

인텔리전트의 절연진단기법(3)

역/대한전기기사협회

전력용콘덴서

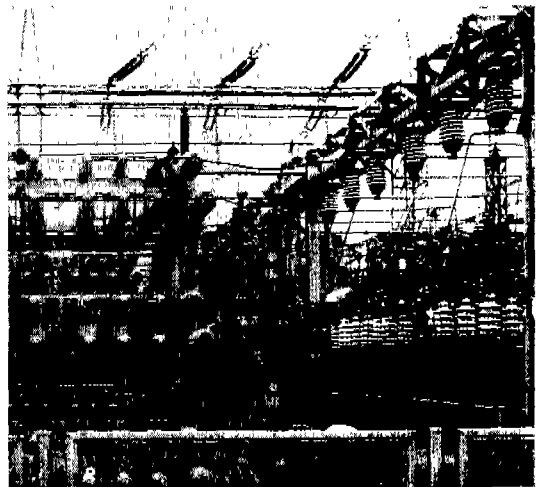
머리말

전력용 콘덴서는 다른 전기기기와는 달리 사용중에는 항상 정격의 100[%] 이상의 상태로 사용되게 되므로 다른 전기기기에 비해서 사용조건이 엄격해진다. 한편, 전력용 콘덴서는 그 구성상 다른 전기기기와는 비교가 안되는 광대한 면적의 절연체층이 있으며, 더욱이 이것이 대단히 높은 전계강도로 연속 사용되고 있기 때문에 절연면에서는 상당히 엄격한 기기라고 할 수 있다.

최근의 전력용 콘덴서는 이 절연체층을 구성하는 유전체 재료가 예전의 종이로부터 플라스틱 필름으로 바뀌어 절연성능도 비약적으로 향상하고 콘덴서가 대폭 소형화되고 있다.

그러나 최근에는 설치장소의 제약이나 부하기기의 변화에 의해 온도, 전압, 전류 등 콘덴서의 사용조건이 이전에 비해 한층 엄격해지고 있으며 이들 조건이 콘덴서 수명에 어떻게 영향을 주는가를 주목해야 한다.

여기서는 전력용 콘덴서의 절연구성, 온도, 전압의 절연수명에 미치는 영향, 절연의 열화유무에 대한 진단방법 등에 대해서 기술하기로 한다.

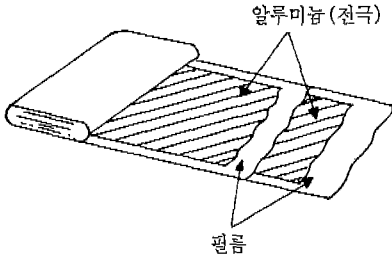


1. 전력용 콘덴서의 절연구성

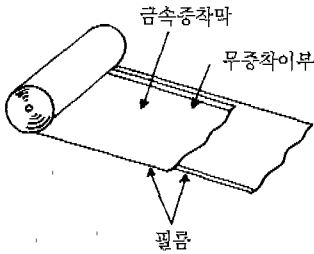
전력용 콘덴서는 유전체와 전극을 겹쳐서 감은 엘리먼트를 집합시켜 결선한 유닛을 케이스에 수납하고 이것을 진공 건조한 후에 절연유를 주입 함침하여 제작되어 있다.

고압 콘덴서는 <그림 1>과 같이 유전체를 구성하는 플라스틱 필름(복수매)과 전극을 구성하는 알루미늄 박을 겹쳐서 감아 엘리먼트를 구성하고 있다. 유전체로서는 이전에는 종이(콘덴서지)가 주였지

만 전기특성이 우수한 폴리프로필렌이 나와 폴리프로필렌 필름과 종이의 접점이 사용되게 되고 최근에는 폴리프로필렌 필름만을 사용한 올 필름형이 주류가 되고 있다.



<그림 1> 고압 콘덴서의 엘리먼트 구성



<그림 2> 저압 콘덴서의 엘리먼트 구성

저압 콘덴서는 <그림 2>와 같이 표면에 얇은 금속증착막을 가진 금속화 필름을 사용, 이것을 감아서 엘리먼트를 구성하고 있다. 이 경우는 필름이 유전체이고 금속증착막이 전극을 구성하고 있다. 예전에는 금속증착막을 가진 콘덴서지, 즉 금속화지(MP)가 사용되어 MP 콘덴서라 호칭되고 있었지만 최근에는 대부분의 것이 금속화 필름(MF)으로 바뀌고 있다. 필름으로서는 폴리에스텔 필름과 폴리프로필렌 필름에 사용되고 있다.

합침하는 절연유는 고압 콘덴서는 전기특성이 우수하고 폴리프로필렌 필름과의 적합성이 좋은 방향족탄화수소계의 절연유가 사용되고 있으며, 저압 콘덴서는 자복성(自復性)을 중시하며, 폴리브텐이나 식물성 기름 등이 사용되고 소용량의 것을 왁스로 사용하고 있다.

2. 전력용 콘덴서의 절연성능

전력용 콘덴서 제작시의 절연성능에 대해서는 JIS C 4902 (KS C 4802) (고압 및 특별고압 진상 콘덴서) JIS C 4901(KS C4801) (저압진상 콘덴서)에 다음과 같은 규정이 있다 (편집자 주: 이하 각종규격은 JIS이므로 KS를 참조할 것).

(i) 내전압: 고압 콘덴서에 대해서는 <표 1>, 저압 콘덴서에 대해서는 <표 2>에 표시하는 시험전압에 견디어야 한다.

(ii) 절연저항: 고압 콘덴서, 저압 콘덴서 공히 단자 일괄과 케이스 간에서 1,000[MΩ] 이상이어야 한다 (저압 콘덴서로 외상 수치 케이스의 것은 2,000[MΩ] 이상).

<표 1> 고압진상 콘덴서의 내전압시험전압

인가개소	과형	절연계급	시험전압	인가시간 또는 회수
단자상호간	정현파에 가까운 상용주파	3호·6호	정격전압의 2배	1분간
	단자일괄 외함간	정현파에 가까운 상용주파	3호 6호	16KV 22KV
		가격파	3호 6호	45KV 60KV

<표 2> 저압진상 콘덴서의 내전압시험전압

인가개소	과형	시험전압	인가시간
단자상호간	정현파에 가까운 50HZ 또는 60HZ	정격전압×2.15	10초(60초)*1
단자일괄 케이스간	정현파에 가까운 50HZ 또는 60HZ	1800V *2	10초(60초)*1

(注) (1) () 내는 형식시험의 경우

(2) 정격전압이 250V를 초과하는 것은 수치케이스 또는 수치외장용 한 것은 형식시험으로 3,000

(iii) 손실 : 상용 주파수의 정격전압으로 측정된 20 [°C]에 있어서의 손실이 고압 콘덴서에서는 0.35 [%] 이하, 저압 콘덴서에서는 0.6 [%] 이하이어야 한다. 또한 고온 손실은 고온 콘덴서에서는 80 [°C]까지에 0.4 [%] 이하, 저압 콘덴서에서는 45 [°C]로 정격용량 [VA]의 144 [%]에서 48시간 통전직후 0.6 [%] 이하이어야 한다.

이 밖에 절연성능을 검증하는 특수한 형식시험으로서 저압 콘덴서에는 단락방전시험, 내용성시험, 자기회복성시험 등이 규정되어 있다.

절연저항에 대해서는 콘덴서의 절연성능을 보는 점에서 말하면 단자간의 절연저항이 중요한데 최근의 전력 콘덴서는 거의 전부가 단자간에 방전저항을 내장하고 있기 때문에 단자간의 절연저항은 측정 불가능하여 공업규격에도 단자간의 절연저항치 규정은 제외되어 있다.

콘덴서의 손실은 그 대부분이 유전체 손실이기 때문에 손실은 유전체의 절연성능 양부의 중요한 기능이며, 특히 손실값의 변화는 콘덴서의 열화판정 데이터로서 중요한 것이다.

현재 KS에는 규정이 없지만 전력용 콘덴서의 절연성능을 검증하기 위한 시험으로서 자주 사용되고 있는 것으로서 코로나 시험이 있다. 이것은 전압인가시에 발생하는 콘덴서 내부의 미약한 부분방전을 검증하는 것으로서, 부분방전(코로나) 개시전압과 부분방전의 크기(코로나 레벨)에 의해 유전체 내부의 미소한 절연결함이나 기포(보이드)의 유무를 검증하는데 효과적인 방법이다.

3. 전력용 콘덴서의 절연열화 요인

전력용 콘덴서는 큰 면적의 유전체층이 상시 고전계에 노출되어 장기간 사용되는 것으로서, 사용중에 어느 정도의 절연열화를 발생, 따라서 일정한 수명을 갖는 것은 할 수 없는 일이다. 정상적 사용조건에서는 전력용 콘덴서의 수명이 15~20년 이상으로 설계

제작되어 있다.

그러나 사용조건에 따라서는 절연열화가 촉진되어 이 수명을 단축시키게 된다.

전력용 콘덴서의 절연열화는 콘덴서의 유전체가 전기적 또는 화학적인 작용에 의해 열화하는 것으로서, 이 열화에 영향을 주는 요인으로서 온도와 전압, 종류 등의 조건이 있다.

(1) 온도의 영향

콘덴서 유전체의 주된 화학적인 열화는 온도에 의존하는 바가 크다.

콘덴서의 수명 L 과 콘덴서 사용시의 유전체 온도 θ 의 관계로 일반적으로 $L = A\Delta\theta^{-m}$ 로 표시된다. A, m 은 유전체 재료에 특유한 정수이다.

이 수명과 온도의 관계를 보다 알기 쉽게 하기 위해 온도가 몇도 상승하면 그 수명이 반으로 단축하는가 하는 값, 즉 수명 반감에 상당하는 온도차가 일반적으로 많이 이용되고 있다.

수명 반감에 상당하는 온도차를 $L\theta$ 라고 하면 온도 θ 에 있어서의 수명 L 간에는 아래와 같은 관계가 성립된다.

$$\frac{L}{L_0} = 2^{\frac{\theta - \theta_0}{L\theta}}$$

$L\theta$ 의 값은 유전체재료에 따라 약간의 차이가 있지만 일반적으로 콘덴서의 경우는 $L\theta = 7 \sim 8 [^{\circ}\text{C}]$ 로 생각된다.

전력용 콘덴서의 정상적인 사용조건으로서는 특별한 것을 제외하고서는 주위온도는 최고 40 [°C], 24시간 평균으로 35 [°C], 연간 평균으로 25 [°C]를 상한으로 생각하고 제작되고 있으므로 이를 상회하는 주위 온도조건에서 사용된 경우는 설정된 수명보다 수명 단축을 피할 수 없다.

다만, 여기서 주의해야 할 것은 콘덴서의 수명에 영향을 주는 것은 주위온도 그 자체가 아니고 콘덴서의 유전체 온도이므로 주위온도만이 아니고 콘덴

서의 온도상승에도 심분 주의를 하여야 한다.

특히 콘덴서가 큐비클 내 등에 설치되어 있는 경우, 콘덴서 주변의 공기의 흐름이 저해받아 의외로 콘덴서의 온도상승이 심해지고 있는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

최근의 올 필름형 콘덴서는 손실이 대단히 적어서 온도상승이 낮아졌으며 온도적으로 유리하여 상기한 주위온도 한계이상으로 사용 가능한 것도 많아지고 있다. 그러나 이것에 사용되고 있는 폴리프로필렌 필름은 절연유내에서는 85~90[°C]를 초과하면 비정상적인 팽창이 생겨 내전압(耐電壓)이 저하하기 때문에 수명이 많이 단축되는 일이 있으므로 주의를 요한다.

전력용 콘덴서의 유전체 최고 온도부 온도는

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 \cdot k$$

θ : 유전체 최고온도부의 온도

θ_1 : 콘덴서의 주위온도

θ_2 : 콘덴서 케이스 최고온도부의 온도상승(통상 윗뚜껑의 온도상승)

k : 유전체의 최고온도부 온도상승과 케이스의 최고온도부 온도상승의 비

에 의해 구할 수가 있다. 계수 k 는 콘덴서에 차이가 있지만 대략 $k=1.2\sim 2$ 이며, 주위온도와 콘덴서 케이스 표면의 온도를 측정함으로써 유전체의 최고온도부 온도를 추정할 수 있다.

(2) 전압의 영향

전력용 콘덴서의 유전체는 사용중에는 항상 고전계에 노출되어 있으며, 이 때문에 미약한 부분방전이나 부분방전에 이르지 않지만 국부적인 전리현상을 일으켜 유전체를 열화시키고 있다.

콘덴서의 수명 L 과 콘덴서 사용시의 전압 V 의 관계는 일반적으로 $L=kV^{-n}$

로 표시된다. k 는 비례정수이고 n 은 유전체에 따라 상이한 전압가속지수이다.

전압 V_0 에서의 수명을 L_0 전압 V 에서의 수명을 L

이라고 하면 상기 관계식은 아래와 같이 표시할 수가 있다.

$$\frac{L}{L_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{-n}$$

전압가속지수(電壓加速指數) n 은 종이 콘덴서의 경우는 대략 5~8이었으나 필름 콘덴서는 대략 9~11 정도로 생각되고 있다.

위의 관계식은 단순히 전압요인만을 생각한 것이지만 전력용 콘덴서에 있어서는 전압의 상승에 따라 전압의 2승에 비례하여 kVA 용량이 증대하고, 이에 수반해서 발열량의 증대로 온도상승이 증대, 온도요인도 중첩되기 때문에 위에 든 관계식 보다 더욱 더 수명을 단축하게 되므로 전압의 영향이 커지게 된다.

전력용 콘덴서의 정상적인 사용조건은 어디까지나 전압이 정격전압이고 JIS C 4902 (KS C 4802), JIS C 4901 (KS C4801)에서는 하기와 같은 허용과전압이 인정되고 있지만, 이들 허용과전압은 「실용상 지장이 없는 과전압한도」라고 하고 있고 「실용상 지장이 없다는 것은 수명을 심하게 단축하지 않는 것」으로 되어 있어 다소의 수명단축을 인정한 과전압으로 이해해야 한다.

고압전상 콘덴서(JIS C 4901, KSC 4801)

최고 정격전압×115[%]

24시간 평균 정격전압×110[%]

저압전상 콘덴서 (JIS C 4901), (KSC 4801)

110[%] 24시간중 8시간 이내

115[%] 24시간중 30분 이내

120[%] 1개월중 5분 이내가 2회 이하

130[%] 1개월중 1분 이내가 2회 이하

전력용 콘덴서는 다른 부하기기와는 달리 이것을 접속함으로써 설치점의 전압이 상승하며, 이것에 직렬 리액터를 사용하고 있는 경우는 이에 의한 콘덴서 단자전압의 상승도 있어서 과전압이 되기 쉽기 때문에 충분한 주의가 필요하다.

전력용 콘덴서의 과전압으로서의 상기한 정상적인

과전압 외에 콘덴서 개폐기 또는 병렬접속된 다른 기기 개폐시 등에 발생하는 과도과전압이 있다.

이와같은 과도전압은 인가되는 시간은 비교적 짧지만 그 전압이 비교적 큰 일이 있으며 반복 인가되면 콘덴서 수명에 중대한 영향을 주는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

일반적으로 콘덴서 개폐시에 발생하는 과도전압은 정격전압의 2배 이하로서, 극단적으로 고빈도의 개폐를 하지 않는 한 수명에는 큰 영향이 없다고 생각해도 되지만 아래와 같은 경우는 정격전압의 2배 이상의 과도전압을 발생, 유전체를 손상하고 수명을 많이 단축시키는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

(i) 콘덴서 개로시 개폐기가 재점호 발생한 경우 : 콘덴서 충전전류 차단시에는 개폐기 극간에 높은 회복전압을 발생하므로 개폐기의 극간 절연성능이 불충분하면 재점호 발생, 높은 이상전압을 발생한다. 고압 콘덴서의 경우는 극간 절연성능이 우수한 진공 개폐기 등을 사용하여야 한다.

(ii) 콘덴서의 잔류전하가 충분히 방전하지 않았을 때 재투입한 경우 : 콘덴서는 개로후에도 잔류전하 때문에 단자간에 잔류전압이 남는다. 이것을 방전하기 위해 현재는 대부분의 전력용 콘덴서가 방전저항을 내장하고 있는데, 이것에 의한 방전은 3~5분간의 시간을 요하기 때문에 이 시간내에 재투입되면 인가전압은 잔류전압에 가산되어 높은 과도전압을 발생하는 일이 있으므로 주의가 필요하다.

콘덴서 개로 직후의 재투입은 피해야 하며, 자동제어 등 때문에 개로후 단시간에 재투입된 가능성이 있는 경우는 방전코일을 달아 방전시간의 단축을 도모하는 것이 바람직하다.

(3) 전류의 영향

전력용 콘덴서가 과전류가 되는 요인으로서 과전압과 고조파전류의 유입을 생각할 수 있다. 이 과전류가 콘덴서의 수명에 미치는 영향은 다음과 같은 것을 생각할 수 있다.

(i) 전압의 상승 : 콘덴서에 고조파전류가 유입한 경우, 콘덴서의 단자전압은 기본과전압 위에 고조파전압이 증첩되게 되어 단자전압이 왜곡되는 동시에 전압 첨두값이 상승한다.

기본과전류를 I_1 n 차 고조파전류를 I_n 이라 하고 기본과전류만의 경우의 단자전압을 V_1 이라고 하면 고조파 유입시의 전압은

$$V = V_1 \left(1 + \sum \frac{I_n}{I_1} \right)$$

이 되므로 고조파전류가 클 수록, 고조파차수가 낮을 수록 큰 과전압이 된다.

이 과전압에 의해 전기적 열화를 발생하게 된다.

(ii) 실효용량의 증대 : 고조파전류의 유입에 의해 콘덴서의 실효 kVA 용량은 기본과용량이 가산되게 되어 증대한다.

기본과전류만의 경우의 kVA 용량을 Q_1 이라고 하면 고조파 유입시의 실효 kVA 용량은

$$Q = Q_1 \left\{ 1 + \sum \frac{I_n^2}{I_1^2} \right\}$$

이 되므로 역시 고조파전류가 클수록, 고조파차수가 낮을 수록 실효용량의 증대가 커진다.

이 실효용량이 증대에 의해 발열량이 증가하고 온도 상승의 증대에 의해 온도적 열화를 발생하게 된다.

(iii) 합성전류의 증대 : 고조파전류의 유입에 의해 콘덴서의 합성전류는

$$I = \sqrt{I_1^2 + \sum I_n^2}$$

이 되므로 고조파전류의 증대와 더불어 합성전류가 증대한다.

그 합성전류의 증대로 인해 콘덴서 내부의 리드선이나 전주의 I^2R 손실의 증대를 초래하여 온도상승 증대의 요인이 되는 외에 엘레먼트의 전류인출부 등과 같은 전류통로의 극부과열을 발생, 수명에 중대한 영향을 주는 일도 있다.

상기와 같은 고조파전류의 유입에 의한 과전류 때문에 콘덴서 수명을 단축시키는 일이 없도록 특히 고조파 발생부하가 있는 장소에 진상 콘덴서를 설치

하는 경우에는 신중히 검토하여 고조파 대책을 미리 강구해야 한다.

전력용 콘덴서의 과전류로서는 상기한 고조파 등에 의한 정상적인 과전류 외에 콘덴서 개폐기 등에 생기는 과도과전류가 있다.

콘덴서 투입시의 돌입전류는 통상적으로는 전원 임피던스 등에 의해 제어되어 정격전류의 10수배 정도로 끝나는 경우가 많으므로 특별히 개폐빈도가 높지 않으면 문제로 삼지 않는다. 다만, 인접해서 콘덴서가 설치되어 있는 경우는 먼저 충전되어 있는 콘덴서로부터의 전류에 의해 정격전류의 수 백배에 달하는 돌입전류가 유입하는 일이 있으므로 주의를 요한다. 이와 같은 과도한 돌입전류가 반복해서 유입하면 콘덴서 내부의 전류통로에서 국부과열 등을 발생하여 수명을 많이 단축시키기도 한다. 이와 같은 경우는 직렬 리액터의 삽입 등으로 돌입전류의 억제로도모하여야 한다.

최근에는 용접기가 쇠석기와 같은 급격한 부하변동을 하는 부하에 대해서 고속도로 대응하는 무효전력 보상장치가 많이 사용되고 있는데, 이것들은 주로 다이리스터 등의 반도체 스위치를 사용해서 고빈도 개폐가 행하여지고 있다.

그러나 이들 장치는 대부분은 반도체 스위치의 이점을 살려 투입위상의 제어를 하여 투입시의 과도전압이나 돌입전류를 최소로 억제하도록 배려되어 있으므로 고빈도 개폐에 의한 수명에의 영향은 그리 염려할 필요가 없다고 생각된다.

(4) 기타의 영향

상기와 같은 요인외에 흡습에 의한 유전체의 열화도 생각할 수 있지만 전력용 콘덴서는 전부 밀봉형으로서 통상적으로는 흡습에 의한 열화는 생각하지 않고 있다.

그러나 만일 콘덴서가 기름을 누설한 경우 이것을 방치하면 이 부분으로부터 흡습하여 열화하는 일이 있으므로 기름의 누설은 일상점검에서 조기에 발견

하여 수리 등과 같은 대책이 필요하다.

4. 전력용 콘덴서의 절연진단

사용중인 전력용 콘덴서의 절연을 진단하여 절연 열화의 정도를 파악, 잔존 수명을 추정할 수 있으면 이상적이지만 유감스럽게도 전력용 콘덴서의 절연진단은 상당히 곤란한 점이 많다. 전력용 콘덴서의 각각의 절연성능에 대한 진단법과 문제점을 들어 본다.

(1) 정전용량

고압 콘덴서와 같은 박전주(薄電極) 콘덴서에서는 사용중의 절연열화에 의한 정전용량(靜電容量)의 변화는 거의 발생하지 않는다. 따라서 정전용량 측정에 의한 절연열화의 진단은 그리 의미가 없다고 할 수 있다. 그러나 고압 콘덴서의 내부는 다수의 엘리먼트가 직병렬로 접속되어 있으며, 일부의 엘리먼트가 절연과괴 또는 단선이 생긴 경우는 정전용량의 변화에 의해 이것을 알 수가 있는 경우도 있다.

저압콘덴서와 같은 증착 전주 콘덴서는 사용중의 국부적인 유전과괴 때문에 증착막의 비산에 의한 자기회복작용이 있고 또 국부적인 부분방전에 의한 증착막의 소실이 있기 때문에 장기 사용중에는 약간의 정전용량 감소가 있다. 이 정전용량 감소의 정도는 유전체재료나 증착속속, 함침제의 종류에 따라 차이는 있지만 대략 수 % 이내에 있어야 하고 이 이상의 대폭적인 정전용량감소가 있는 경우는 절연열화가 진전하고 있다고 판단할 수 있다.

정전용량의 측정은 이전에는 주로 교류 브리지가 사용되었지만 최근에는 유대용으로 간편한 직독식 정전용량계가 많이 사용되고 있다. 이들 직독식 정전용량계는 고주파에서의 전압·전류를 비교하는 방식이나 직류에서의 충전 또는 방전시간을 구하는 방식이 이용되고 있는데, 고주파방식에서는 누설전류가 측정오차의 원인이 되므로 주의가 필요하다.

또한 이들 계기는 측정전압이 수 V 이하로 낮으면

로 만일 일부의 엘리먼트가 절연과피되어 있어도 완전단락으로 되어 있지 않으면 정상적인 주의를 요한다.

현장에서의 간편한 정전용량 측정법으로서 콘덴서에 100[V] 또는 200[V]의 전압을 인가하고 전압·전류를 계측하여 용량을 산출하는 방법을 권장한다. 다만, 이 경우, 전압파형에 왜곡이 있으면 오차를 발생하므로 주의를 요한다.

삼상 콘덴서는 △결선의 것과 Y결선의 것이 있다. 저압 콘덴서에서는 대부분 △결선이지만 고압 콘덴서는 근간에 Y결선의 것이 많다. 각 결선의 1상당의 정전용량은 kVA 용량에 의해 아래 식으로 산출한다.

△결선 콘덴서

$$1\text{상당 정전용량} = \frac{kVA \times 10^3}{2\pi f V^2} \times \frac{1}{3} \times 10^6 [\mu F]$$

Y결선 콘덴서

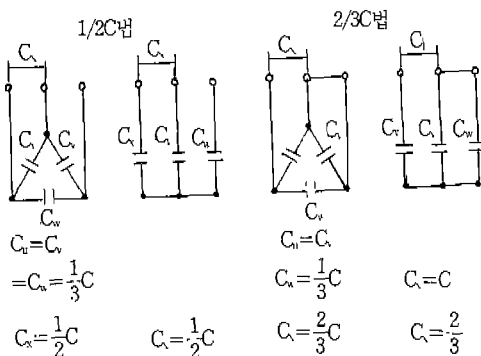
$$1\text{상당 정전용량} = \frac{kVA \times 10^3}{2\pi f V^2} \times 10^6 [\mu F]$$

단, kVA : 콘덴서의 정격 kVA 용량

f : 콘덴서의 정격주파수

V : 콘덴서의 정격전압

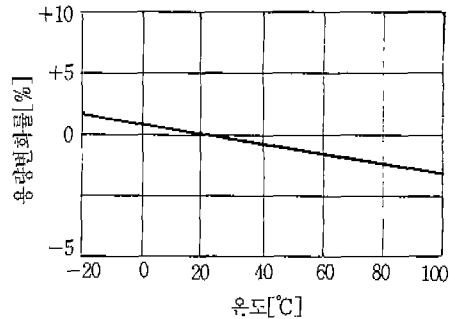
삼상 콘덴서의 정전용량 측정법은 <그림 3>에 표시하듯이 1/2C법 또는 2/3C법으로 접속을 변경해서 2회 또는 3회 측정함으로써 각 상의 용량을 알 수가 있다.



<그림 3> 콘덴서의 정전용량 측정법

정전용량 측정시에 잔류전하가 있으면 감전이나 계기의 파손이 발생하는 일이 있으므로 콘덴서 개로 후 10분에 방전한 것을 확인한 후 측정해야 한다.

콘덴서의 용량은 <그림 4>에 일례를 표시하는 바와 같이 온도에 따라 약간 변화하므로 이 점에 대해서도 배려가 필요하다.



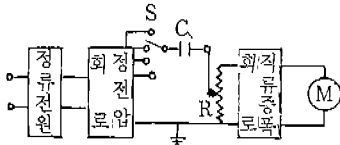
<그림 4> 고압·전상콘덴서의 정전용량-온도특성(울 필름형)

(2) 절연저항

콘덴서의 절연저항은 역시 절연열화에 의해 저하하므로 절연진단의 중요한 실마리가 되지만 유감스럽게도 최근의 전력용 콘덴서는 거의 전부가 방전저항을 내장하고 있기 때문에 단자간의 절연저항은 측정할 수 없다.

단자-케이스 간의 절연저항은 콘덴서의 유전체와 는 관계없는 내부 엘리먼트와 케이스 간의 절연물에 의한 것으로서, 이것에서 콘덴서의 유전체 열화를 진단할 수가 없다. 그러나 콘덴서 대지절연의 양부를 알고 콘덴서 전체의 열화를 아는 한가지 기준이 되는 것이고, 또한 간단히 측정할 수 있는 것이므로 보수시에는 측정할 것을 권한다.

측정기로서는 최근에 간편한 초절연계가 보급되어 있다. 이 원리는 <그림 5>와 같으며, 미약한 누설전류를 증폭해서 미터를 가계 하여 절연저항치가 직독되게 되어 있다. 측정전압은 고압 콘덴서는 100~1,000[V], 저압 콘덴서는 500[V]로 규정되어 있다.



C: 4공식 콘덴서
S: 전압변환콘덴서
M: 지시서기

<그림 5> 절연저항측정원리도

절연저항치는 온도의 상승과 함께 대폭 저하하는 경향이 있으므로 측정시에는 반드시 온도를 기록해 두어야 한다. 콘덴서 개로 직후는 내부 온도가 상승되어 있으므로 이것도 고려해야 한다.

또, 측정시에는 애자부를 닦아 애자 표면의 누설전류를 극력 작게 하여 두어야 한다.

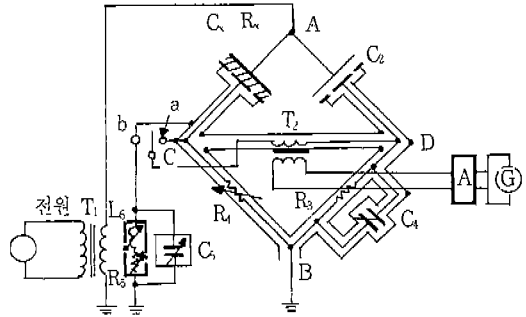
(3) 손실

일반적으로 콘덴서의 유전체는 열화하면 분해되어 이온성 물질이 증가하기 때문에 유전체 손실이 증대하는 경향이 있다. 그러나 최근의 올 필름형 콘덴서는 유전체 손실 그 자체가 대단히 작아져서 그 경향이 그리 명료하게 볼수가 없기 때문에 손실에 의해 열화의 진단이 곤란해졌다.

또한 손실값은 측정전압이나 측정온도에 따라서도 변화하기 때문에 현지에서의 간단한 1점만의 측정치를 가지고 절연진단을 하는 것은 불가능에 가깝다고 할 수 있다.

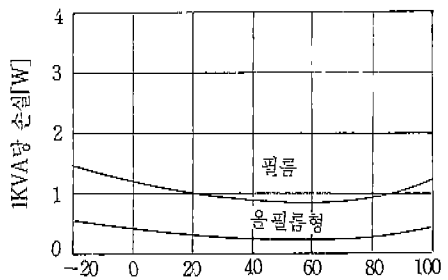
콘덴서의 손실률은 본래 상당히 낮은 것이기 때문에 전력계법 등으로는 측정할 수 없다. 고압 콘덴서의 손실측정은 일반적으로 웨링·브리지가 사용되고 있다. 이 회로구성은 <그림 6>과 같으며, 일종의 교류 브리지인데 콘덴서의 대지정전용량을 보상하고 회로를 설치하여 측정정밀도의 향상을 도모하고 있다. 저압 콘덴서에서는 이 회로를 간소화한 간이 웨링·브리지가 사용되고 있다.

콘덴서의 손실은 본래 정격전압으로 측정하여 평가하여야 하며, 이러한 의미에서도 고압 콘덴서의 현

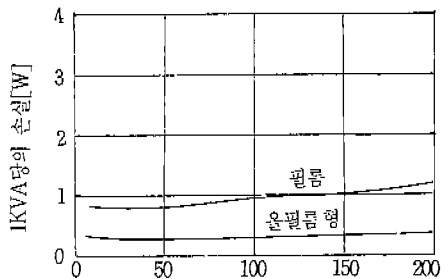


x: 그 정전용량 C, 등가병렬저항을 R, 손실각을 δ 로 한다
C₂: 표준 콘덴서 (무손실로 볼 수 있는 보호전극을 가진 공기 콘덴서 등을 사용한다)
R₀: 가변무유준저항기, R₁: 무유준저항기
C₃: 가변콘덴서
G: 파동전류계(시험주파수에동주콘덴서)
T₁: 전류변압기, T₂: 전압변압기
A: 증폭기

<그림 6> 웨링·브리지 회로도



<그림 7> 고압진상콘덴서의 손실-온도특성



<그림 8> 고압진상콘덴서의 손실-전압특성

지측정 곤란성을 이해할 수 있다.

고압 콘덴서 손실온도 특성의 일례를 <그림 7>에, 손실전압 특성의 일례를 <그림 8>에 들었다. 유전체 열화의 징후는 특히 고온측 손실, 저전압측 손실의 증대에 볼 수 있다.

(4) 온도상승

콘덴서의 유전체가 열화되고 손실이 증대하면 온도상승이 증대할 것이고, 온도상승의 측정에 의해 비교적 용이하게 콘덴서의 열화를 알 수 있는 경우도 있다.

콘덴서의 온도상승을 일반적으로 케이스 표면에 있어서는 윗뚜껑 중앙부에서 최고가 되므로 이곳에 온도계를 설치하여 온도를 실측, 콘덴서 주변의 주위 온도와의 비교에 의해 온도상승이 구해진다. 이 측정을 정기적으로 계속해서 실측하고 있으면 열화의 유무는 어느 정도까지 추정 가능하다. 그러나 이 온도상승치는 주위온도에 따라 다소의 변동이 있으므로 가끔씩 주위온도 가까운 조건에서의 측정치를 비교할 필요가 있다.

간편한 방법으로서 이곳에 온도에 따라 변색하는 더모라벨 등을 도모하여 설정온도를 초과했는가를 감시하는 방법도 있다.

(5) 내전압 시험

장기간 사용하여 어느 정도 열화한 콘덴서에 대해서 내전압시험을 하면 열화를 진전시켜 수명을 더 단축시키는 결과가 되어 그리 좋지 않다고 생각된다.

또 현실적으로 현지에서 콘덴서 단자간의 내전압 시험을 실시하려면 대용량의 시험전원을 필요로 하기 때문에 곤란하다.

비교적 소규모의 시험전원으로 시험가능한 직류내전압시험의 적용을 생각할 수 있지만 교류과 직류는 유전체 내부의 전위분포도 상이하기 때문에 그리 의미가 없다고 생각된다.

(6) 코로나 시험

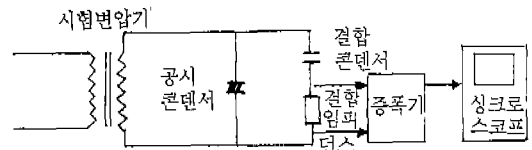
콘덴서 내부의 부분방전을 검출하는 코로나 시험은 절연열화진단의 한가지 효과적인 수단이라고 생각된다.

유전체가 국부적으로라도 어느정도 열화하면 합침체 또는 유전체의 분해 가스가 발생하여 전계내에 미소한 기포를 발생하여 이 보이드 내에서의 미소한 방전이 시작되고 이 방전에 의해 유전체의 열화가 가속되게 된다. 따라서 사용전압 이하에서의 연속적인 부분방전의 발생은 위험신호로 볼 수가 있다.

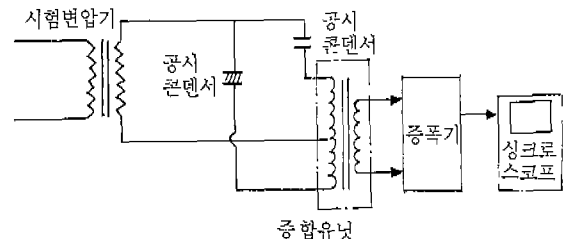
콘덴서 내부의 부분방전을 검출하는 방법으로 현재 다음과 같은 방법이 있다.

(i) 전기적으로 방전 펄스를 검출하는 방법: 기본적인 코로나 펄스 검출회로를 <그림 9>에 든다. 공시(供試) 콘덴서의 단자전압에 나타나는 미소한 방전 펄스를 결합 임피던스에 의해 꼬집어 내어 이것을 증폭해서 싱크로스코프 등에 의해 관측한다. 증폭기의 주파수특성에 의해 광대역검출, 동조검출법, 저주파검출법이 있다.

대용량의 콘덴서에서는 검출감도 향상을 위해 <그림 10>에 든 평형형 검출회로가 널리 사용되고 있고 1펄스당 수 PC정도의 미소한 방전도 검출가능한 장치도 있지만 잡음이 적은 양질의 시험전원과 시험환경이 필요하여 현지에서의 적용은 곤란하다.



<그림 9> 코로나 정전검출기본회로

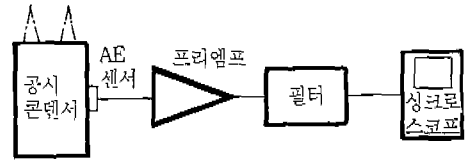


<그림 10> 평형형 코로나 검출회로

(ii) 음향적으로 방전 필스를 검출하는 방법: 부분 방전을 발생한 개소로부터 음파 또는 초음파를 발생하므로 콘덴서 케이스 표면에 고감도 마이크로폰 등의 검출기를 부착하여 이것을 검출할 수도 있다. 이 방법은 상술한 전기적 검출법에 비해 검출감도가 낮지만 측정이 용이한 이점이 있다.

최근 초음파방사(AE) 검출기술이 진보되어 상당히 고감도의 검출장치도 개발되고 있으므로 현장에서 간편하게 사용할 수 있는 것이 제품화되리라 본다.

<그림 11>에 AE센서의 블록도를 든다.



<그림 11> 초음파검출 센서 측정계 블록도

맺음말

전력용 콘덴서의 절연열화는 여러가지 요인이 있으며, 사용조건으로서 이들 요건을 극력 피하는 배려가 필요하다. 절연열화의 진단은 현재로는 곤란한 면이 많지만 본고가 전력용 콘덴서의 보전에 참고가 된다면 다행이겠다. ⊕

내가 끈 전등 한등
다음세대 밝혀준다.