

접지시스템에서 접촉전압과 보폭전압의 비교측정

Comparative Measurement of Touch and Step Voltages in Ground Systems

김항국[†] 문병두* 박대원** 길경석*** 한주섭 §
Hwang-Kuk Kim Byung-Doo Moon Dae-Won Park Gyung-Suk Kil Ju-Seop Han

ABSTRACT

Ground systems set the reference voltage level of circuit and system, and suppress Ground Potential Rise (GPR) by flowing fault currents to ground safely. There are several parameters which evaluate the performance of ground systems as ground resistance, touch voltage and step voltage. The touch and step voltages are especially important to ensure safety of human body.

In this paper, we measured the touch and step voltages by injection of power frequency and surge current. Also correlation between touch and step voltages is compared and analyzed for the same ground systems.

1. 서 론

접지란 전기·전자·통신설비를 대지와 전기적으로 접속하는 것을 말하며, 접속하기 위한 터미널이 접지전극이다. 접지의 주된 목적은 회로의 기준전위를 정하거나, 뇌격전류 또는 지락전류가 대지로 유입될 때 대지전위의 상승을 억제하여 인체의 감전 (electric shock)이나 전기·전자통신기기의 사고를 방지하는 것이다[1],[2]. 접지성능을 나타내는 주요 파라미터로는 접지저항, 접촉전압과 보폭전압 등이 있다. 특히 감전에 대한 인체의 안전성 평가에는 접촉전압과 보폭전압이 가장 중요한 파라미터이다.

본 연구에서는 실험용 모의 접지전극에 상용주파수와 서지전류 인가에 의해 대지표면에 나타나는 접촉전압과 보폭전압을 인체모델로 측정하였다[3]. 실험결과로부터 고장전류의 크기와 접촉전압 및 보폭전압의 상관관계를 분석하였으며, 상용주파수와 서지 전류에 의한 접촉 및 보폭전압의 측정값을 상호 비교·분석하였다.

2. 접촉전압 및 보폭전압

2.1 접촉전압

접지전극에 뇌격전류 또는 계통의 고장전류가 유입하면 접지시스템 부근의 대지전위가 상승한다. 이 때 인체가 접지전극 부근의 구조물에 접촉되면, 구조물의 전위와 인체가 서 있는 지점의 대지표면 사이의 전위차를 접촉전압 (touch voltage)이라 하며, 인체의 손과 다른 신체의 일부 사이에 인가되는 위험 전압이다. 인체가 구조물에 접촉한 상태를 전기적 등가회로로 나타내면 그림 1(a)와 같다. 한쪽 발에 대한 대지접촉저항 $R_f[\Omega]$ 를 지표면 부근의 대지고유저항 $\rho_s[\Omega\cdot m]$ 를 적용하여 나타내면 $3\rho_s$ 이고, 인체전기저항을 $R_B[\Omega]$, 손과 구조물의 접촉저항을 $R_H[\Omega]$, 인체에 흐르는 전류를 $I_B[A]$ 라고하면, 허용접촉전압 V_t 는 R_B 를 1000 $[\Omega]$ 이라 가정하고, R_H 를 무시하면 다음의 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$V_t = I_B (R_H + R_B + R_f/2) = (1000 + 1.5\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}} = \frac{116 + 0.17\rho_s}{\sqrt{t}} [V] \quad (1)$$

† 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 석사과정, 정회원
E-mail : hkkim@hhu.ac.kr

TEL : (051)410-4893 FAX : (051)403-1127

* 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 석사과정, 정회원

** 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 박사과정, 정회원

*** 한국해양대학교 전기전자공학부 교수, 정회원

§ 한국철도시설공단 KR 기술연구소, 정회원

2.2 보폭전압

접지전극을 통하여 고장전류가 대지로 유입될 때, 그림 1(b)에 나타난 바와 같이 접지전극 주변의 대지표면에 전위차 (potential difference)가 발생한다. 이때 인체의 양발 사이에 인가되는 보폭전압 (step voltage)은 고장전류와 양쪽 다리 사이의 거리에 해당하는 접지저항의 곱으로 나타나며, 접촉전압과 더불어 감전보호에 있어서 매우 중요한 요소이다. 고장전류가 흐르는 접지전극의 근처에 인체가 서 있는 경우, 인체의 전기저항을 $R_b[\Omega]$, 한쪽 발의 대지접촉저항을 $R_f[\Omega]$ 그리고 인체를 통하여 흐르는 전류를 $I_b[A]$ 라 하면, 허용보폭전압 V_s 는 다음 식 (2)와 같다.

$$V_s = I_b (R_b + 2R_f) = (1000 + 6\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}} = \frac{116 + 0.7\rho_s}{\sqrt{t}} [V] \quad (2)$$

IEEE 규정에 정의된 접촉전압은 접지되어 있는 구조물과 대지표면상의 거리 1[m]인 지점사이의 전위차로 나타내며, 보폭전압은 인체가 서 있는 상태에서 양발을 1[m] 간격으로 벌렸을 때 지표면 위의 양발 사이의 전위차로 나타낸다[3],[4].

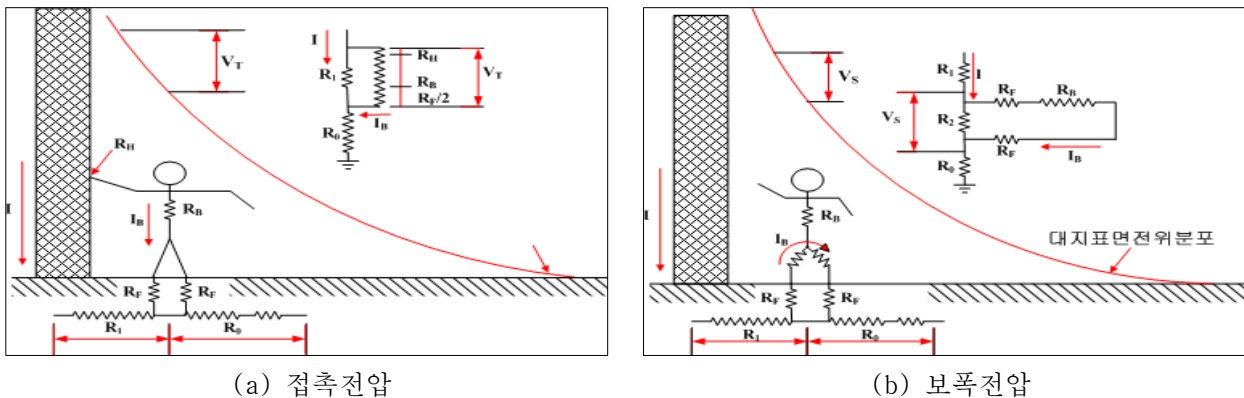


그림 1. 접촉전압과 보폭전압

3. 실험 및 측정

3.1 실험계의 구성

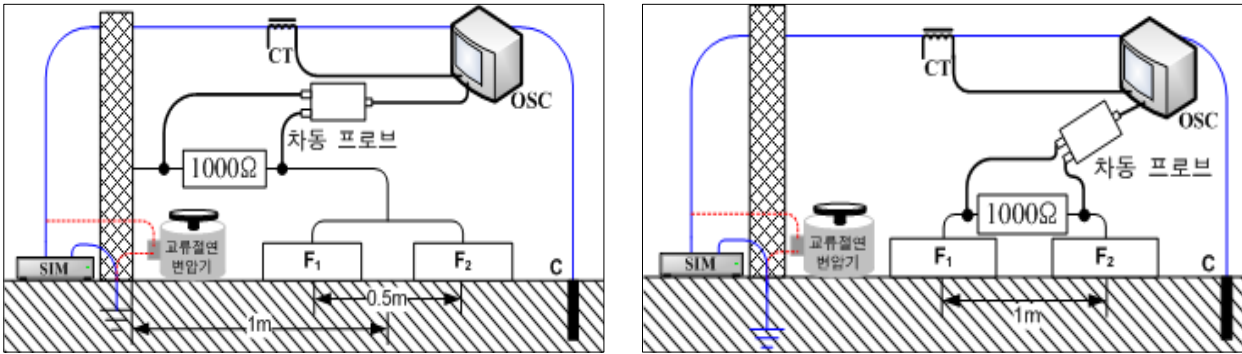
접촉전압과 보폭전압을 측정하기 위해서는 대지표면과 두발 사이의 접촉저항 및 인체의 내부저항이 중요한 파라미터이다. 실험계는 접지봉 (지름 14[mm], 길이 1[m] 동봉) 3개를 연결한 접지전극 및 높이 1[m]의 접지된 구조물과, 발 모형 전극 (footprint electrode) 및 저항으로 등가화한 인체모델을 이용하여 구성하였다. 여기서 인체의 전기저항은 1000[Ω]의 탄소피막저항을 이용하고 대지표면과 접촉하고 있는 양발은 가로 10[cm], 세로 20[cm], 두께 1.5[cm]의 직사각형 모양 금속판으로 발 모형 전극을 구성하였다.

접촉전압 및 보폭전압의 실험계는 그림 2 (a), (b)와 같이 구성하였으며, 전류주입 보조전극 C는 구조물과 약 10[m]의 간격으로 설치하였다. 여기서 F_1 , F_2 는 발 모형 전극 (Footprint Electrode)이다.

3.2 접촉전압 및 보폭전압의 측정

접촉전압과 보폭전압은 각각 상용주파수 전류와 서지 전류에 대해서 측정하였다. 상용주파수 전류는 교류절연변압기 (0~220[V], 20[A])로 최대 3[A]까지 인가하였으며, 서지 전류는 Surge Impedance Meter (인가전압 1~5[kV], 상승시간 500~50[ns])를 이용하였다[5]. 동일한 조건에서 측정을 위해 인가전압은 5[kV]로 고정하고 접촉전압과 보폭전압을 분석하였다.

실험계에서 접지전극을 통해 대지로 인가되는 전류 측정은 광대역 변류기 (1[Hz]~20[MHz], 0.1[V/A])를 이용하고, 이때 인체모델에 나타나는 접촉전압과 보폭전압은 차동 프로브 (DC 1[Hz]~20[MHz])로 측정하였다.



(a) 접촉전압

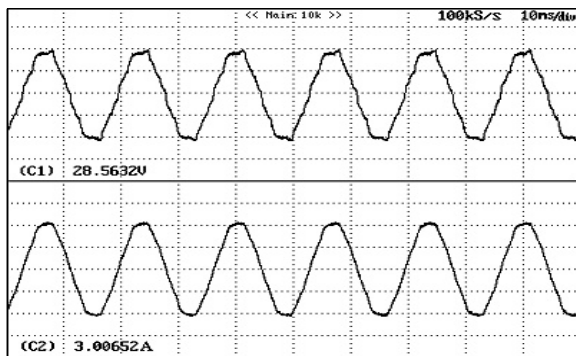
(b) 보폭전압

그림 2. 접촉전압 및 보폭전압의 측정

4. 측정결과 및 고찰

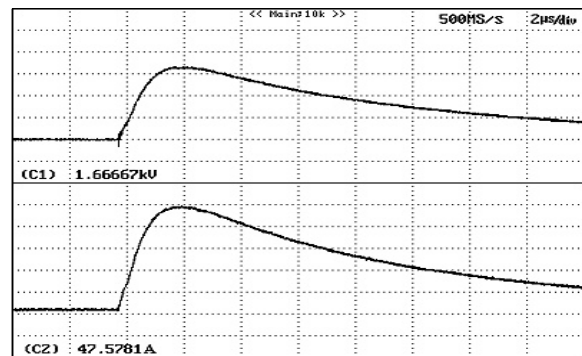
4.1 접촉전압

그림 3(a)는 3[A]의 상용주파수 전류 인가시 파형으로 접촉전압은 14.28[V_{rms}]이며, 그림 3(b)는 서지 전류 인가시의 파형으로 47.58[A_{peak}] 전류에서 접촉전압은 822.5[V_{peak}]이다.



상: [20V/div, 10ms/div]
하: [2A/div, 10ms/div]

(a) 상용주파수 전류



상: [500V/div, 10ms/div]
하: [10A/div, 10ms/div]

(b) 서지전류

그림 3. 접촉전압의 측정 파형예

그림 4는 접촉전압의 측정값과 500[ns]의 서지 전류 인가시 측정값을 환산하여 나타내었다. 서지 전류의 접촉전압이 상용주파수 전류에 의한 것보다 2~3.6배 정도 높게 나타났다. 동일한 크기의 전류에서 서지 전류 유입에 의한 접촉전압의 위험성이 더 높음을 알 수 있었다.

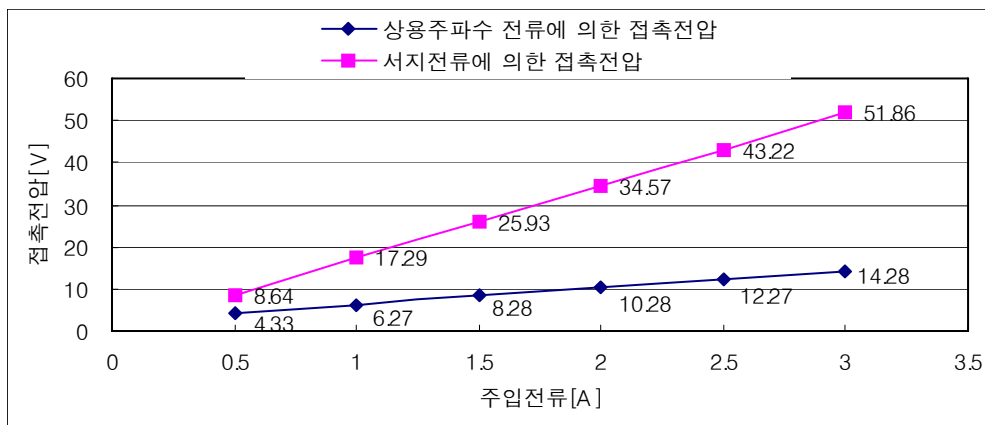


그림 4. 접촉전압의 비교

그림 4에 나타낸 바와 같이 상용주파수에서 인가전류와 접촉전압은 선형적인 관계가 있음을 알 수 있으며, 이 관계를 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$V_t = V_k \frac{\text{Actual Fault Current}}{\text{Test Current}} [V] \quad (3)$$

V_t : 실제 지락전류에 의한 접촉전압, V_k : 측정전류에 의한 접촉전압

따라서, 대규모 접지시스템에 대전류를 직접 흘리지 않더라도 식 (3)을 이용하여 접지설계 및 접지시스템의 성능을 평가할 수 있을 것으로 생각된다.

4.2 보폭전압

그림 5(a), (b)는 접촉전압과 동일한 인가전류에서의 보폭전압의 파형을 나타낸 것이다. 상용주파수 전류 3[A] 인가시 보폭전압은 4.89[V_{rms}]이고, 측정회로에 인가된 서지 전류는 47.58[A_{peak}], 이때의 보폭전압은 283.3[V_{peak}]이다.

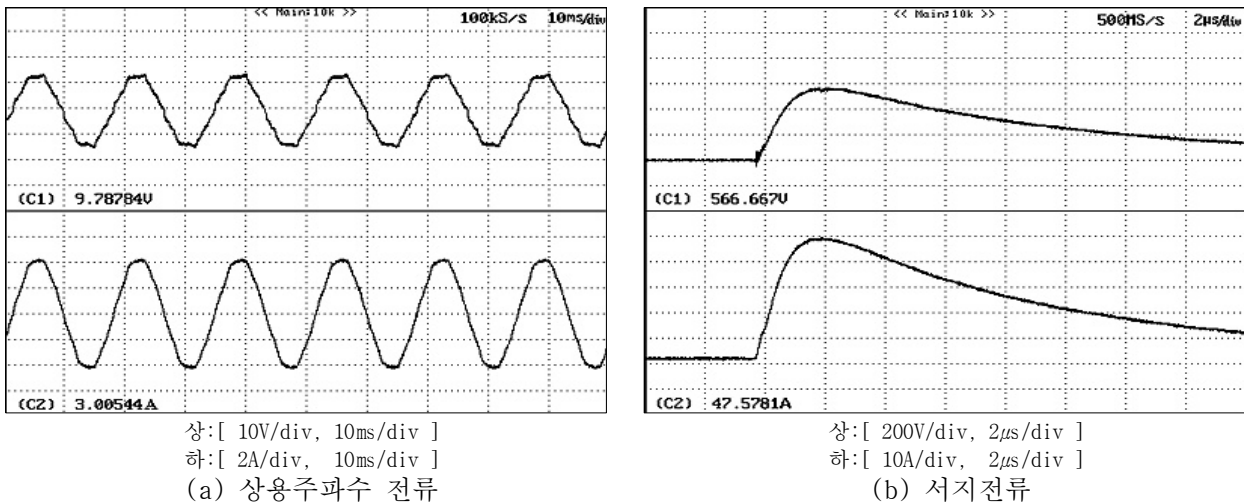


그림 5. 보폭전압의 측정 파형

그림 6은 상용주파수 및 서지 전류에 대한 보폭전압의 측정값을 나타낸 것이다. 서지 전류에 의해 나타나는 보폭전압은 상용주파수 전류보다 2~3.7배 정도 높게 나타났고, 그림 4와 6에서 접촉전압과 보폭전압의 크기를 비교해 볼 때, 접촉전압이 2.9배 더 높게 나타났다. 따라서 접촉 및 보폭전압에 의한 인체 감전의 위험성을 판단할 때 접촉전압의 영향을 더 고려하여야 할 것이다.

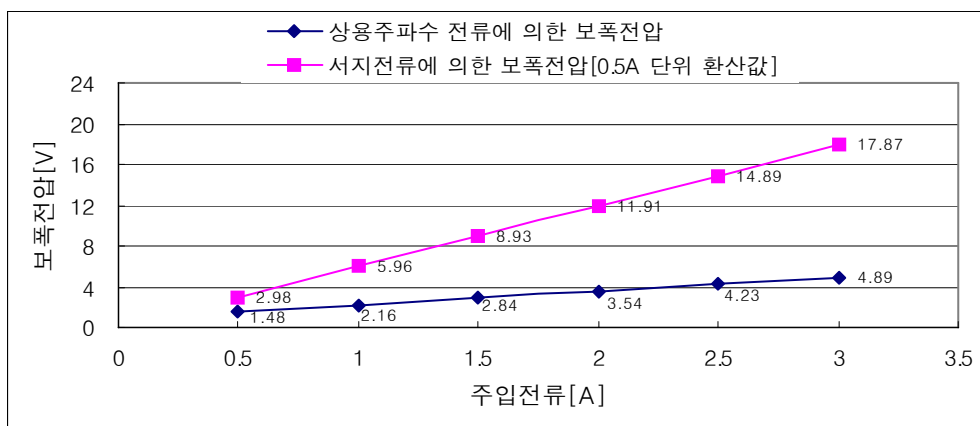


그림 6. 보폭전압의 비교

5. 결 론

접지전극에 상용주파수 전류와 서지전류의 인가에 의한 접촉전압 및 보폭전압의 측정값을 상호 비교 분석한 결론은 다음과 같다.

- (1) 상용주파수에서는 접촉 및 보폭전압은 인가전류의 크기에 따른 선형적인 특성을 나타내므로 대규모 접지시스템에 대해서 대전류를 흘리지 않더라도 접지성능을 평가할 수 있을 것으로 생각된다.
- (2) 서지전류에 의한 접촉 및 보폭전압이 상용주파수 전류보다 2~3.7배 높게 나타나므로, 동일한 크기의 전류에 대하여 서지전류에 의한 위험성이 더 높을 것으로 평가되었다.
- (3) 접촉전압이 보폭전압보다 약 2.9배 높게 나타나므로 접지 성능 및 감전의 위험성을 평가할 때 접촉전압을 더 고려해야 한다.

이상의 실험결과로부터, 접지시스템의 설계와 정확한 접지성능의 평가를 위해서는 접촉 및 보폭전압과 같은 위험전압의 측정뿐만 아니라, 접지임피던스, 대지저항률 등 접지시스템과 관련된 파라미터들을 통합적으로 측정할 수 있는 장치의 개발이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 전력산업연구개발사업 (R-2007-1-014-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Ronald P. O Riley(2002), "Electrical Grounding: Bringing Grounding Back to Earth," DELMAR, pp.40-43
2. A. Geri(1999), "Behaviour of Grounding Systems Excited by High Impulse Currents: the Model and Its Validation," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp.1008-1017
3. IEEE Std 81.2(1991), "IEEE Guide for measurement of Impedance and Safety characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems," pp.51-55
4. IEEE Std 80(1986), "IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding," pp.43-48
5. 길경석, 류길수, 김일권, 문병두, 김황국, 박찬용(2007), "Design and Fabrication of a Surge Impedance Meter", 한국철도학회 논문집, 제 10권, 제 6호, pp.645-649