

기술연재

# 電氣設備의 診斷技術

(13)

## 第2編 應用

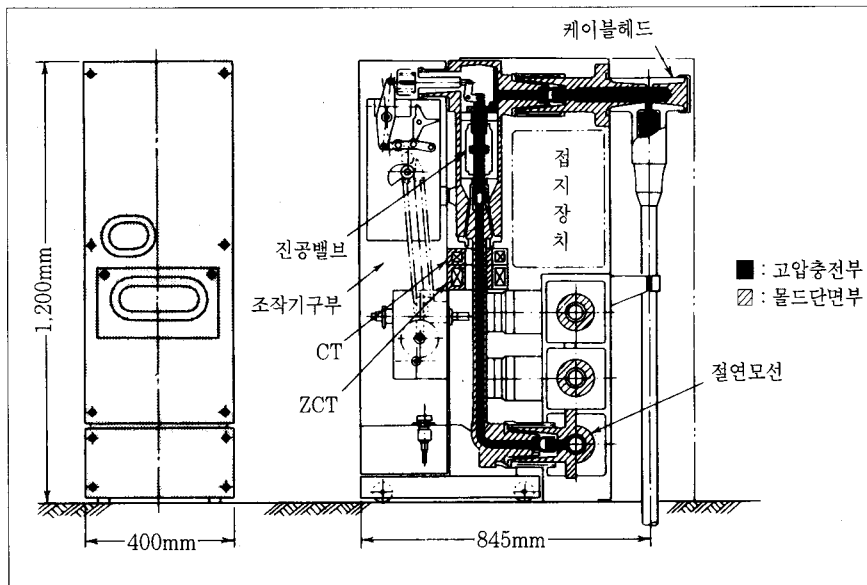
### 2.4 몰드 機器

폴리에스텔 樹脂나 에폭시수지 등의 합성수지를 注型固  
化하여 얻어지는 몰드절연은 전기절연성 및 기계특성 등에

우월한 특성을 보임으로써 전기기기 분야에 널리 적용되고  
있다. 그 주된 예를 들어본다면 磚子, 부상, 몰드변압기,  
몰드변성기(PT,PC 등), 더 나아가서는 종래의 공기절연을

주체로 한 큐비클타입 개폐장치의 공  
기절연부분을 에폭시수지로 몰드한  
固體絶緣 開閉裝置나 가스절연기기  
용 각종 절연스페이서 등이 있다. 제  
품의 一例를 그림 2.21에 나타내었다.  
이들 몰드기기는 주요부가 고체의 절  
연물로 구성되어 있기 때문에 높은  
절연성을 가지고 있다.

그러나 그 반면 절연의 내부상태를  
分解 등에 의해 육안點檢을 하기가  
곤란하다. 그래서 기기체크시의 품질  
관리, 더불어 기기의 보수점검의 입  
장에서 기기의 내부상태를 외부로부터  
진단하는 기술이 매우 중요하다. 여  
기서 몰드형변류기(CT) 및 몰드형계기



<그림 2.21> 固體絶緣 開閉장치의 一例

용변압기(PT)를 중심으로 몰드기기에 있어서 절연열화와 사고·장해의 양상을 概說하고 이어서 이들 劣化에 대한 각종 진단기술에 관하여 기술한다. 먼저, 固體絶緣 開閉裝置에 사용되고 있는 몰드된 진공벨브나 그 機構部는 2.5節 전력용차단기의 項을, 또 가스절연기기용 절연스페이서에 관하여는 2.2節 가스절연기기의 項을 참조하기 바란다.

### 2.4.1 몰드 機器의 異常進展메커니즘

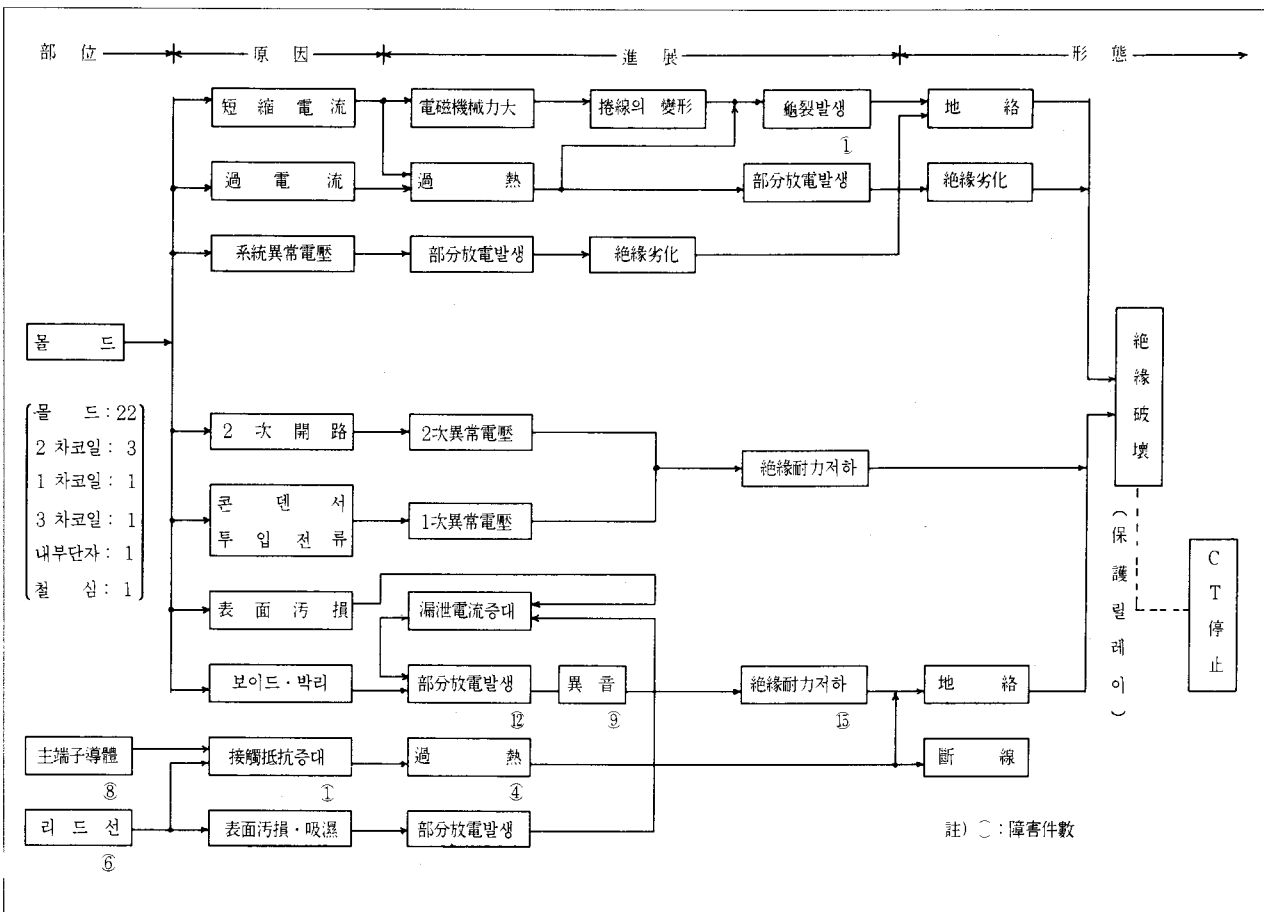
#### 1. 몰드절연의 劣化

몰드절연물의 機器에 적용되었을 경우 그 절연에는 여러

〈표 2.17〉 몰드절연의 절연열화와 진행프로세스

절연열화의 종류	요인	진행프로세스
熱劣化	열	산화, 열분해 → 기계강도저하, 흡습성증대 등
電界열화	부분방전열화	보이드 (크랙, 박리, 기포) → 절연두께감소 → 관통파괴
	트리잉	突起, 異物
응력열화	熱應力, 히트사이클, 진동응력	크랙, 박리 등, 보이드 발생·진전 → 전압열화
환경열화	습기, 먼지 등	오손, 흡습 → 메그저하, 트래킹

가지 스트레스 (劣化要因)가 가해지게 된다. 이들 스트레스를 보면 熱, 電壓(電界), 應力 및 環境 등이다. 표 2.17



〈그림 2.22〉 몰드형 변압기의 사고·고장 진단 흐름도

**기술연재**

은 몰드절연의 열화현상을 要因別로, 그 種別과 진행프로세스를 정리한 것이다. 이에 의하면 몰드절연의 열화는 4종류로 대별된다. 여기서 熱劣化, 電壓劣化, 應力劣化는 주로 절연물 내부의 열화인데 대하여 環境劣化는 절연물표면의 열화가 주체이다. 이들 절연열화는 각기 단독으로 일어나는 경우도 있으나 보통은 상호 강력한 관련을 갖게 된다. 예로서 응력열화에 의하여 크랙이나 剝離 등의 보이드가 발생하면 그것은 부분방전열화의 요인이 될 수 있다.

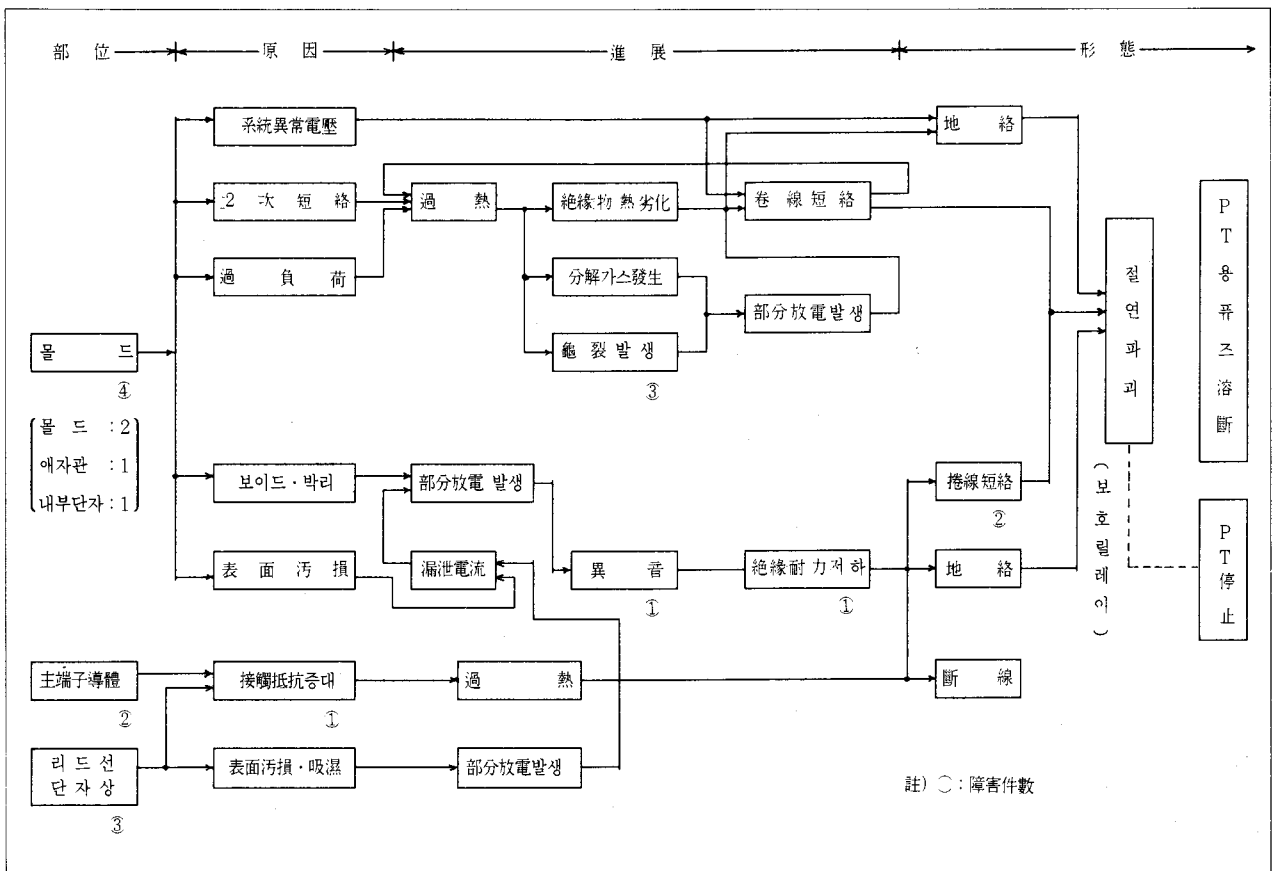
**2. 障害分析**

현재 人間の 五感を 주체로 하여 행하고 있는 巡視點檢, 각종 측정기를 이용한 보통점검 및 정기점검에 의하여 機器의 異音, 異臭, 균열, 손상, 汚損, 발청, 변색, 절연저항

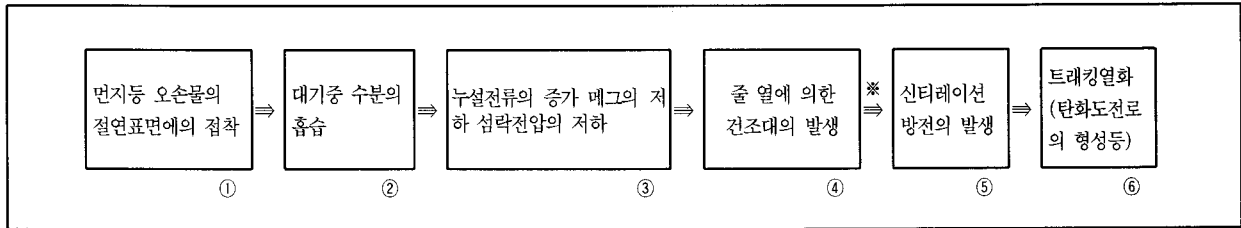
등의 감시가 행해지고 있다. 그 결과의 통계는 몰드변성기의 全障害件數 中 몰드부분의 장애가 약 1/3로서 제일 많고, 다음에 도체, 리드선 관계의 순으로 보고되어 있다. 최근에는 몰드절연체료로서 에폭시수지가 주류를 이루고 있으며 樹脂자체에서 기인하는 장애는 상당히 적어지고 있다.

**3. 事故·障害의 進展흐름**

몰드변성기의 事故·障害進展흐름도를 그림 2.22(CT) 및 그림 2.23(PT)에 나타내었다. 그림 중에는 장애건수를 양상별로 數字를 ○으로 표시하였다. 이에 따르면 몰드 變成器는 몰드의 내부열화보다도 몰드표면의 汚損이나 吸濕에 따른 環境열화에 의한 것이 많다고 생각된다. 일반적으로



(그림 2.23) 몰드형 계기용 변압기의 사고·진전 흐름도



〈그림 2.24〉 環境劣化의 進行프로세스

환경열화는 그림 2.24에 나타난 바와 같이 프로세스로 진행된다. 그림에 있어서 ①~③까지의 단계는 현상이 可逆的이며 청소 등에 의하여 거의 원상태로 회복된다. 따라서整備, 診斷의 면에서는 ⑥의 진단계를 포착하는 것이 중요하며 監視項目로서는 부분방전 또는 누설전류의 감시가 연구되고 있다.

## 2.4.2 진단기술

### 1. 現狀의 診斷技術

물드기기의 절연내부상태를 외부로부터 진단하는 방법으로는 표 2.18에 표시한 바와 같이 전기측정에 의한 방법과 非電氣測定에 의한 방법으로 나누어진다.

a. 絶緣抵抗 및  $\tan \delta$ 測定에 의한 方法: 절연물이 熱劣化하면 일반적으로  $\tan \delta$ 가 증가하고 이때 절연저항도 적어지는 경향을 보인다. 또 열열화가 진행되면 일반적으로 절연물은 吸濕하기 쉽게 되고 흡습했을 경우 그  $\tan \delta$  절연저항의 변화는 더욱 크게 나타난다. 이와 같이  $\tan \delta$  절연저항을 측정하는데 따라서 절연물의 熱劣化나 吸濕의 정도가 진단된다.  $\tan \delta$ 의 측정에는 세링브

리지 등이, 또는 절연저항의 측정에는 일반적으로 微小直流電流計나 直讀式的 超絶緣計 등이 이용된다.

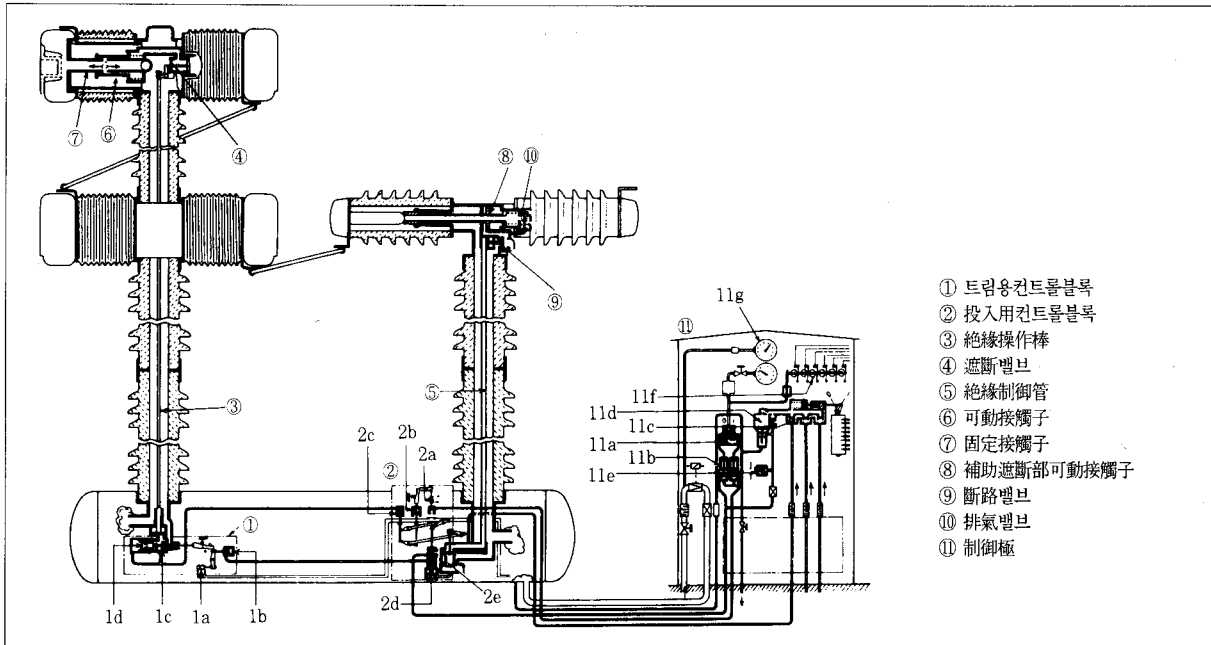
측정결과와 평가에 있어서는  $\tan \delta$  절연저항과 함께 절연물의 종류나 구성에 의하여 그 값이 다르기 때문에 절대치에 의한 평가뿐만 아니라 初期值와의 비교나 經時的인 변화 등으로부터 종합적으로 판단한다.

b. 部分放電測定에 의한 方法: 절연물중에 보이드(空隙)가 있으면 거기서 부분방전(코로나 放電)을 발생한다. 이 부분방전측정에 의한 방법은 부분방전으로 발생한 방전 펄스를 전기적으로 측정하고 절연물 중의 유해한 보이드

〈표2.18〉 물드機器의 診斷方法

分類	診斷法	診斷對象	特性值	備考
電氣測定	(a) 절연저항측정	· 오손, 흡습	메그值 成極指數	표면열화와의 분리가 필요(게이트 전극 등에 의함)
	$\tan \delta$ 測定	· 熱劣化 · 오손, 흡습	$\tan \delta$ 值 靜電容量	
	(b) 부분방전측정	· 보이드(기포, 크랙, 박리 등)트리잉	· 코로나 개시, 消滅電壓 · 放電電荷 · 발생빈도	雜音의 억제가 重要
(c) 耐電壓試驗	· 絶緣耐力	· 절연과피의 有無	절연에 손상을 주는 경우가 있는 것에 주의	
非電氣測定	(d) 點視點檢	· 각종 열화에 의한 표면 이상(크랙, 변색 등)	· 크랙의 有無 · 色, 音, 臭 등	表面에 나타난 이상으로 추정
	(e) X線檢査	· 매립물의 위치이상보이드 이물 등	· X線像	보이드의 검출강도는 떨어지나 위치표정이 가능
	(f) 초음파측정	· 부분방전 · 절연두께	· 超音波	

기술연재



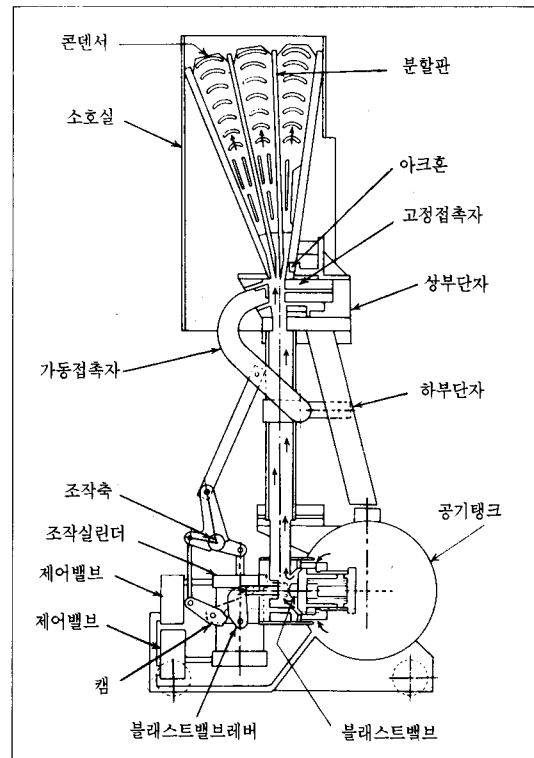
〈그림 2.25〉 공기차단기의 구조(실외용)

혹은 방전의 유무나 보이드의 상태 등을 비파괴적으로 진단하는 것이다. 이 부분방전측정에 의한 진단법은 몰드기기의 외부진단기술의 中心을 이루는 기술로서 널리 적용되고 있다.

c. 耐電壓試驗에 의한 方法 : 電壓을 供試物에 印加하고 그것에 견딜 수 있을지를 조사함으로써 供試物이 필요한 절연내력을 가지고 있는지의 여부를 보는 방법이다. 印加電壓으로서는 교류 혹은 임펄스 전압 등이 이용된다.

이 방법은 供試物이 필요한 절연내력을 가지고 있는지의 여부를 즉각 결론을 내릴 수 있는 이점이 있는 반면 試驗에 의하여 절연파괴를 일으킨다든지, 절연에 손상을 준다든지 하는 우려가 있기 때문에 적용할 때에는 주의를 요한다.

d. 默視點檢에 의한 方法 : 默視에 의하여 절연물의 표면 혹은 외부에 발생하는 異常을 발견하는 방법인데 절연물 내부에서의 이상이 진행하면 경우에 따라서는 절연물의 표



〈그림 2.26〉 진공차단기의 구조(실내용)

면이나 외부에 클랙, 변색, 異臭 또는 방전음 등의 형태로 이상이 나타난다. 默視點檢은 이러한 현상을 포착하는 것이다.

e. X線檢査에 의한 方法 : 供試物에 X線을 투과하여 그 투과사진에서 도체 등의 매입금속의 위치이상이나 突起, 異物, 보이드 등의 절연열화에 밀접한 관계가 있는 것에 대해서는 상당히 큰 이상이 아니면 검출이 불가능하여 感度面에서는 충분치 않은 점이 있다.

f. 超音波測定에 의한 方法 : 이 방법은 초음파탐지의 기술을 이용하여 절연물의 박리나 클랙을 조사하는 방법과 절연물중에서의 부분방전 位置標定을 절연물 표면에 마이크로폰을 부착, 장소를 바꿔가며 측정하는 바에 의하여 검출된 초음파 強度의 위치에 따라 다르기 때문에 부분방전 발생위치를 어느정도 알 수 있을 것이다.

## 2. 將來의 診斷技術

今後의 診斷技術에는 진단의 신뢰도향상, 진단의 효율화, 혹은 총합적인 진단시스템의 구축 등 가일층의 고도화가 요구되고 있다.

예를 들면

- ① 부분방전의 검출감도향상을 위한 外來노이즈의 억제, 제거방법의 확립
- ② 계산기를 이용한 진단시스템의 集積과 해석의 효율화 (시간단축, 省力化)
- ③ 엑스퍼트 시스템을 이용한 진단시스템의 개발 등이 연구되고 있다.

## 2.5 電力遮斷器

차단기는 전력계통에 있어서 보통상태에서의 電路의 기능을 수행하는 이외에 이상상태 특히 短縮狀態에 있어서 전로를 關閉하는 장치이다. 차단기에서는 절연매체, 消弧媒

體 등 여러 가지가 있으나 여기서는 空氣 또는 油類를 이용한 차단기에 대해서 기술한다.

### 2.5.1 전력용차단기의 構造

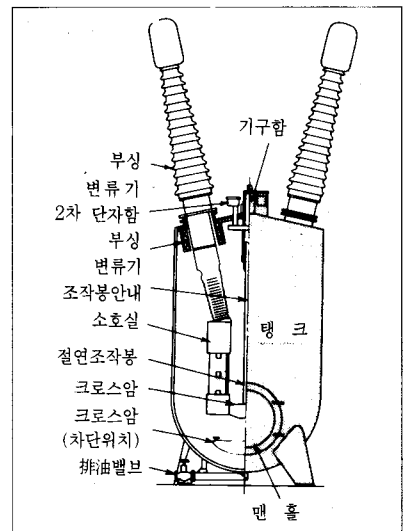
#### 1. 空氣遮斷器

(ABB : air blast circuit breaker)

공기차단기는 압축공기를 消弧媒體로 사용하고, 차단시에 10~30kgf/cm<sup>2</sup>의 압력을 아크에 내뿜어 消弧시키는 것이다. 공기차단기는 대기로부터 무진장으로 받아 절연 및 消弧에 우수한 특성을 가진 압축공기를 이용하는 것이며 整備·點檢 등은 용이하다. 屋外用으로는 超超高壓 500kV급 대용량차단기로 이용되고 있다. 실외용 및 옥내용 공기차단기의 一例를 각기 그림 2.25 및 그림 2.26에 나타내었다. 옥내용 공기차단기는 큐빅클네에 설치하는 것이 많고 아크를 차단하는 消弧室部는 공기를 이송하기 위한 絶緣送氣튜브와 절연支持板에 支持되어 있다.

#### 2. 油遮斷器 (OCB : Oil Circuit Breaker)

油遮斷器는 消弧室을 鑲油中에 배치한 것으로서 차단시 아크에 의하여 발생하는 고압분애가스, 이에 의하여 발생하는 油流의 냉각효과와 절연특성을 이용하여 차단하는 것이다. 消弧室은 부싱에 의하여 支持되어 있다. 그림 2.27에 그 一例를 나타내었다.



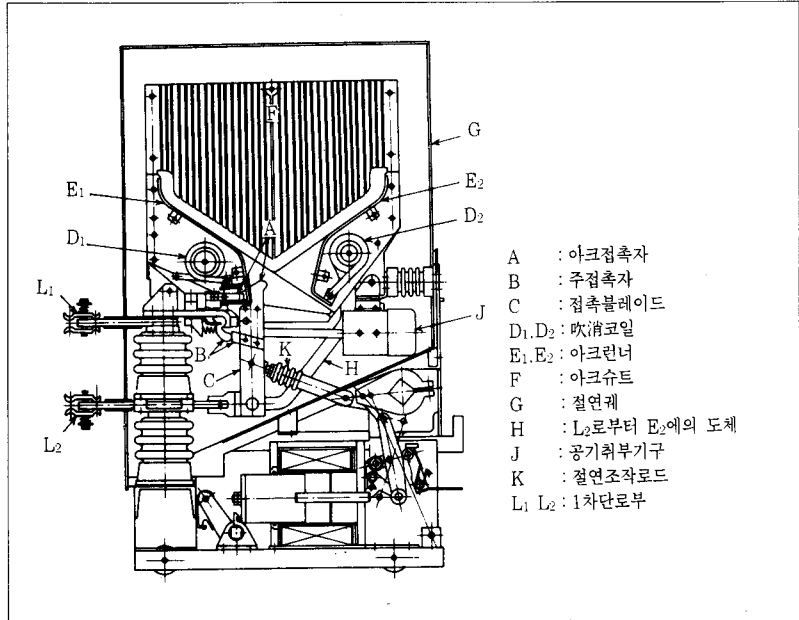
〈그림 2.27〉 탱크형 유차단기의 구조

여 차단하는 것이다. 消弧室은 부싱에 의하여 支持되어 있다. 그림 2.27에 그 一例를 나타내었다.

기술연재

3. 磁氣遮斷器(MBB : Magnetic blow-out circuit-breaker)

자기차단기는 발생한 아크를 차단전류에 의하여 만들어진 磁界에 따라서 아크슈트내에 밀어넣고 또한 아크슈트내의 좁은 홈에 아크를 모아 냉각하여 아크전압을 상승시키고 아크전류를 감소시켜 차단하는 방식의 遮斷器이다. 그 구조를 그림 2.28에 표시했으나 이 차단기는 3~10kV회로의 수변전에 사용되는데 통상은 큐비클에 收納하여 설치된다.



〈그림 2.28〉 자기차단기의 구조

4. 眞空遮斷器(VCB : vacuum circuit-breaker)

진공차단기는 高眞空中에서 절연내력이 큰 것과 금속증기나 荷電粒子의 확산에 의한 현저한 消弧作用이라는 특징을 가지고 있고  $10^{-7}$ Torr(약  $133 \times 10^{-7}$ Pa)정도의 眞空容器(진공밸브)내에서 接觸子를 關閉

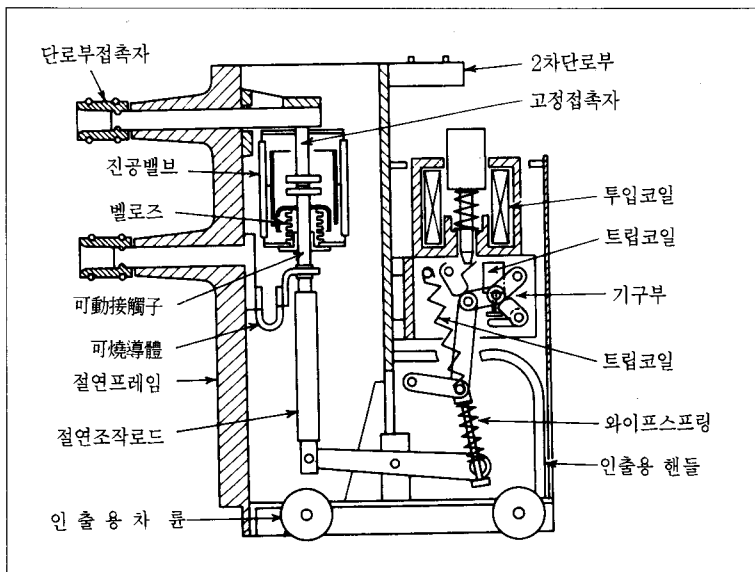
· 遮斷을 이행하는 차단기로서 그림 2.29에 그 구조를 소개하였다.

2.5.2 전력용차단기의 劣化現象

전력용차단기의 劣化에는 절연성능이나 通電性能 등의 전기적 성능의 열화와 동작특성 등의 기계적 성능의 열화가 있다.

전력용차단기는 2.5.1項에서도 소개한 바와 같이 차단기 消弧媒體의 종류에 따라 매우 다른 구조로 되어 있고 그 열화현상도 기종에 따라 다른 양상을 보인다.

공기차단기는 전류를 차단하는 遮斷部, 그것을 조작하는 操作裝置 및 제어부로 구성되어 있고, 절연재료로서는 磁器碍管과 압축공기, 그리고 조작장치는 대부분 금속으로 구성되어 있으며 氣密部에는 고무재료가 사용되고 있다. 실내용의 경우는 절연재료로서 有機絶緣材料가 사용된다.



〈그림 2.29〉 진공차단기의 구조

油遮斷器에는 대별하여 탱크形과 碍子形이 있으나 모두 消弧室이 절연유 중에 설치되어 있다. 對地絶緣은 탱크形의 경우 부상이고, 碍子形의 경우는 碍管이다. 油遮斷器油中之의 침수는 차단기의 절연내력저하에 밀접한 관계를 갖게 된다.

진공차단기는 전류를 차단하고 차단부에 진공밸브를 사용하고 있으며 接點을 조작하는 조작장치 및 제어부는 다른 차단기와 거의 같다.

磁氣遮斷器는 氣中에서 발생한 아크를 자기구동하고 消弧板에 투입하여 消弧하는 것이다. 消弧室을 支持하는 절연재, 接觸子를 조작하는 조작부도 유기절연재료를 이용하고 있다. 이상 4종류의 차단기 劣化對象品을 정리하여 표 2.19에 나타내었다. 전력용차단기에서의 열화현상을 이들 열화대상품 중에서 접촉자, 절연재료, 절연유, 파킹 및 진공밸브에 관하여는 아래와 같다.

### 1. 接觸子

통상, 접촉자는 아크에 의한 소모를 적게 하기 위하여 접촉자先端의 發弧部에 銀 또는 銅과 텅스텐으로 만드는 耐弧 메탈이 이용되고 있으나 대전류차단을 과도하게 반복하면 접촉자의 형상이 변하여 차단능력의 저하나 접촉불량에 의한 과열의 우려가 있다.

차단전류와 접촉자의 소모량에 대한 내용은 2.2節을 참조하기 바란다.

### 2. 絶緣材料

전력용 차단기에 사용되는 절연재료는 페놀수지, 폴리에스텔수지, 에폭시수지 등 여러 가지가 있으나 각기 높은 절연성능과 기계적 강도가 요구된다. 이들 유기절연재료는 각

기 차단기의 부품으로서 사용되는 환경하에서 電氣, 光, 熱, 기계적 스트레스 등에 의하여 열화가 발생한다.

이들 유기절연재료의 열화는 조직결합의 切斷이 주가 되며 劣化反應의 대표적인 패턴으로서 主鎖切斷, 架橋, 分岐, 酸化, 加水分解 등이 있다.

### 3. 絶緣油

절연유의 개폐시 아크에 의하여 분해되고 水素, 아세틸렌, 메탄 등과 함께 遊離炭素를 발생시킨다. 또 常時空氣中の 산소나 수분에 의하여 酸이나 슬러지를 생성하고 劣化가 진행된다. 절연성능이나 차단성 등에 대한 遊離炭素의 영향은 적으나 절연성능에 대한 수분의 영향은 크다. 따라서 吸濕의 有無를 절연유의 耐壓試驗에 따라 정기적으로 확인할 필요가 있다.

### 4. 패킹(Packing) · 가스킷

공기차단기는 5~30kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 고압압축공기가 사용되고 있다. 支持碍子の 실은 애자단면과 금속플랜지가 밀폐구조로 되어 있고 그 사이에 끼워져 있는 패킹의 高壓氣密效果는 內壓에 의하여 그 범위를 넓히는 것에 대한 패킹인장강도에 의하여 유지되고 있다.

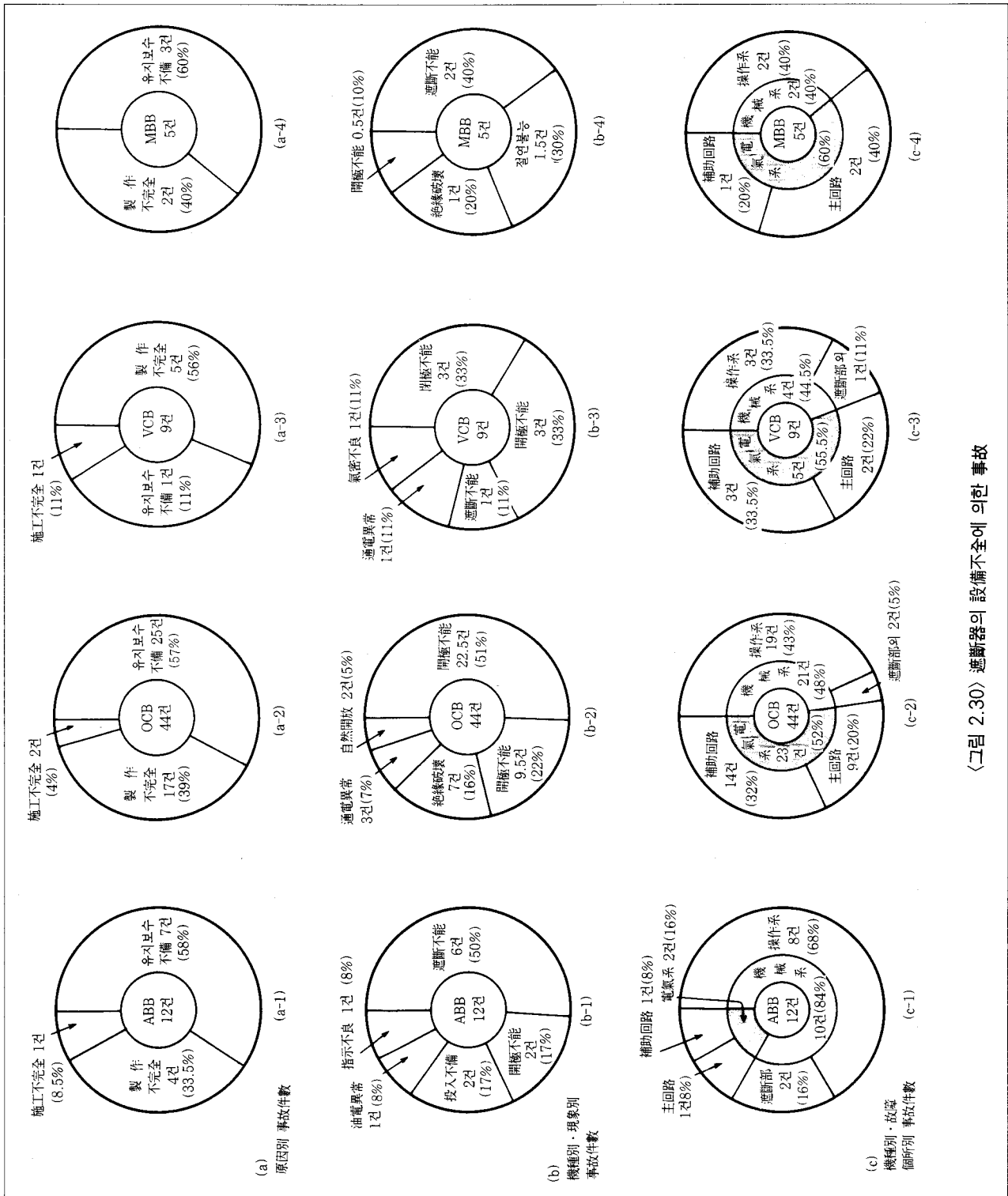
油遮斷器의 油密部에는 합성고무의 ○링이나 角形가스킷

〈표2.19〉 電力用 遮斷器의 劣化對象品

遮斷器의 種類	劣化對象
공기차단기	接觸子, 절연재료, 패킹
油遮斷器	接觸子, 절연유, 패킹
진공차단기	眞空밸브
磁氣遮斷器	接觸子, 消弧裝置, 절연재료



기술연재



〈그림 2.30〉 遮斷器의 設備不周에 의한 事故



**기술연재**

이 이용되고 콜크합성고무 가스킷 등도 이용된다. 이것들은 통상 절연유에 대하여 膨潤이 안되는 니트릴계의 고무가 이용되고 있다.

操作機構部 氣密部の ○링이나 밸브시트(Valve Seat)에 합성고무가 사용되고 있다. 이러한 패킹類는 공기중의 산소나 오존 등에 의하여 化學的劣化를 발생한다. 또 이러한 패킹類는 기계적으로 변형되어 사용되고 있기 때문에 장시간 사용중에 經年의인 영구변형을 발생하고 밀폐性能은 劣化되어 간다. 따라서 規定年數마다 교환하는 것이 바람직하다.

**5. 眞空밸브**

진공밸브는 經年에 의하여 眞空壓上昇劣化가 발생한다. 진공압상승의 원인으로서의 가스의 透過에 의한 진공압상승, 재료의 방출가스에 의한 진공압상승의 2가지가 있다. 보통, 진공압상승에서 가스의 투과에 의하는 것은 經年에 비례하고, 材料에서의 放出가스에 의한 것은 어느 일정기간에서 포화상태에 이르고 그 변화는 정지한다.

메이커에서는 진공밸브를 眞空으로 封合한 후, 어느 일정기간의 眞空變化를 측정하고 그 측정 이후에도 같은 變化率로 眞空壓이 변화했을 경우라도 보증기간내에 성능을 보증하는 진공압을 넘지 않는 것을 확인하여 출하한다.

**2.5.3. 事故實績의 實態**

1978~1982년에 걸쳐 5년간 일본에서 발생한 차단기의 설비불량(제작불완전, 시공불완전, 정비불량)에 기인하는 사고에 대하여 각기 機種別로 원인별, 現象別, 고장개소별, 事故件數를 분류한 것을 그림 2.30의 圓그래프에 나타내었다.

原因別로서는 제작불완전, 정비불량이 많고, 시공불완전

은 적다. ABB, OCB, MBB는 정비불량을 원인으로 하는 사고의 비율이 높다.

現象別로는 차단불능을 포함 開閉極不能에 의한 사고가 압도적으로 많고 절연과괴, 충전이상이 그에 뒤따르고 있다.

故障個所別로 분류하면 操作率에 사고가 많고 주회로, 보조회로가 그에 이어지고 있다. 사고를 機械系統과 電氣系統으로 분류하면 ABB에 있어서 機械系統의 사고가 압도적으로 많으나 OCB, VCB, MBB에서는 機械系와 電氣系의 사고가 거의 同率이다.

공기차단기의 異常進展흐름도를 그림 3.31에 나타내었다. 사고를 미연에 방지하기 위하여 障害實績으로부터의 감시 항목으로서의 空氣壓力, 접촉불량, 動作回數, 파손, 局部過熱, 스트로크, 變形, 負荷電流, 短時間電流, 개폐특성, 부분방전, 異音, 이상자동을 들 수 있을 것이다.

**2.5.4 診斷技術**

空氣·油·磁氣에 있어서 각 遮斷의 진단기술 現狀, 장래과제에 대하여는 앞서 2.2節의 가스 차단기의 경우와 공통부분이 많아서 여기서는 진공차단기에 대해서 기술한다.

일렉트로닉스 技術을 응용한 새로운 自己診斷機能 眞空遮斷器가 개발되고 있다. 마이크로컴퓨터와 오프트일렉트로닉스 技術을 組合하는데 따라서 차단기의 상시감시와 過電流·短絡保護機能이 실현되고 있다.

감시기능으로서 ①조작기구부의 異常을 투입, 開極時間의 변화를 감시 ② 트립코일의 단선유무의 상시감시 ③ 진공차단기 開極時의 누설전류에 의한 진공밸브 불량감시 ④ 진공차단기 투입시의 누설전류에 의한 서지업소버의 劣化감시 ⑤ 개폐수명도달시에 接觸출력을 표시

또 과전류·단락전류를 검출하고 長時間, 短時間, 瞬時的 3가지 특성에 따라 진공차단기를 자동적으로 차단함과 동시에 赤色 LED로 표시한다.