

## 대전인체의 방전위험성 평가를 위한 모델 및 예방진단 프로그램 개발

### Development of Discharge Model and Preventive Diagnosis Program for Discharge Risk Assessment of Charged Human Body

김두현\* · 김상철\*\* · 고은영\*\*\*  
D.H. Kim · S.C. Kim · E.Y. Ko  
(1998년 6월 11일 접수, 1998년 9월 21일 채택)

#### ABSTRACT

This paper presents a study on the development of discharge model and computer program for assessing the risk of electrostatic discharge(ESD) of charged human body. This ESD event is modelled as a two-body problem using spherical conductors, simulating the approach of a charged conductor (human body) to a second conductor (electronic equipment). The charge/discharge process for the model is formulated as a matrix of equations by Maxwell's method. Body potentials, energies and the charge transfer during a discharge are calculated.

The developed program, based on the suggested scheme in this paper, is applied to a sample system. The results provide a better understanding of ESD event and demonstrate the usefulness of two-body model in practical applications.

#### 1. 서론

반도체소자를 이용한 첨단산업 설비의 증대는 산업현장의 불분명한 여러 원인으로 인하여 발생된 정전기의 방전현상(Electrostatic Discharge; ESD)<sup>1-3)</sup>에 대한 위험성을 항상 수반하고

있다. 발생된 정전기를 적절히 제어하지 않으면 여러 형태의 산업재해와 생산성 저하등의 장·재해로 확대되어 많은 피해가 발생되고 있다. 정전기 방전중에 특히 인체의 대전으로 인한 방전현상은 다른 물체로의 대전으로 인한 방전문제보다 더 심각하게 취급하여 각 산업현장에서는

\* 충북대학교 공과대학 안전공학과

\*\* 세명대학교 공과대학 산업안전공학과

\*\*\* 한국통신공사협회

이에 대한 대책을 마련하고 있다. 그러나 인체 정전기 방전의 위험성을 올바르게 파악할 수 있는 문헌이나 연구자료가 국내에는 미비한 실정이며, 원인불명의 산업재해가 빈번하게 발생하는 현실을 감안하면 인체의 정전기 방전을 쉽게 제어할 수 있는 방법의 연구가 수행되어야 한다. 인체의 정전기 방전에 관한 외국의 연구는 수년 전부터 활발하게 전개되어 그 동안 좋은 결과를 제시하고 있다<sup>4~9)</sup>. 인체와 다른물체의 방전진행과정을 해석하기 위한 Two-body 모델에 관한 연구, 완화시간과 결합계수<sup>8)</sup>의 개념을 이용하여 전하와 전위를 제어하는 기본적인 원리에 대한 연구등이 발표되어 있다.

본 연구에서는 대전 인체와 근접 물체간의 방전현상을 규명하기 위하여 인체와 근접 물체의 정전용량을 등가표면적의 개념하에서 정전용량을 가지는 구나 실린더로 모델링한 Two-body 문제로 해석하고자 한다<sup>4)</sup>. 이는 두 물체간의 일차적 방전에 이어 발생하는 연속방전은 쉽게 제어될 수 있는 현실적 입장을 고려한 모델로서, 정전기 방전 현상을 해석함에 있어서 가장 기본적인 모델로 평가되고 있다. 맥스웰 방법(Maxwell's method)을 이용한 행렬 방정식으로 방전현상을 수식화하며, 이 방정식을 이용하여 물체의 전위(차), 방전과형 및 방전 에너지를 계산하고 분석함으로 방전시간에 따른 방전특성을 규명하고자 한다<sup>5~7)</sup>. 아울러 인체의 방전모델을 실험을 통한 결과와 비교하여 본 이론적 방법론의 타당성을 검증하고, 인체대전으로 인한 정전기 위험성을 3차원 그래프를 통하여 쉽게 평가할 수 있는 Two-body 모델을 이용한 프로그램을 개발하고자 한다. 인체와 인접 물체간의 거리 및 정전용량을 측정하고, 이를 Two-body 문제로의 모델링을 통하여 방전 가능성을 진단하고, 가연성 물질이 존재하는 작업장에는 최소 착화 에너지의 개념을 이용한 화재 폭발 가능성을 평가한다.

## 2. 대전인체의 방전 모델

충전된 인체로부터 정전기 방전 현상의 모델을 해석하기 위해 Two-body 모델을 사용하였

다. Two-body 모델은 인체의 정전용량을 측정하여 이와 동일한 정전용량을 갖는 구로 모델링한 것으로, 보통 body 1은 인체를 나타내며, body 2는 반도체소자나 반도체 소자를 사용한 장치 또는 모든 방전 가능한 장비를 의미한다. Fig. 1에 Two-body 모델을 제시하였다.

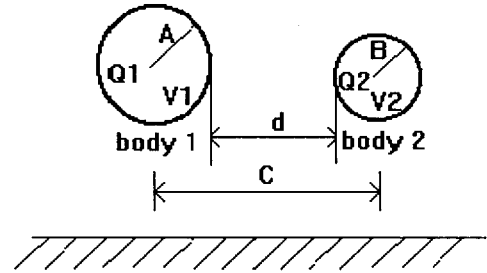


Fig. 1 General sphere ESD model for two bodies

이 Two-body 모델에서 충전된 body1 즉, 충전된 인체가 body 2에 접근하는 경우에, 다음과 같은 2가지 경우, 즉 body 1은 충전, 비접지, body 2는 비충전, 비접지한 경우 1과 body 1은 충전, 비접지, body 2는 접지를 한 경우 2로 나누어 해석할 수 있다. 경우 2는 접지된 body 2에 비접지된 충전원(body 1)이 접근하는 것으로, 인체가 접지되어 있는 물체(장비)에 접근하는 것을 모형화한 것이다.

## 3. 방전 모델을 이용한 해석

### 3.1 Maxwell 방정식 해석법

Two-body 모델에 맥스웰 방정식을 적용하면,

$$Q_1 = c_{11} V_1 + c_{12} V_2 \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_2 = c_{12} V_1 + c_{22} V_2 \dots \dots \dots (2)$$

$c_{11}$ ,  $c_{12}$ ,  $c_{21}$ ,  $c_{22}$ 는 body 크기와 body 사이의 간격에 따라 변화하며, body를 구로 모델링한 경우의 해석적 식은 참고문헌<sup>10)</sup>에 주어져 있다.

#### 3.1.1 전위차

맥스웰의 방정식을 이용하여 앞에 정의한 경우 1, 2에 대해 전위 및 전위차를 구하면 다음과 같다.

■ 경우 1

이 경우에 맥스웰의 방정식을 이용하여 계산하면, 식(3)과 식(4)로 표현된다.

$$Q_1 = c_{11} V_1 + c_{12} V_2 \dots\dots\dots (3)$$

$$0 = c_{12} V_1 + c_{22} V_2 \dots\dots\dots (4)$$

전위차는 두 물체간의 전하의 이동량을 결정하는 요소로서, 전위차가 크면 클수록 전하가 이동할 가능성이 많아 위험성이 증대된다. 방전하기 전에 전위차  $V_1 - V_2$ 를 계산하면 식(5)로 주어진다.

$$V_1 - V_2 = \frac{Q_1}{c_{11} - c_{12}^2/c_{22}} \left[ 1 + \frac{c_{12}}{c_{22}} \right] \dots\dots\dots (5)$$

방전후의 전위는  $V$ 가 되고, 초기 전하  $Q_1$ 은 양쪽의 body에 분산되어 새로운 전하  $q_1$  과  $q_2$ 가 만들어져서,  $Q_1 = q_1 + q_2$ 가 된다.

방전후의 공통 전위  $V$ 를 계산하면 식(6)과 같다.

$$V = \frac{Q_1}{c_{11} + 2c_{12} + c_{22}} \dots\dots\dots (6)$$

방전시에 이동된 전하량  $q_2$ 는 식(7)로 나타내어진다.

$$q_2 = Q_1 \frac{c_{12} + c_{22}}{c_{11} + 2c_{12} + c_{22}} \dots\dots\dots (7)$$

■ 경우 2

접지하여 0 전위를 갖는 body 2에 충전된 body 1이 접근하는 경우로서, 맥스웰의 방정식을 이용하면 식(8), (9)로 주어진다.

$$Q_1 = c_{11} V_1 \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_2 = c_{12} V_1 \dots\dots\dots (9)$$

여기서 body 1의 전위를 구하면 식(10)으로 계산된다.

$$V_1 = \frac{Q_1}{c_{11}} \dots\dots\dots (10)$$

방전하는 동안  $Q_1$ 은 body 1으로부터 body 2로 이동하고, 접지된 도체 body 2에 흐르는 전하량은  $\Delta Q = |Q_1| - |Q_2|$ 이다.

3.1.2 방전 에너지

전하량이 0에서부터 어느 일정량까지 도달하도록 도체에 전하를 공급시키려면 일정량의 에

너지가 필요한데, 이 에너지를 그 도체가 갖는 정전 에너지라 하고, 방전시에 외부로 발산하는 정전 에너지를 방전 에너지라고 한다.

Two-body 모델에서 도체의 에너지 값은 식(11)과 같다.

$$E = \sum_{i=1}^2 \frac{Q_i V_i}{2} \dots\dots\dots (11)$$

■ 경우 1

비접지한 body 1이 신발과 바닥의 마찰로 충전되어(단, 인체는 이외에도 여러 가지 경로로 인하여 대전될 수 있음), 비접지된 body 2에 접근하는 경우의 에너지는 다음과 같이 계산할 수 있다.

최초 에너지  $E_I$ 는 식(12)로 주어진다.

$$E_I = \frac{1}{2} \frac{Q_1^2}{c_{11} - c_{12}^2/c_{22}} \dots\dots\dots (12)$$

방전이 일어난 후의 최종 에너지는 식(13)으로 주어진다.

$$E_F = \frac{1}{2} \frac{Q_1^2}{c_{11} + 2c_{12} + c_{22}} \dots\dots\dots (13)$$

따라서, 방전시에 방출된 에너지는 식(14)로 계산된다.

$$\Delta E = \frac{1}{2} Q_1^2 \left[ \frac{c_{11}c_{22} - c_{12}^2}{c_{22}} - \frac{1}{c_{11} + 2c_{12} + c_{22}} \right] \dots\dots\dots (14)$$

■ 경우 2

충전된 body 1이 접지된 body 2에 접근하는 모델로, body 2는 영전위를 갖는다. 이 경우에 방전후 에너지는 body 2가 접지상태이므로 0이 되어, 방전 에너지의 차는 식(15)와 같다.

$$\Delta E = \frac{1}{2} Q_1 V_1 \dots\dots\dots (15)$$

방전 에너지 차는 방전시의 에너지 방출량을 나타내므로, 방전에너지가 크면 주위에 조그마한 가연물이 있을 경우에도 화재 및 폭발할 위험성이 크다. 방전 에너지를 작게 하기 위해서는 대전되는 전압을 낮추거나, 유전율이 낮은 물체를 사용해야 한다.

3.2 회로이론 해석법

방전전류 및 전압 파형분석에 의한 시간에 따른 방전현상을 규명하기 위해 방전경로상의 R, L, C값을 이용한 등가회로를 작성한다. Two-body 모델의 이론적인 정확성을 제공하기 위하여 프로그램을 이용한 결과를 도식적으로 나타내고 실제로 인체를 모델링한 실험에서 얻어지는 방전전류 및 전압파형의 결과와 비교하고자 도입한 개념이다. 각 경우에 대한 등가회로와 그 해석결과는 다음과 같다.

■ 경우 1

두 body가 모두 접지되지 않은 경우에 body 1과 body 2의 전위를 각각  $V_1, V_2$ 라 할 때 방전 전후의 전위차는  $V_1 - V_2$ 이다. R과 L은 방전 경로상의 전체 저항과 인덕턴스이다.  $R_1$ 과  $L_1$ 은 body 1의 저항과 인덕턴스이고,  $R_2$ 와  $L_2$ 는 body 2의 저항과 인덕턴스이다. Fig. 2의 등가회로를 바탕으로 해석한 방전전류는 식(16)으로 나타내어진다<sup>11)</sup>.

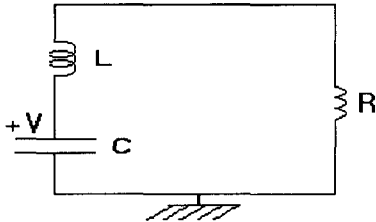


Fig. 2 An equivalent discharge circuit-Case I

$$\begin{aligned}
 V &= V_1 - V_2 \\
 C &= \frac{(c_{11} + c_{12})(c_{22} + c_{12})}{(c_{11} + 2c_{12} + c_{22})} \\
 R &= R_1 + R_2 \\
 L &= L_1 + L_2 \\
 i(t) &= K_1 e^{-t/\tau_1} + K_2 e^{-t/\tau_2} \dots \dots \dots (16)
 \end{aligned}$$

■ 경우 2

body 2가 접지되고, body 1은 접지하지 않은 경우의 등가회로를 그리면 Fig. 3으로 나타낼 수 있다. 방전시 전압은  $V_1$ 이고, body의 저항  $R_1$ 은 인덕턴스  $L_1$ 과 비교하여 매우 크며,  $R_2$ 와  $L_2$ 는 접지시에 리드선의 저항과 인덕턴스이다. 라플

라스 변환을 이용하여 전류를 계산하면 식(17)과 같다<sup>10)</sup>.

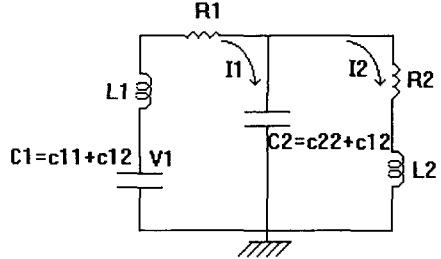


Fig. 3 An equivalent discharge circuit-Case II

$$\begin{aligned}
 I_2(s) &= \frac{V_1}{C_2 R_1 L_2} \frac{1}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \\
 &= \frac{V_1}{C_2 R_1 L_2} \frac{1}{(s - r_1)(s - r_2)(s - r_3)} \dots \dots \dots (17)
 \end{aligned}$$

4. 방전 실험

Two-body 모델의 타당성을 검증하기 위해서는 방전실험을 통하여 이론값과 비교해야 한다. 이론과 실험의 비교를 위해서 전위차 및 방전 에너지의 이론값을 구하고, 이 이론값과 방전 실험을 통한 측정값을 분석하여 이 모델을 증명할 수 있다. 방전 실험은 크게 두가지로 나누어 실제 인체를 대상으로 하는 실험과 인체와 동일한 정전용량값을 갖는 콘덴서를 사용하는 방전 모의실험이 있다. 인체의 정전기 방전 위험성 평가를 함에 있어서 가장 이상적인 실험방법은 인체를 이용한 방전 실험이다. 그러나 인체에 고전압 충전시 충격전류의 위험성으로 인하여, 본 실험에서는 정전기 발생장치를 이용하였다. 이 경우 일정한 전압으로만 충전되므로, 전압의 변화에 따른 방전 실험을 하기 위해 콘덴서를 이용한 방전실험으로 병행 보완하였다. 또, 일반적으로 인체에 대전된 에너지의 일부는 방전에너지가 되지 않는다고 알려져 있으나 본 연구에서는 대전에너지 전부가 방전에너지가 된다고 가정하였다.

4.1 인체 방전 실험

본 실험에서 사용한 인체의 방전현상 측정장치의 구성은 20 kV까지 인체를 충전시킬 수 있는 정전기 발생장치와 이를 측정할 수 있는 정전기 측정장비인 STATIRON-TH(25 kV 측정가능)를 사용하고, 사람, 전극, 200 MHz에 1 GS/s의 샘플링을 측정할 수 있는 스토리지 스코프, 그리고 접지저항에 사용되는 100 MΩ의 고저항, 절연판, 절연복으로 구성된다.

측정방법은 피실험자는 절연판위에서 정전기 발생장치에 왼손을 접근하여 인체에 충전을 하고, 오른손의 손가락으로 전극에 방전을 시켜, 이 파형을 스토리지 스코프를 이용하여 순간 전압 파형을 보이도록 하였다. 또한 측정시에 전극의 간격을 변화하면서 전극간 거리에 따른 전압의 변화에 대해 알아보았다.

#### 4.2 콘덴서 방전 실험

대전인체의 방전 현상에 가장 접근된 실험 방법으로 콘덴서를 이용한 방전 실험이 있다. 이 방법은 간단하고 실제 인체의 방전에서 일어나는 여러 가지 현상과 동일하게 실험을 진행할 수 있어 가장 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있다

측정장치의 구성은 Fig. 4와 같이 50 kV(30 μA) 출력되는 고전압 직류 전원공급기와 내전압 10 KV인 용량 100 PF의 콘덴서, 15 KV까지 견디는 고전압 진공 릴레이, 전극, 200 MHz에 1 GS/s의 샘플링을 측정할 수 있는 스토리지 스코프, 접지저항에 사용되는 100 MΩ의 고저항, 절연판으로 구성된다.

측정방법은 고전압 직류전원 공급장치를 이용하여 전원을 콘덴서에 충전하고, 고전압 전환스위치인 고압릴레이를 이용하여, 거리 변화가 가능한 침상 전극에 방전을 함으로써, 이 파형을 스토리지 스코프에 보여주었다. 이 실험에 들어가는 배선은 고압 시스템용으로 내압이 30 KV를 견딜수 있고, 가능한 짧게하여 배선의 커패시턴스를 줄일 수 있도록 하였고, 콘덴서와 접속되는 모든 부분은 실링 처리하여 고압의 누설을 최대한 방지했다.

#### 4.3 실험 결과 및 고찰

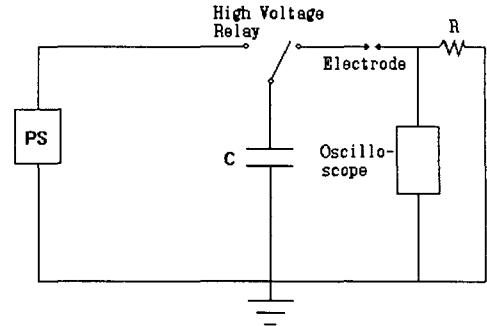


Fig. 4 An equivalent RC circuit for ESD of human body

인체 방전 실험과 콘덴서의 방전 실험에서의 두 방전 파형과 이론적인 방전 파형을 비교, 분석함으로써 이론과 실험의 타당성을 검토하였다.

인체를 이용한 방전실험과 콘덴서를 이용한 방전 실험 및 방전이론에 의한 방전전압의 파형을 전극거리의 함수로 할 때 그 파형은 유사하며, 대표적인 경우(전극거리 2 mm)를 Fig. 5에 나타낸다. 방전이론에 의한 값은 접지저항이 100 MΩ이고, 고압 프로브의 저항이 10 MΩ인 병렬 연결된 회로로 저항을 계산 하고, 콘덴서는 100 pF으로 사용하였다. 이때의 시정수는 9.09 ms로 나타나 측정값과 거의 일치한다.

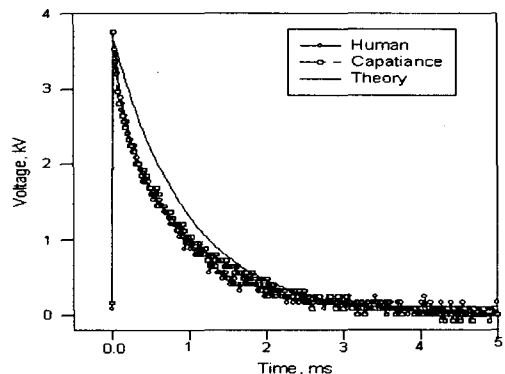


Fig. 5 Discharge voltage waveform over distance between two bodies-2mm

전극거리에 따른 최소 방전 한계전압을 나타낸 것으로 1 mm에서부터 10 mm까지의 변화 형태를 Fig. 6에 나타냈다. 본 실험에서는 콘덴서의 내압이 10 kV이기에 전극거리를 10 mm이상

으로 변화시켜주면, 공기의 절연과파 전압보다 작으므로 방전이 일어나지 않아 측정이 불가능했다. 1 mm에서 최소 방전 전압은 2.8 kV로 시작하여 거리의 증가에 따라 전극거리에 따른 최소 방전 한계전압이 선형으로 증가하는 것을 보여 주었다. 이 그림은 방전이 일어날 수 있는 한계 거리를 나타낸 것으로, 인체에 전압이 9 kV까지 충전된 경우, 10 mm이내로 다른 물체에 접근하지 않는다면, 방전이 발생하지 않아서 위험성이 없다고 볼 수 있다.

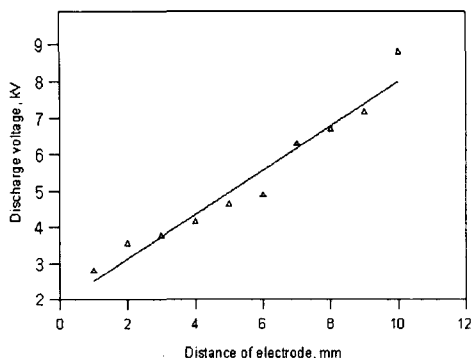


Fig. 6 Minimum discharge voltage over distance between two electrodes

## 5. 안전성 평가 프로그램

### 5.1 Flow Chart

Two-body 모델 이론으로 인체와 다른 물체 간에 방전 현상에 대해 방전이 일어날 가능성과 안전성 평가를 위해서 제시한 인체 방전 모델 해석 프로그램의 처리과정을 개략적인 Flow chart로 나타내면 Fig. 7과 같다.

### 5.2 프로그램 결과 및 고찰

인체의 방전으로 인한 폭발 위험성을 분석하기 위하여 Two-body 시스템에서 body 2의 크기 및 body 사이의 거리에 따른 용량계수, 전위 및 방전 에너지의 영향을 3차원으로 해석 평가하였다.

#### ■ 시스템의 전위차 및 방전 에너지 분석

인체의 정전용량 측정은 임피던스 측정기인

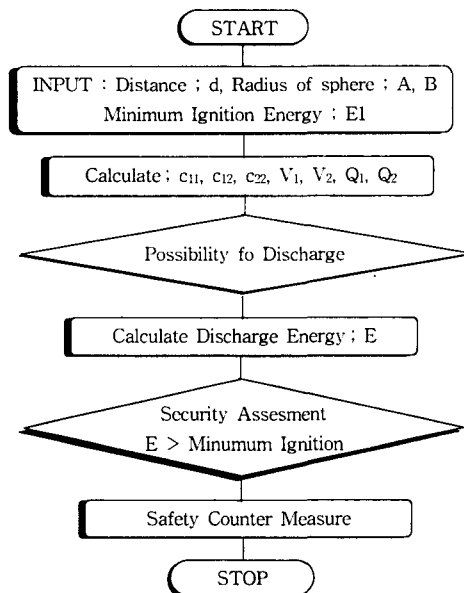


Fig. 7 Flow chart for the safety assessment of ESD

HP4194를 이용하여 측정한 결과 98~102 pF으로 나타나 평균으로 100 pF으로 나타낸다. 이때 인체를 구로 모델링할 경우 동일한 정전용량을 가지도록 반경 0.899 m의 구로 놓는다. 만약  $1 \times 10^{-6} C$ 의 전하가 body 1에 분포한다면,  $Q = CV$ 에서 body의 전위는 10 kV를 가진다. 본 연구에서는 body 1을 인체로 모델하고, body 2를 반경이 0.1 m에서 10 m인 구로 모델링하고, 구 사이의 간격은 1 mm에서 1 m까지로 했을때의 전위 및 전위차, 방전에너지를 구하였다. Fig. 8은 body 2를 비접지한 경우1의 결과로서 body 2의 전위를 나타낸 것이며 body 1의 크기에 비해 body 2의 크기가 작은 경우 매우 크게 감소하는 전위값이 나타났고, 그 반대의 경우에는 전위값이 거의 변화가 없었다. 또한 body 사이의 거리가 멀어짐에 따라 전위값은 감소하였다.

Fig. 9는 body 2를 접지한 경우의 전위차로서, body 1의 크기에 비해 body 2의 크기가 작은 경우에 전위값이 매우 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났고, 그 반대의 경우에 전위차값은 거의 일정하게 감소하는 것으로 나타났다. 또한 body 사이의 거리 상승에 따라 전위차값은 상승하는 것으로 나타났다.

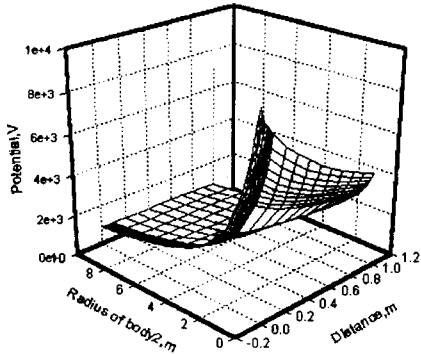


Fig. 8 Potentials of body 2 over radius of body 2 and distance-Case I

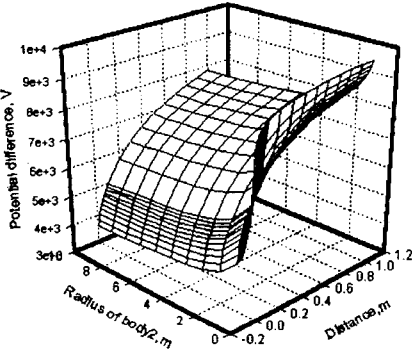


Fig. 9 Potential difference over radius of body 2 and distance-Case II

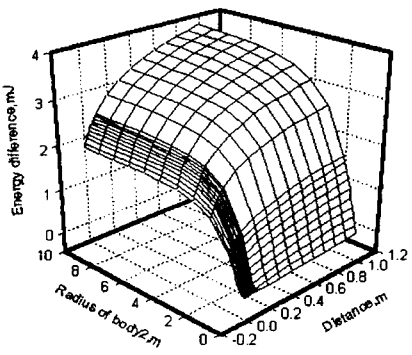


Fig. 10 Energy difference over radius of body 2 and distance-Case I

Fig. 10은 두 body 모두 비접지한 경우 body 사이의 에너지 차이로서 body 2의 크기가 큰 경우에 에너지의 차가 크고, body 2의 크기가

작은 경우에 에너지의 차는 작은 것으로 나타났다. 에너지의 차가 큰 것은 위험 가능성이 크다는 것으로 해석할 수 있다.

Fig. 11은 body 2를 접지한 경우 body 사이의 에너지 차이로서 body 2가 작은 경우에 큰 에너지차를 갖고, body 2가 큰 경우에 작은 에너지차를 가진다. 또한 거리가 멀리 떨어지면 에너지차는 증가하는 것을 볼 수 있다. 이 경우에 body 2는 접지를 하여 최종 방전 에너지가 0이므로 방전 에너지의 차는 최초 에너지값으로 나타난다. Fig. 10과 Fig. 11에서 알 수 있듯이 body 2를 비접지한 경우보다 접지한 경우가 방전 에너지가 크게 나타나므로 더 위험함을 알 수 있다.

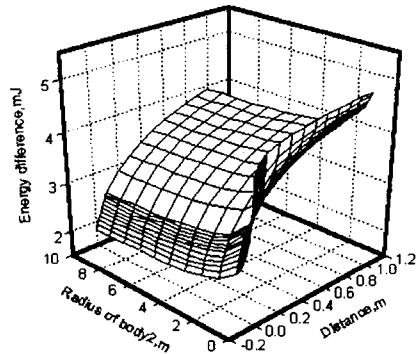


Fig. 11 Energy difference over radius of body 2 and distance-Case II

## 6. 결론

본 연구는 인체와 근접물체간의 거리와 표면적을 측정하여 동일한 정전용량을 갖는 두개의 구로 정의하였고, 인체에 대전된 정전기 방전 위험성을 해석하기 위하여 Two-body 모델의 개념을 이용하였다. 그리고 맥스웰 방법(Maxwell's method)을 이용하여 물체의 전위(차), 방전 파형 및 방전 에너지를 계산함으로써 방전현상을 해석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) Body 2를 접지한 경우의 전위차는 인체에 비해 body 2의 크기가 작은 경우의 전위차가 크게 감소하는 것으로 보이고, 반대의 경우에는 전위차가 거의 변함이 없다.

- 2) 방전에너지는 body 2를 비접지한 경우 body 1에 비해 body 2가 큰 경우의 방전에너지가 크게 나왔고, 접지한 경우 body 1에 비해 body 2가 작은 경우의 방전에너지가 크게 나왔다.
- 3) 프로그램을 통하여 인체와 근접물체에 대한 정보를 입력하여 방전 위험성을 평가할 수 있으므로 손쉽게 정전기 방전에 대한 안전성을 평가할 수 있다.
- 4) 본 연구의 방전모델을 이용하여 인체의 대전에 의한 emergency현상에 대한 해석 및 대전물체간에도 자주 발생하는 방전의 위험성도 평가할 수 있어 정전기로 인한 제반사고의 예방에 도움이 될 것으로 판단된다.

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

#### 참 고 문 헌

- 1) Owen J. McAteer, "Electrostatic discharge control" Mcgraw-hill book company, pp. 169~202, 1990.
- 2) Neil Sclator, "Electrostatic Discharge Protection for Electronics", TAB. professional and reference books, p. 94, 1990.
- 3) G. Theodore Dangelmayr, "ESD Program Management", VNR, 1990.
- 4) Y.L. Chow and M.M. Yovanovich, "The shape factor of the capacitance of a conductor", J. Applied Physics, Vol. 53, No. 12, pp. 8470~8475, 1982.
- 5) W.D. Greason, "Analysis of Human Body Model for Electrostatic Discharge(ESD), with Multiple Charged Sources", IEEE Trans. Ind. Appl, Vol. 30, 1994.
- 6) W.D. Greason, "Analysis of the Charged/Discharged Processes for the basic ESD Model", IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 29, 1993.
- 7) W.D. Greason, "ESD Characteristics of a Generalized Two Body System Including a Ground Plane", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 27, pp. 471~479, 1991.
- 8) W.D. Greason, "Charge and Potential Control of Electrostatic Discharge(ESD) and the Human Body", IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 32, 1996.
- 9) W.D. Greason, "Analysis of the Charge Transfer of Models for Electrostatic Discharge(ESD) and Semiconductor Devices", IEEE Trans. Ind. Appl, Vol. 32, 1996.
- 10) W.R. Smythe, Static and Dynamic Electricity, 3rd Ed. New York, McGraw-Hill, 1968.
- 11) W.D. Greason, "Review of Effect of Electrostatic Discharge and Protection Techniques for Electronic Systems", IEEE Trans. Ind. Appl, Vol. IA-23, 1987.
- 12) R.J. Smith, "Circuits, Devices and System", New York; John wiley and sons, 1984.