

제정 기술표준원고시 제2001 - 32호 (2001. 2. 15)
개정 기술표준원고시 제2002 - 1280호 (2002.10.12)

전기용품안전기준

K 60377-1

[KS C IEC 2002]

주파수 300MHz 이상에서 절연재료의
유전특성 측정방법

제1부 : 일반사항

전 기 용 품 안 전 기 준 (K 60377-1)

주파수 300MHz 이상에서 절연재료의 유전특성 측정방법 - 제1부 : 일반사항

Recommended methods for the determination of the dielectric properties of insulating materials at frequencies above 300 MHz - Part 1 : General

서 문 본 규격은 1973년 제1판으로 발행된 IEC 60377-1, Recommended methods for the determination of the dielectric properties of insulating materials at frequencies above 300MHz - Part 1: General를 번역하여 기술적 내용 및 규격서의 서식을 변경하지 않고 제정한 한국산업규격(KS C IEC 60377-1 : 2002)과 부합화한 전기용품안전기준이다.

서 론

절연 물질의 유전특성 측정방법은 대략 두가지 부류로 나눌 수 있다.

- 1) 집중정수(lumped-parameter)법은 전자계의 파장이 시료의 치수와 비교하여 클 경우에 사용할 수 있다. 비교적 단순한 이 방법은 IEC Publication 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 Wavelengths에서 다루고 있으며, 전원주파수에서 최대 약 300 MHz까지의 주파수 범위를 다루고 있다.
- 2) 분포정수(distributed parameter)법은 시료를 고려한 전자계의 공간 변화가 더 이상 무시 불가능할 경우에 사용한다. 본 권고사항에서는 파동 전파를 고려한 방법을 설명하고 있으며, 약 300MHz에서 최대 광 주파수까지의 범위를 다루고 있다.

1. 목적 및 범위

본 권고사항은 마이크로파 주파수(약 300 MHz에서 최고 광 주파수까지의 주파수) 영역에서 유전체의 상대유전율, 유전분산 및 손실계수와 관련된 양을 측정하는 절차에 적용한다.

저주파에서 사용하는 시험 방법(IEC 60250 참조)과는 달리, 본 권고사항에서 다루는 시험방법은 시험 주파수의 전자계 파장과 비교하여 비슷하거나 큰 시료 또는 시험 셋업 치수에서 사용한다.

이론적으로, 본 방법은 절대 진공의 유전율을 갖는 시험물질에만 적용한다. 일반적으로 반자성 및 상자성 물질(비자기 물질이라고도 함)에 대해 양호한 근사를 얻을 수 있는 반면, 강자성 물질과 페리자성 물질의 경우에는 유전 특성과 자기 특성을 분리하기 위해 특수 절차를 사용해야 한다. 그러나 후자의 방법은 본 권고사항에서 다루지 않는다.

비고. 자기 특성 - 자기 특성을 보이는 시료는 유전율이 충분한 강도의 d.c. 자기 바이어스 전계에 의해 포화될 경우 본 권고사항에 따라 시험할 수 있다.

특별히 주의해서 적절히 설계한 측정 셀(cell)을 사용하는 경우에는 설명한 방법에 따라 고체뿐만 아니라 액체 및 가용성 물질을 측정할 수 있다.

측정값은 주파수, 온도, 습기 함량 및 특별한 경우에는 자기장 강도와 같은 물리적 조건에 따라 달라진다.

본 권고사항의 모든 측정값 및 산출값은 각 주파수 $\omega = 2\pi f$ 의 정현파형을 토대로 한다.

2. 정의

비고 1. 모든 용어정의는 절대 진공의 유전율을 갖는 유전체에만 적용한다.

2. 본 권고사항에서 사용한 파동 전파와 관련된 용어정의는 국제전기용어의 그룹 05와 62를 참조하였다.

2.1 상대 복소 유전율 ϵ_r^*

유전체의 상대 복소 유전율은 다음과 같다.

$$\epsilon_r^* = \epsilon'_r - j\epsilon''_r = C_x^* / C_0 \quad (1)$$

여기서 C_x^* 는 전극간 및 주위 공간이 유전체로 완전하게 채워진 작은¹⁾ 커패시터의 복소 정전용량을 의미하고 C_0 는 절대 진공에서 동일한 전극 배치를 가질 때의 정전용량이다.

비고. 커패시터의 복소 정전용량은 다음과 같이 정의한다.

$$j\omega C_x^* = Y_x^* = G_x + j\omega C_x$$

여기서 G_x 는 실수부(a.c. 컨덕턴스)이고 $j\omega C_x$ 는 상술한 커패시터의 복소 어드미턴스의 허수부이다.

주파수가 증가함에 따라 전자계의 파장이 사용한 시료의 치수에 근접하기 때문에, 시료에서 전자계의 매개변수 변화는 더 이상 무시할 수 없다. 따라서, 측정 데이터를 적절하게 해석하기 위해, 집중 회로 분석에서 파동 분석과 전송선 이론으로 전환할 필요가 있다. 이는 또한 시료의 비균질성과 이방성에 대한 결과값의 감도가 증가한다는 것을 의미한다.

유전체의 상대 복소 유전율 ϵ_r^* 은 절대 진공에서 $\gamma_0 = j\beta_0$ 에 대한 유전체에서 전자파의 복소 전파 계수비 $\gamma = \alpha + j\beta$ 의 제곱에 비례한다.

$$\epsilon_r^* = \left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_0}{\gamma_c}\right)^2 \quad (2)$$

여기에서 λ_0 는 자유공간에서의 파장이고, λ_c 는 사용한 모드의 임계(또는 차단) 파장이다.

비고 1. 평면파 또는 TEM 파의 경우 $\lambda_c = \infty$

2. 293K의 정상 대기압하에서 이산화탄소가 없는 주위 공기의 상대 유전율 ϵ_r 은 1.00053이다. 따라서, 충분히 정확한 고체와 액체의 상대 유전율 ϵ_r 을 측정하기 위해 절대 진공에서 측정한 C_0 , c_0 , γ_0 대신에 공기에서 측정한 C_a , c_a , γ_a 의 측정값을 사용할 수 있다.

3. 유전체의 복소(절대)유전율은 복소 상대유전율 ϵ_r^* 과 전기적 상수(또는 절대 진공의 유전율) ϵ_0 의 곱이다.

$$\epsilon^* = \epsilon_0 \epsilon_r^*$$

SI단위계에서, 절대 유전율은 미터당 farad(F/m)단위이다. 또한 전기적 상수 ϵ_0 는 다음 값을 갖는다.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c_0^2} \approx 8.854 \times 10^{-12} \approx \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ F/m} \quad (3)$$

1) 유전체 내의 파장과 비교하여 작다.

2.2 상대 유전율 ϵ'_r

유전체의 상대 유전율 ϵ'_r 은 2.1항에 정의한 복소 상대 유전율의 실수부이다. (1)식과 (2)식에 따라

$$\epsilon'_r = \frac{C_x}{C_0} = \lambda_0^2 \left[\frac{\beta^2 - \alpha^2}{(2\pi)^2} + \frac{1}{\omega_c^2} \right] \quad (4)$$

비고. 유전특성을 실수 즉, ϵ'_r 과 ϵ''_r 대신에 ϵ'_r 과 $\tan \delta$ (2.4절 참조)로 표기한다면, 프라임(')을 생략한다.

$$\epsilon'_r = \epsilon_r$$

2.3 손실 계수 ϵ''_r

유전체의 손실계수 ϵ''_r 은 2.1항에서 정의한 상대 복소유전율의 허수부이다. (1)식과 (2)식에 따라

$$\epsilon''_r = \frac{G_x}{j\omega C_0} = \left(\frac{\lambda_0}{\pi} \right)^2 \frac{\alpha\beta}{2} \quad (5)$$

2.4 유전손²⁾ $\tan\delta$

유전체의 유전손 $\tan\delta$ 는 인가된 전계 E와 절연 물질 내의 유전 변위 D 사이의 위상각 탄젠트(손실 각 δ)이다. E와 D는 모두 시간에 따라 정현파적으로 변하고 동일한 각주파수 $\omega = 2\pi f$ 를 갖는다.

일반적으로 유전체 내의 성분 E와 D는 직접 측정할 수 없기 때문에, 특정 체적(예 : 유전체)의 유전 손은 1/2 발진 주기 당 해당 체적에 가역적으로 저장되는 한 주기에 대한 소모된 전기 에너지의 비로 측정한다.

$$\tan\delta = \epsilon'_r / \epsilon''_r \quad (6)$$

유전손 $\tan\delta$ 의 역수를 Q라고 한다.

$$1 / \tan\delta = Q$$

3. 유전체의 유전특성에 영향을 미치는 인자

어떤 유전체의 유전율 및 유전손 측정은 시료의 유전 분극으로 결정한다. 주파수, 온도, 전계, 이온화 복사, 습도, 기타 불순물, 화학적 구조, 균질성, 등방성(“물리적 및 화학적 구조”) 등과 같은 다양한 외부 및 내부 물리적 변수가 측정 데이터에 영향을 미친다.

따라서 시험에서 얻은 결과를 일관되게 해석하려면 시료의 상태를 알고 사전에 언급한 모든 변수를 통제할 필요가 있다.

다음 절에서는, 주파수, 온도, 습도, 기타 불순물의 영향과, 물리적/화학적 구조의 영향 및 측정된 유전 특성에 미치는 전계의 영향을 개별적으로 논의한다.

비고. 본 권고사항에서 다루는 주파수 범위 내에서 측정된 유전율과 유전손은 대개 극성분자에 기인한 쌍극자 분극과 원자 분극에 결과이다.

3.1 주파수

공업용 재료에서 ϵ'_r 과 $\tan\delta$ 는 광범위한 주파수 범위에서 일정하지 않기 때문에, 유전체로 사용하려는 주파수에서 유전손과 유전율을 측정하는 것이 필요하다. 일부 주파수에서 측정된 데이터를 정확하게 외삽하여 흡수 영역에 맞는 Debye 곡선을 얻을 수 있다; 또한, Cole-Cole 좌표를 효과적으로 사용할 수도 있다.

2) 일부 국가에서는 손실 측정 결과를 손실각의 탄젠트로 보고하기 때문에 “유전손(dielectric dissipation factor)”을 “손실 탄젠트(loss tangent)”라고도 한다.

3.2 온도

유전체의 분극율은 온도에 따라 달라진다. 따라서, 손실 계수 최대 주파수(유전손에 해당)는 온도에 따라 변하고 손실 온도계수는 측정 주파수 및 시험 온도에 대한 손실계수 최대값의 위치에 따라 양이나 음이 될 수 있다.

조사하는 물질의 유전 특성에 대한 비가역적 변화는 짧은 시간에, 가령 온도가 상승하는 동안에 측정할 경우에 발생할 수 있기 때문에 각별히 주의해야 한다. 이 점에 대해서는 3.3항과 3.4항을 참조한다.

3.3 습도와 기타 불순물

물이 흡수되거나 유전체 표면에 수막(water film)이 형성되면 분극율이 증가되어, 유전율, 유전손, d.c.전도성에 영향을 미친다. 따라서 시료의 처리가 상당히 중요한데, 시험 결과를 올바르게 해석하기 위해서는 시험 전과 후 습기함량을 반드시 제어해야 한다.

또한, 분극율은 물리적 오염이나 화학적 첨가제, 예를 들어 솔벤트나 가소제에 의해 유입된 불순물에 의해 영향을 받는다. 따라서 시험할 물질은 샘플링 절차나 또는 후속 처리(예 : 상층 온도에서)로 제어하는 것으로 영향을 받을지의 여부를 반드시 확인해야 한다.

3.4 물리적/화학적 구조

시험용 시료의 구조와 관련하여 전자계의 분극 방향은 측정 결과에 상당한 영향을 미친다. 비균일성(예: 적층판) 또는 이방성(예: 결정) 때문에 시료에 대한 모든 측정이 물질의 일부 식별가능한 특징과 동일한 관계로 이루어지지 않는다면 상이한 결과를 얻어질 수도 있다.

비고. 적층판과 같은 구조에서 일부 주기성을 보이는 물질은 파장이 구조 주기와 비슷할 경우에 구성성분과는 다른 주파수 응답을 보일 수 있다.

동일한 화학성분을 갖지만 화학적 구조가 다른 시료(예 : 서로 다른 경화 조건에 놓인 수지 또는 서로 다른 분극도를 갖는 고분자)도 상이한 결과를 발생할 수 있다.

3.5 교류 전계강도

일반적으로, 유전율과 유전손은 유전체에 부분 방전이 발생하지 않는 한 전계 강도와는 무관하다. 그러나 강유전체를 사용하면 전계 의존 효과는 하위 마이크로파 주파수에서도 관측할 수 있지만 주파수가 증가함에 따라 급격하게 사라진다.

4. 측정 방법에 대한 조사

4.1 측정 방법의 원리

4.1.1 서론

본 권장사항에 다루는 주파수 범위에서 유전 특성 측정용 방법의 특징은 전계 및 자계 성분이 시료의 측정점에서 진폭과 위상이 모두 변한다는 것이다. 왜냐하면, 복사 파장은 시료 및 장치의 치수와 유사하기 때문이다. 비자성 물질에서 이러한 영향은 먼저 수십 MHz영역에서 분명해지며, 600MHz이상에서는 더 이상 무시할 수 없다. 따라서 측정 장치와 측정량은 하위 주파수용 방법(IEC 60250)에서 사용한 것과 다르다.

4.1.2 측정에 활용 가능한 물리적 효과

유전율과 손실은 다음과 같은 영향을 받는다.

- a) 전자파의 전파 속도와 특정 매질에서의 파장은 해당 매질의 유전율에 역비례한다(2.1항 참조).
- b) 파동을 전달하는 매질의 유전율 불연속으로 파동의 에너지 일부가 반사된다; 반사량의 크기는 불연속적인 두 면의 유전율 비율에 의존한다.
- c) 파장이 매질을 분극시킬 때에 에너지는 진행 경로를 따라 연속적으로 손실된다. 따라서 파의

진폭은 매질의 손실 계수에 비례하여 감소한다.

유전율과 관련이 없는 효과

d) 주파수 f 및 단면적을 갖는 빛이 하나의 모드에서 뿐만 아니라 여러 모드의 다른 속도로 전파할 수 있기 때문에 파장이 서로 다를 수 있다. 특별한 경우에 존재하는 모드는 빛의 단면적과 발사 방식에 의존한다.

e) 에너지 및 모드 변환 반사(주어진 모드에서 에너지 손실을 야기)는 빛의 단면적이 변하는 지점에서 발생한다. 빛으로부터의 회절 손실 또는 빛 유도 구조의 유한 도전성에 기인하여 완화는 절대 진공에서도 발생한다.

시험과 전계의 불요장해로부터 물질 특성의 영향을 막고 일관되고 재현가능한 결과를 얻기 위해서는 측정 장치에 일정한 전송 시스템을 사용하는 것이 중요하다. 즉, 반사 또는 손실을 유발하는 심각한 불연속이 없어야 한다는 것이다. 시스템 자체의 특성은 주파수 측정 시에 알고 있어야 하고 전혀 변하지 않아야 하며 시료의 삽입 후 예측가능한 형태로만 변해야 한다. 시험 조건과 관련된 불확정성을 줄이고 계산을 단순화하기 위해 단순한 시험 배치만을 사용하는 것이 바람직하다.

4.2 시험 장치의 구성

시료를 삽입하는 장치는 다음과 같이 구성한다.

4.2.1 공진 장치

일정한 전송부를 양끝에서 단락시켜 발진기와 수신기에 느슨하게 결합시킨다. 발진기와 수신기간의 최대 에너지 전달은 단락 회로의 분리가 유효 파장의 $1/2$ 의 배수일 때 이루어진다. 이에 대한 세부사항(“공진 방법”)은 IEC 60377의 2부에 명시되어 있다. 결과는 각각 일정한 공진기 치수 또는 일정한 시험 주파수에서 시료를 삽입 후 공진을 복구하기 위해 Q-factor(2.4항 참조)와 주파수 이동 또는 치수 변화로 얻을 수 있다.

비고. 본 방법은 복수의 빛 반사를 사용하기 때문에 최소의 시험 물질에서도 최소의 소실량 검출에 특히 적합하다. 최고 감도를 얻기 위해서는 고정 발진기를 사용할 수 있다; 이러한 장치는 단일 주파수에서만 사용할 수 있으며, 시료의 형상, 크기, 유전 특성에 어느 정도 의존한다.

4.2.2 전송선 또는 브리지 장치

일정한 전송부를 한쪽 끝에서 단락시키고, 다른 쪽은 특성 임피던스에 정합시킨다. 결과는 시험 물질로 완전히 채워진 부위의 입력 임피던스(즉, 위상각과 반사 계수) 사이에서 얻을 수 있다. 따라서 본 방법은 “입력 임피던스 측정 방법”으로 알려져 있고, 측정에 대한 세부사항은 IEC 60377의 3부에 명시되어 있다.

비고. 입력 임피던스 측정 방법은 사용한 전송 시스템의 전송 대역 내의 모든 주파수에 쉽게 정합되기 때문에 광대역에 가능한 특징을 갖는다. 그러나 시료로부터의 단일 반사만 사용하기 때문에 너무 낮지 않은 손실 검출로 제한된다.

4.2.3 자유공간 방법

균일한 전송부를 발진기와 수신기간을 무한히 연장시킨다(또는 양쪽 끝에서 특성 임피던스에 정합시킨다). 시료를 라인에 삽입할 경우에 결과는 빛의 회절 또는 반사각 및 감쇠 계수를 사용하여 얻을 수 있다. 이 방법은 진행파를 사용하고 광분야에서 널리 사용하기 때문에, 이를 “Optical Method(광학적 방법)”(IEC 60377의 4부)이라고 한다.

기준이 되는 빛을 찾기 위해서는 정지파법을 적용할 수 있다. 결과는 전송 계수와 위상각의 관계로 얻을 수 있다. 이 방법은 “전송형 브리지 방법”이라고 하며, IEC 60377의 3부에서 다룬다.

비고 1. 프린지 효과(fringe effects)를 무시할 수 있는 경우에만 비유도 빔(unguided beam)으로 가능한 광학적 방법은 다량의 시험 물질(동작 파장의 관계로 측정하기 때문에)을 필요로 한다. 따라서 광학적 방법은 일반적으로 약 30GHz이상에서만 적용할 수 있다. 주파수가 증가함에 따라, 낮은 고유손실 때문에 다른 모든 방법보다 우수성이 증가하게 되었다. 왜냐하면 측정이 길이(파장이 짧을 경우에는 짧은 것이 불편함)가 아니라 파장의 변화에 민감하지 않은 각도로 실시하기 때문이다.

2. 전송 측정은 특히 유전율이 높은 시료에 바람직하다.

4.2.1항에서 4.2.3항까지의 세 가지 방법에서 모두 비유도 빔을 사용할 수 있다. 4.2.1항의 방법과 4.2.2항의 전송형 브리지 방법에서는 유도파를 사용한다. 전파 모드의 선택은 동작 파장, 사용가능한 시험 물질의 수량, 필요한 샘플링 절차의 정확성 및 검출될 손실에 따라 달라진다. 일반적으로 유도파는 최대 약 60GHz까지 사용할 수 있고, 비유도파는 30GHz까지 사용할 수 있다.

비고. 일반적으로 유도파를 사용하여 전파진행의 모호함을 배제시키기 위해 기본 모드에서 도파관을 동작시킨다. 위에서 상술한 요건과 관련하여 최저 주파수에서 약 7GHz까지의 주파수 범위까지 동축 유도(coaxial guide)를 사용한다. 직사각형이나 원형의 단면을 갖는 공동 도파관은 약 4GHz에서 60GHz 사이의 주파수 범위에서 사용한다. 약 30GHz이상에서는 준광학 전파진행이 가능해진다.

4.3 시험 방법의 선정

시험 방법의 선정 시에는 서로 상충할 수 있는 각종 고려사항에 영향을 받는다. 다음에서 이러한 고려사항을 개별적으로 다루고 있다.

4.3.1 주파수 또는 파장

높은 주파수에서는 광학적 방법(4.2.3항과 4.3.4항)용으로 필요한 기계적 정확도를 맞추는 것이 어려울 수 있다. 낮은 주파수에서는 시험 장치와 시료의 크기가 감소하기 때문에 유도파가 적합하다. 금속 도체의 표피 효과에 기인하여 주파수가 증가함에 따라 도파관의 감쇠는 일반적으로 상승하고 저 손실물질의 손실 계수 측정이 더욱 어렵게 된다.

비고. 동일한 동작 주파수에서 공동도파관은 동축도파관보다 낮은 감쇠를 보인다. 원형 공동도파관에서 H_{01} -모드는 주파수가 증가함에 따라 감쇠가 완화되는 탁월한 특성을 갖는다.

이러한 사항을 고려하여 유도파를 사용하는 방법은 최대 약 60GHz까지의 주파수에서 사용 가능한 반면, 비유도 빔은 약 30GHz이상에서부터 사용할 수 있다.

4.3.2 시험 물질의 형상과 수량

시료는 시험 설치 요건에 맞아야 한다. 따라서, 일반적으로 가공 절차가 필요하다(각각의 측정 방법 참조). 시험할 물질을 체적형태 뿐만 아니라 플레이트, 시트(필름), 로드(와이어) 또는 튜브 형태에서도 이용할 수 있기 때문에 보유중인 시험 물질의 형상과 수량을 고려하여 시험 방법을 선택할 수 있다. 유전특성 측정에서 필수적인 조건은 시료가 단일 조각편이어야 한다는 것이다.

a) 공진 방법에서 시료는 빔의 단면적을 채우게 된다(이 경우에는 아래의 b항 참조). 이 방법을 사용할 때는 높은 고유 감도 때문에 적절한 모드를 사용하는 한 볼, 로드, 디스크 형상의 시료에도 적용 가능하다. 그러나, 미세한 특성변화에 대한 감도 및 결과의 정확성은 사용한 모드, 공진기와 시료의 체적비 및 이러한 비율을 얻을 때의 정확성 등에 따라 크게 달라진다.

b) 임피던스 측정 방법에서는 시료가 완전하게 빔 단면적을 덮을 필요가 있다. 전기력선에 수직한 모든 표면(즉, 동축 도파관의 내부와 외부 도체, 직사각형 공동도파관의 넓은 쪽)에 꼭 맞출 필요가 있다.

비고. 맞춤 문제는 원형 H_{01} -모드를 사용할 때 더욱 단순화된다.

동일한 시료 길이를 갖는다는 것은(동일한 측정 감도를 갖기 위해) 기본 모드에서 유도파를 사용하는 시험 장치에 비유도파를 사용하는 것보다 더 적은 시료가 필요하다는 것을 의미한다; 마찬가지로, 동축 도파관은 동일한 동작 주파수에서 공동도파관보다 더 적은 시료를 필요로 한다. 도파관 장비로 가능한 한 시료를 도파관 치수에 맞추는 것이 필수적이다.

- c) 광학적 방법은 단면적이 빔과 비교하여 큰 시료를 필요로 한다. 시료 두께는 최소한 전파 파장의 $1/2$ 이상이어야 한다.

4.3.3 시험 물질의 유전 특성

- a) **유전율** 최대 약 100까지의 상대 유전율을 갖는 절연재료는 열거한 어떤 시험방법으로도 시험할 수 있다. 그러나 유전특성에 기인하여 불완전하게 설정된 높은 차수의 모드가 시료 내에 전파되어 판독값의 오차를 발생시킬 수 있다는 것을 유념해야 한다. 약 100 이상의 상대 유전율에서는 높은 정확도를 얻을 수 있기 때문에 전송방법이 선호된다.

이방성 재료에서 얻어지는 결과는 빛의 분극축에 대한 시료의 축 위치에 의존한다. 따라서, 시료는 사용하는 모드를 고려하여 시험조건과 맞도록 절단해야 한다.

- b) **유전손과 손실계수** 공진 방법은 대부분 매우 작은 손실을 검출하는데 적합하다. 임피던스 방법으로 빈 전송 시스템의 완화에 의해 더욱 낮은 한계치가 가능하다.

측정 가능한 상위 손실 한계치는 다음과 같이 설정한다.

- 1) 공진 방법을 사용하여 공진 효과의 오프셋으로
- 2) 임피던스 방법을 사용하여 시료로 채워진 전기력선부에 대략적으로 맞추고 시료 고유의 손실로. 시료 체적의 감소는 측정 기준을 재설정하게 된다. 그러나 어떤 경우에 높은 손실은 유전율 측정에서 얻을 수 있는 정확성에 크게 영향을 미친다.

4.3.4 기계적 요건

기계적 요건은 치수의 정확성 및 시료뿐만 아니라 파의 유도구조의 표면처리와 관련이 있고 길이 또는 각도 판독값의 정확성과도 관련이 있다.

- a) 치수의 정밀성은 비표준 도파관 장비를 사용하나(예 : 공동) 또는 도파관을 차단 주파수에 근접시켜 사용하는 경우 및 도파관 치수에 대한 시료의 정합 시에 특히 중요하다(각각의 방법은 IEC 60377의 2부와 3부에서 다루고 있다).

비고. 도파관은 각 모드의 차단 주파수의 1.25배에 해당하는 주파수 이하에서 사용하지 않는 것이 바람직하다.

비유도파를 사용하는 방법에서 이러한 요건들은 빔 발사 시스템과 시료의 표면 평탄성에 적용한다. 모든 가동부는 평활하게 움직여야 하고 반동이나 반발이 없어야 한다.

비고. 특성 치수의 허용차는 적어도 $\pm \frac{\lambda_g}{1000}$ 에 맞아야 한다. 여기에서 λ_g 는 전파 파장이다.

- b) 현저한 표피 효과에 기인하여 감쇠를 증가시키는 평활 표면의 장애가 야기되므로 모든 금속 빔 유도 구조에 특히 고품질의 표면 마감처리가 필요하다.

- c) 정지파를 사용하는 모든 방법에서 정지파 패턴의 결정은 최소한 $\pm \frac{\lambda_g}{1000}$ 이상의 량에 대해 교정

이 이루어져야 한다. 여기에서 λ_g 는 전파 길이이다. 결과적으로 밀리미터 범위의 파장에서는 광학적 방법으로 바꾸는 것이 바람직하다.

4.3.5 온도

온도는 측정 어셈블리의 특성 길이 뿐만 아니라 도파관에서 시료의 정합 및 차단 주파수를 변화시킨다는 점에서 유도파를 사용한 방법에서는 측정의 일관성에 영향을 미친다.

5. 시험 절차

5.1 시료의 준비

시료는 고체 물질을 절단하거나 원하는 형상을 얻기 위해 대략적으로 표준화된 기법으로 준비한다.

시료의 치수 측정은 ($\pm \frac{\lambda_g}{1000} + 0.005 \text{ mm}$)의 허용차로 정확하게 실시해야 한다.

5.2 처리

처리는 관련 규격에 따라 실시한다.

5.3 측정

전기적 측정은 사용한 방법에 따라 실시하고, IEC 60377의 각 부의 사항에 따르고 사용한 장비의 제조 지침을 준수한다.

6. 시험의 보고

시험 보고서에는 다음의 정보가 포함되어 있어야 한다.

- 절연재료의 형식 및 명칭 뿐만 아니라 인수된 형태. 샘플링 방법, 형상, 시료의 치수, 샘플링 날짜. 접촉 면적에서 시료의 처리에 대한 정확한 정보가 매우 중요하다.
- 시료 처리 방법과 기간
- 시험 중 온도와 상대 습도 및 시료의 온도
- 인가한 마이크로파 전력
- 인가한 주파수 또는 자유공간 파장
- 인가한 파동 모드. (적용한 전계의 방향에 대한 시료의 표준 축의 위치 정보가 매우 중요하다.)
- 상대 유전율 ϵ_r (평균값)
- 유전손 $\tan\delta$ 또는 유전 손실 계수 ϵ''_r (평균값)
- 시험날짜

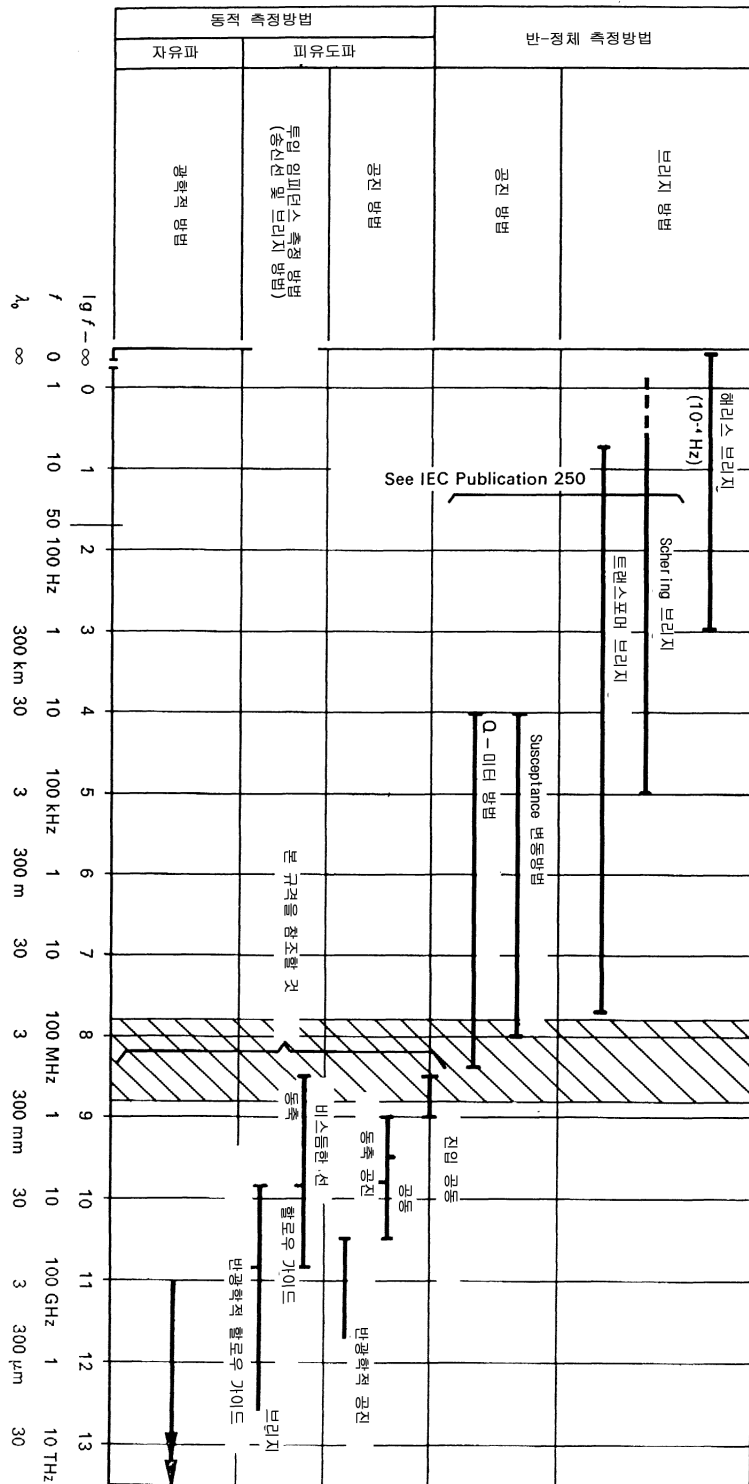


그림 1. A.C. 측정 방법