

수직 접지전극의 접지임피던스 측정에서 도전유도에 의한 오차 평가

논문

58-9-20

Evaluation of Errors Due to Earth Mutual Resistance in Measuring Ground Impedance of Vertically-driven Ground Electrode

최종혁* · 최영철** · 이복희†

(Jong-Hyuk Choi · Young-Chul Choi · Bok-Hee Lee)

Abstract - Ground impedance for the large grounding system is measured according to the IEEE Standard 81.2 which is based on the revised fall-of-potential method of installing auxiliary electrode at a right angle. When the auxiliary electrodes are located at an angle of 90°, the ground impedance inevitably includes the error due to earth mutual resistance. In this paper, in order to accurately measure the ground impedance of vertically-driven ground electrodes, error rates due to earth mutual resistance are evaluated by ground resistance and ground impedance measuring devices and compared with calculated values. As a result, the measured results are in good agreement with the computed results considering soil layer with different resistivity. The error rates due to earth mutual resistance decrease with increasing the length of ground electrode in the case that the ratio of the distance between the ground rod to be measured and the auxiliary electrodes to the length of ground electrode(D/L) is same. The ground impedance should be measured at the minimum distance between the auxiliary electrodes that will have an estimated measurement accuracy due to earth mutual resistance.

Key Words : Ground rod, Earth mutual resistance, Ground impedance, Revised fall-of-potential method

1. 서 론

접지저항을 측정하는 방법에는 여러 가지가 있으나 가장 정확도가 높으며, 광범위하게 사용되는 방법은 전위강하법이다[1]. 그러나 이 방법은 전류보조전극과 전위보조전극의 위치에 따라 전자유도결합 또는 도전유도에 의한 오차를 포함하게 된다. 전위강하법에서 발생하는 도전유도에 대한 오차는 반구형의 접지전극과 단일 대지저항률을 가정한 수식으로 표현된다[2][3]. 심매설 수직접지전극의 경우 반구형으로 가정된 수식에 의한 도전유도의 영향에 대한 평가는 잘못지 않는다. 또한 IEEE Std. 81.2에서는 고주파전류를 접지전극에 인가하여 측정하는 접지임피던스의 경우 측정선간의 전자유도에 의한 오차를 최소화 하기 위해 보조전극의 90° 배치를 권장하고 있으나[4], 이 경우에도 반드시 도전유도에 의한 오차를 포함하게 된다[5]. 따라서 심매설 수직접지전극의 접지임피던스를 측정할 때 보조전극을 90°로 설치하는 경우 도전유도의 오차율에 대한 평가가 필요하다. 본 논문에서는 수직 접지전극의 접지임피던스의 측정의 정확도 평가를 위한 기본요건의 제시를 목적으로 10, 30, 48 m의 수직 접지전극을 설치하여 접지임피던스를 측정함에 있어서 보조전극을 90°로 설치한 경우 접지전극의 길이별 접지전극

의 길이에 대한 보조전극 설치거리의 비율에 따른 도전오차를 접지전극의 전위분포를 이용하여 이론적으로 시뮬레이션하고, 실측한 결과와 비교하였다. 또한 저주파수에서 측정된 도전유도에 의한 오차율을 바탕으로 접지임피던스를 측정할 때 예상 측정의 정확도 확보를 위한 보조전극의 설치거리를 제시하였다.

2. 본 론

2.1 도전유도에 의한 오차 분석방법

전류보조전극과 전위보조전극을 90°로 배치하는 수정된 전위강하법으로 접지임피던스를 측정할 때 발생하는 도전유도에 의한 오차를 분석하기 위해 10, 30, 48 m의 심매설 수직형 접지전극을 설치하였다. 보조전극을 90°로 설치한 경우에 대한 접지전극의 길이별 접지저항의 도전유도에 의한 오차율을 측정하고, 접지전극의 전위식을 이용하여 보조전극의 거리에 따른 오차율을 산출하였다.

그림 1은 상단이 지표면에서 깊이 h 에 묻힌 수직접지전극 주변의 전위분포를 나타낸다. 61.8%법의 경우 0전위점이 존재하므로 도전유도에 의한 오차가 발생하지 않으나 보조전극을 90°로 측정할 때는 0전위점이 나타나지 않으며 전위보조전극의 위치에 따라 실제 접지저항보다 작게 측정된다.

식 (1)은 수직 접지전극의 접지저항산출식이며, 식 (2)는 수직 접지전극의 상단이 지표면에서 깊이 h 에 묻힌 수직 접지전극으로부터 x 만큼 떨어진 거리에서의 전위분포식을 나타낸다[6].

* 정 회 원 : 인하대 IT공대 전기공학과 박사과정

** 준 회 원 : 인하대 IT공대 전기공학과 석사과정

† 교신저자, 펠로우회원 : 인하대 IT공대 전기공학부 교수

E-mail : bhlee@inha.ac.kr

접수일자 : 2009년 5월 6일

최종완료 : 2009년 7월 28일

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} (\ln \frac{4l}{a} - 1) \quad (1)$$

$$V_x = \frac{\rho I}{2\pi l} \ln \frac{l+h+\sqrt{(l+h)^2+x^2}}{h+\sqrt{h^2+x^2}} \quad (2)$$

도전유도는 전위보조전극의 전위가 0이 아닌 곳에 위치하여 실제 접지저항보다 낮게 측정되는 것을 나타내므로 위의 식 (1), (2)를 이용하여 전위보조전극이 접지전극 길이의 배수만큼 떨어져 있을 때의 오차율을 식 (3)과 같이 정의하였다.

$$\epsilon = \frac{V_x}{RI} \times 100 \quad (3)$$

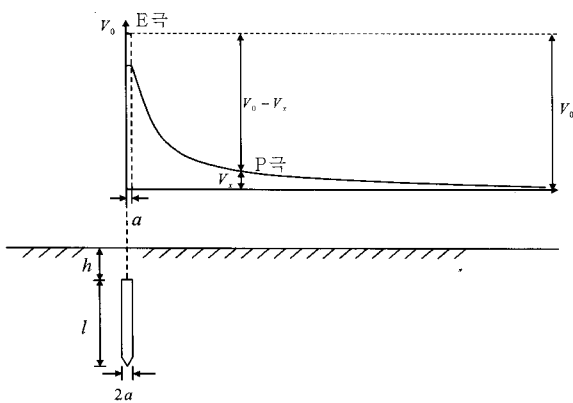


그림 1 수직 접지전극 주변의 전위분포
Fig. 1 Potential distribution around the vertically driven ground electrode

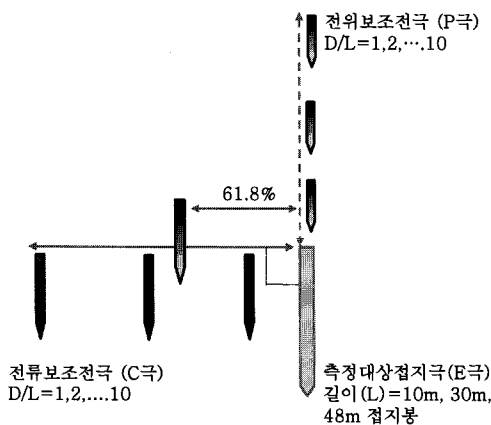


그림 2 도전유도에 의한 측정오차를 평가하기 위한 보조전극의 배치
Fig. 2 Arrangements of auxiliary electrodes for evaluating the measurement errors due to earth mutual resistance

그림 2는 전류보조전극과 전위보조전극을 90°로 배치할 때 수직 접지전극의 도전유도에 의한 측정오차를 실험적으로 파악하기 위해 나타난 측정계이다. L은 접지전극의 길이이고, D는 측정되는 접지전극으로부터 보조전극까지의 거리이다. 보조전극까지의 거리를 접지전극 길이의 배수(D/L)

로 하여 접지저항을 측정하고, 측정시 보조전극이 가장 멀리 떨어진 거리에서 61.8%법을 이용하여 측정된 접지저항값을 기준으로 도전유도에 의한 오차율을 산출하였다. IEEE Std. 81.2에서 접지그리드의 경우 보조전극을 90°배치하여 측정할 때 측정값이 참값의 95%가 되는 보조전극의 거리를 접지그리드 대각선길이의 6.5배로 제안하고 있으며, 측정대상 접지전극과 전류보조전극까지의 거리를 멀리할수록 측정의 정확도는 향상되나 도심지와 같은 실제의 현장측정에서는 물리적으로 한계가 있다. 따라서 전류보조전극과 전위보조전극을 90°배치하여 접지임피던스를 측정할 때 도전유도에 의한 오차가 반드시 포함하게 되므로 도전유도에 대한 오차의 제한은 정해진 것은 없으나 측정조건에 따른 측정정확도의 제시가 필요하다. 본 논문에서도 수직접지전극의 접지임피던스를 측정할 때 도전유도에 의한 오차를 측정대상 접지전극과 보조전극 사이의 거리를 접지전극 길이의 배수로 평가하였으며, 측정조건별 정확도 평가 및 검토에 대하여 오차율 5% 내외의 측정결과를 대상으로 하였다.

2.2 결과 및 분석

식 (1)과 식 (2)을 식 (3)에 대입하면 저항률 ρ와 전류 I가 약분되어 접지전극의 치수와 보조전극까지의 거리 x에 따른 오차율이 계산된다. 이렇게 계산된 수직 접지전극의 길이별 도전유도에 의한 오차율 계산결과를 그림 3에 나타내었다. 이 때 접지전극의 반경은 a=27 mm이며, 접지전극 상단의 지표면에서의 깊이는 h=500 mm이다. 10, 30, 48 m의 수직 접지전극의 도전유도에 의한 오차율은 측정대상 접지전극과 보조전극 사이의 거리 즉, D/L에 반비례하며, 5%의 오차율은 각각 D/L이 3.1, 2.6, 2.5에서 나타났다. 시뮬레이션한 결과, 수직 접지전극의 길이가 길어짐에 따라 동일한 D/L에서 오차율이 감소하는 것으로 나타났다.

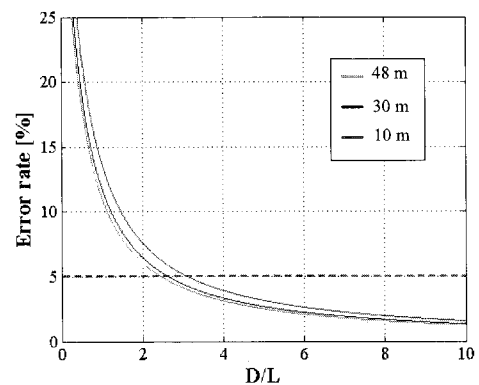


그림 3 수직 접지전극의 길이별 D/L에 따른 도전유도에 의한 오차율
Fig. 3 Error rates due to earth mutual resistance according to the D/L as a parameter of the length of vertically-driven ground electrode

그림 3에 나타낸 접지저항의 측정오차에 대한 시뮬레이션의 결과는 균질 토양의 단일 대지저항률을 가정한 결과이다. 하지만 심매설 수직 접지전극의 경우 접지전극이 문헌 주변의 대지저항률에 대한 정확한 평가가 필요하며, 길이가 길어질수록 접지전극이 다양한 저항률의 토양과 접촉되어

있음을 고려해야 한다. 따라서 본 논문에서는 접지전극이 설치된 실험장 주변의 대지저항률을 실측하여 그 결과를 시뮬레이션에 반영하였다. 식 (1)의 접지저항의 산출식으로부터 대지저항률을 역산하면 식 (4)과 같이 표현되고

$$\rho_1 = \frac{2\pi l R}{\left(\ln \frac{4l}{a} - 1\right)} \quad (4)$$

길이 10, 30, 48 m의 접지전극의 접지저항을 측정하여 식 (4)에 대입하게 되면 단일 대지구조를 가정한 대지저항률 (ρ_1)이 산출된다. 하지만 이렇게 산출된 대지저항률은 Wenner 4전극법을 이용하여 측정한 평균대지저항률(ρ_2)와 상당한 차이를 나타낸다. Wenner 4전극법을 이용하여 접지전극이 시공되어 있는 실험장의 전극간거리(a)에 따른 겉보기 대지저항률을 그림 4에 나타내었다. Wenner 4전극법을 이용하여 측정한 대지저항률은 단일 대지구조의 경우 4전극 배치의 중앙점의 대지표면의 전류밀도(j_0)와 표면으로의 일정깊이에서의 전류밀도(j)의 비에 나타내는 침투깊이(z)는 식 (5)과 같이 나타낼 수 있으며, 표면전류의 약 50%가 되는 침투깊이는 전극간격의 약 1.15배 이다[6].

$$\frac{j}{j_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{z}{D}\right)^2}}, \quad D = 1.5a \quad (5)$$

본 논문에서는 전극 길이별 평균 저항률을 그림 4와 같이 Wenner 4전극법을 이용하여 측정된 결과를 이용하여 표면전류의 50%가 침투하는 깊이의 겉보기 대지저항률을 측정 대상 전극 주변의 평균 대지저항률(ρ_2)로 산정하였다.

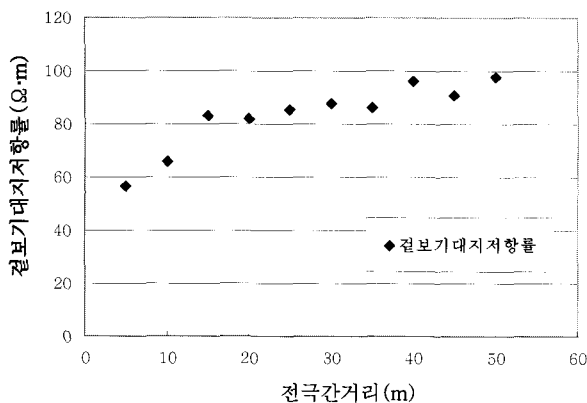


그림 4 실험장의 전극간거리에 따른 겉보기 대지저항률
Fig. 4 Apparent soil resistivity as a function of distance between test electrodes at the test site

접지저항을 기초로 하여 단일의 대지구조를 간주하여 산출한 10, 30, 48 m 접지전극이 매설된 위치의 대지저항률은 각각 83.8, 328.9, 203.6 $\Omega \cdot m$ 로 계산된 반면 그림 4에서 나타낸 전극주변의 대지저항률을 Wenner 4전극법으로 측정한 평균 대지저항률은 약 66, 88, 98 $\Omega \cdot m$ 로 평가된다.

Wenner 4전극법으로 측정한 평균 대지저항률이 접지저항으로 산출한 대지저항률 보다 낮게 측정된 요인은 다음과 같다. 즉, 접지저항을 이용하면 접지전극이 매설된 매우 국부적인 모양의 저항률이 산출되는 반면에 Wenner 4전극법으로 측정하는 경우 광범위한 접지저항의 형성영역에 대한 평균값을 나타내기 때문인 것으로 판단된다.

표 1 길이 10 m인 수직 접지전극의 D/L에 따른 도전유도에 의한 측정오차

Table 1 Measurement errors due to earth mutual resistance according to the D/L for the 10 m ground electrode

D/L	P=1	2	3	5	7	10	61.8 %
C=1	8.08	3.98	3.98	3.98	3.98	3.98	7.38
2		2.11	2.11	2.11	1.87	1.99	0.59
3			2.22	1.99	1.87	1.87	0.70
5				2.11	1.87	1.64	0.23
7					1.87	1.64	0.70
10						1.64	0.00

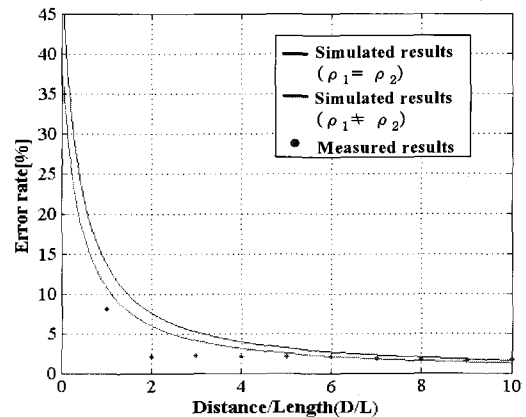


그림 5 길이 10 m인 수직 접지전극의 D/L에 따른 도전유도에 의한 오차 시뮬레이션 및 측정값

Fig. 5 Simulated and measured values for errors due to earth mutual resistance as a function of the D/L for the 10 m ground electrode

각각 길이가 10, 30, 48 m인 심매설 수직 접지전극의 D/L에 따른 도전유도에 의한 측정오차의 결과를 표 1~표 3에 나타내었으며, 그림 5~그림 7은 접지저항으로 산출한 단일 저항률의 결과와 그림 4에 나타낸 접지전극 주변의 대지저항률을 고려하여 계산된 오차율과 측정값 및 표 1~표 3의 측정값을 동시에 나타낸 것이다. 각각 접지전극 길이별 대지저항률의 차이를 고려하여 수직적으로 얻어진 결과와 측정값의 결과를 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과는 대지저항률의 차이를 고려하지 않은 결과를 $\rho_1 = \rho_2$ 로 접지저항에 의해 산출된 대지저항률과 Wenner 4전극법으로 측정한 대지저항률이 다를 때를 $\rho_1 \neq \rho_2$ 로 나타내었다. 그림 5의 결과에서 D/L=2인 조건에서 오차율이 2.11%로 비교적 낮게 났으며, 균일대지조건보다 전위보조전극의 전위가 낮아 일어난

것으로 보인다. 도전유도에 의한 오차는 측정대상 접지전극과 전류보조전극에 흐르는 측정전류에 의한 전위보조전극의 변동으로 야기된다. 전위보조전극의 전위는 측정대상 접지전극과 전류보조전극의 영향을 받으나 보조전극의 90° 배치의 경우 측정대상 접지전극의 영향이 크게 작용하게 된다. 표 1의 결과에서 측정대상 접지전극과 전류보조전극 사이의 거리가 비교적 짧은 D/L=1 또는 2인 조건에서 오차율의 전위보조전극의 위치에 대한 의존성이 거의 없는 것으로 보아 대지구조가 측정대상 접지전극과 전류보조전극을 잇는 방향의 토양의 저항률이 낮아 전류선이 측정대상 접지전극과 전류보조전극의 방향으로 집중되어 전위보조전극의 전위변동에 미치는 측정전류의 영향이 작기 때문인 것으로 추정할 수 있다.

표 2 길이 30 m인 수직 접지전극의 D/L에 따른 도전유도에 의한 측정오차

Table 2 Measurement errors due to earth mutual resistance according to the D/L for the 30 m ground electrode

D/L	P=0.5	0.67	1	2	3	4	61.8 %
C=0.5	5.60	5.05	4.35	3.58	2.49	1.40	0.31
0.67		4.67	3.73	2.95	1.56	0.47	2.72
1			2.95	1.79	1.40	1.24	1.01
2				0.62	0.00	0.00	0.86
3					0.23	0.31	0.08
4						0.39	0.00

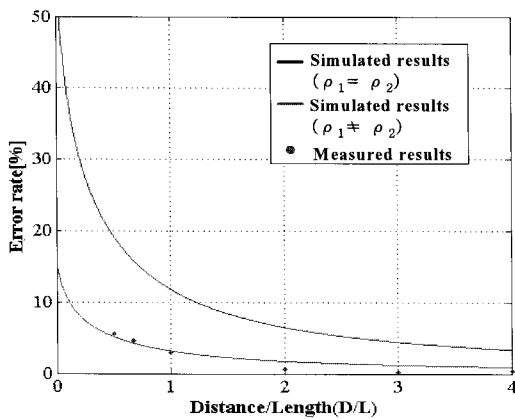


그림 6 길이 30 m 수직 접지전극의 D/L에 따른 도전유도에 의한 오차 시뮬레이션 및 측정값

Fig. 6 Simulated and measured values for errors due to earth mutual resistance as a function of the D/L for the 30 m ground electrode

측정결과와 시뮬레이션 결과 모두 D/L이 작은 범위에서 오차율이 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 길이 10 m인 수직 접지전극의 측정결과는 D/L=2에서 약 2%의 오차율을 보였으며, 길이 30 m와 48 m인 접지전극은 D/L=0.67과 D/L=1에서 5%이하의 도전유도에 의한 오차를 나타내어 대

지저항률의 차이를 고려한 $\rho_1 \neq \rho_2$ 의 조건에서 시뮬레이션 결과와 보다 잘 일치하는 결과를 나타내었다. 따라서 수직 접지전극의 도전유도에 의한 측정오차를 평가할 때 단일 대지저항률 또는 접지전극 주변의 대지저항률에 대한 정보가 주어진다면 접지전극과 대지표면의 전위에 대한 수식을 이용하여 도전유도에 의한 측정오차를 예상할 수 있다.

표 3 길이 48 m 수직 접지전극의 D/L에 따른 도전유도에 의한 측정오차

Table 3 Measurement errors due to earth mutual resistance according to the D/L for the 48 m ground electrode

D/L	P=0.4	0.6	0.8	1	1.2	2	61.8 %
C=0.2	16.14	15.61	15.09	14.91	14.74	12.81	9.65
0.4	12.11	10.53	9.65	8.95	8.60	8.07	3.68
0.6		8.60	7.19	6.32	5.96	5.26	0.00
0.8			6.32	5.26	4.56	3.33	1.75
1				4.21	3.33	2.46	4.74
1.2					2.81	1.23	2.81
2						0.35	0.00

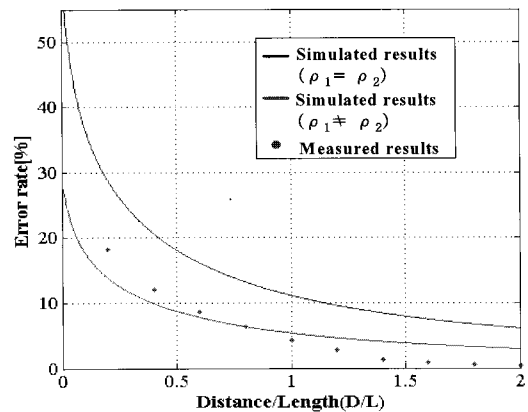


그림 7 길이 48 m인 수직 접지전극의 D/L에 따른 도전유도에 의한 측정오차 시뮬레이션 및 측정값

Fig. 7 Simulated and measured values for errors due to earth mutual resistance as a function of the D/L for the 48 m ground electrode

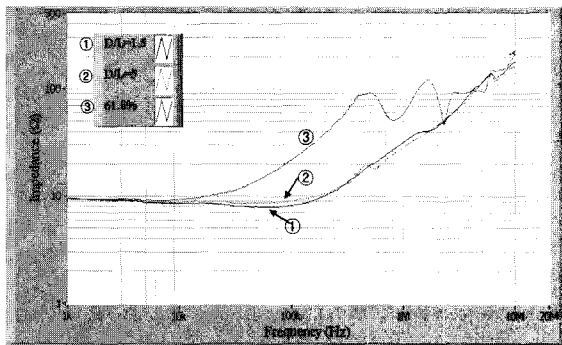
표 1~표 3에서 나타나듯이 도전유도에 의한 측정오차는 전류보조전극(C)의 거리를 고정하고 전위보조전극(P)의 거리를 증가시켜도 감소하나 전위보조전극이 전류보조전극보다 3배 이상 떨어질 경우 그 효과는 크게 감소하는 것으로 나타났다. 도전유도의 오차는 대지구조에 따라 크게 다를 수도 있기 때문에 시뮬레이션의 결과를 이용할 경우 주변의 대지저항률에 대한 조건을 반드시 고려해야 한다[7].

2.3 주파수에 따른 도전유도에 의한 측정오차

2.2절에서 평가된 도전유도에 의한 측정오차는 저주파수

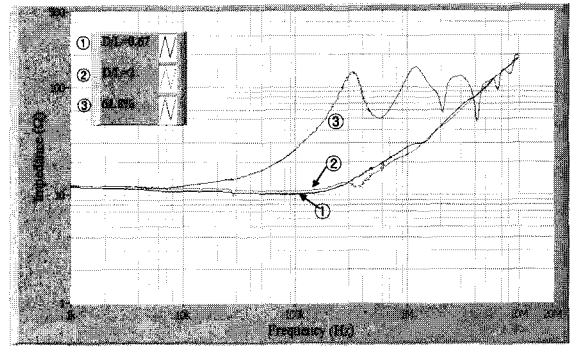
에 대한 측정오차의 평가이다. 하지만 접지임피던스를 측정할 때 주파수를 증가시키면 접지전극 주변의 전위상승은 접지그리드에서도 변화하게 된다. 저주파수에서의 도전유도의 영향 외에 도전유도에 대한 주파수의존성의 분석이 요구된다. 본 논문에서는 앞에서 측정된 오차율을 바탕으로 약 5%의 도전유도에 의한 오차율을 나타내는 D/L과 오차율이 거의 없다고 판단되는 D/L을 선정하여 보조전극의 90° 배치와 61.8%법에 의한 접지임피던스 측정오차의 주파수 의존성을 분석하였다. 주파수 변화에 따른 접지임피던스를 측정하기 위해 80 MHz까지 발생시킬 수 있는 함수발생기와 전력증폭기를 이용하여 측정대상 전극(E)과 전류보조전극(C)에 전류를 인가하였다. DC-50 MHz 대역의 전류프로브를 사용하여 전류를 측정하였으며, 측정대상전극과 전류보조전극 사이에 차동프로브를 이용하여 전위차를 측정하였다. 검출된 신호는 100 MS/s의 성능을 갖는 NI Board를 사용하여 최대 10 MHz까지의 전류와 전압신호를 분석할 수 있는 PC기반 분석장치에 저장되며 Labview Program을 이용하여 접지임피던스를 분석하였다. PC기반 분석시스템은 측정된 전압과 전류 신호의 주파수 성분을 분석하여 인가한 주파수성분에 해당되는 정현파 성분을 추출하고 그에 따른 임피던스를 계산하여 주파수 변화에 따른 결과를 나타낸다.

수직 접지전극의 길이별 D/L에 따른 접지임피던스의 측정 결과를 그림 8에 나타내었다. 수직 접지전극의 경우 접지전극의 길이에 상관없이 접지저항측정기로 측정된 결과와 마찬가지로 D/L이 큰 경우가 작은 경우에 비하여 61.8%법으로 측정된 결과와 비슷하게 나타났다.



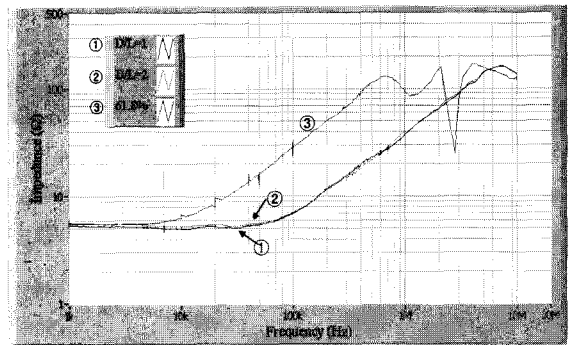
주파수 (kHz)	접지임피던스의 측정값			D/L=5에 대한 편차율	
	D/L=5	D/L=1.5	61.8%	D/L=1.5	61.8%
1	9.46	9.45	9.47	0.2	0.0
5	8.74	8.71	9.11	0.3	4.3
10	8.73	8.58	9.31	1.7	6.7
50	8.66	7.96	14.16	8.0	63.5
100	8.92	8.24	21.70	7.6	143.3
500	18.45	19.35	91.49	4.9	396.0
1,000	30.87	32.00	59.38	3.6	92.3
5,000	112.56	109.74	94.42	2.5	16.1
10,000	161.29	177.62	212.59	10.1	31.8

(a) 10 m 수직접지전극



주파수 (kHz)	접지임피던스의 측정값			D/L=2에 대한 편차율	
	D/L=2	D/L=0.67	61.8%	D/L=0.67	61.8%
1	12.24	11.80	12.26	3.6	0.2
5	11.54	11.05	11.69	4.3	1.3
10	11.42	10.79	12.06	5.5	5.6
50	10.77	10.20	16.76	5.2	55.6
100	10.74	10.15	26.10	5.5	143.0
500	15.63	16.97	53.76	8.6	243.9
1,000	24.83	27.37	123.73	10.2	398.3
5,000	99.64	97.00	109.13	2.6	9.5
10,000	184.44	183.94	189.99	0.3	3.0

(b) 30 m 수직접지전극



주파수 (kHz)	접지임피던스의 측정값			D/L=2에 대한 편차율	
	D/L=2	D/L=1	61.8%	D/L=1	61.8%
1	5.56	5.35	5.70	3.9	2.5
5	5.32	5.09	5.58	4.6	4.9
10	5.24	4.96	6.76	5.7	28.8
50	5.62	5.46	16.40	2.8	192.1
100	7.03	6.89	28.51	2.0	305.8
500	22.18	22.90	110.12	3.1	396.4
1,000	38.93	36.80	92.76	5.8	138.3
5,000	142.34	140.68	156.85	1.2	10.2
10,000	134.35	133.57	128.83	0.6	4.1

(c) 48 m 수직 접지전극

그림 8 접지전극의 길이별 D/L에 따른 접지임피던스의 주파수 의존성

Fig. 8 Frequency-dependent ground impedance according to the D/L by different length of ground electrode

D/L이 작을 때 나타나는 도전유도에 의한 측정오차의 차이는 10 m와 48 m 접지전극에서 주파수가 대략 100 kHz까지, 30 m 접지전극에서 약 1 MHz까지 약간 증가하나 그 이상의 주파수에서는 주파수의 증가에 따른 도전유도에 의한 오차율은 크게 증가하지 않는 것으로 분석되었다. 100 kHz이상의 높은 주파수에서는 접지임피던스가 크게 증가하여 도전유도에 의한 오차는 상대적으로 작아지게 된다. 또한 도전유도 이외에 다른 오차요소(측정선의 배열에 따른 전자유도)등에 의한 영향 때문에 도전유도에 의한 일정한 차이는 나타나지 않는 것으로 판단된다.

61.8%범으로 측정된 결과는 모든 접지전극에서 5 kHz이상의 주파수에서 전자유도에 의한 오차가 발생했고, 10 kHz를 넘는 주파수에서는 도전유도에 의한 오차 보다 수~수십배 이상의 오차를 나타내므로 61.8%범은 10 kHz이상의 주파수에서 접지임피던스의 측정방법으로 부적합하다는 것이 판명되었다. 접지임피던스를 측정할 때 보조전극의 90° 배치에 의한 도전유도의 오차는 주파수에 거의 의존하지 않으며, 오히려 측정선의 길이가 길어질 경우 100 kHz이상의 주파수에서 측정선의 배열로 인한 오차가 발생하기 때문에 이의 고려가 중요하다고 판단된다.

3. 결 론

대형 접지시스템의 접지임피던스를 정확하게 측정하기 위해 전류와 전위보조전극의 배치에 따른 측정오차에 관한 이론적 해석과 실측실험을 통해 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 도전유도에 의한 오차의 이론적 분석에는 대지구조를 고려한 토양의 저항률에 대한 고려가 필요하다.
- (2) 도전유도에 의한 측정오차의 주파수의존성은 거의 나타나지 않았으며, 100 kHz이상에서 도전유도에 의한 오차는 상대적으로 작은 것으로 판단된다.
- (3) 접지전극의 길이에 대한 보조전극거리의 비율이 동일할 때 접지전극의 길이가 길어질수록 도전유도에 의한 측정오차는 감소하는 것으로 나타났다.
- (4) 보조전극을 90°로 배치하는 전위강하법에 의한 심매설 수직 접지전극의 접지임피던스의 측정은 도전유도에 의한 예상오차를 고려한 최소의 보조전극거리를 선정하여 실행하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE std. 81, IEEE Guide for Measuring Ground Resistivity, Ground Impedance, Ground Surface Potentials of a Ground System, pp.19~24, 1983.
- [2] F. Dawalibi and D. Mukhedkar, "Ground electrode resistance measurement in non-uniform soils", IEEE Trans. Vol. PAS-93, No. 1, pp.109-116, 1974.
- [3] F. Dawalibi, D. Mukhedkar, "Resistance measurement of large grounding systems", IEEE Trans. Vol. PAS-98, No. 6, pp.109-116, 1974.
- [4] IEEE Std. 81.2, IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems,

pp.12~17, 1991.

- [5] J. Ma and F. Dawalibi, "Extended analysis of ground impedance measurement using the fall-of-potential method", IEEE Trans. on PD, Vol.17, No.4, pp.881-885, 2002.
- [6] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", 도서출판 의제, pp.46-56, pp.73-76, 1999.
- [7] C. G. Wang, T. Takashima, 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. on PD., Vol.13, No.4, pp.1128-1135, 1998.

저 자 소 개



최 중 혁 (崔鍾赫)

2006년 2월 인하대 공대 전자공학과 졸업(학사). 2008년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 863-5822

E-mail : chjohy80@naver.com



최 영 철 (崔泳喆)

1980년 6월 28일생. 2008년 8월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 863-5822

E-mail : babocyc@hotmail.com



이 복 희 (李福熙)

1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988~89년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수.

1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 IT공대 전기공학부 교수.

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr