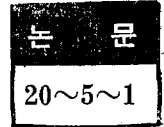


電氣火災에 의한 電線의 顯微鏡 組織變化에 관한 物性的 解析의 研究



A Microscopic Study on Structural Changes in Electric Conductors due to Electric Fire

우 형 주*
(Hyung Ju Woo)

ABSTRACT

This paper aims to study structural changes in electric conductors which are heated during electric fire by means of microscope.

The results are applicable to the pursuit of the causes of electric fire and to the establishment of criteria for the indentification of electric fire. This work is an extension of the previous study⁽¹⁾ by the author, particularly with emphasis on quantitative analysis.

1. 序 論

過電流 및 短絡電流와 外部加熱에 의한 電線의 金屬 顯微鏡組織에 關하여 이미 “電氣火災의 原因 및 鑑識에 關한 研究”에서 言及한 바 있으나 本研究에서는 이 部分을 物性的으로 考察하여 電氣火災原因鑑識에 關한 體系를 確立하고자 한다.

火災事故의 電氣的 原因을 그 發生機構에 대하여 分類하면,

- 1) 過電流
- 2) 短 路
- 3) 漏 電
- 4) 落 電
- 5) 接續部過熱
- 6) 熱的經過에 의한 過熱
- 7) Spark
- 8) 絕緣劣化
- 9) 靜電氣

등을 들 수 있는데, 本研究에서는 電線의 顯微鏡組織에 뚜렷한 變化를 주는 過電流와 短絡現象을 對象으로 하였다.

2. 實驗方法 및 試料製作

實驗用 電線은 屋內配線用 600V P.V.C 絕緣電線(直徑 1.6mm 및 2.0mm)으로 그 導電率은 99.38%이고

*정회원 : 서울대학교 공과대학 전기공학과 교수

化學成分은 표 1과 같다.

표 1. 試片의 化學成分 單位 : %

成分	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Sb	B ₁	S	O
試片含量	99.95	0.0013	0.0185	0.0014	0.0010	0.0010	흔적	0.0011	0.0032

2.1 過電流加熱 試料

直徑 1.6mm 와 2.0mm, 길이 1m의 電線에 過電流密度를 200~500% 範圍로 變化시켜 표 2와 같이 各條件에 대한 外形의 變化樣相을 檢討함과 同時에 試料를 採取하였다.

표 2. 過電流密度에 의한 電線의 變化樣相
(Variation in wire by over current.)

過電流密度 (%)	電流密度 (A/mm ²)	變 化 樣 相
200	20	電線絕緣被覆의 軟化 및 發煙
300	30	심하게 發煙되며, 被覆變質
400	40	被覆의 安全脫落 및 心線의 赤熱
500	50	心線中央部の 늘어짐과 동시에 鎔斷
600	60	爆音과 함께 鎔斷, 飛散된다.

但, 試驗電線은 1.6mm 이며 定格電流密度는 10(A/mm²)

그림 1은 1.6mm 電線(許容電流 27A)의 過電流에 대한 鎔斷時間 特性曲線으로 過電流密度 600%(162A)에서 通電 10秒만에 爆音을 내며 鎔斷되었다.

그림 2는 過電流密度에 따른 心線의 溫度上昇 特性曲線으로 A : 2.0mm, B : 1.6mm, C : 1.2mm 電線의 경

우이며 이때 心線의 溫度는 Chromel-Alumel Thermocouple로 測定하였다.

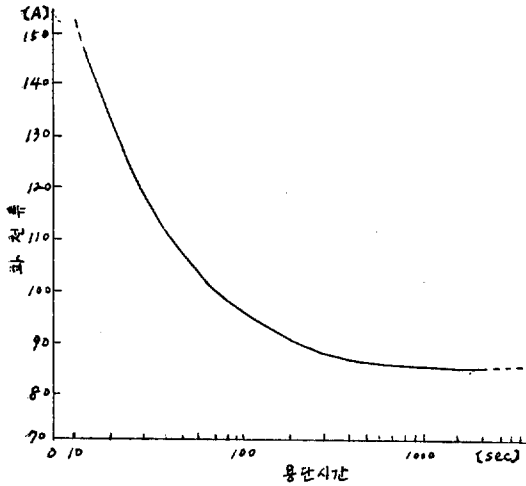


그림 1. 過電流에 대한 鎔斷時間特性
Fig. 1 Fusing characteristic curve

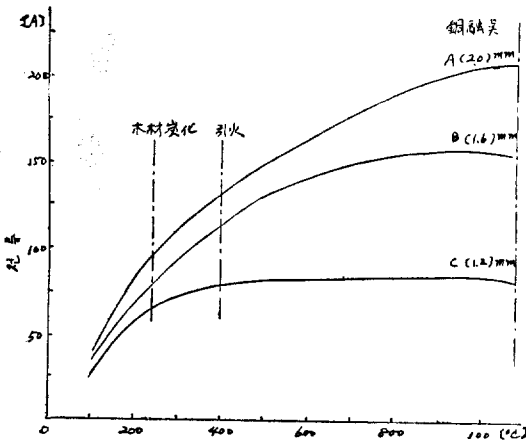


그림 2. 過電流에 따른 溫度特性
Fig. 2 Temperature rise by overcurrent

2-2. 短絡電流 試料

그림 3과 같은 短絡回路上에 의하여 표 3과같이 各線의 短絡電流를 測定하고 試料를 採取하였다.

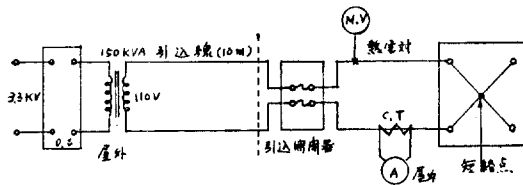


그림 3. 短絡電流 實驗回路
Fig. 3 Short circuit diagram

표 3. 短絡電流(Short circuit current)

短絡部	短絡電流[A]	短絡部	短絡電流[A]
屋內電流	200~370	小需用家分電盤	140~1100
Cord線	160~340	大需用家分電盤	710~3500

短絡에 의한 鎔融痕은 球狀 또는 針狀의 特異한 外形을 形成하였다.

2-3. 電氣爐加熱 試料

電氣爐內에서 非加熱電線 및 過電流(200%, 300%) 通電電線을 200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1,000°C로 30分씩 加熱하고 各條件에 대한 試料를 採取하였다.

이 實驗에 使用된 電氣爐는 容量 1KW, 最高溫度 1,200°C의 插入型 加熱爐이며 電氣負荷는 Lamp bank를 使用하였다.

2-4. 火焰加熱 試料

各條件(過電流度: 200%, 300%, 400% 및 短絡)의 電線을 强々 火焰으로 加熱하여 各種 試料를 採取하였다.

火焰加熱인 경우는 電線 全 길이에 대한 溫度分布가 不均一하며, 한편 酸素의 圓滑한 供給으로 電線表皮에 많은 Void가 發生하는 特徵이 있다.

3. 顯微鏡組織變化的 檢討

上記 各種 實驗의 試片을 合成樹脂로 mounting 한 후, emery paper(Silicon Carbide 2C; 250~1000Cw) 및 酸化크롬(Cr₂O₃) 粉末로 polishing 하고 그 表面을 HNO₃ 50%와 FeCl₃(3g), HCl(50cc)의 水溶液으로 etching 하였다. 이들의 試片을 金屬顯微鏡으로 擴大(100×)하여 그 組織을 다음과 같이 觀察, 檢討하였다.

3-1. 非加熱電線의 組織

非加熱電線의 顯微鏡組織은 寫眞 1에서 보는 바와 같이 微細한 粒狀組織(granular structure)으로 粒界(grain boundary)의 成長을 發見할 수 없다.

3-2. 過電流加熱電線의 組織

過電流度 200%의 組織은 寫眞 2와 같이 粒狀組織이 非加熱電線組織에 비해 약간 成長되었으며 過電流度 300%의 것은 寫眞 3과 같이 粒狀組織이 比較的 크게 線全體에 걸쳐 均一하게 成長하였다.

3-3. 短絡電流電線의 組織

短絡部에 의한 鎔斷部 組織은 寫眞 4와 같이 表皮層에 Spark로 인한 瞬間的 加熱로 微細한 氧化物이 散在되었고 粒狀組織이 流動的으로 成長하였다.

3-4. 電氣爐內加熱電線の組織

電氣爐內(空氣의 流動이 없는)에서 各各 400°C, 600°C 800°C로 加熱한 것은 寫眞 5, 寫眞 6, 寫眞 7 과 같이 粒狀組織이 溫度가 上昇함에 따라 成長되면서 粒界가 確然해지고 局部的으로 약간의 雙晶(twin band)이 生成되었다.

1000°C에서는 粒界가 完全히 헝크러 졌으며 微細한 球狀의 酸化물이 部分的으로 集結되어 있다.

3-5. 火焰加熱電線の組織

장작 火焰으로 加熱한 電線の 組織은 充分한 酸素의 供給으로 寫眞 9 와 같이 粒界에 酸化물이 侵透하여 特有的 網狀組織(network structure)을 形成하고 表皮層에 球狀의 酸化물이 比較的 많이 集結되어 있다.

3-6. 過電流加熱後 外部加熱 電線の組織

過電流度 300%의 電線を 電氣爐內에서 600°C로 加熱한 것은 寫眞 10 과 같이 過電流에 의한 組織(寫眞 3)이 電氣爐加熱로 더욱 成長하여 粒界가 確然한 網狀組織을 形成하고 800°C의 것은 寫眞 11 과 같이 粒界에 酸化물이 生成되어 있다.

300% 過電流의 電線を 火焰加熱한 것은 寫眞 12 와 같이 組織의 成長이 不進하나, 粒界 주위에 酸化물의 球群이 分散되어 있다.

3-7. 外部加熱後 過電流加熱 電線の組織

電氣爐內에서 600°C로 維持하면서 300%의 過電流를 通電한 組織은 寫眞 13 과 같이 寫眞 6에 비하여 不規則한 樹狀組織이 網狀으로 進展되어 있다.

800°C에서 300% 過電流를 通電한 組織은 寫眞 14 와 같이 寫眞 7 보다 活潑하게 成長되어 網狀組織으로 進展되어 있다.

寫眞 15 는 火焰加熱後 300%의 過電流를 通電한 組織으로 寫眞 9의 火焰만에 의한 粒界의 酸化물이 內部에 球狀으로 散在되어 있다.

3-8. 短絡加熱後 外部加熱電線の組織

短絡電線の 鎔斷部를 電氣爐內에서 800°C로 加熱한 것은 寫眞 16 과 같이 內部가 網狀組織으로 크게 成長되고 表皮層은 成長이 不進하다. 이에 대하여 寫眞 4에서의 酸化물은 組織의 內部로 分散되어 있다.

寫眞 17 은 短絡鎔斷部를 火焰加熱한 것으로 組織의 成長이 表皮層보다 內部가 比較的 크고 表皮層의 酸化물은 寫眞 4에서 보다 큰 球狀으로 集結되어 있다.

3-9. 外部加熱後 短絡加熱 電線の組織

寫眞 18 은 電氣爐內에서 600°C로 加熱한 電線を 短絡시킨 鎔斷部組織이며 內部的 組織은 寫眞 5와 큰 差異가 없으나 鎔斷된 表皮層(寫眞 18의 左上部)은 寫眞

4와 같이 流動的인 組織으로 形成되어 있다.

寫眞 19는 火焰加熱한 電線を 短絡시킨 것으로서 火焰만에 의한 網狀組織(寫眞 9)이 不規則하게 成長되었고 鎔斷된 表皮層은 酸化물이 集結되어 있다.

4. 結 論

以上的 各 條件別 顯微鏡組織의 比較檢討에서 얻어진 結果는 다음과 같으며 物性的 解析은 다음 機會에 取扱키로 한다.

1) 線全長에 걸쳐 過電流度에 따른 結晶組織이 均一하게 成長한다. 短絡部에서 表皮層에서는 酸化물이 分散되고 隣接部는 高溫으로 流動形組織을 形成한다.

2) (a) 電氣爐加熱에 의한 組織은 加熱溫度에 따라 樹狀에서 網狀組織으로 成長한다.

(b) 火焰에 의한 組織은 結晶粒界에 球狀酸化물이 連鎖狀으로 侵透된 網狀組織을 形成한다.

3) 두 原因이 重疊된 경우

(a) 過電流+爐加熱; (1)의 結晶組織이 爐加熱에 비하여 組大해진다.

(b) 過電流+火焰; (1)의 結晶組織이 組大해 짐과 동시에 酸化물이 粒界에 侵透한다.

(c) 爐加熱+過電流; (2)의 多面體組織이 網狀組織으로 變한다.

(d) 火焰+過電流; (2)의 粒界酸化물이 破壞되어 結晶內部에 球狀으로 分散된다.

以上과 같은 結果를 土臺로 하여 各種 原因別 顯微鏡組織變化를 體系化함으로써 電氣火災原因의 鑑識에 보다 더 合理的인 基準을 確立할 수 있을 것으로 믿는다.

各 條件別 顯微鏡組織



Photo 1. Original.

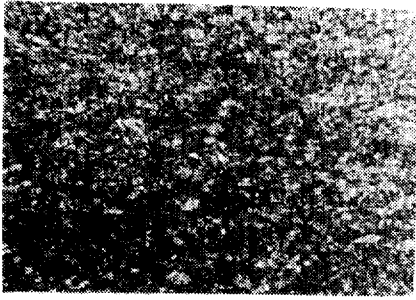


Photo. 2 200% Overcurrent.



Photo. 6 600°C by furnace.



Photo. 3 300% Overcurrent.



Photo. 7 800°C by furnace.

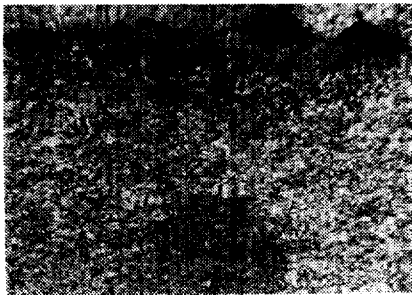


Photo. 4 Short-circuit current(for fused section)



Photo. 8 1000°C by furnace

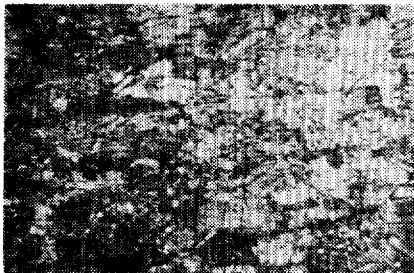


Photo. 5 400°C by furnace.



Photo. 9 Flame heating.



Photo. 10 300% Overcurrent and 600°C.

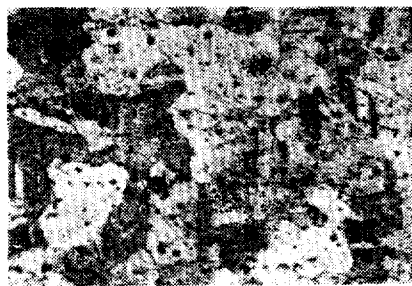


Photo. 14 800°C and 300% Overcurrent.



Photo. 11 300% Overcurrent and 800°C.



Photo. 15 Flame heating and 300% Overcurrent.

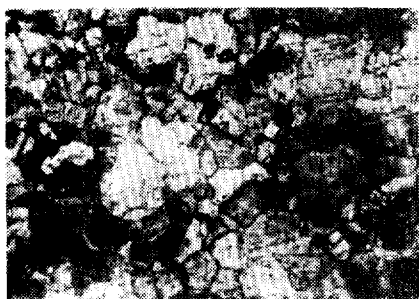


Photo. 12 300% Overcurrent and flame heating



Photo. 16 Short-circuit current and 800°C.

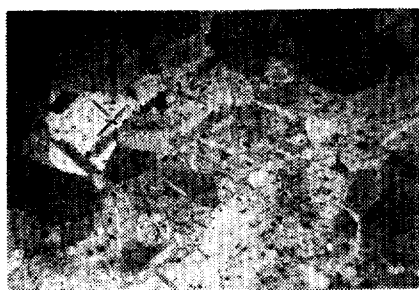


Photo. 13 600°C and 300% Overcurrent.



Photo. 17 Short-Circuit current and flame heating.

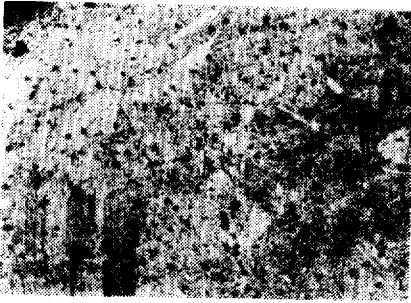


Photo. 18 600°C and Short-circuit current(for fused section)



Photo. 19 Flame heating and Short-circuit current (for fused section).

參 考 文 獻

1. 禹亨曠, 丁性桂, 朴永文 共著; 電氣火災原因 및 鑑識에 관한 研究(1967.12.31) pp. 50~60.
2. K. Nonaka & W. Taka; J. Phys., Soc., Japan p. 512(1954)
3. 美國 National Fire Protection Association; Hand Book
4. Adrianus J. Dekker 著; Electrical Engineering

- Materials pp.135~136
5. Robert S. Williams & Victor O. Homerberg 共著; Principle of Metallography. pp.319~320
6. 廉永夏著; 最新 金屬材料學(文星堂) p. 28, 242.
7. 山田良之助著; 材料試驗法
8. 中田金市編; 火災 pp.57~58
9. 吉岡正三著; 金屬組織學 pp.371~380
10. 黑田正夫著; 金屬顯微鏡 p.193