

제정 기술표준원고시 제2001 - 23호 (2001. 2. 14)
개정 기술표준원고시 제2003 - 523호 (2003. 5. 24)

전기용품안전기준

K 60093

[KS C IEC 2002]

고체절연재료의 체적저항을 및
표면저항을 시험방법

목 차

서문	1
1. 적용범위	1
2. 용어정의	1
3. 의미	2
4. 전력 공급장치	3
5. 측정방법과 정확도	3
6. 시험시편	5
7. 진극재료	6
8. 시편 취급과 배치	7
9. 조건화	8
10. 시험과정	8
11. 계산	9
12. 보고서	10
부속서 A - 측정방법과 그 정확도의 예	11
부속서 B - A와 p의 계산식	13
그림	14

한국산업규격

고체절연재료의 체적저항을 및 표면저항을 시험방법

KS

C IEC 60093 : 2002
(IEC 60093, IDT)

Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electric insulating materials

서 문 이 규격은 1980년에 제 2판으로 발행된 IEC 60093(Methods of tests for volume resistivity and surface resistivity of solid electric insulating materials)을 번역해서 기술적 내용 및 규격의 서식을 변경하지 않고 한국산업규격으로 제정한 것이다.

1. 적용범위

이 시험방법은 고체 전기절연 재료의 체적/표면저항을 결정하기 위한 과정과 체적/표면고유저항을 결정하기 위한 계산법을 다루고 있다.

체적저항과 표면저항 시험 모두는 가한 전압의 크기와 시간, 전극의 성질과 형태, 상온 대기중의 온도와 습도, 조건화 처리와 측정하는 동안의 시편의 온도와 습도 등의 인자에 의해 영향을 받는다.

2. 용어정의

2.1 체적저항(Volume resistance)

전극에서의 가능한 분극 현상을 무시하고, 표면을 따라 흐르는 전류를 제외한, 전극 사이에 안정된 정상적인 전류를 토대로 얻어진 시편의 양쪽 면에 반대로 놓인 두 전극 사이에 직접 가해진 전압의 지수 비고 - 명시되지 않는 한, 체적저항은 전기를 가한 1분 후에 결정한다.

2.2 체적고유저항(Volume resistivity)

전열 재료내의 직류 전기장 세기와 정상적인 전류 밀도의 비율. 실제로 단위 체적 당 환산한 체적저항이라 할 수 있다.

비고 - 체적고유저항의 SI 단위는 $\Omega \cdot m$ 이며, 실제로 $\Omega \cdot cm$ 단위도 사용된다.

2.3 표면저항(surface resistance)

전극에서의 가능한 분극 현상을 무시하고, 전기화의 주어진 시간에 전극 사이의 전류와 시편의 표면에 접한 두 전극 사이에 가해진 직류전압의 비율.

비고 1 - 명시되지 않는 한, 표면저항은 전기를 가한 1분 후에 결정한다.

비고 2 - 일반적으로 전류는 주로 시편의 표면층과 수반된 수분, 표면층의 오염물을 통하여 흐르고, 이것들은 시편의 부피의 한 요소로 포함된다.

2.4 표면고유저항(surface resistivity)

절연 재료의 표면층의 선형 전류 밀도와 직류 전기장 세기의 비율. 실제로 단위 표면으로 환산한 표면 저항이라 할 수 있다.

비고 - 표면고유저항의 SI 단위는 Ω 이며, 실제로 때때로 Ω^{-2} 로도 사용된다.

2.5 전극

측정 전극은 형태, 크기, 측정될 시편과의 접촉시의 배열이 정의된 전도체이다.

비고 - 절연저항은 시편과 접해 있는 두 전극 사이에 가해진 직류 전압과 전극 사이에 흐르는 총 전류의 비다. 절연저항은 시편의 체적고유저항과 표면고유저항 모두에 의존한다.(IEC 167 참조 : 고체 절연 재료의 절연저항의 결정을 위한 시험 방법)

3. 의미

3.1 일반적으로 사용되는 절연 재료는 전기적 시스템의 구성요소를 서로로부터, 그리고 지면으로부터 고립시키는 것이다. 고체 절연 재료는 또한 기계적인 지지 역할도 제공한다. 이러한 목적을 위해 허용되는 기계적/화학적 특성, 내열성과 일치하는 가능한 높은 절연저항을 갖는 것이 일반적으로 바람직하다. 표면저항은 습도에 따라 매우 급격히 변화하고, 반면 체적저항은 최종적인 변화는 더 크더라도 느린 속도로 변한다.

3.2 체적저항은 특정한 용도의 절연 재료를 선택하는데 있어 보조기구로서 사용될 수 있다. 온도와 습도에 따른 고유저항의 변화는 크고 작동 조건을 정할 때 반드시 알려져야만 한다. 체적고유저항 측정은 가공성 측면이나 또는 재료의 품질에 영향을 줄 수 있고 다른 방법으로는 쉽게 검출될 수 없는 전도성 불순물을 검출하거나 하는 등 절연 재료의 균일성을 체크하는데 종종 사용된다.

3.3 직류 전압이 시편과 접해 있는 전극들 사이에 가해질 때 전류는 정상적인 안정한 값으로 비동시적으로 감소한다. 시간에 따른 전류의 감소는 유전 분극과 전극으로의 이동전하의 몰림에 의해 기인될 수 있다. $10^{10} \Omega \cdot m (10^{12} \Omega \cdot cm)$ 이하의 체적고유저항을 가지는 재료의 경우 일반적으로 1분내에 안정한 상태로 되고, 저항은 전기화될 1분 후에 결정한다. 더 높은 체적고유저항을 가지는 재료의 경우는 전류가 수 분, 수 시간, 수 일, 또는 심지어 수 주 동안 감소할 수가 있다. 그러므로 이러한 재료의 경우, 더 긴 전기화 시간이 필요하고, 그 재료는 체적고유저항의 시간 의존도에 의해 특징지어진다.

3.4 체적 전도도는 거의 항상 측정에 어느 정도는 관계되어 있기 때문에 표면 저항과 표면 전도도는 정확하게 측정될 수 없고, 단지 대략적인 값이다. 측정된 값은 측정시기의 시편 표면의 오염물의 특성을

크게 가지고 있다. 그러나, 시편의 투과도는 오염물의 축적에 영향을 미치고, 그들의 전도 성능은 시편의 표면 특성에 의해 영향을 받는다. 따라서, 표면고유저항은 일반적 의미로서의 재료특성이 아닌, 오염물이 관계되었을 때 재료의 특성과 관련되어 있다고 여길 수 있다.

적층판과 같은 몇몇 재료의 경우, 표면층과 내부에서 꽤 다른 고유저항을 가질 수 있다. 그러므로 깨끗한 표면의 본질적인 특성을 측정하는 것이 관심의 대상이 된다. 일치되는 결과를 내기 위해 세척 과정은 표면 특성에의 세척 과정의 용매와 기타 인자들의 가능한 영향들을 고려하여 반드시 명시되어야 한다.

표면 저항은, 특히 높은 경우, 종종 일정치 않은 방식으로 변하고, 일반적으로 전기화 시간에 강하게 의존한다. 측정을 위하여 1분의 전기화 시간이 보통 명시가 된다.

4. 전력 공급장치(power supply)

매우 안정한 직류 전압의 공급이 필요하며, 이것은 배터리 또는 정류되고 안정된 전력 공급장치에 의해 제공될 수 있다. 요구되는 안정성의 정도는 전압에서의 어떤 변화에 기인한 전류에서의 변화가 측정된 전류와 비교하여 무시할만한 정도여야 한다.

일반적으로 완벽한 시편에 가해지는 명시된 시험 전압은 100V, 250V, 500V, 1000V, 2500V, 5000V, 10000V, 15000V 이다. 이들 중 가장 자주 사용되는 것은 100V, 500V, 1000V 이다.

몇몇 경우에 시편 저항은 가해진 전압의 극성에 의존한다.

만약 저항이 극성에 의존한다면, 두 저항 값의 기하 평균값(로그함수의 산술 평균)을 결과로 취한다.

시편 저항이 전압에 의존하기 때문에 시험 전압을 표기해야 한다.

5. 측정방법과 정확도

5.1 방법

높은 저항을 측정하는데 사용하는 일반적인 방법은 직접방법과 비교방법이 있다. 직접방법은 알지 못하는 저항에 가해지는 전압과 거기에 흐르는 전류의 동시측정에 달려 있다.(전압계-전류계 방법 : voltmeter-ammeter method)

비교방법은 브릿지 회로내에서 또는 고정된 전압하에서의 저항에 대한 전류의 비교에 의해 알고 있는 저항장치의 저항에 대한 알지 못하는 저항의 비율을 정한다.

원리를 보여주는 예가 Appendix A에 설명되어 있다.

전압계-전류계 방법은 정확한 전압계가 필요하지만, 방법의 민감도와 정확도는 주로 전류 측정장치인 검류계(galvanometer), 전자증폭기(electronic amplifier instrument), 또는 전위계(electrometer) 등의 특

성에 달려 있다.

브릿지 방법은 단지 제로점 지시계로서의 민감한 전류 검출계가 요구되고, 정확도는 주로 알고 있는 브릿지 팔 저항장치에 의해 결정된다. 저항값의 광범위내에서 높은 정밀도와 안정성을 가지고 얻어진다.

전류 비교 방법의 정확도는 알려진 저항장치의 정확도와 수반된 측정 저항장치를 포함한 전류 측정장치의 안정성에 의존한다. 반면, 전압이 일정한 한 전류의 정확한 값은 중요치 않다.

전압계-전류계 방법상의 검류계를 사용한 세부 절 10.1에 따른 체적고유저항의 결정은 약 10^{11} Ω까지의 저항에 적합하다. 더 높은 값의 경우, 직류 증폭기나 전위계의 사용이 권장된다.

브릿지 방법의 경우, 단락 시편에서 직접 전류를 측정하는 것은 불가능하다.(세부 절 10.1 참조)

전류 측정장치를 사용한 방법은 전류의 자동 기록을 가능하게 해서 안정된 상태의 결정을 용이하게 한다.(세부 절 10.1 참조)

높은 저항을 측정하기 위한 특별한 회로와 기구가 유용하다. 만약 충분히 정확하고 안정하며, 필요한 곳에서 시편이 적절하게 단락되게 하고, 전기화 전에 전류가 측정될 수 있게 한다면. 이것들은 사용될 수 있다.

5.2 정확도

측정장치는 10^{10} Ω 이하의 저항에 대해 최소 $\pm 10\%$, 더 높은 값에서는 $\pm 20\%$ 의 정확도로 알지 못하는 저항을 결정할 수 있어야 한다. Appendix A를 참조한다.

5.3 보호(Guarding)

측정 회로의 절연은 시험 중 재료의 절연 특성과 비교할 수 있는 특성을 가진 재료들로 구성된다. 시편의 측정에 있어서의 오차는 다음으로부터 야기될 수 있다.

- a) 보통 크기가 알려지지 않고 종종 산발성의 특성을 가진 가짜 외부 전압으로부터 탈락된 전류
- b) 모르는 다양한 크기의 저항을 가지는 절연에 의한 시편 저항, 기준 저항장치, 또는 전류 측정장치의 과도한 또는 어긋난 분로 연결

이 문제점들의 대략적인 수정은 회로의 모든 부분의 절연 저항을 사용 조건하에서 가능한 높게 만듦으로써 얻을 수 있으나, 수 백 megohm보다 높은 절연 저항의 측정에 대해서는 여전히 부적절한 비실제적인 장치이다.

모든 중요한 절연된 부분에서 Guarding은, 차단되지 않으면 오차를 유발할 수 있는 모든 탈락 전류를 차단하는 가드 전도체의 삽입에 의존한다. 가드 전도체는 가드 시스템을 이루고 있고, 측정 단자와 3개의 단자 체제를 형성하면서 함께 연결되어 있다. 적절한 연결이 이루어졌을 때 가짜 외부 전압으로부터 탈락된 전류는 가드 시스템에 의해 측정회로로부터 제거될 수 있고, 측정 단자로부터 가드 시스템까지의 절연저항이 더욱 더 낮은 저항이어야 하는 회로 요소를 제거한다. 그리고, 시편 저항은 측정 단자간에 유일한 직접 경로를 구성한다. 이 기술로서, 오차의 가능성을 상당히 줄일 수 있다. 그림 1은 체적저

항과 표면저항의 측정에 사용되는 가드 전극에 대한 기본적인 연결부분을 보여준다.

전류측정에 관계된 방법에 대해 가드 시스템을 적절히 이용하는 것은 그림 5, 7에 나타나 있고, 그 그림 상에서 가드 시스템은 전압 근원지와 전류측정장치의 접합 부위에 연결되어 있음을 보여준다. 그림 6에서 휘스톤 브릿지 방법의 경우, 가드 시스템은 두 개의 낮은 값의 저항 팔의 접합 부위에 연결되어 있음을 보여준다. 효과적이기 위해 모든 경우에서 Guarding은 완벽해야 하고, 측정을 행하는 관찰자에 의해 작동되는 모든 제어 장치도 포함해야만 한다.

만약 적은 값이라면, 가드와 가드된 단자 사이에 존재하는 전해성, 접촉, 또는 열적 기전력(e.m.f)은 보충되어질 수 있다. 이러한 e.m.f들이 측정시 상당한 오차를 유발하지 않도록 주의를 기울여야 한다.

전류측정시의 오차는 전류측정장치가 가드된 단자와 가드 시스템 사이의 저항에 의해 분리를 연결한다는 사실로부터 기인될 수 있다. 이 저항은 전류측정장치의 저항의 적어도 10배에서 100배 정도이다. 몇몇 브릿지 기술에서는 가드와 측정 단자는 거의 같은 전위차를 가져오게 되고, 브릿지에서의 표준 저항 장치는 가드되지 않은 단자와 가드 시스템 사이의 저항에 의해 분리를 연결한다. 이 저항은 표준 저항 장치 보다 적어도 10배에서 100배 정도여야 한다.

장비의 만족스러운 작동을 확실히 하기 위해 전압 근원지로부터 끊어진 시편까지 납을 이용하여 측정이 행해져야 한다. 이 조건하에서, 장비는 그 감도내에서 정확한 저항을 가리켜야 한다. 만약 값을 알고 있는 적절한 표준을 사용할 수 있다면, 장비의 작동을 시험하기 위해 사용해도 좋다.

6. 시험시편

6.1 체적고유저항

체적고유저항을 결정하기 위해 시험시편은 3차 전극을 사용하여 표면 효과로부터 유발되는 오차를 차단하는 형태를 갖는다. 무시할 만한 표면 누출을 갖는 시편의 경우, 만약 그것의 생략이 결과에 무시할 만한 효과를 가져온다면 체적저항을 측정할 때 차단은 생략될 수 있다.

가드된 것과 가드 전극 사이의 시편의 표면에서의 틈은, 만약 표면 누출이 측정에 있어 오차를 유발시키지 않는다면 균일한 폭이어야 하고 가능한 좁아야 한다. 1 mm의 틈은 보통 실제적으로 가장 작다.

세 개의 전극으로 구성된 전극 배열의 예는 그림 2, 3에 보여진다. 체적저항의 측정에 있어 1번전극은 guarded 전극이고, 2번은 guard 전극, 3번은 unguarded 전극이다. guarded 전극의 직경 d_1 (그림 2) 또는 길이 l_1 (그림 3)는 적어도 시편 두께 h 의 10배가 되어야 하고 실제적인 이유로 보통 최소 25 mm는 되어야 한다. unguarded 전극의 직경 d_4 (또는 길이 l_4), guard 전극의 외경 d_3 (또는 guard 전극의 바깥 가장자리 사이의 거리 l_3)는 시편 두께의 최소 두 배를 더한 guard 전극의 내경 d_2 (guard 전극의 내부 가장자리 사이의 거리 l_2)와 동일해야만 한다.

6.2 표면고유저항

표면고유저항을 결정하기 위해 시험시편은 3차 전극을 사용하여 체적 효과로부터 유발되는 오차를 차단

하는 형태를 갖는다. 그림 2, 3의 세 개의 전극 배열이 권장되어진다. 1번 전극과 2번 전극 사이의 표면의 틈의 저항은 가드 전극으로서의 1번 전극, 가드 전극으로서의 3번 전극, 가드되지 않은 전극으로서의 2번 전극을 사용함으로써 직접 측정된다. 그렇게 측정된 저항은 1번과 2번 전극 사이의 표면저항과 동일한 두 전극 사이의 체적저항을 포함한다. 그러나, 전극의 적절한 치수를 이용하여, 체적저항의 효과를 광범위한 상온 조건과 재료 특성하에서 무시할 수 있게 할 수 있다. 이 조건은 표면 틈의 폭 g 가 시편 두께의 최소 2배가 되게 전극이 치수화 되었을때 그림 2, 3의 배열에 대해 행해질 수 있다. 가드 전극의 직경 d_1 은 최소 10배여야 하고, 실제적인 이유로 보통 적어도 25 mm는 되어야 한다.

대안적으로, 곧은 전극(straight electrode)이나, 적절한 치수의 기타 배열이 사용되어도 좋다.

비고 - 시험시편의 내부를 흐르는 전류의 영향에 때문에 계산된 표면고유저항 값은 시편과 전극의 치수에 크게 영향을 받는다. 비교 측정을 위해 그림 2의 전극 배열을 가진 이상적인 형태의 시편($d_1 = 50$ mm, $d_2 = 60$ mm, $d_3 = 80$ mm)을 사용하는 것이 권장된다.

7. 전극재료

7.1 일반사항

절연 재료에 대한 전극은 쉽게 적용할 수 있고 시편 표면과 잘 접촉하고, 시편의 오염물 또는 전극저항에 의해 기인하는 상당한 오차의 발생을 허용하지 않는 재료여야 한다. 전극 재료는 시험의 조건하에서 내부식성을 가져야 한다. 다음은 사용되어 온 전형적인 전극 재료이다. 전극은 정해진 형태와 치수의 적당한 받침 판과 함께 사용되어야 한다.

만약 상당한 오차가 유발된다면 두 개의 다른 전극 재료 또는 두 개의 응용 방법을 사용하는 것이 유리하다.

7.2 전도성 은 페인트(silver paint)

높은 전도도의 은 페인트는 충분히 다공성이어서 자체내로 수분의 확산이 가능하여 시험시편이 전극의 적용 후에 최적화될 수 있다. 이것은 온도에 따른 변화뿐만 아닌 저항과 습도의 효과를 연구하는데 특별히 유용한 특징이 있다. 그러나, 전도성 페인트를 전극 재료로 사용하기 전에 페인트내에 있는 용매가 시편의 전기적 특성에 영향을 주지 않음이 증명되어야 한다. 가드 전극의 부드러운 가장자리는 미세한 강모 브러쉬로 만들 수 있다. 그러나, 원형 전극의 경우, 더 날카로운 가장자리는 전극의 원의 윤곽을 그리는데 사용한 컴파스를 사용하고 둘러싸여 있는 부분에 브러쉬로 채워 넣음으로써 만들 수 있다. 전극 페인트가 분무되어지면 클램프가 달린 마스크를 사용한다.

7.3 분무된 금속(Sprayed metal)

시험시편에 대해 만족스럽게 접착이 된다면, 분무된 금속도 사용할 수 있다. 얇은 분무된 전극은 적용하자마자 빨리 사용할 수 있다는 점에서 잇점이 있다. 충분히 다공성이어서 시편이 최적화되게 하지만, 이것도 검증되어야만 한다. 클램프 달린 마스크가 가드된 전극과 가드 전극 사이의 틈을 생성하는데 사용된다.

7.4 증발된(Evaporated) 또는 스퍼터된 (Sputtered) 금속

증발된 또는 스퍼터 된 금속은 재료가 이온 증착 또는 진공 처리에 의해 영향을 받지 않음을 보여줄 수 있는 곳에서 세부 절 7.3에서 주어진 동일 조건하에서 사용될 수 있다.

7.5 액체 전극(liquid electrode)

액체 전극은 사용될 수 있고 만족할만한 결과를 제공한다. 상부 전극을 구성하는 액체는 스테인레스 스틸 링 등에 의해 간혀있어야 하고, 액체로부터 떨어진 측면을 비스듬히 자름으로써 날카로운 모서리로 된 하부의 테두리로 되어 있어야 한다. 그림 4는 전극 배열을 보여준다. 수은은 유독성으로 인해 높은 온도에서나, 연속적인 용도로서는 권장되지 않는다.

7.6 콜로이드성 흑연(Colloidal graphite)

물 또는 다른 적절한 매개체에 분산된 콜로이드성 흑연은 세부 절 7.2에서 주어진 동일 조건하에서 사용될 수 있다.

7.7 전도성 고무

전도성 고무는 전극 재료로서 사용될 수 있다. 시편으로부터 빠르고 쉽게 제거하고 적용할 수 있다는 잇점이 있다. 전극이 측정되는 시간 동안만 적용되기 때문에 시편의 최적화를 방해하지 않는다. 전도성 고무 재료는 예를 들어 2 kPa(0.2 N/cm²)의 압력이 가해질 때 시편에 대해 효과적인 접촉이 얻어질 수 있음을 확인할 수 있을 만큼 충분히 부드러워야 한다.

7.8 금속 박편(Metal foil)

금속 박편은 체적고유저항의 측정을 위해 시편표면에 전극으로서 적용할 수 있으나, 표면저항 측정에는 적합하지 않다. 납, 안티모니화납, 알루미늄, 주석 박편이 보통 사용된다. 이들 재료는 접착제로서 소량의 바셀린, 실리콘 그리스, 오일 또는 기타 적당한 재료로 시편에 붙여진다. 다음의 조성의 약학적으로 얻을 수 있는 젤리는 전도성 접착제로서 적합하다.

무수 폴리에틸렌 글리콜(분자량 600)	질량의 800 part
물	질량의 200 part
연질 비누(의약품급)	질량의 1 part
염화 칼륨	질량의 10 part

전극은 모든 주름을 제거하고, 깨끗한 티슈로 닦아낼 수 있는 박편의 가장자리 쪽으로 과도한 접착제가 오도록 할만큼 충분히 매끄럽게 하는 압력하에서 적용되어야 한다. 손가락 같은 부드러운 재료로 문지르는 것은 성공적으로 사용되어 왔다. 이 기술은 매우 부드러운 표면을 가진 시편에만 만족스럽게 사용될 수 있다. 접착성 있는 필름은 0.0025 mm 또는 그 이하까지 감소될 수 있다.

8. 시편 취급과 배치

전극들 사이 또는 전극과 지면 사이의 탈락 전류는 측정 장비의 눈금 측정에 중요한 영향을 미치지 않는 것이 중요하다. 측정된 결과에 반대로 영향을 줄 수 있는 탈락 경로 생성의 가능성을 피하기 위해 측정을 위한 전극의 적용, 시편의 취급, 시편의 배치에 있어 세심한 주의가 필요하다.

표면 저항이 측정되었을 때 협의되거나 명시되지 않았다면 표면을 닦아서는 안 된다. 측정될 표면의

일부는 손으로 만지지 않은 동일 재료로 된 다른 시편의 표면 외의 다른 어떤 것으로도 건드러서는 안 된다.

9. 조건화

시편의 조건화는 시험될 재료에 따라 받아들여져야 하고, 재료 세부사항에 명시되어야 한다.

IEC 212(고체 전기 절연 재료의 시험 전과 시험 중을 위한 표준 조건)에 주어진 것이 권장할 만한 조건들이고 다양한 염 용액에 수반된 상대 습도는 IEC 260(일정한 상대 습도에 대한 비분사 형태의 시험 조건)에 주어졌다. 기계적인 증기화 시스템도 사용될 수 있다.

체적고유저항과 표면고유저항은 모두 특히나 온도 변화에 민감하다. 변화는 지수함수적이다. 그러므로 명시된 조건하에서 시편의 체적저항과 표면저항을 측정하는 것이 필수적이다. 유전체로의 수분의 흡수는 상대적으로 느린 과정이기 때문에, 조건화의 연장된 기간은 부피고유저항에의 습도의 영향을 결정하는데 필요하다. 물의 흡수는 보통 체적저항을 감소시킨다. 몇몇 시편은 평형 상태에 도달하기 위해 한 달이 필요한 것도 있다.

10. 시험시편

관련 세부요구사항에서 명시한 시편의 개수는 6 - 9절에 따라 준비한다.

시편과 전극의 치수, 표면 틈 g 는 $\pm 1\%$ 의 정확도로 측정된다. 그러나, 얇은 시편의 경우 다른 정확도가 관련 세부사항에 언급되어 있을 것이다.

체적고유저항을 결정하기 위하여, 각 시편의 평균 두께가 guarded 측정 전극에 의해 덮혀 있는 부위에 균일하게 분포되어 있는 측정 지점과 관련 세부요구사항에 따라 결정되어야 한다.

비교 - 얇은 시편의 경우, 적어도 전극이 가해지기 전에는 두께를 측정해야 한다.

일반적으로, 저항 측정은 조건화하는데 사용된 동일한 습도(액체에 함침하는 조건을 제외한)와 온도에서 이루어져야 한다. 그러나, 몇몇 경우에 조건화를 끝낸 후 명시된 시간 내에 측정을 해도 충분한 것이 있다.

10.1 체적저항

측정하기 전에 시편을 유전적으로 안정한 조건으로 가져다 놓아야 한다. 이를 얻기 위해 측정 장치(그림 1a)를 통해 시편의 측정 전극 1번과 3번을 단락하고, 그리고 요구되어진 전류 측정장치의 감도가 증가하는 동안 단락 전류의 변화를 관찰한다. 단락 전류가 꽤 일정한 값에 도달할 때까지 계속한다. 전기화하에서 기대되는 전류의 안정된 값에 비교하여 작거나, 관련이 있다면 전기화 100분에서의 전류 단락 전류의 방향에서의 변화의 가능성이 있기 때문에 전류가 제로라 하더라도 단락은 유지되어야 한다. 수 시간이 걸려 본질적으로 일정해질 때, 단락 전류 I_0 의 크기와 방향을 기록한다.

그리고 나서 명시한 직류 전압을 가하고, 동시에 시간 측정을 시작한다. 명시되어 있지 않는 한 다음의 각 전기화 시간(1분, 2분, 5분, 10분, 50분, 100분) 후에 측정을 한다. 만약 두 개의 연속 측정이 동일한 결과를 보인다면 시험을 끝내도 되며, 얻어진 값은 체적저항을 계산하는데 사용된다. 첫 번째 측정까지 전기화 시간을 기록한다. 만약 100분 동안 안정화에 도달하지 못한다면 체적저항은 전기화 시간의 함수

로 기록한다.

허용 시험을 위해 전기화의 고정된 시간 후에 값은 관련 세부요구사항에 명시된 대로 사용된다.

10.2 표면저항

명시된 직류 전압을 가하고, 시편 표면에 접한 측정 전극들 사이의 저항을 결정한다.(그림 1b의 No.1, 2) 전기화 1분 후에, 비록 전류는 이 시간 내에 안정된 상태에 도달하지 못했을 지라도, 저항을 결정해야 한다.

11. 계산

11.1 체적고유저항

체적고유저항은 다음 식으로 계산된다.

$$\rho = R_x \cdot A/h$$

ρ : 체적고유저항($\Omega \cdot m$)

R_x : 세부 절 10.1 에 명시된 대로 측정된 체적저항(Ω)

A : guarded 전극의 면적(m^2)

h : 시편의 평균 두께(m)

몇몇 특별한 전극 배열에 대한 면적 A 를 계산하기 위한 식은 Appendix B에 주어졌다.

높은 고유저항을 가진 몇몇 재료에 대해 전기화 전에 단락 전류 I_0 가 전기화 동안의 안정된 전류 I_g 와 비교하여 무시되어서는 안된다. 이 경우 체적 저항은 다음과 같이 결정된다.

$$\rho = R_x \cdot A/h$$

R_x : 체적저항(Ω)

U_x : rkgowls 전압(V)

h : 시편의 평균 두께(m)

h : 시편의 평균 두께(m)

I_0 가 I_s 처럼 같은 방향에 있을 때 마이너스 표기를, 그렇지 않은 경우는 플러스 표기를 한다.

11.2 표면고유저항

체적고유저항은 다음 식으로 계산된다.

$$\sigma = R_x \cdot p/g$$

σ : 표면고유저항($\Omega \cdot m$)

R_x : 세부 절 10.2 에 명시된 대로 측정된 표면저항(Ω)

p : guarded 전극의 실제 길이(cm)

g : 전극사이의 거리(cm)

11.3 재현성(Reproducibility)

주어진 시편의 저항이 시험조건에 따라 다양하기 때문에, 시편과 시편까지의 재료의 불균일성 때문에 결정이 보통 10% 보다 더 근접한 값으로 재현성 있지는 않고 종종 더 넓게 분산되어 나온다.

비슷한 시편에서 측정이 일치되게 얻어지도록 대략 동일한 전압을 가해주어야만 한다.

12. 보고서

보고서는 다음의 내용을 담고 있어야 한다.

- a) 재료의 구분과 표시(이름, 등급, 색상, 제조자 등)
- b) 시편의 형태와 치수
- c) 전극과 가-드(guard)의 형태, 재료, 치수
- d) 시편의 조건(세척, 사전 건조, 조건화 시간, 습도, 온도 등)
- e) 시험조건(시편 온도, 상대 습도)
- f) 측정방법
- g) 가한 전압
- h) 부피고유저항(관련시)

비고 1 - 고정된 충전 시간을 명시한 경우, 이 시간을 언급하고, 개개의 결과를 알려주어야 하며, 체적 저항율과 같은 중간값을 보고한다.

비고 2 - 서로 다른 충전 시간이 보고된 후에 측정이 이루어지는 경우에는 다음과 같이 보고한다:

시편이 동일한 충전 시간에 정상 상태에 도달하면, 개개의 결과를 알려주고, 체적저항율과 같은 중간값을 보고한다. 몇몇 시편이 이 충전 시간에 정상 상태로 도달하지 못하면, 실패한 시편의 개수를 보고하고 각각의 시험 결과를 알려준다. 결과가 충전 시간에 의존하는 경우에는 그래프의 형태 또는 1분, 10분, 100분 후의 체적저항율의 중간값과 같은 관계를 보고한다.

- i) 표면고유저항(관련시)0

전기화한 후 1분 후의 값을 읽고, 표면고유저항으로서 중간값을 취하여 기록한다.

부속서 A

측정방법과 정확도의 예

A1. 전압-전류계 방법

이 직접 방법은 그림 5에 나타낸 회로를 사용한다. 가해진 전압은 직류 전압계에 의해 측정된다. 전류는 검류계(지금은 거의 사용하지 않는), 전자 증폭기, 전류계 등의 전류 측정기구로 측정한다.

일반적으로 시편이 충전되는 동안 측정된 소자는 손상을 피하기 위해 단락되어야 한다.

검류계는 높은 전류 감도를 가져야 하고, universal shunt(Aurton Shunt)가 제공되어야 한다. 미지의 저항은 다음에서 계산된다.

$$R_x = U / K_a$$

U : 가한 전압(V)

k : shunt된 검류계의 감도

a : scale 간격의 편차

대략 $10^{10} - 10^{11} \Omega$ 까지의 저항은 검류계를 사용하여 요구되는 정확도로 100V에서 측정할 수 있다.

전자증폭기 또는 알고 있는 저항장치의 높은 저항(R_s)에 의해 높은 input 저항이 되는 전류계는 전류측정기구로 사용될 수 있다. 전류는 전압강하 U_s/R_s 로서, 미지의 저항 R_s 는 다음식에서 계산된다.

$$R_x = U \cdot R_s / U_s$$

U : 가한 전압($R_s \ll R_x$)

많은 다른 저항장치 R_s 는 기기 케이스에 포함되어 있을 수도 있다.

여기서 또한 요구되는 정확도로 측정할 수 있는 최대 저항은 전류 측정장치의 특성에 의존한다. U_s 에서의 오차는 인디케이터 오차, 증폭기 영점 이동 및 이득 안정도로 측정한다. 적절하게 설계한 증폭기 및 전위계에서 이득의 불안정도는 무시할 수 있다. 그리고 영점 이동은 이러한 측정이 가지는 시간과 관련이 없는 낮은 것을 가질 수 있다. 높은 이득의 전자 전압계에 대한 인디케이터 오차는 보통 전체 저울 눈의 $\pm 2\%$ 에서 5% 이다. 그리고 저항은 정확와 동일한 정도로 $10^{12}\Omega$ 까지 가능하다. 만약 전압 측정 장치가 입력 저항이 $10^{14}\Omega$ 보다 큰 저항을 가진다면, 10mV의 입력 전압과 $10^{12}A$ 의 입력 전류에서 전체 눈금의 편차는 $\pm 10\%$ 의 정확도로 측정할 수 있다.

$10^{16} \Omega$ 의 저항은 매우 높은 저항을 가진 정확한 저항장치와 전자 증폭기 전압계 또는 전류계를 사용하여 요구되는 정확도로 100V에서 측정될 수 있다.

A2. 비교 방법

A2.1 휘이스톤 브릿지 방법

시험시편은 그림 6에서 보여지는 대로 휘이스톤 브릿지의 한 팔에 연결되어 있다. 세 개의 세 개의 알

고 있는 팔은 실제적으로 높은 저항이어야 하고 저항장치 고유의 오차에 의해 제한을 받는다. 보통 저항 R_B 는 10단위로 변하고, 저항 R_a 는 미세한 저울 조절을 위해 쓰인다. R_n 은 측정되는 동안 고정되어 있다. 검출계는 직류 증폭기이다. 미지의 저항 R_x 는 다음에서 계산된다.

$$R_x = R_n \cdot R_b / R_a$$

(그림 6 참조)

널 검출기가 적절한 민감도를 가지는 경우에, 계산된 저항에서 최대 오차율은 R_A , R_B , R_N 의 오차율의 합이다. 만약 R_A 와 R_B 가 $1M\Omega$ 이하의 값을 가지는 권선 저항기라면, 오차는 무시할 수 있다. 그리고 매우 높은 저항을 측정하기 위해서 $10^9\Omega$ 인 R_N 은 $\pm 2\%$ 의 정확도로 알 수 있다. R_B/R_A 의 비율인 오차는 본질적으로 널 검출기의 민감도에 의존하여 결정될 수 있다. 만약 알지 못하는 저항 $R_x \gg R_N$ 이 있다면, 비율 $r=R_B/R_A$ 의 결정에서 불확실성 Δr 은 $\Delta r/r=I_g R_x/U$ 로 결정한다. 여기서 I_g 는 감지할 수 있는 최저 널 검출기 전류와 브리지에 가한 전압 U 이다. 만약, 예를 들어 입력 저항 $1M\Omega$ 의 전자 증폭기와 10^5 의 입력 전압에 대한 전체 눈금 편차를 사용했다면, 감지할 수 있는 가장 작은 전류는 약 $2 \cdot 10^{-13}A$ 이고, 전체 눈금 편차의 2%에 대응한다. I_g 의 값을 가지고, $U = 100 V$, $R_x = 10^{13}\Omega$, $\Delta r/r = 0.02$ 또는 2%가 얻어진다.

$10^{13} - 10^{14} \Omega$ 까지의 저항은 100V에서 요구되는 정확도로 휘이스톤 브릿지 방법에 의해 측정될 수 있다.

A2.2 전류계 방법

이 방법은 그림7에 보여지는 회로를 사용하고, 구성요소는 값을 알고 있는 저항장치 R_N , 미지의 저항을 단락시키는 스위치가 부가된 A1절에서와 같다. 열린 위치에서 이 스위치의 저항은 나중의 측정에 영향을 안 미치기 위해서 미지의 저항 R_x 보다 더 커야하는 점이 매우 중요하다. 일반적으로 시편의 파손시 전류를 제한하여 전류 측정장치를 보호하기위해 항상 R_N 을 회로에 남겨두는 것이 바람직하다.

스위치를 연 상태에서 R_x 를 통한 전류와 R_N 은 기기의 편차 α_x , 분로 비율 F_x , 가능한 최대 눈금 편차에 가까운 적절한 분로로 10절에 의해 결정된다. R_x 는 단락되어 있고, R_N 전류는 기기 편차 α_N , 분로 비율 F_N , 가능한 최대 눈금 편차에 가까운 적절한 분로, 최저 민감도로 시작되는 점을 표기함으로써 결정된다. 가한 전극 U 는 측정동안 변하지 않고, R_x 는 다음으로부터 계산된다.

$$R_x = R_N[(\alpha_N F_N / \alpha_x F_x) - 1]$$

만약, $\alpha_N F_N / \alpha_x F_x$ 이 100보다 크면 대략적인 다음의 식을 써도 된다.

$$R_x = R_N(\alpha_N F_N / \alpha_x F_x)$$

이 방법은 R_x 가 A1절에서 명시한 직접방법에 의한 것과 동일한 정확도로 결정될 수 있게 한다. 그러나, R_N 의 측정에 의해 시험장치내에서 전류 측정장치가 체크되는 잇점이 있다. 이것은 전선이 감긴 저항장치를 사용함으로써 오차를 무시할만하게 하고, 0.1 % 보다 나은 정확도를 얻을 수 있게 한다. R_x 를 통한 전류의 측정은 더 신뢰적이다.

부속서 B

A, p를 계산하기 위한 식

대부분의 목적을 위하여 다음의 대략적인 식들이 guarded전극의 실제 면적 A, 상수 p를 계산하는데 충분히 정확하다.

B1. 실제 면적 A

- a) 원통형 전극(그림 2) $A = \pi(d_1 + g)^2/4$
- b) 직사각형 전극 $A = (a + g)(b + g)$
- c) 정사각형 전극 $A = (a + g)^2$
- d) 관 모양 전극(그림 3) $A = (d_0 - h)(l_1 + g)$

d_0, d_1, g, h, l_1 이 그림 2, 3에서 설명된 치수일 때 a, b는 보호된 전극이 각각 직사각형 또는 정사각형일 때의 길이와 폭이다.

B2. 실제 길이

- a) 원통형 전극(그림 2) $p = \pi(d_1 + g)$
- b) 직사각형 전극 $p = 2(a + d + 2g)$
- c) 정사각형 전극 $p = 4(a + g)$
- d) 관 모양 전극 $p = 2\pi d_0$

기호의 의미는 B1절과 동일하다.

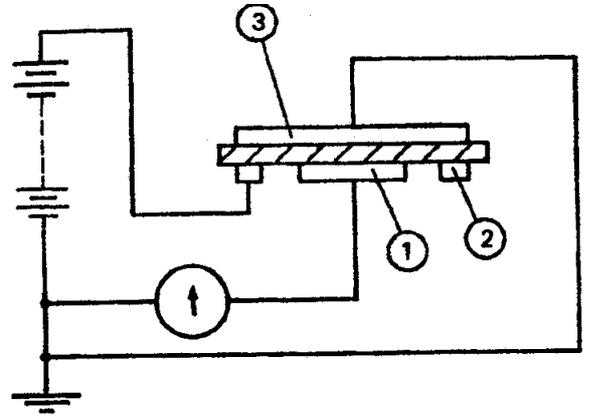
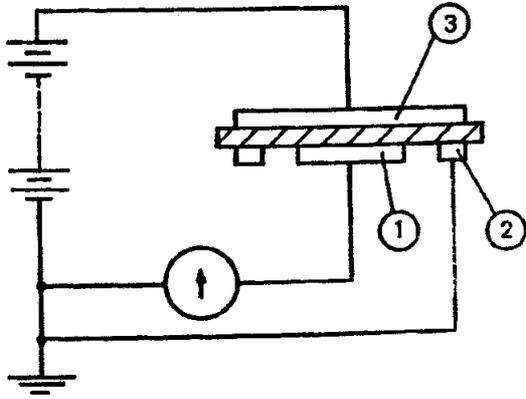


그림 1. 보호된 전극 사용의 기본연결도

a) 체적고유저항

b) 표면고유저항

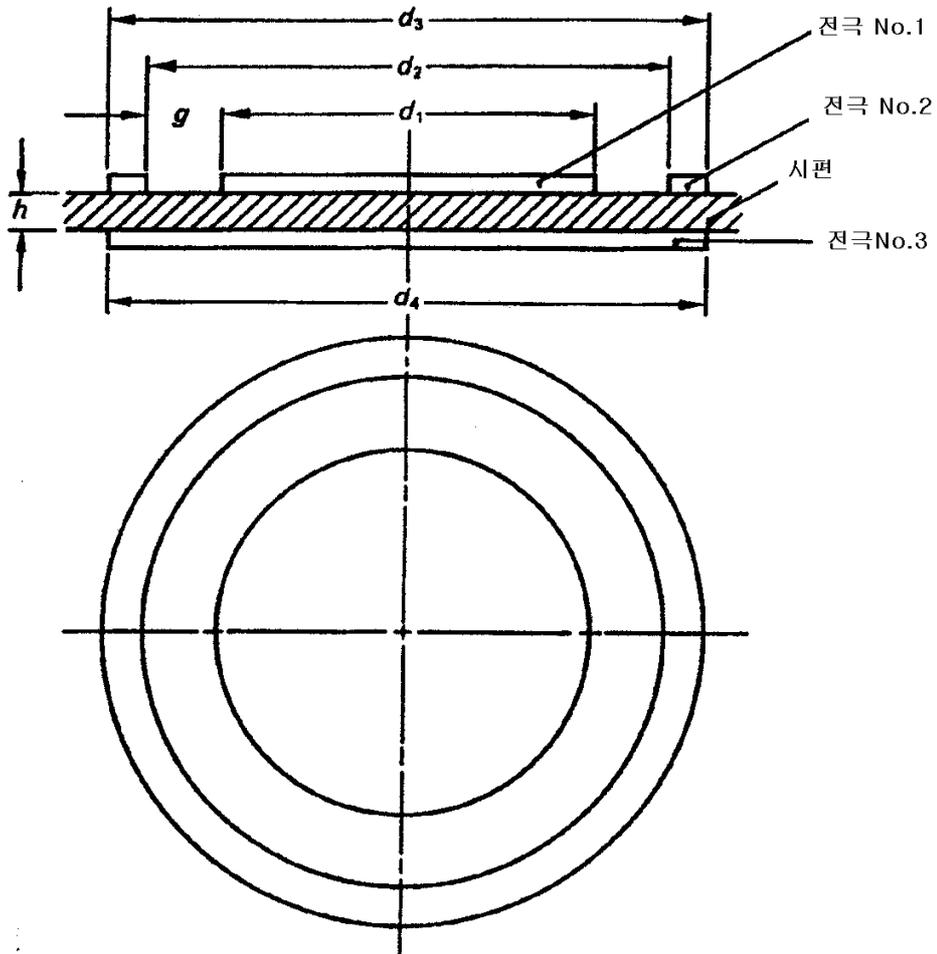


그림 2. 평평한 시편에서의 전극배열의 예

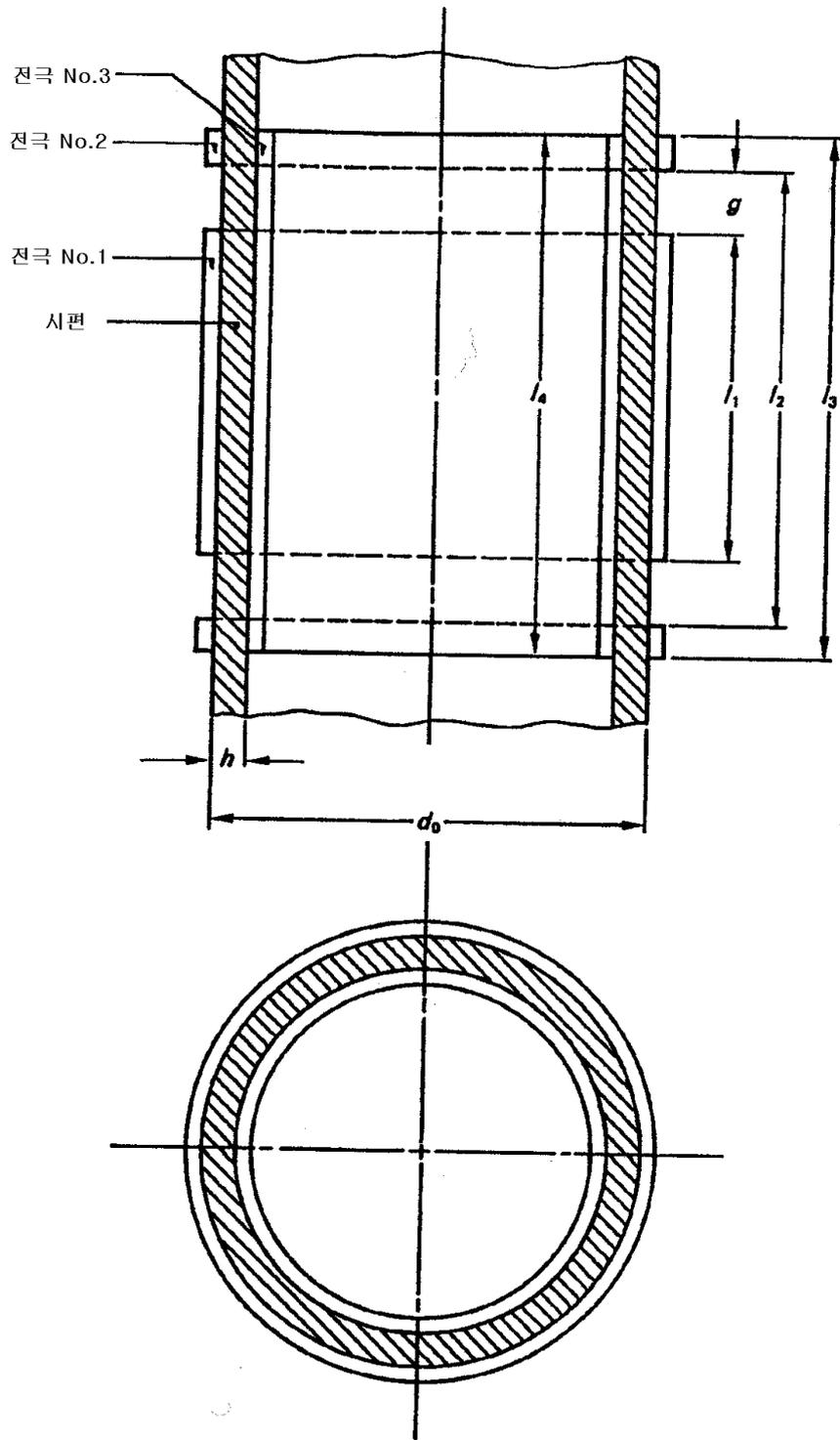


그림 3. 관모양 시편에서의 전극배열의 예

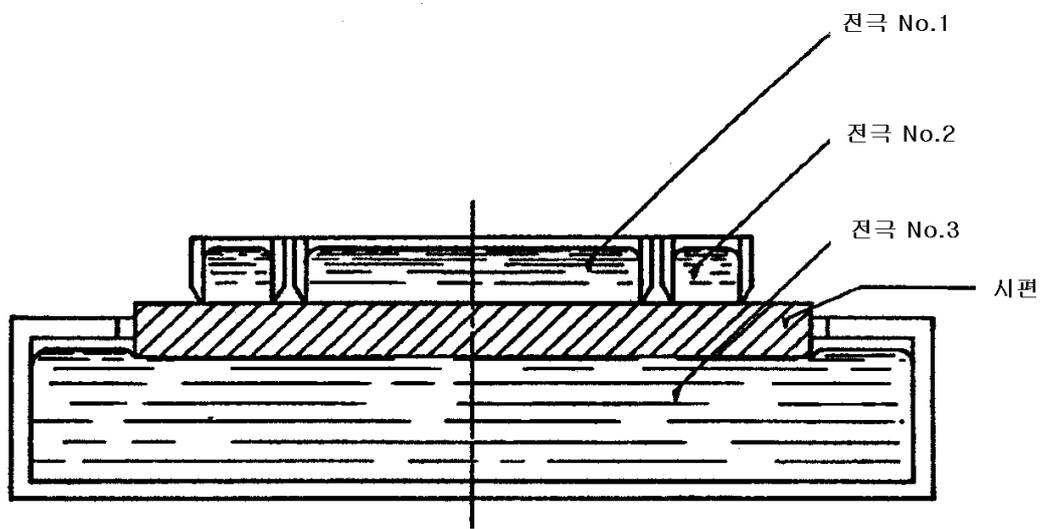


그림 4. 액체 전극의 배열

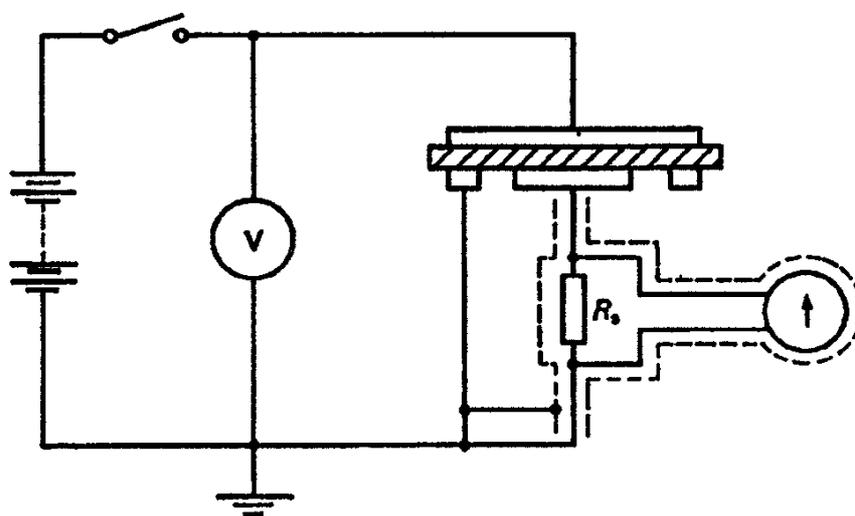


그림 5. 체적저항을 측정하기 위한 전압-전류계 방법

표면저항의 측정을 위한 시편의 연결은 그림1 b)와 같다.

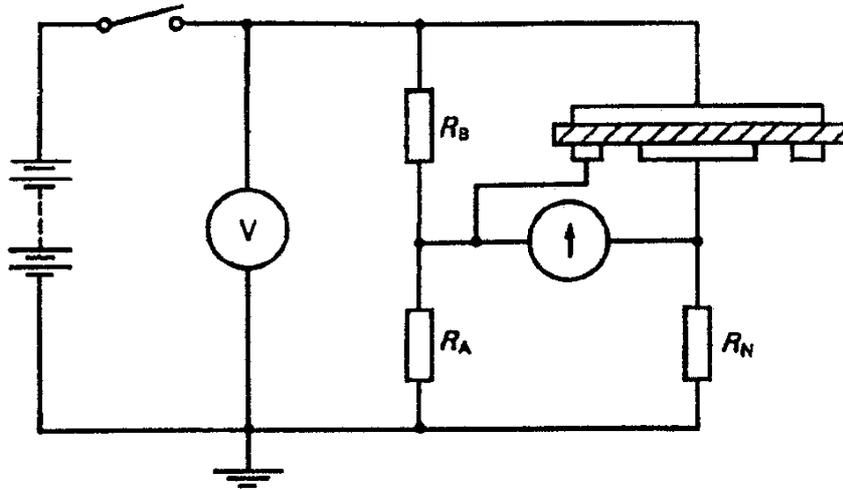


그림 6. 체적저항을 측정하기 위한 휘이스톤브릿지 방법
표면저항의 측정을 위한 시편의 연결은 그림1 b)와 같다.

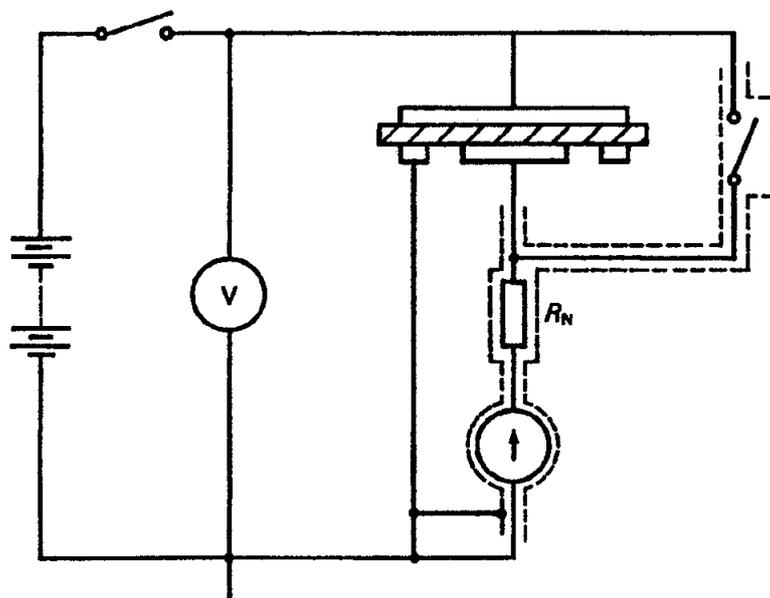


그림 7. 체적저항을 측정하기 위한 전류계 방법
표면저항의 측정을 위한 시편의 연결은 그림1 b)와 같다.