

345KV 送電線の 絶縁設計

기술해설
21~2~2

A Consideration on 345KV Transmission Line Insulation

신 내 승*
(Dae Seung Shin)

1. 序 言

韓電은 앞으로의 電力需要의 증가에 대처하기 위해 電力系統網의 강화, 電力供給의 경제성향상등을 목표로 하여 345KV 超高壓送電電壓을 채택하였다.

345KV 超高壓設備의 絶縁協助全般에 대해서는 韓電內 각부서에서 검토하고 있을 것으로 알며 여기서는 345KV 送電線路의 絶縁設計만을 지난 71년10월 「345KV 送電線 Insulator string 檢討」회의에서 논의결정된 바에 따라 종합하였다.

종래에는 送電線路의 絶縁設計에 있어서 雷擊에 대해서 선로가 절대로 閃絡事故를 일으키지 않도록 하는 것은 불가능하므로 이에 대해서는 有効한 架空地線의 설치와 철탑의 塔脚接地抵抗의 低減으로 대처하여 雷直擊이나 鐵塔逆閃絡을 방지하도록 하고, 系統의 內雷, 즉 고장시의 商用周波異常電壓과 開閉 Surge 電壓에 대해서는 절대로 선로가 閃絡을 일으키지 않도록 설계하는 것을 원칙으로 하였다.

그러나 최근에는 雷 Surge 電壓에 대해서도 선로가 적절한 絶縁強度를 유지하여 목표로한 事故率이하가 되도록 하는 耐雷設計도 고려하게 되었다. 이것은 供給信賴度向上에 대한 요구가 높아진점과 송전선로의 逆閃絡機構가 定量的으로 어느정도 해명되었기 때문이다.

송전선로의 絶縁설계는 耐開閉 Surge 設計, 耐雷設計 耐汚損設計를 總合하여 결정되며, 이 방법에 의해서 345KV 송전선로의 碍子個數 및 Horn 間隔을 결정해본다.

2. 耐開閉 surge 設計

(1) 開閉 Surge 倍數

종래에는 送電線絶縁設計에서 無負荷送電線의 光電電流遮斷時에 遮斷器의 再點弧1회를 想定하여 開閉 Surge 倍數를 2.8로 하였으나, 遮斷器에 抵抗器(Surge Supp-

ression Registor)를 설치하면 無再點弧遮斷이 가능하여 絶縁設計上 문제는 없다. 事故時의 高速度 3相再閉路時의 Surge가 오히려 問題되나 抵抗付遮斷器에서는 2.2倍를 넘지 않으며 345KV 系에서는 抵抗付遮斷器를 採用하게 되므로 開閉 Surge 倍數는 2.2라도 무방하겠으나 충분한 裕度를 두어 2.5倍로 想定한다.

(2) 補正係數

開閉 Surge 電壓值를 산출하는데 있어서, 標高 및 氣象條件에 의한 閃絡電壓值의 저하를 감안하여 補正을 해야하며, 그밖에 50%閃絡值를 耐壓值로 換算하는데에도 補正이 필요하다. 이 補正係數는 다음과 같이 정한다

(a) 系統過電壓係數: 5%상승으로보아 1.05

(b) 50%閃絡電壓의耐壓值換算(耐壓比): 1.15

(c) 標高補正: 1,000m이하 지역에서는 耐壓值의 低下를 10%로 보아 1.1, 1,000m 이상지역에서는 그 지역의 기상조건에서 공기밀도와 濕度補正을 한다.

標高補正을 종래에는 電壓值를 補正하여 Gap長을 구했으나 최근의 여러실험결과에서 Gap長을 補正하는 것이 妥當한 것으로 判명되었으므로 여기서는 Gap長을 補正한다.

우리 345KV 送電線經過地의 標高는 최고 850m 이므로 補正係數는 1.1이던 충분하다.

(3) 所要碍子數 및 Horn 간격 결정

Horn 간격은 所要開閉 Surge 耐壓值에 해당되는 간격을 그림 1의 「碍子裝置의 開閉 Surge 閃絡特性曲線」에서 구한다. 그림 1의 curve는 日本電力中央研究所 武山와 日本碍子小牧超高壓試驗所의 실험 Data이다.

開閉 Surge는 波頭長 50~1,000 μ s, 波尾長 2,000 \pm 10,000 μ s의 緩頭波衝擊電壓이며 이중 波頭長 50~400 μ s의 Surge 電壓이 最少閃絡電壓을 나타내므로 波頭長 150~160 μ s의 curve를 사용했다.

碍子數는 Horn 間隔能率 (Horn 間隔長(Z)/碍子連長(Z₀))을 약 80%로보아 산출했다.

(4) 綜 合

이상을 종합하여 開閉 Surge 設計를 표 1에 나타낸다

*정회원: 한전 계전기담당역선 주무

碍子數는 16個, Horn 간격은 1,826 m/m 이다.

표 1. 耐閉閉 Surge 設計

項 目	計 算 值
1. 標 高	1,000m 以下
2. 懸垂碍子外徑	254m/m(10"×5 ³ / ₄ "standard)
3. 最高電壓	345×1.05=362.25KV
4. 閉閉 Surge倍數	2.5
5. 閉閉 Surge電壓	362.25×2.5×√ ² / ₃ =739.35KV (對地)
6. 所要閉閉 Surge耐壓	739.35×1.15=850.25KV
7. 所要 Gap長	Fig 1에서 1,660mm
8. Gap標高補正	1,660×1.10=1,826mm
9. 所要碍子數 (Horn Gap能率 Z/Z ₀ =0.8目標)	Z ₀ = $\frac{1.826}{0.8}$ =2282.5mm n= $\frac{2282.5}{146}$ =15.63→16個
10. 碍子連長	16×146=2,336mm
11. Horn Gap能率	$\eta = \frac{Z}{Z_0} = \frac{1,826}{2,336} = 78.2\%$

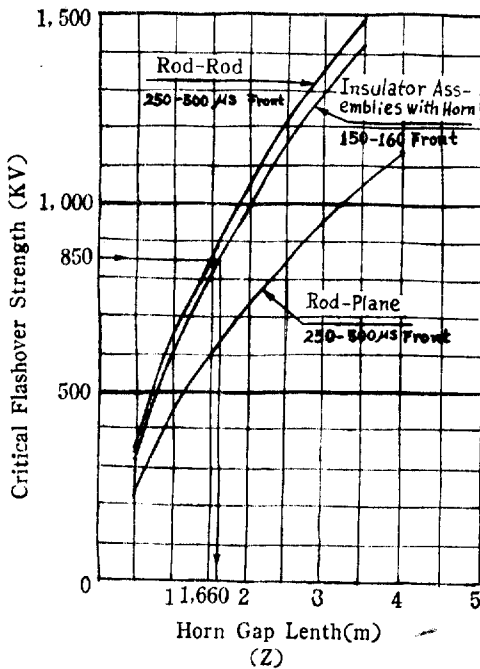


Fig 1. Dry positive polarity switching surge flashover strength of suspension and dead end assemblies.

3. 耐雷設計

송전선로의 耐雷設計上的 신뢰도는 雷擊時的 절단전 위상승에 의한 逆閃絡發生率로 결정된다. 逆閃絡發生率은 송전선로 경과지의 雷擊事故實積, I. K. L, 雷擊電流

의 크기, 頻度, 波形等を 알면 이것으로 逆閃絡을 발생 하는 雷擊電流를 계산해서 雷擊電流頻度曲線에서 推定 할 수 있다.

따라서 耐雷設計方法은 우선 우리가 바라는 送電線路의 신뢰도를 정하여, 가령 送電線路事故率을 1회/100 km/年이하로 정했다면 선로경과지의 I. K. L, 雷電流頻度曲線으로부터 1회/100km/年 이하만 발생하는 雷擊電流를 찾아서 이 전류를 逆閃絡電流로 정하여 逆으로 계산해서 線路碍子個數, Horn 間隔長을 결정한다.

(1) 逆閃絡發生雷擊電流

다음식으로 계산된다.

$$I_L = \frac{k V_{50} - E_m - e}{(K - c) Z_T}$$

I_L : 逆閃絡發生雷擊電流

V₅₀ : 標準條件下的 碍子裝置의 標準波 50% F, O, V, 棒-棒 50%閃絡特性에서 구한다. 50% F, O, V는 V(KV)=0.55l+80 l은 Gap長(m/m)

E_m : 對地交流電壓波高值 E_m=√²/₃×345(KV)

e : 雷誘導電壓 : 現段階에서는 그 효과가 불명이므로 고려않음

c : 結合率, 標準은 0.3, 實測值가 있으면 그 값을 사용

k : 波形係數, 標準波形50% F, O, V에 k를 곱한것을 그 波形에서의 50% F, O, V로 한다.

1×5µs 波에서	k=1.25
1×10µs 波에서	k=1.10
波頭 2µs 波에서	k=1.05
波頭 4µs 波에서	k=1.18

雷擊電流의 波形에 대한 우리실측치는 없으나 일반적으로 2×5µs 波, 또는 4×5µs 波이며 여기서는 4×5µs 波를 택한다. k=1.18×1.25

α : 大氣補正係數

標高 1,000m 以下이므로 1.1

補正은 Gap을 補正하는편이 정확하지만 衝擊波에서는 그 영향이 적으므로 간편하기위해 電壓補正한다.

K : 鐵塔內各部的 電位分布係數, 各相 Arm 電位上昇值의 塔頂電位上昇에 대한 比.

接地抵抗 10Ω 인때는 높이에 비례한다. 上段은 0.9정도임. 여기서는 크게보아 1.0으로한다.

Z_T : I_m로 표시한 鐵塔頂部的 電位上昇(Ω) 格子圖(Lattice diagram)法으로 구한다.

波 頭 長	接 地 抵 抗(Ω)	$Z_r(\Omega)$
$2\mu s$	10	24
	20	29
	40	34.5
$4\mu s$	10	18
	20	20
	40	26

※ 徑間長 350m G, W 2條

(2) 耐雷設計計算

- (a) I. K. L 은 20으로 함.
- 표 2참조(試驗所報 第4號 p. 28-34)
- (b) 雷擊電流頻度曲線은 우리나라의 Data가 없으므로 A. I. E. E Committee Report 中 Transactions Vol. 69. Part II, 1950의 Data를 적용함. Fig 2 참조.
- (c) 塔脚接地抵抗은 韓電표준은 15Ω 이나 실정을 참작하여 20Ω 으로 함.
- (d) 雷電流波形은 $4 \times 5\mu s$ 波로 간주함.
- (e) 碍子個數決定에서 臨界通絡電壓(註參照)을 Horn의 50% F.O.V의 200%를 목표로 하여 Horn능을을 80%이하로 함.
- (f) 送電線路事故率은 1.0回/100km/年이하를 목표로 함.
- (g) 雷擊은 鐵塔直擊 50%, 徑間雷擊 50%로 보는 것이 보통이나 좀 苛酷하게 보기 위해 鐵塔直擊 100%만 보았음.
- (h) 이상을 종합하여 耐雷設計計算을 표 3에 나타낸다.

표 2. 階級別雷日數(우리나라觀測值, 電試 Data)

階 級	日 數	觀測所數	百分率	備 考
A 地域(最寡雷地域)	0~5	0	—	
B // (寡雷地域)	6~10	23	37.1	
C // (平均地域)	11~15	23	37.1	
D // (多雷地域)	16~20	11	17.7	
E // (最多地域)	21~25	5	8.1	
年平均雷雨日數	12.6未滿	32	51.6	
	12.6以上	30	48.3	

※ 最多地域은 華川, 山陽地域이며 345 KV Route는 포함되지않음.

碍子數(254m/m 標準碍子)를 18個, Horn 간격 2, 100m/m로 하면 事故率은 0.83回/100km/年이며 碍

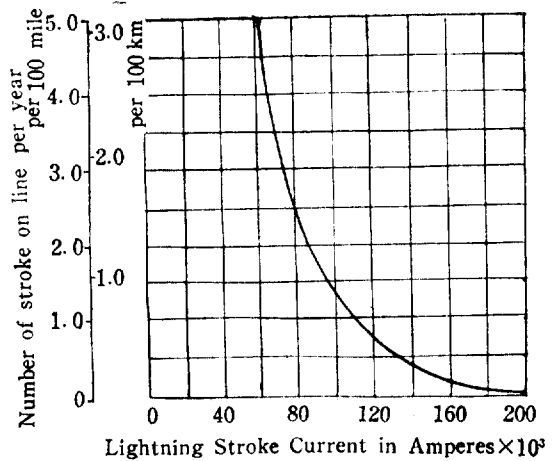


Fig 2. Lightning stroke current probability curve.

표 3. 耐雷設計計算(各碍子數에 對한 事故率推定)

1. 碍子個數($10'$)	16 개	17	18	19	20
2. 同上連結長(Z_0)	2.33m/m	2.482	2.628	2.774	2.920
3. Horn 간격 (Z)	1.870m/m	1.990	2.100	2.220	2.340
4. Horn 間隔能率(Z/Z_0)	80%	80.1	79.9	80	80.1
5. Horn의 閃絡電壓($1 \times 40\mu s$) $V=0.55I+80(KV)$	1.108.5KV	1.174.5	1.235	1.301	1.367
6. $V'(4 \times 5\mu s)=(1.18 \times 1.25)V \times \frac{1}{1.1}$	1.486.4KV	1.574.8	1.656	1.744.5	1.833
7. 鐵塔逆閃絡電流 $\frac{8V'-E\sqrt{2}/\sqrt{3}}{(K-c)Z_r}$ (KA)	$0.9 \times 1.486 - 362\sqrt{2}/\sqrt{3}$ $(1-0.3) \times 20$ $=74.4$ KA	80.1	85.3	91	96.7
8. 事故率(鐵塔 100%)	1.86	1.55	1.24	1.05	0.93
9. 事故率 件/100km/年	1.86	1.55	1.24	1.05	0.93
10. 同上 I. K. L 補正 件/100km/年 ($\times \frac{20}{30}$)	1.24	1.03	0.83	0.7	0.62
11. 事故率 件/100Mile/年 ($\times 1.609$)	1.99	1.66	1.34	1.13	0.99

표 4. 汚損地域區分 및 最大想定等價鹽分付着密度

汚損地域의 區分		AA	A	B	C	D	E
基準付着密度 mg/cm ² (254mm 현수액자 기준)		0.03	0.063	0.125	0.25	0.5	—
鹽害汚損 mg/cm ²	海岸에서의 距離(km)	50이상	10~50	3~10	1~3	0~1	0~0.3
	10"×5 ³ / ₄ " 下面	0.03	0.063	0.125	0.25	0.5	
	10"×5 ³ / ₄ " 耐霧碍子 下面	0.021	0.044	0.088	0.175	0.35	
	11"×6 ¹ / ₈ " 下面	0.021	0.044	0.088	0.175	0.35	
	12 ⁵ / ₈ "×7" 耐霧 下面	0.018	0.038	0.075	0.15	0.30	
	長幹碍子 全面 Porcelain Sheels	0.015 0.012	0.03 0.025	0.063 0.05	0.125 0.10	0.25 0.20	
其他汚損 mg/cm ²	各種 碍子	—	—	0.125 産業地域外廓	0.05~0.5 産業地域中心部		

표 5. Required Leakage Distance per 1KV of Nominal Line to Line Voltage for Disc Insulators.

Classification of Pollution Area		AA	A	B	C	D
Ordinally salt poll. in/KV (mm/KV)	10"×5 ³ / ₄ " Standard	—	0.75 in (19.1)m/m	0.90 (22.9)	1.00 (25.4)	1.10 (28.0)
	10"×5 ³ / ₄ " Fog type	—	0.70 (17.8)	0.80 (20.3)	0.95 (24.1)	1.05 (26.7)
	11"×6 ¹ / ₈ " Standard	—	0.70 (17.8)	0.85 (21.6)	0.90 (22.9)	1.05 (26.7)
	12 ⁵ / ₈ "×7" Fog type	—	0.65 (16.5)	0.80 (20.3)	3.95 (24.1)	1.05 (26.7)
Industrial Poll in/KV(mm/KV)	All of Disc Insulators	—	—	0.90 (22.9)	1.00 (25.4)	1.10 (28.0)

子數를 20個, Horn 간격을 2,340 m/m 로하면 事故
率은 0.99回/100Mile/年이된다.

4. 耐汚損設計

(1) 耐汚損設計上 문제되되는 汚損으로는 (가)태풍에 의한 急速鹽害汚損, (나)微風에 의한 平常時鹽害汚損 및 (다)공업지대에서의 煤煙이나 排出物에 의한 汚損, 또는 塵埃汚損 등으로 분류되는데, I. E. E. E에서는 各種碍子에 대하여 汚損度를 다음과 같이 분류하고 있다.(표 4참조)

(2) 淸淨地區에서는 碍子連의 各碍子分但電壓이 不均一하여 異常電壓이 발생했을 때 分但電壓이 가장 큰 碍子의 耐壓이 문제가 된다. 그러나 碍子連이 汚損되면 碍子表面의 洩漏抵抗에 의해서 各碍子의 分但電壓이 均등하게되어 沿面放電이 문제가 된다.

그러므로 耐汚損設計의 기준은 平常시 운전중에 沿面放電이 일어나지 않도록 하는 것이다. I. E. E. E에서는 各 碍子에 대하여 公稱線間電壓 1KV 當 다음과 같이 沿面距離를 규정하고 있다(표 5참조)

(3) 耐汚損計算

(가) 태풍에 의한 急速汚損

韓國은 입지적으로 태풍발생원에서 멀리 離隔되어 있어서 태풍이 襲來하더라도 日本, 臺灣等地的 예처럼 急速汚損될 염려는 없다고 보아 태풍에 의한 重汚損은 고려치 않는다.

(나) 電氣試驗所에서 측정한 各 지역의 汚損도와 345 KV 送電線 Route를 비교한 결과에 의하면 西 서울 및 新蔚山變電所를 起點으로 1~2 km 區間과 處水發電所—順天間은 汚損地域等級 A(等價鹽分付着量 0.063mg/cm²)로하고, 기타 지역은 淸淨地區(AA)로해도 무방하리라고 본다.

(다) I. E. E. E 방식을 적용하면 A 지역에서의 所要碍子數는

$$\frac{19.1 \times 345}{318} = 20.72 \rightarrow 21 \text{個}(254\text{m/m 표준에자})$$

Horn 간격을 Horn 간격능율을 80%로 보아 2.450m/m 이면 된다.

5. 結 論

이상과 같이 검토한 결과 일반지역에서의 345 KV 送電線碍子數는 耐雷設計值로 정해지며,

(1) 年間事故率을 1회/100km/年을 목표로 하면 254 m/m 標準碍子 18個, Horn 間隔 2,100m/m

(2) 年間事故率을 1회/100Miles/年을 목표로 하면 254 m/m 碍子 20個, Horn 間隔 2,340m/m

이며, 汚損地域(西서울, 新蔚山 s/s 起點 1~2km 區間과 麗水 p/p 에서 順天區間)에서의 碍子數는 耐汚損設計值로 定해지며,

(3) 이 지역에서의 254m/m 碍子數는 21個, Horn 間격 2,450m/m 이다

耐雷設計에서 우리가 採用한 雷電流頻度曲線은 歐美에서 적용하고있는 A. I. E. E 의 4 μ s 波頭長 curve 를 사용했는데 이것은 日本의 鬼怒川曲線, 猪苗代曲線보다 curve 值가 낮아서 事故率이 Underestimate 되었으나 어느 curve 가 우리실정에 맞는지는 알수없다.

그러나 반면에 塔脚接地抵抗을 회사 표준인 15 Ω 보다 크게 20 Ω 으로본點, 徑間閃絡을 보지않고 鐵塔閃絡만으로 본點, 또 實際鐵塔 Arm 에 걸리는 電壓을 塔頂電壓으로 본點은 Overestimate 된 點이다.

線路事故率을 1회/100km/年으로 할 것인지, 1회/100 Miles/年으로 할 것인지는 線路의 신뢰성과 경제성중 어느것을 優位로 할것인지의 문제이며 이것은 다른차원에서 검토될 문제라고 생각된다.

註. 臨界通絡電壓

碍子裝置에서 Horn 間隔Z는 碍子內絡距離(碍子連長) Z₀ 보다 작지만 印加電壓을 차차 올리면 Horn 間격으로 內絡을 얹고 碍子連으로 內絡하게된다.

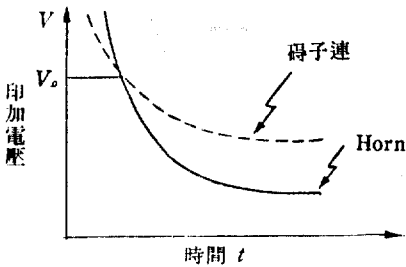


그림 1. 碍子裝置의 V-t 曲線

이것은 碍子連과 Horn 의 V-t 曲線이 그림 1 처럼 傾斜가 다르기 때문이다. 이 交叉點電壓 V₀ 를 臨界通絡電壓이라 하며 V₀ 이하의 [전압에서는 Horn 에서 內絡이 생기고 V₀ 이상에서는 碍子表面을 內絡한다.

Z/Z₀ 를 적게하면 臨界通絡電壓은 높아지나 碍子連結個數가 많아지든가, Horn 間격을 짧게 해야하는데 이에 是한계가 있다.

각종 Horn 에서 Horn 間격능율 Z/Z₀ 와 臨界通絡電壓

과의 관계는 그림 2와 같다.

所要의 50% F, O, V 는 Horn 間격이 Z 이면 실험식 V=0.55Z+80(KV)로부터 구해지며 따라서 所要의 臨界通絡電壓에 대응하는 Z/Z₀ 를 그림 2에서 구할 수 있다.

碍子連保護를 위해서 內絡을 Horn 으로하도록 하기 위해서는 臨界通絡電壓은 50% F, O, V 의 200%를 목표로 하는것이 보통이며 對雷 Horn (懸垂)에서 Horn 能율 (Z/Z₀)는 80%이하가 되어야 한다.

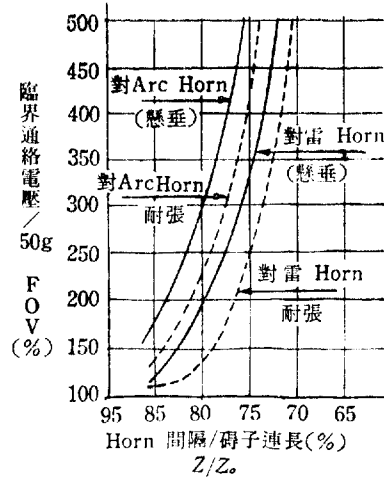


그림 2. Z/Z₀와 臨界通絡電壓

참고 문헌

1. 不平衡絕緣의 設計指針 日本電力中央研究所
2. 500KV 送電線路의 設計內容 日本電氣協會
3. 電氣學會誌 (日本 Vol. 90 No. 12 p9-41)
4. Electric Utility Engineering Report No. 62-278. W, H.
5. 送電線路用 碍子防護裝置 No. 41483 N, G, K
6. 500 KV 送電에 關한 研究報告 Vol. 5 p147-175. 電力中央研究所
7. N, G, K Insulators Catalogue No. 65
8. I. E. E. E Transactions No. 71TP 649-PWR.
9. 電氣試驗所報 Vol. 4.