



○ ○ ○ ○ 地絡電流에 의한 危險性

近年 電力需要의 增大에 따라 都市近郊의 送配電線도 더욱 더 大容量化되어 가는 傾向에 있다. 그러나 이들의 送配電線에서 落雷나 地絡事故가 發生하면 雷擊電流나 地絡電流가 鐵塔을 통하여 大地에 流入하든가 또는 鐵塔과 地絡點間에 大地를 經유하여 흐르기 때문에 送電塔의 塔脚周邊은 電位傾度가 높아진다. 이 大地電位の 傾度 發生에 의하여 생기는 人體에의 危險 [步幅電壓·Step Voltage] 이나 雷擊電流 또는 地絡電流가 흐르고 있는 鐵塔 등에 接觸하였기 때문에 생기는 人體에의 危險 [接觸電壓·Touch Voltage]에 의하여 큰 災害 [感電死]를 입을 때가 있다.

여기서는 이와 같은 雷擊電流나 地絡電流에 의하여 생기는 接觸電壓과 步幅電壓의 危險性과 防止對策에 대하여 解說하고자 한다.

1. 接觸電壓과 步幅電壓

그림 1은 雷擊電流 및 地絡電流에 의한 接觸電壓 V_T 의 개념을 표시한다. 落雷에 의한 接觸

電壓 V_T 는 그림 (a)에 표시하는 바와 같이 雷擊을 받은 物體에 손이 닿았을 때 손-발 사이에 電位差가 생기는 電壓이다. 이 電位差가 커지면 雷擊電流는 人體의 손-발 사이를 分流하기 때문에 이때 電擊을 받게 된다. 이와 같은 雷擊電流에 의한 接觸電壓 V_T 는 다음의 (1)式으로 구할 수 있다.

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

단, I : 雷擊電流

R_e : 物體의 接地抵抗 [Ω]

R : 大地에서 손 높이까지의 物體의 抵抗 [Ω]

L : 大地에서 손 높이까지의 物體의 인덕턴스 [H]

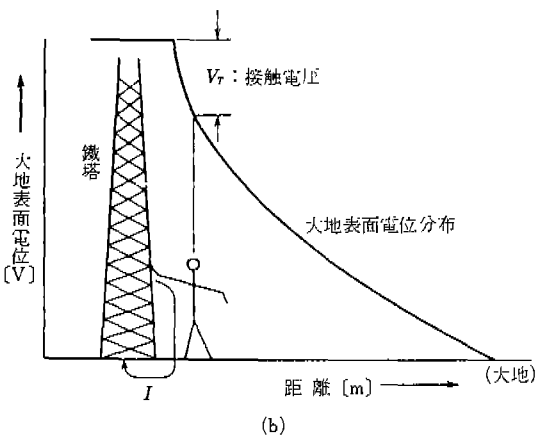
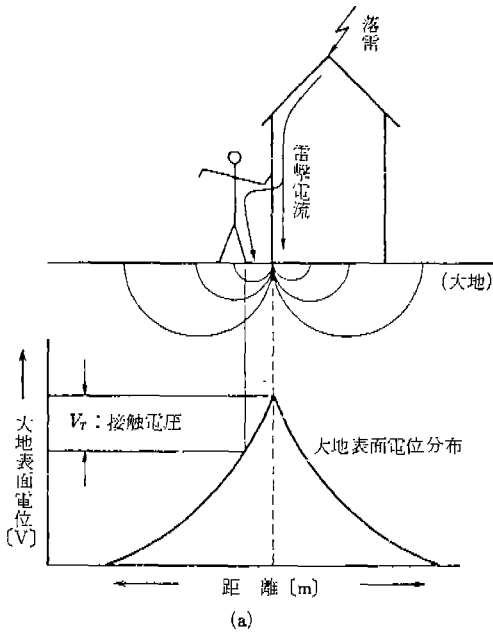
V_s : 步幅電壓 [V]

또 그림 (b)는 地絡電流에 의한 接觸電壓 V_T 를 표시한다. 즉, 地絡點-鐵塔間에 大地를 經유하여 흐른 地絡電流는 大地表面에 電位差를 만든다. 이 電位差가 크면 接觸한 人體를 통하여 大地에 分流하기 때문에 이때 電擊을 받게

다음에 그림 2는 雷擊電流 및 地絡電流에 의하여 생기는 步幅電壓의 개념을 표시한다.

落雷에 의한 步幅電壓 V_s 는 그림 (a)에 표시하는 바와 같이 雷擊을 받은 物體를 通하여 雷擊電流가 大地에 流入하면 流入地點을 中心으로 地表面을 따라 電位差가 생긴다. 이 電位差가 클 때 步幅電壓 V_s (사람의 步幅에 相當하는 電位差)에 따라 雷擊電流가 人體의 兩足間에 分流한다. 이 때의 雷擊에 의하여 災害가 發生한다.

또, 이 步幅電壓 V_s 는 (3)式에 의하여 求할 수 있다.



(그림 1)

된다. 이때의 接觸電壓 V_T 는 (2)式에 의하여 求할 수 있다.

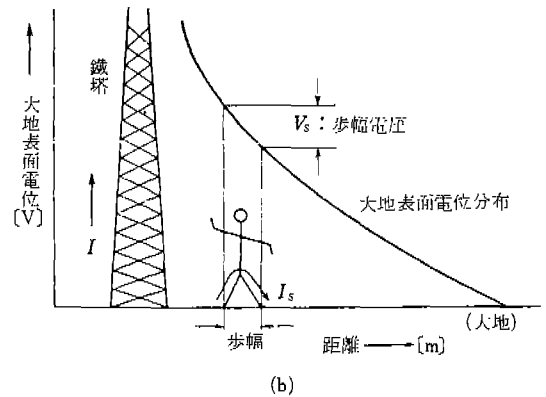
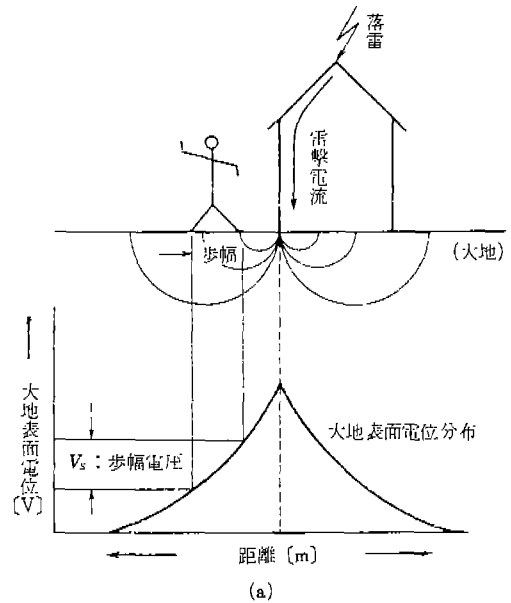
$$V_T = \left(R_k + R_H + \frac{R_F}{2} \right) \cdot I \quad (2)$$

단, R_k : 人體의 抵抗

R_F : 사람의 한 다리와 大地와의 接觸抵抗 [Ω]

R_H : 사람 손의 接觸抵抗 [Ω]

I : 人體에 흐르는 電流 [A]



(그림 2)

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

단, D : 雷擊點에서 그에 가까운 다리까지의 거리 [m]

S : 兩足間의 간격 [m]

I : 雷擊電流 [A]

ρ : 大地의 固有抵抗 [Ω -m]

또, 地絡電流에 의한 步幅電壓 V_s 는 그림 (b)와 같은 地絡點-鐵塔間에 大地를 經由하여 地絡電流가 흐른다. 이에 따라 생긴 大地表面電位가 크면 步幅電壓 V_s 에 따라 地絡電流가 人體의 兩足間에 分流한다.

이 步幅電壓 V_s 는 (4)式으로 求할 수 있다.

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

단, R_k : 人體抵抗 [Ω]

R_f : 사람의 한 다리와 大地와의 抵抗 [Ω]

I : 人體에 흐르는 電流 [A]

더욱이 人體는 皮膚에 의하여 감싸져 있고 內部組織은 血液이나 淋巴液으로 충만되어 있기 때문에 內部組織의 抵抗은 낮고 皮膚의 表面을 덮고 있는 角質層의 電氣抵抗은 크다. 따라서 電氣에 접촉하였을 때의 身體의 電氣的條件은 그 場所의 皮膚의 乾濕의 정도나 두께 등에 따라 左右된다.

특히 손바닥이 땀에 젖으면 人體抵抗은 1/12 이하로, 물에 젖어 있을 때는 1/25 이하가 된다고 한다. 또 充電되어 있는 高壓이나 特別高壓 등의 送電設備 周邊의 電界內에 人體가 들어 가면 誘導에 의하여 人體에 電荷가 축적되기 때문에 人體의 抵抗도 多少 條件이 달라지게 되는 것으로 생각된다. R_k 에 相當하는 人體抵抗의 參考資料로서 表 1에 人體 各部位의 抵抗의 概략치를 표시한다.

〈표 1〉 人體의 抵抗值

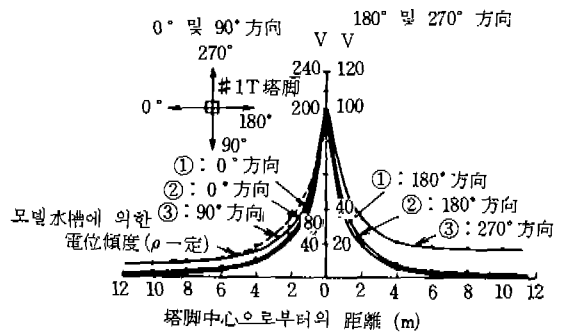
人體 各部位	抵抗值 [Ω]
손바닥의 表皮	10,000~50,000
팔꿈치부터 위의 表皮	2,000~5,000
人體 內部	100~200

2. 鐵塔 塔脚附近的 電位傾度

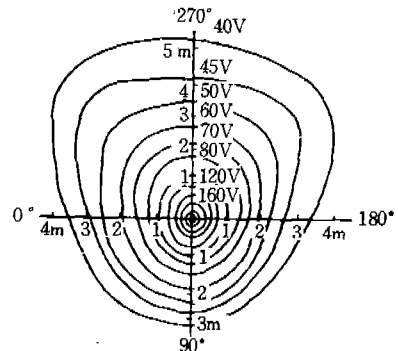
送電線 鐵塔脚에 交流電流가 流入하였을 때의 그 周邊의 電位傾度에 관한 實驗結果로서 A氏는 「鐵塔 1脚의 電位傾度和 等電位의 關係」를 그림 3에, 그리고 「1塔각의 0°方向의 電位傾度-5,700A 流入時」에 대하여 그림 4에 표시하는 特性을 報告하고 있다.

이 結果가 표시하는 바와 같이 地絡故障 發生時 등에서 큰 地絡電流가 大地에 流入하면 鐵塔 周邊에서는 電位傾度가 높아지기 때문에 1項에서 論한 바와 같은 接觸電壓이나 步幅電壓이 發生하는 것을 알 수 있다.

이 때문에 이와 같은 電壓發生을 防止하는 對策을 취하지 않으면 感電에 의한 死傷事故가 발생할 수 있다.

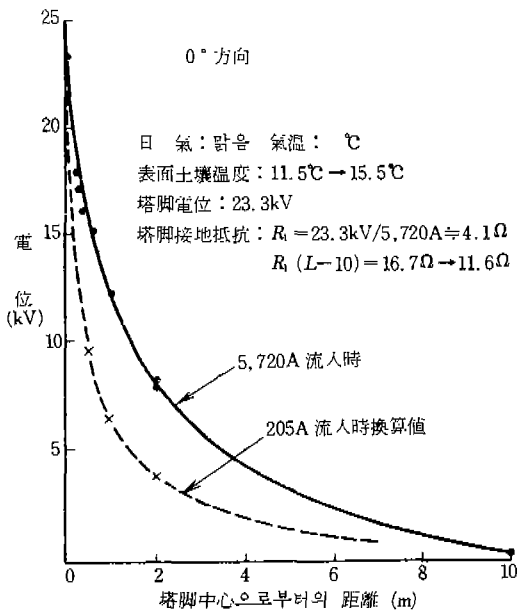


(a) # 1塔脚의 電位傾度 (7.5A, 17.5A 流入時)

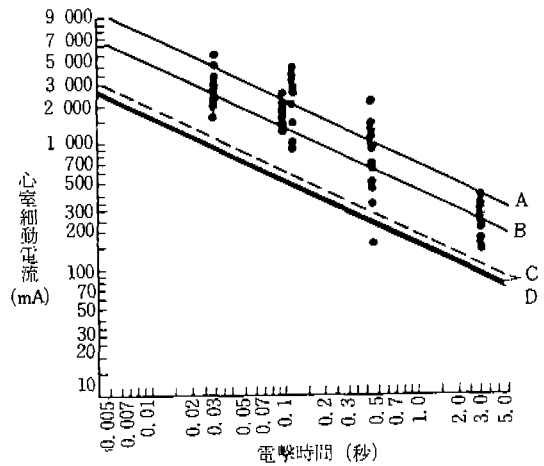


(b) # 1塔脚의 等電位曲線 (220V, 17.5A 流入時)

〈그림 3〉 鐵塔 1脚의 電位傾度和 等電位曲線



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



〈그림 5〉 心室細動電流와 電擊時間과의 關係

3. 接觸電壓 및 步幅電壓에 의한 人體에의 영향

Dalziel氏는 接觸電壓과 步幅電壓 등에 의한 人體電流의 許容值로서 商用 周波數에 있어서의 危險電流值와 故障繼續時間의 關係를 기초로 여러 가지의 實驗結果에서 0.5%의 確立으로 致死에 이르는 限界人體電流值를 (5)式에 의하여 求하고 있다.

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

단, T : 故障繼續時間 [sec]

W : 體重 [kg]

즉, 體重 60kg인 사람이 1秒間 接觸電壓 또는 步幅電壓에 의하여 地絡電流 등이 人體를 分流하였다고 하면 (5)式에서 0.5%의 確立으로 致死에 이르는 限界人體電流 I 는 다음과 같이 된다.

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

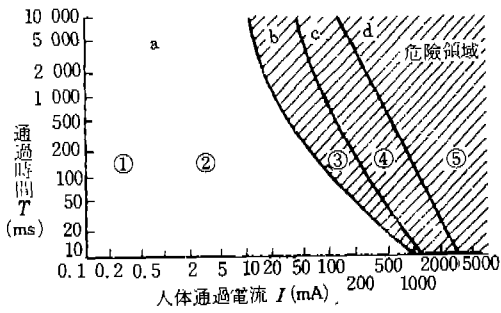
또, 動物實驗 등에 의하여 얻은 心室細動電流와 電擊時間과의 關係를 그림 5에 표시한다.

〈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

다시 A氏는 「最近의 接地의 問題點」 中에서 送電線의 公稱電壓別로 代表的인 故障繼續時間을 想定하여 (2)式 및 (4)式에서 求한 接觸電壓과 步幅電壓의 許容值를 計算한 값을 표 2와 같이 표시하고 있다.

또 IEC에서는 人體 感電電流의 安全限界 標準特性에 대하여 그림 6의 값을 취하고 있다. 그림 中 ④, ⑤의 領域은 心室細動을 일으키는 것으로 생각되고 있다. ③의 영역이 危險과 安全의 限界領域으로 보고 있다.



危險 ① 感知 않는다 ② 病生理學의 效果 없음
 ③ 心室細動의 우려 없음 ④ 心室細動의 우려 있다
 ⑤ 心室細動을 일으킨다

〈그림 6〉 感電電流의 安全限界 (IEC)

4. 落雷에 의한 死傷事例


해마다 落雷에 의하여 처참한 死傷事故가 發生하고 있다. 이 落雷에 의한 死傷事故의 發生原因에는 人体에 直接 落雷하여 人体를 通하여 雷擊電流가 大地에 流入할 때와 樹木이나 建物에 落雷하여 그 落雷한 樹木이나 建物에 近接하여 있었기 때문에 그곳에서 放電하여 雷擊電流의 一部가 人体를 通하여 大地에 流入할 경우, 그리고 또 이미 論한 바와 같이 接觸電壓이나 步幅電壓에 의한 경우가 있다.

〈표 3〉 日本의 落雷死傷者數

年度	死者	負傷者	年度	死者	負傷者
1954	29	21	1967	50	50
55	48	26	68	22	19
56	34	34	69	24	25
57	18	30	1970	21	22
58	31	47	71	20	35
59	34	57	72	21	23
1960	41	40	73	24	20
61	41	57	74	16	28
62	41	31	75	30	43
63	53	83	76	6	11
64	21	31	77	6	8
65	26	24			
66	21	20	平均	28.3	32.7

표 3은 日本에서 發生한 落雷에 의한 死傷者數를 표시한 것이다. 또 표 4는 獨逸에서의 落雷死傷者數를 표시한다.

표 4에 의하면 步幅電壓에 의한 死傷者數가 161件으로 意外로 많다. 이러한 事實은 雷發生時의 屋外에서의 피난方法으로, 그림 7과 같이 步幅을 뒀 수 있는 한 적게하여 直擊 및 側擊을 피하는 자세를 취하는 것이 重要하다는 것을 알

安全 가이드	충전부분에 접근 금지
<p>눈으로 보이지 않지만 생명을 노리는 것이 전기(電氣)이다. 전기는 전압이 낮더라도 감전된 사람의</p> 	<p>저항치가 낮으면 꽤 큰 전류가 체내에 흘러 생명을 잃게 되기 때문에 땀이나 물에 젖어 있을 때에는 충전부분에 가까이 하지 않아야 한다. 몇가지 유의사항을 소개하면</p> <ul style="list-style-type: none"> • 스위치 박스의 뚜껑은 닫아 둔다. • 스위치의 개폐는 오른손으로 한다. • 배선을 자주 점검하고, 전선에 접촉하지 않도록 한다. • 전기관계의 고장은 전문수리담당자에게 연락하여 수리한다. • 기계에서 떠날 때는 스위치를 끈다. • 고전압의 설비 근처에는 가까이 가지 않는다.

〈표 4〉 독일에서의 落雷死傷者數 (1952~1959)

項	II	×	○	計
雷에 의한 事故數		312	390	702
性 別	男		455	702
	女		247	
事故時 的 狀 況	농업에 종사하던 자	158	129	287
	문밖에서 일하던 자	34	37	71
	스포츠, 여행, 천막, 수영 등을 하고 있던 자	18	33	51
	옥내에서 일하던 자	16	34	50
	다른장소에서 일하던 자	86	157	243
事故原因	人体直撃	227	23	250
	步幅電圧	13	148	161
	二次的影響	11	66	77
	不明			
사 람 이 있 던 장 소 기 타	나무밑 및 山林 주변 넓은 땅	76	94	170
	넓은 땅	80	55	135
	도로상	39	23	62
	금속골조 건물내	5	59	64
	미완성의 작은 건물 또는 유사한 금속의 골조가 없는 건물내	28	41	69
	기 타	84	118	202

수 있다.

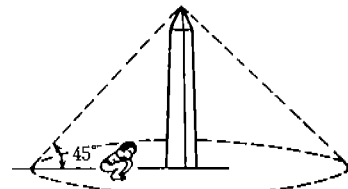
5. 接觸電壓 및 步幅電壓의 防止對策

(1) 送電線路의 地絡事故에서는 地絡電路를 高速度차단기 등의 保護장치로 確實하게 차단하고 또 故障계속時間을 될 수 있는 한 짧게 하는 것이 중요하다.

(2) 地絡事故時의 接觸電壓이나 步幅電壓을 낮게 억제하거나 大地電位の 上昇을 억제하기 위하여 鐵塔이나 機器 周圍의 地表上에 자갈層 등에 의하여 大地表面抵抗率을 크게 한다.

(3) 大地表面電位の 傾斜가 나타나지 않도록 接地極은 地下 75cm 以上の 깊이에 埋設한다(電技 20條).

또는 鐵塔 주변 등의 電位の 傾度 發生을 적게 하기 위하여 링狀 埋設地線을 施設하거나 網



避難하는 位置

〈그림 7〉

狀 接地의 눈을 좁게 하여 接地抵抗을 될 수 있는 한 작게 한다.

(4) 接地線을 鐵柱 기타의 金屬에 따라 埋設할 경우는 接地極을 地中에서 그 金屬體에서 1m 以上 떨어지게 施設한다(電技 20條).

(5) 架空地線에는 導電率이 좋은 것을 쓰고 또 가닥數를 늘려 分流效果를 높인다.

(6) 雷가 가까이 왔을 때 安全한 場所에 피난한다. 예를 들면 金屬板이나 鐵網 등의 導體로 電氣的으로 차폐한 곳(패러데이 케이지 등), 具體的으로는 鐵筋, 鐵骨 콘크리트의 빌딩 內, 또는 골프場 등에 있는 落雷피난用 쉘터 등이 있다.

(7) 屋內에서는 電氣回路 등에서 될 수 있는 한 떨어진다. 또는 金屬의 창틀, 外壁의 電燈, 라디오, TV 등의 電氣機器에서 1m 以上 떨어지는 것이 바람직하다.

또 水道管이나 電燈線, 電話線 등에서 1m 以上 떨어지는 것이 좋다.

☆ ☆ ☆

雷擊電流나 큰 地絡電流가 大地에 流入한 大地는 大地表面 電位差가 생기며, 이에 따라 接觸電壓이나 步幅電壓이 發生한다. 이 接觸電壓이나 步幅電壓은 때에 따라서는 人体에 電擊電流로서 分流하여 死傷事故로 확대될 우려가 있다. 이와 같은 電壓이 發生할 우려가 있는 施設에서는 充分한 保護對策이 必要하다.

또 施設의 管理者는 이와 같은 事故가 發生할 수 있다는 것을 충분히 認識하고 있어야 한다.