

접지전류의 주파수에 따른 수직 접지전극 주변에서 전위간섭 영향 분석

(An Analysis of Potential Interference Effects in the Vicinity of Ground Rod Depending on Frequency of Ground Currents)

이복희* · 조용승 · 최종혁 · 양순만

(Bok-Hee Lee · Yong-Seung Cho · Jong-Hyuk Choi · Soon-Man Yang)

Abstract

When the ground current is injected into the adjacent ground electrode, the potential interference is caused between ground electrodes. the ground potential interferences have been largely studied with power frequency fault currents. Many attempts to find the frequency-dependent grounding impedance report that the high frequency grounding impedance is very different with the ground resistance. This paper presents experimental data on the frequency-dependent potential interference effects in the vicinity of ground rod. The ground potential rises around the test ground rod of 4 or 6[m] were measured and discussed. As a result, the ground potential rises and potential interference factor are decreased with decreasing the grounding impedance. It was found that the lowering of grounding impedance is critical to reduce the ground potential interference effects.

Key Words : Potential Interference, Ground Surface Potential Rise, Grounding Impedance, Vertical Ground Rod

1. 서 론

이상적인 독립접지는 인접한 접지전극에 많은 접지전류가 흘러도 전위간섭을 일으키지 않는 것으로 접지전극을 무한대의 거리만큼 떨어지도록 하지 않으면 완전한 독립이라 할 수 없다. 독립접지는 인접한 접지전극의 영

향 없이 독립적으로 장비나 설비를 보호할 수 있다는 장점이 있으나, 시공 시 각각의 접지전극 간에 충분한 이격 거리를 두어야 하며, 실제의 경우 이격거리의 제한과 큰 고장전류의 유입으로 전위차가 발생하여 전자장비나 제어설비에 손상을 주거나 오동작을 유발하는 단점이 있다 [1]. 최근 전자화, 고도정보화에 따라 각종 전력전자기기의 사용이 증가하면서 고주파수의 누설전류 및 고장전류가 크게 증가하였다. 또한 기후의 변화로 인하여 고주파수 성분을 포함하는 뇌서지전류가 접지전극에 흘러들어 갈 수 있는 확률이 매우 증가하고 있기 때문에 접지성능을 저주파수 전류로 측정하는 접지저항이 아닌 고주파수

* 주저자 : 인하대학교 IT공과대학 전기공학부 교수
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr
접수일자 : 2011년 10월 14일
1차심사 : 2011년 10월 19일
심사완료 : 2011년 10월 27일

의 전류 및 임펄스전류에 대한 접지임피던스의 평가에 관한 연구가 이루어지고 있다[2-3]. 하지만 고주파수를 포함하는 고장전류 또는 서지전류가 접지전극에 유입되었을 때 접지시스템에 대한 전위간섭에 관한 연구가 충분하지 못한 실정이다. 도전유도에 의한 영향의 저감과 신뢰성 확보를 위해서는 고주파수를 포함하는 고장 또는 서지전류가 접지전극에 유입되었을 때 나타나는 전위간섭의 변동특성을 분석할 필요가 있다.

본 논문에서는 고주파수에서 도전유도에 의한 전위간섭의 분석을 목적으로 수직 접지전극에 접지전류가 인가되었을 때 인접한 접지전극의 전위상승과 수직 접지전극의 주변에 나타나는 대지전위를 측정하여 그 결과를 상호 비교·분석하였다. 또한 수직 접지전극에 대한 접지임피던스의 주파수의존성을 기반으로 접지임피던스와 전위간섭계수 및 전위상승의 상관성을 분석하고 검토하였다.

2. 접지전극 상호간 전위간섭의 정의

그림 1과 같이 접지전극 A에 접지전류가 유입하였을 때 다른 접지전극에서 전위상승을 전혀 일으키지 않는 것이 바람직하나 도심지에서는 접지전극의 설치에 있어서 충분히 이격시키는 것이 현실적으로 불가능하므로 전위상승의 일정한 범위에 접지전극이 매설되게 되어 접지전극 B처럼 ΔV 만큼의 전위상승이 일어나게 되므로 서로 완전히 독립되었다고 볼 수 없다. 따라서 접지시스템을 시설할 때 도전유도에 의한 전위간섭을 충분히 고려하여 설계하고 시공하여야 한다.

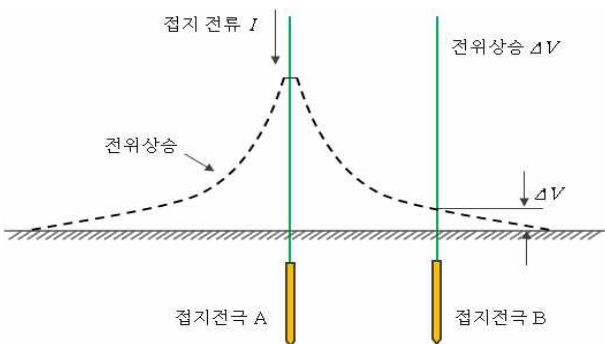


그림 1. 접지전극간의 전위간섭
Fig. 1. Potential interference between ground electrodes

접지전극 A의 전위상승에 의해 접지전극 B가 간섭을 받는 것을 전위간섭이라 하고, 접지전극 B에 미치는 전위간섭의 정도를 평가하는 척도로서 전위간섭계수 K 를 식 (1)과 같이 정의한다[4].

$$\text{전위간섭계수 } K = \frac{\text{접지전극 B의 전위}}{\text{접지전극 A의 전위}} \quad (1)$$

3. 실험계 및 방법

수직 접지전극에 접지전류가 인가되었을 때 인접한 접지전극의 전위상승과 수직 접지전극의 주변에 나타나는 대지전위상승을 추정하기 위하여 구성된 실험계를 그림 2에 나타내었다. 반경 7[mm], 길이 4, 6[m] 수직 접지전극을 설치한 후 동일한 크기의 시험전극을 설치하였다. 4[m] 수직 접지전극은 전극 설치지점에서 각각 2, 4, 6[m]를 이격하여 3개를 설치하였으며, 6[m] 수직 접지전극은 각각 2, 4, 6, 9[m]를 이격하여 4개의 시험전극을 설치하였다. 접지전극 주변의 전위상승의 측정에 앞서 측정대상 접지전극의 접지임피던스의 주파수의존성을 1[MHz]까지 측정하였다. 접지임피던스의 측정은 IEEE Std. 81.2-1991에서 제안하고 있는 수정된 전위강하법을 이용하였다[5]. 전류인가선의 영향을 고려하여 전류보조전극은 20[m] 거리에 설치하였고, 도전유도에 의한 오차의 저감을 위해 전위보조전극은 50[m]에 설치하여 접지임피던스를 측정하였다[6]. 측정전류는 80 [MHz]까지 인가할 수 있는 함수발생기와 DC-250 [MHz]의 주파수 대역을 갖는 전력증폭기를 사용하여 접지전류를 측정대상 수직 접지전극과 전류보조전극 사이에 인가하였다. 70[MHz]의 주파수대역을 갖는 차동 프로브와 20[MHz]의 측정주파수 대역을 갖는 전류프로브를 이용하여 접지전극의 전위와 전류를 측정하였다. 측정된 신호를 PC기반 접지임피던스 분석장치를 이용하여 접지임피던스를 산출하였다. 접지전류의 주파수에 따른 접지전극 주변의 전위상승의 측정을 위해 인가전류의 주파수를 100[Hz], 30[kHz], 100[kHz] 접지전류의 크기를 일정하게 한 후 수직 접지전극, 시험전극과 전위보조전극사이의 전위차를 25[MHz]의 주파수대역을 갖는 능동형 차동전압프로브를 사용하여 동시에 측정하였

다. 대지표면전위는 표면전위검출용 전극과 전위보조전극사이의 전위차를 수직 접지전극으로부터 1[m] 간격으로 10[m]까지 측정하였다. 그림 2와 같은 측정계에서 수직 접지전극을 모두 설치한 후 각 위치에 따른 분석을 수행하여도 접지전극과 시험전극의 전위간섭을 측정 및 평가하는데 거의 영향을 주지 않았다[7].

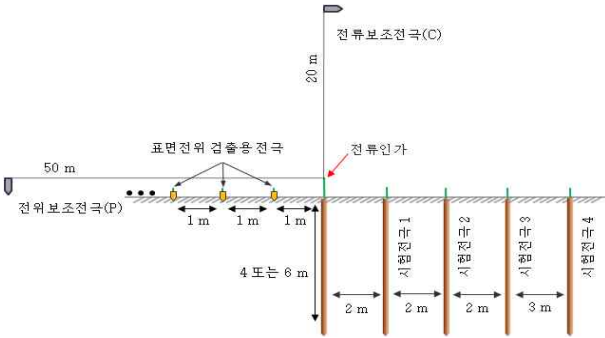


그림 2. 접지전극 주변의 전위상승 및 접지임피던스의 측정계의 개략도
 Fig. 2. A schematic diagram of measurement system of the grounding impedance and potential rise in the vicinity of ground rods

4. 결과 및 고찰

접지전극의 전위상승은 접지임피던스와 직접적인 상관성을 가지므로 전위간섭계수에 앞서 접지임피던스의 주파수의존성을 측정하여 분석하였다. 그림 3은 4[m] 수직 접지전극의 접지임피던스와 위상차의 주파수의존성을 나타낸다. 100[Hz]에서 측정된 4[m] 수직 접지전극의 접지저항은 63.5[Ω]을 나타냈으며, 주파수가 600[kHz]까지 증가함에 따라 접지임피던스가 47.6 [Ω]까지 감소하였다. 또한 접지임피던스는 900[kHz]까지 증가하였다가 감소하였다. 위상차의 경우 약 400[kHz]까지 전류의 위상이 전압에 앞서는 용량성 특성을 나타내었으며 400[kHz]에서 약 900[kHz]까지는 유도성 특성을 나타내었다.

인가전류의 주파수가 100[Hz], 30[kHz], 100[kHz]인 경우 4[m] 수직 접지전극 주변의 시험전극과 대지표면의 전위상승을 이격거리에 따라 1[A]당의 전위를 그림 4 (a)에 나타내었다. 길이 4[m]인 수직 접지전극 주변의 대지표면전위분포는 주파수가 증가함에 따라

감소하는 결과를 나타내었다. 이것은 그림 3의 접지임피던스의 측정결과에서 나타나듯이 측정주파수 100[kHz]이내에서 주파수의 증가에 따라 접지임피던스가 접지저항에 비해 감소하기 때문에 동일한 1[A]의 전류를 인가하였을 때 접지전극전위와 마찬가지로 대지표면전위 역시 감소하여 나타난 것이라 판단된다. 도전유도에 의한 시험전극의 전위상승 또한 주파수가 증가함에 따라 접지임피던스의 감소로 인해 전위상승이 감소한 것으로 판단된다.

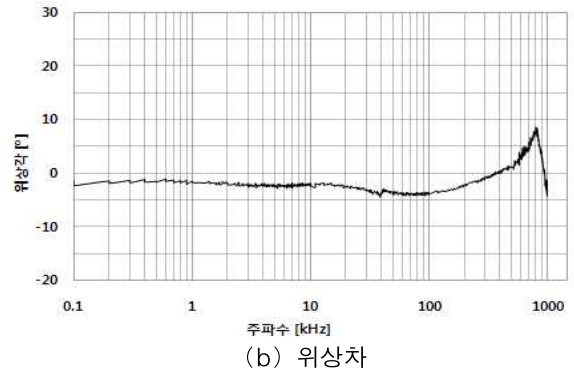
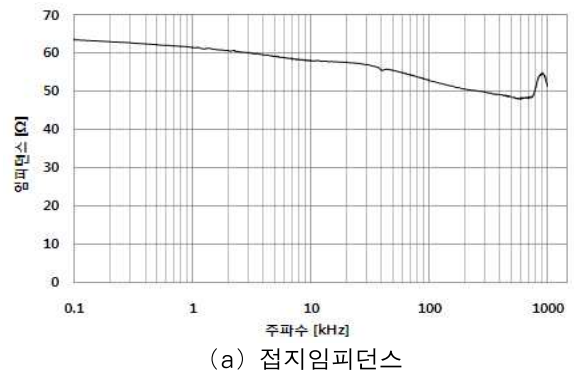
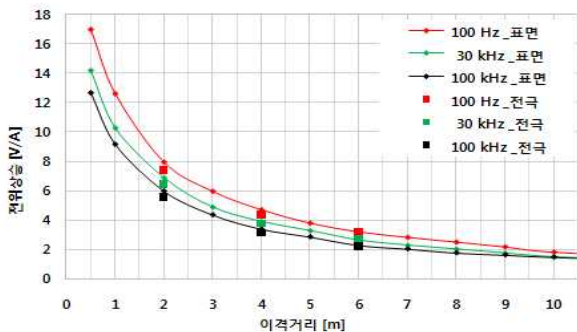


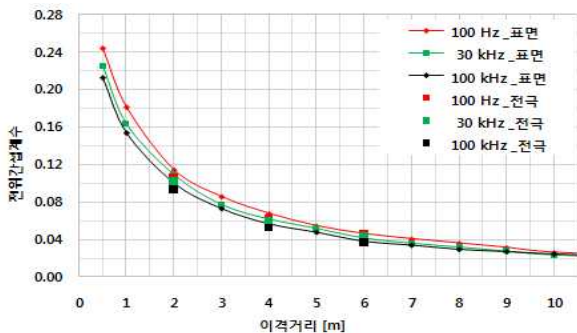
그림 3. 4[m] 접지전극의 접지임피던스와 위상차의 주파수의존성
 Fig. 3. Frequency-dependent grounding impedance and impedance phase of the ground rod of 4[m] long

그림 4 (b)에 나타낸 전위간섭계수에 대한 결과는 식 (1)을 이용하여 산출한 것으로 그림 4 (a)의 시험전극전위와 대지표면의 전위상승을 수직 접지전극의 전위로 나눈 값이다. 전위간섭계수는 시험전극과 대지표면의 전위상승과 마찬가지로 주파수가 100[Hz],

30[kHz], 100[kHz]로 증가함에 따라 약간 감소하였다. 이는 주파수가 증가함에 따라 접지임피던스의 감소로 인해 동일한 1[A]당 수직 접지전극, 시험전극, 대지표면의 전위상승이 모두 감소하였지만 고주파수에서 시험전극 및 대지표면의 전위상승이 수직 접지전극의 전위상승보다 더 크게 감소하여 시험전극 전위와 수직 접지전극 전위의 비로 나타내는 전위간섭계수가 감소한 것으로 판단된다. 또한 대지표면의 전위와 수직 접지전극의 비로 나타낸 전위간섭계수는 수직 접지전극에 대한 전위간섭계수 보다 크게 나타났다.



(a) 전위상승



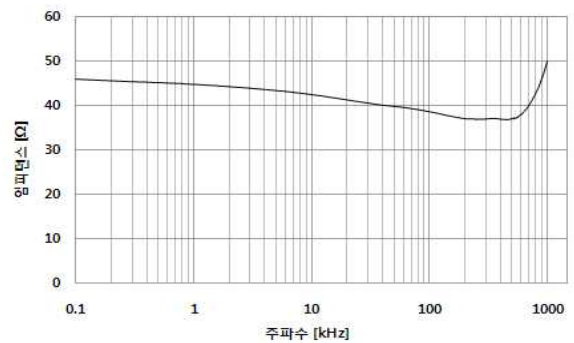
(b) 전위간섭계수

그림 4. 4[m] 수직 접지전극 주변의 전위상승 및 전위간섭계수

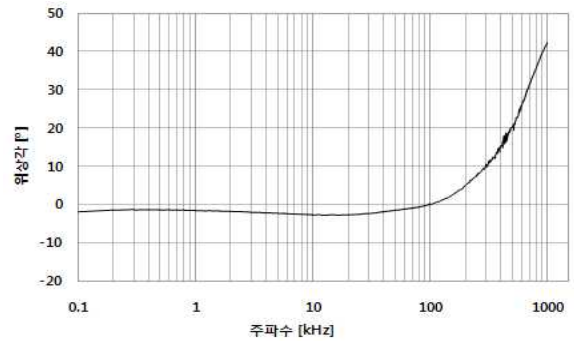
Fig. 4. Potential rises and potential interference in the vicinity of the ground rod of 4[m] long

4[m] 수직 접지전극의 경우와 마찬가지로 6[m] 수직 접지전극을 대상으로 하여 동일한 특성량의 분석을 수행하였다. 길이 6[m]인 수직 접지전극의 접지임피던스와 위상차의 주파수의존성을 그림 5에 나타내었다. 100[Hz]에서 측정된 길이 6[m]인 수직 접

지전극의 접지저항은 46[Ω]을 나타냈으며, 주파수가 200[kHz]까지 증가함에 따라 접지임피던스가 37[Ω]까지 감소하였다. 또한 약 500[kHz]까지 일정한 값을 나타냈으며 이후 1[MHz]까지 증가하였다. 위상차의 경우 약 100[kHz]이전까지 전류의 위상이 전압에 앞서는 용량성 특성을 나타내었으며 100[kHz] 이후부터는 유도성 특성을 나타내었다.



(a) 접지임피던스



(b) 위상차

그림 5. 6[m] 수직 접지전극의 접지임피던스와 위상차의 주파수의존성

Fig. 5. Frequency-dependent grounding impedance and impedance phase of the ground rod of 6[m] long

길이 6[m]인 수직 접지전극 주변의 시험전극과 대지표면의 전위상승을 주파수가 100[Hz], 30[kHz], 100[kHz]인 경우 이격거리에 따른 1[A]당의 전위를 그림 6 (a)에 나타내었다. 길이 6[m]인 수직 접지전극 주변의 전위상승은 고주파수로 갈수록 대지표면전위분포가 낮아졌다. 길이 6[m]인 접지전극의 접지임피던스가 측정주파수인 100[kHz] 이내에서 주파수의 증가에 따

라 감소하기 때문에 동일한 1[A]의 전류를 인가하였을 때 접지전극의 전위와 마찬가지로 대지표면의 전위 역시 감소하여 나타난 것이라 판단되며 시험전극의 전위 상승 또한 접지임피던스의 감소로 인해 전위상승이 감소한 것으로 판단된다. 앞서 분석한 길이 4[m]인 수직 접지전극과 유사한 결과를 나타내었다. 수직 접지전극 주변의 전위상승 및 인접한 접지전극의 전위상승은 접지임피던스에 비례하므로 6[m] 수직 접지전극과 같이 인가전류의 주파수가 1[MHz]일 경우 접지임피던스는 접지저항보다 더 커지므로 인근의 접지전극의 전위간섭의 영향이 더 증가할 것으로 판단된다.

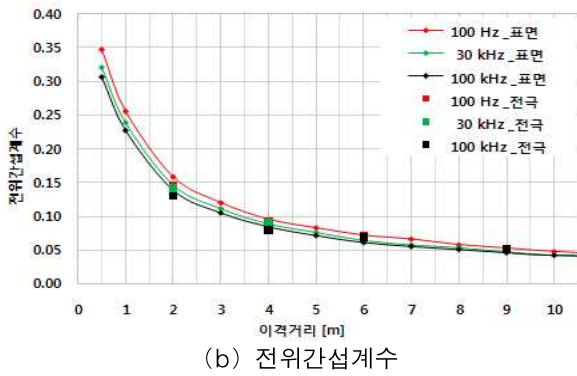
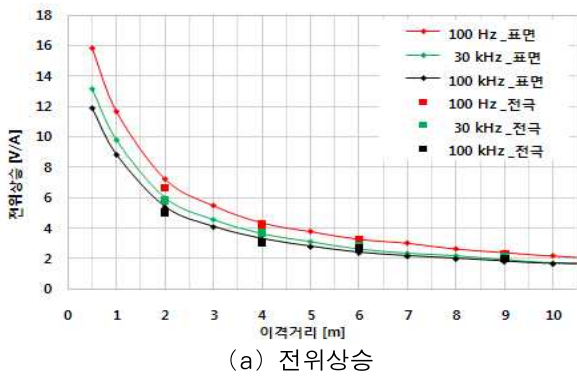


그림 6. 6[m] 수직 접지전극 주변의 전위상승 및 전위간섭계수
 Fig. 6. Potential rises and potential interference of in the vicinity of the ground rod of 6[m] long

그림 6 (b)에 나타난 전위간섭계수의 결과는 식 (1)로 산출한 것이며, 시험전극과 대지표면의 전위상승과 마찬가지로 주파수가 100[Hz], 30[kHz], 100[kHz]로

증가함에 따라 감소하였다. 고주파수로 갈수록 접지 임피던스가 감소하여 동일한 1[A]당 수직 접지전극, 시험전극, 대지표면의 전위상승이 모두 감소하였지만 고주파수에서 시험전극 및 대지표면의 전위상승이 수직 접지전극의 전위상승보다 더 크게 감소하여 시험전극 전위와 수직 접지전극 전위의 비로 나타내는 전위간섭계수가 감소한 것으로 판단된다. 또한 대지표면의 전위와 수직 접지전극의 비로 나타낸 전위간섭계수도 감소한 것으로 판단된다.

표 1. 접지전류 1(A)당 수직 접지전극 주변에서 시험전극전위와 전위간섭계수의 비교

Table 1. Comparison of the potential rises and the potential interference at the ground current of 1[A]

	이격거리 [m]	수직 접지전극의 길이[m]	
		4	6
시험 전극 전위 [V]	2	7.4	6.67
	4	4.38	4.22
	6	3.26	3.26
	9	-	2.31
전위 간섭 계수	2	0.11	0.15
	4	0.063	0.093
	6	0.046	0.071
	9	-	0.051

주파수가 100[Hz]일 때 길이 4, 6[m]인 수직 접지전극 주변의 시험접지전극전위 및 전위간섭계수를 표 1에 나타내었다. 동일한 이격거리인 2[m]에서 수직 접지전극의 길이가 4[m]에서 6[m]로 증가할 때 주변의 시험전극의 전위가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 또한 이격거리가 4, 6[m]에서의 시험전극전위도 수직 접지전극의 길이가 증가할수록 전위상승이 감소하였다. 이것은 접지전극의 길이가 증가함에 따라 접지임피던스가 감소하므로 접지전극의 전위상승이 감소하여 주변에 있는 시험전극의 전위가 감소한 것이다. 하지만 전위간섭계수의 경우 이격거리가 2[m]에서 4[m] 수직 접지전극보다 6[m] 수직 접지전극에서 더 크게 나타났으며 이격거리 4, 6[m]에서도 수직 접지전극 길이가 4[m]보다 6[m]에서 전위간섭계수는 더 크게 나타났다. 전위간섭계수의 경우 식 (1)에서 나타난 바와 같이 수

직 접지전극과 인접한 피유도접지극인 시험전극의 비로 나타나기 때문에 비록 전위간섭계수가 작지만 시험전극의 전위상승이 클 수 있다. 따라서 전위간섭의 영향을 전위상승의 비율로 나타내는 전위간섭계수로만 판단하는 것은 다소 오류를 초래할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 주파수변화에 따른 전위간섭을 분석하기 위해 수직 접지전극에 접지전류가 인가되었을 때 인접한 수직 접지전극의 전위상승과 수직 접지전극의 주변에 나타나는 대지표면전위의 측정결과를 상호 비교·분석하였다. 고주파수 고장전류가 접지전극에 인가된 경우 수직 접지전극 인근에 위치한 수직 접지전극의 전위상승 및 대지표면전위분포는 접지임피던스에 비례하여 나타났으며, 또한 전위간섭계수도 접지임피던스에 비례하여 나타났다. 접지전극 주변의 도전유도에 의한 전위간섭의 영향을 줄이기 위해서는 접지임피던스의 저감이 필수적 요소이며, 상대적인 전위간섭영향을 나타내는 전위간섭계수로의 평가는 전위간섭레벨의 영향을 비례적으로 반영하지 못 할 수도 있음이 확인되었다. 대지표면전위 및 유도전위는 접지임피던스에 따라 결정되므로 용량성 특성을 나타내는 접지전극의 경우 주파수가 증가함에 따라 전위간섭영향이 감소하고 그 반대로 유도성의 경우 증가하게 되므로 고주파수에서도 접지임피던스의 변동이 적은 접지시스템 설계가 요구된다.

본 연구는 지식경제부 지원에 의하여 한국전기안전공사 (과제번호 : R-2007-1-014) 주관으로 수행된 과제임.

References

[1] 이복희, 이수봉, 이태형, 정현욱, 길형준, “봉상 접지전극 상호간의 전위간섭에 대한 평가”, 조명·전기설비학회논문지, Vol. 20, No. 5, pp.92-98, 2006.
 [2] S. Visacro, “A Comprehensive Approach to the Grounding Response to lightning Currents”, IEEE Trans. on P.D., Vol 22 No. 1, pp.381-386, 2007.

[3] L. Grecev, “Impulse Efficiency of Ground Electrodes”, IEEE Trans. on P.D. Vol. 24, No. 1, pp.441-451, 2009.
 [4] “接地·等電位ボンディング設計の實務知識”, オーム社, p.94, 2003.
 [5] IEEE Std. 81.2-1991, IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems, pp.12-17, 1991.
 [6] 최종혁, 최영철, 이복희, “수직 접지전극의 접지임피던스 측정에서 도전유도에 의한 오차 평가”, 전기학회논문지, Vol. 58, No. 9, pp.1778-1783, 2009.
 [7] 최종혁, 최영철, 성장훈, 김동성, 김태기, 이복희, 안창환, “매설지선 상호간 전위간섭계수의 주파수의존성 분석”, 2010년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1442-1443, 2010.

◇ 저자소개 ◇



이복희 (李福熙)
 1954년 6월 29일생. 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 IT공대 전기공학부 교수. 당 학회 회장.
 Tel : (032)860-7398
 Fax : (032)863-5822
 E-mail : bhlee@inha.ac.kr



조용승 (趙鏞承)
 2010년 2월 한국교육개발원 졸업. 현재 인하대 대학원 전기공학과 석사과정.
 Tel : (032)860-7398
 Fax : (032)863-5822
 E-mail : dreams86@nate.com



최종혁 (崔鍾赫)
 1980년 5월 12일생. 2006년 2월 인하대 공대 전자공학과 졸업. 2008년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.
 Tel : (032)860-7398
 Fax : (032)863-5822
 E-mail : chjohe80@naver.com



양순만 (楊淳晩)
 1984년 2월 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 인하대 공학대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 박사과정. 금호산업(주) 상무.
 Tel : (032)860-7398
 Fax : (032)863-5822
 E-mail : smyang1@kumhoenc.com