

# 현장시험에 의한 독립접지 시스템의 전위간섭 해석에 관한 연구

(A Study on the Potential Interference Analysis in the Isolated Grounding System by Field Tests)

김경철\* · 최종기 · 백승현 · 박상영 · 김종욱

(Kyung-Chul Kim · Jong-Kee Choi · Seung-Hyun Paik · Sang-Young Park · Jong-Uk Kim)

## 요 약

독립접지는 개별적으로 접지를 사용함으로써 다른 접지로부터 영향을 받지 않고 설비를 보호하기 위한 것이다. 한정된 부지 내에 많은 접지극이 존재하면 전위간섭 문제가 발생하게 된다. 본 논문에서는 간섭 전위를 계산하기 위한 간략식을 사례연구 접지 시스템에 적용하여 측정 데이터를 근거로 제안 하였다. 정확도를 알아보기 위해서 제안식에서 얻은 결과와 CDEGS 프로그램으로 구한 결과를 비교하였다.

## Abstract

The purpose of isolated grounding systems is to protect own electrical facilities from the other grounding systems in order to avoid the potential interference between ground grid areas. But the physically close distances involved could lead to potential interference problems. The simplified equation for determining potential interferences based on the measured data under the case study grounding system is proposed in this paper. The results obtained with the equation to verify the accuracy have been compared with the results obtained from the CDEGS program.

Key words : Potential interference, Isolated grounding system, Fall-of-potential method  
Ground resistance

## 1. 서 론

우리나라는 전기설비기준에 따르면 제 1, 2, 3종 및 특별 제 3종 접지 공사를 하게 되어 있고, 독립 접지방식을 채택하고 있다.

독립접지는 개별적으로 접지를 시공함으로써 다른 접지로부터 영향을 받지 않고 장비나 시설을 보호하기 위한 것이다. 각각의 접지를 일정거리 이상의 이격거리(이론적으로는 무한대의 거리)를 두고 시공하여 다른 접지극의 전위상승이나 간섭을 받지 않도록 접지해야 한다.

기기접지, 통신 접지, 피뢰접지 등 한정된 부지 내에 많은 접지극이 존재하면 사고시 유입되는 전류는 전위간섭을 일으킨다.

\* 주저자 : 홍익대학교 전기공학과 교수  
Tel : 041-860-2974, Fax : 041-863-7605  
E-mail : yangjier@hongik.ac.kr  
접수일자 : 2004년 8월 6일  
1차심사 : 2004년 8월 9일, 2차심사 : 2004년 8월 23일  
심사완료 : 2004년 9월 9일

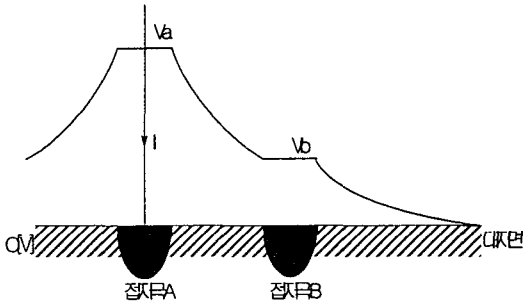


그림 1. 접지극간의 전위간섭  
Fig. 1. The Potential interference between grounding electrodes

그림 1과 같이 접지극 A에 전류 I[A]가 유입되어 흐르면 접지극 A에는 전위  $V_A[V]$ 가 상승하게 되고, 주변 접지극 B에 간섭 전위  $V_B[V]$ 가 발생하게 된다. 이 전위 간섭을 정량적으로 평가하기 위해 전위 간섭 계수( $K_i$ )를 도입하고 있다.

$$K_i = \text{타접지극의 전위}(V_B) / \text{자접지극의 전위}(V_A)$$

또한 이격거리는 발생하는 접지 전류의 최대값, 전위상승의 허용값, 대지 저항률 등에 영향을 받는다.

본 논문에서는 전위 강하법[1]으로 전류와 전압을 측정하여 사례연구 접지시스템의 전위 간섭을 모델링 하고자 한다.

## 2. 사례연구

사례연구에서는 접지시스템을 구성하고, 계측기로 대지 고유 저항률과 접지 저항을 측정한다. 전위 간섭측정 시스템을 구성하고, 입력 전류와 출력 전압을 측정하여 오실로스코프와 노트북에 데이터를 저장한다. 실측한 데이터를 근거로 전위간섭을 분석하고 모델링한다.

### 2.1 접지 시스템 구성

사례연구에 적용한 접지 시스템은 동양 산전(주)에서 상용화 시킨 접지봉(매직봉[2])을 회사 부지 내에 매설하여 구성하였다. 그림 2는 사용된 매직봉의 외관이다. 크기는  $\phi 100 \times L1500[mm]$ 이고, 고강도 도

전성 모르터 및 무기물질 등을 혼합하여 내구성 0.03%, 압축강도 410[kg/cm<sup>2</sup>]의 우수한 도전성 접지 효과를 장기간 유지하게 되는 특징을 가지고 있다.

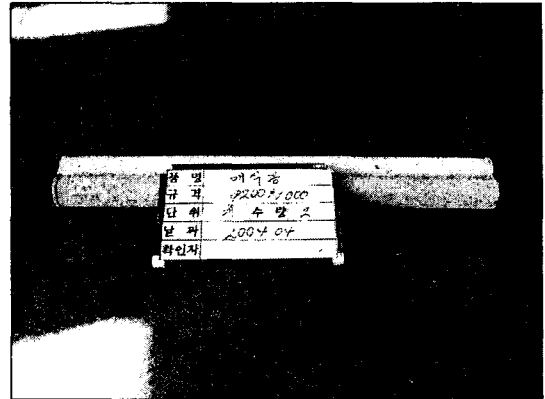


그림 2. 매직봉의 외관  
Fig. 2. Outside view of Magic Bong

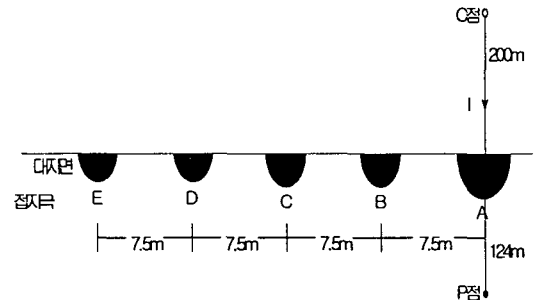


그림 3. 접지 시스템 구성  
Fig. 3. Ground system configuration

접지시스템의 구성은 그림 3과 같다. 접지극 A는 3개의 접지봉을 깊이 7.5[m], 21[m], 58.5[m]로 간격을 12.5[m], 10[m]로 하여 일렬로 배치되어 있다. 나머지 접지극 B, C, D, E는 깊이 7.5[m]에 간격 7.5[m]로 하여 매직봉을 하나씩 설치하였다. 매설 지선 및 접지극 연결은 CV 케이블 38[mm]를 사용하여 접지 시스템을 구성하였다.

### 2.2. 접지 저항 및 전위 간섭 측정

그림 4는 접지 저항 및 전위 간섭 측정 시스템의 구성을 보여준다.

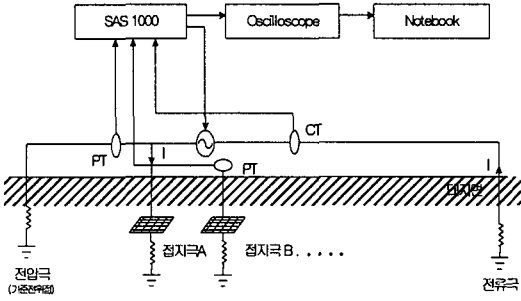


그림 4. 측정 회로  
Fig. 4. Measuring circuit

측정시스템의 구성요소는 접지 저항 및 전위 측정 장비(SAS1000[3]), 오실로스코프, 노트북, PT(Potential Transformer), CT(Current Transformer)로 되어있다. 그림 5는 사용된 접지저항 및 전위 측정 시스템의 외관도이다. 좌측부터 노트북, 오실로스코프(앞), SAS1000(뒤), PT/CT가 배치되어 있다.

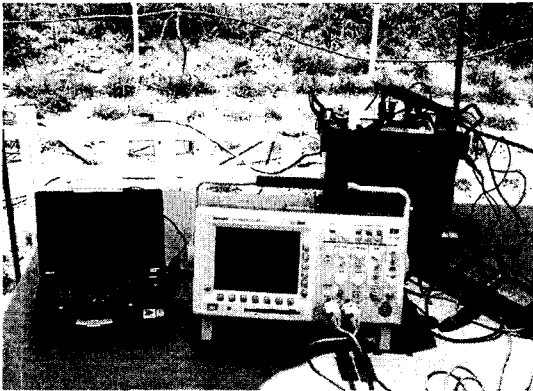


그림 5. 측정 시스템 외관도  
Fig. 5. Outside view of measuring system

접지 저항 및 전위 간섭 측정을 SAS1000장비로 전위 강하법(Fall-of-potential method) 원리로 측정 하였다. 측정 장비 SAS1000은 400[Vpp]에서 0.2-1000[mA]범위의 전류를 공급할 수 있다. 접지 저항 값의 측정해상도는 0.05[mΩ]에서 2000[mΩ] 까지이고, 전압은 1[μV]에서 400[V]까지 측정 가능하다. 오실로스코프와 노트북은 측정값과 전류 및 전압 파형을 수치로 저장한다.

61.8[%]법칙에 따라 접지 전극과 전류 보조극 사이는 200[m], 접지 전극과 전압 보조극의 간격은 123.6[m]로 하여 접지 저항과 전위 간섭을 측정하였다. 측정된 접지 저항 값은 표 1과 같다. 접지극 D와 E의 접지 저항 값은 지반이 국부적으로 자갈과 암반으로 구성되어 있어 접지극 B와 C의 값보다 크게 되었다.

표 1. 측정된 접지 저항  
Table 1. Measured grounding resistance

RA[Ω]	RB[Ω]	Rc[Ω]	RD[Ω]	RE[Ω]
3.2257	13.854	13.925	22.787	29.592

전위 간섭 측정은 그림 4의 측정회로에 SAS1000 장비로 일정하게 0.5[Arms] 유입전류를 흘려보내고, 접지극 A, B, C, D, E의 전위를 측정 하였다.

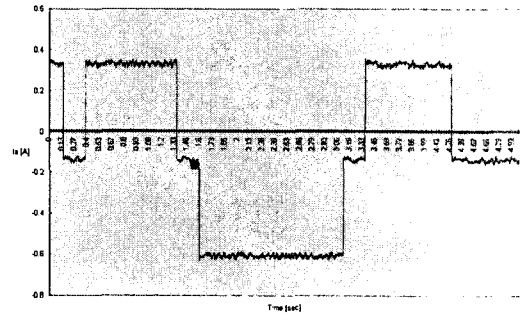
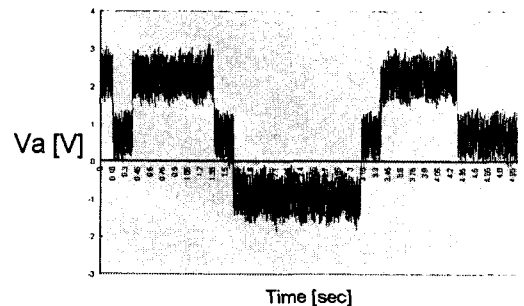
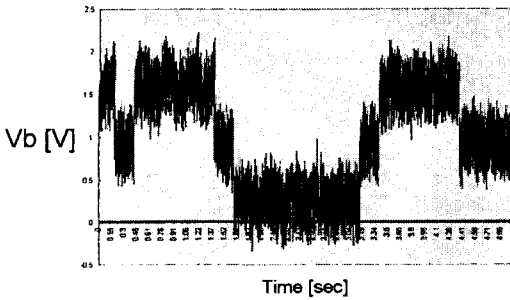


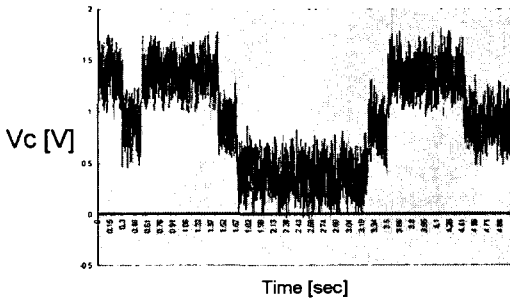
그림 6. 입력 전류  
Fig. 6. Input Current



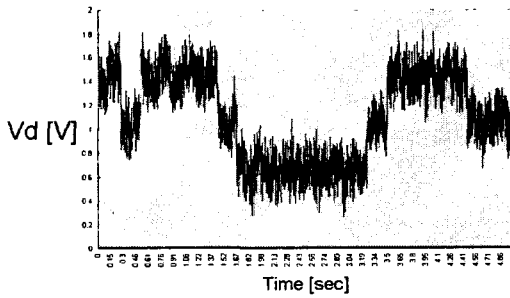
(a) 접지극 A



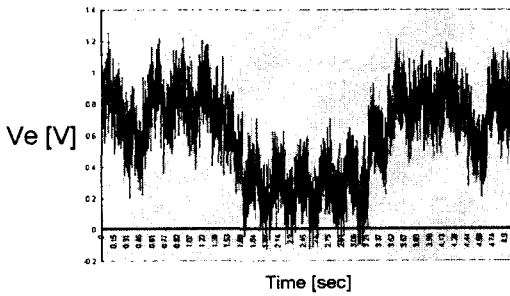
(b) 접지극 B



(c) 접지극 C



(d) 접지극 D



(e) 접지극 E

그림 7. 접지극 전위 파형  
Fig. 7. Potential wave forms of ground electrodes

입력전류  $I_A$ 는 그림 6과 같은 파형의 펄스이고 0.5[Arms]로 일정하게 유지된다. 1주기는 5[sec]이다. 접지극의 전위는 입력 전류보다 파형에 많은 노이즈가 섞여 있음을 알 수 있다. 이격거리가 커질수록 전위 간섭이 크기는 작아지고 파형에 노이즈는 더 많이 포함되었다.

표 2는 접지극의 전위를 실효치로 나타내었다.

표 2. 측정된 전위  
Table 2. Measured potential

VA[V]	VB[V]	Vc[V]	VD[V]	VE[V]
1.6129	0.6714	0.5002	0.4019	0.3280

표 3은 접지극의 전위간섭을 정량적으로 나타내기 위해 전위간섭 계수로 표현되었다. 접지극 A는 자극으로 100[%]이며, 접지극 E는 전위간섭계수가 20[%]임을 알 수 있다.

표 3. 전위 간섭 계수  
Table 3. The potential interference coefficient

Ki	접지극				
	A	B	C	D	E
전위간섭계수	1.0	0.4163	0.3101	0.2492	0.2030

독립 접지는 접지극간에 전위간섭을 받게 된다. 두 개의 접지극간의 전위차를 최소화 시키는 방법으로 공통 접지를 하는 경우가 있다. 고장 전류가 한 쪽 접지극에 유입시에는 장비간에 전위차가 발생하여 설비에 손상을 주거나 오동작을 유발하는 단점을 완화시키기도 한다.

표 4는 공통 접지시 두 접지극의 전위를 나타낸다.  $V_{AB}$ 는 접지극 A와 B를 공통으로 했을 때의 두 접지극의 전위이다.

전위 간섭을 분석하는 도구로 접지 해석 프로그램인 CDEGS(Current Distribution, Electromagnetic Fields, Grounding and Soil structure Analysis)[4]를 사용하였다. Wenner 4전극법으로 대지 고유 저항률을 측정하여(표 5), CDEGS로 대상 부지의 토양 모델을 그림 8과 같이 2층 구조 모델로 선정했다.

표 4. 공통 접지시 전위  
Table 4. Potential of the common grounding system

VAB[V]	VAC[V]	VAD[V]	VAE[V]
1.4921	1.4502	1.4935	1.4979

표 5. 대지 고유저항률 측정값  
Table 5. Measured soil resistivity

간격 a [m]	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
측정저항률 [Ω]	28.8	15.08	10.32	7.03	5.9	5.13	4.02	3.7	3.33	2.99	2.69	2.32	2.01
고유 저항률 [Ω·m]	180.9	189.4	194.4	176.6	185.3	193.3	202.0	232.4	250.9	262.9	270.3	262.3	252.5

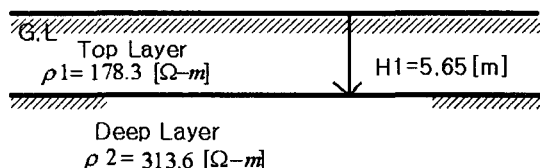


그림 8. 2층 구조 접지 토양 모델  
Fig. 8. Two-Layer earth model

2층 구조 토양 모델과 접지극 A에 0.5[A]를 주입한 경우의 지표면 전위 분포는 그림 9와 같다. 그림 10은 접지극 A와 B를 공통으로 했을 때의 지표면 전위 분포이다.

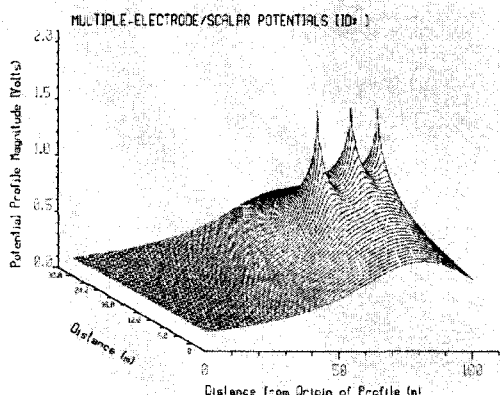


그림 9. 독립 접지극 A,B의 지표면 전위 분포  
Fig. 9. Surface potential distribution of the isolated grounding electrode A and B

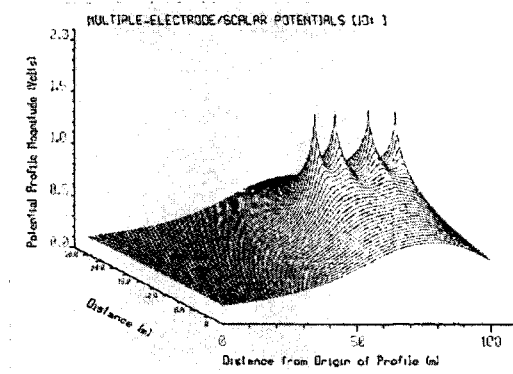


그림 10. 공통 접지극 A,B의 지표면 전위 분포  
Fig. 10. Surface potential distribution of the common grounding electrode A and B

측정된 전위 간섭과 CDEGS로 시뮬레이션 한 전위 간섭을 수치로 비교해 보았다(표 6).

표 6. 전위 간섭 비교  
Table 6. Comparison of the potential interferences

	전위	V <sub>A</sub>	V <sub>B</sub>	V <sub>AB</sub>
측정된 전위[V]		1.6129	0.6714	1.4921
CDEGS 모의 전위[V]		1.784	0.632	1.563
오차[%]		10.6	5.7	4.7

### 2.3 전위 간섭 모델링

전위 간섭은 이격거리(D), 대지저항률(ρ), 유입전류 크기(I), 전위 상승의 허용값 등에 영향을 받는다. 간섭 전위 VGPR[V]는

$$V_{GPR} = f(\rho, I, D) \quad (1)$$

으로 표현할 수 있다.

참고문헌[5]을 토대로 간섭 전위 VGPR[V]를 다음과 같은 제안식으로 나타낸다.

$$V_{GPR} = K_{avg} R_X I \ln(D_{AX})^2 / 2 \left( \frac{D_{AX}}{D_{AB}} - 1 \right) \quad (2)$$

연장시험에 의한 독립접지 시스템의 전위간섭 해석에 관한 연구

여기서 유입전류  $I[A]$ ,  $R_X[\Omega]$  는 그림 3에서 접지극 A에서 이격거리  $X[m]$  떨어진 지점의 접지극 X의 접지 저항이다.  $D_{AB}[m]$ 는 접지극 A에서 접지극 B까지의 이격거리이고, 상수  $K_{avg}$  는 전위 간섭을 접지 저항, 유입전류, 이격거리의 함수로 나타내기 위한 보정계수이다. 보정계수  $K_{avg}$ 는 각 접지극에서 실측한 저항( $R_X$ ), 간섭전위( $V_X$ ), 유입전류( $I$ ), 이격거리( $D_{AX}$ ) 으로 구한 보정계수  $K_X$ 의 평균값이다.

$$K_X = \frac{V_X}{R_X I \ln(D_{AX})^2} \times 2^{\left(\frac{D_{AX}}{D_{AB}} - 1\right)} \quad (3)$$

실측한 값을 적용하여 구한 보정계수  $K_X$ 는 표 7과 같다.

표 7. 보정계수  
Table 7. Correction factor

KB	KC	KD	KE
0.0241	0.0265	0.0227	0.0261

$$K_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{K=A}^K K_X = + \frac{K_B + K_C + K_D + K_E}{4} \approx 43.3 [V]$$

전위 간섭을 간략식으로 나타내고, 측정된 간섭 전위값과 비교해 보았다(표 8). 평균오차가 약 6%이지만, 실제로 접지를 시공하지 않고 제안된 간략식으로 전위 간섭을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

표 8. 전위 간섭 비교  
Table 8. Comparison of the potential interference

접지극	B	C	D	E
측정된 전위[V]	0.6714	0.5002	0.4019	0.3280
계산된 전위[V]	0.6979	0.4714	0.4434	0.3145
오차[%]	3.9	5.7	10.3	4.1

2.4 적용 연구

사례연구 시스템에서 고장전류는  $I_A=1000[A]$ 가 된다고 하자. 접지는 접지극 A와 유사한 접지봉을

매설하고 접지저항  $R_X=14[\Omega]$ 을 시공한다고 가정한다. 위험 전압은 50[V]이내로 하려고 할때[6], 이격거리 ( $D_X$ )는 얼마로 해야 하는지 알아본다.

사고시 접지극 A의 전위  $V_A$ 는

$$V_A = R_A I_A = 3226 [V] \text{ 이다.}$$

이격거리  $D_X$ 를 편의상  $D_{AB}$ 의 8배인 52.5[m]로 가정하여 식(2)에 대입하면 간섭 전위  $V_X$ 는

$$V_X = K_{avg} R_X I \ln D_{AX} / 2^{\left(\frac{D_{AX}}{D_{AB}} - 1\right)} \approx 43.3 [V]$$

으로 되어 조건을 만족함을 알 수 있다.

CDEGS로 고장전류  $I_A= 1000[A]$ , 이격거리  $D_X= 52.5[m]$ 를 입력으로 모의한 결과는

$$V_A = 3245 [V]$$

$$V_X = 41 [V]$$

으로 제안식의 결과와 유사하였다. 그림 11은 접지극 A와 X의 지표면 전위 분포를 나타낸다.

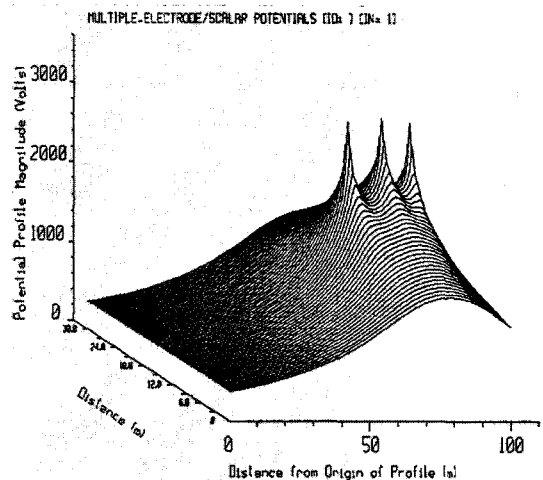


그림 11. 독립 접지극 A, X의 지표면 전위분포  
Fig. 11. Surface potential distribution of the isolated grounding electrode A and B

### 3. 결 론

독립 접지는 다른 접지로부터 전위 간섭을 받지 않고 설비나 인체를 보호하도록 시공해야 한다. 하지만 한정된 부지내에 여러 독립 접지를 시공할 경우, 이격거리를 무한대로 할 수 없기 때문에 전위 간섭은 피할 수가 없다.

본 논문에서는 사례연구 접지시스템을 구성하고, 접지 저항 및 전위 간섭을 전위 강하법으로 측정하였다. 전위간섭은 이격거리, 대지 저항률 및 유입전류의 크기에 영향을 받으므로, 전위 간섭을 계산하는 간략식을 제안하였다. 제안식은 실측한 접지저항, 유입전류, 이격거리의 함수로 나타내고, 계산결과는 CDEGS 프로그램의 결과와 비교하여 타당성을 검증해 보았다. 전위 간섭을 완화시키는 방법 중에 하나로 접지극을 연결하여 공통 접지를 한경우도 실측과 시뮬레이션을 해보았다.

본 논문에서 제안한 간략식으로 전위 간섭을 고려한 접지 설계에 활용 될 것으로 사료된다.

### References

- [1] IEEE Std 81-1983, "IEEE guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potential of a Ground System", IEEE Inc, 1993.
- [2] "매직 접지봉 사양서", 동양 산전(주), 2002.
- [3] "Instruction Manual for ABEM Transmeter ASA4000", ABEM Instrument Inc. Sweden,1999.[4] "CDEGS User's Guide", SES Technologies Ltd. 2003.
- [4] "CDEGS User's Guide", SES Technologies Ltd.2003.
- [5] IEEE Std 80-2000, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".
- [6] L. Yu and R. T. Beck, "Safety Design Considerations for AC Low-Voltage Distribution systems", IEEE Transactions on Industry Applications, Jan/Feb 1993.

본 연구는 전력산업 기술개발사업으로 수행되었음.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 김경철 (金慶哲)

1954년 1월 20일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1977~1982년 국방과학연구소 연구원. 1982~1984년 NMSU 전기공학과 석사. 1984~1988년 UTA 전기공학과 박사. 1988~1991년 한국 전기연구소 선임 연구원. 1991년~현재 홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수.

#### 최종기 (崔鍾基)

1969년 2월 1일생. 1992년 동국대학교 전기공학과 졸업. 1995년 홍익대학교 전기기제어공학과 석사. 1995년~현재 한국 전력공사 전력연구원 전력 계통연구실 선임 연구원.

#### 백승현 (白承鉉)

1975년 7월 13일생. 2002년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2003년~현재 홍익대학교 대학원 석사과정.

#### 박상영 (朴相泳)

1976년 8월 7일생. 2002년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2004년~현재 홍익대학교 대학원 석사과정.

#### 김종욱 (金種郁)

1972년 5월 21일생. 2000년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2002년 홍익대학교 대학원 졸업. 2002년~현재 동양산전(주) 연구원.