

대규모 그리드 접지전극의 과도접지임피던스의 측정

(The transient grounding impedance measurment of large grid grounding electrodes)

전병욱* · 이수봉 · 이 봉 · 이승주 · 정동철 · 이복희

(Byung-Wook Jeon · Su-Bong Lee · Feng Li · Seung-Ju Lee · Dong-Cheol Jung · Bok-Hee Lee)

인하대학교 IT 공과대학 전기공학부

Abstract

This paper presents the transient and conventional grounding impedance behaviors of large grid grounding system associated with the injection point of impulse current. The measurement methods consider two possible errors in the grounding-system impedances: (1) ground mutual resistance due to current flow through ground from the ground electrode to be measured to the current auxiliary, (2) ac mutual coupling between the current test lead and the potential test lead. The test circuit was set to reduce the error factors. The transient grounding impedance depends on the rise time and injection point of impulse current. It is effective that grounding conductor is connected to the center of the large grid grounding system.

Keywords: Transient and conventional grounding impedace, Mutal resistance, AC coupling, Injection point.

1. 서 론

최근 낙뢰나 정보통신설비 등의 접지시스템을 공통접지로 하면서 고성능의 접지시스템이 요구되어 접지시스템이 대규모화되고 있다. 대규모 접지시스템으로 가장 많이 사용되는 메쉬접지는 접지저항이 매우 낮으며 집약적으로 설치할 수 있는 장점이 있다. 하지만 고주파수 전류 성분과 급격하게 변하는 낙뢰 등의 과도 전류가 접지시스템으로 주입되기 때문에 단순히 접지저항으로 접지를 평가하는 것이 아닌 접지시스템의 인덕턴스 성분을 고려한 접지임피던스로의 평가에 대한 연구가 필요하다. 대규모 접지시스템의 접지도체 인덕턴스로 인하여 과도 전류에 따른 높은 과도접지임피던스가 발생하고 대지전위상승으로 인체 및 장비에 피해를 입힐 수 있다. 따라서 접지시스템을 평가할 때 임펄스나 높은 주파수 전류에 따른 과도접지임피던스에 대한 평가가 수행되며 대규모 접지시스템에 맞는 평가기법의 도출이 필요하다.

본 논문에서는 실증실험장에 대규모 접지시스템을 설치하여 접지시스템의 대규모로 인한 측정상의 어려움 및 측정시 발생하는 오차를 분석하였다. 그리고 조합형 임펄스 전압/전류 발생기로 임펄스를 인가하여 과도 및 규약 접지임피던스를 분석하는 기법을 제시하였다.

2. 실 험

2.1. 측정계의 구성

본 논문에서는 IEEE 81.2-1991에서 권고하고 있는 전류보조전극과 전위보조전극을 90°로 배치하는 수정된 전위강하법을 적용하였다[1].

그림 1은 실증실험장에 시설한 접지전극의 배치도를 나타낸다. 접지전극은 50 mm² 나동선을 이용하여 20×30 m² 측정대상전극을 각각 IEC규정에 따라 지표면으로부터 0.5 m 깊이에 매설하고 전류인가를 위해 50 mm² GV전선으로 측정대상전극을 연결하여 인출하였다. 측정대상전극의 오른쪽 하단부에 1.8 m 봉 전극을 연결하여 봉 전극으로 인한 접지시스템의 특성변화를 보고자 하였다.

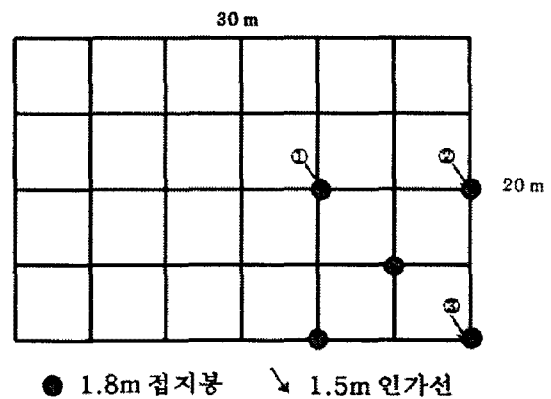


그림 1. 실증실험장에 시설한 접지전극
Fig. 1. The grounding electrode installed at the test site

전류보조전극과 전위보조전극의 배치는 두 전극

배치로 인해 발생할 수 있는 오차를 충분히 고려하고 선정하여야 한다. 두 전극으로 인하여 발생할 수 있는 오차의 요인 중에 전극 배치에 직접적 영향을 미치는 요인으로 도전유도에 의한 오차와 전자유도에 의한 오차가 있다.

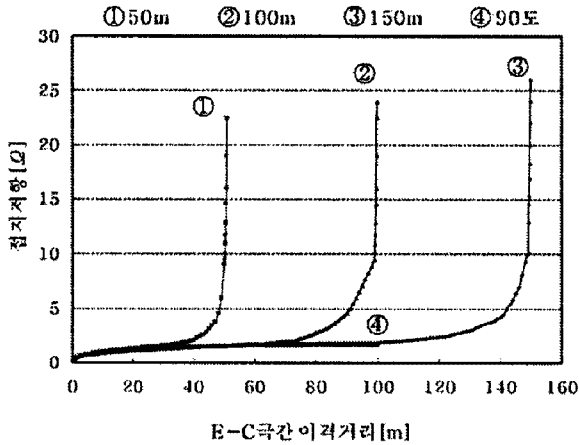


그림 2. 접지전극 주변의 전위분포곡선
Fig. 2. Potential distribution curves around the grounding electrode

도전유도에 의한 오차는 측정대상 전극과 전류보조전극, 전위보조전극 간의 전위 간섭으로 발생한다. 이를 분석하기 위해 TERCA II 장비를 이용하여 실험할 수 있는 조건의 일정 거리에 전류보조전극을 설치한 후, 전위보조전극을 간격 1 m으로 이동시키며 접지저항을 측정하였다. 그림 2은 전류보조전극의 이격거리를 50 m, 100 m, 150 m로 하여 측정한 데이터이다. 접지전극과 가까운 거리에 전위보조전극이 위치하는 경우 피측정 접지전극 주변에 형성되는 전위상승으로 인하여 측정값이 실제 접지저항 값보다 작아진 것이고, 전류보조전극 주변으로 전위보조전극이 위치할수록 급격하게 접지저항이 증가한 것은 전류보조전극의 전위상승으로 인하여 발생한 것이다. 그 사이 평평한 구간은 피측정 접지전극과 전류보조전극의 전위상승으로부터 상대적으로 적은 영향을 받는 영역으로 도전유도에 의한 오차가 적은 구간이다.

표 1. 정상상태 접지저항과 도전유도에 의한 오차율
Table.1 Static ground resistance and percentage error caused by mutual resistance

이격거리	50 m	100 m	150 m	200 m	250 m	300 m	90° 100 m
접지저항 [Ω]	1.32	1.73	1.76	1.80	1.84	1.87	1.72
오차율 [%]	29.4	7.75	5.88	3.74	1.6	—	8.02

측정법은 61.8 % 법을 이용하였고 최대 300 m까지 이격하였다. 접지저항 측정기술표준에 근거에서 최적의 조건인 300 m 이격한 경우에 61.8 % 지점에 전위보조전극을 설치하여 측정한 접지저항 값을 기준값으로 산정, 나머지 이격거리에서 오차율을 표 1로 나타내었다. 이 오차율을 도전유도에 의한 오차의 정도로 해석한다.

도전유도에 의한 오차를 최대 10 % 허용하기로 하여 전류보조전극과 전위보조전극을 100 m 이격하여 90° 배치하여 실험계를 구성하였으며, 이를 그림 3에 나타내었다[1-3].

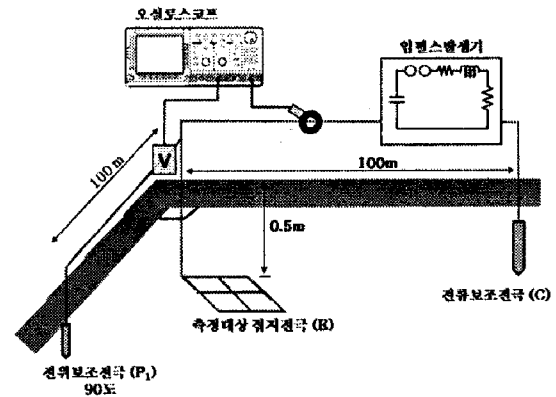


그림 3. 측정전극의 배치
Fig. 3. Arrangement of the measuring electrodes

2.2. 측정방법

본 연구에는 IEC 60664/IEEE C62.41 서지시험에 요구되는 시험전압과 전류 파형으로 1.2/50 μ s 임펄스전압과 8/20 μ s 임펄스전류를 발생시킬 수 있는 조합형 임펄스 전압전류 발생장치를 사용하였다. 임펄스 전류의 상승시간을 4~20 μ s로 조정시키면서 측정대상 접지전극과 전류보조전극을 페루프로 하여 인가하였을 때 흐르는 전류를 측정하고 접지전극의 접지전위 상승과 전위보조전극 간의 전위차를 측정하였다. 20 Hz ~ 100 kHz의 주파수 대역을 갖는 변류기를 이용하여 전류를 측정하였으며, 접지전극의 전위는 75 MHz의 주파수

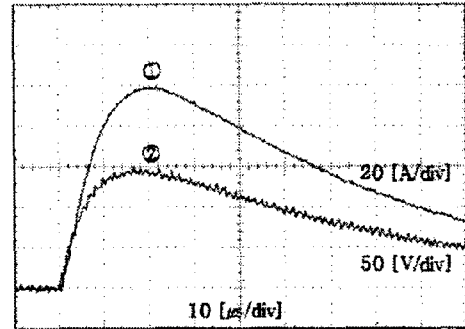
대역을 갖는 능동성 차동프로브로 측정하였다. 인가전류와 접지전극의 전위 파형은 500 MHz, 2.5 Gs/s 분해능의 오실로스코프로 관측하였다.

3. 결과 및 고찰

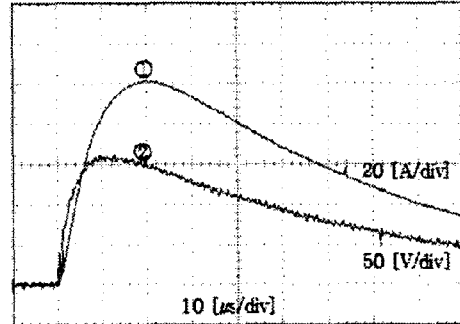
3.1 인가위치에 따른 과도접지임피던스

인가위치에 따른 과도접지임피던스의 측정은 모두 90° 법으로 보조전극을 배치하여 수행하였다. 임펄스전류의 인가위치를 그림 1에 나타내었다. 임펄스전류의 인가위치는 측정대상 접지전극과 1.8 m 접지봉이 접속된 ①~③ 위치이며, 정상상태에서 접지저항은 큰 차이가 없으며 약 1.73 Ω이다. ① 측정 위치에서 전위보조전극이 측정대상 접지전극의 수직 지표면을 경유한다.

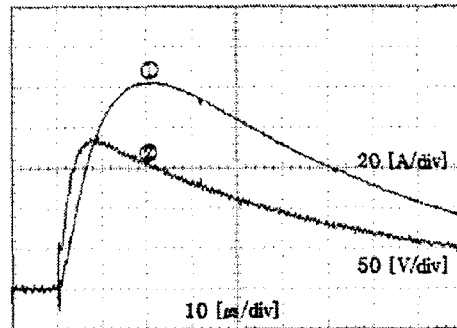
측정대상 접지전극의 인가위치에 따라 임펄스전류의 인가전류와 전위상승의 파형을 그림 6에 나타내었다. 인가된 임펄스전류의 피크값은 약 100 A이며, 상승시간은 측정대상 접지전극의 임펄스전류의 인가위치에 따라 다르게 나타났다. 20×30 m² 측정대상 접지전극의 경우 임펄스전류의 인가위치에 따라 인가전류와 전위상승이 위상차가 나타나는 것을 알 수 있다. ① 인가점에서 ③ 인가점으로 갈수록 인가전류와 전위파형의 위상차가 커지며 전위의 크기도 점점 커지는 것을 알 수 있다. 임펄스전류와 같이 고주파수의 전류에 의해서 측정대상 접지전극에 유도성 효과(inductive effect)가 크게 나타난다. 유도성 효과는 전류가 도체의 끝단까지 흐르는 것을 저해시키는 작용을 하기 때문에 임펄스전류는 측정대상 접지전극의 전체에 균일하게 흐르는 것이 아니라 임펄스전류가 인가된 위치에서 분류되어 인가점을 비롯한 측정대상 접지전극의 일정 부분에서만 흐르게 된다. ① 인가점에 임펄스전류를 인가하면 임펄스전류가 5군데로 분류되기 때문에 4군데로 분류되는 ② 인가점이나 3군데로 분류되는 ③ 인가점에 비해 인가전류와 전위상승의 위상차가 미세하고 전위도 낮다. 인가전류가 분류되는 방향이 작아질수록 ② 인가점에서 ③ 인가점으로 갈수록 인가전류와 전위상승의 위상차가 커지며 전위도 상승한다.



(a) ① 인가점



(b) ② 인가점



(c) ③ 인가점

① 인가전류 ② 전위상승

그림 4. 임펄스전류 인가위치에 따른 측정대상 접지전극의 인가전류 및 전위상승 파형

Fig. 4. Typical waveforms of the injected impulse current and potential rise of large grid grounding electrode according to injection point of the test.

20×30 m² 측정대상 접지전극의 임펄스전류의 인가위치에 따른 과도접지임피던스($Z-t$ 곡선)를 그림 5에 나타내었다. 임펄스전류 피크 이전의 시간 범위에서 과도접지임피던스는 큰 값을 가지는 것을 알 수 있다.

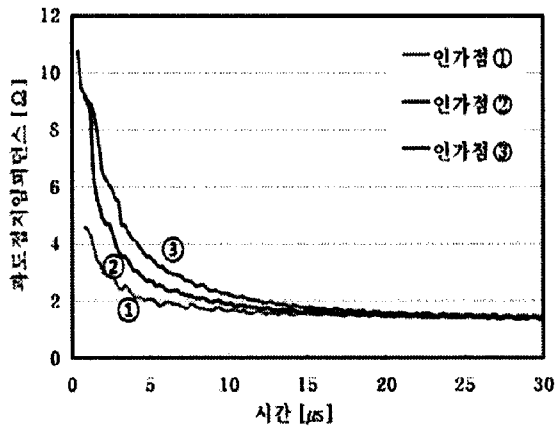


그림 5. 임펄스전류의 인가위치에 따른 측정대상접지전극의 과도접지임피던스

Fig. 5. Transient grounding impedances of large grid grounding electrodes against to be measured the injection point of impulse current

이러한 현상은 측정대상 접지전극의 낮은 접지저항과 상대적으로 큰 인덕턴스 성분의 영향이 지배적으로 작용한 결과이다. 빠른 상승시간에서 인덕턴스 성분이 우세하게 작용한 것이며, 전류 피크값에서 접지임피던스는 접지저항과 거의 같아진다. ① 인가점은 임펄스전류가 분류되는 방향이 많기 때문에 과도접지임피던스가 상대적으로 작은 값을 가진다. ②, ③ 인가점으로 갈수록 분류되는 방향이 적어지며 과도접지임피던스 값은 커지며 그 기울기도 급격히 변한다. 따라서 측정대상 접지전극을 설계할 때 인하도선의 위치를 측정대상 접지전극의 끝 부분이 아닌 중앙 부분이나 분기되는 점이 많은 위치에 설치하는 것이 과도접지임피던스를 줄이는데 효과적이라고 사료된다.

3.2 인가위치에 따른 규약접지임피던스

임펄스전류를 상승시간을 달리하여 인가하여 얻은 전압/전류파형에서 최대 전압값과 최대 전류값의 비인 규약접지임피던스를 산출하였다[4]. 임펄스전류의 인가위치에 따른 측정대상 접지전극의 규약접지임피던스를 측정된 결과를 그림 6에 나타내었다. 규약접지임피던스는 인가전류의 상승시간과 접지전극의 크기와 인가위치에 크게 의존하는 것으로 나타났다. 측정대상 접지전극의 규약접지임피던스는 ③ 인가점 경우가 인가전류의 상승시간에 따른 영향이 ①, ② 인가점에서 비해 상대적으로 크다. ③ 인가점의 경우 다른 인가점에 비하여 임펄스전류가 분류되는 방향이 적기 때문에 규약접지임피던스의 값이 크게 나타났다. 결국 접지저항과 접지도체의 인덕턴스 성분의 저항뿐만 아니라 적절한 인하도선의 위치를 선정하는 것이 접지시스템 전체

의 규약접지임피던스를 줄이는 핵심적인 요소임을 알 수 있다.

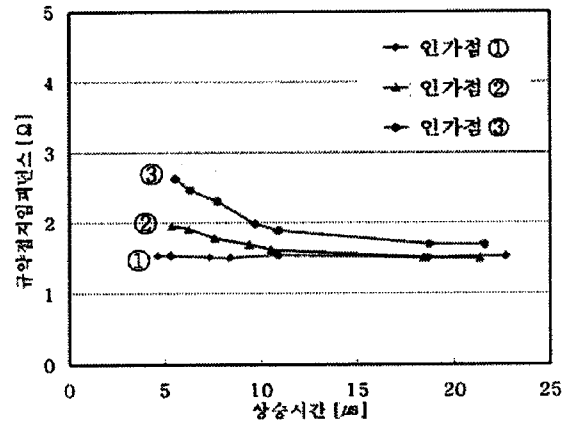


그림 6. 임펄스전류의 인가위치에 따른 측정대상접지전극의 규약접지임피던스

Fig. 6. Conventional grounding impedances of large grid grounding electrodes to be measured against the injection point of impulse current

4. 결론

대규모 접지전극에서 과도접지임피던스의 측정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 대규모 접지전극 주변의 전위분포의 측정 시 도전유도에 의한 오차가 포함되며 전위강화법을 이용하여 접지임피던스 실험회로를 구성할 경우 90° 범으로 전위보조전극과 전류보조전극을 배치하는 것이 효과적이다. 접지전극을 설계할 때 접지도선의 위치를 접지전극의 끝 부분이 아닌 중앙 부분이나 분기되는 점이 많은 위치에 설치하는 것이 과도접지임피던스를 줄이는데 효과적이라고 사료된다.

참고 문헌

- (1) IEEE Std 81.2-1991, "IEEE guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding System", IEEE Inc., pp.1731, Dec. 1991
- (2) J. Ma, F. P. Dawalibi, "Effects of inductive coupling between leads in ground impedance measurements using the fall-of-potential method", Trans. IEEE, 1999
- (3) Eldon J. Rogers and John F. White, "Mutual coupling between Finite lengths parallel or angled horizontal earth return conductors", Trans. IEEE, on PD, Vol. 4, No.1, pp.103~113. 1989.
- (4) KS C IEC 62305-1, 피뢰시스템-제1부: 일반원칙, pp.3~15, 2007