

地絡電流에 의한 危險性

근년 전력수요의 증대에 따라, 도시근교의 송배 전선도, 점점 대용량화의 경향에 있다. 그러나 이들 송배전선에서 낙뢰나 지락사고가 발생하면 뇌격 전류나 지락전류는 철탑을 통하여 대지에 유입하거나 혹은 철탑과 地絡點間에 대지를 경우하여 흐르기 때문에 송전탑의 탑각주변은 電位傾도가 높게 된다. 이 大地電位의 경사의 발생에 의해 생기는 인체에의 위험 「步幅電壓」나 뇌격전류 혹은 지락전류가 흐르고 있는 철탑등에 접촉됨으로써 생기는 인체에의 위험 「접촉전압」에 의해 큰 재해(감전사)에 이르는 수가 있다.

여기서는 이와같은 뇌격전류나 지락전류에 의해 생기는 접촉전압과 보폭전압의 위험성과 방지대책에 대해 해설한다.

1. 接觸電壓과 步幅電壓에 대해서

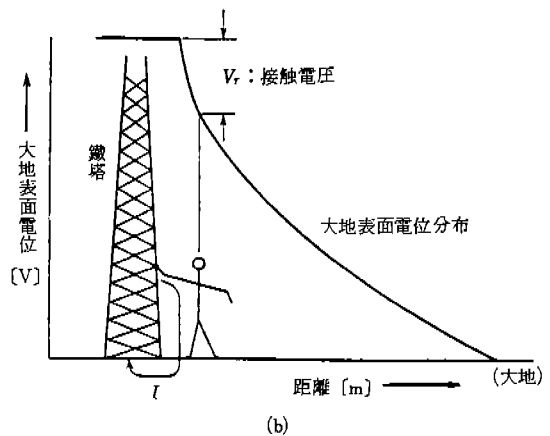
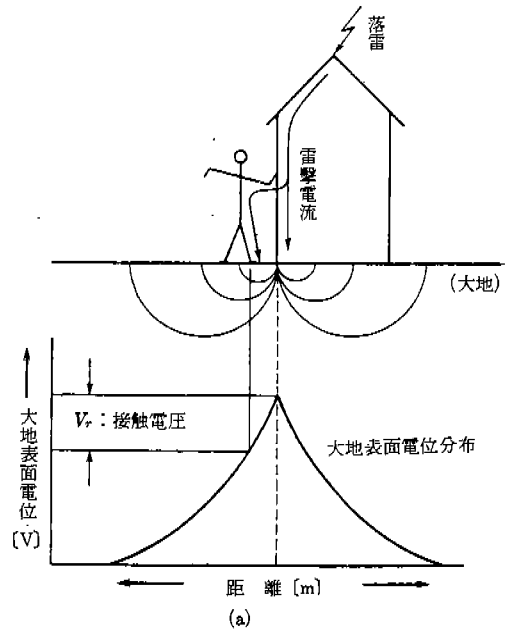
그림 1은 뇌격전류 및 지락전류에 의한 접촉전압 V_r 의 개념을 표시한다. 낙뢰에 의한 접촉전압 V_r 는 (a)그림에 표시하는 것 같은 뇌격을 받은 물체에 손이 접촉되었을 경우 수족간에 전위차가 생기는 전압이다. 이 電位差가 크게 되면 뇌격 전류는 인체의 手足間을 分流하므로 이때 전격을 받게 된다. 이와같은 뇌격전류에 의한 접촉전압 V_r 는 (1)식에 의해 구할 수 있다.

$$V_r = (R + R_e) \cdot I + L \frac{dI}{dt} + V_s \quad (1)$$

단, I : 뇌격전류 [A]

R_e : 물체의 접지저항 [Ω]

R : 대지에서 손의 높이까지의 물체의 저항 [Ω]



(그림-1)

L : 대지에서 손의 높이까지의 물체의 인덕턴스(H)

V_s : 보폭전압[V]

또 (b)그림은 지락전류에 의한 접촉전압 V_r 를 표시한다. 즉 지락점-철탑간에 대지를 경우하여 흐른 지락전류는 대지표면에 電位差를 만든다. 이 전위차가 크면 접촉한 인체를 통하여 大地에 분류하므로 이때 전격을 받는 것이 된다.

이 경우의 접촉전압 V_r 는 (2)식에 의해 구할 수가 있다.

$$V_r = (R_k + R_w + \frac{R_r}{2}) \cdot I \quad (2)$$

단, R_k : 인체의 저항[Ω]

R_r : 인간의 한쪽 발과 대지와의 접촉저항[Ω]

R_w : 인간의 손의 접촉저항[Ω]

I : 인체에 흐르는 전류[A]

다음에 그림 2는 뇌격전류 및 지락전류에 의해 생기는 보폭전압의 개념을 표시한다.

낙뢰에 의한 보폭전압 V_s 는 (a)그림에 표시하는 것과 같이 뇌격을 받은 물체를 통해 뇌격전류를 대지에 유입하면 유입지점을 중심으로 지표면에 따라 전위차가 생긴다. 이 전위차가 컷을 경우, 보폭전압 V_s (인간의 보폭에 상당하는 전위차)에 따라 뇌격전류는 인체의 양쪽 발 사이에 분류한다. 이때의 전격에 의해 재해가 발생한다.

그리고 이 보폭전압 V_s 는 (3)식에 의해 구할 수 있다.

$$V_s = \frac{\rho}{2\pi} \cdot \frac{S}{D(D+S)} \cdot I \quad (3)$$

단, D : 뇌격점에서 그곳에 가까운 발까지의 거리[m]

S : 양발의 간격[m]

I : 뇌격전류[A]

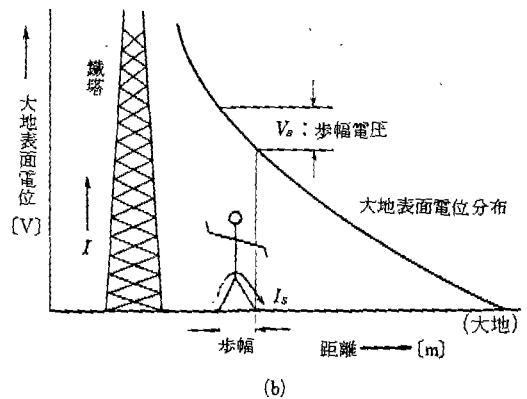
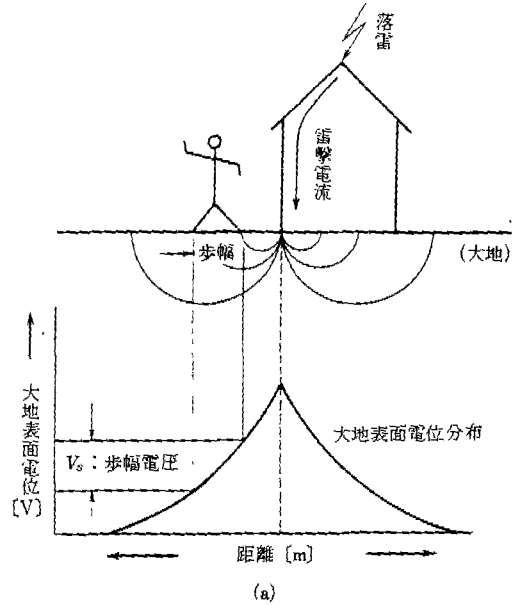
ρ : 대지의 고유저항[Ω·m]

또 지락전류에 의한 보폭전압 V_s 는 (b)그림과 같은 지락점-철탑간에 대지를 경우하여 지락전류가 흐른다. 이에따라 생긴 대지표면 전위차가 크면 보폭전압 V_s 와 함께 지락전류는 인체의 양발사이에 분류한다.

이 보폭전압 V_s 는 (4)식에 의해 구할 수 있다.

$$V_s = (R_k + 2R_r) \cdot I \quad (4)$$

단, R_k : 인체저항[Ω]



(그림-2)

R_r : 인간의 한쪽 발과 대지와의 저항[Ω]

I : 인체에 흐르는 전류[A]

그리고 인체는 피부로 싸여 내부조직은 혈액과 인파액으로 꽉 차 있기 때문에 내부조직의 저항은 낮고 피부의 표면을 덮고 있는 角質層의 전기저항은 크다. 따라서 전기에 접촉되었을 경우의 인체의 전기적 조건은 그 장소의 피부의 乾濕의 정도와 두께 등에 의해 좌우된다.

특히 손바닥에 땀이 있으면 인체저항은 1/12이하로 되는 것으로 알려지고 있다. 또 충전되고 있는 고압과 특별고압등의 송변전설비의 주변의 전계중에 인체가 들어가면 유도에 의해 인체에 전하가 축적

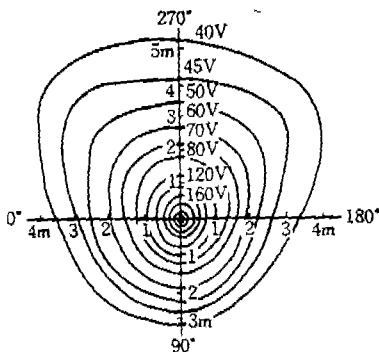
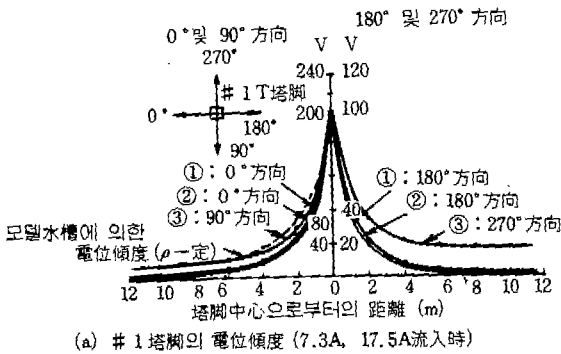
되기도 하므로 인체의 저항도 다소 조건이 달라지는 것으로 생각되고 있다. R_k 에 상당하는 인체저항의 참고자료로서 표 1에 인체의 각부위의 저항의 개략치를 표시한다.

〈표-1〉 人体의 抵抗値

人体의 各部位	抵抗値(Ω)
손바닥의 表皮	10,000~50,000
무릎위의 表皮	2,000~ 5,000
人体의 内部	100~ 200

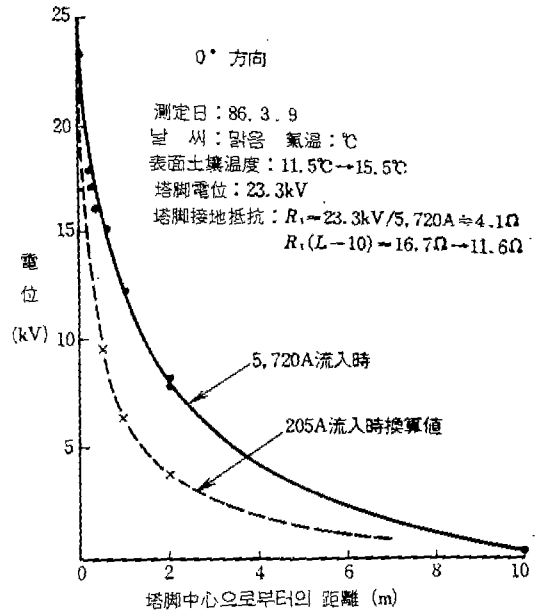
2. 鐵塔塔脚부근의 電位傾度에 對해서

송전선의 철탑 탐각에 교류전류가 유입했을 때의 그 주변의 전위경도에 관한 실험결과인 「철탑 한쪽 다리의 전위경도와 等電位の 관계」를 그림 3에 또 「1탑脚的 0°방향의 전위경도 -5700A 유입시」를 그림 4에 표시한다.



(b) # 1 塔脚의 等電位曲線 (220V, 17.5A 流入時)

〈그림-3〉 鐵塔 1 脚의 電位傾도와 等電位曲線



〈그림-4〉 # 1 塔脚의 0° 方向의 電位傾度 (5,700A 流入時)

이 결과가 표시하는 것과 같이 지락고장 발생시 등으로 큰 지락전류가 대지에 유입하면 철탑주변에서는 전위경도가 높아지기 때문에 1항에서 말한 것과 같은 접촉전압과 보폭전압이 발생하는 것을 알 수 있다.

이 때문에 이러한 전압발생을 방지할 대책을 강구하지 않으면 감전에 의한 사상사고로 이어지는 경우가 있다.

3. 接觸電壓 및 步幅電壓에 의한 人体에의 영향

C. F Dalziel 씨는 접촉전압과 보폭전압 등에 의한 인체전류의 허용치로서 상용주파수에 있어서의 위험전류치와 고장계속 시간의 관계를 기초로 여러가지의 실험결과에서 0.5%의 확률에서 致死에 이르는 한계인체 전류치를 (5)식에 의해 구하고 있다.

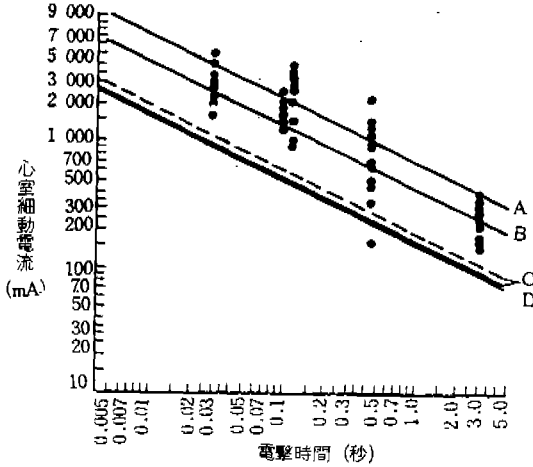
$$I(1/2\%) = (2.18W + 12.8) / \sqrt{T} \text{ (mA)} \quad (5)$$

즉, 체중 60kg의 사람이 1초간 접촉전압 혹은 보폭전압에 의해 지락전류등이 인체를 분류한 것이라고 한다면 (5)식에서 0.5%의 확률에서 치사에 이르는 한계인체전류 I 는 다음과 같이 된다.

$$I(1/2\%) = 2.18 \times 60 + 12 = 143.6 \text{ [mA]}$$

또 동물실험등에 의해 얻어진 心室細動電流와 전격시간과의 관계를 그림 5에 표시한다.

그리고 「최근의 접지의 문제점」에서 송전선의 공칭전압별로 대표적인 고장계속시간을 상정하여 (2)식 및 (4)식에서 구한 접촉전압과 보폭전압의 허용치를 계산한 값을 표 2에 표시한다.



● 實驗値 ■ 計算値

A : 57.4kg의 羊에 對한 99.5%의 值
 B : 57.4kg의 羊에 對한 50%의 值
 C : 人間을 포함 70kg의 동물의 0.5%의 值
 D : 57.4kg의 羊에 對한 0.5%의 值

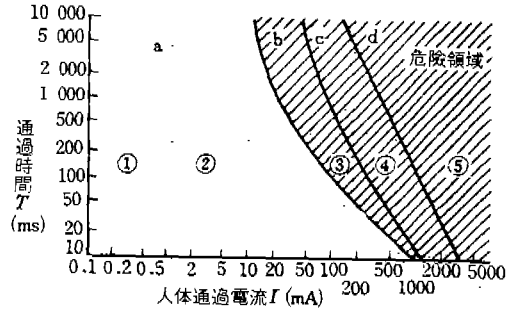
〈그림- 5〉 心室細動電流와 전격時間과의 관계

〈표- 2〉 接觸電壓, 步幅電壓의 許容值

送電線 公稱電壓 [kV]	故障 繼續時間 [s]	人 體 許容電流 [mA]	接觸電壓[V] (接觸抵抗 2 kΩ)	步幅電壓 [V]
77以下	2.0	110	385	330
110~154	1.0	155	543	465
187以上	0.1	490	1,715	1,470
	1.0	155	543	465

그리고 IEC에서는 인체의 감전전류의 안전한계의 표준특성에 대해서 그림 6의 값을 취하고 있다. 그림중 ④⑤의 영역은 心室細動을 일으키는 것으로 생각되고 있다. ③의 영역이 위험과 안전의 한계영역으로 보여진다.

4. 落雷에 의한 死傷事例



領域 ① 感知하지 않는다 ② 病生理學的의 效果 없다 ③ 心室細動의 恐れ 없다 ④ 心室細動의 恐れ 있다 ⑤ 心室細動 일으킨다

〈그림- 6〉 感電電流의 安全限界⁽²⁾ (IEC)

〈표- 3〉 獨일에 있어서의 落雷死傷者數 (1952~1959)

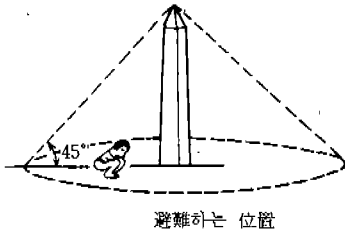
項 目	×	○	計	
雷에 의한 事故數	312	390	702	
性 別	男	455	702	
	女	247		
事故時 狀 況	農業에 종사하고 있었던 것	158	129	287
	戶外에서 일하고 있었던 것	34	37	71
	스포츠·旅行·天幕·수영 등을 하고 있었던 것	18	33	51
	屋內에서 일하고 있었던 것	16	34	50
	다른장소에서 일하고 있었던 것.	86	157	243
事故原因	人體直擊	227	23	250
	步幅電壓	13	148	161
	二次의 影響	11	66	77
	不明			
人間이 있었던 場所	樹木 밑 및 森林의 주변	76	94	170
	四方이 트인 土地	80	55	135
	道路上	39	23	62
	金屬으로 什組된 建物內	5	59	64
	未完成의 작은 建物 혹은 유사한 金屬물조가 없는 建物內	28	41	69
	기타	84	118	202

매년 낙뢰에 의한 사상사고가 발생하고 있다. 이 낙뢰에 의한 사상사고의 발생원인에는 인체에 직접 낙뢰하여 인체를 통하여 뇌격전류가 대지에 유입하는 경우와 수목과 건물에 낙뢰하여 그 낙뢰한 수목과 건물에 근접하고 있었던 탓으로 거기에서 방전하

여 뇌격전류의 일부가 인체를 통하여 대지에 유입하는 경우 그리고 이미 탈한바와 같은 접촉 전압과 보폭전압에 의한 경우가 있다.

표 3은 독일에 있어서의 낙뢰사상자수를 표시한다.

표 3에 표시하는 것과 같이 보폭전압에 의한 사상자수가 161건으로 의외로 많다. 이는 뇌발생시의 옥외에서의 피난방법으로서 그림 7에 있는 것 같은 보폭을 가급적 작게하여 직격 및 側擊을 피하는 자세를 취하는 것이 중요하다.



避難하는 位置
(그림 - 7)

폐한 곳(필라디케이지), 구체적으로는 철근, 철골 콘크리트의 빌딩내, 혹은 폴프장등에 있는 낙뢰 피난용의 쉼터등이 있다.

(7) 옥내에서는 전기회로로부터 가급적으로 떨어져 있다. 혹은 금속의 창틀 외벽의 전등, 라디오, 텔레비전등의 전기기기로 부터 1m 이상 떨어지는 것이 바람직하다.

또 수도관과 전동선, 전화선 등으로 부터 1m 이상 떨어지는 것이 좋다.



뇌격전류나 큰 지락전류가 대지에 유입한 대지는 대지표면 전위차가 생겨 이로 인해 접지전압과 보폭전압이 발생한다. 이 접촉전압과 보폭전압은 때로는 인체에 전격전류로서 분류하여 사상사고로 연결되는 수가 있다. 이와같은 전압이 발생할 염려가 있는 시설에는 충분한 보호대책이 필요하다.

또 시설의 관리자는 이와같은 사고가 발생할 수 있다는 것을 충분히 인식할 필요가 있다. *

5. 接觸電壓 및 步幅電壓의 防止對策

(1) 송전선로의 지락사고에서는 지락도로를 고속 도차단기등의 보호장치에 의해 확실하게 차단하고 또한 고장계속시간을 가급적 짧게 하는 것이 중요하다.

(2) 지락사고시의 접촉전압과 보폭전압을 낮게 누르는 외에 대지전위의 상승을 누르기 위해 철탑과 기기의 주변의 지표상에 砂利층등에 의해 대지표면 저항률을 크게 한다.

(3) 대지표면 전위의 경사가 나타나지 않도록 接地極은 지하 75cm 이상의 깊이로 매설한다.

혹은 철탑주변등의 電位の 경사의 발생을 작게 하기 위해 링狀 接地線 등을 설치하거나 網狀접지의 눈을 가늘게하여 접지저항을 가급적 작게한다.

(4) 접지선을 철주 기타의 금속체를 따라 매설하는 경우는 接地極을 지중에서 그 금속체에서 1m 이상 떨어져 매설한다.

(5) 가공地線에는 導電率이 좋은 것을 사용 또는 條數를 늘려 分流효과를 높인다.

(6) 뇌에 근접했을 경우, 안전한 장소에 피난한다. 예로 금속판이나 금망등의 도체에서 전기적으로 차

