

電氣드림에 의한 感電事故

1. 머릿말

電氣에 의한 被害事故는 近來 많이 減少되어 가는 傾向이라고는 하나 아직도 到處에서 많은 人命이 災害를 입고 있다. 某外國의 統計에 따르면 그1/3이 低壓에 의한 被災事故라고 한다.

이 事故는 低壓回路에서의 포터물식 電動機器에 의한 感電死亡 事故의 一例이며 그 原因의 究明과 感電事故 一般에 共通하는 基礎的인 事項을 記述하도록 하겠다.

2. 事故의 狀況과 基礎的인 原因

被災者는 住宅의 建築工事場에서 基礎콘크리트의 형틀製作中에 電氣드림에 의하여 感電死亡한 것이다. 被災時의 狀況은 온몸이 땀으로 흠뻑 젖어 있었고 맨손으로 드림을 잡아 한쪽 무릎을 땅에 대고 作業하고 있었다. 事故前日은 비가 와서 땅바닥은 축축한 濕氣가 있는 狀態였었다.

使用한 電氣드림은 定格 100V · 5.5A A 社의 1970年製의 木工用으로 絶緣抵抗値를 測定한 結果 0.2Ω와 短絡狀態이었다. 内部를 分解하여 絶緣狀態를 點檢하여 보니 모우터本体部에는 絶緣物의 劣化 燒損 剝離等의 異常은 안보였으나 손잡이 部分에 修理한 흔적이 있어 修理部의 絶緣테이프의 一部를 뜯어 내니 内部의 素線이 분명하게 金屬部에 接觸되어 있었다. 더우기 電源코오드에는 二芯의 캅타이어코오드가 接續되어 있어 (元來는 接地線을 合하여 三芯이 使用되고 있다) 修理時 다른 코오드가 流用되어 있었다. 즉 感電의 直接 原因은 電氣드림 修理時의 材料 修理方法의 不適當에 의한 絶緣不良으로 일어난 事故였다.

3. 感電電流의 推定

100V 程度의 低壓에 感電하여 死亡에 이르기까지는 가지가지의 惡條件이 겹친 것으로 생각되나 一般的으로 低壓의 感電事故에는 어느 程度의 感電電流가 흘렀는가에 對하여 基礎的인 調査 및 事故의 條件을 想定하여 본다.

3-1 基礎的 調査(人體抵抗의 測定)

感電時의 感電電流의 크기는 人體抵抗과 人體에 의한 大地와의 接地抵抗의 크기에 左右된다. 또 人體의 抵抗은 充電部와의 接觸狀況에 따라 많이 다른 것으로서 以下 各種의 條件에 따른 人體抵抗의 測定을 하여 보기로 한다.

(1) 손 및 다리 사이의 人體抵抗

感電事故에서 人體가 充電部와 接觸할 可能性이 많은 손과 大地에 接하는 다리 사이의 人體抵抗을 測定한 結果를 表1에 表示한다.

〈表-1〉 兩手 兩足間의 人體抵抗

檢 體	a	b	c	d	e	平均値
測定値〔Ω〕	790	750	720	670	780	732

- 測定位値：兩手~兩足間
- 通電電流：交流 60Hz 人體에 危險이 없는 微少한 電流
- 測定方法：測定電極은 金屬容器에 塩水를 채워 兩손목 兩足首까지 水面아래로 담고 充電部와의 接觸面積을 充分히 넓게 維持하여 測定

(2) 通電個所와 人體抵抗：測定結果를 表2에 表示함.

(3) 接觸面積과 人體抵抗

金屬等의 良導體와 달라 固有抵抗이 높은 物質의 抵抗値는 充電部와의 接觸面積(片足首를 水面아래로 잠기게 한다)은 一定하고 高電位側의 接觸面積을 變化시켜 測定, 高電位側 電極은 布片에

(表-2) 人体抵抗의 測定値에 의한 相違

測定位值	兩手兩足間	片手兩足間	片手片足間	兩手間
測定值[Ω]	750	1130	1460	1440
IEC值[Ω]	650	975	1300	1300

※ 上記測定値는 單一檢体の 値로 複數의 平均値가 아니다. IEC의 値: 1973年의 IEC의 TC64(建築電氣設備)의 마드리드會議에서 報告된 値로 測定方法의 詳細는 不明

水分을 含有케 하여 皮膚(손바닥)에 接觸.

b. 測定種類: 布片의 水分은 鹽水와 淡水의 二種類

가. 鹽水를 含有한 布片에 高電位導體를 點接觸
 나. 淡水를 含有한 布片에 高電位導體를 點接觸
 다. 淡水를 含有한 布片에 高電位 導體를 面接觸
 測定結果를 表3에 表示한다.

(表-3) 接觸面積과 人体抵抗

布片[cm ²]	測定種類		
	가[kΩ]	나[kΩ]	다[kΩ]
1	105	110	
2	53	58	57
4	21	36	30
8	13	22	11
16	18.9	19.6	7.6
32	5.6	16.9	5.3
64	3.5	15.2	
128	2.4	10.2	

※ 鹽水에는 海水를
 淡水에는 水道물을 使用

表3에 의하여 (가)鹽水에는 人体抵抗은 充電部와의 接觸面積이 거의 反比例하여 減少한다. 그러나 (나)淡水에는 어느面積 以下가 되면 鹽水의 例와 같이 減少되지 않는다. 이것은 鹽水와 淡水의 導電率의 差異에서 오는 것이다. 또 같은 淡水라도 (다)와 같이 導體와 布片의 接觸을 面狀으로 넓힘으로써 鹽水와 거의 같은 測定結果를 얻을 수 있다.

(4) 充電部와의 接觸狀況과 人体抵抗

大地側의 條件을 前項(3)과 같이 設定하여 高電位側(手)의 接觸狀況을 여러가지로 變更하여 人体抵抗을 測定하였다. 또 그들과 同一條件으로 交流 100V의 充電部에 感電하였을 때의 推定感電 電流를 算出하였다. 그 結果를 表4에 表示한다.

表4의 測定結果에 의하여 같은 水分狀況이라도 鹽水(담과 等價)일 때는 淡水보다 3~4倍 電流를 잘 通한다는 結果가 된다.

(表-4) 各種 接觸狀況에서 人体抵抗 Rme와 推定感電電流 Ime(但 100V 感電)

接觸條件	Rme [kΩ]	Ime [mA]
가. 다른손가락끝 3~4本으로 導體에 가볍게 接觸	80	1
나. 淡水에 의한 多少 濕氣있는 손가락 끝으로 導體에 가볍게 接觸	30	3
다. 鹽水에 의한 多少 濕氣있는 손가락 끝으로 導體에 가볍게 接觸	11	9
라. 淡水에 의한 물기있는 손가락 끝으로 導體에 가볍게 接觸	14	7
마. 鹽水에 의한 물기있는 손가락 끝으로 導體에 가볍게 接觸	3.2	30
바. 젖은 손으로 펜치를 잡고 導體에 接觸	1.7	62

※ 導體는 1.6φ 鋼線 多少 습기있는 相態란 젖은 수건으로 바른程度 물기있는 狀態란 물방울이 떨어질 程度, 어느 것이나 大地側의 接地抵抗이 적을 때의 値이다.

3-2 事故條件에서의 調査

[人体接地時의 接地抵抗의 測定]

事故發生時의 諸條件을 正確히 再現한다는 것은 困難하나 想定할 수 있는 몇가지 條件을 設定하여 人体接地時의 接地抵抗(人体抵抗을 包含)을 測定하였다. 또 充電部가 交流 100V에 達하였을 때의 推定感電 電流도 算出하였다.

a. 地面條件: 단단한 地表面과 무른地表面, 表面이 다른狀態와 젖은狀態(비온後를 想定)

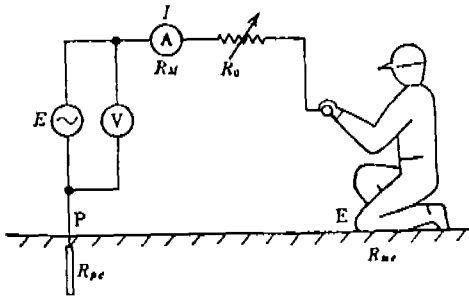
b. 衣服의 땀에 의한 濕潤量: 發에 의한 衣服의 濕潤量은 表5와 같다.

c. 衣服의 枯質: 綿作業下衣, 綿사츠

d. 신발: 中古品 농구화

e. 測定時의 姿勢: 두손으로 電極(40φ 金屬棒)을 힘차게 잡고 허리를 구부리고 왼쪽 무릎을 땅에 대었다.

f. 測定電源: 交流 入力 100V 出力 3~30W의 絶緣트랜스를 使用



ie: 地電壓에 의한 電流[A]
 Ro: 調整抵抗[Ω]
 RM: 電流計內部抵抗[Ω]
 Rpe: p點 接地抵抗으로 接地抵抗計에 미리 測定한 既 抵抗[Ω]

〈그림-1〉 測定回路

測定回路를 그림 1과 같이 構成하였다. 또 測定에 있어 P~E間의 地電壓에 의한 電流의 影響을 받지 않는 場所를 擇하였다. 人體의 接地抵抗(人體 抵抗 包含) Rme는

$$R_{me} = \frac{E}{I - i_e} - (R_o + R_M + R_{p'e}) \Omega$$

여기서 E: 印加電壓(V)

I: 測定電流(A)

前記의 條件으로 손을 잡고 金屬棒이 交流 100V에 充電하였을 때의 推定感電 電流 Ime는

$$I_{me} = \frac{100}{R_{me} + R_{p'e} + R_z} \times 10^3 \text{ [mA]}$$

여기서 Rp'e: 事故現場의 電源트랜스의 接地抵抗值(第二種接地工率로 50Ω程度로 假定)

Rz: 漏電機器, 漏電部의 抵抗值 0.2Ω 測定結果 및 推定 感電電流는 表 5에 表示한다.

表 5에서 무른地表面에서는 단단한 地表面에 比하여 接地抵抗이 적다. 이것은 地表面과 人體의 接觸面積이 넓은 때문일 것이다.

〈表-5〉 事故條件에서의 接地抵抗值 Rme와 推定感電 電流 Ime(但 100V 感電)

發汗에 의한 濕潤度 地表面條件	땀이 안배인 마른衣服 Rme (Ime)	少量의 發汗약간땀이 배임 Rme (Ime)	어느정도의 發汗外見 上보일程度 Rme (I me)	相當한 發汗처...내면 물방울이 날정도 Rme (Ime)
마른 地表面	100 kΩ 以上 (1 mA 以下)	29 kΩ (3 mA)	5.4 kΩ (18 mA)	4.4 kΩ (22 mA)
젖은 단단한 地表面	11 kΩ (9 mA)	7.2 kΩ (14 mA)	3.5 kΩ (28 mA)	2.2 kΩ (45 mA)
마른 무른 地表面	36 kΩ (3 mA)	7.4 kΩ (13 mA)	2.4 kΩ (41 mA)	2.1 kΩ (47 mA)
젖은 무른 地表面	7.7 kΩ (12 mA)	6.4 kΩ (15 mA)	2.2 kΩ (45 mA)	2.0 kΩ (49 mA)

※젖은狀態란 散水後 30分 經過의 狀態 上記 成績은 날을 달리하여 3回 測定한 平均임.

4. 人體에 對한 感電電流의 影響

感電電流와 그 影響에 對하여는 個人差 性別差 健康狀態에 따라 多少 差異가 있다고 한다.

死亡의 危險이 있는 心室細動 電流에 對하여는 美國의 Dalziel의 報告가 있다.

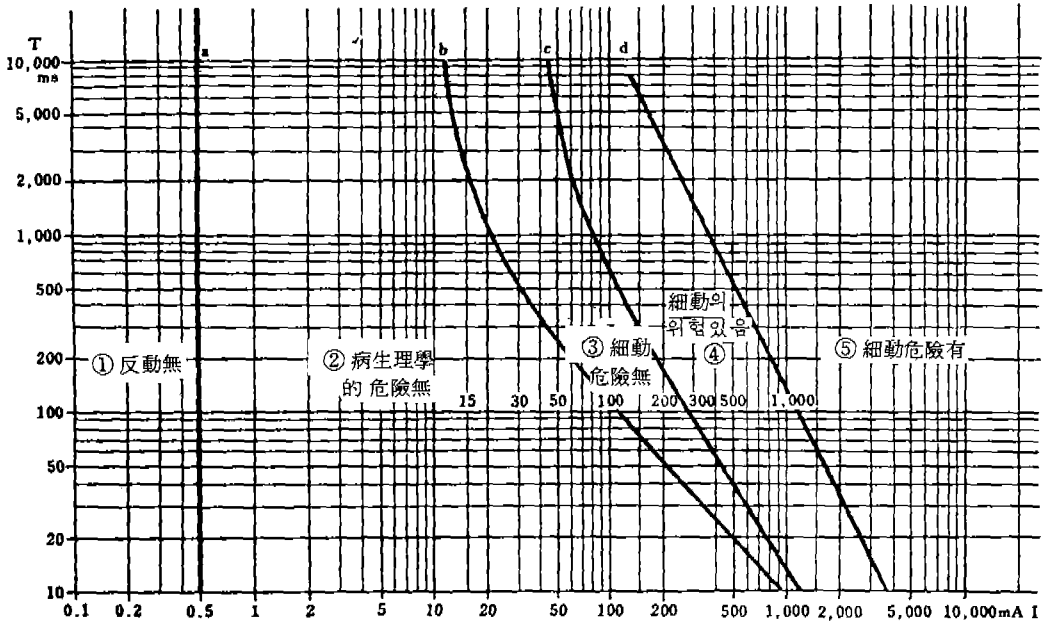
$$I = \frac{116}{\sqrt{T}} \text{ [mA]} \quad I: \text{心室細動電流 [mA]} \\ T: \text{通電時間 [s]}$$

適用範圍는 8 ms에서 부터 5 s까지, 5 s以上의 連續通電의 影響은 未確認 또는 獨逸의 Köeppen의 報告에는

$$I = \frac{50}{T} \text{ [mA]}$$

但, 1 s 超過 領域에서는 50 mA 一定하고 50 mA 連續通電의 影響은 未報告

Köeppen의 50/T에 安全率을 加味한 30/T가 安全限界線으로 잘 알려져 있다. 다시 詳細한 資料로서는 IEC의 TC64에서의 報告 WG4.(人體에 對한 電流의 影響), 電流時間다이아그램(그림 2 參照)이 있고 그에 의하면 心室細動의 危險이 있는 限界는 50 mA로서 겨우 5秒가 된다.



(그림 - 2) 感電電流의 影響, 電流時間다이아그램 (60Hz)

5. 感電條件과 그 危險度

(1) 基礎調査에 의하여 人体와 大地의 絶緣狀態가 最惡의 境遇 땀 등에 의한 濕潤된 손으로 裸線等의 充電部에 닿으면 人体에는 心室細動의 安全限界에 가까운 電流가 흐른다. 또 같은 것은 손으로 뻐치를 잡고 充電部에 接觸하였을 때는 겨우 몇秒로 心室細動의 危險이 생긴다. 즉 100V 程度의 低壓이라도 皮膚面에 多量의 水分이 附着되었을 때 또는 땀 등에 의하여 水分을 많이 包含하고 있을 때 接觸한 衣服은 良好한 電極으로 化하여 人体에 매우 危險한 狀態가 된다.

(2) 事故條件의 調査에 의하여 여러가지 設定條件中 感電電流의 크기에 가장 影響을 미치는 것은 衣服 (특히 下衣)에 含有된 水分量이었다. 衣服에 少量의 水分이 배인 狀態로 地表面이 젖어 있으면 離脫限界 電流(잡은 導體를 自己의 意志로 뗄 수 없는)가 흐른다. 表 5에서 衣服의 水分量이 많아질수록 또 단단한 地表面보다 무른 地表面이 그리고 表面이 젖어 있을 때는 한층 많은 感電電流가 흐른다.

設定條件中 극히 危險한 條件은 ① 마르고 무른 地表面)으로 衣服에 相當한 水分이 배었을 때 ② 젖어 있고 무른 地表面에 衣服이 껴 땀에 젖었을 때

의 두 條件이다.

어느 것이나 겨우 5秒 程度의 短時間에 心室細動의 危險이 생긴다. 또 被災者가 作業時에 드릴의 누르는 곳을 가슴에 대었다고 假定한다면 더욱 더 큰 電流가 心室附近에 흘렀다고 생각된다.

事故時의 實地 通電時間에 對하여서는 確實치 않으나 被災者의 異常을 周圍에서 느껴 感電인 것을 알고 電源을 開放할 때까지는 적어도 數10秒 걸렸을 것이다. 感電電流의 크기 通電時間의 如何等에 있어 心室細動의 危險이 있는 充分한 條件이 있었다고 推定된다.

以上과 같이 이번과 같은 不良機器를 使用하고 使用方法도 適切하지 않고(接地치 않음) 더우기 漏電遮斷器도 設備치 않고 땀으로 흠뻑 젖어 있고 젖은 地面에 구부리고 앉는 등 여러가지 惡條件이 겹쳤을 때는 100V 程度의 低壓이라도 感電死가 생길 수 있는 危險한 狀況이라는 것이 判明되었다.