

전류보조전극 거리 및 주파수에 따른 접지임피던스 특성

(Characteristics for Ground Impedance according to Distance of Current Probe and Frequency)

길형준* · 이기연 · 문현욱

(Hyung-Jun Gil · Ki-Yeon Lee · Hyun-Wook Moon)

요 약

본 논문에서는 전위강하법을 이용한 전류보조전극의 거리 및 주파수에 따른 조합형 봉형 접지전극의 접지임피던스 특성을 다루고, 측정오차를 최소화하기 위한 방법을 제안하였다. 전위강하법은 전압과 전류 측정원리에 기반을 두고 측정오차는 보조전극의 위치에 의해 발생한다. 전류보조전극의 거리와 주파수에 기인한 접지임피던스 영향을 분석하기 위해 전류보조전극의 거리를 5~20[m]로 변화시키며 측정이 이루어졌고, 55~513[Hz]로 측정주파수를 변화시키며 특성을 분석하였다. 연구결과는 접지시스템에서 접지임피던스를 측정할 경우에 전류보조전극의 위치와 측정주파수를 결정하는데 활용될 수 있다.

Abstract

This paper presents the characteristics for ground impedance of combined three rods according to distance of current probe and frequency using the fall-of-potential method 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 of auxiliary probes. In order to analyze the effects of ground impedance due to the distance of the current probe and frequency, ground impedances were measured in case that the distance of current probe was located from 5[m] to 20[m] and the measuring frequency was ranged in 55~513[Hz]. The results could be help to determine the position of current probe and the measuring frequency when the ground impedance was measured at grounding system.

Key Words : Ground Impedance, Distance Of Current Probe, Frequency, Fall-Of-Potential Method

* 주저자 : 전기안전연구원 선임연구원
Tel : 031-580-3034, Fax : 031-580-3045
E-mail : fa523@paran.com
접수일자 : 2010년 1월 28일
1차심사 : 2010년 2월 1일, 2차심사 : 2010년 2월 19일
심사완료 : 2010년 2월 26일

1. 서 론

접지의 목적은 피보호 시스템에 유입되는 이상전압을 저감시키고, 고장전류를 대지에 효과적으로 방류시켜 전위상승을 억제함으로써 기기의 파손방지와 인체를 안전하게 보호하는데 있고, 접지시스템 전위를 균등하게 하며 안정된 기준점 전위를 제공하여 전기설비의 안정과 기능의 향상을 도모하는 것이다. 접지임피던스는 이러한 접지시스템을 평가하는데 중요한 기술적 요소중의 하나이다. 피측정 접지전극과 전류보조전극의 이격거리는 전위강하법을 이용하여 저주파 접지임피던스를 측정할 때 기본이 되는 사항이며, 접지임피던스 측정의 정확도에 많은 영향을 미친다. 피측정 접지전극과 전류보조전극 사이의 이격거리가 너무 가까운 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 멀리 떨어진 경우에는 전류 폐회로를 형성하는 측정리드선의 영향이 나타나게 되며, 경제적으로도 불리하게 된다. 그러므로 전위강하법을 이용하여 접지임피던스를 측정할 때 피측정 접지전극으로부터 적절한 전류보조전극의 이격거리가 필요하다.

또한 접지저항이 낮은 접지시스템의 경우라도 큰 규모로 시설되어 있어 상대적으로 접지시스템의 리액턴스 성분이 증가하는 경우가 많다. 이러한 접지시스템에서 접지전류의 주파수가 증가할 때는 높은 접지전위가 발생할 수 있다[1-6].

따라서, 본 논문에서는 전류보조전극의 이격거리, 전위보조전극의 위치, 측정 주파수 등이 피측정 접지전극의 접지임피던스 측정에 미치는 영향을 검토하기 위하여 실측을 통한 실험 연구를 수행하였다. 전위보조전극의 위치 변화에 따른 접지임피던스를 측정하여 60[%]의 기준값에 대한 오차를 계산하였으며 향후 접지시스템의 안전성 평가기법으로 활용하고자 한다.

2. 측정방법

본 연구에서는 접지임피던스 측정법들 중 가장 대표적이고 널리 사용되는 전위강하법을 사용하여 측정을 하였다. 그림 1에 나타난 바와 같이 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 접지임피던스의 기준값은 전위보조전극이 접지전극과 전류보조전극의 61.8[%]되는 지점에서 구해진다[7]. 본 연구에서는 60[%] 지점의 접지임피던스를 기준값으로 하였을 때 전위보조전극의 위치를 변화시켜 오차를 분석하였다. 실험에 사용한 장비는 CA 6470(Chauvin Arnoux, France)이었으며, 인가전압과 주파수는 각각 32[V], 128[Hz]였고, 61.8[%] 지점에서 주파수를 55~513[Hz]로 변화시키며 측정하였다. 또한 측정방법은 각 경우에 5회씩 측정하여 이의 평균값을 취하였으며 실험장비의 오차는 ±1[%] 이내이었다.

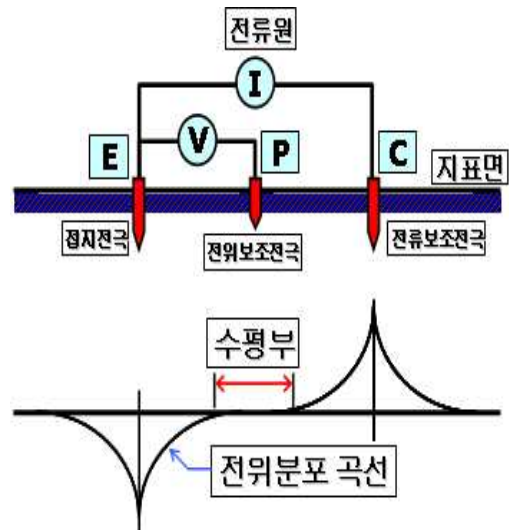


그림 1. 전위강하법 및 전위분포곡선
Fig. 1. Fall-of-potential method and potential distribution curve

3. 결과 및 고찰

접지임피던스 측정의 개략도는 그림 2와 같다.

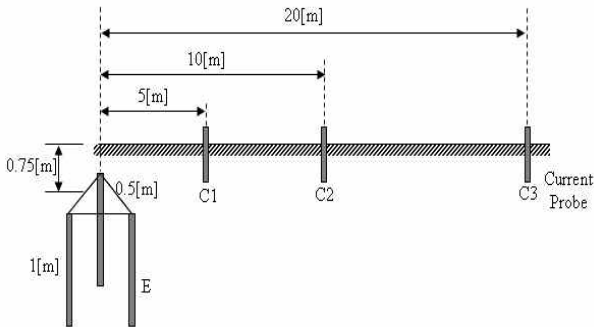


그림 2. 피측정 접지전극과 전류보조전극 사이의 이격거리
Fig. 2. Separation distance between the grounding electrode to be measured and the current probe

피측정 접지전극은 길이 1[m], 직경 12[mm]의 봉형 접지전극 3개를 0.5[m]의 간격을 두고 상호 연결한 것을 대상으로 하였다. 지표면으로부터 0.75[m] 깊이에 매설된 피측정 접지전극에 대하여 전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 각각 5, 10, 20[m] 이격시킨 후 전류보조전극의 거리를 변화시키며 접지임피던스를 측정하였다.

3.1 전류보조전극의 거리에 따른 영향

접지전극, 전류보조전극, 전위보조전극을 일직선으로 배치하고 전류보조전극을 접지전극에서 5, 10, 20[m]의 위치에 시설하였다. 또한 전위보조전극의 위치를 변화시키며 접지임피던스를 측정하였으며 이를 그림 3에 나타내었다. 전위보조전극의 위치변화에 따라 측정된 접지임피던스는 전위보조전극이 60[%] 위치에 시설되었을 때의 접지임피던스를 기준으로 오차를 계산하였다.

전류보조전극이 접지전극으로부터 5[m] 이격된 경우에는 측정된 접지임피던스 곡선이 접지전극과 전류보조전극 근처에서 급상승하며, 수평부가 거의 존재하지 않는다. 즉, 접지전극과 전류보조전극의 저항구역

이 중첩되어 있으며, 상호 전위간섭의 영향을 받는 현상을 나타내었다. 따라서, 전위보조전극을 영전위점에 정확히 일치시키기 위해서는 많은 주의가 필요하며 오차 발생의 가능성이 커진다.

전류보조전극을 접지전극으로부터 10[m] 이격시킨 경우에는 측정된 접지임피던스 곡선의 중앙 부분에서 비교적 완만한 수평부분이 나타났고 저항구역이 거의 중첩되지 않는 것으로 보이며, 5[m] 이격시킨 경우보다는 전위보조전극의 설치위치에 따른 오차를 감소시키는데 훨씬 유리하다. 전류보조전극이 20[m]인 경우에는 5, 10[m] 보다 접지임피던스 곡선의 평탄부분이 더 넓게 분포하는 것을 알 수 있었고 전위보조전극의 설치위치에 따른 오차를 감소시키는데 가장 적합할 것으로 판단된다.

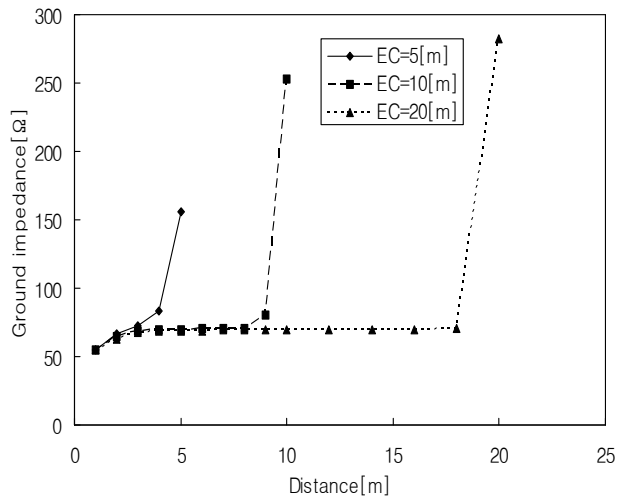


그림 3. 전류보조전극의 거리에 따른 접지임피던스 곡선
Fig. 3. Curves of ground impedance according to distance of current probe

표 1, 2 및 3은 전위보조전극의 거리 변화에 따른 상대오차를 나타낸 것이다. 실제로 전위강하법을 이용하여 접지임피던스를 측정할 때 비탈, 언덕 등의 지형적 조건 또는 도로, 건물이나 기타 구조물로 인해 전위보조전극의 위치를 61.8[%] 지점에 정확하게 설치하기 어려우므로 타 지점에서 측정된 값에 대한 오차를 평가하였다. 전류보조전극의 거리가 5[m]인 표 1의 경우, 3[m]의 전위보조전극 위

치의 접지임피던스를 기준으로 $\pm 1[m]$ 지점에서의 오차율은 각각 8.2[%], 16.1[%]로 상당히 크게 나타났다.

표 1. 전위보조전극의 거리변화에 따른 상대오차 (전류보조전극 거리 : 5[m])

Table 1. Relative errors according to distance of potential probe(Distance of current probe : 5[m])

거리[m]	접지임피던스[Ω]	상대오차[%]
1	55	23.7
2	66.2	8.2
3	72.1(기준값)	0
4	83.7	16.1
5	156	116

표 2. 전위보조전극의 거리변화에 따른 상대오차 (전류보조전극 거리 : 10[m])

Table 2. Relative errors according to distance of potential probe(Distance of current probe : 10[m])

거리[m]	접지임피던스[Ω]	상대오차[%]
1	55	21.8
2	64.8	7.8
3	68.3	2.8
4	69.5	1.1
5	70	0.4
6	70.3(기준값)	0
7	70.4	0.1
8	71	1
9	80	13.8
10	253	259

전류보조전극의 거리가 10[m]인 표 2의 경우, 오차율이 1[%] 이내인 전위보조전극의 위치가 5~8[m] 범위로 나타났고 $\pm 1[m]$ 지점에서의 오차율도 전류보조전극이 5[m]인 경우보다 훨씬 작게 나타났다. 표 3에 나타낸 바와 같이, 전류보조전극이

20[m]인 경우 오차율이 1[%] 이내인 전위보조전극의 위치가 6~16[m] 범위로 나타나 오차율이 작은 전위보조전극의 위치 범위가 더 커지는 것을 알 수 있었다.

따라서, 접지임피던스 측정시 저항구역 중첩, 전위 간섭 등을 방지하고 오차율을 감소시키기 위해서는 전류보조전극의 거리를 최대한 증가시켜 측정하는 것이 바람직하다[8-9]. 또한 IEEE, IEC, BS, NEC 규격 등에서 제안하는 바와 같이 피측정 접지전극과 전류보조전극 사이의 전위보조전극의 위치는 약 60[%] 지점을 기준점으로 하고 50[%], 70[%] 위치의 값이 기준점과 비교하였을 때 상대오차가 5[%] 이내이면 적합한 것으로 판단된다.

표 3. 전위보조전극의 거리변화에 따른 상대오차(전류보조전극 거리 : 20[m])

Table 3. Relative errors according to distance of potential probe(Distance of current probe : 20[m])

거리[m]	접지임피던스[Ω]	상대오차[%]
2	63.1	9.1
4	68.6	1.2
6	69.1	0.4
8	69.3	0.1
10	69.4	0
12	69.4(기준값)	0
14	69.6	0.3
16	69.7	0.4
18	70.2	1.2
20	282	306

3.2 주파수에 따른 영향

접지전극에 뇌서지전류와 같이 급격하게 변화하는 전류가 유입되면 낮은 주파수의 전류가 흐를 때와는 다르게 짧은 시간영역에서 높은 과도 접지임피던스값을 나타내게 된다. 즉, 상용주파수 영역에서 접지저항에 거의 영향을 주지 않던 접지도선의

인덕턴스가 높아진 주파수성분의 영향으로 큰 리액턴스를 갖게 된다. 그러므로 접지임피던스는 정상상태의 접지저항과 리액턴스의 벡터적인 합으로 결정된다. 이러한 주파수 영역의 접지임피던스 특성은 접지전극의 형상, 규모, 매설방법, 대지의 저항률, 유전율 등에 의하여 변화하며, 특히 접지에 사용하는 접지도선의 종류, 길이, 굵기, 배치방법 등이 큰 변수로 작용한다.

일반적으로 접지시스템의 임피던스(Z)는 접지전극에 흐르는 전류(I)의 실효치에 대한 접지전극의 전위상승(V)의 실효치의 비로 표현할 수 있으며, 인가전류와 접지전위상승의 위상차로부터 접지임피던스(Z) 및 접지저항(R), 접지리액턴스(X)의 각 성분을 다음 식 (1)~(4)와 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

$$Z = R + jX = |Z| (\cos\theta + j\sin\theta) \tag{1}$$

$$|Z| = V/I \tag{2}$$

$$R = |Z| \cos\theta, \quad X = |Z| \sin\theta \tag{3}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X}{R} \tag{4}$$

본 실험에서는 접지전극의 주파수에 따른 영향을 분석하기 위해 55~513[Hz]로 주파수를 변화시키며 접지임피던스를 측정하였다. 전류보조전극의 거리가 5, 10, 20[m]일 때 각각 60[%] 지점인 3, 6, 12[m]에 전위보조전극을 설치하고 주파수에 따른 영향을 분석하였다. 전류보조전극 거리 5[m], 전위보조전극 거리 3[m] 지점에서 주파수를 증가시키면서 측정한 인가전류와 전위상승 파형 및 위상차를 그림 4에 나타내었다. 측정파형으로는 구형파를 인가하였으며 인가전류가 전위상승보다 앞선 진상전류가 나타난 것을 알 수 있었다. 주파수가 증가함에 따라 접지임피던스는 73.2, 72.1, 70.5, 69.8[Ω]으로 감소하였으나, 인가전류와 접지전위상승 파형의 위상차는 3.4, 3.75, 3.8, 5.2[μs]로 증가하는 특성을 나타내었다. 위상차를 각도로 나타내면 각각 0.07, 0.17, 0.47, 0.96[°]이다.

측정주파수를 55~513[Hz] 범위에서 가변하며 측정한 접지임피던스 크기를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에 나타낸 바와 같이, 전류보조전극 거리 5[m], 전위보조전극 거리 3[m]로 설정하고 측정하였을 경우 69.8~73.2[Ω]으로 접지임피던스가 변화하는 것을 알 수 있었다. 또한 전류보조전극 거리 10[m], 전위보조전극 거리 6[m]로 설정하고 측정하였을 때는 67.5~71.8[Ω]으로 변화하였고, 전류보조전극 거리 20[m], 전위보조전극 거리 12[m]로 설정하고 측정하였을 때는 67~70.8[Ω]으로 변화하였다. 주파수 범위에 따라 변화한 접지임피던스 크기의 최대와 최소값의 차이는 3~4[Ω] 정도로 나타나 저주파 영역에서의 접지임피던스 값도 어느 정도는 변화됨을 알 수 있었다.

주파수 변화에 따른 접지임피던스는 주파수가 증가함에 따라 접지임피던스 크기는 감소하는 양상을 나타내었으며 이를 통해 리액턴스 성분중 용량성 성분이 지배적인 것으로 나타났다.

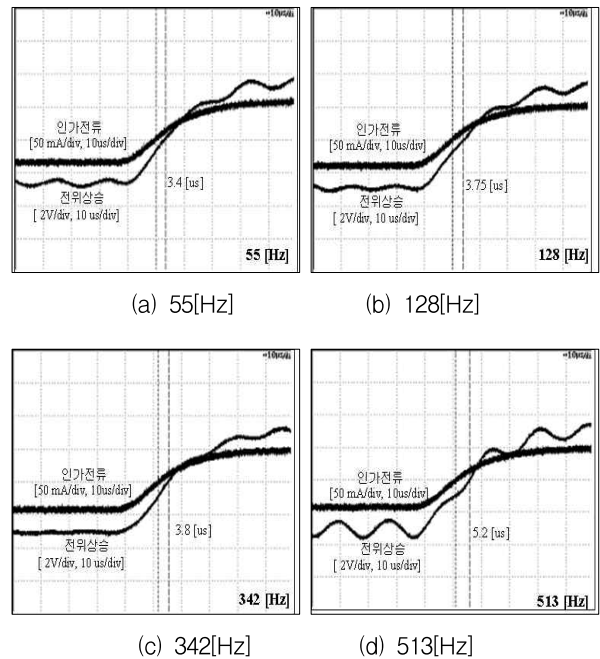


그림 4. 인가전류와 전위상승 파형
Fig. 4. Waveforms of the applied current and potential rise

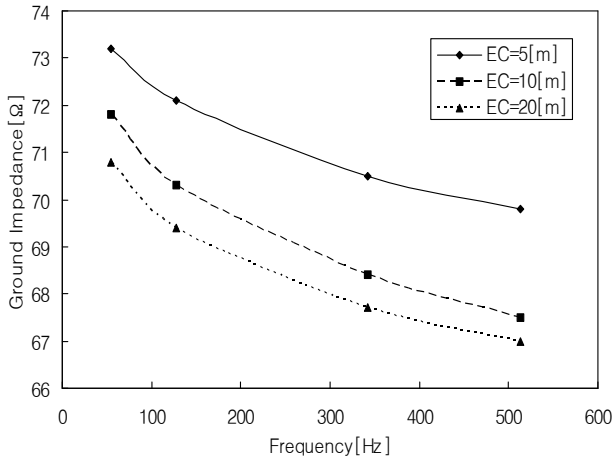


그림 5. 주파수에 따른 접지임피던스 크기
 Fig. 5. Amplitude of ground impedance according to the frequency

현재 전기설비기술기준의 판단기준에서 규정되어 있는 종별 접지저항치를 고려할 때 제3종 접지는 100 [Ω] 이하이므로 주파수에 따른 접지임피던스 크기의 차이가 큰 문제가 되지 않더라도 제1종 접지의 경우 10 [Ω] 이하로 명기되어 있어 3~4 [Ω]의 차이는 접지 시스템의 적합 및 부적합 여부를 판단하는데 중요한 변수가 될 수 있다. 따라서, 저주파 접지임피던스를 측정시 이에 대한 측정 주파수의 설정도 중요한 요소가 되므로 이에 대한 규격화가 필요할 것으로 판단되며, 노이즈의 영향 제거, 전기설비기술기준의 적합 판정 등을 위해서는 85~135 [Hz]의 인가주파수를 사용하는 것이 바람직하다.

4. 결 론

본 논문에서는 전위강하법을 이용하여 접지임피던스 측정에 관한 전류보조전극의 거리 및 주파수의 영향을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전류보조전극이 5, 10, 20[m]인 거리에 설치된 경우 중에서 20[m]에 설치되었을 때 오차율이 1[%] 이내인 전류보조전극의 위치 범위가 더 넓어지는 것을 알 수 있었다. 따라서, 접지임피던스 측정시 저항구역 중첩, 전위간섭 등을 방지

하고 오차율을 감소시키기 위해서는 주변 환경을 고려하여 전류보조전극의 거리를 최대한 증가시켜 측정하는 것이 바람직하다. 피측정 접지전극과 전류보조전극 사이의 전류보조전극의 위치는 약 60[%] 지점을 기준점으로 하고 50[%], 70[%] 위치의 값이 기준점과 비교하였을 때 상대오차가 5[%] 이내이면 적합한 것으로 판단된다.

- (2) 측정 주파수의 변화에 따른 접지임피던스의 경우, 주파수가 증가할수록 접지임피던스가 감소하는 특성을 나타내었으며, 이를 통해 피측정 접지전극은 저주파 영역에서 용량성 성분이 지배적임을 알 수 있었고, 접지임피던스 크기의 최대와 최소값의 차이는 3~4 [Ω] 정도로 나타나 낮은 접지임피던스값을 요구하는 경우 주파수의 설정도 중요한 요소로 작용하므로 이에 대한 규격화가 필요하며, 노이즈의 영향 제거, 전기설비기술기준의 적합 판정 등을 위해서는 85~135 [Hz]의 측정주파수를 사용하는 것이 바람직하다.

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] 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.
- [2] C. Wang, T. Takasima, T. Sakuta and Y. Tsubota, "Grounding Resistance Measurement Using Fall-of-Potential Method with Potential Probe Located in Opposite Direction to the Current Probe," IEEE Trans. Power Delivery, vol.13, no.4, pp.1128~1135, Oct. 1998.
- [3] 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.
- [4] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", pp.4~20, 2000.
- [5] 길형준, 김동우, "전류보조전극의 위치변화에 따른 접지 저항 측정값의 상대오차분석", 한국조명·전기설비학회, Vol.23, No.2, pp.96~102, 2009.
- [6] 이복희, 이봉, 이승주, 유재덕, 조성철, "전류인가위치에 따른 매설지선의 과도접지임피던스 특성", 한국조명·전

전류보조전극 거리 및 주파수에 따른 접지임피던스 특성

기설비학회 춘계학술대회, pp.328~331, 2009.

- [7] 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.
- [8] TTAS.KO-04.0026/R1, "Technical Standard for the Measurements of Grounding Resistance," Telecommunications Tech. Ass., 2007.
- [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.

◆ 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



이기연(李璣燕)

1975년 5월 12일생. 2002년 2월 인천대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원.

Tel : (031)580-3039

Fax : (031)580-3045

E-mail : lkycj@kesco.or.kr



문현옥(文鉉旭)

1975년 2월 14일생. 2000년 8월 경북대 공대 전자전기공학부 졸업. 2004년 University of Florida, Electrical & Computer Engineering 졸업(석사). 2006년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 연구원

Tel : (031)580-3038

Fax : (031)580-3045

E-mail : hwmoon@kesco.or.kr