

避雷器의 隔離效果

李弘植 / 電力技術研究室

避雷器와 變壓器 사이의 許容隔離距離의 算出 및 絶緣協調檢討에 관한 方法을 提示하였다.

I. 概要

避雷器는 被保護物에 될 수 있는 한 가까이 設置하는 것이 좋으나 效果的으로 遮蔽가 된 變電所라면 直擊雷를 맞을 確率이 매우 적고 放電電流가 線路의 surge impedance에 의해 制限되므로 하나의 避雷器로 둘 이상의 設備을 保護하는 것도 가능하게 될 것이다. 效果的인 遮蔽가 되어 있지 않은 경우에는 避雷器를 變壓器 端子에 設置하여야 한다. 다음에 제시하는 方法은 比較的 간단한 變電所의 變壓器 保護에 適用할 수 있다.

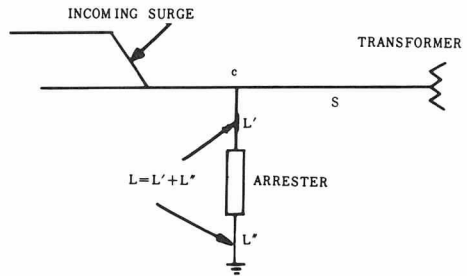
II. 隔離效果 (Separation Effect)

避雷器가 被保護設備로부터 상당한 거리로 떨어져 設置되는 경우 設備에 避雷器의 制限電壓보다 높은 電壓을 招來할 수 있다. 이들 電壓의 比(被保護物에서의 電壓/避雷器의 制限電壓)의 增加現象을 隔離效果라 부른다. 隔離效

果는 model study 또는 다음에 提示한 方法으로 算出할 수 있으며, 侵入하는 surge의 波頭峻度와 크기 그리고 避雷器와 被保護設備와의 距離에 관한 函數가 된다. 隔離效果는 surge의 波頭峻度(Rate of rise)와 크기가 클수록 連結된 母線(Bus) 또는 引出線의 長이가 길수록 또 設備의 對地容量(Capacitance to ground)이 클수록 增加한다.

1. 隔離效果(SE)의 算出法

어떤 multi-line 2-transformer bank station에서 하나의 避雷器로 두 變壓器를 保護할 수 있다. 아래와 같은 簡略化 過程을 통해 等價의 "base case"를 誘導해 낼 수 있다.



〈그림 1〉 Base case

2. Base Case

〈그림 1〉의 base case는 單一線路和 避雷器引出線 L, 變壓器引出線(lead) S 그리고 이들의 接續點 C 로 構成되어 있다.

等價의 base case를 얻기 위한 model study 에서 S 와 L 의 surge impedance는 線路의 surge impedance와 같게 하였다.

3. 簡略化 節次

Base case로 줄이는데 使用될 節次는 다음과 같다. 이것은 model study 에서 surge peak, 각각의 變壓器에 대한 S, L, 變壓器의 sur-

ge capacitance, 接續點 C, T間의 距離를 變化시켜가면서 여러가지 경우에 關於 研究된 結果를 토대로 한것이다.

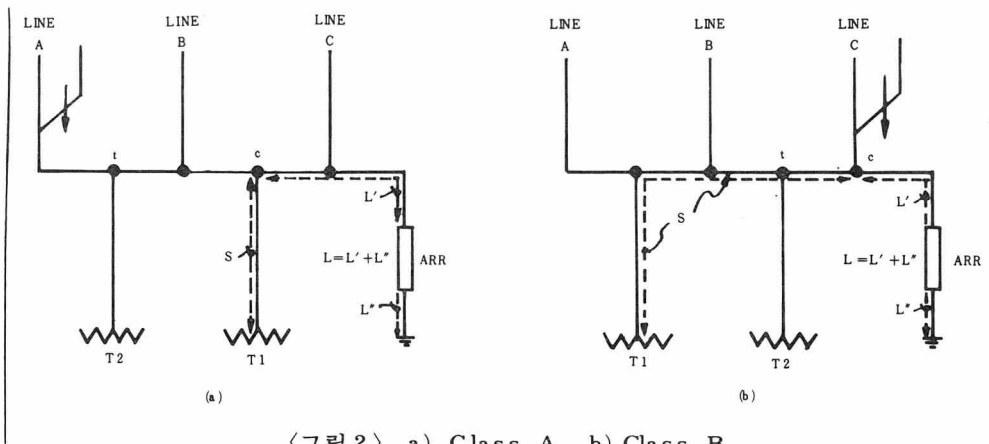
가. 考慮對象이 아닌 變壓器는 除去하여도 좋다.

나. 〈그림 2〉에서

1) 接續點 C 는 變壓器 引入線, 避雷器 引入線, surge의 侵入을 받았다고 假定하는 線路와의 共通點으로 한다.

2) S 는 接續點 C 와 變壓器사이의 bus connection의 길이

3) L 는 接續點 C 와 避雷器 사이의 길이로 한다.



〈그림 2〉 a) Class A b) Class B

다. 接續點 t는 surge가 侵入한 線路와 變壓器 1 (T 1) 과의 bus connection, T 2와 의 bus connection과의 共通點으로 한다.

t와 c는 同一点이 될 수도 있으며 單一變壓器의 變電所에서는 t가 存在할 수 없다. Class A는 t점이 接續點 C 와 一致하거나 C 에 關於하여 線路側에 있는 경우이고 class B는 점 C 가 t에 關於하여 線路側에 있다. Class A에서는 考慮中인 變壓器의 SE는 두번째 變壓器를 連結하므로써 언제나 減少한다; 이 사실은 〈가〉를 適用하여도 保存的인 base case를 얻을 수 있음을 나타낸다. 그러나 class B에서는 두번째 變壓器를 連結하므로써 S 가 큰 變壓器의 SE가 增加한다. 이러한 狀況은 S 의 增加로 인해 나타난 것이며, c와 t 사이의 距離를 增加시키므로써 줄일 수 있다.

라. Class B 의 경우에는 計算된 SE의 값을 5% 增加시킨다.

마. 接續點 C 와 避雷器 端子 間に 連結된 모든 線路를 除去한다.

〈그림 2. (a)〉를 보면 C 點과 避雷器端子 사이에 線路가 連結되어 있다. 이러한 線路는 C 點으로부터 가장 긴 S를 가진 變壓器에 對하여 SE가 增加되도록 한다. 問題되고 있는 線路를 除去하는 대신 〈마〉에서 使用되는 n의 값을 줄일 수 있어 적절히 補償이 된다.

바. 侵入하는 surge의 波頭峻度에 $3/(n+2)$ 를 곱한다.

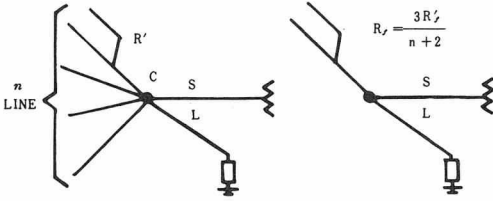
여기서 n은 〈마〉를 適用한 다음에 남아있는 모든 線路의 數이다. (Surge가 侵入한 線路包含) $P = \frac{3}{n+2}$ (Surge factor)는 아래와 같이 進行波 理論으로 誘導된 것이다. 〈그림 3〉은 S

와 L의에 n=4 線路를 가진 變電所이다. 이들은 모두 C點에서 만나며 같은 surge impedance Z를 갖고 있다. <그림 3>과 같이 surge가 侵入하고 있다고 하면 C點에 連結된 모든 線路의 等價 surge impedance는

$$Z_2 = \frac{Z}{n-1+2} = \frac{Z}{n+1}$$

Surge의 波頭峻度를 R' [KV/μS]라 하면 C點에서의 峻度 R'e는

$$R'_e = \frac{2Z_2}{Z_2+Z} R'_r = \frac{2}{n+2} R'_r$$



<그림 3> Surge factor

지금 <그림 1>의 base case에서의 單一線路에 侵入하는 surge의 R_r를 구하고자 하는데 이것은 R'e와 같아야 할 것이다. 線路에서 본 等價 surge impedance Z_1 = Z/2 이고 점C에서의 峻度は,

$$R_e = 2Z_1 R_r / (Z+Z_1) = 2/3 R_r$$

$$R_e = R'_e \text{ 이므로}$$

$$R_r = \frac{3}{n+2} R'_r = \rho R'_r$$

4. Base case 解析을 위한 Parameters

$$D = S + L \text{ [m]}$$

$$\bar{D} = D (R_r / E_r) / v$$

R_r; Surge (incoming) 波頭的 峻度

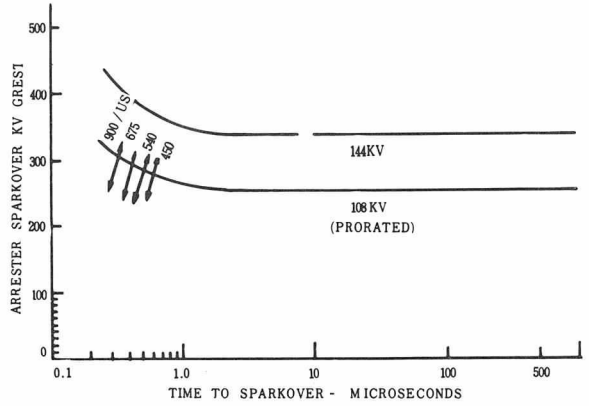
E_r; 避雷器의 波頭放電開始電壓

(<그림 4>와 같은 그래프에서 R_r에 해당하는 E_r를 찾는다) <5. 나 참조>

E_i; 被保護絶緣物에서의 電壓

$$\alpha = E_i / E_r$$

v; 進行波의 速度 (空氣中の 導體에 대하여 300m/μS)



<그림 4> 避雷器의 放電開始 特性曲線

5. SE의 算出

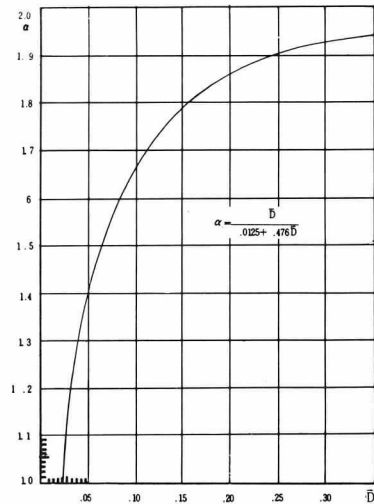
가. Base case 로 簡略化

Base case는 surge가 어느 線路에 侵入하느냐에 따라, 考慮하고자 하는 變壓器에 따라 달라질 것이다.

나. 一連의 점에서 V_1=t_1, R_{r1}, V_2=t_2, R_{r2}, V_3=t_3, R_{r3}, ...를 計算하여 이들을 避雷器 製造會社의 放電開始電壓 特性曲線위에 plot 하여 두 曲線의 交点에서 E_r를 구한다.

다. \bar{D}를 計算한 다음

<그림 5>에서 \alpha를 구하여 E_r를 곱하면 變壓器에서의 電壓을 얻는다.



<그림 5> \alpha = f(\bar{D})

6. 許容隔離距離

許容할 수 있는 最大의 SE를 넘지 않는 D의 값을 말한다.

$\alpha = E_i / E_r$ 의 因数 α 를 保護比(Protective ratio) PR(1)이라 부른다. III에서

$$\frac{CWW}{SE \cdot FOW} \geq 1.15; SE \leq \frac{CWW}{FOW} \cdot \frac{1}{1.15}$$

CWW; Chopped Wave Withstand voltage

FOV; Front of Wave sparkover voltage

SE의 上限은 $SE_{max} = (CWW/FOV)/1.15$ ①

$$SE \cdot FOW = E_i = \alpha E_r$$

$\beta = E_r / FOW$ 라 하면

$$\alpha = SE / \beta \dots\dots\dots ②$$

$$\text{①式에서 } \alpha_{max} = \frac{CWW / FOW}{1.15\beta} \dots\dots\dots ③$$

〈그림 5〉의 曲線의 方程式은

$$\alpha = \frac{\bar{D}}{0.0125 + 0.476\bar{D}} \text{이다.}$$

$$\bar{D} = D(R_r / E_r) / v \text{이므로}$$

$$D = \frac{0.0125\alpha}{1 - 0.476\alpha} \cdot \frac{v}{R_r / E_r} \text{ 여기서 } R_r = \rho R'_r,$$

$E_r = \beta \cdot FOW$ 를 代入하고 α 대신 α_{max} 를 쓰면 式③에서

$$D_{max} = \frac{(CWW / FOW)}{1.15\beta - 0.476(CWW / FOW)} \cdot \frac{\beta}{\rho} \cdot \frac{v}{(R'_r / FOW)} \dots\dots\dots ④$$

〈표 1〉은 式④와 實驗式

$$\beta = 1 + 0.07(\rho - 1)(R'_r / FOW) \dots\dots\dots ⑤$$

을 사용하여 計算한 것이다. R'_r / FOW 의 값은 2.58로 계산하였다. (ANSI C 62.2 Appendix A 참조)

III. 絶緣協調 檢討

設備의 絶緣耐力을 予想되는 過電壓 및 surge 保護裝置의 保護特性과 相互 관련시키는 것을 絶緣協調라 하며 一般의으로 두가지 方法이 使用되는데, 여기서는 “three - point method”를

CWW(1) FOV	線路의 数(2)						
	1	2	3	4	5	6	7
1.2	3.0	4.2	5.4	6.6	7.8	9.3	10.5
1.4	4.2	6.0	7.8	9.6	11.7	13.5	15.6
1.6	6.0	8.7	11.7	15.0	18.0	21.3	24.6
1.8	9.0	13.8	19.2	25.2	31.5	37.8	44.7
1.9	11.1	18.3	26.4	35.4	45.6	56.4	68.1
2.0	14.7	25.2	39.0	56.1	76.8	110.8	128.7
2.1	20.4	39.6	70.2	119.1	—	—	—

(註) (1) 侵入 surge가 1.5μs以上에서 放電을 일으키는 경우를 考慮할 때에는 BIL/LPL*을 使用하여도 좋다.

(2) 簡略化 節次를 거친 후의 線路의 數

(3) D=S+L(m)

* LPL; Lightning Surge Protective Level

〈표 1〉 許容隔離距離, D(3)

提示한다. 이 方法에서는 다음과 같은 保護比를 使用한다.

$$PR(1) = CWW / FOW, PR(1S) = PR(1) / S.E$$

$$PR(2) = BIL / LPL, PR(3) = BSL / SSP$$

SSP; Switching Surge Protective Level 系統의 絶緣協調는 다음 다섯가지의 基準이 滿足되어야 한다.

1. $PR(1) \geq 1.2$

〈表 3〉의 許容隔離距離를 CWW / FOW에 對하여 檢討하고 격리거리 D가 표의 값을 넘지 않으면 隔離效果는 無視하여도 좋으나 그렇지 않은 경우에는 $E_i = \alpha E_r$ 에서 E_i 를 計算한 다음

2. $PR(1S) = PR(1) / SE = CWW / E_i \geq 1.15$

3. $PR(2) \geq 1.2$

보통 여기서는 SE를 考慮하지 않지만 필요한 경우에는 $PR(2S) = PR(2) / SE = BIL / E_i$ 를 使用한다.

4. $PR(2S) \geq 1.15$

Switching surge의 波頭峻度는 lightning surge에 比하여 상당히 낮고 따라서 SE도 낮다. 그러므로 BSL, SSP 絶緣協調를 檢討할 때에는 SE를 無視하여도 좋다.

5. $PR(3) \geq 1.15$

IV. 結 論

效果的인 遮蔽가 되어있는 變電所에서 變圧器와 避雷器의 許容隔離距離는 一般的으로 侵入波의 크기 및 波形과 避雷器의 制限電圧特性에 따라 결정된다.

하나의 避雷器로 두개의 變圧器를 保護하는 경우 避雷器의 位置는 許容隔離距離 이내에 있도록 하면 되지만, 더불어 絶緣協調 問題도 檢討하여야 한다. 복잡한 multi-line multi-transformer station에 대하여서는 ANACOM 또는 digital computer에 의한 transient study를 거쳐 最適保護를 爲한 避雷器의 數와 位置를 決定하여야 할 것이다.

参 考 文 献

1. Phelps, J. D. M., Selection of Surge

Arresters", Surge Protection in Power Systems, IEEE Tutorial course pp. 47-59, 1978

2. Greenwood, A., Electrical Transients in Power Systems, New York, Wiley, 1971, pp. 193~215

3. Bewley, L. V., Traveling Waves on Transmission Systems, New York, Wiley, 1933

4. "Surge Protection of Power Systems" Westinghouse Electric Corporation, Power Systems, Mar. 1975.

5. "Power Engineering Desk Book", 電氣書院

6. "Standard for Surge Arresters for Alternating Current Power Circuits", ANSI Standard C62.1-1975.

7. "Guide for Application of Valve-Type Arresters for Alternating-Current ANSI C62.2-1969.

