

火災로 인한 電氣材料 鑑識에 關한 研究

A Study on the Identification of Electrical Materials by a Fire

朴	南	信*
洪	眞	雄**
趙	庚	諄***

Abstract

Over the last 100 years since the introduction of electricity, the nation has faced ever increasing demand for electricity as consequence of the rapid economic growth. The expanded consumption ratio for electricity naturally increased the possibility for electricity related accident mainly in the form of electrically ignited fire and human injuries from electric shock.

Under such circumstances, the presented study sets a focus on analysing the causes of the electrically related fire accidents happened in the nation over the last 10 years(in the 80's) to provide a scientific basis for identifying the cause of electric fires.

Identification of the cause of fire ignited electrically may be approached either by studying accident related electrical properties or by investigating power instruments at the place of the accident. In the present paper, the former approach is taken especially on investigating the consequences of over current induced by short circuiting of high power instruments which is reported as the primary cause electricity related fire accidents.

In order to provide reliability of the identification method, microscopic photograph's are taken for the cross sections of the electrical materials(fuse, wire, plug socket and plug) after being exposed to over current and heated by external means respectively. The results are consequently compared and analysed.

I. 序論

최근 科學과 技術의 발달로 전기에너지의 役割은 커지고 年間 電力使用量은 國家産業水準을 評價하는 重要한 指標가 되고 있다. 그리고 전기 에너지는 다른에너지에 비하여 많은 長點을 갖고

있기 때문에 그 需要는 매우 急速하게 增加되고 있다.

또한 電氣需要의 急成長으로 인하여 生活環境 및 職場環境이 변하여 電氣火災나 感電事故 등 電氣災害가 늘어나고 있다.

최근 10年間('80~89) 火災統計에 의하면 全體 火災發生 86,343件中 약 31[%]정도가 電氣火災로 報告되고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

* 정회원, 한국소방안전협회 전임강사.
 ** 광운대학교 공과대학 전기공학과 조교수, 공학박사.
 *** 광운대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

따라서 본 實驗에서도 많은 火災原因 鑑識중 특히 電氣火災 鑑識方法을 研究하기 위하여 電氣材料에서도 電氣火災 發生原因중 가장 높은 比率을 차지하고 있는 fuse와 절연전선(HIV, IV), 콘센트, 플러그등을 선택하여 內部原因으로 過電流 및 短絡電流에 의한 變形狀態와 外部에서 熱을 加熱하여 變化된 狀態를 比較 分析하였다.(3)~(5)

II. 電氣火災의 原因分析

2-1. 火災의 發生件數

1980年代 10年동안에 총 86,343件的 火災가 發生하였으며, 그림에 나타난 바와같이 89년도에는 12,704件的 火災가 發生하여 80년의 5,438件보다 무려 2.3배 이상 增加되어 10年동안 每年 平均 14.8[%]씩 꾸준히 增加하였음을 나타내고 있다.⁽¹⁾

2-2. 原因別 火災 發生件數

총 火災 發生件數를 原因別로 分類하면 電氣火

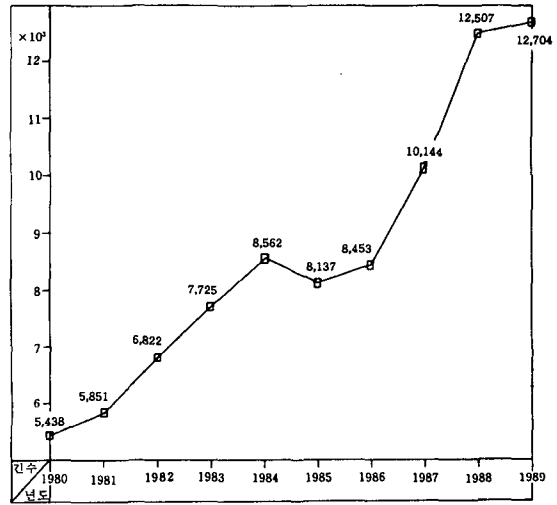


그림1. 총화재 발생건수

災가 26,429件으로 全體의 30.6[%]를 차지하여 가장 높고 그 다음이 담배불로 인한 火災로서 9,073(10.5%)이고 油類火災, 불장난등의 順이다.

그림2는 各 原因別 火災發生件數를 나타내는 그래프이며, 표1은 各 年度別·原因別 火災發生件數와 全體에 대한 比率[%]을 나타내고 있다.

표1. 원인별 화재 발생건수

년도/원인	계	전기	담배	유류	불장난	난로	불티	아궁이	가스	성냥	화공약품	방화	기타
계	86,343	26,429 (30.6)	9,073 (10.5)	8,413 (9.7)	8,280 (9.6)	4,852 (5.6)	3,267 (3.8)	3,169 (3.7)	2,233 (2.6)	2,106 (2.4)	60 (0.07)	5,390 (6.2)	13,091 (15.2)
'80	5,438	1,402 (25.8)	468 (8.6)	983 (18.1)	385 (7.1)	487 (9.0)	138 (2.5)	325 (6.0)	89 (1.6)	198 (3.6)	4 (0.07)	219 (4.0)	740 (13.6)
'81	5,851	1,579 (27.0)	548 (9.4)	901 (15.3)	459 (7.8)	414 (7.1)	89 (1.5)	336 (5.7)	113 (1.9)	196 (3.3)	7 (0.1)	233 (4.0)	976 (16.7)
'82	6,822	1,770 (25.9)	619 (9.1)	777 (11.4)	681 (10.0)	421 (6.2)	193 (2.8)	321 (4.7)	134 (2.0)	194 (2.8)	9 (0.1)	276 (4.0)	1,427 (20.9)
'83	7,725	2,186 (28.3)	685 (8.9)	1,038 (13.4)	727 (9.4)	504 (6.5)	287 (3.7)	393 (5.1)	150 (1.9)	227 (2.9)	13 (0.2)	344 (4.5)	1,171 (15.2)
'84	8,562	2,547 (29.7)	885 (10.3)	954 (11.1)	956 (11.2)	552 (6.4)	359 (4.2)	419 (4.9)	194 (2.3)	269 (3.1)	20 (0.2)	416 (4.9)	991 (11.6)
'85	8,137	2,738 (33.6)	878 (10.8)	834 (10.2)	747 (9.2)	466 (5.7)	306 (3.8)	300 (3.7)	203 (2.5)	210 (2.6)	-	455 (5.6)	1,000 (12.3)
'86	8,453	2,743 (32.5)	974 (11.5)	715 (8.5)	907 (10.7)	442 (5.2)	335 (4.0)	267 (3.2)	229 (2.7)	204 (2.4)	-	555 (6.6)	1,032 (12.8)
'87	10,144	3,136 (30.9)	1,168 (11.5)	734 (7.2)	1,131 (11.1)	474 (4.7)	396 (3.9)	236 (2.3)	300 (3.0)	202 (2.0)	-	755 (7.6)	1,609 (15.9)
'88	12,507	3,803 (30.4)	1,444 (11.5)	716 (5.7)	1,267 (10.1)	590 (4.7)	610 (4.9)	308 (2.5)	407 (3.3)	232 (1.9)	4 (0.03)	941 (7.5)	2,185 (17.5)
'89	12,704	4,525 (35.6)	1,404 (11.1)	758 (6.0)	1,020 (8.0)	502 (4.0)	554 (4.4)	264 (2.1)	414 (3.3)	174 (1.4)	3 (0.02)	1,176 (9.3)	1,910 (15.0)

()안은 총 화재발생건수에 대한 비율(%임.)

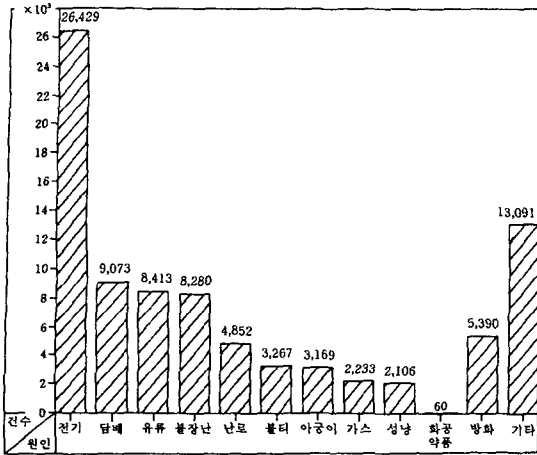


그림2. 원인별 화재 발생건수

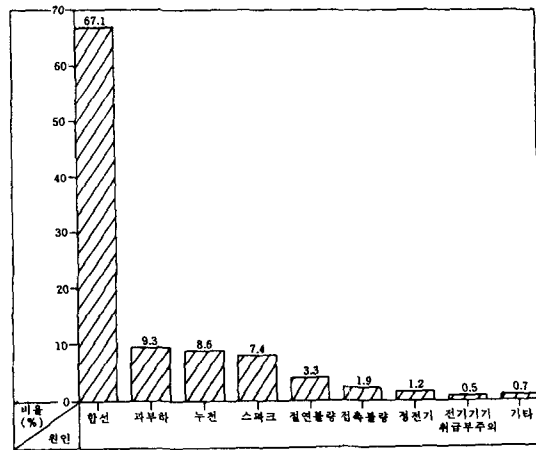


그림3. 전기 화재 원인별 발생비율

2-3. 電氣火災의 發生件數

우리의 經濟규모가 급격히 伸長됨에 따라 電氣 使用量이 1980年度에는 32,734백만[kWh]에서 1989年度에는 82,192백만 [kWh]로 年平均 17.1[%]씩 增加되었고, 그림3에 나타난 바와 같이 電氣火災는 80年度에 1,402件이었으나 89년에는 무려 4,525件으로 年平均 24.8[%]씩 增加 發生되었다.

10年 동안 電氣火災 全體 發生件數를 原因別로 分析한 結果에 의하면 短絡으로 인한 電氣火災가 17,738件으로서 全體의 67.1[%]를 차지하여 發生 頻도가 가장 높았고 그 다음이 過負荷(過電流)로서 2,451件으로 全體의 9.3[%]를 차지하였다.

그리고 漏電, 스파크, 絶緣不良, 接觸不良, 靜電氣, 電氣機器 取扱不注意 順이었다.

또한 같은 기간에 一般 家口當 所得도 늘어나서 80年度에 戶當 電力製品 保有臺數가 17臺였으나, 89年度에는 30臺로 늘어났고 戶當 全力使用量은 80年度에 82[kWh]에서 89年度에는 157[kWh]로 增加하였다.

Ⅲ. 實驗

實驗에 使用된 試料는 여러종류의 fuse중 3 [A] 원통형 fuse와 600[V] 이하의 電氣工作物이나 電氣機器 配線 및 消防用 電線에 使用되고 있는

직경 1.2[mm] 單線 600[V] 비닐 絶緣電線(IV 전선)과 600[V] 2중 비닐 絶緣電線(HIV 전선) 및 콘센트와 플러그를 選擇하였다.

fuse의 過電流 實驗과 段落電流 實驗은 自體에서 製作한 裝置를 利用했고, 電線의 過電流 實驗은 3300/110[V] 變壓器를 使用, 變壓器段落 試驗方法중 1차에 스파크와 2차에 디지털 후크메터(전류계)를 이용 定確한 電流값을 測定하여 實驗하였고 블록선도는 그림4와 같다.

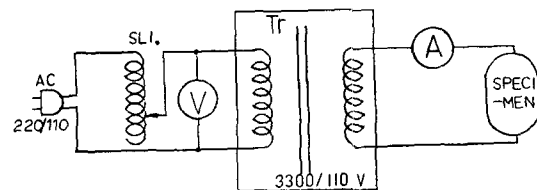


그림4. 블록 선도

Ⅳ. 實驗結果 및 檢討

4-1. 유리관 퓨즈의 通電實驗

發火 原因이 電氣에 의한 것인지 아닌지를 決定하기 위하여 實施하는 最初의 作業은 配線이나 電氣機器가 출화개소에 있었는지의 與否와 通電狀態를 確認하는 것이다.

만약 콘센트 內部에서 短絡이 되었다면 그곳은

로부터 電源측으로의 모든 回路가 通電중이었음이 立證된다.

즉, 通電 立證을 위한 調査는 負荷측으로부터 電源측으로 해나가야 하며, 궁극적으로는 歸納的 論理에 의하여 立證시켜야 한다.

1) 퓨즈의 通電實驗

퓨즈는 電氣系統의 過電流 保護機로서 오래전부터 使用되어 왔다. 본 實驗에서는 負荷電流를 줄이고 安全을 위해 3[A] 원통형 퓨즈를 試料로 選擇하여 2배인 6[A]의 過電流를 흘린 結果 2분 20초후에 실퓨즈가 溶斷되었고 나머지 부분은 원래의 狀態를 그대로 維持하고 있음을 確認하였다.

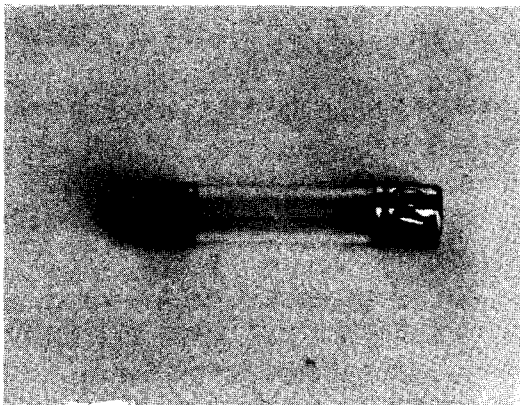


사진1. 적격전류의 2배의 과전류에 의하여 용단된 퓨즈

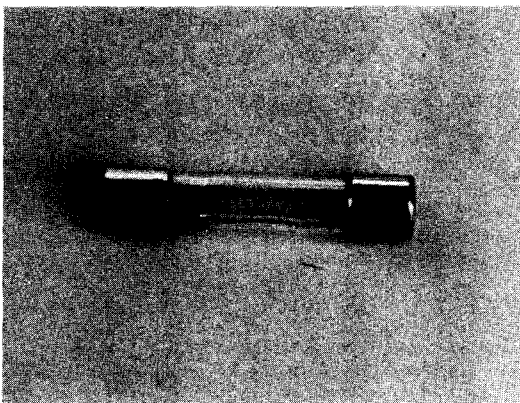


사진2. 단락 전류에 의하여 용단된 퓨즈

30[A]이하용 퓨즈의 溶斷特性은 定格電流의 2배를 인가했을 時 과전류에 의한 Joule熱에 의해

2분내에 퓨즈가 끊어져야 한다.

사진2는 3[A] 퓨즈에 短絡 電流를 흘렸을 時의 熔痕으로서 유리관내의 퓨즈가 발생하는 스파크 열에 의해 分散되었기 때문에 유리관 내벽에 附着되었다.

이상의 實驗 結果를 綜合해 보면 電氣部品으로 많이 使用되고 있는 유리관 퓨즈를 가지고도 電氣 火災의 種類(通電, 過負荷, 短絡)를 쉽게 鑑識해낼 수가 있다.

2) 퓨즈의 外部 加熱實驗

外部加熱에 의한 유리관 퓨즈의 熱的 變形을 파악하기 위해 가스버너로 加熱하고 난 後의 狀態를 確認하기 위하여 원통형 5[A] 퓨즈를 약 3분간 加熱한 後의 變化는 사진3과 같다.

유리관 내의 실 퓨즈는 銅線에 銀 鍍金을 한 것으로 熔點은 1084[°C]로 보고되고 있는데, 유리의 熔點(소다 유리 550[°C], 경질 붕규산 유리 (pyrex) 800[°C]보다 매우 높기 때문에 사진에서 確認할 수 있는 바와 같이 外形의 變化는 매우 크나 유리관 내의 퓨즈는 이러한 유리관의 變形에도 斷線되지 않고 있음을 사진에서 確認할 수 있었다.

특히 유리관 퓨즈의 外部 加熱實驗사진의 유리관 내벽에는 매우 검은 그을음이 존재하는데, 이것은 금구와 유리관의 接觸제가 외부 加熱源(가스 버너)의 熱에 의하여 燃燒되었기 때문에 쉽게 금구를 유리관으로 부터 分離시킬 수 있었다.

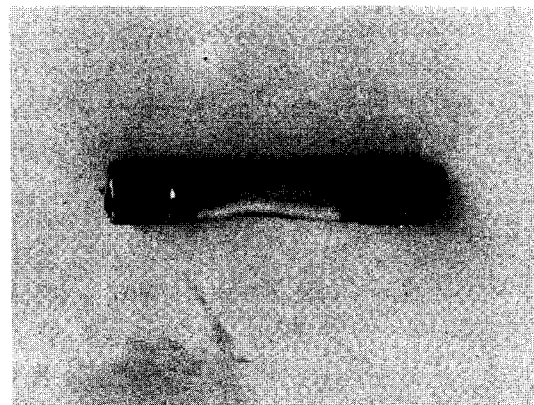


사진3. 가열된 유리관 퓨즈

4-2. 콘센트, 플러그의 通電實驗

電氣火災를 鑑識하는 部分作業으로서 플러그가 노출 콘센트에 挿入되어 있었는지의 與否에 대해서는 콘센트에 플러그를 挿入하여 加熱하는 實驗을 통하여 쉽게 알아낼 수 있다.

사진4는 노출형 3구 콘센트 중앙 부분에만 플러그를 挿入하고 나머지 部分은 플러그를 挿入하지 않고 가스 버너로 加熱하고 있는 장면이다.

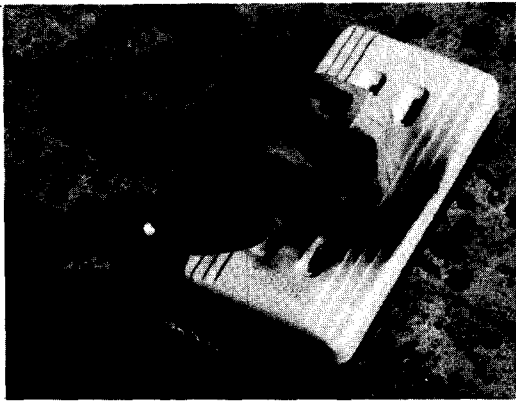


사진4. 플러그 및 콘센트를 연소시키는 상태

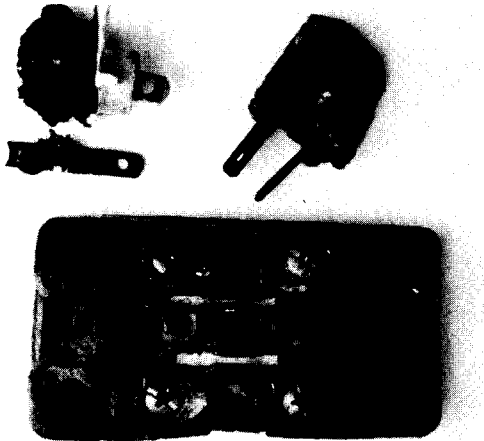


사진5. 열을 가한후의 콘센트 날받이 상태

사진5는 加熱한 後의 콘센트의 날받이 상태로서 플러그가 挿入된 날받이가 벌어져 있음을 알 수 있다. 플러그가 挿入된 狀態에서 加熱하면 날받이는 彈性이 緩和되어 플러그를 빼내어도 계속 벌어져 있고 날부분은 變色되지 않고 金屬의 光澤을

維持하고 있음을 確認할 수 있었다.

사진5는 플러그를 挿入하지 않고 加熱한 콘센트로서 날받이는 중앙 부분의 것보다 좁은 原形狀態에 가깝게 닫혀 있는것과 플러그날 全體가 變色되어 光澤을 잃어버렸다.

이 實驗 結果로서 콘센트에 플러그가 挿入되어 있었는지의 與否에 대한 鑑識 判定을 쉽게 내릴 수가 있다.

4-3. 電線絶緣物の 電氣的 및 熱的 劣化實驗

600[V] 2중 비닐 絶緣 電線(HIV)과 600[V] 비닐 絶緣 電線(IV)은 600[V] 이하의 電氣 工作物이나 電氣機器 配線에 使用하는 비닐 絶緣 電線으로 高分子樹脂중 염화 비닐을 主體로 한 絶緣電線이다.

특히 HIV전선은 IV전선에 耐熱性 加少제를 添可하여 熱에 강한 特性을 갖고 있어 소방용 전선으로 많이 使用되고 있다.

1) 過電流에 의한 絶緣物の 變化

HIV, IV전선의 過電流에 의한 絶緣物の 變化를 파악하기 위해 定格 電流 容量이 19[A]인 直徑 1.2[mm] 單線을 實驗材料로 選擇하였다.

HIV전선은 사진의 왼쪽, IV전선은 사진의 오른쪽에 놓는 것으로 統一한다.

사진6은 定格電流의 2배인 38[A]를 10분간 인가한 후 變形의 狀態를 촬영한 것으로 外觀상으로

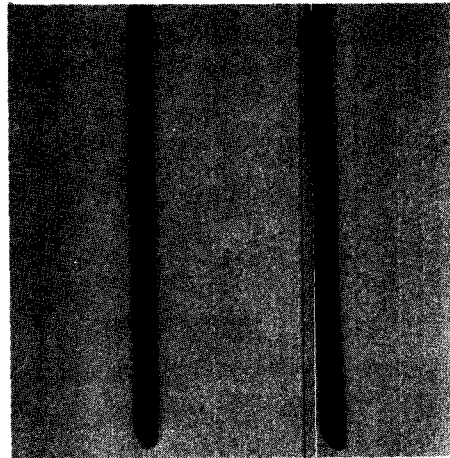


사진6. 정격전류의 2배 인가시

큰 變化는 나타나지 않는다. 그러나 그 순간의 溫度는 Joule熱에 의해 약 60[°C]정도로서 손으로 접촉하였을 때 매우 뜨거운 것을 느낄 수 있었으며 電線被服과 芯線인 導體의 接着이 分離되어 쉽게 들릴 수 있을 정도가 되었다.

사진7은 定格電流의 3배를 인가한 후 3분이 經過된 것으로 IV전선은 30[sec]를 지나면서 전선에서 熱과 煙氣가 나기 시작하여 1분을 經過하면서 煙氣가 점점 심하게 發生함에 따라 毒性的 氣가 實驗室에 分散되어 呼吸에 약간의 障害를 招來하였다.

그러나 HIV전선은 인가 시간 50[sec]후 부터 熱과 煙氣가 發生하기 시작하여 IV전선과 거의 같은 現狀이 發生하였으나, 이때 전선이 놓여진 위치에 따라 變形의 差異가 있었고 熱에 의한 絶緣物의 용융으로 인하여 전선의 처짐 현상이나 炭化 현상에도 서로 큰 差異가 있었음을 確認할 수 있었다.

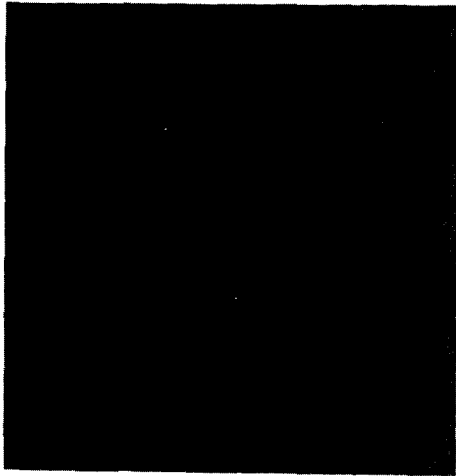


사진7. 정격전류 3배 인가(3분)

즉 HIV전선은 炭化 현상이 IV전선보다 적고 外形의으로도 變化의 정도가 적었다.

사진8은 定格 電流 3배를 인가한 후 5분이 經過된 것으로 전선의 현저한 變形을 確認하였는데 사진에서와 같이 HIV전선은 過電流에 의한 Joule熱에 의해 전선 內部의 공기 팽창으로 局部的으로 전선 絶緣物이 膨脹하거나 炭化되는 것을 나타내고 있으나, IV전선은 거의 모든 部分에서 均一하게 炭化되었다.

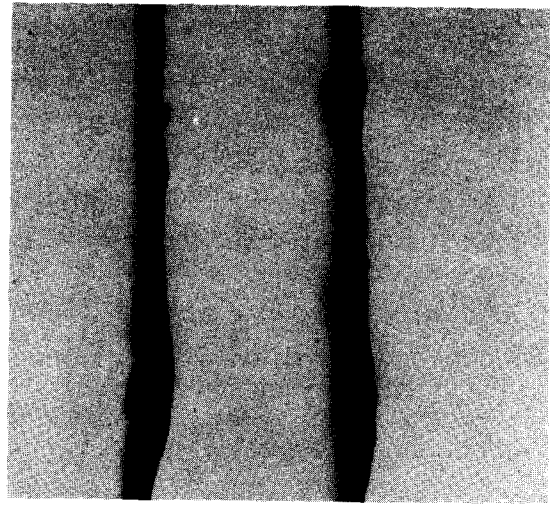


사진8. 정격전류 3배 인가(5분)

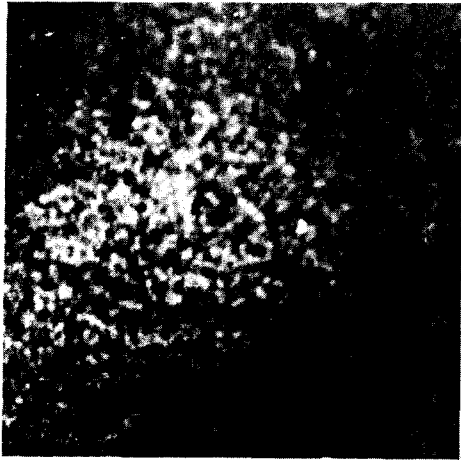
또한 炭化된 絶緣物의 內面과 外面을 觀察하기 위해 Nikon 광학 현미경으로 촬영하였는데 사진 9(a)(b)는 HIV전선에 定格 電流의 3배인 57[A]를 5분간 인가한 후 絶緣物의 內面과 外面을 7배 擴大한 것이고 사진10(a)(b)는 IV전선을 같은 條件으로 過電流를 인가한 후 絶緣物의 內面과 外面을 擴大 촬영한 사진이다.

사진에서 알 수 있는 바와 같이 IV전선은 HIV 전선보다 매우 심하게 絶緣物 內部가 炭化되는 것을 確認할 수 있었다. 이것은 전선 製造時 添加되는 耐熱性 가스제의 영향으로 思料되며, 따라서 HIV전선의 耐熱特性으로 인해 消防法 施設 基準에는 消防施設의 非常 電源用 配線과 각종 制御回路 配線, 自動火災 探知 設備의 配線으로 이 전선을 使用하도록 法制化되어 있다.

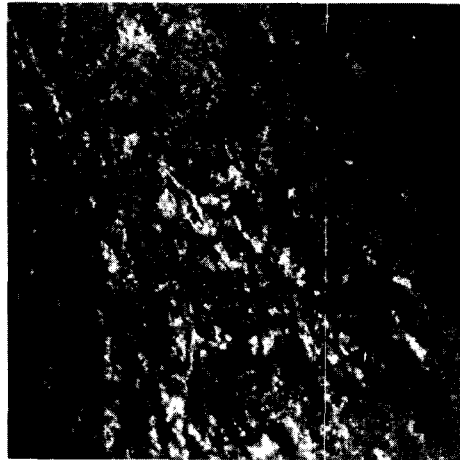
2) 外部 加熱에 의한 絶緣物의 變化

HIV전선과 IV전선의 外部 加熱에 의한 絶緣物 變化를 보다 正確히 파악하기 위하여 ANDO TO-9B형 Oven을 이용하였다.

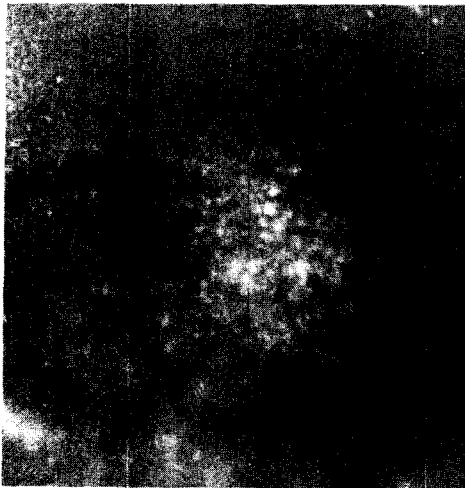
Oven내의 溫度를 精確히 200[°C]로 設定한 후 전선을 넣고 이들의 變化를 관찰하였다. 사진11은 溫度 200[°C]에서 10분간 인가한 후 촬영한 것으로 전선 被服에 印刷된 文字의 識別이 어려울 정도로 變形되었으며, 外觀상으로 다른 部分의 큰 變化는 관찰할 수 없었다.



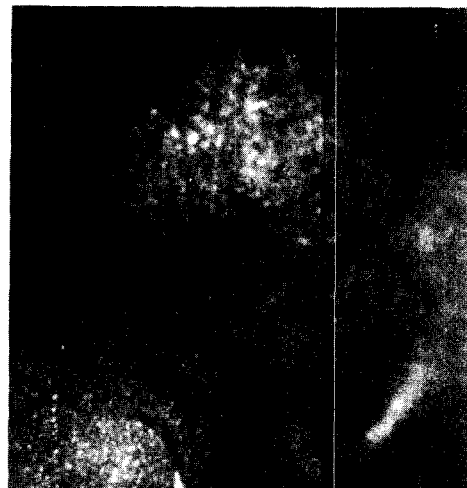
(a) 내면



(a) 내면



(b) 외면
사진9. HIV전선



(b) 외면
사진10. IV전선

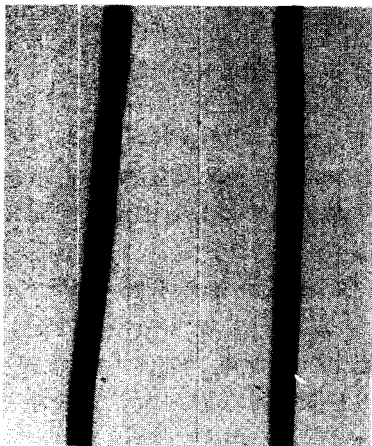


사진11. 200[℃]에서 10분간

사진12는 200[℃]에서 40분간 인가한 후 變形을 관찰한 사진으로 우측의 IV전선은 매우 큰 變形을 보여주고 있으나 좌측의 HIV전선은 變形 狀態가 크지 않았다. 따라서 HIV전선은 IV전선보다 過電流에 의한 熱이나 外部에서 인가되는 熱에 대하여 공히 우수한 特性을 갖고 있음을 確認하였다.

사진13(a)(b)는 HIV전선을 40분간 인가한 후 絶緣物의 變形을 광학 현미경으로 75배 擴大 촬영한 것으로 (a)는 絶緣物의 內面을 촬영한 것으로 電流에 의해서 絶緣物이 炭化된 흔적은 거의 나타나지 않고 (b)에서와 같이 外部에서만 인가 熱에

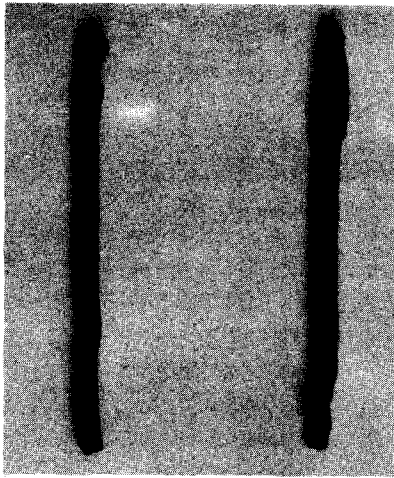
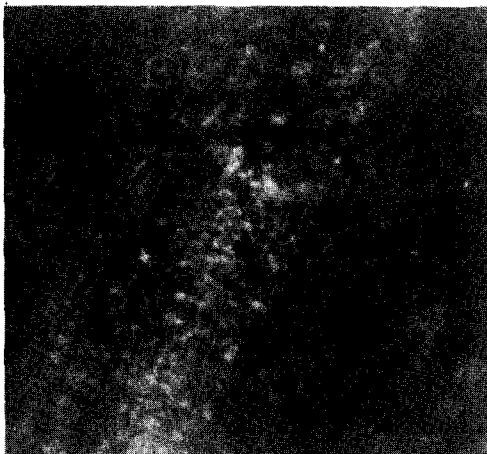


사진 12. 200[°C]에서 40분간사진

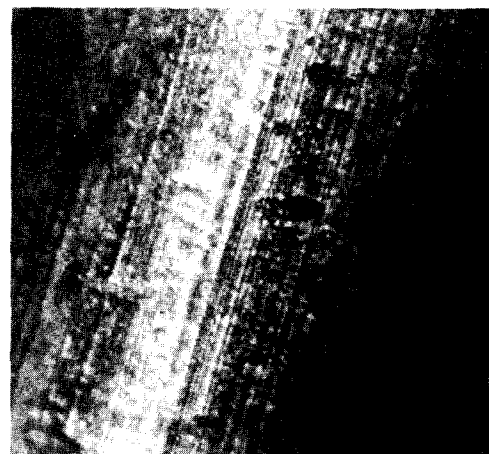
의한 變形을 보여주고 있다.

유기絶緣物은 外部에서 熱을 받으면 실제 抵抗 값이 $10^3[\Omega \cdot \text{cm}]$ 이하로 低下되는 것으로 報告하고 있는데,⁽¹¹⁾ 이것으로 인하여 絶緣物 內面이나 外面이 局部的으로 加熱되어 絶緣性を 잃고 半導體化되어 電流가 쉽게 흘러 더욱 自己發熱이 加重되어서 發火까지 進진한다.

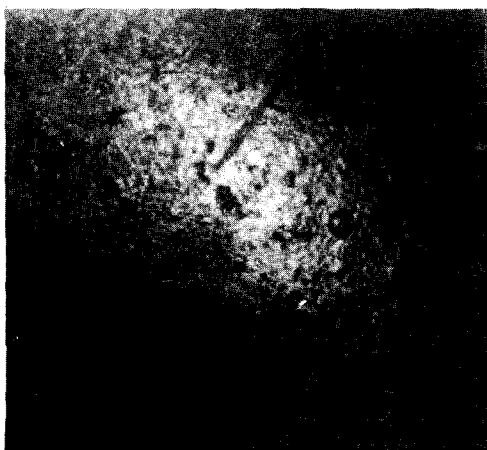
한편 사진14(a)(b)는 導體인 구리선의 表面을 광학 현미경으로 75배 擴大한 사진이다. (a)는 원래의 구리선으로서 전선 表面에 카본이 묻어있는 것은 보이지 않으나 (b)에서는 도체 表面에 過電流에 의한 Joule熱로 인한 變形으로 絶緣物에서 發生된 卡본이 附着되어 있음을 쉽게 確認하였다.



(a) 내면

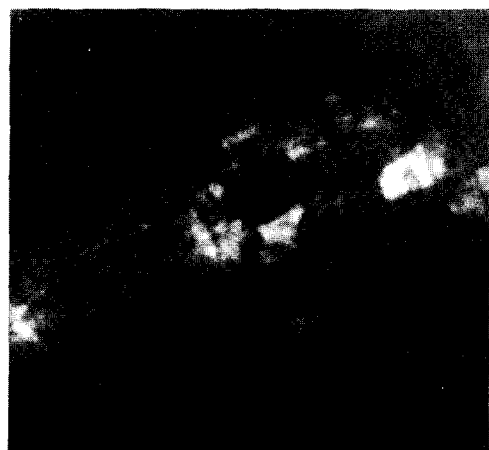


(a) 원형도체



(b) 외면

13. HIV전선의 변형



(b) 과전류가 흐른 도체

사진 14. 도체의 표면

V. 結論

各種 火災發生原因中 電氣로 인한 火災 發生 頻度가 높아짐에 따라 電氣火災에 대한 定確한 鑑識方法을 提示하기 위하여 電氣 部品중 많이 사용되고 있는 전선(HIV, IV)과 유리관퓨즈 및 콘센트와 플러그에 대하여 實驗·研究한 結果

- (1) 전류에 의한 過電流, 短絡 火災의 區分은 퓨즈의 용단 狀態로 부터 鑑識이 가능함을 確認하였다.
- (2) 外部 加熱에 의한 유리관 퓨즈의 용단 試驗은 유리관의 용점으로 인하여 매우 어렵고 어느 溫度 이상이 되면 금구와 유리관 接續이 먼저 弛緩됨을 確認할 수 있었다.
- (3) 플러그에 콘센트 부하의 插入여부 判別은 콘센트 날받이로 부터 쉽게 判別이 가능했다.
- (4) 전선의 過電流에 의한 絶緣物의 炭化現狀은 전류크기와 시간에 따라 크게 변함을 確認하였다.
- (5) 外部 加熱에 의한 전선 絶緣物의 變化는 전류에 의한 絶緣物의 變化와 相異함을 發見하였다. 특히 HIV전선의 絶緣物은 IV전선의 絶緣物보다 熱的으로 우수한 特性을 갖고 있었다.

參 考 文 獻

- 1) '80~'89 화재통계년보, 내무부 소방국(1982~1990)
- 2) '80년대 화재발생 통계분석, 소방안전 52호, 한국소방안전협회, pp.15~21(1990.3)
- 3) 이덕출, "전기로 인한 화재원인 및 분석대책", 기술정보 16호, 한국소방안전협회, pp.3~7(1989.9)
- 4) 홍진웅, "화재로 인한 전기재료 감식에 관한 연구", Proceeding of KIEEME Vol 1, pp.24~26(1991)
- 5) 원종수, "전기화재(I)-전기화재개론-", 화재학회지 1호, 한국화재학회, pp.53~56(1987.10).
- 6) 우형주 외 2명, "전기화재 원인 및 감식에 관한 연구", 서울대학교 공과대학 응용과학 연구소 전력연구실, pp.7~12, pp.67~79(1967.12)
- 7) "가정용 전기제품의 화재개요", 근대소방, 동경소방청 예방부 조사과, pp.105~107(1987.7).
- 8) Earl W, Roberts, "'87 National Electrical code :Improvements in Electrical Shock and Electrical Fire Prevention", Fire Journal 81권, pp. 32~43(1987.7).
- 9) Kate Loader, "Electronics Manufacturer Fire", Fire prevention, pp.27~28(1986.7).
- 10) 한국공업표준심의회, KSC 3002, 3004, 3101, 3102, 3120, 3328(1988)
- 11) 東京防災指導協會, "火災調査技術教本", Vol 3, pp.45~61(1987)
- 12) 静電氣ハンドブック, "静電氣ハンドブック", pp. 863~879, オーム社(1981).