

電氣設備의 診斷技術

9

第 II 編 應 用

第 1 章 發電設備의 診斷技術

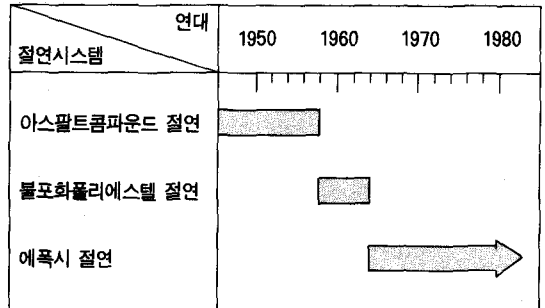
1.1 大形回轉機의 絶緣진단

1.1.1 대형회전기 絶緣시스템의 變遷

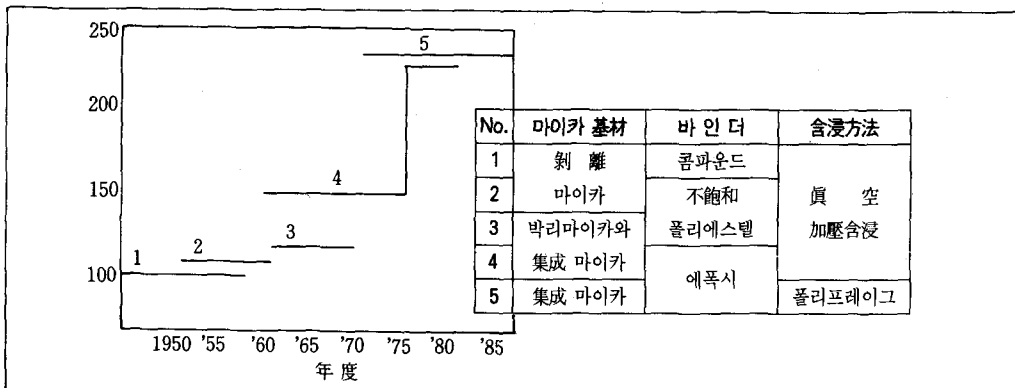
대형회전기코일의 絶緣시스템에 合成樹脂가 적용되어 약 30년을 경과하고 있다. 그 絶緣시스템의 變遷예를 그림 1.1에 나타내었다.

合成樹脂는 그 이전의 아스팔트콤파운드 絶緣에 비교하여 전기적특성, 熱的特性 및 기계적 특성에 있어서 매우 우수하다. 그러나 合成樹脂의 적용에 의한 회전기의 고전압화, 대용량화, 고기능화에 따른 設計電界의 상승, 始動·停止빈도의 증대 등 回轉機捲線의 사용조건은 일단 過酷하게 되어 있으며

이때문에 揚水用발전전동기 및 화력용 중간부하 운 용발전기와 같은 冷熱사이클을 빈번히 반복하는 大 容量機에서는 전기, 열, 기계력 등의 스트레스 複合 作用에 따라 絶緣劣化의 진전이 빨라지는 것이 염 려된다. 대형회전기의 設計電界의 變遷을 그림 1.2



<그림 1.1> 絶緣시스템의 變遷



<그림 1.2> 대형회전기의 設計電界의 變遷

게 나타내었다. 요컨대 절연시스템의 성능과 사용 조건에 따라서 絶緣壽命이 결정된다. 이 壽命을 정확하게 파악하고 사고에 이르기 전에 절연을 更新해 가는 것이 전력의 안정공급측면에서 중요한 것이다.

1.1.2 고전압회전기 絶緣劣化의 메커니즘과 檢出法

그림 1.3에 絶緣劣化의 메커니즘과 檢出法을 나타내었다. 회전기코일 절연은 제작시에 있어서 보이드(空隙)는 거의 존재하지 않는 치밀한 절연조직으로 제작되고 있다. 이것이 회전기의 運轉履歷에 의하여 電氣的劣化, 히트사이클劣化, 熱的劣化, 기계적劣化, 環境劣化라고 하는 여러 가지 劣化를 받게 됨으로써 절연층 전체에 다수의 작은 보이드나 局部的으로 큰 보이드가 발생한다.

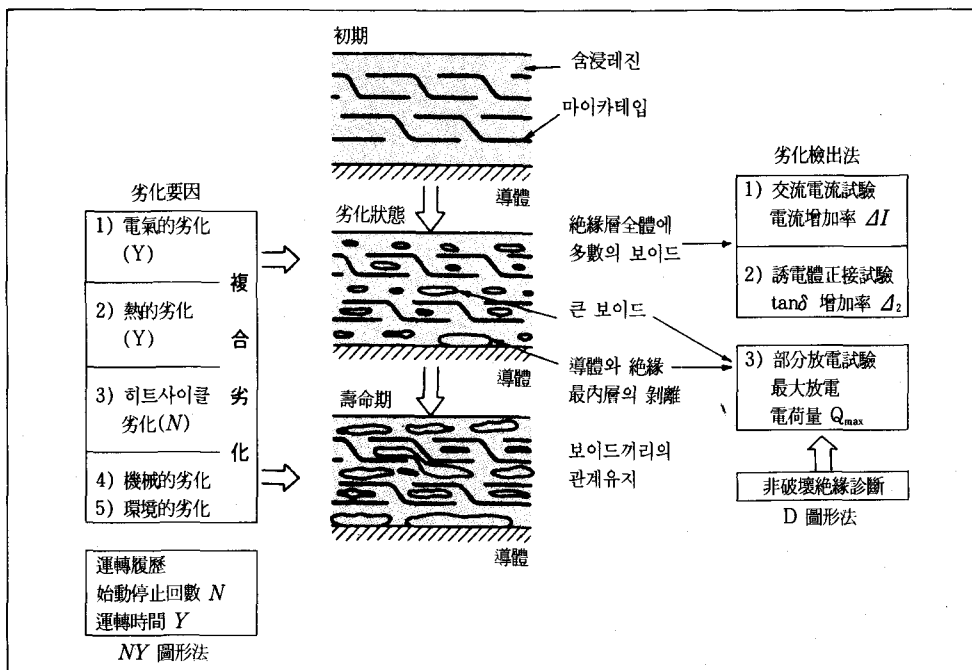
더욱이 운전시간이 길어져 劣化가 진행되면 보이드량은 더욱 증가하는 보이드끼리는 연결관계를 유지하게 된다. 즉 絶緣劣化한 절연층내의 보이드가

발생, 확대되는 것으로, 高電壓을 印加하면 보이드 부분은 放電하며 導電體가 되기 때문에 절연패스는 짧아지고 절연과피전압은 저하한다. 따라서 평균적으로 보이드량이 많을수록, 또는 局部的으로 큰 보이드가 존재하면 절연과피전압은 低下할 것으로 예상된다.

이 絶緣劣化에 의한 壽命推定法으로서 두가지의 방법을 생각할 수 있다. 그 하나는, 절연열화가 각 劣化要因의 복합열화이고 각 劣化要因은 회전기의 運轉履歷, 즉 始動停止回數 N 과 運轉時間 Y 에 관계하는 것에서 實機의 運轉履歷으로부터 壽命을 추정하는 방법이다.

또 하나의 방법은 비파괴절연시험을 실시하여 보이드의 상태를 파악함으로써 수명을 추정하는 방법이다.

절연층 전체의 平均的보이드 放電을 검출하는 방법으로서 交流電流試驗法의 進류증가율 ΔI , 誘電正接試驗法의 Δ_2 등이 있으며 局部的인 보이드 放電의 검출법으로는 部分放電試驗法의 最大放電電荷量 Q_{max} 등이 있다. 이 平均的인 보이드放電, 局部的인



<그림 1.3> 絶緣劣化의 메커니즘과 檢出法

보이드 放電을 검출하여 절연과과전압과의 관계로부터 수명을 推定하는 方法이다.

1.1.3 回轉機 絶縁수명과 推定法

1. 운전이력으로부터 壽命을 추정하는 方法

高電壓이 印加되는 固定子코일 絶縁의 劣化要因으로서 일반적으로 다음과 같은 점을 들 수 있다. 여기서는 폴리에스텔 絶縁例에 관하여 구체적으로 기술한다.

a. 電氣的인 劣化(課電劣化) : 일반적으로는 $V-t$ 特性에 대표되는 것으로서 절연층내의 보이드 放電, 더욱이 電界強度의 높은 領域에서는 트리잉 등에 의한 劣化이다.

$V-t$ 特性은 一定電壓을 장시간 印加했을 때 그 전압에서 파괴될 때까지의 時間을 구하는 것으로서 그 一例를 그림 1.4 에 나타내었다. $V-t$ 特性이 逆 n 乘則($t=kV^{-n}$)에 따르도록 하여 累積損傷모델을 이용하여 一定電壓을 長時間 印加했을 때의 과과전압 經時變化를 구하는 殘存破壞電壓-時間特性은 다음과 같이 된다.

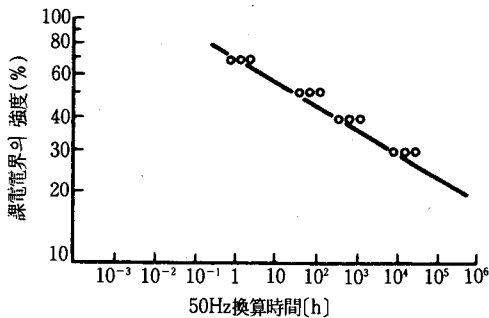
$$V_E = V_0 \left(1 - \frac{t_x}{t_a}\right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (1.1)$$

여기에서, V_E : 課電時間 t_x 로 구한 殘存과과 전압[kV]

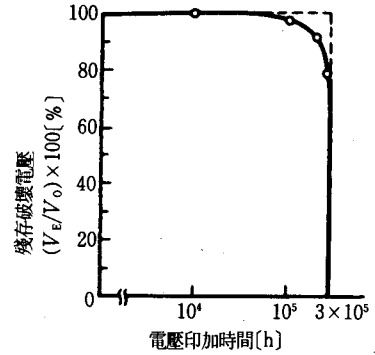
V_0 : 課電前的 初期破壞전압[kV]

t_a : 長期課電했을 때의 壽命시간[h]

n : $V-t$ 特性($t=kV^{-n}$)에서의 n 值



<그림 1.4> 모델코일의 課電劣化特性



<그림 1.5> 殘存과과전압-時間特性

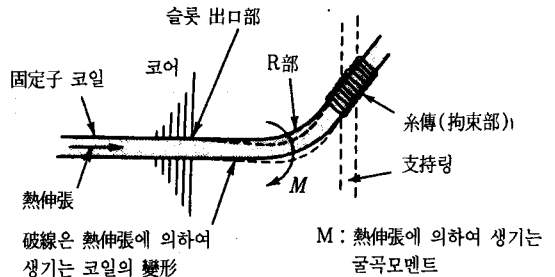
이상에서 식(1.1)을 구체적으로 구한 殘存破壞電壓-時間特性을 그림 1.5 에 나타내었다.

b. 히트사이클 劣化特性 : 회전기의 始動·停止 또는 負荷變動에 의하는 것으로서 導線과 절연층의 線膨脹係數가 다르기 때문에 境界부분에 剪斷力이 발생하고 導線과 절연층과의 剝離, 또는 절연층내 보이드의 확대 등에 영향을 미친다.

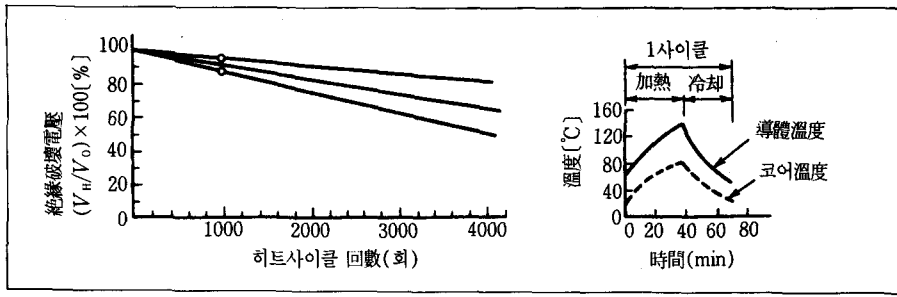
또 코일 自體가 熱伸張하는데 따라 코일엔드부에 굴곡모멘트가 발생하고 슬롯 出口部 및 코일 R部의 절연층에 低사이클 領域에서의 曲面疲勞를 발생시킨다. 그 상황을 그림 1.6 에 나타내었다.

모델슬롯을 제작하고 固定子코일을 삽입한 상태에서 加熱冷却의 히트사이클에 의한 絶縁劣化特性을 조사한 결과를 그림 1.7 에 나타내었다.

c. 機械的인 劣化 : 정상운전시 및 突發短絡 등의 이상운전의 電磁力, 코어진동 등에 따른 高사이클 疲勞에 의한 절연층의 劣化이다.



<그림 1.6> 슬롯 出口部 및 코일엔드부에 作用하는 應力



<그림 1.7> 모델코일의 히트사이클 劣化特性

절연층의 기계적劣化試驗으로서 코일을 단독으로 설치해 두고 先端에 兩振의 반복력을 印加하여 코일절연표면의 최대응력이 코일절연층의 파괴강도의 약 1/3이 되도록 하여 10⁵회, 10⁶회, 10⁷회의 반복으로 疲勞를 더하여 그후의 절연과괴전압을 측정하였다. 그 결과를 그림 1.8에 나타내었다.

발전기 운전시 코일절연층의 應力은 기계적과괴강도의 약 1/10 정도 이하로 설계되고 있으며 특별히 문제가 없다고 생각되어 기계적열화는 히트사이클 劣化에 포함하여 고려한다.

d. 熱的인 劣化: 일반적으로 절연물의 熱劣化特性은 아레니우스(Arrhenius)의 反應則에 따르는 경우가 많고, 대개 10°C 半減則(熱的인 劣化만을 고려할 경우에는 온도 10°C가 상승하면 절연수명은 절반으로 감소한다는 것)이 적용된다. 여기서는 180°C의 過酷한 열열화시험에 의하여 절연과괴전압의 低下를 측정하고 운전온도 100°C를 想定했을 경우의 절연과괴전압특성을 그림 1.9에 나타내었다.

e. 總合劣化: 이상에서 記述해 본 각 劣化要因과

절연과괴전압특성의 관계로부터 殘存壽命을 推定한다. 절연수명에 크게 영향을 주는 要因으로서 課電劣化 V_E/V_0 , 히트사이클 劣化 V_H/V_0 , 熱劣化 V_T/V_0 의 세가지를 생각할 수 있으며 다음과 같이 總合劣化에 의한 殘存破壞電壓 V_R/V_0 를 추정한다.

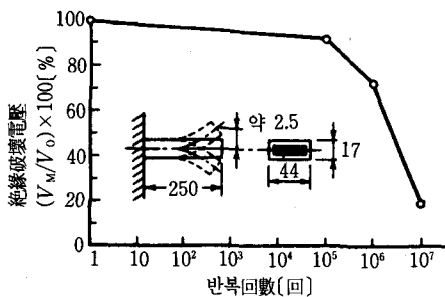
$$\frac{V_R}{V_0} = \frac{V_E}{V_0} \times \frac{V_H}{V_0} \times \frac{V_T}{V_0} \quad (1.2)$$

발전기의 운전시간과 始動·停止回數가 정해지면 식(1.2)에서 殘存破壞電壓值가 구해지며 이 관계를 그림 1.10에 나타내었다. 이것을 絶緣壽命曲線(Ny map)이라고 한다.

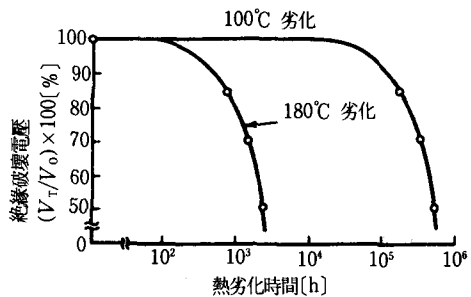
2. 非破壞試驗으로 수명을 추정하는 방법

非破壞 絶緣試驗法의 대표적인 예를 표 1.1에 나타내었다.

먼저, 平均的인 보이드量的 檢査법으로서 교류전류시험법의 전류증가율 ΔI 및 誘電正接試驗法의 Δ_2 評價法이 있다. 이 시험법은 회전기코일의 各相 혹은 3相一括로 하여 전압을 印加하고 充電電流의

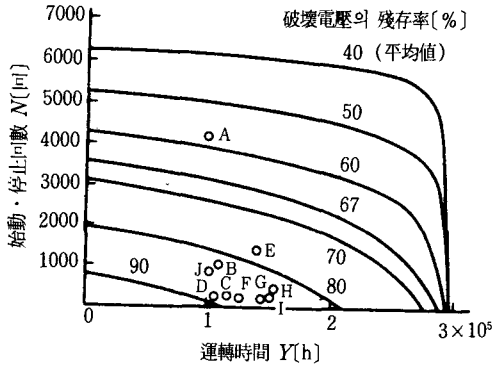


<그림 1.8> 코일절연층의 반복굴곡 疲勞特性



<그림 1.9> 熱劣化와 절연과괴전압 특성

증가율 ΔI 및 印加電壓과 충전전압의 位相差變化分을 보는 Δ_2 이며 절연층의 평균적인 劣化度를 검출하는 것이다.



<그림 1.10> 폴리에스테일 절연수명곡선(잔존파괴전압 평균치)

<표 1.1> 非破壞試驗 項目(代表例)

No.	項 目	內 容
1	絶緣抵抗測定	MG
2	直流吸收試驗	P.I : MG(1分値, 10分値)
3	交流電流試驗	
4	誘電正接試驗	
5	部分放電試驗	

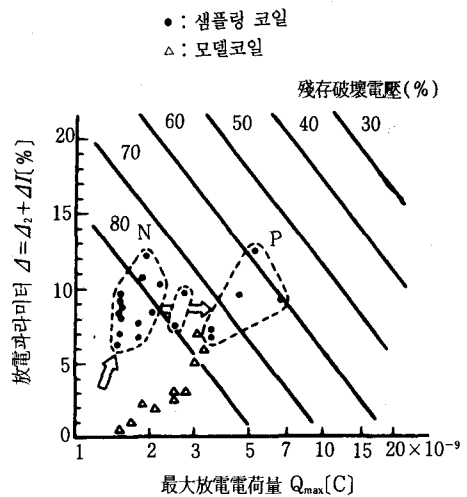
[註] $\Delta_2 + \Delta I$: 平均的 劣化, Q_{max} : 局部的 劣化

다음에, 局部的인 보이드검출법으로서 부분방전 시험법의 최대방전전하량 Q_{max} 의 평가법이 있다. 이것은 원리적으로는 회전기코일 絶緣層內 보이드의 방전전하량 중에서 매우 큰 보이드의 방전전하량을 측정할 수 있기 때문에 절연층의 局部的인 劣化度를 검출하게 되는 것이다.

回轉機코일의 절연진단을 정기적으로 실시하고 ΔI , Δ_2 , Q_{max} 등의 經時變化에 의하여 절연층의 劣化度를 파악할 수가 있다. 더욱이 남은 壽命을 推定하기 위하여 비파괴시험에서 殘存破壞電壓의 推定이라고 하는 어프로치가 이루어지고 있다. 그 예로서 잔존파괴전압 V_R 은 절연층의 평균적 劣化度를 나타내는 放電파라미터 $\Delta = \Delta_2 + \Delta I$ 와 局部的인 劣化度를 나타내는 Q_{max} 의 函數로서 정리되어지는 게 아닌가 하는 생각으로 모델코일에 의한 強制劣化試驗 및 實機로부터 拔取한 약 200本の 코일에 대하여 비파괴시험, 파괴시험을 실시, 다음의 실험식을 얻었다.

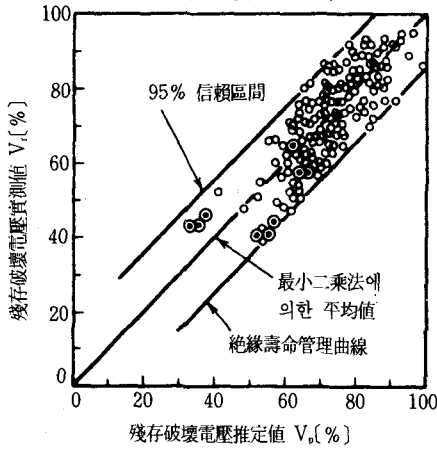
$$V_R = 100 - 1.8(\Delta - 0.8) - 37.51 \log \frac{Q_{max}}{1.5 \times 10^{-9}} \quad (1.3)$$

이 식을 그래프로 표시한 것이 그림 1.11 이다. 이것을 Discharge Map(약칭 D map)라고 부른다.



<그림 1.11> D Map

- : 폴리에틸렌 絶緣코일 單獨
- : 폴리에틸렌 絶緣發電機捲線
- △ : 에폭시 絶緣코일 單獨



<그림 1.12> D Map法에 의한 推定値 V_p 와 實測値 V_p 의 비교

그림 1.11에서 N群에 속하는 코일은 Q_{max} 가 적고, 1가 큰 점에서 국부적인劣化는 적으며, 절연층은 평균적으로劣化되고 있는데 이것이 P群이 되면 국부적으로도 平均的劣化가 진행되는 것을 나타내고 있다.

또한 D Map法에 의한 잔존과괴전압 V_R 의 推定値 V_p 의 비교를 그림 1.12에 나타내었으나 相關係數 γ 은 0.74로 높다. 더욱이 t 分布表를 이용하여 95% 信賴區間을 구하면 대부분의 데이터가 이 중에 있다. 實機에서 비파괴시험을 실시하면 D Map로부터 잔존과괴전압이 推定될 수 있는 것을 나타내고 있다. 實機의 수명관리로서는 개개의 데이터의 평균치에서 벗어남을 생각하여 그림 1.12의 95% 信賴區間의 下限値에서 관리해야 한다고 생각된다.

1.1.4 實技코일絶緣의劣化調査

각 電力會社의 협력하에 터빈발전기에 관하여 運轉時間, 始動·停止回數에 주목해 본 바 始動·停止回數는 많으나 運轉時間은 짧은 것, 또는 시동·정지횟수는 적으나 運轉時間은 긴 것 등을 고려하여 발전기의 固定子코일에서 數個 또는 1相分을 샘플링하고 비파괴시험, 파괴시험을 실시하였다. 그 조사한 발전기의 사양 및 經歷을 표 1.2에 나타내었다.

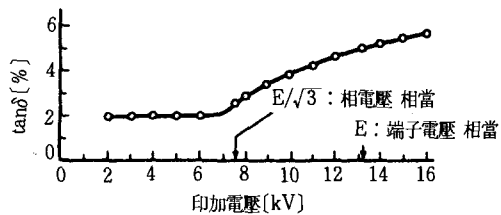
플링하고 비파괴시험, 파괴시험을 실시하였다. 그 조사한 발전기의 사양 및 經歷을 표 1.2에 나타내었다.

絶緣特性試驗結果 實機에서 샘플링한 고정자코일에 관하여, 絶緣劣化狀況을 파악하기 위한 비파괴시험으로서 절연저항, 誘電正接, 交流電流, 直流吸收, 부분방전시험 등을 실시하고, 또한 파괴시험으로서 절연과괴전압을 측정하였다. 그 결과를 표 1.3에 나타내었다. 이 결과로부터 절연열화의 상황을 판단하면

(1) 4,200회의 始動·停止回數를 행한 A發電機에서는 그림 1.13의 $\tan\delta$ -電壓特性에서 보는 바와 같이 Δ_2 의 증가 및 $\tan\delta$ 值의 증가하는 전압이 낮은 것에서 절연층 내의 보이드가 많이 발생하고 있고, 또 위치적으로는 導線近處 혹은 導線과 절연층의 剝離가 발생한다고 생각하게 되었다. 이것은 부분방전시험에서의 코로나 開始電壓 V_1' 가 낮은 것에서도 推定할 수 있다. 즉 히트사이클에 의한

<표 1.2> 발전기규격 및 經歷

項目 調査發電機	容 量 (MVA)	定格電壓 (kV)	回 轉 數 (rpm)	運轉時間 (h)	始動·停止 (回)
A發電機	92	13.2	3,000	95,482	4,214
B發電機	160	15	3,000	106,416	1,011
C發電機	224	12	3,000	112,559	240
D發電機	192	18	3,600	約100,000	230
E發電機	92	13.2	3,000	129,836	1,505
F發電機	160	15	3,000	125,372	319
G發電機	224	12	3,000	144,160	198
H發電機	160	15	3,000	154,620	437
I發電機	224	12	3,000	144,806	202
J發電機	160	15	3,600	150,065	866



<그림 1.13> A 發電機의 $\tan\delta$ -電壓特性例

< 丑 1.3 > 絶緣特性 試驗結果

調査發電機		A 發電機	B 發電機	C 發電機	D 發電機	E 發電機	F 發電機	G 發電機	H 發電機	I 發電機	J 發電機
絶緣抵抗試驗	1,000VMG 1分値(MΩ)	2,000 이상	2,000 이상	2,000 이상	2,000 이상	2,000 이상	2,000 이상	2,000 이상	2,000 이상	2,000 이상	2,000 이상
	$\tan\delta_0$ [%]	1.49~1.88	1.69~1.80	2.02~2.14	0.86~0.91	1.59~1.79	1.12~1.58	1.52~1.62	1.91~2.34	1.56~1.82	1.31~1.53
誘電正接試驗 ¹⁾	$\tan\delta_E$ [%]	4.09~5.40	3.43~3.58	3.26~3.97	2.22~2.61	3.40~4.40	1.97~2.84	3.93~5.45	4.06~4.87	1.85~3.77	4.31~5.65
	Δ_2 [%]	2.60~3.58	1.70~1.89	1.23~1.85	1.33~1.75	1.74~2.79	0.80~1.35	2.39~3.84	2.15~2.60	1.03~2.04	3.00~4.16
	P_{11} [kV]	12	7	13~14	18 이상	14.1~18	22.5 이상	9.7~13.6	8.4~11.6	7.6~9.3	7.9~9.7
交流電流試驗 ²⁾	P_{12} [kV]	27 이상	15 이상	24 이상	18 이상	20 이상	22.5 이상	17 이상	22.5 이상	17 이상	15 이상
	PI	4.1~5.4	3.9~4.0	1.07~1.5	3.59~5.58	3.3~7.2	3.62~4.69	3.3~3.5	3.1~6.8	4.17~5.00	6.2~7.2
直流吸收試驗	V_1 [kV]	6	5.8	5.6~7.8	7.0~14.4	5.0~6.5	6.5~7.75	4.5~7.5	5.3~7.0	5.0~8.8	5.4~5.7
	V_1' [kV]	7.6~9.0	18 이상	14.5~15.2	19.5~21.0	7.5~20 이상	8.8~22.5 이상	7.25~18 이상	7.8~11.0	9.2~16.0	7.4~8.7
絶緣破壞試驗	1kV/s昇壓(%)	53.7~62.4	68.9~87.7	67.2~100	88.9~94.0	50~93	76.2~95.2	66.2~92.4	60.0~85.7	65.0~94.9	63.7~90.1
	平均值[%]	58.3	77.4	88.0	91.7	75.5	89.8	80.4	76.1	78.7	76.5

【註】 *1 $\tan\delta_0 = \tan\delta(2kV)$, $\tan\delta_E = \tan\delta(E)$, $\Delta_2 = \tan\delta_E - \tan\delta$

*2 P_{11} = 第一次電流急增電壓

*3 $V_1 = 1 \times 10^{-9}C$ /個의 放電電荷量의 코로나 開始電壓

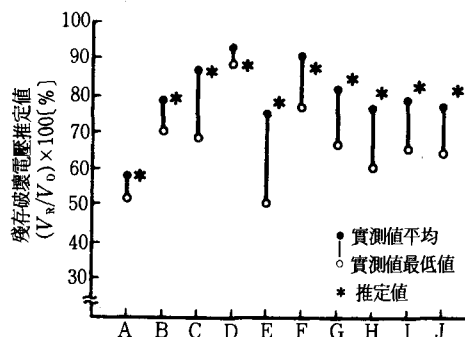
$V_1' = 5 \times 10^{-9}C$ /個의 放電電荷量의 코로나 開始電壓

劣化가 큰 것을 의미하고 있다.

(2) 절연성능은 궁극적으로 절연과괴 전압에 의하여 결정되고 과괴의 장소는 슬롯부와 코일엔드 R部に 나누어진 경우, 대부분 코일엔드 R部에서 과괴되고 있다.

샘플링한 코일의 殘存破壞電壓의 實測平均值와 실측의 최저치 및 그림 1.10의 절연수명곡선(NY Map)으로부터 推定한 값(值)과의 관계를 그림 1.14에 나타내었다. 이 결과에서 그림 1.10 잔존과괴전압 추정치는 實測平均值와 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 발전기의 신뢰성은 平均值가 아니라 最弱點部에서 결정되기 때문에 잔존과괴전압의 최저치를 추정하여 신뢰성운전을 관리할 필요가 있다.

(3) 이 외에 코일의 外觀으로서의 절연층의 팽창, 테스트해머에 의한 打音不良이 체크되고 또 절연층의 超高熱減量 試驗에 의한 레이진량의 측정, 절연층의 적외선흡수 스펙터 측정에 의한 폴리에스터 레이진의 結合基 OH, CH, CO基의 흡수도 명확히 나와 있어 이러한 측정에서는 異常이 나타나지 않았다.



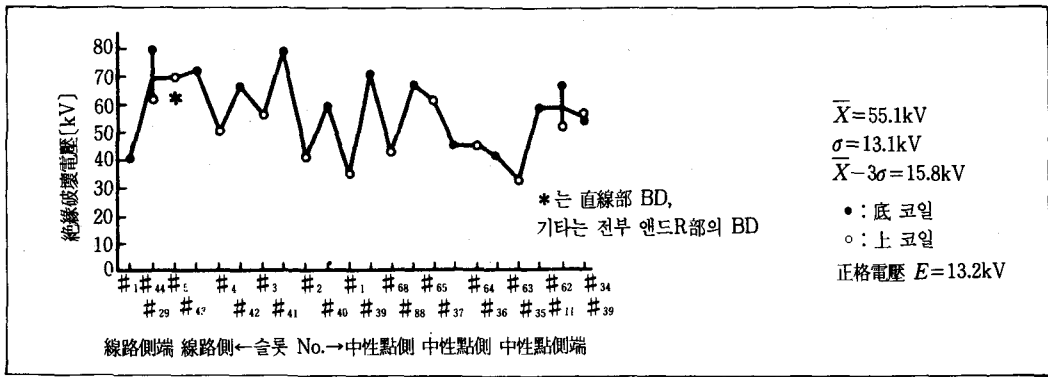
< 그림 1.14 > 殘存破壞電壓의 推定値와 實測値比較

1.1.5 殘存破壞電壓최고치의 壽命推定法

1. 追跡調査結果

(1) A機에 관해서는 그후 全固定子 코일의 絶緣更新을 실시하였다. 그 시점에서의 運轉歷은 운전年數 : 약 23년, 운전시간 : 107,984시간, 始動·停止回數 : 5,211회이었다.

(2) V相에 관하여 線路側으로부터 中性點側까지 並列數 둘 중의 1에 대하여 上底코일 25本(약 1/6



<그림 1.15> 拔取코일(25本)의 殘存破壞電壓

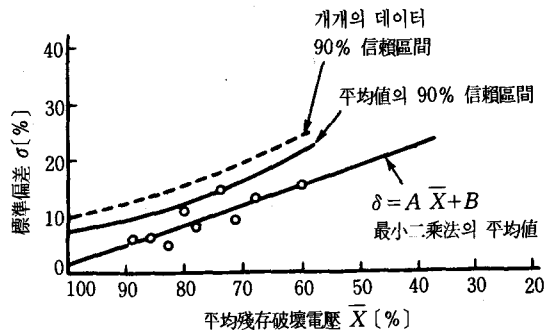
분)을 拔取, 절연파괴전압을 측정하였다. 그 결과를 그림 1.15에 나타내었다.

(a) 절연파괴전압의 흐트러짐이 매우 커 平均 $\bar{X} = 55.1kV$ (新品時의 파괴전압치에 대하여 퍼센트를 표시하면 60%가 된다), 標準偏差 $\sigma = 13.1kV$ (14.3%), 1대분의 최저치추정 $\bar{X} - 3\sigma = 15.8kV$ (17.3%)가 되어 定格電壓 $E = 13.2kV$ 와 同等値가 된다.

(b) 上코일과 底코일의 비교에서 보면 上코일의 절연파괴전압이 낮아지며 이것은 上코일의 電磁力이 큰 것과 움직이기 쉬운 것에 기인한다고 생각할 수 있다.

2. 平均絶縁劣化도와 標準偏差의 관계

일반적으로 절연열화의 정도가 진행되는데 따라서 절연파괴전압의 변동이 커지는 경향이 있다. 實験로부터 샘플링한 코일에 관하여 平均殘存破壞電



<그림 1.16> 平均殘存破壞電壓과 標準偏差의 關係

壓 \bar{X} 과 標準편차 σ 의 관계를 정리한 것을 그림 1.16에 나타내었다. 이것은 개개의 데이터의 最小二乘法에 의한 평균치를 구하고 또 그 평균치의 90% 信賴區間, 각기 데이터의 90% 신뢰구간을 統計的으로 구했다. 劣化하는데 따라서 흐트러짐이 커

빙축열(氷蓄熱) 냉방시스템은

● 신기술

빙축열시스템은 야간에 냉방에너지를 생산, 저장하였다가 이를 주간에 이용함으로써 냉방에 에너지저장 신기술을 도입한 혁신 시스템입니다.

● 고품질

빙축열시스템은 부하중성성이 뛰어나 적정 실내온도의 유지가 쉬우며, 냉동기의 고장시에도 안정된 냉방이 가능함으로써 고품질의 쾌적 냉방이 보장됩니다.

● 경제적

빙축열시스템은 값싼 심야전력을 적용함으로써 기존의 전기 냉방시스템에 비해 전기료 부담을 절반 정도로 줄일 수 있는 매우 경제적인 냉방시스템입니다.

지는 경향에 있는 것을 알 수 있다.

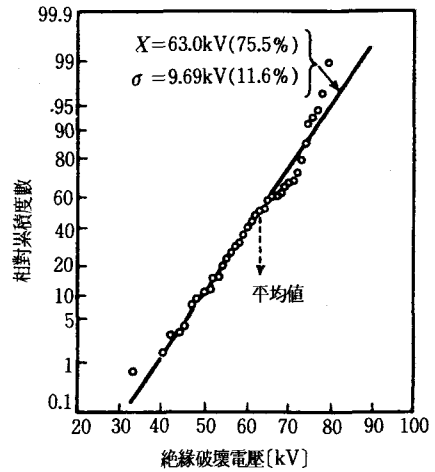
3. 殘存破壞電壓 最低値의 推定

잔존파괴전압치의 분포는 正規分布에 따른다고 생각된다. 일반적으로 최저치의 관리법으로서 JIS 등에 3σ 管理法이 提案되고 있다. 3σ 管理는 全分布의 99.7%를 포함하는 형태가 된다. 이것을 적용하여 잔존파괴전압의 최저치를 $\bar{X} - 3\sigma$ 로 推定한다. 구체적으로는 잔존파괴전압의 평균치 \bar{X} 와 잘 일치하고 있는 것이 확인된 그림 1.10의 절연수명곡선으로부터 평균절연파괴전압과 표준편차의 관계를 나타낸 그림 1.16의 最小二乘法 平均치의 90% 信賴區間을 이용한 표준편차 σ 를 사용하여 $\bar{X} - 3\sigma$ 의 곡선을 구하면 잔존파괴전압의 최저치의 수명곡선이 얻어지며 그 결과를 그림 1.17에 나타내었다.

4. 3σ 管理法의 타당성 檢證

24년간 운전한 어느 發電機에 있어서 固定子코일 絶緣更新을 실시하고 1대분 상당의 全코일 141개에 대하여 절연파괴전압을 측정하였다.

잔존파괴전압의 최저치를 3σ 管理法로 추정하는데 있어서 그 타당성 檢證으로서는 먼저 절연파괴전압의 分布가 正規分布를 하고 있는 것, 또 $\bar{X} - 3\sigma$ 의 값이 발전기 1대분의 全코일의 최저절연파괴전압치에 가까운 것이다.



<그림 1.18> 절연파괴전압의 正規確率紙에의 플롯

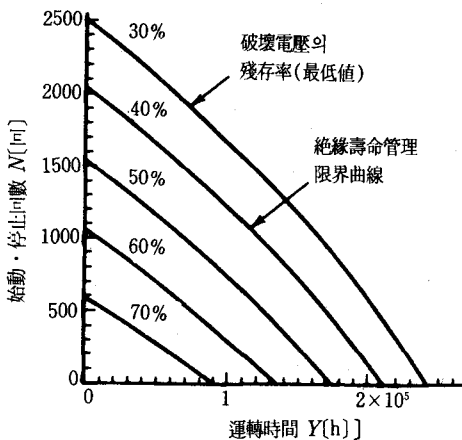
1대분 상당 141개코일의 절연파괴전압을 正規確率紙에 플롯한 것을 그림 1.18에 나타내었다. 이리하여 절연파괴전압의 分布는 대부분 정규분포에 가까운 형태로 되어있다는 것을 알 수 있다.

이번에 시험한 141개의 데이터에서 절연파괴전압의 평균치 $\bar{X} = 63.0\text{kV}$ (75.6%), 標準偏差值 $\sigma = 9.69\text{kV}$ (11.6%), 3σ 管理法에 의한 최저잔존파괴전압치 $\bar{X} - 3\sigma = 33.9\text{kV}$ (40.7%), 實測의 最低殘存破壞電壓值 $V_{\min} = 33.0\text{kV}$ (39.6%)이며, $\bar{X} - 3\sigma$ 의 값과 V_{\min} 의 값이 매우 근사치로 얻어져, 잔존파괴전압의 최저치의 추정법으로서는 3σ 管理法이 타당하다고 생각한다.

또 이 發電機의 코일 絶緣更新法의 운전이력은 始動·停止回數 $N = 482$ 회, 운전시간 $Y = 157.256\text{h}$ 이고 앞에 記述한 그림 1.17의 폴리에스터 絶緣壽命曲線에 대한 것을 보면, 최저잔존파괴전압치는 43% 정도로 추정되어 實測의 V_{\min} 의 약 40%로 거의 일치하고 있다.

1.1.6 絶緣壽命點의 考察

실제 운전에서의 신뢰성은 全固定子코일의 파괴전압최저치에서 결정된다. 잔존파괴전압의 最低値는 3σ 管理法로 관리하는 것이 타당하다는 것을 기술했지만 이 최저치의 값이 初期値의 몇퍼센트로



<그림 1.17> 폴리에스터 絶緣壽命曲線(잔존파괴전압 최저치)

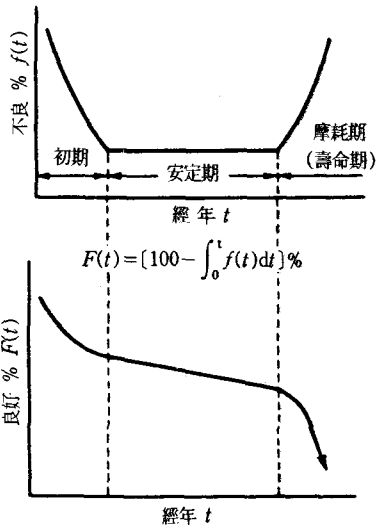
低下한 時點을 壽命으로 생각할 것인가가 문제이다.

절연물의 壽命點 判定基準으로서 IEC(International Electrotechnical Commission)에서는 절연과 과전압에서 初期值의 50% 低下點을 壽命點(End Point)으로 정의하고 있으며 이것은 일반적으로 材料의 劣化가 그림 1.19의 信賴性 배스터브(Bath tub) 曲線에서 보듯이 초기단계에서의 劣化, 安定期段階에서의 劣化를 지나 壽命期(摩耗期) 단계로의 劣化로 진행되는데 初期值의 50% 低下는 壽命期에 들고 이 段階로부터의 劣化進行도는 급속히 진행되어 예측이 어렵다고 하는 고찰에 이르게 된 것이다.

한편, 일본의 電力中央研究所에서는 「發電機捲線 絶緣劣化判定基準 技術研究報告」 No.67001에서 시험전압 相當의 (2E+1)kV 정도의 잔존과과전압을 유지하는 것을 推獎하고 있으며 初期值의 과과전압은 일반적으로 5E 前後의 設計로 되어 있는 경우가 많아 퍼센트 表示로는 약 40% 相當의 과과전압이 된다.

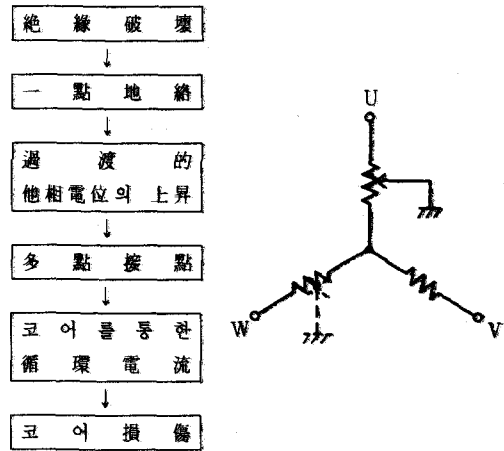
또 發電機가 받은 최대전압으로는 雷서지가 크며 이 값은 發電機 또는 系統의 인피던스에 관계하지만 일반적으로는 2E~2.4E 정도로 생각된다.

이러한 조건을 고려하여 壽命點이 결정되고 있다.



<그림 1.19> 信賴性배스터브 曲線

<표 1.4> 運轉中の 絶緣破壞에 의한 影響



<표 1.5> 運轉事故에 의한 코어損傷結果

No.	損傷程度	事故比率
1	코어의 部分積替 (코일 全數질취)	40%
2	코어의 局部補修	15%
3	코어의 損傷없음	45%
		55%

1.1.7 運轉中에 절연과과사고가 發生할 경우의 損傷

長期間 運轉한 발전기에서 절연과과사고가 發生했을 경우, 一點地絡의 형태가 되는데 이에 따라서 과도적으로 他相의 電位도 상승하고 多點接點의 형태로 發展하고, 코어를 통하여 循環電流가 흘러 코어가 損傷되는 경우를 생각할 수 있다. 그 과정을 표 1.4에 나타내었다.

General Electric社의 C.V.Maughan에 의하면 運轉中の 절연과과사고에 있어서 표 1.4의 케이스에 의하여 코어까지 損傷되는 예가 55%라고 보고되어 있다. 運轉중 事故에 의한 코어損傷結果를 표 1.5에 나타내었다.

코어까지 손상된 경우의 복구공정 및 그 費用은 상당하리라 생각되며 발전기의 固定子코일의 殘餘 壽命을 보다 精度 높은 형태로 함으로써 事故에 이르기 전에 대책을 강구하는 것이 중요하다.