

# 電氣設備의 診斷技術

## (15)

### 第 2 編 應 用

## 2.8 電力用 콘덴서

電力용콘덴서는 전력계통의 電壓調整 負荷의 力率改善 등의 목적으로 많이 사용되고 있으며 변전설비로서 부족함이 없는 기기이다. 이 전력용콘덴서에 사용되는 절연재료는 충분히 脫氣·脫濕하고 완전밀봉구조로 되어 있기 때문에 經年劣化는 거의 없다. 또한 장기간에 있어서 매우 안정되고 있고 신뢰도가 높은 것으로 되어 있으나 재료나 설계제작상에 不備한 것 등이 있을 경우, 또 사용중에 가해지는 과전압이나 지나친 스트레스, 혹은 콘덴서 설비를 둘러싼 환경상의 제조조건 등에 의해 절연성능이 저하되고 때에 따라서는 절연파괴에 이르는 경우도 있다. 한편, 이 열화현상을 조속히 검지하고 절연파괴를 미연에 방지하는 것은 설비보수면에서 매우 중요하며 그 요구가 점차 높아져 이에 따라 열화진단에 대한 여러 가지의 검토가 행해져 오고 있다. 여기서는 전력용콘덴서의 구조, 특성의 經年變化를 소개하고

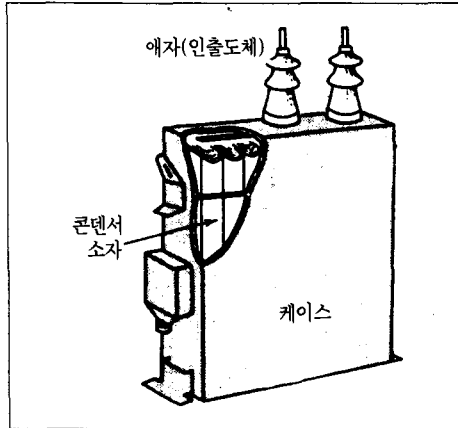
전력용콘덴서의 설비정비·점검의 실상, 더욱이 설비진단의 장래과제에 관하여 기술하겠다.

### 2.8.1 電力용콘덴서의 構造

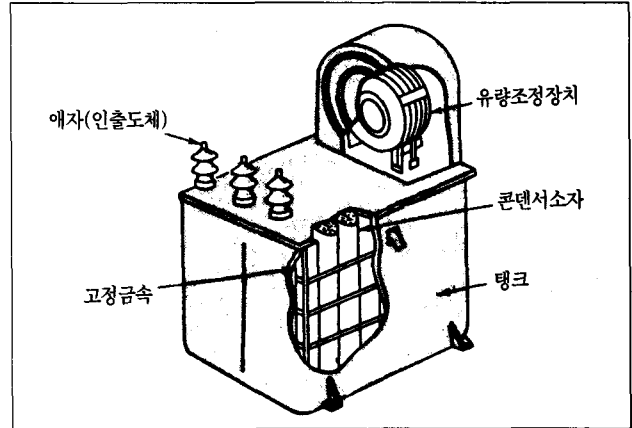
전력용콘덴서 設備의 주요 구성기기로는 콘덴서本體, 직렬리액터, 방전코일이 있는데 여기서는 主機器인 콘덴서 본체의 구조, 특징에 대하여 기술한다.

전력용콘덴서를 외관의 구조형태로 분류하면 缶形, 탱크形으로 대별할 수 있으며, 각기 그림 2.43 및 2.44에 나타내었다.

전력용 콘덴서 誘電體로서는 두꺼운 그래프트紙를 사용한 OF式紙 콘덴서가 장기간 사용되어 왔으나 1968년경부터 대폭적인 小型輕量化, 低損失을 목적으로 폴리프로필렌 필름을 사용한 필름콘덴서가 제품화되어 현재는 전력용콘덴서의 대부분이 이 타입으로 되어 있다.



〈그림 2.43〉 缶形콘덴서의 構造



〈그림 2.44〉 탱크형콘덴서의 構造

전력용콘덴서의 구조는 그림 2.43, 그림 2.44에 표시한 바와 같이 적당한 개수의 콘덴서素子를 집합하여 직렬·병렬로 접속한 소자를 철제탱크에 收納한 후 高温·高真空乾燥하여 절연유를 滲透한 것이다. 또, 사용중에 있어서 절연유의 팽창·수축은 콘덴서탱크 側壁(缶形의 경우), 또는 유량조정장치(탱크形의 경우)에서 外氣와 접촉하지 않고 조정할 수 있는 完全密封(OF式的 경우)구조로 되어 있다.

최근, 전력용콘덴서 설비를 고신뢰도화 하고 설치면적을 축소화 하기 위하여 單位콘덴서를 對地据置式으로 대용량화하는 요구가 높아지고, 단위용량 10~20MVA의 콤팩트 콘덴서를 직렬리액터 및 개폐기와 절연덕트로 접속한 전력용콘덴서설비가 개발되어 보급되어 왔다. 이 設備의 一例로

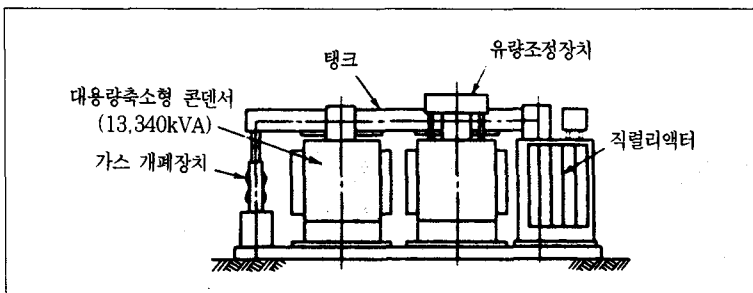
서 13,340kVA 單位콘덴서에 의한 66kV, 50Hz, 80MVA 設備에 대한 구성은 그림 2.45에 나타낸 바와 같다.

## 2.8.2 電力用 콘덴서의 經年變化

### 1. 전력용콘덴서의 劣化要因

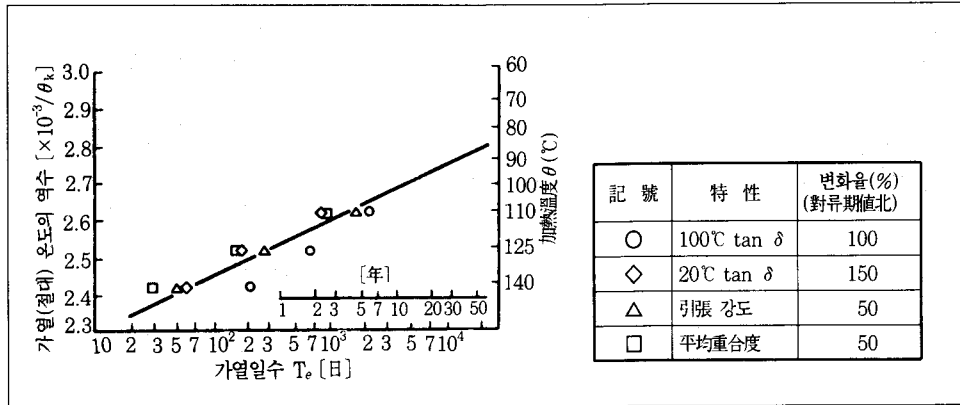
콘덴서의 열화요인은 다른 油入機器와 같이 절연유 및 절연지 또는 필름 등 過酷한 조건하에 있는 誘電體의 전기적, 열적, 기계적 영향에 의한 열화를 생각할 수 있다. 콘덴서는 기계적 영향은 적고, 이것에 의한 열화는 다른 두 요인보다 중요하지 않다. 또, 콘덴서의 사용조건에 의하여 열화의 주요인은 다르나, 병렬콘덴서의 경우에는 熱的要因이 있으며, 한편 계통의 안정도 향상, 송전용량의 증대 등을 목적으로 하는 직렬 콘덴서에서는 電壓要因이 지배적이라고 말할 수 있다.

熱的劣化는 콘덴서의 운전중 온도상승에 의한 유전체의 열분해, 또는 필름의 팽윤, 용해 등이 있다. 이 때문에 재료의 물리화학적 특성과 사용조건을 고려한 운전온도, 열평형설계가



〈그림 2.45〉 66kV 對地据置式 大容量縮小形 필름콘덴서 設備의 레이아웃 (13,340kVA器 構成, 80MVA 群)

기술연재



〈그림 2.46〉 油浸紙콘덴서의 가열온도와 수명과의 관계

중요하다. 전기적 열화는 상규전압에 의한 것, 과전압의 반복에 의한 것을 생각할 수 있다.

2. 電力用콘덴서의 壽命

절연재료의 온도를  $\theta [^{\circ}\text{C}]$ , 그 온도에서의 수명을  $T_e$ 라고 하면 反應速度論에 의하여  $\log T_e$ 와  $1/\theta_k$  직선관계에 있고 고온에서의 가열시험결과로부터 사용온도에서의 수명이 추정된다. 그림 2.46은 그 一例를 나타낸 것이며, 통상적으로 콘덴서内部에서 가장 過酷한 조건하에서 유전체의 최고온도는 약  $80^{\circ}\text{C}$  이하이기 때문에 이 최고온도에서 사용하여도 熱劣化만이 제약조건이 된다면 콘덴서 수명은 50년 이상이 된다.

2.8.3 電力用 콘덴서의 故障實態

일본의 전력회사에 있어서 1979~1981년의 3년간에 발생한 전력용콘덴서의 事故統計에 의하면 이 중 본체의 사고는 6건으로 合計용량 1,943kVA이며 모두 1957년 이전에 제작된 것이다. 또 1980년 3월말에 10개 전력회사의 전력용콘덴서 총설치량은 28,948MVA으로 나타나 이에 따라 전력용콘덴서의 사고율을 試算하면 0.0022%/年으로 사고발생률은 극히 드물다고 하겠다.

2.8.4 電力用콘덴서의 診斷技術

1. 전력용콘덴서의 事故·障害 進展흐름

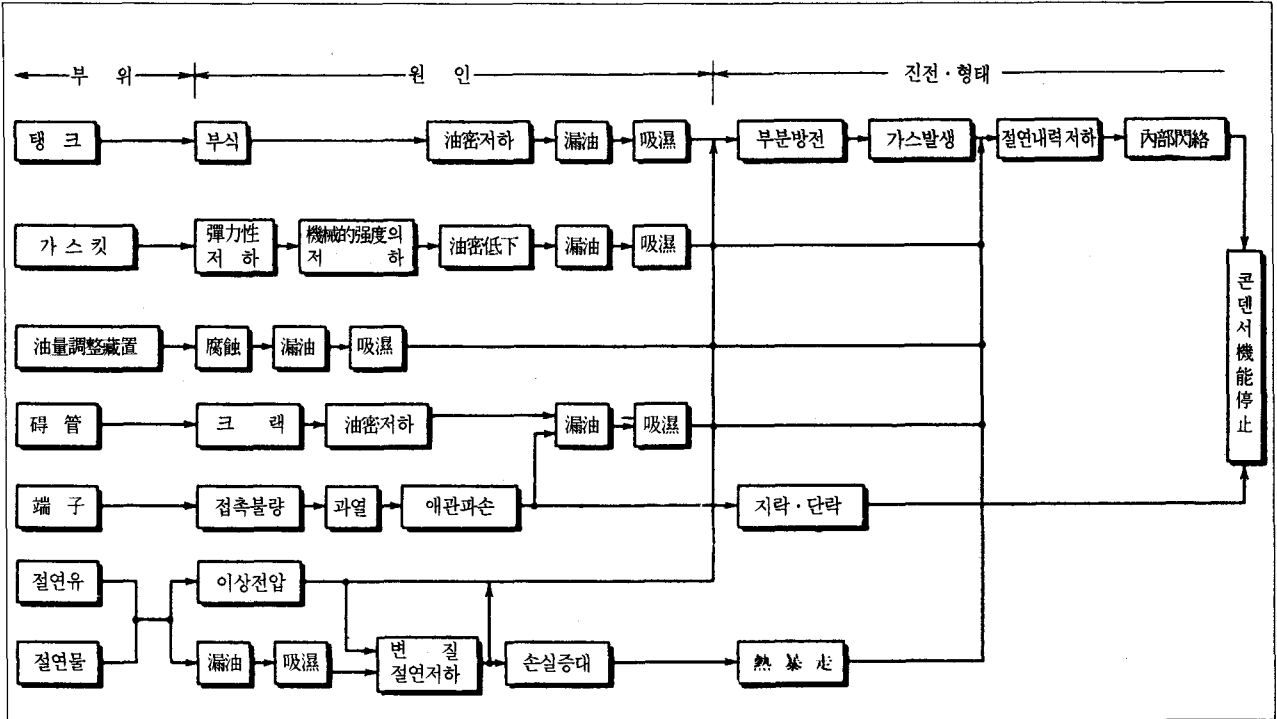
전력용콘덴서는 완전밀봉구조로 되어 있기 때문에 경년열화는 극히 적고 2.8.3항에서도 기술했던 바와 같이 콘덴서 본체의 고장은 종래에도 매우 적었으나 절연재료의 열화로 부터 사고·장해 진전흐름을 정리하면 그림 2.47과 같다. 그림에 나타난 바와 같이 장해진전의 출발요인은 크게 나누어, 밀봉이 파손되어 일어나는 漏油·吸濕과 이상전압印加가 일어나게 되어 콘덴서 기능정지에 이르기까지의 진전형태로서 ① 부분방전발생 → 가스발생, ② 손실증대 → 熱暴走의 2가지 프로세스를 생각할 수 있다.

2. 整備點檢의 現狀

앞에서도 설명했듯이 콘덴서 設置의 주요 구성기기는 콘덴서本體, 직렬리액터, 방전코일이며 여기서는 이것들의 이상이 발견되는 구체적인 포인트를 기술한다.

a. 콘덴서本體 : 콘덴서本體의 정비에 있어서는 다음의 예비지식이 필요하다.

(1) 絶緣抵抗 : 端子 상호간에 대해서는 靜電容量이 크기 때문에 콘덴서의 정확한 절연저항치를 측정하는 것이 불



〈그림 2.47〉 電力用콘덴서의 事故·障害進展흐름도

가능하다.

(2) 靜電容量 : 정전용량측정에 의하여 콘덴서 내부소자의 단선, 파괴 등의 이상을 확인하는 것은 가능하다 특성의 열화는 검지되지 않는다. 또 측정결과 정전용량의 비교적 적은 변화가 이상여부의 판단은 동일시기의 동일정격품의 측정치변화의 정도와 비교함으로써 가능하게 된다.

(3) 誘電體損失(tan δ) : 측정에 있어서는 측정선의 결선 방법에 주의를 요한다. 또 결과에 의한 미묘한 불량 판단은 정전용량의 경우와 동일하지만 이상이나 열화는 검지된다.

이상과 같이 데이터의 취급에는 충분한 검토가 필요한데 정기적인 데이터관리는 정비점검상의 중요한 자료로서 널리 활용된다.

b. 直렬리액터 : 정비내용은 일반변압기와 같으나 직렬 리액터는 콘덴서의 개폐에 맞추어 全負荷—無負荷運轉을

반복하기 때문에 호흡작용이 격심하므로, 특히 보통유입식 직렬리액터 등의 油劣化防止없는 구조에서는 점검주기에 주의할 필요가 있다.

c. 放電코일 : 일반변성기류와 같은 정비방법으로는 좋으나 방전코일도 직렬리액터와 같이 呼吸作用이 격심하기 때문에 점검주기에 주의할 필요가 있다.

d. 콘덴서設置의 使用條件 : 전압, 전류, 주위온도 등의 사용조건을 확인하여 각 기기의 허용한계를 넘는 조건은 조속히 개선할 필요가 있다.

점검 결과 손상 혹은 판정기준에 미흡한 점이 발견되었을 경우, 그 원인을 조사함과 함께 신속하게 대처할 필요가 있다. 예를 들어, 직렬리액터의 고조파허용치는 제 5 고조파로서 35%가 되어 그 이상의 과대한 고조파전류가 유입될 경우 리액터 정격의 변경, 교류필터 등의 설치에 의한 고조

기술연재

〈표 2.20〉 콘덴서의 絶緣診斷法

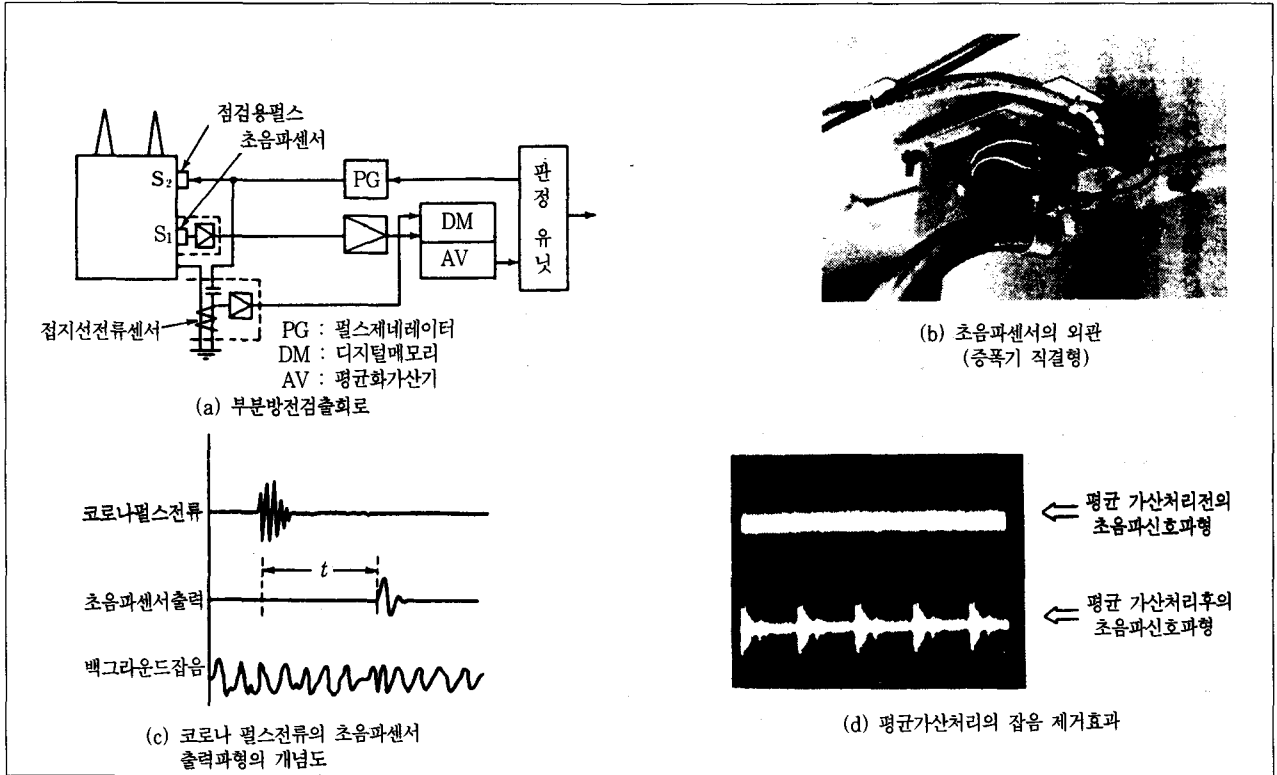
試驗方式	目的	判定對象	難易度		特 徵	
			靜電斷	活線斷		
絶緣耐力試驗	商用周波耐電壓試驗	소정의 상용주파 절연내력의 검증 및 장기신뢰성의 확인	T-E	B	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>· T-T 間의 경우 시험장치가 커져야 한다.</li> <li>· 반복실시는 바람직하지 못하다.</li> <li>· 비파괴검사가 아니다.</li> <li>· 합격과 불합격의 판정이 명확하다.</li> </ul>
			T-T	C	D	
	直流耐電壓試驗	직류절연내력에 대한 저하의 유무검증	T-E	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시험장치가 소규모여서 좋다.</li> <li>· 반복실시의 영향은 적다.</li> <li>· 비파괴검사가 아니다.</li> <li>· 합불합격의 판정이 명확하다.</li> <li>· 내전압치의 결정에는 검토를 요함.</li> </ul>
			T-T	A	D	
非破壞試驗	靜電容量試驗	단선, 단락 등의 내부 이상의 유무판정	T-E	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 간편한 방법이다.</li> <li>· 내부의 단선, 단락의 이상확인이 용이하다.</li> <li>· 절연열화의 판정은 불가능하다.</li> </ul>
			T-T	A	D	
	損失試驗 (tan δ)	유전체, 절연물의 오손, 열화 등의 변화경향으로부터 이상유무의 판정	T-E	A (C)	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 저전압에서 간편한 방법의 채용이 가능하다.</li> <li>· 고전압에서 더욱 높은 정도를 필요로 하는 경우 설비가 커져야 한다.</li> <li>· 절연열화의 정도와 특성치에 문제가 있다. ( )은 고전압 측정인 경우의 난이도</li> </ul>
			T-T	A (C)	D	
絶緣抵抗試驗 거링	유전체, 절연물의 오손, 열화 등의 변화경향으로부터 이상유무의 판정	T-E	A	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 메가 등의 간편한 방법은 채용가능하다.</li> <li>· 절연열화의 정도와 특성치에 문제가 있다.</li> </ul>	
試驗	部分放電試驗	내부에서 발생하는 부분방전 펄스를 전기적으로 검출해서 이상유무를 확인	T-E	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>· T-T 間의 경우 상규전압 이상에서는 시험설비가 커져야 한다.</li> <li>· 외래잡음의 영향이 크다</li> <li>· 상황에 따라서는 이상징후의 조기발견이 가능하다.</li> </ul>
			T-T	C	C	
	超音波檢出	내부에서 발생하는 부분방전음을 압력센서로서 검출하여 이상유무를 확인	T-E	C	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 방법에 따라서 외래잡음의 영향제어가 가능하다.</li> <li>· 방전개소의 위치설정도 경우에 따라 가능하다</li> </ul>
			T-T	C	C	

파전압의 저감이 필요하다.

3. 콘덴서本體의 絶緣診斷技術

전력용콘덴서 설비 중에서 콘덴서본체, 특히 내부유전체 재료를 구성하는 절연지, 필름 혹은 절연유의 절연열화상태를 정확히 파악하는 것은 매우 중요한 진단기술의 하나로 생각되지만 현실점에서는 변전소에 콘덴서가 설치된 상태에서의 절연열화의 유무를 판단하는데 충분한 진단기술은 아직 확립되어 있지 않고 표 2.20에 나타난 바와 같이 얼마간의 시험방법을 조합하여 진단하고 있는 것이 현실이다.

표 중에서 절연내력시험은 교류 또는 직류의 과전압을 印加하여 콘덴서가 이것에 견딜 수 있을가의 여부를 시험하는 것으로서 가부의 판정은 명확하지만 비파괴시험이 아닌 점이 문제이다. 비파괴시험으로서는 靜電容量, 손실시험, 절연저항 등의 특성 변화를 구하는 방법과 부분방전을 측정하는 방법이 있는데 이는 앞서의 障害進展 흐름도로부터 헤아릴 수 있으며 부분방전측정, 誘電損失測定이 효과적인 동시에 중요한 것으로 생각되나 活線診斷을 염두에 두고 시행하면 부분방전측정이 현실적이며 금후의 기술개발이 기대된다.



〈그림 2.48〉 絶緣監視센싱 시스템

4. 今後の課題

전력용콘덴서는 대부분 밀봉구조로 되어 있으며, 원칙적으로 특별히 정비를 필요로 하지 않으나 앞의 2.8.1항에서 언급한 대용량유닛의 채용이 앞으로 차차 보급되어 갈 것으로 생각되는 상황에서 이에 대응한 확실성과 용이성이 있는 현지 절연시험방법의 개발이 필요하다.

현지에서, 또한 活線상태하에서의 기기절연진단이 바람직하며 그를 위해서는 부분방전계측과 油中溶存가스 분석의 기술개발이 기대된다.

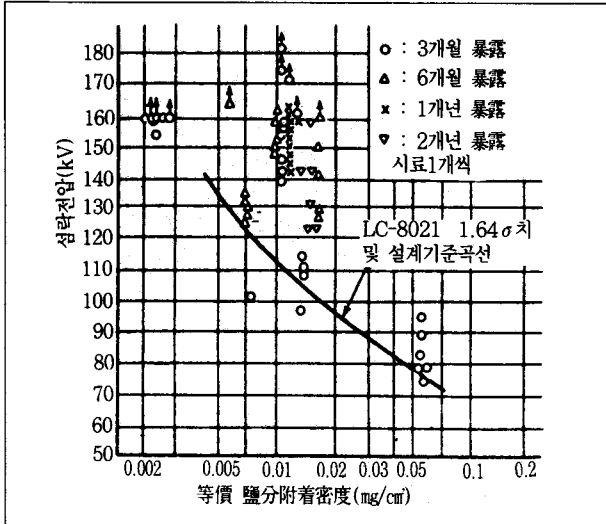
전력용콘덴서는 단자간의 靜電容量이 크기 때문에 미소한 부분방전을 전기적으로 검출하는 것은 곤란하며 최근에는 다른 전력기기와 같이 초음파에 의한 검출이 시도되어 放電電荷와 초음파출력사이에 좋은 상관관계가 있는 것도

보고되어 있으나, 電氣·超音波檢出 어느 방법도 측정감도, S/N 比와 함께 문제가 있다.

이것을 해결하는 하나의 수단으로서 그림 2.48에서와 같이 접지선에 흐르는 방전전류를 전류센서로 放電音(초음파진동)을 탱크외벽에 부착한 초음파센서로 검출하고, 전기·초음파 兩信號의 AND 조건으로서 부분방전을 검출하며 加算平均處理에 의하여 센서出力原破形에서는 묻혀 있는 부분방전파형의 노이즈를 제거하여 검출하고 이상판정을 시험하고 있으며, 현지에서의 효과적인 부분방전 검출방식이 기대된다.

한편, 전력용콘덴서도 다른 유입전력기기와 같이 절연과 피에 이르는 과정에 있어서 油分解가스가 발생하기 때문에 유입변압기의 진단기술로 확립되어 있는 油中가스分析도

기술연재



〈그림 2.49〉 자연오손애자의 섬락전압(長幹 LC-8021)과 오손내전압 특성곡선 및 설계기준 곡선과의 비교

효과적인 방법이라고 생각되지만 현재, 콘덴서는 油採取가 간단히 되지 않는 구조가 많아서 신설 전력용콘덴서에 대해서는 현저에서의 간편한 油中가스分析方法의 개발과 함께 밀봉식 특징을 손상시키지 않는 범위 내에서 원유가 용이한 구조적 연구, 더욱이 기초적인 데이터의 集積도 병행할 필요가 있다고 생각한다.

## 2.9 애 자

### 2.9.1 애자의 老化 · 汚損現象

변전설비의 사용되고 있는 碍子は 鹽害汚損, 塵埃汚損, 冠雪 등에 의한 外部閃絡事故, 또는 공사중의 打傷 등에 기인하는 磁器部의 클랙이나 지진, 태풍시의 이물충돌 등에 의한 파손에 의하여 전기적으로 절연과파되는 등의 사고가 발생하는 것이 있다. 특히 외부절연은 기상조건 및 표면오손, 그리고 그 濕潤程度에 크게 영향을 받는다. 이 영향은 특히 상용주파전압에서 현저하게, 심한 汚損地區에서는 플래시오버電壓이 淸淨時의 數分の 1 혹은 그 이하로 저하

한다고 하는 심각한 상태이다. 예를 들어 長幹碍子에 대해서, 자연오손애자의 플래시오버電壓은 그림 2.49에 나타난 바와 같다. 이와 같은 사고를 미연에 방지하기 위하여 정비점검을 하고 있는 것이다.

### 2.9.2 정비점검

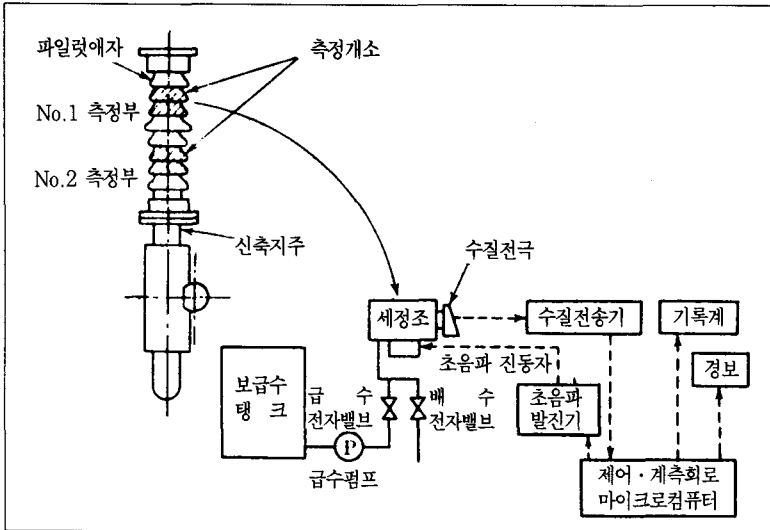
현재의 정비기준은 巡視에서 碍子の 균열, 파손의 유무, 오손상황을 조사하여 보통점검, 정밀점검에서는 애자의 절연저항측정과 함께 청소를 하고 있다. 애자의 균열검출에 대해서는 外觀의 默視點檢에서 비교적 큰 균열을 발견하고 있으나 더욱 미세한 손상이 없는지 점검하는 방법으로서 컬러체크법, 超音波斜角探傷法이 적용되는 경우가 있다.

碍子の 오손에 대한 정비의 하나로 活線洗淨이 있다. 이 활선세정은 애자의 오손량을 측정하고 이것이 일정한 관리한계치를 넘는 경우에 課電狀態 그대로 세정하는 것이다. 세정방법으로서는 세정노즐의 형식에 의하여 고정스프레이식, 水算式, 제트노즐에 의한 방법 등이 있다.

오손관리를 하는데 있어서 중요한 것은 애자에 부착되는 염분의 부착밀도를 정확히 파악하는데 있다. 이의 파악방법으로서는 실제로 변전소에서 과전되어 사용하고 있는 애자의 염분 부착밀도를 측정하는 것이 제일 좋으나, 과전중 애자의 염분부착밀도를 직접 측정하는 장치가 없기 때문에 변전소에 파일렛애자를 설치하고 이 오손량을 애자의 오손량으로 보지 않고 변전소 전체의 오손관리를 행하는 것이다.

측정방법으로서는 오손애자 표면의 적당한 부분을 일정량의 증류수로 세정하여 이 세정액의 저항률로부터 세정액중에 용해되어 있는 등가염분량을 구하고 또한 이 등가염분량을 측정된 부분의 표면적에서 除한 값을 등가염분 부착밀도 [mg/cm²] 로 하여 표시하는 방법이 널리 채용되고 있다.

이 방법은 상당히 많은 노력이 필요할 뿐만 아니라



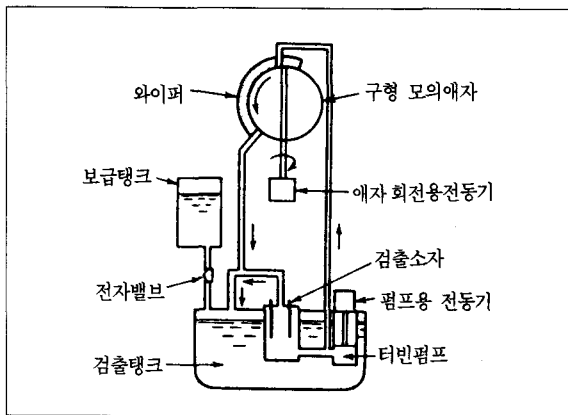
〈그림 2.50〉 초음파세정식 汚損檢出器의 構成

强風時 등에 있어서는 측정이 곤란하다. 따라서 태풍시에도 적용되는 자동측정기가 개발되어 있다. 대표적인 자동측정기의 구조 및 원리에 관하여 다음에 기술한다.

### 2.9.3 오손검출장치

#### 1. 超音波洗淨式 破損檢出器

本器의 구성을 그림 2.50에 나타냈다. 이 기기는 實애자와 同一形狀, 材質의 파일럿애자를 증류수를 넣은 洗淨



〈그림 2.51〉 球形 鹽分測定器의 構成

槽에서 회전시켜서 초음파진동을 주어 所定애자 표면의 부착오손물을 용해시킨후 溫度補償 附導電率計로 比抵抗을 측정하고 鹽분부착밀도로 환산하는 것이다.

이 방식은 筆洗法의 기계화로서 단시간내에 측정이 완료되고 측정치의 신뢰도가 높다. 특히 태풍 등의 급속오손진행시에 상세하게 분석하여 碍子洗淨의 指令을 내리는 경우에는 다른 方式보다도 우수한 특성을 가지고 있다. 筆洗法에서는 파일럿애자를 그때마다 洗淨하기 때문에 本器에서는 파일럿애자 1개의 측정부분을 2개소로 나누어 보통 No.1 측정부를 측정하고 그 累積置가 일정치에 도달할 때 애자支柱를 伸縮시켜 No.2 측정부를 측정하는 것으로서, 그 기간의 雨洗交果를 포함한 累積汚損量을 補正하고 있다.

#### 2. 球形鹽分測定器

本器의 구성을 그림 2.51에 나타내었다. 이 기기는 球形의 모의애자를 이용, 상시 혹은 일정시기에 모의애자를 회전시키는 것과 함께 밀착된 와이퍼에 증류수를 순환시켜 부착오손물을 용해하여 검출탱크로 회수한다. 탱크내의 水 比抵抗으로부터 鹽분부착밀도로 환산하는 것은 초음파식과 같은 것으로 測定原理的으로는 筆洗法에 속한다.

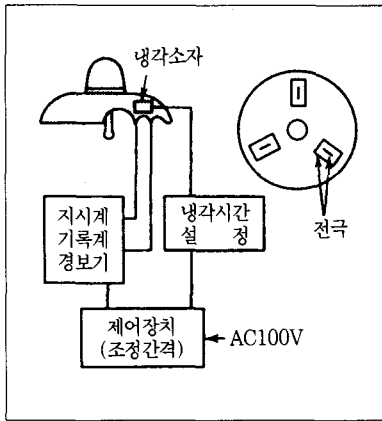
이 방식은 球形模擬碍子が 實애자와 다르고 오손의 부착 특성에 차이가 있고 長期累積汚損測定을 보정할 수 없는 등의 결점이 있는 것으로서 비교적 소형경량의 간이한 측정 방법이다.

#### 3. 濕潤式 汚損檢出器

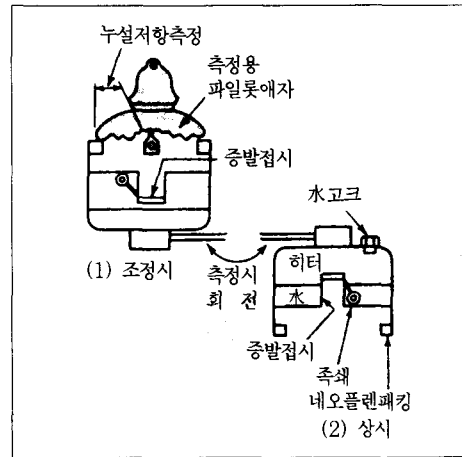
이 방식 중 露点式을 그림 2.52에, SB(Steam Bowl)



기술연재



〈그림 2.52〉 露店式 오손검출기의 구성



〈그림 2.53〉 SB式 露店 오손검출기의 구성

식을 그림 2.53에 나타내었다.

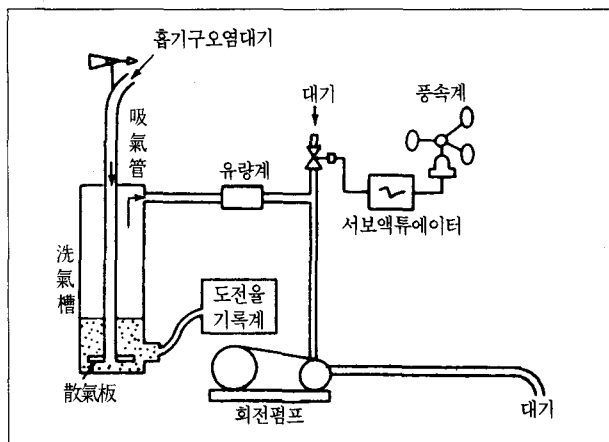
이 방식은 여러 가지가 개발되어 있으나 기본원리는 蒸氣, 加熱器 또는 애자내에 埋入된 냉각소자 등으로서 파일렛 애자표면을 濕潤시켜 電極間的 누설저항을 측정하고 별도로 구한 관계식에 의하여 濕분부착밀도로 환산한다.

이 방식은 부착된 오손물을 筆洗法과 같이 애자표면으로부터 씻어내지 못하기 때문에 장기누적되어 오손된 實設備의 애자와 같은 조건의 汚損度가 측정된다.

그러나 구조상 측정부분이 국소적으로 되기 쉽고 파일렛

애자의 습윤 정도, 發水性的 유무, 측정시의 환경에 의하여 동일염분 부착밀도에서도 누설저항이 변화하고, 특히 애자가 열을 받고 있는 때에는 오손물이 흘러 내리지 않아서 전면을 均一濕潤하는 것이 곤란하다는 등의 결점이 있다.

그 중에는 습윤시간의 제어방법이나 전극형상에 연구를 집중시킨 일이 있으나 基本이 되는 筆洗法의 값과의 사이에 오차가 생기는 것은 피할 수 없는 일이다.



〈그림 2.54〉 氣中 濕분측정기의 구성

#### 4. 氣中鹽分測定器

本器의 구성도를 그림 2.54에 나타내었다. 이 기기는 풍속에 따라서 공기를 흡입하여 증류수 중에서 散氣시켜 氣中の 鹽分粒자를 포획하는 것이다. 증류수의 比抵抗으로부터 氣中 鹽分量의 환산은 筆洗法과 같다.

이 방식은 같은 氣中鹽分率이라도 애자에의 부착효율은 습도 등의 환경조건에서 변화하기 때문에 애자의 濕분부착 밀도로서 표시하는데는 적합치 않으나 강풍으로 인한 급속 오손조건에 들어간 시기를 신속하게 검지하는 방법으로서 효과적이다.