

論文97-34D-10-2

정전기 방전에 의한 전자 간섭빈도의 통계적 추정

(A Statistical Estimation of Electromagnetic Detection Rate Caused by Electrostatic Discharge)

姜仁鎬*, 李昌福**, 鄭玉鉉***

(In-ho Kang, Chang-bok Lee, and Ok-hyun Jeong)

요 약

물체끼리의 접촉, 충돌에 의해 발생하는 간접 ESD는 직접 ESD보다도 기기시스템에 심각한 영향을 일으키며, 비교적 작은 축적 에너지로 큰 손실을 일으키는 경우가 많다. 본 논문에서는 간접 ESD모델로서 구대 구 전극간에 Spark방전을 사용하였으며, 기기 시스템을 시판의 ESD검출기로 대체하였다. ESD 검출기의 전자 간섭 빈도를 실측해 ESD와 동반하는 발생전계의 특이 현상을 실험에 의해 나타내었다. 또한 ESD 검출빈도를 Rompe-Weizel의 저항식을 이용한 이론식을 적용해 이론의 타당성을 증명하였다.

Abstract

A modern electronic system located at a certain distance from the discharge may respond with unexpected sensitivity to that phenomenon, even if the phenomenon is so slight as to have been ignored in the port. It has been found that electromagnetic wave energy is emitted as a result of this electrostatic discharge between metallic objects. In order to theoretically examine the peculiar phenomenon, we propose an analytical approach to model the indirect ESD effect. A source model is given here using the spark resistance presented by Rompe-Weizel. A model experiment for indirect ESD is also conducted to express ESD detection rate by the statistical estimation. We verify that the statistical estimations agree the theoretical curve resulted from the Rompe-Weizel resistance.

I. 서 론

최근, 여러 가지 전자기기, 무선기기의 급격한 보급에 동반해서 기기로부터 전자(電磁)노이즈가 발생된다. 이러한 잡음이 원인이 되어 일어나는 기기의 고장, 오

동작은 사회문제가 되어, 관심이 점점 높아지고 있다. 전자 잡음의 발생원 가운데 특히 간접 ESD로 생기는 일과성 전자 펄스는 마이크로파 대역까지 주파수 스펙트럼이 포함될 뿐 아니라 직접적인 ESD보다 더 치명적인 것으로 발표되고 있다.^[1] 또한, 간접 ESD에 대하여 전자파의 파형, 크기등이 아직도 규명되지 않아 본 논문은 간접 ESD를 분석하기 위해 시판의 ESD 검출기를 사용하였다. 이러한 ESD검출기를 사용해 발생전계를 검출하고, 그 검출빈도를 통계처리함으로써 간접 ESD에 의해 발생하는 발생전계를 해석하였다. 또한 ESD 검출기는 디지털 IC를 내장하고 있기 때문에 이 실험은 간접 ESD에 의한 정보기기의 전자간섭 레벨의 측정도 가능하다. 여기서는 간접

* 正會員, 韓國海洋大學校 電波工學科

(Korea Maritime University Dept. of Radio Sciences & Engineering)

** 正會員, 韓國標準科學研究院 電磁氣 研究部

(Korea Research Institute of Standard and Science)

*** 正會員, LG電子(株) Multimedia研究所 責任研究院 (LG)

接受日字:1997年5月12日, 수정완료일:1997年9月2日

ESD모델로서 구대구 전극간의 Spark방전을 사용하였고, 기기 시스템을 시판의 ESD검출기로 대체하여 전자간섭 빈도(이하, "검출빈도"라고 부른다)를 실측하고 ESD에 동반하는 발생전계의 특이 현상을 실험결과에 의해 나타낸다. ESD의 발생빈도를 Rompe-Weizel의 저항식으로부터 도출된 ESD모델을 이용해 추정함으로써 이론의 타당성을 나타내었으며 동시에 간접 ESD에 의한 정보기기의 전자간섭 빈도의 추정법을 언급하였다. 또한 이러한 추정법을 사용해 발생전자계의 특이특성을 설명한다.

II. 이론

ESD는 대전물체가 일으키는 것으로 그 현상이 일어나기 직전의 부위는 전기 쌍극자로 볼 수 있다. 이것을 보다 간단히 하기 위해 대전물체를 점전하로 바꾸어 대전량 $\pm q$ 의 쌍극자가 거리 ℓ 만큼 떨어진 상태에서 방전한다고 가정할 수 있다.

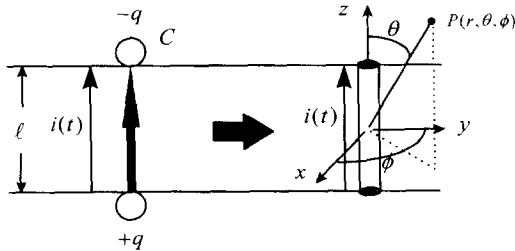


그림 1. (a) 전기 다이폴 모멘트와 (b) 다이폴 모델
Fig. 1. (a) Electric dipole moment and (b) dipole model.

이것을 그림 1의(a) 와 같이 나타낼 수 있다. 그리고 Spark방전이 일어나 전류가 흐르기 시작한 상태를 그림 1의(b) 와 같이 길이 ℓ 의 전류 다이폴로 모델화 하면, 이 경우 발생 전자계는 전류의 함수로 이론적으로 유도할 수 있다. 이때 다이폴 전류를 단발의 충격파로 보고, 전류 피크치를 I_m 라 놓는다. 그림 2로부터 축적전하량은 균등한 전류 구형 펄스의 피크치, 공칭 계속시간 τ 에 의해, $q = I_m \times \tau$ 의 관계를 만족하고 있다. 이 경우 다이폴 전류 $i(t)$ 는

$$i(t) = I_m \cdot F(t/\tau) \tag{1}$$

로 표현된다. 여기서 $F(\cdot)$ 는 파형 면적이 1인 무차원 함수이다.

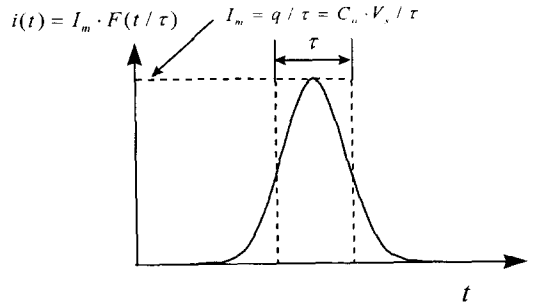


그림 2. 임펄스 방전전류
Fig. 2. Impulse spark current.

식(1)을 사용한 점P의 전계는 다음과 같다.

$$E_\theta(t) = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{\ell}{cr} \right)^2 \frac{Z_0 I_m}{l} \sin \theta \left\{ \frac{1}{(r/c\tau)^3} \left[1 - \int_0^{t/\tau} F(x - \frac{r}{c\tau}) dx \right] + \frac{1}{(r/c\tau)^2} F\left(\frac{t}{\tau} - \frac{r}{c\tau}\right) + \frac{1}{(r/c\tau)} \frac{d}{d(t/c\tau)} F\left(\frac{t}{\tau} - \frac{r}{c\tau}\right) \right\} \tag{2}$$

여기서, c 는 광속이며 $Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$ 는 자유 공간의 고유 임피던스이다. 식(2)에서 우변 제 2 항은 유도계이고, 제 3 항은 방사계이다.

또한, 다이폴 전류는 Spark전류로 볼 수 있으므로 미소 간격 ℓ 의 용량 방전 회로를 푸는 것에 의해 주어진다. ESD가 발생하기 전의 방전부위의 정전 용량을 C_0 , 방전 전압을 V_s 로 놓고, Spark저항에 Rompe-Weizel의 식을 적용하면 다이폴 전류의 침투치 I_m 과 함수 $F(\cdot)$ 는 다음과 같이 주어진다.^[2]

$$I_m = \frac{C_0 V_s}{\tau} = \frac{C_0 V_s (a/d) (V_s/d)^2}{3\sqrt{3}} \tag{3}$$

$$F(t/\tau) = \frac{3\sqrt{3}}{2} \exp\left\{3\sqrt{3}\left(\frac{t}{\tau} - x_0\right)\right\} \cdot \left[1 + \exp\left\{3\sqrt{3}\left(\frac{t}{\tau} - x_0\right)\right\}\right]^{-1.5} \tag{4}$$

$$\frac{\partial F(t/\tau)}{\partial(t/\tau)} = \frac{27}{4} \exp\left\{3\sqrt{3}\left(\frac{t}{\tau} - x_0\right)\right\} \cdot \left[1 + \exp\left\{3\sqrt{3}\left(\frac{t}{\tau} - x_0\right)\right\}\right]^{-2.5} \cdot \left[2 - \exp\left\{3\sqrt{3}\left(\frac{t}{\tau} - x_0\right)\right\}\right] \tag{5}$$

다이폴 전류의 최대기울기 $\left. \frac{di}{dt} \right|_{\max}$ 는

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{\max} = \frac{2\sqrt{21}-3}{75\sqrt{6-\sqrt{21}}} C_0 V_s (a/d)^2 (V_s/d)^4 \tag{6}$$

가 된다.

여기서 a 는 방전부위를 감싸는 대기의 종류와 압력 그리고 온도에 의해 결정되는 정수이며, 대기압의 공기중에는 $a \approx 1.1atmcm^2/V_s^2$, x_0 는 적분 상수가 된다. 식(4), (5)는 ESD의 발생부위의 정전 용량 C_0 와 방전 간격 l 그리고 방전 전압 V_s 가 주어지면 계산된다. 그리고, 식(3)의 정전 용량 C_0 가 일정하다면, 전류의 침투치와 상승 시간은 방전 전압 V_s 와 방전 개시시의 전위경도 $\frac{V_s}{l}$ 로 결정된다.

III. 실험

1. ESD 검출기

방전전류파형과 그것에 의한 발생전계의 파형관측에는 대규모의 측정 시스템, 고성능의 측정기기가 필요하게 된다.^[3] 그러나, 정보기기 장애발생시 그 주변에서의 ESD의 유무와 ESD강도와 인과관계를 조사하는 데는 위에 언급한 Wilson- Ma 측정법으로는 다음과 같은 문제를 내포하게 된다. (1)재현성이 부족한 인펄스인 점, (2)ESD가 발생하는 곳이 매회 정해지지 않는 점, (3)계속시간이 지극히 짧다는 점, (4)광대역 스펙트럼인 점, (5)근방 전자계에 계산기가 노출된다는 점 등의 이유로 기존 측정기를 아무리 조합해도 실용성이 떨어지게 된다. 이러한 범용 측정기기가 갖는 제약 없이 하기 위해서 크기, 모양을 소형화 시키는 것에 주안점을 둔 ESD검출기^[4]가 설계되었다. ESD검출기는 안테나와 본체가 일체화되고, 전원내장형이 되어 좁고 번잡한 기기의 장치내부에 설치하는 것도 가능하게 된다. 여기서는 간접ESD에 의한 발생 전계를 해석하는데 간접 ESD모델로서 구대구 전극간의 Spark방전을 대상으로 하고, 방전에 의한 발생전계를 관측하기 위해 위에 언급한 ESD검출기에 시판 ESD locator^[5]를 사용하였다. 그림 3은 간접 ESD에 의한 발생전계를 검출하는데 사용된 ESD검출기의 외관과 규격을 나타내었고, 그림 4는 ESD검출기의 내부 회로도를 나타낸다. 동검출기는 일본의 三基電子工業株式會社の 제품이다. 검출기의 안테나는 25mm의 로드타일로 여기에 과도 인펄스전계가 도달하면, 유도전압이 생긴다. 이 신호는 내장 증폭기로 증폭되어 flip-flop을 반전시키면 응답음을 내도록 장치되었다. 동검출기의 검출, 비검출은 도달된 전계의 피크치 뿐만 아니라 펄스폭에도 의존한다.^[6] 여기서는 ESD의 전자 방해 레벨로서 도달전계의 피크치에 착안해, 이것이

어떤 기준치를 넘었을 때 검출기는 응답음을 낸다고 가정한다.

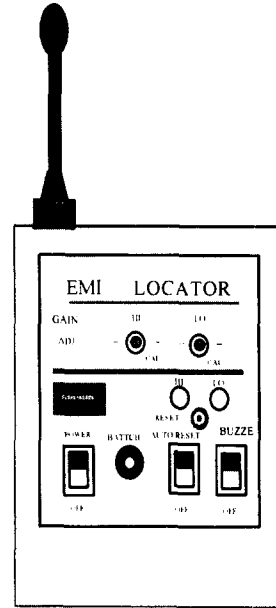


그림 3. ESD검출기의 외관
Fig. 3. The view of ESD detector.

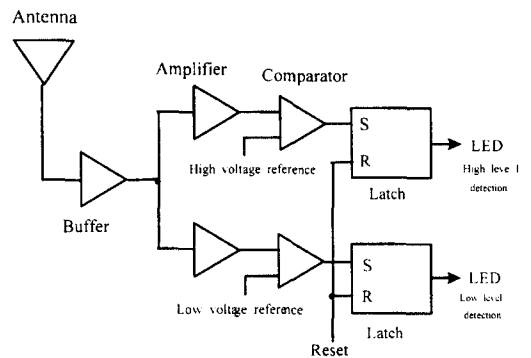


그림 4. ESD검출기의 내부 회로도
Fig. 4. Schematic diagram of ESD detector.

2. 실험 장치와 측정법

전절에 언급한 ESD검출기를 사용해, 간접 ESD의 모델을 다음과 같이 구성했다. 그림 5는 구대구 전극의 배치도와 측정법을 나타낸다. 먼저 pulse generator로 펄스 전압을 발생 시킨다. 펄스 전압으로 자동차점화 코일을 구동해 최대 20kV의 고전압을 저항 끈(250 Ω/cm, 70cm×2개)으로 연결해, 구대구 전극(반경 a=15mm)간에 Spark방전을 일으킨다. 또한 전자 간섭을 받는 정보기기 시스템을 ESD검출기로 바꾸어

방전때마다 이것의 응답음으로 ESD검출기의 오동작 빈도와 방전전압을 동시 측정한다. 저항끈을 사용하는 이유는 저항끈 대신에 도선을 사용하면 고전압을 구대 구 전극에 유도하는 도중에 전류경로에 전류가 흘러서 전계가 발생하므로 이것에 의한 전계를 억제해 그림 1과 같이 도체간의 다이폴 전류만에 의한 발생전계를 관측하는데 있다.

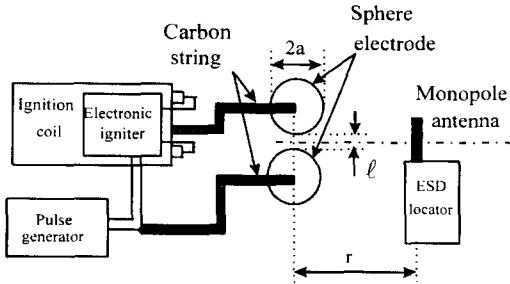


그림 5. 구대구 전극 배치도
Fig. 5. Configuration of experimental setup and ESD detection.

이 저항끈은 선간에 캐패시턴스가 생기지 않도록 큰 호를 그리도록 배치했다. 또한, 도체구와 다른 도체간에 불필요한 캐패시턴스가 생기지 않도록 목재의 책상(책상높이:1m)에 실험장치를 배치해 방전시켰다. 또한 도체구는 대지로부터 절연시키기 위해 아크릴판을 놓고 그위에 배치했다. 방전전압은 도체간에 방전을 일으키는 동안 도체로부터 고전압probe를 연결해 오실로스코프로 파형을 관측하는데 방전 순간의 전압을 측정한다. 당초에는 실험을 복도에서 했으나 ESD검출빈도가 거리와 함께 단조감소 하지 않는점, 즉 복도에 ESD와 동반하는 전자계의 정재파가 발생할 가능성이 있기 때문에 실험을 옥상에서 수행했다. 이때 바닥으로부터 반사를 방지하기 위해 방전점으로부터 ESD검출기까지 직선상의 판상에 전파흡수체를 배치했다. 실험은 다음과 같이 행해졌다. 전극으로부터 일정거리에 ESD검출기를 배치하고, 구대구 전극간에 2초간격으로 Spark방전을 일으켰다. 각 방전간격, 각 거리마다 50회의 방전을 일으켰다. 일회의 방전때마다 검출기의 검출, 비검출과 Spark전압을 동시 측정한다. 실험의 목적은 이하의 2가지 점에 두었다. (1) 간접 ESD에 의한 정보기기의 전자간섭빈도의 추정법을 검토한다. (2) ESD에 동반하는 발생전계의 특이현상을 실험 결과에 의해 나타낸다. 먼저 (1)에 대해서는 방전 간격

을 0.2, 0.6, 1.0, 1.4 mm의 4종류로 한정했다. ESD 검출기는 각 방전 간격마다 방사계 영역에 상응하는 거리에 배치해서 8곳에서 검출 빈도를 측정했다. (2)에 대하여는 발생 전자계의 방전 간격 의존성을 조사하기 위하여 방전간격을 0.2~2.5 mm로 (1)과 비교해서 9종류로 측정하였다. 각 방전 간격에 대하여 ESD검출기를 검출 빈도가 0%~100%의 방사계 영역 8군데를 선택해서 배치하고, 각 거리에서 검출, 비검출과 방전 전압을 동시 측정했다.

표 1. 각 방전 간격에 따른 정전 용량과 방전 전압

Table 1. Gap capacitances and spark voltages according to gap lengths.

Gap length ℓ [mm]	Gap capacitance C_g [pF]	Spark voltage V_s [kV]*
0.2	2.868	2.689 ± 0.109
0.6	2.421	6.701 ± 0.342
1.0	2.217	9.686 ± 0.291
1.4	2.086	10.826 ± 0.354

* Mean ± Standard deviation

3. 결과 및 고찰

표 1은 각 방전 간격 ℓ 에 따른 정전용량 C_g 와 방전 전압 V_s 를 정리했다. 여기서 정전용량 C_g 와 방전거리 ℓ 은 (6)식에 의해 다음과 같이 유도된다.

$$C_g = 27 \cdot \frac{2\sqrt{21}-3}{75\sqrt{6}-\sqrt{21}} \cdot \frac{1}{V_s} \cdot I_m^2 \cdot \left. \frac{di}{dt} \right|_{\max} \quad (7)$$

$$\ell = \sqrt{3\sqrt{3} \cdot \frac{2\sqrt{21}-3}{75\sqrt{6}-\sqrt{21}} \cdot \alpha \cdot V_s^2 \cdot I_m \cdot \left. \frac{di}{dt} \right|_{\max}} \quad (8)$$

여기서, 방전전압은 실측치(표중의 수치는 400회(=50회×8)측정의 평균치와 표준편차이다)이다. 방전전압은 각 방전간격마다 400회의 방전으로 평균방전전압의 3%이상 차이가 나지만, 방전간격이 크면 클수록 평균 방전 전압은 증가하고, 그 증가율은 감소한다. 그림 6은 ESD검출빈도의 거리의존성을 나타낸다. 그림 중의 곡선은 검출빈도의 추정치(후술)이다. 그림으로부터, 각 방전간격에 대해 거리가 멀게되면 검출빈도가 감소한다. 다음은 ESD 검출빈도를 방전전압의 통계량을 사용해 추정하는 방법을 검토했다. 검출기는 그 장소에 있어서 ESD에 의한 전계 침투치 E_f 가 기준치 E_{th} 를 초과 했을 때 응답음을 발한다고 가정하면 검출빈

도 η 는 E_{th} 값을 초과하는 E_p 의 발생확률로부터 추정할 수 있다. 여기서 검출기는 방사계 영역에 배치했기 때문에 Spark방전에 동반하는 방사전계에에만 응답한다고 본다. 그럼 5의 배치도의 모노폴 안테나가 받는 전계 침투치식은 식(2)로부터 $\theta = \pi/2$ 를 놓고 풀면

$$E_p = \frac{27(-9 + 2\sqrt{21})(6 - \sqrt{21})^{-2.5}}{4\pi} \cdot \frac{\ell}{cr} \cdot \frac{Z_0 C_0 V_s}{\tau} \cdot \frac{1}{r} \quad (9)$$

로 구해질 수 있다. 이 방사전계 침투치는 (6)식으로부터 방전전압의 5승에 비례하기 때문에 방전전압의 조그마한 변화에 대해서 크게 변한다.

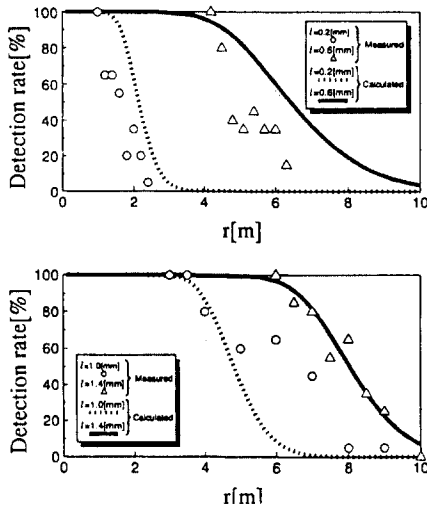


그림 6. ESD검출빈도의 거리의존성
Fig. 6. Dependence of ESD detection rate $\eta(r)$ on observation distance r .

여기서 측정된 방전전압의 흠어짐에 대응하는 방사전계 침투치를 구해서 ESD 검출기의 검출빈도 η 를 구한다. 거리 r 에서 E_p 와 V_s 의 확률밀도 함수를 각각 $p(E_p, r)$ 와 $q(V_s)$ (예를 들어 여기서 E_p 는 각 방전간격, 각 거리마다 50회 방전, V_s 는 각 방전간격마다 400회 방전의 확률밀도 함수)라고 하면, $\eta(r)$ 은

$$\begin{aligned} \eta(r) &= \int_{E_{th}}^{\infty} p(E_p, r) \cdot dE_p \\ &= \int_{V_{th}(r)}^{\infty} q(V_s) \cdot dV_s \end{aligned} \quad (10)$$

가 된다. 단지 여기서 V_{th} 는 E_{th} 값을 도출시키는 방전전압이다. 결국 ESD의 검출빈도 η 는 다음과 같이 추정할 수 있다. 먼저 적당한 방전간격의 방전에 의한

실측 검출빈도가 50%가 되는 거리 $r |_{\eta=50\%}$ 를 실측치의 직선근사로 구하고, 이 장소에서 방사전계 침투치 E_p 를 식(9)로 부터 계산한다(방전전압은 평균치를 사용했다). 이것을 기준치 E_{th} 라고 한다면 (9)식으로부터 임의의 거리에 따르는 $V_{th}(r)$ 가 구해진다. 이러한 이유로 검출빈도 η 가 (10)식으로부터 계산할 수 있다. 여기서 기준치 E_{th} 는 방전간격 1mm의 데이터를 사용해서 구해졌다. 방전전압의 확률밀도 함수 $q(V_s)$ 는 정규분포라고 가정해서 평균치와 표준편차의 실측치로부터 결정되었다. 이와같이 구해진 ESD검출빈도의 거리의존성은 그림 6과 같이 곡선으로 나타내었다. 그림 6을 보면 방전간격 1mm를 기준으로 E_{th} 를 결정했기 때문에 그 방전간격에는 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 다른 간격에 대해서는 다소 실측과 차이가 있다. 측정중에도 방전전압이 크게 변화해 전계 피크치가 방전전압의 5승에 비례해서 변화가 있었지만 추정치는 실측치와 대체로 일치하는 것을 알 수 있다.

표 2. 각 방전 간격에 따른 방전 전압과 방전 전하량

Table 2. Spark voltages and spark charges for gap lengths.

Gap length ℓ [mm]	Spark times N	Spark voltage V_s [kV]*	Spark charge Q [nC]*
0.4	450	2.818 ± 0.113	7.285 ± 0.292
1.0	500	10.272 ± 0.609	22.773 ± 1.350
2.0	450	11.044 ± 0.392	21.525 ± 0.764
2.5	500	15.351 ± 1.754	28.629 ± 3.271

* Mean ± Standard deviation

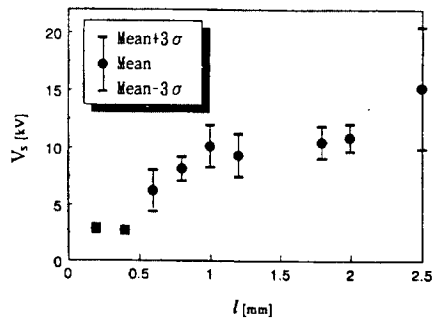


그림 7. 방전전압의 방전거리 의존성
Fig. 7. Dependence of Spark voltage V_s on gap length ℓ .

표 2는 방전간격에 따른 방전회수, 방전전압(실측 평균치 \pm 표준편차)과 방전전하량(전극간 용량 \times 방전 전압)을 나타낸다. 방전전압의 방전간격의존성은 그림 7과 같이 나타난다. 방전전압, 방전전하량은 방전간격과 동시에 증가하는 것을 알 수 있다. 발생전계에 대한 ESD검출기의 검출빈도가 50%가 되는 거리를 검출 거리로 놓으면, 이것의 방전 간격 의존성은 그림 8과 같이 된다.

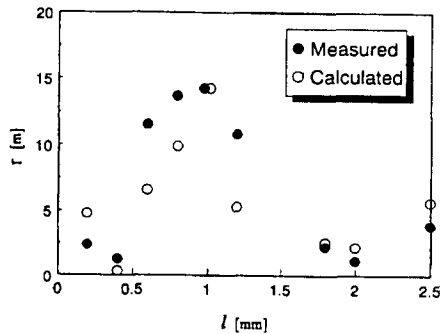


그림 8. ESD 검출빈도의 방전간격 의존성

Fig. 8. Relationship between gap length l and observation distance r that given $\eta=50\%$.

그림에서 ●표시는 실측치, ○표시는 계산치를 나타낸다(후술). 여기서 검출거리의 실측치는 검출빈도의 거리의존성을 실측해서 그 결과를 나타냈다. 그림으로부터 실험결과는 1mm방전간격에 의한 검출거리가 최대로 되고 있다. 50%검출거리는 방전간격과 같이 증가하다가 최대값에 도달한 후에는 감소하는 것을 알았다.

다음은 ESD 검출거리의 추정법을 검토했다. ESD 검출거리 r 는 다음과 같이 추정할 수 있다. 먼저 적당한 방전간격의 방전에 의한 실측 검출 빈도가 50%가 되는 거리를 구하고, 그 장소에서 방사전계 침투치를 (9)식으로부터 구한다(방전전압은 평균치를 사용한다). 이것을 기준치 E_{th} 로 한다면, 임의의 방전간격의 방전에 의한 방사전계의 침투치가 E_{th} 와 일치하는 거리 r 을 식(9)로 부터 계산한다(방전전압은 평균치를 사용한다).

이렇게 해서 구한 ESD검출거리의 방전간격을 그림 9의○표시로 표시한다(여기서, 기준치 E_{th} 는 방전간격 1mm의 실측검출빈도로부터 구했다). 그림으로부터 추정치는 실측치와 대체로 일치하는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

간접적인 ESD모델로서 구대구 전극간의 Spark방전을 사용하였다. 기기시스템을 시판의 ESD검출기로 보고 ESD검출기의 검출빈도와 방전전압을 동시 측정했다. ESD에 동반하는 발생전계에 따른 검출빈도의 거리의존성의 실측결과는 ESD 발생전계가 특정 방전간격에서 멀리까지 검출된다는 것, 즉 ESD는 축적에너지에 반드시 비례하지 않는다는 ESD특이현상을 나타내게 되었다. 이러한 간접 ESD에 의한 정보기기의 전자 간섭 빈도를 Rompe-Weizel의 저항식을 이용해 추정했다. 추정결과는 실측결과를 잘 나타냈으며, 검출빈도는 방사전계 피크치로 부터 대체로 추정가능하다. 이 추정법을 사용해서 발생전자계의 검출거리의 방전간격 의존성을 검토한 결과, 추정결과는 측정결과를 잘 표현해, ESD에 의한 발생전계의 특이특성을 정량적으로 해석하는 것이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] 本田昌實: “ESDの特徴と計算器に對する影響”(その4)信學技報, EMC86-26
- [2] O.Fugiwara and Y.Amemiya: “Calculation of ignition noise level caused by plug gap breakdown”, IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol. EMC-24, no. 1, pp. 26-32, Feb. 1982.
- [3] P.F.Wilson and M.T.Ma: “Fields radiated by electrostatic discharges”, IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, EMC-33, no. 1, pp. 10-18, Feb. 1991.
- [4] 本田昌實: “ESDの特徴と計算器に對する影響”(その1)信學技報, EMC83-75
- [5] 三基電子工業株式會社: EMI 로케터-(MODEL ES-8IV)테"-타시트
- [6] 小川, 藤原: “ESD檢出器の檢出餘裕度について”, 東海連大, pp. 414, 1994

— 저 자 소 개 —



姜仁鎬(正會員)

1964년 2월 27일생. 1986년 서강대학교 전자공학과 졸업. 1989년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1996년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1996년 3월 ~ 현재 한국 해양대학교 전파공학과 전임강사. 주관심분야는 EMI/EMC, 초고주파 회로 설계

鄭玉鉉(正會員) 第 33卷 A編 第 12號 參照

현재 LG전자(주) Multimedia 연구소 책임연구원



李昌福(正會員)

1956년 12월 9일생. 1980년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업. 1982년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1994년 8월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1982년 4월 ~ 현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 전자기환경(EMC)그룹 책임연구원(그룹장), 주관심분야는 EMI/EMC, 초고주파 회로 설계, GPS 항법 및 시각동기기술 등