技 術 展 望

送變電設備의 絶緣設計方法에 對한 考察

李 吉 淳*

목 차

1. 序 論
2. 絶緣과 Dielectric Stress
3. 絶緣協調에 대한 統計的方法
4. 超高壓 및 超超高壓系統의 絶緣協調方法
5. IEC의 絶緣 Level 推薦値
6. 超超高壓系統의 絶緣設計例

1. 序 論

電力系統은 電力需要의 繼續的인 伸張, 電源의 偏在 遠隔化 및 規模의 大型化 등으로 超高壓 및 超超高壓化되고 있다. 345kV의 超高壓系統이 1950年代初에 導入된以來 1960年代 中期에는 700kV級 超超高壓系統이 運轉되었다. 이와 같은 超高壓 및 超超高壓系統에 使用되는 設備나 機器는 大容量化하였고 價格도 急激히 上昇하였다. 機器의 信賴度 및 經濟性 提高를 위하여 設備나 機器의 Electrical Parameter選定이나 設計에 대한 充分한 硏究가 必要하게 되었으며 Electrical Parameter나 設計는 系統의 絶緣協調에 左右되고 있다. 따라서 系統電壓이 높아짐에 따라 絶緣協調의 重要度가 增大되고 있어 IEC도 絶緣協調에 대한 規定을 再檢討하여 統計的方法을 利用한 새로운 絶緣協調方式을 採擇하여 各系統電壓에 대한 絶緣Level을 規定하였다.

새로운 系統電壓을 導入하기 위하여 電力會社는 系統에 나타나는 Dielectric Stress豫測과 絶緣耐力試驗設備를 통한 試驗結果 IEC規定과 같은 標準規定을 比較檢討하여 設備나 機器의 絶緣 Level을 選定한다. 따라서 앞으로 絶緣과 Dielectric Stress, 絶緣協調의 統計的方法, 超高壓 및 超超高壓系統의 絶緣協調方法, IEC의 絶緣 Level推薦値, 超超高壓系統의 絶緣設計例에 대하여 考察하여 보고져 한다.

2. 絶緣과 Dielectric Stress

絶緣協調의 基本要素는 Dielectric Stress와 絶緣으로써 Dielectric Stress로는 定常運轉電壓(Normal Operating Voltage) Fig. 1과 異常過電壓(Overvoltage) Fig. 2로 大分된다. 定常運轉電壓은 그림 1과 같이 最大系統電壓(Maximum System Voltage)의 1p·u를 超過하지 아니하고 持續性(Sustained Stress)을 갖고있어 그 크기는 送電電力減少에 의하지 아니하면 通常 最大系統電壓(Maximum System Voltage)의 1p·u를 超過치 아니하고 系統運轉中에는 繼續나타나게 된다. 따라서 이 電壓에 의하여 絶緣은 老化(aging)되며 汚染, 强風, 등에 따라 絶緣이 약화되는 순간 絶緣破壞가 招來된다.

그러나 異常過電壓은 持續的으로 나타나는 것이아니며 系統事故, 落雷 및 機器開閉에 따라 發生되는 것으로 發生頻度가 적고 그 크기는 最大系統電壓을 超過하게 된다. 따라서 異常過電壓은 多樣한 波形特性을 나타내며 크기는 Peak値로 表示된다. 異常過電壓의 絶緣에 대한 特性은 波形에 左右되며 특히 超高壓(EHV)나 超超高壓(UHV)系統에서는 그 重要性이 높아지고 있으며 異常過電壓은 波形에따라 分類된다. 過去에는 異常過電壓이 2個로 區分되었으나 現在는 3個로 區分되고있다. 즉, 波形 및 發生源에 따라 雷擊過電壓(Lightning Overvoltage), 開閉過電壓(Switching Overvoltage) 및 商用周波數過電壓(Temporary Overvoltage)로 分類되며 3個의 過電壓에 대한 試驗을 위하여 標準試驗波形이 採擇되고있다. 이와같은 異常過電壓은 運轉電壓의 크기를 超過하게되어 絶緣設計時 考慮해야 할 基本的인 要素이나 實際로 異常過電壓은 發生頻度가 적고 持續時間도 짧아 絶緣을 老化이키거나 絶緣이 弱化되어있을때 絶緣을 破壞시키는 것이 定常運轉電壓程度는 아니다. 더욱이 異常過電壓은 適當한 裝置를 取附하여 抑制할 수가 있으며 異常過電壓抑制裝置를 取附하여 絶緣階級을 낮춤으로써의 經濟的利得이 抑制裝置設置費보다 크게되어 超高壓이나 超超高壓 系統에 대하여 異常過電壓制御裝置를 設置하는 것이 通例이다

* 正會員 : 韓電 技術開發部 送變電技術役席 代理

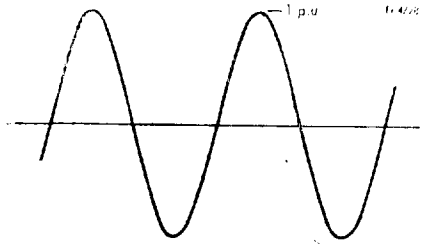

그림 1. 定常運轉電壓

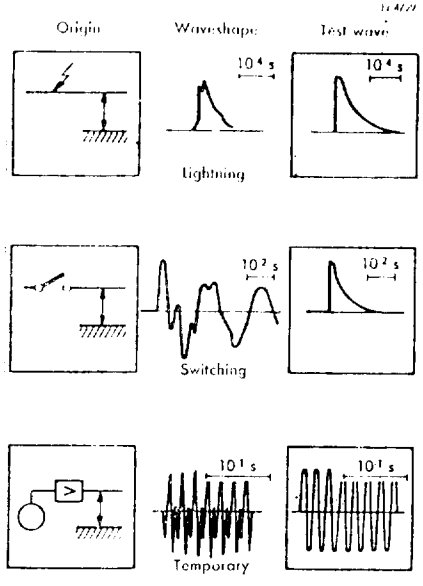

그림 2. 過電壓의 분류

최근의 絶緣協調開發에 있어 空氣絶緣(Air Insulation)에 대한 方法이 重點的으로 硏究되어 왔는데 그림 3에서 보는 바와같이 空氣絶緣間隔(Air Clearance)은 運轉電壓에 의하여 決定되고 있으며 그 크기는 電壓에 比例로 增加한다. 電壓이 增加할 수록 空氣絶緣間隔增加는 적어지는데 이는 碍子의 絶緣特性向上과 V型 碍子連採擇에 基因되고 있다. 超高壓 및 超超高壓系統의 空氣絶緣間隔은 400kV에서 3m, 765kV에서 5.5m 그리고 1500kV에서 10m程度로 보고 있다.

그리고 그림 3과 같이 開閉過電壓(Switching Overvoltage)에 대한 所要絶緣耐力(Insulation Strength Requirement)은 系統電壓이 增加함에 따라 急激히 減少하는데 이는 過電壓에 대한 絶緣耐力의 飽和特性에 基因되고 있으며 開閉電壓의 許容値는 絶緣耐力 以下로 하여야하고 系統電壓이 增加함에 따라 開閉過電壓은 抑制되어야 한다. 그런데 開閉過電壓의 抑制는 系統電壓增加에 따라 複雜化되고 있다.

雷擊過電壓(Lightning Overvoltage)에 대한 所要絶緣耐力(Insulation Strength Requirements)은 系統電壓의 增加에 반하여 一定하며 送電線路 事故率은 急激히 減少한다.

400kV까지의 電壓의 系統에 있어서 開閉過電壓에 대한 絶緣設計는 別問題點없이 標準化되어 있으나 400kV를 超過하는 系統에서는 複雜化되고 있고 重要性이 增大되고 있다. 反面 雷擊過電壓에 대한 絶緣의 重要度는 低下되고있으며 500kV以上의 系統에서는 雷擊事故率은 急激히 低下되고 있다.

그러나 內部絶緣(Internal Insulation)의 경우 空氣絶緣과는 樣相이 相異하여 開閉過電壓에 대한 飽和特性이 없으며 超高壓이나 超超高壓과 같은 高電壓系統에 있어서도 異常過電壓의 許容値를 過大하게 減少시킬 必要性은 없다.

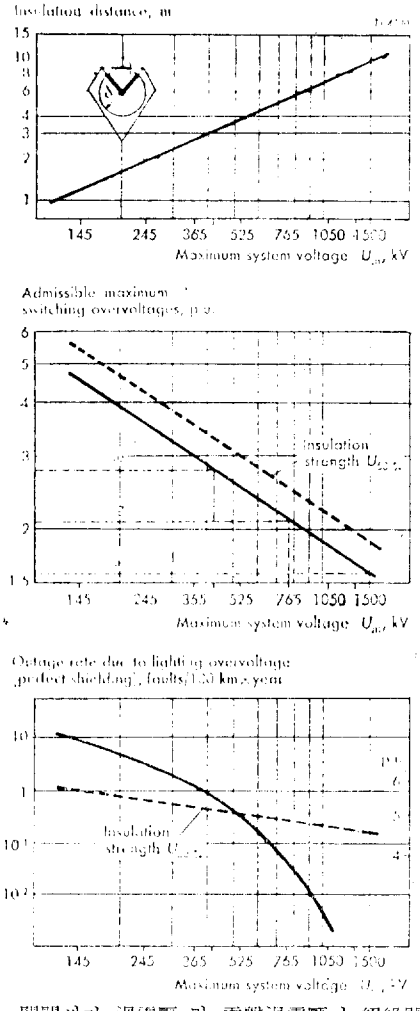

그림 3. 開閉써지 過電壓 및 雷擊過電壓과 絶緣間隔의 關係

3. 絶緣協調에 대한 統計的方法

300kV以上의 電壓을 導入하게 됨에 따라 開閉過電壓에 대한 絶緣의 重要性이 增大하게 되어 IEC의 絶緣協調에 대한 規定이 修正되게 되었다. 즉 Surge에 대한 絶緣特性(Insulation Behaviour)의 定義方式이 再檢討되었고 開閉過電壓의 標準波形과 標準試驗方法이 設定되었다.

특히 開閉過電壓의 不確實性과 放電電壓의 分散性에 따라 Withstand Voltage에 대한 從來의 定義와 設計基準의 適用이 어렵게 되었다. 따라서 確率的인 方法이 使用되기 始作되었으며 이 方法은 過電壓의 크기와 絶緣耐力을 Random Quantity로 表示하게 됨으로써 絶緣設計에 適用하여 相當한 利得을 얻게되었다.

그림 4에는 絶緣協調의 從來方法이 表示되어있는데 過電壓은 最大値로 選定하여 適正한 裕度를 適用 絶緣이 견딜 수 있도록 絶緣階級을 選定하여야 한다. 그러나 過電壓과 絶緣耐力은 Random Quantity이므로 選定된 過電壓이 最大電壓이 된다는 確實性은 없고 또한 絶緣이 이 過電壓을 견디어낼 수 있다고 確信할 수 없게 되므로 裕度를 크게 하여야하는데 裕度選定은 任意로 하여 超高壓이나 超超高壓系統에서는 適用이 困難하게 된다.

統計的 方法은 Probability Function에 依據過電壓과 絶緣耐力의 Random Characteristic을 定義한다. 즉, 그림 5와 같이 過電壓의 發生確率을 구하여 過電壓의 Peak値에 대한 Probability Density曲線을 Simulation方法과 Analytical Method에 依據 구할 수 있다. 그리고 그림 6과 같이 放電特性에도 確率法을 適用 放電確率 $P=\lim_{N\to\infty}\frac{n}{N}$ (N : 總放電試驗回數, n : 實際放電發生回數)로 表示되는데 實際로 이러한 試驗은 放電後에도 絶緣耐力이 回復되는 回復絶緣(Self-Restoring Insulation)에 適用된다. 그러나 放電確率概念은 非回復電壓(Non Self-Restoring Insulation)에도 適用될 수 있다. 따라서 過電壓値에 대한 絶緣의 放電確率을 決定 放電確率曲線(Discharge Probability Function)이 얻어진다.

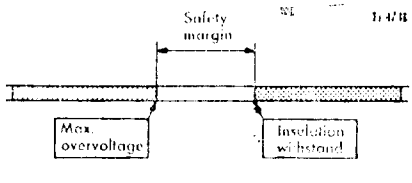

그림 4. 在來式絶緣協助方法

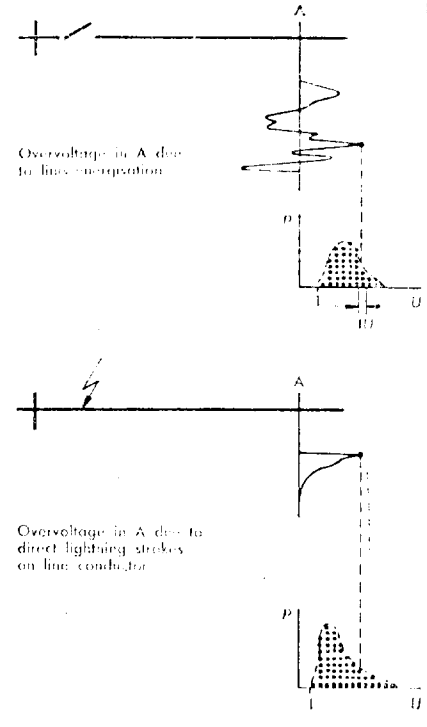

그림 5. 開閉써지 過電壓 및 雷擊過電壓에 대한 確率概念

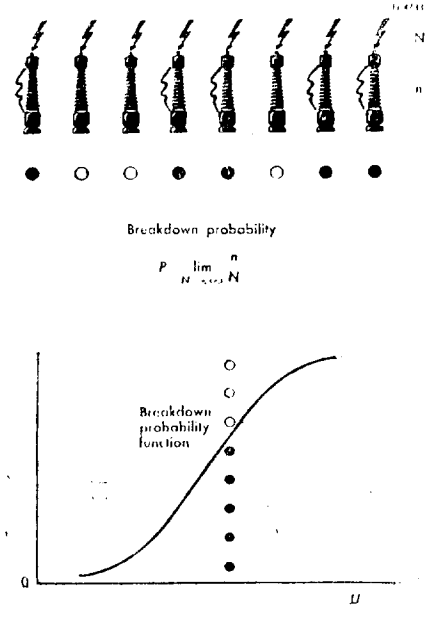

그림 6. 絶緣破壞에 대한 確率的 概念

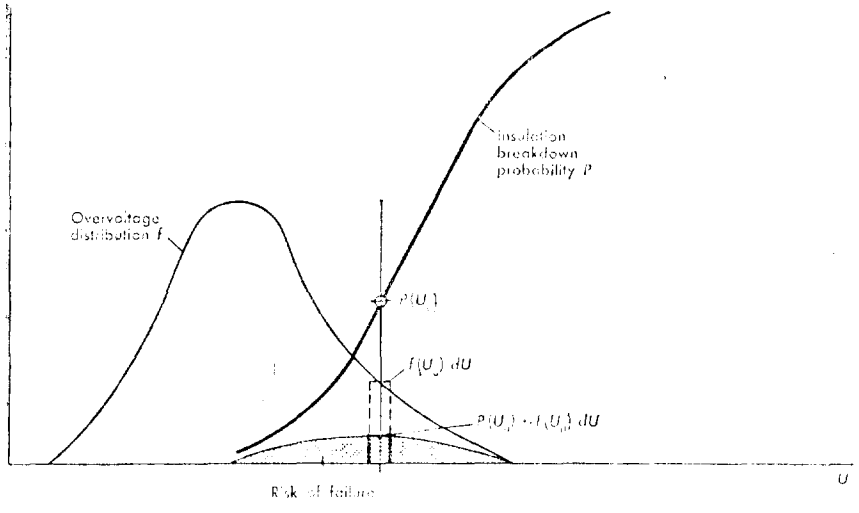

그림 7. 事故率算定方法

이와같이 過電壓의 發生確率曲線($F(u)$)과 絕緣의 放電確率曲線($P(u)$)이 決定되면 그림 7과 같이 絕緣破壞率(Risk of Failure)을 計算할 수 있다. 즉, Failure Risk는 $\int_0^\infty F(u)\cdot P(u)du$로 表示되고 絕緣耐力을 增加시키면 Failure Risk는 減少하며 價格은 올라가게 된다. 따라서 絕緣費用을 比較하여 適正한 絕緣設計를하여야 한다.

絕緣協助에 있어서 이와같은 方法을 適用, 任意的인 決定을 피하기 위하여 IEC의 絕緣協調에 대한 새로운 規定이 준수되고 있다.

絕緣協調에 確率方法을 適用하게되면 많은 利益이 얻어지나 絕緣의 Random特性에 대하여 充分한 檢討를 遂行할 必要가 있다. 現在 非回復絕緣에 대한 試驗은 回復絕緣보다 費用이 크게 所要되어 回復絕緣에 대한 知識이 많이 蓄積되어 있다.

統計的方法에 의하여 絕緣設計를 하기위하여는 過電壓과 絕緣耐力을 單一값으로 定義하여야 하는데 2%의 發生確率을 갖는 過電壓을 統計的過電壓(Statistical Overvoltage)으로 稱하고 90%의 Withstand Probability를 갖는 絕緣을 統計的 絕緣耐力(Statistical Withstand Voltage)이라고 부르는데 이들 2% 및 90%를 Reference Probability라고 한다. 그림 9이 2個의 統計的過電壓 및 統計的絕緣耐力을 從來의 絕緣協調에서 使用되는 最大過電壓 및 絕緣耐力에 해당된다.

統計的 絕緣協調明式에 있어서 開閉過電壓에 대한統計的 裕度(Statistical Safety Margin)와 絕緣破壞確率(Risk of Failure)은 그림 1과 같으며 UHV系統에서는 대단히 重要하다. 裕度를 10%씩 올리면 事故率

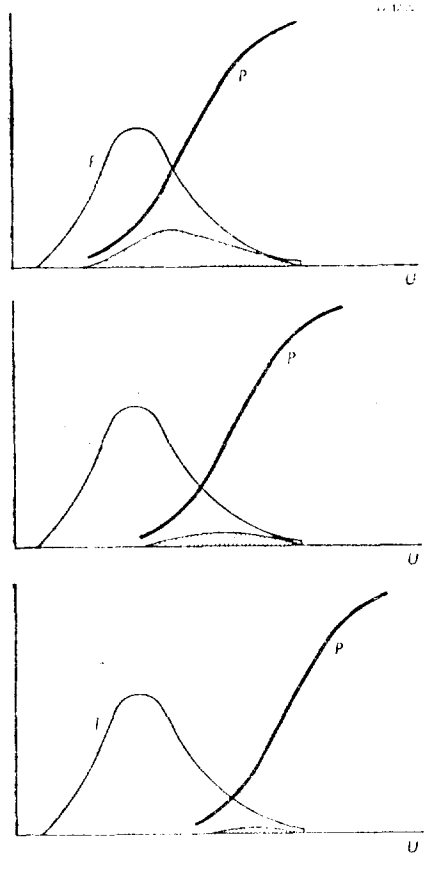

그림 8. 絕緣耐力과 事故率 關係

은 1/10씩 減少하게되는데 Margin이 5%이면 事故率은 10^{-2}이며, 10^{-3}의 事故率을 얻기 위하여는 Margin 15%가 必要하게 된다.

그러나 이 曲線은 槪念的 絕緣設計에는 適用될 수있으나 細部設計에 適用할 때는 補正이 必要하다. 絕緣協調에 있어서 統計的 絕緣耐力과 從來式 絕緣耐力의 所要電壓値를 定格絕緣耐力(Rated With-Stand Voltage)이라 한다.

前述한 바와 같이 絕緣協調에 있어서 Dielectric Stress는 定常運轉電壓, 雷擊過電壓, 開閉過電壓 Temporary Overvoltage로 區分되고 있는바 絕緣도 最大系統電壓(Maximum System Voltage), 그리고 雷擊過電壓, 開閉過電壓 및 temporary Overvoltage에 대한 Rated Withstand Voltage로 定義된다.

最大系統電壓은 機器壽命期間동안 運轉電壓에 견디는 絕緣能力을 Check하기 위하여 使用된다. 그러나 一般的으로 定常系統에서 Temporary Overvoltage는 1.5p.u以下로 持續時間도 1s以下로써 最大系統電壓에 의한 絕緣試驗을 通過한 絕緣은 Temporary Overvoltage도 견디어 낼 수 있어서 Rated Power Freguency Withstand Voltage를 別途로 規定할 必要는 없다.

따라서 絕緣은 最大系統電壓, 定格雷擊電壓耐壓値(Rated LightningImpulse Withstand Voltage), 定格開閉電壓耐壓値(Rated Switching Impulse Withstand Voltage)로 分類되는데 2개의 Rated Withstand Volvage를 絕緣 Level로 規定하고 있다.

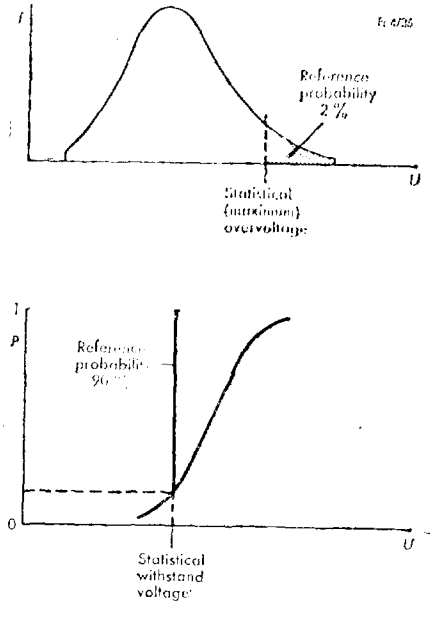

그림 9. 過電壓과 絕緣耐力의 基準値

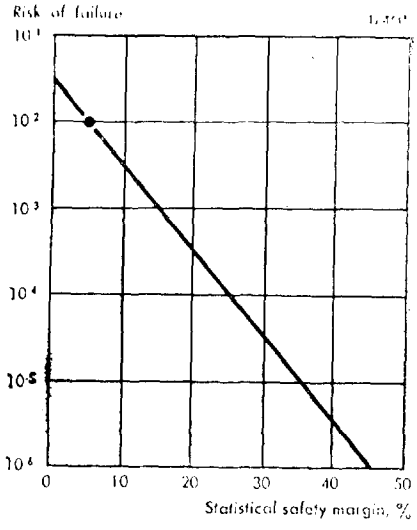

그림 10. 開閉써지 絕緣裕度와 事故率 關係

4. 超高壓 및 超超高壓系統의 絕緣協調方法

다음은 超高壓 및 超超高壓系統에 있어 變壓器와 같은 內部絕緣과 送電線碍子連 및 D.S와 같은 空氣絕緣의 2個型 絕緣에 適用되는 絕緣協調의 Logical Sequence는 그림 11와 같다. 變壓器와 같은 內部絕緣은 보통 避雷器에 의해 보호되는 非回復絕緣이며 空氣絕緣은 보통 避雷器의 保護를 받지않는 回復絕緣이다.

絕緣協調에있어서 基本은 Block 1에서 보는 바와같이 運轉電壓으로 이 運轉電壓과 系通特性에따라 開閉過電壓 Temporary Overvoltage가 決定된다. (Block 3, 4)絕緣의 初期段階는 保護用避雷器設置如否에 關係없이 決定되는데 이는 모든 絕緣이 運動電壓과 Temporary Overvoltage를 견디어내야 하기 때문이다. 一般的으로 現代系統에서 Temporary Overvoltage는 一定한 값에서 制限되도록 하고있어서 運轉電壓에 대한 絕緣設計가 重要하다. 그리고 避雷器는 Temporary Overvoltage에 따라 決定된다.

避雷器가 選定되면 Switching Impulse에 대한 Protection Level을 적용하여 避雷器에 의하여 保護받는 絕緣에 대한 絕緣 Level이 決定된다. 만약 이렇게 決定된 絕緣 Level이 高價이면 系統의 Temporary Overvoltae를 더욱 低下시킬 수 있는 조치를 해야 한다. (Block 7의 Feedback 파선)

反面 避雷器에 의하여 保護를 받지않는 絕緣은 開閉過電壓과 雷擊電壓에 따라 決定된다. 우선 Block 8과

같이 開閉過電壓에 대한 絶緣을 決定하는데 그 理由는 超高壓이나 超超高壓系統에서는 開閉過電壓의 役割이 重要하고, 雷擊過電壓에 대한 絶緣은 開閉過電壓에 대한 絶緣은 開閉過電壓에 대한 絶緣에 左右되기 때문이다. 이렇게 決定된 開閉過電壓에 대한 絶緣이 過絶緣이되면 차단기 Type變更 및 開閉過電壓 抑制等을 통하여 絶緣레벨을 減少시켜야 한다.

끝으로 雷擊過電壓에 대한 絶緣檢討를 Block 11,12와 같이 實施하여야 한다. 一般的으로 超高壓이나 超超高壓系統의 Insulation Dimension은 雷擊過電壓에 左右되지 아니한다. 雷擊過電壓을 分析하기 위하여는 雷特性과 接地條件, Shielding特性 및 鐵塔 Dimension에 대한 檢討가 必要하게된다. 즉, 絶緣이 雷擊過電壓에 견디지 못하면 接地 및 Shielding裝置의 特性을 再檢討하여 雷擊過電壓을 낮추어야 한다.

被保護絶緣系統의 絶緣 Level과 非保護絶緣系統의 絶緣 Level 間에는 특별한 關係는 없다. 즉, 被保護絶緣系通의 絶緣 Level은 Temporary Voltage와 避雷器特性에 關聯되고 非保護絶緣系統의 絶緣 Level은 開閉過電壓과 過電壓 抑制裝置特性에 關係된다. 1000kV 以上의 超超高壓系統의 被保護絶緣系統은 非保護絶緣系統의 경우보다 더 높은 Switching Surge Withstand Level이 必要할 수 있는데 이는 LA와 같은 絶緣保護裝置의 誤動作에 따른 變壓器內部絶緣과 같은 絶緣을 保護하기 위한 것으로 본다.

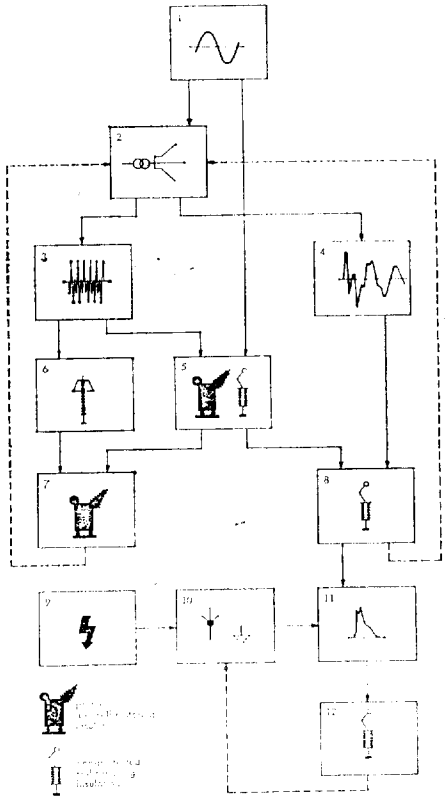

그림 11. 絶緣協調檢討過程

5. IEC의 絶緣 Level 推薦値

다음은 IEC의 絶緣 Level選定에 대하여 考察하여 보면 絶緣에 대한 Overdimension을 피하고 機器의 標準化를 위하여 最大系統電壓에 대한 絶緣 Level等級을 可及的 줄이게 하였고, 절연 Level選擇은 制約을 받게된다. IEC의 絶緣等級을 보면 그림 12과 같이 最大系統電壓이 765kV 系統에서는 Rated Switching Impulse Voltage가 3個값으로 規定되었으나 그 以下電壓에서는 2個값으로 規定되어 있는데 이것은 765kV 系統에 대한 知識의 缺如에 基因되고 있다. 그리고 각 Rated Switching Impulse Voltage에 해당되는 Lighting Impulse Voltage는 3段階로 區分되며 2個값은 변압기와 같은 被保護絶緣에 適用되며 1個값은 空氣絶緣과 같은 非保護絶緣에 適用된다.

最大系統電壓에 대한 Rated Switching Impulse Withstand Voltage選定은 그림 13와 같이 選定되는데 實線과 Standard Impulse Withstand Voltage의 交叉點이 空氣絶緣의 Switching Impulse Withstand Voltage를 나타낸다. IEC는 이 交叉點보다 한 段階아래인 電壓도 包含시켜 Switching Impulse Withstand Voltage로 推薦하였다. 그리고 765kV系統에서는 한 段階 위인 電壓도 包含되어있다. 따라서 點線曲線은 避雷器에 의해 保護되는 系統에 適用되며 系統電壓 增大에 따른 避雷器特性의 複雜化로 765kV까지는 한 段階 위에 있고 그以下의 電壓에는 한 段階아래에 있게 된다.

IEC의 絶緣 Level 選定方式에 依據 1000kV 以上의 UHV系統의 空氣絶緣階級을 推定하여 보면 1050kV系統은 1675kV, 1300kV系統은 1950kV, 1,500kV系統은 2,100kV로 豫想되나 實際로는 Switching Overvoltage 抑制手段改善 등으로 이 보다는 낮아지게 되어 그림 13의 굴곡 實線과 같이 減少한다. 그러나 被保護內部絶緣은 空氣絶緣보다 높아지게 되어 1500kV系統은 2100~2,400kV로 推定되고 있다. 이는 避雷特性의 複雜化에 基因되고 있다.

6. 超超高壓系統의 絶緣設計 例

765kV系統을 運轉하고 있는 美國의 AEP(American Electric Power Service Corporation)은 765kV系統을 1969年부터 導入하였는데 765kV系統의 絶緣設計를

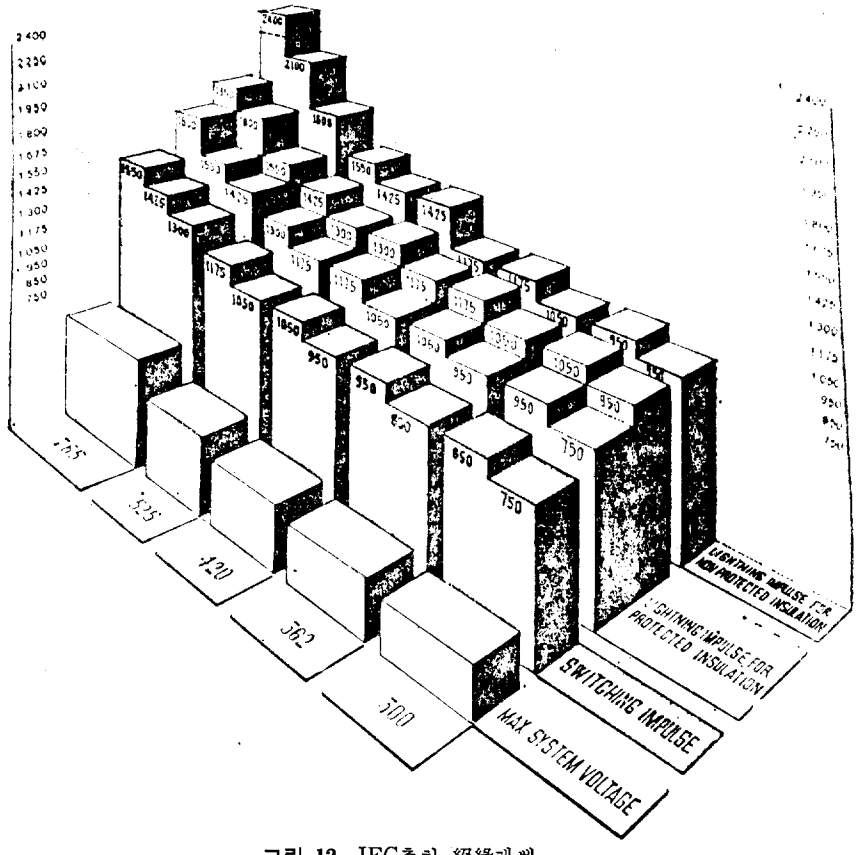

그림 12. IEC추천 絶緣레벨

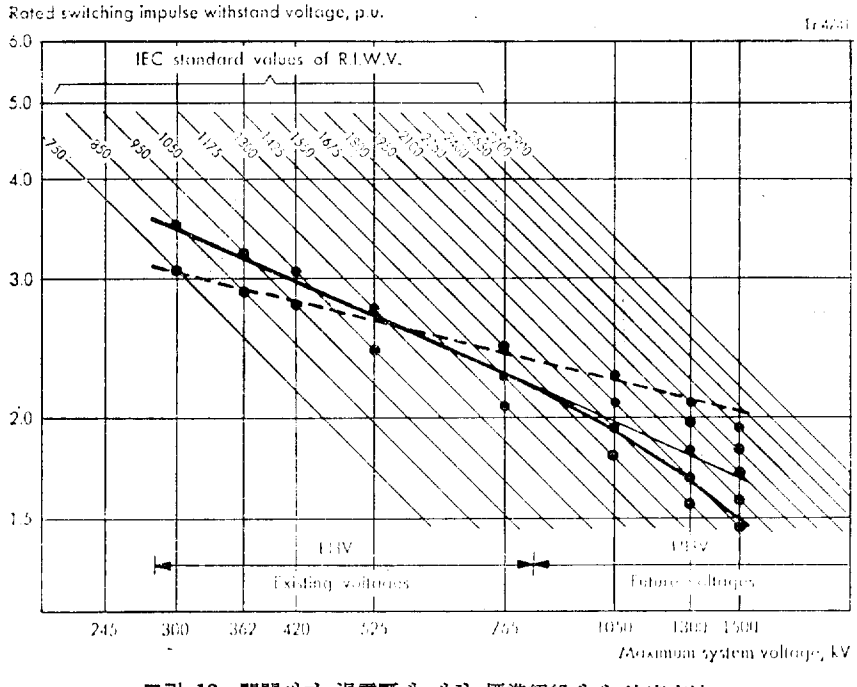

그림 13. 開閉써지 過電壓에 대한 標準絶緣레벨 決定方法

위하여 超超高壓 및 超高壓系統에 대한 絕緣協調의 基本要素인 過電壓을 檢討하였다.

G,E의 TNA, 및 W,H의 ANACOM, Allis Chalmers의 EDA(Electronic Differential Analyzer)등을 利用 765kV送電系統(Lakesville s/s-Kammer s/s, 350mile 1回線)을 Simulation하여 豫測結果 Kammer s/s를 Open하고 Lakesville s/s에서 Energize 할 때 Kammer s/s 765kV 母線電壓은 定常時 1.43p.u 1線地絡 事故時 1.7 p.u로 나타났다. 그리고 Kammer s/s에서 350Ω Closing Resistor 取附遮斷器로 投入時 Kammer s/s母線에 나타난 開閉過電壓은 1.96p.u로 나타났고 Reclosing 時는 2.1p.u로 上昇하였다.

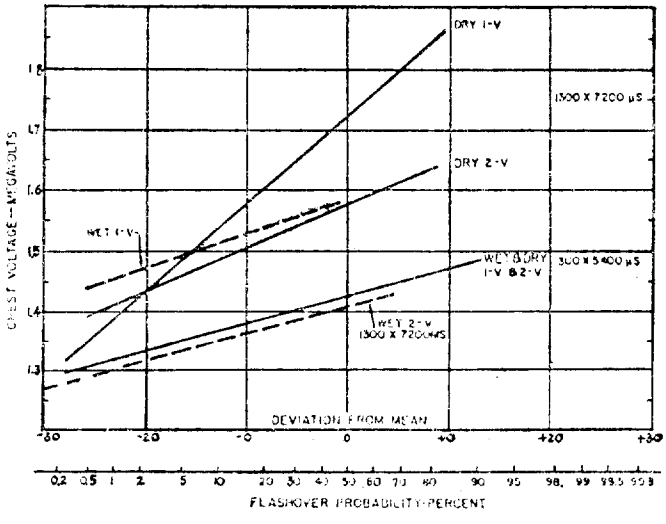

그림 14. 鐵塔 碍子連의 Flashover確率
(外相, 碍子 30個 Positive wave)

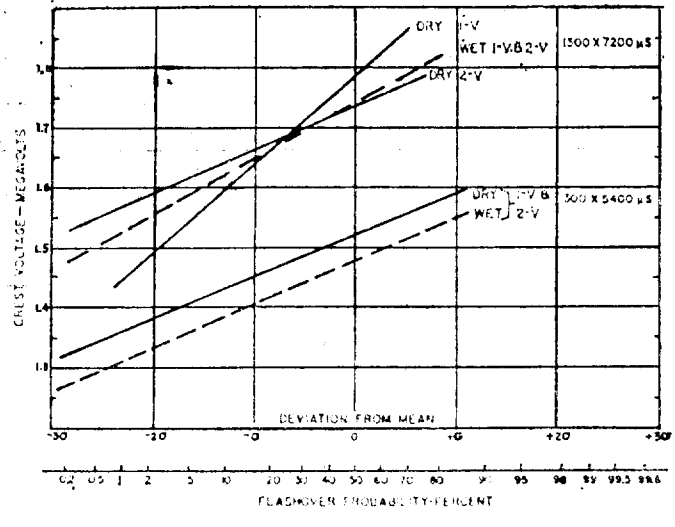

그림 15. 鐵塔碍子連의 Flashover確率(碍子 32個)

이와같은 過電壓 豫測에 依據 絕緣設計의 基準이 되는 商用周波數 過電壓(Temporary Overvoltage)의 許容値는 1.45p.u로 開閉過電壓(Switching Overvoltage)의 許容値는 2p.u로 選定하였다. 그리고 過電壓에 대한 絕緣設計를 위하여 AEP는 Ohio Brass社의 High Voltage Laboratory에 765kV 送電線 絕緣試驗設備를 設置하여 試驗을 實施하였다. 試驗結果에 의하면 V string과 I string의 경우 Negative Wet CFO는 I String이 V String보다 15% 低下하며 外相 碍子連 $5\frac{3}{4}\times10''\times30$個 Insulator V String의 Flashover Probability는 그림 14와 같이 50% CFO는 1410kV, 3σ Withstand Level은 1260kV이다. 中央相碍子連 32個 Insulator V string의 Flashover Probability는 그림 15와 같이 50% CFO는 1470kV, 3σ Withstand Level은 1230kV이다. 따라서 String은 V String으로 하고 中央相의 碍子連은 $5\frac{3}{4}\times10^{inch}\times22$個 外相의 碍子連은 $5\frac{3}{4}\times10^{inch}\times30$個로 定하여 開閉過電壓 許容値 2p.u(1250kV)에 견딜 수 있도록 하였다.

이는 IEC의 規定에 의한 765kV系統 開閉過電壓耐壓値(Rated Switching Impulse Withstand Voltage) 1300kV 1415kV 1550kV中 1300kV에 해당되고 있어 經濟性提高와 Arching Horn設置를 考慮, 最低値를 택한 것이다.

AEP는 變壓器와 같은 保護絕緣의 基本이 되는 避雷器의 定格電壓을 商用周波數 過電壓 許容値 1.45p.u를 基準으로 588kV로 選定하였고 避雷器의 Swithching Impulse Discharge Voltage는 避雷器特性値 1.45倍를 適用 1200kV로 하였다. 變壓器의 Switching Impulse Withstand Voltage는 變壓器를 保護하는 避雷器의 Protective Level (LA제폐색지방전전압/TrSIL)은 旣存系統에 使用되고있는 0.8로 보고 1490kV로 選定하였고 Lightning Impulse Withstand Voltage(BIL)는 1800kV로 選定하였다. 非保護系統의 遮斷器絕緣의 SIL은 1500kV, BIL은 2300kV로 하였다.

따라서 IEC 規定 絕緣 Level과 比較하여보면 保護絕緣系統이나 非保護絕緣系統

공히 IEC의 765kV系統 絶緣 Level中(SIL, 1300kV, 1425kV, 1550kV) 제일높은 1550kV級에 해당하는 絶緣Level을 택해 過絶緣을 하였다. 이는 765kV系統에 대한 技術蓄積이 充分치 못하고 機器의 系統運用에 대한 役割이 지대하여 事故에 의한 供給 信頼度 低下를 防止하기 위한 것으로 본다.

카나다의 735kV系統의 絶緣設計는 美國 AEP의 765kV系統과 類似하다 카나다 735kV系統은 Hydro-Quebec에서 開發 1965年부터 運轉開始하여 世界에서 最初로 700kV系統을 開發하였다. Hydro-Quebec은 1962年 735kV送電方式을 導入하기로 基本計劃을 樹立하고 絶緣設計의 第1段階로 美國 N.Y. Schenectady의 TNA를 利用 735kV系統(Manicouagan-Levis間, 230 Mile, 1回線)을 Simulation하여 過電壓 豫測을 實施하였다. 그 結果 開閉過電壓은 Closing Resistor 取附遮斷器에 의하여 再閉路時 2.1p.u로 豫測되었고 商用周波數는 Shunt Reactor를 取附하여 1.5p.u로 나타났다.

따라서 絶緣設計基準으로 商用周波數過電壓의 許容値는 1.5p.u로, 開閉過電壓의 許容値는 2.1p.u로 하였다. 이와같은 過電壓에 대한 絶緣設計를 위하여 Hydro-Quebec은 1962年에 美國 GE에 送電線絶緣 試驗設備를 設置, 開閉過電壓에 대한 絶緣耐力試驗을 實施하였고 63年에는 이태리 CESI에 試驗設備를 設置試驗을 實施하였다.

Hydro-Quebec은 避雷器의 定格電壓으로 商用周波數過電壓 許容値 1.5p.u를 適用 612kV로 選定하였고 避雷器의 Switching Impulse Discharge Voltage는 AEP와 같이 避雷器 定格電壓의 1.45倍를 適用 1230kV로 選定하였다. 變壓器의 SIL은 避雷器의 Protective Level을 0.9로 보고 1350kV로 하였고 BIL은 1800kV로 選定하였다. 그림 16와 같은 試驗結果에 의하면 外相 碍子連 $5\frac{3}{4}\times10''\times35$個 Insulator Double-V String의 50%, CFO는 1520kV, Withstand Level 1350kV 中央相 35個 Insulator Double-V String 50%, CFO는 1400kV, Withstand Level 1275kV(String Space 增加시키면 1350kV 維持可能). 따라서 碍子連은 $5\frac{3}{4}\times10''\times35$個 Insulator Double-V String으로 選定하여 開閉過電壓 許容値 2.1p.u(1260kV)에 견딜 수 있도록 하였다. 遮斷器의 SIL은 1425kV BIL은 2100kV로 選定하였다.

Test Setup	Dry or Wet	Pittsfield Results (GE)		Milan Results (CESI)	
		CFO	CW	CFO	CW
Center phase, double 90-degree V strings	Wet	1400	1275	1700	1200
Center phase, single 90-degree V strings	Wet	1410	1350	1630	1380
Outside phase, double 90-degree V strings	Dry	1660	1490	1740	1540
Outside Phase, double 90-degree V strings	Wet	1520	1350	1700	1430

그림 16. Swiching Surge Test Results on Prototype Tower at CESI, Milan, 35 Insulators, per String

區分	AEP		H Q	
	SIL	BIL	SIL	BIL
公稱電壓	765kV		700kV	
最大運轉電壓	800kV		735kV	
送電線	1250kV $5\frac{3}{5}\times10''\times32$개 (외상 30개)		1350kV $5\frac{3}{4}\times10''\times35$개	
避雷器	定格電壓 588kV 1200kV	1660kV	定格電壓 612kV 1230kV	1400kV
變壓器	1490kV	1800kV	1350kV	1800kV
遮斷器	1500	2300	1425	2100
D.S	1750	2050	1425	2100
C.T		2300		
Bus Insulator	1310	2050	1425	2100

參 考 資 料

1. IEC Publication 71-1 (Insulation Coordination) (1976)
2. IEC Publication 71-2 (Insulation Coordination) (1976)
3. IEC Publication71A (Insulation Coordination)
4. ASEA Journal (Insulation Coordination Application)
5. Overvoltages on AEP 765kV System (IEEE PAS)
6. AEP 765kV Transmission Line Insulation(IEEE PAS)
7. AEP 765kV Station Insultion (IEEE PAS)
8. Composite Line Insulation of Hydro-Quebec 735kV system (IEEE PAS)

전기자재, 기계부품, 중장비부품, 붓싱, 비철금속 주물일체

燐靑銅·靑銅·黃銅洋銀·鉛靑銅·高力黃銅·AL靑銅

新昌金屬

공 장 : 서울특별시 영등포구 당산동 3가 555
전화 (63) 8153
사무실 : 서울특별시 중구 을지로 3가 334-3
삼진빌딩 301호
전화 (267) 8327

O·T탈기 및 여과, 變壓器現場設置組立 및 修理

振星電氣㈜타 代表 : 金 振 淇

東大門區 典農洞 503-3 **Tel. 968—1331**