

클램프온식 전류비교 접지저항 측정방법

전 명 수
일렉 컨 설 팅

Earth Resistance Measurement Method by Clamp-one Type Current Comparison

M.S.JEON
ELEC-CONSULTING

Abstract - 피접지체의 접지는 전력설비의 절연과파괴,낙뢰 등으로 전압이 침입할 경우 접지전극의 접지저항이 높으면 접지전극으로 유입되는 전류와 접지저항의 곱에 해당하는 접지전극의 전위가 상승하게 되므로 설비의 파손 인축의 피해 등이 발생 할 수 있다. 따라서 접지저항은 낮은 값으로 유지하는것이 필요하고 정기적으로 측정하여 관리하도록 규정하고 있다. 대표적인 접지저항측정방법으로는 3전극법(Fall of potential method)과 Hook-on 측정법이 있다. 그러나 3전극법은 측정하고자 하는 접지전극으로부터 일정한 거리에 전류를 흘려주고 이때 대지 전위를 측정 할 수 있는 2개의 보조전극 설치가 필수적이거나 접지극과 접지선의 단자와는 설치 위치가 다르므로 접지전극의 설치점을 확인하기 곤란하고 건물내부, 지하철, 터널 등에는 보조전극의 설치가 거의 불가능하므로 처음 설치한 접지극의 접지저항측정관리에 어려움이 크다. 또한 Hook-on 측정법은 다중 접지 계통에 사용하는 방법으로 접지극이 수십 또는 수백개를 병렬로 연결한 경우 측정하고자 하는 접지극의 접지저항값에 비해 나머지 접지전극 전체의 합성저항이 무시할 수 있을 만큼 적은 경우에만 측정할 수 있으므로 건물이나 변전실 등 수개의 접지극이 설치된 경우는 사용할 수 없다. 본 연구는 보조전극을 설치하지 않고 측정하고자하는 접지전극 상호간의 전류분배 비율을 저항의 역수 비율로 하여 각각의 접지 전극의 접지저항값을 운전 중인 상태에서 간단하고 정확하게 측정할 수 있는 새로운 접지저항 측정 방법에 관한 연구이다.

1. 서 론

전력설비는 전력계통의 보호협조, 전기기기의 절연저감 또는 써지나 노이즈에 의한 전자장치가 오동작하거나 통신상태가 나빠지는 것을 방지하고 인체의 감전 보호 등을 위하여 접지를 하고 있으며, 과거에는 이들의 접지를 각각의 목적에 따라 별도의 접지를 시공하였으나 접지극간의 전위차가 발생할 경우 발생하는 기기의 절연 파괴 또는 오부동작의 원인이 되므로 모든 접지극을 common하여 등전위로 하는 방법을 채택하고 있으며 대표적인 접지저항 측정 방식인 3전극법(Fall of potential method) 접지저항 측정시 common 개소를 개방하고 측정하여야 하며 또한 보조접지극을 설치하여야 하나 건축물, 터널 등은 콘크리트 바닥에 보조극 설치가 어렵고 접지극으로부터 일정거리에 보조 전극을 봉입하여야 하나 매설된 접지전극의 위치를 알 수 없어 정확한 측정이 어렵다. 또한 간편하게 측정할 수 있는 Hook-on 측정법은 다중접지 배전계통과 같은 곳이 아니면 적용이 곤란하다. 본 연구는 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방법으로 common된 각각의 접지극에 코일을 감은 코어를 삽입하고 각각의 코일에 특정 주파수의 전압을 번갈아 가하고 각각의 접지극에 전류를 측정해서 접지저항을 측정하는 방법으로 현장 실측을 하여 기존의 Fall of potential method와 비교 실험을 하여 동일한 값을 얻었으며, 대지의 통로저항을 확인하기 위하여 전극을 250[m] 이격하여 설치하고 접지저항을 비교측정 하였다.

2. 본 론

2.1 접지저항

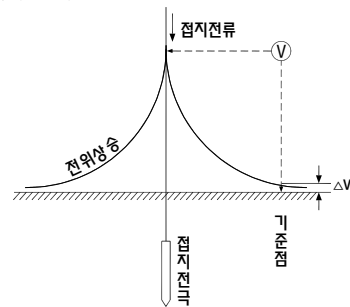
접지전극은 대지의 토양과 직접 접촉하여 토양을 확대해보면, 흙입자와 물,공기로 이루어져 있다. 접지는 금속으로된 전극과 흙입자,물,공기와 혼합물로된 성질이 다른 2가지 물체간을 전기적으로 접촉하고 있으며, 이들 사이에는 전기저항이 존재하며 이를 접지저항이라 한다.

2.1.1 접지저항의 성질

접지저항은 일반 저항체에 비해서 토양의 불확실한 인자의 영향으로 매우 복잡한 성질을 가지므로 명확하게 정량화 하는것이 어렵다. 따라서 동일 부지 내에서 같은 크기 같은 현상의 접지전극을 인접하여 각각 매설 할 경우에도 이들 접지저항이 서로 다르게 된다.

2.1.2 접지저항의 정의

어떤 접지 저항을 갖는 접지전극에 접지전류가 전위상승이 생기고 접지전극에 접지전류 $I[A]$ 가 흐르면 접지전극의 전위가 주변의 대지에 비해 $E[V]$ 만큼 높아진다. 이때 전위상승과 접지전류의비 $E/I[\Omega]$ 을 접지전극의 접지저항이라 한다.



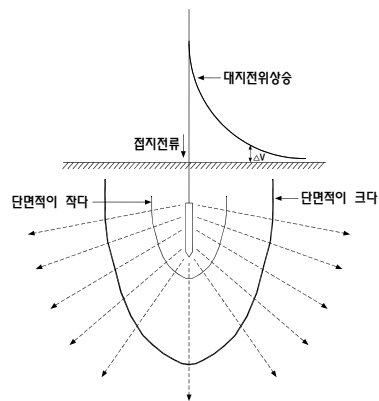
<그림 1> 전위측정의 기준점

접지전극에 전류가 흘러도 전위가 변하지 않는 무한이 먼곳을 기준점으로 하여 측정한 전위 상승값과 접지전류로부터 접지저항의 참값을 구할 수 있다. 그러나 기준점의 전위가 접지전류에 의해 ΔV 만큼 상승하면 그만큼 접지저항의 오차가 생기게 된다. <그림 1>

2.1.3 접지저항의 종류

접지저항은 다음의 3가지 저항으로 구성된다.

- ① 접지선, 접지전극의 도체 저항
 - ② 접지전극의 표면과 이것에 접하는 토양사이의 접촉저항
 - ③ 접지전극 주위의 토양이 나타내는 저항
- 이들중 ①의 도체저항은 매우 작아 무시되고 ②의 접촉저항은 토양의 관계로 케이스마이 케이스 이나 무시할 수 있는 정도의 값이며 ③의 접지전극 주위의 토양이 나타내는 저항이 접지저항을 좌우하며 이 저항을 대지 저항율이라 한다. 접지전극 근처에서는 표면적이 크지 않은 접지전극에서 접지전류가 흘러 나가기 때문에 그 전류 경로의 단면적이 적어 접지저항이 크며, 접지극에서 많이 떨어지면 대지를 통한 전기저항은 그 단면적이 매우 크기 때문에 토양의 도전성이 나빠져도 무시 할 정도이다. <그림2>

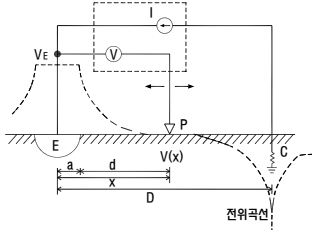


<그림 2> 전류경로의 단면적과 대지전위 상승

2.2 접지저항의 측정

2.2.1 3전극법(Fall of potential method)

가장 대표적인 방법으로 접지전극으로부터 D만큼 거리에 전류 귀환 전극 C를 시공하고 접지전극에 전류를 흘리면 접지전극 E의 주변은 “+”전위를 귀환 전극 C의 주변은 “-”전위가 되며, 두전극간 거리 D의 61.8% 되는 지점이 “0”전위가 되며, 이 지점은 무한 원점의 전위와 같으며 이점과 접지전극간의 전위차를 접지전류로 나누면 접지저항이다. 그러나 도심에서는 접지전류의 위치 확인 및 보조전극의 설치가 어려워 사용이 곤란하다.<그림3>

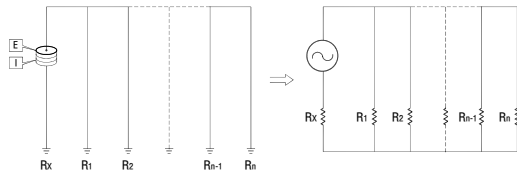


<그림 3> 3전극법

2.2.2 Hook-on 측정법

<그림4>에서 합성저항 $R = E/I = R_x + \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}}$ 이 되며 다중접지 계

통과 같이 R_x 를 제외한 R_1, R_2, \dots 의 병렬 회로수가 많을 경우 $R_x \gg \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}}$ 이 되어 $R \approx R_x$ 가 된다. 따라서 이 방법은 병렬 접지극이 적은 경우는 사용이 곤란하다.



$$E/I = R_x + \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} \quad \text{where, usually } R_x \gg \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}}$$

<그림 4> Hook-on 측정 개념도

2.2.3 클램프 온식 전류비교 측정방법

현재 사용되는 접지저항 측정방법의 단점을 개선하고 접지전극 상호간의 회로 구성을 이용하여 각 회로에 흐르는 전류비를 이용하여 접지저항을 구하는 방법이다. <그림5>와 같이 각 접지극 연결선에 코일을 감은 코어를 삽입하고 SW1, SW2, SW3를 번갈아가며 특정주파수의 전압을 가하고 각 접지극에 흐르는 전류를 측정하여 아래와 같은 연립방정식의 해 접지저항 R_1, R_2, R_3 를 구할 수 있다.

- ① $R_1 I_2 = R_3 I_3$ (SW1 투입)
- ② $R_1 I_1' = R_3 I_3'$ (SW2 투입)
- ③ $R_1 I_1'' = R_2 I_2''$ (SW3 투입)
- ④
$$\frac{E}{I_1} = R_1 + \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$$

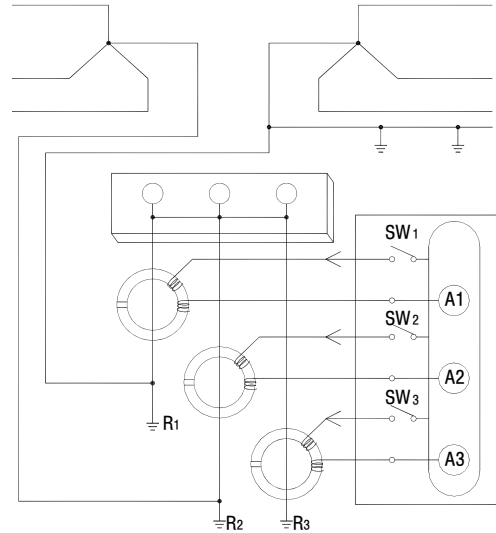
$$= R_1 \left(1 + \frac{I_1'' \times I_1'}{I_2'' \times I_3'} \right) \quad (\text{SW1 투입})$$

$$R_1 = \frac{\frac{V}{I_1}}{1 + \frac{I_1'' \times I_1'}{(I_1'' \times I_3') + (I_1' \times I_2')}}}$$

$$R_2 = R_1 \times \frac{I_1''}{I_2''}$$

$$R_3 = R_1 \times \frac{I_1'}{I_3'}$$

전극이 3개이상 있으면, 외부단자에서 접지저항 측정이 가능하며, 2개일 경우는 임의에 보조전극(수도꼭지 등)을 이용하여 측정할 수 있다. 본 방식의 장점은 첫째로 영전위점을 찾을 필요가 없다. 둘째로 등전위 접지를 하는 추세이므로 접지전극 모두를 common하여 사용하는 상태에서 측정이 가능하다. 셋째로 별도의 보조전극이 필요없다. 넷째로 전력계통의 중성선을 한 개의 접지전극으로 사용할 수 있다.



<그림 5> 클램프온식 전류비교 접지저항 측정방법

2.3 각 접지저항 측정방법의 비교측정

2.3.1 3전극법(Fall of potential method)

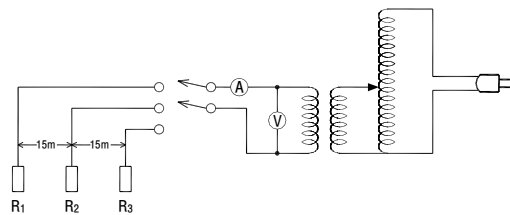
접지극으로부터 15m 거리에 전류귀로극을 봉입하고 전압보조극은 0.5m부터 14m 까지 이동하며 접지저항을 측정한 결과 10m 근처의(61.8%)지점 접지저항이 참값임을 알 수 있었다. 시험용 접지극은 1,2,3 개를 직선상에 15m 간격으로 70cm 깊이로 타봉하였다. 측정값은 <표1>과 같다.(측정장비:EXTECH 382152)

<표 1> 3전극법 측정결과

		단위: [Ω]														
거리 [m]	접지극	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	216	237	252	256	260	261	262	263	263	264	264	264	270	273	275
2	2	121	132	140	142	143	144	144	145	145	145	146	146	146	148	160
3	3	274	293	305	307	308	308	308	309	309	309	310	310	311	311	322

2.3.2 2전극법

3개의 접지전극을 15m 간격으로 직선상에 봉입한 1,2,3 접지봉 상호간에 20[V]를 가하고 전류를 측정하여 $R = \frac{V}{I}$ 로 하여 2전극간의 직렬 합성저항을 구하고 연립방정식으로 R_1, R_2, R_3 를 구하였다.(측정장비:전압계, 누설전류계, 절연변압기, 슬라이더스)



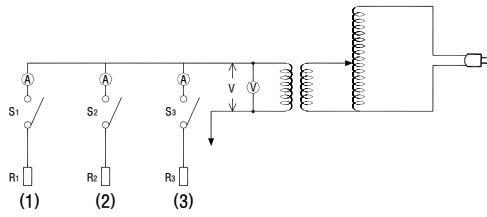
<그림 6> 2전극법 실험도

<표 2> 2전극법 측정결과

극간	전압 [V]	전류 [mA]	저항 [Ω]			
$R_1 \sim R_2$	20.3	48	$R_1 + R_2$	423	R_1	275
$R_2 \sim R_3$	20.3	42.1	$R_2 + R_3$	482	R_2	147
$R_3 \sim R_1$	20.3	33.3	$R_3 + R_1$	610	R_3	334

2.3.3 전류비교방법

1,2,3 접지봉 3개를 직선상에 15m 간격으로 70cm 깊이로 타봉하고 각 접지봉을 common하여 각 접지봉에 번갈아 전류를 공급하고 나머지 전극으로 귀환하는 전류 비율을 연립방정식으로 풀어 접지저항을 계산함. 시험방법은 <그림7>과 같이 전압계, 누설전류계, 절연변압기, 슬라이더스를 이용하여 수행함.



<그림 7> 전류비교방법 실험도

- 가. S₂, S₃ ON, S₁ 개방단 전압 인가
⇒ V, I₁, I₂, I₃ 측정
- 나. S₁, S₃ ON, S₂ 개방단 전압 인가
⇒ V', I₁', I₂', I₃' 측정
- 다. S₁, S₂ ON, S₃ 개방단 전압 인가
⇒ V'', I₁'', I₂'', I₃'' 측정

<표 3> 측정 CASE별 전류현황

100V 가압시	전압	100.2[V]	전압	100[V]	전압	100[V]
	I ₁	262.3[mA]	I ₁ '	180[mA]	I ₁ ''	82[mA]
	I ₂	180[mA]	I ₂ '	330[mA]	I ₂ ''	153.4[mA]
	I ₃	82.3[mA]	I ₃ '	150[mA]	I ₃ ''	235.4[mA]

$$R_1 = \frac{V}{\frac{I_1}{1 + \frac{I_1'' \times I_1'}{(I_1'' \times I_3') + (I_1' \times I_2'')}}} = 279[\Omega]$$

$$R_2 = R_1 \times \frac{I_1''}{I_2''} = 279 \times \frac{0.082}{0.1534} = 149$$

$$R_3 = R_1 \times \frac{I_1'}{I_3'} = 279 \times \frac{0.18}{0.15} = 335$$

2.3.4 대지통로 저항의 영향

1번 전극과 250m 이격하여 4번 전극을 타봉하고 3전극법과 2전극법으로 접지저항을 측정함.
 - 1번 전극: R₁ = 264[Ω] (3전극법)
 - 4번 전극: R₄ = 248[Ω] (3전극법)
 - 전선저항 250m: 3.5[Ω]
 - R₁ + R₄ + 전선저항 = 525[Ω] (2전극법)
 - 3전극법과 2전극법의 편차
 (525 - 3.5) - 264 + 248 = 9.5[Ω]
 오차율 = $\frac{9.5}{264 + 248} \times 100 = 1.8[\%]$
 따라서 대지의 통로저항은 “0”에 가까우므로 무시할 정도의 값을 알 수 있다.

2.3.5 각각의 측정방법 별 측정값 비교

3전극법을 기준으로 하여 2전극법과 전류비교법의 측정값을 비교 검토한 결과 4.16~8.41%의 편차가 발생하였으나 이는 측정장비 및 측정자의 오차로 판단된다.

<표 4> 측정방법별 접지저항값

측정법 \ 전극별 저항	3전극법① [Ω]	2전극법② [Ω]	전류 비교법③ [Ω]	②/①	③/①
R ₁	264	275	279	+3.65	+4.16%
R ₂	145	147	149	+1.37	+2.75%
R ₃	309	334	335	+8.09	+8.41%

3. 결 론

접지저항은 접지극과 토양의 접촉저항, 접지극 인접지역의 대지저항과 기준점까지의 대지통로 저항으로 이루어지고 이 중에서 접지극 인접지역의 대지저항에 좌우되며 대지통로 저항은 무시할 수 있음이 측정결과 확인 되었으며, 전류비교방식으로 접지저항을 측정할 값과 기존의 3전극법으로의 측정된 결과가 일치하는 것을 확인하였으며, 4.16~8.41%의 편차가 발생하는 것은 측정장비 및 측정자의 측정오차로 판단되고,

각 접지 전극의 전류를 동시에 측정하는 Clamp-on 식 전류비교 접지저항 측정장비가 개발되면 보다 정확한 측정이 가능할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] 이형수, 김성모 공역, “접지기술입문”, 동일출판사, P60~105, P208~225, 1995년 11월 출판
 [2] 최홍규, 최병숙, 송영주, “접지설비 및 설계”, 성안당, P149~181, 2005년 1월 출판
 [3] IEC 61010-1 CAT.IV 300V Pollution degree2, 2001