

# 變電機器 相互 絕緣協調에 대하여

## Status & Prospect of Insulation Co-ordination in Substation

金 滌 珍

韓電 送變電處長

### 序 論

變電所는 送電線路를 通하여 다른 變電所 및 發電所와 相互 連結되어 있고 電力用變壓器를 거쳐 더 높은 電壓의 送電線路나 낮은 電壓의 配電線路和 連結되어 있는 곳이다.

電力用 變壓器를 中心으로 1, 2 次에 母線이 設置되어 있어 몇개의 送配電線路가 이에 물려 있다. 送電線路는 地中으로 建設되는 것도 있으나 이는 都市地에 限하고 그 量도 얼마되지 않고 大部分은 架空線路로 山과 들을 지나 遠距離를 거쳐 變電所의 母線을 通하여 相互 연계되어 있다. 따라서 氣象條件의 影響을 間接으로 받기 쉽다. 落雷時 直擊雷를 받을 때, 인근 線路의 閃絡에 依한 誘導雷, 長距離送電線路를 充電時, 送電線路의 接地事故時, 靜電蓄電器나 리액터 閉閉時等에는 送電線路에 異常 電壓이 發生되어 이들이 모두 線路를 타고 變電所로 침입한다.

이의 크기가 機器의 絕緣耐력을 超過하면 電氣機器의 絕緣이 파괴되어 事故로 發展된다.

變電設備는 大部分 高價品이고 많은 線路가 물려 있어 故障이 나면 停電波及이 크고 復旧에도 많은 時間이 必要되어 停電으로 因한 需用家의 被害분야

나 電力事業者에게도 많은 損失을 가져온다. 더구나 現代처럼 電氣가 生活 필수품화 되어 있는 環境下에선 國民生活에 미치는 影響은 大端하여 社會의 問題로 擴大될 수도 있다.

그렇다고 機器의 絕緣을 무작정 높여 막대한 投資를 한다는 것도 現實으로 不可能하다.

그래서 이와 같은 異常電壓에 依하여 電氣機器의 損傷을 防止하고 이것이 經濟적으로 不可能時는 電氣機器의 損傷을 일으키지 않는 限度以內로 電氣的 閃絡을 국한시켜 電氣機器의 絕緣耐력과 運轉時 그 機器에 印加되는 過電壓間에 필요한 相互關係를 保護裝置의 特性을 考慮하여 樹立하는 것을 變電所의 絕緣協調라고 한다.

### 1. 過電壓의 種類

過電壓에는 Surge形 過電壓에 해당하는 雷Surge ( $1.2 \times 50 \mu s$ )와 開閉 Surge가 있고 商用周波過電壓으로 地絡事故時, 電力系統이 分離時, 發電機의 過速, 共振, 送電線路의 充電時等에 나타나는 것 등이 있다.

이들이 絕緣協調設計時 考慮해야 할 것들이 되겠다.

## 2. 過電壓의 억제방법

Surge 形態의 異常電壓은 避雷器나 放電 gap 等을 利用하여 波高値를 制限시키고 商用周波過電壓은 變壓器中性點을 接地하거나 遮斷器動作時間調整 또는 低抗을 삽입하여 異常電壓을 억제하는 方法等이 있다.

### 가. 避雷器設置

#### 1) 피뢰기의 정격

피뢰기의 定格電壓은 線路端子和 接地端子間에 印加할 수 있는 商用周波最大電壓을 實効値로 나타내며, 放電中 定格以上 상용주파전압이 인가되면 續流遮斷能力이 보장되지 못하기 때문에 破損 우려가 있다. 따라서 피뢰기의 정격전압은 중요한 것이다.

送電線路의 線間最大電壓으로 避雷器의 定格電壓을 定해야 한다.

變電所에 使用하는 避雷器의 雷電流放電容量은 보통 定格이 10KA이나 配電用 變電所엔 5 KA定格을 使用하기도 한다.

#### 2) 避雷器設置位置選定

避雷器의 保護레벨과 被保護機器의 衝擊絕緣耐力 間의 協調는 施設物의 有效차폐 여부, 同一 母線에 連結된 Feeder 數, 諸機器의 配置 및 進入 Surge의 特性等 諸要素에 關係되나 一般原則으로 被保護機器의 衝擊絕緣耐力과 그機器에 到達되는 保護레벨 과의 比 即 保護比가 1.2以上 되어야 한다고 되어 있다.

이것을 式으로 表示하면 다음과 같다. 避雷器와 被保護機器의 接地는 連接으로 본다.

$$\text{保護比} = \frac{\text{被保護機器의 絕緣耐力}}{\text{避雷器의 保護레벨}}$$

여기서 피뢰기의 보호 레벨이란 1.2×50μs충격방 전개시전압이다. 즉 규정조건하에서 피뢰기 단자간 에 걸리는 衝擊電壓의 最大波高値를 말한다.

이와 같은 조건이 만족되는 피뢰기를 設置해야 하는데 被保護機器는 어느 것을 選定하느냐에 따라 設置位置가 定해 지겠다.

變壓設備中에서 變壓器는 價格面이나 製作期間, 復旧期間等を 考慮할 때 어느 機種보다 重要하다. 때문에 變壓器가 主保護對象이 된다(避雷器 1台 設置時).

避雷器와 被保護機器間의 許容距離는 다음 式에 依해 算出한다.

$$E_x = E_a + 2 \frac{de}{dt} \cdot \frac{L}{V} \quad (KV)$$

$E_x$  : 變壓器에 인가 가능한 雷電壓

$E_a$  : 避雷器의 衝擊閃絡電壓(KV)

$\frac{de}{dt}$  : Surge 上昇率KV/μs(보통 500以下이나 근거리 직격 雷인 경우 1000KV/μs가 되는경우도 있다)

$V$  : 전파속도 1000ft/μs

$L$  : 被保護機器와 避雷器와의 距離(ft)

一般的으로 避雷器를 通過한 制限電壓도 Surge 電壓의 上昇率 때문에 時間이 경과하면 制限値以上 上昇할 수 있기 때문에 被保護機器에 가까이 設置하면 할수록 좋다. 그래서 韓國電力의 경우 電力用 變壓器本体 上部에 설치하는 것이 大部分이다. 別途設置時도 半徑 50m 以內로 制限하고 있다.

進入 Surge는 同一 母線에 多回線이 連結되어 있을 때는 크기가 減少된다. 一組의 避雷器로 多數機器保護가 어려울 때는 避雷器 組數를 增加하고 一部 遮斷器, 遮斷器 開放時 避雷器의 保護를 받지 못하게 되는 경우가 없도록 留意해야 한다.

### 나. 商用周波過電壓 억제방법

#### 1) 變壓器中性點接地

送電系統의 一線地絡事故時 어느 點에서든 健全相의 對地電位上昇을 一定値 以下로 制限하도록 하기 위하여 變壓器 中性點을 接地한다. 接地方式은 運轉日의에 따라 低抗接地, P, C接地 및 直接接地 등이 있으나 絕緣레벨을 낮추는 觀點에선 直接接地가 効果的이기 때문에 우리나라 電力系統엔 有效地를 適用하고 있다.

#### 2) 中性點接地方式

接地方式은 直接接地이나 有効接地로 하고 있다.

이는 一線地絡故障時 健全相의 對地電位上昇値를 어느 點에서나 系統線間 電壓의 75% 以下가 되도록 하는 것이다. 有効接地가 되기 위해선 零相 임피던스對 正相 임피던스의 比가 항상 다음의 값을 유지해야한다.

$$\frac{R_0}{R_1} \leq 1, \quad \frac{X_0}{X_1} \leq 3$$

接地時는 全電力系統이 有効 接地圈內에 있도록 最大容量의 變壓器 Bank를 選擇하여 接地해야 한다.

BIL이나 繼電器 動作電流가 不足時는 全 變壓器 뱅크를 接地해도 된다.

일반적으로 接地變壓器의 容量은 電源容量의 1/3 以上 되어야 하고 一線 地絡電流가 3相短絡電流의 60%以上 되도록 한다.

### 3) 遮斷器規格調整

無負荷線路의 充電電流를 開閉時 發生되는 開閉 Surge를 定格電壓의 一定值 以下로 制限할 必要가 있다.

왜냐하면 送電電壓이 높아질수록 開閉Surge의 크기가 雷Surge의 크기보다 커 送電線路나 變電機器 絕緣設計에 많은 영향을 주기 때문이다.

우리나라 電力系統에서는 開閉Surge의 倍數를 2.8 P.U로 制限하고 이를 維持하기 위해서 高速遮斷器나 遮斷器에 低抗을 삽입하여 사용하기도 한다. 低抗을 삽입시의 機能은 投入時 저항이 먼저 접촉되고 개방時는 저항이 나중에 개방됨으로써 충전전류나 사고전류를 제한하여 再起電壓에 依한 再閉絡을 防止한다. 이 以外도 리액터를 선로에 직병렬로 연결하는 방법도 있다.

## 3. 絕緣協調 設計例

變電所의 모든 異常電壓은 送電線路를 타고 進入하기 때문에 變電所의 絕緣設計를 하려면 線路의 絕緣設計를 알아야 한다.

그러나 여기서는 線路設計值를 안다고 보고 우리나라 電力系統에서 가장 많이 運用되고 있는 154KV 級 變電所의 絕緣協調設計例를 들어보고자 한다.

### 가. 避雷器의 定格電壓

系統의 最高線間電壓이 170KV이고 有効接地 係數가 75%이므로 一線地絡事故時 健全相의 電壓上昇値V는

$$V = 170 \times 0.75 \text{ (KV)} \\ = 127 \text{KV}$$

여기에 유도를 가산해서 피뢰기 정격을 138KV 級을 選定한다.

138KV 級 피뢰기의 特性은 다음과 같다.

避雷器 定格電壓 : 138KV

衝擊放電 開始電壓 : 460KV

開閉꺼즈 (100×1000μs) 放電開始電壓 : 410KV

制限電壓 (4×10μs) : 460KV

### 나. 變壓器 基準衝擊 電壓레벨 (BIL) 決定

變壓器의 BIL은 開閉Surge와 雷 Surge를 根據로 하여 算出한 값으로 定한다.

1) 開閉器Surge를 근거로 變壓器의 기준충격전압레벨은 다음과 같다.

$$BIL = \frac{\text{피뢰기개폐서지 방전개시 전압}}{0.83} (1 + \text{보호유도})$$

$$= \frac{410}{0.83} (1 + 0.15)$$

$$= 568 \text{ KV} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

피뢰기의 개폐Surge 방전개시 전압 : 410KV

보호유도 : 15% 적용

2) 直擊雷에 근거한 變壓器BIL算出은 다음식으로 구한다.

$BIL \geq (1 + \text{보호유도})$  (피뢰기의 제한전압(E) + 피뢰기연결선전압강하)

$$\geq (1 + 0.2) (460 + 40)$$

$$\geq 600 \text{KV} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

### 3) 開閉異常電壓에 근거한 BIL

開閉Surge位數 : 2.8

標高 및 氣溫補正係數 : 1.1 (1000m 以下)

碍子의 50%閃絡電壓/耐壓 : 1.15

過電壓係數 : 1.05

鐵塔絕緣係數 : 1.15

系統運轉 公稱電壓 : 154KV

開閉異常電壓V는

$$V = 154 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times 2.8 \times 1.1 \times 1.15 \times 1.05 \times 1.15$$

= 537.7KV (波高值) ..... ③

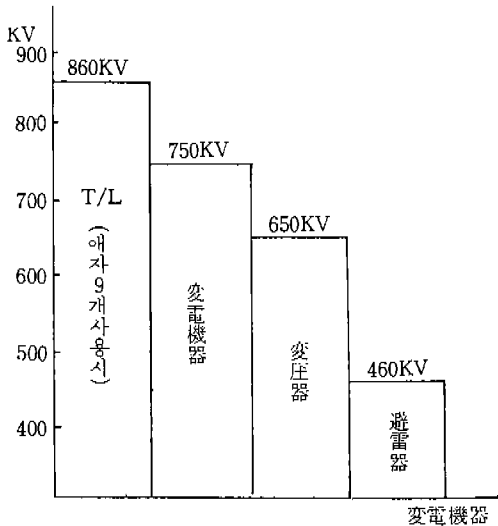
①②③에서 어느 곳에서나 有効接地系統의 完全性 與否를 考慮하여 變壓器의 BIL은 750KV보다一段 낮은650KV로 定한다.

**다. 變壓器 中性點의 段絶緣**

우리나라 電力系統은 有効接地기 때문에 變壓器一次 中性點의 對地電位는 73KV 以下로 制限하고 있다. 이것은 BIL 350KV에 해당된다. 變壓器捲線端子的 BIL 650KV, 中性點 BIL350KV로 段絶緣이 可能하다는 것을 의미한다. 이는 變壓器 製作費가 적게 든다는 것을 뜻하고 實際 韓電에서 使用하는 154KV級 變壓器는 全量 段絶緣한 것을 使用한다.

中性點을 接地안할 때를 對備하여 73KV LA와 D. S를 병렬로 接地施工하면 대단히 便利하다.

送電線路의 一般條件에서 碍子 9個使用時 BIL은 860KV, 變壓器以外 機器의 BIL은 全絶緣에 해당하는 750KV가 된다. 이상을 종합하면 다음과 같다.



위표에서 알 수 있는 바와 같이 變電所 絶緣設計時 避雷器의 機能이 무엇보다도 重要하다는 것을 알 수 있으며 避雷器의 動作信賴度가 높아야 하는 것

이 要求된다. 요즘은 直列 gap이 없는 酸化아연 素子를 利用한 피뢰기가 開發되어 좋은 性能을 보여주고 있다.

**結 論**

變電所의 絶緣協調를 考慮할 때는 第一 먼저 送電線路의 서지 發生源과 特性을 分析하고 經濟性을 比較檢討하여 系統의 絶緣레벨을 決定해야 한다.

다음은 落雷頻度를 確認하고 汚染度를 測定한 다음 送電線路 絶緣設計를 決定한다. 線路는 廣範圍하게 散在되어 있어 작은 碍子事故라도 停電이 수반되고 찾아내는데 많은 時間이 所要된다.

따라서 送電線路의 BIL은 50% 碍子閃絡 基準直로 하고 補修面을 考慮하여 變電所 絶緣基準值 보다 높게 한다.

Surge는 線路를 지나면서 波形峻度도 둔해지고 波形도 변하여 變電所入口에 到達될 때는 發生時보다 弱化되는 것이 보통이다. 變電所 인근에서 直擊雷를 받을 때는 그렇지도 않지만 避雷器에 到達된 Surge는 放電되어 避雷器의 制限電壓까지 감소되지만 이를 通過한 서지는 變壓器까지 到達 所要時間 서지의 上昇速度에 해당하는 만큼 上昇한 波高值가 變壓器 捲線端子에서 正反射하기 때문에 2倍의 波高值가 결리게 된다. 그래서 避雷器의 設置位置는 變壓器와 가까울수록 좋다.

154KV 以上 變壓器는 段絶緣이 可能하도록 絶緣協調를 決定하면 製作費를 節減할 수 있기 때문에 變電所 建設費가 낮아진다.

154KV級未滿에선 別效果가 없다.

以上으로 變電機器 相互 絶緣協調時 考慮할 點과 絶緣協調 設計例를 韓電에서 適用하고 있는 것을 中心으로 紹介하였다.

市中の 變電機器의 絶緣레벨은 規格化되어 있으므로 上記의 着眼事項을 考慮하여 機器를 選定하면 별 어려움이 없을 것으로 生覺한다. \*