

저주파 접지임피던스 측정에 미치는 보조전극의 영향

(Effects of Auxilliary Probe on Low Frequency Ground Impedance Measurement)

길형준* · 김동우* · 김동욱* · 이기연* · 김형곤* · 문현욱*

(Hyoung-Jun Gil · Dong-Woo Kim · Dong-Ook Kim · Ki-Yeon Lee · Hyang-Kon Kim · Hyun-Wook Moon)

(*전기안전연구원)

Abstract

In this paper, the effects of the position and the angle of the auxiliary probes on the measurements of the low frequency ground impedance with the fall-of-potential method are described 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 and angle of auxiliary probes. In order to analyze the characteristics of ground impedance due to the location of the potential probe, ground impedances were measured in case that the distance of current probe was fixed at 50[m] and the distance of potential probe was located from 10[m] to 50[m]. Also, the potential probe was located at 30[°], 45[°], 60[°], 90[°], and 180[°]. The results could be help to determine the location of potential probe when the ground impedance was measured at grounding system.

1. 서론

접지임피던스는 전기재해로부터 인체 및 전기설비를 보호하기 위해 필요한 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 작은 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 큰 경우에는 전류폐회로를 형성하는 측정리드선의 영향이 나타나게 되며, 경제적으로도 불리하게 된다. 그러므로 전위강하법을 이용하여 접지임피던스를 측정할 때 피측정 접지전극으로부터 적절한 전류보조전극의 이격거리가 필요하다. 또한 전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 충분히 이격시키면 측정결과와 정확도 확보에 유리하나 실제의 현장에서는 여러 가지 구조물이나 도로 등의 장애물이 많으므로 이격거리가 제한되는 경우가 많다. 즉, 전류보조전극의 이격거리는 너무 커서 문제가 되는 경우보다는 충분한 이격거리를 확보하지 못하여 측정에 오차를 가져오는 경우가 많다[1-3].

또한 전위강하법으로 접지임피던스를 측정할 때 장애물이 있는 경우 회망하는 위치에 보조전극을 매설하기 어렵다. 이러한 경우 보조전극의 위치를 최적의 위치를 벗어난 다른 곳에 설치하여야 하는데 오차가 어느 정도 존재하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 전류보조전극과 전위보조전극의 위치와 각도가 피측정 접지전극의 접지임피던스 측정에 미치는 영향을 검토하기 위하여 실측을 통한 실험 연구를 수행하였다. 실험장 두 곳을 선정하여 전위보조전극의 위치 변화에 따른 접지임피던스를 측정하여 61.8%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 나타낸 바와 같이 접지전극(E)과 전류보조전극(C)사이에서 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 참 값은 전위보조전극이 접지전극과 전류보조전극의 61.8%되는 지점에서 구해진다[4]. 본 연구에서는 61.8% 지점의 접지임피던스를 참 값으로

하였을 때 접지전극을 각도별, 위치별로 변화시켜 오차를 분석하였다. 실험에 사용한 장비는 CA6470(Chauvin Arnoux, France)이었으며, 인가전압과 주파수는 각각 32[V], 128[Hz]였다. 실험 장소는 2곳을 선정하여 측정을 하였다.

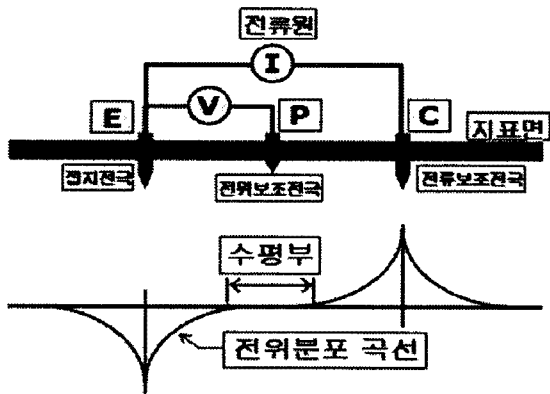


그림 1. 전위강하법 및 전위분포곡선
Fig. 1. Fall-of-potential method and potential distribution curve

3. 결과 및 고찰

3.1 Case 1의 접지임피던스 분석

그림 2는 접지전극(E)과 보조전극의 설치 위치를 나타낸 것으로, 실험에 사용된 접지전극은 봉형전극(길이 : 48[m], 굵기 : 38[mm²])으로 1[m] 아래에 매설되었다. 전류보조전극의 위치는 접지전극에서 50[m]의 위치에 고정하였으며, 전위 보조전극의 위치를 그림에 나타낸 것과 같이 변화시켰다(◆로 표시). 위치변화에 따라 측정된 접지임피던스는 전위보조전극이 60%의 위치인 30[m]에 있는 경우의 접지임피던스를 기준으로 오차를 계산하였다.

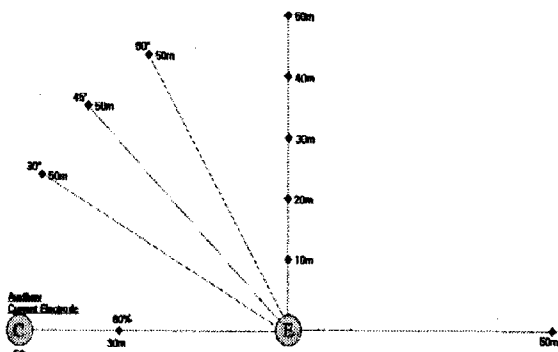


그림 2. 보조전극 설치위치 (Case 1)
Fig. 2. Position of auxiliary probe (Case 1)

표 1은 보조전극간 각도 변화에 따른 상대오차를 나타낸 것으로서, 건축물 등의 장애물이 있을 경우 30°와 45°의 각도는 상대오차가 1.4% 이내로 보조전극

이 일직선상 60%의 위치에 있을 때와 비교하였을 때 오차가 상대적으로 적었다.

전위보조전극을 설치할 위치에 어떤 장애물이 있어 설치를 할 수 없는 경우나 보조전극 선간의 유도오차를 피하고자 할 때, 또 전류보조전극의 최소 이격거리 확보가 불가능할 정도의 대규모 접지시설을 측정하는 경우 등에 전위보조전극을 전류보조전극 방향의 일직선상에 두고 측정할 수 없는 상황이 발생한다. 이러한 경우에는 전류보조전극 선상으로부터 30° 이내 범위로 이탈할 수 있는 경우에는 일직선상에 두고 측정하는 것과 동일시 할 수 있다고 '정보통신단체표준'에서 규정하고 있다. 이 때 전위점은 전류보조전극 직선상에 투영된 위치를 실제 적용할 전위점으로 한다[5, 6].

표 1. 보조전극간 각도변화에 따른 상대오차
Table 1. Relative errors according to variation of angle between auxiliary electrodes

각도	접지 임피던스[Ω] (참값=6.45[Ω])	상대오차[%] (접지전극과 전위보조전극간의 거리 : 50[m])
30°	6.38	1.09
45°	6.54	1.40
60°	6.25	3.10
90°	6.27	2.79
180°	6.09	5.58

그림 3은 전위보조전극과 전류보조전극간의 각도가 90°일 때 보조 전위전극의 거리 변화에 따른 접지임피던스 변화를 나타낸 그래프이다. 이때 상대오차는 표 2에 나타내었다. 상대오차는 보조 전위전극의 거리가 40[m]와 50[m]인 경우 오차가 작게 나타났다.

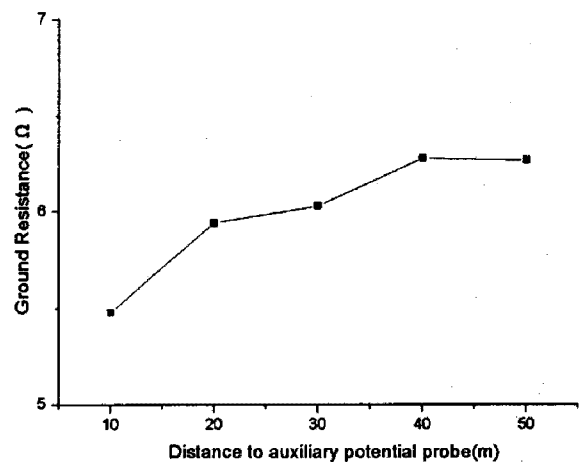


그림 3. 전위보조전극의 거리 변화에 따른 접지임피던스
Fig. 3. Ground impedance according to variation of distance to potential probe

표 2. 전위보조전극의 거리변화에 따른 상대오차
Table 2. Relative errors according to variation of distance to potential probe

접지전극과 전위보조전극간 거리[m]	상대오차[%] (보조전극간 각도 : 90[°])
10	15.04
20	7.91
30	6.51
40	2.64
50	2.79

3.2 Case II의 접지임피던스 분석

그림 4는 접지전극(E)과 보조전극의 설치 위치를 나타낸 것으로, 실험에 사용된 접지전극은 봉형전극(길이 : 1.8[m], 직경 : 1.6[mm])과 환형전극을 사용하였으며, 전극의 매설조건으로는 ① 봉형전극 1개 사용, ② 봉형전극 2개 사용(병렬접속), ③ 봉형전극 3개 사용(병렬접속), ④ 환형전극 사용 등 4가지 조건하에서 실험하였다.

전극은 지표면 0.5[m] 아래에 매설하였으며, 전류보조전극의 위치는 접지전극에서 50[m]의 위치에 고정하였으며, 전위 보조전극의 위치를 그림에 나타낸 것과 같이 변화시켰다(◆로 표시). Case I의 실험조건과 같은 방법으로 위치변화에 따라 측정된 접지저항은 전위보조전극이 61.8[%]의 위치인 31[m]에 있는 경우의 접지임피던스를 기준으로 오차율을 계산하였다.

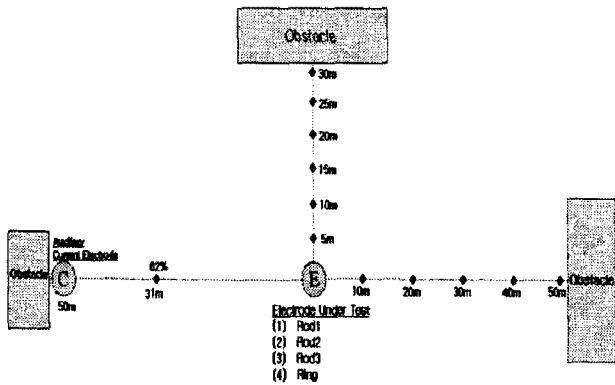


그림 4. 보조전극 설치위치 (Case II)
Fig. 4. Position of auxiliary probe (Case II)

그림 5는 61.8[%]의 법칙으로 측정된 접지 임피던스의 크기를 비교한 그래프이다. 측정결과 접지봉 2개 이상을 연결하여 시설된 경우의 임피던스 값이 환형접지극이나 접지봉 1개를 시설한 경우에 비해 현저히 감소하였다.

그림 6은 전위보조전극과 전류보조전극간의 각도가 90[°]일 때 전위보조전극의 거리 변화에 따른 접지임피

던스 변화를 나타낸 것이다. 전위보조전극의 최대 이격 거리는 장애물이 가로막혀 있어서 30[m]로 하였다. 상대오차는 표 3에 나타내었다.

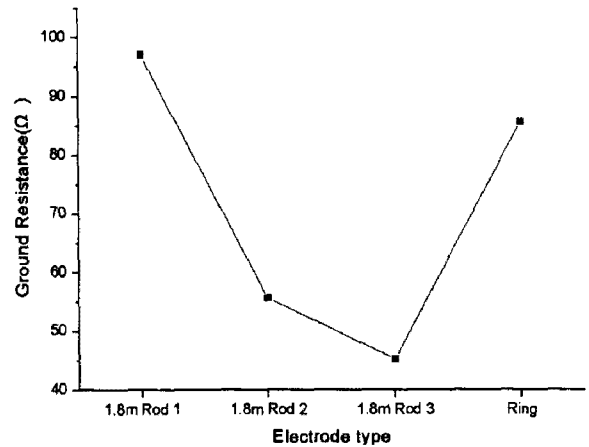


그림 5. 접지전극 유형에 따른 접지임피던스의 비교
Fig. 5. Comparison of ground impedance according to grounding electrode type

상대오차는 전위보조전극의 거리가 30[m]인 경우 환형전극을 제외하고 전부 오차가 1[%] 이내로 나타났다. 또한 접지임피던스의 크기는 봉형전극 1개>환형전극>봉형전극 2개 공결>봉형전극 3개 공결 순으로 나타나 봉형전극의 병렬 접속수가 증가할수록 접지임피던스도 저감하는 것으로 나타났다.

그림 7은 전위보조전극과 전류보조전극간의 각도가 180[°]일 때 보조 전위전극의 거리 변화에 따른 접지임피던스 변화를 나타낸 그래프이다. 전위보조전극의 최대 이격거리는 90[°]의 경우와는 달리 50[m]로 하였다. 상대오차는 표 4에 나타내었다.

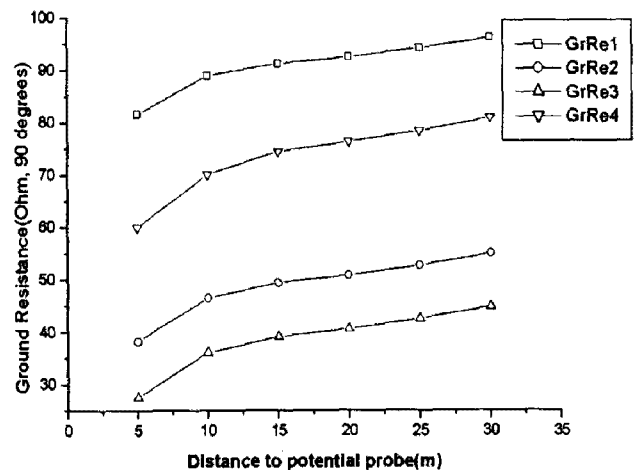


그림 6. 전위보조전극의 거리변화에 따른 접지임피던스 비교 (각도 : 90 [°])
Fig. 6. Comparison of ground impedance according to variation of distance to potential probe (Angle : 90 [°])

표 3. 전위보조전극의 거리변화에 따른 상대오차 (각도 : 90°)

Table 3. Relative errors according to variation of distance to potential probe (Angle : 90°)

접지전극과 전위보조전극간 거리 [m]	상대오차[%]			
	Rod 1	Rod 2	Rod 3	Ring
5	15.8	31.1	38.9	29.8
10	8.2	16.4	19.9	18.0
15	5.9	11.2	13.3	13.0
20	4.5	8.5	10.0	10.7
25	2.8	5.0	5.8	8.3
30	0.7	0.9	0.7	5.3

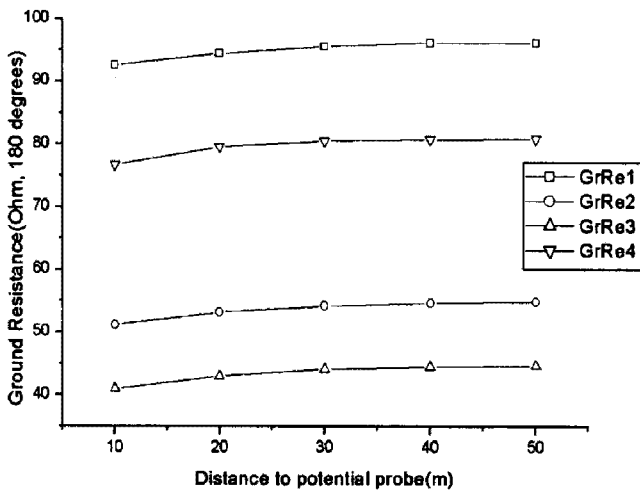


그림 7. 전위보조전극의 거리변화에 따른 접지임피던스 비교 (각도 : 180°)

Fig. 7. Comparison of ground impedance according to variation of distance to potential probe (Angle : 180°)

표 4. 전위보조전극의 거리변화에 따른 상대오차 (각도 : 180°)

Table 4. Relative errors according to variation of distance to potential probe (Angle : 180°)

접지전극과 전위보조전극간 거리 [m]	상대오차[%]			
	Rod 1	Rod 2	Rod 3	Ring
10	4.5	7.9	9.3	10.4
20	2.6	4.3	4.9	7.0
30	1.4	2.5	2.4	6.0
40	0.8	1.6	1.5	5.6
50	0.8	1.3	1.1	5.5

봉형전극의 경우 상대오차는 전위보조전극의 거리가 30[m]~50[m]인 경우 오차가 2.5[%] 이내로 나타났으며,

환형 전극은 6[%]로 나타났다. 접지전극과 전위보조전극 사이의 거리가 증가할수록 오차는 작게 나타난 것을 알 수 있었으며, 경제성과 장소의 제약을 고려하여 최적의 거리를 산출하여 적용하는 것이 합리적이다.

4. 결론

본 논문에서는 전위강하법을 이용하여 저주파 접지임피던스를 측정할 때 전위 및 전류보조전극의 위치가 측정의 정확도에 미치는 영향을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Case I의 경우, 전류보조전극의 거리를 고정 (50[m])시키고, 보조전극 사이의 각도를 30[°], 45[°], 60[°], 90[°], 180[°]로 변화시켜 측정한 결과, 61.8[%]의 법칙을 적용하여 측정한 접지임피던스를 기준으로 30[°]인 경우에 가장 작은 상대오차를 나타내었다.

(2) Case II의 경우, 환형전극 등 다른 접지전극 유형에 비해 접지봉을 2개 이상을 공결한 경우 접지 임피던스가 현저히 감소하였다. 전류보조전극의 거리를 고정시키고 전위보조전극의 거리를 변화시켰을 때 상대오차는 전위보조전극의 거리가 증가할수록 감소하는 양상을 나타내었다.

향후 접지시스템 평가를 위한 접지임피던스 측정기법에 대한 연구를 지속적으로 수행하고자 하며 이를 토대로 접지임피던스 평가지침도 개발할 예정이다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [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] 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.
- [5] TTASKO-04.0026/R1, "Technical Standard for the Measurements of Grounding Resistance," Telecommunications Tech. Ass., 2007.
- [6] IEEE Std 81-1983, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", pp.19~23, 1983.