

계측기의 동작원리와 취급방법 (1)

# 절연저항계

역/대한전기기사협회

## 머리말

계측기는 용도에 따라 많은 종류가 있으며 각각의 용도에 따라 구분 사용되고 있다. 이들 계측기를 사용할 때, 계측기의 동작원리, 성능, 취급방법 및 사용상의 주의를 잘 이해하고 사용하면 측정방법이나 취급방법에 잘못이 적어지리라 생각한다. 그리고 계측기의 동작원리를 이해하면 이들 계측기를 응용해서 측정범위도 넓힐 수 있을 것으로 본다.

여기서 전기기술자가 많이 사용하는 절연저항계(메가), 접지저항계(어스테스터), 회로계(테스터), 크립은 전류계, 조도계 및 소음계에 대해서 각각의 계측기 동작원리, 측정상의 주의 및 사용방법을 설명하기로 한다.

## 1. 절연저항계

전기설비, 전선로, 전기기기 등을 보수하는 데 있어 이 절연저항계로 절연저항을 측정, 고장을 조기 발견하고 재해예방에 이용하고 있다.

### 1·1 메가

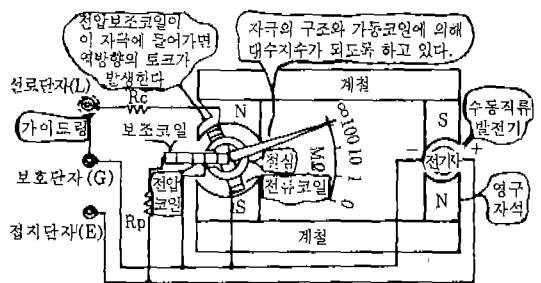
절연저항의 측정이라고 하면 바로 메가를 생각하게 된다. 이 메가란 영국의 에바세드사에서 설계, 제작된 것으로, 이 회사의 상품명이다. 절연저항의 측정이라 하면 바로 메가를 생각하지만 우리나라는 공업규격에 의해 절연저항계라고 호칭되고 있다.

영국에서 제작된 메가는 <그림 1·1>과 같이

수동의 직류발전기와 발생한 직류전압의 값을 일정하게 하기 위한 원심 클러치에 의한 기계적 속도조속기를 조합한 시험전압발생부와 가동코일비율형 계기로 구성되어 있다.

메가의 지시계가 내부구성은 <그림 1·1>에서도 알 수 있듯이 복잡한 구조로 되어 있다. 이 이유는 메가의 눈금이 거의 대수눈금이 되도록 하기 위해서이다.

왜 눈금을 대수눈금으로 할 필요가 있는가 하면 우선 절연물의 성질을 생각하여야 한다. 절연재료에는 많은 종류가 있으며, 용도에 따라 구분 사용되고 있다.



<그림 1·1> 메가의 구조

이들 절연물은 완전히 전류를 차단하는 것이 아니고 다만 도체에 비해 그 저항값이 대단히 큰 값이 되는 것이다. 따라서 절연물 양단에 전압을 가한 경우 절연물에 흐르는 전류의 값은 대단히 작다. 이 절연물에 흐르는 전류를 누설전류라고 한다.

절연저항은 절연물에 인가한 전압  $V$ 를 누설전류  $I$ 로 나눈 값,  $R=V/I$ 이다. 절연저항  $R$ 의 값은 큰 값이 되기 때문에 그 단위가  $1\Omega$ 의  $10^6$ 배인  $M\Omega$ (메가옴)이 사용된다.

절연물을 흐르는 누설전류의 크기는 동일한 절연물이라도 온도, 습도 및 절연물에 인가하는 측정전압의 값에 따라 변화한다. 또 절연저항은 절연재료의 종류에 따라 그 값이 광범위하게 분포하고 있다. 따라서 절연저항을 측정하려면 광범위한 저항값을 1대의 계측기로 측정하여야 한다. 일반적으로 사용되고 있는 등분등급의 계기나 저항계의 눈금으로는 읽는 눈금의 위치에 따라서는 그 값을 세밀하게 읽을 수가 없다.

이에 비해 <그림 1·2>에 표시하는 대수눈금을 사용하면  $0.1\sim 1M\Omega$ 의 눈금간격과  $1\sim 10M$ ,  $10\sim 100M\Omega$ 의 눈금간격은 거의 동일한 간격이 된다. 따라서 지침이 어느 위치에 가더라도 1,000배의 넓은 범위에서 동일한 세밀도로 눈금을 읽을 수가 있다.

이와 같이 대수눈금에는 큰 장점이 있다. 따라서 절연저항과 같이 광범위하게 그 값이 분포되어 있는 것의 측정에는 가장 적합한 눈금이다.

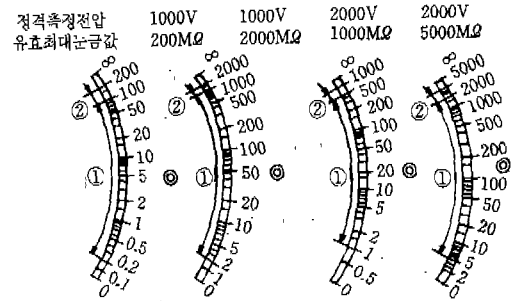
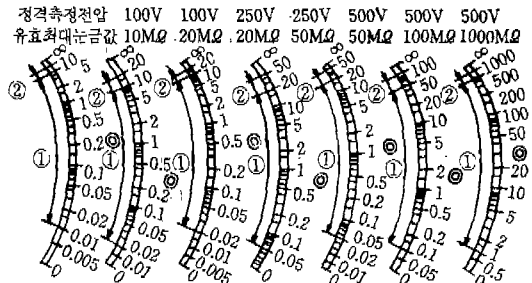
1·2 절연저항계

메가는 <그림 1·1>에 보인 바와 같이 가동 코일의 구성, 자주의 구조가 복잡하고 측정전압도 직류발전기에 의해 얻고 있다. 이와 같이 메가는 제작하는 데도, 조정하는 데도 손이 많이 간다. 특히 직류발전기로는 높은 전압을 얻는 데 전기자 및 정류자의 구조가 복잡해지고 절연저항계의 내구성이 발전기 부분 특히 정류자와 브러시 부분으로 좌우된다.

현재는 절연저항계에 새로운 기술이 도입된 것이 제조되고 있다. 절연저항계에는 발전기식과 전지식이 제조되고 있으며, 여기서 이들 각 방식의 내부구성 및 그 특징을 설명하기로 한다.

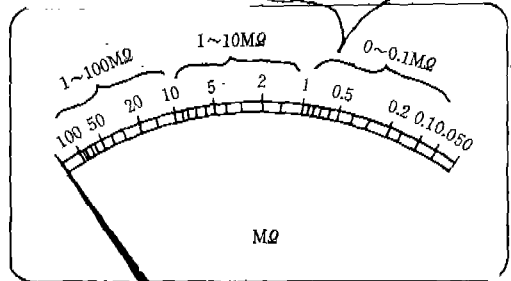
1·2·1 발전기식 절연저항계

절연저항계는 교류발전기와 반도체소자를 사용한 정류회로 및 정전압회로가 사용되고 있다. 이와 같



비고 ①는 제 1 유효측정범위 (화살표 양단의 눈금 포함)  
 ②는 제 2 유효측정범위 ㊸ 표시는 중앙눈금 표시  
 (a) 절연저항계의 눈금

대수눈금에서는 0.1~1, 1~10, 10~100MΩ 어느 위치에 지침이 가도 동일한 세밀한 값으로 읽을 수가 있다.



(b) 100MΩ의 눈금간격

<그림 1·2> 대수눈금

이 내구성에 문제가 있는 부분, 특히 정류자와 브러시 및 원심 클러치에 의한 기계적 조속기를 사용하지 않고 내구성을 높이고 있다.

또, 교류발전기를 사용하고 있기 때문에 발전기의 핸들 회전방향을 좌우 어느 방향으로 돌려도 된다.

정전압회로에 의해 핸들 회전수는 120~180rpm(1초 간에 2~3회)으로 일정한 측정전압이 발생하게 되어 있다.

지시계기도 가동코일비율형 계기에서 가동코일형 계기와 다이오드와 저항 또는 제너 다이오드와 저항에 의한 대수변환회로의 사용에 의해 눈금이 균일화되고 동작도 안정되며 기계적으로 튼튼한 절연저항계가 되었다

절연저항계에는 절연저항의 측정 이외에 교류전압을 측정할 수 있는 것도 있다. 교류전압을 측정하는데 있어 주의할 것은 교류전압 측정중에 핸들을 돌리지 않도록 주의해야 한다.

교류전압계의 정밀도는 테스터 등에 비해서 나쁘며 최대 눈금값의  $\pm 10\%$  정도이다.

**1·2·2 전지식 절연저항계**

전지식 절연저항계는 건전지로 동작하는 트랜지스터식 DC-DC 변환기를 사용하여 측정전압을 얻고 있다. 따라서 발전기식과 같이 핸들을 돌릴 필요가 없고 발전기를 사용하지 않기 때문에 경량으로 할 수가 있다. 또, 프로브에 스위치가 달린 절연저항계는 한 손으로 조작할 수도 있다.

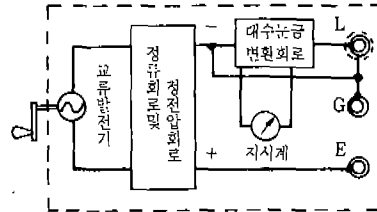
전지식 절연저항계의 지시계기도 발전기식 절연저항계와 동일하게 가동코일형 계기와 반도체소자 및 저항기를 사용한 대수변환회로를 조합하고 눈금을 대수눈금으로 하고 있다

전지식 절연저항계에는 측정전압 발생회로에 정전압회로를 사용한 것과 사용하지 않는 것이 있다. 정전압회로를 내장하고 있는 것에는 기호 K를, 정전압회로를 갖지 않은 것에는 기호 N이 사용되는데, 이 기호는 잘 보이는 곳에 표시되어 있다.

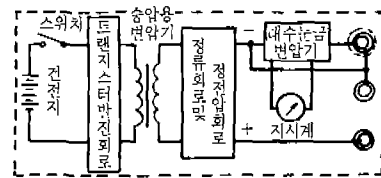
그리고 또 발전기식 절연저항계와 동일하게 상용주파수의 교류전압을 측정할 수 있는 절연저항계도 있다. 이들 절연저항계의 내부구성을 <그림 1·3>에 든다

**1·3 절연저항계의 규격**

절연저항계의 종류는 그 정격측정전압과 유효최대



(a) 발전기 절연저항계의 내부구성



(b) 전지식 절연저항계 내부구조

<그림 1·3> 절연저항계의 내부 구성

눈금값으로 분류되며, 그 종류는 <표 1·1>과 같이 11종류이다.

이와 같이 절연저항계에는 각종 측정전압과 유효최대눈금값의 것이 만들어지고 있다. 이 이유는 동일한 절연물이라도 인가하는 측정전압의 값에 따라 절연물의 저항값이 달라진다. 따라서 절연물의 절연이 낮은 쪽에서 그 값을 읽게 된다.

절연저항계의 측정전압은 그 지침의 지시가 눈금이 작은 쪽이 되면 측정전압은 <그림 1·4>와 같이 낮은 값이 된다. 따라서 절연저항 측정은 눈금이 큰 저항을 측정하는 데는 지정된 측정전압으로 측정하거나 또는 측정된 측정전압의 값을 명시하여야 한다.

또, 동일한 측정전압의 것이라도 유효최대눈금값이 상이한 종류의 것이 제조되고 있다. 이것은 절연물에도 많은 종류가 있고 그 절연저항값도 큰 것으로부터 작은 것까지 광범위하다.

가령 유효최대눈금값이 큰 절연저항계로 절연저항의 값이 작은 절연물을 측정하면 절연저항계의 눈금

<표 1·1> 절연저항계의 종류 및 정격

정격측정전압 (V)	유효최대눈금 (MΩ)	유효측정범위 (MΩ)	중앙눈금 (MΩ)
100	10	0.01~10	0.2
	20	0.02~20	0.5
250	20	0.02~20	0.5
	50	0.05~50	1
500	50	0.05~50	1
	100	0.1~100	2
1000	1000	1~1000	20
	200	0.2~200	5
2000	2000	2~2000	50
	1000	1~1000	20
	5000	5~5000	100

<표 1·2> 절연저항계의 정격측정전압에 의한 사용례

정격측정 전압[V]	주요 사용례
100	저압배전선 및 저압피뢰기를 갖는 통신회로 및 통신기, 수신기 등의 절연시험
250	통신회로, 통신기기 및 선박 등에 부설되어 있는 저압선의 절연시험
500	일반전기설비의 절연시험 따라서 가전제품 및 옥내배선의 절연시험에는 500V의 절연저항계를 사용한다.
1000 2000	상사 사용전압이 높은 것, 예를 들면 전력용 케이블, 고전압용 전기기기 및 고전압용 사용하는 통신기 등의 절연시험

500V의 절연저항계를 사용한다.

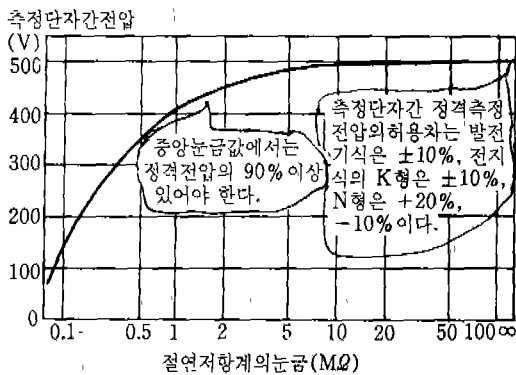
1·4 정격측정전압

절연저항계의 정격측정전압이란 측정단자, 즉 선로단자(L)와 접지단자(E)를 개방했을 때의 측정단자간의 전압이다. 이 정격측정전압은 절연저항계에 표시되어 있다.

측정단자간 정격측정전압의 허용차는 발전기식의 것에서는 핸들 회전수를 120rpm(표준)으로 돌린 경우 정격측정전압의 ±10%, 전지식 절연저항계에서는 정전압회로를 내장한 K형의 것은 정격측정전압의 ±10%, 또한 정전압회로를 내장하고 있지 않은 N형은 정격측정전압의 +20%, -10% 이내로 규정되어 있다.

그러나 이들 정격측정전압은 측정단자간을 개방한 경우의 전압이고 실제로 절연물을 접촉하여 절연저항을 측정할 때는 <그림 1·4>와 같이 절연저항의 크기에 따라 정격측정전압의 값이 변화한다.

규격에는 중앙눈금값에 있어서 측정단자간 전압은 정격측정전압의 90% 이상이어야 한다고 되어 있다. 또, <그림 1·4>에서도 알 수 있듯이 절연저항의 값이 낮고 절연저항계의 눈금값이 낮은 곳에서 절연저항을 측정하면 절연물에 인가되는 측정전압의 값이 낮아져 그리 좋지 않으며, 절연물의 절연저항값에 적합한 유효최대눈금값의 절연저항계를 선택하지



<그림 1·4> 절연저항계의 측정단자전압과 눈금의 관계 (500V 100MΩ의 경우)

쪽으로 측정하면 측정전압도 저하하지 않고 바른 측정을 할 수 있다. 이와 같은 이유로 유효최대눈금값이 상이한 절연저항계가 준비되어 있다. 따라서 피 측정물의 절연저항값 측정에 가장 적합한 유효최대 눈금값의 절연저항계를 선택하도록 한다.

그리고 절연저항계의 정격측정전압별에 따른 주요 사용례는 <표 1·2>와 같다. 따라서 전기제품이나 옥내배선 등의 절연저항측정에는 정격측정전압이

않으면 안된다

1.5 유효측정범위

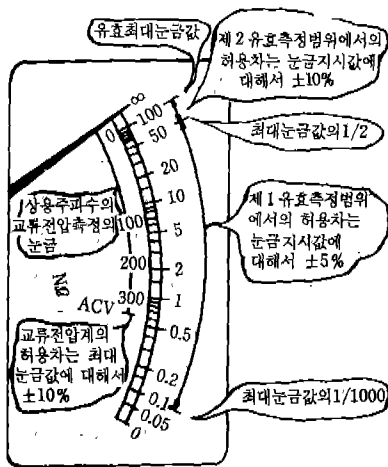
유효최대눈금값이란 유효측정범위에 있어서 무한대 눈금값에 가장 가까운 눈금의 값으로, 절연저항계에 표시된 값을 말한다. 그리고 유효측정범위는 절연저항계의 측정범위중 다음에 표시하는 규격의 정밀도가 보증되는 범위를 말하며, 그 범위는 유효최대눈금값의 1/1000에서 1/2에 가까운 1,2,5 또는 10의 정수 몇 수배의 저항값까지를 제 1 유효측정범위, 그 값을 초과하여 유효최대눈금값까지를 제 2 유효측정범위라고 한다.

이들 절연저항계의 허용차는 눈금지시값에 대해 제 1 유효측정범위에 있어서는 ±5%, 제 2 유효측정범위에 있어서는 ±10%로 정해져 있다.

500V, 100MΩ의 절연저항계를 예로 하여 이상과 같은 관계를 들면 <그림 1.5>와 같이 된다.

1.6 단자

절연저항계에는 선로단자 L(LINE) 및 접지단자 E(EARTH)가 있다. 선로단자 L은 측정전압발생용

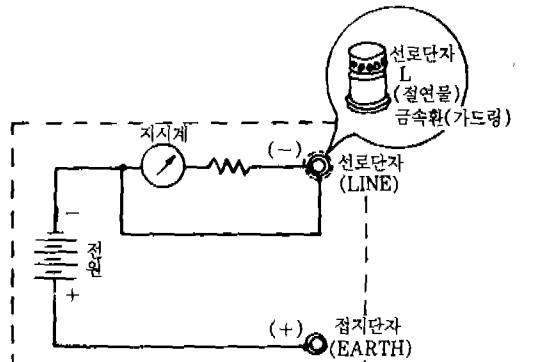


<그림 1.5> 절연저항계의 측정값에 대한 허용차

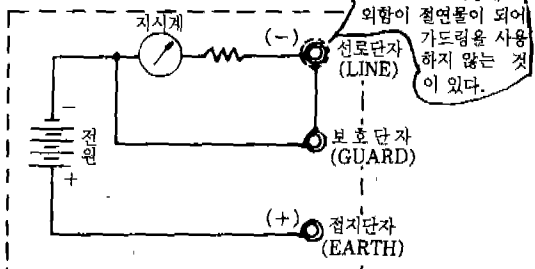
전원의 “-”극측에, 접지단자 E는 “+”극측에 접속되어 있다.

선로단자에는 원칙적으로 전원의 “-”극측에 접속된 보호환을 설치하여야 한다. 또한 최대유효눈금값이 1000MΩ 이상인 것에는 보호단자 G(GUARD)를 설치하고 이것을 전원의 “-”극측에 접속한다.

이 보호환 및 보호단자의 역할은 <그림 1.6>과 같이 지시계기 앞에서 전원의 “-”극측에 직접 접속되어 있다. 이것은 절연물 표면을 흐르는 누설전류나 절연저항계 본체의 표면을 흘러 선로단자에 직접 유입하려는 누설전류를 지시계기를 통과시키지 않고 직접 전원에 흘러 표면누설전류에 의한 영향을 제거하고 있다.



(a) 최대유효 눈금값이 1000MΩ 이하인 것



(b) 최대유효 눈금값이 1000MΩ 이상인 것

<그림 1.6> 접지저항계의 단자

**1.7 측정상의 주의**

절연저항계를 사용하여 실제로 피측정물의 절연저항을 측정하는 데 있어서의 주의사항과 절연저항계 각 단자의 사용상의 주의사항에 대해서 기술한다.

**1.7.1 측정단자에서의 접속**

피측정물의 일단이 접지되어 있는 경우 절연저항계의 측정단자(L)는 비접지측에, 접지단자(E)는 반드시 접지측에 접속하여 절연저항을 측정한다.

이 이유는 절연전선이나 케이블 등의 대지에 대한 절연을 직류로 측정하는 경우는 이들 전선이나 케이블 심선에 접속되는 직류전원의 극성에 따라 그 절연저항의 값이 상이한 경우가 있다.

통상 심선에 전원의 “-”극을 대지에 “+”극을 접속하여 측정한 경우는 이것과 극성을 반대로 하여 측정한 경우에 비해 측정값이 작아지는 것이 보통이다. 따라서 사용상의 안전을 생각해서 선로단자는 전원의 “-”극측에, 접지단자는 전원의 “+”극측에 접속하도록 규정되어 있다.

접지단자는, 예를 들면 선로 또는 케이블 등의 대지에 대한 절연저항을 측정하는 경우 대지측에 접속하여 사용되는 일이 많은 단자이기 때문에 EARTH 라고 명시되어 있다. 그러나 이것은 모든 측정시에 반드시 접지하지 않으면 안되는 것을 의미하는 것은 아니다.

측정에 있어 주의할 것은 선로단자(L)에 접속하는 리드선은 대지나 기타 물체에 접촉되지 않도록 주의해서 측정한다. 만일 피측정물에 접속한 리드선의 극성이 틀린 경우 피측정물에 인가되는 측정전압의 극성이 반대가 되어 특히 습기를 함유한 종이 등의 섬유절연물에 있어서는 절연저항의 값이 크게 지시되거나 또한 절연저항계에서 인체를 통과하는 누설전류의 영향을 받아서 바른 지시가 안되게 되기 때문이다.

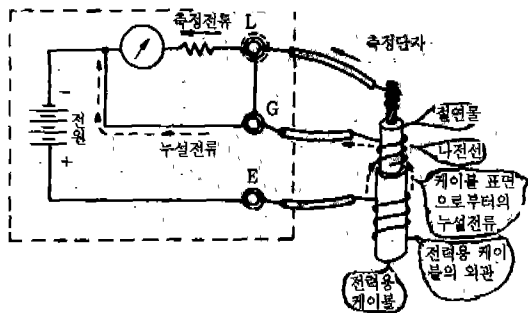
피측정물이 접지되어 있지 않은 경우는 선로단자(L) 및 접지단자(E)에의 접속은 임의로 하여 측정하더라도 지시값에 대한 영향은 없다.

**1.7.2 보호단자 G(GUARD)의 사용방법**

보호단자(G)는 최대유효누설값이 1000MΩ 이상인 절연저항계에 설정되어 있다. 보호단자(G)는 케이블이나 절연재료의 절연저항 측정에 있어서 체적저항과 표면누설저항을 엄밀하게 나누어 측정코자 하는 경우에 사용한다.

예를 들면 전력용 케이블의 절연저항을 측정하는 경우는 <그림 1.7>과 같이 절연물 부분을 약간 길게 하여 이것에 나동선을 감아 전선을 보호단자에 접속한다.

전력 케이블의 연피나 알루미늄피로부터의 누설전류는 감아붙인 나동선을 통하여 보호단자에 들어가고 이곳으로부터 직접 전류에 흐른다. 따라서 지시계기에는 연피 또는 알루미늄피 등의 외피로부터 절연물 내부를 통해서 심선에 유입한 누설전류가 흐른다. 이와 같이 해서 전력용 케이블의 체적저항을 측정할 수가 있다.



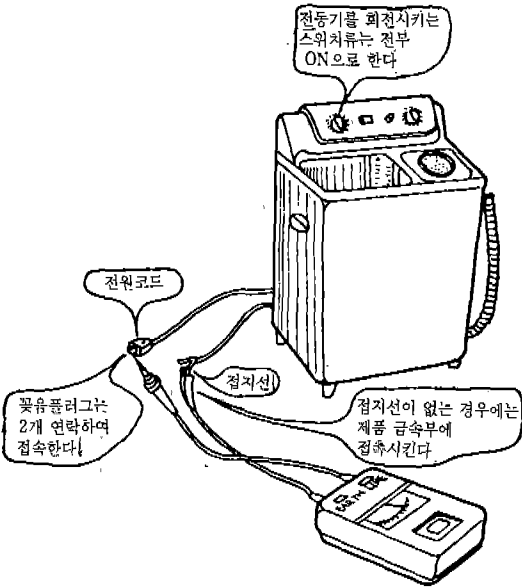
<그림 1.7> 보호단자에 의한 표면누설전류의 제거

**1.8 절연저항계에 의한 절연저항 측정**

절연저항계를 사용해서 전기회로나 전기제품의 절연저항 측정법이나 측정을 하는 데 있어서의 주의사항 및 절연저항계 취급방법을 기술한다.

**1.8.1 전기제품의 절연저항 측정**

저압배전선에 접속해서 사용되는 전기제품의 절연



<그림 1·8> 전기제품의 절연저항 측정

저항 측정에는 정격측정전압이 500V인 절연저항계를 사용한다. 측정하는 개소는 교류전원과 제품의 금속부로서 <그림 1·8>과 같이 AC 플러그 양단을 단락하고 절연저항계의 선로단자 L에 접속한다.

한쪽의 접지단자 E로부터의 리드선은 제품 외측에서 도장되어 있지 않은 금속부 또는 접지용 단자에 접속한다. 절연저항 측정에 있어서도 스위치류는 전부 ON으로 하여 측정한다.

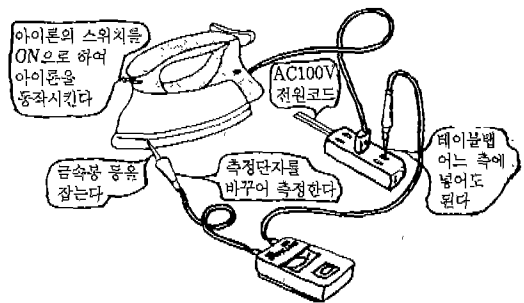
이것들의 측정은 모든 교류전원회로와 제품 외측의 금속부간에서 측정한다. 또 전지 등으로 동작하는 것은 전원회로라고 하지만 직류의 낮은 전압이기 때문에 절연저항계로 500V의 측정전압을 인가하면 내부회로를 파손할 우려가 있으므로 주의한다.

한편, 전기다리미, 전기발삼이나 전기인두, 전기로 등 사용중에 온도가 높아지는 전기제품은 사용중이 아닌 냉각된 상태에서 절연저항을 측정하지 않더라도 이상이 없고 사용중에 온도가 높아지면 절연이

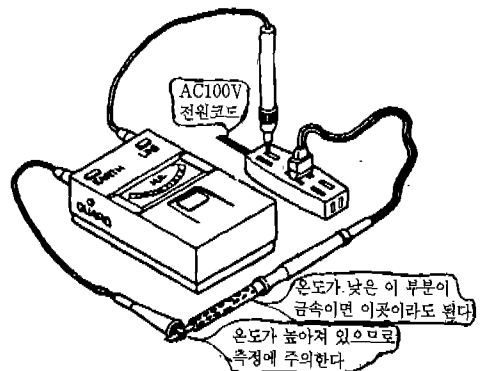
나빠지는 경우가 있다.

이것은 절연물의 성질로서 온도가 낮은 경우는 절연저항의 값이 크다. 그러나 절연물의 온도가 오르면 절연저항이 갑자기 작아지거나 금속부의 온도가 상승하여 금속이 팽창, 절연물을 압박하여 절연을 열화시키거나 하는 경우가 있다.

이와 같은 전기제품의 절연저항 측정은 온도가 높아져 있는 사용중 상태에서 절연저항의 값을 측정하지 않으면 안된다. 전기제품 사용중의 절연저항 측정은 <그림 1·9>와 같이 절연저항계의 리드선 한쪽을 교류전원의 1선에, 다른쪽 리드선을 전기제품의 외측 금속부에 접속하여 측정할 수가 있다.

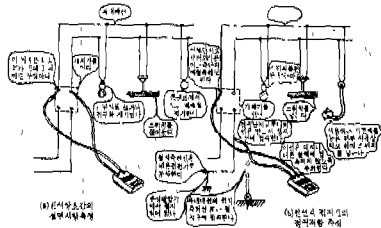


(a) 가전제품으로 전기아이론 절연저항 측정



(b) 전기인두의 전기제품의 절연저항 측정

<그림 1·9> 사용시온도가 높아지는 전기제품의 절연저항 측정



<그림 1·10> 옥내배선의 절연저항 측정

1·8·2 옥내배선의 절연저항 측정

옥내배선의 절연저항 측정은 정격측정 전압 500V의 절연저항계를 사용해서 전선 상호간 및 전선과 대지간의 절연저항값을 측정한다.

측정법은 <그림 1·10>과 같이 절연저항계를 접속하여 절연저항을 측정한다. 전선 상호간의 절연저항 측정은 원칙적으로 전기기계·기구의 전기회로는 포함하지 않고 전기기계·기구를 제거한 상태에서 측정한다.

한편, 전선과 대지간의 절연저항 측정은 이동전선, 전구선 및 전기기계·기구가 있으면 그 전기기계·기구를 사용상태로 한 경우의 절연저항값을 말한다.

옥내배선(저압전로)의 절연저항값은 <표 1·3>에 표시하는 값 이상이어야 한다.

1·8·3 기타 전기기기의 절연저항 측정

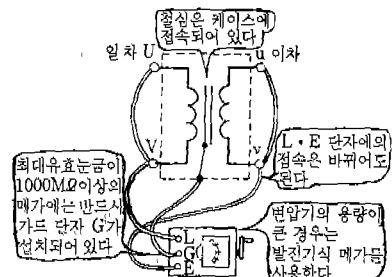
대용량의 전기기구나 긴 케이블 및 콘덴서 등의 절연저항 측정에는 발전기식 절연저항계를 사용한다. 전지식 절연저항계에 있어서는 비교적 큰 정전용량을 가진 절연물은 전원용량이 부족하여 측정전압의 값이 낮아지는 경우가 있다.

<표 1·3> 저압옥내배선의 절연저항치

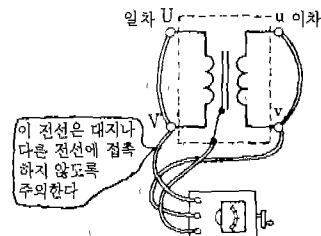
옥내배선의 사용전압구분		절연저항(MΩ)
330V	대지전압 150V 이하	0.1
이하	대지전압 150V 초과	0.2
	300V 초과	0.4

또, 측정시 주의할 것은 절연물에 전압을 인가하더라도 처음에 흐르는 전류는 충전전류로서 절연물에 소정의 측정전압이 가해질 때까지 시간이 걸린다.

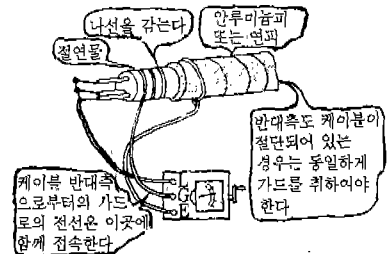
따라서 전압을 인가하고 나서 30~60초 정도 시간이 경과한 후 절연저항계의 지시가 안정된 것을 확인하고 나서 그 지시를 읽는다. <그림 1·11>에 변압기, 케이블 등의 절연저항 측정에 있어서의 절연저항계의 접속법을 든다.



(a) 변압기의 일차·이차간 절연저항 측정



(b) 변압기의 일차·접지간 절연저항 측정



(c) 전력용 케이블의 절연저항 측정

<그림 1·11> 변압기, 전력용 케이블 등의 절연저항 측정

<다음호에 계속...>