

접지 저항 측정에 관한 문제점

역/김대홍(해광방위 대표이사)

● 목 차 ●

1. 머리말

2. 측정기의 문제

2.1 접지 저항 직독계

2.2 기타 측정기 및 측정법

3. 보조극 위치 및 보조 배선의 문제

3.1 전류 보조극

3.2 전위 보조극

3.3 보조극의 위치 및 보조 배선

3.4 AIEE(현 IEEE의 전신)의 보조 접지극 설정법

4. 노이즈의 문제

4.1 전위 강하법의 계산에 따른 대지 전압의 제거

4.2 전위 강하법에 의한 측정 전류치의 문제

4.3 이주파(異周波)에 의한 측정

4.4 실드의 문제

5. 기 타

6. 맺음말

1. 머리말

접지 저항의 측정은 「접지」에 관한 마지막 마무리이다. 그렇지만 의외로 의문점이 남아 있으며, 이는

듯하지만 모르는 문제가 몇 가지 있다.

그 가운데 「접지」 그것을 전기 공학과 수학의 고도의 해석 수법을 구사하여 이론적으로는 깊이 연구·해석되어져 온 것에 반해 실제 현장에서는 대지의 만만치 않은 반격을 받아, 이론식과 실제는 아직도 차이가 있음을 느낀다.

접지 설계의 결과를 증명하는 것이 「측정」이지만, 이것이 또 대지의 복잡함에 기가 꺾이고, 측정 결과의 신뢰성을 논하지 않으면 안되는 경우가 적지 않은 것이다.

접지 저항의 설계치와 공사 실시 후의 측정치, 이 두 개의 차를 줄이는 일이 연구자, 기술자의 숙원이며 필자도 그 말석의 한사람이다.

접지 설계는 현시점에서는 대지 저항률의 측정을 시작으로 가능한 한 많은 조사 자료를 근거삼아 공사 방법을 취사 선택하고, 더우기 그 위에 상당한 안전율을 가미하여 목표 저항치를 결정하고 있는 것이지만 이렇게 하여 공사한 값이 설계값을 조금 넘는 경우 측정 상에 문제가 있는 것은 아닐까 하는 의문이 생기는 것은 당연하다고 생각된다.

접지 저항 측정상의 문제점에 대하여 필자가 항상 경험하고 있는 것 중에서 몇 가지를 들어 문제의 분석, 대책 등에 대하여 제안하고 싶다.

또한 쓸데없는 듯 하지만, 본문에 들어가기 전에 필요하다고 생각되는 「접지 저항의 정의」에 대해서 언급하겠다.

접지 저항이라는 것은 대지에 직접 접촉하고 있는 「도체」 그 것의 전기 저항, 도체와 대지 사이의 접촉 저항 및 대지를 전류가 확산하며 흘러 무한 원점에

이르는 경로의 대지 저항에 의한 $\sum i \cdot \rho$ 의 3자의 총합이다 라고 되어 있다. 통상은 3번째의 요소가 90%를 점유한다. 실제는 이들 저항은 많은 조건(소위 대지 파라미터)(계절, 기상 등도 포함된다)에 의해 대폭으로 변화한다. 또 전극과 대지와의 접촉 저항만을 분리하여 측정하려고 하더라도 무리이다. 따라서 실용상 「측정 대상의 접지극에 충분한 원거리에서 일정의 전류를 흘려 그 전위 상승을 통전 전류로 나눈 값」을 그 접지극의 접지 저항이라 하고 있다.

충분한 원거리라고 하는 것은 어느 정도인가, 전위 상승을 측정하는 기준점은 어디로 잡으면 좋을까 등이 문제이지만, 이들에 대해서는 접지 저항 측정상의 커다란 문제이므로 뒷장에서 접해 보기로 한다.

접지 저항 측정은 위의 정의에 준하며, 직독계기이건, 간접법(전압전류계법)이건, 측정 대상극(이하, E극이라 칭하기로 한다)에 시험 전류를 흘려 전위를 상승시키고 가상 무한 원점을 정하여 그 점에서 측정된 상승 전위와 시험 전류치에서 산출 또는 직독하는 방법으로 되고 있다. 이 때문에 시험 전류 발생 장치 및 조정 장치, 전류 주입을 위한 보조극의 시공, 배선, 가상 원점의 설정, 전극봉의 길이, 전위 보조선의 배선, 전류계, 전압계 등에 의해 구성된 직독계에서는 전류 발생과 측정기가 함께 내장되어 있는 것이지만, 이 변수들 때문에 측정기의 오차는 당연하고 그 외 측정치에 영향을 주는 요소가 적지 않으리라는 것은 예상되고 있는 것이다. 이하, 다음과 같이 구분하여 논하고 싶다.

1. 측정기의 문제
2. 보조극 위치 및 보조 배선의 문제
3. 노이즈의 문제
4. 기 타

2. 측정기의 문제

2.1 접지 저항 직독계

접지 저항 직독계에는 먼저 JIS C 1304 「접지 저항계」에 규정된 것이 있다. 전지 또는 준비한 발전기

를 내장하여(JIS는 전지식만, 단지 원리는 같은 것이므로 적용할 수 있는 곳은 이 규격에 따르도록 해설에 기록되어 있다) 시험 전류를 발생시켜 접속 단자에서 그 전류를 보조극으로 흘려, 규정 대상극의 전위 상승을 전류치로 나누어 저항치를 직독한 것으로 다음의 종류가 있다.

(1) JIS C 1304로 정해진 종류

a. 전위차계식 접지 저항계

b. 전압 강하식 접지 저항계

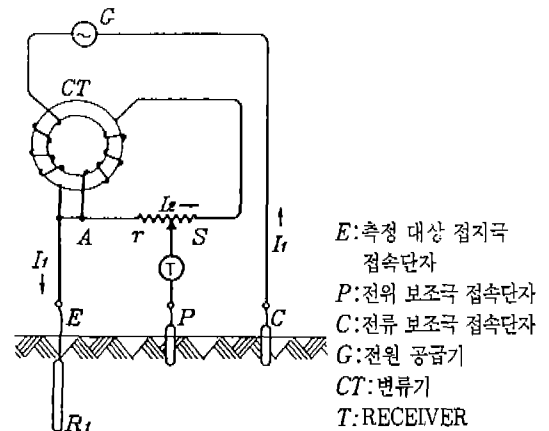
a는 영위법(평형법), b는 편위법(지시법)이며, b는 a와 같이 밸런스를 취할 필요는 없다.

이 외에 a의 원형인 시멘스식 측정 장치, 대지 저항을 측정 장치를 사용하는 방법 등이 있지만, 원리는 대부분 비슷하므로, JIS를 주체로 기술할 필요가 있다고는 하지만 그 외의 측정기도 언급한다.

a. 전위차계식 접지 저항계

JIS의 제정품에 들어가기 전에 이 방식의 원조라 생각되는 「시멘스식」이 알기 쉬우므로 시멘스식에 대하여 설명한다.

그림 1에서 준비한 자석 발전기 G에 의해 발생시킨 교류 I_1 (30Hz 정도)은 측정 대상 접지극 E극에서 대지를 통하여 되돌아온다. 전위 보조극 P극은 E, C극 중간에 EC간의 전위가 + - 반전하는 부근(가상 영전위점)에 박아 놓고, RECEIVER T를 통하여 슬라이드 저항으로 접속된다. 슬라이드 저항



<그림 1> 시멘스식 접지저항계

에는 CT의 2차 전류 I_2 가 흐르고 있다. 지금 Contact(접점) S를 조절하여 밸런스가 잡히면(T의 음이 없어진다. 또는 최소가 된다), PS간의 전류는 최소가 되고 EP간의 전위차는 E극의 전위 상승분 I_1R 만이 된다(물론 EP간의 대지를 흐르는 전압강하도 포함되어 있다(접지 저항 정의 참조)). I_1 과 I_2 는 A점에서 접속되어 있다(이것은 전위의 기준점을 만들기 위함이고, 전류 I_1, I_2 는 각각 회로(귀로)가 정해져 있기 때문에 혼류하는 것은 아니다).

CT의 변류비를 1:1이라 한다면 $I_1=I_2$ 이므로 $I_1R_1=I_2r$ 이 되기 때문에, $R_1=r$ 이다.

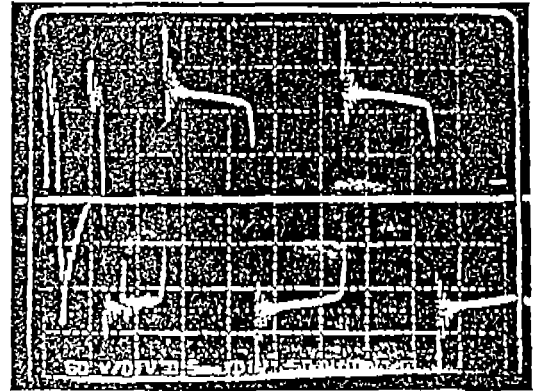
CT의 변류비 I_1/I_2 를 10, 100이라 한다면, 측정 범위를 확대할 수 있다.

JIS에 정해진 전위차계식 접지 저항계도 원리는 시멘트식과 같지만, 측정 정도를 올리기 위해서 여러 가지 기술이 도입되고 있다.

그림 2는 전위차계식 접지 저항계의 예이다.

전지는 이 예에서는 단일 건전지 4개 6V. 이것을 전원이라 하고 Multi-Vibrator 등에 의해 약 500Hz의 구형파를 발진시킨다(사진 1). 또한 증폭한 전류를 E극 및 C극간에 흘린다. EP간의 전위를 슬라이드 저항으로 평형을 잡으면, 접지 저항치를 직독할 수 있다.

통전 전류치가 불과 수 10mA~수 mA이므로 PS

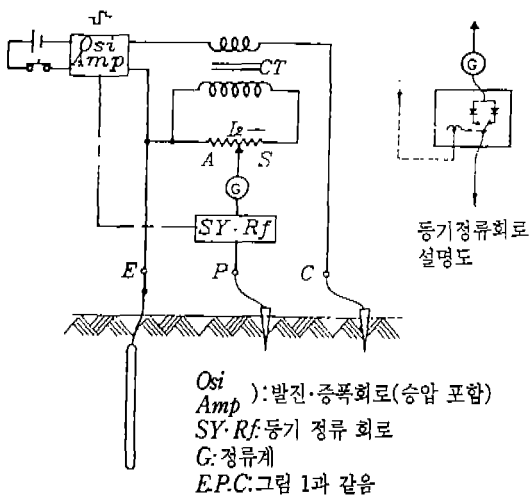


<사진 1> 접지 저항계 무부하 출력 저압 파형에 (120V, 500Hz)

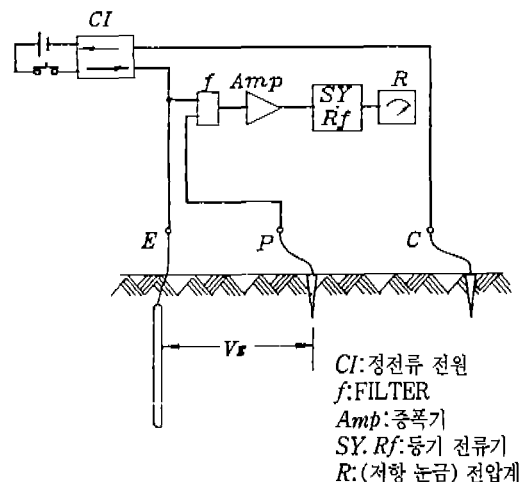
간의 전류치는 μA 정도이다. 따라서 AC 그대로는 오차가 크기 때문에 정류하여 검류계를 읽도록 되어 있다(1예에서는 $50\mu A$ 의 검류계가 쓰이고 있다). 정류는 전류 파형이 구형파에 가까우므로 그림 2의 우측 설명도와 같이 전원에서 신호를 보내 소위 「동기 정류」를 하고 있다.

b. 전압 강하식 접지 저항계

이 방식은 제조자가 「자동식」이라 이름 붙인 예도 있듯이 시험 전류 통전 즉시 지시계로 저항치가 읽히도록 되어 있는 것이다. 그림 3은 전압 강하식 접



<그림 2> 전위차계식 접지 저항계 설명도



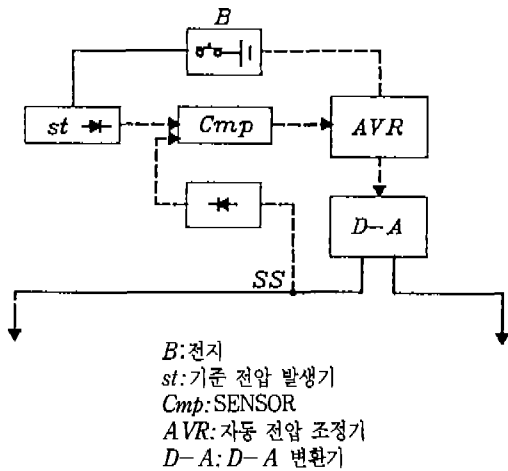
<그림 3> 전압 강하식 저항계 설명도

지 저항계의 예이다. 전원에 기준 전압 발생기와 자동 전압 조정기를 가진 출력 전류에 센서를 넣고 항상 일정 전류를 흐르게 하고 있다. 대지로 흐르는 AC는 D-A 변환기(직류-교류 변환 장치, 앞에서 말한 Multi-Vibrator도 그 한 종류이다)를 사용하여 발생시킨다. 출력 전류치는 3~5mA 정도로 표 5와 비교하면, 적은 감도 있지만, JIS의 여러 조항은 충분히 만족하고 있다. 그림 4에 정전류 발생의 BLOCK 설명도를 나타낸다. 그림 3에 나타나는 E-P간의 전압을 전압계에 유도하여 정전류로 나눈 눈금을 표시해 두면 접지 저항을 직독할 수 있는 방법이다.

(2) 문제점

JIS의 적용 범위는 규격 제정의 경과에서 전기 공사자, 사업소의 전기 담당 기술자가 평상시 사용하는 일반적인 접지 저항계가 대상이며, 현재 가장 많이 생산되고 있는 것-전지식, 최대 눈금 1000Ω 이하-이라고 규정되어 있다. 그렇다고 해서 규정이 느슨하다는 것이 아니라, 중요한 것은 적정 또는 동시에 충분하다고 생각되는 규제가 되어 있다고 생각할 수 있다.

그중 문제점이라고 생각되는 곳을 발췌한다. 자세한 것은 해당 JIS를 참조하기 바란다.



<그림 4> 정전류 전원 설명도

<표 1> 접지 저항 측정의 허용 오차

[단위:Ω]

눈금 양상	측정 범위	허용 오차
등분 눈금	0~1000	± 50
	0~100	± 5
	0~10	± 0.5
상기 이외의 눈금	200 초과~1000	± 50
	20 초과~200	± 5
	0~20	± 0.5

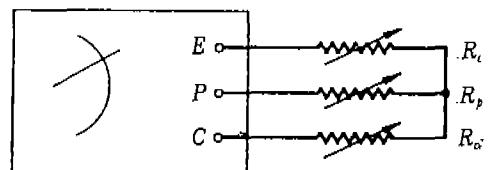
a. 접지 저항 측정치의 허용 오차

먼저 가장 중요한 점은 접지 저항 지시치의 오차이다. JIS에서는 이것을 표 1과 같이 규정하고 있다. 측정계의 저항 눈금은 일반적으로 전압강하식은 등분 눈금으로 10, 100, 1000Ω과 같은 Range 변환이 있으며, 전위차계식은 1 Range에서 단지 대수 눈금에 근접한 듯하다. 단지 전위차계식에서 거의 등분 눈금의 것도 제작되어 있다.

표 1의 단위는 Ω이므로 일반 지시계의 오차를 표로 나타내면, 5%급이 되고 여유도가 있게 된다. 어쨌든, Range가 작은 쪽에서 측정한 수치가 오차가 적고 신뢰성이 있다.

오차의 시험 판정은 JIS에서는 그림 5와 같이 실시한다.

가변 저항기를 쓰도록 되어 있지만, 고정 저항에서도 지장은 없다. 단, 등가 접지 저항 R_e 에 대해서는 오차율이 0.1Ω 정도 이상의 것이 바람직하다고 한다. 0.1Ω은 상당히 심한 듯하지만, 전자 기기 관계의 저항이라면 2~3개 조합하면 그렇게 곤란한 것은 아니다. 주지하고 있다고 생각되지만 참고로 표준 저항을 만드는 법을 언급한다. 지금 예를 들어 1.05kΩ



R_e : 등가 접지 저항
 R_1, R_2, R_3 : 등가 보조 접지 저항

<그림 5> 허용 오차 시험법

<표 2> 허용 오차의 시험점

시험 점(Ω)	허용 오차
300	± 50
100	± 5
10	± 0.5
3	± 0.5

※ 비 고: 시험점의 값이 둘 이상인 Range일 때에는 하위 Range를 선택한다.

의 저항이 있고, 이것을 $1k\Omega \pm 0.5\Omega$ 로 하고 싶다. 병렬로 한 저항을 R_x 로 하면,

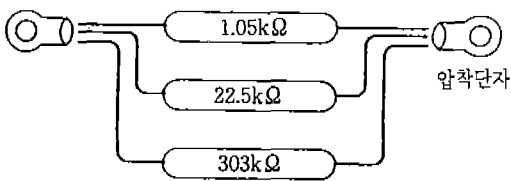
$$\frac{1.05 \times R_x}{1.05 + R_x} = 1 \text{에 의해, } R_x = 21k\Omega$$

21kΩ은 표준 품이 아니므로 현재 시중에 있는 22.5kΩ을 사용하여 병렬 계산한다면, $R = 1.00318k\Omega$ 이 되어, 목표치는 1 자릿수 내리지 않으면 안된다. 같은 방법으로 계산하여 303kΩ을 또 1개 병렬로 한다면, $R = 0.99987\Omega$ 이 된다(그림 6).

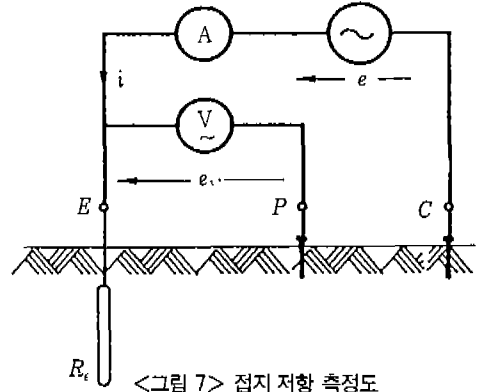
측정기의 출력 전류는 작으므로 Watt수에는 그다지 구애받지 않아도 좋지만, 온도가 상승하면 저항치가 변화하기 때문에 1~2Watt 이상 가능한 한 큰 쪽이 바람직하다. 그러면 이 측정기의 사용자가 정기적으로 점검·시험한다고 해서 어느 점을 영점 조정치로 보면 좋을까? JIS에는 특별히 규정은 아니고 [주요한 점]으로 되어 있으므로 어디라도 좋지만, 현장에서 사용될 때 측정 빈도가 큰 값이 있다면, 그 점을 중점으로 하면 좋겠다고 생각한다. 참고로, JIS에서 정해진 성능을 인정해 주는 [일본 전기 계기 검정소]에서는 표 2의 점에 대하여 시험하고 합격 기준으로 하고 있다.

b. 지전압(地電壓)의 영향

지전압이라 하는 용어는 그다지 사용되고 있지 않은 듯하지만 달리 적절한 용어가 제안되지 않았기



<그림 6> 정밀 저항의 구성

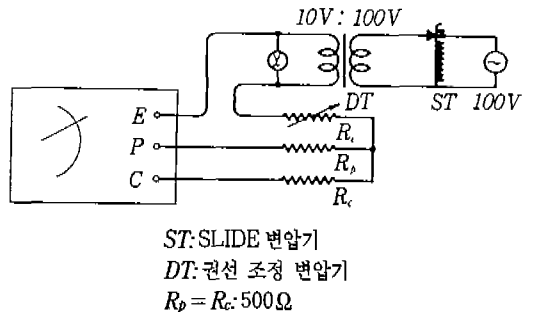


<그림 7> 접지 저항 측정도

때문에 이대로 쓰인다고 설명되어 있다.

지전압은 그림 7에 있어서 $i=0$ 이라고 한 경우에 E-P간의 전압이라 정의되어 있다. 이것이 발생하는 가장 큰 원인은 접지 도체에 접속된 기기·설비 등에서 유입하는 전류에 따른 전위 상승이지만, 경우에 따라서는 전기 철도, 방송 안테나 및 대지를 커로로 이용한 전기 시설의 영향과, 특별 고압 송전선, 고압 배전선 및 뇌에 의한 유도 전압 등도 생각할 수 있다.

측정기의 E단자에 지전압이 가해지면 당연히 미터는 흔들린다. 규격은 이 영향의 정도를 규제하고 있는 것이다. 현장에 있어서는 측정기가 발생하는 전원과 지전압과의 주파수의 간섭(이것은 필터에 따라 어느 정도 제거된다)과 위상에 따른 문제 등이 있지만, 실내 시험법으로서 JIS에서는 그림 8에 따라 방법을 정하고 있다. 시험점은 눈금치가 10Ω점에 대하여(시험점의 값이 2개 이상의 Range에 있는 경우는 하위 Range를 선택한다) R_x 를 변화하여(JIS에



ST: SLIDE 변압기
DT: 권선 조정 변압기
 $R_p = R_x = 500\Omega$

<그림 8> 지전압의 영향과 시험회로

<표 3> 지전압 영향의 허용 한도

등가 지전압(V)	지시치에 대한 백분율(%)
5	± 5
10	± 30

서는 특별히 규정하고 있지 않지만, 일본 전기 계기 검정소에서는 [임의의 3점]이라 되어 있다. 그러나 5Ω, 3Ω과 R_c이 작아진다면 시험 조건이 까다로워질 듯하다), 등가 지전압을 5V 및 10V로 하여 지전압이 있을 때, 없을 때의 값을 비교하여 표 3에 따라 판정한다.

그림 8에 있어서 1:10의 변압기를 삼입하는 것은 슬라이드 변압기(슬라이닥) 접점의 이동에 의해 임피던스가 변화하여 R_c에 영향을 주므로 이것을 경감하기 위함이다.

그러나, 지전압에 관해서는 이 측정기가 E극의 전위 상승을 측정하도록 되어 있는 것을 별도의 전위가 이 극에 발생하기 때문이라고 하여, 그 영향을 낮게 억제하는 것은 문제가 있는 것은 아닐까, 측정기의 발생 주파수를 바꾸어 필터를 사용한다면 확실히 측정시 지전압의 영향을 감소시키는 것은 가능하지만, 현장에서 발생하는 지전압은 거의 상용 주파수이며, 또 접지 저항도 상용 주파수에 대하여 동작하는 것이 많을 것이므로 지전압 발생 원인을 별도로 조사하여 대책을 강구하는 것이 선결 문제가 아닐까 하고 생각한다.

또, 측정 주파수를 바꾸더라도 영향이 남는 경우가 있고 지전압이 충분히 제거되지 않았다고 한다면, 후에 기술하는 전압, 전류계를 이용한 전위 강하법에 의한 측정을 하지 않고 표류 전위 V₀(=지전압)을 측정하여 계산에 의해 이것을 제거하는 쪽이 보다 정확을 기할 수 있기 때문은 아닐까라고 생각한다.

c. 보조 전극의 접지 저항에 대한 영향

접지 저항을 측정할 때, 가장 문제가 되는 것은 보조극의 설치가 아닐까 생각된다. 특히 그 위치, 측정 대상 접지극과 전류 보조극과의 이격, 전위 보조극의 타설위치이지만, 이 점에 대해서는 뒤에 서술하고 있다. 보조 접지극의 저항치에 대해서는 대지의 조건이 나쁜 곳에서는 때때로 문제가 되지만,

<표 4> 보조 접지 저항 영향의 허용 한도

[단위:Ω]

시험점	보조접지 저항치		
	0	2000	5000
1000	± 50	± 50	± 100
100	± 5	± 5	± 10
10	± 0.5	± 0.5	± 1

※ 비고:시험점의 값이 두 개 이상의 Range에 있는 경우는 하위 Range를 선택하는 것으로 한다.

보조 접지봉을 박아 넣을 수 있는 장소에서라면 측정에는 우선 지장은 없다고 생각해도 좋다. JIS에서는 바닷가 모래 지대, 산악지 등 대지 저항률이 높은 악조건 하에서 보조극의 접지 저항이 지시 계기의 감도 저하에 미치는 영향을 규정하고 있다. 시험은 그림 5의 접속에 있어서 R_c, R_l를 0, 2000, 5000Ω이라 할 때와, 허용 오차 시험에서 쓰인 R_c, R_l를 500Ω이라 할 때의 지시치의 차가 표 4의 값 이내로 정해져 있다.

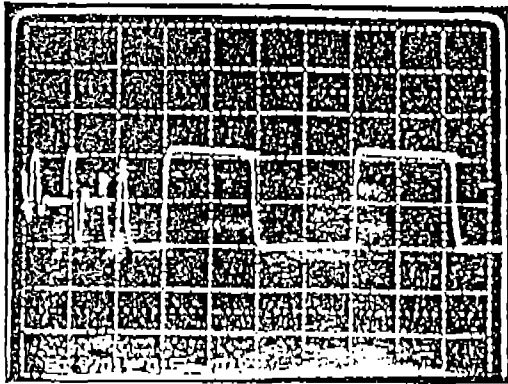
보조 접지 저항치가 0Ω이라 하는 것은 시험이라 해도 비이론적이고 현실에서 벗어난 것이므로, 1Ω이라든가 10Ω이라든가로 개정되어야 한다고 생각한다. 표 2와 비교하면 0Ω과 2000Ω에서는 2배의 허용 오차, 5000Ω에서는 3배의 허용 오차를 인정할 수 있다.

참고로 어떤 [전위차계식 접지 저항계]에 대해서, 실내에서 필자가 측정한 보조극 접지 저항과 출력 전압, 전류의 값의 예를 표 5에 표시한다. 무부하 출력 전압은 (E~C 단자간), 전술한 것과 같이 과고치가 120V 정도이지만, C단자로 접속하는 저항치에 따라 대폭으로 저하하고 있다(전류는 증가한다).

<표 5> 보조 저항치와 출력전압, 전류의 예

C극저항치 (Ω)	500	1000	2000	3000	5000	10k	20k	30k
E-C간								
전압(V)	6.5	12.5	22.5	29.5	42	62	81	94
전류(mA)	13.3	12.7	11.3	10.4	8.9	6.6	4.3	2.7

※ 주: 전압은 테스터로 측정. 전류는 실효치 환산형으로 디지털 VOLT-METER로 측정.
R_c는 5Ω, R_l는 500Ω (모두 5%급)



<사진 2> 접지 저항계 부하시 출력 전력 파형의 예
(약 55V, 120Hz, R_c 5 Ω , R_b 500 Ω , R_e 6k Ω)

경험으로는 3mA 정도까지 측정 가능한 듯하다. 더욱이 사진 1은 무부하시에서 구형파의 발진에 커다란 진동을 일으키지만, 부하를 걸면 이 진동은 없어지고 있다.

표 5의 R_c 와 R_b 의 조건에서 R_e 를 약 6k Ω 이라 할 때의 출력 전압 파형을 사진 2에 나타낸다.

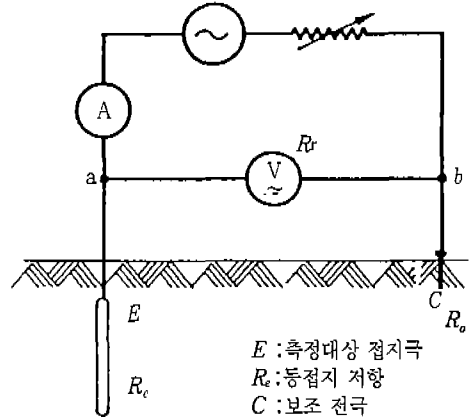
d. 전원 전압의 영향

JIS에서 측정기의 전원은 통상 JIS C 8501 (망간 건전지)에 규정되고 있는 SUM-1형, 2형 또는 3형을 사용하도록 되어 있고, 측정기에는 전지 전압의 유효 범위를 표시하는 표시기를 설치하도록 규정되어 있다.

전원 전압의 영향은 [이 표시가 하한을 지시할 때, 지시치의 허용 오차 시험을 행하더라도 표 1의 값 이하인 것]이라 되어 있으며, 전원 전압의 저하에 따른 오차는 인정할 수 없는 것이다. 바꿔 말하면, 전지 전압이 허용치를 하회한 경우는 측정치를 인정할 수 없는 것으로 되어 있다.

e. 기타

그 외에 접지 저항계가 오차를 일으키는 원인으로서는 측정기가 경사에서 측정할 경우, 주위 온도의 영향(측정기에 대한 것이다. 저항치 그것도 온도, 날씨, 계절에 크게 영향받지만 여기서는 크게 염두에 두지 않는 것으로 한다), 외부 자계의 영향에 대한 성능 등이 규정되어 있지만, 통상은 이들의 영향을 받는 일은 거의 없으리라 생각된다. 만약 측정에 있



- E : 측정대상 접지극
- R_c : 동접지 저항
- C : 보조 전극
- R_b : 동접지 저항
- R_r : 전압계의 내부저항

<그림 9> 2점간 측정법

어서 우려되는 경우에는 JIS의 해당 조항을 참조하면 좋겠다.

2.2 기타 측정기 및 측정법

(1) 2점간 측정법, 3점 측정법

이 측정법은 전기를 포함한 모든 접지 저항 측정법의 기초라 해도 좋은 기본 원리이며, 주지하고 있으리라 생각되지만 문제점은 여기에도 있으므로 이하에 간단히 언급한다.

그림 9에 있어서 E, C극간의 전압 E를 가하여 전류 I가 흘렀다고 한다면,

$$R_c + R_e = \frac{E}{I + \frac{E}{R_v}} \dots\dots\dots(1)$$

E/R_v 는 전압계에 흐르는 전류이다. $R_c + R_e \ll R_v$ 라면,

$$R_c + R_e = \frac{E}{I} \dots\dots\dots(2)$$

이고 $[R_c + R_e]$ 가 구해진다. R_c 가 R_e 에 비하여 상당히 낮은 경우—즉 제1종, 특별 제3종 접지와 같은 경우는 R_c 도 생략하여, $\approx R_e$ 라 생각하면, 이것은 안전한 방법이므로 제3종 접지 저항의 측정 등, 정기적인 보수 측정의 기준이 되기에 충분하다. 시중에 [간이

측정기)라 하여 시판되고 있는 것은 대체로 이 원리의 응용이라고 생각할 수 있다. 회로에 가변 저항기와 전류계를 붙여 1A로 측정하도록 하면 전압계의 읽기가 그대로 저항치를 나타내게 된다. 전압계에 가동 철판형 등을 써서 내부 저항이 비교적 낮은(전자식 측정기에 비교하여) 경우는 전압계로 분류하는 전류도 고려할 필요가 있다.

3점 측정법은 접지극을 또 1극 설치하고 측정 대상극 E극을 포함한 정삼각형이 되도록 배치한다(되도록 간격을 띄운다—이것은 2점법도 같으며 큰 문제가 있다. 다음장 참조).

보조극 접지 저항을 R_{c1}, R_{c2} 라 하고 측정대상극의 접지 저항을 R_c 라 한다면,

$$R_1 = R_c + R_{c1}$$

$$R_2 = R_c + R_{c2}$$

$$R_3 = R_{c1} + R_{c2}$$

를 제각기 측정한다면 연립 방정식의 해법으로

$$R_c = \frac{R_1 + R_2 - R_3}{2} \dots\dots\dots(3)$$

로서 R_c 를 구할 수 있다.

원리 그대로의 측정법이므로 극간 간격의 문제를 뺀다면, 그다지 커다란 문제점은 없지만, 저접지 저항(제1종 접지 또는 특3종 접지 등)을 측정할 때에는 그림 9에 있어서 각각의 접지극에서 전원까지의(a-E간, b-E간) 전원의 저항, 전극과 전류 배선(대형 Wire Clamp가 자주 사용된다)할 때, 전극의 녹, Clamp와 전선 접속이 느슨히 되는 일도 있으

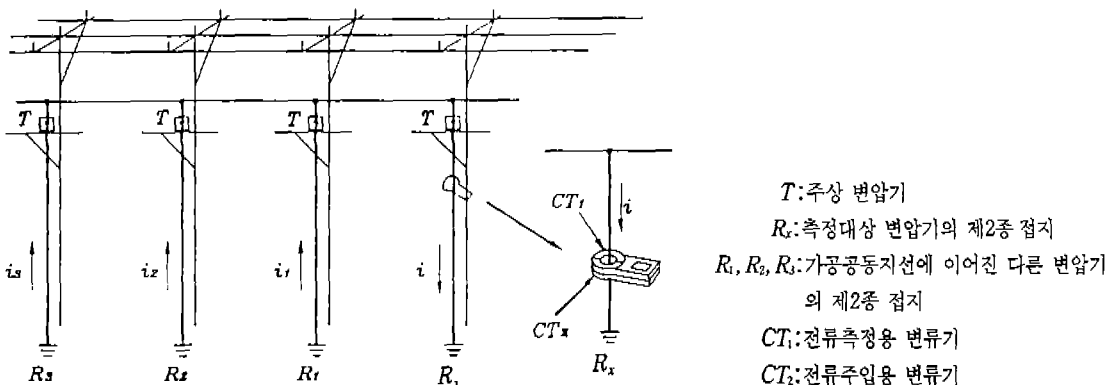
며, 현재는 다음에 기술하는 [전위강하법]이 많이 쓰이고 있다.

또, 2점 측정법의 응용으로서 어떤 전력 회사에서 채용하고 있는 [전류 주입식 접지 저항 측정기(가청)]가 있으므로 원리만을 소개한다.

전력 회사에서 시설하여 관리하고 있는 고압 배전선은 필요에 따라 변압기를 설치하여 저압으로서 수용가에 전력을 공급하고 있는 것이지만, 이 변압기에는 반드시 제2종 접지가 연결되어 이 저항치가 관리되고 있는 것이다. 이 변압기의 수는 많고 개개마다 제2종 접지 저항치를 재는 것은 상당한 노력이 필요하다고 생각된다. 변압기의 [제2종 접지]는 전기 설비 기술 기준에 규정된 범위에서 가공 공동 지선에 따라 다른 변압기의 제2종 접지선과 연결하는 것이 인정되어 있으며, 그들의 합성 접지 저항은 일반적으로 수Ω 이하 혹은 소수점 이하로 되어 있다.

이 측정기는 이것을 이용한 것이므로 그림 10에 있어서 측정 대상의 제2종 접지선에 그림과 같이 2조 연결되어 있는 분할형 CT를 연결한다. CT의 하나는 이 전류치를 검출하며, 내부 회로에서 정전압을 전류치로 나누어 저항치를 표시하는 구조로 되어 있다.

저항치는 측정 대상 접지극의 R_c 와 다른 변압기군의 제2종 접지의 병렬 저항과의 합을 지시하는 것이지만, 앞에 설명한 바와 같이 병렬 접지분은 상당히 낮은 값이므로 지시치를 그대로 R_c 라고 하더라도 안전한 편이며, 접지 저항치 관리에는 충분한 효과가 있으리라 생각된다. 측정기에 특유한 문제점



<그림 10> 전류주입식 접지저항 측정기

으로서는 분할형 CT의 철심-자기 회로의 열화가 걱정되지만, 제조자 측에서 특히 고려할 사항일 것으로 생각된다.

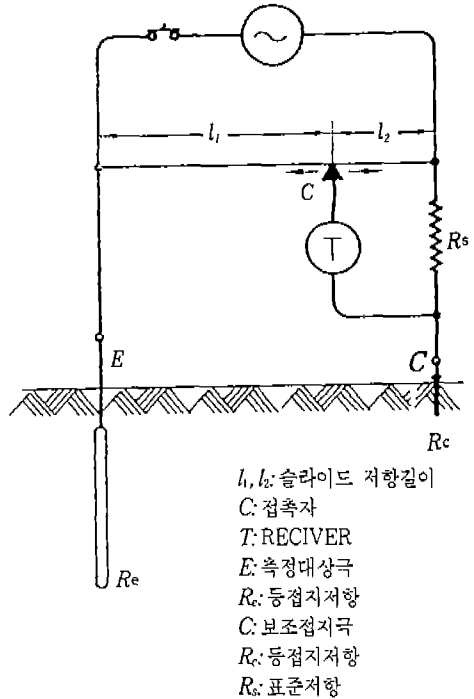
(2) Kohlrausch Bridge, Wiehert Bridge

이 측정기는 이미 수십년 전부터 제조되어 사용되고 있는 것으로, 접지 저항 측정기의 시조의 하나라고 말해도 좋지만, 현재의 측정기도 크던, 작던 이 원리를 계승하고 있어, 접지 저항 측정 기술은 이 당시부터의 문제점을 하나하나 해결해 온 역사의 축적이 되는 것이다. 기술 변천사의 의미도 포함하여 다음에 간단히 소개한다.

a. Kohlrausch Bridge(코울라우시 브리지)

접지 저항의 측정은 교류로 행해진다. 주지한 것처럼 직류로는 대지와 전극간에 화학 작용에 의해 장애가 발생하기 때문이다. 교류로 브리지를 만드는 것은 생각보다 힘든 일이며, 특히 다루는 전류가 미소할 때는 밸런스를 잡는 것이 곤란하다. Kohlrausch Bridge는 이 밸런스를 Receiver의 소리로 판정하려 하는 것이며, 당시로서는 획기적인 Idea라고 생각된다.

그림 11에 있어서 조절기 C를 좌우로 움직여 Receiver의 음이 최소가 되는 점을 발견하면 (브릿지가 밸런스 되었다), 저항선의 단위 길이당의 저항을 $r(\Omega)$ 이라 하면,



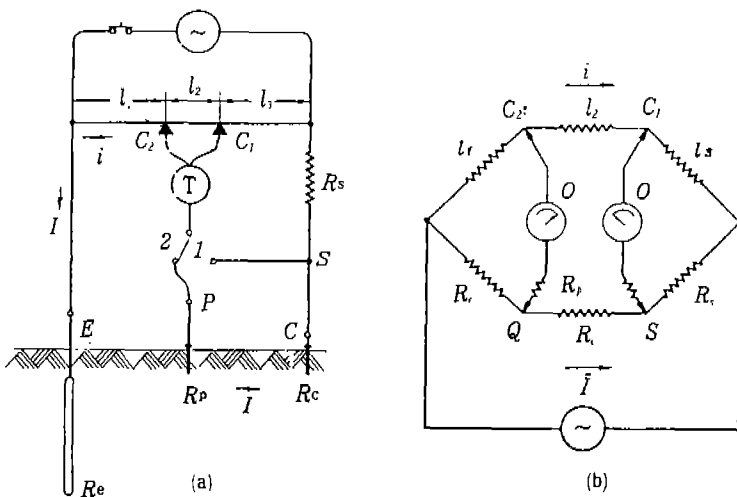
- l_1, l_2 : 슬라이드 저항길이
- C: 접촉자
- T: RECEIVER
- E: 측정대상극
- R_e : 등접지저항
- C: 보조접지극
- R_c : 등접지저항
- R_s : 표준저항

<그림 11> Kohlrausch Bridge 원리도

$$l_1 \cdot r \cdot R_s = l_2 \cdot r \cdot (R_e + R_c)$$

$$\therefore R_e + R_c = \frac{l_1}{l_2} R_s \dots\dots\dots(4)$$

이것은 앞의 2점 측정법과 같다. 보조극을 또 1극



- l_1, l_2, l_s : 슬라이드 저항길이
- C_1, C_2 : 접촉자
- T: RECEIVER
- E: 측정대상접지극
- R_e : 등접지저항
- C: 전류보조극
- R_c : 등접지저항
- R_s : 표준저항
- P: 전류보조극

<그림 12> Wiehert Bridge 원리도

만들면 3점 측정법에 따라 R_c 가 구해진다.

b. Wiehert Bridge(비이 헤르트 브리지)

이것은 Kohlrausch Bridge의 응용이라고도 말할 수 있다. 그림 2에 있어서 변환 스위치를 먼저 1쪽으로 연결하고, $R_c + R_c$ 의 밸런스를 잡는다. 이 점을 접촉 단자 C_1 의 점이라 하자. 다음으로 2의 방향으로 연결하여 이번에는 R_c 과 $R_c + R_c$ 의 밸런스를 잡는다. 접촉 단자 C_2 의 점이라 하자 (밸런스를 잡을 때는 Receiver에 전류는 흐르지 않는다. 따라서 i 와 I 는 일정하다. 즉 C_1 측에서는 l_3ri 와 R_cI 가 균일하며, C_2 측에서는 l_1ri 와 R_cI 가 균일하게 된다).

두 개의 상태를 등가 회로로 나타내면 그림 12(b)와 같이 된다. P접지극의 저항치 R_p 는 Receiver회로에 연결되기 때문에 밸런스에는 영향이 없다. 그림 12(b)에서 C_2 , Q점, 및 C_1 , S점은 동전위가 되므로, $l_1ri = R_cI$, $l_3ri = R_cI$ 에서

$$\frac{l_1}{l_3} = \frac{R_c}{R_c} \text{ 이 되고 } R_c = \frac{l_1}{l_3} R_p \dots\dots\dots (5)$$

여기서는 R_c 가 1회의 측정으로 측정된다.

이상 두 가지 측정법을 예전에 사용한 기술자도 많으리라 생각되지만, 문제라고 하자면, Buzzer, Receiver에 따른 소리의 판정이었다. Noise가 있는 경우는 역시 밸런스를 잡기 어려우며 재현성이 나쁜 경우가 적지 않았던 듯하다. 현재는 상당히 성능이 좋은 Receiver도 발표되고 있지만 미소한 소리를 분석하는 것은 역시 숙련을 요하는 것과 JIS의 측정기항에서 설명했듯이, 동기 정류한 검류계에서 상당히 밸런스가 명확히 잡히게 되었기 때문에 자취를 감춘 것이라고 생각할 수 있다.

(3) 전위강하법

이것은 다음에서 상세히 설명되기 때문에 방법에 대해서는 생략한다. 대규모 접지계(구조체 등을 포함한다)의 측정에는 현재도 많이 사용되고 있는 방법이다. 이 방법에는 (1)에서 언급했던 문제점 한가지인 측정선의 저항도 측정 대상극의 전위 측정선을 전류 주입선과 별개로 배선하는 것에 의해 해결되고 있다. 그 외에 이 방법의 문제점으로서는,

a. 보조 접지극의 위치(거리)와 보조 배선 방법

b. 지전압(표류 전위)의 처리

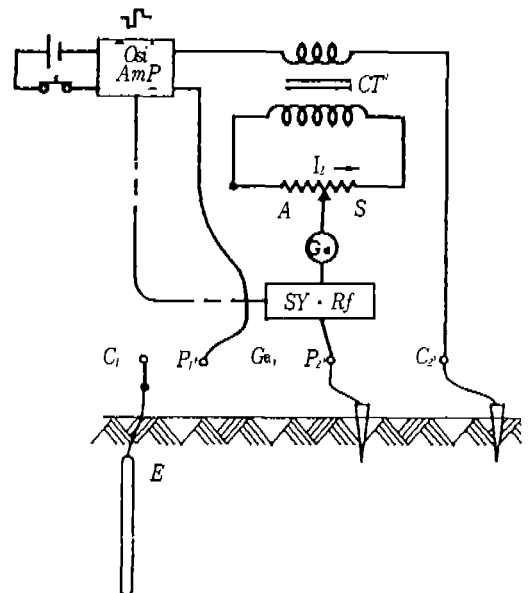
c. 측정 전류치의 크기

등을 생각할 수 있으나, 각각 커다란 문제가 있으므로 제2장 이후에서 개별적으로 접하기로 한다. 또, c는 b에 관련하므로 b에서 언급한다.

(4) 대지 저항률 측정기를 사용하는 방법

앞에서도 언급했지만, 그림 5의 E, P, C극을 사용하는 접지 저항계에서는 E단자에서(엄밀히는 내부 회로도 포함된다) 측정 대상 접지극의 연결 부분 도체 저항까지도 접지 저항으로서 측정해 버린다. 측정기를 측정 대상 접지극의 바로 그 곁에 놓을 때는 좋지만, 지하 전기질의 접지를 지상에서 측정하는 등의 경우는 이 리드선이 상당히 길어진다. 대지 저항률 측정기라면 이 문제는 용이하게 해결된다. 대지 저항률 측정기의 내부 접속 개념도를 그림 13에 나타낸다(접지 저항에 쓰이는 관계도만 발췌).

그림 2와 비교하면 원리적으로는 완전히 동일하다.



- Osi: 발진회로
- Amp: 증폭회로(송압 포함)
- SY · Rf: 동기 정류 회로
- Ga: 검류계
- G₁, G₂: 시험전류 송출 단자
- P₁, P₂: 전위차 측정용 단자
- G: 접지 단자
- S: 슬라이드 저항접점

<그림 13> 대지저항률 측정기에 위한 접지저항 측면 설명도 (회로는 접지저항 측정부분 만)

<표 6> 대지 저항률 측정기의 입출력 특성의 예

출력		전류보조극(편측) 저항치(kΩ)		0.5	1	2	3	5	10	
출력 전압 Range	600	입력 전류 DC (A)		6.5 ¹⁾	9.5	7	5.7	4.4	3	
		출력 전압 (V)	전류 전류(mA)		127 ¹⁾	290	400	440	480	525
			AC 주파수(Hz)		117 ¹⁾	145	100	75	50	30
	300	입력 전류 DC (A)		6.3	4.7	3.3	2.8	2.5	1.9	
		출력 전압 (V)	전류 전류(mA)		175	218	250	262	267	276
			AC 주파수(Hz)		172	109	62	44	28	14
	150	입력 전류 DC (A)		3.0	2.4	2.1	1.9	1.7	1.6	
		출력 전압 (V)	전류 전류(mA)		106	122	133	137	138	140
			AC 주파수(Hz)		105	60	33	23	12	8.5
				34.8	35.5	36.2	36.4	36.4	36.5	

주. 1) 출력이 저하되고, 주파수가 극단적으로 높아진다.

단, 전류 주입극 C₁, C₂와 개별로 C₁-C₂간의 임의의 위치 2점 사이의 전위차를 찾아내기 위해서 P₁, P₂ 전극이 있으며, 소위 WENNER의 4전극법에 의해 대지 저항률의 측정을 주로 행할 수 있게 되어 있다.

Manual에서는 이것을 접지 저항 측정에 사용할 때는 단자 부분에서 (C₁, P₁)을 단락하고, E극에 1본의 전선으로 배선하도록 설명되어 있지만, 전술한 오차를 막기 위해서는 그림 13에 나타내듯이 C₁, P₁극에서 E극까지 다른 선으로 배선하고, 검류계에는 그림 C₁-E간의 전위차분의 전류가 들어가지 않도록 하면 좋을 것이다.

참고로 이 측정기의 보조(등가)저항과 출력 전압 전류치를 실내에서 측정한 값을 표 6에 나타내었다.

이 측정기의 검류계는 최대 눈금 5μA로, 접지 저항을 측정하기에는 가장 정밀도가 높은 것으로 생각된다. 단, 전원 전압 12V의 전지에서 300V, 600V의 출력을 발생시키기에는 상당한 힘을 요하며, 최대치로는 9.5A에나 이르고 있다. 또, 최소치를 보더라도 표에서는 1.6A이며, 단일 건전지에서는 단시간에 건전지가 소비된다. 문제점이라 하자면 할 수 있지만, 이것은 가능한 한 대용량의 축전지 등을 사용해야

할 것이다. 역시 표의 주에 기록하였지만, 보조 전류극의 접지 저항치가 낮은(좋은) 때는 600V Range를 쓰면 오히려 출력이 감소하기(주파수도 크게 된다) 때문에 주의할 필요가 있다.

이 측정기로는 전류 보조극의 접지 저항이 1~10 kΩ 정도라면, 어떤 Range를 사용하더라도 같은 저항치를 나타내지만, 근소한 오차도 신경 쓰이는 경우는 출력 전류가 가장 많은 Range 값을 잡는 것이 좋다고 생각한다. 단 전지의 소모가 현격히 빨리 되는 것은 유의해 두어야 한다.

요컨대 접지 저항 측정에 있어서 이 측정기가 문제점이 있는 듯한 곳이 거의 없으며(외부 보조극까지의 거리, 지전압은 접지 저항 측정 전반에 걸친 문제로 이것은 별도로 한다), 현재까지는 가장 신뢰가 있다고 생각한다.

욕심을 말하면, 대지 저항률 측정에 쓰이는 경우 측정 가능 한계 Ω치(현재 최대 300Ω)를 1000Ω 정도까지 바라는 바이다. 또 JIS 규격은 아직 없으므로 오차 허용치 등에 관하여는 앞서 말한 JIS C 1304를 참고로 하여 실내에서 측정치의 오차를 개정하여 둔다면 좋으리라 생각한다. <다음호에 계속...>