

電氣事故와 設備故障 事例

(27)

配電盤 螢光燈 交替作業中の 感電死亡事故

1. 머리말

電氣工作物の 維持補修業務는 대체로 매일 變化 없이 똑같은 일이 되풀이 된다. 더구나 그런 긴 道程에 있어서 잠시라도 방심할 수 없는것이 이 일의 특성이기도 하다.

우리들은 過去 數10年間 자기 자신이 아무런 탈 없이 지나왔다면 아마 앞으로도 그런 狀態가 계속되리라 생각하고 생활하게 될 것이다. 그러나 이러한 樂天的인 日常性이 感電事故 發生의 最大要因이 되지 않을까 생각된다.

우리들이 感電事故를 일으키지 않으려면 充電部에 接近하지 않는것이 最上策이겠지만 일의 性質上 그렇게 할 수도 없다.

따라서 우리들은 일에 열중하면 할수록 感電事故를 일으킬 可能性은 높아지는 것이다.

이 事故例는 30年間の 풍부한 경험을 가진 熟練 作業員이 일에 열중하다 순간적인 放心 때문에 感電死亡한 것이다.

2. 事故內容

이 事業場은 6.6kV 受電을 하는 市民會館으로서 電氣設備의 維持補修는 電氣主任技術師와 被災者의 두사람이 담당하고 있었다.

事故의 內容은 다음과 같다.

○ 受電室은 地下1層에 機械室과 隣接하였으며 두사람의 作業책상은 機械室 한 구석에 놓여 있었다.

○ 事故當日 主任技術師가 勤務하고 있었는데 被災者가 「螢光燈을 가져 오겠습니다」라고 말하면서 機

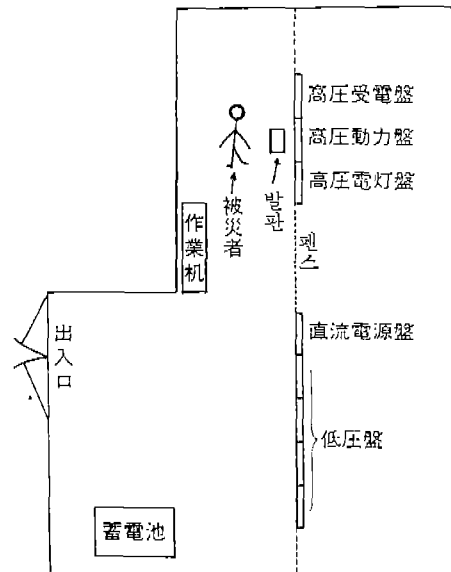
械室을 빠져 나갔다.

○ 主任技術師는 계속 勤務하고 있었는데 約7分後 全停電이 되어 急히 電氣室으로 달려가본즉 高壓動力盤 앞 콘크리트바닥에 被災者가 넘어져 있는 것을 發見했다.

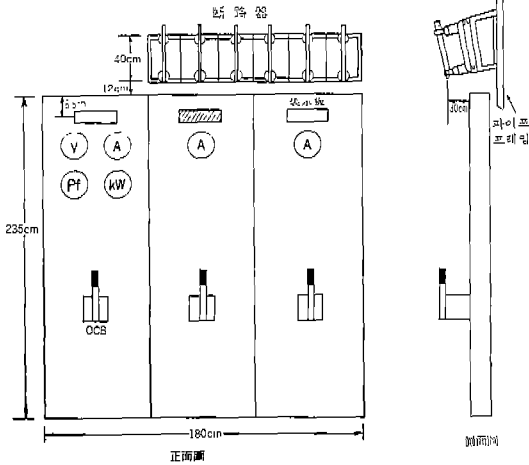
○ 被災者는 발판에 올라 盤名表示燈의 螢光램프를 바꾸다가 잘못해서 頭上의 斷路器에 頭部가 接觸되어 感電했다.

○ 그 탄력으로 발판에서 떨어져 머리를 콘크리트 바닥에 強打 腦挫傷으로 3日後 死亡했다.

○ 事故時 被災者의 복장은 無帽, 폴리에스테르綿 混紡의 作業服, 고무창에 끈이 달린 運動靴를 着用했다. 또한 電氣室은 그림 1, 高壓動力盤과 斷路器



〈그림-1〉 電氣室略圖



〈그림-2〉受電盤略圖

의 位置關係는 그림 2와 같다.

3. 事故要因

感電事故의 경우 事故要因 그自体는 대개 單純한 것으로 이 事故의 1次原因은 充電部에 너무 接近했거나 接觸한 것이며 2次原因은 머리를 強打한 것이다.

그러나 重要한것은 이러한 原因을 發生케한 原因 즉 事故要因일 것이다. 原因과 要因의 關係를 간단히 圖示하면 그림 3과 같이 될 것이다. (이 그림에서는 原因과 事故를 잇는 스위치가 ON으로 되면 事故發生이 되는데 그 스위치를 ON으로 한것이 要因이다).

이러한 要因은 대개 하나가 아니고 多數存在하며 더구나 그들 사이에는 1次要因 2次要因이라는 階層이 形成되고 있다. 따라서 이와같은 要因이 모두 檢討되어 抽出되지 않으면 事故防止對策은 完全한 것이 못된다.

이 事故의 경우에는 다음과 같은 1次要因을 생각할 수 있다.

- 作業에 있어 主任技師의 指示를 받지 않고 被災者가 單獨行動을 했다.
- 本來 停電作業으로 하든지 活線近接作業으로 해야할 作業을 停電하지 않고 無防備한 상태로 實施했다.
- 主任技師가 被災者의 行動을 체크 하지 않았다.

대체로 이러한 要因이 發生하기 以前에는 그 밑 바탕이 되는 다른 要因이 도사리고 있는 것이 普通이다.

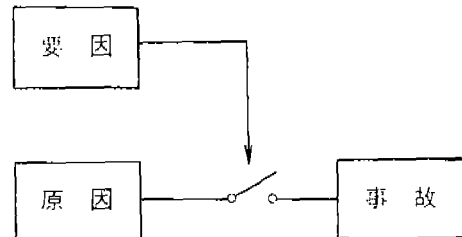
- 被災者에 對한 教育의 不足, 身體의 不調, 適性의 缺如
- 作業要領과 規則의 不備
- 職場環境이나 作業스케줄 問題
- 電氣工作物 設計에 있어서 人間工學的인 不備이 事業場에 있어서도 主任技師 및 從業者가 하는 作業의 區別化, 共同作業時의 安全管理者設定 活線近接作業時의 安全裝具의 使用義務에 對하여 確立되지 않는 部分이 있음이 事故調査에서 지적되고 있다.

4. 事故防止對策

事故의 再發을 防止하기 위해서는 前述한 事故要因을 모두 찾아내어 對策을 세워야 한다. 이러한 것들은 事故要因 그 自体를 發生시키지 말것, 만약 要因이 發生하더라도 체크할 수 있도록 것 등을 要點으로 하여 檢討하고 그 결과를 作業要領이나 規則속에 넣어야 한다.

그러나 우리들 人間이 作業要領이나 너무 엄한 規則을 잘 지키면서 항상 긴장을 유지 한다는 것은 어려운 일이기 때문에 소프트웨어 면에서의 펠세이프 機構의 導入이나 人間工學的인 배려를 하는것이 필요한 것이다. 또한 만들어진 소프트웨어(作業要領과 規則等)에 對한 디바크(問題點을 없애는 傳業)가 필요하게 되는데 이것에는 作業플랜트等に 사용되는 세이프티어세스멘트手法이 도움이 되리라 믿는다.

이 事業場에서는 安全作業을 철저히 하기위해 作業要領을 明文化하고 危險作業을 複數로 하며 그중 1명이상을 安全管理者로 돌것, 活線近接作業에



〈그림-3〉事故原因과 要인의 關係

는 반드시 安全裝具를 使用할것 등을 規定했다.

그러나 이러한 것들은 당연한 것을 규정하는데 不
過하며 보다 한걸음 앞선 對策이 필요하다고 생각
된다.

대개 事故가 난 후에야 서둘러 作業을 強行 하는
데 이러한 作業은 平常時에 미리 實施해야 된다고
생각된다.

5. 맺는말

日本의 경우 1982年度의 全國統計에 의하면 自殺

을 除外한 感電事故件數는 223件이며 그 內譯은 公
衆91件 作業者132件으로 되어 있다. 公衆의 感電事
故는 近年 대폭 감소하고 있는데 반하여 作業者는
근소한 감소에 머물고 있다.

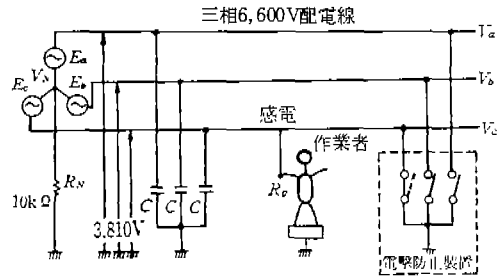
또 作業者와 公衆의 感電事故率을 構成 人口人口
比에서 試算하여 보면 作業者가 公衆의 500배가 된
다. 이것은 부득이한 일이라고도 생각할 수도 있으
나 이사실을 逆으로 보면 作業者의 事故率도 公衆
程度로 낮출 수 있는 여지가 있다는것을 의미한다.

高壓配線의 感電災害防止

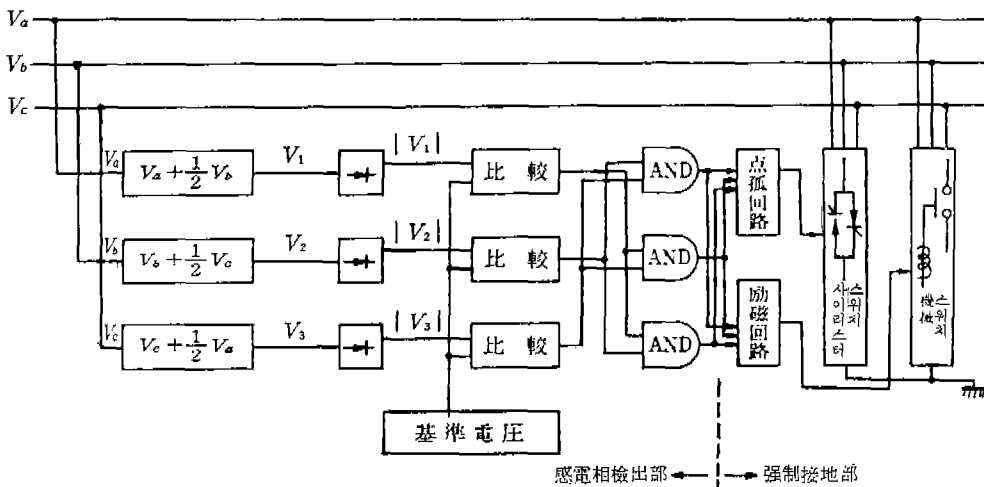
— 高壓配線用 電擊防止裝置開發 —

1. 머리말

電力의 安全供給을 위해 高壓配電線의 活線作業
을 하고 있다. 이 作業의 安全性은 作業要領과 安
全裝具 즉 作業者의 注意力으로서 維持되고 있다.
그러나 만일 感電災害가 발생했을경우에 신속히 感
電者로부터 感電電流를 제거할 수 있는 裝置가 개
발된다면 活線作業의 安全性은 더욱 높아진다. 이
러한 배경에서 高壓配電線用 電擊防止裝置를 개발
하기 始作했으므로 그 技術의 內容, 實驗結果, 금후의
課題 등을 소개한다.



〈그림-1〉 感電災害의 發生과 電擊防止裝置의 動作



〈그림-2〉 電擊防止裝置 플로우차트

2. 高壓配電線用 電擊防止裝置의

개요

高壓配電線에서 感電事故가 발생했을때는 신속히 感電者로부터 感電電流를 제거해야 한다. 그 方法으로서는 配電線路를 開路해서 給電을 停止하는것이라고 생각되지만 配電線의 給電容量이 상당히 크므로 遮斷스위치는 大型이라야 하며 動作速度도 빠른것은 기대하기 어렵다. 또한 配電線路에 感電事故防止用的 스위치를 直列로 설치하는것도 어려운 일이다. 한편 活線作業中の 感電災害의 事故例에 의하면 感電은 大地(電柱의 接地部등을 包含)와 三相中の 一相사이에서 발생하고 있으며 線間에서 일어나는 것은 거의 없다. 大地와 一相사이에서 발생한 感電災害는 感電相을 接地시키면 人体에 흐르는 感電電流가 바이패스되어 感電者의 電擊을 막을 수 있다. 이 方法에 사용되는 感電事故 防止用 스위치의 容量은 配電線 靜電容量에 의한 突入電流와 (等價星形起電力)/(等價中性點임피던스)로 決定되고 動作도 OFF→ON에 대한 性能만 이루어지면 된다. 또 前記한 方法이면 活線作業場所의 送電側에 感電事故防止用 스위치를 直列로 설치해야 하지만 이 方法이면 活線作業場所 부근에 설치하여 三相과 接地間을 스위치로 配線하면 된다. 이러한 취지로 當社는 高壓配電線用 電擊防止裝置를 개발하여 原理確認을 위해 試作 1號機 感電相 檢出部를 改良한 試作 2號機를 製作했다.

高壓配電線用 電擊防止裝置는

- a) 活線作業現場에 설치
- b) 感電發生相의 檢출
- c) 感電發生相의 接地

등이 중요한 기능이다. 活線作業現場에 설치하려면 小型輕量化(可搬性)이어야 한다. 感電發生相의 檢출, 感電發生相의 接地가 主動作이지만 이 동작을 確實히 하기위해 다음과 같은 것이 고려되고 있다.

- d) 配電線과 裝置의 접속확인
- e) 相回轉의 整合
- f) 對地電壓의 변동 불평형 푸리커동
- g) 노이즈電壓의 混入

등이다. 다음에 試作機의 感電相 檢出方法, 感電相 接地 스위치의 구성, 실험에 의한 動作特性등을 간단히 설명한다.

2-1 感電相의 檢出

感電相을 檢출하는 方法은 많이 있으나 本試作에서는 다음과 같이 對地電壓 V_a, V_b, V_c 를 합성하여 얻어지는 電壓 V_1, V_2, V_3 을 檢出電壓으로 했다.

$$\begin{aligned} V_1 &= V_a + \frac{1}{2} \cdot V_b \\ V_2 &= V_b + \frac{1}{2} \cdot V_c \quad \dots\dots\dots (1) \\ V_3 &= V_c + \frac{1}{2} \cdot V_a \end{aligned}$$

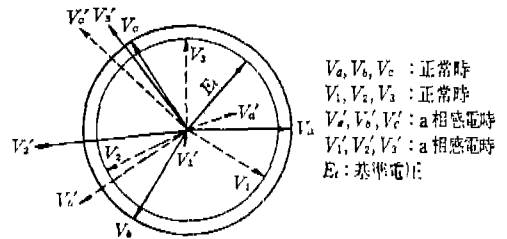
이 檢出電壓은 예컨데 a相에서 感電(地絡)이 발생하면 (그림 3),

- V_1 의 피이크值: 減
- V_2 의 피이크值: 增
- V_3 의 피이크值: 增

으로 된다. 즉 V_1, V_2, V_3 의 증감을 감시하면,

- (V_2 : 증) 또한 (V_3 : 증) → a相感電
- (V_3 : 증) 또한 (V_1 : 증) → b相感電
- (V_1 : 증) 또한 (V_2 : 증) → c相感電

을 檢출할 수 있다.



〈그림-3〉 벡터圖

2-2 感電相接地스위치

感電相 接地스위치는 고속동작이 요구되므로 半導體스위치를 사용하고 機械的 스위치를 半導體스위치와 並列로 해서 接地를 確實하게 했다.

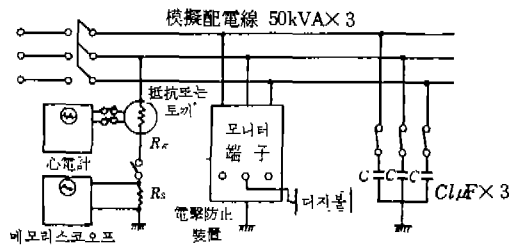
半導體스위치는 1000V, 20A級 다이리스터를 所用 個數直列로 하여 구성되어 있다. 半導體 스위치와 機械的 스위치가 병렬로 되어있기 때문에 스위치動作은 대단히 빠르고 또한 스위치의 임피던스도 작게 되어 있다.

2-3 實驗結果

試作한 高壓配電線用 電擊防止裝置는 K技術開發 研究所의 模擬配電線(室外 容量150kVA)를 사용했다. 抵抗으로 一線地絡하여 裝置가 動作하는 最大 抵抗置를 感度로 한다. 感度は 對地靜電容量 零일

때 30~55KΩ 1μF/相일때 8KΩ이었다. 体重 약 2 kg의 토끼를 感電實驗하여 그생명을 救할 수 있었다. 마취된 토끼는 電擊에 의한 筋肉의 硬直은 있었으나 心電計에는 心臟停止의 征兆인 心室細動은 나타나지 않고 實驗이 끝난후 마취가 깨 토끼에는 異常을 볼 수 없었다. 동작시간은 感電發生位相에 따라 變化하고 2~10m秒였다.

실험에 의해 거의 日의 한 바 성능은 확인되었으며 토끼의 생명을 구할 수 있는 것으로 미루어 人



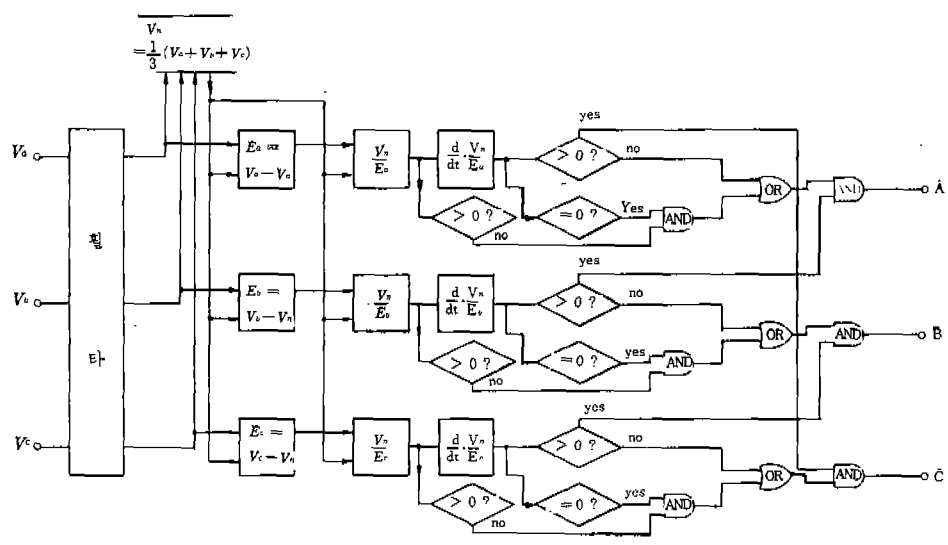
〈그림-4〉 模擬配電線을 사용한 實驗回路

〈表-1〉 感度の測定

實驗條件	屋外模擬配電線		實驗值	
	限界抵抗値kΩ	備考	限界抵抗値kΩ	備考
順方向接續 對地電壓 …… 平衡 對地캐시턴스 없음	55 (基準電壓레벨 …… 6%)	V _a =3,670 (V) V _b =3,729 (V) V _c =3,753 (V) a相地絡	(基準레벨 3%) 55~44 (基準레벨 4%) 45~30 (基準레벨 5%) 45~30 (基準레벨 6%) 40~30	V _a , V _b , V _c =3,800 (V) 各相에서 地絡
逆方向接續 (b相→c相交換) 對地電壓 …… 平衡 對地캐시턴스 없음	(基準電壓레벨 …… 6%)	V _a , V _b , V _c 의 값은 同上 c相地絡	(基準電壓레벨 3%) 65-40 (基準電壓레벨 4%) 50-35 (基準電壓레벨 5%) 45-35 (基準電壓레벨 6%) 35-30	同上
順方向接續 對地電壓 …… 平衡 對地캐시턴스 있음 (1μF/相)	8 (基準電壓레벨 … 6%)	V _a , V _b , V _c 의 값은 同上 b相地絡		
順方向接續 對地電壓 …… 不平衡 對地캐시턴스 없음	54 (c相地絡) 55 (a相地絡) (基準電壓레벨 … 6%)	V _a =4,056 (V) V _b =3,930 (V) V _c =3,786 (V)		
順方向接續 對地電壓… 平衡(昇壓) 對地캐시턴스 없음	(基準電壓레벨 … 6%) 60 (基準電壓레벨 … 3%) 80	V _a =4,032 (V) V _b =4,092 (V) V _c =4,128 (V) b相地絡		

〈表-2〉 電擊防止裝置의 生體實驗結果

實驗條件				心室細動發生 (實驗回數)	토끼에 흐른 電流 [A] (피이크值)
基準電壓 [V]	付加容量 [μF]	感電條件	토끼의 体重 [kg]		
4,790	0	토끼 + 20kΩ	1.8	없음 (10)	0.18以下
4,790	0	토끼 + 10kΩ	2.6	없음 (10)	0.27以下
4,790	0	토끼	2.3	없음 (10)	0.54以下
4,790	1	토끼	2.0	없음 (5)	6~15
4,820	1	토끼	2.3	없음 (5)	4~10



체感電에 대하여도 충분히 救助效果가 있을것으로 추정할 수 있었다.

3. 今後의 課題

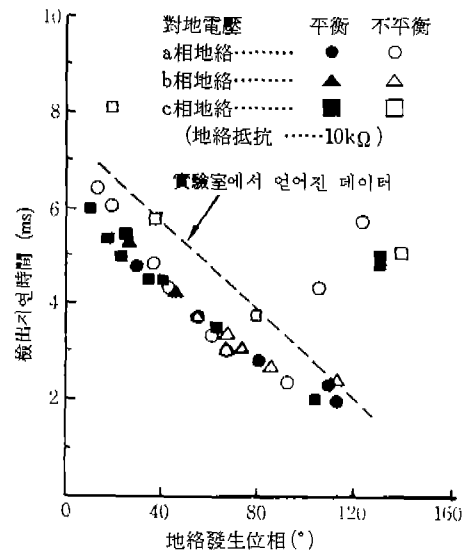
실험결과 토기의 생명을 구할 수 있었다고 하지만 配電線의 對地靜電容量에 따라 感度가 떨어지는 것 感電發生位相에 따라 感電發生相의 檢출이 늦어지는것등 改良을 必要로 하는點도 있었다. 이러한 改良을 목표로한 感電相을 檢출하는 새로운 方式을 고안했다. 이 방식은 感度の 向上과 함께 感電發生位相에 관계없이 感電相의 檢출이 가능하므로 檢출시간 (동작시간)의 단축이 기대된다. 이 方式을 간단히 說明한다. V_n 를 中性點電位(零相電位) E_a, E_b, E_c 를 等價星形 起電力으로 할때와 a相에서 感電이 발생 했을때

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{V_n}{E_a} \right) < 0 \quad \text{또한} \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{V_n}{E_b} \right) > 0$$

對地靜電容量이 쪼일때

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{V_n}{E_a} \right) = 0 \quad \text{또한} \quad \frac{V_n}{E_a} = \text{負의 定數}$$

가 된다. 따라서 配電線의 對地電壓 V_a, V_b, V_c 에서 中性點電位(零相電壓) V_n 等價星形 起電力 E_a, E_b, E_c 를 合成하여 $V_n/E_a, V_n/E_b, V_n/E_c$ 의 波形을 감시하면 感電相의 檢출이 가능해진다. 또한 各種 시이퀀스 演算 判斷등은 마이크로컴퓨터를 이용할 수 있어 충분히 활용하면 回路의 簡素化 演算



〈그림-6〉 改良된 感電相의 檢出方法(案)

스피드向上·裝置의 小型化가 더욱 용이하게 될 것이다.

當面課題로서 裝置의 感度向上 動作時間의 스피드업을 들 수 있다. 高壓配電線用 電擊防止裝置는 感電이 발생하고나서 動作하여 電擊에 의한 손상을 경감시키는 것이므로 筋肉의 硬直 電擊의 쇼크 등에 의한 第2次災害의 대책도 아울러 실시해야 한다.

더욱이 장래적으로는 感電의 前兆 現象을 檢출하여 感電 그 자체가 발생하지 않는 방식을 검토하지 않으면 안된다고 생각된다.