : 20 A/div, 10 ns/div  
아래 전압파형 : 640 V/div, 10 ns/div  
① 빠른 접근



위 전류파형 : 20 A/div, 10 ns/div  
아래 전압파형 : 640 V/div, 10 ns/div  
② 느린 접근

그림 9. 손에 잡은 절연손잡이가 있는 드라이버에 의한 정전기 방전전압과 전류 파형  
Fig. 9. Typical waveforms of the ESD voltage and current caused by a direct hand/screwdriver with insulating handle

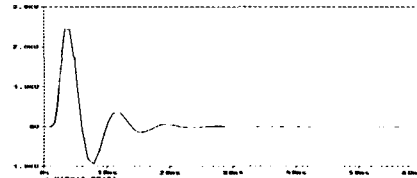
3.3 손에 잡은 절연손잡이 드라이버에 의한 방전

손에 잡은 절연손잡이 드라이버를 통한 정전기 방전에 의해서 발생한 대표적인 방전전압과 전류 파형, 그리고 등가회로와 그 회로를 적용하여 Pspice 프로그램으로 시뮬레이션한 결과를 각각 그림 9와 그림 10에 나타내었다.

손에 쥌 절연손잡이가 있는 드라이버를 통한 방전시의 등가회로는 절연손잡이 때문에 방전이 발생할 때 인체에 충전된 전하가 빠져나가지 못하므로 방전으로 소멸되는 전하는 인체에 충전된 전하에 의해 절연손잡이 드라이버의 금속부분에 유도된 전하만을 고려하여야 되므로 인체를 통한 직접 방전의 경우와는 다르다. 따라서 등가 커패시턴스를 비롯해서 다른 회로요소의 값이 작은 R-L-C 직렬회로로 구성하였다. C1은 인체에 대전된 전하에 의해 절연손잡이 금속부분에 유도되는 전하를 결정하는 정전용량이며,



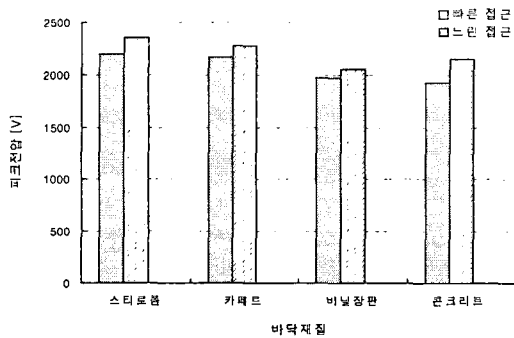
(a) 등가회로



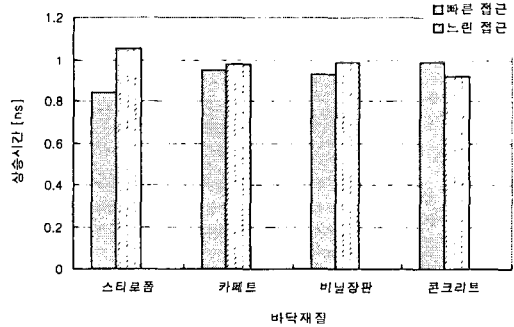
(b) 시뮬레이션 결과

그림 10. 손에 잡은 절연손잡이 드라이버에 의한 정전기 방전에 대한 등가회로와 시뮬레이션결과  
Fig. 10. Equivalent circuit and simulation result for ESDs caused by a direct hand/screwdriver with insulating handle

L1, R2, C2는 각각 인체에 절연손잡이 드라이버 금속부분의 인덕턴스와 저항, 커패시터를 고려한 값이고, 측정부의 C3과 R3은 각각 검출전극과 외측 도체 사이에 존재하는 정전용량과 검출입피턴스를 나타낸다.[9~11] 급준성 펄스파의 지속시간은 주로 C2에 의존하는 것을 시뮬레이션을 통하여 알았다.



(a) 피크값의 분포



(b) 상승시간의 분포

그림 11. 손에 잡은 절연손잡이가 있는 드라이버에 의한 정전기 방전전압의 피크값과 상승시간의 분포

Fig. 11. Histograms of the peak amplitude and rise time of ESD voltages caused by a direct hand/screwdriver with insulating handle

손에 잡은 절연손잡이 드라이버에 의한 정전기 방전전압의 피크값과 상승시간을 통계적으로 분석한 결과를 그림 11에 나타내었다. 다른 실험조건에서의 정전기 방전과는 다르게 전압의 크기는 2[kV] 정도로 매우 크지만 상승시간이 1[ns] 정도이며, 지속시간도 10[ns]이하로 전체 에너지량이 가장 적었다. 드라이버 절연손잡이 부분의 절연물이 인체에 대전된 전하의 흐름을 방해하기 때문이다. 이 때의 정전기 방전

은 인체에 대전된 전하에 의해 드라이버 금속 부분에 유도된 전하에 의한 방전이며, 인체에 대전된 전하가 외부로 빠져나가지 않고 남아 있는 한 드라이버 금속부분에 유도된 전하에 의해서 방전이 일어나므로 방전에너지량은 적은 것으로 볼 수 있다.

인체에 대전된 전하에 의해 절연손잡이 드라이버 금속부분에 유도될 수 있는 전하의 양이 거의 일정하기 때문에 절연손잡이가 있는 드라이버에 의한 정전기 방전은 인체나 손에 쥔 금속을 통한 방전과 달리 바닥재질이나 접근속도에 큰 영향을 받지 않았으며, 각 실험조건에 거의 비슷한 특성을 나타내었다. 정전기 방전에 의해서 발생하는 전압 파형의 상승시간이 매우 빠르며 대체로 1~수십 ns 범위이고, 지속시간도 수십~수백 ns 정도로 정전기 방전에너지는 비교적 적으므로 보호장치의 에너지내량은 크게 요구되지 않으나 고속응답과 정확한 차단특성을 가지는 소자가 필요하다.

#### 4. 결 론

사람의 접촉에 의한 컴퓨터를 비롯한 초소형 전자기기의 오동작이나 부품의 파손 등 정전기 장애의 방지대책의 마련을 위해 인체에 대전된 전하에 의한 정전기 방전전압을 측정하고, 이들 파형의 특성과 파라미터를 분석한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인체의 손의 직접 접촉에 의한 정전기 방전전압의 크기는 1200[V] 이하로서 비교적 낮았으며, 상승시간과 방전지속 시간은 길게 나타났다.

(2) 각 실험조건에 대하여 제안된 등가회로를 이용한 이론적 계산결과는 측정된 방전전압 파형과 거의 일치하였다.

(3) 손에 쥔 금속펜이나 절연손잡이 드라이버를 통한 정전기 방전전압의 피크값은 1600~2000[V] 정도로서 손의 직접접촉에 의한 값보다 높았으며, 상승시간은 1~3[ns]범위로 대단히 짧았다.

(4) 인체에 대전된 정전기 방전전압은 바닥재질의 절연상태보다는 접촉조건(intruder) 즉, 손에 쥔 금속 물체의 종류와 형상 및 접근속도의 영향이 현저함이 밝혀졌다.

References

- [1] S. U. Kim, "ESD Induced Gate Oxide Damage During Wafer Fabrication Process ", EOS/ESD Symp. Proc., Vol. EOS-14, pp.99~105, 1992.
- [2] R. G. Chemelli and B. A. Unger, "ESD by Static Induction", EOS/ESD Symp. Proc., Vol. EOS-5, pp.29~36, 1983.
- [3] C. Diaz, S. M. Kang, C. Duvvury, "Tutorial Electrical Overstress and Electrostatic Discharge", IEEE Trans., Vol.44, pp.2~5, 1995.
- [4] James E. Vinson and Juin J. Liou, "Electrostatic Discharge in Semiconductor Devices", Proc. of IEEE, Vol. 86, pp.399~420, 1998.
- [5] 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.
- [6] E. K. Miller, Time-Domain Measurement in Electromagnetics, Van Norstand Reinhold Co., pp.175~290, 1986.
- [7] R. B. Standler, "Protection of Electronic Circuits from Overvoltage", Wiley-Interscience Pub., pp.26~27, 1989.
- [8] Jonassen, N., "Human body capacitance: static or dynamic concept", Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symp. Proc., pp.111~117, 1998.
- [9] Sclater, Neil., "Electrostatic Discharge Protection for Electronics", TAB Books, pp.43~67, 1990.
- [10] Verhaege K, Russ C, Robinson-Hahn D, Farris M, Schnlon J and Lin D, "Recommendations to further improvements of HBM ESD component level test specifications ", EOS/ESD Symp. Proc., pp.40~53, 1996.
- [11] Vinson, J.E., Liou, J.J. "Electrostatic discharge in semiconductor devices: protection techniques", IEE Proc., Vol.88, pp.1878~1902, 2000.

◇ 저자소개 ◇

이 복 희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 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

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 : g1983657@inhavision.inha.ac.kr

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 (李泰龍)

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