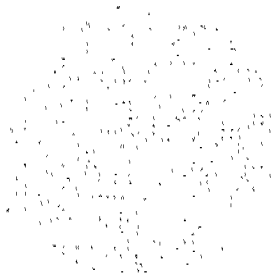


# 柱上變壓器 事故原因 과 對策

## The Causes of Pole Transformer Fault and Preventive Countermeasure



劉 金 鐘

韓電 配電處 配電運營部長

### 1. 序 論

産業化의 불결속에서 電力設備는 매년 놀라운 增加를 가져왔으며 이제는 農漁村과 山間僻地 까지도 電力이 공급되지 않은 곳이 없다. 그러나 國家産業의 進展과 生活水準의 向上으로 量的 豊富속에서 電氣의 質的 向上을 매우 要求하고 있는 실정이다. 電力設備가 전국에 걸쳐 광대하게 設置됨에 따라 自然現象이나 其他 外的要因에 의하여 脆弱要素가 더욱 많아지게 되어 좀더 科學的이고 効果적인 設備 保全對策이 강구되어야 함은 물론이다. 配電設備中에서 가장 중요한 부분을 차지하는 變壓器는 全國에 分散設置되어 있을 뿐만 아니라 負荷增減에 따른 交替, 移動이 많고 柱上에 設置運轉되고 있어서 點檢補修가 容易치 않은 點등 관리상에 어려움이 많다. 또한 家電製品의 多樣化, 大型化로 變壓器 管理에 어려움을 더욱 加重시키고 있는 反面에 國民들의 供給信賴度 要求는 高급화, 高도화, 고속화 추세에 있다. 變壓器는 財產上의 損失은 물론 信賴度 側面에서 결코 看過할 수 없는 일이다. 더욱이 최근에 와서는 一般人들의 安全確保 慾求가 增大되면서 一部 住宅街에서는 變壓器移設을 要求하며 新規設置를 반대하는 사례까지 發生할 정도이므로 變壓器事故防止의 根源의 對策이 切實하다.

變壓器는 사용전압과 장소에 따라 여러가지로 구분하겠으나 본 내용에서는 配電線路用 變壓器를 中心하여 事故原因을 분석하고 그 對策을 論하고자 한다.

### 2. 變壓器 設備現況

배전선로에 設置되어 있는 變壓器는 柱上變壓器(P. TR)와 絶緣變壓器(TIE-TR)로 區分하고 있는데 絶緣變壓器는 配電電壓이 22.9KV-Y로 昇壓되면 점차 없어질 것이다.

'85. 9末 現在 變壓器 設置現況은 표 2-1, 2-2, 2-3과 같다.

### 3. 變壓器 事故現況

設備는 年平均 111.5%의 높은 成長率을 보이고 있는 反面에 事故(燒損) 台數는 점차 감소함으로써

事故率(%)은 현저한 감소를 보이고 있다. 年度別, 季節別, 氣象別 燒損實績을 보면 표 3-1, 3-2, 3-3 과 같다.

〈표 2-1〉 年度別 設備現況

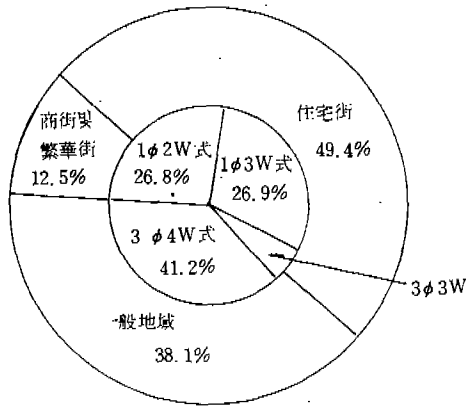
年度別 區分	71	73	75	77	79	81	82	83	84	85. 9
合 數	80,127	103,470	144,616	175,764	231,922	288,345	320,133	345,273	360,560	378,869
年平均增加率		114.2	118.2	110.2	114.9	111.5	111.0	107.9	104.4	

〈표 2-2〉 容量別 台數

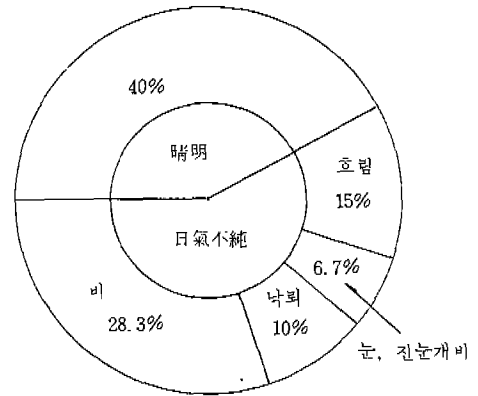
(85. 9 末)

容量別 區分	10KVA以下	15KVA	20KVA	30KVA	50KVA	75KVA	100KVA	計
台 數	148,611	33,276	45,641	53,894	54,036	39,486	3,925	378,869
占有率(%)	39.2	8.8	12.0	14.2	14.4	10.4	1.0	100.0

〈표 2-3〉 變壓器 2次 結線別 分布



〈표 3-3〉 氣象別 分布



〈표 3-1〉 年度別 RTR 燒損實績

年度別 區分	71	73	75	77	79	81	82	83	84
燒損台數	2,379	1,999	2,117	1,891	1,657	1,765	1,967	1,511	1,392
燒損率(%)	3.0	1.9	1.5	1.1	0.7	0.61	0.61	0.44	0.39

〈표 3-2〉 月別 分布

(84. 基準)

月別 區分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
燒損 台數	30	47	52	97	79	204	182	206	119	64	49	263
占有率(%)	2.2	3.4	3.7	7.0	5.7	14.7	13.1	14.8	8.5	4.6	3.5	18.8

## 4. 事故原因分析

柱上變壓器事故는 周圍溫度와 濕氣에 가장 민감함을 보여주고 있다. 또한 負荷의 變化에 따라 많이 좌우된다 하겠으므로 타설비에 비하여 사고발생 요인이 많아 주요발생원인을 분석해 보면 다음과 같이 대별할 수 있다(표 4 참조).

### 가. 自然現狀

배전설비 특성중의 하나가 자연조건에 가장 취약한 것이다. 柱上變壓器는 봉싱이나 捲線등 絶緣維持가 必須的인 설비임에 반하여 絶緣維持를 만족시켜 줄 조건이 不足한 설비이다. 自然現狀이라 하면 하절기 풍우시의 落雷나 變壓器 自体의 吸濕作用에 의한 수분의 침투현상을 들 수 있는데 현재 사용하고 있는 變壓器가 密閉型이라 하지만 80년 8월 22일 우리會社 技術研究院에서 柱上變壓器 吸濕 現象을 조사해 본 결과 吸濕의 가능성이 판단된 바 있다.

〈研究所報 第15號에서 제시된 내용〉

○試料：柱上變壓器 單相 20KVA

○試驗條件：吸濕現象이 가장 심할 것으로 예상되는 夏季運轉狀態에서 試驗(周圍溫度 30℃)

○試驗方法

- 試驗始作前에 絶緣油 採取
- 短絡法으로 110% 過負荷를 인가
- 通電後 3시간이 지난 다음에 30分間 注水

○試驗結果：tan δ가 34.4% 增加( $7.04 \times 10^{-4} \rightarrow 9.46 \times 10^{-4}$ )

### 나. 自然劣化

自然劣化에 의한 사고는 長期間 設置運轉된 변압기의 事前點檢未洽(變壓器의 老朽), 負荷의 수시변동, 自然現象에 의한 部分的인 衝擊, 주위 온도변화에서 오는 變壓器 吸濕現象등에 의하여 包括的으로 發生함을 알 수 있다.

### 다. 製作上的 결함

製作不完全에 의한 사고는 우선 봉싱의 龜裂, 박징재료불량에 의한 形態變化 및 水分浸透나 漏油, 볼트조임壓力으로 인한 變形, 外的衝擊없이 内部 1차 리드선 단선이나 捲線의 단선, 外函不良에서 오는 漏油등을 들 수 있다.

### 라. 補修未洽(過負荷)

배전설비는 시설량이 많고 전국에 산재해 있으며 柱上에서 계속 운전상태에 있으므로 點檢補修에 많은 인력과 시간이 소요되고 있다. 補修未洽에 의한 代表的인 사고는 過負荷에 의한 燒損事故이다. 이는 2차 배전방식이 三相四線化되어 負荷不平衡에 의한 過負荷現象이 점차 증가되고 있으므로 負荷管路上 큰 문제로 지적되고 있다.

### 마. 施工不良이나 作業者 過失

變壓器는 内部에 絶緣油 있으므로 重量이 무거워 取扱이 容易치 않아서 作業者의 과실이나 不注意에 의하여 事故를 誘發시키거나 新規供給時 負荷를 不平衡상태로 連結하는 경우에 過負荷要因을 發生시키는 경우가 있다.

### 바. 其他原因

자동차 충돌등 他事故波及에 의한 사고나 電氣使用者(需用家)의 故意的인 無斷增設등에 의한 변압기의 과부하로 인하여 發生되는 사고를 들 수 있다

## 5. 事故防止對策

### 가. 變壓器 點檢

變壓器 點檢은 柱上點檢, 交替點檢 및 設置前 點檢등이 있다.

○柱上點檢은 無停電 點檢과 停止點檢으로 구분

〈표-4〉原因別 燒損統計

(84. 基準)

原因別 區分	自然劣化	製作不良	風雨	雷擊	施工·補修未洽	過負荷	一般人的 過失	原因不明	其他	計
燒損台數	420	212	100	261	64	176	15	34	110	1,392
占有率(%)	30.2	15.2	7.2	18.8	4.6	12.6	1.1	2.4	7.9	100.0

하고 있는데 무정전 점검은 外觀 및 設置狀態를 점검하기 위한 것으로 육안으로 地上에서 점검하되 필요시에는 昇柱하여 점검한다. 停止點檢은 무정전 점검시 停電시킨 後에 점검함이 필요하다고 인정되는 붓싱, 애관, 외관등에 漏油흔적이 있는 것, 不規則한 진동 및 소음발생, 放電裝置가 動作한 것등을 대상으로 점검한다.

○入庫點檢은 各種工事에서 撤去되는 변압기의 入庫前에 시행하며, 事故品工事撤去品, 一定期間 經過品別로 事故原因分析과 外觀 및 内部點檢을 실시하여 상태를 판정한다.

#### ○設置前 點檢

絶緣抵抗을 測定하여 絶緣유의 不良여부 확인과 絶緣유의 減量狀態를 점검함과 동시에 TAP 位置를 확인하고 핸드홀카바 박킹의 濕氣吸濕可能여부를 점검한다.

#### 나. 老朽變壓器 交替

10년이상 運轉된 변압기는 經過 年數가 오래된 변압기부터 順次的으로 撤去하여 점검하며 점검상태에 따라서 整備, 簡易修理, 重修理등을 實施한後에 再使用한다.

#### 다. 變壓器 負荷管理

##### ○負荷測定

電燈變壓器의 負荷電流는 연 2회 最大負荷時間帶에 測定하고 있는데 많은 數의 변압기를 人力에 依存하여 측정기가 어려우므로 주상변압기 부하관리 電算化를 추진하고 있다. 따라서 電算化 地域의 變壓器는 부하전류측정을 생략하고 電算處理된 出力에 의하여 관리하고 있으며 이경우 電算出力에 의한 변압기 이용율이 130%이상인 것은 再測定 확인한 後에 交替한다.

##### ○需用家設備 負荷平衡維持

대부분의 변압기가 三相四線式 燈動共用方式로 인하여 변압기 3대가 Y結線되고 있어서 변압기용량이 전체부하에는 적정하다 할지라도 各相間의 심한 불평형에 의하여 個體의 변압기에는 과부하가 걸리는 경우가 많으므로 수용가 肉내설비에서의 부하 평형유지 또한 변압기부하관리상 매우 중요하여 新規需用供給時나 既設 三相四線式 低壓需用家에 대하여 屋內設備를 점검하여 부하불평형요인을 시정하고 있다. 그러나 이러한 노력은 막대한 인력과 시

간이 소요되며 부하는 전기 사용자의 형편에 따라 수시 변동되는 것이므로 사용자가 전기사업자 立場에서 부하가 평형되도록 노력하는 것이 변압기 과부하사고방지는 물론 肉내설비 電力損失減少側面에서 바람직한 것이다.

#### 라. 雷害防止

雷害防止施設로는 避雷器가 국산화되어 최근 수년전부터 避雷器를 확대부설하고 있다. 그러나 避雷器만으로는 野外지역의 雷害防止가 미흡한 것으로 예상되어 野外地域은 架空地線을 설치하고 있는데 이는 1,800% 腕金を 전주末口에 繼柱하여 施設하는 방법을 택하고 있으며 많은 효과가 있는 것으로 판단되고 있다.

#### 마. 變壓器의 品質向上誘導 및 規格補完

變壓器의 事故原因을 大別하면 自然條件과 補修未洽, 그리고 變壓器 自體의 品質未洽으로 區分할 수 있다. 따라서 品質向上은 무엇보다도 중요하다. 국산기자재의 대부분이 그렇듯이 아직도 製作上의 결함이 부분적으로 露出되고 있음이 사실이며 변압기는 타설비에 비하여 그간 품질면에서 큰 진전이 없었음을 지적할 수 있다. 따라서 앞으로는 제작회사별 사고율을 감안하여 변압기를 購入함으로써 양질의 제품을 購入하는 品質管理方案이 요구되고 있으며 短絡強度試驗을 추가하는 한편 사고시의 變壓器 内部压力上昇을 방지하기 위하여 放電弁 附着을 '83. 8以後 購入分부터 의무화 하고 있다. 최근에는 변압기 핸드홀카바의 박킹부분에서 수분이 침투되는 것으로 분석되어 핸드홀카바와 박킹의 규격보완을 추진하고 있다.

#### 바. 貯藏 및 設置取扱時의 注意

변압기는 붓싱을 잡고 操作하거나 무리한 기계적 충격을 주면 붓싱損傷으로 漏油 또는 1차리드선의 斷線과 박킹의 이완등으로 사고원인이 될 수 있다. 또한 장기간 貯藏時에는 吸濕現象으로 絶緣耐電壓의 低下와 外殼의 부식이 촉진되어 수명저하의 원인이되므로 특히 유의하여야 한다.

#### 사. 耐塩用 붓싱카바 取附

塩害地域에는 붓싱에 塩分의 附着으로 絶緣耐壓이 低下되어 붓싱破損 및 龜裂要因이 되고 있으므로 85년도부터 塩害가 심한 지역의 변압기 붓싱에는

붓싱절연카바를 단자부분에 취부하여 絶緣리드線과 함께 活線部位가 露出되지 않도록 絶緣維持에 努力하고 있다.

아. 앞으로의 課題

변압기 사고중에서 무시할 수 없는 것은 탭조정을 위하여 핸드홀카바를 열고 닫을 때 微細한 수분이 침투되더라도 변압기 절연유의 절연내전압이 급격히 떨어질 우려가 있으므로 앞으로 都心地와 같이 배전선로의 電壓降下率이 5%이내인 지역에 대하여는 탭이 없는 변압기 사용을 검토해야 할 것이며, 雷害防止施設의 확대와 負荷管理 電算化技法의 土着化 그리고 장기적으로는 品質向上을 위한 變壓

器 使用者와 製作者의 꾸준한 共同努力이 필요하다 하겠다.

6. 結 論

이상에서 제시한 변압기사고 원인분석과 대책은 주로 한전에서 시행하고 있는 내용을 중심한 것임을 이해하기 바라며 변압기사고방지는 국가자산상의 손해방지와 電氣의 災害豫防을 위해 무엇보다도 중요한 것이니 만큼 변압기 사고가 點檢補修 및 管理徹底로 대부분 未然에 방지할 수 있음을 감안하여 本内容이 需用家 構內變壓器 事故防止에 다소도움이 되었으면 한다. \*

\* 2分講座 \* <原子核 融合의 수수께끼> ⑧

核融合爐 開發의 工學的 問題點을 찾는다 (3)

核融合爐를 설계하는데 있어서 構造力學의 立場에서 문제점을 찾아 보기로 하자. 核融合爐에서는 다른 原子爐와 유사한 内外壓·地震力등의 기계적外力·熱應力등 외에도 電磁場의 존재에 의해 생기는 電磁力이 작용하는 것이 특히 중요하다.

電磁力이 생기는 원리는 磁束밀도B의 磁場속에서 磁力線에 垂直인 電流I가 흐르면 I와 B의 積에 동등한 電磁力F가 동작한다는 로렌트의 法則에 따른 것이다. 가령 金屬板으로 만들어진 구조물이 磁場속에 있으며, 구조물속에 誘導電流가 생기면 이 法則에 따라 電磁力이 物體力으로서 작용한다.

核融合爐의 경우 프라즈마周邊의 磁場의 強度는 5~10萬가우스 정도로 매우 크며, 프라즈마電流와 磁界를 만들기 위한 電流도 수백만 암페어와 같이 이것 또한 대단히 큰 值(值)이다. 프라즈마를 내장하고 있는 眞空容器에 加하는 電磁力에 대해서 본다면 原子爐의 超時動 또는 停止時와 같이 프라즈마電流가 시간적으로 급속히 변화하는 경우에는 眞空容器에 큰 誘導電流가 생긴다. 그 유도電流와 외부의 垂直磁場(프로이름磁場)에 의해 F와 같은 電磁力이 작용하여 容器壁을 안쪽으로 잡아 당긴다.

容器가 高温으로 되어 있는데 降伏應力이 내려져 있는 상태에서 이 電磁力이 작용할 때, 만약 設計가 잘못 되어 있으면 찌부러질 가능성도 없지 않다.

電磁力을 받는 구조물은 眞空容器에 한하지 않고 여러가지가 있다. 프라즈마를 密閉하기 위해 大型의 磁石, 특히 장치는 超傳導마그네트가 사용될 것이나 어떻게 되든 코일의 線材에는 상당히 큰 電流가 흘러 磁石은 자신이 만든 強한 磁場속에 두게 된다. 그 때문에 큰 電磁力을 받고 경우에 따라서는 線材가 견디어 내지 못하고 파괴되는 수도 없지 않다. 美國 플린스톤의 大型實驗장치 PLT에서 電磁力 때문에 코일故障이 있었다는 정보도 있다.

이제까지 몇가지의 공학적 문제점을 들어 보았으나 이치를 알아서도 여러가지의 點을 해결하지 않으면 實用的 核融合爐의 설계를 할 수 없다는 것을 이해할 수 있게 될 것이다. \*