

새로운 접촉 및 보폭전압 측정법에 의한 접지전극 주위의 위험전압 분석기법

(Analysis Technique of Risk Voltage around Grounding Electrode by New Touch and Step Voltage Measurement Methods)

길형준* · 김향곤

(Hyoung-Jun Gil · Hyang-Kon Kim)

Abstract

This paper describes the analysis technique of risk voltage around grounding electrode by new touch and step voltage measurement methods. We have analyzed three techniques for risk voltage measurement, such as footprint-electrode method, test-probe method, and simulated-personnel method. We have selected test-probe method considering applicability of site. In order to reduce error related to the location of the auxiliary electrode, we propose a new approach to perform risk voltage measurement with minimum errors and short auxiliary electrode distances. Field tests were carried out at a grounding grid. It can be concluded that the proposed method will be satisfactory for risk voltage measurement.

Key Words : Analysis Technique, Risk Voltage, Grounding Electrode, New Approach

1. 서 론

접지란 전기·전자·통신설비를 대지와 전기적으로 접속하는 것을 말하며, 기기를 대지에 접속하기 위한 터미널이 접지전극이다. 접지의 목적은 회로의 기준 전위를 정하거나, 뇌격전류 또는 지락전류가 대지로 유입될 때 대지전위의 상승을 억제하여 인체의 감전(Electric Shock)이나 전기·전자통신기기의 사고를

방지하는 것이다. 접지성능을 나타내는 주요 파라미터로는 접지저항(임피던스), 접촉전압과 보폭전압, 메시전압 등 위험전압이 있다. 특히 감전에 대한 인체의 안전성 평가에는 접촉전압과 보폭전압이 가장 중요한 파라미터이다. 현재까지 접지시스템의 성능평가는 주로 상용주파수 또는 1[kHz] 이하의 저주파 전류에 의해 접지저항으로 평가하는 방법이 주로 이루어지고 있으며, 접지시스템을 안전하게 운용하기 위해 가장 중요한 요소 중의 하나는 접지저항을 허용 값 이하로 낮추는데 있다. 또한 접지시스템에 지락전류가 흘렀을 때 접지전극 주변의 접촉 및 보폭전압을 허용 값 이내로 유지하는 것이 중요하다.

전기설비기술기준의 판단기준의 제18조(접지공사

* 주저자 : 전기안전연구원 선임연구원
Tel : 031-580-3034, Fax : 031-580-3045
E-mail : fa523@paran.com
접수일자 : 2012년 4월 10일
1차심사 : 2012년 4월 14일, 2차심사 : 2012년 5월 23일
심사완료 : 2012년 5월 29일

의 종류) 제6항에서도 저압 접지극이 고압 및 특고압의 접지극의 접지저항 형성영역에 완전히 포함되어 있다면 위험전압이 발생하지 않도록 이들 접지극을 상호 접속하도록 하고 있으며, 제7항에서도 통합접지는 국부접지계통의 근접구역에서는 위험한 접촉전압이 발생하지 않도록 하고 있다. 또한 제22조의2(주택 등 저압수용장소 접지) 제2항에서도 등전위접속의 조건을 충족하지 못할 경우 접지극의 접지저항 값은 접촉전압이 허용접촉전압 범위내로 제한하고 있다[1-5]. 그러나 기존의 접지 평가기술은 허용 접지저항 평가 기술만 제시되어 있을 뿐, 접촉 및 보폭전압 등의 위험 전압 측정에 대한 기술이 없는 실정이므로 이에 대한 측정시스템, 평가방법 등의 마련이 필요하다.

따라서 종래 접지시스템을 평가할 때 접지저항으로 판단하는 방법이 보편적으로 많이 알려진 것이지만, 본 논문에서는 위험전압으로 접지시스템을 평가하기 위한 새로운 기법을 제안하고자 한다.

2. 측정방법의 비교

접촉전압 및 보폭전압에 의한 접지시스템의 안전성은 발판 전극법(Footprint-Electrode Method)과 테스트 프로브법(Test-Probe Method) 또는 인체모의법(Simulated-Personnel Method)에 의해 측정된 파라미터로 평가할 수 있다[6-7]. 발판 전극법의 경우, 평균적으로 성인의 발 면적은 200[cm²]로 알려져 있으며, 이를 원형으로 환산하면 반경 8[cm]의 원형 금속 판으로 나타낼 수 있다. 발자국 전극은 R_{fp}(손과 평행한 양발 사이의 접지저항)와 R_{fs}(발과 발 사이의 접지저항)를 결정할 때 필요하며, 허용 접촉전압 및 보폭전압의 한계를 정할 때 사용된다.

테스트 프로브법은 전류가 주입되는 동안에 그리드와 프로브 사이 또는 프로브와 프로브 사이의 전압을 측정하는 방법이다. 테스트 프로브로는 직경 12~16[mm], 길이 0.3~0.6[m]의 임시 접지봉을 사용한다. 상용의 접지 테스터(오姆[Ω]으로 측정) 또는 다른 전류 주입 테스트 방법도 가능하다. 테스트 프로브법의 장점은 고장전류의 지속기간이 길거나 작거나 전위의 직접 측정이 가능하다는 것이다.

인체모의법에는 두 가지 방법이 있다.

첫 번째 방법의 경우, 실험 대상자의 부츠와 절연장갑에 경량의 전극을 부착하고, 전류 주입 시험이 진행되는 동안 최대 보폭 및 접촉전압을 찾아내기 위하여 실험 대상으로 하여금 실험장소 주변을 걷도록 한다.

표 1. 위험전압 측정방법 비교

Table 1. Comparison of measurement method for risk voltage

구분	Footprint-Electrode Method	Test-Probe Method	Simulated-Personnel Method
측정 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 원형의 금속 디스크 사용(면적 200[cm²], 직경 16[cm]) - 최소 20[kg]의 전극 필요 - 각 전극과 대지 사이에 도전성 매개체를 사용 - 발판 전극과 접지된 구조물, 발자국전극 사이의 저항 측정 	<ul style="list-style-type: none"> - 직경 12~16[mm], 길이 0.3~0.6[m]의 접지봉 사용 - 전류가 주입되는 동안 접지전극과 프로브 사이, 프로브와 프로브 사이의 전압을 측정 	<ul style="list-style-type: none"> - 실험 대상자의 부츠와 절연장갑에 경량의 전극을 부착하고 전류를 주입하여 측정(절연특성 확보) - 발판 전극(20[kg])을 사용하여 측정
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 측정을 위해서는 여러 가지 재료가 사용 - 현장에서 적용하여 사용하기에는 예로 사함이 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 접지 측정기와 통합 모듈로 사용이 가능 - 전위의 직접 측정이 가능하고 현장 적용에 있어 편리성이 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 현장 적용에 있어 편리성이 없음 - 절연특성 확보와 무거운 발판 전극을 사용하여야 함

보폭전압을 평가하기 위해서, 인체저항은 1,000[Ω]을 모의하여, 발 전극 사이에 1,000[Ω] 저항을 부착하며, 접촉전압을 평가하기 위해서, 발 전극은 병렬로 배치되고 발 전극과 손전극 사이에 1,000[Ω] 저항을 연결한다. 두 번째 방법은 발판 전극을 사용해서 R_b(인체저항)와 R_f(발과 대지사이에 저항)를 고려한다. 발을 모의하기 위해 두 개의 전극을 사용하고 절연된 표면과의 접촉을 확실히 하기 위해 각 전극마다 20[kg]의 중량을 가하고, 인체를 모의하기 위해 저항을 삽입한다. 이 방법은 테브난의 등가회로에 의해 접촉 및 보폭전압을 측정한다. 이상과 같이 위험전압 측정방법을 분석하였으며, 표 1은 위험전압 측정방법을 비교한

것이다. 본 연구에서는 전위의 직접 측정이 가능하고 현장 적용에 있어 편리성이 있는 테스트 프로브법을 적용하였다.

3. 신개념 측정기법

3.1 측정기의 설계 및 제작

그림 1에 위험전압 측정기(RVMS : Risk Voltage Measuring System)의 구성을 나타내었다. 출력전압은 정현파 30[V]이며, 65~999[Hz]에서 주파수 조절이 가능하다. 데이터 취득장치는 수평분해능이 400[kS/s], 수직분해능이 16[bit]이며, 공통모드에서 16채널, 차동모드에서 8채널의 아날로그 입력부와 4개의 디지털 입·출력부로 구성된다. 인가전류의 측정에는 0.1[V/A]의 출력특성을 가지며 주파수대역이 30[Hz]~100[kHz](±3[dB])인 변류기를 사용하였으며, 6채널의 전압 검출모듈을 이용하여 전압을 측정하도록 구성하였다. 측정된 전압, 전류는 데이터 취득장치에 입력되며 PC에서 위험전압, 대지저항률, 접지저항을 연산할 수 있다[8].

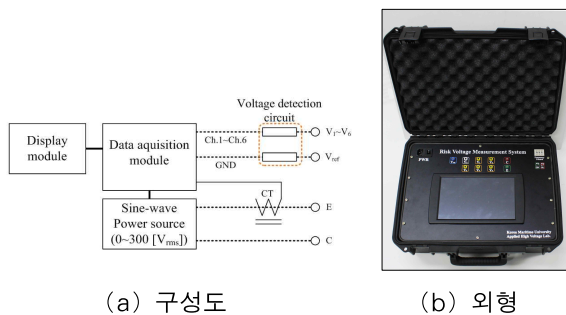


그림 1. 위험전압 측정기
Fig. 1. Risk voltage measuring system

RVMS의 측정 알고리즘은 그래픽 기반 소프트웨어인 LabVIEW를 이용하여 설계하였으며, 인가전압 및 측정 주파수 설정과 위험전압, 대지저항률, 접지저항의 측정이 가능하다.

위험전압, 대지저항률, 접지저항의 측정시 60[Hz] 성분의 외부 노이즈 영향으로 오차가 발생하여 정확

한 측정이 어렵다. 이를 최소화하기 위하여 디지털 대역통과필터를 적용하였다. RVMS의 측정화면의 예를 그림 2에 나타내었다. 인가전압은 1[V] 단위로 제어가 가능하며, 측정 주파수는 65~999[Hz]에서 선택하여 설정할 수 있다. 노이즈제거를 위한 디지털 필터는 측정 주파수에 따라 자동으로 선택되도록 설계하였다.

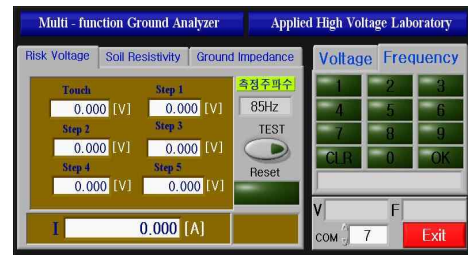


그림 2. 측정 화면
Fig. 2. Measuring screen

3.2 측정기법 제안

접지저항을 측정할 때 주로 이용되는 전위강하법은 주입 전류가 접지시스템으로부터 무한대의 거리에 위치한 전류보조극까지 흐른다고 추정한다. 그러나 사실 전류보조극은 접지시스템으로부터 멀지만 유한적인 곳에 위치하고 전위 프로브들은 접촉 및 보폭전압을 측정하기 위한 특정한 지점에 위치한다. 만약 시험 중인 망상접지전극에 대하여 전류보조극으로부터의 거리가 충분하지 않다면, 접촉 및 보폭전압, EPR, 대지 표면 전위는 전류보조극 근접효과 때문에 상당히 왜곡될 것이다. 새로운 방법은 전류보조극 근접효과에 의한 오차를 감소시키는 방법을 제공한다. 제안하고자 하는 방법은 대규모 접지시스템에서 접촉 및 보폭전압을 비교적 짧은 전류보조극 이격거리로 측정할 수 있는 장점이 있다.

만약 접지시스템 주변에 가능한 긴 경로가 있다면, 전위강하법을 사용하여 접촉 및 보폭전압을 측정할 때 충분히 정확한 결과를 얻을 수 있다. 이 방법의 단점은 많은 시간과 노동력, 그리고 경우에 따라서는 긴 전류보조극 이격거리가 필요하다는 것이다[9-11].

전위강하법에 의한 접지저항 측정방법과 마찬가지로 접촉 및 보폭전압을 측정할 때도 이상적으로는 전

류보조전극의 위치가 충분히 이격되어야 정확한 접촉 및 보폭전압을 측정할 수 있다. 그러나 이상적으로 충분한 거리를 둘 수 없다면, 그림 3의 (a)와 (b)에 나타난 바와 같은 측정방법을 사용하여 오차를 최소화할 수 있다.

첫 번째 측정방법은 그림 3 (a)의 “평균법”으로 경로 1(Route 1)에 전류를 인가하고, 망상접지전극 모서리 A 주변의 접촉 및 보폭전압을 측정한다. 그 다음 전류를 경로 2(Route 2)를 통하여 인가하고, 마찬가지로 망상접지전극 모서리 A 주변의 접촉 및 보폭전압을 측정한다. 따라서 경로 1일 때의 접촉 및 보폭전압과 경로 2일 때 접촉 및 보폭전압 값의 평균을 취하여 실제값에 가까운 값을 얻는다.

$$V_t = (V_{t1} + V_{t2})/2$$

$$V_s = (V_{s1} + V_{s2})/2 \tag{1}$$

여기서 V_t 와 V_s 는 구하고자 하는 접촉 및 보폭전압, V_{t1} 과 V_{s1} 은 경로 1일 때의 접촉 및 보폭전압, V_{t2} 와 V_{s2} 는 경로 2일 때의 접촉 및 보폭전압을 의미한다.

두 번째 측정방법은 그림 3(b)의 “간략 평균법”으로 측정 경로는 “평균법”과는 달리 경로를 1개만(Route 1) 선택한다. 대신 두 개의 반대 모서리(A와 B)를 선택하여 접촉전압과 보폭전압의 평균을 구한다.

$$V_t = (V_{tA} + V_{tB})/2$$

$$V_s = (V_{sA} + V_{sB})/2 \tag{2}$$

여기서 V_t 와 V_s 는 구하고자 하는 접촉 및 보폭전압, V_{tA} 와 V_{tB} 는 망상접지전극 A 및 B 모서리 주변의 접촉전압, V_{sA} 와 V_{sB} 는 망상접지전극 A 및 B 모서리 주변의 보폭전압을 의미한다.

접지시스템의 위험전압 측정 및 분석을 위하여 그림 4에 나타난 바와 같이 메시형태의 접지전극을 구축하였다. 위험전압 측정방법은 평균법과 간략평균법을 이용하여 접지전극에서 전류보조극간의 이격거리에 따른 특성을 분석하였다.

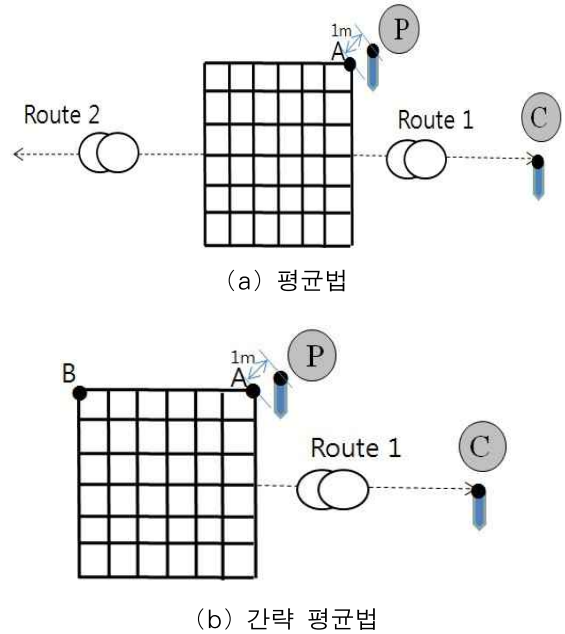


그림 3. 평균법 및 간략평균법
Fig. 3. Illustration of the average and simplified average method

망상접지전극 구성은 굵기 70[mm²]의 나동선을 75[cm] 깊이에 매설하였고, 접지요소간 접속은 자용용접 접속과 클램프 접속을 사용하였다. 또한 10[m]×10[m] 망상접지전극과 15[m]×10[m] 망상접지전극 사용이 모두 가능하도록 5[m]×10[m] 메시전극은 클램프에 의해 분리 및 접속이 가능하도록 설계하였다. 또한 측정이 용이하도록 메시의 중앙지점 및 메시간 접속지점에 다수의 인출선을 구비하였다. 이와 같은 과정에 의해 구축 완료된 접지전극을 그림 4에 나타내었다.

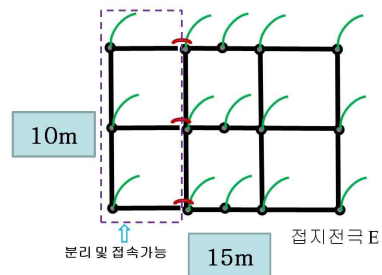


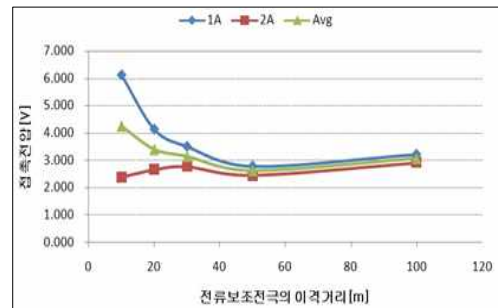
그림 4. 측정대상 접지전극
Fig. 4. Grounding electrode for measurement

접지전극이 매설된 장소의 대지저항률은 Wenner의 4전극법을 사용하여 측정하였다. 측정용 보조전극간 거리를 1~10[m]로 변화시키며 측정하였을 때, 1,110 [$\Omega \cdot m$]에서 179 [$\Omega \cdot m$]로 감소되며 변화하는 특성을 나타내었으며 이를 통해 2층 대지구조로 판단된다. 망상접지전극의 접지저항은 61.8[%] 법칙을 이용하여 전류보조전극 거리 100[m], 전위보조전극 거리 60[m]로 설정하여 측정하였으며, 측정시 전류보조전극의 접지저항 값은 200~300 [Ω]으로 측정되었고 망상접지전극의 접지저항 값은 7.5 [Ω]으로 나타났다.

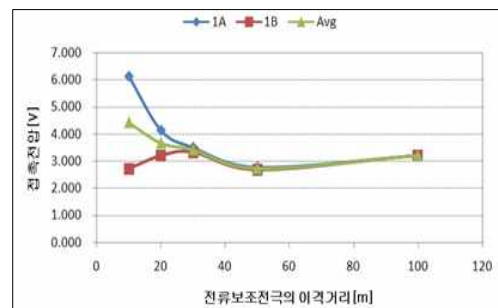
10[m]×10[m] 망상접지전극에 대한 위험전압을 측정하였다. 평균법과 간략 평균법을 적용하기 위해 접지전극을 기준으로 우측방향을 경로 “1”방향, 좌측방향을 경로 “2”방향으로 정의하였으며, 접지전극의 우측 상단 모서리를 “A”지점, 좌측 상단 모서리를 “B”지점으로 정의하여, 평균법인 경우 경로 1A와 경로 2A에서 측정된 전압 값의 평균을 취하였으며, 간략평균법인 경우 경로 1A와 경로 1B에서 측정된 전압 값의 평균을 취하여 분석하였다. 이 때 접촉전압 측정을 위한 인가 전류는 1[A]로 고정하였으며, 전류보조전극의 이격거리를 변화시키며 실험을 수행하였다. 전위보조전극은 망상접지전극 모서리에서 대각방향으로 1[m]에 위치시키고, 접지전극의 모서리 지점과 대각방향 1[m]에 설치한 전위보조전극 사이의 전압을 측정하였다. 보폭전압 측정은 접촉전압 측정시 사용된 전위보조전극과 그 전위보조전극에서 1[m] 대각방향으로 이격시킨 다른 전위보조전극 사이의 전압을 측정하였다.

그림 5는 전류보조전극의 이격거리를 10~100[m]로 변화시키고, 주파수를 85[Hz]로 설정하였을 때, 접촉 및 보폭전압을 평균법 및 간략평균법을 이용하여 측정한 것이다.

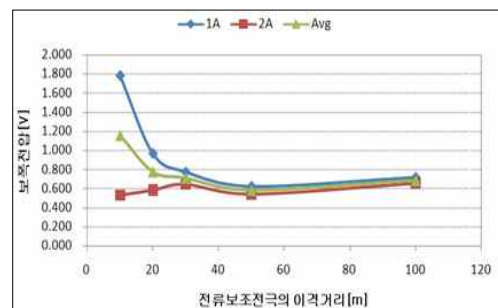
그림에서 나타낸 바와 같이 전류보조전극의 이격거리가 증가할수록 측정오차는 감소하였으며, 전류보조전극의 이격거리가 근접할 경우 경로(1A, 2A, 1B)에 따라 측정오차가 존재하나, 평균법 및 간략평균법을 적용하였을 경우 측정오차가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 평균법과 간략평균법을 비교하였을 때 매우 유사한 측정결과를 얻을 수 있었으며 이를 통해 현장 적용성에 있어서 유효할 것으로 판단된다.



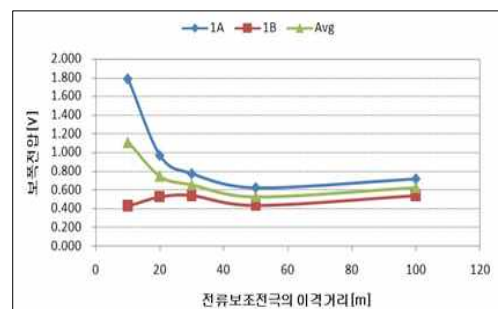
(a) 접촉전압(평균법)



(b) 접촉전압(간략평균법)



(c) 보폭전압(평균법)



(d) 보폭전압(간략평균법)

그림 5. 보조전극의 이격거리에 따른 위험전압 분포
Fig. 5. Profile of risk voltage according to separation distance of auxiliary electrode

4. 결 론

본 연구에서는 국제표준 기반의 위험전압 측정방법을 비교하고 현장에서 적용될 수 있는 방법을 선정하였고, 선정된 방법을 근간으로 응용된 새로운 접지시스템의 위험전압 분석기법을 제안하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 위험전압 측정방법인 발판 전극법, 테스트 프로브법, 인체모의법이 비교·분석되었으며 이중 현장 적용성을 고려하여 테스트 프로브법을 선정하였다.

(2) 접지시스템의 위험전압을 측정하기 위해 이동성, 운반성 등을 고려하여 사용이 용이하도록 위험전압 측정기가 설계 및 제작되었으며, 측정 알고리즘은 그래픽 기반 소프트웨어인 LabVIEW를 이용하여 설계하였다. 인가전압 및 측정 주파수 설정이 가능하고 접촉 및 보폭전압, 대지저항률, 접지저항 등의 측정이 가능하도록 다기능으로 제작되었다.

(3) 위험전압을 측정하기 위한 평균법 및 간략평균법은 전류보조전극의 이격거리 문제를 해소하여 오차를 최소화할 수 있으며 현장 적용성에 있어서도 유효할 것으로 판단된다. 또한 국제표준의 도입에 따른 새로운 위험전압 측정 및 분석기법을 제안함으로써 현장에서의 파급효과가 클 것으로 기대된다.

본 연구의 결과는 접지시스템을 평가할 때, 국내·외 규격에 대응하는 새로운 기법으로 향후 기술전파에 따라 현장에서의 활용도가 클 것으로 예상된다.

이 논문은 한국조명·전기설비학회 2011년도 추계학술대회에서 발표하고 우수추천논문으로 선정된 논문임.

References

[1] Hyung-Jun Gil, Ki-Yeon Lee, Hyun-Wook Moon, "Characteristics for Ground Impedance according to Distance of Current Probe and Frequency", The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.24, No.5, pp.122-128, 2010.
 [2] Dong-Woo Kim, Hyung-Jun Gil, Dong-Ook Kim, Ki-Yeon Lee, Hyang-Kon Kim, "Analysis of On-site Conditions of Grounding Methods Installed in New Buildings", Summer Conference of The Korean Institute of Electrical Engineers,

pp.2208-2209, 2008.
 [3] Bok-Hee Lee, "The Major Foundational Technics for Grounding Systems", pp.4-20, 2000.
 [4] Ministry of Knowledge Economy Announcement No. 2010-1, "Electrotechnical Regulation & Conformity Criteria", Ministry of Knowledge Economy, pp.57-68, 2010.
 [5] Hyung-Jun Gil, Dong-Woo Kim, Hyang-Kon Kim, "Research on New Idea Measuring Method of Ground Resistance Using Tolerance Band", Spring Conference of The Korean Society of Safety, pp.16, 2011.
 [6] IEEE, "IEEE Std 81.2-1991", pp.59-64, 1991.
 [7] IEEE, "IEEE Std 80-2000", pp.65-135, 2000.
 [8] Gyung-Suk Kil, Byoung-Doo Moon, Hwang-Kuk Kim, Dae-Won Park, Hyung-Jun Gil, "Measurement and Analysis of Risk Voltages by Various Current Sources in Grounding System", The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.58, No.1, pp.113-118, 2009.
 [9] A. P. Sakis Meliopoulos, Shashi Patel, G. J. Cokkinides, "A New Method and Instrument for Touch and Step Voltage Measurements", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.9, No.4, pp.1850-1860, 1994.
 [10] Jiri George Sverak, "Progress in Step and Touch Voltage Equations of ANSI/IEEE Std 80 - Historical Perspective", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.13, No.3, pp.762-767, 1998.
 [11] H Zhao, H Griffiths, A Haddad, A Ainsley, F Ainslie and D. Frame, "Error in Step and Touch Voltage Measurements at Large Substations", Proceedings of the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering, pp.1-6, 2005.

◆ 저자소개 ◆



길형준 (吉亨准)
 1969년 8월 27일생. 1997년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임 연구원.

Tel : (031)580-3034
 Fax : (031)580-3045
 E-mail : fa523@paran.com



김향곤 (金珣坤)
 1970년 12월 14일생. 1996년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임 연구원.

Tel : (031)580-3031
 Fax : (031)580-3045
 E-mail : kon0704@kesco.or.kr