

電氣設備의 診斷技術

(23)

第 2 編 應 用

第 5 章 産業用 電動機의 診斷 技術

5.1 概 論

산업용 전동기에는 유도전동기, 동기전동기, 직류전동기 등 여러 종류가 있다. 이 중에서 고전압 유도전동기는 사용되는 臺數도 많고 비교적 대용량의 것까지 있으며 절연진단도 널리 행하여지고 있으므로 대표적인 것을 들어 설명한다.

대형의 중요설비에 사용되고 있는 직류전동기에 대해서도 언급하였으나 어느機種에 대해서도 진단의 기본적인 고찰방법은 공통이므로 응용전개는 가능하다.

절연진단의 대상으로 생각하면 산업용 전동기는 사용조건이나 사용환경이 각양 각색이며 절연내용도 변화가 많으므로 초기특성이나 劣化特性이 多樣한 것이 특징이다. 기준을 정해서 판정하는 것은 곤란하며 얻어진 데이터에 대해서 경우에 따라 적절한 해석을 할 필요가

있다.

이를 위하여 필요한 전동기의 절연이나 절연열화의 기초지식에 대해서 설명함과 동시에 試驗法의 意義나 留意點을 중심으로 기술하였다.

진단기술의 목표는 물론 자동감시 시스템이 되는데 현실적으로는 진단기술 그 자체가 아직은 연구개발단계에 있고 보편적인 판정기준을 얻을 수 없는 상황에 있어서 자동감시 시스템으로의 전개는 더욱 더 곤란한 상황이 된다는 것은 당연하겠다.

자동감시 시스템의 意義에 대해서 기술함과 아울러 部分放電에 의한 코일절연의 감시장치에 대해서 설명한다. 또한 전동기의 故障部位에 관한 통계면에서도 중요하며 비교적 감시기술로서 진보되어 가는 베어링의 자동감시장치에 대해서도 기술한다.

산업용 전동기의 진단기술이나 자동감시 시스템은 앞으로 발전이 절실히 기대되는 기술이다.

이러한 의미로 兩節에 있어서 새로운 기술의 동향에 대해서도 특별히 언급하였다.

5.2 電動機의 절연진단

5.2.1 電動機의 절연

전동기의 절연진단을 행하는 경우 측정값만으로 판정을 하는 것은 5.2.3항의 3에서 기술한 바와 같이 곤란한 점이 있다. 절연을 블랙박스로 취급하는 것은 위험하며 구조, 재료, 처리방법 등에 대해서 이해하는 것도 필요하다.

고전압전동기의 절연은 負擔해야 할 전압의 종류로 보면 捲回間絶緣(또는 層間絶緣), 相間絶緣, 對地絶緣으로 나누어진다. 또한 구조적으로 면 슬롯部絶緣, 코일엔드部絶緣, 接續部 및 리드絶緣으로 나누어진다.

이들 중에서 어떤 부분의 절연도 기능을 잃어버리면 전동기의 절연파괴사고에 이른다는 점에서는 똑같이 중요하다. 따라서 절연의 全部位 劣化를 진단할 수 있는 방법이 바람직하나 절연진단에 있어서 직접 시험되는 것은 이 중에서 一部에 지나지 않는다.

통상적인 시험에서는 도체와 고정자 철심간에 시험전압을 인가해서 행하므로 슬롯部 절연의 對地絶緣 정보를 측정하고 있다는 것을 인식하는 것이 중요하다. 그 밖의 部位에 관해서는 슬롯部 對地絶緣의 데이터를 참고해서 온도분포나 육안점검 결과 등에 의해서 類推해야 할 것이다.

〈표 5.1〉 고전압 전동기의 주요 절연재료

항 목	종 류	
전 선	<ul style="list-style-type: none"> · 내열 에나멜선 · 2중 글라스권선 · 글라스테트론권선 · 내열필름 감은 전선 · 마이카 테이프 감은 전선 	
마이카테이프·시트	마이카	<ul style="list-style-type: none"> · 마이카(일본 하가시회사 제품) · 집성마이카
	보강재	<ul style="list-style-type: none"> · 글라스 크로스 · 내열필름
바니시처리	바니시	<ul style="list-style-type: none"> · 불포화 폴리에틸 · 에폭시
	처리법	<ul style="list-style-type: none"> · 도포 · 가열성형 · 프리플래그 · 진공함침 · 가열성형 · 수습침
절연의 종류	<ul style="list-style-type: none"> · B 중 · F 중 	

고전압 전동기의 절연은 기본적으로 필름이나 섬유계 품으로 보강한 마이카를 여러 층으로 감고 필요한 耐熱性이나 機械的 특성을 구비한 바니스로서 처리한 후 加熱硬化시킨 구성으로 되어 있다.

절연층에 空隙이 있으면 劣化要因의 하나인 部分放電이 발생하므로 공극이 적어지도록 바니스 특성이나 처리방법에 신경을 써야 한다. 구체적인 재료나 처리방법은 다양하며 표 5.1에 1985년 이후의 대표적인 재료나 처리방법을 나타내었으며 여기에는 여러 가지 組合방법이 있다.

슬롯內나 코일엔드에 있어서 부분방전 방지처리의 有無나 方法의 차이도 있다. 또한 절연두께에 관해서는 絶緣品質의 향상에 의해서 장기적으로 볼 때 設計電界가 증대하는 경향이 있다. 따라서 고전압전동기의 절연 특성이나 劣化特性은 多樣性이 있으므로 저연진단을 할 때는 同一機의 經年變化를 重視하는 것이 기본으로 되어 있다.

5.2.2 전동기 절연의 劣化

전동기의 部位에서 코일은 절연이 劣化하기 때문에 수명이 단축된다. 샤프트와 더불어 코일 절연은 손실이나 마모部位의 대표적인 것이다. 기계설비로서의 전동기의 수명연장을 위해서는 劣化部位를 신속히 파악해서 계획적으로 보수개선하는 것이다. 코일절연의 劣化診斷을 실시하기 위해서는 코일절연이 어떻게 劣化되어 있는가를 잘 이해하는 것이 중요하다.

전동기의 코일절연을 구성하고 있는 재료는 마이카, 글라스 등의 無機材料와 樹脂, 바니스, 접착제 등의 炭素結合을 骨格으로 형성하는 有機材料로서 구성되어 있다. 각기의 재료는 물리적, 화학적 스트레스를 받으면 초기의 성능이 시간의 흐름에 따라 저하되는 소위 劣化現象을 일으킨다.

코일절연의 경우는 이들의 재료가 단독으로 사용하는 것이 없고 복합적으로 조합된 절연으로 구성되어 있다. 따라서 절연열화는 재료구성의 종류에 따라서 다르게

나타난다.

전동기코일절연의 열화는 운전중에 발생하는 스트레스에 의해서 劣化패턴이 다르며 또한 전동기의 補修方法에 따라라도 조건에 차이가 있다. 이 때문에 절연열화의 진행정도는 機種이나 用途에 따라서 각각 다르며 그 결과 코일의 절연 수명에 큰 차이가 나타난다.

日本電氣學會의 調査結果 중에는 使用年數가 11년 이상에서는 절연열화에 의한 사고비율이 많다고 보고되어 있다(그림 5.1 참조), 또한 사고의 發生部位別 事故정도는 그림 5.2와 같다. 슬롯內 捲線이 가장 많고 코일 엔드부가 그 다음이다. 슬롯內 捲線部分 대부분의 사고는 對地絶緣의 燒損과 地絡이다.

이 통계에는 나타나 있지 않지만 슬롯부 권선이나 코일엔드부에 있어서는 먼저 레이어쇼트에 의해서 층간절연이 소손되고 계속해서 對地絶緣에 과급하여 地絡事故가 발생하는 경우가 비교적 많다.

또한 웨지나 코일엔드 固定材의 열화에 의해서 코일이 기계적 진동을 받아 地絡에 이르는 일이 있다. 전동기의 코일절연이 운전중에 받는 열화를 요인별로 나누면 다음과 같다.

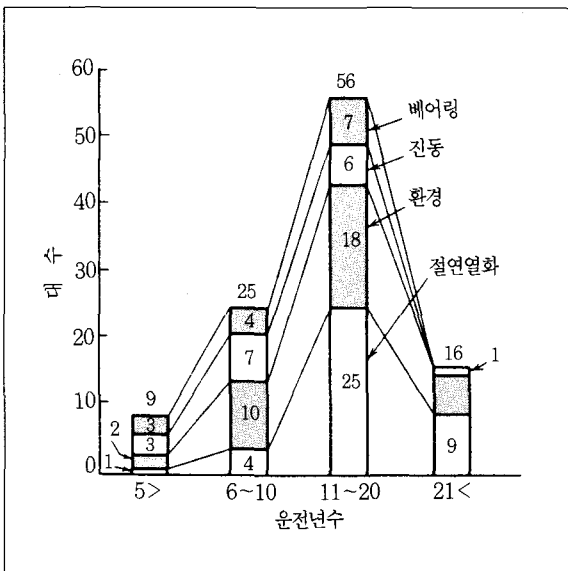
1. 熱에 의한 劣化

통상 운전시에 온도상승이나 과부하운전을 행할 때의 異常溫度上昇에 의하여 발생하는 劣化가 있다. 마이카나 글라스 등의 無機材料는 耐熱性이 높기 때문에 접착제, 樹脂, 바니시 등의 有機材料가 문제가 된다. 熱劣化에 의해서 마이카테이프 層間的 접착저하, 층간박리, 공극 등의 生成이 절연내력을 현저히 저하시킨다.

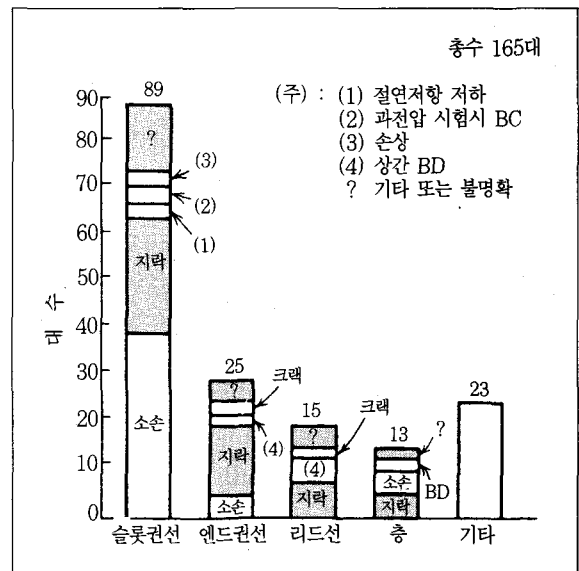
기타 劣化要因과 複合的으로 결합된 경우가 많다. 剝離나 보이드의 生成은 部分放電劣化로 진전되며 기계적 강도의 저하는 진동에 의한 劣化를 유발하고 이것이 다시 濕氣나 塵埃 등의 외부환경과의 複合劣化를 촉진한다. 일반적으로 유기재료의 열화는 아레니우스(Arrhenius)법칙에 따른다고 생각하면 좋다. 간단하게는 10℃ 半減則이 적용되고 있으며 절연재료가 노출되는 온도에 의해서 劣化速度가 결정된다.

2. 電壓에 의한 劣化

절연층내에 剝離나 보이드가 존재하면 운전중의 對地電壓으로 部分放電을 일으켜 절연층이 침식된다. 부분방전에 의한 열화는 방전발생시의 열, 活性酸素나 오존



〈그림 5.1〉 운전년수와 사고원인과의 관계



〈그림 5.2〉 사고발생 부위별 사고 정도

의 生成, 放電에 의한 物理的 分解 등으로서 발생된다. 부분방전에 의한 侵蝕은 먼저 有機材料의 분해로부터 시작해서 마이카나 유리섬유 및 보이드의 확대로부터 보이드간의 橋絡이 일어나며 보다 큰 방전의 발생으로 轉移하게 된다.

部分放電劣化는 電界가 집중하기 쉬운 도체 주위에서 시작하므로 層間絶緣의 絶緣耐力低下가 일어나는 경우가 많다. 부분방전에 의해서 절연이 침식되어 마이카 등이 自粉化되는 例가 잘 관찰되고 있다.

汚損이나 吸濕이 원인이 되어서 코일절연표면에서 발생하는 외부방전도 열화요인이 커지는 원인이 된다. 신티레이션放電이라고 하는 微少局部放電에 의해서 트래킹劣化를 일으키며 절연표면에 炭化導電路를 형성하여 결국은 절연파괴에 이른다. 이 경우에는 전압과 외부환경요인과의 複合劣化라고 생각하면 좋다.

전동기의 개폐장치에서 발생하는 스위칭 서지전압이나 驅動電源裝置로서 인버터電源에서 발생하는 인버터 서지 등에 의해서 반복되는 서지電壓劣化도 새로운 문제로서 생각해 볼 필요가 있다.

3. 機械的 힘에 의한 劣化

기계적 스트레스로서는 始動停止時의 電磁力, 運轉中

의 振動 및 冷熱사이클에 의한 應力을 들 수 있다. 이들의 기계적 힘은 捲線端部에 집중되므로 코일엔드부의 절연층의 균열이나 브크레 現象이 되어 나타난다.

한편, 코일의 고정이나 緊縛이 느슨한 경우에는 電磁力이나 振動에 의해서 磨耗가 일어나며 슬롯부의 코일 표면층이 마모되어 바이브레이션 스파크를 발생하는 일이 있다. 시동빈도나 부하변동이 많은 기계에서는 히트 사이클에 의한 層은 박리가 일어나기 쉽다.

4. 外部環境에 의한 劣化

劣化要因으로서의 외부환경이란 전동기가 설치되어 있는 장소의 분위기조건을 말한다. 즉 전동기의 용도는 여러 가지이므로 화학약품, 油, 습기, 導電性 塵埃 등에 노출되는 일이 많다.

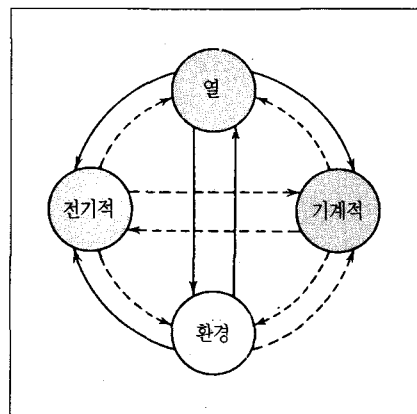
따라서 劣化의 형태도 다양하다. 화학약품이나 기름인 경우 溶解膨潤, 부식 등이 일어난다. 濕氣인 때는 절연저항의 低下에 의해서 절연내력이 현저히 내려가는데 습기가 많은 채로 운전을 하면 加水分解가 촉진되어 절연재료의 분해가 일어난다.

塵埃의 경우 도전성이 낮아도 흡습에 의해서 절연저항이 극단적으로 저하되는 경우가 있다. 또한 먼지에 의한 덕트의 막힘이 통풍냉각을 저해하며 온도상승에 의한 熱劣化로 연결된다.

외부환경열화의 대부분은 다른 劣化要因과의

〈표 5.2〉 절연열화요인과 열화현상

열 화 요 인		열 화 현 상
열 열 화	통 상 운 전 과 부 하 운 전	화학적 변화에 의해 절연층이 말라 없어짐
		보이드나 박리의 생성
		권선단부나 출구케이블의 균열
전압열화	상 규 대 지 전 압 서 지 전 압	쇄기의 헐거움
		부분방전에 의한 절연내부층의 침식
		트래킹
기계적열화	시동, 정지시의 전자기력 진 냉 열 사 이 클	트리잉
		반복펄스열화
		절연층의 박리균열
환경열화	화 학 약 품 흡 습 오 염	마모
		권선고장부나 지지재의 균열
		화학적 변화에 의한 용해
		열팽창에 의한 박리
		습열에 의한 가수분해
		트래킹
		덕트의 막힘에 의한 온도상승



〈그림 5.3〉 열화요인과 相互作用

관련이 강한 複合的 劣化를 重視하여 생각하는 것이 중요하다.

이들의 劣化要因과 劣化現象을 종합하면 표 5.2와 같다. 이상에서 설명한 바와 같이 전동기의 절연열화는 하나의 요인이 단독으로 작용하는 것이 아니고 몇 가지의 요인이 그림 5.3과 같이 복합적으로 작용하여 열화가 촉진된다.

표 5.2와 같이 전동기의 劣化現象을 판정하는 열화 진단기술은 모델실험이나 필드데이터와 더불어 거의 定着되어 가고 있다.

5.2.3 고전압전동기의 절연진단

절연특성시험과 육안점검에 의해서 절연진단을 행한다.

1. 절연특성시험

진단의 목적으로 시험을 하기 위하여는 비파괴시험으로 하여야 한다. 고전압 전동기의 절연진단에서는 일반적으로 다음에 기술하는 절연성능시험법이 일반적으로 사용되고 있다.

a. 메거시험 : 메거라고 하는 簡易 絶緣抵抗計로서 절연저항을 측정하는 것이다. 절연저항은 供試機의 容量, 形狀, 寸數, 絶緣구조 등에 의해서 변화되고 습도나 온도에 의해서도 영향을 받으므로 값의 大小만으로 절연성능을 판단하는 것은 곤란하다. 절연진단에 있어서 메거시험의 意義는

(1) 다른 절연특성시험을 실시하기 이전에 極端의 吸濕·汚損이나 缺陷에 의한 異常 절연저항의 低下 有無 체크

(2) 장기적인 절연저항의 변화를 기록함으로써 흡습, 오손의 추적 및 진행경향의 판단

(3) 장기적인 절연저항의 변화를 기록하고 절연층의 吸濕에 대한 容易性의 진행을 파악함으로써 절연열화의 진행경향을 판단하는 데 있다.

이를 위하여 측정시의 온도, 습도를 기록해 두고 기타 절연특성시험이나 육안점검결과 등을 총합적으로 판

단하는 것이 필요하나 이것은 다음에 기술하는 절연 특성시험에 대해서도 同一하다.

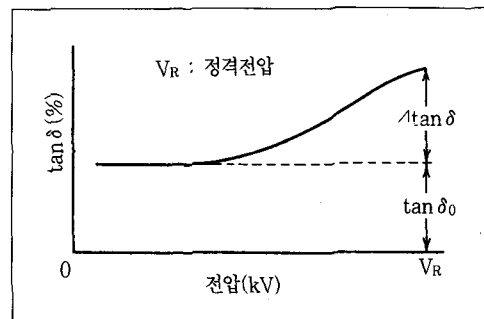
b. 直流高電壓 試驗 : 직류고전압시험은 절연물에 직류고전압을 인가하였을 때의 전류-시간특성, 절연저항-온도특성 또는 절연저항-전압특성 등으로부터 絶緣의 性狀, 특히 吸濕, 汚損이나 絶緣缺陷 등의 상태를 판단하도록 한 것이다.

고전압 전동기의 경우 특히 전류-시간특성을 측정하고 式(5.1)에서 보는 바와 같이 成極指數 PI(Polarization Index)를 指標로서 절연의 흡습과 오손의 상태를 판단하고 있다.

$$\text{成極指數 PI} = \frac{\text{전압인가 1분후의 전류}}{\text{전압인가 10분후의 전류}} \quad (5.1)$$

직류고전압을 인가하였을 때의 전류는 瞬時 充電電流, 吸收電流 및 漏洩電流의 3成分으로 되어 있으나 절연물의 흡습과 오손상태가 되면 시간 경과에 대해서 거의 일정하게 누설 전류의 성분비율이 커지므로 成極指數는 1에 가깝게 된다. 역으로 건조상태일 때는 큰 값을 나타낸다. 成極指數가 1.5 이하일 때는 吸濕狀態라고 판단되는 경우가 많다.

c. 誘電正接試驗(tan δ 試驗) : tan δ - 전압특성을 측정함으로써 절연물의 흡습과 오손의 상황이나 절연열화의 상태를 조사할 수가 있다. tan δ의 전압특성에 대한 전형적인 예를 그림 5.4에 나타내었다. 部分放電이 발생하지 않는 低電壓에 있어서 tan δ를 tan δ₀라고 부른다.



〈그림 5.4〉 tan δ - 전압특성

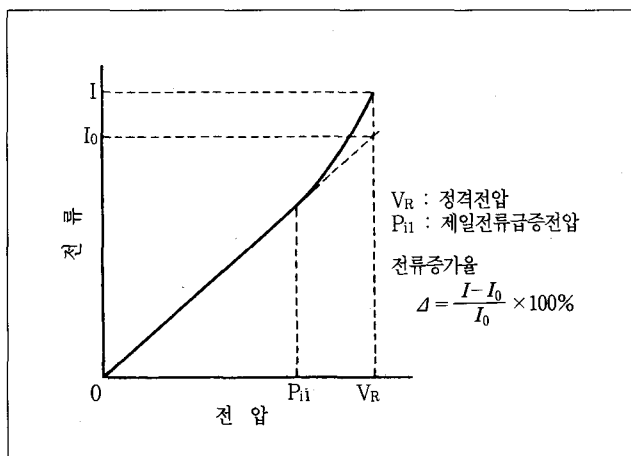
$\tan \delta$ 는 절연물의 누설전류와 誘電分極으로 인한 손실에 의한 것이다. 전압이 높아지면 부분방전의 발생에 의한 손실의 증가로서 $\tan \delta$ 는 증가하게 된다. 정격전압에 있어서 증가분을 $\Delta \tan \delta$ 라고 부른다.

$\tan \delta$ 는 吸濕·汚損이나 熱劣化 등에 의한 極性基의 導入이나 導電性 物質의 부착 등으로 증가한다. 또한 운전초기에 있어서 含浸 樹脂 등의 硬化進行이나 絶緣層의 오랜 세월에 걸친 劣化(老化)에 의해서 저하되는 경향이 있다.

$\Delta \tan \delta$ 는 부분방전이 발생하는 空隙의 징후이다. 따라서 劣化에 의해서 절연층에 剝離나 균열이 발생한다든지 하면 部分放電이 증가하고 $\Delta \tan \delta$ 가 커지게 된다.

$\tan \delta$ 시험의 데이터를 평가할 때 다음 사항을 유의하여야 할 것이다.

- (1) 국부적으로 異常한 個所가 있어도 측정치는 평균치가 된다.
- (2) 흡습·오손상태에서는 電界緩和作用에 의하여 부분방전이 억제되며 $\Delta \tan \delta$ 의 값이 낮은 눈금으로 측정되는 경향이 있다.
- (3) 3.3kV의 전동기에는 도전성라이너 등에 의한 슬롯 放電防止가 되어 있지 않으므로 코일과 슬롯간의 방전도 합해서 $\Delta \tan \delta$ 는 크게 검출된다.
- (4) 6.6kV 이상의 機種에서 코일엔드 표면에 沿面放



〈그림 5.5〉 전류-전압특성

電防止를 위하여 電壓非線形 半導電層이 되어 있는 경우 $\tan \delta$ 는 크게 검출된다.

d. 交流電流試驗 : 절연물에 교류전압을 인가하였을 때 전류-전압특성은 식(5.2)와 같이 절연물의 정전용량과 $\tan \delta$ 의 값에 따라서 변화한다.

$$I \approx \omega CV(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \delta) \quad (5.2)$$

다만 V는 인가전압, I는 전류, ω 는 角周波數, C는 靜電容量이다.

흡습·오손에 의한 C나 $\tan \delta$ 의 증대, 절연의 老化에 의한 C나 $\tan \delta$ 의 감소, 부분방전의 발생에 의한 결보기 C나 $\tan \delta$ 의 증대 등에 의해서 전류-전압특성이 변화하므로 절연의 性狀을 推定할 수가 있다. $\tan \delta$ 시험에 의한 장치나 취급은 비교적 간단하나 감도는 약간 떨어진다.

그림 5.5는 전류-전압특성의 모형도이다. 먼저 原點 0에서 절연물의 C로서 결정되는 기울기로 직선적으로 증가하며 전압이 부분방전 개시전압을 넘으면 부분방전이 발생하므로 전류가 급증한다. 이 急增點의 전압을 第一電流 急增電壓(P_{i1})이라고 부른다. 재차 전압이 상승하면 부분방전의 발생상황 변화에 따라서 第二電流 急增電壓(P_{i2})이 나타나는 것도 있으나 合成樹脂絶緣層에는 P_{i2} 는 명확히 나타나지 않는 경우가 많다.

전류급증의 정도를 나타내는 指標로서 정격전압에 있어서 전류 I와 전류가 원점으로부터 직선적으로 증가할 경우 정격전압에 있어서 전류 I_0 의 差 I_0 에 대한 비율을 電流增加率 Δ [%]로서 사용하고 있다. 교류전류 시험법의 원리를 응용해서 개량한 새로운 交流試驗法이 제안되고 있다.

交流電流試驗의 경우도 전절에서 기술한 留意點에 관심을 가질 필요가 있다.

e. 部分放電試驗 : 부분방전펄스를 측정하는 방법으로서 부분방전 개시전압 V_i , 부분방전소멸전압 V_e , 결보기 방전전하 Q, 발생빈도 n등을 측정한다. 부분방전 시험의 意義는,

(1) 劣化에 의한 크랙과 剝離 등의 空隙 발생이나 진전상황을 파악함으로써 劣化의 진행을 추정.

(2) 劣化因子로서 부분방전의 정도를 파악해서 수명에의 영향을 추측하는데 있다.

여기서 $\tan \delta$ 시험이나 교류전류시험의 주된 목표도 여기에 포함됨을 알 수 있으나 부분방전시험에서는 방전필스로 직접 계측함으로써 상세한 데이터를 얻을 수가 있으며 또한 局所인 방전도 정확히 측정할 수 있는 특징을 갖고 있다.

전동기권선에서는 펄스가 電播波가 되어 감쇠하면서 檢出端에 도달하므로 권선전체의 방전크기를 정확하게 측정하는 것은 곤란하다. 주로 檢出端 근처에서 발생하는 방전인지 먼곳에서 발생하는 비교적 큰 방전인지를 측정하게 되는 것이다. 이것은 운전시에 가장 높은 전압이 걸려 전압열화가 발생하기 쉬운 선로단자 근처에서의 방전은 비교적 올바르게 측정된다는 것을 의미한다.

또한 $\tan \delta$ 시험에 관한 節에서도 설명한 바와 같이 吸濕汚損狀態에 있으면 방전이 억제되기 쉽고 3.3kV級의 전동기가 같이 슬롯방전방지가 되지 않는 경우에는 코일本體의 방전 이외에 슬롯방전도 계측된다는 것에 주의할 필요가 있다.

실제로 측정할 때에는 전동기의 설치현장에서 미소한 방전필스를 계측해야만 되므로 잡음대책도 중요하다.

2. 肉眼點檢

고전압 전동기의 전열진단에 있어서 절연특성시험에 의한 劣化檢出에는 한계가 있는데 이 한계를 보완하기 위해서라도 시험데이터의 해석이나 보증을 위해서 肉眼點檢은 매우 중요하다.

절연의 손상, 크랙, 剝離, 변색, 마모, 말라 없어짐 등의 상태, 먼지, 油分, 水分 등의 부착상황, 썩기의 헐거움과 빠짐, 슬롯절연물의 돌출, 코일엔드의 헐거움, 스페이서類의 헐거움 등을 육안과 촉수 및 打音 등으로 조사한다.

또한 전동기 권선부뿐만 아니라 冷却風經路나 필터의

막힘상황, 설치장소의 습기, 비가 새는 것, 화학물질의 유무, 해안으로부터의 거리 등 공장환경을 체크해둘 필요가 있다.

경우에 따라서는 塵埃를 채취하여 진애의 절연저항의 흡습특성을 조사한다든지 성분분석을 하여 C1-이온 등 절연에 악영향을 주는 물질의 함유량을 체크해 두는 것도 유용하다.

3. 判 定

고전압 전동기의 절연진단에서는 유감스러우나 절연특성시험 데이터를 판정기준과 비교하여 판정해서는 안된다.

현재의 진단기술로는 부분방전현상을 파악함으로써 절연층의 크랙이나 剝離의 生成 또는 진전상황을 추정하는 것이 기본으로 되어 있다.

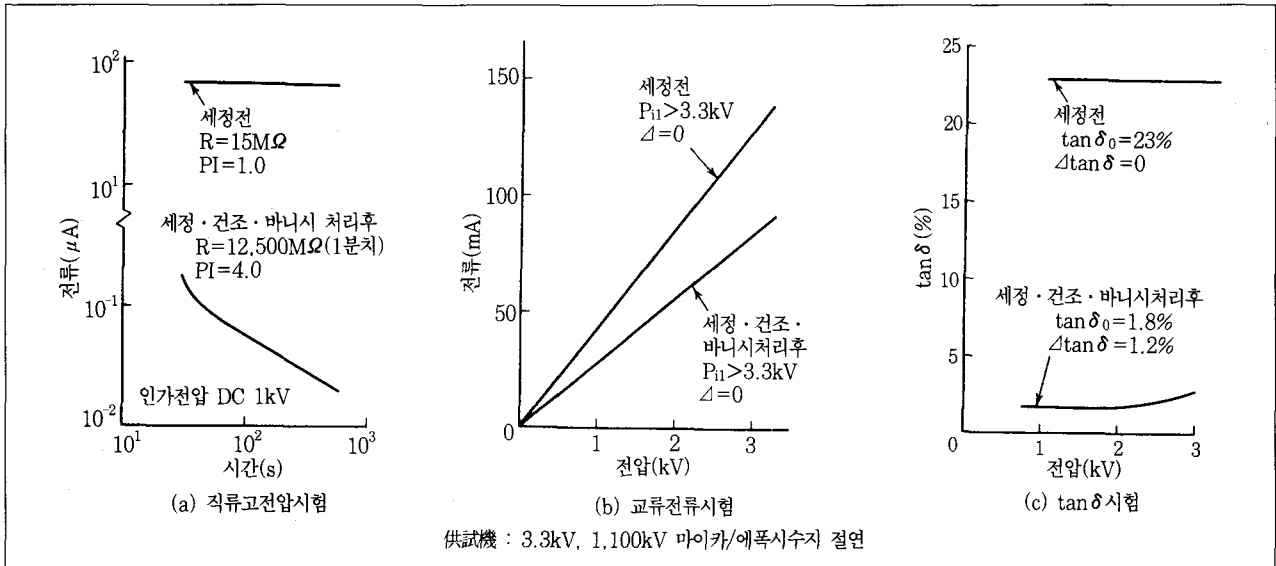
한편, 고전압 전동기에는 방전열화에 대해서 耐久力이 강한 마이카를 主絶緣으로 사용하고 있으므로 신품에서도 부분방전은 어느 정도 발생하도록 絶緣設計되어 있다.

그 절연재료나 처리법 및 이에 따른 부분방전에 관한 특성이 다양하다는 것은 판정기준을 정하는데 곤란한 이유중의 하나가 된다.

또한 사용조건이나 사용환경이 다양한 것이나 부분방전현상이 흡습이나 오손에 의해서 영향을 받기 쉽다는 것이 그 곤란한 이유를 가속화하고 있다. 전동기의 메이커나 유서는 콤파운드 습浸絶緣方式의 발전기에 적용된 판정기준이나 독자의 검토결과에 의해서 판정기준을 정하는 것도 많으나 실질적으로는 참고사항으로서 운영되고 있다.

판정시에는 절연특성시험 데이터의 經年變化, 肉眼點檢結果 및 운전, 정비 경력 등을 종합적으로 판단하여야 하는데 이 경우 전동기의 절연구조나 절연열화에 관한 기초지식도 필요하다.

제일 먼저 전동기의 권선이 吸濕이나 汚損狀態에 있다는 것을 판정해야 하는데 이것은 절연저항 R, 成極指數 PI, $\tan \delta_0$ 로서 판단한다. 또한 정전용량의 변화에 의해서 교류전류시험의 전류-전압특성의 기울기에도 나타나는데 동일 機種과의 비교나 초기데이터와의 비교에 의해서 판단할 수가 있다.



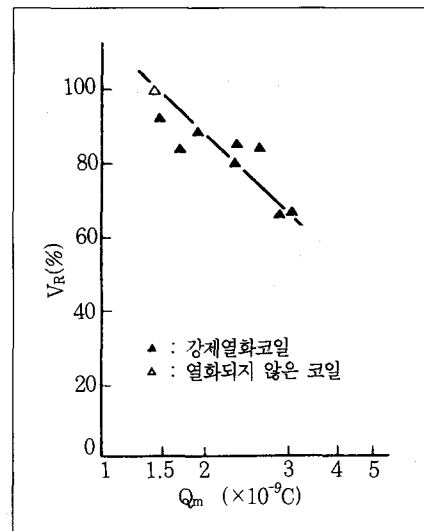
〈그림 5.6〉 흡습·오손된 전동기의 洗淨·乾燥·바니시처리 전후의 특성 예

그 사례로서 그림 5.6에 흡습, 오손상태에 있다고 판단된 정격전압 3kV, 정격출력 1100kW의 전동기를 세정·건조·바니시로 처리한 경우 處理前後의 특성을 나타낸다. 흡습과 오손상태에 있으면 저항 R이 낮고 PI가 1에 가까워지며 $\tan \delta_0$ 가 높아져 교류전류시험에서 직선의 기울기가 커진 모양이 나타난다. 다음에, 절연 열화에 의한 절연층의 크랙이나 剝離의 상황 등에 대해서는 주로 부분방전에 관한 특성($\Delta \tan \delta$, P_i , Δ , 부분방전특성)을 조사한다.

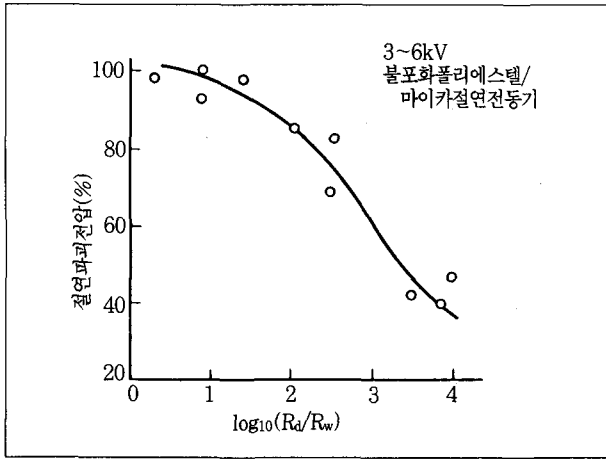
劣化에 의한 크랙이나 剝離의 生成 또는 成長을 여기서 發生하는 部分放電現象으로서 파악하도록 한 것이다. 예를 들면 그림 5.7과 같이 동일규격의 모델코일을 強制劣化한 실험실데이터에는 잔존과피전압 V_R 과 최대방전전하 Q_m 간에 양호한 상관성을 얻고 있다.

그러나 실제로는 앞에서 기술한 바와 같이 문제점이 있으며 판단이 곤란한 경우도 많다. 同一機種의 經年變化나 동일 절연내용의 機種內에서 상호비교할 필요가 있다. 또한 특히 주의를 요하는 것은 권선이 흡습과 오손상태에 있는 경우에는 부분방전에 관한 특성이 위험한 쪽으로 검출되는 경향이 있다는 것이다.

이것은 흡습·오손에 의한 電界緩和效果에 의해서 부분방전의 발생이 억제되기 때문에 마치 크랙이나 박리가 적든가 또는 존재하지 않는 것처럼 보이기 때문이다. 그림 5.6의 $\tan \delta$ 특성도 이러한 경향을 볼 수 있다. 또한 흡습, 오손에 의해서 비교적 저전압 영역의 부



〈그림 5.7〉 강제열화모델코일의 V_R 과 Q_m 의 상관 관계



〈그림 5.8〉 實機捲線의 절연파괴전압과 $\log_{10}(R_s/R_v)$ 의 상관관계

분방전이 증가하는 것도 있다.

또한 흡습·오손에 의한 특성변화를 주의깊게 검토하면 절연층의 열화층의 열화경향이 파악되는 일도 있다. 절연열화가 진전되어 절연층에 크랙이나 박리가 생기면 有機材料로부터 熱劣火에 의하여 성분의 일부가 氣化하거나 發散한다면 습기에 민감해져 흡습·오손을 일으키기 쉽고 흡습·오손에 의한 특성저하가 크며 흡습 속도가 빨라지는 등의 특징이 야기된다. 따라서 흡습·오손에 관한 특성의 經年變化, 乾燥期와 多濕期에 있어서 특성비교, 運轉休止 直後の 특성변화 속도 등에 착안함으로써 절연변화의 징조를 감지할 수 있는 가능성도 있다.

그림 5.8은 장기간 사용된 정격전압 3~6kV의 전동기를 이용한 것으로 강제적으로 환경요인을 변화시킨 실험에 있어서 건조시의 절연저항 R_s 와 흡습시의 절연저항 R_v 의 비에 대한 對數와 절연파괴전압의 관계를 얻었는데 매우 양호한 相關關係를 이루고 있다.

5.2.4 直流電動機의 절연진단

직류전동기에는 壓延設備 등과 같은 비교적 대형의 중요설비도 많으며 절연진단의 필요성은 높으나 시험법

은 적다. 고전압 전동기와 같이 절연층의 크랙이나 剝離의 상황을 부분방전의 발생상황으로부터 진단할 수 있다고 원리적으로는 생각되나 직류기의 경우 설계전압이 낮기 때문에 시험전압에 의해서 劣化가 발생하는 우려가 있으므로 특별한 경우를 제외하고는 진단을 하지 않는다.

일반적으로 메거시험과 육안점검으로 실시되고 있는데 이들에 대해서는 5.2.3항에서 기본적인 것은 설명하였으므로 직류전동기로서 특히 주의해야 할 점을 보충하여 다음에 기술한다.

직류기에는 정류자주변에 導體露出部가 존재하거나 브러시 磨耗粉이 발생하는 등 汚損의 영향에 의해서 절연저항의 저하를 초래하기 쉽다. 정기적으로 메거시험을 행하여 절연저항의 經時變化를 파악하는 것이 필요하며 절연저항의 低下에는 (a) 突發性 (b) 進行性 (c) 週期性 또는 이들의 조합을 나타내는 경우도 있다.

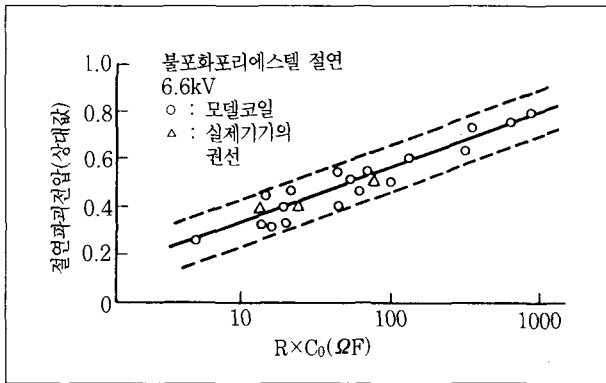
(a)는 充電部間 沿面に 油分이 부착하여 브러시 磨耗粉 등과 같은 導電性 塵埃가 堆積한 경우나 樹脂層에서 導體部까지 관통하는 비교적 큰 크랙이 발생하여 도전성 塵埃가 侵入堆積한 경우 등에 생긴다.

(b)는 심한 塵埃가 쌓이는 절연층의 크랙 또는 熱劣化의 진행 가능성을 나타낸다.

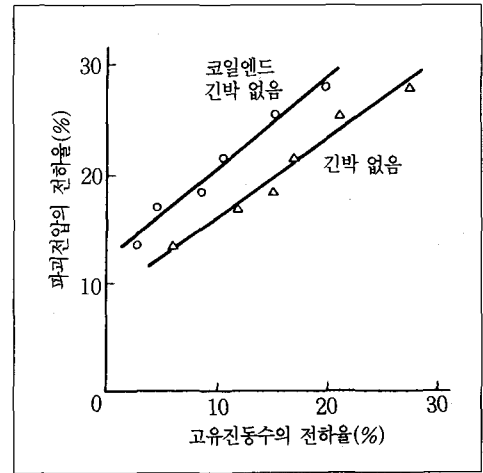
(c)는 吸濕性의 먼지에 의해서 多濕와 乾燥期에 吸·放濕특성을 나타내는 것으로 일반적으로 (b)와 (c)가 복합해서 발생하는 경우가 많다. 특히 (a) 또는 (b)의 경우는 육안점검이나 메거를 사용한 觸針法 등으로 절연저항의 저하장소를 조사한다든지 먼지의 분석이나 도전성의 평가를 행하여 低下原因을 규명하는 것이 필요하다.

먼지는 특히 Cl⁻이온을 대량 함유한 경우 절연에 대한 악영향이 크다.

또한 압연용설비 등과 같이 負荷變動이 큰 경우에는 기계적 충격력·전자력·열응력 등에 의해서 코일엔드나 라이저部 周邊의 절연에 크랙이 발생한다든지 코일 슬롯 출구에 있어서 마모나 크랙이 발생하기 쉬우므로 주의깊게 관찰할 필요가 있다.



〈그림 5.9〉 RC와 절연파괴전압과의 관계



〈그림 5.10〉 파괴전압과 고유진동수

5.2.5 새로운 診斷技術

새로운 절연진단방법에는 종래의 측정항목에 새로운 해석수법을 도입한 것과 전기적 수법 이외의 기계적 또는 화학적인 수법이 있다. 전자의 예로는 RC값이나 R_d/R_w , 후자의 예로는 震動解析, H/C 元素分析 등이 제안되고 있다. 여기서는 그 대표적인 예를 소개한다.

1. RC 값

절연저항(R)은 절연층의 흡습이나 오손 등을 반영하는 특성인데 단독으로는 권선 치수의 영향을 받으며 劣化程度와의 상관성이 적다. 이것을 보완하기 위하여 정전용량(C)과의 곱(RC값)으로서 공통의 판정기준으로 한 것이며 그림 5.9에 절연파괴전압과의 상관관계의 예를 나타낸다.

2. R_d/R_w

절연층이 劣化하여 剝離, 크랙 등의 결함이 생기면 吸濕에 의하여 絶緣抵抗値가 크게 低下된다. 건조상태에서 있어서 R_d 와 吸濕後의 값 R_w 의 비 R_d/R_w 가 큰 것에서는 절연파괴 전압값이 저하하고 그림 5.8과 같은 상관을 나타낸다.

3. 振動解析

捲線에 해머링 등으로 外力을 加하고 加速度 變換器로서 응답을 검출하는 바에 따라 진동특성을 측정하여 그 초기값의 변화에 의하여 劣化 정도를 추정하는 방법이다.

固有震動數는 권선의 절연구성과 支持構造에 의해서 결정되나 熱이나 機械的 劣化로서 剛性이 低下하면 고유진동수가 적어지므로 그 低下率과 絶緣破壞電壓과의 관계는 그림 5.10과 같은 상관 관계를 나타낸다.

4. H/C 元素分析

절연물이 열적에너지에 의해서 熱分解 또는 酸化分解를 하면 水素原子數(N_H)와 炭素原子(N_C)의 비(N_H/N_C)가 감소한다. CNH元素分析計로서 C와 H의 重量%를 구하고 N_H/N_C 를 산출하는데 그 값과 파괴전압의 저하에는 양호한 상관관계를 나타내었다.

이외에 절연물의 色彩나 明度에 의해 진단하는 測色法, 熱分解 패턴에서 진단하는 熱重量 測定法 및 音響 放射法(AE) 등이 검토되고 있다. 이들의 방법은 종래의 部分放電現象과는 다른 검출원리에 의한 것으로서 새로운 局面을 열 것으로 기대하고 있다.

(다음호에 계속)