

매설지선 접지임피던스의 주파수 의존성

최영철*, 최종혁*, 김동규*, 이규선*, 양순만*, 이수봉*, 이복희*, 안창환**
 인하대학교 IT공대 전기공학부*, 인하공업전문대학**

Frequency Dependence of Ground Impedances of the Counterpoises

Young-Chul Choi*, Jong-Hyuk Choi*, Dong-Kyu Kim*, Gyu-Sun Lee*, Soon-Man Yang*, Su-Bong Lee*, Bok-Hee Lee*,
 Chang-Hwan Ahn**
 Inha university*, Inha technical college**

Abstract - Ground impedance is changed according to frequency of the current injected into the grounding system. Because the lightning surge gives a broad frequency spectrum from some ten Hz to a few MHz, frequency dependence of ground impedance must be evaluated. In this paper, we have constructed 10m, 30m, 50m counterpoise and evaluated frequency dependence of ground impedance. Also we have evaluated frequency dependence of ground impedance according to current injection point. As a result, long counterpoises have low ground resistance, but ground impedances of those are significantly increased in the range of high frequency. In the case that currents are injected into the center of counterpoise, the ground impedance is most lower than any other injection point. Also, additory ground rod of 1.8m long affect ground impedance decrease.

법이지만 고주파수의 측정전류에 대해서는 전류보조전극의 리드선과 전위보조전극의 리드선사이의 전자유도결합에 의해서 오차가 발생하게 되므로 적절하지 않다. 따라서 IEEE 81.2-1991에서 권고하는 수정된 전위강하법을 사용하여 측정에 오차를 최소화할 수 있도록 전류보조전극과 전위보조전극을 그림 2와 같이 90도로 배치하였다. 90도 배치 시에는 항상 도전유도에 의한 오차를 포함하게 되므로 도전유도에 의한 오차가 5[%] 이내가 되는 거리를 접지저항측정기로 측정하여 10[m] 매설지선에서는 보조전극의 이격거리를 20[m], 30[m]와 50[m] 매설지선에서는 75[m]의 거리를 이격하여 실험을 함으로써 도전유도에 의한 오차를 최소화하였다[4-6].

1. 서론

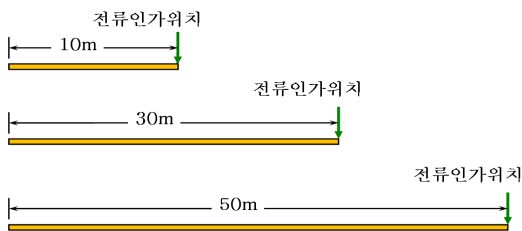
현대의 고도 정보화 사회에서는 컴퓨터, 통신설비, 정보화 기기 등 수많은 전자장치들의 중요성이 증가하고 있다. 이러한 초소형 전자 기기는 뇌서지나 고주파 전류에 매우 취약하다. 하지만 이러한 전자장치들의 효율적인 보호가 이루어지고 있지 못한 실정이다. 접지시스템의 평가기준은 단순히 접지저항이 사용되어지고 있다. 하지만 낙뢰 또는 고주파전류에 대한 보호를 주목적으로 하는 접지시스템의 평가기준은 단순히 접지저항의 저감만으로는 효과적이지 못하며, 주파수 특성이 고려된 접지임피던스의 평가가 반드시 필요하다[1-3].

매설지선의 경우 심매설 수직접지극에 비하여 시공에 대한 비용이 낮고, 시공이 편리하여 여러 곳에 사용되어진다. 이에 본 논문에서는 매설지선의 접지임피던스의 특성을 파악하기 위하여 매설지선의 길이와 전류인가 위치 별 접지임피던스의 주파수 의존성을 분석하였다. 10[m], 30[m], 50[m], 매설지선을 시공하고, 가변주파수 임피던스 측정기를 사용하여, 매설지선의 길이에 따른 특성과 매설지선에서 전류인가지점에 따른 특성을 분석하였다.

2. 본론

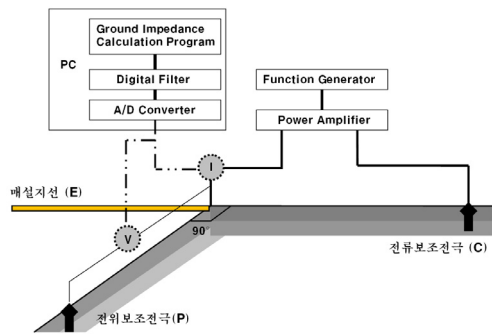
2.1 실험계의 구성

접지임피던스 측정을 위해 실증시험장에서 그림 1과 같이 10[m], 30[m], 50[m] 매설지선을 시설하였다. 접지전극은 단면적이 25[mm²]인 구리연선으로 지면으로부터 0.5[m] 깊이에 매설하였다. 단면적이 25[mm²]인 GV전선을 접지도선으로 사용하였으며, 전류인가위치는 수평접지극의 끝단으로 하였다. 각 접지극간의 상호 간섭을 배제하기 위하여 충분한 이격거리를 두고 시설하였다.



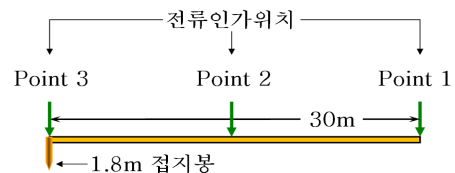
〈그림 1〉 실험대상의 접지전극

피측정 접지전극과 전위보조전극, 전류보조전극이 일직선상으로 배치되는 일반적인 전위강하법은 접지시스템의 접지저항을 측정하는 기본방



〈그림 2〉 접지임피던스의 측정계

매설지선의 전류인가위치 별 접지임피던스의 주파수 의존성을 분석하기 위하여 그림 3과 같이 30[m] 매설지선에 지름 16[mm], 길이1.8[m] 접지봉을 추가로 연결하여 접지봉이 설치되지 않은 쪽을 Point1, 중앙의 인가지점을 Point2, 접지봉이 연결된 끝단을 Point3으로 설정하여 각 인가지점에서 전류를 인가하여 그 특성을 분석하였다. Point1과 Point3번에서는 90도로 보조전극을 배치하여 측정하였으며, Point2에서는 180도로 보조전극을 배치하여 측정을 실시하였다.



〈그림 3〉 측정전류의 인가지위

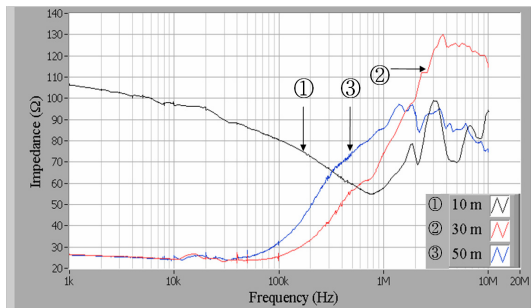
80[MHz]까지 전류를 인가할 수 있는 합성발생기와 주파수대역이 D C~250[MHz]이고 최대 출력이 75[W]인 전력증폭기를 이용하여 1[kHz]에서 10[MHz]까지 정현파 전류를 인가하였고, DC~50[MHz]의 주파수대역을 갖는 능동형 전류프로브와 고전압 차동프로브를 사용하여 전압과 전류를 검출하였다. 측정된 신호는 100[MS/s]의 sampling rate를 갖는 A/D 변환기를 통하여 PC에 전송되며, 디지털 필터를 이용하여 노이즈가 제거한 후 측정된 전압과 전류 크기의 비를 이용하여 임피던스를 산출하였다.

2.2 매설지선의 길이별 접지임피던스의 주파수 의존성

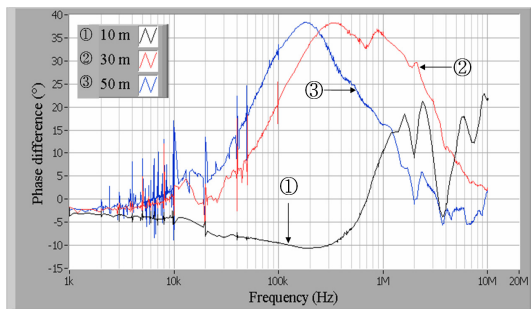
그림 4는 각 매설지선에서 주파수를 변화시키면서 측정한 접지임피던

스와 위상차를 보여준다. 10[m] 매설지선의 경우 저주파수에서의 접지 임피던스 값은 100[Ω] 이상의 값을 보이지만 700[kHz]까지 그 값이 감소하고 전류의 위상이 전압에 앞서는 용량성 특성을 나타내었다. 하지만 그 이상의 주파수에서는 위상이 역전되면서 전류파형이 전압파형보다 뒤진 지상으로 나타났으며 접지임피던스 또한 증가하였다. 이는 낮은 주파수에서는 대지와 전극 사이의 정전결합에 의한 용량성분이 접지전극과 접지도선에 의한 유도성분보다 크게 나타나지만 고주파수에서는 두 성분의 크기가 역전되어 유도성분이 더 크게 나타나 접지임피던스가 증가하는 것으로 판단된다. 30[m]와 50[m] 매설지선의 경우 10[m] 매설지선과는 다르게 낮은 주파수에서는 접지임피던스의 변화가 크게 나타나지 않지만 100[kHz] 이후부터 매우 급격하게 증가하였다. 이는 10[m] 매설지선이 가지는 유도성 성분보다 30[m]와 50[m] 매설지선이 갖는 유도성 성분이 크기 때문이라 판단된다. 또한 30[m]와 50[m] 매설지선이 저주파수에서는 유사한 접지임피던스 추이를 보이다가 50[m] 매설지선이 더 낮은 주파수에서 접지임피던스의 증가가 나타나는 것 또한 50[m] 매설지선의 유도성 성분이 더 크기 때문이라 판단된다.

2[MHz] 이상의 주파수에서는 접지임피던스의 추이가 역전되거나 증감이 반복하는 진동특성을 나타내었으며, 정상상태 접지저항이 가장 작았던 30[m] 매설지선의 경우 최대 130[Ω] 이상으로 증가하였다. 매설지선의 접지임피던스는 길이에 따라 다른 주파수 의존성을 나타내었으며, 이러한 특성은 뇌서지와 같은 고주파수를 포함하는 사고전류가 매설지선에 인가되었을 때, 매설지선의 길이와 대지저항률에 따라 다른 접지 성능을 나타낸다. 이러한 특성으로 보아 매설지선의 시설 후 고주파 접지 임피던스를 측정하여 평가해야하며, 접지임피던스를 작게 하기 위한 설계기법 개발이 요구된다.



(a) 접지임피던스



(b) 위상차

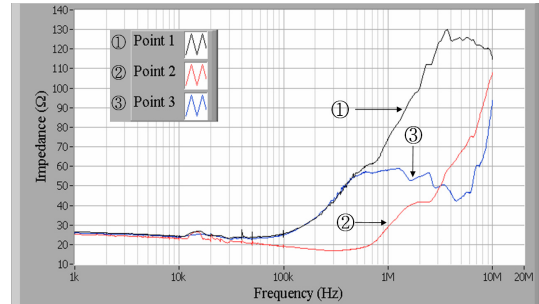
<그림 4> 매설지선의 길이 별 접지임피던스와 위상차

2.3 전류인가 위치 별 접지임피던스의 주파수 의존성

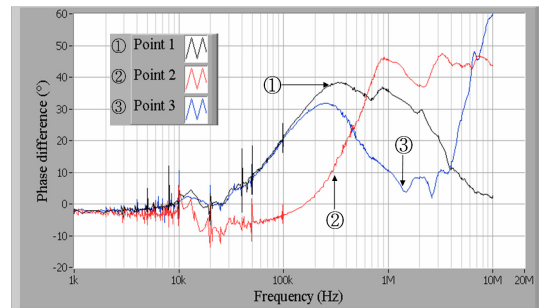
그림 5는 30[m] 매설지선에서 전류를 인가한 위치 별 접지임피던스 및 위상차의 주파수 의존성을 나타낸다. 매설지선의 중앙부분에 전류를 인가한 Point2의 경우 400[kHz]까지 약간씩 감소하는 용량성 특성을 보이는 것으로 나타났다. 위상차 또한 200[kHz]까지 (-)로 나타났다. 이는 30[m] 매설지선의 중앙부분에서 전류가 인가되는 경우 30[m]의 길이만큼의 유도성 성분이 영향을 미치지 못하고 전류가 양쪽으로 분류되어 흐르면서 2개의 매설지선이 병렬로 연결된 것과 같은 효과 때문에 용량성 성분이 더 크게 나타나기 때문이라고 판단된다.

1.8[m] 접지봉을 연결한 Point3과 그렇지 않은 Point1의 경우 500[kHz]까지 유사한 추이의 접지임피던스를 나타내었다. 하지만 그 이상의 고주파수에서는 Point1의 경우 계속적으로 접지임피던스가 급격히 증가하는 반면에 Point3의 경우 1.8[m] 접지봉의 영향 때문에 접지임피던스가 급격히 증가하지 않으며 오히려 감소하는 특성을 나타내었다. 위상차 또한 200[kHz]까지는 유사하게 변화하다가 그 이후의 고주파수에서는 다른 주파수 의존성을 보이는 것으로 나타났다. 전류인가지점에 용량성 특성이 크게 나타나는 1.8[m] 접지봉을 연결함으로써 고주파의 전

류가 인가되었을 때 접지임피던스 값을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 매설지선의 중앙 부분에 전류를 인가하는 경우 매설지선 자체의 인덕턴스의 영향을 적게 하여 수 MHz까지 더 작은 접지임피던스를 얻을 수 있을 것이라 판단된다. 고주파수영역에서 길이가 긴 매설지선의 경우 접지저항과 매우 다른 접지임피던스를 보이기 때문에 매설지선의 설계 시에는 접지도선의 위치를 다르게 하거나 전류가 인가되는 지점에 추가적으로 접지봉을 시설함으로써 접지임피던스를 감소시켜야 한다.



(a) 접지임피던스



(b) 위상차

<그림 5> 전류인가 위치 별 접지임피던스와 위상차

3. 결 론

매설지선에 대한 접지임피던스의 주파수 의존성에 대한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 10[m] 매설지선은 용량성 특성을 나타냈고, 30[m], 50[m]매설지선은 유도성 특성이 현저하게 나타났다.
- (2) 매설지선은 길이에 따라 접지임피던스의 주파수 의존성을 나타내기 때문에 적절한 길이의 매설지선의 시설이 필요하다.
- (3) 매설지선의 중간에 접지도선을 연결하여 전류를 인가하면 접지임피던스 저감에 효과가 크다.
- (4) 수직형 추가접지극을 설치하면 고주파수 영역에서 접지임피던스 저감의 효과를 얻을 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] I. D. Lu, R. M. Shier, "Application of a digital signal analyzer to the measurement of power system ground impedance", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-100, pp.1918-1922, 1981.
 [2] A. D. Papalexopoulos, A. P. Meliopoulos, "Frequency dependant characteristics of grounding system", IEEE Trans. Power Del., vol. PWRD-2, pp.1073-1081, 1987.
 [3] 이복희 외, 전력통신용 보안장치 적용기술연구, 기초전력공학공동연구소, pp. 118~140, 1997.
 [4] IEEE Std 81.2-1991, "IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems", IEEE Inc., pp. 4~15, 1991.
 [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.
 [6] 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.