

# 電氣設備의 信賴度向上과 事故未然 防止를 爲한 深層欠陷 診斷技術 (下)

## Reliability Promotion and Diagonis Techniques of Electric Facilities

韓 萬 春

(延世大學校 工科大學 教授)

### 4. 電氣設備深層欠陷의 診斷方法

電氣設備의 事故原因을 分類하면

- ① 絶緣劣化
- ② 熱的劣化
- ③ 機構劣化

로 된다.

이중에서 絶緣劣化가 大部分을 차지하는만큼 絶緣劣化의 發見을 爲한 絶緣診斷法이 重要한데 1000V 에 가의 診斷만으로는 勿論 充分하지 않고 最近에 많은 發展이 이루어지고 있다.

絶緣劣化의 原因을 大別하면

- ① 吸濕劣化
- ② void crack 의 發生
- ③ 枯化

등이다.

最近 電氣設備의 Compact 化와 絶緣材料의 發展에 따라서 事故는 減少하고 있지만 不意의 停電이 주는 影響은 크므로 이런 事故를 防止해 서 電氣設備의 信賴度를 向上하여야 함은 再言할 必要가 없다.

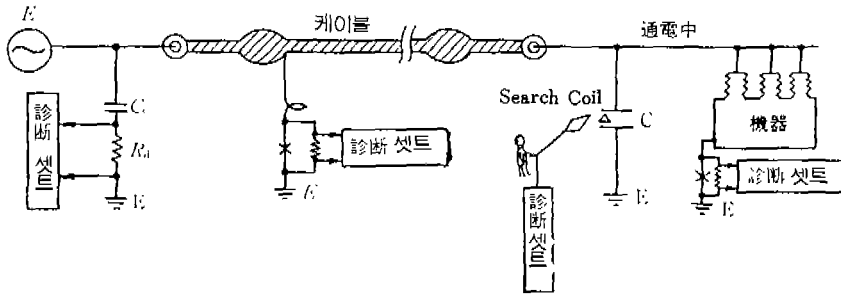
電氣設備 技術基準에는 絶緣 및 絶緣 耐力에 대하여 規定되어 있으므로 電路나 器具가 規定된 絶緣耐力를 갖는가를 判斷·判定하여야 함은 勿論이다.

絶緣劣化의 進行狀況을 把握하고 運轉에 支

障이 없는 絶緣이 維持되고 있는 것을 確認하는 試驗이 絶緣 診斷이다. 絶緣 診斷에는 ① 直流 高壓法 ② 交壓電流法 ③ 誘導正接法 ④ 交流部分 放電檢出法이 있는데 各 方法에는 各 長點과 短點이 있다.

絶緣診斷을 實施하는 경우, 먼저 全体的인 吸濕劣化의 程度를 把握할 必要가 있다. 이것은 吸濕劣化의 徵候가 顯著하면 絶緣劣化 原因인 void crack 나 放電現象을 測定할 수 없기 때문이다. 그러므로 먼저 試驗 Set 가 小形輕量이고 吸濕劣化의 檢出이 가장 잘 되는 直流高壓法으로 吸濕劣化가 進行되어 있지 않은 것을 確認한 後에 다른 方法을 使用하는 것이 좋다.

void crack 등의 코로나 放電의 檢出에는 交流部分 放電檢出法이 高感度로 放電電荷量을 測定할 수 있고 印加電壓에 대한 放電 電荷量을 X-Y Recorder 등으로 나타내서 void의 形狀까지도 判別할 수 있는 診斷法이다. 交流電流法도 코로나 檢出이 되는데 主로 乾式捲線機器에 適用된다. 最近에는 交流電流法用 精密診斷裝置도 開發되어 있는데 可動鐵壓型 電流計 등을 使用하는 경우에는 電流急增點이 나타나지 않더라도 放電現象이 보이는 경우가 있으므로 部分 放電檢出法을 同時 實施하거나 또는 電流波形 觀測도 할 必要가 있다.



E: 線間電壓의  $\frac{1}{3}$  (對地電壓)  $R_0$ : 檢出抵抗 E: 接地点 ×印: 開放點 C: 結合컨덴서 C: 被診斷物

〈그림-8〉 活線部分放電 檢出法

誘電正接法은 어떤 絶緣物에 대하여도 效果가 있고 被診斷物의 形狀이나 크기에 關係없이 測定할 수 있는 利點이 있다.

여기서 直流 高壓法 以外의 診斷方法은 被診斷物에 對하여 交流高電壓을 印加하는 것이므로 診斷 set 以外에 耐壓 set가 必要한데 그 耐壓試驗 set가 커지고 試驗電源의 確保가 必要한 것이 現場 診斷用으로서 隘路가 되고 있다.

또 高壓回路에서의 活線 絶緣診斷으로서 部分放電(코로나放電)의 檢出에 依해서 絶緣劣化를 찾아내는 方法이 있는데 測定部分은 그림 8과 같은 곳이다.

이 部分放電檢出法의 原理는 高電壓이 印加된 電力機器에 絶緣上의 缺陷이 있는 경우에 그림 9와 같은 等價回路로 되고 void의 靜電容量  $C_g$ 는 void를 끼고 있는 絶緣物에 의한 靜電容

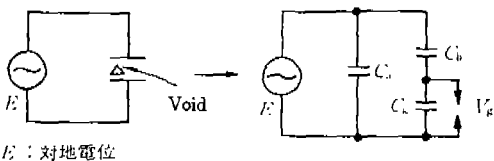
量  $C_b$ 보다 棼 적다. 따라서 電壓分擔과 靜電容量은 反比例하므로  $C_g$ 에 高電壓이 印加되어서 放電 電壓  $V_g$ 에 對應하는 間隙防에서 恒상 放電을 反復하게 되어서 部分放電, 즉 코로나 放電이 發生한다.

最近에는 PDD(Particle Discharge Detector)素子라고 하는 部分放電 檢出 素子が 開發되어서 連續하여 部分放電 現象을 檢出하고 警報를 내는 絶緣監視盤을 設置하고 常時 絶緣監視를 하도록 하고 있다.

PDD素子は PD檢出點 스위치와 分岐컨덴서를 通해서 導入되는 信號를 濾器를 通해서 增幅 積分하고 波形觀測 端子에 Ayuchroscope등을 接續해서 放電波形 및 積分出力 波形을 觀測할 수 있는 것이다.

또 活線 絶緣監視에서 警報時의 探索이나 定期 停電診斷의 경우 受變電 設備의 모든 機器나 케이블에 對해서 二法, 三法을 併用해서 絶緣診斷을 하는 것은 時間的으로 어렵고 診斷用 電源 確保는 全停作業時에는 다른 工事도 있고, 실사 確保된다 하더라도 電源變動 등이 커서 診斷用 電源으로서는 適切하지 않는 경우가 많다. 그러므로 簡單하게 電池를 電源으로 하고 吸濕 및 void crack의 欠陷 有無를 곧 判斷하고 診斷結果가 鮮明하지 않은 對象物에 對하여만 別途의 方法을 併用하는 方法이 現場에 適應되는 診斷 方法이라고 할 수 있다.

또 한편 6,000V Megger 라고 할 수 있는 診



E: 對地電位

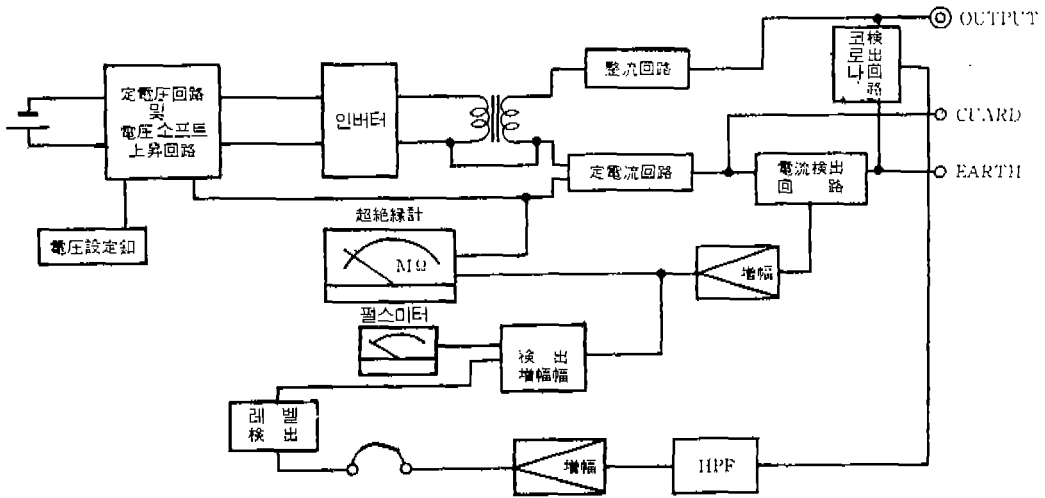
$C_a$ : 케이블의 對地靜電容量(void와 並列인 健全部分의)

$C_b$ : void에 直列로 들어가는 靜電容量

$C_g$ : void의 靜電容量

$V_g$ : void의 放電電壓

〈그림-9〉 等價回路



〈그림-10〉 絶縁診斷 block diagram

斷裝置를 併用해서 效果를 올리고 있다. 이 裝置의 機能은 다음과 같다.

- ① 6,000V Megger (1,000V megger 에서 自動 soft 上昇, 5~10,000MΩ)
- ② 直流高壓法에 의한 絶縁劣化 檢出
- ③ 部分放電 檢出法에 의한 絶縁劣化 檢出 (500pc 以上을 head phone 으로 檢出함)

以上の 것을 compact 한 形態로 묶은 것으로 絶縁抵抗計 (5~10,000MΩ), pulse meter (電流變動을 檢出), head phone (코로나放電 및 電流變動을 檢出)으로 構成되어 있으며 그 block 線圖는 그림10과 같다.

### 5. 劣化判定의 基準

電氣設備 診斷에서 劣化判定의 基準이 되는 要素는 다음과 같다.

- ① 絶縁抵抗 (MΩ) - 電壓 (V) 特性 傾向과 弱點比로 判定한다.
- ② 絶縁抵抗 (MΩ) - 時間 (T) 特性 成極指數로 判定한다.
- ③ 放電性 kick 의 有無와 發生電壓
- ④ 코로나放電의 有無와 放電開始 電壓
- ⑤ 相間絶縁 不平衡率 - 케이블에 對하여만 適用한다.

判定은 單一 要素만으로 하는 것은 아니고 위

의 ①~⑤를 綜合的으로 被試驗物의 絶縁材料와 그 構成에 따라서 어디에 交點을 두고 判定하여야 하는가를 알 必要가 있다. 表2, 表3 및 그림11은 判定基準의 보기를 나타내는 것이다.

고무케이블의 劣化判定의 보기는 그림12 와 같다.

즉,

가. 良好한 케이블은 10,000 (MΩ) 以上이며 限界는 1,000~2,000 (MΩ)이다.

나. 初期劣化는 700~1,500 (MΩ) 程度에서 V-MΩ 特性이 貢로 된다.

다. 末期의 特性은 複雜하며 特히 200 (MΩ) 以下는 複雜하다.

### 6. 今後의 保安點檢과 事故의 未然防止

(1) 保安技術者의 使命

保安技術者의 根本的인 保安感覺의 欠如에 依해서 큰 事故가 發生하는 경우가 많다는 것을 事例로서 說明한다.

3相 3,000kVA 의 아아크用 變壓器에 燒損事故가 發生하였는데 그 原因은 過負荷에 依한 것이 아니고 卷線의 層間短絡이었다. 그런데 이 變壓器는 이제까지 保守規程에 忠實하였으며 이

〈表-2〉 케이블의 劣化 判定 基準

判定項目	種類	CV	BN	SL
絶緣抵抗値 〔MΩ/km〕		600以下	200以下	150以下
成極指數 (PI)		1.0以下	1.0以下	1.0以下
相間不平衡率 (%)		100%以上	100%以上	100%以上
放電性電流	MΩ計 펄스미터 또는 헤드폰	振幅大 連続音	同左	同左
코로나放電		檢知헤드폰右에서	同左	同左

〈表-3〉 電氣機器의 劣化判定 基準

判定項目	機器名	高 圧 電 動 機	電 力 用 器 컨덴서	變 壓 器 (油入)	計器用變成器
絶緣抵抗値 〔MΩ〕		30×定格電圧 定格出力〔kW〕+1000 以下	1,000以下	400以下	100以下
成極指數 (PI)		1.5以下	1.0以下	1.0以下	1.0以下
放電性電流	MΩ計 펄스미터 또는 헤드폰	振幅大 連続音	同左	同左	同左
放電		코로나放電檢知헤드폰右에서	同左	同左	同左

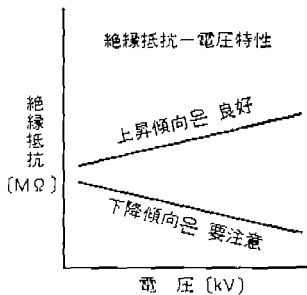
點에서는 아무 잘못도 없었다. 즉 絶緣抵抗과 絶緣耐力는 技術基準에 適合하였으며 絶緣油試驗에서는 絶緣耐力值 및 酸價値를 測定하였고 端子 및 tap 盤의 弛緩 등 各種 機構의 點檢도 完全하였다.

그러나 큰 錯覺이 있었다. 즉 變壓器에서 一般的으로 卷線의 過負荷에 依한 燒損 以外的 絶緣破壞 등의 燒損事故는 對地絶緣 破壞라고 할 수 있다. 따라서 그 維持 管理는 이 事例와 같이 卷線의 對地絶緣이 主体로 된다. 그러나 變壓器의 壽命은 거의 코일絶緣의 機械的 強度로 決定된다.

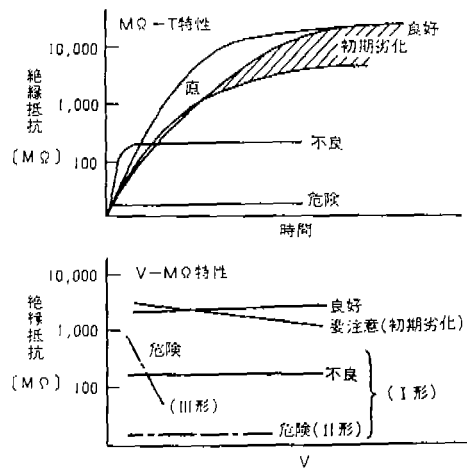
즉 heat cycle 을 反復하면서 熱的으로 劣化

된 코일의 素線絶緣은 相當히 機械的 強度가 低下해서 負荷短絡 등의 電流에 依한 電磁力으로 코일이 振動해서 剝離되어 layer short로 되어 燒損하는 것이다. 이에 對한 豫測은 絶緣油의 酸價値에서 할 수 있다. 즉 酸價値가 0.3정도로 되면 바뀌어야 하는데 이것을 몇번씩이나 反覆한 變壓器코일은 相當히 脆弱하게 된다.

이 變壓器는 이에 該當하는 것으로 絶緣油의 交換도 4~5回 하였고 負荷는 아아크爐이므



〈그림-11〉 絶緣抵抗—電壓特性



〈그림-12〉 고무케이블의 劣化 判定

로變動이甚해서 코일의 電磁振動이 컸다. 따라서 이事故는 이런事實을 알았더라면 内部에서 끌어 올려서 코일에 適切한 措置를 함으로써 防止할 수 있었을 것이다.

또 一般的인 電力用 變壓器인 경우에는 尖頭 負荷를 다른 곳에 옮기거나 短絡等を 極力 防止하도록 努力하면 된다.

保守 點檢이나 試驗에서 얻어진 資料는 다만 記錄保存하는데 價値가 있는 것이 아니고 그 内容에 따라 事故의 未然防止를 爲한 對策을 講究하여야 效果가 있는 것이다. 이 事故는 一見 不可抗力에 의한 것 같지만 그렇지는 않고 優秀한 保安技術者라면 이런 事故를 事前에 未然防止하도록 適切한 對策을 講究하였어야 한다.

(2) 事故의 未然防止

産業社會에서 電力供給의 信賴度에 對한 要求는 더욱 커지고 있다. 따라서 保安技術者의 使命은 電力設備의 安全과 停電없는 良質의 電力供給이며 保安은 完全 아니면 無價値, 즉 100點이나 또는 0點이나로 되는 것으로서 皮相的, 劃一的인 點檢을 止揚하여야함은 위의 事故例에서 본 바와 같다.

이제 위에서 說明한 事前 診斷으로써 電氣設

備의 事故를 未然에 防止하고 信賴度를 向上하는 過程을 다시한번 整理하여보면 다음과 같다.

① 完全한 保安은 設計時點부터 考慮되어야 한다.

② 完全無欠한 設備는 없으므로 點檢, 試驗, 診斷이 必要하다.

③ 따라서 正確한 保安이라야 되는데 保護繼電器나 遮斷器의 點檢만으로 끝나서는 안된다.

④ 이들을 動作시키지 않도록 하는 事前診斷, 즉 深層欠陷의 診斷이 必要하며 이것이 豫防保全 行爲이다.

⑤ 이에 是 負荷測定, 接觸部等の 過熱調置, 絶緣劣化 診斷 등이 必要하다.

⑥ 萬一에 不幸하게도 事故가 惹起되면 事故局限의 保護態勢가 取해져야 한다.

⑦ 이에 是 高壓母線 → 計器用變成(流)器 → 繼電器 → 遮斷器까지의 모든 機能이 完全하므로 그 目的이 達成된다.

⑧ 이것을 確認하는 것이 綜合 結合 試驗으로써 事故原因의 本質에 立脚한 綜合的 點檢으로만 事故의 未然防止가 可能하며 表面的이거나 劃一的인 點檢만으로는 안된다.

〈106 p에서 계속〉

나. 부산교육 1회(81. 9. 21~ 9. 22) : 부산전력 관리본부 강당

다. 광주교육 1회(81. 9. 24~ 9. 25) : 광주밀알 회관강당

3. 장기 3차 이론교육 잔무처리

가. 서울, 부산, 광주교육 출석현황 및 대장 정리

나. 평가서 정리 다. 보고서 정리

라. 교육비 수납현황 개인별 정리

마. 교육집행 현황 및 결과보고서 작성

4. 단기이수자 면허신청 서류 검토, 접수 및 면허 발급작업 ○ 1급 이성기 외 94건  
2급 김명준 외의 404건 계 500건

5. 단기이수자중 제 1차 신규면허 발급자

○ 1급 서장호외의 83건 2급 박병근외의 117건  
계 202건

가. 실무수습 이수확인서 및 발급대장 작성

나. 주임기술자 면허대장 작성

다. 주임기술자 면허증 발급자 명단 작성

라. 동자부 서류 심사협조 및 접수

6. 실무수습 이수증 작성

○ 단기과정 이수자 1급 100건 2급 421건  
계 521건

7. 전기주임기술자 면허현황 파악 제출: 동자부 (각시도별, 연도별, 급수별)

8. 전기주임기술자 면허갱신(재발급) 신청자에 대한 면허발급 ○ 1급 정순벽 외 12건  
2급 이강학 외 70건 계 84건

9. 실무수습 장소변경 신청서 접수 및 처리

○ 2급 서성대 외 9건

10. 실무수습자에 대한 서면 질의 회신

○ 2급 현인호 외 45건