

운전중인 철탁의 탐각 누설전류를 이용한 접지저항 측정 방법

이상오, 김현한, 장정호, 주덕윤, 이인성
한국수자원공사

Earth Ground Resistance by using Transforming Tower's Corner Leakage Current

Lee sang oh, Kim hyun han, Gang jung ho, Ju deok yun, Lee in sung
Korea Water Resources Cooperation

Abstract - 현재 일반적으로 서지 발생장치를 이용하여 측정하는 서지임피던스 측정기는 측정시 측정의 경향성 및 재현성이 상당히 불량하여 측정값을 신뢰하기 힘들고 일반적인 접지저항 측정기로는 측정값이 정확하게 측정되지 않는 문제점이 있어 탐각의 누설전류를 이용한 활선철탁 접지저항 측정기에 의한 정확한 접지저항 측정을 하는 것에 이 연구의 목적이 있음

의 접지저항 측정을 위하여는 활선 상태 접지저항 측정기가 사용되어 왔다. 하지만 이러한 활선상태 접지저항 측정시에도 일정한 전류경로가 형성되어야 한다는 조건이 있다.

1. 서 론

전력설비 및 전원설비의 접지공사가 완성되어 전력설비 및 전원설비가 운전중에는 전력설비나 전원설비를 사선상태(전압이 가압되지 않은 상태)로 하지 않고 활선상태(전압이 가압된 상태)에서는 접지저항의 측정이 불가능한 것이 일반적이다. 이러한 원인으로서는 전원이 가압된 상태 즉, 활선상태에서는 어떠한 형태 및 어떠한 원인에 의해서 전류가 대지로 유입되고, 이렇게 유입된 전류는 상시로 대지전위를 형성하고 있어, 이 대지전위가 기존의 방법으로 접지저항을 측정하는 경우 영향을 미쳐 실제의 접지저항값보다 수십배 이상 크게 측정된다. 그러므로 활선상태의 접지저항측정이 기존의 방법으로는 곤란하다. 또한 송전철탁의 경우에는 활선 상태이거나 사선상태일 경우에도 전류를 공급하기 위한 접지선의 연결이 양호한 상태이지만 전력선의 3상 불평형으로 인한 대지전위가 4곳의 탐각마다 존재하며 가공지선까지 연결된 상태라고 한다면 전류의 귀로가 접지저항 측정기에서 발생된 전류의 경로만을 이용하여 귀로하는 것이 아니고 가공지선을 통하여 귀로하는 현상에 의하여 전류의 통로가 분산되기 때문에 정확한 전류의 측정이 어렵워 정확한 접지저항 측정이 될 수 없다.

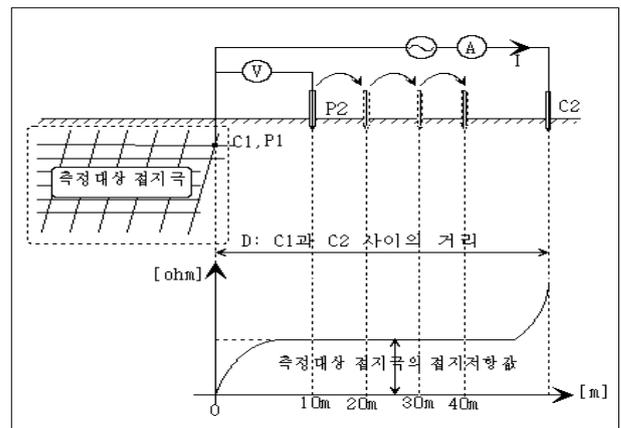
위에서 언급한 문제점을 해결하는 방법으로 송전철탁내에 3상 불평형으로 인하여 발생되어 철탁의 철근자재를 통하여 접지선에 흐르는 전류를 측정하며 접지선에서 대지로 유입되는 전류에 의하여 발생되는 대지전위를 측정하여 접지저항을 측정하는 방법을 선택하였다. 또한 송전철탁의 위치가 주로 산악지역에 위치한 점을 감안할 때 장비의 소형화와 측정의 간편성을 고려하여 개발하였다.

2. 본 론

2.1 기술개발의 내용 및 방법

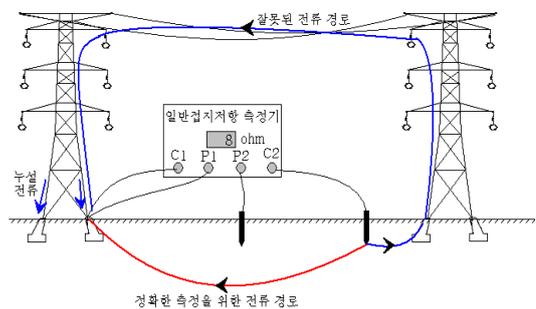
2.1.1 기존 접지저항 측정기로 측정시 문제점

운전중인 전력설비에서는 3상의 불평형전류와 피뢰기, 차단기, 전력설비와 대지간의 정전용량에 의해 늘 접지극으로 전류가 흐르고 있어 정확한 접지저항을 측정하기 곤란하다. 특히 송전 철탁의 경우에는 3상 불평형에 의한 누설전류가 상시 발생되어 철탁의 탐각의 접지를 통하여 대지로 방출되고 있고 이 누설전류에 의하여 대지전위가 상시 존재하게 된다. 또한 송전철탁은 설치되는 장소의 특성상 산악지역에 주로 위치하기 때문에 송전철탁의 상단에는 가공지선이 연결되어 낙뢰로부터 철탁의 송전선로를 보호하고 있으며 이 가공지선은 철탁의 주 자재와 연결되어 접지로 연결되어 있다. 그러하기 때문에 활선상태의 접지저항



<그림 1> 일반적인 접지저항 측정방법

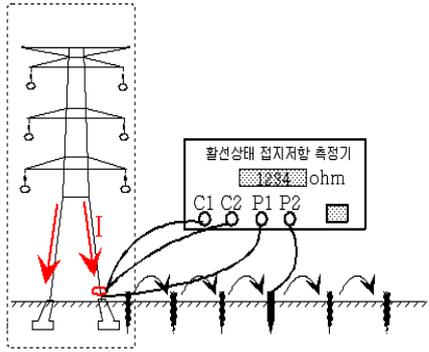
- 1) 일반적인 방법으로 송전철탁의 접지저항 측정이 가능한 경우
 - ① 가공지선이 연결되지 않은 상태 (공사준공후 측정 불가능)
 - ② 전력선이 무압인 상태 (활선상태에서는 측정이 불가능)
- 2) 일반적인 방법으로 송전철탁의 접지저항 측정이 불가능한 경우



<그림 2> 일반적인 접지저항측정으로 불가능한 경우

<그림 2>에서 보는 바와 같이 C2에서 발생시킨 전류경로는 두 개의 송전철탁의 경우 가공지선을 통하여 송전철탁마다 대지로 통하게 되므로 측정하고자 하는 대지를 통하지 않은 전류 경로가 발생되며, 여러개의 송전철탁을 감안한다면 바라지 않은 수십개의 전류경로가 발생되어 접지저항을 측정하고자하는 송전철탁의 접지저항은 올바르게 측정되지 않는다.

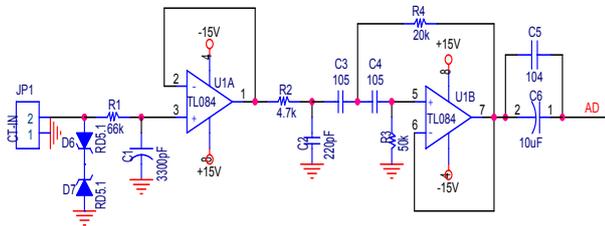
2.1.2 탐각의 누설전류를 이용한 접지저항 측정 원리



<그림 3> 활선 송전철탐 탐지 저항 측정 원리

활선으로 가압중인 송전철탐의 접지저항을 측정하는 방법으로 별도의 전류원이 필요없이 송전철탐의 탐각의 누설전류 측정하고 이 누설전류에 의하여 발생하는 대지전위를 측정하여 전압과 전류의 비를 이용하여 접지저항이 측정이 가능하도록 하였다

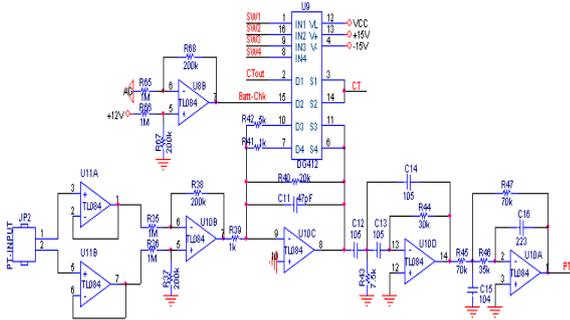
1) 전류측정 회로도



<그림 4> 전류측정 회로도

<그림 4> 회로도에서 로고스키부터 입력되는 전류의 라인에 다이오드회로를 구성하여 입력의 범위를 제한한다. 이는 고장등으로 전류의 입력이 과다하게 발생되었을 경우 큰 전류로부터 시스템 내부의 회로를 보호하는 역할을 한다. 또한 입력임피던스가 10TΩ을 가진 TL084의 OPAMP를 사용하여 전류를 전압회로로 변화하고 Hi-pass Filter를 구성하여 로고스키 코일의 미분신호를 증폭시 발생하는 DC값을 제거하였다.

2) 전압측정 회로도



<그림 5> 전압 측정 회로도

<그림 5>의 회로도에서 대지로부터 발생하는 전위를 측정할 경우 손실을 최대를 줄이기 위하여 입력되는 분의 처음단계에 입력임피던스가 무한대에 가까운 OPAMP의 Voltage Follower를 사용하여 자연전위의 손실을 최소화 하였으며, 이를 시스템의 그라운드에 맞춰 측정이 가능하도록 차동 증폭 AMP회로를 구성하였으며 아날로그스위치를 구비하여 CPU에서 증폭의 배율을 조정 가능하도록 하였다. 이로 인하여 낮은 신호입력에 대하여는 높은 증폭율로 분석을 하고 입력이 클 경우에는 자동으로 증폭을 줄여 측정의 신뢰도를 높였다.

3) 디지털 프로세서

가장 중요한 디지털 프로세서로 구성된 부분인 신호발생회로 및 접지저항 계산알고리즘이다. 이장치는 제어장치에서 선택된 주파수와 전류를 받아 이에 대응하는 정현파를 만드는 신호발생 부분과 전류극C1, C2에서부터의 전류정보와 전압극P1, P2로부터의 전압극으로부터의 전압정보를 변환기회로를 거쳐 처리하여 접지저항과 전압정보와 전류정보와의 위상차를 계산하여 표시장치에서 요구할 때 정보를 전달하는 기능을 수행한다. 이러한 기능은 전부 소프트웨어로 작성되었고 본 발명에서는 32bit프로세서인 DSP32를 사용하였다. 정확한 대지전위인 전압정보와 측정 전류정보사이의 위상을 정확히 측정하기 위해 전압정보와 전류정보를 퓨리에 변환을 통과시킨다. 이렇게 통과된 전압, 전류 정보는 각각의 주파수에 해당되는 실수부와 허수부로 나누어지고 이를 상대적인 개념으로 처리하면 오차 없는 위상을 계산할 수 있다. 본 장치의 경우 0.1degree 이하의 오차를 갖는 위상을 처리하는 기능을 갖고 있다. 위상 계산알고리즘과 주파수 분석알고리즘을 통과한 결과중 인가주파수 부분만의 전압정보와 전류정보를 처리하여 임피던스를 계산하여 표시장치에 전달될 수 있도록 메모리로 구성된 공간에 저장한다. 이렇게 함으로서 자연스럽게 소프트웨어적으로 상용주파수에 대한 영향을 완전 제거하는 기능을 수행하게 된다.

① 이산 퓨리에 변환에 의한 주파수 분석기법

전압, 및 전류파형을 분석하기 위해서 기본주파수와 고조파의 크기 및 위상분석에 필요한 해석기법으로 이산퓨리에 변환을 사용하였다. 이방법의 중요성은 디지털 하드웨어 장치 혹은 디지털 컴퓨터에 적합하게 사용할 수 있게 되므로 실제 온라인 시스템으로 진단장치를 만드는데 현실성을 배가시키고 있다. 이러한 기법이 유한 순환신호를 처리하는 가장 편리한 기법으로서 이산퓨리에 변환(DFT: Discrete Fourier Transform)을 채택하였다.

$x[n]$ 을 유한 순환신호라 한다. 즉 정수 N_1 이 존재한다.

따라서

$$x[n] = 0, 0 \leq n \leq N_1 - 1 \text{ 이외의 구간}$$

앞절에서 했던 것처럼 한 주기에 대해 주기신호 $\tilde{x}[n]$ 을 $x[n]$ 과 같다고 놓을 수 있다

특히 $N \geq N_1$ 인 정수가 주어지고 $\tilde{x}[n]$ 이 주기 N의 주기신호라면

$$\tilde{x}[n] = x[n], 0 \leq n \leq N - 1 \text{ (식1)}$$

$\tilde{x}[n]$ 퓨리에 급수 계수는 다음과 같다.

$$a_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{x}[n] e^{-jk(2\pi/N)n}$$

합(\sum)의 구간을 $\tilde{x}[n] = x[n]$ 이 되는 범위로 선정하면

$$a_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-jk(2\pi/N)n} \text{ (식2)}$$

DFT의 중요성이 몇 가지 있는데 첫째 본래의 유한순환신호는 신호의 DFT를 취하면 얻을 수 있다는 사실이다. 특히 $\tilde{x}[n]$ 의 퓨리에 급수식을 이용하면 a_k 로부터 역으로 $\tilde{x}[n]$ 을 계산할 수 있다. 즉,

$$x[n] = \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{X}(k) e^{jk(2\pi/N)n}, n = 0, 1, \dots, N - 1 \text{ (식3)}$$

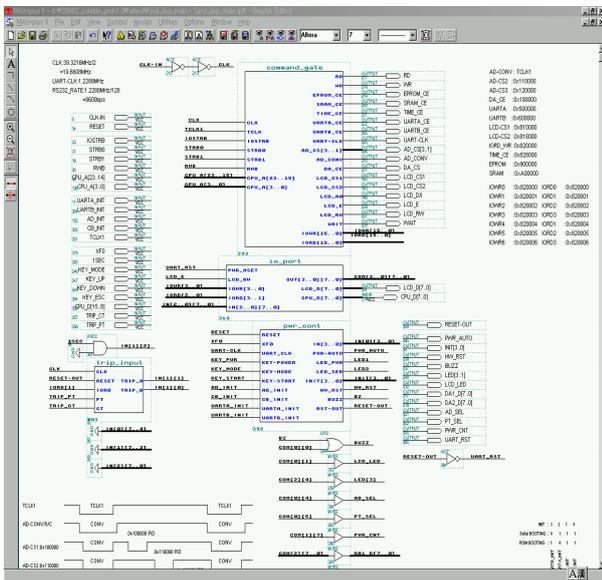
따라서 유한순환신호는 이미 가정한 영이 아닌 값의 유한집합 혹은 DFT에서 $\tilde{x}(k)$ 값의 유한집합에 의해 구별되는 것으로 생각될 수 있다. 둘째, DFT의 중요 점은 매우 빠른 알고리즘 즉, FFT (고속퓨리에 변환)을 사용해서 계산할 수 있다는 점이다. 이산퓨리에 급수와 변환에 밀접한 관계 때문에 DFT는 중요한 몇가지 성질을 만들기도 한다. 또한 FFT와 함께 이러한 성질은 두 개의 유한 순환 값의 콘볼루션 계산에 매우 크게 선택한다면 식3에 있는 N값은 고정상태가 아님을 알아야 한다.

이러한 이론적 근거에 의해서 대지전압과 유입전류를 대상으로 한 실험data를 분석하면 다음과 같은 중요한 정보를 얻을 수 있다.

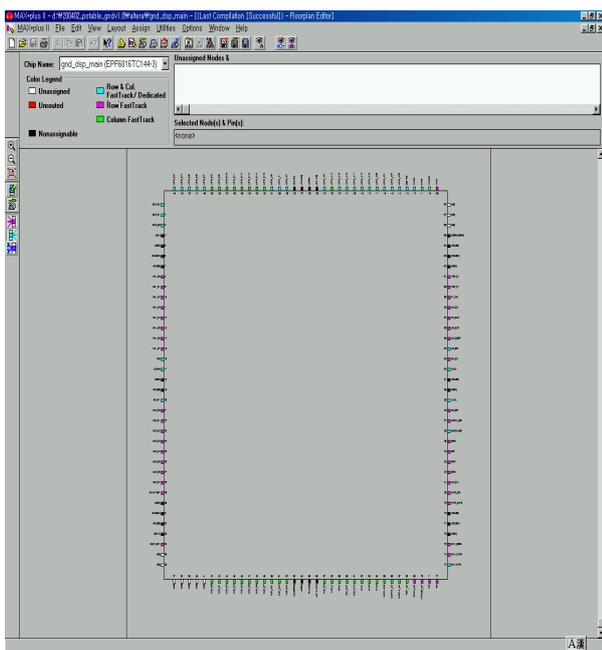
- 전압의 주파수 스펙트럼
- 전압의 상대적 위상스펙트럼
- 전류의 주파수 스펙트럼
- 전류의 상대적 위상스펙트럼
- 전압, 전류의 상대적 위상스펙트럼을 분석하여 전압전류의 위상차를 오차없이 계산할 수 있다.

4) PLD 회로

디지털 프로세서인 DSP를 사용하기 위해서는 DSP에 해당되는 메모리 번지 Setting 회로 및 BOOTING을 위한 로직회로를 구성하여야 한다. 이러한 로직회로를 구성하려면 여러 로직 IC로 구성하게 되고 그에 따라서 상당한 부피의 공간이 필요로 하게 된다. 집지저항 측정기의 부피를 최소화하고 내부사용 전원양을 줄이기 위해서 PLD(Programmable Logic Device)를 사용하여 수천개의 로직IC기능을 가진 한개의 IC로 대체하여 측정기의 부피를 최소화하였다. 또한 PLD회로에서 DSP에서 모든 sequence를 처리하지 않아도 되록 로직을 구성하여 불필요한 작업을 DSP에서 수행하지 않도록 하며 이에 따라서 DSP효율을 극대화하였다.



<그림 6 > PLD 로직회로 설계



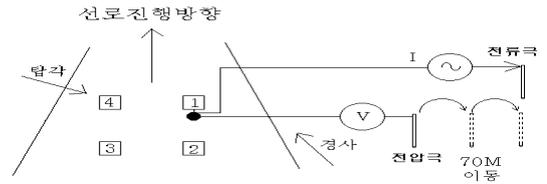
<그림 7 > PLD 로직회로 Pin assign

2.2 현장 적용 결과

2.2.1 탐각 기초공사 후 측정 결과

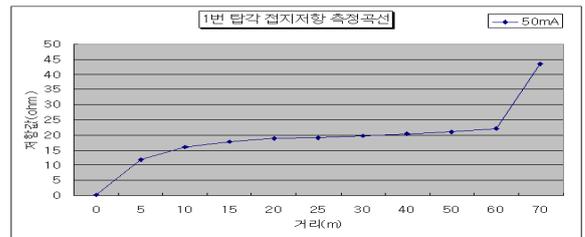


<그림 8 > 탐각 기초공사 완료 후

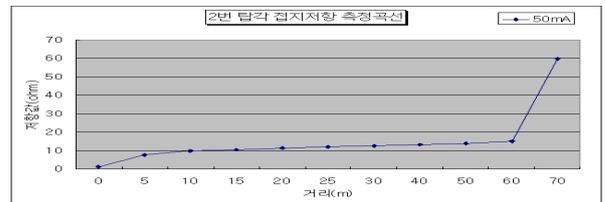


<그림 9 > 일반 접지저항기 측정 방법

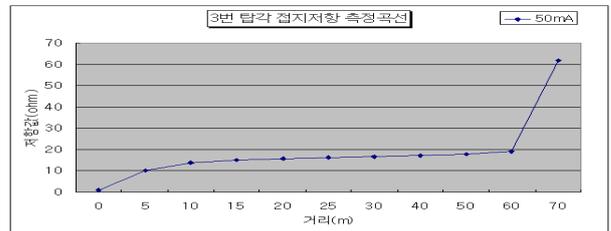
1) 1번 탐각 접지저항 값 19.7Ω



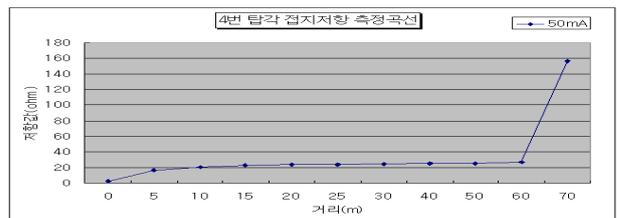
2) 2번 탐각 접지저항 값 12.29



3) 3번 탐각 접지저항 값 16.44



4) 4번 탐각 접지저항 값 24.16Ω



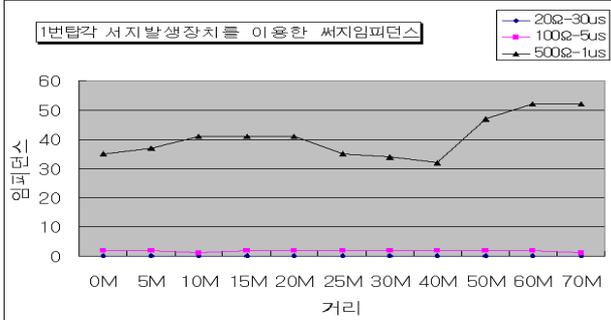
2.2.2 첩탐 모양 완성 후 측정 결과

1) 일반 접지저항기로 측정시

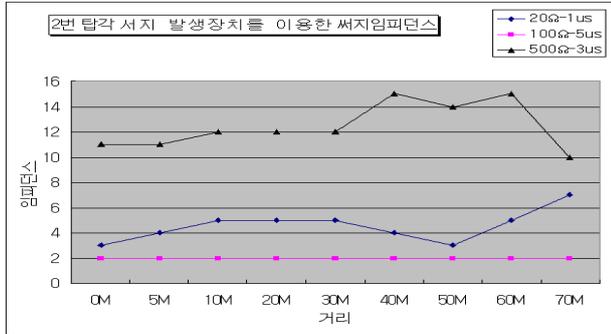
- ① 1번 탐각 접지저항 값 5.80Ω
- ② 2번 탐각 접지저항 값 5.80Ω
- ③ 3번 탐각 접지저항 값 5.80Ω
- ④ 4번 탐각 접지저항 값 5.9Ω

2) 서지 발생장치를 이용한 과도 저항 측정 : 경향성 없음

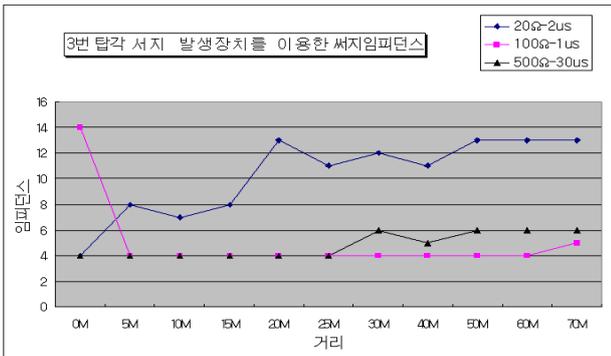
① 1번 탐각 측정



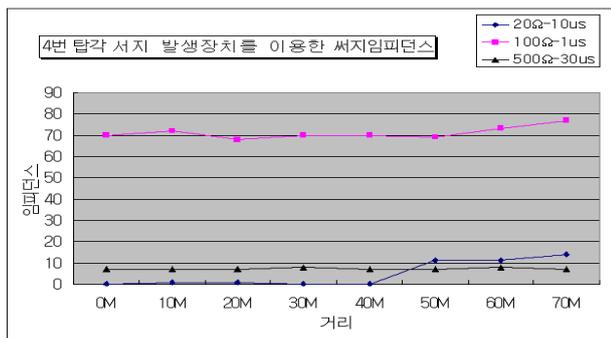
② 2번 탐각 측정



③ 3번 탐각 측정



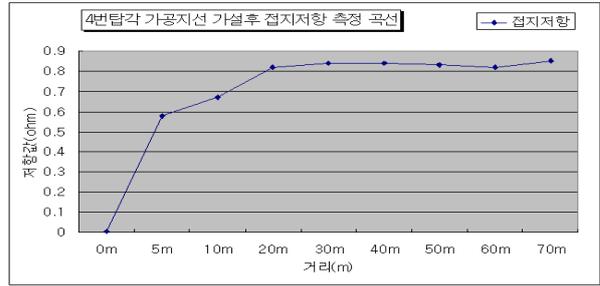
④ 4번 탐각 측정



2.2.3 첩탐 가설 및 가압 후 측정 결과

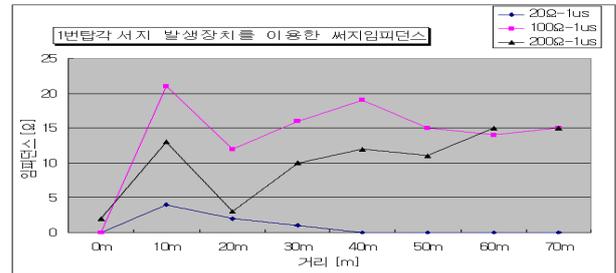
1) 일반 접지저항기로 측정시

- ① 2번 탐각 접지저항 값 0.9Ω
- ② 4번 탐각 접지저항 값 0.87Ω

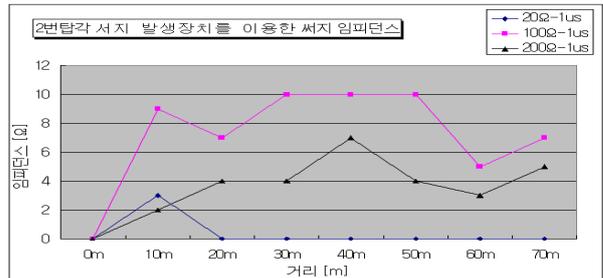


2) 서지 발생장치를 이용한 과도 저항 측정 : 경향성 없음

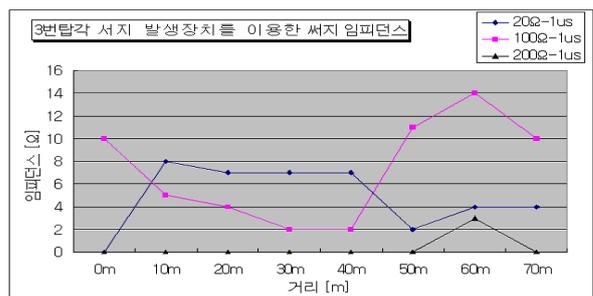
① 1번 탐각 측정



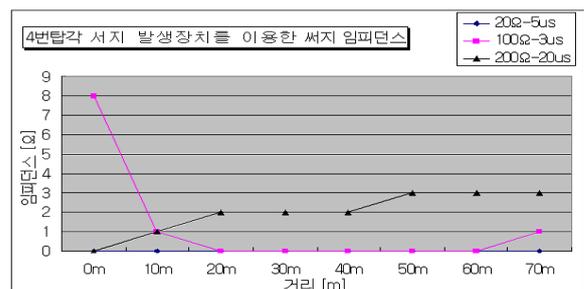
② 2번 탐각 측정



③ 3번 탐각 측정

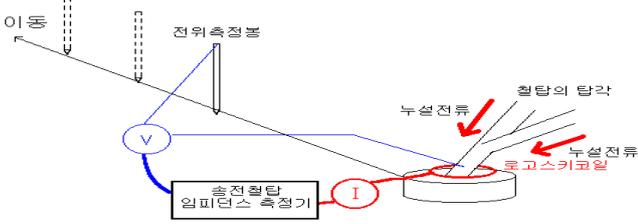


④ 4번 탐각 측정



3) 탑각의 누설전류를 이용한 접지저항 측정

제 3 장 연구 결과 및 검토

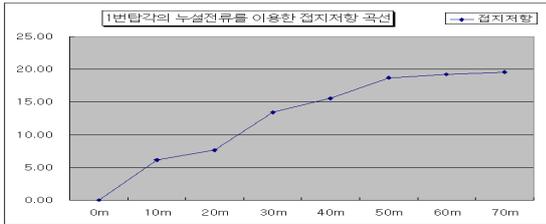


<그림 10 > 철탑의 탑각 누설전류를 이용한 측정도

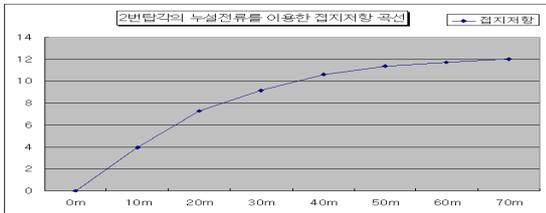


<그림 11 > 탑각 누설전류를 이용한 접지저항 측정정경

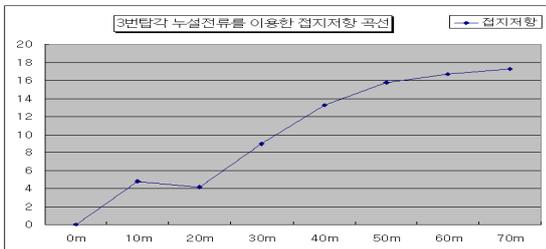
① 1번 탑각 접지저항 값 19.54Ω



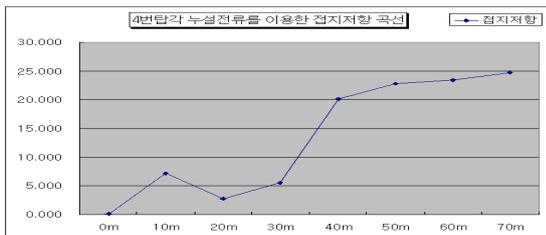
② 2번 탑각 접지저항 값 12.03Ω



③ 3번 탑각 접지저항 값 17.26Ω



④ 4번 탑각 접지저항 값 24.795Ω



3.1 측정결과 요약 및 결론

3.1.1 측정결과

측정종류	탑각번호				
	1번 탑각	2번 탑각	3번 탑각	4번 탑각	
탑각 기초공사 완료후	기존 접지저항 측정기	19.7Ω	12.29Ω	16.44Ω	24.16Ω
	서지발생장치 과도저항 측정	경향성 없음	경향성 없음	경향성 없음	경향성 없음
철탑모양 완성후	기존 접지저항 측정기	5.8Ω	5.8Ω	5.8Ω	5.9Ω
	서지발생장치 과도저항 측정	경향성 없음	경향성 없음	경향성 없음	경향성 없음
가공지선 가설후 및 가압후 (운전중 접지저항)	기존 접지저항 측정기	-	0.9Ω	-	0.87Ω
	서지발생장치 과도저항 측정	경향성 없음	경향성 없음	경향성 없음	경향성 없음
	탑각누설전류에 의한 접지저항 측정	19.54Ω	12.03Ω	17.26Ω	24.78Ω

3.1.2 결론

1) 탑각누설전류에 의한 접지저항 측정 방법으로 측정한 접지저항 측정은 운전중인 철탑에서 최초 철탑의 공사시 탑각의 기초공사를 완료한 후 각각의 탑각별 접지저항 측정이 가능하다.
 2) 운전중인 상태의 철탑 접지저항을 측정 및 관리함에 있어 최초 철탑의 공사를 진행할때 탑각별 접지저항의 크기가 다르고, 운전중인 철탑에서는 탑각별 접지저항이 다르게 작용한다. 따라서 운전중 철탑의 접지저항을 관리하고자 한다면 철탑의 탑각별로 접지저항을 관리하는 측면이 합리적일 것이다.

송전철탑의 누설전류를 이용한 접지저항 측정기가 탑각의 누설전류만으로 실제 접지되어 있는 접지저항값을 도출 가능한가의 여부에 대한 실증 시험 단계까지 모두 측정을 실시한 결과 탑각의 기초공사시에 측정된 접지저항값이 송전철탑의 공사가 모두 끝나고 운전중인 경우의 접지저항값과 거의 유사하게 일치하는 것으로 측정되었다. 또한 실제 운전중인 송전철탑에 기존의 활선 접지저항 측정기로 측정을 공사 단계별로 실시하여 참값의 접지저항 값이 측정될 수 없음을 증명하였다. 현재 철탑의 임피던스를 측정하기 위하여 서지발생장치를 이용한 '서지임피던스 측정기'를 사용하고 있지만 이 또한 일정한 경향성과 측정의 재현성이 없음을 또한 증명하였다. 따라서 운전중인 송전철탑의 접지저항을 측정하기 위해서는 탑각의 누설전류를 이용하여 철탑의 접지저항을 측정하는 방식이 바람직하다고 할 수 있을 것이다.