

# 보조전극의 위치에 따른 매설지선의 접지임피던스 측정정확도의 평가

(Evaluation of Measurement Accuracy of Ground Impedances in Counterpoise according to Location of Auxiliary Electrodes)

이복희 · 최영철 · 최종혁 · 김동규 · 이규선 · 양순만 · 김태기

( Bok-Hee Lee · Young-Chul Choi · Jong-Hyuk Choi · Dong-Kyu Kim · Gyu-Sun Lee · Soon-Man Yang · Tae-Gi Kim )

인하대학교 IT공대 전기공학과

## Abstract

The ground resistance has been used as a method of estimating the capability of counterpoise. When transient currents flow through a ground electrode, it is reasonable to evaluate the performance of ground electrode system as a ground impedance instead of ground resistance. However, the measurement method of ground impedance for counterpoise is not clearly presented. This paper describes the measurement method of ground impedance considering the earth mutual resistances and AC mutual coupling. When we measure the ground impedance, the error due to earth mutual resistances depends on the distance between the auxiliary electrodes and the electrode under test. The measurement accuracy of high frequency ground impedance is mainly influenced by the location of the current electrode and the potential electrode.

## 1. 서론

접지시스템에 인가되는 전류에는 고주파 전류 성분이나 급격하게 변화하는 뇌격전류도 있다. 이러한 전류에 대하여 접지시스템은 접지저항보다, 임피던스 차원의 고려가 필요하다. 하지만 현재까지 접지임피던스의 측정에 대한 정확한 방법이 제시되어 있지 못하다[1].

IEEE Std 81.2 에 따르면 대형접지시스템의 경우 접지시스템의 대각선 길이의 6.5배의 위치에 전류 보조전극과 전위보조전극을 설치하여 접지임피던스를 측정할 경우 약 95 [%]의 정확도를 갖는다고 기술하고 있다[2]. 하지만 매설지선이나 수직형 접지전극에 대한 정확한 측정방법이 제시되어 있지 않으며, 접지시스템의 대형화 추세에서 대각선 길이의 6.5배라면 수백 m의 이상의 이격거리가 필요하기 때문에 접지임피던스의 정확한 측정이 불가능한 경우도 있다.

매설지선의 경우 수직형 접지봉에 비하여 시공비용이 낮고, 시공이 편리하여 자주 사용된다[3]. 본 논문에서는 매설지선의 접지임피던스 측정의 신뢰성을 확보하기 위해서 측정 시 보조전극의 위치에 따른 측정의 정확도를 주 분석대상으로 실험을 실시하였다. 10 [m] 매설지선을 시공하고, 접지저항 측정기와 가변주파수 임피던스 측정기를 사용하여

보조전극의 위치에 따른 오차를 분석함으로써 접지임피던스의 정확한 측정 및 평가방법에 대하여 검토하였다.

## 2. 본론

### 2.1 도전유도에 의한 오차

본 논문에서는 매설지선에 대한 올바른 접지임피던스의 측정방법을 제시하기 위하여 10 [m] 길이의 매설지선을 설치하였다. 그림 1에서와 같이 전자유도에 의한 오차를 최소화하기 위해서 전류 보조전극을 매설지선과 수평인 방향에 설치하고 전위보조전극을 매설지선과 수직이 되게 설치하였다[2,3]. 매설지선의 도전유도에 의한 오차의 평가를 위해 128 [Hz]로 동작하는 접지저항기 TERCA II(CHAUVIN ARNOUX)를 사용하였다.

61.8 [%]범으로 측정할 경우에는 접지전극과 전류보조전극 사이에 0전위가 되는 지점이 생기기 때문에 도전유도에 의한 오차가 없는 값을 얻을 있다. 그러나 전위보조전극과 전류보조전극이 일직선상에 배치되지 않으면 전위보조전극에 항상 도전유도에 의한 오차를 포함하게 된다[4,5]. 이에 따라 90 [°]법을 사용하여 접지임피던스를 측정하기 전에 도전유도에 의한 오차를 평가하여야 한다. 측정대상 전극과 보조전극의 거리를 D로 매설지선

의 길이를 L로 설정하여 보조전극의 위치를 D/L=1에서 D/L=5까지 변화시키면서 측정하였으며, D/L=10인 지점에 전류보조전극을 설치하고 61.8 [%]법으로 측정된 접지저항(105.6 [ $\Omega$ ])을 기준값으로 하여 오차를 산출하였다.

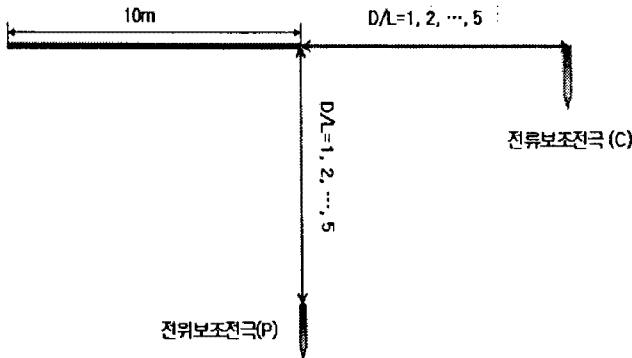


그림 1. 도전유도에 의한 오차를 평가하기 위한 회로  
Fig. 1. The circuit for evaluating the error due to earth mutual resistance

각각의 접지저항 측정의 오차율을 표 1에 나타내었다. D/L=2인 지점에서 측정된 저항값은 102.2 [ $\Omega$ ]으로 3.49 [%]의 오차율을 보였으며, D/L=5인 지점은 104.5 [ $\Omega$ ]으로 1.04 [%]의 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 90 [ $^\circ$ ]법으로 접지저항을 측정할 경우 항상 도전유도에 의한 오차가 나타나므로 이를 고려하여 접지임피던스를 측정해야 한다.

표 1. D/L에 따른 오차율  
Table 2. Percentage error according to D/L

P \ C	D/L=1	2	3	4	5
D/L=1	6.25 [%]	5.40	3.60	3.88	3.69
2		3.22	3.22	3.31	3.13
3			2.65	2.65	2.37
4				1.70	1.42
5					1.04

## 2.2 도전유도에 의한 오차의 주파수의존성

매설지선에 낙뢰와 같이 고주파 성분을 포함하는 서지전류가 인가되었을 때 매설지선의 성능인 접지임피던스의 평가를 위하여 2.1절에서 측정된 접지저항을 바탕으로 그림 2와 같이 측정계를 구성하였다. 함수발생기와 전력증폭기를 이용하여 1 [kHz]에서 10 [MHz]까지 정현파 전류를 인가하였고, 정확한 측정을 위해 PC기반 임피던스 분석기를 사용하였다. 고전압 차동프로브와 100 [MHz]까지 측정할 수 있는 능동형 전류프로브를 사용하여

전압과 전류를 검출하였으며, 측정된 신호는 100 [MS/s]의 sampling rate를 갖는 NI보드를 통하여 PC에 전달된다. 이 신호를 Labview프로그램을 통하여 분석하였다.

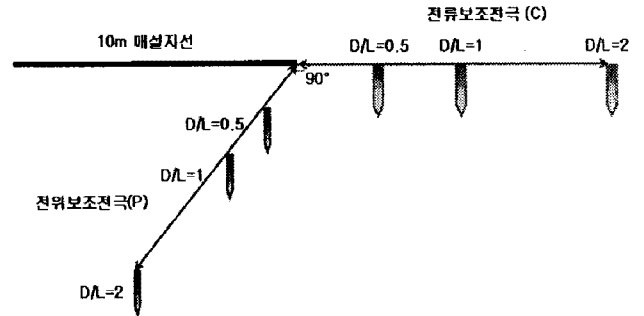
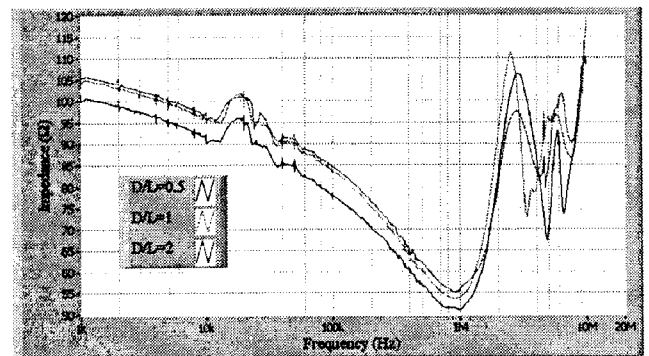
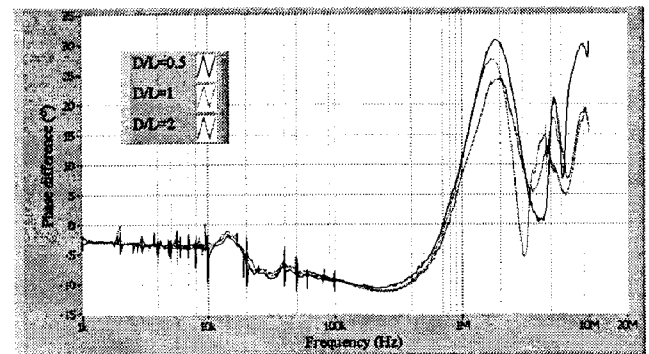


그림 2. D/L에 따른 접지임피던스 측정회로  
Fig. 2. The circuit for measuring the ground impedance according to D/L

도전유도에 의한 오차의 주파수의존성을 분석하기 위하여 D/L=0.5, 1, 2의 3가지 경우를 선택하여 실험을 실시하였다. D/L=2일 때는 접지저항기로 측정된 도전유도에 의한 오차가 약 3 [%] 포함되어 있는 상태이며 D/L=0.5일 때에는 6.52 [%] 이상의 도전유도에 의한 오차를 포함한 상태이다.



(a) 접지임피던스



(b) 위상차

그림 3. D/L에 따른 접지임피던스, 위상차의 주파수의존성  
Fig. 3. Frequency dependance of the magnitude and the phase of the ground impedance according to D/L

D/L에 따른 매설지선의 임피던스와 위상차의 주파수 의존성을 그림 3에 나타내었다. 10 [m] 매설지선의 경우 1 [MHz] 이하에서는 접지저항기로 측정했을 때와 마찬가지로 D/L=2인 상태에서 접지임피던스가 가장 큰 값을 나타내었으며, 도전유도에 의한 오차율이 약 3 [%] 정도인 것으로 나타났다. 그러나 1 [MHz] 이상의 주파수에서는 각 D/L에서 측정한 값들이 서로 교차되는 등 도전유도에 의한 오차보다는 전자유도에 의한 오차가 더 크게 발생된다고 판단된다.

위 결과에서 나타나듯 1 [MHz] 이하의 주파수에서는 도전유도에 의한 오차측정을 통하여 설정한 오차율 이내의 최대한 작은 D/L을 선택하여 정확한 접지임피던스 측정이 가능할 것이라 판단된다.

### 2.3 보조전극의 위치에 따른 전자유도

보조전극의 위치에 따라 전자유도가 얼마나 영향을 미치는지 알아보기 위하여 그림 4와 같이 보조전극을 배치하여 실험하였다. D/L=2인 길이에 상당하는 도전유도를 감안하였고, 전류보조전극과 나란한 방향의 61.8 [%] 지점에 전위보조전극을 위치시키고 전자유도에 의한 오차를 측정하였다. 또한 45 [°], 135 [°], 180 [°]에 전위보조전극을 설치하여 보조전극의 위치에 따른 전자유도를 측정하였다.

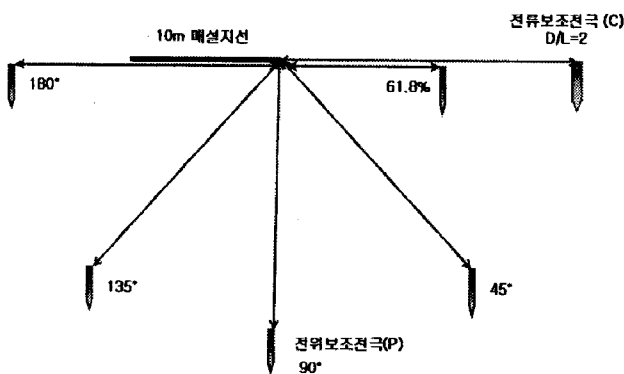
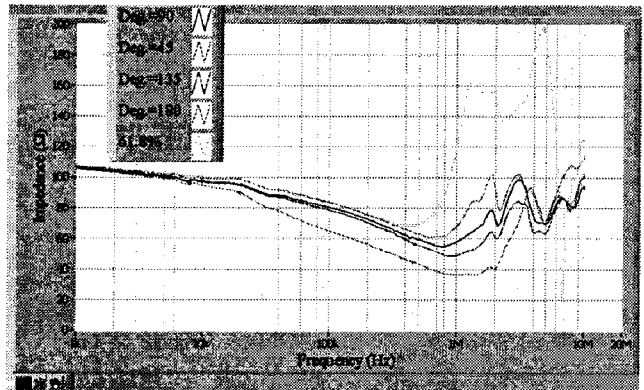


그림 4. 보조전극의 위치에 따른 접지임피던스 측정 회로

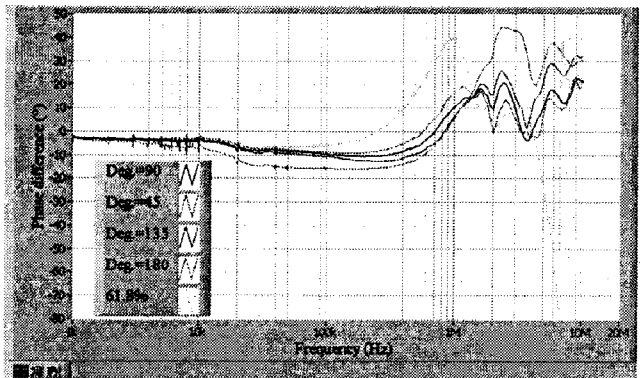
Fig. 4. The circuit for measuring the ground impedance according to direction of auxiliary electrodes

61.8 [%]법으로 측정한 경우 300 [kHz] 이상의 주파수에서 임피던스와 위상차가 모두 다른 각도의 배치들과 비교하여 현저한 차이가 나타났다. 이는 전류보조전극의 측정선과 전위 보조전극의 측정선이 나란히 놓임으로써 수백 [kHz] 이상에서 전자유도에 의해 유도전압이 크게 증가하고 이에 따라 임피던스가 실제값보다 크게 산정되는 것으로 판

단된다. 전위보조전극이 45 [°]에 위치할 경우 전류보조전극 측정선에는 전류보조전극에서 전류인가지점 방향의 전류가 흐르기 때문에 전위보조전극에 전위가 90 [°]에서 측정할 때보다 크게 나타났다. 이에 의해서 90 [°]로 측정한 경우의 접지임피던스보다 수 [%] 정도 크게 나타났다. 전위보조전극이 135 [°]에 위치할 경우 전류인가지점에서부터 매설지선을 따라 전류가 흐르기 때문에 전위보조전극에 전위가 90 [°]에서 측정할 때보다 작게 나타나 90 [°]로 측정한 경우의 임피던스보다 작게 나타났다.



(a) 접지임피던스



(b) 위상차

그림 5. 보조전극의 위치에 따른 접지임피던스, 위상차의 주파수 의존성

Fig. 5. Frequency dependance of ground impedance, phase difference according to direction of auxiliary electrodes

180 [°]의 경우 전위보조전극 측정선이 매설지선의 위를 지나가기 때문에 다른 경우에 비하여 임피던스가 작게 측정되었으며 이는 전류보조전극과 전류의 방향이 반대이기 때문인 것으로 판단된다. 보조전극의 위치별 임피던스 측정결과로부터 임피던스 측정 시 61.8 [%]법이나 180 [°]처럼 전위보조전극이 다른 보조전극이나 매설지선과 나란한 방향에 설치되는 경우에는 전자유도에 의해 큰 오차를 발생시키기 때문에 접지임피던스 측정에 부적합하다고 판단된다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 보조전극의 위치에 따른 도전유도와 전자유도가 매설지선의 접지임피던스 측정의 정확도 평가를 위한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 매설지선의 접지임피던스 측정에는 전류보조전극과 전위보조전극을 90 [°]로 배치하는 것이 효과적이며, 피측정접지극과 보조전극사이의 거리에 따른 도전유도에 의한 오차의 평가가 필요하다.
2. 접지임피던스 측정 시 61.8 [%]법 또는 180 [°]배치로 접지임피던스의 측정 시에는 큰 전자유도에 의한 오차를 포함하여 측정의 정확도가 떨어지므로 고주파수에서는 부적합하다.
3. 도전유도에 의한 오차는 주파수 의존성이 거의 나타나지 않았다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Bok-Hee Lee, Dong-Cheol Jeong, Su-Bong Lee and Keun-Chul Chang, "Effective Impulse Impedances of Deeply Driven Grounding Electrodes", *KIEE International Trans on EA*, Vol. 4-C, No. 5, pp. 207~214, 2004.
- (2) IEEE Std 81.2-1991, "IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems", IEEE Inc., pp. 1~15, 1991.
- (3) 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", pp. 98, 2000
- (4) Jinxi Ma, Farid P. 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.
- (5) Cheng-gang Wang, Takeshi Takasima, "Grounding Resistance Measurement Using Fall-of-Potential Probe Located in Opposite Direction to the Current Probe", *IEEE Trans. on PD*, Vol. 13, No. 4, pp.1128-1135, 1998.