765 KV 2 回線 送電線 絶緣協助

金 正 夫 , 閔 錫 源 , 李 東 一
韓 電 技 術 硏 究 院

Insulation coordination of 765 KV double circuit transmission line

Jeong Boo Kim , Suk Won Min , Dong Il Lee
KEPCO Research Center

Abstract

This paper covers the insulation coordination of 765 KV transmission line in Korea Electric Power Corporation. The design for the lightning,switching surge,and contamination was conducted to increase the reliability of 765 KV line.

The authors have used the result of a limited Westinghouse ANACOM swiching surge study of the Korea Electric Corporation's 765 KV Expansion plan. The study investigated the switching surge overvoltage distribution and maximum switching overvoltage when relosing 765 KV lines. They used the technical data of the suspension insulator for the contamination design, which was available from a foreign insulator manufacture.

From this paper, the authors find out that the contamination design dominates to determine the number of insulator and the SOV design dominates the air clearance in the tower.

Afterwards the authors will confirm this design by Demonstration Test with Korea Electro-technology Research Institute.

1. 序論

韓電에서는 現在의 345 KV 系統을 승압하여 765 KV로 運転할 必要性을 느끼고 1979~1980年에 Westinghouse 에서 基本設計에 대한 研修教育을 한 바가 있다. 또한 技術研究院이 擴大改編됨에 따라 1984年부터 다시 765 KV 送電線路 設計에 대하여 基本的인 研究를 進行하였다.

一次的으로 導体選定을 하기 爲하여 美國의 BPA 에서 개발한 預測 Program 을 利用 候補導体를 選定하고 이의 一段階 実證試驗을 爲하여 電氣研究所 構内에 Corona Cage 를 設置하여 実線路를 模擬한 試驗을 계속한 結果 483㎟(RAIL)으로 構成된 6 導体가 適合하다는 것을 알았다. 現 345 KV 送電線路 주변에서 發生하는 소음은 45dB이나 電壓이 500 KV以上이 되면 소음이 發生하여 선로인근에 거주하는 住民들에게 不平을 주는 일이 있으므로 導体선정에 有意하여야 한다. 이 導体選定을 基礎로 하여 765 KV 送電線路의 絶緣協助에 대하여 記術하고자 한다.

2. 送電線의 絶緣協助 概要

送電線路 絶緣協助는 (1) 鉄塔의 空氣 絶緣距離 (2) 애자련길이 (3) 애자련의 누설길이 (4) 가공지선의 数 및 位置, (5) 塔脚抵抗 決定 等이다.

다시말하면 송전선의 사고에 영향을 주는 절연크기를 정하는 것이다.

이와같은 양을 결정하기 위하여 落雷, 開閉過電壓, 汚損時 상용주파 전압에 대하여 設計하여야 한다.

개폐 過電壓 設計는 지지물에서 공기 절연거리, 애자련길이를 決定하게 된다. 상용주파 전압에 대한 設計는 애자련 누설길이를 결정하고 開閉 Surge 設計

에서 決定한 애자련길이를 증가할 필요가 있다.

내회설계는 애자개수를 決定할 뿐만 아니라 架空地線의 數와 塔脚 接地抵抗 크기를 決定한다. 最終設計는 汚損度와 開閉過電壓 抑制方法에 따라 決定된다

3. 耐開閉 Surge 設計

開閉過電壓은 過度回路 分析器(ANACOM) 또는 計算機 프로그램에 의해서 수행된다.

絶緣크기는 高電壓 試驗에서 決定된다. 이 경우 絶緣에 印加된 電氣的 Stress는 開閉過電壓(SOV) 이고 이는 正規分布 또는 極限値分布를 가진다.

正規分布일때

$$f(E) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_0} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{E-\mu_0}{\sigma_0}\right)^2} \cdots\cdots (1)$$

極限値分布일때

$$f(E) = \frac{1}{\beta} e^{-y} e^{-e^{-y}} \cdots\cdots (2)$$

$$F(E) = e^{-e^{-y}}$$

여기서 $y = \frac{E-u}{\beta}$

$f(E)$는 確率 密度函数이고

E는 SOV 의 波高値,

β는 傾斜 媒介変数

μ_0는 平均値이고

u는 最頻度数이다.

鉄塔, 空氣, 碍子의 電氣的 絶緣強度는 正規 累計分布로 어림지울 수 있다.

$$F(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_f} \int_{-\infty}^{V} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{V-CFO}{\sigma_f}\right)^2} dV \cdots (3)$$

여기서 CFO 는 臨界閃絡 電壓이고 σ_f 는 標準偏差이다.

$F(V)$는 電壓 V가 絶緣体에 印加될때에 閃絡確率이다. 最高의 開閉過電壓을 일으키는 것은 高速再閉路이다.

차단기가 故障을 除去하기 爲하여 開路한 후 몇 Cycle 以內에 차단기가 閉路된다. 이와같이 線路에 갇힌 電荷는 碍子로 빠져나갈 充分한 時間을 갖지 못하고 차단기는 갇힌 전하가 있는 때에 다시 닫힌다.

開閉過電壓에 대한 設計는 決定的 方法(Deterministic Method)과 確率的인 方法 2 가지가 있다.

지금까지 주로 決定的인 方法에 의해서 設計되어 있다.

3-1 決定的 方法(Deterministic Method)

1960年代 初에 처음으로 550 KV 線路에 대한 研究가 시작되었다.

모형시험과 현장시험으로 부터 開閉 Surge 가 鉄塔設計를 支配한다고 생각하였다. 550 KV 系統의 最大開閉過電壓을 연구 後 이에 対한 空氣-사기碍子의 絶緣強度 試驗을 高電壓 試驗室에서 行해졌다.

開閉 Surge(SOV)에 対한 絶緣強度는 無作爲한 것이라는 놀라는 事実이 일어났다. 그 당시는 단지 最大 SOV 를 決定하는 것이었지 全分布를 구하는 것이 아니었다.

그러므로 이 방법은 最大 SOV 를 耐壓値와 같게 두는 것이다. 耐壓値는 $CFO - 3\sigma$ 로 定義한다. 그러므로 설계公式은 다음과 같다.

$$V_3 = E_m \cdots\cdots (4)$$

E_m : 最大 開閉過電壓

V_3 : 線路絶緣에 대한 統計的인 開閉耐壓値

3-2 確率的인 方法

確率 統計部分에서 이용될 수 있는 가장 強力한 道具는 壓力-耐力(Stress-Strength) 概念이다. 이 단어는 구조역학이나 기계공학에서 나온 것이다.

오늘날 이 단어는 開閉 Surge 閃絡事故確率을 計算하는 絶緣協調에 利用된다. 試驗에서 電氣的 耐力強度 分布를 決定한다. 系統研究에서 電氣的 壓力分布가 決定된다. 事故는 壓力이 耐力을 超過할 時 일어난다.

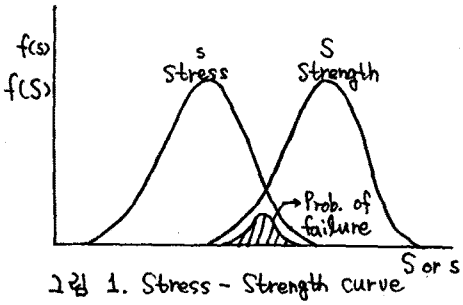

그림 1. Stress - Strength curve

3-3 765 KV送電線 耐開閉Surge 設計 (確率的 方法)

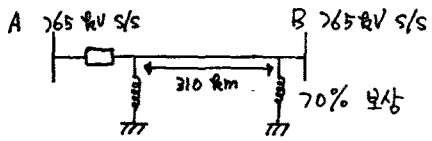

그림 2. 765 kV 송전 선로

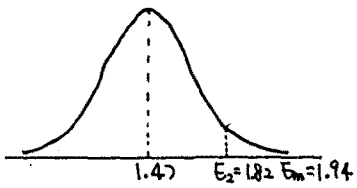

그림 3. SOV 분포

設計條件

E_2 ; 1.82

σ_0/μ_0 : 0.1156

E_R/E_S ; 1.02

線路정수

支持物數 : 443 基

標 高 : 1.0 km

絶緣強度

$\sigma_f/CFO = 0.05$

Wet ; Decrease CFO by 4%

Long front wave ; Increase CFO by 10%

Tower Width (W) : 2.5m

設計水準

SSFOR : 1/1000

設計結果

$$CFOe = \frac{(V_3/E_2)E_2}{(TCF)(UPCF)(SCF)(0.96)(0.85)(1.1)(RAD)^n}$$

= 1406 KV (臨界閃絡電壓) - - - - - (5)

$$S = \left[\frac{0.1\,(CFO)\,(W)^{0.19}}{3230 - CFO}\right]^{\frac{1}{1.19}} \quad ------(6)$$

= 4.25m (空氣絶緣距離)

3-4 決定的인 方法으로 設計

設計條件

E_m ; 2.0 pu, ACF ; 1.0, CF ; 0.85

$CFOe = 1645$ kV

소요애자개수는 300 KN의 경우 27개

400 KN의 경우 26개이다.

支持物의 空氣 絶緣距離

$$V_{50} = k \cdot 1080 \ln(0.46d + 1) \cdots (7)$$

k ; Gap factor

d ; Arcing horn gap (m)

d = 4.33 m (현수 애자 기준)

Horn gap ; 4428 mm

4. 耐雷設計

4-1 送電線의 遮蔽設計

架空地線은 相導体에 落雷가 떨어지지 않도록 雷撃을 포착하도록 導体위에 設置한다.

그러나, 雷撃電流, 雷撃 Angle, 傾斜面, 鉄塔과 같은 여러가지 要因을 고려하여야 차폐실패가 일어나지 않는다.

雷撃이 地面에 到達할 때 선구방전의 마지막 단계와 地面이나 mast사이에 Striking distance 라고 불리는 臨界거리가 있다. 이 거리는 철탑높이와 雷撃電流크기의 함수이며 그 結果式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$r_g = 2) I^{0.32} \quad ----(8)$$

$$r_c = \gamma \cdot r_g \quad ----(9)$$

여기서 $\gamma = 1.0$ for $h < 18$ m

$\gamma = \frac{444}{462 - h}$ for $h \geq 18$ m

여기서 I 는 雷擊電流의 波高値

r_g : 선구방전의 마지막 단계와 地面사이의 Striking distance

r_c : 선구방전의 마지막 단계와 도체사이의 Striking distance

完全차폐는 상도체가 가공지선으로 완전차폐되어 뇌격이 여기에 到達하지 않도록 가공지선의 位置를 定하는 것을 말한다.

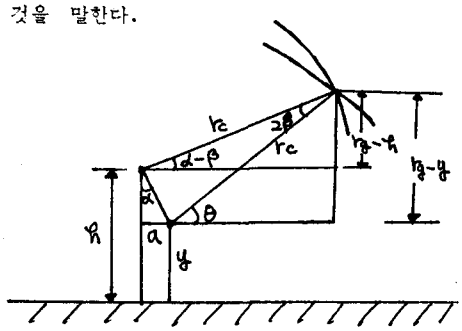

그림 4. 완전 차폐의 원리

$$a = \sqrt{r_c^2 - (r_g - h)^2} - \sqrt{r_c^2 - (r_g - y)^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{a}{h-y}$$

지지물의 높이와 산지의 경사도를 고려하여 설계하여 보면 345 KV 송전선은 수직 2 회선 지지물을 기준하면 相導体에 대하여 0°, 765 KV 송전선은 -5° 이면 완전차폐가 된다.

4-2 逆閃絡에 대한 設計

架空地線이 相導体를 完全차폐하였다 하더라도 지지물의 塔脚 接地抵抗이 높으면 철탑의 전위가 높아서 철탑으로 부터 相導体로 閃絡한다. 이를 逆閃絡이라 한다. 이것은 雷擊電流의 크기, 습뢰빈도 및 波頭峻度에 関聯된다. 系統電壓이 높으면 애자련의 길이가 길어지므로 자연적으로 逆閃絡 事故率이 줄어진다.

逆閃絡 事故率은 보통 年間 100 km 당 1回以下로 되도록 接地抵抗을 갖고 있다. 765 KV 送電線路에서는 30Ω이 되더라도 0.5 回/100 km/yr되며 더욱 信頼度를 높이기 爲하여 345 KV 送電線路와 같이 20Ω으로 定하는 것이 타당하다.

5. 耐汚損 設計

해안 가까이에 있는 송전선로 또는 도로변에 있는 송전선로의 애자는 염진해로 인하여 線路耐力이 低減된다. 오손조건에 필요한 절연 level은 상용주파 과전압 계수를 곱한 것을 말한다. 이 과전압 계수는 계통에 따라 다르지마는 1.2 로 보고 있다. 이 계수는 一線地路時 健全相의 電位上昇係数를 말한다.

300 KN 애자의 경우 1 개당 내전압치는 19.5 KV로 29個가 所要되며 400 KN의 애자는 1 개당 내압치가 20.5 KV 로 27개가 소요된다.

6. 結 論

이상의 設計에서 보면 애자련설계시 애자개수는 汚損設計에서 決定됨을 알 수 있다. 그러나 空氣絶緣距離는 開閉過電壓에서 決定됨을 알 수 있다. 一線地路時 商用周波 過電壓 係数 및 차단기 재폐로시 開閉過電壓 크기가 設計에 重要하다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. Insulation Coordination 765 KV Transmission Line of KEPCO., by J. B Kim et al, June 1980.
2. Switching Surge Study of the 765 KV System of KEPCO by J.B Kim et al, Feb. 1980.
3. Design of Insulator String assemblies for 765 KV Transmission Lines, December 1986.
4. "UHV 交流送電 実證試驗委員會 報告書" 1984年 3月 日本 電力中央研究所