

대규모접지망의 활선상태 접지저항 측정 및 현장실증

신동혁, 류혁, 최윤중, 정재기
한빛EDS(주)

Ground Resistance Measurement of Large Sacle Grounding Mesh and Field Test

Shin Dong-hyuk, Ryu Hyuk, Choi Yun-chong, Jung Jae-ki
HANBIT EDS CO., LTD

Abstract

- 변전소와 같은 대규모의 전력설비 뿐만 아니라 통설비에서도 낙뢰의 침입시와 스위치의 동작시 과전압이 발생 될 수 있는 안전상의 문제와 설비의 보호라는 측면에서 접지계통의 중요성은 아무리 강조하여도 부족하다. 그러나 운전중에는 설비의 누설전류와 불평형전류에 의해 형성된 대지전위의 영향으로 운전중인 전력설비를 대상으로 기존의 접지저항측정방식으로 접지저항 측정이 불가능하다.

본 논문에서는 기존의 접지저항 측정방식과 측정법이 동일하면서도 설비가 운전중인 경우에도 접지저항의 측정이 가능한 방법과 측정 장치를 소개한다. 본 방법은 운전중인 전력설비에서 이미 형성된 대지전위성분을 분석하고 이와 간섭을 일으키지 않는 독립적인 주파수를 선정하는 방식을 채택하고 있다.

또한 이러한 방식의 실증을 위하여 대규모 접지망인 변전소를 대상으로 하여 건설 후 운전전과 운전후의 접지저항 측정을 시도하고 이를 비교하였다.

실증시험결과 대규모접지망의 경우에도 설비가 운용중인 경우의 접지저항값과 운용중인 경우의 접지저항값이 일치함을 실증하였다.

결과적으로 본 논문에서 제안한 방법과 장치의 경우 운전중인 대규모 접지망의 접지저항 측정이 가능하다는 것을 입증하였다.

1. 서 론

접지란 학문적인 정의에 의하면 전기설비를 전기적으로 대지와 결합하는 것을 의미한다. 이것은 전기설비의 전위를 대지와 동일한 전위로 유지하고 대지를 전기회로의 일부로서 이용한다는 것을 의미한다. 이러한 접지시스템은 2 가지의 목적을 가진다.

첫째, 대지로 유입된 전류의 원활한 방출로 전위상승을 억제하여 계통열화 및 인적 피해를 줄일 수 있다. 전류의 유입은 전력계통내부에서 야기되는 사고 또는 낙뢰와 같은 외부적인 요인에 의해 발생하는 고장전류 혹은 써지이며 이런 유입전류를 효과적으로 대지로 분산시킴으로써 기기의 절연파괴를 방지하는 기기보호측면에 기여한다. 무한대의 기준점을 '0'전위로 볼 때 접지점에서의 전위인 대지전위의 상승을 억제함으로써 계통의 열화 및 안전사고 예방에 기여하게 되는 것이다.

둘째로 확장된 접지시스템 구성이다. 특히 송배전에서 사용하는 직접접지방식의 경우에 꼭 필요한 기준전위는 대지를 '0'전위로 하므로, 양호한 접지를 통한 기준전위의 제공은 모든 전기전자 장비를 하나의 대규모 시스템이 되는 것을 가능하게 한다.

현대 사회는 산업 발전과 반도체 분야의 고속성장에 무수히 많은 통신장비와 정보화 기기들이 운영되고 있다. 이런 기기들은 급준한 써지에 매우 취약한 특성상 접지

의 중요성이 더욱 대두 되어지고 있다. 더욱 안정된 접지 여건을 유지하고 관리하는 것은 필연적인 것이라는 것이다. 안정된 접지 여건의 유지 관리를 위하여 가정이나 공장등 사용자들의 노력도 필요하지만, 전신주의 주상변압기나 송·변전소등 공급자 측면에서의 유지 관리는 더욱더 체계적이고 엄격히 이루어져야 한다. 하지만, 현재 보편적으로 사용되어 지고 있는 접지저항 측정 방법은 접지 측정 대상이 운용중인 상태에서만 측정이 가능한 방식이기 때문에 그 유지 관리 측면에서 매우 난해하다. 예를 들어 장마철에 낙뢰 사고가 잦은 변전소의 경우 낙뢰에 대한 피해를 줄이고자 접지저항을 측정하여 분석하고 원인을 규명하고 대책을 마련하기 위해서는 변전소의 운용을 정지 시키고, 접지 저항을 측정하여야 한다. 측정 시간 또한 수분에 이루어지는 것이 아니고 수 시간에서 수일이 걸릴수도 있는것이기 때문에 운용중인 송·변전소에서는 불가능한 작업이라 하겠다. 이런 문제점을 개선하기 위해서는 운용중인 상태에서도 접지저항을 측정할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 운용중인 송·변전소의 접지저항을 측정하고 검증하는데 목적을 두고 있다. 우선 운용중인 상태에서 접지저항 측정이 난해한 원인을 규명하고 운용중인 상태의 송·변전소의 접지저항을 측정할 후 운용중인 상태에서 접지저항을 측정하여 검증하였다.

2. 본 론

2.1 접지저항 측정 방법 장치

접지저항의 측정원리는 가장 기본적으로 알고 있는 오옴의 법칙이 그대로 적용된다. 접지저항 측정원리의 정의는 접지극에 전류 I가 흘렀을 때 유입점에 전위 V가 발생하고 전압/전류(V/I)비에 의해 접지저항이 계산된다. 결국 유입되는 전류와 상승되는 전위를 측정대상 접지극에서부터 영전위까지 거리별로 측정하여 계산하면 거리별 접지저항 곡선을 쉽게 얻을 수 있다. 이렇게 측정하는 방식을 전위강하 측정법이라 한다. 전위강하 측정방식은 흔히 사용하는 방식이므로 측정방식에 대한 신뢰성 검증은 필요하지 않다고 판단된다. 이 측정 방식에서 사용되는 전류는 전류원을 사용하는 것이 아니고 전압원을 사용하여 전압을 가변시키면서 접지극에 전류를 흘리고 이 전류를 CT등을 이용하여 측정한다. 이렇게 측정된 전류를 "유입전류"라 한다. 전위 상승의 기준이 되는 영전위는 원리상 무한원점을 기준으로 해야 하지만 불가능하므로 실제로는 측정대상 접지극 대각선 길이의 약 3배정도 되는 지점으로 선정하는 것이 보편적이다. 이때 무한원점이란 측정대상 접지극에 전류가 유입된다면 유입된 전류에 의해 대지전위가 생성될 것이다. 이렇게 생성된 대지전위의 영향이 미치지 않는 지역으로 정의 할 수 있다.

2.1.1 일반적인 접지저항 측정방법

일반적인 접지저항 측정방법은 측정대상 접지극의 대지전위 상승이 반드시 측정장비에서 인가되는 전류에 의해서만 존재하는 여건에서만 측정이 가능한 방식이다. 이런 조건에서 측정 하는 대표적인 방식은 전위강하측정 방법이 있고 이 방법은 무한원점에 접지극을 매설하고 전류를 인가하여 인가된 전류에 의해 발생된 전위를 무한원점에서부터 측정대상 접지극까지 거리별로 측정하여 계산하는 방식으로 정의 할 수 있다.

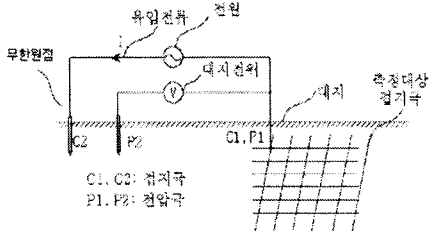


그림 1. 전형적인 접지측정회로

전위강하 측정방식은 그림 1에서 P2를 측정대상 접지극에서 무한원점까지 거리별로 이동하여 전위를 측정하는 방식이다.

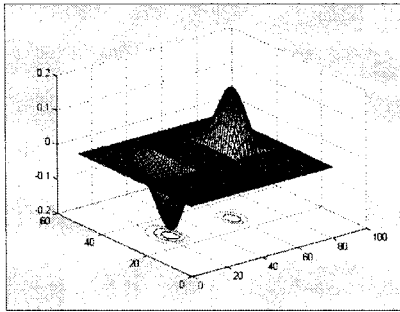


그림 2. C2에 전류를 인가하여 전류가 C1으로 귀환할 경우 생성되는 전형적인 전위 분포 곡선

그림 2의 전위 분포 곡선을 보면 C2에 전류가 인가되고 P2를 C2근처 까지 일정거리 만큼씩 이동하면서 전위를 측정한다면 그림 3과 같은 접지저항 곡선을 계산할 수 있을 것이다.

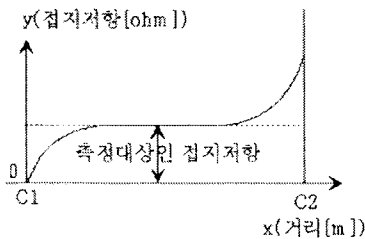


그림 3. 전형적인 접지저항 곡선

이때 C2에 전류가 인가되고 인가된 전류에 의해 측정대상 접지극에 생성된 대지전위의 영향력이 C2에 미친다면 전위 강하곡선은 그림 4와 같이 계산될 것이며 이런 접지저항 곡선은 잘못 측정되어진 것임을 알 수 있다. 따라서 C2의 거리는 측정대상 접지극 대지전위의 영향이 미치지 않는 지역으로 선정하여 측정하여야 한다.

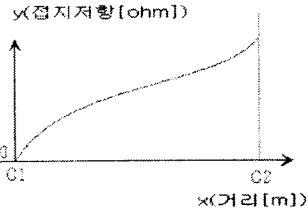


그림 4. 잘못 측정된 접지저항 곡선

그림 4의 곡선으로는 접지저항을 선정할 수 없다.

2.1.2 기존접지저항 측정 방법의 활선상태 적용시 문제점

2.1.1에서 언급한 바와 같이 일반적인 접지저항 측정방법은 측정대상 접지극에 측정장비에서 인가된 전류에 의해서만 대지전위가 생성되어야 한다. 하지만, 실제 송·변전소의 경우 전력설비 및 전원설비가 운전중에는 즉, 활선상태에서는 전력설비에 3상 불평형전류와 피뢰기, 차단기, 전력설비와 대지간의 정전용량에 의해 늘 접지극으로 전류가 흐르고 있다. 특히 변압기의 중성선에서는 변압기 포화특성에 의한 1,3,5,7,9고조파성분의 전류가 최대값기준 수십배에서 수백A에 달하는 전류가 상시로 흐르고 있어 이러한 전류 성분이 전력설비의 접지망에 상시의 대지전위 분포를 형성하고 있다. 이런 대지전위가 존재하는 경우 기존의 방법으로 접지저항을 측정하면 실제의 접지저항값보다 상당히 크게 측정된다. 실험적으로는 약 수십배 이상 크게 존재하는 것으로 계산 되었다. 그러므로 활선상태의 접지저항측정이 기존의 방법으로는 곤란하다.

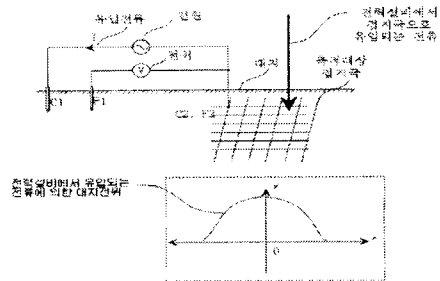


그림5. 3상 불평형 전류 및 전력설비에서 유입되는 전류에 의한 대지전위 파형

2.1.3 활선상태 접지저항 측정 방법

활선상태에서 전력설비에서 유입되는 전류에 의해 상시 존재하는 대지전위에 영향을 받지 않고 접지저항을 측정하기 위한 활선상태 접지저항 측정방식의 이론은 독립전원을 이용하면 별도의 전기법칙이 성립한다는 중첩의 원리이다. 즉, 기존의 전력설비에서 존재하는 주파수와 다른 주파수를 갖는 전원을 만들어 중첩의 원리에 의해 계산하는 방법이다. 측정 방식은 기존 접지저항 측정 방식과 동일하며 다만, 기존 전력 설비에 존재하는 주파수와 다른 주파수를 갖는 전류를 인가하여 측정하므로 활선상태에서도 정확한 접지저항의 측정이 가능하다.

2.1.4 활선상태 접지저항 측정 장치

운용중인 전력 설비의 접지저항을 측정 할 수 있는 활선상태 접지저항 측정 장치는 크게 6개의 장치으로 구성

하였다.

1. 전원장치
 - 전류극에 전류를 인가하는 장치
2. 전류측정장치
 - 전류극에 흐르는 전류를 측정하는 장치
3. 전위측정장치
 - 전압극에 전위를 측정하는 장치
4. 변환기회로
 - 측정된 전류와 전위를 Digital 신호로 변환하는 장치
5. 표시 및 제어부
 - 조작 및 출력 정보를 표시 제어하는 장치
6. 계산 알고리즘
 - 디지털 프로세서로 구성된 부분인 신호발생회로 및 접지저항, 대지고유저항을 계산알고리즘

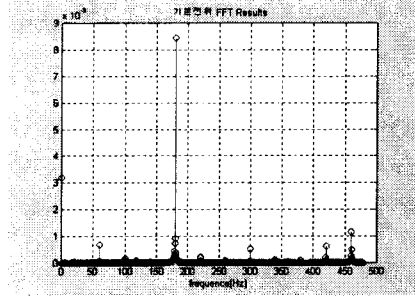


그림 7. 가압전 기본대지전위의 주파수 스펙트럼

2.2 활선 상태 접지저항 현장 실증

기존의 접지저항 측정은 일반적으로는 직류전류를 전류극으로 유입시켜 전위를 측정하는 방법을 채택하고 있어 다음과 같은 문제점을 갖고 있다.

- 기본적으로 아날로그 시스템의 계측기는 노이즈와 계측기가 흘린 전류의 전위에 의해 영향을 받는다.
 - 실제로 상시대지전위에는 상당한 직류성분을 포함하고 있어 정상적인 접지곡선을 얻을 수 없다.
- 이런 문제점이 개선된 정상적인 접지저항의 측정을 아래 같이 검증한다.

2.2.1 변전소의 가압 전·후 비교

실증의 신뢰성을 입증하기 위해 00변전소의 준공 후 가압전과 가압후를 비교 검증한다.

(1) 준공 후 가압 전 분석

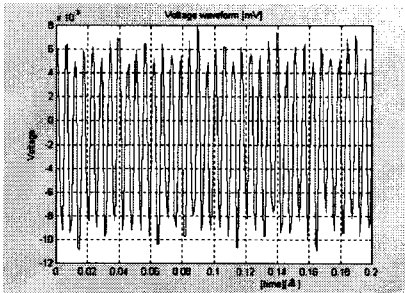


그림 6. 00변전소 가압전 기본대지전위 측정파형 (기본대지전위 9.5mV peak)

위의 그림과 같이 가압전에도 일정 전압의 대지전위가 존재하는 이유는 우리나라의 전력계통 및 전력설비 대부분이 직접접지계통으로 구성되어 있어 기본적으로 가압전이라 하더라도 접지극에는 어느 정도의 대지전위가 발생하기 때문이다. 이러한 현상 즉, 전력설비가 가압전에도 전력설비의 접지극에 대지전위가 존재하는 현상 때문에 기존의 접지저항 측정기로는 정확한 접지저항의 측정이 곤란하다.

주파수	크기peak[mV]	
DC	0.323	
60	0.68276	
180	8.3493	
300	0.53418	
420	0.0	
540	0.0	

표 1. 가압전 기본대지전위의 주파수별 크기

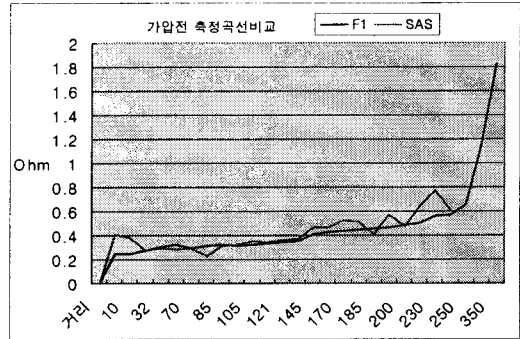


그림 8. 가압전 기존 접지저항측정기와 활선상태 접지저항 측정기로 측정된 접지저항 곡선

그림 8에서 S1은 기존 측정방식의 접지저항 측정곡선이고, F1은 활선상태 접지저항 측정기의 접지저항 곡선을 표시한 것이며, 가압전 측정시 활선상태 접지저항 측정장비의 접지저항 곡선이 더욱 전형적인 형태이며, 두 장비 모두 정상적인 접지저항 측정이 이루어 졌다고 판단 할 수 있다. 이렇게 측정되어진 접지저항값은 0.350이 다.

(2) 준공 후 가압 후 분석

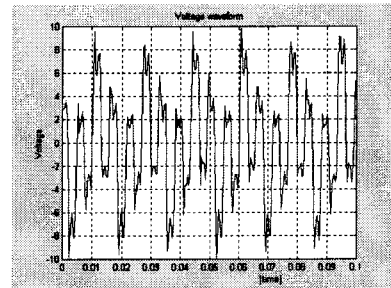


그림 9. 00변전소에서 가압 후 실측한 상시 대지전위 파형

주파수[Hz]	크기peak[V]	
DC	3.324	
60	3.1759	
180	5.2646	
300	0.17705	
420	0.4156	
540	2.0330	

표 2. 00변전소에서 가압 후 실측한 대지전위의 주파수별 분석

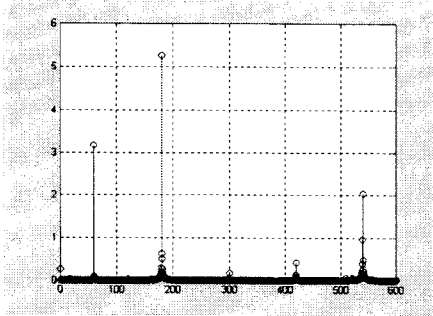


그림 10. 00변전소에서 가압 후 실측한 대지전위 주파수 스펙트럼

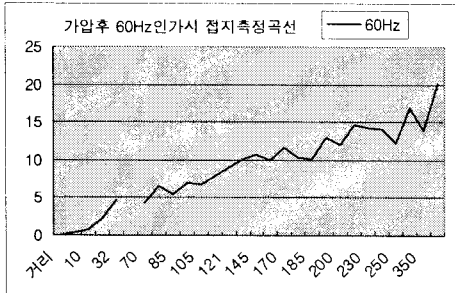


그림 11. 00변전소에서 가압 후 기존 접지저항 측정기로 측정된 접지저항 곡선

가압후 기존접지저항 측정기로 측정한 결과 접지저항 곡선을 구할 수 없으며 값이 실제 접지저항 값보다 크게 측정되었다는 것을 알 수 있다. 하지만, 활선상태 접지저항 측정기로 측정 한 결과 가압후에도 전형적인 접지저항 곡선을 구할 수 있다는 것을 그림 12에서 알 수 있다. 그림 12는 가압전과 가압후의 접지저항 곡선을 비교 분석한 파형으로 가압전과 가압후의 접지저항 곡선이 동일하게 측정되어 송·변전소의 상시 기본대지전위에 영향을 받지 않고 활선상태에서도 접지저항을 측정할 수 있다는 것이 입증 되었다.

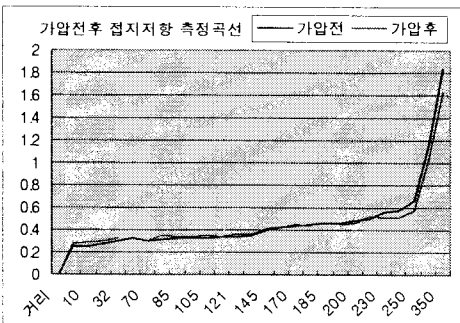


그림 12. 00변전소에서 활선상태 접지저항 측정기로 측정된 가압전·후의 접지저항 곡선

그림 12의 접지저항 곡선을 기준으로 가압전과 가압후 모두 0.35Ω으로 계산 되었다. 가압전과 가압후의 접지저항 곡선이 동일하다는 것은 활선상태 접지저항측정 방식에 대한 신뢰성을 입증 한 것이다.

2.2.2 변전소의 활선 상태 접지저항 측정

(1) 기존 접지저항 측정방식

그림 13은 00변전소를 대상으로 변전소가 운용중인 상태에서 기존의 접지저항 측정방식으로 측정한 접지저항 곡선으로 실제의 접지저항보다 훨씬 큰 값을 가지고 있으며 전형적인 접지저항곡선을 얻을 수 없다.

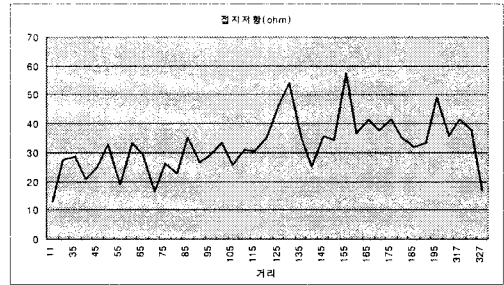


그림 13. 00변전소를 기존의 접지저항 측정방식으로 측정한 접지저항곡선

그림 13의 접지저항 곡선을 이용해서는 접지저항을 계산 할 수 없다.

(2) 활선상태 접지저항 측정방식

그림 14는 00변전소에 존재하는 주파수와 다른 주파수를 갖는 전류를 인가하여 접지저항을 측정하였기 때문에 측정된 접지저항 곡선은 이상적인 접지저항 곡선을 그린다.

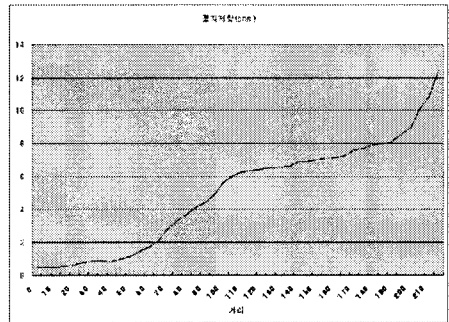


그림 14. 활선상태 접지저항 측정방식으로 측정한 접지저항 곡선

그림 14의 접지저항 곡선을 이용하여 00변전소의 접지저항은 7Ω으로 계산 되었다.

2.2.3 지중전력구의 활선 상태 접지저항 측정

측정 방식은 전위강하 측정법으로 기존 접지저항 측정 방식과 활선상태 접지저항 측정방식 모두 동일하며 그림 9와 같다. 측정 대상은 00전력 지중선로인 154 케이블선로의 ST70 지점으로 하였다.

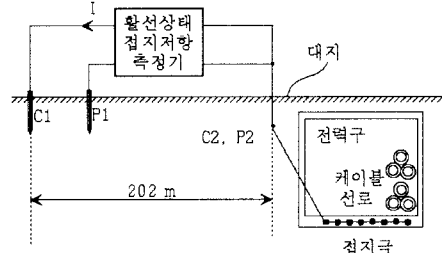


그림 15. 154kV 지중선로를 대상으로한 활선상태 접지저항 측정 회로도

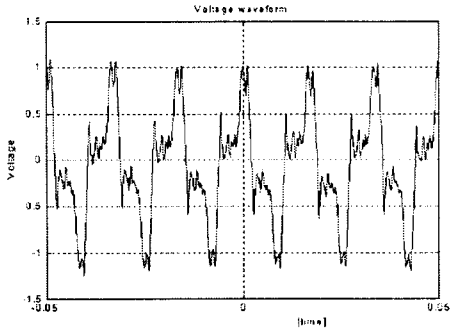


그림 16. 전력케이블의 누설전류 및 불평형전류에 의해 운전중에 상시로 발생하는 대지전위 파형

(1) 기존 접지저항 측정방식

실제로 운전중인 전력설비를 대상으로 접지저항을 측정하면 그림16과 같은 대지전위가 늘 발생한다. 이 때 전류극에 60Hz의 전원을 사용하거나 직류분의 전원을 사용하면 즉 기존 접지저항 측정방식으로 측정하면 전혀 엉뚱한 접지곡선을 얻을 수 밖에 없다. 그림 17은 60Hz의 전류원을 사용하였을 때 측정한 접지저항 곡선으로 실제의 값보다 훨씬 큰 값으로 얻어지는 것은 물론 전형적인 접지곡선을 얻을 수 없었다.

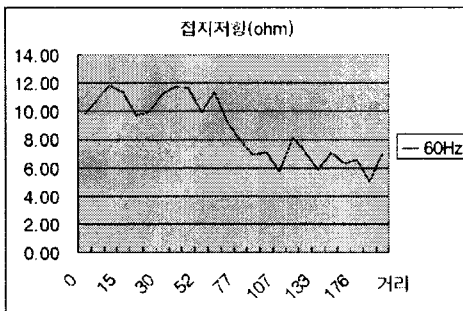


그림 17. 기존 접지저항 측정방식으로 측정한 접지저항 곡선

(2) 활선상태 접지저항 측정방식

그림 18은 활선상태 접지저항 측정방식을 이용하여 60Hz 와 다른 주파수의 전류를 인가하여 측정함 접지저항 곡선이다.

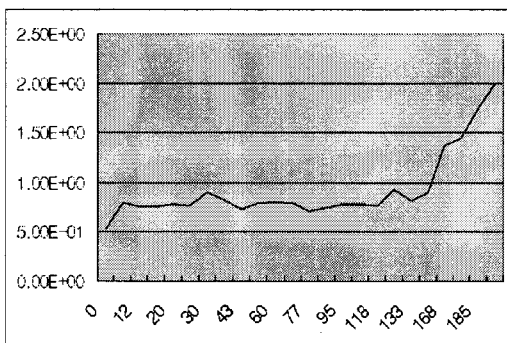


그림 18. 활선상태 접지저항 측정방식을 이용하여 측정한 접지저항 곡선

그림 18에서 알 수 있듯이 활선상태 접지저항 측정방식을 이용하여 측정한 경우 전형적인 접지곡선을 얻을 수

있다. 이렇게 얻은 지저항 값은 0.8Ω 이다.

3. 결 론

본 논문에서는 활선상태에서 대규모 메쉬망의 접지저항 측정 방법에 대하여 현장 실측과 함께 병행하여 논하였다. 활선상태의 대규모 접지망의 측정을 위해서는 전력설비에서 불평형으로 인하여 발생하는 대지전위가 접지저항 측정의 요소인 전위 측정에 영향을 미치고 있으며 이에 따라서 현존하는 다른 접지저항 측정기의 부정확하게 측정되는 경우가 많음을 알 수 있었다. 이에 대하여 활선상태에서도 접지저항 측정을 가능하도록 전기적인 중첩의 원리를 이용하여 기본적으로 대지에 존재하는 전위를 주파수 분석하고 기본대지에 포함되지 않는 주파수를 사용하여 전류를 발생시키고 전위를 측정하는 방식으로 비운전 상태의 대규모 접지망과 운전중인 대규모 접지망에서 접지저항 측정 비교하여 활선상태로 운전중인 대규모 접지저항의 측정이 가능함을 확인하였다. 또한 이러한 측정방법으로 지중선로를 대상으로 실시한 측정은 현장 여건상 도심의 중심이고, 건물 및 기타구조물이 상당히 많은 지역임에도 불구하고 측정이 가능하였다는 것은 활선상태 접지저항 측정방식의 성능 입증 및 적용 범위가 다양하여 모든 전력설비의 운전중 접지저항으로 측정을 위한 휴전등의 비효율적인 운영을 제한함으로써 보다 안정적인 전력설비의 운전에 기여하게 될 것으로 기대하고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", ANSI/IEEE Std 80-1986, 1986.
- [2] 社)日本電氣協會, 社)電氣學會, 社)電氣設備學會, "電氣設備技術基準の 解析に 導入された IEC60364(建築電氣設備)説明會資料", 東京, Jan. 2000
- [3] 高橋健彦, "圖解接地システム入門", Ohmsha, 2001.
- [4] "Electrical Installation Requirements, A Global Perspective", A report by Underwriters Laboratories Inc., Paul Duks, for the National Electrical Manufacturers Association, Rosslyn, VA, USA 1999.
- [5] 社)日本電設工業協會, "電設工業", Vol No. 539, 1997. 11.