

# 지중방전현상에 의한 접지시스템의 썬지 임피던스의 저감

(The Decreasing of Surge Impedance of Grounding System by using Discharge)

정재기\* · 강지원\* · 양병모\*\* · 김홍필\*\*\*

(Jae-Kee Jeong · Ji-Won Kang · Byeong-Mo Yang · Hong-Pil Kim)

## 요 약

일반적으로 접지시스템에서 접지저항계산은 저주파수의 전원이 대지에 인가될 때 발생하는 대지전위상승을 측정하여 계산한다. 그러나 뇌격과 썬지 임펄스와 같은 고주파수에 해당하는 전원에 대해서는 현재의 접지 시스템에서 고려하고 있지 않기 때문에 전기설비에 매우 큰 영향을 미칠 우려가 있다. 그래서 이 논문에서는 뇌격이 전극봉에 인가되었을 때 발생하는 접지 임피던스의 과도현상을 실험하였다. 그리고 이 실험 결과는 이론적 해석과 잘 일치하였으며 지중방전현상이 임펄스 임피던스 저감에 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있었다.

## Abstract

Generally, in the calculation of ground resistance in the grounding system, the method measuring ground potential rise which is caused by low frequency source injection is used. But both lightning and surge impulse are very harmful to electric equipment. In this connection, this paper presents the results of an experimental investigation of transient behavior of ground impedances when lightning current is injected to the electric rod. The experimental results are agreement with the theoretical analysis. In addition, the states on the behavior of ground electrodes under impulse currents due to lightning strokes are presented. And the impulse impedance reductions caused by discharge in the soils are presented.

## 1. 서 론

접지란 전기설비를 대지와 결합하는 것을 의미한

다[1]. 이러한 접지시스템은 목적상 전기설비 내부에서 야기되는 고장전류나 불평형 전류 혹은 낙뢰에 의한 썬지를 신속히 대지로 흡수시켜 전기설비의 보호와 안전성을 도모하고, 전기, 전자설비의 기준전위를 제공하는 대규모 시스템이다[2].

접지시스템은 접지전극의 설계와 접지시스템의 설계로 대별되고 교류, 직류, 썬지 등에 대응하도록 설계하는 것이 바람직하다[1]. 교류 및 직류전류에 대

\* : 한국전력 전력연구원 선임연구원

\*\* : 한국전력 전력연구원 일반연구원

\*\*\* : 경일대학교 전기공학과 부교수

접수일자 : 1998. 6. 1.

용한 전위상승의 비를 일반적으로 접지저항 혹은 접지 임피던스라고 하고, 낙뢰 등의 써지전류에 대한 전위상승의 비를 써지 임피던스라고 한다 [3].

특히 낙뢰에 의한 써지는 전력설비에 가장 나쁜 영향을 미치고 유입전류는 상승률이 높고, 파두장이 짧으며 작은 에너지를 갖지만 대지전위의 상승이나 절연파괴측면에서는 상당한 파괴력을 지닌다. 그래서 전력설비의 절연파괴나 역삼락 등 치명적으로 전력설비에 악영향을 미치는 써지를 빠르게 대지로 방사시키는 것이 전력사업의 측면에서 보면 접지저항이나 접지 임피던스의 저감만큼이나 중요한 의미를 갖는다.

접지적인 측면에서 볼 때 낙뢰와 같은 써지가 갖는 또 다른 중요한 의미는 일반적으로 접지면적으로 접지저항을 저감시키는 방법으로는 써지 임피던스를 저감할 수 없다는 점이다. 왜냐하면, 써지를 예로 들면 파두장이 수  $\mu s$  인 써지를 일반 접지망에 주입하는 경우 접지망의 면적이 넓다하여 써지 임피던스 값이 면적에 비례하여 저감되지 않는다는 것이다.

이러한 점을 개선하기 위해서 지중방전현상이 쉽게 일어나도록 고안된 침상전극봉(Needle Electrode)을 사용하여 지중방전에 의한 써지 임피던스의 저감 효과를 검증하고 일반접지봉의 동작과 비교 검토하고자 한다.

## 2. 본 론

본 절에서는 지중방전현상에 의한 써지 임피던스의 동특성에 관해서 이론적인 측면에서 논하고 충격 전압발생장치를 이용하여 충격전류를 침상전극봉과 일반봉에 인가하는 실증시험을 시행하여 동특성을 검증하고 x-ray 필름을 이용하여 방전현상을 촬영하여 지중방전현상을 가시화하고 지중방전에 의한 써지 임피던스 저감 효과를 검증하고자 한다.

### 2.1 대지의 저항률의 변화

이 절에서는 지중방전에 의해 대지저항률이 변화하게 되고 지중코로나에 의한 써지 임피던스의 변화를 이론적인 측면에서 고찰하고자 한다 [4~5].

대지를 구성하는 토양은 반도체로 염분류나 수분의 함유도에 의해 그 저항률률은 통상 수  $k\Omega - cm$

로부터 수십  $k\Omega - cm$ 의 범위에 걸쳐 큰 폭으로 변화하며, 구조 또한 천차만별이다. 그러나 여기서는 토양이 등질(homogeneous)로 등방적(isotropic)인 것으로 취급한다. 토양이 저항체로써 갖는 특징중의 하나는 전류밀도에 의해 그 저항률이 큰 폭으로 변화하는 것이다. 그림 2.1은 백색 모래를 시료로 사용하여 측정된 결과의 일례이다. 이 데이터에 의해 알 수 있듯이 저항률은 어떤 전류밀도( $J_c$ )를 경계로 급격하게 변화한다. 대전류의 유입에 대해 특히 접지전극 주변에 전류밀도가 크게 변화하므로 저항률치의 변화도 크게 된다.

전류밀도( $J$ )가 임계값( $J_c$ )을 넘으면  $\rho \cdot J = E$  (대지중의 전계)가 대지의 절연내력( $E_c$ )을 넘어 대지 중에 코로나가 발생하고 그 범위에서는 대지의 저항률( $\rho$ )의 저감이 일어나기 시작하여 거의 도체의 성질로 근접해 간다. 즉, 전류( $I$ )에 의한 전극표면의 전계( $g_0$ )는  $J_0 \cdot \rho$  ( $J_0$ 는 전극표면의 전류밀도)이므로

$$g_0 > g_c \quad (g_c \text{는 대지의 파괴전계강도})$$

로 되는 뇌격전류가 흐르면 전극부근의 지중코로나가 일어나기 시작하고 토양의 저항률( $\rho_1$ )은 다음 식을 따라 감소한다 [4].

$$\rho_1(r, t) = \rho_0 \cdot \exp(-t_1/\tau_1) \text{ -----(2.1)}$$

단,  $\tau_1$ : 전류의 증가에 대한 이온화 시정수

$t_1$ : 이온화가 일어나기 시작한 점으로부터의 경과시간

$r$ : 전극중심으로부터의 거리

또한 전류가 감소할 때는  $r > r_c$  이고,  $J < J_c$ 의 경우 식 (2.2)이 된다.

$$\rho = \rho_1 + (\rho_0 - \rho_1) \cdot (1 - \exp(t_2/\tau_2)) \cdot (1 - J/J_0)^2 \text{ -----(2.2)}$$

단,  $\tau_2$ : 이온화 소멸에 관한 시정수

$t_2$ : 코로나 감쇠가 시작점으로부터의 경과시간

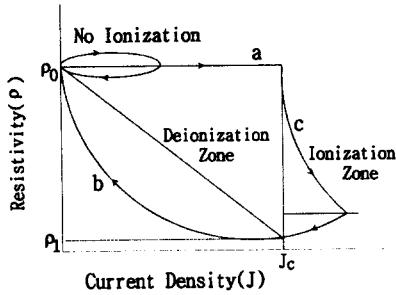


그림 2.1 대지 저항률상의 동적 모델  
Fig. 2.1 Dynamic model for resistivity in the soil

위의 그림을 방전의 현상과 연관하여 이해해 보면, 우선 써지전류가 증가하면 전위상승이 일어나고 이 전위는 접지극의 저항, 접지극과 토양과의 접촉저항, 대지의 저항이 나누어 분담하게 된다. 이러한 써지전류는 무한대까지 확산되지 못하므로 접촉저항이 상대적으로 큰 전위를 분담하게 되고 점점 커지는 전위가 토양의 절연과전압 이상이 되면 이온화현상이 일어나기 시작한다. 이점이 위의 그림에서 a와 c가 이루는 꼭지점에 해당한다. 즉 방전에 의해 전류가 증가하고 전압이 낮아지면서 저항률이 떨어지는 현상이다.

그러나  $r < r_c$  인 즉,  $J > J_c$  의 경우에는 이온화가 계속되고  $J = J_c$ 가 될 때까지는  $\rho = \rho_0 \exp(-t/\tau_1)$  에 따른다. 이러한 변화의 양상을 모델화한 것이 그림 2.1이다. 이처럼 접지전극 주변의 토양이 이온화하여 도전성이 증가하면 전극의 반경이 실제상으로 증가한 것과 동가가 된다.

## 2.2 실증시험에 의한 검증

이 절에서는 위에서 설명한 이론적 배경을 실증시험을 통해 증명하고자 한다. 시험은 한전 전력연구원의 765[kV] 고장실증시험장의 옥외충격전압장치를 이용하고 지중방전현상이 쉽게 일어나도록 고안된 침상전극봉 1개를 대상으로 하여 실험하였다.

### 2.2.1 시험회로와 방법

그림 2.2는 옥외충격전압발생장치(IG)를 포함한 시험회로이며, 매설은 횡으로 50[cm]깊이로 매설하였다. 그림 2.3의 침상전극봉을 상대로 그림 2.2의 시험회로로 아래와 같은 방법으로 실험하였다.

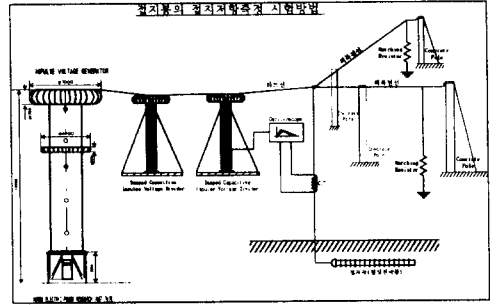
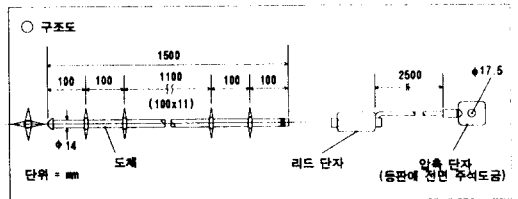


그림 2.2 써지 임피던스 측정을 위한 시험설비  
Fig. 2.2 Test equipment for measuring the impulse impedance



- 본 체 : 14φ×1500mm
- 재 질 : 스테인레스

그림 2.3 시험에 사용한 침상전극봉의 구조  
Fig. 2.3 Configuration of Needle Electrode

- 1) IG의 파두저항과 파미저항을 조정하여 원하는 파두치를 선택한다.
- 2) 리드선은 대상접지극에 인가하고 임펄스전압을 접지극에 인가한다.
- 3) 임펄스 전압의 인가와 동시에 인가전압과 유입전류, 대지전위상승을 오실로스코프의 자동트리거 기능을 이용하여 포착한다.
- 4) 포착한 파일을 컴퓨터에 입력하여 범용 프로그램에서 사용 가능한 아스키 파일로 생성한 다음 저장한다.
- 5) 자체 개발한 분석프로그램을 이용하여 최대 인가전압, 최대유입전류, 써지 임피던스, FFT를 이용한 주파수 해석을 이용하여 분석한다.
- 6) 경향성 및 특성을 분석하고 관찰한다.

### 2.2.2 시험결과와 해석

그림 2.4는 방전현상이 쉽게 일어나도록 고안된 침상전극봉을 석분에 매설한 다음 충격전압발생장치를 이용하여 파두장이 7.6[μs]인 인가전압을 가했을

지중방전현상에 의한 접지시스템의 써지 임피던스의 저감

때의 유입전류파형(上)과 대지전위상승곡선(下)을 표현한 것이다.

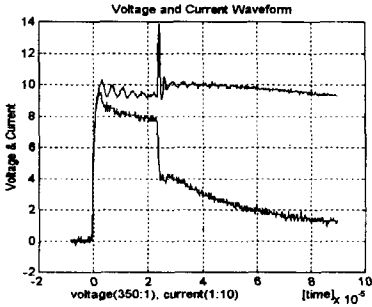


그림 2.4 지중방전이 일어난 유입 써지전류와 대지전위상승전압의 파형  
Fig. 2.4 Wave shape of injected surge current and ground potential rise

전류에 해당하는 상부곡선이 갑자기 증가하고, 같은 시각 유입된 에너지가 대지로 방사함에 따라 대지전위는 갑작스럽게 감소하게 되는 현상이 한눈에 볼 수 있다. 즉, 지중방전이 일어나면서 에너지가 대지로 방류되므로 대지전위는 급격히 저하되는 특성을 보인다.

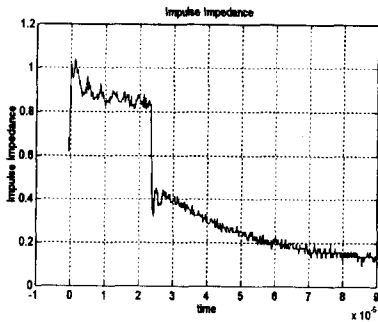


그림 2.5 써지 임피던스의 변화  
Fig. 2.5 Trace of impulse impedance

위의 그림 2.5는 그림 2.4의 전압을 전류로 나눈 써지 임피던스 궤적을 표현하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 방전개시점에서 써지 임피던스가 급격히 감소하는 현상을 확인할 수 있다. 결국 이러한 방전개시점을 파두의 상승점으로 이동하면 최대 써지 임피던스의 감소가 이루어지게 되는 것이다.

아래의 그림 2.6은 그림 2.4를 좀더 쉽게 이해할 수 있도록 processing한 그림으로 방전현상을 설명한 그림 2.1과 비교하면 쉽게 이해되고, 오히려 이 그림에 의해 그림 2.4를 이해하는데 더욱 도움이 될 것이다. 처음에는 일정한 써지 임피던스를 나타내고 있지만 방전이 개시되면서 급격히 저감하는 현상(위쪽에서 급격히 감소하는 부분)이 나타난다. 이것은 전극 표면의 전계 ( $g_0$ )가 대지의 파괴전계강도 ( $g_c$ )보다 크기 때문에 방전이 시작된다. 그리고 방전이 끝나면 토양의 이온화 현상이 없어지면서 서서히 증가한다. 그후 일정한 영역에서 머무르는 현상을 확인할 수 있다. 이 부분이 그림 2.1의 저항율의 동특성과 유사한 그림의 곡선으로 마치 변압기 권선의 히스테리시스 곡선과 같은 특성을 나타낸다. 즉, 이론적 해석과 실험결과가 일치함을 확인할 수 있었다.

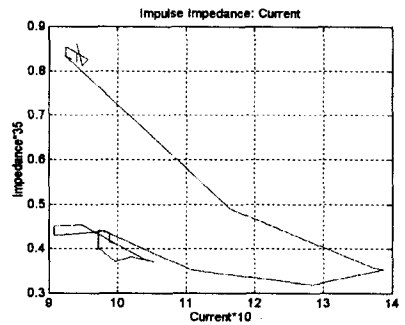


그림 2.6 방전현상에 의해 임피던스의 동적 특성  
Fig. 2.6 Dynamic characteristics of impulse impedance by Experiment

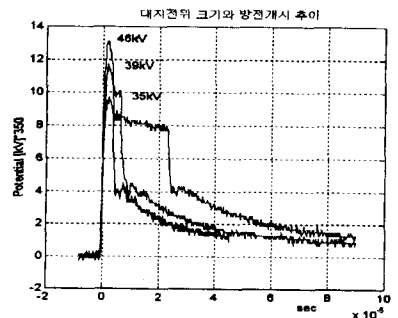


그림 2.7 대지전위의 크기와 방전개시 시간 비교  
Fig. 2.7 Comparison of Ground Potential and Discharge Inception time in the soil

그림 2.7에서 인가전압이 증가할수록 방전개시점이 시간적으로 앞당겨짐을 알 수 있다. 이 그림에서 35[kV], 39[kV], 46[kV]는 대지전위상승의 최대값을 표현하고 있고 PT에 해당하는 Divider의 배율이 350:1이므로 횡축의 값에 350을 곱하면 위의 수치와 일치한다. 이 그림에서도 알 수 있듯이 이미 대지전위상승의 최대값이 지난 후에 지중방전이 일어났으므로 방전이 썬지 임피던스의 저감에는 기여하지 못한다.

그림 2.8는 앞에서 제기한 문제점에 대한 해답이 되기에 충분하다. 인가전압이 75[kV]인 파형보다 인가전압이 147[kV]인 전압 파형의 방전개시전압이 시간상으로 '0'초 부근으로 이동되어 있다. 이것은 그림 2.8에서 설명한 바와 같고 이 상태에서 인가전압을 더욱더 증가시켜 188[kV]가 되면 대지전위상승이 인가전압을 147[kV]로 했을 때보다 오히려 감소하는 현상을 잘 나타내고 있다.

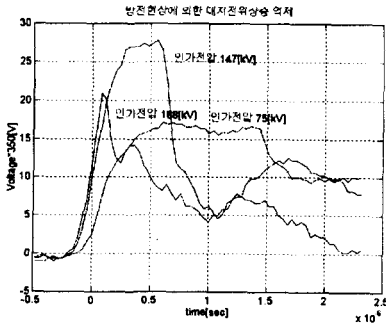


그림 2.8 지중방전현상에 의한 최대 대지전위상승 억제  
Fig. 2.8 Decreasing of the Maximum Ground Potential rise by Discharge in the soil

그림 2.8는 침상전극봉 1개를 석분에 매설한 다음 충격전압발생장치를 이용하여 파두장이 0.5[μ]인 인가전압을 가했을 때의 지중방전현상에 의한 최대 대지전위상승 억제를 설명하고 있다. 방전은 대지전위상승이 높을수록 인가순간인 '0'초 부근으로 앞당겨져 빨리 일어나는데, 이러한 현상은 송전철탑의 역섬락이 일어나기 이전에 발생하여 역섬락을 억제할 수 있다고 생각된다. 그리고 이러한 방전전압은 대지저항울율이 높을수록 낮은 대지전위상승점에서 일어난다[6]. 즉, 방전에 의한 썬지 임피던스의 저감은 큰

나뉘어질수록 대지의 접지저항이 높을수록 효과적으로 작용한다는 것이다.

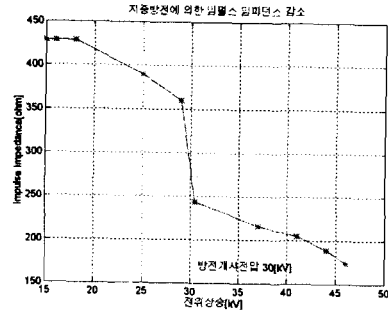


그림 2.9 지중방전에 의한 썬지 임피던스 저감효과 비교 (7.6μ s)  
Fig. 2.9 Comparison of reduction-effect to impulse impedance by discharge in the soil

그림 2.9는 방전전과 방전후의 썬지 임피던스값을 비교한 것이다. 전위상승이 30[kV]되는 전압이 방전개시전압이다. 그림에서 알 수 있듯이 방전이 일어나면서 방전전보다 40[%]이하로 감소되고 전위상승이 높아질수록 썬지 임피던스의 저감은 더욱더 두드러진다.

### 2.2.3 지중코로나의 계속

여기서 소개하는 것은 지중의 전극적하에 X선 필름을 수직으로 매설하여 지중에서 발생한 코로나를 필름상의 영상으로써 출력한 것으로 영상의 크기, 형상으로부터 접지저항을 계산하면 실험치와 비교적 잘 일치한다는 점에서 이 방법이 개발된 것이다.

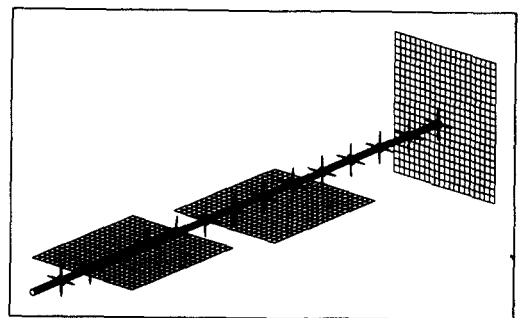
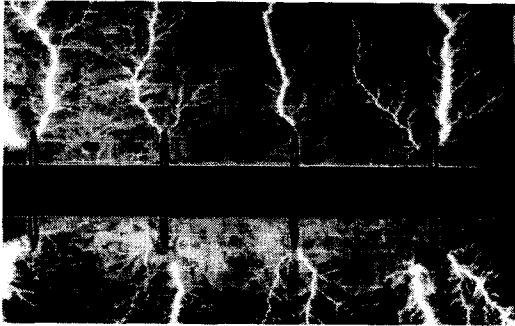


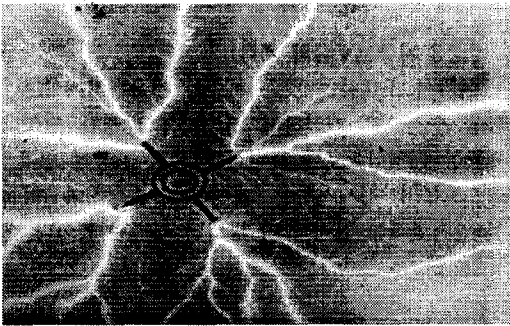
그림 2.10 침상전극봉과 방전현상 촬영위치  
Fig. 2.10 Needle Electrode and Position of Discharge Film



(a) 수평면에서 관측한 지중방전현상  
(a) Horizontal Discharge Picture



(b) 침이 필름의 상부에 위치한 경우의 방전현상  
(b) Discharge Picture in the place of upper-film



(c) 침의 방향을 방사상으로 하고 촬영한 지중방전  
(c) Discharge Picture in a radial manner

그림 2.11 x-ray필름을 이용한 지중방전 그림  
Fig. 2.11 Discharge Picture using x-ray film in the soil

그림 2.10는 지중방전현상을 촬영하기 위해 지중에 매설된 침상전극봉과 필름의 위치를 입체적으로 보여주고 있다.

위의 그림 2.11(a)은 침상전극봉을 방향은 수평으로 깊이는 지하 50[cm]의 깊이로 매설한 후 IG(충격

전압발생장치)를 이용하여 침두치 $1\mu s$ , 석분, 인가전압 $42[kV]$ , 대지전위상승  $24[kV]$ 의 조건으로 촬영한 지중방전사진이다. 여기서 오른쪽이 전류가 유입되는 방향이다. 그림에서 알 수 있듯이 인입점에서의 방전 효과가 가장 크고 두 번째는 다소 적고 세 번째는 두 번째보다 다소 크다가 점점 세력이 약해지는 특성이 이 시험뿐만이 아니고 다른 유사한 경우에서도 같은 경향성을 보인다.

그림 2.11(b)은 침상전극봉의 침을 필름과 1[cm]의 간격을 두고 촬영한 그림으로 왼쪽이 전류유입 방향이 된다. 이 그림 또한 첫 번째의 방전이 크게 일어나고 두 번째는 다소 작다가 세 번째부터 다시 줄어드는 그림 2.11(a)의 설명과 유사한 경향성을 나타낸다.

그림 2.11(c)은 침이 방사상으로된 경우를 촬영한 그림이다. 그림에서 뚜렷이 알 수 있듯이 방사상으로 방전현상이 관측됨을 알 수 있다.

위의 그림을 종합해보면 몇 가지 특징을 살펴볼 수 있다. 우선 유입측의 방전현상이 가장 크고 침상전극봉의 끝으로 갈수록 방전현상이 적어진다. 또한 3가지 촬영사진을 입체적인 측면으로 상상해보면 방전현상은 나무를 거꾸로 매달은 형상으로 유추된다.

### 2.2.4 파두장에 의한 써지 임피던스

표 2.1의 수치는 지중방전을 일으키지 않는 상태에서 써지 임피던스를 측정된 결과이다.

방전이 일어나지 않도록 인가전압을 가했을 때 침상전극봉과 일반봉의 경향성을 살펴보면 봉의 파두장이  $1\mu s$ 에서 가장 낮은 써지 임피던스값을 나타내고 파두장이 더 길거나 짧으면 다소 증가하는 경향성을 나타내고 있는 반면, 방사상접지망과 매쉬망의 경우는 일정한 경향성을 나타내고 있지 않다.

표 2.1 파두장에 따른 써지 임피던스(방전이 없는 경우)

Table 2.1 Impulse impedance corresponding to front-wave (no-discharge)

과두장 대상	0.5 $\mu s$	1 $\mu s$	6.56 $\mu s$	13.28 $\mu s$	40 $\mu s$
침상전극봉 1	15	14.48	16.7	21.4	28
일반봉 1	23.4	18.35	20	24.8	31.8
IG Mesh	4.9	5.8	6.5	11.4	11

### 2.2.5 지중방전현상에 의한 써지 임피던스의 저감 효과

아래의 표 2.2는 방전이 일어난 경우와 일어나지 않은 경우의 써지 임피던스를 비교하고, 침상전극봉과 일반봉의 써지 임피던스를 비교한다.

표 2.2 모래를 대상으로한 써지 임피던스 측정 결과

Table 2.2 Impulse impedance measurement result in sand

대상 (과두장)	0.5 $\mu$ S	%	1 $\mu$ S	%	상용접지 저항( $\Omega$ )
침상 전극봉 1	283/194	61/42	245/186	64/49	891
일반봉 1	461/243	100/53	382/237	100/62	1474

(방전이 없는 경우/방전의 경우), 합수율-1.93%

백분율은 일반봉을 100[%]로 했을 때의 써지 임피던스이다. 이 시험결과를 보면 일반봉의 경우에도 방전이 일어나며 방전에 의한 감소비율도 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 방전이 없을 때의 써지 임피던스가 크기 때문이다. 이미 앞에서 방전현상을 설명하면서 언급이 되었지만 침상전극봉과 일반봉의 가장 큰 차이점은 방전개시전압이 서로 다르다는 것이다. 토양, 수분, 급준도 등에 의해서 다소의 영향을 받지만 침상전극봉은 대지전위상승이 20[kV]~30[kV]에서 일어나고 일반봉은 40[kV]~50[kV]사이에서 일어난다. 방전개시전압이 낮다는 의미는 대지전위상승의 억제효과가 크다는 의미이므로 방전개시전압이 낮을수록 써지 임피던스의 저감효과가 크다.

### 3. 결론

본 연구는 낙뢰나 개폐써지 등에 의한 써지가 전기 설비에 침입한 경우에 작용하는 접지저항인 써지 임피던스를 저감하기 위한 방법으로 지중방전현상에 의한 실증시험을 거쳐 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- 1) 지중방전 현상에 의해 대지의 저항율이나 써지 임피던스의 동적 특성이 변화한다.
- 2) 유입전류의 크기가 크고, 대지저항율이 높은 석분, 모래와 같은 지형이면 전류침입의 초기에 방전 현상이 일어나기 때문에 방전에 의한 써지 임피던스

의 저감효과는 더 크게 된다.

3) 지중방전 개시 전압은 침상전극봉의 경우 대지전위가 20[kV]~30[kV]이고 일반봉에서는 40[kV]~50[kV]에서 일어난다. 그리고 침상전극봉의 경우 써지 임피던스는 최고 60[%]이상 감소한다.

### 참 고 문 헌

- [1] 三谷 弘, "接地抵抗のセ-ジ特性", 日本 電氣評論, ISSN 0285-5860, 第71卷 臨時増刊, pp. 5~10, 1986.
- [2] Frank E. Monte, Leonid Greev, "EMTP-Based Model for Grounding System Analysis", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.9, No.4, Oct. 1995.
- [3] Carlo Mazzetti, Giuseppe M.Veca, "Impulse Behavior of Ground Electrodes", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No.9, Sep. 1983.
- [4] R. KOSZTALUK, MLOBODA and D.MUKI-EDKAR, "Experimental Study of Transient Ground Impedances" IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol.PAS-100, No.11, pp.4653~4660, November 1981.
- [5] A.C. Liew, M and Darveniza, "Dynamic model of Impulse characteristics of concentrated earths", PROC.IEE, Vol.121, No.2, pp.123~135, FEBRUARY 1974.
- [6] P. L. Blaschi, R. E. Armington rt A. E. Snowden, Impulse and 60cycle characteristic of driven round !! (A. I. E. E. Transactions, vol. 64, 1945.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 강 지 원 (姜地原)

1965년 1월 6일생. 1987년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 한국전력공사 입사. 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원.

#### 양 병 모 (梁炳模)

1969년 4월 24일생. 1995년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 한국전력공사 입사. 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 일반연구원.

#### 정 재 기 (鄭才基)

1961년 5월 3일생. 1985년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1989년 한국전력공사 입사. 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원.

#### 김 홍 필 (金洪必)

1955년 10월10일생. 1977년 한양대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경일대학교 전기공학과 부교수.