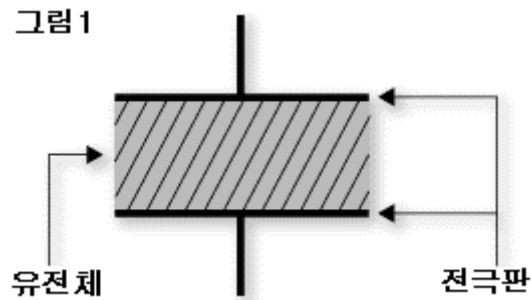


유전정접(誘電正接, $\tan\delta$) : Dielectric Tangent

유전정접(誘電正接, $\tan\delta$) 시험이란 진단 대상설비에 대지전압에 상당하는 상용주파수 교류전압을 인가하여 절연물의 흡습, 오손이나 보이드(Void) 등에 의한 유전체 손실을 측정, 분석함으로써 절연물의 열화상태를 진단하는 방법을 말한다.

◆ 정전용량 (靜電容量)

[그림 1]과 같이 2장의 평행한 금속판에 전압을 걸면, 금속판 사이에 전기를 축적할 수 있는 원리를 이용한 것이 콘덴서이다. 정전용량이란 **얼만큼의 전기에너지를 축적할 수 있는지를 나타내는 수치**이다. 이 수치는 판의 면적이 크면 클수록, 또 2장의 판의 거리가 짧으면 짧을수록 커진다.



◆ 유전체 (誘電體) : Dielectric Substance

전기의 절연체를 전기장 내에 놓았을 때 표면에 전하(電荷)가 유기되는 현상이 있는데, 이때의 절연체를 유전체라 하며, 표면에 나타나는 전하를 편극전하(偏極電荷)라 한다.

1837년 패러데이가 콘덴서의 극판 사이에 절연물을 끼우면 전기용량(電氣容量)이 증가하는데, 그것을 끼우기 전후의 전기용량 비(比)가 절연물의 종류에 따라 결정되는 것을 발견하였다. 이 현상은 전기장의 작용에 의해 무극성분자에서는 분자내의 양전하, 음전하가 어긋나고, 유극성분자에서는 쌍극자모멘트의 방향이 가지런해져서 콘덴서의 극판에서 전하의 작용을 얼마간 상쇄하기 때문이라는 것이 밝혀졌다.

☞ 편극전하(偏極電荷) : 물질의 원자나 분자속에 속박되어 있는 전자가 전기력을 받아 원자 또는 분자속에서 이동하며 분극할 때 나타나는 물질

☞ 쌍극자(雙極子)모멘트 : 크기가 같은 양(陽)과 음(陰) 두 극이 아주 가까운 거리를 두고 마주하고 있을 때 이 두 극을 쌍극자라고 하는데, 이 때 두 극의 세기와 거리를 곱한 것

◆ 유전율 (誘電率) : Dielectric Constant

일반적으로 콘덴서의 2장의 전극판 사이에는 전해액과 세라믹, 플라스틱 필름 등의 매체로 채워져 있으며, 이 매체의 종류에 따라 전해 콘덴서, 세라믹 콘덴서 등으로 분류된다. 이것은 전극판의 면적 또는 전극판 간의 거리가 같아도 매체의 종류에 따라 정전용량이 다르며, 각 매체에 따라 정해지는 정수 K를 유전율이라 한다. 즉 단위체적당 저장되는 정전에너지로 결정하는 물리적인 양을 말한다.

$$C = \frac{KS}{d} (F)$$

C : 정전용량

K : 정수(유전율)

S : 전극 면적

d : 전극 간 거리

F : Farad(용량을 나타내는 단위)

◆ 유전손 (誘電損) : Dielectric Loss

절연물에 교류전압이 인가된 경우, 이상적인 절연물은 정전용량분만의 전기특성을 가지며, 전력을 소비하는 저항분은 없게 되는데, 실제의 절연물에는 미미하나 전력손실을 동반하는 저항분이 존재한다. 즉 유전체에 교류전계를 가했을 때 생기는 전력손실을 유전손이라 한다.

유전손은 발생기구별로 다음과 같이 3종류로 나눌 수 있다.

1) 누설전류에 의한 손실 (W_l)

직류를 인가한 경우의 누설전류에 대응하는 손실로서 양호한 절연물은 미미하나 절연열화가 진행되면 증가한다.

2) 유전분극에 의한 손실 (W_p)

유전체내의 원자, 분자 등에 전계가 가해지면 상대위치가 변함에 따라 발생하는 손실로서 교류전계의 경우 극성이 연속해서 변하기 때문에 연속해서 손실이 발생한다.

3) 부분방전에 의한 손실 (W_i)

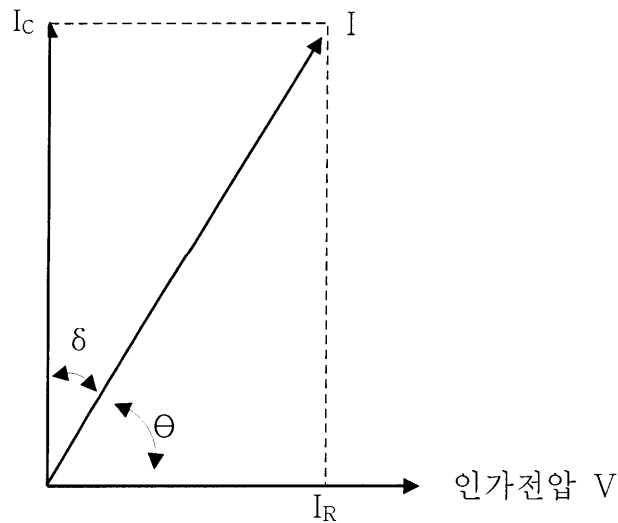
절연물에 부분방전이 발생한 경우 생기는 손실로서 절연물의 보이드(Void) 등에 따른 부분방전손실이 크게되면 $\tan\delta$ 값도 증가한다.

◆ 유전정접 (誘電正接, $\tan\delta$)

절연물에 교류전압을 인가하면 앞에서 서술한 유전손이 생기기 때문에 아래 [그림 2]와 같이 전전류 I 는 인가전압 V 보다도 90° 앞선 충전전류 I_c 와 인가전압 V 와 동상인 손실전류 I_r 과의 합성된 값이되며, 전전류 I 는 충전전류 I_c 보다도 약간 늦은 전력손실이 발생한다. 이때 이 전력손실의 비율을 유전정접(誘電正接, $\tan\delta$) 이라 하며, 비율(%)로 나타낸다

유전체 내부에서 열로 소모되는 유전손실(전력손실) $W = VI\cos\theta$ 로 된다.

이때 $\cos\theta$ 가 90° 에 상당히 근접하게 되면, $\cos\theta = \sin\delta \approx \tan\delta$ 가 성립되어 $W = VI\cos\theta \approx VI\tan\delta$ 로서 유전손실이 표현된다. 여기서 δ 를 유전손실각, $\tan\delta$ 를 유전정접 (誘電正接) 이라 하며, 유전손실과 $\tan\delta$ 는 비례관계이다.



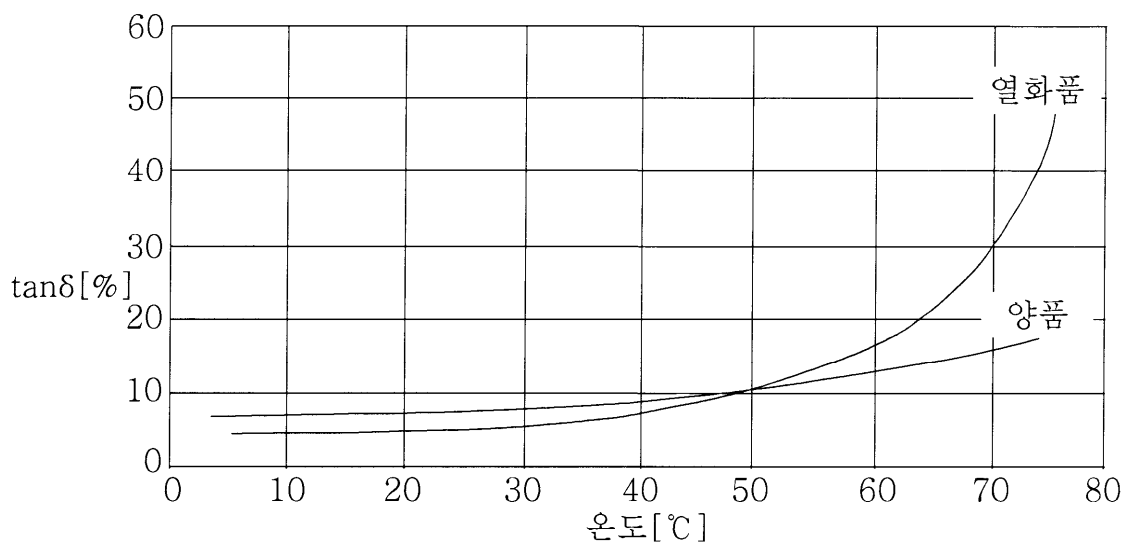
[그림 2] 절연물의 충전전류(I_c)와 손실전류(I_r)의 벡터도

◆ 유전정접 시험에 의한 절연특성

유전정접 시험에 의해 구해진 $\tan\delta$ 값은 피측정물의 온도나 인가전압에 의해 그 값이 변화하므로 절연열화 판정에는 그것들의 특성을 가미하여야 한다.

1) $\tan\delta$ - 온도특성

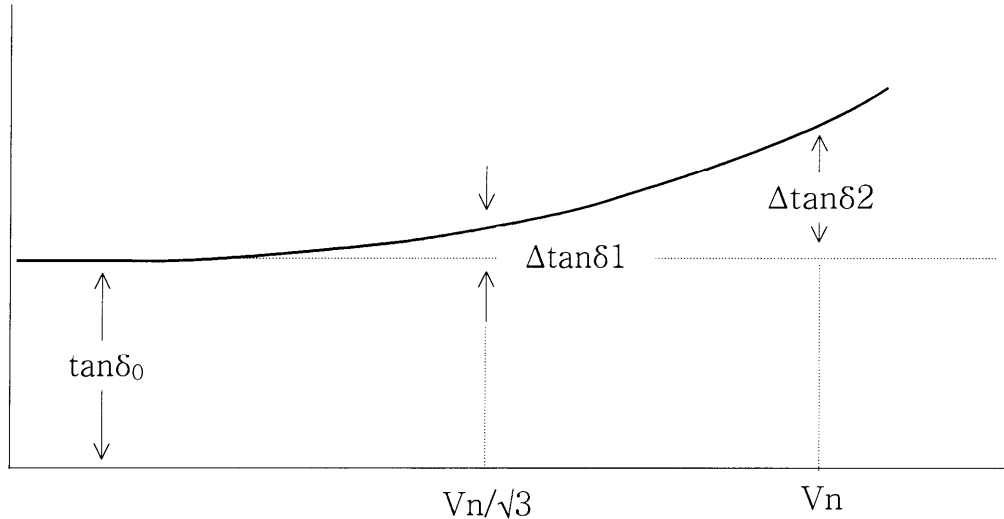
일반적으로 $\tan\delta$ 는 온도가 상승하면 증가하는 경향이 있어 열화된 절연물은 양호한 것에 비해 어느정도 낮은 온도에 급격히 증가하는 경향이 있다.



[그림 3] $\tan\delta$ - 온도특성

2) $\tan\delta$ - 전압특성

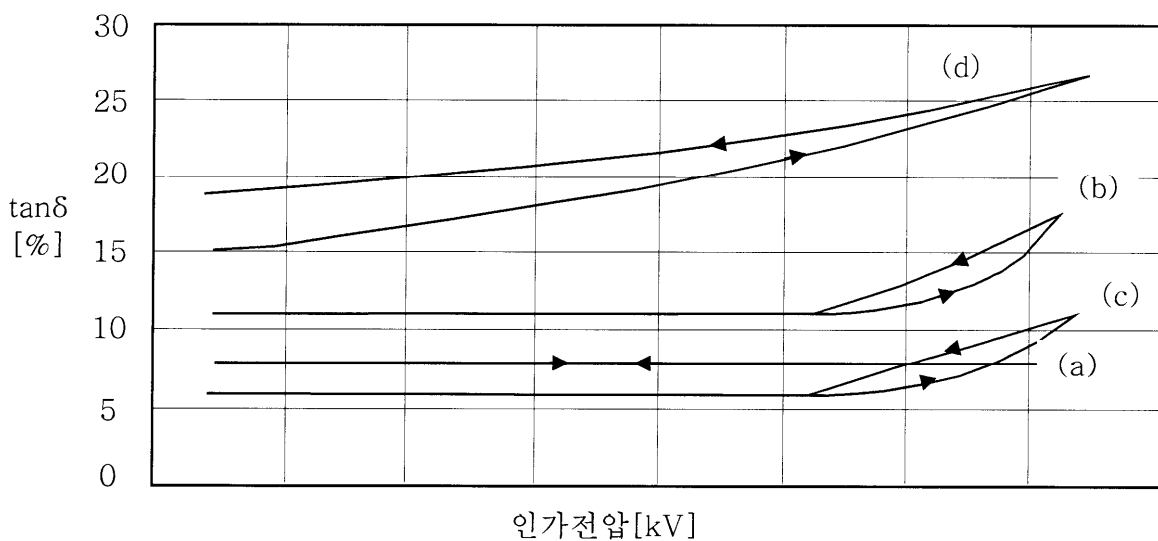
절연물의 내부 또는 표면에서 부분방전이 발생하면 $\tan\delta$ 는 증가한다. 따라서 $\tan\delta$ -전압 특성을 측정함으로써 부분방전의 유무, 부분방전 개시전압의 대략치, 부분방전 발생량의 평균적인 값을 알 수 있다.



[그림 4] 회전기 코일의 $\tan\delta$ - 전압특성 패턴

[그림 4]에서 비교적 낮은 전압에서 $\tan\delta$ 가 전압에 대해 변화하지 않는 영역의 $\tan\delta$ 를 $\tan\delta_0$ (고압기기의 경우 1~2kV), 대지전압(정격전압/ $\sqrt{3}$) 및 정격전압에서의 $\tan\delta$ 를 각각 $\tan\delta_1$, $\tan\delta_2$ 라 하면, 이때의 $\tan\delta$ 증가분 $\Delta \tan\delta$ ($\tan\delta_2 - \tan\delta_1$ 또는 $\tan\delta_1 - \tan\delta_0$)라 한다.

일반적으로 $\tan\delta$ -전압특성은 [그림 5]의 곡선과 같이 절연물의 열화형태에 따라 다음과 같은 특성을 나타낸다.



[그림 5] 절연물 형태에 따른 열화 형태

- (a) 곡선

절연상태가 양호한 경우, 전기기기의 정격전압 부근까지 인가전압을 상승시켜도 $\tan\delta$ 값은 일정하여 전압강하곡선도 상승곡선과 거의 일치하는 곡선으로 된다.

- (b) 곡선

절연물에 공극(Air Gap) 등이 있는 경우, 인가전압이 높아지면 공극내에서 부분방전이 발생하여 $\tan\delta$ 가 급격히 증가한다.

- (c), (d) 곡선

절연물이 노화된 경우로서, 건조한 때에는 양품보다 $\tan\delta$ 가 작게 되지만, 공극이 많이 발생하게 되어 인가전압이 높아지게 되면 급격히 $\tan\delta$ 가 증가하여, (c) 곡선과 같이 된다. 또, 노화된 절연물은 흡습성이 강해 그 경우 하루동안에 (d) 곡선과 같이 되는 일도 많다.

◆ 판정 기준

측정 기기		기기 상태		측정 항목	양 호(%)	비 고
XLPE Cable		신품	2kV	tanδ	0.1 이하	
			10kV	변동율	0.1 미만	
		사용중	2kV	tanδ	0.5 미만	
			10kV	변동율	0.1 이하	
유입, 종이절연케이블		신품		tanδ	0.5 이하	
				변동율	1.0 미만	
유입 변압기 (3.3,6.6,22.9,154kV)	배전용 (500kVA미만)	신품	tanδ	1.0 미만		
		사용중	tanδ	2.0 미만		
	전력용 (500kVA이상)	신품	tanδ	0.5 미만		
		사용중	tanδ	1.0 미만		
건식 변압기 (3.3, 6.6, 22.9, 154kV)		CL>CH,CHL		tanδ	5.0 이하	
				변동율	1.0 이하	
몰드 변압기 (3.3, 6.6, 22.9, 154kV)				tanδ	1.0 이하	
				변동율	미량	
고전압 모터				tanδ	0.5 ~ 5.0	비교시험요
				변동율	1.0 이하	
부싱		신품	UST C1	0.5 이하		
		사용중		1.0 이하		
절연광물성 오일		신품	tanδ	0.05 이하		
		사용중	tanδ	0.5 미만		

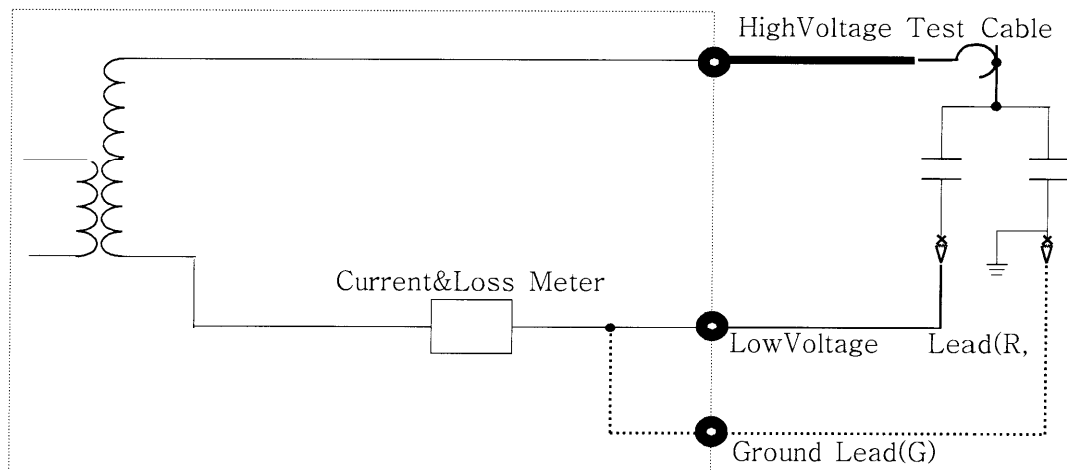
※ XLPE : Cross Linked Polyethylene Insulated PVC Sheathed Power Cable

◆ 측정 방법

1) GST-Ground(Ground-Specimen Test) Mode

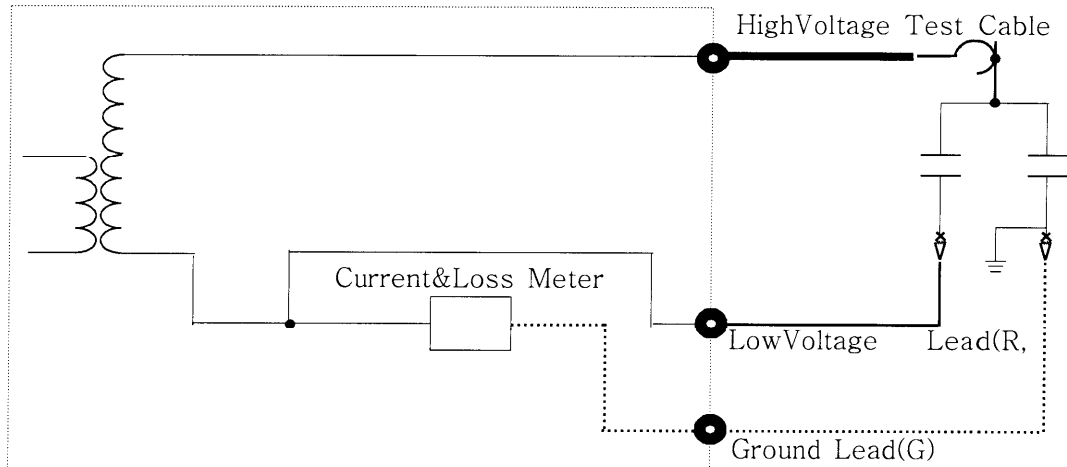
- 측정목적 : 기기의 고압단자와 외함 사이의 절연특성과 고압단자와 저압단자 사이의 절연특성을 동시에 측정
- 측정결선 : 고압 시험 케이블을 측정기기의 고압단자에 연결하고, 저압리드를 측정기기의 저압단자에 연결하며, 측정기기의 접지단자와 tanδ Tester의 접지단자를

접지선으로 연결하여 측정.



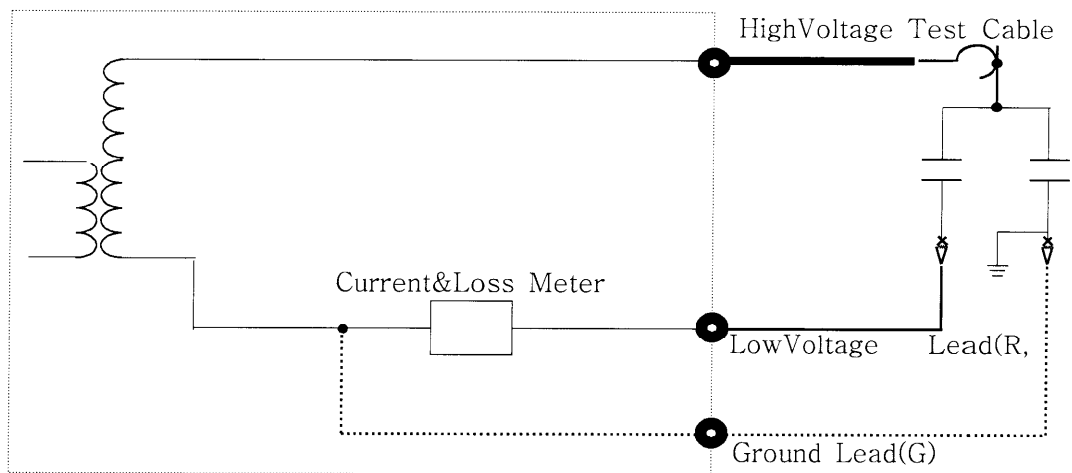
2) GST-Guard Mode

- 측정목적 : 기기의 고압단자와 외함 사이의 절연특성을 측정
- 측정결선 : 고압 시험 케이블을 측정기기의 고압단자에 연결하고, 저압리드를 측정기기의 저압단자에 연결하며, 측정기기의 접지단자와 tanδ Tester의 접지단자를 접지선으로 연결하여 측정.



3) UST(Ungrounded-Specimen Test) Mode

- 측정목적 : 기기의 고압단자와 저압단자 사이의 절연특성을 측정
- 측정결선 : 고압 시험 케이블을 측정기기의 고압단자에 연결하고, 저압리드를 측정기기의 저압단자에 연결하여 측정.



4) 측정 구성도

