Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No.2, pp. 96~102 February 2009 논문 23-2-13

전위보조전극의 위치변화에 따른 접지저항 측정값의 상대오차분석

(Relative Error Analysis for Measuring Value of Ground Resistance according to Position Variation of Potential Probe)

길형준* · 김동우
(Hyoung-Jun Gil · Dong-Woo Kim)

요 약

본 논문에서는 전위강하법을 이용한 접지저항 측정시 전위보조전극의 위치 및 각도의 영향에 대하여 기술하였으며, 측정시 오차를 최소화하는 기법을 제안하였다. 전위강하법은 이론적으로 전위와 전류의 측정원리에 근간을 두고 있으며 측정오차는 주로 보조전극의 위치와 각도에 기인한다. 전위보조전극의 위치에 의한 접지저항 측정값의 상대오차를 분석하기 위해 전류보조전극의 거리를 50[m]로 고정시키고 전위보조전극의 거리를 10[m]에서 50[m]까지 변화시키며 접지저항을 측정하였고 또한 전위보조전극과 전류보조전극 사이의 각도를 30[°], 45[°], 60[°], 90[°], 180[°]로 변화시키며 측정하였다. 결과적으로 전위보조전극의 거리 증가 및 전류보조전극과 전위보조전극 사이의 각도가 감소할수록 상대오차가 작게 나타났다. 본 실험결과는 접지시스템의 접지저항을 측정할 때 전위보조전극의 위치를 결정하는데 활용될 수 있다.

Abstract

In this paper, the effects of the position and the angle of the potential probes on the measurements of the ground resistance with the fall-of-potential method are described and the testing techniques to minimize the measuring errors are proposed. The fall-of-potential method is theoretically based on the potential and current measuring principle and the measuring error is primarily caused by the position and angle of auxiliary probes. In order to analyze the relative error for measuring value of ground resistance due to the position of the potential probe, ground resistance were measured in case that the distance of current probe was fixed at 50[m] and the distance of potential probe was located from 10[m] to 50[m]. Also, the potential probe was located at 30[°], 45[°], 60[°], 90[°], and 180[°]. As a consequence, relative error decreased with increasing the distance of potential probe and decreasing the angle between current probe and potential probe. The results could be help to determine the position of potential probe when the ground resistance was measured at grounding system.

Key Words : Relative Error, Ground Resistance, Position Variation, Potential Probe

* 주저자 : 전기안전연구원 선임연구원
Tel : 031-580-3034, Fax : 031-580-3045, E-mail : fa523@paran.com
접수일자 : 2008년 11월 14일, 1차심사 : 2008년 11월 17일, 2차심사 : 2008년 12월 5일, 심사완료 : 2008년 12월 22일

1. 서 론

접지저항은 전기재해로부터 인체 및 전기설비를 보호하기 위해 필요한 중요한 기술적 요소중의 하나이다. 피측정 접지전극과 전류보조전극의 이격거리는 전위강하법을 이용하여 저주파 접지저항을 측정할 때 기본이 되는 사항이며, 접지저항 측정의 정확도에 많은 영향을 미친다. 피측정 접지전극과 전류보조전극 사이의 이격거리가 너무 작은 경우 피측정 접지전극과 전류보조전극의 저항구역이 서로 중첩되어 나타나게 되며 상대적 영전위점에 전위보조전극을 위치시키기가 어렵다. 또한 전위분포의 수평부가 거의 존재하지 않으므로 전위보조전극의 위치가 상대적 영전위점(61.8[%])에서 조금만 이동하여도 큰 오차가 나타나게 된다. 반대로 전류보조전극의 이격거리가 너무 큰 경우에는 전류 폐회로를 형성하는 측정리드선의 영향이 나타나게 되며, 경제적으로도 불리하게 된다. 그러므로 전위강하법을 이용하여 접지저항을 측정할 때 피측정 접지전극으로부터 적절한 전류보조전극의 이격거리가 필요하다. 또한 전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 충분히 이격시키면 측정결과의 정확도 확보에 유리하나 실제의 현장에서는 여러 가지 구조물이나 도로 등의 장해물이 많으므로 이격거리가 제한되는 경우가 많다. 즉, 전류보조전극의 이격거리는 너무 커서 문제가 되는 경우보다는 충분한 이격거리를 확보하지 못하여 측정에 오차를 가져오는 경우가 많다[1-5].

또한 전위강하법으로 접지저항을 측정할 때 장해물이 있는 경우 희망하는 위치에 보조전극을 매설하기 어렵다. 이러한 경우 보조전극의 위치를 최적의 위치를 벗어난 다른 곳에 설치하여야 하는데 오차가 어느 정도 존재하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 전류보조전극과 전위보조전극의 위치와 각도가 피측정 접지전극의 접지저항 측정에 미치는 영향을 검토하기 위하여 실측을 통한 실험 연구를 수행하였다. 실험장 두 곳을 선정하여 전위보조전극의 위치 변화에 따른 접지저항을 측정하여 61.8[%]의 기준값에 대한 오차를 계산하였으며 향후 접지시스템의 안전성 평가기법으로 활용하고자 한다.

2. 측정방법

지능형 빌딩, 변전소, 전력소 등과 같이 낮은 접지임피던스를 가지는 대규모 접지시스템의 접지저항 측정에는 학술적으로 적용되는 몇 가지 방법이 있다. 그 중 측정전류를 피측정 접지시스템에 인가하여 측정하는 방법이 널리 사용되고 있으며, 측정이론으로는 전위강하법이 대표적이다. 본 연구에서는 접지저항 측정법들 중 상기 전위강하법을 사용하였으며 실험장 두 곳을 선정하여 접지저항을 측정하였다. 전위강하법의 기본적 원리를 그림 1에 나타내었으며, 이를 살펴보면 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이에 시험전류를 흘리고 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이의 직선상의 어느 지점에 전위가 0이 되는 수평부가 생기게 되며, 이 점을 기준으로 접지전극 전위를 측정하면 전위보조전극이 무한원점에 위치했을 때와 측정결과가 같아진다. 61.8[%]의 법칙에 의하면 접지저항의 기준값은 전위보조전극이 접지전극과 전류보조전극의 61.8[%]되는 지점에서 구해진다[6-8].

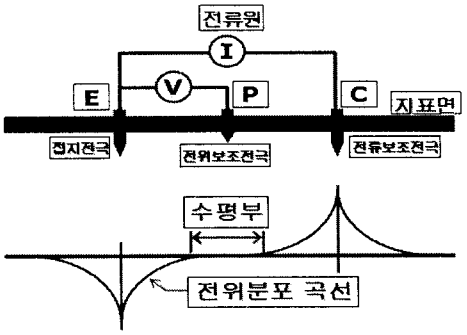

그림 1. 전위강하법 및 전위분포곡선
Fig. 1. Fall-of-potential method and potential distribution curve

본 연구에서는 61.8[%] 지점의 접지저항을 기준값으로 하였을 때 보조전극을 각도별, 위치별로 변화시켜 오차율을 분석하였다. 실제의 현장에서는 여러 가지 구조물이나 도로 등의 장해물이 많아 보조전극의 이격거리가 제한되는 경우가 많으며 희망하는 위치에 보조전극을 매설하기 어렵다. 이러한 경우 보조전극의 위치를 최적의 위치를 벗어난 다른 곳에

설치하여야 하는 경우가 발생하게 된다. 건설현장에서 시설되고 있는 건축물과 접지저항 측정시 보조전극 설치에 장해가 될 수 있는 기타 건물, 또한 협소한 공간으로 인한 최적의 보조전극 설치의 장해 요소 등을 그림 2에 나타내었다. 이러한 현장의 경우를 모의하기 위해 접지전극이 시설된 2개소 실험장에서 보조전극의 위치 및 각도를 변화시켜가며 접지저항을 측정하여 61.8[%] 법칙과 비교하였다. 또한 이를 토대로 현장에서 접지저항 측정시 장해물이나 협소한 공간 등으로 인하여 전위보조전극을 전류보조전극 방향의 일직선상에 두고 측정할 수 없는 상황이 발생할 경우 이를 대체할 수 있는 접지저항 측정기법을 도출하고자 하였다.

(a) 측정시 장해가 되는 기타 건축물

(b) 협소한 공간

그림 2. 보조전극 설치의 장해 요소
Fig. 2. Disturbance factor in case of installation of auxiliary probe

실험에 사용한 장비는 CA 6470(Chauvin Arnoux, France)이었으며, 인가전압과 주파수는 각각 32[V], 128[Hz]였다. 또한 측정방법은 각 경우에 5회씩 측정하여 이의 평균값을 취하였으며 실험장비의 오차는 ±1[%] 이내이었다.

3. 결과 및 고찰

접지전극의 형상, 접지전극의 매설깊이 등이 다른 2개소의 실험장을 선정하여 접지저항의 측정 및 분석을 수행하였다. Case Ⅰ의 경우에는 길이 48[m], 굵기 38[㎟]인 봉형전극이 대지표면 1[m] 아래에 매설되어 있으며 보조전극 사이의 각도를 다양하게 변화시킬 수 있는 대체로 평탄한 대지에서 실험을 수행한 것이고, Case Ⅱ의 경우에는 길이 1.8[m], 직경 1.6[mm]인 1개 봉형전극, 2개 공결된 봉형전극, 3개 공결된 봉형전극 및 직경 1[m], 두께 22[㎟]인 환형전극 등 다양한 접지전극이 지표면 0.5[m] 아래에 매설되어 있으며 경사진 대지에서 실험을 수행한 것이다.

3.1 Case Ⅰ의 접지저항 분석

그림 3은 접지전극(E)과 보조전극의 설치 위치를 나타낸 것으로, 실험에 사용된 접지전극은 봉형전극(길이 : 48[m], 굵기 : 38[㎟])으로 1[m] 아래에 매설되었다.

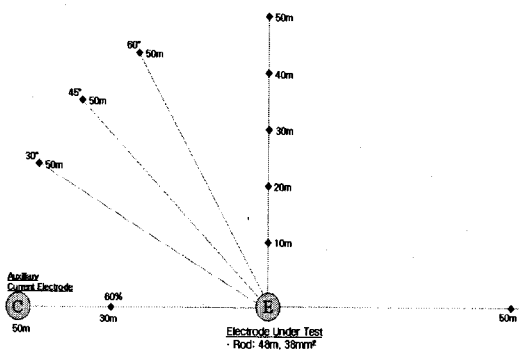

그림 3. 보조전극 설치위치(Case Ⅰ)
Fig. 3. Position of auxiliary probe(Case Ⅰ)

전류보조전극의 위치는 접지전극에서 50[m]의 위치에 고정하였으며, 전위 보조전극의 위치를 그림에

나타낸 것과 같이 변화시켰다(◆로 표시). 위치변화에 따라 측정된 접지저항은 전위보조전극이 60[%]의 위치인 30[m]에 있는 경우의 접지저항을 기준으로 오차율을 계산하였다.

표 1은 보조전극간 각도 변화에 따른 상대오차를 나타낸 것으로써, 건축물 등의 장해물이 있을 경우 30[°]와 45[°]의 각도는 상대오차가 1.4[%] 이내로 보조전극이 일직선상 60[%]의 위치에 있을 때와 비교하였을 때 오차가 상대적으로 적었다.

표 1. 보조전극간 각도변화에 따른 상대오차
Table 1. Relative errors according to variation of angle between auxiliary probes

각도 [°]	접지저항[Ω] (기준값=6.45[Ω])	상대오차[%] (접지전극과 전위보조전극간의 거리 : 50[m])
30	6.38	1.09
45	6.54	1.40
60	6.25	3.10
90	6.27	2.79
180	6.09	5.58

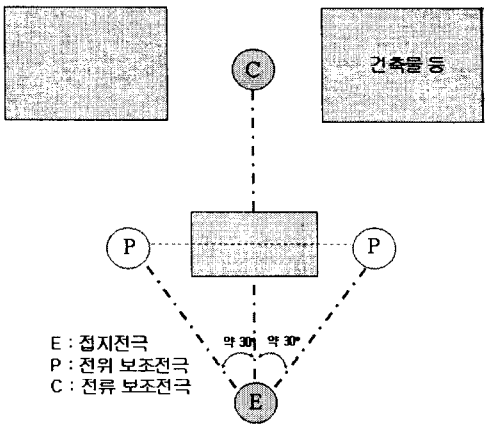

그림 4. 전위보조전극의 허용 이탈각도
Fig. 4. Allowable separation angle of potential probe

전위보조전극을 설치할 위치에 어떤 장해물이 있어 설치를 할 수 없는 경우나 보조전극 선간의 유도오차를 피하고자 할 때, 또 전류보조전극의 최소 이격거리 확보가 불가능할 정도의 대규모 접지시설을 측정하는 경우 등에 전위보조전극을 전류보조전극 방향의 일직선상에 두고 측정할 수 없는 상황이 발생한다. 이러한 경우에는 전류보조전극 선상으로부터 30[°] 이내 범위로 이탈할 수 있는 경우에는 일직선상에 두고 측정하는 것과 동일시 할 수 있다고 '정보통신단체표준'에서 규정하고 있다. 이 때 전위점은 전류보조전극 직선상에 투영된 위치를 실제 적용할 전위점으로 하며 이를 그림 4에 나타내었다[10].

그림 5는 전위보조전극과 전류보조전극간의 각도가 90[°]일 때 보조 전위전극의 거리 변화에 따른 접지저항 변화를 나타낸 그래프이다. 거리가 증가함에 따라 접지저항도 증가하다가 일정해지는 특성을 나타냈으며, 이때 상대오차는 표 2에 나타내었다. 상대오차는 전위보조전극의 거리가 40[m]와 50[m]인 경우 오차가 작게 나타났다.

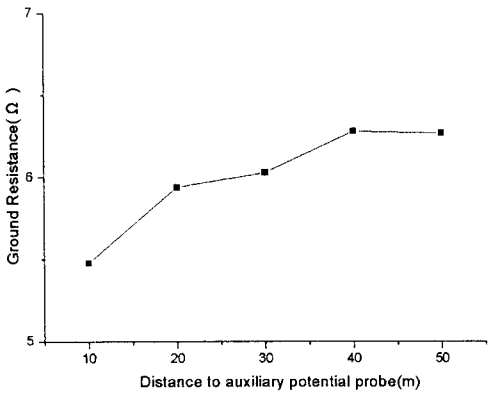

그림 5. 전위보조전극의 거리 변화에 따른 접지저항
Fig. 5. Ground resistance according to variation of distance to potential probe

표 2. 전위보조전극의 거리변화에 따른 상대 오차
Table 2. Relative errors according to variation of distance to potential probe

접지전극과 전위보조전극간 거리[m]	상대오차[%] (보조전극간 각도 : 90[°])
10	15.04
20	7.91
30	6.51
40	2.64
50	2.79

3.2 Case Ⅱ의 접지저항 분석

그림 6은 접지전극(E)과 보조전극의 설치 위치를 나타낸 것이다. 실험에 사용된 접지전극은 봉형전극(길이 : 1.8[m], 직경 : 1.6[mm])과 환형전극(직경 1[m], 두께 22[㎟])을 사용하였으며, 전극의 매설조건으로는 ① 봉형전극 1개(rod1), ② 봉형전극 2개 공결(rod2), ③ 봉형전극 3개 공결(rod3), ④ 환형전극(ring) 등 4가지 접지전극에 대하여 실험하였다. 전극은 지표면 0.5[m] 아래에 매설하였으며, 전류보조전극의 위치는 접지전극에서 50[m]의 위치에 고정하였으며, 전위 보조전극의 위치를 그림에 나타낸 것과 같이 변화시켰다(◆로 표시). Case Ⅰ의 실험조건과 같은 방법으로 위치변화에 따라 측정된 접지저항은 전위보조전극이 61.8[%]의 위치인 31[m]에 있는 경우의 접지저항을 기준으로 오차율을 계산하였다.

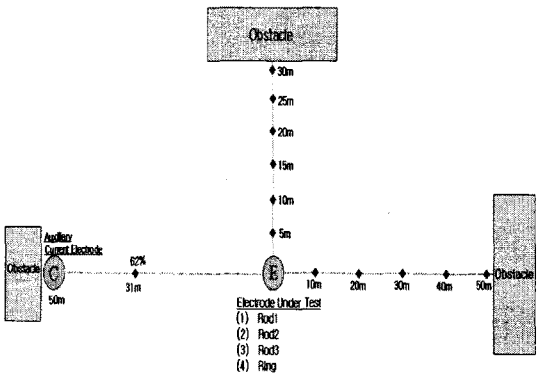

그림 6. 보조전극 설치위치(Case Ⅱ)
Fig. 6. Position of auxiliary probe(Case Ⅱ)

그림 7은 전위보조전극과 전류보조전극간의 각도가 90[°]일 때 전위보조전극의 거리 변화에 따른 접지저항 변화를 나타낸 것이다. 전위보조전극의 최대 이격거리는 장해물이 가로막혀 있어서 30[m]로 하였다.

그림 7에 나타낸 바와 같이 전극의 공결과 형상에 따라 접지저항 측정값의 차이는 있었지만 전위보조전극의 거리에 따른 접지저항값의 변화는 4가지 전극 모두 유사한 양상을 나타내었다.

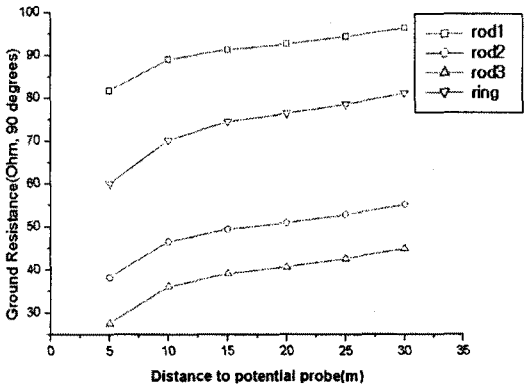

그림 7. 전위보조전극의 거리변화에 따른 접지 저항 비교 (각도 : 90[°])
Fig. 7. Comparison of ground resistance according to variation of distance to potential probe(Angle : 90[°])

상대오차는 표 3에 나타내었으며 전위보조전극의 거리가 30[m]인 경우 환형전극을 제외하고 전부 오차가 1[%] 이내로 나타났고, 수직깊이형인 봉형전극보다 수평접면형인 환형전극에서 오차율이 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

표 3. 전위보조전극의 거리변화에 따른 상대 오차 (각도 : 90[°])
Table 3. Relative errors according to variation of distance to potential probe(Angle : 90[°])

접지전극과 전위보조전극 간 거리[m]	상대오차[%]			
	Rod 1	Rod 2	Rod 3	Ring
5	15.8	31.1	38.9	29.8
10	8.2	16.4	19.9	18.0
15	5.9	11.2	13.3	13.0
20	4.5	8.5	10.0	10.7
25	2.8	5.0	5.8	8.3
30	0.7	0.9	0.7	5.3

그림 8은 전위보조전극과 전류보조전극간의 각도가 180[°]일 때 보조 전위전극의 거리 변화에 따른 접지저항 변화를 나타낸 그래프이다. 전위보조전극의 최대 이격거리는 90[°]의 경우와는 달리 장해물의 위치가 더 멀리 떨어져 있어서 50[m]로 하였다. 각도가 90[°]인 경우가 마찬가지로 전극의 공결과 형상에

따라 접지저항값의 차이는 있었지만, 전위보조전극의 거리에 따른 접지저항 분포는 모두 유사한 것으로 나타났다. 따라서, 접지저항값의 분포는 전위보조전극의 거리에 따라 지배적인 영향을 받으며, 접지전극의 형상에 따라서는 접지저항 측정값의 차이가 있을 뿐 접지저항값의 거리별 분포에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

접지전극과 전위보조전극의 각도가 180[°]인 경우 전위보조전극의 거리변화에 따른 상대오차를 표 4에 나타내었다. 봉형전극의 경우 상대오차는 전위보조전극의 거리가 30~50[m]인 경우 오차가 2.5[%] 이내로 나타났으며, 환형 전극은 6[%]로 나타났다.

Case Ⅰ과 Case Ⅱ의 측정결과 중 표 2와 표 3의 전위보조전극의 거리가 30[m]인 경우 표 2의 48[m] 봉형전극의 상대오차는 6.51[%], 표 3의 환형전극 상대오차 5.3[%], 공결된 봉형전극(Rod 1~3) 상대오차 0.7~0.9[%]로 48[m] 봉형전극에서 상대오차가 가장 크게 나타났다. 따라서, 접지전극의 규모가 커지면 측정을 위해 설치하는 보조전극의 이격거리도 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

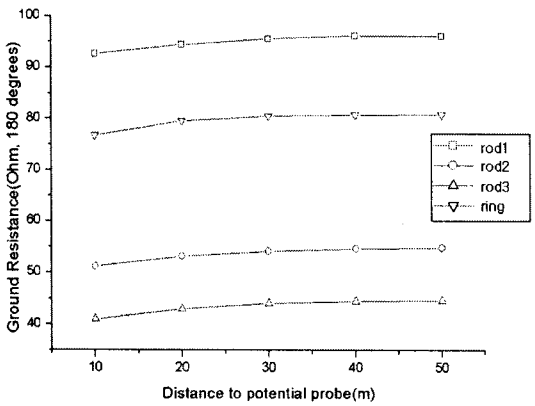

그림 8. 전위보조전극의 거리변화에 따른 접지 저항 비교 (각도 : 180[°])

Fig. 8. Comparison of ground resistance according to variation of distance to potential probe(Angle : 180[°])

표 3과 표 4의 90[°] 배치와 180[°] 배치인 경우의 전위보조전극의 거리가 30[m]일 때 상대오차를 비교하면 약간의 차이는 있지만 거의 유사한 오차율을 나타내었으며, 이를 통해 90[°] 및 180[°] 배치는 전위보조전극의 거리변화에 따라 접지저항 분포가 유사함을 알 수 있었다. 상기 측정 및 분석을 통해 접지전극과 전위보조전극 사이의 거리가 증가할수록 오차는 작게 나타난 것을 알 수 있었으며, 경제성과 장소의 제약을 고려하여 최적의 거리를 산출하여 적용하는 것이 합리적이다.

표 4. 전위보조전극의 거리변화에 따른 상대 오차 (각도 : 180[°])

Table 4. Relative errors according to variation of distance to potential probe (Angle : 180[°])

접지전극과 전위보조전극간 거리[m]	상대오차[%]			
	Rod 1	Rod 2	Rod 3	Ring
10	4.5	7.9	9.3	10.4
20	2.6	4.3	4.9	7.0
30	1.4	2.5	2.4	6.0
40	0.8	1.6	1.5	5.6
50	0.8	1.3	1.1	5.5

4. 결 론

본 논문에서는 전위강하법을 이용하여 접지저항을 측정할 때 전위 및 전류보조전극의 위치가 측정의 정확도에 미치는 영향을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Case Ⅰ의 경우, 전류보조전극의 거리를 고정(50[m])시키고, 보조전극 사이의 각도를 30[°], 45[°], 60[°], 90[°], 180[°]로 변화시켜 측정한 결과, 61.8[%]의 법칙을 적용하여 측정한 접지저항을 기준으로 30[°]인 경우에 가장 작은 상대오차를 나타내었다. 따라서 접지저항 측정시 장해물이 있어 전류보조전극 방향의 일직선상에 전위보조전극을 설치하기 어려운 경우 허용 이탈각도는 30[°] 이내로 하도록 한다. 또한 보조전극의 거리가 증가할수록 접지저항이 증가하다가 거의 일정해지는 양상을 나타내었으며, 거리가 증가하면서 상대오차도 감소하는 특성을 나타내었다.

(2) Case Ⅱ의 경우, 전류보조전극과 전위보조전극 사이의 각도를 90[°]로 하였을 때 전위보조전극의

거리에 따른 상대오차는 이격거리가 가장 먼 30[m]로 한 경우에 가장 작게 나타났으며 환형전극을 제외하고 전부 오차가 1[%] 이내로 나타났다. 또한 전류보조전극과 전위보조전극 사이의 각도를 180[°]로 한 경우는 90[°]인 경우와 비교하였을 때 접지전극의 종류에 따라 접지저항의 크기는 다르지만 전위보조전극의 거리변화에 따른 접지저항 분포는 유사한 양상을 나타내었다. 향후에는 현장에서 전류보조전극의 이격거리 확보가 어려운 경우를 모의하여 전류보조전극과 전위보조전극의 거리를 모두 변화시키며 접지저항의 특성 분포를 파악할 예정이다.

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] 이복희, 이승칠, "접지의 핵심기초기술", 의제, pp.64~69, 1999.

[2] 이복희, 엄주홍, "전위강하법에 의한 접지저항측정에 미치는 전류보조전극의 영향", 한국조명·전기설비학회, Vol.14, No.6, pp.69~77, 2000.

[3] 길형준, 최충석, 이복희, "개별 접지전극과 연접된 접지전극의 전위상승 분포 비교 연구", Vol.22, No.2, pp.57~62, 2008.

[4] 길형준, 김동우, 김동욱, 이기연, 김향곤, "현장조사에 의한 접지시스템의 전기안전성 평가", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회, pp.361~364, 2008.

[5] C. Wang, T. Takasima, T. Sakuta and Y. Tsubota, "Grounding Resistance Measurement Using Fall-of-PotentialMethod with Potential Probe Located in Opposite Direction to the Current Probe," IEEE Trans. Power Delivery, vol.13, no.4, pp.1128~1135, Oct. 1998.

[6] R. Zeng, J. He and Z. Guan, "Novel Measurement System for Grounding Impedance of Substation," IEEE Trans. Power Delivery, vol.21, no.2, pp.719~725, Apr. 2006.

[7] K. M. Michaels, "Earth Ground Resistance Testing for Low-Voltage Power Systems," IEEE Trans. Industry Applications, vol.31, no.1, pp.206~213, Jan./Feb. 1995.

[8] V. Dimcev, B. Handjiski, P. Vrangalov and R. Sekerinska, "Impedance Measurement of Grounding Systems with Alternative Fall-of-Potential Method," IEEE Industry Applications Conference, vol.5, pp.3215~3219, 2000.

[9] IEEE Std 81-1983, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", pp.19~23, 1983.

[10] TTAS.KO-04.0026/R1, "Technical Standard for the Measurements of Grounding Resistance," Telecommunications Tech. Ass., 2007.

◇ 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 선임연구원.

Tel : (031)580-3034

Fax : (031)580-3045

E-mail : fa523@paran.com

김동우 (金東佑)

1972년 3월 20일생. 1996년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 연구원.

Tel : (031)580-3036

Fax : (031)580-3045

E-mail : klove@kesco.or.kr