임펄스 전류에 대한 대규모 접지시스템의 과도접지임피던스

이복희, 엄주홍, 이승칠, 최원규, 박종순
인하대학교 전기공학과

Transient Impedance of Large-scale Grounding System under Impulse Current

B.H. Lee, J.H. Eom, S.C. Lee, W.G. Choi, J.S. Park
Inha Univ. Electrical Engineering Dept.

Abstract - This paper presents experimental results of transient impedance characteristics investigated on the site of a large-scale grounding system using impulse current. The ground potential rise was measured while injecting an impulse current and the transient impedance was determined. As a results, the transient impedance was significantly greater than the stationary grounding resistance due to high inductance of ground conductors and leads.

1. 서론

정보통신기기, 전자회로, 제어장치 등의 개발과 보급으로 전력계통의 운용설비와 건축물의 관리 등이 자동화 및 무인화 되고 있는 추세이다. 그 결과 이들 전자기기의 회로에 사용되는 소자들이 임펄스성의 이상 전류나 전압에 대한 내성이 매우 취약하며 오동작하거나 파손되는 사고가 증가하고 있다. 이에 대한 대책으로 효과적인 접지 시스템의 구축이 필요하며 선행과제로서 접지시스템이 임펄스성 이상전류에 대하여 어떠한 임피던스 특성을 가지는가에 대한 측정 및 분석이 필요하다.[1],[2] 즉, 대규모 접지시스템에는 정상상태의 접지저항값이 작은 반면 그 규모가 크므로 접지극으로 사용하는 도체의 포설 길이의 증가로 인덕턴스의 값이 커지게 된다.[3] 임펄스 전류가 인가되는 경우 그 진행시간이 빠르므로 리액턴스 성분이 상대적으로 커지게 된다. 임펄스 전류에 대한 대규모 접지시스템의 과도접지임피던스를 측정·분석하였으며 정상상태의 접지저항값보다 수배에서 수십 배까지 증가하는 결과를 얻었다.

2. 측정계 및 방법

메쉬전극의 포설면적은 10×35 [㎡]이고 14개의 5×5 [㎡]격자로 되어 있다. 직경 18[mm], 길이 2.4 [m]의 봉전극 24개가 연결되어 있으며 직경 30[cm], 길이 50 [m]의 강관 파일이 5개가 하나의 군을 이루어 4개의 군이 결합되어 있다. 임펄스전류에 대한 과도임피던스특성을 측정하고 분석하기 위하여 그림 1과 같이 임펄스 발생기를 사용하여 임펄스전류를 측정전극에 인가하여 주었다.

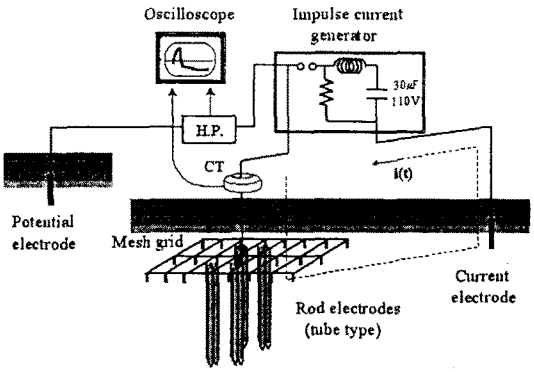


그림 1 과도접지 임피던스의 측정 개략도
Fig. 1 Schematic diagram for measuring transient grounding impedance

표 1 본 연구의 측정에 사용한 계측장비
Table 1 Specification of the instruments used in this work

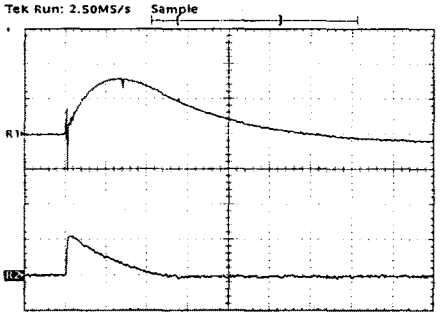
실험기기	규격
임펄스전류 발생기	트리거갭 : 20kV, 50kA 콘덴서뱅크 : 30㎌ 최대발생전류 : 10kA
계측용 변류기	감도 : 5.37kA/V 주파수대역 : 800Hz~1MHz
오실로스코프	500MHz, 2.5GS/s, 4 채널
고전압프로브	주파수대역 : DC~75MHz
절연분리기	주파수대역 : 60MHz 2채널
접지저항계	TERCA2 (CHUVIN ARNOUX) 정확도 : ±2% (0.2~200Ω)

인가되는 임펄스전류 파형은 피측정 접지시스템의 회로

정수와 특성에 의해서 결정된다. 전위측정용 보조극은 측정선의 분포에 따른 상호유도작용 및 전위간섭을 최소화하기 위하여 IEEE Std. 81.2-1991의 제안[4]에 따라 90° 의 각도를 이루고, 전압보조 접지극과 전류보조 접지극은 피측정 접지극으로부터 100[m] 떨어진 지점에 설치하였다. 표 1에는 측정에 사용한 실험장비들의 사양을 간략하게 나타내었다. 접지 임피던스는 전위강하법에 기초를 두어 피측정접지전극과 전위보조극(기준전위극) 사이의 전위상승을 인가된 전류로 나누어서 산출하였다.

3. 실험결과

대지저항률은 Wenner의 4전극법으로 측정하였을 때 상부층이 87 [Ω · m]이며 하부층이 7 [Ω · m]로서 2층 구조 대지였다. 피측정접지시스템이 위치한 곳은 상부층 대지에서 약 20 [m]깊이로 하부층의 대지 저항률에 의한 영향을 주로 받고 있는 것으로 나타났다.



상 : 인가전류 (214.8 A/div, 50㎲/div)
하 : 접지극 전위 (2500 V/div, 50㎲/div)

그림 2 인가전류와 접지극 전위의 파형
Fig. 2 Wave shapes of applied current and electric potential of the ground grid

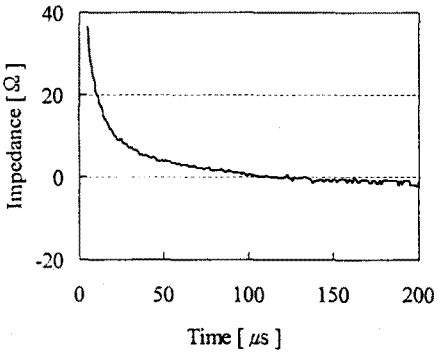


그림 3 과도접지임피던스의 파형
Fig. 3 Wave shape of transient grounding impedance

접지시스템의 정상상태의 접지저항 값은 0.19[Ω]으로 낮은 값을 보였으며 자체 인덕턴스 값은 약 100[㎌]에 이르는 것으로 나타났다. IEEE Std. 80-1986에서 제안된[5] 식 (1)을 사용하여 근사적인 접지저항 값을 이론적으로 산출한 결과 약 0.16 [Ω]이다.

$$Rg = \rho\left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}}\left(1+\frac{1}{1+h\sqrt{20/A}}\right)\right] \quad \cdots\cdots(1)$$

Rg : 접지시스템의 접지저항 [Ω]
ρ : 평균 대지저항률 [Ω · m]
A : 접지체의 점유 면적 [m²]
L : 총 도체의 길이 [m]

그림 2, 그림 3에 인가한 전류 파형과 접지시스템의 전위상승 파형 및 과도접지임피던스의 파형을 나타내었다. 접지임피던스의 파형은 일반적인 소규모 접지체의 임피던스 특성과는 차이가 있다. 특히 후반부 약 110[㎲]이후의 임피던스가 부극성을 가지는 것으로 나타났다. 접지임피던스가 부(-)의 값을 나타내는 이유는 전류 파형보다 전압 파형이 먼저 부극성으로 변화하기 때문인데 이러한 특성은 정상상태의 접지저항값이 작고 접지체의 인덕턴스가 큰 경우에 나타나고 있다. 임피던스 특성에서 중요하게 대두되는 점은 초반부의 임피던스가 크게 나타난다는 점이다. 정상상태의 접지 저항값이 0.19 [Ω]인 점에 비해 과도접지임피던스의 최대값은 약 35 [Ω]으로 약 184배 이상까지 상승하며 전위상승 또한 최대값을 가지게 된다. 전류의 변화에 대한 전위상승을 고찰하기 위하여 그림 4에 V-I곡선을 나타내었다.

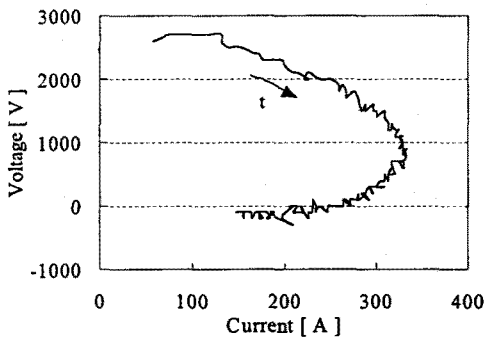


그림 4 접지시스템의 V-I 곡선
Fig. 4 V-I curve of the grounding system

임펄스 전류에 대한 전위상승곡선은 전류가 최대값에 도달하기 훨씬 이전에 전위상승이 최대가 된다. 그 결과 임펄스 전류의 초반부에서 접지 시스템의 전위상승이 최대가 되며, 접지임피던스 또한 전위피크점에서 최대로 된다. 이러한 초반부 특성이 임펄스 전류에 의한 과도접지임피던스와 정상상태의 접지저항 사이에 큰 차이를 나타나게 한다. 즉 인가된 임펄스전류와 접지시스템의 전위상승이 큰 위상차를 보이고 있으며, 이는 저항성분에 비하여 인덕턴스에 의한 영향이 크기 때문이다. 실제로

직격뇌나 유도뢰, 스위칭 서지 등의 파형은 그 상승시간이 빠르며 지속시간 또한 상용전원에 비해 짧으므로 접지 임피던스로 고려하는 것이 타당하며, 접지시스템의 설계와 평가에 있어서 정상상태의 접지저항값만으로 규정하는 것은 적합하지 않다고 본다. 결과적으로 낙뢰 또는 고장서지와 같은 과도전압에 대한 보호기능이 중요한 접지시스템의 설계시에 정상상태의 접지저항 값에 대한 고려와 더불어 접지시스템에 포함되는 인덕턴스성분에 대한 고려가 요구된다.

4. Spice프로그램을 이용한 이론적 검토

Spice프로그램을 이용한 해석에 적용한 회로와 결과를 그림 5와 그림 6에 각각 나타내었다.

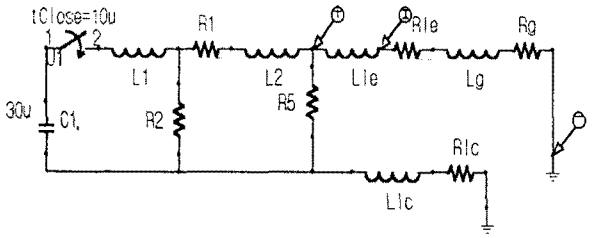
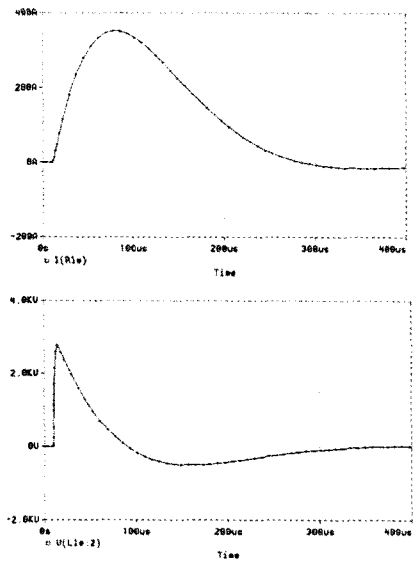


그림 5 이론적 모사에 사용한 회로도
Fig. 5 Circuit diagram used in theoretical simulation



상 : 인가전류
하 : 접지극 전위

그림 6 Spice 모사 파형
Fig. 6 Wave shapes obtained by spice simulation

Spice프로그램을 이용하여 모의시험한 결과 전류와 전압 파형의 상승시간, 지속시간 등에서 실측한 파형에 근접한 결과를 얻었다. 모의시험에서 사용한 접지시스템의 등가 모델로는 인덕턴스와 저항이 직렬로 결합된 직렬회로로 보았으며, 대지의 절연파괴, 이온화, 히스테리시스에 의한 영향은 고려하지 않았다. 인덕터와 저항이 직렬로 결합된 등가모델은 인가파형이 고주파수를 가지는 경우에 적용이 가능하다.[5] 이러한 모의시험 결과를 고찰하면 실측한 과도접지임피던스와 동일하게 후반부에 부(-)극성을 나타낸다. 또한 전류 파형과 전위 파형은 최대값에 이르는 시간이 현저히 다르며 인덕턴스에 의한 영향으로 전류가 상승하는 초반부의 전위상승이 급격하게 큰 값을 가지기 때문에 과도접지임피던스값도 초반부에 큰 값을 가지게 된다.

4. 결론

대규모 접지시스템의 경우 정상상태의 접지 저항값이 작으며 규모가 대형화되기 때문에 접지시스템 자체가 가지는 인덕턴스 성분이 증가하게 된다. 따라서 임펄스성 과도전압과 과도전류에 대한 보호측면을 주안점으로 보는 경우 접지시스템의 평가에 있어서 정상상태의 접지저항만을 고려하는 것은 비효과적이며, 접지임피던스로서 고려하는 것이 타당하다. 이러한 접지임피던스의 측면에서 볼 때 정상상태의 접지저항값을 낮게하기 위하여 과다하게 규모를 증가하는 것은 경제적인 면에서도 불리하고 과도임피던스를 증가시키므로 임펄스성 과도전압과 전류에 대한 보호에 효율적이지 못하다. 과도접지임피던스의 측정결과는 측정에 사용하는 실험장치와 회로에 따라 변화하므로 측정회로를 포함한 총괄적인 평가가 중요하다.

[참 고 문 헌]

[1] R. Kosztaluk, "Experimental Study of Transient Grounding Impedances", IEEE Trans. Vol.PAS-100, No.11, 1981.

[2] Carlo Mazzetti, "Impulse Behavior of Ground Electrodes", IEEE/PAS, Vol.PAS-102, N0.9, pp. 3148-3156, 1983.

[3] 이복희, 이승칠, 박종순, "봉상접지극의 과도접지임피던스 특성", 대한전기학회 논문집, Vol.47, No.5, DHO-3, pp.659-665, 1998.

[4] IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding systems, pp. 12-31, 1991.

[5] IEEE Power Engineering Society, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, pp. 81-90, 1986.