

345[KV] 送電線路의 雷防護 失敗의 豫測과 그 對策에 관한 研究

論文

29-1-3

A Study on Lighting Performance of 345[KV] Model Line

李鳳容*
(Bong Yong Lee)

〈Abstract〉

Arstrong-Whitehead theory on effective shielding and shielding failure is extended so that it is applicable to vertical line configuration the existing approaches on back-flash rate calculation are summarized and compared in particular on Model Line, and the usefulness of the whitehead approach is suggested.

1. 序論

線路의 雷防護 失敗의豫測은合理的인設備計劃을 위한 중요한因子이며, 線路의 電壓이 높아질수록 그 중요성은 커지고 있다. 그러나 “雷”라는 매우偶發的인對象에 관한線路의事故率推定은 마치 도박에서의勝率을豫測하는 것처럼 곤난한課題이나, 그럼에도 불구하고 實績値와豫測値間의간격을좁히려는試圖는 계속 뜻이 있는것이며, 나아가서 새로운設備를 보다合理的으로計劃할 수 있도록 한다.

雷의先驅放電(Lightning Forward Leader)이線路에近接할 때, 그閃絡機構는 그림 1과같이

1) 誘導 2) 遮蔽失敗 3) 逆內絡으로區分하여 고찰할 수 있으며, 이미 絶緣이 충분히 높은送電線路에서는 遮蔽失敗와 逆內絡만이線路의事故率豫測에서 관심의 대상이 되고 있다.

線路의雷防護失敗의豫測手法에는
1) 解析的인방법이主가되는AIEE推奨法또는
그改善法
2) 模擬를주체로하는몬테칼로(Monte Carlo)법
또는修正曲線法이널리사용되고있으며⁽¹⁾, AIEE改善手法은간편하다는점에서, 몬테칼로手法은많은

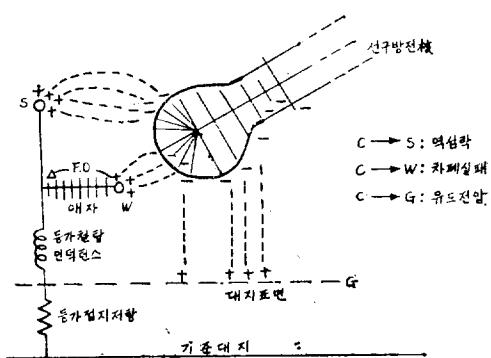
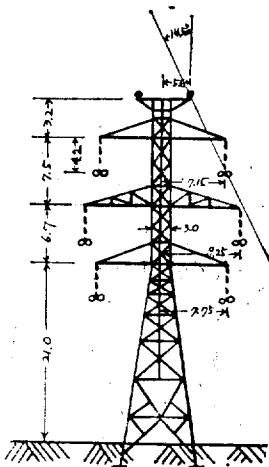


그림 1. 雷閃絡의機構

Fig. 1. Mechanism of Lightning Floopover

* 正會員：弘益大工大 電氣工學科教授
接受日字：1979年12月14日



사용전압 : 345KV

가공지선 : ACSR, $d=13.0\text{mm}$ 도체 : ACSR $480\text{mm}^2 \times 2$ 소선반경 $r=31.5\text{mm}$ 소선간격 $d=400\text{mm}$

가공지선의 이도 = 10m

도체의 이도 = 13.05m

표준경간 : 400m

접지저항 : 25Ω

그림 2. 기준모델 선로

Fig. 2. Model Line

入力資料를 사용할 수 있고 線路의 여러 상황을 고려 할 수 있다는 점에서 각각 그 특징을 발휘하고 있다.

本研究에서는 그림 2의 모델線路를 중심으로 하여, 최근에 중요한因子로 생각되고 있는 遮蔽失敗로 인한 事故率의 豫測과 有効遮蔽(Effective Shielding)되는 線路構成을, 電線이 垂直으로 配置된 線路에 대해서도 가능하도록 Armstrong-Whitehead의 理論을⁽²⁾⁽³⁾ 擴張하였다. 同시에 逆閃絡에 의한 事故率豫測手法을 Whitehead에 의한 解析的인 方법⁽¹⁾에 따라 정리하여 AIEE 改善法과 콘티칼트 및 修正曲線법의 결과와 비교하였다.

2. 線路의 雷遮蔽

2-1 有効遮蔽

送電線路에 대한 雷遮蔽는 종래 그림 3과 같이 垂直方向의 雷擊에 대해서만 고려되어 왔으나⁽⁴⁾, 橫方向으로부터 侵入하는 雷擊 先驅放電에 의한 線路導體에의 直擊, 즉 遮蔽失敗에 의한 線路의 運轉停止가 본질적으로 매우 중요하다는 것이 최근에 認識되어, Armstrong-Whitehead에 의하여 解析的 모델이 완성되었다.⁽²⁾⁽³⁾ 傾斜面에 위치하는 線路는 中線導體(垂直配置)가 雷擊에 더 많이 露出되고 있다는 實績⁽⁵⁾이나,

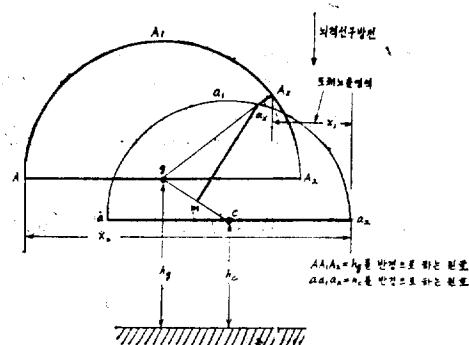


그림 3. 종래의 차폐개념

Fig. 3. Conventional Shielding Concept

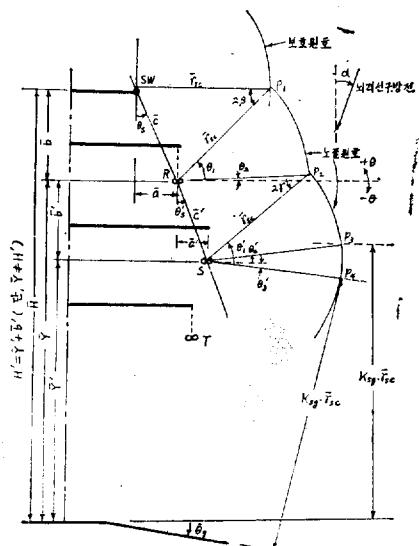


그림 4. 도체의 보호와 노출

Fig. 4. Conductor Shielding and Exposure

A-W 모델에 의한 遮蔽失敗豫測과 線路의 實績이 매우 부합되는 調査결과⁽⁶⁾ 등은 모두 遮蔽失敗의 중요성을 뒷받침하고 있다.

그림 4에 導體가 垂直으로 配置된 線路에 대해서 不完全遮蔽範圍를 보였다. r_{ec} 는 雷擊距離(Striking Distance)로서, 雷擊의 先端이 線路에 接近하여 着을 때, 保護圓의 範圍에 오면 架空地線에 直擊되어 遮蔽가 되나, 露出圓弧쪽에 더 接近하면 遮蔽가 되지 못하고 導體에 直擊된다. 露出圓弧쪽이라 하여도 $K_g r_{ec}$ 라는 地面에의 雷擊距離가 더 적으면 地面에 雷擊을 일으킨다. 이 때, 그림에서 다음 관계가 성립된다.

$$\beta = \sin^{-1} \frac{c}{2r_{se}}$$

(1)

$$\gamma = \sin^{-1} \frac{c'}{2r_{se}}$$

(2)

$$\bar{\theta}_1 = \theta_s + \beta$$

(3)

$$\bar{\theta}_2 = \theta_s' - \gamma$$

(4)

$$\bar{\theta}_1' = \theta_s' + \gamma$$

(5)

$$\bar{\theta}_2' = \sin^{-1} [K_{se} - \frac{Y'}{r_{se}}]$$

(6)

단, K_{se} =지면 상태에 따른 상수, 보통 1을 취함.
만일 R相과 S相이 有効하게 遮蔽되며면, 露出圓弧가 消滅되어야 하고, 따라서

$$\bar{\theta}_1 = \bar{\theta}_2 \text{ 및 } \bar{\theta}_1' = \bar{\theta}_2'$$

(7)

인 條件이 滿足되어야 한다.

(1)~(6)과 (7)로부터

$$\bar{\theta}_s \leq \bar{\theta}_s' - \gamma - \beta$$

(8)

인 有効遮蔽의 條件을 얻는다.

만일 地面이 $\bar{\theta}_s$ 라는 角度로 傾斜되어 있으면,

$$\bar{\theta}_s' = \bar{\theta}_s - \sin^{-1} \left[\frac{Y'}{r_{se}} \cos \bar{\theta}_s - K_{se} \right] = \bar{\theta}_2'$$

(9)

가 成立되므로 역시 (8)을 滿足하는 有効遮蔽의 條件을 구할 수 있다.

2-2 不完全 遮蔽로 인한 事故率

이상의 論議에서 雷擊距離 r_{se} 가 문제인데, 이 값은 線路의 BIL과 관계되고, 반드시 閃絡을 일으키는 電流 I_o 는

$$I_o = 1.1 \cdot I_c = 2.2 \cdot \frac{BIL}{Z_c} [\text{KA}]$$

(10)

단, Z_c =도체의 씨지임피던스 [Ω]

이고 I_o 에 따라 r_{se} 가 결정된다. 그러나, r_{se} 와 I_o 의 관계는 여러 형태로 表現되고 있어 表 1에 서로 비교하였다. 본 연구에서는 UHV 設計에서 사용한⁽⁷⁾

$$r_{se} = 2I_o + 30(1 - e^{-I_o/6.8}) [\text{m}]$$

(11)

을 사용하였다.

地面에의 雷擊에 영향을 미치는 要因으로서 K_{se} 가 고려되고 있는데, 이 값은 地面의 상태에 따라서 나무

表 1. 雷擊距離

단위=m

$[I_o \text{KA}]$	$r_{se} = 6.72$ $I_o^{0.8}$	$r_{se} = 7.1$ $I_o^{0.75}$	$r_{se} = 9.4$ $I_o^{2/3}$	$r_{se} = 2I_o + 30$ $(1 - e^{-I_o/6.8})$
5	24.35	23.74	27.48	25.62
10	42.4	39.9	43.6	43.1
20	73.8	67.2	69.3	68.4
50	153.6	133.5	127.6	130.0
100	267.3	224.5	202.5	230.0
(근거)	[2]	[3]	[15]	[7]

가 많고 地面이 높아질 수록 큰 값을 갖이나,

$$0.9 \leq K_{se} \leq 1.05$$

(12)

의 범위에서 조정되어 사용되고 있다.⁽⁸⁾

遮蔽失敗로 인한 閃絡發生確率을 P_i 라고 하면 P_i 는 다음 식으로 주어진다.⁽³⁾

$$P_i = \int_{r_{se,\min}}^{r_{se,\max}} X \cdot f(r_i) dr_i$$

(13)

$$X = r_i \int_0^{\pi} \int_{\alpha} \frac{\sin(\theta - \alpha)}{\cos \alpha} f(\alpha) d\alpha d\theta$$

(14)

X : 유효폭(effective swath)

$f(\alpha)$ 는 非遮蔽領域內의 雷擊先行放電의 角確率密度함수로서,

$$f(\alpha) = K_m \cdot \cos^m \alpha$$

(15)

m : 상수

가 提示되어 있고, m 의 값에 대해서는 $m=1 \sim 2$ 가 適合한 것으로 생각되고 있다. m 이 결정되면 X 가 垂直配置 導體인 경우에 대해서 近似的으로

$$m=1 : X = \frac{r_i}{2} [\cos \bar{\theta}_2' - \cos \bar{\theta}_1' + \bar{\theta}_1' - \bar{\theta}_2' + \cos \bar{\theta}_2 - \cos \bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_1 - \bar{\theta}_2]$$

(16)

$$m=2 : X = r_i \cdot \left[\frac{1}{2} (\cos \bar{\theta}_2' - \cos \bar{\theta}_1' + \cos \bar{\theta}_2 - \cos \bar{\theta}_1) + \frac{1}{\pi} (\bar{\theta}_1' - \bar{\theta}_2' + \bar{\theta}_1 - \bar{\theta}_2) \right]$$

(17)

을 얻는다.

(16)이나 (17)을 (13)에 대입하면, 섬락발생확률 P_i 는 뇌격거리 r_i 의 함수가 된다. 그런데 雷擊距離는 雷擊電流의 함수이므로, 뇌격거리에 대한 確率은 뇌격전류의 確率과 같다. 따라서, 距離를 r_i , 전류를 i 로 표시하고 確率密度함수를 $f(r_i)$, $f(i)$ 라고 하면

$$f(r_i) dr_i = f(i) di$$

(18)

로서, $r_{se,\min}$ 에 대응하는 電流 I_{min} 에서 $r_{se,\max}$ 에 대응하는 전류 I_{max} 까지의 합계를 구하면 (13)을 풀게 된다. A-W에 의하면 $f(i)$ 는

$$f(i) = 4.75e^{-i/20} + 0.1e^{-i/50} [\%]$$

(19)

로 주어진다.

3. 逆閃路

3-1. AIEE 改善法 要約⁽⁵⁾

送電線路上에 雷擊이 있는 경우, 鐵塔 및 径間 중앙부를 雷擊點으로 하여, 格子圖 계산 또는 씨지계산반에 의하여 鐵塔의 電位上昇(Induced Response Impedance)을 계산한다. 塔頂에 直擊이 있는 경우 逆閃路發生電流는

$$I_L = \frac{k}{\alpha} \frac{V_{se} - E_m}{(K-C)Z_T} [\text{KA}]$$

(20)

여기서,

$$Z_r = \text{탐정전위 등가 임피던스 } [\Omega]$$

$$I_L = \text{역 섭락발생 뇌격전류 } [KA]$$

$$V_{50} = \text{애자장치의 } 50\% \text{ 섭락전압 } [KV]$$

$$V_{50} = 550l + 80 [KV], l = \text{간격 } [m]$$

$$E_m = \text{교류대지전압 파고치 } [KV]$$

$$C = \text{결합율, 일반적으로 } 0.3$$

k =파형계수; 표준파형의 50% 섭락전압에 파형계수를 곱해서, 그 파형에 대한 50% 섭락전압으로 한다.

$$1 \times 5\mu s : k=1.25$$

$$1 \times 10\mu s : k=1.1$$

$$\text{파두장 } 2\mu s \text{ 와 } k=1.05$$

$$\text{파두장 } 4\mu s \text{ 와 } k=1.18$$

$$\text{보통 } 2 \times 5\mu s \text{ 와 사용(이 경우 } V_{50} \times 1.05 \times 1.25)$$

α =대기보정계수(표고 1,000m 이하에서 1.1, 그 이상이면 다시 조정)

K =철탑 각 부 전위상승률의 鐵塔頂部 上昇值에 대한 比; 接地抵抗 $10[\Omega]$ 부근에서는 塔高에 比例

3-2 몬테칼로 및 修正曲線法⁽⁹⁾

基準케이스에 대하여 Monte Carlo 계산에 의한 事故率을 豫測하고, 適用線路가 基準케이스에서 벗어나는 경우마다 修正曲線을 이용해서 事故率을 수정해 나가는 방법이다.

3-3 Whitehead法⁽¹⁰⁾

AIEE法에서는 塔頂電位上昇을 써지계산반에 의하여 模擬계산해야 하나, 本 手法에서는 이 과정 역시 解析的으로 처리하고 있으며, 逆閃絡을 일으키는 電流 I_s 는

$$I_s = \frac{U_i - U_s}{(Z_s + R_{ce})(1 - K_{cs})} [KA] \quad (21)$$

여기에서,

$$U_i = \text{애자장치의 } 50\% \text{ 섭락전압 } [KV]$$

$$U_s = \text{상용주파수전압 } [KV]$$

$$K_{cs} = \text{結合率}$$

$$Z_s = \text{塔頂電位 등가임피던스 } [\Omega]$$

$$R_{ce} = \text{완화전압의 등가저항 } [\Omega]$$

(21)과 (20)과 다른 점은 波形係數를 도입하지 않고, 直접 U_i 를 구한 것과, 雷擊先驅放電이 線路에 接近하면, 鐵塔으로부터의 中和作用에 의해서 애자장치에 걸리는 전압은 완화된다는 효과⁽¹⁰⁾까지 고려한 것이다.

(1) 塔頂電位

碍子장치에 걸리는 電壓이 그 絶緣耐力を 넘어서 閃絡을 일으키는 것이 逆閃絡이므로 塔頂의 電位가 결정되어야 한다. 雷擊點의(鐵塔인 경우) 塔頂電位는 라프라스變換式으로

$$U_o(s) = I_o(s)Z_s(s) \quad (22)$$

여기에서

$$I_o(s) = \text{뇌격전류}$$

$$Z_s(s) = \text{뇌격점에서 본 임피던스}$$

이고, 인접철탑으로부터의 反射를 고려하면

$$U_o(s) = I_o(s)Z_s(s)[1 + F(s)\exp(-2sT)]$$

$$+ F_2(s)\exp[-4sT] + \dots$$

$$= I_o(s)Z_s(s)K_n(s) \quad (22)$$

架空地線과 線路와의 結合率을 K_n , 라면, 碓子連에 걸리는 電壓 $U_i(s)$ 는

$$U_i(s) = I_o(s)Z_s(s)K_n(s)[1 - K_{cs}] [V] \quad (23)$$

그러나 $U_i(s)$ 를 $U_i(t)$ 로 逆變換하는 것이 일반적으로 용이하지 않으므로, 碓子장치의 $V-t$ 特性으로부터, 閃絡하는 時間 t 를 알면 鐵塔의 電壓을 알 수 있다는 經驗式을 이용할 수 있고, 이 때 閃絡時間 T_b 를 어떻게 알 수 있는가 하는 것이 문제이다.

(2) 碓子장치와 閃絡時間

碍子장치의 $V-t$ 特性은

$$U(t) = 0.84 + 1.5/T_b^{0.75} [P.U.] \quad (24)$$

또는⁽¹¹⁾

$$U(t) = KT_b^{-0.23} [P.U.] \quad (24)$$

로 주어지며, 閃絡時間 T_b 는

$$T_b = T_{cr}[1 - F(p)] + 0.4F(p)T_r(\frac{1}{2}) \quad (25)$$

여기에서

$$T_{cr} = \text{頂上電壓까지의 시간}$$

$$T_r(\frac{1}{2}) = \text{전압이 } 1/2 \text{ 되기까지의 시간}$$

$$p = \text{간류전압/정상전압}$$

$$F(p) = (p + 3p^{10})/4 [P.U.] \quad (26)$$

로서 주어진다.

(3) 鐵塔特性

鐵塔은 써지임피던스에 의해서 그 特性이 表示되며, 逆閃絡이 고려되는 시간영역에서는 인덕턴스로 대표될 수 있다.⁽¹²⁾⁽¹³⁾

$$Z_t = 60 \ln(\sqrt{2} \cdot \frac{2h}{r} - 60) [\Omega] \quad (27)$$

여기에서

$$r = \text{철탑斷面을 圓으로 했을 때의 등가반경 } [m]$$

$$h = \text{철탑의 높이 } [m]$$

$$r = [ab\sqrt{a^2 + b^2}]^{\frac{1}{3}} [m] \quad (28)$$

단, a, b 는 철탑의 좁은 허리부분의 邊의 길이 $[m]$

또는

$$L_t = Z_t \cdot T_t [\mu H] \quad (29)$$

단, $T_t = \text{뇌격전류의 철탑 走行시간 鐵塔內에서의 進行波의 速度가 빛의 速度의 } 71\sim89\% \text{인 測定結果}$ ⁽¹²⁾.

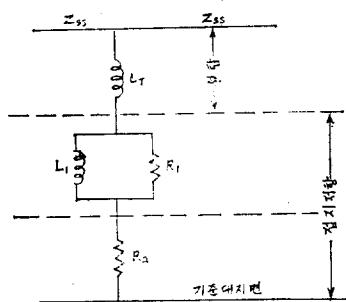


그림 5. 간소화된 철탑—접지계통

Fig. 5. Simplified Tower Grounding System

에서 T_i 는

$$T_i = 1.18h/c \quad (30)$$

을 사용한다.

(4) 接地抵抗

單純화한 鐵塔—接地系統이 그림 5에 주어져 있다. L_1 은 파도특성에 영향을 미치고, 定常接地抵抗은 $R_1 + R_2$ 이다.

接地抵抗은 半球電極에 대하여

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi r_0} [\Omega] \quad (31)$$

인 값을 가지며, 電極表面의 電位傾度는

$$E = \rho J = \frac{\rho i}{2\pi r_0^2} [V/m] \quad (32)$$

단, i =전체주입전류

大地의 電極表面에서 이온화가 일어나는 電位傾度는

$$E_0 = \frac{\rho I_0}{2\pi r_0^2} \quad (33)$$

電流가 I_0 보다 커지면, 電極의 有効半徑도 커져서

$$r = \left(\frac{\rho i}{2\pi E_0} \right)^{1/2} [m] \quad (34)$$

따라서, 接地電極의 電位는

$$U_i = \frac{\rho i}{2\pi r} = \sqrt{r_0 R_0 E_0} \cdot i^{1/2} = K_0 i^{1/2} [V] \quad (35)$$

첨두전류에서의 抵抗 R_2 는

$$R_2 = U_i / i = K_0 i^{-1/2} [\Omega] \quad (36)$$

로 주어지고, 이온화 時定數는

$$Z_1 = L_1 / R_1 [\mu s] \quad (37)$$

이고, 전체 접지 저항(상용주파수) R_0 는

$$R_0 = R_1 + R_2 \quad (38)$$

이다.

(5) 완화전압의 영향

雷擊先驅放電이 線路에 가까이 오면, 鐵塔으로부터 中和作用이 이루어지며, 따라서 실제 碍子장치에 걸리는 電壓은 다소 완화된다.⁽¹⁰⁾ 이 값은

$$U_c = 6H I_0 / (10 + I_0^{0.8}) [V] \quad (39)$$

여기서

H =대상물의 평균높이 [m]

I_0 =뇌격선구방전 전류 [A]

(39)로부터 抵抗이 定義될 수 있으며,

$$R_c = 6H / (10 + I_0^{0.8}) \quad (40)$$

碍子장치에 걸리는 電壓은

$$U_c = Z_0 I_0 - K_{cs} Z_0 I_0 + R_c I_0 + U_s [V] \quad (41)$$

단, U_s =계통의 상용주파수 전압

抵抗 R_c 는 結合率, 따라서 $(1 - K_{cs})$ 에 의해서 영향을 받는다고 생각되므로

$$R_c = R_{cs} (1 - K_{cs}) \quad (42)$$

를 정의하고, (21)에 代入 I_0 에 대해서 정리하면,

$$I_0 = \frac{U_i - U_s}{(Z_0 + R_{cs})(1 - K_{cs})} [A] \quad (43)$$

(6) 雷擊頻度

地上에의 뇌격빈도를 표시하는 經驗式은 무수히 많고, 式마다 그 결과가 상당히 달라지나, 가장 대표적인 것으로 생각되는 두 경우를 표 2에 비교하였다.

表 2. 雷擊頻度의 比較

근 거	표 현 식	결과	비 고
[1]	$N_t = 0.04(TD)^{1.35}$ (지상뇌격빈도/KM ² 1년) $W = D + 4.0H^{1.09}$ (선로의 낙뇌유인 유효 폭) $N_t = N_s \cdot W \cdot 10^{-1}$ (선로 100KM당년 낙뇌 수)	3.1 184.4 56.9	TD=25 (TD =IKL)
[9]	$N_t = K \cdot TD$ $K = 0.1$ $K = 0.2$ $N_t = (TD)[0.0129H_t + 0.0258h_{tw} + 0.00964b]$ $H_t = \text{철탑높이} [m]$ $h_{tw} = \text{가공지선 높이} [m]$ $b = \text{가공지선간격} [m]$	2.5 5.0 35.4~ 70.8	평균 53.03

(7) 雷擊電流

뇌격전류의 크기는 構造物이 높아질수록 커지며⁽¹¹⁾, 50[%]發生頻度를 數式化한 것은

$$I(50\%) = 13 + 0.07H^{1.25} \quad (44)$$

로 주어진다.

表 3. 線路資料

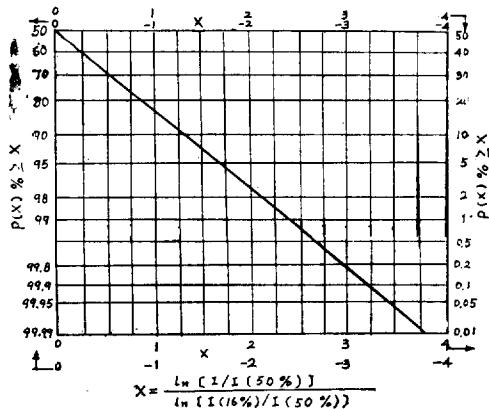


그림 6. 規率化雷擊 電流頻度分布

Fig. 6. Normalized Log-normal Frequency Distribution

한편, 이려한 電流의 發生頻度는 그림 6와 같은 規準化對數頻度分布(Normalized Log-normal Frequency Distribution)에서 결정된다. (1), (7) 이 曲線을 사용하기 위해서

$$l_n[I(16\%)/I(50\%)] = \sigma_{ss} = 0.9 \quad (45)$$

및

$$X = \frac{l_n[I/I(50\%)]}{\sigma_{ss}} \quad (46)$$

인 變數 X 로부터 I 라는 値의 發生누적빈도를 구할 수 있다.

(8) 逆閃絡 發生頻度

(46)에서 구한 發生頻度 중 85[%]정도만이 線路를 停止시키는 逆閃絡임이 알려져 있으므로, 停電을 일으키는 逆閃絡 發生빈도는

$$\begin{aligned} N(BTO) &= 0.85 \times N(BFO) \\ &= 0.85 \times P(I_0) \times N_s \end{aligned} \quad (47)$$

여기에서

$$N(BTO) = \text{정전을 일으키는 역설탁빈도}$$

$$N(BFO) = \text{역설탁 발생빈도}$$

$P(I_0) = I_0$ 발생 확률
에서 雷直擊에 의한 線路의 事故率이豫測된다.

6. 모델線路에의 適用

그림 2의 모델 線路가 平地 20[%], 구릉지대 35[%] 및 산악지대 45[%]인 經過地 條件을 갖는다면, 表 3의 線路에 대한 値을 갖는다.

6-1 有効遮蔽

그림 2와 그림 4에 대해서 다음 値들을 얻는다.

구	분	단위	계산된 값	비고
가공지선 높이	m	$h_g = 54.35$		
R상도체 높이	m	$h_1 = 43.21$		
S상도체 높이	m	$h_2 = 32.50$		
T상도체 높이	m	$h_3 = 22.62$		
도체의 평균 높이	m	$h = 31.67$		
도체의 써지임피단스	Ω	$z_e = 400.5$	연가를 가정	
가공지선의 써지임피단스	Ω	$z_{ss} = 253$		
결합율			$K_{ss} = 0.373$	

(애자수 23개를 기준으로 함)

$$H = 52.64 \text{ [m]} \quad H' = 40.0 \text{ [m]}$$

$$\bar{c} = 9.56 \text{ [m]} \quad \bar{c}' = 7.02 \text{ [m]}$$

$$\bar{\theta}_s = 9.33 \text{ [°]} \quad \bar{\theta}_{ss} = 15.6 \text{ [°]}$$

$$\beta = \sin^{-1} \frac{\bar{c}}{2\bar{r}_{ss}} = 6.8 \text{ [°]}$$

$$\bar{r} = \sin^{-1} \frac{\bar{c}'}{2\bar{r}_{ss}} = 5.0 \text{ [°]}$$

$\bar{\theta}_1' = \bar{\theta}_2'$ 인 條件에서

$$\bar{\theta}_{ss}' = \bar{\theta}_2' - \gamma = 6.3 \text{ [°]}$$

$$\bar{\theta}_{ss} = \bar{\theta}_{ss}' - \gamma - \beta = -5.5 \text{ [°]}$$

地面이 傾斜이고, 그 傾斜角이 $\theta_s = 30 \text{ [°]}$ 라면

$$\bar{\theta}_s' = \bar{\theta}_s - \sin^{-1} \left[\frac{Y'}{\bar{r}_{ss}} \cos \theta_s - K_{ss} \right] = \bar{\theta}_2'$$

$$\bar{\theta}_{ss}' = -17.3 \text{ [°]}$$

$$\bar{\theta}_{ss} = -29.1 \text{ [°]}$$

이상의 결과에 따라서 線路를 구성하면, 地面이 平地인 경우에 (칠탑구조물에서의 値)

$$a = \bar{c} \cdot \sin \bar{\theta}_{ss} = -0.92 \text{ [m]}$$

$$b_i = \bar{b} - \frac{2}{3}(S_c - S_s) = 7.4 \text{ [m]}$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{-0.92}{7.4} = -7.1 \text{ [°]}$$

$$a' = \bar{c}' \cdot \sin \bar{\theta}_{ss}' = 0.77 \text{ [m]}$$

$$b_i' = \bar{b}' = 6.7 \text{ [m]}$$

$$\theta_i' = \tan^{-1} \frac{0.77}{6.7} = 6.6 \text{ [°]}$$

地面이 30度 傾斜인 경우에는

$$a = \bar{c} \cdot \sin \bar{\theta}_{ss} = -4.65 \text{ [m]}$$

$$b_i = 7.4 \text{ [m]}$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{-4.65}{7.4} = -32.1 \text{ [°]}$$

$$a' = \bar{c}' \cdot \sin \bar{\theta}_{ss}' = -2.1 \text{ [m]}$$

$$b_i' = 6.7 \text{ [m]}$$

$$\theta_i' = \tan^{-1} \frac{-2.1}{6.7} = -17.3 \text{ [°]}$$

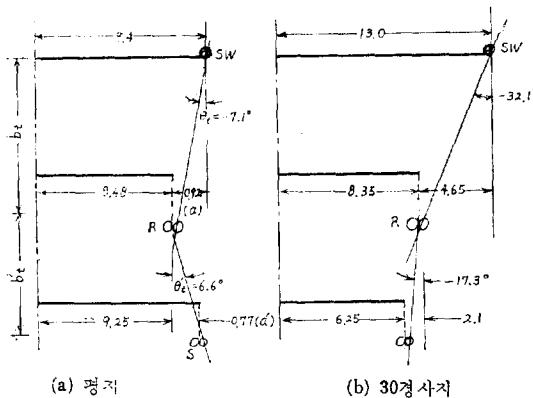


그림 7. 유효차폐되는 철탑구성

Fig. 7. Effectively Shielded Tower Configuration

그림 7의 이들 結果를 反映한 鐵塔構成을 보였다. 그림 2와 비교해서 분명한 바와 같이, 遮蔽角이 매우 좁아지거나 負인 值을 갖게 되어 垂直雷만을 고려하는 경우와는 판이하게 모양이 달라졌으며, 더구나 30度 傾斜地에 대한構成은 위로갈수록 팔이 길어지는 不安定한 모양으로서 별도의 檢討가 要請되고 있다.

6-2 遮蔽失敗豫測

$m=2$ 에 대하여 계산된 결과가 表 4에 요약되어 있다.

表 4. 遮蔽失敗率계산

	7.9~10	10~15
① I_0 [KA]	7.9	10.5
② $f(i) \Delta i$ [%]	6.2	13.1
③ \bar{r}_{ee} [m]	40.0	50.2
④ $\bar{\theta}_1$ [degree]	9.33	9.33
⑤ $\bar{\theta}'_1$ [degree]	15.6	15.6
⑥ β [degree]	6.9	5.5
⑦ r [degree]	5.0	4.0
⑧ $\bar{\theta}_1 = \bar{\theta}_1 + \beta$ [degree]	16.23	14.83
⑨ $\bar{\theta}_2 = \bar{\theta}'_1 + \gamma$ [degree]	10.6	11.6
⑩ $\bar{\theta}'_1 = \bar{\theta}'_1 + \gamma$ [degree]	20.6	19.6
⑪ $\bar{\theta}'_2 = \sin^{-1} [K_{st} - \frac{Y'}{\bar{r}_{ee}}]$ [degree]	10.8	20.6
⑫ $\frac{1}{2} [\cos \bar{\theta}_2 - \cos \bar{\theta}_1 + \cos \bar{\theta}'_1 - \cos \bar{\theta}'_2]$	0.03	0.003
⑬ $\frac{1}{\pi} [\bar{\theta}_1 - \bar{\theta}_2 + \bar{\theta}'_1 - \bar{\theta}'_2]$ [radian]	0.09	0.01
⑭ ③ × [⑫ + ⑬]	4.8	0.65
⑮ N_s (TD=25)	3.1	3.1
⑯ ⑭ × ⑮ × ② × 10 ⁻¹	9.2	2.6
⑰ ⑯의 합	11.8	
⑱ 1회선사고율	0.12 [件/100KM년]	
⑲ 2회선사고율	0.24 [件/100KM년]	

다. 表의 결과는 回線當 年 0.12[件/100KM]인 水準을 나타내고 있으며, $m=1$ 인 경우라면 0.2[件/100KM]을 얻는다. 雷兩多發地域이나 長徑間개소(雷雲은 특히 계곡등을 따라 많이 發生된다고 한다.)에서는 더 문제 가 될 수 있으며, 有効遮蔽를 고려해야 할 것이다.

6-3 逆閃絡

表 5에 식(20)~(47)을 사용해서 계산된 결과를 요약하였다. 이 결과는 鐵塔에의 直擊단을 고려한 것인데, AIEE 改善法에 의한豫測值가 특히 變化가 심한 이유는, 이미 標準曲線으로 인용되고 있는⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾ 그림 6의 雷擊電流頻度分布曲線을 사용했기 때문이다. 따라서는 雷擊電流頻度分布曲線을 사용했기 때문이다. 따라서는 雷擊電流頻度分布曲線을 사용했기 때문이다.

表 5. 逆閃絡事故率

단위=件/100KM/년/회선

구분	16	18	20	23
AIEE改善法 ⁽¹⁾	6.54	3.97	2.34	1.03
Monte Carlo變形	2.56	1.6	1.2	0.9
本研究	3.53	2.95	2.51	1.69

(1) 뇌격전류반도분포곡선을 AIEE곡선을 사용치 않고, 그림 6를 사용함

(2) IKL=25

서 본 결과는 AIEE 표준곡선을 사용하는 것보다 나은 것으로 생각된다. 몬테칼로 및 修正曲線法에 의한豫測值는 낮게 評價되어 있으나, 이것은 基準曲線이 IKL=100에 대해서 주어져 있고, 이 값을 IKL=25로 比例調整함으로서 지나치게 낮은 값을 얻은 것으로 생각된다. 이런 점을 염두에 두다해도, 表 5의 결과가 雷에 대한豫測이므로 거의 같은 값이라고 할 수 있으며 碼子 23개의 絶緣水準에 대해서 年 1.8 (1.69+0.12) [件/100KM]의 事故率이 기대된다.

7. 結論

345[KV] 모델 送電線路를 중심으로 하여 雷防護失敗의豫測手法에 관한 解析的인 방법을 擴張 및 整理하였으며, 그 주요 내용은 아래와 같다.

1) 遮蔽失敗로 인한 事故率은 回線當年 0.12[件/100KM]

2) 逆閃絡에 의한 事故率은 回線當年 1.7[件/100KM]

3) 모델線路의 互長이 200[KM]라면, 年間 雷에 의한 事故率은 約 4[件] 정도가豫想되고,

4) 有効遮蔽를 위한 案을 提示하였으며, 鐵塔의 造가 신중히 검토되어야 함을 보여준다.

參 考 文 獻

- (1) R.H. Goude: "Lightning" Volume II, pp. 697~745, Academic Press, 1978
- (2) H.R. Armstrong and E.R. Whitehead: "Field and Analytical Studies of Transmision Line Shielding" IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, No.1, pp. 270~281, 1968
- (3) G.W. Brown and E.R. Whitehead: Field and Analytical Studies of Transmission Line Shielding: Part II" IEEE Transactions on Power Apparatus and Syetems, Vol. PAS-88, No.5, pp. 617~626, 1969
- (4) 小池東一郎: "送配電工學" 19章, 良賢堂, 1974
- (5) 日本中央電力研究所: "送電線耐雷設計かイドブシク" 研究報告 175031, pp. 197~205, 1976
- (6) E.R. Whitehead: "Cigre Survey of the Lightning Performance of Extra-High-Voltage Transmission Lines" Electra No.33, pp. 63~89, 1974
- (7) Darveniza et al.: "Lightning Protection of UHV Transmission Line" Electra No.41, pp. 39~69. 1975
- (8) D.W. Gilman and E.R. Whitehead: "The Mechanism of Lightning Flashover on High-Voltage Transmssion Lines" Electra No.27,
- pp. 65~96, 1973
- (9) J.G. Anderson et al.: "EHV Transmission Line Reference Book" Edison Electric Institute, pp. 283~300, 1968
- (10) L.A. Choy and M. Darveniza: "A Sensitivity Analysis of Lightning Performance Calculations for Transmission Lines" IEEE Transactions on Power Apparatus and Syetems, Vol. PAS-90, pp. 1444~1451, 1971
- (11) J.C. Cronin et al.: "Transient Lightning Overvoltage Protection Requirements for a 500KV Gas-Insulated Substation" IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No.1, pp. 61~68, 1978
- (12) M. Kawai: "Studies of the Surge Response on a Transmission Line Towers" IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems," Vol. PAS-83, pp. 30~34, 1964
- (13) M.A. Sargent and M. Darveniza: "Tower Surge Impedance" IEEE Transactions an Power Apparatus and Systems; Vol. PAS-88, No.5, pp. 680~687, 1969
- (14) M.A. Sargent: "The Frequency Distribution of Current Magnitudes of Lightning Strokes to Tall Structures" IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-91, pp. 2224~2229, 1972