論 文
48C - 11 - 1

서지전류에 대한 과도접지임피던스의 특성

Characteristics of Transient Grounding Impedance under Surge Currents

李 福 熙* · 朴 鍾 淳**
(Bok-Hee Lee · Jhong-Soon Park)

Abstract - The transient characteristics of grounding systems play a major role in the protection of power equipments, electronic circuits and info-communication facilities against surges which arise from lightning or ground faults. Electronic devices are very weak against lightning surges injected from grounding systems and can be damaged. The malfunction and damage of electronic circuits bring about bad operation performances, a lot of economical losses, and etc. Therefore, in order to obtain the effective protection measure of electronic devices from overvoltages and lightning surges, the analysis of the transient grounding impedances is essential. One of this work is to examine the transient behaviors of grounding impedances under steplike currents for various grounding systems. And the other of this work is to evaluate the transient behaviors of a grid with rods under impulse currents and to investigate the effect of grounding lead wire. Transient grounding impedances of a grid with rods under impulse current waves have been measured as a parameter of the length of the grounding leads. Z-t, Z-i and V-i curves of transient grounding impedance under impulse current waveforms have been measured and analyzed. It was found that the grounding impedance gives the inductive, resistive and capacitive aspects under steplike current. Transient grounding impedance characteristics were very different with shapes, geometries of ground electrodes. Also, they were dependent on the waveform and magnitude of impulse current.

Key Words : transient grounding impedance, grounding system, surge protection, impulse currents, steplike currents, grid with rods, effective surge impedance

1. 서 론

접지저항은 보호종류와 수준을 정하는데 많은 영향을 주며, 정보·통신 설비와 전력설비의 보호 및 인체의 감전 방지 등 설치목적에 알맞은 양호한 접지특성을 얻기 위해서도 접지저항값을 낮추는 것은 필수적인 요소이다. 그러나 최근에는, 정보·통신 시스템이 급속도로 발달함에 따라 전력계통의 설비 뿐만 아니라 서지에 대하여 매우 취약한 전자회로의 보호대책에 관심이 집중되면서 접지시스템의 과도특성을 파악하는 것이 중요한 요소기술로 되었다. 전력설비와 전자·통신 설비의 뇌서지에 대한 보호대책이 부각되면서, 접지시스템 설계의 초점이 정상상태 접지저항보다는 과도접지임피던스의 정확한 측정과 특성 파악에 모아지고 있는 것이 최근의 경향이다[1],[2].

뇌서지가 침입한 경우에는 접지임피던스 자체가 정상상태의 접지저항보다 대단히 높고 유동적이며, 또한 높은 전위상승을 유발시키기 때문에 접지계를 통한 서지의 유입은 기기의 오동작 및 파손의 원인이 되며 막대한 정보 및 경제적 손실까지 초래하게 된다. 따라서 뇌서지에 대해 효과적인 보호대책을 수립하기 위해서는 이들 기기를 보호하는 접지시스템 설계의 초점을 정상상태 접지저항 뿐만 아니라 과도접지임피던스의 정확한 특성파악에 더욱 중점을 두어야 하며, 접지시스템의 형상이나 배치에 의한 접지임피던스 저감방안에 대한 집중적인 연구가 절실히 요구된다[3].

그리드와 봉접지극의 조합 형태는 낮은 접지임피던스를 얻기가 유리하고 계절적 변동요인을 줄일 수 있어, 전력설비나 인텔리전트 빌딩의 접지시스템으로 가장 많이 채택되고 있다. 본 논문에서는 이러한 그리드와 봉접지극 조합 형태의 접지시스템에 대하여 계단상 전류와 임펄스 전류의 인가에 의한 접지임피던스의 과도특성을 측정·분석하였다. 그 외에도 여러 형태의 접지시스템에 대한 과도접지임피던스를 측정하고, 비교·분석하였다.

2. 측정원리 및 측정계의 구성

접지극의 과도접지인피던스는 상용 주파수에 대한 정상상태 접지저항값과는 상당한 차이가 있으며, 그 특성이 접지극에 유입된 서지가 갖는 주파수 성분에 의해 좌우된다. 따라서 접지저항의 과도성분은 접지임피던스로서 고찰하여야 하며, 대지를 포함하여 접지시스템의 전기적 등가회로와 서지전류 유입시의 전위상승 개념을 그림 1에 나타내었다[4].

접지임피던스 모델은 Rc와 C의 병렬로 이루어진 용량성

*正 會 員 : 仁荷大 電氣電子컴퓨터工學部 敎授 · 工博
**正 會 員 : 仁荷大 電氣工學科 博士課程
接受日字 : 1999年 5月 17日
最終完了 : 1999年 9月 27日

회로부, R_O의 평탄성 회로부, R_L과 L의 병렬로 이루어진 유도성 회로부로 나눌 수 있다. 이상적인 직각파 전류에 대한 접지임피던스 모델의 임피던스 초기치를 Z_{HF}, 정상상태의 임피던스를 Z_{LF}라고 하면 Z_{HF}, Z_{LF}를 각각 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Z_{HF} \fallingdotseq R_o + R_L \quad (1)$$

$$Z_{LF} \fallingdotseq R_c + R_o \quad (2)$$

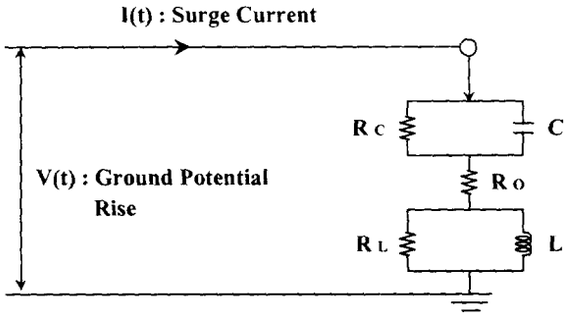


그림 1 접지시스템의 전기적 등가회로와 대지전위상승의 개념도

Fig. 1 Equivalent circuit diagram of the grounding system and conception of the ground potential rise

접지임피던스가 용량성인 경우에는 경과시간이 짧을 때의 과도접지임피던스가 경과시간이 긴 영역에서의 값에 비해 낮게 나타난다. 즉, 인가전류의 상승시간에 해당되는 시간영역에서 주파수가 무한대라 가정하면, 평탄성 특성을 가지는 성분(R_O)만이 나타나며, 이후의 시간영역인 극저주파 영역에서는 용량성 특성을 가지는 요소(R_C)와 평탄성 특성을 가지는 요소의 합(Z_{LF})으로 나타나게 된다. 이와 같은 경향은 송전철탑 탑각접지저항 특성에서 주로 나타나며 대지저항률이 높은 산악지대에 접지시공을 하는 경우가 이에 속한다. 이와는 반대로, 접지저항값이 수 [Ω] 정도로 아주 낮은 경우에는 접지임피던스의 초기값이 정상상태의 접지저항에 비해 훨씬 높은 값을 나타내다가 시간의 경과에 따라 과도접지임피던스가 저하되는 경향을 보이는 경우가 유도성 특성을 나타내는 것으로 발변전소의 메쉬형태의 접지시스템은 거의 이 특성에 따른다. 회로분석을 통해 보면, 주파수가 무한대인 임피던스(R_L+R_O)가 인가전류의 상승시간에 해당되는 시간영역에서 나타나며, 그 이후의 극저주파 영역에서는 평탄성 특성을 가지는 성분(R_O)만이 나타나게 된다. 그러나, 그림 1에서와 같이 모든 접지시스템은 유도성 요소와 용량성 요소를 정도의 차이는 있지만 모두 포함하고 있으므로, 유입되는 서지전류의 전시간영역에 걸쳐 유도성 요소, 용량성 요소, 평탄성 요소가 모두 복합적으로 작용하게 된다.

인가전류와 전위상승의 비 즉, V(t)/I(t)로써 접지임피던스를 산출하며, 접지시스템에 있어서 과도접지임피던스의 측정에는 통상 접지시스템 자체의 문제, 주변의 영향, 측정 방법과 절차에 관련된 여러 가지 오차의 요인이 내포되어 있으므로 접지저항의 측정방법에 관련된 특수성을 잘 이해하고 측정하지 않으면 정확한 측정이 불가능하다[5].

본 연구에서 적용한 측정계의 구성은 그림 2와 같으며, 주요 측정장비를 표 1에 나타내었다. 측정대상의 그리드(Grid)에서 전류보조극간 거리는 30 [m], 그리드와 전위보조극간 거리는 35 [m]로 하였다.

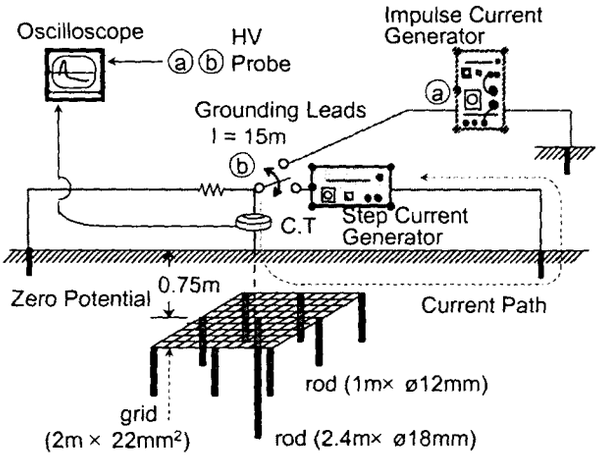


그림 2 과도접지임피던스 측정계의 개략도

Fig. 2 Configuration of the measuring system of the transient grounding impedance

표 1 본 연구에 사용한 과도접지임피던스의 측정장비

Table 1 Measuring equipments for transient grounding impedances used in the work

Equipment	Specification
Step Current Generator	310step L-C parallel PFN circuit and mercury relay switching
Impulse Current Generator	Trigger gap(20kV, 50kA) Condenser bank : 30μF Maximum output current : 10kA
Current Transformer	Sensitivity : 5.37kA/V BW : 800Hz~1MHz
Oscilloscpe	Digital storage oscilloscope 500MHz@1GS/s 2 channels
HV Probe	Differential high voltage probe BW : DC~75MHz
Isolator	BW : 60MHz 2 channels
Earth Tester	Galvanometer scale Accuracy : ±2.5% in the range of 2~20Ω

접지극의 급준한 상승시간을 갖는 전류에 대한 접지임피던스의 과도특성을 측정하기 위해서 계단상 전류 발생장치(Step Current Generator)를 사용하여 측정대상의 접지극에

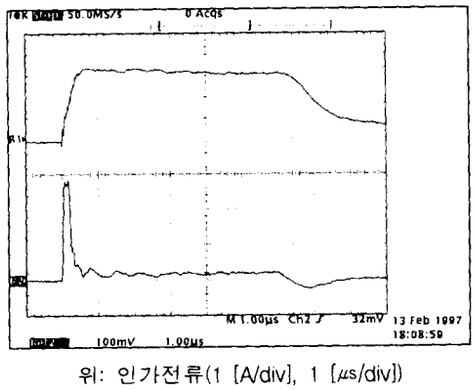
계단상 서지전류를 인가하였다. 측정 당시의 그리드만인 경우의 정상상태 접지저항은 49 [Ω], 그리드와 봉접지극을 조합한 접지시스템의 정상상태 접지저항은 10.4 [Ω]이었으며, 이 때의 대지저항률은 100 [Ωm]이다. 또한 이 접지계의 정상상태 접지저항도 계절과 우천에 의한 수분의 영향으로 5 ~ 14 [Ω] 범위까지 변동한다. 계단상 전류와 같은 대단히 빠른 상승시간과 고주파수 특성을 갖는 서지 외에도, 낙뢰처럼 상대적으로 상승시간이 길고 높은 에너지를 동반하는 뇌서지전류 형태를 가지는 임펄스 전류에 대한 과도특성을 고찰하기 위하여 임펄스 전류 발생장치(Impulse Current Generator)를 사용하였으며, 15 [m] 길이의 접지리이드선을 통해 임펄스 전류를 인가하였을 때, 전위의 측정점을 ⓐ와 ⓑ점인 경우로 나누어 접지리이드선의 길이에 의한 영향도 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 계단상 전류에 대한 특성

접지로부터 침입하는 뇌서지와 과전압에 대한 전기설비나 전자기기의 보호대책은 우선, 접지극의 형상과 규모에 따른 대지전위상승의 정도와 서지의 급준한 고주파수 성분에 대한 접지임피던스의 과도특성 파악이 먼저 이루어져야 한다. 이러한 과도적인 특성을 파악하기 위해서는 급상승시간을 갖는 계단상 전류를 접지극에 인가해 주어야만 한다. 그림 3은 상승시간 300 [ns]이하, 펄스폭 6.5 [μs]의 계단상 전류에 대한 봉접지극을 조합한 그리드의 과도응답특성 파형이며, 그림 4는 그리드 또는 봉접지극을 조합한 그리드의 과도접지임피던스 파형이다[6],[7].

그림 3, 4에서와 같이 계단상 전류에 대한 접지극의 전위상승 파형과 접지임피던스 파형은 거의 동일한 양상으로 나타났다. 실험에 사용한 인가전류의 상승부분에 나타난 매우 불규칙하게 발생된 펄스 때문에 200 [ns] 이하의 영역에서는 상당히 복잡한 형상의 파형으로 나타났다. 그러나 접지계통에 나타나는 서지의 상승시간은 일반적으로 100 [ns] 이상이므로 100 [ns] 이후의 특성에 주안점을 두어 분석하였다.



위: 인가전류(1 [A/div], 1 [μs/div])
아래: 전위상승(100 [V/div], 1 [μs/div])

그림 3 봉접지극을 조합한 그리드의 계단상 전류 응답파형

Fig. 3 Response waveforms of grid with rods under steplike current

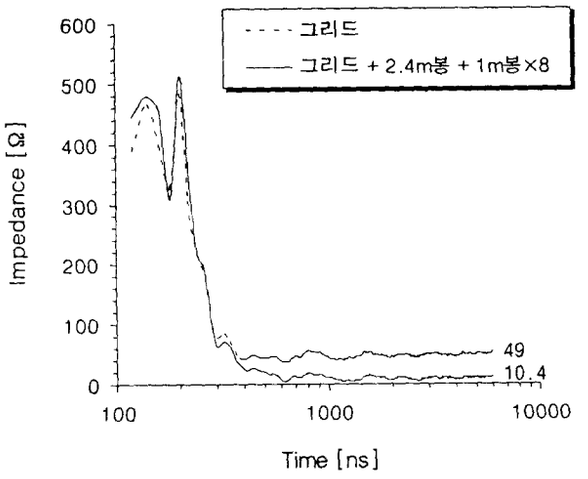


그림 4 계단상 전류에 대한 그리드의 과도접지임피던스의 특성

Fig. 4 Characteristics of transient grounding impedances of grid with rods under steplike current

그리드에 봉접지극을 병설하므로서 정상상태 접지저항은 상당히 감소하였으나 과도접지임피던스의 저감에는 거의 효과가 없음을 알 수 있다. 인가전류의 상승시간 이전에는 유도성 회로부에 의한 유도성 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 상승시간 이후의 특성을 살펴보면 상승시간 이후에도 지속적으로 전위가 계속 감소하다가 정상상태로 안정되어지는 유도성 특성을 나타내었다.

본 연구에서는 이 외에도 과도접지임피던스의 또다른 특성을 비교하기 위해서 판상 접지극, 매설지선, 침부 접지극, 그리고 이러한 접지극들을 조합한 경우에 대해서도 계단상 전류에 대한 과도접지임피던스 특성을 측정하였으며, 그 크기와 형상 및 매설상태에 따른 과도접지임피던스 파형을 그림 5~7에 나타내었다. 접지임피던스 파형에서 보듯이 정상상태 접지저항이 100 [Ω] 이하인 접지극은 모두 600~700 [ns]까지 접지임피던스가 감소하다가 거의 일정한 값으로 유지되는 유도성 특성을 나타내었다. 정상상태 접지저항이 200 [Ω] 이상인 규모가 작은 a-type의 판상 접지극과 침부 접지극 1조의 경우는 인가전류에 대하여 유도성 특성과 용량성 특성을 동시에 나타내고 있어서 그림 1의 접지시스템의 회로구조를 잘 설명하는 경우이다. 모든 접지시스템은 이처럼 용량성 특성과 유도성 특성을 가지게 하는 요소들을 모두 포함하고 있다고 보여진다.

그림 7에서 매설지선의 길이가 길어짐에 따라 과도접지임피던스는 짧은 시간 영역으로 이동하며 같은 시간에서의 과도접지임피던스는 감소하였다. 이상의 결과를 종합해보면 과도접지임피던스는 정상상태 접지저항보다는 접지전극의 형상과 치수에 보다 의존성이 큰 것으로 볼 수 있다. 접지임피던스가 용량성 과도특성을 보이는 접지극과 평탄성 특성을 주로 보이는 접지극에서도 인가전류의 상승시간 이전에는 유도성 성분을 나타내고 있다. 이러한 특성은 접지극으로부터 인출되는 접지리이드선과 같이 유도성 회로부에 영향을 미치는 요인에 의한 것으로 판단된다.

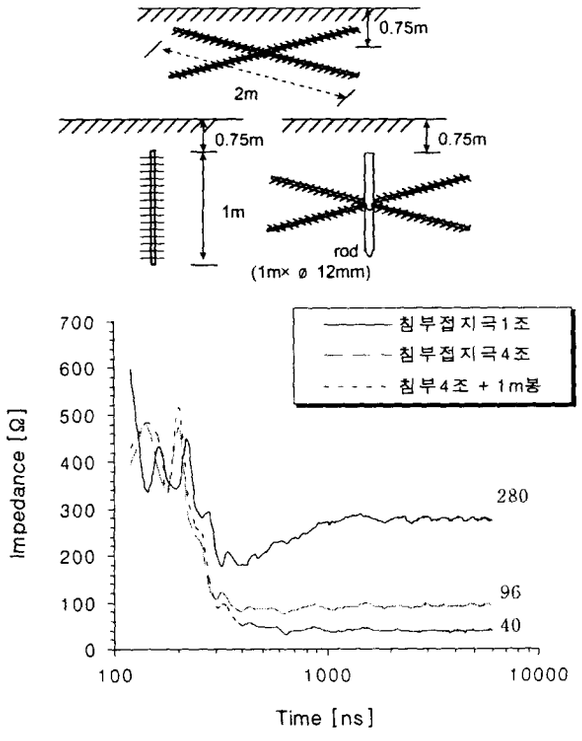


그림 6 침부 접지극의 과도접지임피던스의 특성

Fig. 6 Characteristics of transient grounding impedances of the ground electrode with needles

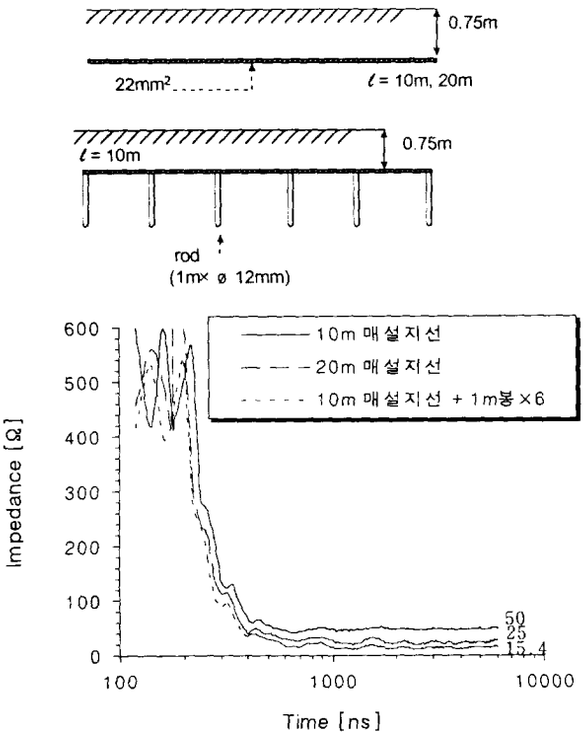


그림 7 매설지선의 과도접지임피던스의 특성

Fig. 7 Characteristics of transient grounding impedances of the counterpoises

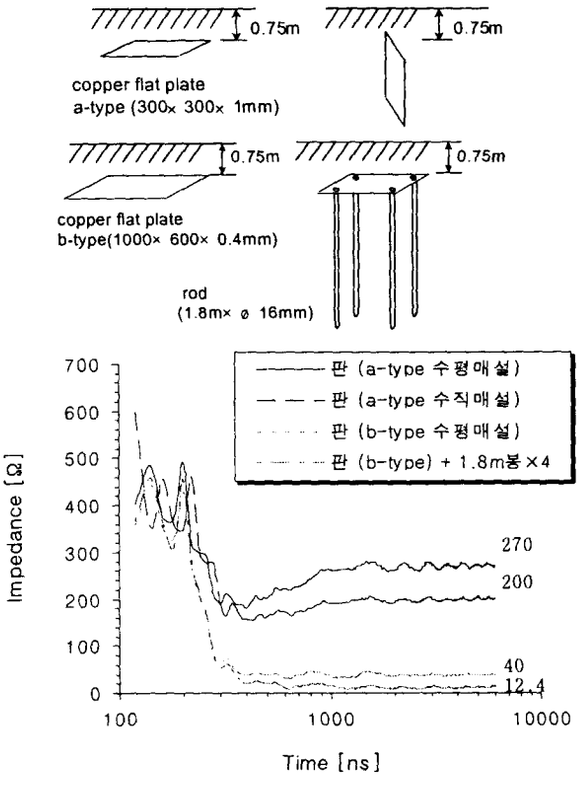


그림 5 판상 접지극의 과도접지임피던스의 특성

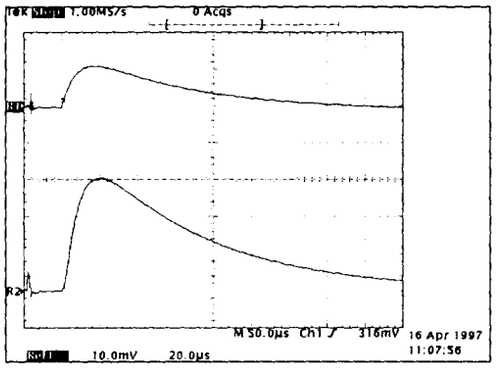
Fig. 5 Characteristics of transient grounding impedances of the plate ground electrodes

유도성 요인이 증가하면 높은 접지임피던스와 그에 상당하는 전위상승을 유발하게 되므로 접지시스템 설계시 이를 충분히 고려해야 한다. 계단상 전류에 대한 과도접지임피던스 측정을 위한 대상의 접지극들은 모두 대지저항률 100 [Ωm]의 토양에 매설되어 있는 경우에 한해서 이루어졌으며, 이보다 대지저항률이 수 백 ~ 수 천 [Ωm] 정도로 아주 높거나 또는 낮은 경우에는 같은 정상상태 접지저항에 대하여도 토양의 특성에 따라 서로 다른 양상의 과도접지임피던스 특성을 나타낼 수도 있다.

3.2 임펄스 전류에 대한 특성

뇌격 전류가 대지로 방출되기까지의 경로에는 접지극 뿐만이 아니라 피뢰침이나 다른 뇌격지점으로부터 접지극을 통해 대지에 이르기까지 긴 접지도선을 통한 유도성 성분이 적지 않게 포함된다[8][9]. 이러한 관점에 착안하여 서로 다른 파두시간과 파미시간을 가지는 임펄스 전류를 최대 50 [A]의 동일한 크기로 접지극에 접속된 15 [m] 길이의 접지리이드선에 인가하여 전위의 측정점이 ⓐ인 경우(case Ⅰ)와 ⓑ인 경우(case Ⅱ)에 대해 측정하였다. 접지시스템에 유입되는 서지전류에 의한 전위상승 정도는 접지리이드선의 전위측정점의 위치에 따라 다르게 나타나며, 이에 따른 접지임피던스의 과도성분에 대한 평가도 전혀 달라지게 된다. 15/60 [μs], 10/250 [μs] 임펄스 전류에 대한 전위상승파형을 각각

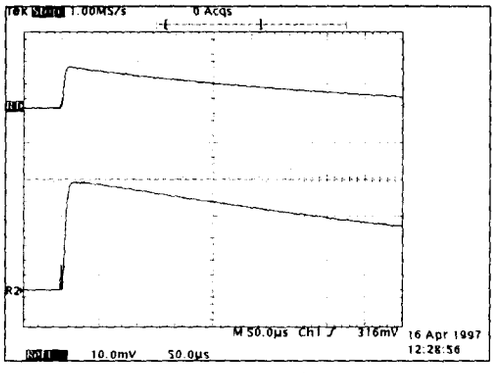
그림 8, 9에 나타내었다. 또한, 임펄스 전류에 대한 과도접지임피던스 특성을 그림 10에 나타내었다. 측정대상의 접지극과 전류보조극간의 폐루프에 전류가 0으로 되어도 어느 정도의 전위는 나타나게 된다. 따라서, 과도접지임피던스 파형의 무한대로 발산하는 후반부는 낮은 전위상태에서 0에 가까운 전류값에 의해 산출(히스테리시스 효과)되어 높은 접지임피던스를 나타내는 부분이므로 실질적으로는 유효하지 않은 부분이다[10]. 전류파형이 모두 50 [A]의 최대값을 갖지만 파미시간이 긴 전류가 많은 에너지를 가지고 있으며, 이러한 전류가 접지시스템에 인가될수록 유도성 성분이 상대적으로 낮게 나타나고 있음을 알 수가 있다. 특히 10 [μs] 이내의 영역에서 접지도선의 길이의 영향으로 과도접지임피던스가 대단히 크게 증가됨을 알 수 있다. 10/250 [μs] 임펄스 전류에 대해서는 파미시간이 길기 때문에 전류변동에 의한 전위상승으로 200 [μs]까지도 case I 의 경우가 과도접지임피던스가 크게 나타났다.



위: 인가전류(53.7 [A/div], 20 [μs/div])
아래: 전위상승(100 [V/div], 20 [μs/div])

그림 8 15/60 [μs] 임펄스 전류에 대한 응답파형

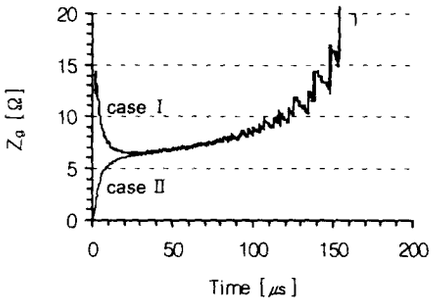
Fig. 8 Response waveforms of grid with rods under 15/60 [μs] impulse current



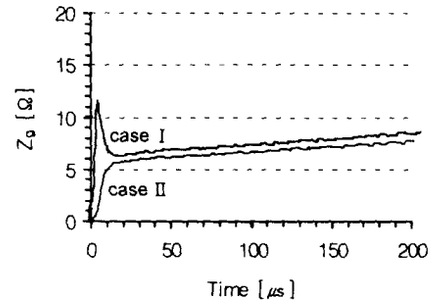
위: 인가전류(53.7 [A/div], 50 [μs/div])
아래: 전위상승(100 [V/div], 50 [μs/div])

그림 9 10/250 [μs] 임펄스 전류에 대한 응답파형

Fig. 9 Response waveforms of grid with rods under 10/250 [μs] impulse current



(a) 15/60 [μs] 임펄스 전류를 인가한 경우



(b) 10/250 [μs] 임펄스 전류를 인가한 경우

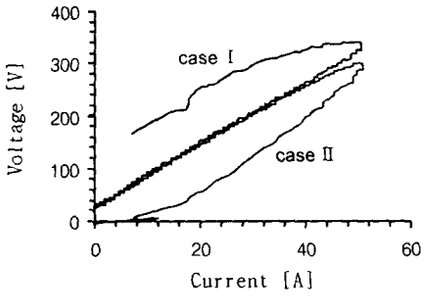
그림 10 임펄스 전류에 대한 봉접지극을 조합한 그리드의 과도접지임피던스의 특성

Fig. 10 Characteristics of transient grounding impedances of grid with rods under impulse currents

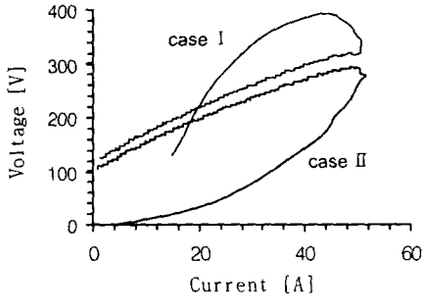
그림 11에 임펄스 전류에 대한 전위 변동특성(V-i 특성)을 나타내었다. 곡선의 매끄러운 부분이 전반부, 즉 파두부분으로서 전류가 0에서 50 [A]까지 상승하여 리플성분을 포함한 파미부분에서는 다시 전류 0점으로 하강하는 형태를 띤다. 과도상태의 전위상승이 전류의 비와 일정한 정상상태 접지저항을 그대로 유지한다면 곡선의 전반부와 후반부가 일치하게 되지만 어떠한 경우에도 일정한 비례곡선을 나타내지 않는 비선형적인 특성을 보이고 있다[11].

각 임펄스 인가전류에 대한 case I 의 V-i 곡선의 상승부인 전반부가 전위축상을 기준으로 후반부보다 높은 전위값을 나타내고 있다. 반면에, case II의 경우는 전반부가 낮은 전위를 보였다. 또한 case I 의 경우 전류 초기치에서 전위의 급상승이 일어나 긴 시간동안 전위가 높은 상태를 유지하고 있다. 이와 같이 접지도선의 영향으로 접지단자의 전위가 상승하게 되므로 접지의 효과는 떨어지며, 높게 상승된 전위에 의해서 접지된 기기나 공통으로 접속된 장비에 나쁜 영향을 미치게 된다.

임펄스 전류에 대한 과도상태 접지임피던스와 정상상태 접지저항의 비교·분석은 임펄스 전류에 대한 접지임피던스 변동특성(Z-i 특성)을 통해 쉽게 관찰할 수 있으며, 이의 결과를 그림 12에 나타내었다. V-i 곡선에서와 마찬가지로 case I 의 경우 후반부의 발산을 나타내는 곡선보다 높은 접지임피던스를 나타내고 있다.

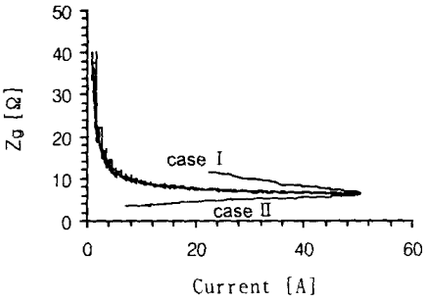


(a) 15/60 [㎲] 임펄스 전류를 인가한 경우

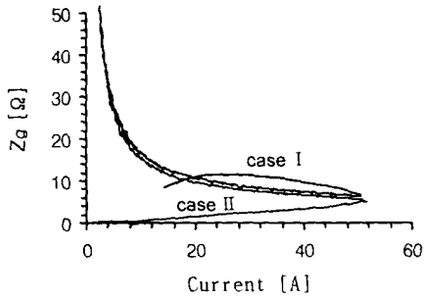


(b) 10/250 [㎲] 임펄스 전류를 인가한 경우

그림 11 봉접접지극을 조합한 그리드의 V-i 특성
Fig. 11 V-i Characteristics of grid with rods



(a) 15/60[㎲] 임펄스 전류를 인가한 경우



(b) 10/250 [㎲] 임펄스 전류를 인가한 경우

그림 12 봉접지극을 조합한 그리드의 Z-i 특성
Fig. 12 Z-i Characteristics of grid with rods

Z-i 특성에서 후반부의 히스테리시스 곡선은 서로 거의 일치하고 있으며, 전류 최고점 이후의 리플성분이 포함된 정상상태 접지저항을 나타내는 후반부 곡선을 기준으로, case I의 Z-i 곡선 전반부는 case II와 다르게 높은 접지임피던스를 나타내었다. 즉, case I의 전반부 곡선은 후반부 곡선의 위쪽에 분포하고 있으며, 파미시간이 짧은 경우가 대체적으로 유도성이 두드러진 형태를 띠고 있다.

본 실험 결과에서 살펴 본 바와 같이 고주파 성분을 포함하거나 짧은 시간동안 과도적으로 발생되는 서지 또는 임펄스에 대하여는 접지임피던스가 대단히 크며, 전위상승도 크게 발생하게 되어 접지효과를 저하시키게 된다. 따라서 피뢰침이나 피뢰기, 고주파 회로용이나 서지보호용 접지에 있어서는 정상상태 접지저항보다는 과도접지임피던스를 고려한 합리적인 접지설계가 필요하다.

그림 13에는 인가전류와 각 case별로 측정한 경우의 실효서지임피던스(Z_{eff})를 나타내었다. 실효서지임피던스는 V_{max}(최대전위)/I_{Vp}(최대전위시의 전류)의 값으로 산출하며, case I과 case II의 임피던스값이 확연히 구분되어져 나타났다.

$$Z_{eff} = \frac{V_{max}}{I_{Vp}} \quad [\Omega] \tag{3}$$

V_{max} : 최대전위상승값 [V]

I_{Vp} : 최대전위상승시의 전위값 [A]

case II 의 경우는 접지극 자체에 포함된 용량성 성분에 의해 실효서지임피던스가 6.2 [Ω] 이하로 분포되어 있다. 반면에, case I 의 경우는 접지리이드선의 임피던스와 전류파형에 따라 차이는 있지만 모두 정상상태 접지저항보다 높으며, 서지보호대책을 위한 접지설계 및 시공시 이러한 점을 반드시 고려해야 한다.

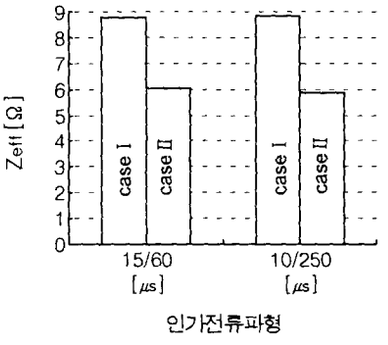


그림 13 봉접지극을 조합한 그리드의 임펄스 전류의 파형에 따른 실효서지임피던스
Fig. 13 Effective surge impedances of grid with rods under impulse currents

4. 결 론

봉접지극과 그리드의 조합형태를 가지는 접지시스템에 대하여 급상승시간을 가지는 계단상 전류와 뇌서지 형태의 임펄스 전류를 인가하였을 때의 접지임피던스의 과도성분을

측정·분석하였다.

접지임피던스의 과도특성은 접지극에 인가되는 급준한 상승시간의 계단상 전류에 대하여 유도성, 평탄성, 용량성 성분을 가지는 복잡한 형태를 보였다. 여러 형태의 접지극을 대상으로 비교·분석한 결과, 모든 접지시스템은 정도의 차이가 있을 뿐 이와 같은 세 가지 특성을 모두 나타냈으며, 입사되는 서지전류의 파형에 따라 접지스시템이 가지는 용량성 회로부와 유도성 회로부의 고유의 시정수에 따라 전위상승 정도와 임피던스 변화 형태가 달라지는 것을 알 수 있었다. 이 측정 결과를 통하여 접지임피던스의 전기적 회로분석에 따른 접지계의 전위상승 정도와 과도접지저항의 변화 예측이 가능할 것이다.

봉접지극을 조합한 그리드의 임펄스 전류에 대한 과도접지임피던스 특성을 분석한 결과, 접지극 자체의 특성과 접지리이드선을 포함한 임펄스 전류에 대한 접지시스템의 전위상승 정도는 현저한 차이를 나타내었다. 특히 접지리이드선을 포함한 경우는 높은 전위상승과 함께 과도접지임피던스가 유도성 성분에 의해 정상상태 접지저항보다 높게 나타났다. 피뢰침이나 피뢰기 등과 같이 서지 또는 임펄스 전압에 대한 보호기능이 요구되는 접지에 있어서는 정상상태 접지저항보다는 대지전위상승의 억제와 과도접지임피던스를 저감시킬 수 있는 접지극의 형상과 치수의 결정을 위한 설계와 평가가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 高橋健彰, "接地設計入門", オーム 社, pp. 4~6, 21~23

[2] B.H. Lee, J.S. Park and S.C. Lee, "Experimental Investigations on Transient Impedances of Some Grounding Systems", Proc. of '97 Japan-Korea Joint Symposium on Electrical Discharge & High Voltage Engineering, pp.237~240, 13~14 Oct. 1997.

[3] C. Mazzetti, "Impulse Behavior of ground electrodes", IEEE Trans., Vol. PAS-102, No. 9, 1983

[4] 橋本信雄, "雷とサージ", 電氣書院, pp.107~114, 1995.

[5] 三谷 弘, "接地抵抗のサージ特性と對策", 日本電氣設備學會紙, pp. 871-887, 1990

[6] 이복희, 박종순 外, "펄스발생기에 의한 과도접지저항의 측정과 분석", '96대한전기학회 하계학술대회 논문집, Vol. C, PDH 14, pp.1810~1812, 1996. 7.

[7] 이복희, 박종순 外, "직각파 전류에 의한 여러 가지 접지극의 과도접지저항 특성", 대한전기학회 방전 및 고전압 연구회 춘계학술대회 논문집, P-19, p.139, 1997. 5.

[8] 이복희, 이승칠, 박종순, "봉상접지극의 과도접지임피던스 특성", 전기학회논문지, Vol. 47, No. 5, pp.659~665, 1998.

[9] 이복희, 박종순 外, "임펄스 전류에 대한 메쉬접지계의 과도임피던스 특성", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.361~363, 1997. 11.

[10] A.C. Liew, M. Darveniza, "Dynamic Model of Impulse Characteristics of Concentrated Earth", Proc. IEE, Vol. 121, No. 2, pp. 123-135, 1974

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

저 자 소 개

이 복 희(李 福 熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1988~89년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland 대학 방문교수. 1999년 미국 Cincinnati 대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전기전자컴퓨터공학부 교수

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 863-5822

E-mail : bhlee540@hanmail.net

박 종 순 (朴 鍾 淳)

1971년 4월 19일생. 1996년 2월 인천대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 공대 전기공학과 박사과정

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 863-5822

E-mail : shock419@hanmail.net