

# 電氣設備의 診斷技術

1

電氣設備을 운전하거나 관리하는 여러분은 設備가 安全한지 어떤지 항상 마음을 쓰게 될 것이다. 특히 電氣設備의 유지·보수분야에서 연구하고 있는 사람들은 設備의 現水準을 인식하고 改善·改良하는데 부단히 노력함과 동시에 혁신적인 방법의 개발과 도입에 대한 의욕을 불태우게 될 것이다.

電氣設備을 장기간 안전하게 사용하는 것은 어느 時代에서나 바람직한 일이지만 최근 그런 傾向이 강해져, 과거에 시험했던 事後保全을 넘어서 豫知保全의 要望이 점차 높아가고 있다고 한다. 한편 技術的 측면에서는 電氣設備의 經年劣化現象에 대한 이해도 깊어져, 새로운 센서技術이나 데이터를 수집·분석·표시하는 컴퓨터技術을 계속 導入할 뿐만 아니라 엑스퍼트시스템이나 人工知能 등 來의 新技術開發도 豫見하게 되었다.

이와 같은 사회적 필요성과 그에 대응하는 技術向上의 勢를 감안하여 電氣設備의 豫知保全을 목표로 第一線의 門家로 하여금 最新의 診斷技術에 관한 근본적 고찰과 그 응용기술을 해설케 하여 전기기술자 여러분에게 제공, 활용토록 하기 위하여 일본 社団法人 電氣學會에서 출판한 “電氣設備의 診斷技術”이라는 題號의 책자를 당협회에서 번역·발간하여 이번 호부터 그 내용을 연재하기로 한다.

## 豫知保全의 展開

### 1. 序 言

高度成長 時代에서 低成長으로의 移行을 맞고 있는 오늘날, 電力需要도 급속한 증가시대에서 안정성장시대로 이동하고 있다. 이러한 시기에 있어서는 電力設備을 갱신하는 빈도가 저하하기 때문에 현재 稼動하고 있는 電氣設備의 장기간에 걸친 活한 運用과 신뢰성 확보가 매우 중요한 문제가 되고 있다.

이와 같은 사회적 요청에 따라 電氣設備의 유지·보수의 合理化를 도모하고 안전성 확보와 함께 사고를 미연에 방지하기 위하여 전기설비를 분해하는 일없이 異常의 徵候를 진단하고 이것을 감시하기 위한 技術이 종래보다 더욱 중요한 과제가 되고 있다.

이와 같은 사회적 요청을 충족시키기 위해서는 많은 技術開發이 필요하게 된다. 우선 金屬材料나 絕緣材料, 機器 등에 있어서 完成 당시에 보유하고 있는 性能과 經年的 劣化나 劣化의 診斷에 대한 검토가 요구된다.

이를 위해서는 劣化의 원인이 되는 여러 가지 要因에 대하여 해석해 볼 필요가 있다. 이 분야에 있어서 앞으로는 人工知能이나 엑스퍼트시스템의 적용이 확대될 것으로 크게 기대되고 있다. 이 시스텝에 의하여 정확한 진단을 하기 위해서는 충실한 데이터 베이스가 특히 중요하며 또한 진단방법 등에 있어서도 장차 연구의 진전이 기대되고 있다.

더욱이 電氣設備과 機器에 있어서 사용기간중의 性能 保證을 위하여 機器·設備의 완성직후 및 운

전전에서 실시하는 시험의 의의, 시험방법과 신뢰성과의 관련 등에 대해서도 검토할 필요가 있다.

電氣設備나 機器에 대한 진단의 신뢰성을 향상시키기 위해 많은 신기술개발이 진행되고 있다. 전기설비를 진단하는 경우 각종 異常의 징후가 되는 現象을 檢出하기 위한 센서기술이 필요하게 되지만 최근에는 技術進歩에 따라 복잡한 물리적 및 화학적인 각종 현상의 검출이 가능해지고 있다.

특히 최근에는 情報處理나 運送技術의 발전으로 센서에 의해 얻어지는 대량의 정보를 전송 또는 처리하는 시스템이 가능하게 됨으로써 電氣機器나 設備를 효과적으로 진단하고 감시할 수 있게 되었다.

監視方法으로는 오프라인(Off-line)으로 실시하는 방법 이외에 온라인(On-line)으로 감시하는 방법도 실용화되고 있으며 아울러 材料나 設備의 殘餘壽命을 추정하기 위한 기술도 개발되고 있다.

이에 따라서 機器 設備의 운전에 대한 장래도 예측할 수 있게 되었다. 이와 같이 電氣設備의 診斷技術은 최근에 강력한 사회적 요청과 이에 부응하기 위한 활발한 技術開發이 이루어지고 있어今後 발전이 크게 기대되고 있다.

## 2. 電力設備의 최근의 특징

電氣設備 특히 電力設備는 이른바 高度經濟成長期에 있어서는 연간 12~14% 정도의 伸張을 나타내고 있으나 1973년 이후의 석유험기를 계기로 하여 최근에는 低成長經濟의 전환과 더불어 그 伸張率은 數% 정도로 낮아져 있다.

電源設備로는 1987년 3월말 기준 電氣事業用 發電設備는 173,957MW였으며 내용을 보면 水力 20.5%, 火力 64.6%, 原子力 14.9%로 되어 있다.

1965년 이래 본격적으로 개발되어온 原子力은 電源開發의 다양화의 요청으로 인하여 開發에 박차를 가하고 있으며 이 경향은 앞으로 더욱더 번성할 것으로 생각된다.

火力發電에 있어서는 既設設備의 정비와 新技術의 개발이 진행되는 것과 아울러 DSS運轉(Daily Start Stop) 등 효율향상 기술이 필요하게 되었고 이것에 대응하는 技術開發이 또한 요청되었다.

運送設備에 있어서는 大容量化의 경향이 있으며 500kV 송전선의 비율은 下位系統과 비교해 볼 때 높은 伸張을 나타내고 있다. 또한 UHV 송전의 실현을 지향하는 많은 技術開發도 추진되고 있으며 대도시의 내부 및 주변에 대하여는 電力需要의 증가에 대처하고, 특히 동시의 環境條件을 만족시키기 위하여 大容量 送電에서 차지하는 地中送電設備의 비율이 증가하고 있다.

또 需用家에 직결되는 配電系統에 대해서도 電力供給의 신뢰성 향상을 목표로 한 技術開發이 진행되고 있다.

최근 變電技術에 있어서 현저한 특징이라고 할 수 있는 가스絶緣開閉裝置(Gas Insulated Switchgear; GIS)는 1965년 경부터 72kV, 84kV 급이 개발된 이래 단기간에 걸쳐 급격한 발전이 이루어졌다.

이 방식에 의하면 중대형 變電所에 비하여 소용적을 현저하게 축소할 수 있게 되었으며 또한 SF<sub>6</sub> 가스의 우수한 絶緣性能과 消弧性能을 이용하여 변전소를 密閉構造로 함으로써 신뢰성과 안전성의 향상을 도모하고 있다.

더욱이 메인テナンス 프리(Maintenance Free)의 특징을 살려 유지·보수의 省力化를 실현할 수 있게 될 경우 변전소의 要求性能을 충족시킬 수 있으므로 장래 변전소의 主流로 생각되고 있다.

최근에는 新設變電所의 半數 이상이 이러한 방식의 變電所이며, 장래 UHV 변전소에는 전면적으로 GIS변전소가 채용될 기회를 맞이하고 있다.

GIS변전소의 신뢰성은 매우 높으며 또한 外部診斷 등 변전설비의 유지·보수의 合理化가 도모되고 있으나 이 경향은 국가가 협소하고 대도시에서의 防災面에 대한 배려 등의 엄격한 사회환경조건에 적응하는 기술로서 가일층의 기술개발이 기대되고 있다.

### 3. 電力設備에 있어서의 維持・補修技術

電力設備에 대한 유지·보수는 電氣事業法에서 가장 중요한 사항으로 각 電力會社에서는 維持・補修基準를 제정하여 안전을 기하고 있다. 유지·보수 및 점검의 목적은 機器性能의 유지, 확인 및 회복을 도모함과 아울러 不良箇所의 조기발견과 이것에 의한 障害發生을未然에 防止하는데 있다.

整備는 外部點檢과 監視가 주류를 이루고 있으나 앞으로는 機器와 設備의 自動監視나 센서技術의 진보에 따라서 機器의 내부 상황과 機器 및 設備 異常의 前驅現象을 정확하게 파악하여 유지·보수의 합리화를 도모하는 것이 필요하다고 생각된다.

點檢에서는 외부로부터의 巡察이나 計量機器 등에 의해서 異常의 有無를 알 수 있는 巡視點檢, 정기적으로 機器裝置의 異常有無를 조사하는 普通點檢, 비교적 장시간 運轉을 정지하고 분해, 보수, 부품의 교환, 내부진단 등을 실시하는 細密點檢, 그리고 機器, 설비의 고장시 또는 異常이 확인되었을 경우에 실시하는 臨時點檢 등이 있다.

최근에는 기기의 설계나 제작에 있어서의 신뢰성 향상과 정비면에서의 기술적 진보나 효율화, 간소화 등을 고려하여 유지·보수 및 점검 기준의 재검토가 擡起되고 있다.

본래 정비의 목적은 사고가 발생된 후에 대응하는 事後保全을 주제로 하여 시행되고 있었으나 기기 및 설비의 異常徵候나 앞으로 기기, 설비에 발생할 수 있는 事態를 미리 예측하여 필요한 정비 방법을 검토하고 이것을 실시하는 豫知保全(Predictive Maintenance)의 기본 개념을 도입하게 되었다.

이와 같은 최근의 整備技術에 대한 기본 방향에 대응하기 위하여 전기설비의 진단기술이 갖는 중요성은 종래보다 더 指摘되고 있는 바, 이에 대처하기 위해서 전기설비의 진단기술에 관한 새로운 기술개발이 진행되고 있으며 그 성과에 대해서도 많이 발표되고 있다.

본서에서는 이와 같은 관점에서 추진되고 있는 각종 技術開發이나 研究의 成果가 많이 실려 있으며 아울러 이에 대한 연구성과에 기대하는 면도 있어 전기설비의 진단기술이 한층 더 발전될 것으로 기대하고 있다.

### 4. 電氣設備에 있어서의 診斷技術

본서에서는 電氣設備의 診斷技術에 관한 구체적인 응용으로서 발전설비, 변전설비, 지중전선로, 가공전선로 및 산업용 전동기를 들어 구체적인 診斷手法에 대해서 최근의 技術開發 成果를 기록하였다.

大型回轉機에는 전기적 특성, 열적 특성 및 기계적 특성면에서 현격하게 우수한 合成레진이 이용되고 있으나 機器의 冷熱사이클을 빈번히 되풀이 하는 최근의 대용량기에 있어서는 스트레스의 복합작용에 의하여 絕緣變化와 絕緣壽命이 결정된다. 이러한 점을 고려하여 劣化의 메커니즘을 해석하고 실제 기기에 대하여 劣化데이터를 集積함과 동시에 이것으로서 수명을 추정하는 手法을 검토한 것이다.

이와 같은 手法에 관해서는 금후 특별히 데이터의 수집을 꾀함으로써 추정의 신뢰도를 향상시켜 나가는 것이 중요하다.

變電設備는 電力系統에 있어서의 중요한 구성요소로서 전력에너지의 안정공급을 위한 역할은 매우 크며 특히 基幹系統에 있어서는 높은 신뢰도를 갖고 오랜 세월의 運轉期間에 걸쳐 변전설비를 유지할 필요가 있다.

앞에서도 기술한 바와 같이 變電技術에 관한 기술진보의 결과와 變電用 機器의 신뢰성은 더욱 더 향상되고 있으며, 이 결과 설치된 機器 및 設備를 종래 시행하던 바와 같이 現地에서 分解 點檢하여 유지·보수하는 것이 반드시 바람직한 것이라고는 말할 수 없다. 이를 위하여 각종 變電用 機器에 대해서는 劣化現象과 각각의 機器에 가장 적합한 診斷技術의 개발이 필요하게 된다.

變壓器 등의 油入機器에 있어서는 절연유 중의 過熱, 油浸固體絶緣物の 過熱, 절연유 중의 放電, 油浸固體絶緣物 등의 異常에 의하여 발생하는 주된 가스成分의 量을 분석함으로써 異常을 판정하는 소위 가스分析이 널리 이용되고 있다.

解析方法으로서는 成分가스의 패턴과 組成化, 異常의 특징인 特定가스에 착안하는 방법 등이 있다. 이와 같은 가스分析은 오프라인과 더불어 온라인으로 실시하여 採油, 分析 및 診斷을 자동화하기 위한 방법도 실용화되어 있고 이로 인하여 가일층 診斷의 신속화가 이루어질 것으로 생각되고 있다.

變壓器 내부에서의 部分放電을 전기적, 음향적으로 검출함으로써 油中 코로나를 측정하는 방법은 油中가스分析으로는 곤란한 급격한 절연성능의 劣化에 대한 診斷이 가능하기 때문에 耐雜音性を 높이는 방법을 개발함으로써 신뢰할 수 있는 診斷法이 될 것이다.

이 때문에 이 手法는 가스分析과 함께 이용되고 있으며 이것에 의하여 變壓器劣化의 정도를 판정할 수 있을 것으로 생각된다.

가스絶緣開閉裝置는 본래 無整備·無點檢을 지향한 機器이지만 만일 내부사고가 발생하였을 경우 從來의 機器와 비교하면 교체하는데 많은 시간이 소요되는 결점이 있다. 따라서 金屬機器에 의해 밀폐되어 있는 개폐장치내부의 機器가 충분한 기능을 유지하고 있는지의 확인과 내부의 異常徵候의 조기발견이나 고장개소의 확인이 필요한데 이를 위하여 外部診斷 技術의 개발적용이 특히 필요하게 된다.

이와 같은 필요성 때문에 技術開發이 활발하게 진행되고 있으며 성과도 수없이 발표되고 있다. 구체적인 診斷法으로서는 여러가지 방법이 있으나 이들 중에서 몇가지를 조합함으로써 종합적인 診斷을 實現하는 것이 가능하게 되었다.

送變電線路의 사고를 미연에 방지하기 위하여 종래부터 巡視點檢을 실시하고 있으나 送電電壓의 초고압화나 設備의 다양화로 인하여 그 실시는 이

전에 비하여 어렵게 되었다. 이를 위하여 事故를 미연에 방지하기 위한 診斷技術이 필요하게 되었고 여러가지 면에서 技術開發이 진행되고 있다.

地中送電線路에 있어서는 각종 케이블劣化에 대한 해석과 그 진단, 감시기술 등의 주요한 항목이 되고 있으며 한편 管路氣中 送電線에 있어서는 音響센서에 이용된 導電性 粒子의 검출이나 가스分析 등에 의한 劣化診斷法이 개발되어 실시되고 있다.

架空送電線路에 있어서는 전선의 손상, 단선 및 고장점의 검출, 절연 특성이 불량해진 碍子の 診斷 등이 중요하며 이것을 검출, 진단하기 위한 많은 手法가 개발되고 있다.

産業用 電動機는 機動도 많고 사용되는 환경도 가지 각색이어서 劣化特性이 다양한 것이 특징이다. 劣化의 診斷이나 自動監視시스템을 목적으로 하는 수많은 기술이 개발되어 있으며 금후의 발전이 크게 기대되고 있다.

## 5. 앞으로의 展望

電力에너지의 安定供給과 특히 장기간 가동하고 있는 설비의 원활한 운용 및 신뢰성의 확보가 중요한 시대적 과제로 되어 있는 오늘날 電氣設備의 診斷技術은 豫知保全의 관점에서 증전보다 더욱 그 필요성이 지적되고 있으며 이를 위하여 技術開發이 활발히 추진되고 있다.

이를 위해서는 異常의 徵候가 되는 다종다양한 物理 및 化學現象을 검출하기 위한 센서의 개발, 검출된 정보의 처리, 온라인으로의 데이터 검출, 처리포시 등의 기술과 自動監視方式의 개발 등이 특히 필요하게 되었다.

장래는 검출된 데이터 베이스의 充實함이나 機器 및 設備 診斷을 위한 엑스퍼트 시스템, 人工知能의 응용과 이들의 適用확대를 위한 개발이 크게 기대되고 있다.

본서의 간행을 계기로 하여 이 분야에 있어서 가일층의 진보와 발전을 간절히 바라마지 않는다.

# 第 I 編 基 礎

## 第 1 章 基礎健全성과 檢査 및 試驗技術

### 1.1 基礎試驗과 設計裕度(絶緣性能)

初期試驗은 電氣設備의 성능을 확인하기 위하여 사용전에 실시하는 시험으로 일반적으로는 商用試驗으로 알려져 있다. 이 基礎試驗에서는 전기설비가 필요한 機能을 갖고 있는지와 장시간에 걸친 운전전에 견디어 낼 수 있는지를 檢證한다. 초기시험에서는 각종 기능에 대하여 檢證이 실시되지만 여기서는 絶緣性能에 있어서 초기시험의 기본개념, 절연설계, 실제 전기설비의 성능 등에 관해서 기술한다.

電氣設備의 絶緣性を 검증하는 시험은 다음과 같이 絶緣特性試驗과 絶緣耐力試驗으로 크게 나눌 수 있다.

- (1) 절연특성시험
  - i) 직류절연 특성시험
  - ii) 誘電正接시험

- iii) 교류전류시험
- iv) 부분방전시험

#### (2) 절연내력시험

- i) 교류전압시험(상용주파전압시험)
- ii) 雷 임펄스시험
- iii) 개폐 임펄스시험
- iv) 직류전압시험

絶緣特性試驗은 제작과정에서는 설비의 절연에 대한 품질관리를, 운전중에는 이물 절연의 유지·보수관리를 위한 것이다. 보통 絶緣耐力試驗의 목적은 商用周波電壓, 雷 임펄스電壓, 開閉 임펄스電壓 등의 전압에 대하여 설비가 지정된 것 이상의 絶緣強度를 갖고 있는가를 검증하는 것이다.

電氣設備에 요구되는 성능에 대응하여 상기의 항목시험에 초기시험으로서 실시되고 있다.

#### 1.1.1 回轉機(Rotating Machine)

回轉機捲線에 대해서는 표 1.1 과 같은 시험전압을 원칙으로 하는 商用周波耐電壓試驗이 실시된다. 試驗電壓의 印加時間은 1분간으로서 시험전압의

〈표 1.1〉 回轉機捲線의 商用周波耐電壓 試驗電壓

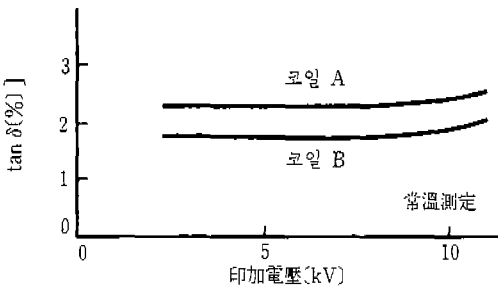
項	回轉機 및 捲線의 區別	試驗電壓(實效值)
1	정격 1kW 또는 1kVA 미만의 回轉機捲線(다만, 4項 해당의 것은 제외)	500V+2E (최저 1000V)
2	정격 10,000kW 또는 10,000kVA 미만의 回轉機捲線(다만, 4項 해당의 것은 제외)	100V+2E (최저 1500V)
3	정격 10,000kW 또는 10,000kVA 이상의 回轉機捲線(다만, 4項 해당의 것을 제외) (가) $E \leq 2000V$ (나) $2000V < E \leq 6000V$ (다) $E > 6000V$	1000V+2E 2.5E 3000V+2E
4	勵磁機의 捲線 (가) 동기전동기(유도 동기전동기를 포함)의 여자기로 시동중 接地 또는 界磁捲線으로 부터 잘려나가는 것 (나) 他勵界磁捲線 (다) 上記 이외	1000V+2E (최저 1500V) 1000V+2E (최저 1500V) 전기적으로 접속되는 主機의 界磁捲線의 시험전압

[備考] 1단자를 공동으로 갖는 2相捲線에서 試驗電壓산정의 기준으로 하는 定格電壓 E는 각 分割相의 전압의 1.4배로 함.

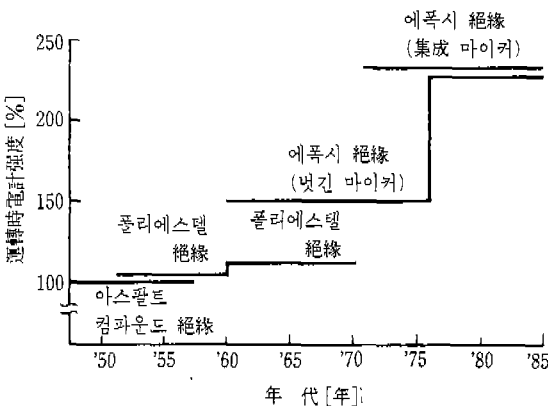
값과 回轉機捲線의 절연물에 관한 劣化特性이나 계통전압 상승에 따른 관련사항 등은 명확하게 되어 있지 않다.

이것은 捲線絶緣의 수명이 熱, 機械力, 電界 등의 복잡한 영향에 의해서 정해지기 때문에 일률적으로 초기내전압성능과 관련 짓는 것은 곤란하다. 그러나 이와 같은 耐電壓 試驗에 합격하는 것은 필요한 수명성능을 갖고 있었다는 종래의 實績이 뒷받침해주기 때문이다. 捲線絶緣의 장기적인 수명성능은 특히 샘플코일 등에 있어서 熱劣化 또는 課電劣化에 의한 劣化特性이나 기계적인 強度特性 등을 특정하고 이미 오랜 시간 사용실적이 있는 종래의 권선절연에 대한 이들의 諸特性과 상대적인 비교에 따라 종합적으로 판단하고 있다.

誘電正接-電壓特性이나 部分放電特性 등의 절연특성이 장기수명을 갖는 것으로 판정된 샘플코일과 같다는 確認도, 초기시험에서의 수명성능에



〈그림 1.1〉 회전기코일의 誘電正接-電壓特性의 一例



〈그림 1.2〉 回轉機捲線 운전시의 電界強度의 變遷

〈표 1.2〉 回轉機 코일의 對地間 破壞電壓 參考值[kV]

定格電壓(E)	(a) 商用周波電壓 (단기과파시험)	(a) 商用周波電壓 (단계과파시험)	(c) 衝擊電壓
6.6	33	26	58
11	50	40	89
13.2	59	47	104
13.8	62	49	108
15.4	68	54	120
16.5	72	58	128
18	78	63	138
20	86	69	152

[註] 出力이 10,000kVA(또는 10,000kW) 이상으로 定格電壓이 6kV이상인 水車發電機의 固定子 코일의 경우

대한 검증의 하나로 생각되고 있다.

그림 1.1에 誘電正接-電壓特性의 한 예를 나타내는데 일반적으로 전압을 상승시키면 誘電正接은 어느 전압까지는 일정하지만 그 이상에서는 점차적으로 커진다는 성질을 표시한다.

그림 1.1에서도 알 수 있듯이 이와 같은 특성은 절연의 구성에 따라 차이가 나기 때문에 일률적으로 기준치를 정하지 않고 개개의 絶緣構成에 대한 實績値를 확인하여 이 特性値가 適正한 범위내에 들어가게 함으로써 健全性의 검증이 되는 것이다.

回轉機코일의 交流破壞電壓에 대한 참고치를 표 1.2에 나타내었다. 이것은 耐電壓 試驗電壓値(2E+3kV)의 2배 값이지만 권선의 절연과파전압의 年次低下率을 2%로 가정하면 25년 사용한 권선에 있어서도 耐電壓 試驗電壓 이상의 절연과파값을 갖는 것에 해당된다. 권선절연은 각종 사용조건을 고려하여 결정되는 것으로 반드시 耐電壓性만으로 결정되는 것은 아니지만 交流破壞電壓은 대략 참고치를 만족시키는 수준에 있다.

捲線絶緣의 耐電壓 特性이나 기타 종합적인 특성이 향상된 결과 회전기권선의 운전시 電界強度는 예를 들면 그림 1.2와 같이 신뢰성이 손상되는 일이 없이 크게 높아지고 있다.

### 1.1.2 變壓器(Transformer)

變壓器에서는 초기시험에서 표 1.3에 나타난 예

와 같은 전압으로 雷임펄스 耐電壓試驗, 交流耐電壓 試驗이 실시되며 500kV 변압기에서는 특히 개폐임펄스 내전압 시험이나 장기간 교류내전압시험이 행하여진다.

변압기의 시험전압은 계통의 운전전압과 아울러 계통에서 발생하는 過電壓, 그리고 이에 대한 保護裝置의 특성을 고려하여 결정하게 된다. 교류시험 전압은 사고시 전압상승의 2배 값을 채용하고 있다. 事故時 전압상승은 非有效 接地系에서는 선간전압, 有效接地系에서는 常規對地電壓의 1.4배, 500kV 계통에서는 상규대지전압의 1.25배로 되어 있다.

따라서 公稱電壓에 대한 교류시험전압의 비는 500kV 계통에서 가장 적게 되어 있으며 500kV 변압기에는 교류시험 전압을 낮게 한 대신에 표 1.4와 같이 장기간 耐電壓 試驗을 사용하고 있다.

이것은 절연에 손상을 주지 않을 전압을 장시간

<표 1.4> 長時間 交流耐電壓試驗의 試驗電壓과 試驗時間

구분	公稱電壓 500kV 變壓器
試驗電壓	475kV* <sup>1</sup> —635kV* <sup>2</sup> —475kV
試驗時間	1시간—5분—1시간

[註] \*1  $1.5U_m/\sqrt{3}$ 에 상당(다만  $U_m$ 는 最高回路電壓)

\*2  $2U_m/\sqrt{3}$ 에 상당(다만  $U_m$ 는 最高回路電壓)

印加하여 인가시간중에 부분 방전이 발생하지 않는 것을 갖고 變壓器의 長期運轉 壽命을 검증하고자 하는 것이다. 이 시험방법에 대한 효용은 현재 널리 인정되고 있으며 500kV급 보다 낮은 단계의 변압기에 있어서도 신뢰성 시험으로서 실시되고 있다. 또한 UHV 변압기에서는 최근 명확하게 된 油浸絶緣의 V-t 특성에 의하여 장시간 耐電壓試驗電壓値를 장기운전 수명과 보다 더 합리적으로 관련시켜 결정하고자 하는 노력이 시도되고 있다.

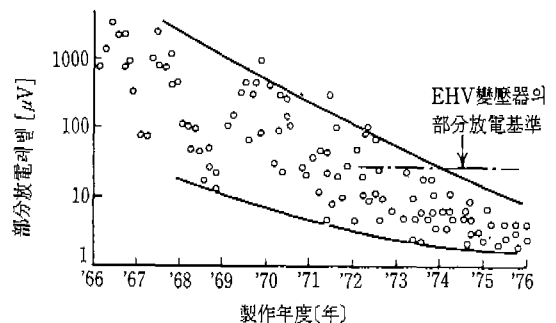
雷임펄스 耐電壓試驗이나 開閉임펄스 耐電壓試驗은 系統에 발생하는 과도적 過電壓에 대하여 변압기가 견딜 수 있는 것을 等價波形的 電壓에서 검증하는 시험이다. 후자는 500kV 변압기에서 교류시험 전압을 낮게 한 대신에 채택된 것이다.

실제의 변압기에서는 그림 1.3에 표시된 예와 같이 絶緣技術의 진보와 더불어 部分放電 특성이 향상되고 있다. 그림에서 현재로서는 초기시험 레벨에 대하여 충분한 여유를 갖는 것으로 되어 있음을 알 수 있다. 또 실제 변압기의 絶緣破壞 強度는 대략 交流試驗電壓보다 수10% 높은 값이라는 것이 보고되어 있다.

<표 1.3> 變壓器의 試驗電壓의 例

公稱電壓 [kV]	絶緣階級 [號]	雷임펄스 試驗電壓 [kV]		開閉임펄스 試驗電壓 [kW]	交流試驗 電壓 [kV]	長 時 間 交流試驗 電壓[kV]
		全 波	截斷波			
3.3	3A	45	50	—	16	—
	3B	30	—	—	10	—
6.6	6A	60	65	—	22	—
	6B	45	—	—	16	—
11	10A	90	100	—	28	—
	10B	75	—	—	28	—
22	20A	150	165	—	50	—
	20B	125	—	—	50	—
33	30A	200	220	—	70	—
	30B	170	—	—	70	—
66	60	350	385	—	140	—
	70	400	440	—	160	—
110	100	550	605	—	232	—
	140	750	825	—	325	—
187	140	750	825	—	325	—
	220	900	990	—	395	—
275	200	1050	1155	—	460	—
	500L	1550	1705	1175	750	475

[註] 임펄스電壓試驗에 견디는 設計의 油入變壓器에 대하여 표시함.



<그림 1.3> 110kV 이상 變壓器의 部分放電 레벨의 變遷

### 1.1.3 가스絕緣開閉裝置

주요 機器를 6弗素硫黃(SF<sub>6</sub>) 가스로 절연한 가스절연 개폐장치에서는 초기시험으로서 표 1.5에 표시한 바와 같은 項目의 시험이 공장시험으로 실시되고 있다. 시험시의 가스壓은 일반적으로 最低保證 가스壓이지만 零氣壓 耐電壓試驗만은 가스漏洩을 예상하여 零氣壓에서 실시되고 있다. 시험전압, 시험기간은 일반적으로 변압기의 경우에 준한 값이 선정되고 있다.

部分放電 試驗은 표 1.6과 같이 상용주파 장시간 시험전압으로 실시하여 스페이서 등의 절연물 결합이나 장치내에 異物의 혼입이 없음을 체크하고 장치간의 사용에 견디는 것을 검증하고 있다.

스페이스서 部分은 절연물과 SF<sub>6</sub> 가스의 複合구성

〈표 1.5〉 가스絕緣開閉裝置의 工場試驗

區分 試驗項目	形式 試驗* <sup>1</sup>		受人 試驗* <sup>2</sup>	
	66~275kV	500kV	66~275kV	500kV
(1) 商用周波耐電壓시험	○	○	○	○
(2) 部分放電시험	○	○	○	○
(3) 雷임펄스 耐電壓 시험	○	○	-	-
(4) 閉閉임펄스 耐電壓 시험	-	○	-	-
(5) 長時間耐電壓시험	○	○	-	-
(6) 直流耐電壓시험	(○)* <sup>3</sup>	-	-	-
(7) 零氣壓耐電壓시험	○	○	-	-

[註] \*1 最低保證 가스壓 내에서 실시  
\*2 定格 가스壓으로 실시  
\*3 일부 실시

〈표 1.6〉 가스絕緣開閉裝置의 部分방전시험조건

電壓(kV)	試驗條件	判定條件
(1) 66~275	1.3~1.5E	放電電荷量 100pC 이하
(2) 500		100pC 이하

〈표 1.7〉 가스絕緣스페이스의 耐電壓 特性例

製造業者	A	B	C	D	
스페이스의 타입	큰 形	큰 形	圓板形	柱狀形	
크 기	시즈內經[mm]	-	-	800	700
	導體外經[mm]	-	-	230	230
가스壓力[kg/cm <sup>2</sup> -ab]	3.7	3.3	3.5	3.5	
耐電壓值	임펄스[kV]	>2340	>2160	>1860	>2340
	交 流[kV]	>340	>925	>630	>1000

[註] 500kV 스페이서에 대하여 표시

으로 되어 있기 때문에 장치의 절연성능을 결정짓는 하나의 부분이다.

雷임펄스 試驗電壓 印加時的 도체표면의 設計電界強度는 가스壓力에 따라 달라지지만 3.5kgf/cm<sup>2</sup>-ab에서 11~15kV/mm 정도이며 이 가스압력에서의 沿面플래시오버(閃絡)에 대한 電界強度는 거의 70% 이하의 값이 채용되고 있다. 또 耐電壓 특성도 표 1.7의 試驗例와 같이 雷 임펄스전압, 교류전압도 시험전압의 1.3배 이상의 耐電壓性을 갖고 있는 것으로 보고되어 있다.

### 1.1.4 콘덴서(Capacitor ; Electrostatic Capacitor)

電力用 콘덴서는 力率改善用, 調相用 등을 목적으로 線路에 병렬로 삽입하는 竝列콘덴서와 系統安定度를 향상시킬 목적으로 線路에 직렬로 삽입되는 直列콘덴서로 크게 분류된다.

콘덴서가 받는 過電壓은 콘덴서 개폐시의 과전압, 전원전압의 상승 등에 의한 비교적 장시간의 과전압 그리고 雷서지전압 등이다. 콘덴서는 이들의 모든 過電壓에 대하여 견딜 수 있도록 설계되어 있다.

콘덴서 端子間의 최대 과전압은 竝列콘덴서에서는 콘덴서 投入時的 突入電流에 의한 高周波 過電壓으로서 이 값은 콘덴서 使用電壓의 2배 이하이다. 따라서 교류전압 시험에는 정격전압의 2배의 전압이 콘덴서의 단자간에 1분간 인가된다.

直列 콘덴서에서는 實系統 정격전압의 2.5배 전후의 過電壓이 단자간에 관측됨으로써 이 倍數電



壓에 의한 交流 耐電壓試驗이 실시되고 있다.

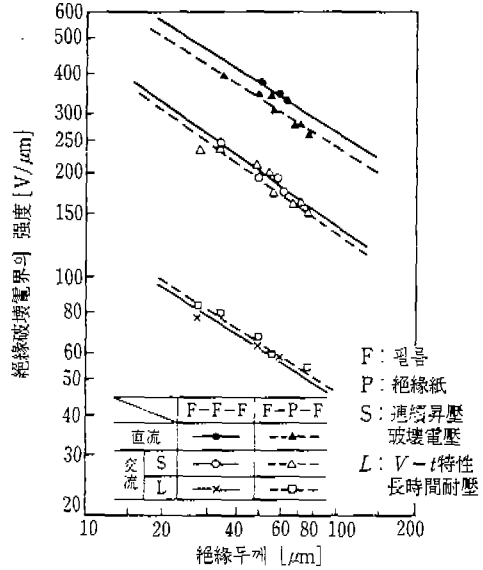
임펄스 電壓에 대해서는 단자간의 임피던스가 매우 작기 때문에 단자간에는 높은 전압이 발생되지 않는다. 따라서 임펄스耐電壓試驗은 단자간에는 실시되지 않는다.

단자와 外函間的 對地絶緣에 대해서는 다른 전기기와 마찬가지로 콘덴서의 절연단계에 따라서 교류와 雷임펄스의 전압에 의한 시험이 실시되고 있다. 部分放電 시험은 油浸絶緣 절연과피의 前驅現象을 받아들여 장기수명을 보증하는 시험의 하나로서 常時使用時의 電界強度가 높은 콘덴서에 대해서도 도입중에 있다.

콘덴서의 部分放電試驗의 規格으로서 ICE Pub.143 등이 있다. 전력용 콘덴서에서는 사용중에 과도적으로 정격전압의 2배까지의 전압이 가해지며 더욱이 초기시험에 있어서도 정격전압의 2배의 전압에 印加되는데 일반적으로 정격전압 인가시에 콘덴서素子에 걸리는 電壓을  $V-t$ 특성 장시간 耐壓值의 반 이하로 선정하는 絶緣設計가 실시되고 있다.  $V-t$ 특성 장시간 耐壓值, 絶緣破壞值의 예를 들면 그림 1.4와 같다.

### 1.1.5 케이블(Cable)

케이블에서는 雷임펄스 耐電壓試驗, 交流耐電壓試驗, 部分放電試驗 등이 초기시험으로 실시되고



〈그림 1.4〉 알킬 나프탈린 용액紙 필름콘덴서의 絶緣破壞電壓의 強度의 絶緣두께와의 關係

〈표 1.8〉 架橋폴리에틸렌(CV) OF케이블 絶緣두께 및 初期試驗電壓의 例

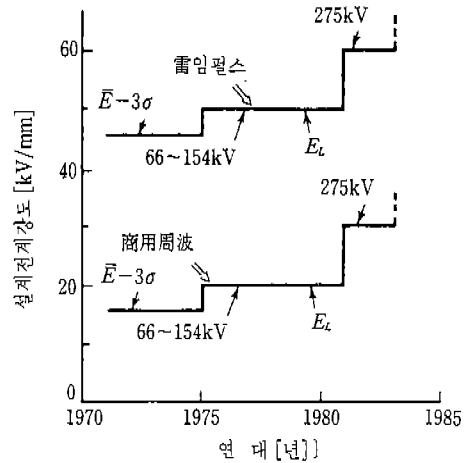
公稱電壓[kV]		3.3	6.6	22	33	66	77	110	154	220	275	500	
絶緣두께 [mm]	OF					7.0 ~8.0	8.0 ~9.5	10.0 ~11.0	12.5 ~14.0	18.0	16.5 ~19.5	25.0 ~33.0	
	CV	2.5 ~4.5	4.0 ~5.0	6.0 ~7.0	6.0 ~7.0	9.0 ~11.0	11.0 ~13.0	17.0	23.0	23.0	27	32.0	
BIL[kV]		45	60	150	200	350	400	550	750	900	1050	1550	
開閉서지波高值[kV]				62	93	186	217	310	434	527	658	1175	
프 레 임 試 驗	AC耐壓[kV] 10分間	OF				90	110	140	200	240	280	420	
		CV	9	17	44	63	97	113	165	225	245	310	510
	部分放電[kV] 第1스탑 第2스탑	OF					-	-	-	-	-	-	-
		CV		6.9 ~9.6	17~33	26~49	52~97	61 ~115	87 ~155	120 ~225	175 ~245	220 ~315	400 ~510
試 料 試 驗	雷임펄스 耐壓[kV]3回	OF				420	480	660	900	1080	1260	1880	
		CV	70	95	240	320	535	610	835	1135	1365	1590	2260
	AC長時間耐壓[kV] CV 1hr OF 3hr	OF					130	150	210	300	360	420	600
		CV	25	35	80	110	195	225	325	400	490	805	1090

[註] BIL: 系統에서 보야 機器設備에 요구되는 絶緣의 세기 中 標準 雷임펄스에 대한 값 Basic Impulse Level의 略

<표 1.9> 架橋폴리에틸렌 케이블의 耐電壓試驗電壓의 例

<p>交流試驗電壓値 = <math>\frac{E_0}{\sqrt{3}} \times K</math></p> <p><math>K = K_1 \times K_2 \times K_3 = 4.84</math></p> <p>여기서 <math>E_0</math>: 最高電壓[kV] = 공칭전압[kV] <math>\times \frac{1.15}{1.1}</math></p> <p><math>K_1</math>: 9乘則에 의하여 산출되는 1時間 耐電壓値와 30年 耐電壓値의 比(4.0)</p> <p><math>K_2</math>: 試料試驗 및 기타 不確定要素에 대한 裕度(1.1)</p> <p><math>K_3</math>: 溫度係數(1.1)</p> <p>雷임펄스 試驗電壓値 = <math>BIL \times K</math></p> <p><math>K = K_1 \times K_2 \times K_3 = 1.51</math></p> <p>여기서 <math>K_1</math>: 經年劣化에 대한 裕度(1.1)</p> <p><math>K_2</math>: 試料試驗 및 기타 不確定要素에 대한 裕度(1.1)</p> <p><math>K_3</math>: 溫度係數(1.25)</p>
--

[註] 試料試驗, 常溫의 경우임.



<그림 1.5> 架橋폴리에틸렌 케이블의 設計電界強度의 變遷

있다. 시험에는 케이블 전반에 걸쳐 실시하는 프레임시험과 어떤 일정한 범위별로 完成品에서 試料를 취해서 실시하는 試料試驗이 있다.

소위 프레임시험은 케이블에 손상을 주는 일 없이 케이블 全長이 규정의 品質레벨의 범위에 들어가는지를 확인하기 위하여 실시하는 것으로서 그다지 높은 전압은 인가되지 않는다. 試料試驗은 장기간의 사용에 견디는가를 검증하는데 목적이 있으며 高電壓의 耐電壓試驗 등이 실시된다.

架橋폴리에틸렌 케이블과 OF케이블의 시험전압에 대한 한가지 예를 絶緣두께와 함께 표 1.8에 나타내었다. 이들 시험전압의 기본개념은 JEC-208, JEC-3401 등에서 정해져 있으며 표 1.9에 한 예를 표시하였다.

케이블의 절연두께는 내전압 시험전압에 충분히 견딜 수 있도록 아래의 기본 개념하에 설계되어 있다. 즉 OF케이블의 경우 雷임펄스 시험전압에 견딜 수 있도록 설계를 하면 교류시험 전압에 대해서도 충분한 여유를 갖게 됨으로써 雷임펄스 시험전압을 가하였을 때는 最大電界強度가 케이블 도체의 크기별로 추정된 절연파괴를 일으키는 최대전계강도의 최저치(평균치-3×표준편차)를 하회하도록 특별히 경제성을 고려하여 정해지고 있다.

架橋폴리에틸렌 케이블의 경우는 표 1.10에 나타난 바와 같이 교류시험전압에 대한 必要두께  $t_{ac}$

<표 1.10> 架橋폴리에틸렌 케이블의 絶緣設計法

絶緣두께 設計法	
AC에서 정해지는 絶緣두께 $t_{ac}$	
$t_{ac} = \frac{V/\sqrt{3} \times (1.15/1.1) \times k_1 \times k_2 \times k_3}{E_L(ac)}$	[mm]
$V$ : 공칭전압	[kV]
$k_1$ : 열화계수	[kV]
(V-t 특성의 n乘則에 의하여 산출되는) 1時間 耐電壓値와 30年 耐電壓値의 比	
$k_2$ : 온도계수	(1.1)
$k_3$ : 布說 및 기타의 安全係數	(1.1)
$E_L(ac)$ : AC電壓에 대한 初期最低破壞電界強度	[kV/mm]
임펄스에서 결정되는 絶緣두께 $t_{imp}$	
$t_{imp} = \frac{BIL \times k_1' \times k_2' \times k_3'}{E_L(imp)}$	[mm]
$BIL$ : 기준 충격전압 絶緣強度	[kV]
$k_1'$ : 온도계수	(1.25)
$k_2'$ : 反復임펄스에 대한 열화계수	(1.1)
$k_3'$ : 布說 및 기타의 安全係數	(1.1)
$E_L(imp)$ : 임펄스 電壓에 대한 初期 最低破壞電界強度	[kV/mm]

와 雷임펄스 시험전압에 대한 必要두께  $t_{imp}$  중에서 큰 쪽으로 결정된다. 初期最低破壞電界強度  $E_L$ 은 그림 1.5와 같이 평균치에서 標準偏差의 3배를 뺀 값 또는 와이בל 플로트에 의해서 구한 값이 선정되고 있다.

이상과 같이 케이블에서는 試驗電壓, 絶緣두께의 기본개념 중에 設計裕度가 확실하게 고려되어 있다.