



KC 60250

(개정 : 2015-09-23)

IEC Ed1.0 1969-01

전기용품안전기준

Technical Regulations for Electrical and Telecommunication Products and Components

상용, 가청, 무선주파수 대역의 전기절연재료 유전율 및 유전 손실을 측정방법

Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio frequencies including metre wavelengths

KATS 국가기술표준원

<http://www.kats.go.kr>

목 차

전기용품안전기준 제정, 개정, 폐기 이력 및 고시현황	1
서 문	2
1. 목적과 적용 범위 (Object and scope)	3
2. 정 의 (Definitions)	3
3. 전기 절연 재료의 용도와 특성 (Use and properties of electrical insulating materials)	5
4. 시료의 형태와 전극의 배열 (Form of specimen and electrode arrangement)	6
5. 측정 방법의 선택 (Choice of measuring methods)	11
6. 시험 절차 (Test procedure)	11
7. 결 과 (Results)	12
8. 시험 성적서 (Test report)	13
부 속 서 A (Annex A)	14
그 림 (Figure)	24
해 설 1	31
해 설 2	32

전기용품안전기준 제정, 개정, 폐지 이력 및 고시현황

제정 기술표준원 고시 제 2001 -120호 (2001. 2. 20)
개정 국가기술표준원 고시 제2014-0421호(2014. 9. 3)
개정 국가기술표준원 고시 제2015-383호(2015. 9. 23)

부 칙(고시 제2015-383호, 2015.9.23)

이 고시는 고시한 날부터 시행한다.

전기용품안전기준

상용, 가청, 무선주파수 대역의 전기절연재료 유전율 및 유전 손실을 측정방법

Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric
dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio
frequencies including metre wavelengths

이 안전기준은 1969년 1월에 발행된 IEC 60250, Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio frequencies including metre wavelengths를 기초로, 기술적 내용 및 대응 국제표준의 구성을 변경하지 않고 작성한 KS C IEC 60250(2003.10)을 인용 채택한다.

상용, 가청, 무선주파수 대역의 전기절연재료 유전율 및 유전 손실을 측정방법
Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric
dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio
frequencies including metre wavelengths

1. 목적과 적용 범위

이 표준은 유전율과 유전 손실률을 결정하기 위한 과정과 유전율과 유전 손실률을 이용해 계산된 약 15Hz~300MHz 주파수 범위 내의 손실 지수(loss index) 같은 양을 결정하는 데 적용한다.

이 표준에서 설명하는 방법 중의 몇 가지는 특별히 주의하여 15Hz~300MHz 주파수 범위보다 높거나 낮은 주파수에서 측정하는 데 사용할 수 있다.

고체뿐 아니라 액체나 가용성의 재료도 이러한 방법으로 측정할 수 있다. 측정된 값은 주파수, 온도, 수분 함유량, 특별한 경우 장의 세기 같은 물리적 조건에 영향을 받는다.

몇 가지 경우의 경우, 전압이 1 000V를 넘는 시험은 유전율과 유전 손실률과 관계되지 않는 효과를 유도할 수도 있으나, 여기에서는 언급하지 않는다.

2. 정 의

2.1 상대 유전율 ϵ_r

절연 재료의 상대 유전율은 전극 사이의 공간과 전극 주변에 전체적, 독점적으로 절연 재료를 채우고 있는 커패시터의 커패시턴스(정전 용량) C_x 와 진공 상태에서 같은 전극 구성의 커패시턴스 C_0 과의 비율이다.

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \dots\dots\dots (1)$$

대기압에서 이산화탄소가 제거된 건조한 공기의 상대 유전율()은 1.00053이고, 실제로 공기 중에 있는 전극의 커패시턴스 C_a 를 충분한 정확도를 가진 상대 유전율을 결정하기 위해서 보통 C_0 를 대신해서 사용한다.

측정 시스템에서 절연 재료의 유전율은 그 측정 시스템에서의 상대 유전율 과 유전 상수 또는 진공에서의 유전율 의 곱이다.

SI계에서, 절대 유전율은 F/m (Farad per meter)로 표현된다. 또한 SI 단위에서 유전 상수 는 다음과 같은 값을 가진다.

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} F/m \approx \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} F/m \dots\dots\dots (2)$$

이 표준의 목적을 위해서는 커패시턴스를 계산하는 데 pF 과 cm 가 사용된다.

유전 상수는

$$\epsilon_0 = 0.08854 \text{ pF/cm}$$

2.2 유전 손각 δ (dielectric loss angle)

절연 재료의 유전 손실각은 커패시터의 유전체가 오직 유전성 재료로만 구성되어 있을 때, 인가된 전압과 $\pi/2 \text{ rad}$ 로부터의 전류 편차 사이의 상 차이에 의한 각이다.

2.3 유전 손실률 $\tan\delta$ (dielectric dissipation factor)

절연 재료의 $\tan\delta$ 는 손실각의 탄젠트값이다.

2.4 손실 지수 (loss index)

절연 재료의 손실 지수는 $\tan\delta$ 와 의 곱과 같다.

2.5 상대 복소 유전율

(relative complex permittivity)은 상대 유전율과 손실 지수를 조합하여 유도한다.

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \dots\dots\dots (3)$$

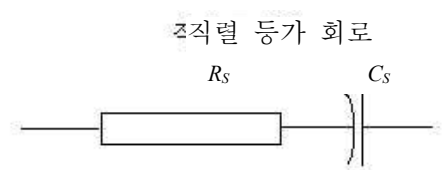
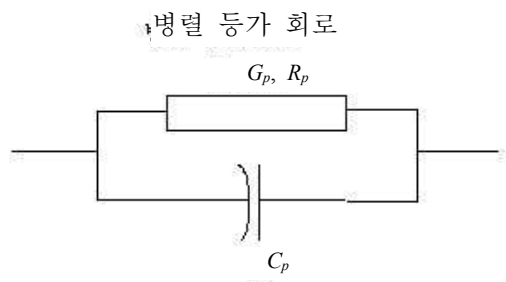
$$\epsilon_r' = \epsilon_r \dots\dots\dots (4)$$

상대 유전율은 2.1에서 설명하였다.

$$\epsilon_r'' = \epsilon_r \tan \delta \dots\dots\dots (5)$$

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \dots\dots\dots (6)$$

비 고 커패시터의 손실은 직렬에서의 커패시턴스 C_s 와 저항 R_s 또는 병렬에서의 커패시턴스 C_p 와 저항 R_p (또는 전도도 G_p)에 의해 주어진 주파수에서 나타낼 수 있다.



$$\tan \delta = \frac{1}{\omega C_p R_p} = \frac{G_p}{\omega C_p} \dots\dots\dots (7)$$

$$\tan \delta = \omega C_s R_s \dots\dots\dots (8)$$

유전 손실(dielectric loss)을 가지고 있는 절연 재료의 병렬 표현이 더 적절한 표현인 반면에, 단일 주파수에서 저항 R_s 와 직렬로 연결되어 있는 커패시턴스 C_s 에 의해 커패시터를 표현하는 것이 가능하고 종종 바람직하다.

직렬과 병렬 구성 요소 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$C_p = \frac{C_s}{1 + \tan^2 \delta} \dots\dots\dots (9)$$

$$R_p = \frac{1 + \tan^2 \delta}{\tan^2 \delta} R_s \dots\dots\dots (10)$$

$$\omega C_s R_s = \frac{1}{\omega C_p R_p} \dots\dots\dots (11)$$

유전 손실을 $\tan\delta$ 는 직렬과 병렬 표현에서 같다.

측정 회로가 직렬 구성 요소로서 결과를 산출하고, 방정식(9)에서 $\tan^2 \delta$ 가 너무 커서 무시할 수 없다면, 유전율이 계산되기 전에 병렬 커패시턴스가 반드시 계산해야 한다.

이 표준의 계산과 측정은

$$\omega = 2\pi f$$

의 전류의 정현파 형태(sinusoidal wave-form)에 근거한다.

3. 전기 절연 재료의 용도와 특성

3.1 유전체의 목적

유전체 재료는 대체로 두 가지 방법으로 사용된다.

- 전기적 조직의 구성 성분을 지지하고 개개의 소자와 접지로부터 절연(isolate)시킨다.
- 커패시터의 유전체로 사용한다.

3.2 유전 특성에 영향을 주는 인자

아래에 열거된 것처럼, 유전 특성에서 주파수, 온도, 수분, 장 세기(field strength)의 영향에 대해 개별적으로 다룬다.

3.2.1 주 파 수

용해된 실리카, 폴리스티렌, 폴리에틸렌 같은 다만 몇 가지 재료만이 유전체 재료가 기술적 목적으로 쓰이는 넓은 범위의 주파수에서 실제로 일정한 $\tan\delta$ 를 가지고 있기 때문에, 유전체 재료가 사용될 주파수 대역에서 유전 손실률과 유전율을 측정하는 것은 필요하다.

유전율과 유전 손실률의 변화는 유전 분극(dielectric polarization)과 전도도(conductivity)에 의해 발생된다. 가장 중요한 변화는 극성 분자에 기인한 쌍극자 분극(dipole polarization)과 재료의 불균등성(inhomogeneities)에 기인한 계면 분극화(interfacial polarization)에 의해 발생된다.

3.2.2 온 도

손실 지수는 유전체 재료의 온도에 영향을 받는 주파수에서 최대값을 보일 것이다. 유전 손실률과 유전율의 온도 계수는 측정 온도에 따른 손실 지수의 최대값의 위치에 따라서 양이나 음이 될 수 있다.

3.2.3 수 분

분극의 정도는 물의 흡수나 유전체 재료 표면의 물 막(water film) 형성에 의해 증가하고, 그로 인해 유전율, 유전 손실률, 직류 전도도가 상승한다. 시험 결과가 정확히 해석되려면 시험 시료의 전처리 는 매우 중요하며, 시험 전과 시험 동안의 수분 함유량의 제어는 필수적이다.

비 고 습도의 전체적인 효과는 대체로 대략 1MHz 이하의 주파수와 마이크로파 주파수 대역에서 발생한다.

3.2.4 장 세기

계면 분극이 존재할 때, 자유 이온의 수가 장세기에 따라서 증가하고, 손실 지수 최대값의 양과 위치가 변경된다.

더 높은 주파수에서는 유전체에서 부분 방전이 일어나지 않는 한, 유전율과 유전 손실률은 장 세기에 영향을 받지 않는다.

4. 시료의 형태와 전극의 배열

4.1 고체 절연 재료

4.1.1 고체 시료의 형상(geometry)

재료의 유전율과 유전 손실률을 결정하기 위해서는, 시트(sheet) 시료가 바람직하다. 그러나 재료는 관 모양(tubular) 형태만이 유용할 수도 있다.

유전율의 측정에서 높은 정확도가 필요할 때, 가장 최고의 불확정의 원인은 시료의 치수와 특히 두께이며, 이 두께는 요구되는 정확도의 측정에서 허용하는 만큼 충분히 커야 한다. 두께의 선택은 시료를 만드는 방법과 두께의 편차에 영향을 받는다. 더 높은 정밀도를 위해서는 예를 들면 6~12mm 정도의 두꺼운 시료를 사용하는 것이 바람직하지만, 1%의 정확도를 가지기 위해서는 1.5mm 정도의 두께면 충분하다. 두께는 전기적 측정에 사용된 시료의 전 영역에 걸쳐 대칭적으로 분포된 위치에서 측정한 것에 의해 결정해야 하고, 평균 두께의 $\pm 1\%$ 내에서 그 값이 일정해야 한다. 전극을 시료의 모서리로 확장할 때, 재료의 밀도를 알고 있다면 무게를 재서 두께를 확인할 수 있다. 시료의 선택된 영역은 원하는 정확도로 측정할 수 있는 시료의 커패시턴스를 제공해야 한다. 잘 보호되고(guarded) 차폐된(screened) 기구를 가지고, 10pF 커패시턴스를 측정하는 데는 별 어려움이 없다. 그러나 많은 쓰고 있는 기구는 약 1pF에서 해상도에 한계를 보이며, 그 때 시료는 얇고 지름이 10cm나 그 이상이어야 한다.

유전 손실률이 작은 값으로 측정될 때, 리드의 직렬 저항에 의한 손실은 되도록 작아야 하는 것이 필수적이다. 즉 측정된 저항과 커패시턴스의 곱은 되도록 작아야 한다. 또한 총커패시턴스에 대해 측정된 커패시턴스의 비는 최대한 커야 한다. 첫 번째 사항은 리드의 저항을 가능한 한 낮게 유지하는 것이 필요하고, 작은 시료 커패시턴스를 가지는 것이 바람직하다는 것을 나타낸다. 두 번째 사항은 시료가 연결된 브리지의 암(the arm of the bridge)에서 총커패시턴스가 작아야 하고, 큰 시료 커패시턴스를 가지는 것이 바람직하다는 것을 나타낸다. 종종 최고의 절충안은 시료와 병렬로 약 5pF 이상 연결하지 않는 측정 회로에서 약 20pF의 커패시턴스를 가지는 시료를 사용하는 것이다.

4.1.2 전극 시스템

4.1.2.1 시료에 인가된 전극

전극은 4.1.3에 열거한 재료 중의 하나를 사용하여 시료의 표면에 적용한다. 가드 링(guard-ring)을 사용하지 않고 시료의 두 면에 전극을 정확하게 반대편에 위치시키는 데 어려움이 있다면, 하나의 전극이 다른 전극보다 더 커야 한다. 전극과 함께 시료를 금속 지지 전극(metal backing electrode) 사이에 올린다. 금속 지지 전극은 시료 전극보다 조금 더 작아야 한다. 디스크 형태나 실린더 형태 전극의 다른 배열의 커패시턴스를 계산하기 위한 방정식뿐 아니라, 이 조건의 근사 모서리 커패시턴스를 계산하기 위한 실험 방정식(empirical equation)이 표 I에 주어져 있다. 이러한 방정식은 시료 형태의 제한된 범위에서만 사용한다.

이 형태의 전극은 시료 표면과 금속판이 매우 평평하지 않으면, 높은 주파수에서 유전 손실률의 측정에 사용하기가 적당하지 않다. 그림 1의 전극 시스템은 또한 일정한 두께를 가진 시료가 필요하다.

4.1.2.2 전극을 사용하지 않는 시료

충분하게 낮은 표면 전도도를 가진 시료는 전극을 인가하지 않고 시료의 한쪽 또는 양쪽 면이 공기나 액체로 채워진 의도적(intentional) 간격이 있는 전극 시스템에 시료를 삽입하여 시험할 수 있다.

평판형이나 실린더형 전극 배열의 커패시턴스를 계산하기 위한 방정식이 표 III에 주어졌다. 기구의 두 형태는 특히 사용이 편리하다.

4.1.2.2.1 공기 중에서 마이크로미터로 제어되는 평행 전극

커패시턴스는 삽입된 시료를 사용하거나 사용하지 않거나 같은 값으로 조정할 수 있고 유전율은 측정 기구의 전기적 눈금 보정(electrical calibration)의 기준 없이 결정된다.

가드 전극은 전극 시스템에 포함될 수 있다.

4.1.2.2.2 유체 치환 방법(fluid displacement method)

유전율이 거의 시료의 것과 같고 유전 손실률을 무시할 수 있는 액체에서, 측정은 시료 두께 정보의 정확성에 대해 평소보다 덜 정밀하게 요구한다. 두 가지의 유체를 번갈아 사용하여 시료 두께와 전극 시스템의 치수를 방정식으로부터 제거할 수 있다.

시험 시료는 셀 전극 또는 마이크로미터 전극과 같은 지름을 가진 디스크형이어야 하고, 모서리 효과(edge effect)를 무시할 수 있을 정도로 충분히 작아야 한다. 마이크로미터 전극에서 모서리 효과를 무시할 수 있도록 하기 위해서는 시료의 지름은 적어도 시료 두께의 2배가 될 정도로 마이크로미터 전극의 지름보다 작아야 한다.

4.1.2.3 모서리 효과(edge effect)

모서리 효과에 의해 발생하는 유전률의 오차를 피하기 위해서, 전극 시스템은 가드 전극을 포함할 수 있다. 그렇다면 가드 전극의 폭은 시료 두께보다 적어도 2배가 되어야 하고, 가드 전극과 주전극 사이의 간격은 시료 두께와 비교해서 작아야 한다. 가드 링을 사용하지 않는다면, 보정은 대체로 모서리 커패시턴스에 대해서 한다. 근사 방정식은 표 1에 주어져 있다. 이러한 방정식은 실험을 근거로 하고 제한된 범위의 시료 형태에서만 적용한다.

선택적으로 모서리 커패시턴스는 사용하기 쉬운 주파수나 온도에서 가드 링을 사용하거나 사용하지 않는 측정을 통해 찾을 수 있다. 발생하는 모서리 커패시턴스는 또한 다른 주파수와 온도에서도 보정(correction)하여 사용하기 위해 충분히 정확할 수 있다.

4.1.3 전극 구성을 위한 재료

4.1.3.1 금속 박편(metal foil) 전극

금속 박편 전극은 되도록 가장 적은 양의 규소 수지나 다른 적합한 저 손실 접착제를 사용하여 시료에 적용할 수 있다. 금속 박편은 두께가 100 μ m에 이르는 순수한 주석이나 납, 이러한 금속의 합금, 두께가 10 μ m보다 적은 알루미늄일 것이다. 알루미늄 박편은 어쨌든 간에, 측정 결과에 영향을 미칠 전기 절연 산화물 막을 형성하기 쉽다. 금 박편도 또한 쓰인다.

4.1.3.2 태워진 금속(fired-on metal) 전극

금속 필름은 유리, 운모, 세라믹 위에서 태워지고, 이러한 재료 위에서 시험하는 것이 적합하다. 은이 일반적으로 사용되나 높은 온도나 습도에서 전위 차에 의해 이동하므로 금이 더 좋다.

4.1.3.3 스프레이 금속(spraying metal)으로 만들어진 전극

아연이나 구리 전극이 시료 위에 뿌려진다. 그들은 거친 표면에 쉽게 순응한다. 침투하지 못하는 매우 작은 구멍이 있는 천에도 사용할 수 있다.

4.1.3.4 고진공에서 증착 또는 케소드 증착(cathodic evaporation)한 금속 전극

합력(resultant stress)이 절연 재료를 변화시키지 못하거나 또는 파손시키지 못하거나, 재료가 진공에 노출되었을 때 많은 양의 기체를 방출하지 못한다면 이 공정이 사용될 수 있다. 이러한 전극의 모서리는 뚜렷이 규정된다.

4.1.3.5 수은이나 다른 액체 금속 전극

액체 금속 전극은 적당히 속이 빈 블록 사이에 시료를 고정시켜서, 순수한 액체 금속을 채워 놓음으로써 사용할 수 있다. 수은은 높은 온도에서 사용하지 않아야 하고, 수은이 기화되면 독성을 가지기 때문에 실내 온도에서 사용할 때일지라도 예방 조치가 필요하다.

목재 금속(wood's metal)이나 다른 낮은 용융 온도를 가지는 합금을 수은 대신 사용할 수 있다. 이러한 합금은 보통 수은 같은 독성 원소인 카드뮴을 포함한다. 이러한 합금은 적합한 환풍기나 통풍이 잘 되는 방이나 후드 내에서 그리고 일어날 수 있는 건강상의 문제를 알려 줄 직원이 있을 때 100°C 이하의 온도에서만 사용해야 한다.

4.1.3.6 전도성 페인트

공기 건조 또는 다양한 낮은 온도 베이킹(low-temperature-baking) 종류 등의 높은 전도도를 가지는 페인트의 형태는 상업적 전극 재료로서 사용 가능하다. 그들은 충분히 다공성이어서 습기의 확산(diffusion)을 허용하므로 전극의 적용 후에도 시험 시료의 전처리가 가능하다. 이것은 특히 습도효과를 연구하는 데 유용하다. 페인트는 적용 후에 바로 쓸 수 있도록 준비되지 못하는 단점이 있다. 이것은 대체로 냄새 공기로 말리거나 낮은 온도에서의 베이킹을 함으로써 유전율과 유전 손실률을 증가시킬 수 있는 모든 종류의 용제(solvent)를 제거하는 것이 필요하다.

전극의 모서리는 뚜렷이 규정된다. 페인트를 브러시로 칠할 경우 어려움이 있으나, 이러한 한계는 일반적으로 도료를 스프레이하거나 클램프 또는 압력에 민감한 마스크를 사용하여 극복할 수 있다. 은 페인트 전극의 전도도는 높은 주파수에서 문제를 일으키기에 충분할 만큼 낮다.

페인트의 용제가 시료에 영구적인 영향을 미치지 못하게 하는 것은 필수적이다.

4.1.3.7 흑 연

흑연은 추천되지는 않으나, 특별히 낮은 주파수에서 가끔 쓰인다. 그것의 저항은 손실각(loss angle)의 상당한 증가에 대한 원인이 될 것이고, 액체에 부유되어 사용한다면 시료에 침투할 수 있다.

4.1.4 전극의 선택

4.1.4.1 시트 형태 시료

두 가지 고려 사항이 중요하다.

- 전극을 적용하지 않는 작업은 빠르고 편리하며, 전극과 시료 간의 접촉의 효율성에 관한 불확실성을 피할 수 있다.
- 상대 유전율에서의 비례적 오차(proportional error)

$$\frac{\Delta \epsilon_r}{\epsilon_r}$$

오차로부터의 결과

$$\frac{\Delta h}{h}$$

시료 측정 h 의 측정에서

$$\frac{\Delta \epsilon_r}{\epsilon_r} = \frac{\Delta h}{h} \dots\dots\dots (12)$$

시료에 전극을 사용하나, 시료가 고정된 공간 s SUCC h 사이에 놓여 있다면

$$\frac{\Delta \epsilon_r}{\epsilon_r} = \left(1 - \frac{\epsilon_r}{\epsilon_f}\right) \cdot \frac{\Delta h}{h} \dots\dots\dots (13)$$

시료가 담겨 있는 유체의 상대 유전율이 일 때, 공기 중에서의 측정값은 1(unity)이다.

상대 유전율이 약 10인 불침투성 재료에서는, 증착된 금속 전극(deposited metal electrode)이 사용된다. 이런 재료에서는 전극으로 시료의 전체 표면을 덮어야 하고 가드 전극을 필요로 하지 않는다.

상대 유전율이 약 3~10인 재료에서 최고의 정확성을 보이는 전극은 박편, 수은이나 증착된 금속이고, 재료의 특성에 따라 적합하게 선택되어야 한다. 그러나 두께 측정에서 충분한 정확도를 얻을 수 있다면, 시료에 전극을 사용하지 않는 방법이 편리하므로 이것이 바람직하다. 적당한 액체가 존재하고 상대 유전율을 알고 있거나 충분한 정확도를 얻을 수 있다면 액체-함침 방법(liquid-immersion method)이 훌륭하다.

4.1.4.2 튜브 형태 시료

튜브 시료를 위한 가장 적절한 전극 시스템은 유전율, 벽 두께, 지름, 요구되는 측정 정확성에 따라 좌우된다. 일반적으로, 전극 시스템은 각 전극 끝에 가드 전극이 있는 내부 전극과 약간 더 좁은 외부 전극으로 구성된다. 외부 전극과 가드 전극의 틈(gap)은 튜브 벽의 두께와 비교해서 작아야 한다. 작은 크기와 중간 크기 지름의 튜브 시료를 위해서 박편이나 증착된 금속의 세 가지 띠(band)를 튜브의 외부에 적용할 수 있고, 가운데 띠는 박편이나 증착된 금속의 외부 전극으로서 작용하고 각 면의 한쪽은 가드 전극으로 작용한다. 내부 전극에는 수은, 증착된 금속 필름 또는 꼭 맞는 굴대(mandrel)를 사용한다.

높은 유전율의 튜브 시료에서 내부 전극과 외부 전극은 튜브의 전체 길이로 확장될 수 있고, 가드 전극 없이도 시험할 수 있다.

큰 지름의 튜브 또는 실린더에서, 전극 시스템은 튜브 외면의 부분으로서 검사되는 원형이나 직교형 부분(patch)이 될 수 있다. 그러한 시료는 판 시료(sheet specimen)로 처리될 수 있다. 수은, 증착된 박막, 또는 꼭 맞는 굴대(mandrel)의 내부 전극은 금속 박편이나 증착된 금속의 외부 전극과 가드 전극에 쓰인다. 박편전극이 사용된다면, 튜브 내부에 내부 전극과 시료 간에 확실한 접촉을 위해서 유연하고 늘일 수 있는 클램프가 필요하다.

더욱 정확한 측정을 위해서, 시료에 전극을 사용하지 않는 시스템은 두께의 측정에서 충분한 정확도를 얻을 수 있도록 해야 한다. 약 10까지의 상대 유전율을 가지는 시료에서 가장 사용이 편리한 전극은 박편, 수은 또는 증착된 금속이다. 상대 유전율이 10 이상인 시료에서는 증착된 금속 전극을 사용한다. 태워진(fired-on) 전극은 세라믹 튜브에서 사용한다. 전극은 띠나 원주(circumference)의 부분으로서 튜브의 완전한 원주에 적용된다.

4.2 액체 절연 재료

4.2.1 셀의 설계

낮은 유전 손실률을 가진 시험용 액체를 위한 전극 시스템의 필수적 사항은 쉽게 세척되고, 필요하다면 전극의 상대적인 위치에 대한 방해 없이 채워지는 것을 재구성할 수 있는 것이다. 또 다른 사항은 적은 양의 액체가 필요하고, 전극 재료와 액체 간에 서로 영향이 없고, 온도 제어가 쉽고, 터미널과 접속이 알맞게 차폐되고, 전극의 절연 지지대가 액체에 잠기지 않도록 한다. 셀은 측정 정확도에 영향을 줄 수 있는 너무 짧은 크리프거리(creepage distance)와 날카로운 모서리를 가지지 않도록 한다.

셀의 요구 조건은 그림 2~4에 나타나 있다. 전극은 스테인리스강과 붕소 규산염 유리 또는 용해된 수정 절연으로 되어 있다. 그림 2와 3의 셀은 또한 IEC 60247(절연용 액체의 저항 측정을 위한 시험 셀과 셀 세척의 방법)에서 세부적으로 설명된 저항 측정에서도 사용한다.

염화물 같은 액체에서 전극 재료와 유전 손실률의 명확한 영향이 발생한다. 스테인리스강으로 만든 전극이 항상 적합한 것은 아니다. 알루미늄과 두랄루민(duraluminium)으로 만든 전극으로 실험하여 얻은 결과가 더 안정적일 수 있다.

4.2.2 셀의 준비

셀은 순도를 위한 화학적 검사나 낮은 유전율과 유전 손실률을 가진 액체 샘플에서 올바른 결과를 얻을 것인지 확인하여 사전에 불안정한 화합물을 포함하고 있지 않다는 것을 확인한 하나 이상의 적당한 용제나 계속적인 용제의 투입으로 세척되어야 한다. 셀이 몇몇 절연 유체의 형태의 시험에 사용될 때, 오염 물질의 제거에서 용제를 단독으로 사용하는 것으로는 결과를 보이지 않기 때문에 부드러운 연마 세척제와 물로 셀의 전극 표면을 세척할 필요가 있다. 용제를 연속적으로 사용한다면,

최고 끓는점이 100°C보다 낮은 분석적인 단계의 석유 에테르(petroleum ether)나, 대신에 낮은 유전율과 유전 손실률을 가진 액체에 대해 정확한 값을 주는 것으로 알려지고 화학적으로 액체와 비슷한 어떠한 용제로 마무리를 해야 한다. 아래에서 언급된 기술이 추천된다.

셀은 환류(reflux) 작용이나 깨끗한 용제에서 교반 작용(agitation)과 함께 반복적으로 세척함으로써 선택된 용제로 완전하게 모든 부분을 세척하여 제거한다. 모든 부분은 용제를 사용하지 않고 흔들고 거의 110°C에서 30분 동안 오염되지 않은 오븐에 놓는다.

각 부분은 실내 온도에서 몇°C 이상까지 식히고 재배열(reassemble)시킨다. 셀은 측정될 액체로 채워야 하며, 몇 분 동안 채워 두고 비우고 다시 채운다. 절연 지지물은 액체에 의해서 젖어서는 안 된다.

모든 단계에서, 부분은 세척 깔고리나 집게로 조정하여 손으로 내부 표면을 만지지 않는다.

- 비 고 1.** 같은 품질을 가진 기름으로 일상적인 시험을 하는 동안, 위에서 설명한 세척 과정은 찌꺼기가 떨어지지 않는 마른 종이로 각 시험 후에 문지른다.
- 2.** 각자 불이나 독성 물질에 대한 적당한 예방 조치는 용제를 사용할 때 반드시 관찰해야 한다. 벤젠, 탄소 삼염화물, 톨루엔, 크실렌은 특별히 독성이 강하다. 또한 염화물 용제는 빛에 의해 분해된다.

4.2.3 셀의 눈금 보정(calibration)

액체 유전체의 상대 유전율 결정에서 높은 정확도가 필요할 때, “전극 상수”는 벤젠과 같이 상대 유전율이 알려진 눈금 보정용 액체를 이용해 사전에 결정할 수 있다.

전극 상수 C_c 는 다음과 같은 식으로 결정한다.

$$C_c = \frac{C_n - C_0}{\epsilon_n - 1} \quad \dots\dots\dots (14)$$

여기에서 C_0 : 공기 중에서 배열한 전극의 커패시턴스
 C_n : 눈금 보정용 액체로 채워져 배열된 전극의 커패시턴스
 ϵ_n : 눈금 보정용 액체의 상대 유전율

C_0 와 C_c 의 값의 차이에서 보정 커패시턴스가 주어진다.

$$C_g = C_0 - C_c \quad \dots\dots\dots (15)$$

모르는 액체의 상대 유전율 는 다음과 같이 계산한다.

$$\epsilon_x = \frac{C_x - C_g}{C_c} \quad \dots\dots\dots (16)$$

여기에서 C_x : 검사항 액체로 채워져 배열된 전극의 커패시턴스

경의 값을 알고 있는 온도에서 C_0 , C_n , C_x 값이 결정된다면 경의 최고 정확도가 얻어진다.

설명된 방법의 응용은 기생 커패시턴스(parasitic capacitance)나 전극 간의 간격에 대한 정밀하지 않은 측정 때문에 발생하는 오차를 제거하여 액체 유전체의 상대 유전율 결정에서 충분히 정확한 결과를 얻을 수 있도록 한다.

5. 측정 방법의 선택

유전율과 유전 손실률을 측정하기 위한 방법은 무존재 방법과 공명 방법의 두 가지로 나눌 수 있다.

5.1 무존재 방법(null methods)

무존재 방법은 약 50MHz에 이르는 주파수에서 사용된다. 유전율과 유전 손실률의 측정을 위해서 대체 방법이 사용될 수 있다. 그것은 브리지가 시료에 연결되거나 연결되어 있지 않거나 망상(network)의 한 가지에서 조절하여 평형을 이루도록 한다. 일반적으로 사용되는 망상은 셰링 브리지(schering bridge), 변압기 브리지(즉 상호 인덕턴스에 의해 결합된 암(arm)의 비율을 가진 브리지), 병렬-T(parallel-T)이다. 변압기 브리지는 어떤 부가적인 구성 요소 또는 작동 없이 가드 전극을 사용하는 이점을 가지고 있다. 다른 망상과 비교해서 불이익이 없다.

5.2 공진 방법(resonance methods)

공명 방법은 10kHz에서 몇백 MHz의 범위에서 사용할 수 있다. 이 방법에는 늘 대체 방법이 있다. 공통적으로 쓰이는 방법은 리액턴스-변화 방법(reactance-variation)이다. 이 방법은 가드 전극을 쉽게 적응시킬 수 없다.

비 고 전형적인 브리지와 회로의 예는 **부속서**에 있다. 이 목록은 결코 완전한 것이 아니다. 더 자세한 브리지에 대한 설명과 측정 방법은 논문과 그런 기구를 만드는 회사의 팸플릿에서 찾을 수 있다.

6. 시험 절차

6.1 시료의 준비

시료는 측정된 초기 상태를 얻기 위해 고체 재료에서 자르거나, 적합하게 표준화된 기술에 의해 준비한다.

그 후에 두께의 측정은 $\pm(0.2\%+0.005\text{mm})$ 의 허용 오차를 가지고 측정한다. 측정 지점은 시료 전역에 일정하게 분포한다. 필요하다면 유효 영역이 결정된다.

6.2 전 처 리

전처리는 관련 시방에 따른다.

6.3 측 정

전기적 측정은 이 표준과 사용된 장비 제조사의 제안에 따른 적용 방법에 따라 적합하게 수행된다.

1MHz 이상의 주파수에서, 연결 리드의 인덕턴스가 결과에 영향을 주지 않도록 주의해야 한다. 동축 리드 시스템(coaxial-lead system)이 유용하다.

7. 결 과

7.1 상대 유전율

시료 자체의 전극에 의해 제공된 시료의 상대 유전율은 방정식(1)에 의해 계산된다.

가드링(guard-ring)이 없는 시료에서 측정된 커패시턴스 는 적은 양의 모서리 커패시턴스(edge capacitance) C_e 를 포함하기 때문에, 상대 유전율은

$$\epsilon_x = \frac{C'_x - C_e}{C_0} \dots\dots\dots (17)$$

여기에서 C_0 와 C_e 는 **표 I**에서 계산할 수 있다.

필요하다면 보정은 접지에서 시료의 커패시턴스, 스위치 접촉 간의 커패시턴스 및 등가의 직병렬 커패시턴스 간의 차이를 비슷하게 한다.

마이크로미터 전극 또는 비접촉 전극 사이에서 측정된 시료의 상대 유전율은 **표 II, III**에서의 적합한 방정식에 따라 계산한다.

7.2 유전 손실률

$\tan\delta$ 유전 손실을 $\tan\delta$ 는 사용되는 개별 측정 장치에 대해 주어지는 방정식에 따라 측정된 값으로부터 계산된다.

7.3 정 확 도

5.과 부속서에서 설명한 방법은 $\pm 1\%$ 의 유전율과 $\pm(5\%+0.0005)$ 의 유전 손실을 측정에서의 정확도를 보인다. 이러한 정확도는 적어도 세 가지 요인에 영향을 받는다. 커패시턴스와 유전 손실을 관찰의 정확성, 사용된 전극 배열로 인한 커패시턴스와 유전 손실률 양의 보정에 대한 정확성, 직접 전극 간 진공 커패시턴스(direct interelectrode vacuum capacitance) 계산의 정확성이다.

적당한 상태와 낮은 주파수에서, 커패시턴스는 $\pm(0.1\% + 0.02\text{pF})$ 과 $(2\% + 0.000\ 05)$ 의 정확도로 측정할 수 있다. 더 높은 주파수에서 이러한 제한은 커패시턴스는 $\pm(0.5\% + 0.1\text{pF})$, 유전 손실률은 $(2\% + 0.00\ 02)$ 으로 증가할 것이다.

가드 전극을 가진 유전체 시료는 오직 직접 전극 간 진공 커패시턴스 계산에서의 오차만을 가진다. 주전극(guarded electrode)과 가드 전극 간의 너무 넓은 간격으로 인한 오차는 몇십%일 것이고, 보정은 몇%에서 계산된다. $\pm 0.005\text{mm}$ 까지 측정 가능하다고 가정할 때, 시료의 두께 측정의 오차는 평균 두께 1.6mm에서 몇십%이다. 원형 시료의 지름은 $\pm 0.1\%$ 의 정확도로 측정할 수 있어야 하나, 제곱으로 들어간다. 이러한 오차가 합쳐져서, 직접 전극 간 진공 정전 용량은 $\pm 0.5\%$ 의 정확도로 결정된다.

표면에 전극을 적용하고 마이크로미터로 측정되는 시료의 커패시턴스는 직접 전극 간 커패시턴스의 보정 이외의 보정이 필요 없고, 마이크로미터 전극보다 충분히 더 작은 지름의 시료에 제공된다. 두 터미널을 가진 시료가 다른 방법으로 측정될 때, 모서리와 접지 커패시턴스가 시료 커패시턴스의 2~40%이면 모서리와 접지 커패시턴스의 계산은 상당한 오차를 포함한다. 이러한 커패시턴스의 정보를 통해서, 모서리 커패시턴스는 10%의 오차를 가지고 접지 커패시턴스는 25%의 오차를 보인다. 따라서 총오차는 몇%에서 몇십%가 된다. 그러나 전극 어느 하나도 접지 되지 않았을 때, 접지 커패시턴스는 상당히 줄어든다.

마이크로미터 전극으로, 실제값의 $\pm 0.000\ 3$ 이내에서 0.03의 차수(order)로, 또한 $\pm 0.000\ 05$ 이내에서 0.000 2의 차수로 유전 손실률을 측정하는 것은 가능하다. 유전 손실률의 범위는 일반적으로 0.000 1~0.1이며, 0.1까지 늘어날 수도 있다. 10~20MHz 사이에서는 0.000 02의 유전 손실률을 감지할 수 있다. 1과 5 사이의 상대 유전율은 실제값의 $\pm 2\%$ 까지 측정할 수 있다. 정확도는 직접 전극 간 진공 커패시턴스의 계산에서 요구되는 측정 정확도와 마이크로미터 전극 시스템의 오차에 의해서 제한된다.

8. 시험 성적서

결과 보고서에서는 관련되는 다음의 정보가 주어진다.

- 절연 재료의 종류와 명칭 및 운반 형태
- 샘플링 방법, 모양 시험 시료의 크기, 샘플링 날짜
- (필요하다면 시료의 두께와 전극 접촉 부분의 시료 처리에 대한 정확한 정보 언급)
- 시료 전처리의 방법과 지속 기간
- 시료에 적용한 전극 배열과 형태
- 측정 기구
- 시험하는 동안의 온도와 상대 습도, 시료의 온도
- 인가 전압
- 인가 주파수
- 상대 유전율 ϵ (평균값)
- 유전 손실률 $\tan \delta$ (평균값)
- 시험 날짜

필요하다면, 온도와 주파수에 관계가 있는 상대 유전율 및 유전 손실률의 값과 손실 지수로 계산된 값 및 손실각이 주어질 수 있다. 모든 경우에 필요하거나 적합한 것은 아니다.

부속서A 시험용 기구

1. 셰링 브리지(schering bridge)

1.1 일반 사항

셰링 브리지는 유전율과 유전 손실을 측정하는 데 가장 전형적인 소자이다. 이것은 전력 주파수(50~60Hz) 이하에서 100kHz 단위까지의 주파수 범위에서 50~1 000pF(일반적 시료 또는 시험되는 장치의 커패시턴스)의 커패시턴스 측정을 위해 사용된다.

이것은 네 암의 망상(four-arm network)으로 이루어지고, 그 중 2개의 암은 주로 커패시턴스 성분(알지 못하는 커패시턴스 C_X 와 손실이 없는 커패시턴스 C_N), 다른 두 암은 반응하지 무유도 저항 R_1 과 R_2 를 구성되고, 모르는 커패시턴스 C_X 반대쪽에 위치한 저항(R_1)은 커패시턴스(C_2)에 의해 병렬 연결(shunt) 된다.

이 최종 커패시턴스와 R_1 과 R_2 중 적어도 하나를 조정한다.

저항과 (순수)커패시턴스 C_S 를 직렬로 연결한 등가 표현을 커패시턴스 C_X 를 위해 선택한다면, 그림 5에 묘사된 브리지의 평형은 다음과 같다.

$$C_S = C_N \frac{R_1}{R_2} \dots\dots\dots (18)$$

$$\tan \delta_X = \omega C_S R_S = \omega C_1 R_1 \dots\dots\dots (19)$$

저항 R_2 가 커패시턴스 C_2 에 의해서 병렬 연결된다면, $\tan \delta$ 는 다음과 같이 표현한다.

$$\tan \delta_X = \omega C_1 R_1 = \omega C_2 R_2 \dots\dots\dots (20)$$

브리지의 실제 이해는 주파수 범위에 따라서 분명하게 달라질 것이다. 50~1 000pF의 커패시턴스는 50Hz에서는 약 30~60MΩ의 임피던스, 100kHz에서는 약 1 500~30 000Ω의 임피던스를 나타낸다는 사실이 그 결과이다.

후자의 경우, 전력 주파수의 범위가 아닌 주파수에서 브리지의 네 암(four arms)은 쉽게 같은 양의 임피던스를 가질 것이다. 낮은 주파수 및 (상대적으로)높은 주파수에서 두 가지 다른 사용 형태가 구별된다.

1.2 저주파수 브리지

저주파수 브리지는 감도의 이유뿐 아니라 낮은 주파수에서 유전 손실의 문제에 거의 독점적으로 흥미를 끄는 고전압 기술이기 때문에 저주파수 브리지는 보통은 고전압 브리지로 사용한다. 커패시턴스 성분과 측정 암(measuring arms) 간의 임피던스 양의 매우 큰 차이는 결과적으로 커패시턴스 C_X 와 C_N 에 걸쳐 발견되는 전압의 가장 큰 부분에 의해서 전압의 분배에서 비슷한 불평형을 초래한다. 위에서 주어지는 평형 조건은 고전압 성분으로부터 저전압 성분이 차폐될 때만이 유효하다. 이 차폐는 평형의 안정성을 확인하기 위해서 반드시 접지되어야 한다. 그림 6에서와 같이, 차폐(screening)는 C_X 와 C_N 의 가드된 커패시턴스의 사용에 적합하고, C_N 에 대한 가드는 실제로 필수적이다.

접지 과정에 대한 선택은 대체로 브리지의 두 가지 형태에 따른다.

1.2.1 간단한 차폐 셰링 브리지(simple schering bridge, with screening)

브리지의 B점(측정 암의 면에 브리지의 터미널을 제공)은 차폐와 접지에 연결된다.

차폐는 높은 전압 쪽에 대해서 보호하는 역할을 하나, 감지기(detector) 암의 터미널 M과 N을 유도하는 다양한 도체와 차폐 간의 측정 암을 가로질러 발생하는 전압을 조건으로 커패시턴스를 증가시킨다. 이것은 특히 커패시턴스 C_X 와 C_N 이 다를 때, 오차는 $\tan \delta$ 가 일반적으로 0.1%의 정확도를 가지도록 제한될 것이다.

1.2.2 와그너 접지 회로의 세링 브리지

이것은 **그림 6**에 나타나는 감지기 암(detector arm)과 차폐와 같은 전위를 가지도록 하는 해결책이다. 이것은 추가된 외부 암(external arms) Z_A 와 Z_B (와그너 접지 회로), 그리고 차폐와 접지에 연결된 중간 점 P에 의해 고정된다. 추가한 암(특히 Z_B)은 Z_A 와 Z_B 에 걸친 전압이 브리지의 커패시턴스 성분과 측정 암을 각각 가로지르는 전압과 동일하도록 하기 위해서 조정된다. 이것은 주 브리지 AMNB와 보조 브리지 AMPB(또는 ANPB)의 두 브릿지가 동시에 평형을 이루는 해결책이다. 이 두 평형은 한 브리지에서 다른 브리지로 이동하는 감지기의 연속적인 근사에 의해 도달된다. 정확도에서 일차(one order)의 허용 오차를 얻을 수 있는 이 방법은 현재에 실험에서 브리지에 사용되는 성분의 정밀도에 의해서만 제한된다.

전원의 두 터미널이 접지로부터 절연되도록 하는 것이 하나의 해결책이다. 이것이 불가능하다면 더 복잡한 배열(이중 차폐의 브리지)이 필요할 것이다.

1.3 고주파수용 세링 브리지

이 브리지는 일반적으로 적당한 전압에서 작동하고, 그래서 더 다루기 쉽다. 커패시턴스 C_M 은 자주 조정되고(고전압에서 이 커패시턴스는 대개 고정된 값이다.), 대체 방법이 더 쉽게 채택할 수 있다.

차폐와 와그너 접지 회로는 주파수에 따라서 부적절한 커패시턴스 성분이 증가하는 이유로 여전히 이점을 가지고 사용된다.

1.4 감지기(detector)에 대한 설명

세링 브리지의 B점을 접지 했을 때, (전자 장치에 가장 일반적인) 비대칭 입력을 가진 감지기는 반드시 피해야 한다.

그러나 그러한 감지기는 접지되어 있는 입력단이 항상 P점에 연결되어 있는 와그너 접지 회로의 브리지에 쉽게 사용할 수 있다.

2. 변압기 브리지

2.1 일반 사항

이 브리지는 세링 브리지보다 더 간단한 원리를 기본으로 한다. 기초적인 배열은 **그림 7**에 주어졌다.

평형을 이루고 있을 때, 합성 임피던스(complex impedance) Z_X 와 Z_M 간의 비율은 U_1 과 U_2 의 전압(벡터) 비율과 일치한다. 이 최종 비율을 알고 있다면, Z_X 는 Z_M 에서 쉽게 유도할 수 있다. 이상적인 브리지에서, U_1/U_2 의 비율은 단일 상수 k 이고, $Z_X = kZ_M$. 특히 Z_M 의 독립 변수는 에서 직접 산출한다.

세링 브리지에 비해 변압기 브리지의 가장 큰 이점은 어떤 추가적인 보조 암(arms) 없이 가드 전극과 차폐 접지를 허용한다는 것이다.

이 브리지는 전력 주파수부터 수십 MHz에 이르는 고주파수에 이르기까지 사용한다. 이 범위는 세링 브리지보다 범위가 넓으나, 포함된 주파수 범위에 따라 실현은 분명한 차이를 가진다.

2.2 저주파수 브리지

이것은 고전압 브리지(U_2 전압이 일반 전압일 때, U_1 전압이 더 높음.)이고, 이 기술은 전압 변압기 브리지와 관계가 있다.

두 가지 방법이 사용된다.

- 1) 공급 전압을 직접 권선의 하나에 인가하고, 변압기의 2차측 권선으로 작용한다.
- 2) 브리지의 두 권선이 얻어진 U_1 , U_2 전압 모두를 허용하는 중간 탭을 가진 단일 2차측 권선이나 분리된 2개의 2차 회로를 구성할 때, 공급 전압이 분리된 1차측 권선에 인가된다(**그림 7** 참조).

어떠한 측정 변압기에서, 브리지는 오차(U_1 , U_2 벡터비는 그것의 이론적인 값과 다르다.)를 보일 것이고, 이러한 오차는 부하의 영향을 받는다. 가장 중요한 것은 실제로 $\tan\delta$ 의 측정에 직접적으로 영향을 주는 전압 U_1 , U_2 간의 상 오차이다.

브리지를 보정(calibrate)하는 것은 필수적이다. 이것은 손실(세링 브리지에서 사용되는 것과 비슷한) 없는 커패시턴스 C_N 으로 Z_X 를 대체함으로 이루어진다. C_N 과 C_X 가 같다면, 방법은 실험적으로 대체하고, 즉시 보정된다. C_N 이 적합할지라도, 눈금 조정에서 부하 변화를 평가하는 C_X 는 유효하지 않을 것이다. 일정한 부하에서 작동하는 것이 가능하다면, **그림 8**에서 가리키는 것처럼 C_N 이 측정되었을 때 C_X 에 연결한 스위치는 접지하고 역으로 가능하다. 높은 전압 권선을 위한 일정한 부하는 이들의 합이다.

또한 눈금 조정이 전압 U_1 을 가로질러 순수한 커패시턴스 C_N 을 연결하여 눈금 조정을 했을 때, 전압 U_2 을 따르는 측정된 커패시턴스 Z_M 은 아래의 것으로 구성할 것이다.

- 1) U_1 과 U_2 가 같은 상을 가질 때, 순수한 커패시턴스 C_M
- 2) 전압 U_2 가 전압 U_1 보다 빠를 때, 커패시턴스 C_M 과 저항 R_M ;
- 3) 전압 U_2 가 U_1 보다 느릴 때, 저항 R_M 은 음수이다. 이것은 평형을 회복하기 위해서 전류의 저항 성분이 U_1 면에서 유도된다. 그러나 높은 전압을 위한 매우 높고 적합한 저항은 실험에서 존재하지 않고, 이 저항 성분은 대체로 보조 권선을 통해서 얻어진다.

비 고 C_N 을 가진 직렬 저항의 첨가는 다음과 같은 이유로 불가능하다. 커패시터 아래에 삽입했다면, 측정 전압의 위치 에너지와 C_N 의 보호는 더 이상 같지 않다. 높은 전압 도체에 C_N 전에 삽입했다면, 저항에서의 전류는 또한 보호 회로 전류를 포함하고 눈금 조정이 가능하지 않을 것이다.

이러한 견해는 또한 두 번째 경우를 위한 위에 설명한 R_M 에 적용할 수 있다. 그러나 낮은 전압면에서, 커패시터가 단락된 높고 가변하는 값을 가진 저항은 **그림 9**의 아래쪽에 점을 찍은 선에서 설명한 R_1 , R_2 , R 의 별형 연결을 사용하여 쉽게 얻을 수 있다.

$$R_M = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R'} \dots\dots\dots (21)$$

측정에서 조정 가능한 커패시턴스 C_M 은 순수하거나 낮고 잘 알려진 손실이어야 한다.

2.3 고주파수 브리지

앞에서 말한 고려의 몇 가지를 다시 적용할 것이나, 브리지는 더 이상 높은 전압에서 일반적으로 사용하지 않을 것이고, 전압을 가로지르는 암은 쉽게 조정할 수 있는 성분에 허용될 것이다. 대체 방법을 쉽게 사용한다.

이것은 더욱이 분리된 1차 권선을 가진 브리지가 소스를 따르고 감지기가 상호 변화한다. 평형은 2차 권선에서 상대편의 전류의 보상에 관련이 있다.

2.4 감지기의 설명

감지기 암의 한쪽 끝이 항상 접지되어 있는 동안, 비대칭 입력을 가진 감지기를 사용하는 것은 불필요하다.

3. 병렬 T 망상

병렬 T 망상은 진동자에서 2개의 T 망상이 같고 반대쪽에 감지기 입력이 있는 감지기까지 흐르는 전류가 있는 브리지 회로이다. 이러한 회로에서, 진동자와 감지기는 각각 한 단을 접지에 연결한다. 가능한 몇 가지의 회로에서, 시료와 평형을 맞추는 데 사용하는 다양한 성분도 또한 각각의 한쪽 끝을 접지해야 한다.

그림 10은 저항과 커패시터만을 사용하여 제작한 가장 간단한 병렬 T 망상을 보여 준다. **그림 11**은 유전체 측정에서 가장 공통적으로 사용하는 회로이다.

$$\frac{1}{C_A} + \frac{1}{C_N} + \frac{1}{C_B} = \frac{1}{\omega^2 C_A C_N R_L} \dots\dots\dots (22)$$

$$R_T \left(1 + \frac{C_H}{C_B} \right) = \frac{1}{\omega^2 C_A C_N R_F} \dots\dots\dots (23)$$

실험에서 가변 커패시터는 끝단 X에 연결하고, X, C_V , 전기 전도도는 확실한 값 L과 R_F 로 수정한다. 이 조건에서 회로는 평형을 이룬다. 시료는 X에 연결하고, X와 평형은 커패시턴스 C_V , C_H 의 변화에 의해서 다시 얻어진다.

1) 시료의 커패시턴스는

$$\Delta C_V$$

의 감소분과 같다.

2) 시료의 전기 전도도

$$G = \frac{\omega^2 C_A C_N R_T}{C_B} \cdot \Delta C_H \dots\dots\dots (24)$$

3) 시료의 유전 손실률

$$\tan \delta = \frac{\omega C_A C_N R_T}{C_B} \cdot \frac{\Delta C_H}{\Delta C_V} \dots\dots\dots (25)$$

여기에서

$$\Delta C_H : C_H \text{의 증가분}$$

이러한 망상은 편리하게 50kHz와 50MHz의 주파수 범위에서 제작할 수 있고, 쉽고 편리하게 차폐할 수 있다. 심각한 피해는 평형이 주파수에 너무 민감해서 공급한 주파수의 고주파가 평형을 잃는 것이다. 넓은 범위의 주파수를 다루기 위해서, 성분은 변화하거나 교환되어야 한다. 가장 높은 주파수에서 연결선의 임피던스와 스위치는 확실한 오차가 유도될 것이다.

4. 공진 발생법

공진 발생 방법은 10kHz~260MHz의 범위에서 사용한다. 작고 알고 있는 전압이 유도될 때, 공진 회로를 가로질러 나타나는 전압의 측정을 기본으로 한다. 그림 12는 공통 전압으로 공진 회로를 진동자에 결합한 일반적인 회로를 보여 준다. 결합의 다른 방법은 동등하게 사용할 수 있다.

공정은 필요한 주파수에서 알고 있는 값의 입력 전압이나 전류에 맞추고 최대 반응을 일으키도록 회로를 조정하고, 나타나는 전압 U_0 를 관찰한다. 시료를 적절한 끝점에 연결하고, 가변 커패시터를 맞추고 관찰된 전압의 새로운 값에 의해 회로는 최대 반응을 다시 얻는다.

시료를 연결하여 다시 조정 한 후에, $R_L G \ll 1$ 에 의해서 총커패시터는 거의 일정하다. 시료의 커패시턴스는 거의 ΔC 이고, 가변 커패시터 커패시턴스 변화이다.

시료의 유전 손실률은

$$\tan \delta \approx \frac{C_L}{\Delta C} \left(\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_2} \right) \dots\dots\dots (26)$$

이 때 C_L 는 전압계와 인덕터의 자기 커패시턴스를 포함한 회로의 총커패시턴스이고, Q_1 , Q_0 는 시료

에 연결했을 때와 연결하지 않았을 때의 Q값이다.

이 방법에서 오차의 중요한 원인은 두 측정 기구의 눈금 조정과 특히 가변 커패시터와 시료 사이의 권선에서 유도되는 원하지 않는 임피던스이다. 높은 값을 가지는 유전 손실률에서, 조건 $R_L G \ll 1$ 를 적용하지 않고, 위에서 인용한 근사 방정식은 잘 되지 않는다.

5. 허용 변화법

그림 1에서 보인 마이크로미터 전극계는 연결선의 저항과 전도도의 직렬 연결과 커패시터의 측정에 의해서 높은 주파수에서 원인이 되는 오차를 제거하기 위해서 Hartshorn이 개발하였다. 시료에 오가는 동축을 사용하여 목적을 달성하였고, 검사 시료가 안에 있거나 밖에 있거나 상관없이 전도도와 저항을 일정하게 유지한다. 전극과 같은 크기이거나 작은 시료는 전극 사이에 끼워 둔다. 시료와 전극의 표면이 부분적으로 겹치거나 바닥이 매우 평평하지 않으면, 금속 박편이나 동등한 재료는 전극계를 사용하기 전에 시료에 적용해야 한다. 시료를 제거하고 전극계는 마이크로미터 전극을 더 가깝게 움직여서 같은 커패시턴스를 가지도록 만들 수 있다.

마이크로 전극계를 커패시턴스의 변화에 대해서 조심스럽게 조정할 때 모서리 커패시턴스, 접지 커패시턴스와 연결 커패시턴스를 제거한다. 불이익은 커패시터 조정이 가변 다판 커패시터만큼 정밀하지 않고, 직접 읽을 수 없다.

선에서 직렬 연결된 전도도와 저항의 효과가 무시되는 1MHz보다 낮은 주파수에서, 마이크로미터 전극의 커패시터 조정은 병렬 연결된 표준 커패시터로 교환한다.

시료 안팎의 커패시터의 변화는 이 커패시터의 범위에서 측정된다.

마이크로미터 전극계의 부수적인 오차의 원인은 전극의 조정을 포함하는 모서리 커패시턴스이고, 전극과 같은 지름을 가지는 유전체의 존재로 미세하게 변화한다. 이 오차는 전극의 두께보다 2배 정도 작은 지름을 가지는 시료를 제작하여 제거한다.

이 시료는 우선 마이크로미터 전극 사이에 끼우고, 측정을 맞추기 위해서 조직을 사용한다. 시료를 제거하고 시료의 총커패시턴스를 마이크로미터 전극을 더 가깝게 이동하거나 표준 커패시터를 재조정하여 원래의 값으로 되돌린다.

시료의 커패시턴스 C_p 은 표 II에 따라 계산한다.

유전 손실률은

$$\tan \delta_1 = \frac{(\Delta C_1 - \Delta C_0)}{2C_p} \dots\dots\dots (27)$$

이 때 는 감지기 입력 전압이 공진 전압의 과 같도록 주어지는 가변 커패시터 M_2 의 각 면에서 읽혀지는 두 커패시터 간의 차이이다.

는 시료를 제거한 후의 같은 차이이다.

이 공정을 진행하는 동안 검사 주파수가 변하지 않도록 주의한다.

비 고 시료에 적용한 전극의 저항은 높은 주파수에서 쉽게 확인되고, 시료가 평평하지 않거나 일정한 두께를 가지지 않았다면, 유전 손실률의 가짜 증가의 원인이 된다. 시료의 표면 평평도에 따라서 주파수를 확인할 수 있으나 10MHz보다 낮다. 커패시턴스와 유전 손실률의 부가적인 측정에서 반드시 주파수는 10MHz이어야 하고, 전극이 없는 시료를 위로 움직여야 한다. 실제 유전 손실률은

$$\tan \delta = \frac{C_p}{C_w} \tan \delta_w \dots\dots\dots (28)$$

이 때 C_p 는 전극이 있는 시료의 커패시턴스이다.

6. 차폐 기구

기구의 두 점 사이에 접지되어 있는 차폐는 둘 간의 어떤 커패시턴스라도 제거하고, 둘로부터 커패시턴스를 접지에 대체한다. 선의 차폐와 성분은 중요하지 않은 어떤 지점의 커패시턴스가 접지되어 있는 회로(와그너 접지가 있는 세링 브리지와 변압기 브리지 같은 종류의 회로 같은)에 자유롭게 사용할 수 있다.

시료가 안에 있건 밖에 있건 간에 교환되지 않는 회로의 부분이 있는 대체 브리지에서 필요하지 않다.

실험에서 이러한 두 가지 고려는 차폐할 수 있는 시료, 진동자, 감지기에 적용한다. 되도록 기구의 많은 부분을 금속 차폐 안에 둘러싸서 관찰자의 몸과 회로 사이에서 커패시턴스의 변화를 막아야 한다

100kHz보다 큰 주파수를 위해서, 오가는 선은 가까워서 자기와 상호 전기 전도도를 최소화해야 한다. 몇 개의 선이 서로 연결되려고 한다면, 짧은 선의 전도도를 확인할 수 있는 동안 점에서 되도록 가깝게 만나야 한다.

스위치를 시료의 연결을 끊는 데 사용한다면, 개방이 측정에서 오차를 발생하지 않을 때, 접촉 간의 커패시턴스이다. 3개의 끝단을 가진 측정 시스템에서 접지되어 있는 접촉이 개방되어 있을 때, 접촉 사이에 접지되어 있는 차폐를 삽입하거나 직렬 연결된 두 스위치를 사용하거나 연결되어 있지 않은 전극을 접지하여 얻을 수 있다.

7. 브리지를 위한 진동자와 감지기

7.1 교류 전압원

발전기는 필요한 전압과 전류를 공급 가능한 전원으로 사용한다.

7.2 감 지 기

뒤에 열거한 감지기의 형태가 유용하다. 증폭기를 사용하는 모든 감지기는 감도를 증가시킨다.

- 1) 전화(필요하다면, 주파수 변환기가 있는)
- 2) 전자 전압계나 파동 분석기
- 3) 음극선 진동 기록기
- 4) “Magic Eye” 조정 지시기
- 5) 진동 갈바노미터(낮은 주파수에서만 사용하는)

변압기가 임피던스를 일치하거나 브리지 출력의 각 면을 접지하기 위해서 감지기와 브리지 조직 사이에서 필요할 것이다.

고조파는 평형 지점에서 애매하거나 변할 것이다. 이 문제점은 증폭기를 조정하거나 낮은 주파수를 통과하는 여파기를 사용하여 피할 수 있다. 측정된 주파수의 2차 고조파에 반하여 40dB의 구별이 적합하다.

8. 주파수 범위

방 법	원하는 주파수 범위	시료의 형태	비고
1. 세링 브리지	0.10MHz 까지	판이나 관형	
2. 변압기 브리지	15Hz~50MHz	판이나 관형	
3. 병렬 T 망상	50kHz~30MHz	판이나 관형	
4. 공진 발생 방법	10kHz~260MHz	판이나 관형	
5. 자화 변화 방법	10kHz~100MHz	판이나 관형	

표 1. 진공 커패시턴스와 모서리 보정의 계산.

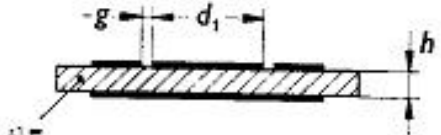
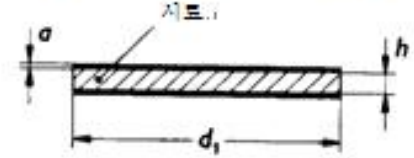
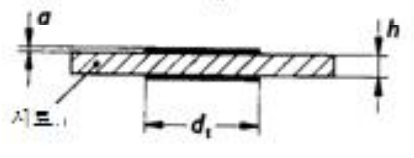
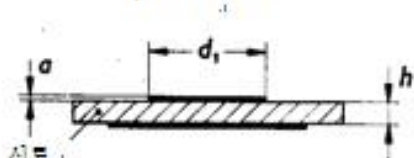
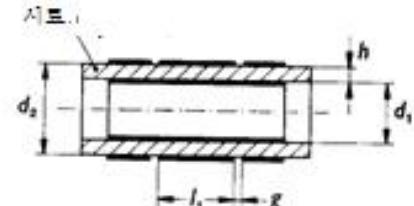
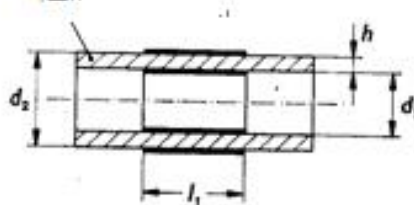
(1),	피루 상로 전극 커패시턴스, (단위 : pF과 cm), (2),	모서리 커패시턴스의 보정, (단위 : pF과 cm), (3),
1. 가드 전극을 가진 평행 전극,		
	$C_0 = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{h}$ $= 0.08854 \cdot \frac{A}{h}$ $A = \frac{\pi}{4} (d_1 + g)^2$	$C_e = 0$
2. 가드 전극이 없는 평행 전극,		
a) 전극의 지름 = 시트의 지름, 	$C_0 = \epsilon_0 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d_1^2}{h}$ $= 0.06954 \cdot \frac{d_1^2}{h}$	$a \ll h \text{ 일 때,}$ $\frac{C_e}{P} = 0.029 - 0.058 \log h$ $P = \pi d_1$
b) 시트보다 작고 같은 전극, 		$\frac{C_e}{P} = 0.019a_1 - 0.058 \log h + 0.010$ $P = \pi d_1$
c) 같지 않은 전극, 		$\frac{C_e}{P} = 0.041a_1 - 0.077 \log h + 0.045$ $P = \pi d_1$
3. 가드 전극을 가진 원통형 전극,		
	$C_0 = \epsilon_0 \cdot \frac{2\pi(l_1 + g)}{\ln d_2 / d_1}$ $= 0.2416 \cdot \frac{(l_1 + g)}{\log d_2 / d_1}$	$C_e = 0$
4. 가드 전극이 없는 원통형 전극,		
	$C_0 = \epsilon_0 \cdot \frac{2\pi l_1}{\ln d_2 / d_1}$ $= 0.2416 \cdot \frac{(l_1 + g)}{\log d_2 / d_1}$	$C_e = \epsilon_0 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d_1^2}{h}$ $= 0.06954 \cdot \frac{d_1^2}{h}$

표 II 시료 커패시턴스의 계산—마이크로미터 전극 접촉

시료 커패시턴스	연 급	기호의 정의
1. 병렬로 연결된 기준 커패시터에 의한 시료 커패시턴스의 치환		
$C_p = \Delta C + C_{ox}$	시료 지름은 전극 지름의 2r보다 작아야 한다. 시료의 실제 두께 h와 면적 A는 유전율을 계산하는 데 사용한다.	C_p = 시료의 병렬 커패시턴스 ΔC = 기준 콘덴서의 커패시턴스 증가 C_r = 공간 r에서의 마이크로미터 전극의 보정 커패시턴스 C_s = 공간 s에서의 마이크로미터 전극의 보정 커패시턴스 C_{ox}, C_{oh} = 공기 커패시턴스 (표 1의 1)식으로 계산) r = 시료와 전극의 두께 h = 시료의 두께
2. 시료의 제거 후에 전극의 공간을 줄여 시료 커패시턴스의 치환		
$C_p = C_s - C_r + C_{ox}$	시료 지름은 전극 지름의 2r보다 작아야 한다. 시료의 실제 두께 h와 면적 A는 유전율을 계산하는 데 사용한다.	
3. 병렬로 연결된 기준 커패시터에 의한 시료 커패시턴스의 치환		
$C_p = \Delta C + C_{oh}$	시료 지름은 전극 지름과 같다. 시료에 적용한 전극의 두께는 0이다.	상대 유전율 $\epsilon_r = \frac{C_p}{C_{oh}}$

표 III 상대적 유전율과 유전 손실률의 계산-비접촉 전극

상대 유전율 (1)	유전 손실률 (2)	기호의 정의 (3)
1. 공기 중의 마이크로미터 전극		ΔC = 시료가 삽입됐을 때의 커패시턴스의 변화 C_1 = 시료의 커패시턴스 C_f = 유체의 커패시턴스 C_0 = 진공 커패시턴스
$\varepsilon_r = \frac{1}{1 - \frac{\Delta C}{C_1} \cdot \frac{h_0}{h}}$ $\varepsilon_r = \frac{h}{h - (h_0 - h'_0)}$	$\tan \delta_X = \tan \delta_c + M \cdot \varepsilon_r \cdot \Delta \tan \delta$	A = 시료의 단면적 ε_f = 시험 온도에서 유체의 상대 유전율 ε_0 = 전기적 상수 $\Delta \tan \delta$ = 시료 유전 손실률의 증가
2. 판형 전극-유체 변형		$\tan \delta_X = \tan \delta_c + M \cdot \Delta \tan \delta$
$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_f}{1 + \tan \delta_X}$ $\left\{ \frac{(C_f + \Delta C)(1 + \tan^2 \delta_c)}{C_f + M[C_f - (C_f + \Delta C)(1 + \tan^2 \delta_c)]} \right\}$	$\left\{ \frac{(C_f + \Delta C)(1 + \tan^2 \delta_c)}{C_f + M[C_f - (C_f + \Delta C)(1 + \tan^2 \delta_c)]} \right\}$	$\tan \delta_c$ = 시료의 요인 $\tan \delta_X$ = 시료의 계산된 유전 손실률 d_0 = 내부 전극 바깥지름 d_1 = 시료의 안지름 d_2 = 시료의 안지름 d_3 = 외부 전극의 내부 지름 h_0 = 판형 공간 h = 시료의 평균 두께 $M = h_0 / h - 1$ $\log$ = 일반적인 지수 함수
시료의 유전 손실률이 0.1보다 작으면 아래의 식이 쓰인다.		
$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_f}{1 - \frac{\Delta C}{\varepsilon_f \cdot C_0 + \Delta C} \cdot \frac{h_0}{h}}$	$\tan \delta_X = \tan \delta_c + M \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_f} \cdot \Delta \tan \delta$	
3. 원통형 전극		
$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_f}{1 - \frac{\Delta C}{C_1} \cdot \frac{\log d_3 / d_0}{\log d_2 / d_1}}$	$\tan \delta_X = \tan \delta_c + \Delta \tan \delta$ $= \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_f} \left[\frac{\log d_3 / d_0}{\log d_2 / d_1} - 1 \right]$	
4. 두 유체 방법-판형 전극		
$\varepsilon_r = \varepsilon_{f1} + \frac{\Delta C_1 \cdot C_2 (\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1})}{\Delta C_1 \cdot C_2 - \Delta C_2 \cdot C_1}$	$\tan \delta_X = \tan \delta_{c1} + \frac{\varepsilon_r C_0 - C_1}{\Delta C_2} \cdot \Delta \tan \delta_2$	

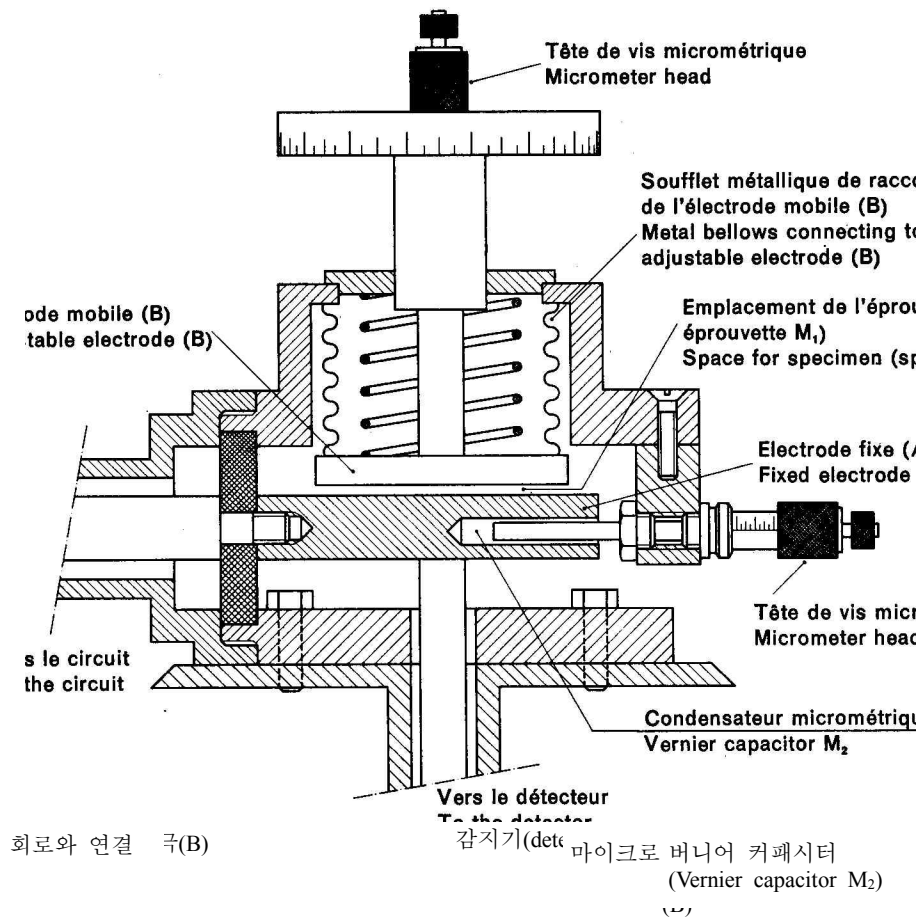
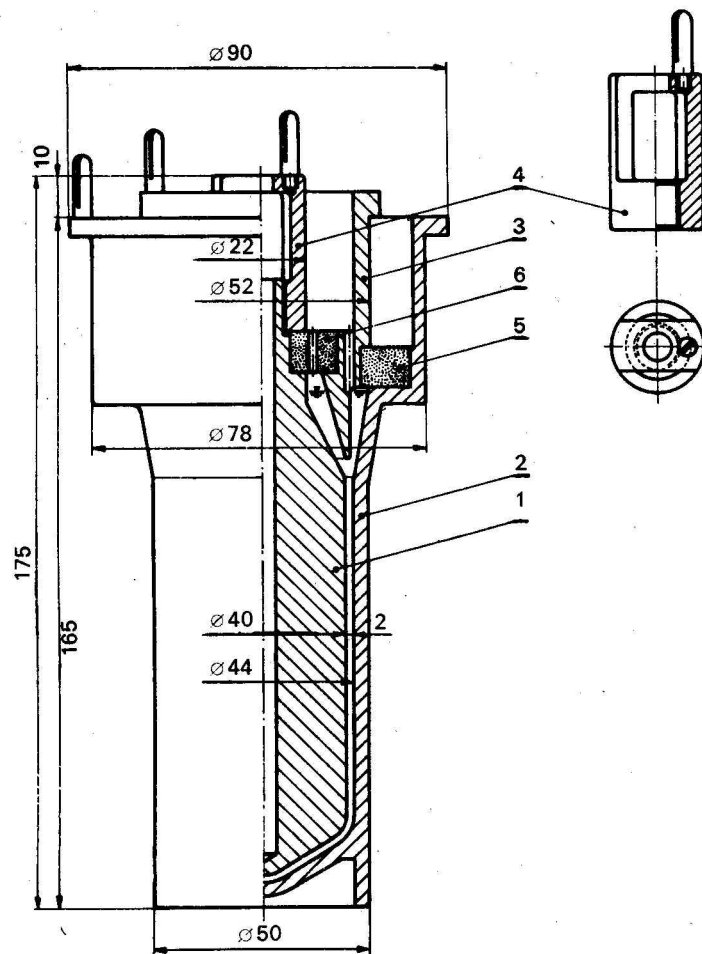


그림 1 고체 유전체를 위한 마이크로미터-커패시터 장치

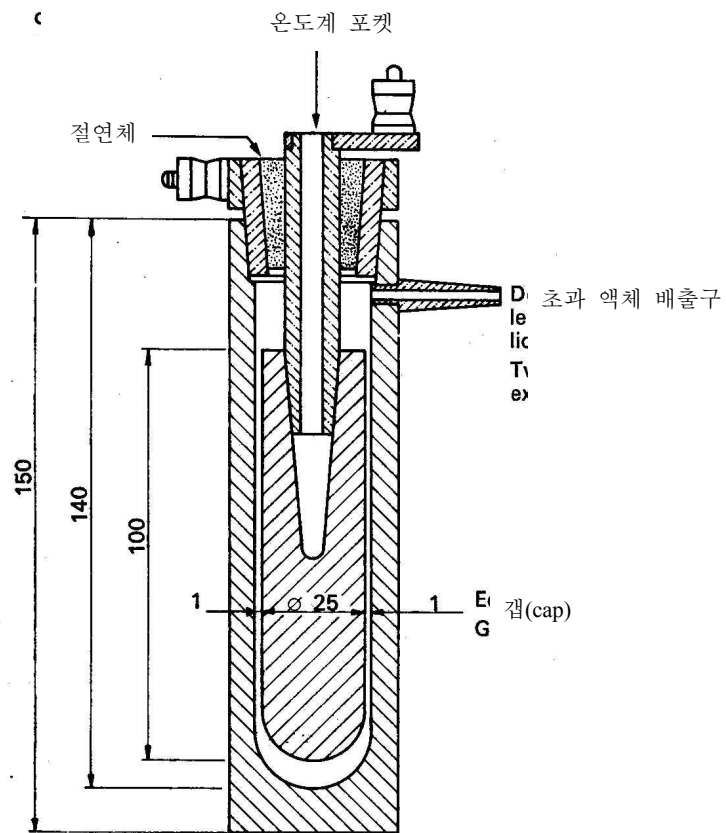
단위 : mm



- 1 : 내부 전극(inner electrode)
- 2 : 외부 전극(outer electrode)
- 3 : 보호 전극(guard-ring)
- 4 : 리프팅 핸들(lifting handle)
- 5 : 보로실리케이트 또는 석영 세척기(borosilicate or quartz washer)
- 6 : 보로실리케이트 또는 석영 세척기(borosilicate or quartz washer)

그림 2 액체 측정을 위한 삼단자 셀(three-terminal cell)의 예

단위 : mm



셀을 채우기 위해 약 15ml의 액체 양이 요구됨.

그림 3 액체 측정을 위한 두 단자 셀(two-terminal cell)의 예

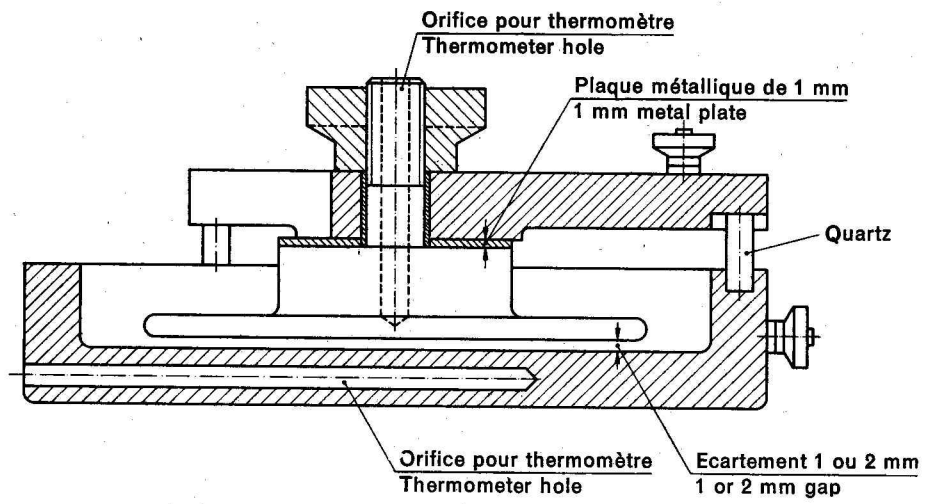


그림 4 액체 측정을 위 온도계 홀

1 또는 2mm 석영(quartz)

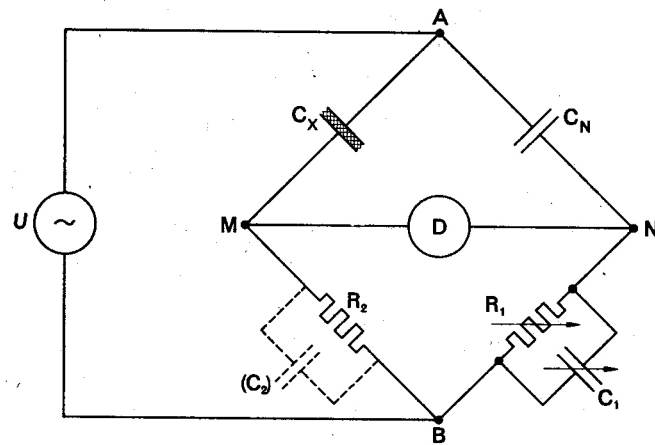


그림 5 세링 브리지, 회로도

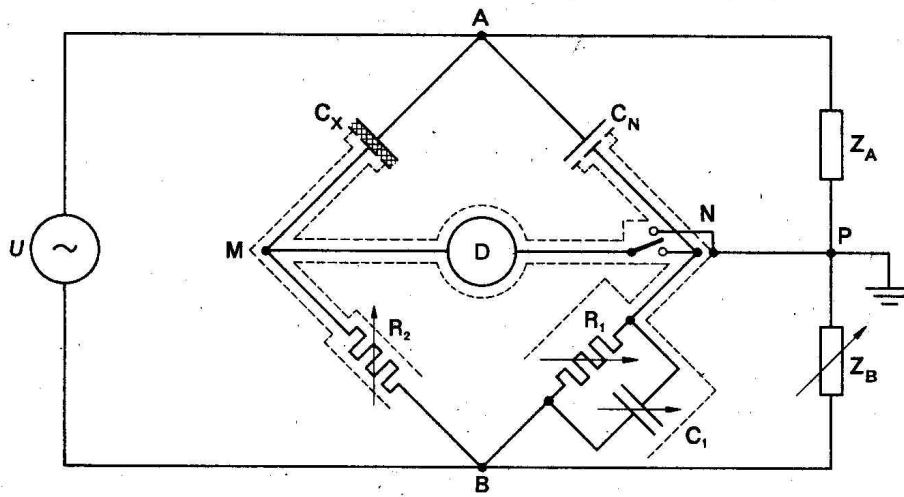


그림 6 와그너 접지 회로를 가진 세링 브리지

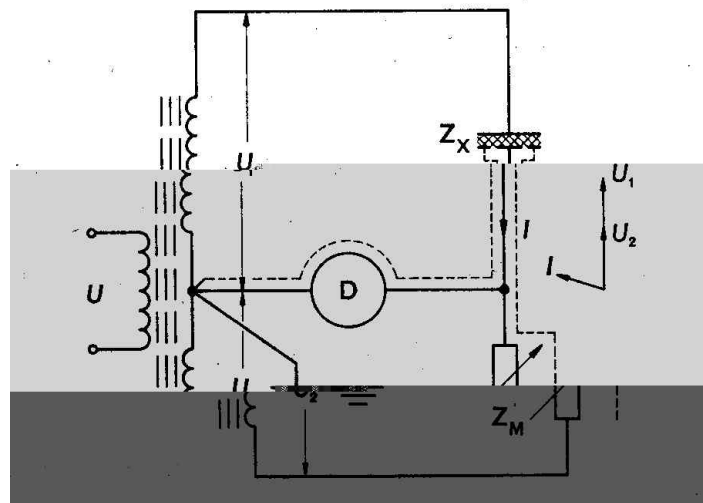


그림 7 변압기 브리지, 회로도

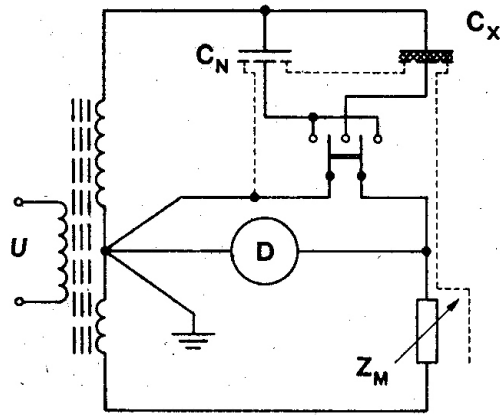
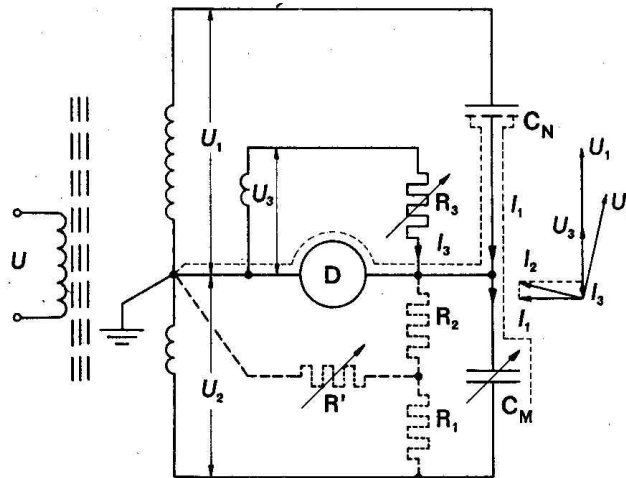


그림 8 변압기 브리지, 일정 부하 조정(constant load calibration)



점선 : C_M 에 병렬인 고저항의 형태(I_1 에 대해 I_2 가 앞설 때)

그림 9 변압기 브리지, U_1 에 대해 U_2 가 뒤처질 때 보상(winding U_3)

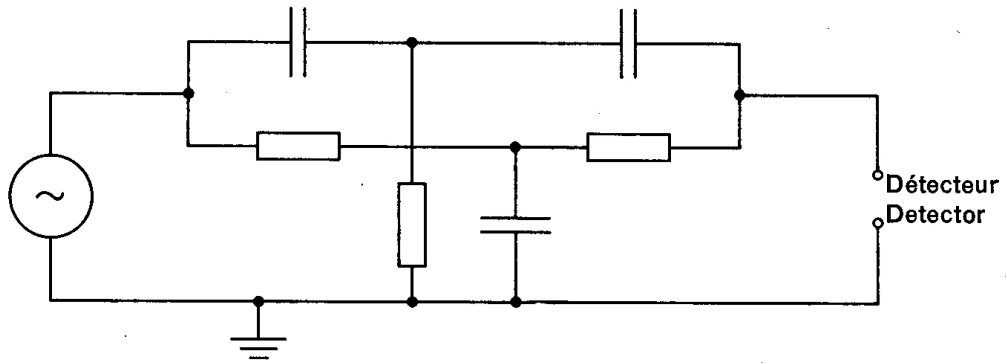


그림 10 병렬-T 네트워크, 주요 회로도 (Parallel-T network, principal circuit diagram) 감지기

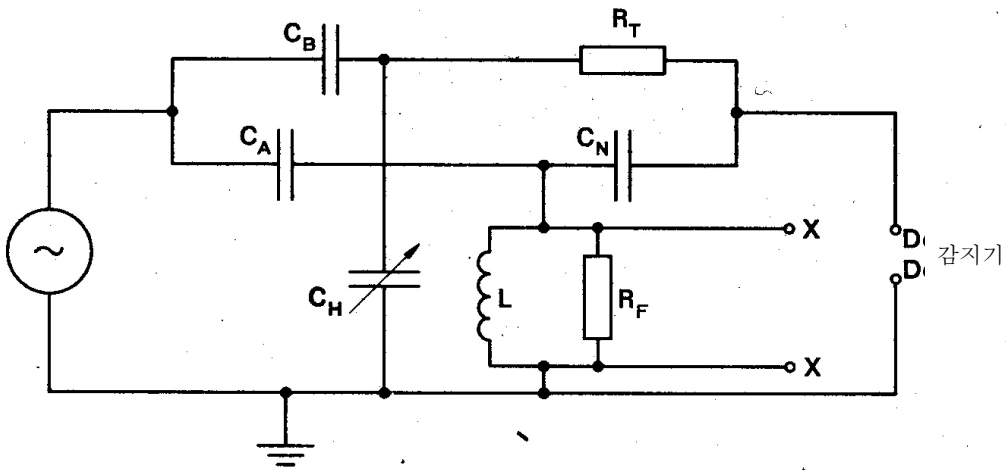


그림 11 병렬-T 네트워크, 실제 회로도 (Parallel-T network, practical circuit diagram) 감지기

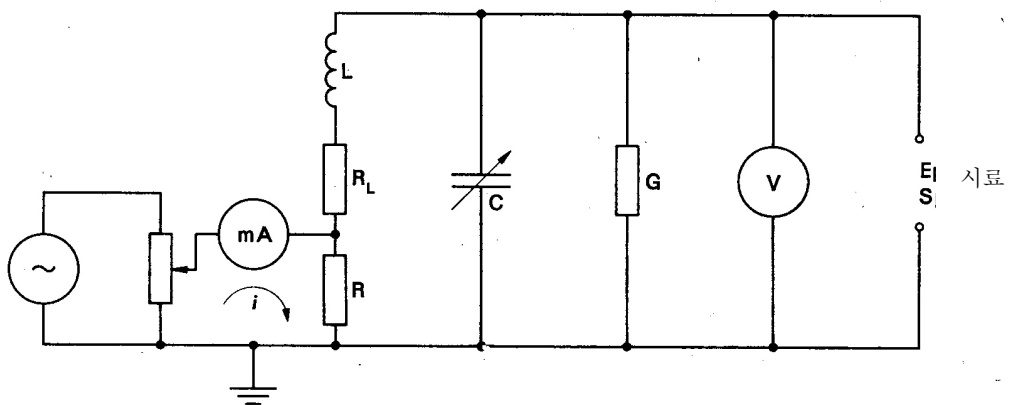


그림 12 공진 발생 방법, 회로도

해설 1 전기용품안전기준의 한국산업표준과 단일화의 취지

1. 개요

이 기준은 전기용품안전관리법에 따른 안전관리대상 전기제품의 안전관리를 수행함에 있어 국가표준인 한국산업표준(KS)을 최대한 인용하여 단일화한 전기용품안전기준이다.

2. 배경 및 목적

전기용품안전관리법에 따른 안전관리대상 전기제품의 인증을 위한 시험의 기준은 2000년부터 국제표준을 기반으로 안전성 규격을 도입·인용하여 운영해 왔으며 또한 한국산업표준도 2000년부터 국제표준에 바탕을 두고 있으므로 규격의 내용은 양자가 거의 동일하다.

따라서 전기용품안전관리법에 따른 안전기준과 한국산업표준의 중복인증이 발생하였으며, 기준의 단일화가 필요하게 되었다.

전기용품 안전인증기준의 단일화는 기업의 인증대상제품의 인증시 시간과 비용을 줄이기 위한 목적이며, 국가표준인 한국산업표준과 IEC 국제표준을 기반으로 단일화를 추진이 필요하다.

또한 전기용품 안전인증기준을 한국산업표준을 기반으로 단일화 함으로써 한국산업표준의 위상을 강화하고, 우리나라 각 부처별로 시행하는 법률에 근거한 각 인증의 기준을 국제표준에 근거한 한국산업표준으로 일원화할 수 있도록 범부처 모범사례가 되도록 하였다.

3. 단일화 방향

전기용품안전관리법에서 적용하기 위한 안전기준을 동일한 한국산업표준으로 간단히 전기용품안전기준으로 채택하면 되겠지만, 전기용품안전기준은 그간의 전기용품 안전관리제도를 운용해 오면서 국내기업의 여건에 맞추어 시험항목, 시험방법 및 기준을 여러번의 개정을 통해 변경함으로써 한국산업표준과의 차이를 보이게 되었다.

한국산업표준과 전기용품안전기준의 단일화 방향을 두 기준 모두 국제표준에 바탕을 두고 있으므로 전기용품안전기준에서 한국산업표준과 중복되는 부분은 그 내용을 그대로 인용하는 방식으로 구성하고자 한다.

안전기준에서 그간의 전기용품 안전관리제도를 운용해 오면서 개정된 시험항목과 시험방법, 변경된 기준은 별도의 항을 추가하도록 하였다.

한국산업표준과 전기용품안전기준을 비교하여 한국산업표준의 최신판일 경우는 한국산업표준의 내용을 기준으로 전기용품안전기준의 내용을 개정기로 하며, 이 경우 전기용품안전기준의 구판은 병행 적용함으로써 그간의 인증받은 제품들이 개정기준에 맞추어 개선할 시간적 여유를 줌으로서 기업의 혼란을 방지하고자 한다.

그리고 국제표준이 개정되어 판번이 변경되었을 경우는 그 최신판을 한국산업표준으로 개정 요청을 하고 그리고 전기용품안전기준으로 그 내용을 채택함으로써 전기용품안전기준을 국제표준에 신속하게 대응하고자 한다.

그리고 전기용품안전기준에서만 규정되어 있는 고유기준은 한국산업표준에도 제정요청하고, 아울러 필요시 국제표준에도 제안하여 우리기술을 국제표준에 반영하고자 한다.

4. 향후

한국산업표준과 전기용품안전기준의 중복시험 항목을 없애고 단일화 함으로써 표준과 기준의 이원화에 따른 중복인증의 기업부담을 경감시키고, KS표준의 위상을 강화하고자 한다.

아울러 우리나라 각 부처별로 시행하는 법률에 근거한 각 인증의 기준을 국제표준에 근거한 한국산업표준으로 일원화할 수 있도록 범부처 모범사례가 되도록 한다.

또한 국제인증기구인 국제표준 인증체계를 확대하는 추세에 있으며, 표준을 활용하여 자국 기업의 경쟁력을 강화하는 추세에 있다. 이에 대응하여 국가표준과 안전기준이 국제표준에 신속히 대응함으로써 우리나라의 수출기업이 인증에 애로사항을 감소하도록 한다.

해설 2 전기용품안전기준의 추가대체항목 해설

이 해설은 전기용품안전기준으로 한국산업표준을 채택함에 있어 추가대체하는 항목을 적용하는 데 이해를 돕고자 주요사항을 기술한 것으로 규격의 일부가 아니며, 참고자료 또는 보충자료로만 사용된다.

심 의 :

구	분	성명	근무처	직위
(위	원	장)		
(위	원)			

(간 사)

원안작성협력 :

구	분	성명	근무처	직위
(연구책임자)				
(참여연구원)				

전기용품안전기준의 열람은 국가기술표준원 홈페이지(<http://www.kats.go.kr>), 및 제품안전정보센터(<http://www.safety.korea.kr>)를 이용하여 주시고, 이 전기용품안전기준에 대한 의견 또는 질문은 산업통상자원부 국가기술표준원 제품안전정책국 전기통신제품안전과(☎ 043-870-5441~9)으로 연락하여 주십시오.

이 안전기준은 전기용품안전관리법 제3조의 규정에 따라 매 5년마다 안전기준전문위원회에서 심의되어 제정, 개정 또는 폐지됩니다.

KC 60250 : 2015-09-23

**Recommended methods for the determination
of the permittivity and dielectric dissipation
factor of electrical insulating materials at
power, audio and radio frequencies including
metre wavelengths**

ICS 35.040

Korean Agency for Technology and Standards

<http://www.kats.go.kr>



산업통상자원부 국가기술표준원

Korean Agency for Technology and Standards

Ministry of Trade, Industry & Energy

주소 : (우) 369-811 충북 음성군 맹동면 이수로 93

TEL : 043-870-5441~9 <http://www.kats.go.kr>

